

Ville Mäkelä

JÄRJESTELMÄN VALINTA HITSAUSROBOTTISOLUUN

JÄRJESTELMÄN VALINTA HITSAUSROBOTTISOLUUN

Ville Mäkelä
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

Tekijä: Ville Mäkelä

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Järjestelmän valinta hitsausrobotisoluun

Opinnäytetyön nimi englanniksi: System Selection for Cobot Welding Cell

Työn ohjaaja: Esa Kontio

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2020

Sivumäärä: 29 + 2 liitettä

Tämä opinnäytetyö tehtiin osana projektia, jonka aihe oli hitsausrobotisolun suunnittelu tilaajalle Scanfil Oyj:lle. Opinnäytetyössä tehtiin hitsausrobotisolun järjestelmän valinnan mahdollistava teknologiaselvitys ja tutkittiin yhteistoimintarobotin soveltuvuutta hitsaukseen.

Työssä etsittiin ja kerättiin tietoa erilaisista valmiista robottihitsausjärjestelmistä ja -kokonaisuuksista Excel-taulukkoon. Järjestelmiä ja kokonaisuuksia vertailtiin keskenään hitsauslaitteiston ja -järjestelmän ominaisuuksien perusteella taulukon avulla. Vaihtoehtoista valittiin uuteen vertailuun neljä parasta yhteistoimintarobotiikkajärjestelmää, jotka olivat Fsk Industries GmbH & Co. KG – SmartArc, Migatronik A/S – CoWelder, Kemppi Oy – A7 MIG Welder ja Vectis LLC – Cobot Welding Tool. Nämä hitsausjärjestelmät olivat helppokäyttöisiä ja niissä oli parhaat hitsauslaitteistot. Tilaaja valitsi työssä käytettäväksi robotiksi UR10e-yhteistoimintarobotin. Uuteen vertailuun valitut robottihitsausjärjestelmät arvioitiin ja pisteytettiin tilaajan kanssa valittujen arviointikriteerien avulla, joita olivat valmistuskustannukset, helppokäyttöisyys, huollon ja tuen saatavuus, käyttöturvallisuus, hitsausominaisuudet, ohjainkappaleen ominaisuudet sekä CE-merkintä. Arvioinnissa eniten pisteitä saanut hitsausjärjestelmä oli Fsk Industriesin SmartArc, joka valittiin projektissa tilaajalle suunniteltavaan hitsausrobotisoluun.

Osana opinnäytetyötä oli tutkia yhteistoimintarobotin soveltuvuutta hitsaukseen. Tätä tutkittiin testihitsaamalla tilaajan valitsemia nimikkeitä Oulun ammattikorkeakoulun robottihitsausjärjestelmällä. Testihitsauksissa tutkittiin, saadaanko robotilla aikaan yhtä hyvää hitsausjälkeä kuin ammattilaishitsaaja saa. Robotilla aikaan saatu hitsausjälki oli yhtä hyvää kuin ammattilaishitsaajan hitsausjälki.

Opinnäytetyössä päädyttiin valitsemaan tilaajalle Fsk Industriesin SmartArc-robottihitsausjärjestelmä, koska se sai arvioinnissa eniten pisteitä. Virtalähteeksi robottihitsausjärjestelmään valittiin Froniuksen TPS 320i, koska tilaajalla oli samanlaisia virtalähteitä jo käytössä käsin hitsauksessa. Testihitsausten perusteella todettiin, että tilaajan nimikkeitä voidaan hitsata yhteistoimintarobotiikkaa hyödyntäen. Yhteistoimintarobotilla aikaan saatu hitsausjälki oli hyvää.

Asiasanat: yhteistoimintarobotti, robottihitsaus, robotiikka, hitsaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Bachelor's Programme in Mechanical Engineering, Machine Automation

Author(s): Ville Mäkelä

Title of thesis: System Selection for Cobot Welding Cell

Supervisor(s): Esa Kontio

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020

Pages: 29 + 2 appendices

This thesis was a part of a project titled Hitsausrobottisolu. The subject of this project was planning a cobot welding cell for the commissioner, Scanfil Oyj. The first objective of this thesis was to produce a report that provides the needed information for the system selection of the cobot welding cell. The second objective of this thesis was to study if a collaborative robot is suitable for welding.

The work started by gathering information about different robot welding systems and robot welding cells to an Excel table. These systems and cells were compared to each other in this Excel table. From these options, four were selected to a more specific comparison. The selected options were all collaborative robot welding systems, which had the best qualities for welding and were easy to use. The commissioner selected the UR10e collaborative robot to be used in this project. In the next comparison, the four collaborative robot welding system options were evaluated with different evaluation criteria. These evaluation criteria were chosen with the commissioner. The system that received most points in this evaluation was SmartArc made by Fsk Industries. Based on this evaluation, SmartArc was selected to the commissioner's cobot welding cell. One part of this thesis was to study the suitability of a collaborative robot for welding. It was studied by test welding parts the commissioner had selected. The welding tests were made with the robot welding system of Oulu University of Applied Sciences. The university has a UR10e collaborative robot and a Kemppi A7 MIG robot welding system.

The SmartArc cobot welding system made by Fsk Industries was selected to the commissioner's robot welding cell. Fronius TPS 320i was selected as a power supply for this collaborative robot welding system. This power supply was selected because the commissioner already had those in use in manual welding. Based on the welding tests, the commissioner's parts could be welded using a collaborative robot.

Keywords: collaborative robot, robot, welding, robot welding

SISÄLLYS

| | |
|---|----|
| TIIVISTELMÄ | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| SISÄLLYS | 5 |
| 1 JOHDANTO | 6 |
| 2 ROBOTTIHITSAUS | 7 |
| 2.1 Teollisuusrobotiikka | 7 |
| 2.2 Yhteistoimintarobotiikka | 8 |
| 2.2.1 UR10e | 9 |
| 2.2.2 MIG/MAG-hitsaus | 9 |
| 3 ESISUUNNITTELU | 11 |
| 3.1 Tiedonhaku | 11 |
| 3.2 Järjestelmävaihtoehtojen jäsentäminen | 12 |
| 3.3 Vaihtoehtojen arviointi ja valinta | 12 |
| 3.3.1 Fsk Industries GmbH & Co. KG – SmartArc | 13 |
| 3.3.2 Migatronic A/S – CoWelder | 14 |
| 3.3.3 Vectis LLC – Cobot Welding Tool | 14 |
| 3.3.4 Kemppi Oy – A7 MIG Welder | 15 |
| 4 YKSITYISKOHTAINEN SUUNNITTELU | 17 |
| 4.1 Järjestelmäkoonpanon detaljitietojen tarkentaminen | 17 |
| 4.2 Järjestelmäkoonpanon toiminnallisuuden tarkentaminen ja testaus | 19 |
| 5 YHTEENVETO | 26 |
| LÄHTEET | 28 |
| LIITTEET | |
| Liite 1 Hitsaussovellusten infotaulukko | |
| Liite 2 Painokerrointaulukko | |

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Scanfil EMS Oy. Scanfil on kansainvälinen elektroniikkateollisuuden sopimusvalmistaja ja järjestelmätoimittaja. Tällä hetkellä Scanfil omistaa 11 tuotantoyksikköä, joissa on yhteensä 3 700 työntekijää. (1; 2.)

Opinnäytetyö tehdään osana projektia, jonka tavoitteena on suunnitella yhteistoimintarobotiikkaa sisältävä hitsaussolu tilaajan tarpeisiin. Projektin tuloksena syntyy hitsausrobotisolun layout-suunnitelma sekä solussa käytettävän yhteistoimintarobotin ja hitsauslaitteiston valinnan mahdollistava teknologiaselvitys tilaajan käyttöön. Solun on tarkoitus toimia apuna valittujen nimikkeiden hitsauksessa. Kokonaisuuden tavoitteena on tutkia, miten yhteistoimintarobotti soveltuu hitsauksessa tilaajan tarkoituksiin. Opinnäytetyössä tutkitaan yhteistoimintarobotin soveltuvuutta hitsaukseen ja valitaan siihen soveltuva hitsauslaitteisto.

Projektiryhmään kuuluvat Ville Mäkelä ja Aleksis Ålander. Projektiryhmän jäsenet tekevät omat opinnäytetyöraporttinsa projektin eri aihealueista. Ohjaavana opettajana on Esa Kontio ja työn valvojana on Janne Huhtala.

Tämän dokumentti esittelee Hitsausrobotisolu-projektin järjestelmän valinnan osuuden toteutuksen ja vaiheet. Toinen projektiryhmän jäsen Aleksis Ålander raportoi Hitsausroboti-projektin hitsausrobotisolun suunnittelua (3).

2 ROBOTTIHITSAUS

Robottihitsaus tarkoittaa automatisoitua hitsausprosessia, jossa robotti kuljettaa hitsauspoltinta hitsauksen aikana. Hitsattava kappale on kiinnitetty hitsaustasolle. Yleisin hitsausmenetelmä robottihitsauksessa on MIG/MAG-hitsaus. (4.)

Robottihitsauksessa on monia etuja manuaaliseen hitsaukseen verrattuna. Se on nopeampaa kuin manuaalinen hitsaus. Lisäksi robotti tekee vähemmän virheitä kuin ihminen ja voi työskennellä pitkiäkin jaksoja tauotta. Robottihitsaus parantaa myös työntekijän turvallisuutta hitsauksen aikana. Tällä hetkellä suurin osa robottihitsauksesta tapahtuu teollisuusroboteilla. Teollisuusroboteilla hitsataan tavanomaisesti suuria määriä, isoja kappaleita. Yhteistoimintarobottiikkahitsaus on kuitenkin kasvava ala. Viimeisen parin vuoden aikana on julkaistu monta erilaista hitsausjärjestelmäkokonaisuutta yhteistoimintarobotille. (5.)

2.1 Teollisuusrobotiikka

Teollisuusrobotti on teollisuuden automaatiosovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsitteilylaite. Sen akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa, ja se voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva (6, s. 12).

Teollisuusrobottien kehitys alkoi 1960-luvulla Yhdysvalloissa. Maailman ensimmäinen teollisuusrobotti oli Unimate 1900. Se tuli markkinoille vuonna 1961. Ensimmäinen teollisuusrobotti asennettiin General Motorsille. Robotiikan tehokkuus huomattiin, ja nykyään robotiikkaa käytetään paljon erityisesti autoteollisuudessa. (Kuva 1.) (7.)



KUVA 1. Teollisuusrobotiikkaa autoteollisuudessa (7)

Muutamassa kymmenessä vuodessa robotiikka on lisääntynyt ja kehittynyt paljon. On arvioitu, että vuonna 2020 teollisuusrobotteja olisi maailmassa käytössä yli kolme miljoonaa. (8.)

Teollisuusrobotit ovat melkoisen suurikokoisia ja painavia verrattuna yhteistoimintarobotteihin. Niillä on tarkoitus nostella painavia kuormia tai työstää suurikokoisia kappaleita.

2.2 Yhteistoimintarobotiikka

Yhteistoimintarobotti on robotti, joka on suunniteltu suoraan vuorovaikutukseen ihmisen kanssa määritetyssä yhteistyötilassa (9, s. 8). Yhteistoimintarobotista voidaan käyttää myös nimitystä kollaboratiivinen robotti eli cobotti. Yksi cobottien tärkeimmistä ominaisuuksista on turvallisuus. Cobotteja käytetään tavallisesti pienien kuormien käsittelyyn, toisin kuin teollisuusrobotteja. Cobotti voi tehdä melkein mitä vaan ihminenkin voi tehdä. Ne voidaan ohjelmoida tekemään esimerkiksi kokoonpanotöitä, maalausta tai pakkausta. Näin saadaan parannettua työntekijän turvallisuutta ja ergonomiaa. (10.)

Yhteistoimintarobotti on melkoisen tuore keksintö, sillä se keksittiin vuonna 1996 (11). Niiden suosio on kuitenkin lisääntynyt nopeasti viime vuosina niiden monikäyttöisyyden ansiosta.

2.2.1 UR10e

Universal Robots on yksi tunnetuimmista yhteistoimintarobottivalmistajista. Tilaaja valitsi tähän projektiin käytettäväksi Universal Robotsin valmistaman UR10e yhteistoimintarobottin. (Kuva 2.) Eniten cobotihitsausjärjestelmiä on tällä hetkellä Universal Robotsin valmistamille coboteille, joten kyseinen yhteistyörobotti sopii työhön hyvin.

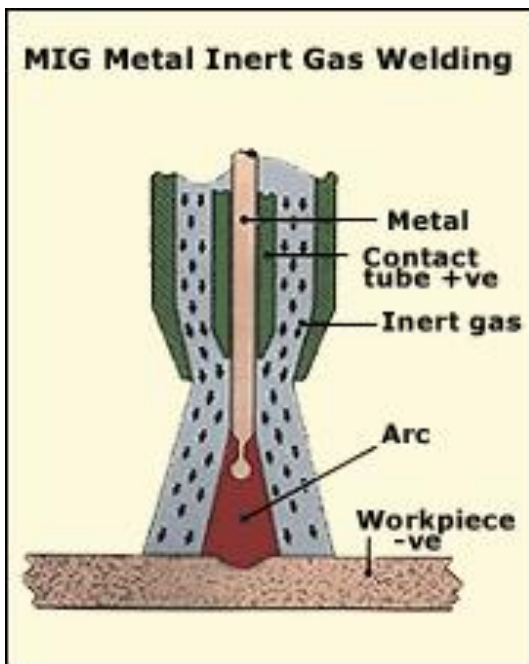


KUVA 2. UR10e-yhteistoimintarobotti (12)

2.2.2 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa suoja-kaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välissä (kuva 3). Valokaari

sulattaa hitsattavaa kappaletta ja hitsauslankaa. Hitsauslangasta siirtyy sulaa metallia pieninä pisaroina hitsisulaan. Termit MIG ja MAG tulevat englanninkielisistä sanoista Metal-Arc Inert Gas Welding ja Metal-Arc Active Gas Welding. MIG-hitsauksessa suojakaasuna käytetään inerttiä eli reagoimatonta kaasua. Inerttejä kaasuja ovat argon ja helium. MAG-hitsauksessa puolestaan käytetään aktiivista suojakaasua. Tällaisia suojakaasuja ovat puhdas hiilidioksidi tai argonin ja hiilidioksidin muodostama seoskaasu. Nykyään MIG/MAG-hitsaus on yleisin hitsausprosessi useimmissa maissa. (13.)



KUVA 3. Kaasukaarihitsausprosessi (13)

3 ESISUUNNITTELU

3.1 Tiedonhaku

Tiedonhakuvaiheessa etsittiin eri valmistajien robottihitsausjärjestelmiä ja -kokonaisuuksia vertailua varten. Tietoa kerättiin yhteensä kymmenestä eri kokonaisuudesta (liite 1). Kokonaisuuksista kirjattiin muistiin taulukon 1 esittämiä ominaisuuksia.

TAULUKKO 1. Järjestelmäkokonaisuuksista kerätyt ominaisuudet

| | |
|---------------------|---|
| Ominaisuudet | Kuumalangan sisäänveto |
| | Vaaputus |
| | Puhdistusasema |
| | Ohjainkappale |
| | Solun pöytämalli |
| | Robotin sijoittelu |
| | Mahdolliset hitsattavat materiaalit |
| | Polttimen ja langan reititys (robotin sisällä vai ulkopuolella) |
| | Robottisolun mitat (P, L, K) |
| | Hitsauspöydän mitat (P, L, K) |
| | CE-hyväksytty |
| | Lähin maahantuojaja |
| | Hinta, mitä sisältää? |

Tiedonhakuvaiheessa kaikkiin vaihtoehtoihin ei saatu täydennettyä tietoja jokaisesta ominaisuudesta. Puuttuvista tiedoista kysyttiin kunkin järjestelmäkokonaisuuden toimittajalta, mutta vastauksia ei saatu. Taulukon 1 avulla saatiin rajattua, mitä järjestelmävaihtoehtoja aletaan tarkastella tarkemmin.

3.2 Järjestelmävaihtoehtojen jäsentäminen

Tilaajan toiveesta yksityiskohtaista vertailua varten valittiin pelkästään Universal Robotsin valmistamien UR10- ja UR10e-robottien kanssa yhteensopivia järjestelmävaihtoehtoja. Tarkempaan vertailuun otettiin neljä eri UR10 ja UR10e yhteensopivaa järjestelmäkokonaisuutta. Vertailuun valittiin hitsaussovellukset Fsk Industries GmbH & Co. KG – SmartArc, Migatronic A/S – CoWelder, Kemppi Oy - A7 MIG Welder ja Vectis LLC - Cobot Welding Tool. Projektiryhmä valitsi nämä neljä vaihtoehtoa yksityiskohtaiseen tarkasteluun, koska kyseiset vaihtoehdot oli kehitetty pisimmälle ja ne vaikuttivat toimivimmilta.

3.3 Vaihtoehtojen arviointi ja valinta

Neljää valittua laitteistoa vertailtiin ja ne pisteytettiin Excel-taulukossa eri arviointikriteerien avulla (liite 2). Arviointikriteerit ja niiden painokertoimet määriteltiin tilaajan edustajien kanssa (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Arviointikriteerit

| Arviointikriteeri | Painokerroin 0 - 1 |
|---|-----------------------|
| Alhaiset valmistuskustannukset | 0,15 |
| Helppokäyttöisyys; käyttöliittymä, ohjelmointi | 0,1 |
| Huollon sekä tuen saatavuus ja kustannukset, takuu | 0,1 |
| Hyvä käyttöturvallisuus | 0,15 |
| Hitsausominaisuudet; vaaputus, parametrien säätö, valokaaren seuranta | 0,2 |
| Ohjainkappaleen ominaisuudet; ohjelmoitavat painikkeet (määrä ja toiminnot) | 0,15 |
| CE-merkintä | 0,15 |

3.3.1 Fsk Industries GmbH & Co. KG – SmartArc

Eniten pisteitä arvioinnissa sai Fsk Industries GmbH & Co. KG – SmartArc. Tässä järjestelmäkokonaisuudessa on Froniuksen hitsauslaitteisto. Yhteispisteitä se sai 3,9, kun maksimipistemäärä oli 5. Fsk Industriesilta saa valmiin SmartCell-nimisen hitsausrobottisolun, johon SmartArc-robottihitsausjärjestelmä myös kuuluu. (Kuva 4.) SmartCell robottisolukokonaisuus on varustettu CE-merkinnällä. Neljästä vertailtavasta järjestelmäkokonaisuudesta tämä oli kallein. Tämän järjestelmäkoonpanon detaljitietoja käsitellään luvussa 4.1.



KUVA 4. Fsk Industries GmbH & Co. KG – SmartCell (14)

Vaihtoehtojen arvioinnin jälkeen päädyttiin valitsemaan SmartArc-järjestelmäkokonaisuus tilaajalle hitsausrobottisolun. SmartArc-järjestelmäkokonaisuus on pisimmälle kehitetty ja monipuolisin ominaisuuksiltaan. Froniuksen hitsauslaitteisto on hyvä hitsausominaisuuksiltaan. Lisäksi tilaajalla on valmiiksi käytössä Froniuksen hitsauslaitteita, joten esimerkiksi teknistä tukea hitsauslaitteelle olisi helppo saada.

3.3.2 Migatronic A/S – CoWelder

Toiseksi eniten pisteitä vertailussa sai Migatronic A/S – CoWelder (kuva 5). Se sai 3,25 pistettä, kun maksimipistemäärä oli 5. Järjestelmässä käytetään Migatronic-merkkistä hitsauslaitteistoa. Kokonaisuus on varustettu CE-merkinnällä ja se on vaihtoehdoista toiseksi edullisin. Tälle järjestelmäkokonaisuudelle ei ole tehty omaa käyttöliittymää, joten ohjelmointi olisi hieman hitaampaa ja työläämpää. Tässä kokonaisuudessa on ohjainkappale, mutta siinä on vain yksi painike. Painikkeella saa ohjattua robottia freedrive-tilassa.



KUVA 5. Migatronic A/S – CoWelder (15)

3.3.3 Vectis LLC – Cobot Welding Tool

Kolmanneksi arvioinnissa sijoittui Vectis LLC – Cobot Welding Tool (kuva 6). Pisteitä se sai 2,9, kun maksimipistemäärä oli 5. Järjestelmäkokonaisuudessa on

käytössä Miller merkinen hitsauslaitteisto. Robotin ohjelmointiin on oma mukautettu käyttöliittymä, jonka avulla ohjelmointi on sujuvaa. Järjestelmällä on hyvät hitsausominaisuudet kuten vaaputusominaisuus. Robotin ohjainkappaleessa on yksi painike, jolla voi liikuttaa robottia freedrive-tilassa. Kokonaisuutta ei ole varustettu CE-merkinnällä.



KUVA 6. Vectis LLC – Cobot Welding Tool (16)

3.3.4 Kemppi Oy – A7 MIG Welder

Vähiten pisteitä sai Kemppi Oy - A7 MIG Welder-järjestelmäkokonaisuus (kuva 7). Pisteitä arvioinnissa se sai 2,75, kun maksimipistemäärä oli 5. Vertailtavista

vaihtoehtoista se on kuitenkin edullisin. Järjestelmäkokonaisuudessa käytetään Kempin hitsauslaitteistoa. Järjestelmässä ei ole omaa mukautettua käyttöliittymää robotin ohjelmointia varten eikä ohjainkappaletta. Huollon saatavuus Kempin hitsauslaitteistolle on hyvä. Kokonaisuutta ei ole varustettu CE-merkinnällä. Virtalähteen säätö onnistuu selaimella, ja sinne saa tallennettua monia säätöjä eri hitsausohjelmia varten. Hitsauslaitteistolle on ostettavissa monia hyödyllisiä lisäominaisuuksia ja kokonaisuuteen saa liitettyä hitsauspolttimen puhdistusase-
man.



KUVA 7. Kemppi Oy - A7 MIG Welder (17)

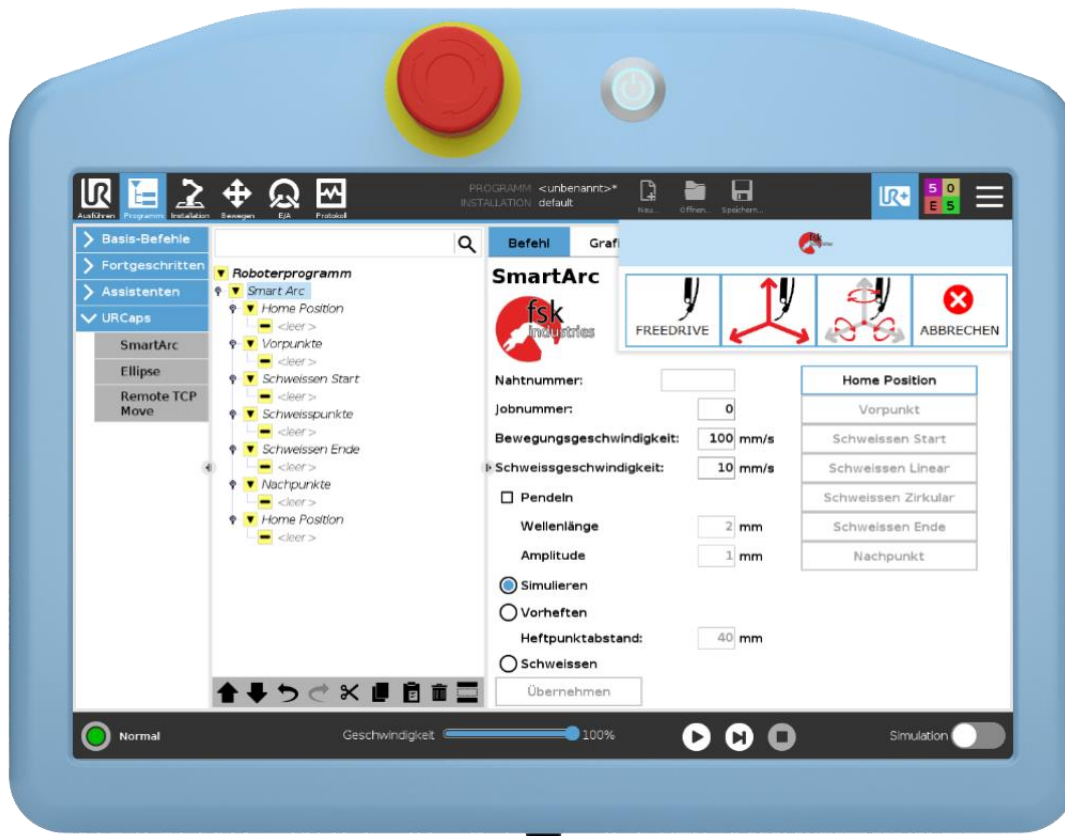
4 YKSITYISKOHTAINEN SUUNNITTELU

Yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheessa projektissa syvennyttiin tarkemmin valittuun hitsausjärjestelmään eli Fsk Industriesin SmartArciin. Alkuperäinen suunnitelma oli, että testihitsauksia suoritettaisiin tällä hitsausjärjestelmällä tilaajan valitsemille nimikkeille. Kyseistä järjestelmäkokonaisuutta ei kuitenkaan ollut Suomessa saatavilla, joten testihitsaukset suoritettiin Oulun ammattikorkeakoulun hitsauslaitteistolla.

4.1 Järjestelmäkoonpanon detaljitietojen tarkentaminen

Fsk Industriesilla oli vaihtoehtona kolme erilaista virtalähdettä valittuun järjestelmäkoonpanoon. Vaihtoehtoja olivat Froniuksen TPS 320i, TPS 400i ja TPS 500i -malliset virtalähteet. Tilaajalla oli valmiina jo käytössä TPS 320i -mallisia virtalähteitä käsin hitsauksessa, joten todettiin sen olevan sopiva myös robottihitsaukseen.

Tässä järjestelmäkokonaisuudessa hyvää on sen helppokäyttöisyys ja monipuolisuus. Robotin ohjelmointia varten on oma käyttöliittymä, jonka ansiosta ohjelmointi vaikuttaa nopealta ja helpolta. (Kuva 8.) Lisäksi järjestelmässä on monipuoliset hitsausominaisuudet. Siinä on vaaputusominaisuus ja valokaaren seuranta.



KUVA 8. Fsk Industriesin robottikäyttöliittymä (18)

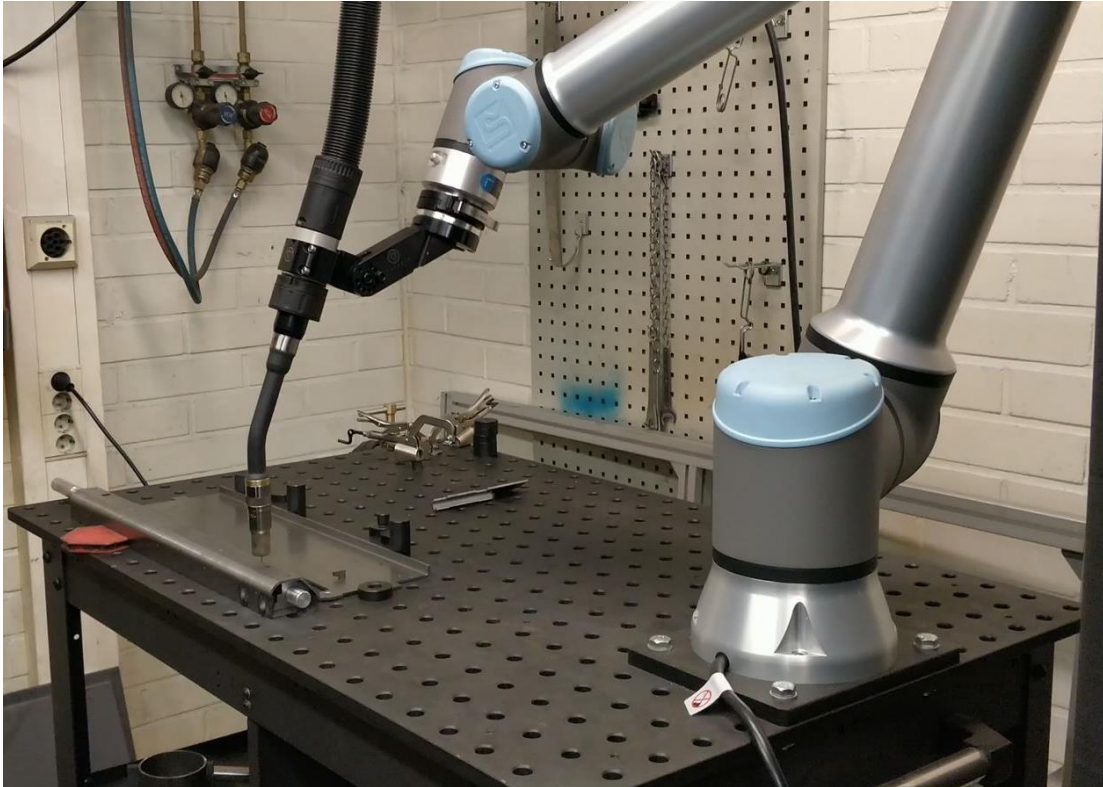
Fsk Industriesin SmartArc-järjestelmäkoonpanossa on myös ohjainkappale, jonka avulla robottia voidaan ohjelmoida ja ohjata. (Kuva 9.) Painikkeita ohjainkappaleessa on kolme: freedrive, pistehitsaus ja vapaasti ohjelmoitava painike. Freedrive-painikkeella robottia voidaan liikuttaa käsin haluttuun paikkaan. Hitsauspainikkeella voi tehdä silloitushitsauksia tarvittaessa.



KUVA 9. Ohjainkappale (18)

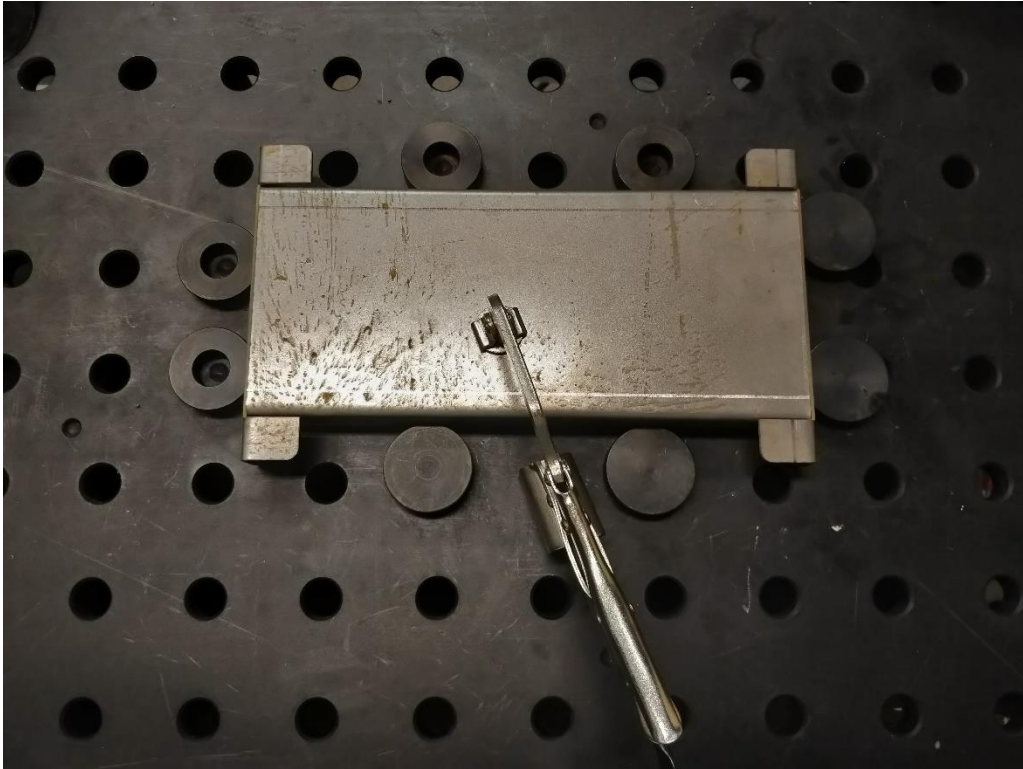
4.2 Järjestelmäkoonpanon toiminnallisuuden tarkentaminen ja testaus

Alkuperäinen suunnitelma oli, että valittua järjestelmäkokonaisuutta päästäisiin testaamaan ja tarkastelemaan käytännössä. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista, koska kyseistä järjestelmäkokonaisuutta ei ollut Suomessa saatavilla. Tämän vuoksi robotihitsaustestit tehtiin Oulun ammattikorkeakoulun laitteistolla. Oulun ammattikorkeakoulun koonpanossa oli käytössä UR10e-yhteistoiminta-roboti sekä Kempin A7 MIG-welder-järjestelmäkokonaisuus. (Kuva 10.) Testihitsauksien tarkoitus oli selvittää, voisiko tilaajan valitsemissä nimikkeissä hitsata yhteistoimintarobotiikkaa hyödyntäen. Testihitsauksia suoritettiin kahdelle erilaiselle nimikkeelle.



KUVA 10. Oulun ammattikorkeakoulun järjestelmäkokonaisuus

Ensimmäinen hitsattava nimike oli sähkökotelon kansilevyn kokoonpano, joka koostuu kolmesta erillisestä osasta. Kokoonpanon osat valmistettiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Kokoonpano kiinnitettiin hitsauspöytään yleiskiinnittimien avulla. (Kuva 11.) Yleiskiinnittiminä oli magneetteja, tappeja ja puristin.



KUVA 11. Sähkökotelon kansilevyn kokoonpano

Testihitsaukset nimikkeelle onnistuivat hyvin. Aluksi ongelmia aiheuttivat kappaleiden epäsymmetrisyys, sillä kaikki särmätyt kulmat eivät olleet tasan 90 asteen kulmassa. Tämän vuoksi kappaleiden välissä olevat raot olivat erisuuruisia. Tämä huomattiin ja kappaleiden särmäyksiä tarkennettiin lähelle 90 asteen kulmaa. Pieni materiaalipaksuus aiheutti aluksi hieman haasteita hitsausarvojen säätämiseen, koska läpipalamista tapahtui helposti. (Kuva 12.)



KUVA 12. Testikappaleeseen sulanut reikä

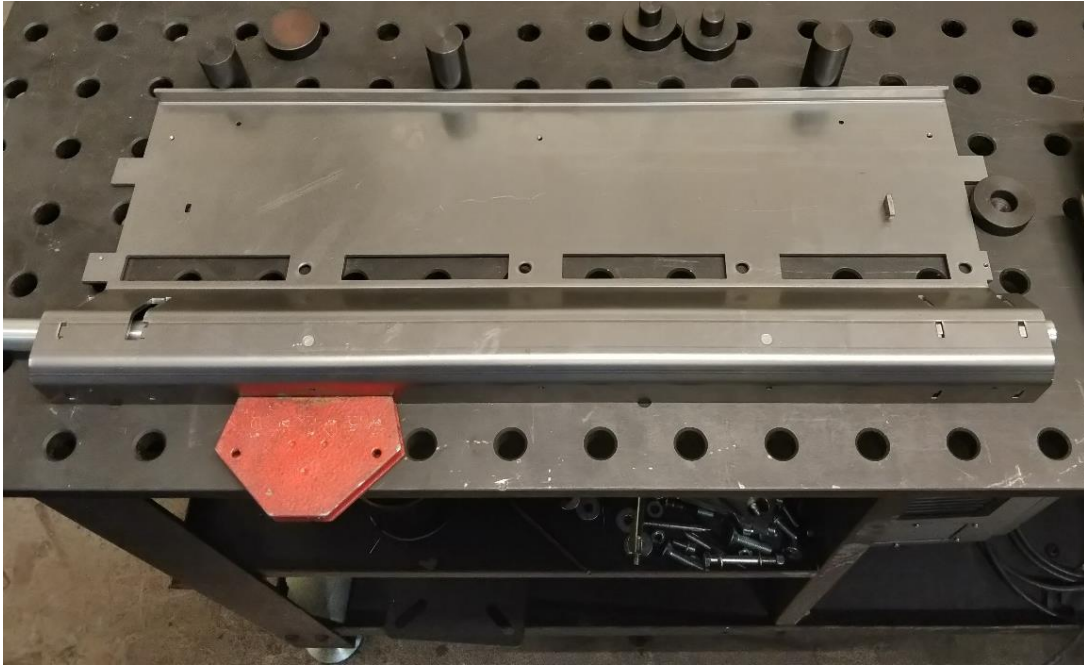
Virtalähteen arvoja ja robotin liikenopeutta muuttamalla päästiin kuitenkin haluttuun lopputulokseen. Robotilla saatiin aikaa todella siistiä hitsisaumaa, kunhan robotin liikenopeus ja virtalähteen arvot saatiin säädettyä kohdilleen. Robotilla hitsattua kappaletta verrattiin käsin hitsattuun kappaleeseen (kuva 13). Tarkoituksena oli saada aikaan yhtä siistiä ja tasaista hitsausjälkeä kuin käsin hitsaamalla.



KUVA 13. Tilaajan valmistama käsin hitsattu kokoonpano vasemmalla, robotilla hitsattu oikealla

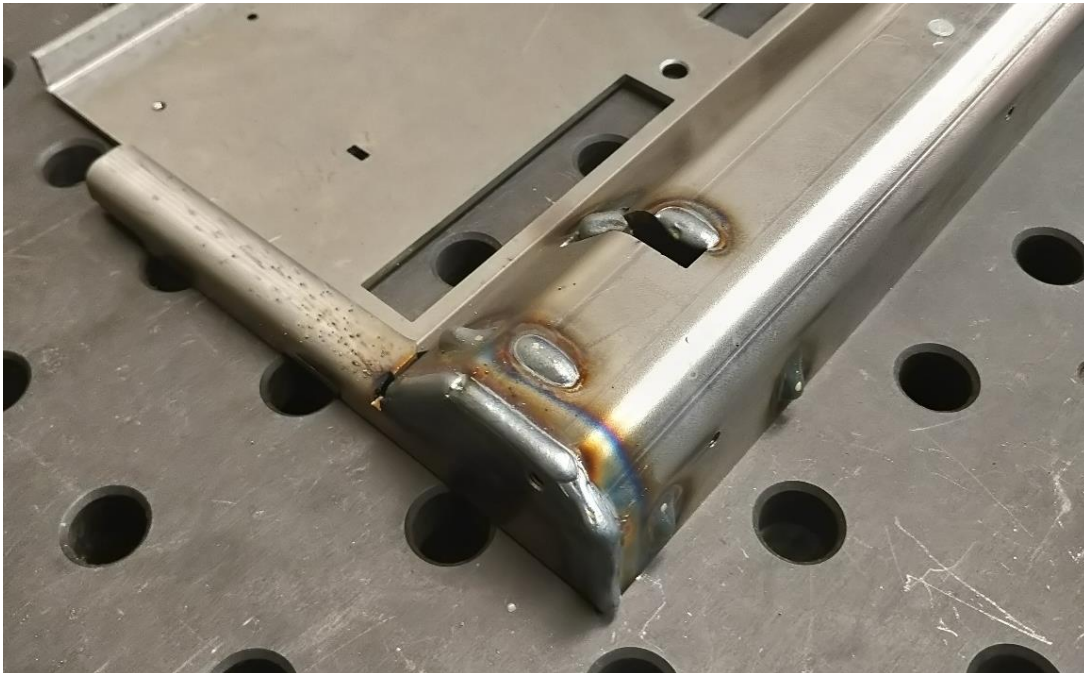
Kuten kuvassa 13 näkyy, lopulta robotilla saatiin aikaan todella siistiä hitsausjälkeä. Käsin hitsatun ja robotilla hitsatun kappaleen välillä ei ollut juuri eroja hitsausjäljen laadussa.

Toinen testihitsattava nimike oli etukannen kokoonpano. Tämä nimike oli hieman haastavampi kuin ensimmäinen, koska kokoonpanoon kuului monta erikokoista ja -muotoista osaa. Hitsattavat muodot olivat myös haastavampia kuin ensimmäisessä nimikkeessä. Myös tämä nimike saatiin kuitenkin kiinnitettyä hitsauspöytään yleiskiinnittimien avulla. Yleiskiinnittiminä käytettiin magneetteja ja pöydän reikiin kiinnitettäviä tappeja. (Kuva 14.)



KUVA 14. Toinen testihitsattava nimike

Testihitsaukset robotiikkaa hyödyntäen menivät hyvin myös toiselle testihitsattavalle nimikkeelle. Tämän nimikkeen materiaalipaksuus oli suurempi kuin ensimmäisen nimikkeen, joten levyyn ei palanut reikiä niin helposti. Virtalähteen arvot ja robotin liikenopeus saatiin säädettyä sopivaksi ja saatiin aikaan hyvää hitsausjälkeä. (Kuva 15.)



KUVA 15. Toisen nimikkeen testihitsauksen tuloksia

Pystysuoraa tai vinoa pintaa hitsattaessa hitsisula valui vähän alaspäin. Laboratoriohenkilökunta arveli, että virtalähteen arvoja säätämällä tämän olisi saanut kuitenkin korjattua. Enempää testihitsauksia ei keretty tehdä, sillä Oulun ammattikorkeakoulu suljettiin koronaviruspandemian vuoksi. Testihitsausten perusteella voitiin kuitenkin todeta, että tilaajan valitsemissä nimikkeissä voi hitsata robotiikkaa hyödyntäen.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyö tehtiin osana Hitsausrobotisolu-projektia. Projektin tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa hitsausrobotisolu tilaajan tarpeisiin. Opinnäytetyössä tutkittiin yhteistoimintarobottin soveltuvuutta hitsaukseen ja valittiin siihen soveltuva hitsauslaitteisto. Opinnäytetyön tuloksena syntyi hitsausrobotisolussa käytettävän hitsauslaitteiston valinnan mahdollistava teknologiaselvitys tilaajan käyttöön. Kokonaisuuden tavoitteena oli tutkia, miten yhteistoimintarobotti soveltuu hitsauksessa tilaajan tarkoituksiin.

Tilaaaja päätti työssä käytettävän yhteistoimintarobottin. Käytettävä yhteistoimintarobotti oli UR10e. Robotin hitsauslaitteisto valittiin etsimällä eri järjestelmävaihtoehtoja ja vertailemalla niitä keskenään. Hitsauslaitteistoksi valittiin Fsk Industriesin valmistama SmartArc. Virtalähteeksi hitsauslaitteistolle valittiin Fronius TPS 320i, koska tilaajalla oli samanlaisia virtalähteitä käytössä käsin hitsauksessa. Järjestelmävaihtoehtojen vertailu tehtiin Excel-taulukossa erilaisten arviointikriteerien avulla.

Seuraavassa opinnäytetyön vaiheessa testattiin tilaajan valitsemien nimikkeiden hitsausta robotilla. Testeissä käytettiin Oulun ammattikorkeakoulun hitsausrobotisoluja. Oulun ammattikorkeakoulun solussa oli käytössä UR10e-yhteistoimintarobotti ja Kempin A7 MIG Welder -robotihitsauslaitteisto. Testien tarkoitus oli todentaa, onnistuuko tilaajan nimikkeiden hitsaus robotiikalla. Testihitsausten perusteella voitiin todeta, että tilaajan valitsemia nimikkeitä voi hitsata robotiikkaa hyödyntäen.

Työssä ongelmia aiheutti koronaviruspandemia. Testihitsauksia ei keretty pandemian vuoksi tehdä niin paljoa kuin oli alun perin suunniteltu. Kokonaisuudessaan työ onnistui kuitenkin hyvin, laaditussa aikataulussa pysyttiin ja päästiin asetettuun tavoitteeseen. Työ oli todella opettavainen, sillä kokemusta projektityöskentelystä ja suunnittelusta kertyi paljon. Työssä korostui aikataulutuksen merkitys. Tarkasti laaditulla aikataulusuunnitelmalla työt tuli tehtyä ajallaan. Tilaajan

kanssa pidettiin viikkopalaveri kerran viikossa. Viikkopalaverien avulla tilaaja pysyi hyvin ajan tasalla työn etenemisessä ja projektiryhmä sai tarvittaessa neuvoja ja ideoita työhön.

LÄHTEET

1. Scanfil Oyj. 2019. Scanfil. Saatavissa: <http://www.scanfil.fi/yritys.html>. Hakupäivä 20.1.2020.
2. Erkkilä, Jorma 2018. Analyytikko: Scanfil on hintaansa arvokkaampi. Salkunrakentaja. Salkkumedia Oy. Saatavissa: <https://www.salkunrakentaja.fi/2018/12/scanfil-hinta/>. Hakupäivä 4.5.2020.
3. Ålander, Aleks 2020. Hitsausrobotisolun suunnittelu. Valmisteilla oleva opinäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, konetekniikan tutkinto-ohjelma
4. Robottihitsaus. 2020. Ionix Oy. Saatavissa: <http://www.ionix.fi/fi/teknologia/robottihitsaus/>. Hakupäivä 25.1.2020.
5. What are the advantages of robot welding over manual welding? 2020. RobotWorks. Saatavissa: <https://www.robots.com/articles/what-are-the-advantages-of-robot-welding-over-manual-welding>. Hakupäivä 25.1.2020.
6. SFS-EN ISO 10218-1. 2009. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
7. The Impact of Robotic Process Automation on the Automotive Industry. 2018. Medium. Saatavissa: https://medium.com/@cigen_rpa/the-impact-of-robotic-process-automation-on-the-automotive-industry-6a0eabaf9ee1. Hakupäivä 11.2.2020.
8. Heer, Carsten 2018. Robots double worldwide by 2020. IFR. Saatavilla: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robots-double-worldwide-by-2020>. Hakupäivä 11.2.2020.
9. SFS-EN ISO 10218-2. 2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

10. Kalliovalkama, Arttu. Miksi yhteistoimintarobottiin kannattaa investoida? Etteplan Oyj. Saatavissa: <https://www.etteplan.com/fi/artikkelit/miksi-yhteistoimintarobottiin-kannattaa-investoida>. Hakupäivä 11.2.2020.
11. Cobot. 2020. Wikipedia. Saatavissa: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cobot>. Hakupäivä: 12.2.2020
12. The UR10e Collaborative Industrial Robot. 2020. Universal Robots A/S. Saatavilla: <https://www.universal-robots.com/products/ur10-robot/>. Hakupäivä 23.4.2020
13. MIG/MAG-hitsaus. 2020. Esab Oy. Saatavissa: <https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/mig-mag-hitsaus.cfm>. Hakupäivä: 22.3.2020
14. SmartCell. 2020. Fsk industries GmbH & Co. Saatavissa: <https://www.fsk-industries.de/smartcell/>. Hakupäivä: 23.4.2020
15. CoWelder. 2020. Migatronik A/S. Saatavissa: <https://www.migatronik.com/en/products-and-solutions/welding-machines/cowelder/>. Hakupäivä 23.4.2020
16. Vectis Automation. 2020. Vectis Automation LLC. Saatavissa: <https://vectisautomation.com/>. Hakupäivä: 23.4.2020
17. A7 MIG Welder. 2020. Kemppi Oy. Saatavissa: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/family/a7-mig-welder/>. Hakupäivä 23.4.2020
18. UR + SmartArc. 2020. Fsk industries GmbH & Co. Saatavissa: <https://www.fsk-industries.de/ur-smartarc/>. Hakupäivä: 23.4.2020

| | UR+ SmartArc/SmartCell-solu fsk industries GmbH & Co. KG https://www.fsk-industries.de/en/ur-smartarc/# | | | COLLABORATIVE ROBOTIC WELDER Scott Automation https://www.scottautomation.com/assets/Uploads/UR-COBOT-Brochure-web.pdf | | | The Lorch Cobot Welding Package Lorch Schweißtechnik GmbH https://www.lorch-cobot-welding.com/packages/ | | | Migatronik – CoWelder Migatronik A/S https://www.migatronik.com/en/products-and-solutions/welding-machines/cowelder/ | | | The BotX Welding Cobot Red-D-Arc Inc. https://www.red-d-arc.com/robotic-welding.aspx | | |
|---|--|-------------|--------------------------------------|---|------------|---|---|------------|---------------------|--|--------------|---|---|------------|--------------------|
| | Robotti | Virtalähde | Huom. | Robotti | Virtalähde | Huom. | Robotti | Virtalähde | Huom. | Robotti | Virtalähde | Huom. | Robotti | Virtalähde | Huom. |
| | | UR10e, UR5e | Fronius TPSi, including Weldingtorch | Licence type: One-time purchase incl. 1 year (UR sivulla lukee 2 vuotta) maintenance and new updates, renewal costs extra | UR10, UR5 | 1: Fronius a. TransSteel Compact (MIG / MAG) b. Trans Pulse Synergic (TPSi) c. Cold Metal Transfer (CMT) 2: ESAB a. Aristo 5000i (MIG / MAG) 3: Kemppi a. FastMig b. FastMig Synergic c. A7 MIG Robotic | | UR10 | Lorch S5-RoboMIG XT | CE mark according to DIN EN 12100 (Intended use: Cobot for welding on a welding bench) | UR5 tai UR10 | Sigma Select C 400/400 IAC tai Omega² 300 | Robottialusta säädettävissä pöydän mukaan | UR10e | Miller XMT 350 MPa |
| Kuumalangan sisäänveto | kyllä | | | ainakin Froniuksella | | | | | | | | | | | |
| Vaaputus | Kyllä, vaaputusnopeuden ja -leveyden säätö | | | Ei ole | | | Ei ole | | | Ei ole | | | Ei ole | | |
| Puhdistusasema | Froniuksen laitteistolle on olemassa puhdistusasema. | | | Froniuksen ja Kempin laitteistoille on olemassa puhdistusasema. | | | Ei ole | | | Ei ole | | | kyllä | | |
| Ohjainkappale | Kyllä, 3 painiketta: freedrive, heppaus | | | Kyllä, freedrive ja set waypoint | | | Ei ole | | | Kyllä, Freedrive painike 6. nivelessä | | | Ei ole | | |
| Solun pöytämalli | Reikäpöytä | | | Reikäpöytä | | | Reikäpöytä | | | Pöytää ei tule mukana | | | Reikäpöytä | | |
| Robotin sijoittelu | hitsauspöydän vieressä | | | hitsauspöydän yläpuolella | | | hitsauspöydällä | | | erillisellä tasolla | | | hitsauspöydällä | | |
| Mahdolliset hitsattavat materiaalit | Ruostumaton teräs, rauta, alumiini | | | Ruostumaton teräs, rauta, alumiini | | | teräs, rauta, alumiini | | | | | | | | |
| Polttimen ja langan reititys (robotin sisällä vai ulkopuolella) | Robotin ulkopuolella | | | Robotin ulkopuolella | | | Robotin ulkopuolella | | | Robotin ulkopuolella | | | Robotin ulkopuolella | | |
| Robottisolun mitat(P,L,K) | | | | | | | | | | -- | | | 1,2x1,2x1,95m | | |
| Hitsauspöydän mitat(P,L,K) | | | | 1,2x1,2m | | | | | | -- | | | 1,2x1,2x0,4m | | |
| CE-hyväksytyt | Kyllä | | | | | | Kyllä | | | Kyllä | | | Ei ole | | |
| Lähin maahantuojat | Saksa | | | Saksa | | | Saksa | | | Suomi, Tuusula | | | | | |
| Hinta, mitä sisältää? | | | | | | | | | | MIG/MAG 50-55 000€, (TIG 59-63 000€) | | | | | |

Ominaisuudet

| Kempfi A7 MIG Welder Kempfi Oy https://www.kempfi.com/fi-FI/tuotteet/family/a7-mig-welder/ | | | Fanuc Collaborative Arc Welding Fanuc Ltd. https://roboticsandautomationnews.com/2019/11/21/fanuc-unveils-new-range-of-collaborative-robots-for-arc-welding/26853/ | | | Akon ASK-100 Akon Robotics https://www.akon-robotics.de/schweisroboter-systeme/schweisroboter-kabine/schweisroboter-zelle-ask-100 | | | SnapWeld ARC Specialties https://www.arcspecialties.com/products/snapweld-arc-specialties/ | | | Vectis Cobot Welding Tool Vectis Automation https://vectisautomation.com/ | | |
|--|---|-------|--|--|--------------------------------|--|-----------------------------|-------|--|--------------------------------|-------|---|--|---|
| Robotti | Virtalähde | Huom. | Robotti | Virtalähde | Huom. | Robotti | Virtalähde | Huom. | Robotti | Virtalähde | Huom. | Robotti | Virtalähde | Huom. |
| Mikä tahansa | A7 Power Source 350 tai A7 Power Source 450 | | Fanuc CR-15iA tai CR-7iA | Lincoln Power Wave R450 | Julkaistaan joulukuun 18 päivä | KUKA hitsausrobotti | DINSE | | UR5/5e ja UR10/10e | Miller XMT-350 | | UR10e | Miller Invision 352 Mpa MIG Welder | |
| | | | | | | | kyllä | | | | | | | Kuumalangan sisäänveto? |
| | Ei ole | | | kyllä | | | kyllä | | | Ei ole vielä, mutta on tulossa | | | Kyllä, ohjelmistossa parametrien säätö | Vaaputus |
| | Kyllä | | | kyllä | | | kyllä | | | ei | | | ei | Puhdistusasema |
| | Ei ole | | | | | | Ei ole | | | Kyllä, 2 painiketta | | | Kyllä, freedrive painike | Ohjainkappale |
| | -- | | | -- | | | Pyörivä Siegmund reikäpöytä | | | Pöytää ei tule mukana | | | Liikuteltava reikäpöytä, pöydässä myös renkaat | Solun pöytämalli |
| | -- | | | voidaan sijoittaa lattialle tai kattoon | | | pöydän vieressä | | | -- | | | pöydällä | Robotin sijoittelu |
| | Ruostumaton teräs, rauta, alumiini | | | | | | | | | | | | Ruostumaton teräs, rauta, alumiini | Mahdolliset hitsattavat materiaalit |
| | Riippuu robotista | | | CR-15iA mallissa on mahdollista vetää ranteen läpi | | | Riippuu robotista | | | Robotin ulkopuolella | | | Robotin ulkopuolella | Polttimen ja langan reititys (robotin sisällä vai ulkopuolella) |
| | -- | | | | | | | | | -- | | | | Robottisolun mitat |
| | -- | | | | | | | | | -- | | | 1,2x0,8x0,9m | Hitsauspöydän mitat(P,L,K) |
| | | | | | | | Ei ole | | | Ei ole | | | Ei ole | CE-merkintä |
| | Suomi | | | | | | Saksa | | | Yhdysvallat | | | Yhdysvallat | Lähin maahantuoja |
| | | | | | | | | | | | | | | Hinta, mitä sisältää? |

Ominaisuudet

| Arviointikriteeri | Painokerroin 0-1 | Ratkaisuvaihtoehdot | | | | | | | | Arviointikriteeri |
|--|---------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|--|
| | | Fsk Industries/SmartArc | | Migatroni - CoWelder | | Kemppi A7 MIG Welder | | Vectis Cobot Welding Tool | | |
| | | Arvosana | Painotettu arvosana | Arvosana | Painotettu arvosana | Arvosana | Painotettu arvosana | Arvosana | Painotettu arvosana | |
| Alhaiset valmistuskustannukset | 0,15 | 2 | 0,3 | 4 | 0,6 | 5 | 0,75 | 3 | 0,45 | Alhaiset valmistuskustannukset |
| Helppokäyttöisyys; käyttöliittymä, ohjelmointi | 0,1 | 4 | 0,4 | 2 | 0,2 | 3 | 0,3 | 4 | 0,4 | Helppokäyttöisyys; käyttöliittymä, ohjelmointi, parametrien säätö |
| Huollon/tuen saatavuus ja kustannukset, takuu | 0,1 | 3 | 0,3 | 4 | 0,4 | 4 | 0,4 | 2 | 0,2 | Huollon/tuen saatavuus ja kustannukset, takuu |
| Hyvä käyttöturvallisuus | 0,15 | 4 | 0,6 | 4 | 0,6 | 4 | 0,6 | 4 | 0,6 | Hyvä käyttöturvallisuus |
| Hitsausominaisuudet; vaaputus, parametrien säätö, valokaaren seuranta | 0,2 | 4 | 0,8 | 2 | 0,4 | 2 | 0,4 | 4 | 0,8 | Hitsausominaisuudet; vaaputus, parametrien säätö, valokaaren seuranta |
| Ohjainkappaleen ominaisuudet; ohjelmoitavat painikkeet(määrä ja toiminnot) | 0,15 | 5 | 0,75 | 2 | 0,3 | 1 | 0,15 | 2 | 0,3 | Ohjainkappaleen ominaisuudet; ohjelmoitavat painikkeet(määrä ja toiminnot) |
| CE-merkintä | 0,15 | 5 | 0,75 | 5 | 0,75 | 1 | 0,15 | 1 | 0,15 | CE-merkintä |
| Yhteensä | 1 | 3,9 | | 3,25 | | 2,75 | | 2,9 | | Yhteensä |