

Ville Iivari

**ROBOTTIHITSAUSSOLUN SUUNNITTELU, VALMISTUS JA  
TESTAUS**

# **ROBOTTIHITSAUSSOLUN SUUNNITTELU, VALMISTUS JA TESTAUS**

Ville Iivari  
Opinnäytetyö  
Kevät 2020  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan koulutusohjelma, koneautomaatio

---

Tekijä: Ville Iivari

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Robottihitsaussolun suunnittelu, valmistus ja testaus.

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Design, Manufacturing and Testing of Robot Welding Cell.

Työn ohjaaja: Vesa Rahkolin

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2020

Sivumäärä: 53 + 0 liitettä

---

Opinnäytetyössä suunniteltiin, valmistettiin ja käyttöön otettiin robottihitsaussolu Oulun ammattikorkeakoulun tiloihin. Työn ensisijaisena tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa hitsaussolu kollaboratiivista robottitekniikkaa käyttäen. Toissijaisena tavoitteena oli tehdä solusta yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Työssä valmistettiin ja automatisoitiin ohjaamon osien hitsaus neljälle erilaiselle kappaleelle.

Yrityksessä tähän mennessä valmistetut ohjaamon osat on tehty käsin hitsaamalla. Yritys on halunnut, että yksinkertaisia hitsaustoimenpiteitä voitaisiin automatisoida ja siten siirtää näitä tuotteita valmistava työntekijä muihin työtehtäviin. Yritys on myös halunnut, että robottihitsaussolu on helposti muunneltavissa ja kustannukset pysyisivät kohtuullisina.

Robottihitsaussolun suunnittelussa käytettiin Visual Components- ja SolidWorks-ohjelmistoja. Ensin suunniteltiin robottihitsaussolun layout ja hitsauskiinnittimet yrityksen määrittämille kappaleille. Toiseksi valmistettiin solu ja hitsauskiinnittimet layoutin ja vaatimusten mukaan.

Tässä opinnäytetyössä simuloitiin hitsauksen liikeratoja ja rakennettiin kokoonpano robottihitsaussolusta kaikkine laitteineen, mutta käyttöönotto asiakasyrityksen toimitiloihin jätettiin pois opinnäytetyön laajuuden takia. Käyttöönotto toteutetaan myös myöhemmässä vaiheessa asiakasyrityksen tiloihin ja viimeistellään hitsaustoimenpiteet yrityksen määrittämille kappaleille.

---

Asiasanat: koneautomaatio, teollisuusautomaatio, kiinnitinsuunnittelu, robottihitsaus

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering, Machine Automation

---

Author: Ville Iivari

Title of thesis: Design, Manufacturing and Testing of Robot Welding Cell.

Supervisor: Vesa Rahkolin

Term and year when the thesis was submitted: Spring semester 2020

Pages: 53 + 0 appendices

---

In this thesis, a robot welding cell was designed, manufactured and introduced at the premises of Oulu University of Applied Sciences. The primary goal of the thesis was to design and implement a working welding cell using collaborative robotics. The secondary goal was to make the cell simple and easy to use. In the thesis project, welding of the cab parts was manufactured and automated for four different parts

The cab parts have been manufactured so far by the company by welding manually. The company wanted the simple welding operations to be automated and thus transfer an employee who manufactures these products for other more productive tasks. The company also wanted a robotic welding cell to be easily modifiable and to keep the costs low.

Visual Components and SolidWorks software were used to design the welding robot cell. First, the layout and welding fasteners of a robot welding cell were designed for the company-defined parts. Second, the cell and welding fasteners were manufactured according to the layout and requirements.

In this thesis, the trajectories of welding were simulated and an assembly of a robot welding cell with all its devices was built, but the implementation at the customer company's premises was omitted due to the scope of the thesis. The implementation was carried out at a later stage at the customer company's premises and the welding procedures were finalized for the parts specified by the company.

---

Keywords: Machine Automation, Industrial Automation, Fastener Design, Robot Welding

## ALKULAUSE

Opinnäytetyössä päästiin suunnittelemaan, toteuttamaan ja simuloimaan robottihitsaussolu Oulun ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa. Opinnäytetyön aihe saatiin NTcab Oy:ltä. Työ oli haastava ja mielenkiintoinen prosessi, josta saatiin paljon erilaista oppia robottihitsaussolun valmistamisesta yhteistyörobotiikkaa käyttäen.

Kiitokset projektin toiselle tekijälle konetekniikan insinööriopiskelija Jari Raumalle projektin ohjausjärjestelmän suunnittelusta ja avustuksesta koko kokoonpanon valmistukselle. Lisäksi haluan kiittää Oulun ammattikorkeakoulun asiantuntevaa henkilöstöä sekä opinnäytetyön ohjaaja Vesa Rahkolinia. Kiitän myös NTcab Oy:n henkilökuntaa, hallituksen puheenjohtaja Esa Pätsiä ja tehdaspäällikkö Leo Tölliä.

Oulussa 11.5.2020

Ville Iivari

## SANASTO

ATEX	ATEX-laitedirektiivillä tarkoitetaan räjähdysvaarallisten tilojen laitteiden ja suojausjärjestelmien turvallisuutta
E	hitsausenergia
kJ	kilojoule
kollaboratiivinen	tarkoittaa yhteistoiminnallista laitetta tai konetta, joka on turvallinen käyttää ihmisten läheisyydessä
MIG	Metal Inert Gas Welding eli metalli-inertti kaasuhitsaus
MAG	Metal Active Gas Welding eli metalliaktiivinen kaasuhitsaus
PB	alapiena, hitsausasento
Q	lämmöntuonti hitsauksessa
solulayout	solulayoutilla tarkoitetaan sitä, miten tuotannon laitteet, työpisteet ja kulkureitit ovat tehtaassa sijoiteltu
U	jännite V, volttia
UR10e	Universal Robot 10e, Tanskassa valmistettu yhteistyörobotti

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKULAUSE

SANASTO

1 JOHDANTO	9
1.1 Opinnäytetyön aiheen rajaus ja työn tavoite	9
1.2 NTcab Oy	10
2 HITSAUS	11
2.1 MIG/MAG-hitsaus	11
2.2 Hitsauksen kaavoja	12
2.2.1 Lämmöntuonnin laskenta ja lämpöenergia	12
2.2.2 Hitsausaikojen laskenta	15
3 ROBOTISOITU HITSAUS	16
3.1 Robottiikan määritelmä	16
3.2 Roboteista yleisesti	17
3.2.1 Cartesian-robotit	18
3.2.2 Scara-robotit	18
3.2.3 Delta-robotit	19
3.2.4 Nivelrobotit	19
3.2.5 Kollaboratiivinen robotti	20
3.3 Hitsaus kollaboratiivisella robotilla	21
3.3.1 Kempin hitsaustoiminnot	23
3.3.2 Robottihitsaus UR+ SmartArc	24
4 HITSAUSSOLUN LAITTEET	26
4.1 A7 MIG -hitsausvirtalähde	26
4.2 Turvalaitteet	27
4.3 Kollaboratiivinen robotti UR10e	28
4.4 Hitsauspöydät	28
4.5 Hitsauskiinnittimet	29
4.6 Puhdistusasema	31
4.7 Robotin jalusta	32

5	HITSAUSSOLUN MEKAANINEN SUUNNITTELU	34
5.1	Robottisolun layoutsuunnitelma	34
5.2	Robottisolun mallintaminen	34
5.3	Kiinnittimien suunnittelu	35
6	HITSAUSSOLUN VALMISTUS	36
6.1	Hitsauskiinnittimien valmistus	36
6.2	Robotin jalustan valmistus	38
6.3	Robottisolun kokoaminen	39
7	KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS	43
7.1	Hitsauksen testaus	43
7.2	Hitsausliikeratojen ohjelmointi ja paikoitus	44
7.3	Hitsaussolun liikeratojen simulointi ja testaus	45
8	TYÖN JATKO OPINNÄYTETYÖN JÄLKEEN	47
9	POHDINTA	48
	LÄHTEET	50



# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö kuuluu Oulun ammattikorkeakoulun hankkeessa mukana olevalle yritykselle. Toimeksiantajayritys NTcab Oy valmistaa työkoneiden ja nostureiden ohjaamoita alumiinista sekä teräksestä. Opinnäytetyössä tutustutaan robottihitsaussolun toimintaperiaatteisiin ja sovelletaan sitä yrityksen vaatimuksien ja tarpeiden mukaisesti.

Työn alussa perehdytään robotisoinnin, hitsauksen ja kääntöpöydän yhteistyön periaatteisiin. Opinnäytetyössä selvitetään myös, mitä odotuksia ja vaatimuksia asiakasyrityksellä on opinnäytetyöhön. Opinnäytetyö on rajattu ohjaamoiden kiinnityskorvakoiden, oven runkojen ja nostokiskon kiinnikkeiden hitsauksen automatisoinnin suunnitteluun, tarkasteluun ja testaukseen.

Opinnäytetyössä käytetään UR10e-robotia yhteistyössä Kemppi A7 -hitsausvirralähteen, puhdistusaseman, hitsauskiinnittimien, turvalaitteiston ja pyörityspöydän kanssa. Opinnäytetyössä suunnitellaan, valmistetaan ja simuloidaan robottihitsaussolu Oulun ammattikorkeakoulun toimitiloissa.

Yrityksessä ohjaamon osat valmistetaan tällä hetkellä käsin hitsaamalla. Hitsaussolun tarkoituksena on automatisoida yksinkertaisia hitsaustoimenpiteitä. Yritys haluaa automatisoida tuotantoaan ja parantaa hitsauksen kannattavuutta.

## 1.1 Opinnäytetyön aiheen rajaus ja työn tavoite

Opinnäytetyön aihe on rajattu robottihitsaussolun suunnittelulle, rakentamiselle ja testaukselle. Aluksi opinnäytetyössä oli mukana muita tehtäviä, kuten lineaarijohtimen integrointi robottiin ja robottisolun käyttöönotto yrityksen toimitiloihin. Opinnäytetyön laajuuden takia päätettiin kuitenkin jättää käyttöönotto pois tästä työstä. Työn ensisijaisena tavoitteena oli suunnitella, toteuttaa ja testata hitsaussolu kollaboratiivista robottitekniikkaa käyttäen. Toissijaisena tavoitteena oli tehdä solusta yksinkertainen, joustava ja helppokäyttöinen.

## 1.2 NTcab Oy

NTcab Oy on perustettu 1983, ja sen toimipaikka on Nivalassa. Yritys suunnittelee ja valmistaa ohjaamoita työkoneisiin ja nostureihin. Vuotuiset valmistusmäärät vaihtelevat yksittäisistä ohjaamoista satoihin kappaleisiin. Yrityksen tavoitteena on toimittaa asiakkaan tarpeiden ja vaatimusten mukaisia ohjaamokoonpanoja sovitulla aikataululla. Ohjaamopaketti sisältää kokonaisuuden mallisuunnittelusta asennusvalmiiseen ja testattuun ohjaamoon. (1.) Yrityksen liikevaihto noin 7,6 miljoona euroa 2019\03, ja siellä työskentelee noin 50 - 99 henkilöä (2).

## 2 HITS AUS

Hitsauksella tarkoitetaan standardin SFS 3052 mukaan ”osien liittämistä toisiinsa käyttämällä hyväksi lämpöä ja/tai puristusta siten, että osat muodostavat jatkuvan yhteyden”. Hitsauksessa käytetään myös lisäainetta, joka sulaa melkein samassa sulamispisteessä kuin perusaine, johon lisäainetta syötetään. (3, s. 11.)

Yleisesti terästen ja muiden metallien hitsaukseen käytetään erilaisia kaarihitsausprosesseja, kuten puikkohitsaus, MIG/MAG-hitsaus, täytelankahitsaus, jauhekaarihitsaus, TIG-hitsaus ja plasmahitsaus. Näitä hitsausprosesseja kutsutaan sulatushitsausmenetelmiksi. Hitsausta voidaan käyttää metallien, muovien ja keeraamien liittämiseen. Hitsausta käytetään myös kappaleiden pinnoitukseen ja korjaushitsaukseen, esimerkiksi akseleiden ja hammasrattaiden korjaukseen. (4.)

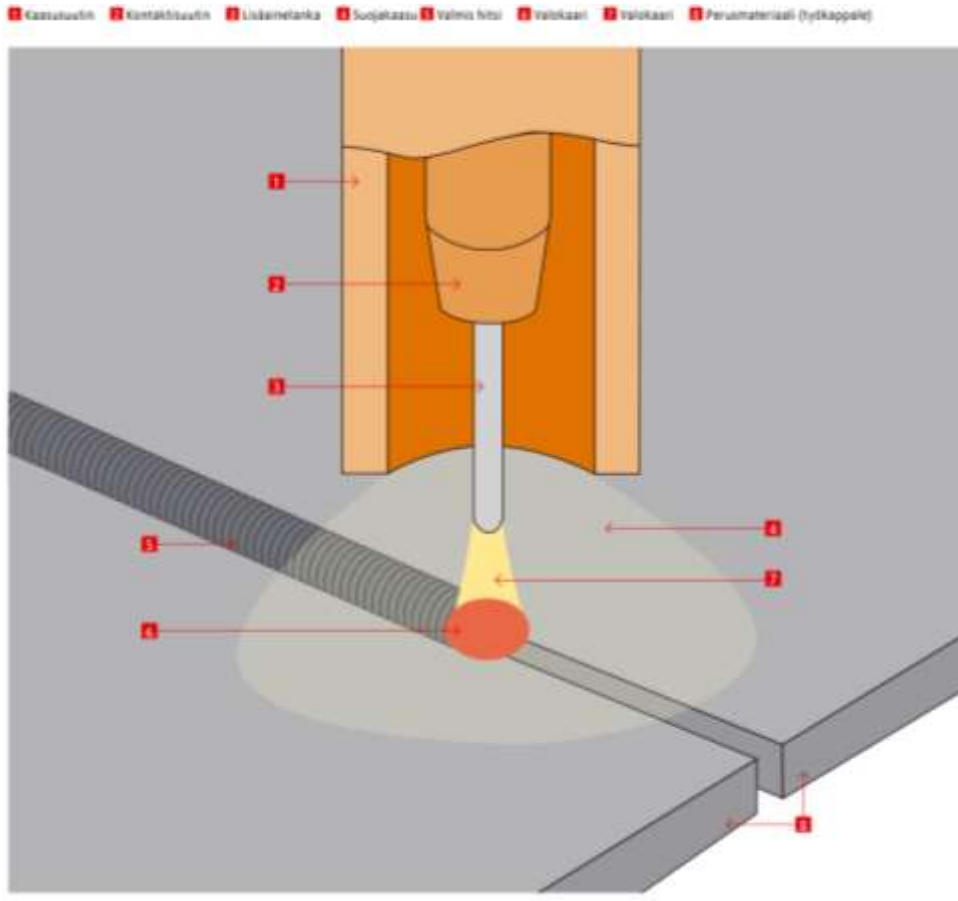
Kaarihitsauksessa käytettävä lämpö saadaan aikaan valokaarella, joka syntyy sähköenergian avulla hitsattavaan kappaleeseen. Valokaari on sähköpurkausta, jonka avulla pystytään saamaan nopeasti suuria lämpötiloja. (4.)

Hitsausprosesseja ovat esimerkiksi laserhitsaus, jossa on hiilidioksidi- tai NdYAG-laserilla tehty säde, joka kohdistetaan hitsattavaan saumaan. Lasersäteen suuren energian aikaansaama lämpö pienelle pinta-alalle sulattaa sauman ja kappaleet hitsautuvat yhteen. Kitkahitsaus, jossa käytetään kitkaa hitsauslämmön tuottamiseen. Kitkahitsausta käytetään akseleiden ja tankojen liittämismenetelmänä. Liitospintoja puristetaan ja pyöritetään toisiaan vasten. Liitospinnat pehmenevät lämmön avulla ja hitsautuvat jäähtyessään kiinni toisiinsa. Pistehitsaus on vastushitsausta, jossa toisiaan vasten olevat liitospinnat puristetaan pistemäisesti kiinni toisiinsa. Puristusvaiheessa sähkövirran aikaansaama lämpö hitsaa kappaleet toisiinsa kiinni. (5.)

### 2.1 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsauksessa valokaari syttyy, kun hitsattavaan kappaleeseen osuu hitsauspäästä tuleva hitsauslanka. Kosketuksessa syntyy oikosulku, jonka avulla oikosulkuvirta sulattaa ja höyrystää langan pään. MIG/MAG-hitsaus on sähköllä

toimiva kaasukaariprosessi, jossa valokaaren ja suojakaasun väliin syötetään lisääainetta. Lisäaine sulaa valokaaren avulla hitsattavaan perusaineeseen. Lisäainelankaa syötetään tasaisella nopeudella langansyöttölaitteen avulla hitsauspään läpi valokaareen. (Kuva 1.) (3, s. 159 - 164.)



KUVA 1. MIG/MAG-hitsaus (6, s. 1 - 4)

MIG/MAG-hitsauksessa käytettäviä inerttejä kaasuja, ovat argon (Ar), helium (He) ja niiden eri seokset. Aktiivisia kaasuja eli hapettavia ovat hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), happi (O<sub>2</sub>) ja niiden erilaiset argon seokset (Ar + CO<sub>2</sub>, Ar + O<sub>2</sub>, Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>, Ar + He + CO<sub>2</sub>, Ar + He + O<sub>2</sub>). (6, s. 1 - 4.)

## 2.2 Hitsauksen kaavoja

### 2.2.1 Lämmöntuonnin laskenta ja lämpöenergia

Hitsausenergia ja lämmöntuonti ovat tärkeitä asioita, koska liian suuri lämmöntuonti ja energia aiheuttaa hitsausliitoksen sitkeyden huonontumista. Hit-

sausenergian määrä on tärkeä laskea etenkin hienoräe-, suurlujuus- ja kylmäsitkeiden terästen hitsauksessa. Hitsausenergiaa joudutaan rajoittamaan myös austeniittisten ruostumattomien terästen hitsauksessa, koska se vaikuttaa hitsausauman korroosionkestävyyteen. Hitsausenergia eli kaarienergia  $E$  ja lämmöntuonti  $Q$  ovat eri asioita. (3, s. 54.)

Hitsausenergia lasketaan kaavalla 3 (3, s. 54).

$$E = \frac{\text{Hitsausvirta } I \times \text{Kaarijännite } U}{\text{Hitsausnopeus } v} = \frac{U \times I}{v} \quad \text{KAAVA 1}$$

$E$  = hitsausenergia

$I$  = hitsausvirta (A)

$U$  = kaarijännite (V)

$v$  = hitsausnopeus (mm/s)

Lämmöntuonti tarkoittaa kaarihitsauksessa lämmön määrää, joka siirtyy hitsattavaan materiaaliin hitsin pituusyksikköä kohden. Suurin osa hitsausenergiasta siirtyy siirry hitsattavaan kappaleeseen, mutta osa energiasta säteilee lämpönä ilmaan. (3, s. 54.)

Lämmöntuonnin laskenta on tärkeää, kun tarkastellaan kappaleita, jotka joutuvat korkean rasituksen kohteeksi. Liian suuri lämmöntuonti heikentää hitsattavan kappaleen kulutuskestävyyttä ja mekaanisia ominaisuuksia. Hitsauksen suorittaminen alhaisella lämmöntuonnilla parantaa kulutuskestävyyttä, iskusitkeyttä, lujuutta ja pienentää muodonmuutoksia. Liian alhainen lämmöntuonti voi kuitenkin vaikuttaa iskusitkeyteen negatiivisesti. (7, s. 9.) Lämmöntuonnin laskentakaava on standardin SFS.EN 1011-1 mukainen, jossa on mukana tarvittavat termiset hyötysuhteet. (8, s. 8.)

Lämmöntuonnin laskenta kaavalla 2, jos hitsausnopeus on cm/min (7, s. 9.).

$$Q = k * \frac{U * I * 60}{v \left(\frac{\text{cm}}{\text{min}}\right) * 1000} \text{ (kJ/mm)} \quad \text{KAAVA 2}$$

$Q$  = lämmöntuonti (kJ/mm)

$k$  = terminen hyötysuhde (-)

$U$  = kaarijännite (V)

$I$  = hitsausvirta (A)

$v$  = hitsausnopeus (mm/min)

Lämmöntuonnin laskenta testituloksista otettujen arvojen perusteella kaavalla 3 (7, s. 9.).

$$Q = 0.8 * \frac{28.20V * 263A}{5(mm/s) * 1000} = 1,187 \text{ kJ/mm}$$

KAAVA 3

$I$  = hitsausvirta 263 A

$U$  = kaarijännite 28.2 V

$P$  = teho 7,5 kW

$v$  = hitsausnopeus 5 mm/s = 30 cm/min

Langansyöttö = 13 m/min

terminen hyötysuhde = 0.8

Eri hitsausprosessille on annettu oma terminen hyötysuhde eli tässä tapauksessa  $k$ -arvo ja sitä käytetään lämmöntuonnin laskemisessa. Terminen hyötysuhde tarkoittaa hyötysuhdetta, jonka hitsausenergiasta pystytään siirtämään hitsattavaan kappaleeseen. Eri hitsausprosesseille on annettu eri arvot koska niissä lämpösäteily on erilaista. Esimerkiksi jauhekaarihitsauksessa lämpösäteilyä ei synny juuri ollenkaan, koska hitsaus tapahtuu paksun jauhe- ja kuonakerroksen alla. TIG-hitsauksessa puolestaan terminen hyötysuhde on pienin, koska lämpösäteily on siinä suurinta. (3, s. 54.)

Standardin SFS-EN 1101-2 mukaiset termiset hyötysuhteet eri hitsausprosesseille:

1,0 = jauhekaarihitsaus

0,8 = MIG/MAG-, puikko- ja täytelankahitsaus

0,6 = plasmahitsaus

0,6 = TIG-hitsaus (3, s. 54.)

## 2.2.2 Hitsausaikojen laskenta

Hitsausaika tarkoittaa jonkin valmistettavan tuotteen kokonaishitsausaikaa hitsauksen alusta loppuun saakka. Hitsiaineentuotto tarkoittaa hitsausrailoon tuotetun hitsausaineen määrää aikayksikössä kilogrammaa tunnissa. Hitsiaineentuotto riippuu monesta eri tekijästä, muun muassa hitsausmenetelmästä, hitsauslisäaineesta, lisäaineen halkaisijasta, hitsausvirrasta ja vapaalangan pituudesta. Hitsiaineentuottoa tarvitaan kaariajan laskennassa, jolla voidaan laskea hitsauksen kustannuksia tuotannossa. (9, s. 7 - 13.)

Kaariaika  $t_k$  tarkoittaa valokaaren paloaikaa. Kaariajan laskenta on tärkeää, kun tarkastellaan hitsauksen taloudellisuutta. Kaariajan perusteella voidaan laskea esimerkiksi kuinka paljon hitsauslankaa ja sähköenergiaa kyseinen hitsauslaitteisto käyttää tietyllä aikavälillä. Kaariaika lasketaan kaavalla 4. (9, s. 10 - 13.)

$$t_k = \frac{\text{Hitsiainemäärä (kg/m)}}{\text{Hitsiaineentuotto (kg/h)}} \text{ (h/m)} \quad \text{KAAVA 4}$$

Paloaikasuhte, toiselta nimeltään kaariaikasuhde, on määritelty sanastostandardin SFS 3054 mukaan. Paloaikasuhte tarkoittaa kaariajan ja hitsaustyön suorittamiseen käytetyn ajan välistä suhdetta. Paloaikasuhte lasketaan kaavalla 6. (9, s. 10 - 13.)

$$\text{Paloaikasuhte (\%)} = \frac{\text{Kaariaika } \left(\frac{\text{min}}{\text{m}}\right)}{\text{Hitsaustyön aika}} \quad \text{KAAVA 5}$$

Kokonaishitsausaika lasketaan kaariajasta paloikasuhteen avulla kaavalla 5 (8, s. 7.).

$$T = \frac{\text{Kaariaika h/m}}{\text{Paloikasuhde(-)}} \text{ (h/m)} \quad \text{KAAVA 6}$$

### 3 ROBOTISOITU HITSAUS

Robotisoitu hitsaus tarkoittaa automatisoitua hitsausta, jossa hitsauspoltinta kuljetetaan robotin avulla hitsauksen aikana. Hitsattava kappale kiinnitetään joko kiinteään tai liikkuvaan hitsauskiinnittimeen eli jigiin. Hitsauskiinnitin voidaan kiinnittää useammalla akselilla varustettuna olevaan käsittelylaitteeseen tai liikkuvana hitsauskiinnittimenä voidaan käyttää myös toista robottia. (10.)

Yleisin käytettävä hitsausmenetelmä robotisoidussa hitsauksessa on MIG/MAG-hitsausmenetelmä. Muita menetelmiä ovat TIG-hitsaus, kaarijuotto, plasmahitsaus, laserhitsaus ja hybridihitsaus. Robottihitsauksessa käytetään yleensä automaattisesti toimivaa railonseurantajärjestelmää, joka perustuu konenäköön tai hitsausjännitteestä saatavaan tietoon. (10.)

Laser railonseurantajärjestelmän avulla hitsauspolttimon etäisyydet ja asennot hitsattavaan saumaan saadaan pysymään optimaalisina. Railonseurantajärjestelmää voidaan käyttää myös hitsausrilonhakuun ja se soveltuu kappaleille, joissa vaaditaan suurta tarkkuutta. (11.)

#### 3.1 Robottiikan määritelmä

Japanilaisen määritelmän mukaan mikä tahansa mekaaninen laite, joka toimii tehtaassa ja tekee yhtä toistettavaa yksinkertaista työtehtävää, on robotti. Robotti on tietokoneen ohjaama laite, joka on mekaanisesti ohjelmoitu tekemään toistettavaa työtä. Robotin tehtävänä on korvata osaksi tai kokonaan ihmisen tekemä yksinkertainen työvaihe. (12.)

Sanaa robotti alettiin käyttämään ensimmäisen kerran Isaac Asimovin tieteiskirjassa, Runaround 1942. Runaround sisältää Asimovin kolme robottilakia:

- Robotti ei saa vahingoittaa ihmistä toiminnallaan tai toimimattaan.
- Robotin on noudatettava ihmisten sille antamia määräyksiä, silloin kun ne eivät ristiriidassa ensimmäisen lain kanssa.
- Robotin on suojeltava omaa olemassaoloaan niin paljon, kun suojaus ei ole ristiriidassa ensimmäisen ja toisen lain kanssa. (12.)

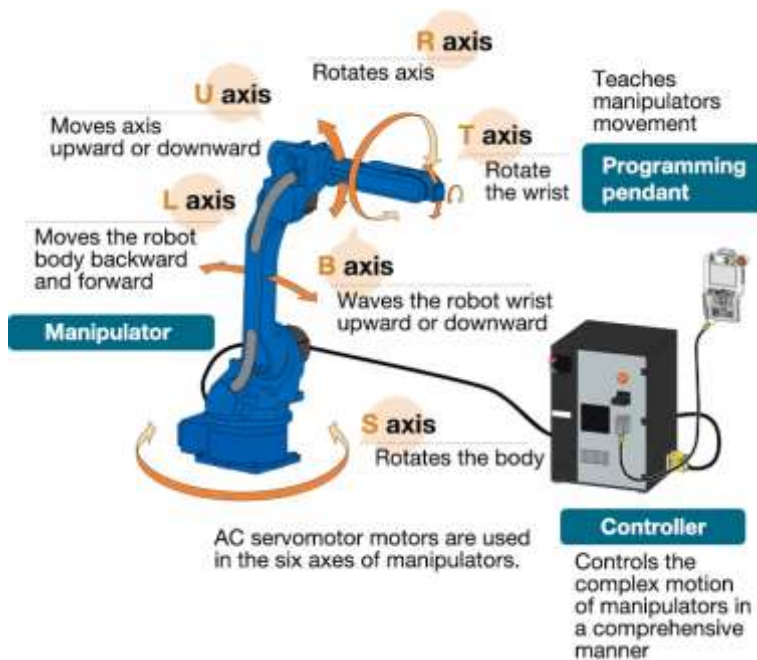


### 3.2 Roboteista yleisesti

Hitsaukseen, tuotantoon, kokoonpanoihin ja muihin työvaiheisiin robotteja käytetään paljon auto-, kone- ja laitteollisuudessa. Hyvää robottien käytössä ja robottihitsauksessa on robotin tekemien hitsauksien ja liikeratojen tarkkuus sekä tasa-laatusuus. Esimerkiksi autoteollisuuden isoissa kokoonpanoissa on monta vaihetta, joihin on tarvittu ennen robottien käyttöönottamista monta ihmistä. Robottien käyttöönoton jälkeen yksinkertaiset työvaiheet ovat automatisoitu ja työn laatu parantunut. Ennen robottien ottamista tuotantoon, töiden tulokset ovat olleet puutteellisia. (13.)

Hitsausrobotit ja muut teollisuusrobotit ovat todella nopeita ja ennakoitavia. Roboteista tiedetään esimerkiksi, kuinka monta kappaletta ne voivat tuottaa päivän aikana. Robotit ovat joustavia ja ne on helppo ohjelmoida uudestaan täysin uudentlaisille kappaleille. Esimerkiksi hitsausprosessissa asennetaan uusi kiinnitin ja määritetään liikeradat uudelleen kappaleen hitsaukseen. (13.)

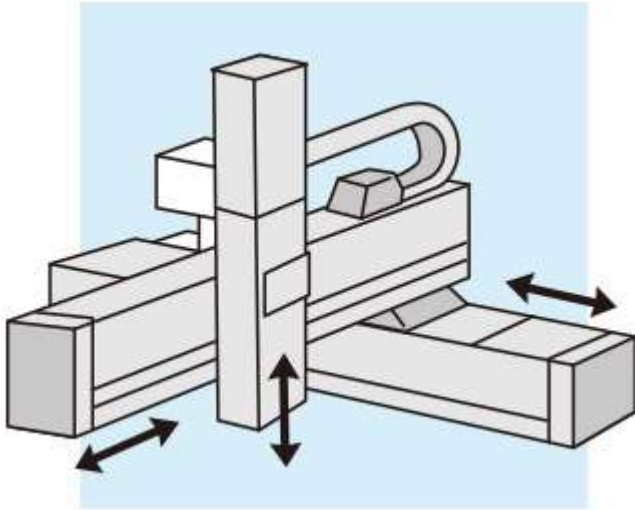
Roboteissa on kuusi kääntyvää akselia kuten kuvassa 2, ja uusissa roboteissa voi olla jopa seitsemän akselia. Robotteja voi myös kiinnittää lineaarijohtimiin ja ne voivat olla kiinnitettynä ylösalaisin kappaleeseen nähden.



KUVA 2. Teollisuusrobotin toimintaperiaate (14)

### 3.2.1 Cartesian-robotit

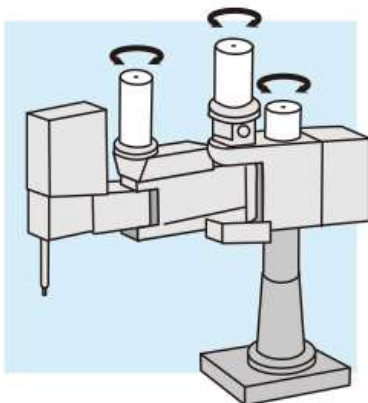
Cartesian-robotti on yksinkertainen robotti, jossa on kaksi tai kolme liukuvaa akselia liitetty toisiinsa. Ne eivät voi tehdä monimutkaisia liikkeitä kuten käsivarsirobotit. Tämä robottityyppi sopii hyvin tuotannon linjastolla pakettien lastaamiseen ja pakkaamiseen. (Kuva 3.) (14.)



KUVA 3. Cartesian-robot (14)

### 3.2.2 Scara-robotit

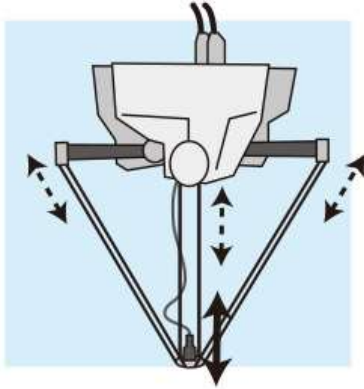
Scara-robotit ovat nopeita sekä tarkkoja vaakasuuntaiseen ja pystysuuntaiseen liikkeeseen erilaisissa asennustehtävissä ja "pick-and-place"-tehtävissä. Näitä robotteja käytetään monissa sovelluksissa lääke-, muovi-, elektroniikka- ja auto-teollisuudessa. (kuva 4.) (14.)



KUVA 4. Scara-robotti (14)

### 3.2.3 Delta-robotit

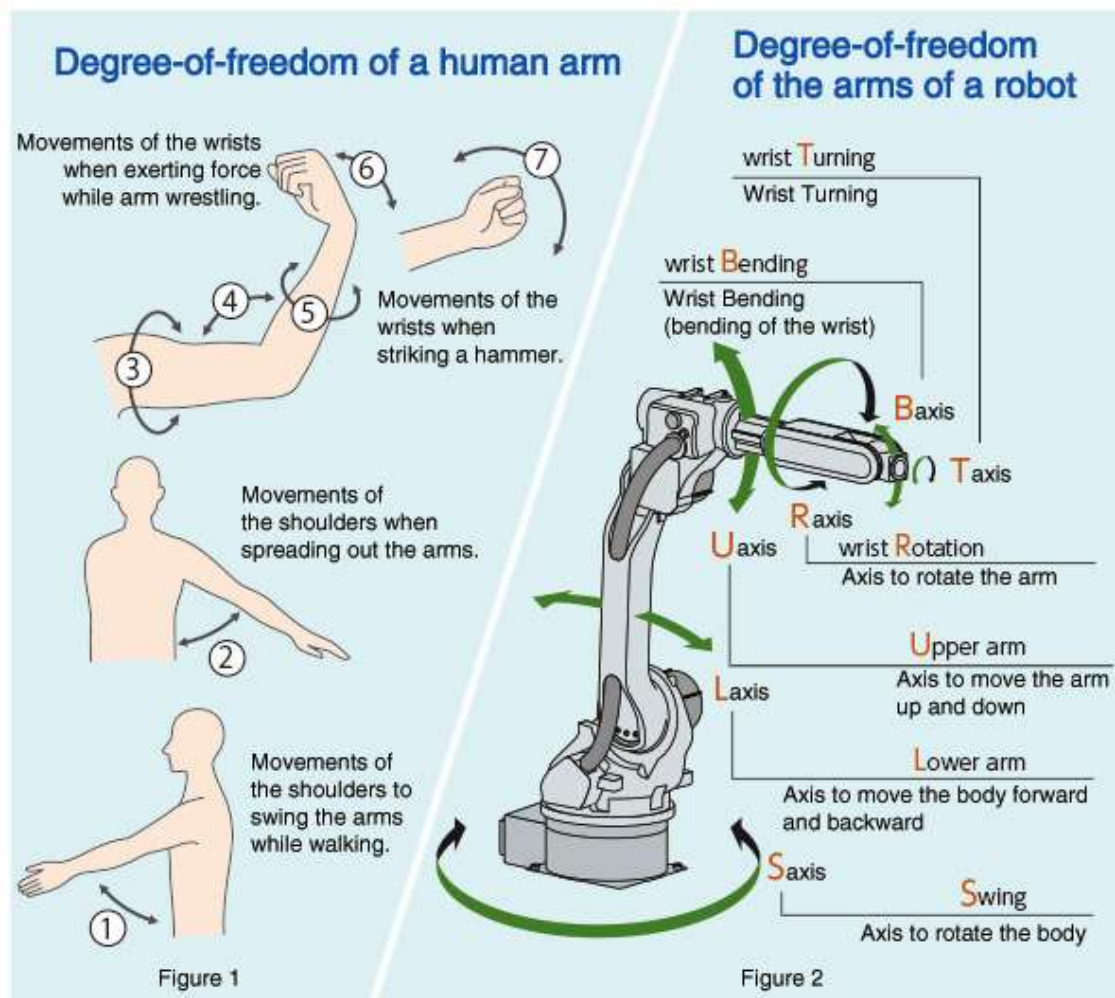
Delta-robotit ovat robotteja, joiden akseleiden kärjissä on moottoreita ja ne liikkuvat yhdensuuntaisesti. Robotit ovat todella nopeita esimerkiksi pakkauksessa, ja ne pystyvät siirtämään kevyttä tavaraa nopeasti esimerkiksi kosmetiikkatuotteiden ja lääkkeiden pakkauksessa. (Kuva 5.) (14.)



KUVA 5. Delta-robotti (14)

### 3.2.4 Nivelrobotit

Näissä nivelroboteissa on 6 - 7 akselia, jotka ovat todella tarkkoja, ja tämä robotityyppi on yleisimmin käytetty maailmassa. Tätä robottia voidaan käyttää kappaleen siirtoon, käsittelyyn, kokoonpanoon, hitsaukseen, hiontaan ja moneen muuhun erilaiseen tuotannon työtehtävään. (Kuva 6.) (14.)



KUVA 6. Käsivarsirobotin liikkeit (14)

### 3.2.5 Kollaboratiivinen robotti

Kollaboratiivinen eli yhteistyörobotti, joka pystyy työskentelemään ihmisen kanssa lähietäisyydellä. Turvaominaisuutena näissä roboteissa on törmäystunnistin, joka tunnistaa voimantunnistuksen avulla, kun robotti törmää ei-sallittuun esteeseen. Lisäksi robottiin voi integroida myös erilaisia muita turvallisuusantureita, jotka tunnistavat ihmisen liikkeit robotin lähietäisyydellä. Robotissa ei myöskään ole teräviä kulmia, jotka aiheuttaisivat vaaraa käyttäjälle. (Kuva 7.) (15.)



KUVA 7. Yhteistyörobotti UR10e (15)

### 3.3 Hitsaus kollaboratiivisella robotilla

Kollaboratiivisella robotilla hitsaus tuo monenlaisia etuja käyttäjälle, kuten lähi­hietäisyydellä työskentelevän henkilön samanaikainen työ robotin kanssa. Tär­kein etu yhteistyörobottien käytössä on, että ne voivat toimia ilman ympärillä ole­vaa aitausta. Monet yritykset alkavat hankkia yhteistyörobotteja hitsaukseen, koska esimerkiksi arviolta Machine Design -lehden mukaan Yhdysvalloissa en­nustetaan 370 000 hitsaajan pulaa vuoteen 2026 mennessä. Myös muualla maa­ilmalla hitsaajista on todella kova pula. (16, s. 1.)

Yrityksen haluavat lisätä kollaboratiivista robottihitsausta kustannuksien vähen­tamiseksi, tuotteiden tasalaatuisuuden varmistamiseksi ja hitsauksen työntekijä-

pulan täyttämiseksi. Muita hyötyjä robotisoidussa hitsauksessa käsin hitsaukseen verrattuna on korkeampi kaariaikasuhde, maksimaalinen tuottavuus, hitsausaumojen tasalaatuisuus ja hitsausaikojen vakioituminen. Hitsaajan etuina yrityksessä ovat parantunut työergonomia ja työturvallisuus. Hitsaajan työnkuva vaihtuu robottia ohjaavaksi ja valvovaksi. (17, s. 8.)

Lähietäisyydellä työskennellessä on otettava huomioon turvallisuus erityisesti silloin, kun robotissa oleva turvaominaisuus estää sen törmäyksen voimanohjaus- ja valvontajärjestelmän avulla. Huomioitavana on kuitenkin, että robotti tunnistaa vasta törmäyksessä, että sen pitää pysähtyä ja se voi aiheuttaa vakaviakin vammoja lähietäisyydellä työskentelevälle henkilölle. Robotin ohjaukseen on määritetty ISO 10218-standardin mukaiset raja-arvot, joiden ylittyessä robotin on pysähdyttävä. Robotin käsivarteen ohjauksen suurin sallima ulkoinen voima on 250 Newtonia. (18, s. 160 - 167)

Hitsattaessa on otettava myös muita turvallisuusasioita huomioon kuten kuumat roiskeet, hitsauskaasut ja valokaaresta aiheutuva uv-säteily ja valo. (19.) Yhteistyörobottien standardit ISO 10218-1, ISO 10218-2 ja ISO 15066 vaativat yhteistoimintaroboteilta turvallista ja valvottua pysähtymistä, ohjelmointia käsinohjauksella, nopeuden ja pysähtymisen valvomista sekä tehon ja voiman rajoittamista. (20. 21.)

ISO 10218 - standardi on teollisten robottien turvallisuusstandardi ja se koostuu kahdesta eri osasta. SFS ISO 10218-1 määrittää teollisuusrobottien turvallisuusvaatimukset robottivalmistajille. (21.) Tässä standardissa määritellään myös vaatimuksia ja ohjeita teollisuusrobottien luontaisesti turvalliselle suunnittelulle, turvallisuustoimenpiteille ja käyttöä koskeville tiedoille. (20.)

ISO 10218-2 -standardi on teollisten robottien turvallisuusstandardi ja se on määriteltä robotin käyttäjälle eli integraattorille. (22.) Tässä standardissa esitetään myös "Robottijärjestelmiä sekä niiden yhteen liittämistä ja asentamista koskevat vaatimukset" (21.)

Kollaboratiivisen robotin ohjaus on hitsattaessa yksinkertaista. Asetetaan ensin hitsattava kappale alustalle, määritetään robotin hitsauksen aloituspistetilassa

(Free Mode) ja siirretään polttimo sopivaan kulmaan hitsausnauman lähietäisyydelle käsin. Jos hitsattavaan kappaleeseen hitsataan suora sauma, voidaan hitsattavan sauman liike tehdä robotin lineaariliikkeellä ja tallentaa se robotin ohjauspaneelista pendantista. Robotin liikeradat ovat nyt määriteltä ja tarkistetaan, että simulaatiotila on päällä. Robotti laitetaan ajamaan sama liikerata, joka on ohjelmoitu.

Hitsausparametrit lasketaan levyn paksuuden, robotin kuljetusnopeuden ja hitsattavan liitoksen avulla. Liikeradat tarkistetaan törmäyksien ja polttimokulman takia, ja jos robotti suorittaa liikeradat hyvin, voidaan simulaatiotila laittaa off-asettoon ja aloittaa hitsaus.

### 3.3.1 Kempin hitsaustoiminnot

Kemppi tarjoaa A7-virtalähteen mukana selainpohjaisen käyttöliittymän Ethernet-yhteyden avulla. Yhteydenhallintaratkaisun avulla voidaan lukea ja säätää hitsausparametreja tietokoneen kautta. Järjestelmänhallinnan avulla voidaan lukea ja hallita: käyttäjätilejä, muistikonavien asetuksia, hitsausprosessilisenssejä, kenttäväyliä, lokikirjaa, käytettyjen hitsausarvojen näyttöä, järjestelmäasetusten tallennusta ja kopiointia. (Kuva 8.) (17, s. 25.)



*KUVA 8. Kempin Ethernet (17, s. 25)*

Kemppi tarjoaa virtalähteen mukana myös erilaisia hitsausohjelmatoimintoja:

**WiseFusionin** avulla saadaan kapea ja energiatiheä valokaari, joka nopeuttaa hitsausta ja vähentää lämmöntuontia hitsattavaan kappaleeseen. WiseFusion-hitsaustoiminnossa on myös kapea tunkeuma-alue, ja se mahdollistaa kapeiden ja syvien railojen hitsaamisen. Tämä hitsaustoiminto tekee hitsauskaaren kapeaksi ja helpottaa hitsisulan hallitsemista asentohitsauksessa. Hitsaustoiminto myös mittaa optimaalisen kaaren pituuden ja pitää sen oikosulkurajojen sisäpuolella. (23.)

WiseFusion-ohjelmatoiminnon hyötyjä ovat suuri hitsausnopeus, pieni lämmöntuonti ja hitsattavuus kapeissa ja syvissä railoissa. Lisäksi etuina ovat hyvä hitsisulan hallinta asentohitsauksessa, helppo hitsattavuus, automaattinen kaarenpituuden hallinta ja tasainen hitsauslaatu. (23.)

**WisePenetration**-hitsaustoiminto pitää hitsausvirran ja tunkeuman tasaisena vapaalangan pituuden muutoksesta riippumatta käsin hitsattaessa. MIG/MAG-hitsauksessa jännite vaihtelee, kun käsin hitsattaessa hitsipään ja sauman etäisyydet vaihtelevat. Vaihtelut aiheuttavat hitsauksen laadun huonontumista, kuten kylmäjuoksuja, epätasaisen tunkeuman, hitsausprofiilin muutoksia ja roiskeita. (24.)

**WiseThin** on kylmäkaari prosessi. Se on tehty kaarijuottoon ja soveltuu manuaaliseen sekä automaattiseen ohutlevyhitsaukseen. Kohteita, jossa WiseThin-hitsaustoimintoa voisi käyttää, olisi autoteollisuus sekä ohutlevyvalmistus teräksestä ja ruostumattomasta teräksestä. (25.)

**WiseRoot** on lyhytkaari prosessi, ja se on optimoitu ilman juuritukea tehtävään juuripalon hitsaukseen. Prosessi on tehokkaampi kuin MIG/MAG-, puikko- ja TIG-lyhytkaarihitsaus. Tässä hitsaustoiminnossa kiinteitä putkia pystytään hitsaamaan monissa eri asennoissa ja railokulmaa voidaan pienentää käyttökohteen mukaan jopa 40 %. (26.)

### 3.3.2 Robottihitsaus UR+ SmartArc

Fsk Industries GMBH tarjoaa yhteistyöroboteille SmartArc-robottihitsausratkaisun, jolla voi tehdä robottihitsauksia ilman pitempiä aikaista kokemusta ohjelmoinnista. SmartArc käyttää Froniuksen hitsausvirtalähdettä, jossa on saman tyyliä



hitsaustoimintoja kuin Kempin hitsausvirtalähteessä. Froniuksen robottihitsausvirtalähteen toimintoja ovat suuri hitsauksen aloitusvirta, railon seuranta, kraatterin täyttö ja opetustila. (27.)

Fsk Industries on kehittänyt yhteistyössä Universal Robotsin kanssa SmartArc hitsauslaitteiston, joka on hyvä pienen volyymin ja erilaisien tuotteiden hitsaukseen. Robotin ohjelmia voidaan muokata ja vaihtaa helposti. Hitsausparametrien vaihtaminen onnistuu suoraan myös robotin ohjauspaneelista pendantista. Ohjauspaneelin ohjauksesta voi määrittää muun muassa hitsauksen alkamisajan kohdan, lineaarisen hitsauksen, kaarevan hitsauksen ja hitsauksen loppumisajankohdan. Robotin pendantista voidaan säätää tartuntahitsit, hitsien määrä tietylle välille sekä tartuntahitsien hitsauksen kesto aika. Hitsausparametreista voidaan myös ottaa käyttöön vaaputusominaisuus, johon pystyy määrittelemään vaaputuksen pituus, amplitudi ja kuvio. (27.)

SmartArc-hitsausrobottia voi ajaa kolmella tavalla:

- SmartArc FreeDrive (Fronius teachmode) -sovelluksella
- SmartArc-LinDrive (voimaohjatulla lineaarisella liikkeellä, hitsauspolttimen vakioasennolle)
- SmartArc-RotDrive (voimaohjatulla liikkeellä hitsaukselle, täydelliseen poltinkulmaan). (Kuva 9.) (27.)



*KUVA 9. SmartArc hitsauspoltin (27)*

## 4 HITSAUSSOLUN LAITTEET

### 4.1 A7 MIG -hitsausvirtalähde

A7 MIG Welder on uuden teknologian hitsausvirtalähde, joka on tarkoitettu robotihitsaukseen. Virtalähteen voi integroida minkä tahansa robotin kanssa yhteensopivaksi ja virtalähteen hitsausarvoja voidaan säätää tietokoneen selaimen avulla. A7 MIG Welder sisältää hitsauspistoolin, langansyöttölaitteen, virtalähteen ja jäähdytyslaitteen. Hitsausyksikön ohjelmistossa on Wise-toiminnot, jotka on kerrottuna aiemmin ja niitä käytetään tässä opinnäytetyössä. (Kuva 10.) (28.)



KUVA 10. Kemppi A7 MIG Welder

## 4.2 Turvalaitteet

Turvalaitteita käytetään yleisesti kaikkialla missä on erilaisia vaara-alueita. Turvalaitteet yleensä asennetaan jonkin koneen tai laitteen työskentelyalueelle esimerkiksi robotin ympärille. Turvalaitteistoja ja skannereita voidaan integroida koneen lähelle ja toimimaan halutusti esimerkiksi robotin pikaliikkeiden hidastuvuutena, kun skannerin turva-alueelle menee ihminen.

Skannereiden turva-alueita voidaan määritellä turvalaitteiston oman sovelluksen avulla. Raja-alueita voidaan määritellä joko varoitusalueiksi tai vaara-alueiksi. Vaara alueella skanneriin kytketyt laitteistot ohjelmoidaan pysähtymään kokonaan. Laitteiston resetointi voidaan määritellä siten, että käynnistyykö robotti heti, kun turva-alueelta on poistuttu tai erikseen kuittaamalla. Skannerit kestävät hyvin kolhuja, pölyä ja monet turvalaitteet ovat ATEX-hyväksytyjä kaasulle sekä pölylle. Toimintaetäisyys valoverhoissa ja skannereissa vaihtelee välillä 0 - 30 m. (Kuva 11.) (29. 30.)



KUVA 11. Sick-turvaskanneri

### 4.3 Kollaboratiivinen robotti UR10e

UR10e on tarkoitettu kappaleiden tarkkaan käsittelyyn, kuten kuormaamiseen ja pakkaamiseen. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan UR10e-robotin soveltuvuutta hitsaukseen. Monipuolinen ja yhteistyökykyinen robotti 10 kilogramman maksimikuormalla 1,3 metrin ulottuvuuteen saakka. Robotti pystyy tekemään työtä todella tarkasti vaarantamatta suorituskykyä. (31.)

### 4.4 Hitsauspöydät

Hitsauspöydät on tarkoitettu hitsaukseen ja niiden pinnat ovat koneistettuja sekä käsiteltyjä. Hitsauspöytä on monipuolinen erilaisten kiinnityksien mahdollistamiseksi eikä pöytien pintoihin tartu hitsauksesta aiheutuvia roiskeita. Hitsauspöytien avulla saavutetaan suorien pintojen ansiosta tarkasti määriteltäviä hitsausliikkeitä ja se vaikuttaa myös hitsauksen laatuun positiivisesti. (Kuva 12.) (32.)



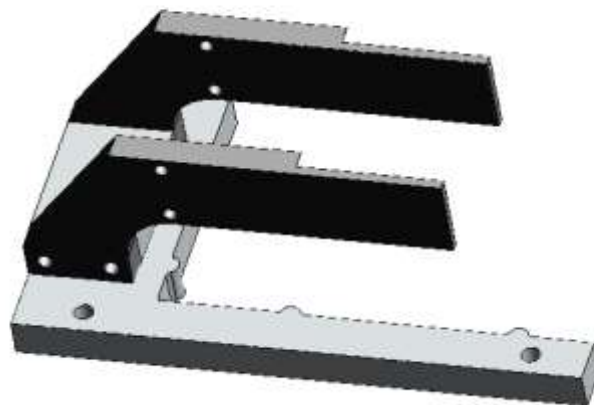
*KUVA 12. hitsauspöytä lisätarvikkeilla (32)*

Sivuille asetettavat hitsauspöydät ovat Siegmundin valmistamia professional extreme 1 500 x 1 000 x 100 mm hitsauspöytiä, jotka ovat lujuukseltaan 8.7. Lujuusarvo tarkoittaa, että pöydän levy on tehty työkaluteräksestä. Pöytälevy on läpikarkaistu sekä pinnoitettu plasmanitruuksella. (33.)

Plasmanitruus on lämpökemiallinen prosessi, joka tuottaa korroosiovapaan ja pitkäikäisen pinnan pöydälle ja se on myös ympäristöystävällinen. Plasmanitratun pinnan elinikä on kaksinkertainen normaaliin teräkseen verrattuna, puristusvoima pulttiliitoksille lisääntyy merkittävästi ja pöydän kantokyky kasvaa 25 - 30 %. (33.)

#### 4.5 Hitsauskiinnittimet

Hitsauskiinnittimet suunnitellaan asiakasyrityksen kappaleiden mittojen ja vaatimusten mukaan. Kiinnittimiä tehdään ohjaamoiden nostokiskoille, korvakoille ja oville. Jokaiselle hitsattavalle kappaleelle suunnitellaan ja valmistetaan yksittäiset kiinnittimet, ja niitä tulee yhteensä neljä kappaletta. Kiinnittimet hyväksytään asiakkaalla ennen niiden valmistuksen aloittamista. Kiinnittimet ovat olennainen osa hitsauksessa kappaleen kiinnityksen varmistamiseksi ja hyvän laadun saavuttamiseksi. Huonoja puolia hitsauskiinnittimissä on, että ne pitää suunnitella uudestaan joka kerta, kun uusi erilainen kappale tulee robotille hitsattavaksi. (Kuva 13.)



*KUVA 13. Korvakoiden hitsauskiinnitin (34)*

Hitsauskiinnittimien suunnittelussa huomioitiin kiinnittimen monipuolisuus, kohdistus hitsauspöytään, robotin ulottuvuus ja vastinkappaleiden kulutuskestävyys.

Nostokiskon hitsauskiinnittimessä kappale piti asettaa kulmaan, jotta robotti yltää hitsaamaan kaikki tarvittavat saumat. (Kuva 14.)



*KUVA 14. Nostokiskon yläkiinnikkeen hitsauskiinnitin 1*

Nostokiskon kiinnittimelle hitsauskiinnittimiä suunniteltiin kaksi kappaletta, koska kappaleita oli kaksi erilaista. Molemmat hitsauskiinnittimet suunniteltiin samalla periaatteella. (Kuva 15.)



*KUVA 15. Nostokiskon alakiinnikkeen hitsauskiinnitin 2*

Pyörityspöytään tuleva kiinnitin suunniteltiin aluksi alumiini t-ura profiilista, jotta saadaan asetettua vastinkappaleet oikeille kohdille. Kiinnittimen suunnittelussa huomioitiin kiinnittimen sekä pyörityspöydän liitettävyyden, säätö- ja kiristysmahdollisuudet, kulumiskestävyys, kaikkien saumojen hitsattavuus ja pyörityspöydän aiheuttamat voimat. Tämä kiinnitin valmistettiin hitsaussolun testausta ja simuloimista varten. Tuotantokäyttöön tarkoitettu kiinnitin suunnitellaan ja valmistetaan kestävämmästä materiaalista myöhemmässä vaiheessa. (Kuva 16.)



*KUVA 16. Ohjaamon oven hitsauskiinnitin*

#### **4.6 Puhdistusasema**

Puhdistusaseman tarkoituksena on puhdistaa hitsauspään hitsauksen aikana kiinnittyneet roiskeet. Robotti ohjelmoidaan tekemään liike hitsauspään puhdistamiseen, langan katkaisuun ja suoja-aineen ruiskuttamiseen. Hitsauspään tukkoisuus ja likaisuus vaikuttaa kaasun virtaukseen. Silloin, kun kaasun tulo estyy hitsauspäästä, se vaikuttaa hitsausnaaman laatuun, perusaineen sulamiseen ja roiskeiden syntymiseen. Puhdistusasemana käytettiin Kempin laitetta, joka soveltuu hyvin robotisoituun hitsaukseen. Puhdistusasema on tärkeä laite, kun tavoitellaan laadukasta hitsausjälkeä. (Kuva 17.) (35.)



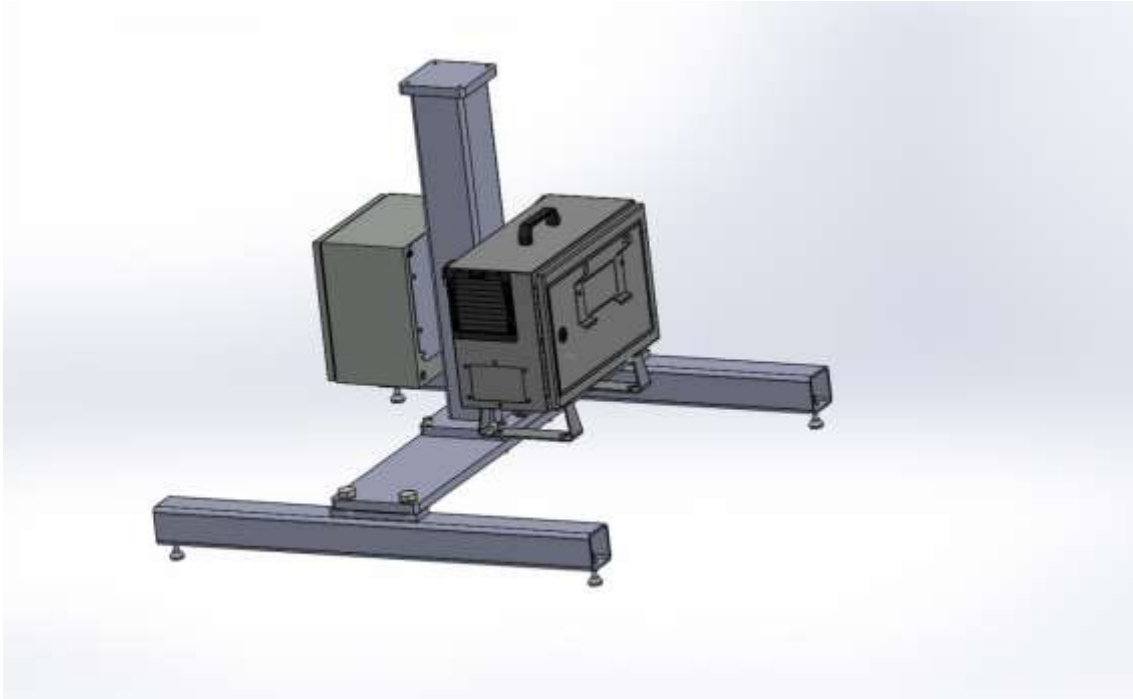
*KUVA 17. Hitsauspistoolin puhdistusasema*

#### **4.7 Robotin jalusta**

Robotin jalustan tarkoituksena on kannatella robottia tietyssä korkeudessa ja asennossa. Jalusta suunniteltiin ja valmistettiin Oulun ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa. Jalusta on myös tarpeeksi vahva, että siihen saa kiinnitettyä



muita lisälaitteita. Jalustaan kiinnitettiin UR10e-robotin ohjauslaatikko ja sähkökaappi, johon kiinnitettiin turvaskanneri- ja painikeohjaus. Jalustan painoksi tuli noin 70 kg. (Kuva 18.)



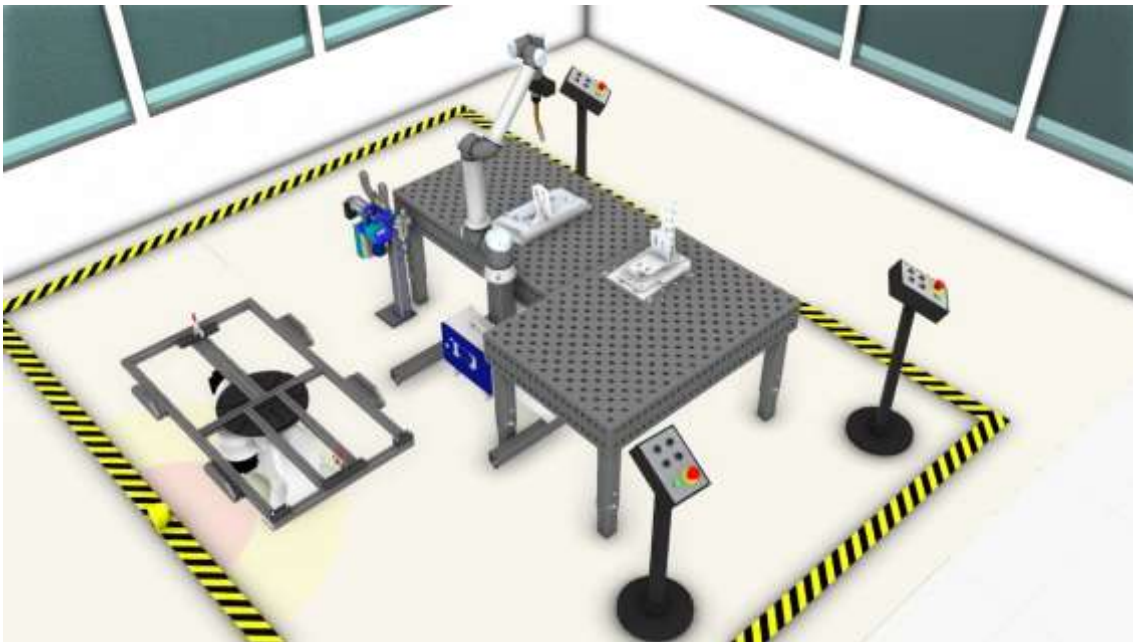
*KUVA 18. Robotin jalusta 3D-malli*

## 5 HITSAUSSOLUN MEKAANINEN SUUNNITTELU

Robottisolu koostuu kahdesta hitsauspöydästä, yhdestä käsittelylaitteesta, Kemppi A7 -virtalähteestä, hitsauspään puhdistusasemasta sekä UR10e kollaboratiivisesta robotista. Hitsaussolun päätarkoitus on hitsata ohjaamon molemman puoleiset ovet, korvallinen ja nostokiskon kiinnittimet omilla pöydillään. Hitsaustoimenpide on tehty helpoksi, joten henkilön, joka käyttää robottia ei tarvitse, kun painaa nappia halutun hitsaustoimenpiteen suorittamiseen.

### 5.1 Robottisolun layoutsuunnitelma

Layoutissa otettiin huomioon muun muassa yrityksessä sijaitsevat kulkuväylät, nostimet ja toiset työpisteet. Layout suunniteltiin Visual Components -ohjelmalla, jolla pystyi simuloimaan robotin, ihmisen ja oheislaitteiden toimintaa. (Kuva 19.)



KUVA 19. Solulayout

### 5.2 Robottisolun mallintaminen

Robottisolun mallintaminen aloitettiin ensimmäiseksi, kun kaikki tarpeellinen tieto solun rakentamisesta ja käytettävistä laitteista oli hankittu. Ensimmäisenä tarkoituksemme oli käyttää lineaarijohdinta tässä työssä. Lineaarijohdin olisi lisännyt

robotille seitsemännen akselin ja siten tuonut lisää ulottuvuutta robotille. Lineaarijohdin kuitenkin jätettiin pois tästä työstä ja vaihdettiin pyörityspöytään.

### **5.3 Kiinnittimien suunnittelu**

Kiinnittimien suunnittelu alkoi, kun tiedettiin yrityksen vaatimukset ja odotukset. Asiakasyritys lähetti 2D- ja 3D-mallit hitsattavista kappaleistaan, joille kiinnittimet oli tarkoitus tehdä. Ensimmäiseksi ohjaamoiden ovien hitsauskiinnittimen suunnittelu aloitettiin. Vaatimuksena oli että oikean- ja vasemmanpuoleinen ohjaamon ovi saadaan kiinnitettyä samaan kiinnittimeen. Robotin on myös yletyttävä hitsaamaan jokainen sauma ohjaamon ovesta.

Paikan päällä asiakasyrityksessä katsottiin hitsaus- ja valmistusprosesseja kappaleille, joille hitsauskiinnittimet oli tarkoitus suunnitella. Tultiin siihen lopputulokseen, että nostokiinnikkeiden valmiusasteena käytetään alustavaa hitsausta ja pääsaumat hitsataan robotilla. Kappaleet ovat monimutkaisen muotoisia, joten kiinnittimien suunnittelu on haastavaa, jos kappaleita ei hitsata toisiinsa ennen pääsaumojen hitsausta.

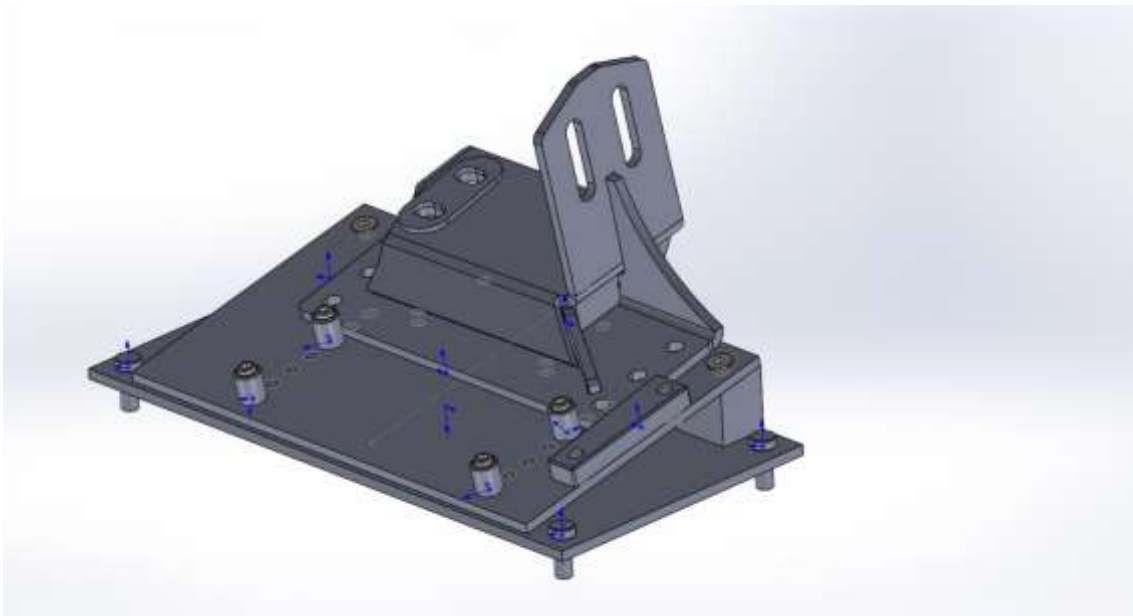
Ovien hitsauskiinnittimien suunnittelussa täytyi ottaa huomioon paljon eri asioita, esimerkiksi jokaisen sauman hitsattavuus, hitsauksen asento, robotin ulottuma, ovien paikoitus, hitsattava materiaali, lämmön siirtyminen ja vääntyminen. Lisäksi kiinnittimien tulisi olla helppokäyttöisiä, yksinkertaisia ja muuntelukykyisiä. Oven hitsauksessa ongelmaksi tuli robotin ulottuvuus ja todettiin, että ilman käsittelylaitetta ovea on mahdotonta hitsata jokaisesta kulmasta.

Nostokiskojen hitsauskiinnittimen suunnittelu helpottui, koska päätimme asiakasyrityksen kanssa, että kappaleet hitsataan alustavasti kiinni. Alustava hitsaus tarkoittaa, että hitsattavat osat kokoonpannaan ja kappaleisiin asetetaan tartunta-hitsit ennen robotin hitsausvaihetta.

## 6 HITSAUSSOLUN VALMISTUS

### 6.1 Hitsauskiinnittimien valmistus

Kiinnittimien valmistaminen aloitettiin nostokiskon kiinnikkeistä ja kiinnitin valmistettiin teräksestä. Koneistettavat osat tehtiin Oulun ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa. Kiinnitin asetettiin kulmaan, koska se parantaa takana olevien saumojen hitsattavuutta ja hitsauskulmaa. Pohjalevy on myös suunniteltu siten, että pohjassa olevat irrotettavat tapit kohdistavat hitsauskiinnittimen hitsauspöydässä oleviin reikiin. (Kuva 20.)



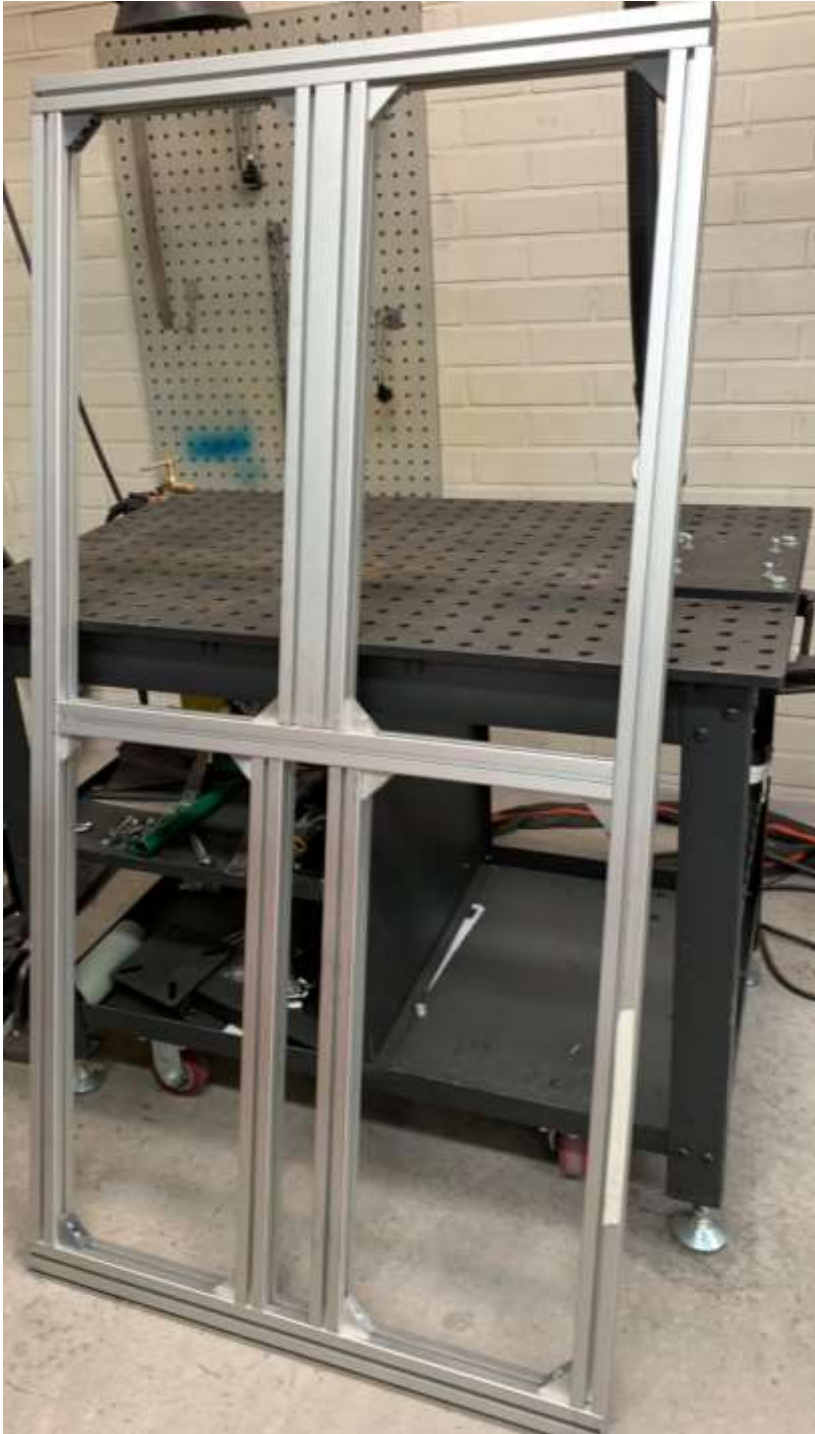
*KUVA 20. Nostokiskon kiinnike ja hitsauskiinnitin*

Kiinnittimien valmistus ja suunnittelu onnistuivat hyvin, mutta vesileikkausvaiheessa toisen hitsauskiinnittimen kappale irtosi vesileikkurin kiinnityksestä kesken leikkauksen ja levystä jouduttiin tekemään pienempi, kuin tarkoituksena oli. Vesileikkauksen epäonnistuminen ei vaikuttanut hitsauskiinnittimen toimintaan, joten levyä ei tehty uudelleen. Määritetyt toleranssit olivat juuri oikeat hitsauspöydän ja hitsauskiinnittimien liittämiseen sorvatuilla tapeilla. (Kuva 21.)



*KUVA 21. Nostokiskon hitsauskiinnittimet ja hitsattavat kappaleet*

Ohjaamon oven hitsauskiinnittimen valmistus aloitettiin alumiinisesta profiilista. Asiakasyrityksen ja projektihenkilöiden kanssa päätettiin, että kehikko valmistetaan ensin alumiinista. Kehikossa on säädettävät railot, joiden avulla pystytään testaamaan oven kiinnitystapoja fyysisesti ja säätämään vastinkappaleet parhaaseen mahdolliseen asentoon. (Kuva 22.)



*KUVA 22. Ohjaamon ovelle valmistettu hitsauskiinnittimen kehikko*

## **6.2 Robotin jalustan valmistus**

Robotin jalusta päätettiin asettaa keskelle robottisolua, jotta se ylettää mahdollisimman laajalle alueelle. Jalusta rakennettiin teräksestä, koska alustassa pitää olla massaa, joka pitää robotin tukevasti paikallaan. Massa jalustassa myös vai-

mentaa värähtelyä ja vähentää robotin kaatumisen vaaraa. Valmiiden robotin jalustojen hinnat olivat niin korkealla, että päätettiin tehdä se itse kustannuksien säästämiseksi. (Kuva 23.)



*KUVA 23. Robotin jalusta*

Jalusta valmistettiin Oulun ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa. Robotin aluslevy koneistettiin robotin kiinnitykselle sopivaksi. Suurin osa liitoksista tehtiin pulttiliitoksilla, koska jalustaa kuljetettaessa se pitää pystyä myös purkamaan osiin. Säättömahdollisuuksia jalustassa ei erityisemmin tarvittu, joten säätö on vain jalkoihin tulevissa säätöjaloissa.

### **6.3 Robottisolun kokoaminen**

Robottisolu rakennettiin Oulun ammattikorkeakoulun tiloihin. Jalustan valmistuttua robotti kiinnitettiin siihen suunnitellulla tavalla. Tiloissa ei pystynyt hitsaamaan, joten hitsaukselle olennaiset testit tehtiin konelaboratoriossa, tulityöpäikällä. Robotin kiinnityksen jälkeen simuloitiin luokassa olevien pöytien avulla, miten hitsauspöydät sijoitetaan robotin jalustan ympärille. Kunnes hitsauspöydät saapuivat, kasattiin ne opetustilassa olevien pöytien tilalle, kuten kuvassa 24.



*KUVA 24. Robottisolu rakennusvaiheessa*

Robottisolun laitteiston kasaamista jatkettiin tietoliikennelaboratorion tiloihin. Rit-tal-sähkökaappi ja UR-ohjauskeskus kiinnitettiin robotin jalustaan. Hitsauskiinnit-timien sijoittelu testattiin ja kiinnitettiin suunnitellulla tavalla hitsauspöytiin. OSAO:n toimipiste lainasi simulointivaiheeseen manuaalisesti pyöritettävän pyö-rityspöydän, johon ohjaamon oven hitsauskiinnitin kiinnitetään. Manuaalisen pyö-rityspöydän avulla voidaan simuloida robottisolun toimintaperiaate asiakasyrityk-selle ennen robottisoluun kuuluvan tuotantokäyttöön tarkoitetun käsittelylaitteen integroimista. (Kuva 25.)





*KUVA 25. Robottisolu pyörityspöydän kanssa*

Robottisolun valmistusta jatkettiin robotin liittämällä jalustaan, kempin virtalähteen liittämällä robottiin ja painonappitelineiden valmistuksella. Langansyöttölaitteelle jouduttiin tekemään uusi teline, koska hitsauslaboratoriossa kempin hitsauskaapeli ei ollut robotin rungossa kiinni. Hitsauskaapelin kiinnittämisen kanssa robotin runkoon oli haasteita. Kaapeli kiertyy robotin kääntyessä liian suureen kulmaan, niin se rikkoo muovista tehdyt kiinnikkeet. Tästä syystä robottia pitää liikutella varoen. UR-Freedrive -ohjelman kanssa tuli myös hankaluuksia, koska kaapelin aiheuttamat vedot robotin käsivarteen sekoittavat sen tasapainoa. Freedrive-mode -ohjelmoinnin tilassa robotin varsi saattaa liikkua ja kiertyä itseksensä siihen suuntaan mihin kaapeli sitä vetää.

Kaapelin ongelmat ratkesivat, kun robotin ohjelmaan oli määritelty oikein työkalun painovoiman keskipiste ja työkalun paino. Aluksi robotin käsivarressa oli kaksi kiinnitintä hitsauskaapeleille, mutta todettiin että toinen kaapelin kiinnittimistä riittää kannattelemaan kaapelia tarpeeksi vahvasti. Kaapeli liikkui myös paremmin robotin mukana yhden kaapelikiinnittimen avulla. (Kuva 26.)



*KUVA 26. Robottisolu*

Robottisoluun liitettiin painonapit ja johdot kytkettiin painonapeilta robotin yksikköön. Painonappien tarkoitus on tehdä hitsaustoimenpide halutulle kappaleelle. Häätäseis-painikkeet kytkettiin myös ohjaustolppien päälle. Turvaskanneriin liitettiin robottisolun reunaan ja skanneriin ohjelmoitiin turva- ja vaara alueet. Skanneri liitettiin jo simulointivaiheeseen, koska sillä pitää olla valmius, kun robottisolu vietään asiakasyritykseen.

## 7 KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS

### 7.1 Hitsauksen testaus

Hitsaustestien tarkoituksena on osoittaa, että robottihitsaussolulla pystytään hitsaamaan tarpeeksi suurta tunkeumaa ja a-mittaa. Tunkeuma ja a-mitta osoittautuivat testauksissa riittäviksi. Kuvassa 27 on hiottu ja hapolla käsitelty kappale.



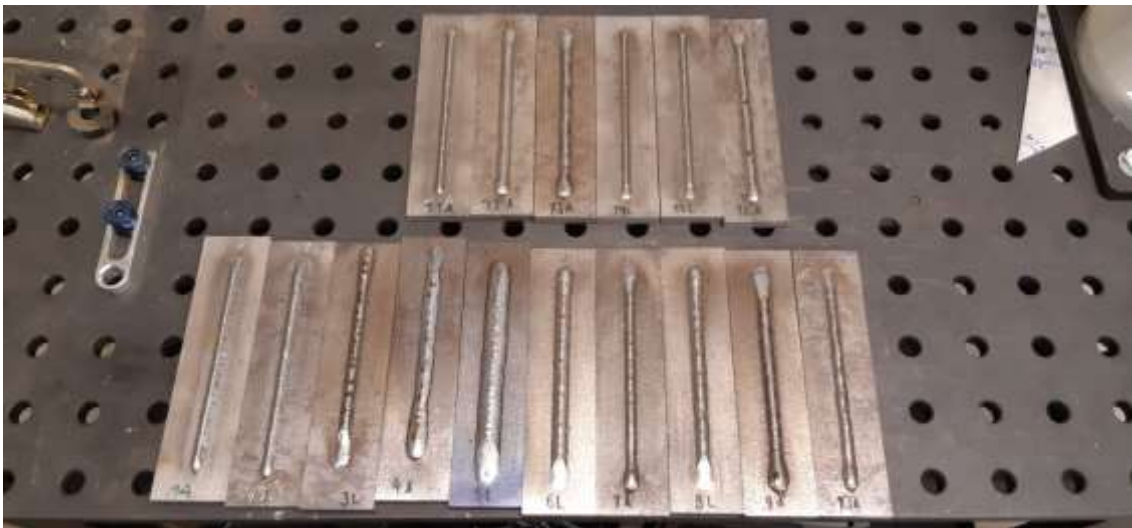
*KUVA 27. Ensimmäisen hitsaustestin hie*

Hitsaustesti tehtiin 10 mm vahvoille kappaleille. Hitsausasento oli PB, eli alapiena. Hitsausarvoja testattiin neljällä kappaleella ja tutkittiin myös Kempin ohjelmistossa olevien Wise-prosessien soveltuvuutta työhömmme. Langansyötön arvoja säädettiin 20 m/min – 13 m/min ja paras tulos saatiin pienimmällä käytännöllä langansyötöllä. Kuten kuvasta 28 näkee, oikealla hitsauksen virta sekä langansyötön arvot on olleet liian suuret, mutta vasemmalla hitsaussauman jälki alkaa paranemaan.



*KUVA 28. Robottihitsaustestin ensimmäiset tulokset*

Hitsaustestejä tehtiin myös tarkoin määritellyillä hitsausarvoilla sekä erityyillisillä kuljetusasunnoilla. Osassa kappaleista kuljetus on tehty vetämällä ja osa työntämällä. Testauksessa myös kokeiltiin vapaalangan pituuden, jännitteen, hitsaus-tehon, pulssin ja kuljetusnopeuden vaikutusta hitsaussaumaan ja sauman tunkeumaan. (Kuva 29.)



*KUVA 29. Robottihitsaustestin tulokset (34)*

## **7.2 Hitsausliikeratojen ohjelmointi ja paikoitus**

Hitsausliikeradat aloitettiin tekemään, kun kaikki soluun liittyvät laitteet olivat ka-sattuna robotin ympärille ja varsinaiset hitsaustestit tehty. Hitsausliikeratojen oh-jelmointi tehtiin ensimmäiseksi nostokiskon kiinnikkeille. Kiinnikkeitä hitsattavana

oli kaksi erilaista kappaletta. Kiinnikkeiden liikeradoissa piti olla tarkkana hitsauspolttimen asennosta, koska kappaleissa oli vaikeita kulmia, mihin hitsaus täytyi suorittaa.

Nostokiskon kiinnikkeiden jälkeen hitsausliikeradat tehtiin ohjaamon kiinnityskorvakkeelle. Tässä kappaleessa täytyi ottaa huomioon monta eri asiaa, jotta kappaleisiin ei syntyisi liikaa lämmöstä aiheutuvaa vääntymistä. Hitsausliikeradat täytyi tehdä ristiin hitsaamalla ja kappaleet alustavasti hitsattuina kiinni ennen varsinaisen hitsauksen aloittamista.

Viimeisenä liikeradat tehtiin ohjaamon ovelle. Oveen hitsataan kaikki kanttauksesta aukinaiseksi jääneet kulmat kiinni sekä lisätään vahvikkeet oven reunaan. Ongelmana oli kuitenkin, että käytössämme oli napista pyöritettävä käsittelylaite simulointivaiheessa. Kulma, johon käsittelylaite kääntyy ei ole tarkka, mutta riittävä. Myöhemmässä vaiheessa robottihitsaussoluun kytketään robottihitsauksen tarkoitettu käsittelylaite, niin liikeradat tulevat olemaan tarkkoja.

### **7.3 Hitsaussolun liikeratojen simulointi ja testaus**

Käytettiin simuloinnissa kaikkia laitteita, mitä robottihitsaussolussa vaaditaan. Kuitenkaan ei hitsattu varsinaisessa simuloinnissa vaan tehtiin pelkät liikeradat robotille. Tila, johon robottisolun rakennettiin, ei ollut tulityötila ja tästä syystä ei hitsattu varsinaisessa robottisolun testauksessa.

Hitsausparametrien ja muiden hitsausarvojen säätäminen helpottui, koska Kemppe tarjosi UR10e-robottiin testausvaiheessa olevan URcap-ohjelmiston. Ohjelmistolla pystyy säätämään hitsausarvot todella helposti ja simulointi onnistui sillä hyvin. Hitsaussimulointi pystyttiin tekemään kappaleille ilman varsinaista hitsausta. Hitsausparametrit voidaan asettaa valmiiksi simuloitavaan ohjelmaan. Testivaiheessa voidaan käskä robottia ajamaan liikeratoja simulointi tilassa.

Kunnes robottisolun viedään asiakasyrityksen tiloihin, voidaan käyttää samaa robotin ohjelmaa, joka tehtiin pelkässä simulointivaiheessa. Pitää kuitenkin muistaa testatut hitsausarvot ja tarkistaa, miten hitsauspolttimen lanka kulkee sauman lähietaisyydessä. Hitsauksia joudutaan tekemään yrityksessä useampi kappale,

kunnes hitsausasennot ovat säädetty parhaimpaan mahdolliseen asentoon ja jälki on riittävän hyvää.

Robottisolun viimeistely ja liikeradat saatiin tehtyä valmiiksi. Robottisolun simuloinnissa testattiin moneen kertaan robotin tekemät liikeradat, ohjaus- ja hätäseispainikkeiden toiminta. Testausvaiheessa kaikki sujui hyvin ja simulointi saatiin tehtyä. Simuloinnin jälkeen robottihitsaussolu oli valmiina. (Kuva 30.)



*KUVA 30. Robottisolu valmiina*

## 8 TYÖN JATKO OPINNÄYTETYÖN JÄLKEEN

Rakennettua hitsaussolua ja siitä saatua tietoa voidaan hyödyntää hankkeen jatkotoimenpiteissä. Lisäämällä hitsaussoluun pyörityspöytä, voidaan ohjaamon oven hitsaus suorittaa suunnitelman mukaisesti. Pyörityspöydän fyysinen liittäminen jätettiin pois tästä opinnäytetyöstä, koska aikataulumme ei riittänyt pyörityspöydän valinnan, ominaisuuksien ja toimituksista johtuvien hankaluuksien takia. Pyörityspöytään on mahdollista liittää suunnittelemani hitsauskiinnitin, johon ohjaamon ovi kiinnitetään.

Hitsaussolua voidaan hyödyntää pienten kappaleiden ja sarjatuotantojen hitsaamiseen. Hitsaussoluun voi tarvittaessa liittää erillisiä hitsauskiinnittimiä robotin vierelle, lattialle tai pöydälle. Robotti voidaan myös siirtää suuremman kappaleen viereen hitsaamaan tiettyjä saumoja. Yhteistyörobotia voi hyödyntää myös muissa työtehtävissä kuten pakkauksessa, työstökoneen kappaleen asettajana ja koneen käynnistäjänä.

Robottisolun toimivuus tulee testata hitsattavilla kappaleilla ja säädettävä erikseen hitsausparametrit eri vahvuisille kappaleille. Testauksen aikana tulee tarkistaa hitsausasennot ja hitsattavien kappaleiden valmiusaste. Hitsauksen täyttäessä laatuvaatimukset, voidaan operaattori kouluttaa turvalliseen hitsaussolun käyttöön.

Robottihitsaussoluun jäi vielä kehitystehtäviä, joita tuli mieleen vasta opinnäytetyön loppuvaiheilla. Kehitysideana saatiin erilaisten sensoreiden kytkeminen hitsauskiinnittimiin, ettei robotti hitsaa hitsauskiinnitintä ilman hitsattavaa kappaletta. Valoverhojen käyttö hitsauspöydän toisessa päässä, koska yksi turvaskaneri ei pysty lukemaan koko hitsaussolun aluetta. Hitsauskaapelin jyrkempi ja joustavampi kiinnitystapa robotin käsivarteen sekä hitsauspolttimon suurempi kulma olisi eduksi monimutkaisten kappaleiden hitsaukseen.

## 9 POHDINTA

Työssä suunniteltiin, valmistettiin ja automatisoitiin auto- ja teollisuusnosturin ohjaamon osien hitsaus neljälle erilaiselle kappaleelle käsittelylaitetta, hitsauspöytiä ja robottia käyttäen. Työ aloitettiin testaamalla hitsausparametreja Kempin hitsauslaitteistolla ja UR10e-robotilla. Hitsausparametrien jälkeen todettiin, että hitsausauma täyttää asiakkaan vaatimukset. Kempin virtalähde ja UR10e-robotti sopivat hyvin yrityksen määrittämille hitsattaville kappaleille.

Oven kiinnitin oli haastavin suunnitella ja toteuttaa, koska siinä piti ottaa niin monta eri asiaa huomioon, esimerkiksi oven koko, muoto ja käsittelylaitteen aiheuttamat voimat, jotka siirtyvät oven kiinnittimeen. Käsittelylaite valittiin vasta opinnäytetyön lopussa, joten kiinnittimistä suunniteltiin monta eri versiota. Lopulta oven ensimmäiseksi kiinnittimeksi suunniteltiin alumiiniprofiilista tehty kehikko. Profiilista valmistetun prototyypin ansiosta pystyttiin näkemään fyysisesti, minkälaisia haasteita tulee sitä käytettäessä.

Kun hitsaussolu viedään tuotantokäyttöön siihen, integroidaan siihen suunniteltu pyörityspöytä. Valitsemassa pyörityspöydässä on kaksi akselia, pyöritys ja kallistus. Pöytä toimii yhteistyössä UR10e-robotin ohjauksella. Logiikan ja UR10e-robotin avulla samanaikainen ajo on vaikea toteuttaa, joten vaatimus oli, ettei robottia ja käsittelylaitetta ajettaisi samanaikaisesti robotin liikkuesssa. Syy samanaikaisen ajon pois jättämiseen oli, että robotin ohjauksesta ja pöydän liikkeistä tulee viivettä. Robotin ja käsittelylaitteen samanaikainen liikkuminen olisi ollut vaativampi työ toteuttaa eikä se olisi ollut tarpeellinen lisä työhön.

Robottisolun rakentamisessa ja käyttöönotossa tuli muutamia ongelmatilanteita. Esimerkiksi hitsauskaapeli ei liikkunut halutulla tavalla ja robotin freedrive-ohjelmistoon tuli sen takia ongelmia. Hitsauskaapeli täytyy kiinnittää eri lailla, jottei robotin päähän kohdistuisi vetoa.

Lopuksi projektista kuvattiin video asiakasyritykselle, liikeradat ohjelmoitiin ja suoritettiin, hitsauskiinnittimistä tuli helppokäyttöisiä ja yksinkertaisia. Turvaskannerin ohjelmointi onnistui todella helposti ja yksinkertaisesti. Turva-alueet



määriteltiin ja testattiin robotin ympärille. Lopputuloksena syntyi yksinkertainen, joustava, hyvin muuntelukykyinen, turvallinen ja tuottava robottihitsaussolu kaik-  
kine laitteineen.

## LÄHTEET

1. Yritysesittely. Nivala. NTcab Oy. Saatavissa: <https://ntcab.fi/yritys/> Hakupäivä 23.1.2020.
2. NTcab Oy. Helsinki: Suomen Asiakastieto Oy. Saatavissa: <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/ntcab-oy/10291948/taloustiedot> Hakupäivä 16.1.2020.
3. Lukkari, Juha 1997. Hitsaustekniikka - perusteet ja kaarihitsaus. Helsinki: Edita Prima Oy.
4. Hitsausmenetelmät. ESAB. Saatavissa: 20.4.2010  
<https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/hitsausmenetelmat.cfm> Hakupäivä: 9.1.2020.
5. Muita hitsausmenetelmiä. 2020. Kemppi. Saatavissa: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/muita-hitsausmenetelmia/> Hakupäivä 27.4.2020.
6. Kuusisto, Tuomo 2014. Käytännön ohjeita MIG/MAG-hitsaukseen. AGA. Saatavissa: [http://www.linde-gas.fi/fi/images/AGA%20MIG%20MAG%20Welding%20Brochure%202014%20FI\\_tcm634-122347.pdf](http://www.linde-gas.fi/fi/images/AGA%20MIG%20MAG%20Welding%20Brochure%202014%20FI_tcm634-122347.pdf) Hakupäivä 16.1.2020.
7. Hitsaus. Hardox. 2016. SSAB. Saatavissa: [https://ssabwebsites.tecdn.azureedge.net/-/media/files/fi/hardox/103\\_fi\\_welding-hardox-brochure-web.pdf?m=20170628082331](https://ssabwebsites.tecdn.azureedge.net/-/media/files/fi/hardox/103_fi_welding-hardox-brochure-web.pdf?m=20170628082331) Hakupäivä 17.4.2020.
8. Lukkari, Juha 2007. Työkaluja hitsauskoordinoijalle hitsauksen suunnittelua varten. Teema: Hitsaustekniikkapäivät. 2/2007. 57. vuosikerta. Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. Saatavissa: [http://www.shy-hitsaus.net/portals/shy/iBooklet/2007/ht\\_2\\_07/files/assets/basic-html/page10.html](http://www.shy-hitsaus.net/portals/shy/iBooklet/2007/ht_2_07/files/assets/basic-html/page10.html) Hakupäivä 16.1.2020.

9. Lukkari, Juha 2008, Nauti raittiista ilmasta. Helsinki: Hitsausuutiset Nro 1/2008. 42. vuosikerta. ESAB Oy. Saatavissa: <https://www.esab.fi/fi/fi/news/hitsausuutiset/upload/hu-1-08.pdf> Hakupäivä 24.4.2020.
10. Robottihitsaus. Ionix 2020. Saatavissa: <http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/robot-tihitsaus/> Hakupäivä 26.4.2020.
11. Railonhaku ja -seuranta. Finnrobotics Oy. Saatavissa: <http://finnrobotics.fi/tuotteet/railonhaku-ja-seuranta/> Hakupäivä 30.4.2020
12. Laukkanen, Reino 2002. Ja ihminen loi robotin omaksi kuvakseen. Helsinki: StudioLUMI. Saatavissa: <http://www.studiolumi.com/koke/uaitkn/robot.html#tietmaar> Hakupäivä 21.4.2020.
13. Lommerse Sari - Hinkkanen Tuomas 2017. Hitsausroboteista pelastus ja monta bonusta. Uutinen on julkaistu ABB Oy:n power-asiakaslehden numerossa 3/2017. ABB. Saatavissa: <https://new.abb.com/news/fi/detail/23454/hitsausroboteista-pelastus-ja-monta-bonusta> Hakupäivä 9.1.2020.
14. What is "Robot"?. 2003 - 2020. Yaskawa Electric Corporation. Saatavissa: <https://www.yaskawa-global.com/product/robotics/about> Hakupäivä 16.1.2020.
15. THE UR10e Collaborative Industrial Robot. Universal Robots. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/products/ur10-robot/> Hakupäivä 16.1.2020.
16. Sheppard. Karl 2020. Cobots Are Now Reaching for Welding Tools. Machine Design. Universal Robots. Saatavissa: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21836079/cobots-are-now-reaching-for-welding-tools> Hakupäivä 11.3.2020.

17. Hitsauksen mekanisointi ja automatisointi. Kemppi 2016. Saatavissa: <http://www.shy-hitsaus.net/LinkClick.aspx?file-ticket=E%2FgdWKeTX%2B8%3D&tabid=4849> Hakupäivä 11.3.2020.
18. Universal Robots A/S 2015. UR10/CB3 User manual. Tanska: Universal Robots.
19. Hitsausturvallisuus. Kemppi. Saatavissa: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/hitsausturvallisuus/> Hakupäivä 30.4.2020
20. EN ISO/TS 15066. 2016. Robots and robotic devices. Collaborative robots. Itävalta: Kansainvälinen standardisoimisliitto ISO.
21. SFS-EN ISO 10218-1. 2013. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
22. Teollisuusrobottien ISO-turvallisuusstandardin tarkistus. PILZ. Saatavissa: <https://www.pilz.com/fi-FI/company/news/articles/196225> Hakupäivä 26.4.2020.
23. WiseFusion. Kemppi. Saatavissa: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/family/wisefusion/> Hakupäivä: 9.1.2020.
24. Wisepenetration. Kemppi. Saatavissa: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/family/wisepenetration/> Hakupäivä: 9.1.2020.
25. Wisethin. Kemppi. Saatavissa: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/family/wisepenetration/> Hakupäivä: 9.1.2020.
26. WiseRoot. Kemppi. Saatavissa: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/family/wiseroot/> Hakupäivä: 9.1.2020.

- 27.UR+SmartArc. Fsk Industries GmbH & Co. Saatavissa: <https://www.fsk-industries.de/en/ur-smartarc/> Hakupäivä 16.1.2020.
- 28.A7 MIG Welder. Kemppi. Saatavissa: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/family/a7-mig-welder/>Hakupäivä: 9.1.2020.
- 29.Turvavaloverhot. SICK 2020. Saatavissa: <https://www.sick.com/fi/fi/valosaehkoeiset-turvalaitteet/turvavaloverhot/c/g185751> Hakupäivä 16.1.2020.
- 30.Räjähdyksvaarallisten tilojen laitteet – ATEX. Tukes. Saatavissa: <https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat/rajahdysvaarallisten-tilojen-laitteet-atex> Hakupäivä 16.1.2020.
- 31.Universal Robots UR10e. Msitec 2020. Saatavissa: <https://store.msitec.com/Universal-Robots-UR10e-p/ur10e.htm> Hakupäivä 16.1.2020.
- 32.Hitsauspöytä, jigit ja työkalut. Retco. Saatavissa: [http://www.retco.fi/uutiset-856-hitsauspoyta\\_jigit\\_ja\\_tyokalut.php](http://www.retco.fi/uutiset-856-hitsauspoyta_jigit_ja_tyokalut.php) Hakupäivä 17.1.2020.
- 33.Materiaalit vertailussa. Siegmund. Saatavissa: <https://www.siegmund.com/fi-fi/Materiaalit-vertailussa,3573.php?cookie-approved=1&google-enabled=1&fb-enabled=1&insta-enabled=1&youtube-enabled=1&gdpr-close=1> Hakupäivä 17.1.2020.
- 34.Rauma, Jari 2020. Ohjausjärjestelmän rakentaminen robottihitsaussoluun. Valmisteilla oleva opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu. Konetekniikan osasto.
- 35.Welding gun cleaning station. Kemppi 2020. Saatavissa: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/tuote/welding-gun-cleaning-station-2/pdf/technical-specification/> Hakupäivä 17.1.2020.