



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Petri Hakkola

# ROBOTTIHITSAUKSEN OPETUKSEN KEHITTÄMINEN

Tekniikka  
2022

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Petri Hakkola
Opinnäytetyön nimi	Robottihitsauksen opetuksen kehittäminen
Vuosi	2022
Kieli	suomi
Sivumäärä	81 + 15 liitettä
Ohjaaja	Mika Billing

---

Vamian teknologiapalvelut hankki uuden hitsausrobottiaseman pysyäkseen teknologian kehityksessä mukana ja pystyäkseen palvelemaan alueen hitsaavan teollisuuden tarpeita yhä paremmin. Robottihitsauksen opetus aloitettiin ilman aikaisempaa kokemusta ja tämän tutkimuksen avulla selvitettiin, miten sitä voisi kehittää yritysten näkökulmasta ja miten muut ammatilliset oppilaitokset opetusta järjestävät.

Tutkimus toteutettiin laadullisena kyselytutkimuksena lähettämällä Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan alueiden yrityksiin kyselylomakkeet, joista saatujen vastausten avulla muodostettiin johtopäätökset ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Samaa menetelmää käytettiin toiseen tutkimuskysymykseen, joka koski ammatillisten oppilaitosten robottihitsauksen opetusta Suomessa.

Keskeinen havainto tutkimuksessa oli, että robottihitsauksen osuus hitsaavassa teollisuudessa tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Opetuksen kehittämisen painopisteisiin tulee vaikuttamaan hitsausoperaattorin tärkeimmät osaamisalueet, jotka tutkimuksen mukaan olivat manuaalihitsaus ja hitsausrobottiaseman peruskäyttö. Teknologian kehittyessä etäohjelmointi tulee lisääntymään, mikä tulee myös osallaan vaikuttamaan opetuksen sisältöön.

## ABSTRACT

Author	Petri Hakkola
Title	Development of Robot Welding Teaching
Year	2022
Language	Finnish
Pages	81 + 15 Appendices
Name of Supervisor	Mika Billing

---

Vamia's technology services acquired a new welding robot station to keep up with the technology development and to be even better able to offer services to the welding industry in the area. The teaching of robot welding was started without previous experience and this study was used to find out how it could be developed from the companies' point of view and how other vocational schools organize the teaching.

The study was carried out as a qualitative survey by sending questionnaires to companies in the Ostrobothnia and Southern Ostrobothnia regions, from which the answers were used to draw conclusions for the first research question. The same method was used for another research question concerning the teaching of robot welding in vocational schools in Finland.

A key finding of the study was that the share of robot welding in the welding industry will be increased in the future. The focus of the development of teaching will be influenced by the welding operator's most important areas of expertise, which according to the study were manual welding and the basic use of the welding robot station. As technology advances, offline programming will increase, which will also contribute to the content of teaching.

---

Keywords                      Robot welding, research, teaching, and development

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
1.1	Vamia .....	9
1.2	Tavoitteet ja työn rajaus .....	10
2	TUTKIMUSKYSYMYKSET .....	11
2.1	Ensimmäinen tutkimuskysymys: Miten robottihitsauksen opetusta kehitetään yritysten näkökulmasta? .....	11
2.2	Toinen tutkimuskysymys: Miten muissa ammatillisissa oppilaitoksissa opetetaan robottihitsausta? .....	12
2.3	Tutkimusstrategian valinta .....	12
2.4	Tutkimusmenetelmä .....	13
3	KYSELYTUTKIMUS .....	14
3.1	Alkukartoituskysely Robottiikkayhdistykselle .....	15
3.2	Kyselyiden muodostaminen.....	15
3.3	Kysely yrityksille, joilla ei ole hitsausrobottia .....	17
3.4	Kysely yrityksille, joilla on hitsausrobotti.....	17
3.5	Kysely oppilaitoksille, jotka opettavat robottihitsausta .....	18
4	ROBOTTIHITSAUS.....	20
4.1	Teollisuusrobotti .....	21
4.2	Teollisuusrobotin turvallisuus.....	22
4.3	Teollisuusrobotin ohjelmointi.....	23
4.4	Hitsauksen robotisointi .....	25
4.4.1	Soveltuvat robottityypit ja hitsausprosessit .....	26
4.4.2	Käsittelylaitteet .....	27
4.4.3	Hitsauskiinnittimet .....	28
4.5	Robottihitsauksen tuotesuunnittelu.....	28

4.6	Hitsauksen määritelmä .....	30
4.7	MIG/MAG-hitsaus .....	30
5	ROBOTTIHITSAUKSEN OPETUKSEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS .....	32
5.1	Vamian robottihitsausasema .....	32
5.2	Robotin käytön opettelu .....	35
5.2.1	Jigit .....	35
5.2.2	Hitsausparametrien haku .....	36
5.2.3	Online-ohjelmointi .....	37
5.2.4	Lisäkoulutus.....	37
5.2.5	Uuden työkalun opettaminen ja työkalupisteen korjaus .....	38
5.2.6	Offline-ohjelmointi.....	39
5.3	Koulutuksen sisällön suunnittelu .....	39
5.3.1	Tutkinnon perusteet .....	39
5.3.2	Käsinajoharjoitukset.....	40
5.3.3	Ohjelmointiharjoitukset .....	40
5.3.4	Hitsausharjoitukset .....	41
5.4	Pilottikoulutuksen järjestäminen.....	41
5.5	Palaute pilottikoulutuksesta .....	42
6	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	47
6.1	Kysely yrityksille, joilla ei ole hitsausrobotia – vastaukset.....	47
6.2	Kysely yrityksille, joilla ei ole hitsausrobotia – johtopäätökset .....	53
6.3	Kysely yrityksille, joilla on hitsausroboti – vastaukset .....	53
6.4	Kysely yrityksille, joilla on hitsausroboti – johtopäätökset .....	61
6.5	Kysely oppilaitoksille – vastaukset.....	62
6.6	Kysely oppilaitoksille – johtopäätökset .....	74
7	POHDINTA.....	75
7.1	Jatkokehitysehdotukset ja loppuyhteenveto .....	77
	LÄHTEET .....	79
	LIITTEET .....	82

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Teollisuusrobottien hitsausprosessit koko maailmassa vuonna 2016. (Karabegovic, I. 2018.).....	27
<b>Kuva 2.</b> IRB 1660ID (Vamian kuvapankki).....	33
<b>Kuva 3.</b> IRB A-250 (Vamian kuvapankki).....	34
<b>Kuva 4.</b> Kysymys 6 (Liite 6).....	43
<b>Kuva 5.</b> Kysymys 8 (Liite 6).....	43
<b>Kuva 6.</b> Kysymys 9 (Liite 6).....	44
<b>Kuva 7.</b> Kysymys 10 (Liite 6).....	44
<b>Kuva 8.</b> Kysymys 11 (Liite 6).....	44
<b>Kuva 9.</b> Kysymys 12 (Liite 6).....	45
<b>Kuva 10.</b> Kysymys 13 (Liite 6).....	45
<b>Kuva 11.</b> Kysymys 17 (Liite 6).....	46
<b>Kuva 12.</b> Kysymys 1 (Liite 2).....	47
<b>Kuva 13.</b> Kysymys 2 (Liite 2).....	48
<b>Kuva 14.</b> Kysymys 3 (Liite 2).....	48
<b>Kuva 15.</b> Kysymys 4 (Liite 2).....	49
<b>Kuva 16.</b> Kysymys 5 (Liite 2).....	50
<b>Kuva 17.</b> Kysymys 6 (Liite 2).....	50
<b>Kuva 18.</b> Kysymys 7 (Liite 2).....	51
<b>Kuva 19.</b> Kysymys 8 (Liite 2).....	52
<b>Kuva 20.</b> Kysymys 9 (Liite 2).....	52
<b>Kuva 21.</b> Kysymys 2 (Liite3).....	55
<b>Kuva 22.</b> Kysymys 3 (Liite 3).....	55
<b>Kuva 23.</b> Kysymys 4 (Liite3).....	56
<b>Kuva 24.</b> Kysymys 5 (Liite3).....	57
<b>Kuva 25.</b> Kysymys 6 (Liite 3).....	58
<b>Kuva 26.</b> Kysymys 7 (Liite3).....	59
<b>Kuva 27.</b> Kysymys 8 (Liite3).....	59

<b>Kuva 28.</b> Kysymys 9 (Liite3).....	60
<b>Kuva 29.</b> Kysymys 10 (Liite3).....	61
<b>Kuva 31.</b> Kysymys 7 (Liite 4).....	68
<b>Kuva 32.</b> Kysymys 8 (Liite 4).....	68
<b>Taulukko 1.</b> Kysymys 1 (Liite3).....	53
<b>Taulukko 2.</b> Kysymys 1. Millainen robottijärjestelmä teillä on käytössä opetuksessa?.....	62
<b>Taulukko 3.</b> Kysymys 2. Käytättekö yhteistyörobottia hitsauksessa tai oletteko suunnitelleet sellaista, perustelut?.....	63
<b>Taulukko 4.</b> Kysymys 3. Miten arvioitte opetuksen jakautuvan (yrityskoulutukset, perustutkinto, ammattitutkinto, muu?) .....	64
<b>Taulukko 5.</b> Kysymys 4. Millaista yritysyhteistyötä teette hitsausrobotin suhteen (koulutukset, alihankintatyöt)?.....	65
<b>Taulukko 6.</b> Kysymys 5. Jos opetatte sekä nuoria että aikuisia, mitä eroja olette huomanneet näiden ikäryhmien välillä esim. oppimisessa/opettamisessa? .....	66
<b>Taulukko 7.</b> Kysymys 6. Millainen pohjakoulutus tulisi olla, että voi aloittaa robottihitsauksen opiskelun?.....	67
<b>Taulukko 8.</b> Kysymys 9. Opetattekö etäohjelmointia (Esim. RobotStudio, Delfoi, KukaSim, MotoSim, RoboGuide)? Jos kyllä, millä ohjelmalla ja millaisia kokemuksia siitä teillä on? .....	69
<b>Taulukko 9.</b> Kysymys 10. Onko tullut isoja törmäyksiä ja miten niiltä voitaisiin välttyä?.....	70
<b>Taulukko 10.</b> Kysymys 11. Miten simuloitte häiriötilanteita?.....	71
<b>Taulukko 11.</b> Kysymys 12. Mihin suuntaan mielestänne robottihitsaus kehittyvä tulevaisuudessa ja miten oppilaitosten tulisi siihen varautua? .....	72
<b>Taulukko 12.</b> Kysymys 13. Millaisia neuvoja antaisitte koulutusmateriaalin ja harjoitustöiden suunnitteluun? .....	73

## **LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Kysely Robotiikkayhdistykselle

**LIITE 2.** Kysely yrityksille, joilla ei ole hitsausrobottia

**LIITE 3.** Kysely yrityksille, joilla on hitsausrobotti

**LIITE 4.** Kysely oppilaitoksille

**LIITE 5.** Kysely robotilla hitsattavan tuotteen suunnittelusta, Ferrum Steel Oy

**LIITE 6.** Opiskelijapalaute

## 1 JOHDANTO

Vaasan ammatillisen koulutuksen Vamian teknologiapalveluiden hitsausosastolle hankittiin uusi robottihitsausasema vuonna 2020 (Vamian vuosikirja 2020). Se asennettiin kesällä ja saman vuoden syksyllä henkilöstölle järjestettiin robottihitsausaseman turvallisuus- ja käyttökoulutuksia. Robottihitsausasema oli tarkoitus ottaa käyttöön opetuksessa seuraavan vuoden aikana, mutta henkilöstöllä ei ollut aikaisempaa kokemusta robottihitsauksesta, eikä mitään valmista opetusmateriaalia tai harjoitustöitä ollut olemassa. Tästä muodostui tarve robottihitsauksen opetuksen kehittämiseksi.

### 1.1 Vamia

Vaasan Ammattiopisto, Vaasan Aikuiskoulutuskeskus ja Vaasan rannikkoseudun oppisopimustoimisto yhdistyivät vuoden 2017 alussa yhdeksi oppilaitokseksi, jolle annettiin nimeksi Vamia. Yhdistymisellä haettiin säästöjä kustannuksiin ja valmistauduttiin vuoden 2018 Ammatillista koulutusta koskevan lainsäädännön uudistukseen, jossa aikuisten ja nuorten ammatillinen koulutus yhdistettiin yhdeksi laiksi. Vamia toimii kahdella erillisellä kampuksella, joiden nimet ovat Sampo ja Hansa. (Vaasan kaupungin tiedote 2016.)

Vamialla opiskelee vuosittain noin 5 000 opiskelijaa kolmella eri kielellä. Koulutustarjonnassa on yli 60 perus-, ammatti- ja erikoisammattitutkintoa, joiden lisäksi voidaan opiskella erilaisia tutkintoon johtamattomia työvoimakoulutuksia sekä lyhytkoulutuksia kuten päivän kestävät korttikoulutukset (Vamian verkkosivut 2022). Yrityskoulutuksia räätälöidään tarpeen ja rahoitusmuodon mukaan.

## 1.2 Tavoitteet ja työn rajaus

Opinnäytetyön ensimmäisenä tavoitteena on suunnitella toimiva koulutussisältö robottihitsauksen opettamiseen tutkinnon perusteiden pohjalta ottaen huomioon yritysten tarpeet robottihitsausoperaattorin osaamiselle. Toisena tavoitteena on tutkia vastaavien oppilaitosten kokemuksia robottihitsauksen opetuksesta ja opetuksen painotusalueista. Kolmantena tavoitteena on tutkia yritysten investointiaikeita ja mahdollisia koulutustarpeita robottihitsaukseen liittyen. Tulosten pohjalta tehdään jatkokehitysehdotukset.

Opetuksen suunnittelu ja kehittäminen rajataan koskemaan Kone- ja tuotantotekniikan ammatillisen perustutkinnon valinnaista tutkinnon osaa Robotin käyttö (Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinto 2017), koska se tulee olemaan pääasiallinen koulutuskohte. Tuotantotekniikan ammattitutkinnon valinnainen tutkinnon osa Robotiikan hyödyntäminen tuotannossa (Tuotantotekniikan ammattitutkinto 2018) jätetään tämän kehittämistyön ulkopuolelle.

Tutkimukseen osallistuvien yritysten osalta alue rajataan koskemaan Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan alueita, sillä Vamian opiskelijat työllistyvät pääsääntöisesti näille alueille ja yritysyhteistyöt koskevat näiden alueiden yrityksiä. Yritykset ovat toiminnaltaan hitsaavia konepajoja, joista osassa on robottihitsausta. Tutkimukseen osallistuvat oppilaitokset kartoitetaan koko Suomen alueelta riittävän otannan varmistamiseksi.

## 2 TUTKIMUSKYSYMYKSET

Opetuksen kehittämistyötä voidaan tehdä monesta eri näkökulmasta. Tutkinnon perusteiden muuttuessa tai päivittyessä joudutaan tarkastelemaan opetusmateriaalin ja opetuksen sisältöjen ajantasaisuutta. Opiskelijapalautteet ja opettajan omat kokemukset opetustilanteista ovat tavallista opetuksen kehittämistyötä, kun parannellaan opetuksen sisältöä ja opetusmateriaalia. Tutkimuksen kannalta kehittämistyön laajentamiseksi on järkevää ottaa mukaan alueen yritysten näkökulmat opetuksen painopisteisiin sekä ottaa selvää, miten muut ammatilliset oppilaitokset järjestävät vastaavaa koulutusta, ja oppia heiltä.

Tässä tutkimuksessa näkökulma on robottihitsauksen opetuksen teknisissä aiheissa pedagogisten sijaan: mitä asioita robottihitsaukseen liittyy, mitä niistä on tärkeää painottaa opetuksessa, ja mitkä ovat toisarvoisia asioita opetuksen kohderyhmän kannalta. Vaatisi toisen tutkimuksen selvittää miten erilaiset oppijat oppivat kyseisiä asioita ja millaisilla erilaisilla menetelmillä niitä voi opettaa.

### 2.1 Ensimmäinen tutkimuskysymys: Miten robottihitsauksen opetusta kehitetään yritysten näkökulmasta?

Paikalliset yritykset ovat oppilaitosten yhteistyökumppaneita. Oppilaitoksissa koulutetaan osaavaa työvoimaa yrityksille ja vastaavasti tarjotaan koulutuksia yritysten henkilöstölle. Opetussuunnitelman lisäksi yritysten näkökulmat on tärkeä huomioida opetusta kehitettäessä. Ne saattavat poiketa sen mukaan, onko yrityksissä ennestään robottihitsausta vai ei, ja yrityksillä, jotka suunnittelevat robottihitsauksen käyttöönottoa, voi olla erilaisia koulutustarpeita, jotka selvitetään samalla tutkimusta tehtäessä.

## **2.2 Toinen tutkimuskysymys: Miten muissa ammatillisissa oppilaitoksissa opetetaan robottihitsausta?**

Suomessa on kymmeniä ammatillisia oppilaitoksia, joista osassa järjestetään robottihitsauskoulutusta. Ne ovat kehittäneet tahollaan robottihitsauksen opetusta ja oman kehittämistyön kannalta on järkevää tutkia miten muut ovat ratkaisseet asioita, jotka nousevat esiin opetuksen sisältöä suunniteltaessa ja kehitettäessä.

## **2.3 Tutkimusstrategian valinta**

Tutkimusstrategiat jaotellaan perinteisesti kolmeen osaan. Ensimmäisenä on kokeellinen tutkimus, jossa tyypillisesti muutokset mitataan numeerisesti ja testataan hypoteeseja, jotka tarkoittavat selityksiä tai malleja joillekin ilmiöille. Toisena on survey-tutkimus, tietynlainen kysely, joka toteutetaan haastattelulla tai kyselylomakkeella. Kerätyllä aineistolla kuvataan, vertaillaan ja selitetään ilmiötä. Kolmantena on tapaustutkimus, jossa käsitellään yksittäistä tapausta tai pientä joukkoa tai yksilöä. Tavoitteena on kuvailla ilmiötä ja aineistoa kerätään useilla eri menetelmillä. (Hirsjärvi, Remes, & Sajavaara 1997, 125–126.)

Ensimmäinen tutkimuskysymys käsittelee Pohjanmaalla ja Etelä-Pohjanmaalla olevia hitsausalan yrityksiä, joita on oletettavasti kymmeniä. Toiseen tutkimuskysymykseen kuuluu ammatilliset oppilaitokset Suomessa. Niitä on myös kymmeniä, mutta tutkimuksen alussa pitää selvittää, missä niistä on robottihitsauksen opetusta.

Tämä tutkimus ei pohjaudu olemassa olevaan teoriaan, jota halutaan vahvistaa kokeellisesti tai muulla tavalla. Se poissulkee ensimmäisenä olevan kokeellisen tutkimusstrategian. Tässä myöskään käsitellä yksittäistä tapausta tai hyvin pientä joukkoa, joten tapaustutkimukseen ei tule kyseeseen. Parhaiten tähän tutkimukseen sopii kyselytutkimusstrategia, koska tarkoitus on saada vastauksia suurelta joukolta ennalta määrättyihin kysymyksiin.

## 2.4 Tutkimusmenetelmä

Tieteelliset tutkimukset toteutetaan usein joko määrällisenä tai laadullisena tutkimuksena. Määrällisen eli kvantitatiivisen tutkimuksen keskiössä ovat aiemmat teorit ja hypoteesien esittäminen sekä aiempien tutkimusten johtopäätösten hyödyntäminen. Aineiston keruu tehdään niin isosta joukosta, että havainnot soveltuvat numeeriseen mittaukseen ja aineiston tilastolliseen käsittelymuotoon. (Hirsjärvi ym. 1997, 131.)

Laadullisen eli kvalitatiivisen tutkimuksen pääpiirteitä ovat: aineisto kerätään todellisissa tilanteissa, tiedon keruussa suositaan ihmisiltä kerättyyn tietoon mitausvälineiden sijaan, pyritään paljastamaan odottamattomia seikkoja, kohdejoukko on ennalta määrätty, tutkimussuunnitelma muotoutuu tutkimuksen edessä ja tapaukset käsitellään ainutlaatuisina ja aineistot tulkitaan sen mukaan. (Hirsjärvi ym. 1997, 155.)

Tutkimusmenetelmäksi valikoituu laadullinen tutkimus, koska tutkimuksessa ei käytetä alustavia teorioita eikä hypoteeseja, joita pyrittäisiin vahvistamaan tutkimustuloksilla. Tutkimuksen kohdejoukkokin on ennalta määrätty ja tutkimuksen aineisto kerätään ihmisiltä kyselylomakkeilla. Kyselyiden vastausmäärä tulee olemaan niin suppea, ettei määrällinen tutkimus tule kyseeseen.

### 3 KYSELYTUTKIMUS

Kuten Hirsjärvi ym. (1997, 184) kertovat, kyselytutkimus on tehokas, koska sen avulla voidaan kerätä laaja aineisto, joka on helppo analysoida tietokoneella. Haastattelemalla kerätty aineisto veisi huomattavan paljon aikaa, mutta vastaukset voisivat olla kattavampia ja haastatteliija voisi antaa tarkentavia kysymyksiä, mikäli sellaiseen tulisi tarvetta. Näin ei voisi toimia valmiiksi koostetun kyselyn kanssa, joka lähetettäisiin isolle joukolle kerralla. Jossain tapauksissa kyselyyn vastataan helpommin, jos vastauksen voi antaa anonyymisti eli nimettömänä. Tämä onnistuu tietokoneella lähetettävissä kyselyissä.

Kyselytutkimuksessa on myös useita heikkouksia. Aineistot ovat usein pinnallisia, ei ole mahdollista varmistua vastaajien suhtautumisesta kyselyyn, monivalintakysymyksissä ei voida tietää ovatko vastausvaihtoehdot onnistuneita vastaajien näkökulmasta, vastaajat eivät välttämättä ole oikeita henkilöitä vastaamaan kyselyyn ja vastausprosentti jää joskus pieneksi. (Hirsjärvi ym. 1997, 184.)

Tavoitteena on kerätä tietoa yrityksiltä ja oppilaitoksilta tehokkaasti helposti käsiteltävässä muodossa. Aineisto halutaan kerätä anonyymisti, koska osa oppilaitoksista ja yrityksistä on ennalta tuttuja, eikä haluta sen vaikuttavan tutkimukseen. Anonyymiyys saattaa madaltaa kynnystä osallistua kyselytutkimukseen joidenkin osalta. Näistä syistä valitaan kyselyn muodoksi kyselylomake, vaikkakin vastausprosentti voi jäädä pieneksi verrattuna esimerkiksi haastatteluun, eikä voida varmistua kuinka vakavasti vastaajat suhtautuvat kyselyyn, kuten Hirsjärvi ym. (1997, 184) selittävät. Kyselylomake muodostetaan Microsoft Forms -sovelluksella, koska se on helppokäyttöinen, sillä luotuun kyselyyn voidaan vastata anonyymisti ja vastaukset saadaan helposti käsiteltävään muotoon.

### **3.1 Alkukartoituskysely Robotiikkayhdistykselle**

Ennen varsinaisten kyselylomakkeiden laatimista lähetettiin alkukartoituskysely Suomen Robotiikkayhdistykselle sähköpostin välityksellä. Kyselyn avulla haluttiin kartoittaa muun muassa teollisuusrobottien määrän ja käytön kehittymistä, hitsausrobottien kehitystä, yritysten investoinneista robotiikkaan, yhteistyörobottien käytöstä hitsauksessa sekä selviää robotiikan ja robottihitsauksen tulevaisuuden näkymiä (Liite 1).

Yritykset, joilla on robottihitsausta, ovat järjestäneet tuotantonsa ja tuotteensa tavalla, joka mahdollistaa robottien käyttämisen hitsaustuotannossa. Heidän kohdallaan työn suorittaminen käsin on liian kallista tai heillä voi olla pulaa tekijöistä. Ne yritykset, joilla ei ole robottihitsausta, ovat saattaneet suunnitella tuotteensa käsin hitsattaviksi, ja muutos robotisointia varten vaatisi liian suuren muutoksen koko tuotantoon tai tulisi liian kalliiksi. (Liite 1.)

### **3.2 Kyselyiden muodostaminen**

Yrityksiä, joiden tuotannossa hitsaus on merkittävässä roolissa, ja jotka toimivat Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan alueilla, saatiin 61 kappaletta erilaisia internethakuja käyttämällä. Robottihitsausta opettavia oppilaitoksia ei löytynyt yhtä helposti. Joidenkin kotisivuilla oli kuvia opetustiloista tai koulutustarjonnassa oli maininta robottihitsauksen opetuksesta. Osa kyseisistä oppilaitoksista oli entuudestaan tiedossa ja loput löytyivät sähköpostikyselyiden avulla. Tiedusteluja lähetettiin ympäri Suomea eri oppilaitoksiin ja tulokseksi saatiin 12 oppilaitosta. Yhteyshenkilöiden kanssa sovittiin, että kyselyt välitetään kaikille robottihitsausta opettaville opettajille näissä oppilaitoksissa, jolloin otantaa saataisiin kasvatettua.

Alkukartoituskyselyn (Liite 1) perusteella voidaan päätellä, että yritykset, joilla ei ole robottihitsausta, eivät välttämättä osaa vastata millaisia osaamisvaatimuksia

hitsausrobotin käyttäjälle eli operaattorille annetaan, vaan he miettivät oman tuotantonsa uudelleenjärjestelyä tai investoinnin kannattavuutta. Tuotteiden suunnittelu ja oman henkilöstön koulutus voi myös olla tärkeämpää kuin operaattorin osaamisvaatimusten asettelu. Näistä syistä laadittiin kaksi erilaista kyselylomaketta, toinen niille yrityksille, joilla on hitsausrobotti tai -robotteja ja toinen niille, joilla ei ole hitsausrobotia. Jälkimmäisissäkin voi erottua sellaiset yritykset, jotka suunnittelevat hitsauksen robotisointia sellaisista, jotka ovat sitä vastaan.

Yrityskyselylomakkeiden kysymysten määrä rajattiin kymmeneen ja käytettiin pääasiassa monivalintakysymyksiä. Kysymyksissä oli valmiit vastausvaihtoehdot ja osaan oli lisätty avoin vastausvaihtoehto, mikäli valmiit vaihtoehdot eivät sopineet. Suurimpaan osaan kysymyksistä oli pakollista vastata, mutta osa jätettiin vapaaehtoisiksi luonteensa vuoksi. Näillä toimilla pyrittiin saamaan mahdollisimman suuri vastausprosentti sekä aineiston helpompi käsittely ja vertailu kuten Hirsjärvi ym. kirjoittavat (1997, 190).

Kaikille 61 yritykselle lähetettiin samanlainen sähköposti, jossa kerrottiin Vamian sen hetkinen tilanne hitsausrobotiaseman suhteen ja millaisesta opinnäytetyöstä on kyse. Molempiin kyselylomakkeisiin oli linkki ja yrityksen hitsauksesta vastaava henkilöä pyydettiin vastaamaan yrityksen tilanteeseen sopivaan kyselyyn. Microsoft Formsilla luodussa kyselyssä sovellus antaa arvion vastausajasta, joka kerrottiin sähköpostiviestissä kysymysmäärän lisäksi.

Hirsjärvi ym. (1997, 185) arvioivat, että jos lomake lähetetään jollekin erityisryhmälle kuten ammattikorkeakoulun opettajille tai kunnanjohtajille ja jos kyselyn aihe sattuu olemaan heidän kannaltaan tärkeä, voi hyvin odottaa korkeampaa vastausprosenttia. Tämän arvion paikkansapitävyyteen uskottiin tässä kyselyssä, joka lähetettiin ammatillisille opettajille aiheen ollessa robotihitsauksen opetuksen kehittäminen. Oppilaitoskyselyssä suurin osa kysymyksistä esitettiin avoimina,

koska se sallii vastaajien ilmaista itseään omin sanoin eikä ohjaile heitä ehdottamalla valmiita vastauksia sekä antaa mahdollisuuden tunnistaa vastaajien motivaatioon liittyviä seikkoja ja osoittaa paremmin vastaajien tietämyksen aiheesta Hirsjärvi ym. (1997, 190) mukaan.

### **3.3 Kysely yrityksille, joilla ei ole hitsausrobotia**

Kuten aiemmin todettiin, yrityksillä, joilla ei ole hitsausrobotia voi olla eri intressit kuin niillä, joilla on. Heille osoitetussa kyselyssä kartoitettiin yritysten investointihalukkuutta hitsauksen robotisointiin, yrityksen koulutustarpeita sekä tulevaisuuden näkymiä robottihitsauksen suhteen (Liite 2). Tutkimuksen kannalta on tärkeää havainnoida, minkä verran yritykset Vaasan talousalueella aikoo tulevaisuudessa investoida hitsauksen robotisointiin ja millaisia koulutustarpeita niillä mahdollisesti on, koska näiden asioiden pitäisi osaltaan vaikuttaa Vamian panostukseen robottihitsauksen opetuksessa.

Tässä kyselylomakkeessa viimeistä lukuun ottamatta käytettiin monivalintakysymyksiä, joissa oli valmiit vastausvaihtoehdot sekä avoin vastauskohta. Joissakin kysymyksissä sai valita useita vaihtoehtoja. Viimeinen kohta oli avoin kommentille ja kysymyksille, joita vastaajille saattoi herätä. Kahteen kysymykseen ei ollut vastauspakkoa, muut olivat pakollisia.

### **3.4 Kysely yrityksille, joilla on hitsausroboti**

Tässä kyselyssä oli tarkoitus saada selvitettyä millainen laitteisto ja millä käyttöasteella se yrityksellä on käytössä, millaisia ongelmia laitteiston kanssa on ollut, mitä hitsausoperaattorin tulee osata tärkeysjärjestyksessä sekä mitä ohjelmointitapaa käytetään ja onko kiinnostusta siirtyä etäohjelmointiin. Näillä oli tarkoitus hakea korrelaatiota laitteiston, vikojen ja ohjelmointitapojen välillä, voiko operaattorin tai muun henkilöstön osaamisella olla merkitystä käyttöasteessa tai vikojen laadussa sekä operaattorin tärkeimmät osaamisvaatimukset. (Liite 3).

Yritysten asettaman järjestyksen operaattorin osaamisvaatimuksiin voi suoraan hyödyntää oman opetuksen painotuksissa. Esimerkiksi ei kannata opettaa solun huoltotoimenpiteitä, jos missään alueen yrityksessä operaattori ei hoida sitä tehtävää ja vastaavasti jos manuaalihitsaus on tärkeimpänä listalla, voi suunnitella koulutuksen siten, että manuaalihitsausjaksot ovat ennen robottihitsauksen opetusta. Etäohjelmoinnin opettamista tulee harkita tarkoin, sillä se on vaativa opettettava asia eikä välttämättä kuulu yrityksessä operaattorin tehtäviin tai edes käytä yrityksessä.

Kyselyssä oli kaksi avointa kysymystä, joista toinen koski yrityksen robottihitsauslaitteistoa ja toinen oli avoin kommenteille ja kysymyksille. Yhdessä kysymyksessä pyydettiin järjestämään vaihtoehdot tärkeimmästä vähiten tärkeimpään ja muut olivat monivalintoja, joissa osassa oli viimeinen kohta avoin. Kolmeen kysymyksestä oli vapaaehtoista vastata.

### **3.5 Kysely oppilaitoksille, jotka opettavat robottihitsausta**

Oppilaitoskyselyssä tiedusteltiin muun muassa oppilaitoksen opetuksessa käyttämästä robottihitsauslaitteistosta, opetusjärjestelyistä, yritysyhteistyöstä, aikuisten ja nuorten opetuksen eroista, operaattorin osaamisalueista, törmäysten ja häiriötilanteiden välttämistä ja opettamisesta sekä arviota robottihitsauksen kehittymisestä tulevaisuudessa (Liite 4). Kysymyksiä oli 13, joista kolme monivalintoja ja loput avoimia.

Tässä kyselyssä haettiin myös hieman pedagogista näkökulmaa toisin kuin yrityskyselyissä, vaikkei se ollut tutkimuksen lähtökohta. Pyrittiin saamaan selville opetuksen painotusalueita ja opetusjärjestelyjä sekä heidän havaintojaan oppimisesta. Alueelliset erot yritystoiminnassa voi vaikuttaa oppilaitosten painotuksiin opetuksessa ja niiden tulevaisuuden näkyymiin, mutta sitä ei otettu huomioon tässä tutkimuksessa.

Kyselyn laatimisessa luotettiin, että opettajat jaksavat vastata kyselyyn ilman vastausvaihtoehtoja, ja uskottiin heidän ammattitaitonsa tulevan paremmin esille vastatessaan omin sanoin. Vastauksiakin oli odotettavissa vähemmän kuin yritys-kyselyissä, mikä helpottaisi aineiston käsittelyä. Kysely lähetettiin 12 eri oppilaitokseen ja se pyydettiin välittämään kaikille robottihitsausta opettaville opettajille.

## 4 ROBOTTIHITSAUS

Robotiikasta puhuttaessa tarkoitetaan useimmiten robotteja. Sana robotti keksittiin 1920-luvulla ja sillä viitataan automaattiseen sähköllä tai muulla energialähteellä toimivaan käsittelylaitteeseen, joka suorittaa erilaisia tehtäviä. Ennen 1960-lukua roboteilla yleensä tarkoitettiin ihmisen kaltaista mekaanista laitetta, joka suorittaa ihmiselle ominaisia tehtäviä käyttäytyen ihmismäisesti. Määritelmän mukaan robotti on tietokoneohjattu laite, joka on ohjelmoitu liikkumaan, siirtämään esineitä ja suorittamaan tehtäviä vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. Sanotaan myös, että robotti on uudelleenohjelmoitava ja monitoiminnallinen. (Gupta, Arora & Westcott 2017, 397–398).

Robotit voidaan jakaa kolmeen ryhmään: teollisuusrobotit, mobiilirobotit ja palvelurobotit. Ensimmäinen yksinkertainen teollisuusrobotti keksittiin 1954 Yhdysvalloissa. Yleisemmin niitä alkoi tullemaan 1960-luvulla, kuten Kuivanen (1999, 13) kirjoittaa. Ensimmäinen mobiilirobotti kehitettiin vuonna 1970. Mobiilirobotteja ohjataan ohjelmistoilla, jotka käyttävät antureita ja muuta teknologiaa tunnistukseen ympäristönsä liikkeessaan. Ne voivat liikkua maalla, vedessä tai ilmassa itsenäisesti tai ohjattuna. Mobiilirobotteja käytetään teollisesti varastoissa ja jakelu-keskuksissa sekä näiden lisäksi muun muassa sairaaloissa ja turvallisuusalalla. Myös meri- ja avaruustutkimus käyttää mobiilirobotteja. (Brush 2019).

Kolmas robottien ryhmä on palvelurobotit. Niiden tarkoitus on auttaa ihmistä tai suorittaa tehtäviä ihmiselle. Palvelurobotit ovat osittain tai täysin automaattisia, paikallaan olevia tai liikkuvia, ja ne voivat olla ihmisen kanssa vuorovaikutuksessa. Yleisimmin niitä käytetään sairaaloissa, hoiva-alalla, varastoissa, maatalouden sovelluksissa sekä avaruudessa ja poliisin ja puolustusvoimien tehtävissä. Sairaaloissa ne voivat olla etäläsnäolorobotteja potilaille, lääkkeidenjaossa tai vaikka toimia hoitajien voimaliiveinä. Varastoissa tai jälleenmyynnissä ne havaitsevat virheitä hyllytyksissä tai hinnoittelussa. Palvelurobotteja käytetään asiakaspalvelussa

ja puhdistusalalla siivouksessa ja niin edelleen. Kotitalouksissa niitä käytetään robotti-imureina ja -ruohonleikkureina. Välillä niiden määrittely menee ristiin tai päällekkäin mobiilirobottien kanssa. (Calderone 2019; Industrial Robots vs Service Robots; Aalto-yliopiston uutinen 2021).

#### **4.1 Teollisuusrobotti**

Teollisuusrobotti koostuu neljästä isosta alijärjestelmästä, joita ovat mekaaninen yksikkö, voimanlähde, ohjausjärjestelmä ja työkalujärjestelmä. Mekaaniseen yksikköön kuuluu robotin käsittelylaite, joka voi olla käsivarsi tai vastaava sekä jalusta, jonka avulla robotti kiinnittyy paikalleen. Mekaaniseen yksikköön kuuluu rungon lisäksi muun muassa niveliä, tukivarsia, toimilaitteita, venttiilejä ja antureita. Työkalujärjestelmä voi olla kiinteä työkalu kuten hitsauspistooli tai maali-ruisku tai siinä voi olla työkaluvaihtaja, johon saa vaihdettua erilaisia tarttuvia tai muita työkaluja. Voimanlähteenä on pääasiassa sähkö, mutta hydraulikkaa, pneumatiikkaa tai niiden yhdistelmiäkin voidaan käyttää. Hydraulikkaa käytettiin aiemmin isommissa roboteissa, jotka tarvitsivat paljon voimaa nostamiseen. Pneumatiikkaa käytetään, kun tarvitaan nopeita liikkeitä ei servomoottoroiduissa roboteissa sekä usein työkalujen kuten tarttuvien voimanlähteenä. Sähkämootto-reita käytetään nostamiseen ja tarkkoihin liikkeisiin. Ohjausjärjestelmä on robotin aivot. Se ohjaa robotin liikkeitä erilaisilla laskutoimituksilla eri koordinaatistojen välillä servomoottorien nopeuksiin ja asentoihin perustuen. Niiden avulla se osaa laskea robotin työkalupisteen sijainnin ja asennon eri koordinaatistoissa. Ohjausjärjestelmä kommunikoi robotin ja toimilaitteiden kanssa ja niiden välillä. (Gupta ym. 2017, 403–404; Kuivanen 1999, 34–35).

Robottityypit voidaan jakaa seuraavien perusteiden mukaan: rakenne, voimanlähde, ohjaustapa ja ohjelmointitapa. Rakenteesta puhuttaessa mainitaan liikesuunnat ja akselien eli nivelien määrä. Teollisen tuotannon mukaan robotit voidaan jakaa viiteen pääryhmään: nivelvarsirobotit, Delta-robotit, Scara-robotit,

suorakulmaiset robotit ja yhteistyörobotit. Yleisin näistä on nivelvarsirobotti, jossa on useimmiten kuusi niveltä ja sen rakennetta voidaan verrata ihmisen käsivarteen. Delta-robotissa on kolme tukivartta, jotka ovat päistään yhteen liittyneitä. Yhtä tukivartta voidaan liikuttaa kerrallaan, jolloin saadaan työkalupiste liikkumaan haluttuun suuntaan. Tämä rakenne on heikko, mutta erittäin nopea ja näitä robotteja käytetään lähinnä poimintatehtävissä liukuhihnalta tai vastaavasta. Scara-robotissa on kolme kiertyvää niveltä ja yksi lineaarinen pystyliike. Scara on nopea ja sillä on hyvä toistotarkkuus. Näitä käytetään poiminta-, asennus- ja joisain työstötehtävissä kuten poraus. Suorakulmaiset- eli portaalirobotit työskentelevät suorakulmaisella työalueella ja ne liikkuvat kolmeen lineaariseen suuntaan. Portaalijärjestelmään voidaan kiinnittää nivelvarsirobotti, jolloin molempien robottien ominaisuudet paranevat. (Gupta ym. 2017, 414–420; Kuivanen 1999, 12–18; What is an Industrial Robot).

Yhteistyörobotit ovat nivelvarsirobotteja, jotka ovat suunniteltu turvallisiksi toimimaan ihmisen läheisyydessä tai yhteistyössä ihmisen kanssa. Toisin kuin teollisuusrobotit, ne eivät tarvitse suoja-aitoja tai muita turvajärjestelyitä, jotka estävät ihmisen pääsemisen robotin läheisyyteen. Yhteistyörobottien terävät ja kovat muodot ovat pehmustettu ja pyöristetty törmäysten varalta ja ne ovat varustettu voima-antureilla, joiden avulla liike pysähtyy törmätessä esimerkiksi ihmiseen. Tämä ei yksistään riitä, vaan työkalupisteen liikenopeus on turvallisuusstandardissa ISO 10218 rajattu 250 mm/s. Yhteistyörobotteja käytetään usein kappaleen siirtely-, pakkaus- ja pinoamistehtävissä ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi painavan kappaleen asennuksessa yhteistyössä ihmisen kanssa. (Collaborative Robots; Collaborative Robot Safety Features; Peterson 2020.)

## **4.2 Teollisuusrobotin turvallisuus**

Teollisuusrobotit ovat sillä tavoin tunteettomia, etteivät ne tunnista ihmistä eivätkä osaa varoa törmäämästä, mikäli ihminen tai joku muu esine tulee niiden

eteen. Turvallisuusajattelussa tärkeintä on ihmisen turvallisuus, sitten robotin ja viimeisenä työkappaleen ja muiden oheislaitteiden turvallisuus. Robotin käyttäjä varmistaa, että kaikki robotin turvalaitteet toimivat asianmukaisesti. Vaarallisin tilanne syntyy, kun robottia huolletaan tai korjataan, seuraavaksi vaarallisinta on, kun robotin läheisyydessä ollaan ohjelmoinnin tai ohjelman testaamisen aikana ja vähiten vaarallinen tilanne syntyy, kun ihminen työskentelee robotin läheisyydessä robotin tavallisen toiminnan aikana. (Gupta ym. 2017, 436.)

Teollisuusrobotin työalueelle pääsy estetään turva-aidoilla, valoverhoilla tai aluetta valvovalla laserskannerilla. Robotin liike pysähtyy, mikäli turva-aidan mekaaninen rajakytkin aktivoituu, valoverhon säde katkeaa tai hätäseis-painiketta painetaan. Laserskannerilla avulla voidaan luoda eriasteisia turvaetäisyyksiä robotille, jolloin robotin liike hidastuu, kun ihminen lähestyy sitä. Riittävän lähelle tullessa liike pysähtyy kokonaan. Tämä mahdollistaa osittaisen yhteistyön ihmisen ja robotin välillä ilman robotin ohjelmakierron keskeyttämistä. (Gupta ym. 2017, 429; Motion controls robotics.)

### **4.3 Teollisuusrobotin ohjelmointi**

Teollisuusrobotin ohjelmointia varten on eri ohjelmointikieliä, jotka on kehitetty määrittelemään robotin liikkeitä ja toiminnot tarkasti ohjelmoijan haluamalla tavalla tilanteesta riippuen. Robotin ohjelma voi olla yksinkertainen tai monimutkainen. Yksinkertaisessa ohjelmassa voi olla esiasetettuja toimintoja, miten robotti reagoi, kun jotain odotettua tapahtuu. Monimutkaisissa ohjelmissa robotti voi oppia edellisistä tapahtumista ja ennustaa mitä tulee tapahtumaan. (Gupta ym. 2017, 478.)

Eri ohjelmointitavat ovat paikan päällä-ohjelmointi (online), opettamalla ohjelmointi, johdattamalla ohjelmointi, etäohjelmointi (offline) ja tehtävätasoinen ohjelmointi (Gupta ym. 2017, 478–479). Aina näitä ei voida lokeroida näin tarkasti,

vaan ohjelmointitapoja yhdistellään. Vapaammin muotoiltuna ohjelmointitapoihin kuuluu opettamalla ohjelmointi, johdattamalla ohjelmointi ja etäohjelmointi kuten Kuivanen (1999, 78–80) kertoo.

Opettamalla ohjelmoinnissa robottia liikutetaan ohjaimen vivuilla tai napeilla vaiheittain pisteestä seuraavaan ja nämä paikkapisteet tallennetaan ohjelman muistiin. Tämä on yleisin tapa opettamalla ohjelmoinnissa, joka on tällä hetkellä yleisin teollisuusrobottien ohjelmointitapa. (Gupta ym. 2017, 482–483.)

Johdattamalla ohjelmointi tapahtuu kuten opettamalla, mutta tässä robottia liikutetaan ottamalla kiinni sen käsivarresta ja siirtämällä haluttuun paikkaan tai isommissa roboteissa voi olla siirtelykahvat ja sallintapainike, jolla robotti antaa käyttäjälle luvan liikuttaa robottia. Tässä robotti käyttää omia moottoreita ja jarruja liikkeiden mahdollistamiseksi. Tämä ohjelmointitapa on mahdollista vain joissain nivelvarsiroboteissa lisävarusteena, mutta lähes kaikki yhteistyörobotit ohjelmoidaan johdattamalla. (Gupta ym. 2017, 484; Collaborative Robot Programming.)

Etäohjelmointi tehdään tietokoneen simulointiohjelmistolla, jossa on mallinnettu robotti oheislaitteineen. Tällaisen 3D-mallin piirteiden avulla voidaan opettaa liikeradat robotille. Etäohjelmointia voidaan tehdä samalla kun robotti suorittaa muuta tuotantoa, mikä lisää robotin hyötykäyttöä. Etäohjelmoinnin muita hyötyjä ovat nopeus verrattuna opettamalla ohjelmointiin, ohjelma voidaan testata simuloimalla, pienemmät kustannukset kuin muissa ohjelmointitavoissa sekä muita tuotannon työkaluja, kuten hitsausarvot, voidaan hyödyntää etäohjelmoinnissa. Huonoja puolia on etäohjelmointiohjelmiston mahdolliset kustannukset sekä ohjelmoijan tarvitsema laaja osaaminen. (Gupta ym. 2017, 485–486.)

#### 4.4 Hitsauksen robotisointi

Monet käsillä tehtävistä teollisuuden tuotantotöistä voidaan robotisoida eli tehdä ihmisen sijaan robotilla. Näitä ovat muun muassa kaari- ja pistehitsaus, ruiskumaa-  
laus, konepalvelu eli kappaleiden lataus ja purku sorville tai työstökeskukselle, eri-  
laiset valu- ja muovaustyöt sekä viimeistely- ja asennustyöt. Robotteja käytetään  
myös erilaisissa tarkastuksissa, tavaroiden käsittelyssä ja siirtelyssä ja niin edelleen  
(Gupta ym. 2017, 499–500).

Hitsaus on kenties yleisin robotisoitu teollinen sovellus, koska se vaatii hyvän tois-  
tettavuuden sekä tasaisen laadun ja nopeuden, jotka sopivat erityisen hyvin robo-  
tin ominaisuuksiin. Pistehitsausta käytetään eniten autoteollisuudessa ja toinen  
yleinen sovellus on kaarihitsaus. Hitsauksen erityispiirteisiin kuuluvat korkea läm-  
pötila, savun muodostus, meluhaitta ja kirkas valo. Nämä häiritsevät hitsaustyötä  
tekevää ihmistä, mutta robotille niistä ei ole haittaa. Hitsaustyö on myös ihmiselle  
raskasta suorittaa ja ihminen tekee helposti virheitä, toisin kuin kone, joka ei tar-  
vitse taukoja tai lepoa. (Gupta ym. 2017, 501–502.)

Kaarihitsauksessa käytettävä teollisuusrobotti tarvitsee hitsausvirtalähteen, lan-  
gansyöttölaitteiston, suojakaasulaitteet, robotin käsivarteen kiinnitettävän hit-  
sauspistoolin ja usein robottiasemaan asennetaan lisäksi kiinteä hitsauspistoolin  
puhdistusasema, jossa kaasuholkkiin kiinni jääneet roiskeet puhdistetaan ja lisäai-  
nelanka katkaistaan oikeaan mittaan (Gupta ym. 2017, 502). Hitsausrobottijärjes-  
telmään kuuluu keskeisesti myös kappaleenkäsittelypöytä, Kuivanen (1999, 112)  
kertoo.

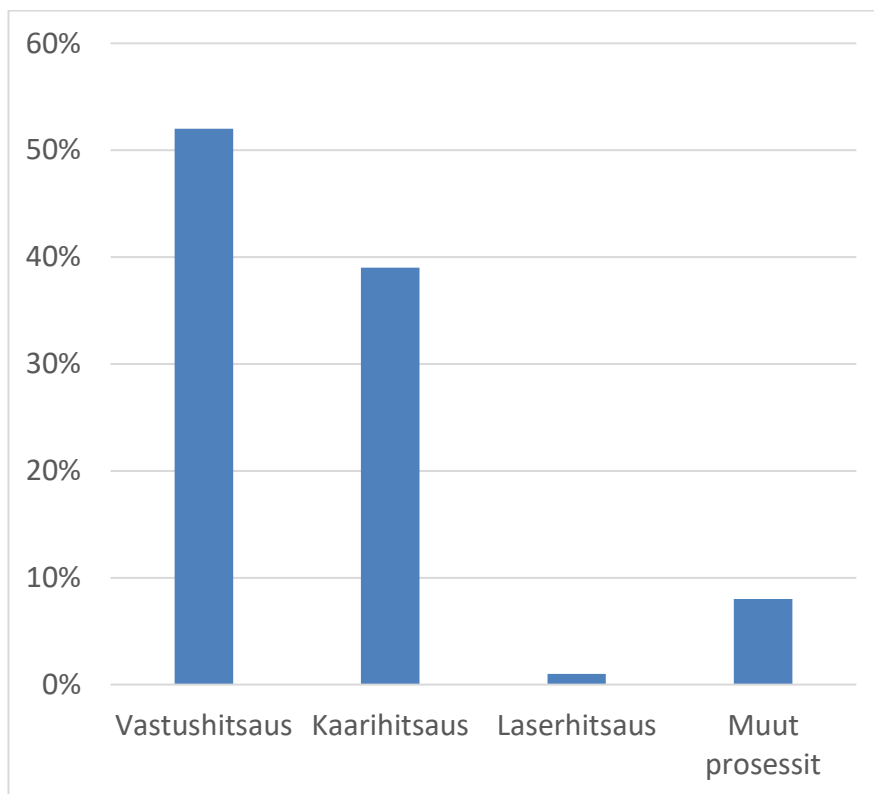
Oheislaitteiden lisäksi erikoistoimintoina robotisoiduissa kaarihitsaussovelluksissa  
käytetään railonhakuja ja -seurantaa. Railonhaku tarkoittaa hitsattavan sauman  
aloituskohdan etsimistä ja se voidaan tehdä käyttämällä jännitteistä hitsauspistoo-

lin kaasuholkkia tai lisäainelankaa koskettamaan hitsattavaa kappaletta. Avoin virtapiiri sulkeutuu ja robotin liike pysähtyy paikan tallentuessa muistiin. Haku voidaan tehdä myös konenäöllä tai laserskannauksella. Railonseuranta tarkoittaa hitsausrailon seuraamista, mikäli se poikkeaa ohjelmaan tallennetusta radasta ja se voidaan tehdä käyttämällä robotin tekemää levitysliikettä ja seuraamalla hitsausvirran muutosta vapaalangan pituuden kasvaessa ja pienentyessä, jolloin robotti tekee korjausliikkeitä siihen ohjelmoitujen asetusten mukaisesti tai vaihtoehtoisesti optisesti laserskannerilla ja konenäöllä. (Jääskeläinen 2015, 12–15; Kah, Shrestna, Hiltunen, & Martikainen 2015.)

#### **4.4.1 Soveltuvat robottityypit ja hitsausprosessit**

Kaarihitsauksessa riittää viisi vapausastetta, mutta siinä käytetään pääasiassa kuusinivelisiä teollisuusrobotteja, koska lähes kaikki nivelvarsirobotit ovat tällaisia. Isojen kappaleiden hitsauksessa voidaan käyttää 3-akselista portaalia, johon nivelvarsirobotti kiinnitetään ikään kuin väärin päin jalustan osoittaessa ylöspäin, kuten Kuivanen (1999, 120) kirjoittaa sovellusesimerkeissä. Näin robotille saadaan kaksi vapausastetta lisää, joiden ansiosta robotilla on hyvä ulottuvuus ja suuri työalue. Portaalin lisäksi robotti voidaan kiinnittää lineaariradalle työalueen ja ulottuvuuden parantamiseksi (Benefits of Robots on Tracks). Myös yhteistyörobotit soveltuvat hitsaukseen teknisesti. Niitä on käytetty lähinnä yksittäiskappaleiden ja prototyyppien hitsaukseen, joiden lisäksi niille soveltuvia muita käyttökohteita tutkitaan kuten Antonelli ja Astanin (2015) tutkimuksessaan sanovat.

Hitsausprosessit, jotka soveltuvat erityisen hyvin robotille ovat pistehitsaus, elektronisuihkuhitsaus, MIG/MAG-hitsaus, TIG-hitsaus, plasmahitsaus ja laserhitsaus. (Gupta ym. 2017, 502–504; Kempin verkkosivut 2022).



**Kuva 1.** Teollisuusrobottien hitsausprosessit koko maailmassa vuonna 2016. (Karabegovic, I. 2018.)

Kuten kuvioista 1 nähdään, yleisin hitsausprosessi on pistehitsaus, jota käytetään etenkin autoteollisuudessa. Toisena on kaarihitsaus, johon lukeutuvat MIG/MAG-hitsaus, TIG-hitsaus ja plasmahitsaus. Muut prosessit ovat harvinaisempia. (Karabegovic, I. 2018.)

#### 4.4.2 Käsittelylaitteet

Käsittelylaitteiden avulla työkappale saadaan paikoitettua tarkasti ja käänneltyä haluttuun asentoon. Käsittelylaitteet ovat useimmiten integroitu robotin ohjaimen, joka helpottaa ohjelmointia. Käytännössä robotille saadaan lisäakseleita käsittelypöydän avulla. (Kuivanen 1999, 112–113.)

Rakenteeltaan yksinkertaisin käsittelylaite on pyörityspöytä joko vaaka- tai pystyasennossa. Pöytää voidaan pyörittää akselinsa ympäri. Kahden akselin pyörityspöydässä pyörimisen lisäksi pöytää voidaan kallistaa. Sitä kutsutaan L-pöydäksi muotonsa vuoksi. Isompia kappaleita varten käytetään käsittelylaitetta, jossa on kaksi lautasta jollain etäisyydellä vastakkain toisiinsa nähden ja niiden välissä on hitsattava kappale hitsauskiinnittimessä, tai kappale kiinnitetään suoraan lautaan. Lautasten avulla kappaletta voidaan pyörittää akselinsa ympäri. Edellä kuvatuista kiinnittimistä ja pöytäkiinnittimistä on olemassa kääntömalleja, joissa toinen puoli kiinnittimestä on toisen peilikuva. Robotin hitsatessa toista puolta, toiselle puolelle voidaan samanaikaisesti vaihtaa kappale. Käsittelylaitteita suunnitellaan myös räätälöidysti oman tuotannon ja tarpeiden mukaan. (RobotWorx; Cegielski, Golański, Kołodziejczak, Kolasa & Sarnowski 2018.)

#### **4.4.3 Hitsauskiinnittimet**

Hitsauskiinnitin on teline tai laite, johon hitsattava kappale kiinnitetään hitsauksen ajaksi erilaisilla vipukiinnittimillä, kiinnitysraudoilla ja pulteilla. Hitsauskiinnittimen suunnittelussa tulee ottaa huomioon helppokäyttöisyys kappaleen vaihtoa ja irrottamista ajatellen, rakenteen geometria luokse päästävyys ja esteettömyys näkökulmasta sekä jäykkyys lämpövääntelyn ehkäisemiseksi ja kappaleen kiinnitysymiseksi hitsauksen aikana. Hitsauskiinnittimen tärkeimpiä ominaisuuksia kiinnityksen lisäksi on hitsattavan kappaleen tarkka paikoitus, joka helpottaa robotin hitsaustyötä. Käytännössä jokaiselle robotilla hitsattavalle tuotteelle pitää suunnitella oma hitsauskiinnitin eli jigi. (Westerberg 2021; Liite 5.)

#### **4.5 Robottihitsauksen tuotesuunnittelu**

Robotilla voi hitsata kaikenlaisia tuotteita, joiden materiaalit soveltuvat käytettyyn hitsausprosessiin, jotka ovat geometrialtaan sellaisia, joihin robotti ylettyy ja on-

nistuu orientoimaan hitsauspistoolin hitsauksen suorittamista vaadittuihin asentoihin, ja jotka pysyvät hitsauksen aikana paikoillaan. Kiinnittimet ja käsittelypöydät eivät ole välttämättömiä, mutta toistettavuuden, kappaleen paikalla pysyvyyden varmistamisen sekä lämmöstä johtuvien muodonmuutosten minimoimisen vuoksi ovat suositeltavia. Tuote voidaan suunnitella kokonaan tai osittain robotilla hitsattavaksi ja joissain tilanteissa alikokoonpanot hitsataan robotilla ennen pääkokoonpanoon liittämistä. Osien silloitushitsaus on mahdollista robotilla, mutta vaatii erittäin hyvin suunnitellun jiggin tai toisen robotin kappaleen käsittelyyn, kuten Tervola (2022) kirjoittaa Joensuussa olevasta John Deeren tehtaasta, jonka hitsaussolussa on kaksi kuljetinta, kaksi kappaleenkäsittelyrobotia ja hitsausrobotti. (Liite 5.)

Erityisen hyvin robotille soveltuu paljon pitkiä saumoja ja isoja a-mittoja sisältävät tuotteet, koska erityisesti niissä tuotteen läpimenoaika lyhenee hitsauksen paloaikasuhteen kasvaessa verrattuna käsin hitsaukseen. Käsin hitsattuina tuotteiden hitsausajat voivat olla jopa viisinkertaisia robottiin verrattuna. Käsittelylaitteen avulla kappaletta voidaan kääntää tai pyörittää hitsauksen aikana, mikä ei aina onnistu käsin hitsauksessa. Sarjakoosta puhuttaessa sarjan kokoa tärkeämpää on sarjojen toistuminen ja tuotteen kokonaishitsausaika. Yksittäiskappaleen hitsaaminen robotilla on järkevää, jos tuotteen hitsausaika on pitkä ja sama tuote toistuu jollain aikavälillä. Tuotteen hitsaus robotilla vaatii käytännössä aina jiggin valmistuksen, eikä se ole kannattavaa, mikäli tuotteen valmistus ei toistu tulevaisuudessa. (Liite 5.)

Robottihitsaukseen huonosti soveltuvat tuotteet ovat geometrisesti monimutkaisia sisältäen ahtaita paikkoja ja nurkkia, joihin robotilla on vaikea päästä. Rakenteet ovat sellaisia, joihin syntyy muodonmuutoksia, jotka aiheuttavat robotilla ongelmia hitsien paikoituksessa ja railon seurannassa. Monimutkaisen geometrian

vuoksi jigin suunnittelu on vaikeaa tai mahdotonta, eikä tuotetta voi hitsata yhdellä kiinnityksellä, tai osa siitä joudutaan hitsaamaan käsin. Epätarkka osavalmistus ja osien silloitus lisäävät haasteita robottihitsaukseen. (Liite 5.)

#### **4.6 Hitsauksen määritelmä**

Hitsaus tarkoittaa osien liittämistä yhteen lämpöä tai puristusta hyväksi käyttäen siten, että osat muodostavat jatkuvan yhteyden. Hitsattaviin materiaaleihin kuuluu metallit, muovit ja keraamit. Hitsaus voidaan suorittaa käyttämällä lisäainetta, jonka sulamispiste on suunnilleen sama kuin perusaineella. (Lukkari 2002, 11.)

Hitsaustekniikasta puhuttaessa tarkoitetaan hitsauksen suoritustapaa tai hitsausprosessia, vaikka Lukkarin mukaan (2002, 12) hitsaustekniikka tarkoittaa täsmällisesti tekniikan alaa ja prosessista puhuttaessa käytetään termiä hitsausprosessi. Hitsaus voidaan jakaa kahteen pääryhmään: puristushitsaus ja sulahitsaus. Puristushitsauksessa on yksi prosessiryhmä, joka on vastushitsaus. Sulahitsaukseen luokituu kolme ryhmää: kaasuhitsaus, sädehitsaus ja kaarihitsaus. Kaarihitsausprosesseissa valokaaren avulla sulatetaan työkappaleen osat ja mahdollinen lisäaine toisiinsa. Yleisin teollisuuden aloilla käytetty prosessiryhmä on kaarihitsaus, jonka tärkeimmät hitsausprosessit ovat puikkohitsaus, MIG/MAG-hitsaus, TIG-hitsaus, plasmahitsaus ja jauhekaarihitsaus. Vastushitsausta käytetään eniten ohutlevyteollisuudessa. (Lukkari 2002, 13–15.)

#### **4.7 MIG/MAG-hitsaus**

MIG- ja MAG-hitsauksesta käytetään usein yhteisnimitystä MIG/MAG-hitsaus, koska niissä on sama käytettävä laitteisto ja eroavana tekijänä on vain suojakaasu ja käytettävä lisäaine. MIG-hitsaus tulee sanoista Metal Arc Inert gas, joka tarkoittaa kaasukaarihitsausta inertillä suojakaasulla, joita ovat argon ja helium. MIG-hitsausta käytetään ei-rautametallien hitsaukseen. MAG-hitsaus tulee sanoista Metal

Arc Active gas. Siinä käytetään aktiivista, eli reagoivaa suojakaasua, joka on useimmiten argonin ja hiilidioksidin seos. MAG-hitsausta käytetään rautametallien hitsaukseen, joita ovat useimmiten rakenneteräkset ja ruostumaton teräs. MIG/MAG-hitsausprosessien periaatteena valokaari palaa vakionopeudella syötetyn lisäainelangan ja perusaineen välissä ja suojakaasu suojaa hitsaustapahtuman ilmassa olevien hapen ja typen haitallisilta vaikutuksilta. MIG/MAG-hitsaus voidaan suorittaa käsin liikuttamalla hitsauspistoolia, mutta se on helppo automatisoida ja robotisoida. (Lukkari 2002, 159–160.)

Aineensiirtymismuodot, eli miten lisäaine siirtyy osaksi hitsiainetta, kuvataan termeillä lyhytkaari, sekakaari, kuumakaari ja pulssikaari. Lyhytkaarialueella lisäaine siirtyy lisäainelangan kärjestä pieninä pisaroina oikosulkujen avulla, joiden taajuus voi olla 100–200 Hz. Lyhytkaarialueella käytetään alle 20 V kaarijännitettä. Kuumakaarissa lisäaine siirtyy ilman oikosulkuja, suihkumaisesti, kaarijännitteen ollessa arviolta 30 V tai enemmän. Sekakaari on näiden väliltä, jolloin lisäaine siirtyy osittain oikosulkuna ja osittain sumuna. Sekakaarialueella hitsattaessa syntyy eniten roiskeita, joka on hitsausvirhe. Pulssikaarissa aineensiirtymistä ohjataan sykkivän virran avulla, jolla saavutetaan suihkumainen aineensiirtyminen, vaikei se muuten olisi mahdollista käytetyllä langan halkaisijalla ja kaarijännitteellä. Pulssikaari edellyttää inerttiä, tai argonvaltaista suojakaasua. (Lukkari 2002, 167–172.)

Fronius-merkkinen hitsauslaittevalmistaja on kehittänyt prosessin nimeltä CMT, joka tulee sanoista Cold Metal Transfer. Se on lyhytkaarihitsausprosessi, jossa oikosulun aikana virran napaisuutta vaihdetaan ja samalla lankaa vedetään taaksepäin lisäainepisaran siirtymisen hallinnan vuoksi. Tämä tapahtuu jopa 90 Hz taajuudella. Nämä toimenpiteet mahdollistavat roiskeettoman hitsin ja muun muassa alumiinin ja teräksen liittämisen toisiinsa. Prosessi soveltuu erityisen hyvin ohuille ainevahvuuksille alhaisen lämmöntuonnin ansiosta. (Fronius esite.)

## 5 ROBOTTIHITSAUKSEN OPETUKSEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

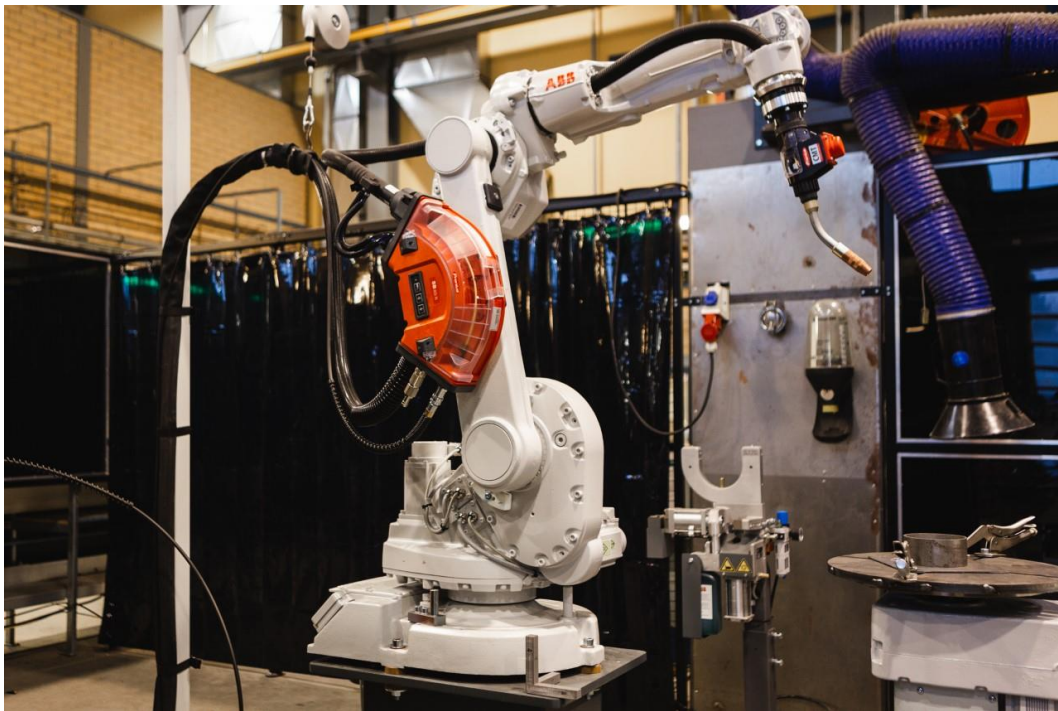
Robottiaseman asennuksen ja käyttöönottotarkastuksen jälkeen tarvittiin koulutusta henkilöstölle. Koulutuksen tarpeellisuutta lisäsi se, ettei kenelläkään ollut aikaisempaa kokemusta robottihitsauksesta. Alkukoulutusten jälkeen laitteistoon perehdyttiin itsenäisesti ja alettiin samalla suunnittelemaan tulevaa koulutussisältöä omille opiskelijoille. Alkuperäinen suunnitelma oli teettää ensin kyselyt yrityksille ja oppilaitoksille, joista saatujen vastausten mukaan koulutuksen sisältöjä suunniteltaisiin, mutta aikataulullisista syistä se ei onnistunut. Päätettiin järjestää pilottikoulutus, johon valittaisiin mahdollisimman pieni ryhmä kolmannen vuosiluokan opiskelijoista. Heihin testattaisiin koulutussisältöä, jonka suunnittelun lähtökohtana oli aikaisempi manuaalihitsauskokemus, jota sovellettiin robottihitsaukseen sekä koulutuksissa esiin tulleet seikat, omat vaikeudet robottihitsauksen opettelussa ja tutkinnon perusteet.

### 5.1 Vamian robottihitsausasema

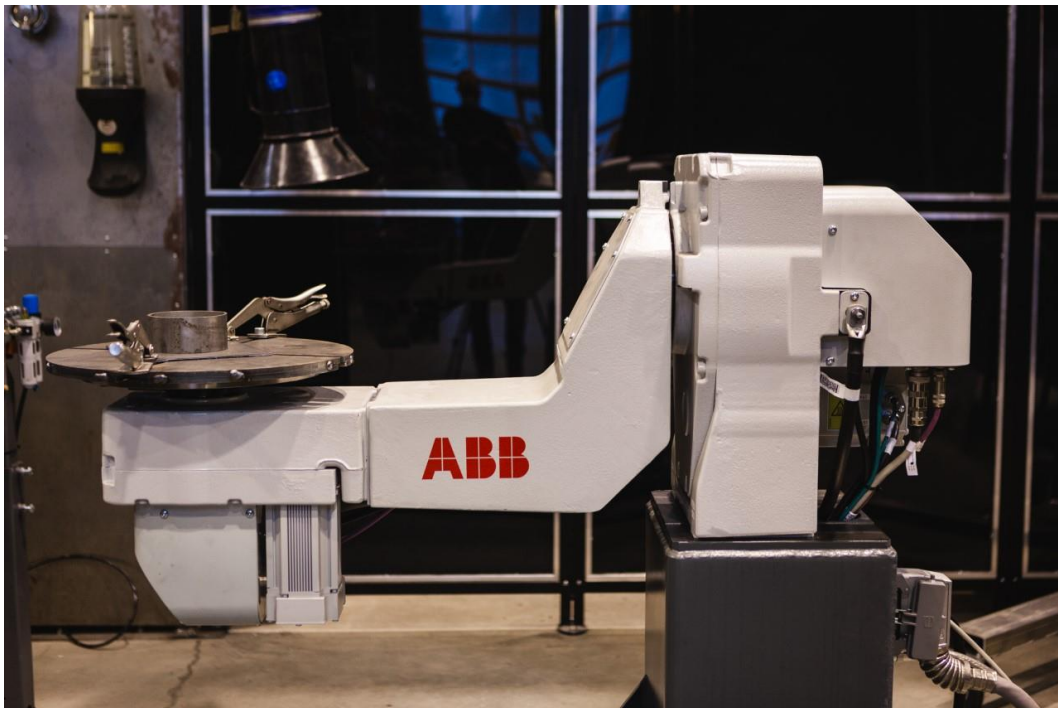
Robottihitsausaseman osat, robotti ja controller eli ohjain, käsittelylaitteet, turvalaitteet, hitsauslaitteisto ja muut oheislaitteet kuten puhdistusasema voidaan ostaa erikseen ja integroida laitteisto itse tai ostopalveluna, tai vaihtoehtoisesti ostaa koko paketti yhdeltä valmistajalta avaimet käteen-periaatteella. Vamiolla kilpailutuksen jälkeen toimittajaksi valikoitui ABB, joka toimitti koko järjestelmän. Hitsauslaitteisto, johon kuuluu virtalähde, langansyöttölaitteet, robotin työkalulaippaan kiinnitettävä hitsauspistooli, suojakaasuletkut ja maadoitin on Froniuksen valmistamat.

Robotin malli IRB 1660ID näkyy kuvassa 2. Se on 6-akselinen nivelvarsirobotti, jonka muita ominaisuuksia ovat muun muassa 1,55 m ulottuvuus, 6 kg kappaleen käsittelykyky, toistotarkkuus 0,02 mm ja oma paino 257 kg. Tässä mallissa on käsivarren läpi menevä kaapelitunneli, jonka kautta hitsauskaapelointi voidaan

viedä. Kappaleen käsittelylaite IRB A-250 on L:n mallinen kuten kuvasta 3 voi nähdä. Siinä on kaksi akselia, pyöritys ja kallistus ja sen käsittelykyky on 250 kg. Oheislaitteina kuvassa 2 robotin taustalla näkyvät puhdistus- ja langankatkaisu- asema sekä Bulls Eye, ABB:n oma mittauslaite, jossa lasersäde kulkee haarukan muotoisen laitteen välissä. Mittalaitteen avulla voidaan opettaa uusi työkalu tai korjata vääntyneen kaulan työkalupiste ohjelmallisesti.



**Kuva 2.** IRB 1660ID (Vamian kuvapankki).



**Kuva 3.** IRB A-250 (Vamian kuvapankki).

Hitsausvirtalähteen malli on Fronius TPS 500i. Se on 500 ampeerin virtalähde, joka soveltuu robottihitsaukseen. Siihen saa optioina eri ominaisuuksia ja tässä kyseisessä on MIG/MAG-hitsausprosesseista aktiivisena standardi, synerginen, pulssi, PMC-pulssi ja CMT. CMT:n myötä hitsauspistoolissa on vetävä langansyöttöpyörästö ja langansyöttöjärjestelmään kuuluu lankabufferi, joka näkyy kuvassa 2 punaisena kaarevana laatikkona robotin kyljessä. Sen ansiosta langan edestakainen liike on mahdollinen CMT:llä hitsatessa. Virtalähteessä on myös oma virran ja kaarijännitteen seurantajärjestelmä, jota käytetään railonseurannassa ja monipalkkohitsauksessa.

## 5.2 Robotin käytön opettelu

ABB:n toimesta järjestettiin useamman päivän kestävä robotin käyttö- ja turvallisuuskoulutus, mikä piti sisällään robotin turvalaitteet, robotin käsinajon, opettamalla ohjelmoinnin perusteet ja robottihitsauksen perusteet. Myöhemmin järjestettiin päivän kestävä virtalähdekoulutus eri järjestäjän toimesta. Koulutusten jälkeen käytön opetteluun kuului robotin käyttöliittymän opiskelua, käsinajon harjoittelua ja erilaisten aliohjelmien rakentelua. Hankalina asioina alussa oli käyttöliittymän rakenteen lisäksi eri koordinaatistojen käytön ymmärtäminen, työkohdekoordinaatiston käyttö ja käsittelypöydän lisäakseleiden ohjelmointi osana robottiohjelmia.

Kun käsinajo, eri liikekäskyt ja aliohjelman teko alkoi onnistua, alettiin hitsaamaan yksinkertaisia kappaleita ja hakemaan hitsausarvoja eli parametreja niille. Alussa tehtiin periaatepäätös ottaa käyttöön lisäaineeksi 1,2 mm umpilanka ja suojakaasuksi Argon + 8 % CO<sup>2</sup>-seos, jota usein käytetään automatisoidussa hitsauksessa. Hitsattavana materiaalina oli aluksi pelkästään rakenneteräs. 1,2 mm lisäaineen valinta perustui sen laajempaan käyttöalueeseen verrattuna usein käytettyyn 1,0 mm lankaan. Ohuempi lanka toimii paremmin pienemmillä ainevahvuuksilla, mutta CMT-tekniikka mahdollistaa myös paksumman langan käytön.

### 5.2.1 Jigit

Nopeasti kävi ilmi, että tarvitaan jonkinlainen jigi, joka paikoittaa hitsattavan kappaleen. Muuten hitsauksen aloitus- ja lopetuspisteet hitsausohjelmassa joudutaan joka kerralla muuttamaan, mikä hidastaa toimintaa. Pienahitsi on yleisin hitsilaji ja sen lisäksi esiintyy ulkonurkkia ja päittäisliitoksia, joihin ei voi käyttää samoja hitsausparametreja. Suunnittelun jälkeen valmistettiin näihin kolmeen sopivat jigit ja lisäksi yksi, johon saadaan putki-levypiena paikoitettua. Vaatimuksina olivat nopea

kiinnitys ja irrotus, kappaleen paikoitus ja kiinnipysyminen hitsauksen aikana. Täysin tarkka paikoitus hitsausrailon suhteen ei ole mahdollista ainevahvuuksien vaihdellessa ja päittäisliitoksen ilmaraon muuttuessa. Jigisuunnittelun ja -valmistuksen periaatteena oli saada mahdollisimman hyvät jigit sen hetkisen osaamisen perusteella ja tiedon ja kokemuksen karttuessa voitaisiin myöhemmin tehdä paremmat tilalle.

### **5.2.2 Hitsausparametrien haku**

Hitsauksissa päätettiin käyttää 20 mm vapaalangan pituutta, joka tarkoittaa käytännössä virtasuuttimen etäisyyttä hitsattavaan kappaleeseen. Lyhytkaarialueella ihanteellinen vapaalangan pituus olisi 10–15 mm, mutta luotettiin virtalähteen kykyyn säätää valokaarta näin pitkällä vapaalangalla. On selkeämpää käyttää vain yhtä vapaalangan pituutta, koska työkalupiste on määritetty langan kärkeen ja varsinkin etäohjelmointia käytettäessä voi tulla ongelmia, mikäli parametreissa on käytetty eri vapaalangan pituuksia. Pidempää vapaalankaa käytettäessä on helpompaa päästä hitsaamaan ahtaita paikkoja.

Kokemuksesta tiedettiin, että eri hitsilajeille tarvitaan omat hitsausparametrit ja ne muuttuvat ainevahvuuksien mukaan. ABB:n ohjelmoinnissa käytetään hitsausdataa, johon on määritetty hitsausnopeus (mm/s) ja tallennuspaikkatieto, mikä vastaa virtalähteelle tallennettua työnumeroa. Nimeäminen tehtiin siten että virtalähteelle varattiin numerot 01-10 pienahitsin eri ainevahvuuksille ja nämä työnumerot vastaavat robotin hitsausdatan järjestysnumeroa väärinkäsitysten välttämiseksi. Numerot 11-20 varattiin ulkonurkkia varten, vaikka käytännössä niistä käytettiin alkuvaiheessa vain kolme; 1,5, 2,0, ja 3,0 mm ainevahvuuksia varten. Myöhempää tarvetta varten jätettiin osa numeroista käyttämättä. Numerot 21-30 varattiin hitseille, joissa on vaaputuskuvio käytössä, ja 31-40 päittäishitseille. Myö-

hemmässä vaiheessa käyttöön otetulle 1,0 mm lisäaineelle varattiin vastaavat numerot alkaen tallennuspaikasta 101. Froniuksen virtalähteessä on tuhat muisti-paikkaa hitsausarvoille.

Parametreista kuljetusnopeus sekä etu- ja jälkikaasun virtausaika määritetään robotilta, muut parametrit virtalähteeltä. Tärkeimmät niistä ovat langansyöttönopeus, kaarijännite sekä erilaiset hitsauksen aloitus- ja lopetustoiminnot. Alussa päätettiin hitsata ohuet aineet CMT:llä ja muut PMC:llä, joka tulee sanoista Pulse Multi Control. Se on pulssihitsausta, johon saa asettaa langansyötön ja kaarijännitteen automaattikorjauksen raja-arvot valokaaren pituuden ja hitsausvirran vakauttamiseksi. Esimerkiksi jos jostain syystä vapaalangan pituus muuttuu, virtalähde korjaa langansyötön nopeutta, jotta virta pysyisi koko ajan vakiona.

### **5.2.3 Online-ohjelmointi**

ABB:n robottien etä- ja lähiohjelmointiin (offline - online) käytetään Robot Studio-ohjelmistoa. Seuraava vaihe oli harjoitella online-ohjelmointia kytkemällä kannettava tietokone robotin controlleriin ja muokata ohjelmaa sitä kautta. Esimerkkinä tietokoneella luodaan ensin aliohjelma, seuraavaksi robotilla opetetaan käsiohjaimen avulla tärkeimmät paikkapisteet ja lopuksi ohjelmaa muokataan taas tietokoneella. Paikkapisteiden avulla voidaan jälkeenpäin lisätä lähestymis- ja poistumis-pisteitä offset- toiminnolla, muuttaa käskyjä ja niiden argumentteja, muuttaa ohjelmadataa tarvittaessa sekä lisätä uusia käskyjä ja kommentoida ohjelmaa. Suurin osa toiminnoista on nopeampi tehdä tietokoneella, mutta selkeyden vuoksi osa kannattaa tehdä käsiohjaimella.

### **5.2.4 Lisäkoulutus**

Myöhemmässä vaiheessa ABB järjesti lisäkoulutuksen, jossa käytiin läpi syvempää käyttäjäkoulutusta. Siihen kuului railonhaku ja -seuranta, ohjelmasiirros ja moni-

palkohitsaus. Railonhakua harjoiteltiin robotin käsiohjaimella tallentamalla hakupisteet ja kappaleen oletettu paikka. Railonhaku tässä järjestelmässä perustuu kosketusmittaukseen kaasuholkilla tai langalla. Siihen, kumpaa käytetään, ohjataan 50 voltin jännite ja sen koskettaessa kappaleeseen, virtapiiri sulkeutuu, liike pysähtyy ja paikka tallentuu muistiin. Jos kappale on eri kohdassa kuin pitäisi, koordinaatisto siirretään ohjelmallisesti uuteen paikkaan. Ohjelmasiirros perustuu samaan periaatteeseen, liikeratoja voidaan kopioida ja monistaa. Railonseuranta voidaan tehdä eri tavoin, mutta tällä laitteistolla se perustuu virtalähteen takaisin-kytkentään, jossa se mittaa todellista hitsausvirtaa ja kaarijännitettä. Virran muuttuessa, parametreilla ohjataan robottia tekemään korjausliikkeitä. Railonseuranta toimii vain käytettäessä levityслиikettä eli vaaputusta. Monipalkohitsauksessa ensimmäinen palko hitsataan railonseurantaa käyttäen. Rata tallentuu muistiin ja sitä käytetään referenssinä seuraaviin palkoihin, joille annetaan työkalupisteen suhteen etäisyyden ja kulman muutokset koordinaatteina ja kiertyminä tietyn akselin ympäri. Jokaiseen palkoon voidaan käyttää eri hitsausdataa.

### **5.2.5 Uuden työkalun opettaminen ja työkalupisteen korjaus**

ABB:llä on oma mittalaite työkalupisteen tarkistukseen ja korjaukseen. Se näkyy kuvassa 2 robotin takana ja sitä kutsutaan Bulls Eye:ksi. Siinä on lasersäde, jonka läpi robotti liikuttaa hitsauspistoolin kärkeä eri suunnista ja eri nivelkonfiguroinneilla etukäteen ohjelmoidulla tavalla. Tarkistusmittauksessa suorituksen jälkeen robotti kysyy, korvataanko työkalupiste, mikäli se on muuttunut edellisestä mittauksesta. Jos robotti on törmännyt ja hitsauspistoolin kaula vääntynyt, tällä tavoin työkalupiste voidaan muuttaa, eikä kaulaa tarvitse pienen vääntymän vuoksi vaihtaa uuteen tai korjata. Samalla periaatteella voidaan opettaa uusi erimallinen kaula. Vamialle hankittiinkin toinen eri mallinen kaula törmäysten varalta ja koulutuksellisista syistä. Työkalupisteen korjaukseen ja uudelleenopetukseen käytetään valmiita aliohjelmia, joita joutuu muokkaamaan tilanteesta riippuen.

### 5.2.6 Offline-ohjelmointi

Robot Studiossa on lisäosa nimeltä Welding Pack, jonka avulla tehdään hitsausohjelmia robotille. Siihen tutustuttiin ensin oma-aloitteisesti ja onnistuttiin tekemään yksinkertaisia hitsauksia, railonhakua kahdesta suunnasta ja siirrettyä ohjelmat onnistuneesti robotille. Myöhemmin saatiin lisäkoulutusta ABB:ltä Welding Packin käyttöön, joka syvensi osaamista entisestään.

### 5.3 Koulutuksen sisällön suunnittelu

Lähtökohtaisesti haastavaa sisällön suunnittelussa oli, kun käytössä on yksi laite, jota voi käyttää yksi henkilö kerrallaan. Harjoittelua voi tehdä pareittain, mutta oppimisen tehokkuus kärsii, jos robotilla on kolme henkilöä tai enemmän. Asia yritettiin ratkaista siten, että suunniteltiin teorian tehtäviä, joita voi tehdä omaan tahtiin odotusajalla. Alustana oli Moodle, joka on käytössä oleva verkko-opetusala. Muuta oheistoimintaa, kuten asiakastöitä tai muita rästitehtäviä voi myös tehdä, mikäli mahdollista. Etäohjelmointia harkittiin ja päätettiin ottaa selvää sen hyödyistä ja mahdollisuuksista tulevaisuudessa.

Teoriamateriaali koostui neljästä kokonaisuudesta: robotiikan perusteet, ABB hitsausrobottiaseman turvallisuus ja käyttö, Fronius-hitsausvirtalähde ja ohjelmointi. Ohjelmointi piti sisällään perusteet rapid-ohjelmoinnista, joka on ABB:n ohjelmointikieli, hitsauskäskyt ja hitsaukseen liittyvät ohjelmadatat sekä koordinaation määrittäminen robotilla. Lopussa oli tentti, johon sisältyi kaikki aiheet.

#### 5.3.1 Tutkinnon perusteet

Kone- ja tuotantotekniikan perustutkintoon kuuluu valinnainen 20 osaamispisteen laajuinen valinnainen tutkinnon osa, jonka nimi on Robotin käyttö. Sen ammattitaitovaatimukseen kuuluu, että opiskelija osaa:

- käyttää robottia ja sen apulaitteita

- ohjelmoida ja käyttää nivelvarsirobottia tai robottisolua
- palauttaa nivelvarsirobotin tuotantokuntoon häiriötilanteesta
- noudattaa työelämän toimintatapoja ja robotin käytön työturvallisuusvaatimuksia. (Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinto. 2017.)

Arviointikohteissa on vielä tarkemmin määritelty mitä seikkoja eri arviointias-teikoilla (1–5) opiskelijan tulee osata. Tutkinnon perusteet eivät ota kantaa millä teollisuuden alan robotilla tutkinnon osa suoritetaan. Muutenkin ammattitaito-vaatimukset ovat yleistäviä, mikä antaa vapauksia sisällön suunnitteluun. Robotin apulaitteilla käsitetään tässä tilanteessa käsittelypöytä ja hitsausvirtalähde. (Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinto. 2017.)

### **5.3.2 Käsinajoharjoitukset**

Käsinajoharjoituksiin kuului akseleittain ajoa, uudelleenorientointia ja lineaariliik-keellä ajoa sekä erilaisia tehtäviä, joissa vaihdetaan työkalua ja koordinaatistoa, robotin nopeutta ja niin edelleen. Tarkoitus oli oppia liikkumaan valikoissa ja käyt-tämään oikeaa liiketapaa tilanteesta riippuen. Hitsausrobotilla joutuu usein aja-maan työkalupisteen kosketusetäisyydelle työkappaleesta hitsauspisteitä opetta-essa ja koordinaatistoa määritettäessä, jotka vaativat tarkkuutta ja rauhallisuutta käyttäjältä.

### **5.3.3 Ohjelmointiharjoitukset**

Ohjelmointiharjoituksia tehtiin neljä kappaletta. Ensimmäisessä harjoiteltiin alioh-jelman luomista muutamalla liikekäskyllä, paikkapisteiden uudelleen nimeämistä ja ohjelman testausta. Seuraavassa piti opettaa robotti kulkemaan lineaariliikkeillä tiettyä rataa pitkin ja kolmannessa harjoiteltiin ympyräkaaria. Neljännessä käytet-tiin työkohdekoordinaatistoa, joka määriteltiin robotille ja toistettiin samat ympy-räkaariliikkeet tällä kertaa käsittelypöytää pyörittämällä robotin seurattessa pöy-dän liikkeitä.

### 5.3.4 Hitsausharjoitukset

Hitsausharjoitusten alussa käytettiin valmiita hitsausparametreja ja jigejä, joissa hitsattiin piena-, ulkonurkka- ja päittäisliitoksia. Harjoitukseen liittyi välipisteiden liisäämistä ja tallennettujen pisteiden muuttamista sekä hitsausta automaattijolla. Seuraavat harjoitukset olivat erilaisia levykokoospanoja, joissa oli kulman kiertoja, erisäteisiä kulmia, tuotteita, jotka vaativat pöydän kääntämistä hitsausten välissä sekä putkipienojen hitsausta käsivartta kiertämällä ja pöytää pyörittämällä. Tuotteet olivat rakenteeltaan suhteellisen yksinkertaisia, korkeintaan neljän osan koonpanoja. Ohjelmointiaika pyrittiin pitämään lyhyehkönä, että odotusaika pysyisi kohtuullisena. Ohjelmointi kaikissa harjoituksissa tapahtuisi opettamalla ohjelmoimalla. Näiden lisäksi suunniteltiin muutama vaihtoehto opiskelijoiden näyttötehtäväksi, joilla he osoittaisivat osaamisensa.

### 5.4 Pilottikoulutuksen järjestäminen

Koulutuksen kesto oli yhdeksän viikkoa, jonka aikana opetusta oli kolmena päivänä viikossa. Ryhmään valikoitui kolme opiskelijaa. Alussa opetukseen sisältyi enemmän teoriaa, mutta korkeintaan puoli päivää kerrallaan. Käsinaoharjoitukset ja ohjelmointiharjoitukset saatiin tehtyä toisen viikon alkuun mennessä, jonka jälkeen aloitettiin hitsausharjoitukset. Kuudessa viikossa saatiin kaikki harjoitukset tehtyä, joiden lisäksi harjoiteltiin työkalun tarkistusta Bulls Eye:n avulla, uuden työkalun opettamista samalla menetelmällä sekä Robot Studion esittelyä, ohjelmien siirtämistä ja varmuuskopiointia. Osa sisällöstä oli niin sanottua hyvää tietää- asiaa, jonka hallitsemista ei vaadittaisi opiskelijoiden näyttötehtävässä, mutta mistä mahdollisesti olisi hyötyä tulevaisuudessa.

Ennen näyttötehtävää harjoiteltiin parametrien hakua ja käytiin yhdessä läpi monipalkohitsausta ja railon seurannan parametreja. Näyttötehtävään sisältyi putkesta ja levyistä muodostuva kokoonpano, jonka osat opiskelija valmistaisi itse ja

silloittaisi käsin. Hitsauksessa sai valita käyttääkö jigia, vai kiinnittääkö kappalen muuten pöytään kiinni. Työkohdekoordinaatiston joutui määrittelemään, koska tuotteen rakenne vaati käsittelypöydän kääntämistä ja pyörittämistä. Hitsaukseen käytettiin virtalähteen valmiita parametreja, eikä railonhakua ja -seurantaa tarvinnut käyttää. Ohjelmointi tehtiin opettamalla käsiohjaimella. Näyttötehtävään varattiin puoli päivää jokaiselle opiskelijalle, jonka jälkeen jatkettiin parametrien hakua 1,0 mm lisäaineelle. Kurssin loppuun oli varattu aikaa työpaikkavierailuille, jossa opiskelijat pääsivät tutustumaan robottihitsaukseen paikallisissa yrityksissä.

Pilottikoulutuksen aikana pidettiin päiväkirjaa, josta selviää, kauanko missäkin harjoituksessa kestää kolmella hyvätasoisella opiskelijalla. Myöhemmin ryhmien ollessa isompi, voidaan arvioida ja suunnitella jakson sisältöä tämän perusteella.

### **5.5 Palaute pilottikoulutuksesta**

Opiskelijoilta kerättiin palaute kurssin päätteeksi. Palautteeseen vastaajien määrän ollessa vain kolme kappaletta, suuria linjauksia sen perusteella ei voi tehdä. Palautteessa oli 17 kysymystä, joista suurin osa monivalintoja ja muutama avoin kohta, joissa kysyttiin muun muassa mitä olisi kaivattu enemmän, mikä oli vaikeaa tai mielenkiintoisinta ja mitä kurssin sisällöstä pitäisi muuttaa. (Liite 6.)

Palautteen perusteella:

- Opintojakson pituus oli sopiva
- Teoriaa ja käytäntöä oli sopivassa suhteessa
- Odottelua oli jonkin verran, mutta ei häiritsevästi
- Harjoitustöiden määrä ja taso olivat sopivia
- Näyttötehtävä oli kahden mielestä sopivan haastava ja yksi olisi kaivannut haastavampaa
- Kahdella mielenkiinto kasvoi robotiikkaan ja yksi haluaisi oppia enemmän robotiikasta

- Arvosana itselle ja opintojaksolle olivat yhden arvioimana neljä ja kahden mukaan viisi

## 6. Millaisia harjoitustöitä olisit kaivannut enemmän?

3 Vastaukset

Tunnus ↑	Nimi	Vastaukset
1	anonymous	Kaikki oli ihan hyviä
2	anonymous	Harjoitustyöt olivat hyviä, ei mitään liian haastavaa/turhaa. Justiin oikeita asioita harjoiteltiin mitä näytössä tuli.
3	anonymous	nurkan hitsaamista hieman enemmän ja näytössäkin olisi voinut olla nurkkahitsi niin olisi pitänyt vaihtaa welddataa.

**Kuva 4.** Kysymys 6 (Liite 6).

## 8. Jos saisit päättää, miten muuttaisit näyttötehtävää?

3 Vastaukset

Tunnus ↑	Nimi	Vastaukset
1	anonymous	Kulmapala pienaan
2	anonymous	Näyttö oli hyvä.
3	anonymous	Olisin lisännyt nurkkahitsin, pienan ja putkiapienan.

**Kuva 5.** Kysymys 8 (Liite 6).

## 9. Mikä opintojaksolla oli vaikeinta?

3 Vastaukset

Tunnus ↑	Nimi	Vastaukset
1	anonymous	Robotinkanssa pieni takkuaminen
2	anonymous	Alkuun pääseminen, mutta tosi hyvin petri ymmärsi että meillä ei ole mitään hajua tästä. Selitit hyvin asiat etkä laittanut odotuksia liian korkealle
3	anonymous	robotin vikatilat.

**Kuva 6.** Kysymys 9 (Liite 6).

## 10. Onko jotain, mitä olisit halunnut oppia, mutta ei ollut aikaa tai muusta syystä jäi oppimatta?

3 Vastaukset

Tunnus ↑	Nimi	Vastaukset
1	anonymous	Eei ny oikeestaan mitään
2	anonymous	Erillaiset hitsausasennot olisi ollut mielenkiintoista kokeilla
3	anonymous	olisin ehkä halunnut oppia etäohjelmointia.

**Kuva 7.** Kysymys 10 (Liite 6).

## 11. Mikä opintojaksolla oli mielenkiintoisinta?

3 Vastaukset

Tunnus ↑	Nimi	Vastaukset
1	anonymous	Automaattijolla hitsaaminen
2	anonymous	Robotin hitsauksen laadun vertaaminen käsinhitsaukseen
3	anonymous	mielenkiintoista oli uusi asia ja robotin itse robotin ohjelmointi.

**Kuva 8.** Kysymys 11 (Liite 6).

## 12. Entä vähiten mielenkiintoista (tylsintä)?

3 Vastaukset

Tunnus ↑	Nimi	Vastaukset
1	anonymous	Tehdä työ montakertaa uudestaan kun vaihtaa wobj 0 :)
2	anonymous	Ehkä alussa kaikki harjoitustyöt ennen kun alettiin hitsaamaan
3	anonymous	arvojen hakeminen uusille ainevahvuuksille.

**Kuva 9.** Kysymys 12 (Liite 6).

## 13. Mitä asioita muuttaisit opintojakson sisällöstä?

3 Vastaukset

Tunnus ↑	Nimi	Vastaukset
1	anonymous	En varmaan lähtis muuttamaan
2	anonymous	Enemmän voisi avata sitä millaista teollisuudessa tämä robotiikka on, ehdoton plussa on työpaikoilla vierailu se avaa tosi hyvin nuoren miehen silmiä
3	anonymous	vaikka jos tulee joku robotin ei niin yleinen vika tila jossa robotti ei pysty tekemään ohjelmaa. niin käydään läpi että mitenkö tämän pystyy itsenäisesti korjaamaan.

**Kuva 10.** Kysymys 13 (Liite 6).

17. Onko jotain mitä vielä haluaisit sanoa opintojaksoon ja sen kehittämiseen liittyen?

3 Vastaukset

Tunnus ↑	Nimi	Vastaukset
1	anonymous	Tai no oikeestaan joo, kyllä siihen vielä yhden kaverin ottais lisää että kerkee tehdä normi työtä samalla niin ei pääse robotti väliillä tylsistämään.
2	anonymous	Ei ole
3	anonymous	hieman nopeampi tahti? ei välttämättä onnistu erilaisella porukalla.

**Kuva 11.** Kysymys 17 (Liite 6).

Yhteenvedona kokonaisuus opintojaksosta onnistui hyvin, mutta jotain muutoksia toivottiin harjoitustöihin ja näyttötehtävään. Ne otetaan huomioon, kun suunnitellaan Robotin käyttö -tutkinnon osaa seuraavalla kerralla. Mielenkiintoa herättäviä aiheita voidaan korostaa ja vähemmän mielenkiintoisia jättää vähemmälle. Etäohjelmoinnin sisällyttämistä harkitaan myös jatkossa. (Kuva 4–11.)

## 6 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Yrityskyselyt lähetettiin 61 yritykselle. Vastauksia tuli yhteensä 25, joten vastausprosentti on 41 %. Ensimmäiseen kyselyyn, joka oli yrityksille ilman robottihitsausta, vastasi 12 yritystä ja toiseen kyselyyn vastaukset saatiin 13 yritykseltä. Kyselykohtaista vastausprosenttia ei voitu laskea, koska ei tiedetty varmuudella kumpaan ryhmään mikään yritys kuuluu kyselyitä lähetettäessä.

Oppilaitoskysely lähetettiin 12 eri oppilaitokseen ja pyydettiin välittämään kaikille robottihitsausta opettaville opettajille. Vastauksia saatiin yhteensä seitsemän, mutta ei ole tiedossa, kuinka monelle henkilölle kysely välitettiin, eikä siten voida laskea tarkkaa vastausprosenttia. Vastausprosentti on siis korkeintaan 58 %.

### 6.1 Kysely yrityksille, joilla ei ole hitsausrobotia – vastaukset

#### 1. Oletteko suunnitelleet hitsausrobotin hankkimista?

[Lisätietoja](#)

<span style="color: blue;">●</span> Kyllä	5
<span style="color: orange;">●</span> Ehkä tulevaisuudessa	2
<span style="color: green;">●</span> Todennäköisesti ei	3
<span style="color: red;">●</span> Ei	2

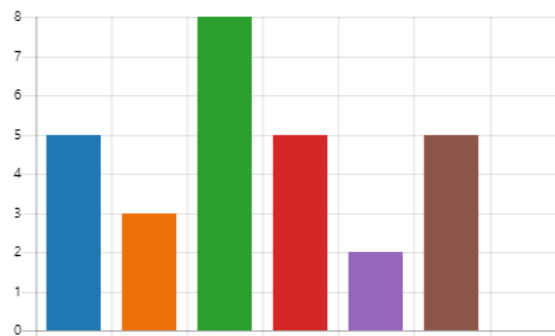
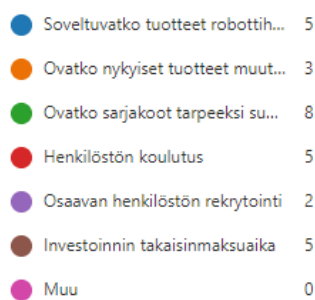


**Kuva 12.** Kysymys 1 (Liite 2).

59 % vastaajista ovat suunnitelleet tai mahdollisesti tulevaisuudessa suunnittelevat hitsausrobotin hankintaa. 41 % ovat kielteisiä hitsausrobotin hankinnalle, eivätkä todennäköisesti tai missään tapauksessa aio hankkia hitsausrobotia. (Kuva 12.)

2. Jos suunnittelette hankintaa, valitkaa kolme tärkeintä kysymystä tai asiaa, joita pohditte siihen liittyen:

[Lisätietoja](#)

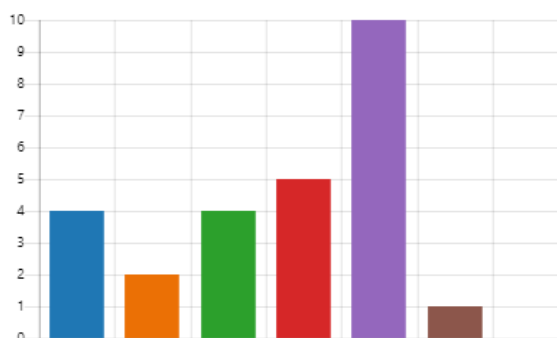
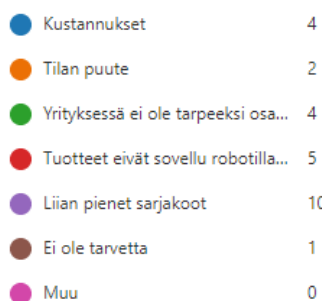


**Kuva 13.** Kysymys 2 (Liite 2).

Yrityksiä mietitytti eniten, ovatko heidän sarjakokonsa riittävän suuria robotin hankintaa varten. Seuraavaksi eniten ääniä, viisi kappaletta kukin, saivat tuotteiden soveltuvuus robottihitsaukseen, henkilöstön koulutus ja investoinnin takaisinmaksuaika. Vähiten yritykset pohtivat tuotteidensa muuttamista robotilla hitsattaviksi ja osaavan henkilöstön rekryointia. (Kuva 13.)

3. Mikä on suurin este hitsausrobotin hankkimiselle? (Voit valita useita)

[Lisätietoja](#)



**Kuva 14.** Kysymys 3 (Liite 2).

Selkeästi suurin este yrityksille olla hankkimatta hitsausrobotteja oli liian pienet sarakoot. 83 % vastaajista oli vastannut sen olevan yksi syistä. Muut vaihtoehdot saivat tasaisesti vastauksia ja yhdellä vastaajista ei ollut tarvetta hitsausrobotille. 42 % mielestä heidän tuotteensa eivät sovellu robotilla hitsattaviksi. (Kuva 14.)

#### 4. Jos yrityksessä olisi valmiiksi osaamista robottihitsauksesta, olisitko halukkaampia investoimaan siihen?



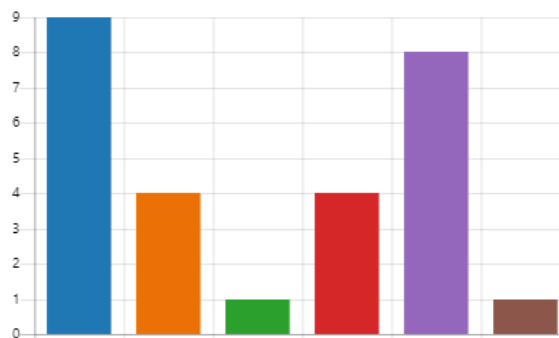
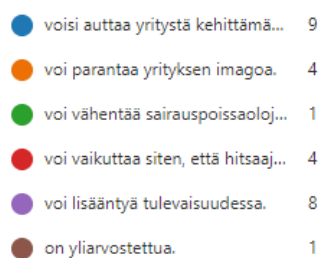
**Kuva 15.** Kysymys 4 (Liite 2).

Puolet vastaajista pitivät tärkeimpänä tekijänä tarvetta hitsausrobotille puhuttaessa investointihalukkuudesta ja yhden neljäsosan mielestä takaisinmaksuaika oli tärkein tekijä. 17 % mukaan investointipäätös olisi helpompi tehdä, jos yrityksellä olisi osaaminen valmiina ja 8 % vastaajista ei pitänyt investointia kannattavana missään tapauksessa. (Kuva 15.)

5. Miten jatkaisit lausetta? (Valitse yksi tai useampi vaihtoehto.)

Hitsauksen robotisointi...

[Lisätietoja](#)



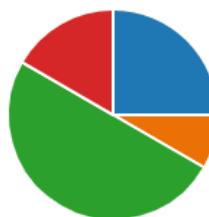
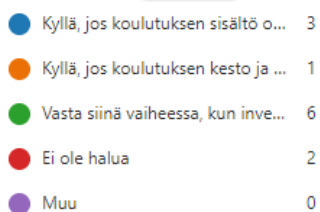
**Kuva 16.** Kysymys 5 (Liite 2).

Hitsauksen robotisointi voisi auttaa yritystä kehittämään tuotantoaan ja mahdollisesti keksimään uusia tuotteita tai sovelluksia 75 % mukaan ja hitsauksen robotisointi voi lisääntyä tulevaisuudessa, kertoo 67 % vastaajista. (Kuva 16.)

6. Olisiko teillä halua osallistua robottihitsauskoulutukseen, vaikka ette todennäköisesti investoisi lähitulevaisuudessa hitsausrobottiin?

[Lisätietoja](#)

[Insights](#)



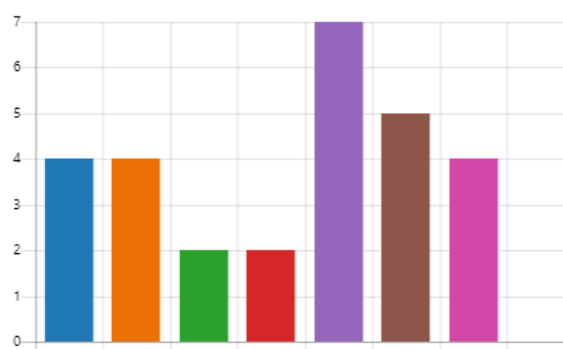
**Kuva 17.** Kysymys 6 (Liite 2).

50 % voisi osallistua koulutukseen vasta siinä vaiheessa, kun investointipäätös on tehty. 25 % voisi osallistua, mikäli koulutuksen sisältö olisi tarpeeksi mielenkiintoinen. 17 % ei ole halua osallistua ollenkaan ja 8 % haluaisi, jos koulutuksen kesto ja hinta olisivat sopivia. (Kuva 17.)

#### 7. Millaista koulutusta haluaisitte saada robottihitsaukseen liittyen? (Voit valita useita.)

[Lisätietoja](#)

● Teollisuusrobotiikan perusteet	4
● Tietoa eri robottivalmistajista j...	4
● Hitsausvirtalähteiden ja -prose...	2
● Robottihitsauksen työturvallis...	2
● Tuotteiden soveltuvuus ja suu...	7
● Robotin etäohjelmointi (etäoh...	5
● Ei minkäänlaista	4
● Muu	0



**Kuva 18.** Kysymys 7 (Liite 2).

Yrityksiä kiinnosti koulutussisällöistä eniten tuotteiden soveltuvuus ja suunnittelu robottihitsausta varten ja toisena etäohjelmointi. Muut saivat tasaisesti ääniä ja vähiten saivat robottihitsauksen työturvallisuus sekä hitsausvirtalähteiden ja -prosessien soveltuvuus robottihitsaukseen. (Kuva 18.)

## 8. Miten arvioitte robottihitsauksen kehittyvän tulevaisuudessa?

### Lisätietoja

● Tulee kasvamaan	11
● Yhteistyörobotit tulevat muka...	1
● Pysyy nykyisellään	0
● Vähenee	0
● Muu	0



**Kuva 19.** Kysymys 8 (Liite 2).

92 % vastaajista arvioi robottihitsauksen kasvavan tulevaisuudessa ja loputkin olivat sitä mieltä, että yhteistyörobotit tulevat mukaan hitsaussovelluksiin (Kuva 19).

## 9. Onko jotain, mitä haluaisitte kysyä tai antaa neuvoksi, kun aloitamme robottihitsauksen opetuksen Vamiassa?

### 2 Vastaukset

Tunnus ↑	Nimi	Vastaukset
1	anonymous	Onko teillä tarkoituksena laajentaa robotisointia esim.särmäykseen?
2	anonymous	Onko mahdollista teettää alihankintaa Vamiassa teidän robotilla esim meidän henkilökunnalla.

**Kuva 20.** Kysymys 9 (Liite 2).

Joku yrityksistä haluaisi teettää alihankintaa Vamian hitsausrobotilla ja jollakin oli kiinnostusta särmäyksen robotisoinnista, selviää vapaamuotoisesta palautteesta (Kuva 20).

## 6.2 Kysely yrityksille, joilla ei ole hitsausrobotia – johtopäätökset

Tutkimuksessa ei selviä, ovatko myönteisesti hitsausrobotin hankinnalle suhtautuvat yritykset halukkaampia vastaamaan kyselyyn kuin kielteisesti suhtautuvat, mikä voisi vääristää kyselyn lopputuloksia. Huomioitavaa on, että kyselyyn oli kuitenkin vastannut myös yrityksiä, jotka suhtautuvat kielteisesti hitsausrobotin hankinnalle omaan yritykseensä.

Kyselyn perusteella tehtiin seuraavat johtopäätökset:

- Yritykset, jotka suunnittelevat hitsausrobotin hankkimista, miettivät eniten sarjakokoja.
- Yritykset, joilla ei ole hitsausrobotia, ovat pääasiassa kiinnostuneita siihen liittyvistä koulutuksista vasta, kun investointipäätös on tehty.
- Tuotesuunnittelu robottihitsausta varten ja etäohjelmointi ovat kiinnostavimmat koulutussisällöt.
- Yritykset suhtautuvat positiivisesti robottihitsauksen kehitykselle ja kasvulle tulevaisuudessa.

## 6.3 Kysely yrityksille, joilla on hitsausroboti – vastaukset

**Taulukko 1.** Kysymys 1 (Liite3).

Vastaukset
Yaskava/motoman nivelrobotti ja Fronius TPS 500i
Useampi hitsaus robotti käsittelylaitteinj / pöydän pyöritys/kallistuslaittein
OTC
Motoman,Kemppi ,grillipyöritys, Fanuc,Fronius 500i L-pöytä n.1200kg

## Vastaukset

Motoman, Kemppi, kahdella grillillä. Robotti liikkuu kiskolla grillien välillä
Motoman varustettuna kaksipuolisella grillipöydällä
Motoman hitsausrobotti, Kemppi, grillityyppinen käsittelylaite.
Motoman hitsausrobotti, kempin pulssihitsi 2,5m pyörittäjäpöydällä 2kpl
Meillä on useita hitsausrobotinjärjestelmiä. Meillä on yhdessä solussa 2kpl OTC hitsausvirtalähteet, robotit joiden alla on yksi akselinen lattiarata ja L- käsittelypöydät. Yhdessä solussa on 2kpl Nachin 500kg käsittelyrobotit ja 4kpl OTC hitsausrobotit ja OTC hitsausvirtalähteet. Sitten on vielä piensarja tuotantoon Yaskawa hitsaussolu, jossa on 3- akselinen gantry, Yaskawa hitsausrobotti ja L- pöytä.
IRB1400M97A + IRBP250, IRB1400M2000 + IRBP250 2KPL, IRB2600 + IRBP-D600, IRB1600 + IRBP-D600, IRB2400 + IRBP-500B, IRB2400L + IRBP 500K. Kaikissa joko Esab tai Kemppi virtalähde
Fanuc, Fronius
ABB Irb2600ID, 2x ABB irb4600, irbp750, irbp1500, sekä 2x 10000kg grillisolu 9500mm kärkivälillä. Kaikki asemamme ovat varustettu Froniuksen TPSi 600A virtalähteillä.
2kpl abb robotteja grillityyppisellä kappalevaihtajalla. 1 kpl abb robotti FMS ratkaisuna. Kaikissa Froniuksen virtalähteet.

Ensimmäisessä kysymyksessä kartoitettiin kyselyyn vastanneiden yrityksen laitteisto (Taulukko 1).

## 2. Miten ajattelette robottihitsauksen kehittyvän yrityksessänne tulevaisuudessa?

[Lisätietoja](#)

<span style="color: blue;">●</span> Kasvaa	12
<span style="color: orange;">●</span> Säilyy ennallaan	1
<span style="color: green;">●</span> Vähenee	0
<span style="color: red;">●</span> Luovutte kokonaan	0



**Kuva 21.** Kysymys 2 (Liite3).

12 yritystä 13:sta aikoo kasvattaa robottihitsausta yrityksessään ja yksi säilyttää ennallaan. Yksikään vastanneista ei aio vähentää sitä. (Kuva 21.)

## 3. Millaisella käyttöasteella teidän hitsausrobotit/robotit ovat tällä hetkellä?

[Lisätietoja](#)

[Insights](#)

<span style="color: blue;">●</span> Lähes koko ajan tuotannossa	6
<span style="color: orange;">●</span> Noin puolet ajasta tuotannossa	6
<span style="color: green;">●</span> Silloin tällöin käytössä	1
<span style="color: red;">●</span> Lojuu käyttämättä nurkassa	0



47 % vastaajista vastasi **Lähes koko ajan tuotannossa** tähän kysymykseen, ja enemmistö vastasi "**Kasvaa**" kysymykseen 2.



**Kuva 22.** Kysymys 3 (Liite 3).

8 % vastanneista arvioi robotin tai robottien olevan silloin tällöin käytössä, mutta 92 %:lla vähintään puolet ajasta tuotannosta. Kaikki, joiden robotit ovat lähes koko ajan tuotannossa, aikovat tulevaisuudessa kasvattaa robottihitsausta tuotannossaan. (Kuva 22.)

#### 4. Jos käyttöaste on pieni, mistä luulette sen johtuvan? (Voit valita useita)

[Lisätietoja](#)

● Tuotteet eivät sovellu robottih...	5
● Liian pieniä sarjamääriä	7
● Henkilöstöllä ei ole riittävästi ...	3
● Muu	4



**Kuva 23.** Kysymys 4 (Liite3).

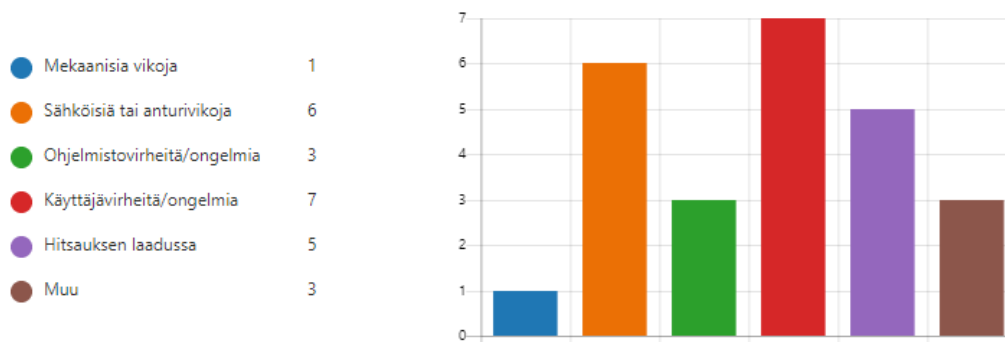
Pienen käyttöasteen syyt jakoivat tasaisesti vastauksia, joista liian pienet sarjamäärät erottuivat 37 % osuudella. Muu-kohtaan oli vastattu:

- ”Etsitään uusia töitä lisää ”
- ”Jos on projekti tuote ja määrä pieni niin silloin hitsaamme käsin”
- ”Tuotteiden kokoamiseen tarvittavat jigit on puutteelliset, eli liikaa käsityövaiheita robottihitsaukseen”
- ”Robotit käyvät yli 90 %:sti”.

Kysymyksen asettelu oli tässä kysymyksessä epäonnistunut, mikä näkyy viimeisestä muu-vastauksesta. Olisi pitänyt olla mahdollisuus olla vastaamatta kysymykseen, mikäli robottien käyttöaste yrityksessä ei ole pieni. (Kuva 23.)

5. Millaisia ongelmia teillä on ollut hitsausrobotin kanssa? (Voit valita useita)

[Lisätietoja](#)



**Kuva 24.** Kysymys 5 (Liite3).

Eniten ongelmia hitsausrobotin kanssa oli aiheutunut käyttäjävirheistä, sähköisistä tai anturivioista sekä hitsauksen laadusta. Muut vastaukset olivat:

- ”Ei ongelmia”
- ”Vain vähäisiä ongelmia”
- ”Ei juuri ongelmia. Robotteja käytetty jo vuodesta 1996, niin alkaa olla niiden käyttäminen hanskassa.”

Muista vastauksista päätellen yhtenä vastausvaihtoehtona olisi pitänyt olla ”ei ongelmia”. (Kuva 24.)

## 6. Jos hitsauksen laadussa on ollut ongelmia, mistä luulette sen johtuvan?

[Lisätietoja](#)

● Vanha tai huonokuntoinen lait...	1
● Käyttäjäongelmat	5
● Haastavat materiaalit/lisäaineet	2
● Muu	4



**Kuva 25.** Kysymys 6 (Liite 3).

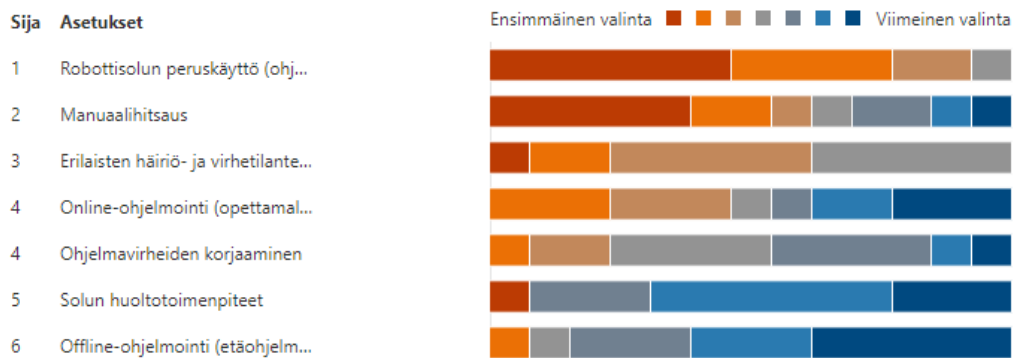
Hitsauksen laatuongelmat olivat johtuneet 42 % käyttäjävirheistä. 33 % laatuongelmista johtui muista kuin ehdotetuista syistä. Ne olivat:

- ”Ohut materiaali/ laatuvaatimus”
- ”Hankalia nurkkien ylityksiä ja muuten vaikeita paikkoja hitsattavaksi robotilla.”
- ”langansyöttölaitteen pyörät ja suutin kuluu.”
- ”Railon haun/seurannan puute ja osittain osien mittojen vaihtelu”.

Ohuet ainevahvuudet sekä hankalat nurkat ja ahtaat paikat tuottavat ongelmia robotihitsauksessa. Railonhaku ja -seuranta on välttämätöntä tietyissä tilanteissa hitsauksen laadun varmistamiseksi. Myös osien mekaaninen kuluminen vaikuttaa hitsauksen laatuun. (Kuva 25.)

7. Mitä operaattorin pitää osata? Järjestä tärkeimmästä vähiten tärkeimpään. (Siirrä laatikot hiirellä oikeaan järjestykseen.)

[Lisätietoja](#)

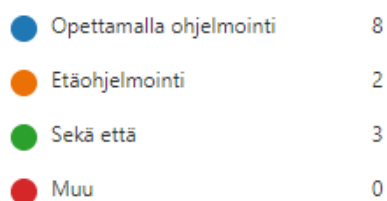


Kuva 26. Kysymys 7 (Liite3).

Operaattorin tärkeimmäksi osaamisalueeksi vastaajista 85 % valitsi ensimmäisenä valintana robottisolun peruskäytön ja manuaalihitsauksen. Erilaisten häiriö- ja virhetilanteiden korjaaminen sijoittui kolmanneksi. Solun huoltotoimenpiteet ja offline-ohjelmointi olivat vastaajien mielestä vähiten tärkeitä. Online-ohjelmointi ja ohjelmavirheiden korjaaminen sijoittuivat keskivaiheille. (Kuva 26.)

8. Miten teette uudet hitsausohjelmat robotille?

[Lisätietoja](#)



Kuva 27. Kysymys 8 (Liite3).

62 % yrityksistä tekee ohjelmat robotille opettamalla. 15 % etäohjelmoi ja 23 % käyttää sekä etäohjelmointia että opettamalla ohjelmointia. (Kuva 27.)

9. Jos teette ohjelmat ohjaimella opettamalla, olisiko teillä kiinnostusta siirtyä etäohjelmointiin?

[Lisätietoja](#)

[Insights](#)

● On suunnitelmassa aloittaa etä...	1
● Jos saadaan koulutusta aihees...	0
● Ei ole tarvetta siihen	4
● Ei onnistu nykyisellä laitteistolla	2
● Muu	3



**Kuva 28.** Kysymys 9 (Liite3).

40 % ei nähnyt tarvetta siirtyä etäohjelmointiin ja 20 % vastaajista omistaa laitteet, joilla se ei ole mahdollista. 8 % suunnittelee etäohjelmoinnin aloittamista. Muut vastaukset olivat:

- ”Pääasiassa opettamalla, mutta ohjelmoidaan myös etänä.ös”
- ”Ohjelmia ei tehdä ollenkaan ohjaimella opettamalla”
- ”toinen etä, toinen opettamalla, mutta opettamalla kohteessa ohjelmointi parempi kun kappaleet ei aina suunniteltu robotille valmistukseen”.

Tähän kysymykseen vastaaminen oli jätetty vapaaehtoiseksi. Sekä opettamalla ohjelmoinnissa että etäohjelmoinnissa nähtiin etuja. (Kuva 28)

10. Onko jotain, mitä haluaisitte kysyä tai antaa neuvoksi, kun aloitamme robottihitsauksen opetuksen Vamialla?

## 2 Vastaukset

Tunnus ↑	Nimi	Vastaukset
1	anonymous	Opettakaa alusta alkaen miten solusta saadaan mahdollisimman suuri hyöty irti yrityksen näkökulmasta.
2	anonymous	Railon haun ja seurannan tärkeys erilaisilla tekniikoilla on tärkeä ymmärtää ja jos ohjelmoidaan ilman etäohjelmointia on railonhakujen ohjelmoinnin osaaminen ehdotonta. Koulutuksessakin pitää kuitenkin muistaa että jokainen railonhaku vie aikaa ohjelmasta, joten railonhakujen suunnitteluun pitää käyttää harkintaa, jotta ne toimivat tehokkaasti viemättä liikaa tahtiaikaa. Robotilla pyritään aina hakemaan mahdollisimman paljon hitsausnopeutta mutta joskus saattaa unohtua että liian pienen lämmöntuonnin seurauksena hitsit saattaa näyttää ulkoa hyvältä mutta niissä ei ole tunkeumaa, eli siis lämmöntuonti on asettaa materiaalin toimittajan suositusten mukaiseksi.

**Kuva 29.** Kysymys 10 (Liite3).

Tärkeitä opetettavia asioita kahden vastaajan mukaan ovat ainakin yrityksen näkökulma hitsaussolun hyödyntämiseen, railonhaku ja -seuranta, tahtiajan optimointi sekä lämmöntuonnin aiheuttamat haasteet robottihitsauksessa (Kuva 29).

### 6.4 Kysely yrityksille, joilla on hitsausrobotti – johtopäätökset

Kyselyn vastauksia voisi käsitellä yksilöllisesti, jolloin voisi selvittää esimerkiksi millaisia vikoja milläkin laitteistolla on esiintynyt ja mitkä operaattorin tehtävät ovat tärkeimpiä korkeimmilla käyttöasteilla olevilla robottiasemilla, mutta ne eivät oleet tämän tutkimuksen kannalta oleellisia. Haluttiin myös suojata vastaajien anonymiteettiä, mikäli joku osaisi yhdistää tietyn laitteiston johonkin yritykseen.

Kyselyn jälkeen huomattiin kahdessa kysymyksessä olleen harhaanjohtava kysymyksen asettelu, tai puuttuva vastausvaihtoehto mitkä voivat vääristää tuloksia. Kyselyn päätyttyä näitä asioita ei voitu enää korjata.

Seuraavat johtopäätökset tehtiin kyselystä:

- Robottihitsaus tulee kasvamaan entisestään.
- Ongelmat robotin kanssa ja hitsauksen laadussa aiheutuvat suurelle osalle käyttäjävirheistä.
- Operaattorin kolme tärkeintä tehtävää ovat robottisolun peruskäyttö, manuaalihitsaus ja häiriötilojen purkaminen.
- 2/3 yrityksistä tekee ohjelmat opettamalla ja yritysten mukaan offline-ohjelmointi on operaattorin yksi vähiten tärkeimmistä työtehtävistä.

## 6.5 Kysely oppilaitoksille – vastaukset

**Taulukko 2.** Kysymys 1. Millainen robottijärjestelmä teillä on käytössä opetuksessa?

### Vastaukset

ABB, Yaskawa Motoman, FANUC, Mitsubishi Fronius TPS & TPSi
Solu 1: Motoman MRC + RM2-250-S3D-L1600 grilli+ Kemppi 5200 Solu 2: Motoman DX100 + MT1-250S2D kääntöpöytä + Fronius 4000 TPSi Lisäksi Yaskawa YRC1000 "hitsauspolttimella" varustettu pieni opetussolu.
Siirrettävä Robottihitsaus solu 3000x2000. Yaskawa AR1440 ja kaksi akselinen pyörityspöytä 250kg. Virtalähde Fronius TPSi500 CMT
3kpl mitsubishi robottia 4kpl abbotia Kappaleen käsittely ja yksi virtuaalilaite. Fronius
Abb-hitsausrobotti irb160, virtalähde ESAB, Pyörityspöytä abb.
Hitsausrobottina ABB IRB 1600 ja hitsauslaitteistona Kemppi Kemparc DT 400. Lisäksi ABB IRB A-500 kääntöpöytä käytössä. Plasmaleikkauksessa ABB IRB 6640 robotti varustettuna Hypertherm powermax 65 plasmaleikkurilla, robotissa on myös kappaleenkäsittelyä varten tarrain.
Motoman + L pöytä + Fronius Kuka + Fronius Fanuc education cell 2kpl ABB imukupitarttujalla 1kpl ABB magneettitarttujalla 1kpl

Ensimmäisessä kysymyksessä kysyttiin, millaisella laitteistolla robottihitsausopetusta annetaan (Taulukko 2).

**Taulukko 3.** Kysymys 2. Käytättekö yhteistyörobottia hitsauksessa tai oletteko suunnitelleet sellaista, perustelut?

**Vastaukset**

Ei käytetä. Ei ole suunniteltu sellaista. Ovat hitaahkoja liikkeissään.
Ei käytetä. Ovat vielä alkutekijöissään robottihitsauksessa. CE merkintä puuttuu. Suunnitteilla on kyllä ollut.
Ei käytetä. Mielestämme se on vasta sitten ajankohtainen kun se on sitä teollisuudessa. Myös yhteistyörobotinkestävyys hitsaussovelluksissa mietityttää. Pieni joystick(Fanuc), TPt. ns. tabletteja yms. Myöskään kukaan ei ole ottanut riittävästi kantaa siihen että hitsauslisäainelanka on terävä ja mahdollistaa silti vaaratilanteen.
Ei käytetä.
Yhteistyörobotti on mutta ei hitsauksessa
Ei
emme käytä, olemme kyllä harkinneet asiaa. - Yhteistyörobotiikka on vielä tällä hetkellä vielä tutkimuksenalaista sekä sen verran uutta. Varsinkin Suomen jo valmiiksi perinteisessä konepajassa, jossa pelkän hitsausrobotin hankintaa vasta mietitään. Suomi on tippumassa robotiikan harjalta ja yhteistyörobotit on lähes samanhintaisia kuitenkin kuin, vastaava hitsaava teollisuusrobotti, joten vielä on luontevaa, että opetamme ammatillisessa koulutuksessa hitsausta teollisuusrobotilla.

Yhteistyörobottia ei käytetty robottihitsauksen opetuksessa missään kyselyyn vastanneessa oppilaitoksessa, yksi on harkinnut asiaa. Sen käyttöä ei nähty järkevänä opetuksessa ennen kuin se on otettu teollisuudessa laajemmin käyttöön, eikä siihen liittyviä turvallisuusseikkoja ei olla vielä ratkaistu. (Taulukko 3.)

**Taulukko 4.** Kysymys 3. Miten arvioitte opetuksen jakautuvan (yrityskoulutukset, perustutkinto, ammattitutkinto, muu?)

**Vastaukset**

Yrityskoulutukset	Perustutkinto	Ammattitutkinto	Muu
25%	25%	25%	0%
0%	75%	25%	0%
25%	50%	25%	25%
0%	100%	0%	0%
25%	25%	25%	50%
100%	25%	25%	100%
25%	50%	25%	0%

Kolmannessa kysymyksessä prosenttilukuja ei voinut itse päättää, vaan oli valittava vaihtoehdoista 0, 25, 50, 75 tai 100 %. Tämä aiheutti tilanteen, jossa useiden vastausten summa oli joko alle tai yli 100 %. Voidaan silti tehdä yhteenveto, että kahdessa oppilaitoksessa ei ollut ollenkaan yrityskoulutuksia, yksi järjesti pelkästään koulutuksia perustutkinnolle, joka saa muutenkin suurimman osuuden vastauksista ja ammattitutkintoa koulutettiin kaikissa muissa paitsi yhdessä oppilaitoksessa. (Taulukko 4.)

**Taulukko 5.** Kysymys 4. Millaista yritysysteistyötä teette hitsausrobotin suhteen (koulutukset, alihankintatyöt)?

**Vastaukset**

Yrityskoulutukset
Ei tällä hetkellä minkäänlaista.
Operaattorikoulutukset, Tuotteiden soveltuvuus testaukset robottihitsaukseen
Yritysten kanssa rekrytointikoulutuksia Alihankinta töitä tullaan jatkossa tarjoamaan.
Koulutuksia järjestetään yrityksille tarvittaessa. Ei tehdä alihankinta töitä.
Ei ole yritysysteistyötä tällä hetkellä
Koulutus, testaus yms.

Alihankintatöitä oppilaitokset eivät hitsausrobotilla juurikaan tehneet, mutta koulutusta ja testausta tehtiin jonkin verran. Kahden vastauksista kävi ilmi, ettei ollut minkäänlaista yritysysteistyötä. (Taulukko 5.)

**Taulukko 6.** Kysymys 5. Jos opetatte sekä nuoria että aikuisia, mitä eroja olette huomanneet näiden ikäryhmien välillä esim. oppimisessa/opettamisessa?

**Vastaukset**

Ei olennaista eroa
Aikuiset ovat yleensä motivoituneita ja ahkeria opettelemaan robotin käyttöä. Nuorista ei minulla ole kokemusta.
Nuoret oppivat nopeammin käytön, mutta nuorilla taas ei meinaa olla malttia keskittyä ongelman ratkaisuihin.
Ei selkeitä eroja.
-
Nuorempi sukupolvi omaksuu helpommin robotin ohjelmointi ja käyttöjärjestelmän, kuin vanhemmat yli 45 v henkilöt. Suurimpia kankeuksia esiintyy tyypillisesti yli 50 vuotiaissa henkilöissä
Ei merkittävää eroa

Nuorten ja aikuisten koulutuksessa ei ollut merkittävä eroa, mutta joidenkin mukaan nuoret oppivat nopeammin ja aikuiset taas ovat motivoituneempia (Taulukko 6).

**Taulukko 7.** Kysymys 6. Millainen pohjakoulutus tulisi olla, että voi aloittaa robot-tihitsauksen opiskelun?

**Vastaukset**

Perustutkinto
Pohjakoulutus vaatimusta ei ole... Käsihitsaus ja kuvien luku"taito" on taito jonka jokainen voi opetella.
Ei tarvitse pohjakoulutusta. Motivaatio ja millaisilla älynlahjoilla oppilas on varustettu merkitsee enemmän.
peruskoulu
Pohjakoulutuksella ei juurikaan merkitystä.
Optimaallisin tilanne on jos on todella hyvä MIG/MAG käsinhitsaaja, sekä on kiinnostunut tietotekniikasta.
Alan perustutkinto suoritettuna ainakin jollakin tasolla.

Kuudes kysymys jakoi paljon mielipiteitä. Osa vastasi, ettei tarvittu mitään pohjakoulutusta, kun taas osan mukaan perustutkinto olisi hyvä olla pohjalla. Käsinhitsaustaidosta kerrottiin olevan apua. (Taulukko 7.)

## 7. Mikä osa-alue on tärkein hyvällä robottihitsaajalla?

[Lisätietoja](#)

● Manuaalihitsaus	3
● Robotin käyttö	2
● Ohjelmointi	0
● Muu	2



**Kuva 30.** Kysymys 7 (Liite 4).

Robottihitsaajan tärkein osaamisalue oli manuaalihitsaus 43 % ja robotin käyttö 29 % vastausosuuksilla. Muut vaihtoehdot olivat: ” Hitsausvirtalähteenhienosäätö” ja ”Sulan käyttäytymisen hallinta. Oikean ohjelmointitavan valinta tuotteeseen (editoitavuus).” (Kuva 31.)

## 8. Miten teidän oppilaitoksessa opetetaan Kone- ja tuotantotekniikan opiskelijoille Robotin käyttö-tutkinnon osaa? (Voit valita useita)

[Lisätietoja](#)

● Kaikille sama paketti osaamisa...	3
● Levyseppähitsaajille pääasiass...	3
● Levyseppähitsaajille vain robo...	1
● Jokaisella opettajalla oma tyyli...	2
● Muu	0



**Kuva 31.** Kysymys 8 (Liite 4).

33 % vastanneista opetti kaikille osaamisaloille; koneistaja, koneenasentaja ja levyseppähitsaaja, (Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinto. 2017.) samat sisällöt. 33 % opetti levyseppähitsaajille pääasiassa robottihitsausta, 11 % pelkästään robottihitsausta ja 22 % vastanneista opetuksen sisältö riippui opettajasta (Kuva 32).

**Taulukko 8.** Kysymys 9. Opetatteko etäohjelmointia (Esim. RobotStudio, Delfoi, KukaSim, MotoSim, RoboGuide)? Jos kyllä, millä ohjelmalla ja millaisia kokemuksia siitä teillä on?

#### Vastaukset

Ei opeteta. Opettajien ammattitaito ei riitä. Siihen ei myöskään olla panostettu, koska todennäköisyys että PT tai AT henkilö pääsee etäohjelmoimaan yrityksessä on epätodennäköistä. Yrityskoulutuksia ajatellen harvalla yrityksellä prosentuaalisesti ajatellen on offline käytössä. Niillä joilla on ovat ostaneet koulutuksen samalla kuin ovat ostaneet ohjelman.
RobotStudio käytössä ja varsin hyvä ohjelma
Rt toolbox RT visual Abb robotstudio Automapps Mahtavan hyvät kokemukset! Auttaa todella oppimaan yksilöllisesti ja turvallisesti Helpottaa myös opettajan työtä... Jos osaa hyödyntää
Ei opeteta.
Opetetaan MotoSimiä. Hyvä käyttää alussa. Tämä mahdollistaa robotin käytön turvallisesti opettamisen turvallisesti.
Motosim
Opetan ABB RobotsSudiolla. Pääsääntöisesti hyvät olen saanut opetettua robotin online ohjelmoinnin perusteita verkonylitse.

Etäohjelmointia opetti 71 % vastanneista ja 29 % ei opettanut. Etäohjelmointia opettavilla oli hyvät kokemukset riippumatta käytettävästä ohjelmasta. Yhden vastanneen mukaan etäohjelmoinnin kuuluminen perus- tai ammattitutkinnon suorittaneen operaattorin tehtäviin on epätodennäköistä ja harvojen yritysten käyttävän etäohjelmointia. (Taulukko 8.)

**Taulukko 9.** Kysymys 10. Onko tullut isoja törmäyksiä ja miten niiltä voitaisiin välttyä?

**Vastaukset**

Ei ole
On. Ei mitenkään. Niitä tulee väkisinkin ellei sitten opettaja ole 110% ajasta vieressä. Siltikään hitsauksessa ei siltä voida välttyä. Vain suuremmilta törmäyksiltä ettei sentään autoajolla törmätä.
Ei ole tullut vielä. Alkuun on hyvä käyttää etäohjelmointia apuna.
Ei. - Robotti turvallisuuden läpikäynti - Menttaliteetti: Jokainen konetekniikan laite tai kone on vaarallinen
Ei ole tullut isoja törmäyksiä.
Ei ole tullut törmäyksiä
Ei ole tullut isoja törmäyksiä

Törmäyksiä oli tullut vain yhdellä vastaajista, eikä hänen mukaansa niitä käytännössä voida välttää. Törmäysten ehkäisemisessä yhdellä oli auttanut etäohjelmoinnin käyttö osana koulutusta toisella asennoituminen. (Taulukko 9.)

**Taulukko 10.** Kysymys 11. Miten simuloitte häiriötilanteita?

<b>Vastaukset</b>
Tekemällä häiriön. Katkaisee valoverhot, jättää rullat löysälle, laittaa kaasut kiinni, aiheuttaa crashboxin signaalin katkeamisen, jne.
Kouluttaja ajaa tahallansa robotin pöytään tai laukaisee hätäseis piirin.
Esim. törmäyssimuloinissa poltinkaulasta kiinni jolloin robotti häiriötilaan. Sen jälkeen ohjeen mukaan toipuminen
Tulee ihan luonnostaan ohjelmointiharjoitusten yhteydessä
Esim. törmäystunnistusta käyttäen tai suojakaasu hana sulkemalla.
Joka päivä harjoituksissa
Ei ole simuloitu.

Häiriötilanteiden simulointiin löytyi useita eri keinoja, ainoastaan yksi vastasi, ettei niitä ole simuloitu opetuksessa (Taulukko 10).

**Taulukko 11.** Kysymys 12. Mihin suuntaan mielestänne robottihitsaus kehitty tulevina vuosina ja miten oppilaitosten tulisi siihen varautua?

**Vastaukset**

Itse robotti hitsaus ei todennäköisesti tule kehittymään erityisesti varsinkaan prosessien puolelta. - Itse ohjelmointi tavat tulevat muuttumaan ja helpottumaan
Varaudumme suosion kasvuun luottavaisesti ja valmiudet ovat hyvät
Tehdään simulaattorilla ohjelmia jatkossa enemmän. Varmasti robotilla tulee lisääntymään automaattiset toiminnot ettei tarvitse esim. robotin työkalua käyttää liikekomennon pisteen sijainnin asemointiin tai merkkäamiseen.
Robottien etäohjelmointi tulee kasvamaan.
Digitaalinen Kaksonen yleistyy
Robottihitsausta kehitetään enemmän vuorovaikutteiseen suuntaan ja samalla etäohjelmointia tullaan kehittämään. Oppilaitosten tulee kehittää yhteistyötä enemmän, jolloin hyviä käytänteitä saadaan siirrettyä.
Opetusalan henkilöstön ammattitaidon tason iso nosto. Tällä hetkellä oppilaitokset ovat jäljessä teollisuutta ja paljon. Sitä kautta opetukseen tulisi vaativuutta ja laatua.

Vastaajat arvioivat robottihitsauksen tulevan lisääntymään tulevaisuudessa. Osa oli luottavaisin mielin, mutta joku oli huolissaan opetusalan henkilöstön ammattitaidosta. Etäohjelmoinnin uskottiin kasvattavan rooliaan jatkossa. (Taulukko 11.)

**Taulukko 12.** Kysymys 13. Millaisia neuvoja antaisitte koulutusmateriaalin ja harjoitustöiden suunnitteluun?

**Vastaukset**

Koulutusmateriaali tulee yleensä robotin toimittajalta, joka on mielestäni laadukasta. Harjoitustyöt tulee olla sellaisia, joista valmistuu joku kokonaisuus. esim. osa johonkin oppilaitoksen asiakastyöhön tai harjoitustyöhön.
Peruskäskyjen lisäksi olisi hyvä saada myös erikoisempia toimintoja varten mahdollisia käytettäviä komentoja ja yksinkertaisten harjoitusten lisäksi myös vaativampia harjoituksia.
Opettajan täytyy itse osata Step by Step materiaali Onnistumisen iloa jo alkuvaiheessa
-
Kannattaisi tehdä harjoituksia, joiden lopputuloksena saadaan valmis tuote.
Koulutusmateriaali varsinkin täydennyskoulutuksessa täytyy olla ajanmukaista sekä kouluttajan vähintään IWS tai IMORWP koulutettu. Harjoitustöiden pitää sisältää normaaleja hitsausharjoituksia PB ja PA T-liitos sekä hitsausrobotille vaativampia harjoituksia kuten esimerkiksi kulmaliitoksia sekä päittäisliitoksia. Myös hitsausasunnoissa eniten harjoiteltavia ovat PF, PD ja PC. Tyypillisesti teollisuudessa hitsausrobotiikasta itse ohjelmointiin käytetään 20 % ja n. 70 - 60 % käytetään itse kiinnitin valmistukseen tai suunnitteluun, Itse hitsausparametrien säätöön käytetään tyypillisesti 10 % koko ajasta. Kun toimiva kiinnitin sekä ohjelma on saatu aikaan alkaa hitsausvirtalähteen hienosäätö. Hienosäädön opettaminen vaatii lähestulkoon IWE tason henkilön koulutukseen, jotta tieto hitsausvirtalähteen toiminnasta voitaisiin avata koulutettaville riittävän selkeästi. Esimerkkinä MAG hitsaus - valokaarifysiikan selventäminen on tuottanut positiivisia tuloksia koulutettavilla.
-

Neuvoiksi annettiin oman ammattitaidon vahvistamisen lisäksi harjoitustyöt, joista muodostuu kurssin edetessä isompi kokonaisuus tai kokoonpano, ja eritasoiset harjoitustyöt (Taulukko 12).

## 6.6 Kysely oppilaitoksille – johtopäätökset

Vastausten järjestykset on sekoitettu jälkeenpäin, ettei vastauksia voi yhdistää esimerkiksi tiettyyn laitteistoon.

Vastauksista saatiin seuraavat johtopäätökset:

- Yhteistyörobotin käyttö hitsauskoulutuksessa ei ole ajankohtaista.
- Nuorten ja aikuisten opetuksessa ei ole selkeää eroa.
- Operaattorin tärkein osaamisalue on manuaalihitsaus ja ohjelmointitaito on vähiten tärkeä.
- Robotiikan opetuksessa levyseppähitsaajille painotetaan robottihitsauksen opetusta.
- Etäohjelmointia on syytä harkita opetuksessa, koska se tulee lisääntymään.

## 7 POHDINTA

Opetuksen kehittäminen on tärkeää työtä ja kuuluu jokaiselle, joka työskentelee opetuslalla. Robottihitsauksen opetus on Vamialla alussa ja tämän tutkimuksen avulla sen kehittämiseen saadaan todellista näyttöä yritysten tarpeista ja muiden ammatillisten oppilaitosten kokemuksista. Tutkintoon johtavan opetuksen suunnittelu ja kehitys tulee pohjautua tutkinnon perusteisiin, mutta kirjoittajan mielestä opetuksen sisällön on vastattava yritysten tarpeisiin ja helpoin keino ottaa isoja kehitysaskelaita on ottaa oppia kokeneemmilta, tässä tapauksessa muilta oppilaitoksilta, joilla robottihitsausta on opetettu vuosia. Ammatillisen koulutuksen ja teollisuuden tarpeet ja vaatimukset eivät aina kohtaa, jolloin tärkeään rooliin nousee taito osata toimia näiden välimaastossa yhteistyössä yritysten kanssa ammatillisen koulutuksen resursseilla.

Kyselyhaastattelussa erityinen onnistuminen oli korkea vastausprosentti molemmissa kyselyissä. Vaikeinta oli kysymysten ja vastausvaihtoehtojen valinta siten, että vastausten perusteella saataisiin luotua keskeisiä johtopäätöksiä ilman liiallista johdattelua. Vastausvaihtoehtoisissa sekä pakollisten ja vapaaehtoisten kysymysten asettelussa ei täysin onnistuttu, mikä selvisi palautusten jälkeen. Huomattiin myös, että kyselyiden lopussa olleisiin palautteisiin ei voitu vastata suoraan palautteen antajalle, koska kyselyyn oli vastattu anonyyminä. Tämä ratkaistiin lähettämällä kyselyiden umpeuduttua kaikille, joille kysely oli lähetetty, kaikki esiintulleet kysymykset ja vastaukset niihin. Siten palautteen antaja sai vastauksensa ja myös muut hyötyivät muiden esittämistä kysymyksistä ja niihin annetuista vastauksista. Vaikeaa oli myös hahmotella opinnäytetyön rakenne mahdollisimman selkeäksi saaden siitä erottumaan tutkimuksen ja kehittämistyön eri vaiheet ilman niiden sotkeutumista keskenään. Lukijan vastuulle jää arvioida miten tässä onnistuttiin. Pohdittavaksi jäi myös, että onko näiden kyselyiden vastausmäärät riittäviä, jotta voidaan tehdä varmoja johtopäätöksiä.

Opetuksen suunnittelutyön ja laitteiston opettelu kannalta omista opinnoista tärkeimmät kurssit olivat teollisuusrobottien käyttö ja ohjelmointi sekä simulointi ja etäohjelmointi. Ne auttoivat paljon hitsausrobotin käytön- ja etenkin etäohjelmoinnin opettelussa. Laitteiston käyttöönoton jälkeisistä päätöksistä lisäainelankaksi olisi ollut parempi valita 1,0 mm umpilanka ja käyttää 15 mm vapaalangan pituutta. Se selvisi pilottikoulutuksen aikana, jonka lopussa niihin siirryttiinkin. Syynä oli käytännössä suurempi käyttö ohuilla ainevahvuuksilla ja ulkonurkkien hitsaus, joissa mainittu lisäaine on optimaalisempi. Yli 10 mm ainevahvuudet, joissa 1,2 mm lisäaineella olisi selkeä etu, tulee olemaan harvinaisia opetuskäytössä. Siltikään parametrien haku ei mennyt hukkaan, koska ne ovat nyt olemassa tarpeen vaatiessa ja opetuksellisesti on hyvä käyttää eri vaihtoehtoja vaikeivat ne olisikaan optimaalisia siinä tilanteessa.

Pilottikoulutus onnistui palautteen ja kirjoittajan kokemuksen mukaan hyvin ja siitä saatiin kerättyä arvokasta tietoa tulevaa varten. Opiskelijoilta saatiin hyviä parannusehdotuksia ja kyselyistä tehdyt johtopäätökset antavat selkeää suuntaa robottihitsauksen opetuksen jatkokehitykselle.

Tutkimuskysymyksiä asetettiin kaksi: Miten robottihitsauksen opetusta kehitetään yritysten näkökulmasta? Ja miten muissa ammatillisissa oppilaitoksissa opetetaan robottihitsausta? Nämä ovat niin laajoja kysymyksiä, että vastataan niihin alla lueteltujen lisäkysymysten avulla ja tehdään jatkokehitysehdotukset viimeisessä luvukappaleessa.

- Miten yritykset ja oppilaitokset arvioivat robottihitsauksen kehittyvän?
- Millaista koulutusta yritykset kaipaavat?
- Mitkä ominaisuudet robottihitsaajalla ovat tärkeitä yritysten ja oppilaitosten näkökulmasta?
- Mitä asioita robottihitsauksen opetuksessa tulisi painottaa ja millaisia harjoituksia teettää?

- Keskitytäänkö robottihitsauksen opetukseen levyseppähitsaajien kanssa vai laajennetaanko opetusta muille robotiikan alueille?
- Robottihitsauksen opetuksen painopistealueet?
- Miten suhtautua robottihitsauksen opettamiseen yhteistyörobotilla?
- Tulisiko etäohjelmointi ottaa mukaan opetukseen?

Kaikki tutkimukseen osallistuneet arvioivat, että robottihitsaus tulee kehittymään ja kasvamaan tulevaisuudessa. Yritykset, joilla ei vielä ole robottihitsausta, kaipaavat koulutusta etäohjelmoinnista sekä tuotteiden suunnittelusta robottihitsattaviksi. Suurin osa yrityksistä tekee ohjelmat opettamalla, mutta etäohjelmoinnin osuus kasvaa ja siihen on syytä panostaa myös opetuksessa. Yritykset eivät käytä yhteistyörobotteja hitsaustuotannossa ainakaan vielä, eikä ole myöskään tarvetta ottaa niitä robottihitsauksen opetukseen toistaiseksi. Yhteistyörobottien kehitystä seurataan ja asiaa arvioidaan myöhemmin. Robottihitsaajan tärkeimmät osaamisalueet ovat robottisolun peruskäyttö, manuaalihitsaus ja häiriötilanteiden purkaminen, joita tulee painottaa opetuksessa. Toistaiseksi ei ole syytä laajentaa robotihitsauskoulutusta muille robotiikan osa-alueille, mutta etäohjelmoinnin opettamista on harkittava.

### **7.1 Jatkokehitysehdotukset ja loppuyhteenveto**

Robottihitsauksen opetusmateriaali ja harjoitustyöt suunniteltiin pilottikoulutusta varten luvussa viisi kuvatulla tavalla. Jatkossa opetusta kehitetään ja valmistaudutaan yrityskoulutuksia varten ja tuotantotekniikan ammattitutkintoon sisältyvän robotiikan hyödyntäminen tuotannossa- tutkinnon osaan (Tuotantotekniikan ammattitutkinto. 2018). Tutkimustyön perusteella tehdään seuraavat jatkokehitysehdotukset:

- Varaudutaan tarjoamaan yrityksille koulutuksia robottihitsauksen tuotesuunnittelusta ja etäohjelmoinnista.

- Painotetaan opetuksessa hitsausrobottiaseman peruskäyttöä, manuaali-hitsausta ja häiriötilojen purkua.
- Laaditaan harjoitustöitä, jotka ovat eri tasoisia ja joista koostuu isompi kokonaisuus kurssin edetessä.
- Opetukseen ei oteta mukaan muuta robotiikkaa, laajempaa ohjelmointia eikä yhteistyörobotteja.
- Otetaan etäohjelmointi käyttöön opetuksessa.

Lopuksi voidaan todeta, että tämän työn aikana luotiin hyvä runko robottihitsauksen opetukselle ja kyselyiden avulla saatiin arvokasta tietoa, miten toimintaa voidaan jatkossa kehittää. Robottihitsauksen opetuksessa tullaan painottamaan perusasioita ja etäohjelmointia otetaan mukaan vaiheittain. Tehdään yhteistyötä yritysten kanssa ja vastataan heidän tarpeisiin mahdollisuuksien mukaan. Yritetään pysyä nopeasti kehittyvän teknologian mukana ja seurataan muun muassa yhteistyörobottien, konenäön ja etäohjelmoinnin kehitystä robottihitsauksessa.

## LÄHTEET

Aalto-yliopiston uutinen. 2021. Viitattu 7.2.2022. <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/tutkijat-palvelurobotiikka-on-osa-hoitajien-tyota-kymmenen-vuoden-kulttua>

Antonelli, D. & Astanin, S. 2015. Qualification of a Collaborative Human-robot Welding Cell. Science Direct. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115011154>

Benefits of Robots on Tracks. Viitattu 9.2.2022. <https://robotsdoneright.com/Articles/Benefits-of-robots-with-tracks.html>

Brush, K. 2019. Mobile robot (mobile robotics). TechTarget. Viitattu 7.2.2022. <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/mobile-robot-mobile-robotics>

Calderone, L. 2019. What are Service Robots? Robotics Tomorrow. Viitattu 7.2.2022. <https://www.roboticstomorrow.com/article/2019/02/what-are-service-robots/13161>

Cegielski, P., Golański, D., Kołodziejczak, P., Kolasa, A. & Sarnowski, T. 2018. The analysis of industrial robot – external axes system movements with the use of virtual off-line programming. Welding technology. Viitattu. 9.2.2022. [https://www.researchgate.net/publication/330526860\\_The\\_analysis\\_of\\_industrial\\_robot\\_-\\_external\\_axes\\_system\\_movements\\_with\\_the\\_use\\_of\\_virtual\\_off-line\\_programming](https://www.researchgate.net/publication/330526860_The_analysis_of_industrial_robot_-_external_axes_system_movements_with_the_use_of_virtual_off-line_programming)

Collaborative Robot Programming. Viitattu 8.2.2022. <https://robotsdoneright.com/Articles/collaborative-robot-programming.html>

Collaborative Robot Safety Features. Viitattu 8.2.2022. <https://robotsdoneright.com/Articles/collaborative-robot-safety-features.html>

Collaborative Robots. Viitattu 8.2.2022. <https://robotsdoneright.com/Articles/collaborative-robots.html>

Fronius esite. Viitattu 3.2.2022. [https://www.prnus.fi/uploads/Esite\\_CMT\\_FIN.pdf](https://www.prnus.fi/uploads/Esite_CMT_FIN.pdf)

Gupta, A., Arora, S., Westcott, J., 2017. Industrial Automation and Robotics. Dulles. Mercury Learning and Information LLC.

Hirsjärvi, S., Remes, P., & Sajavaara, P., 1997. Tutki ja kirjoita. Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy.

Industrial Robots vs Service Robots. Viitattu 7.2.2022. <https://robotsdoneright.com/Articles/industrial-robots-vs-service-robots.html>

Jääskeläinen J., 2015. Optinen railonseuranta ja -haku robottihitsauksessa. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201504234899>

Kah, P., Shrestna, M., Hiltunen, E. & Martikainen, J. 2015. Robotic arc welding sensors and programming in industrial applications. Lappeenranta University of Technology. Viitattu 8.2.2022. <https://ijmme.springeropen.com/track/pdf/10.1186/s40712-015-0042-y.pdf>

Karabegovic, I. 2018. Application of Industrial Robots in the Automation of the Welding Process. Robotics & Automation Engineering Journal. E-artikkeli. <https://juniperpublishers.com/raej/pdf/RAEJ.MS.ID.555628.pdf>

Kempin verkkosivut. Viitattu 9.2.2022. <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/robottihitsaus/>

Kone- ja tuotantotekniikan perustutkinto. 2017. E-perusteet. Viitattu 31.1.2022. <https://eperusteet.opintopolku.fi/#/fi/esitys/3855075/reformi/tutkinnonosat/3870028>

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Vantaa. Talentum Oy.

Lukkari, J. 2002. Hitsaustekniikka. Helsinki. Edita Prima Oy.

Motion controls robotics. Viitattu 8.2.2022. <https://motioncontrolsrobotics.com/area-scanners-for-safe-robot-systems/>

Peterson, D. 2020. Safety Requirements for Cobots. Control Automation. Viitattu 8.2.2022. <https://control.com/technical-articles/safety-requirements-for-collaborative-robots/>

RobotWorx. Viitattu 9.2.2022. <https://www.robots.com/articles/the-right-positioner-for-your-application>

Tervola, J. 2022. John Deeren tehtaalla Joensuussa päästiin eroon kalliista jigeistä ja vaiheaika putosi neljännekseen – Näin robotit mullistivat tuotannon. Tekniikka & Talous. Viitattu 10.2.2022. <https://www-tekniikkatalous-fi.ezproxy.puv.fi/uutiset/john-deeren-tehtaalla-joensuussa-paastiin-eroon-kalliista-jigeista-ja-vaiheaika-putosi-neljannekseen-nain-robotit-mullistivat-tuotannon/47ad2074-a723-4bb1-958c-1441bef7fb28>

Tuotantotekniikan ammattitutkinto. 2018. E-perusteet. Viitattu 31.1.2022. <https://eperusteet.opintopolku.fi/#/fi/esitys/4540520/reformi/tutkinnonosat/4685446>

Vaasan kaupungin tiedote 15.12.2016. Viitattu 18.1.2022. <https://www.epressi.com/tiedotteet/kaupungit-ja-kunnat/vamia-alueen-suurin-ammattillinen-kouluttaja-aloittaa-toimintansa.html>

Vamian verkkosivut. Viitattu 18.1.2022. <https://vamia.fi/vamia/>

Vamian vuosikirja 2020. Viitattu 31.1.2022. [https://issuu.com/graafisetpalvelut\\_vaasa/docs/vamia\\_vuosikirja\\_2021\\_issuu](https://issuu.com/graafisetpalvelut_vaasa/docs/vamia_vuosikirja_2021_issuu)

Westerberg, N. 2021. Hitsausjigin suunnittelu robottikäyttöön. Opinnäytetyö. Viitattu. 9.2.2022. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/497450/Westerberg%20Niko.pdf?sequence=2>

What is an Industrial Robot. Viitattu 7.2.2022. <https://robotsdoneright.com/Articles/what-is-an-industrial-robot.html>

## LIITTEET

### LIITE 1

#### KYSELY ROBOTIIKKAYHDISTYKSELLE

**1. Miten teollisuusrobotit ja niiden käyttö sekä määrä ovat kehittyneet 2000-luvulla Suomessa?**

Parhaiten selviää tilastoista, liitteenä jotain lukuja. Juhani Lempiäiseltä voisi löytyä noita lisää. [jle@deltatron.fi](mailto:jle@deltatron.fi) Mutta yleisesti ottaen noin 2008 jälkeen investoinnit ovat olleen aika pieniä noin yleisesti. Autotehtaalla toki ollut isojakoin investointeja. Ehkä jonkun verran on tullut lisää robotteja myös pienempiin edistyksellisiin yrityksiin,

**2. Osaatko sanoa miten vastaavasti hitsausrobotit ovat kehittyneet?**

Adaptiivisuutta varmaan tullut lisää ja ehkä jonkun verran monen robotin hitsaussoluja. Mielenkiintoisena iso robotti kappaleenkäsittelijänä esim. Rates-teel ja NTM.

**3. Miten robotit soveltuvat hitsaukseen?**

Hyvin jos vaan tuotteet on suunniteltu robottihitsaukseen ja osavalmistus ym. tuotanto on robotiikan vaatimuksen tasalla.

**4. Millaiset yritykset investoivat robotiikkaan?**

Sellaiset, joilla on haasteita tuottavuuden kanssa tai pulaa osaajista, esim. koneistajista, hitsareista jne. Ei löydy tekijöitä tai manuaalityö on liian kallista.

**5. Mitkä asiat useimmin estävät yrityksiä investoimasta?**

Voi vaatia liian suuren muutoksen koko tuotantoon, jos esim. materiaalien virtaus tai osavalmistustarkkuus ei ole riittävällä tasolla. Vaikeat prosessit voivat olla myös monimutkaisia ja kalliita robotisoida. Tuotteet on suunniteltu manuaaliseen valmistukseen...

**6. Minkä verran yhteistyörobotteja käytetään hitsauksessa ja miten arvellette niiden määrän kehittyvän?**

Muutamia demoja, en tiedä onko oikeasti tuotannossa vielä missään. Mielenkiintoisia messudemoja ym. on kyllä näkynyt. Saattaa lisääntyä hyvin pienissä ja yksinkertaisissa hommissa. Haasteena saattaa olla hitsauskoneen ohjaus ja kommunikointi robotin kanssa.

**7. Miten robotiikka tulee kehittymään seuraavien vuosien aikana?**

Helppokäyttöisyys lisääntyy. Havainnointikyky paranee, esim. 3D konenäkö jne. Etäohjelmointi lisääntyy tietyissä prosesseissa.

**8. Osaatteko sanoa, miten robottihitsaus tulee kehittymään?**

Adaptiivisuus varmaan paranee. Järjestelmä sietää suurempia vaihteluja ja osaa säätää parametreja. Railonhaku ym. saattaa parantua konenäön ym. myötä.

## LIITE 2

**KYSELY YRITYKSILLE, JOILLA EI OLE HITSAUSROBOTTIA**

1. Oletteko suunnitelleet hitsausrobotin hankkimista? \*
  - a. Kyllä
  - b. Ehkä tulevaisuudessa
  - c. Todennäköisesti ei
  - d. Ei
  
2. Jos suunnittelette hankintaa, valitkaa kolme tärkeintä kysymystä tai asiaa, joita pohditte siihen liittyen:
  - a. Soveltuvatko tuotteet robottihitsaukseen
  - b. Ovatko nykyiset tuotteet muutettavissa robotilla hitsattaviksi
  - c. Ovatko sarjakoot tarpeeksi suuria
  - d. Henkilöstön koulutus
  - e. Osaavan henkilöstön rekrytointi
  - f. Investoinnin takaisinmaksuaika
  - g. Jokin muu, mikä?
  
3. Mikä on suurin este hitsausrobotin hankkimiselle? (Voit valita useita) \*
  - a. Kustannukset
  - b. Tilan puute
  - c. Yrityksessä ei ole tarpeeksi osaamista robottihitsauksesta, eikä ole aikaa kouluttaa
  - d. Tuotteet eivät sovellu robotilla hitsattaviksi
  - e. Liian pienet sarjakoot
  - f. Ei ole tarvetta
  - g. Muu, mikä?
  
4. Jos yrityksessä olisi valmiiksi osaamista robottihitsauksesta, olisitteko halukkaampia investoimaan siihen? \*
  - a. Investointipäätös olisi helpompi tehdä, jos yrityksellä olisi osaaminen valmiina
  - b. Takaisinmaksuaika vaikuttaa investointipäätökseen eniten
  - c. Ensin pitää olla tarve hitsausrobotille, osaaminen saadaan hankittua tavalla tai toisella myöhemmin

- d. Investointi ei tulisi kannattamaan yrityksessämme missään tapauksessa
  - e. Muu, mikä?
5. Miten jatkaisit lausetta? Valitse yksi tai useampi vaihtoehto.  
Hitsauksen robotisointi... \*
- a. voisi auttaa yritystä kehittämään tuotantoaan ja ehkä keksimään uusia tuotteita tai sovelluksia.
  - b. voi parantaa yrityksen imagoa.
  - c. voi vähentää sairauspoissaoloja, kun robotti hoitaa raskaimmat hitsaustehtävät.
  - d. voi vaikuttaa siten, että hitsaajan työ muuttuu mielekkäämmäksi, jos hitsaaja toimii operaattorina robotilla.
  - e. voi lisääntyä tulevaisuudessa
  - f. on yliarvostettua.
6. Olisiko teillä halua osallistua robottihitsauskoulutukseen, vaikka ette todennäköisesti investoisi lähitulevaisuudessa hitsausrobottiin? \*
- a. Kyllä, jos koulutuksen sisältö olisi tarpeeksi mielenkiintoinen
  - b. Kyllä, jos koulutuksen kesto ja hinta olisi sopiva
  - c. Vasta siinä vaiheessa, kun investointipäätös on tehty
  - d. Ei ole halua
  - e. Muu, mikä?
7. Millaista koulutusta haluaisitte saada robottihitsaukseen liittyen? (Voit valita useita.) \*
- a. Teollisuusrobotiikan perusteet
  - b. Tietoa eri robottivalmistajista ja ohjelmointitavoista
  - c. Hitsausvirtalähteiden ja -prosessien sopivuutta robottihitsaukseen
  - d. Robottihitsauksen työturvallisuus
  - e. Tuotteiden soveltuvuus ja suunnittelu robottihitsausta varten
  - f. Robotin etäohjelmointi (etäohjelmoinnilla säästetään resursseja, kun robottia ei tarvitse irrottaa tuotannosta ohjelmoinnin ajaksi)
  - g. Ei minkäänlaista
  - h. Jotain muuta, mitä?
8. Miten arvioitte robottihitsauksen kehittyvän tulevaisuudessa? \*
- a. Tulee kasvamaan

- b. Yhteistyörobotit tulevat mukaan hitsaussovelluksiin
  - c. Pysyy nykyisellään
  - d. Vähenee
  - e. Jotain muuta, mitä?
9. Onko jotain, mitä haluaisitte kysyä tai antaa neuvoksi, kun aloitamme robotihitsauksen opetuksen Vamialla?

*Tähdellä merkittyihin kysymyksiin on pakko vastata.*

## LIITE 3

**KYSELY YRITYKSILLE, JOILLA ON HITSAUSROBOTTI**

1. Millainen robottijärjestelmä/järjestelmiä teillä on (robotti, hitsausvirtalähde, käsittelylaitteet jne.)? \*
2. Miten ajattelette robottihitsauksen kehittyvän yrityksessänne tulevaisuudessa? \*
  - a. Kasvaa
  - b. Säilyy ennallaan
  - c. Vähenee
  - d. Luovutte kokonaan
3. Millaisella käyttöasteella teidän hitsausrobotti/robotit ovat tällä hetkellä? \*
  - a. Lähes koko ajan tuotannossa
  - b. Noin puolet ajasta tuotannossa
  - c. Silloin tällöin käytössä
  - d. Lojuu käyttämättä nurkassa
4. Jos käyttöaste on pieni, mistä luulette sen johtuvan? (Voit valita useita) \*
  - a. Tuotteet eivät sovellu robottihitsaukseen
  - b. Liian pieniä sarjamääriä
  - c. Henkilöstöllä ei ole riittävästi osaamista robottihitsauksesta
  - d. Muu syy, mikä?
5. Millaisia ongelmia teillä on ollut hitsausrobotin kanssa? (Voi valita useita \*)
  - a. Mekaanisia vikoja
  - b. Sähköisiä tai anturivikoja
  - c. Ohjelmistovirheitä/ongelmia
  - d. Käyttäjävirheitä/ongelmia
  - e. Hitsauksen laadussa
  - f. Muu, mikä?
6. Jos hitsauksen laadussa on ollut ongelmia, mistä luulette sen johtuvan?

- a. Vanha tai huonokuntoinen laitteisto
  - b. Käyttäjäongelmat
  - c. Haastavat materiaalit/lisäaineet
  - d. Jokin muu, mikä?
7. Mitä operaattorin pitää osata? (*Järjestä tärkeimmästä vähiten tärkeimpään*) \*
- a. Manuaalihitsaus
  - b. Robottisolun peruskäyttö (ohjelman haku, kappaleen vaihto jne.)
  - c. Offline-ohjelmointi (etäohjelmointi)
  - d. Online-ohjelmointi (opettamalla ohjelmointi)
  - e. Erilaisten häiriö- ja virhetilanteiden purkaminen
  - f. Solun huoltotoimenpiteet
  - g. Ohjelmavirheiden korjaaminen
8. Miten teette uudet hitsausohjelmat robotille? \*
- a. Opettamalla ohjelmointi
  - b. Etäohjelmointi
  - c. Sekä että
  - d. Muuten, miten?
9. Jos teette ohjelmat ohjaimella opettamalla, olisiko teillä kiinnostusta siirtä etäohjelmointiin?
- a. On suunnitelmassa aloittaa etäohjelmointi jollain aikavälillä
  - b. Jos saadaan koulutusta aiheeseen, voidaan harkita
  - c. Ei ole tarvetta siihen
  - d. Ei onnistu nykyisellä laitteistolla
  - e. Muu, mikä?
10. Onko jotain, mitä haluaisitte kysyä tai antaa neuvoksi, kun aloitamme robotihitsauksen opetuksen Vamialla?

*Tähdellä merkittyihin kysymyksiin on pakko vastata.*

## LIITE 4

## KYSELY OPPILAITOKSILLE

1. Millainen robottijärjestelmä teillä on käytössä opetuksessa? (Millaisia robotteja ja kuinka monta, mitä hitsausvirtalähteitä, käsittelylaitteet jne.) \*
2. Käytättekö yhteistyörobotia hitsauksessa tai oletteko suunnitelleet sellaista, perustelut? \*
3. Miten arvioitte opetuksen jakautuvan (yrityskoulutukset, perustutkinto, ammattitutkinto, muu?) \*
  - a. Yrityskoulutukset 0–100 %
  - b. Perustutkinto 0–100 %
  - c. Ammattitutkinto 0–100 %
  - d. Muu 0–100 %
4. Millaista yritysyhteistyötä teette hitsausrobotin suhteen (koulutukset, alihankintatyöt)?
5. Jos opetatte sekä nuoria että aikuisia, mitä eroja olette huomanneet näiden ikäryhmien välillä esim. oppimisessa/opettamisessa? \*
6. Millainen pohjakoulutus tulisi olla, että voi aloittaa robottihitsauksen opiskelun? \*
7. Mikä osa-alue on tärkein hyvällä robottihitsaajalla? \*
  - a. Manuaalihitsaus
  - b. Robotin käyttö
  - c. Ohjelmointi
  - d. Muu, mikä?
8. Miten teidän oppilaitoksessa opetetaan Kone- ja tuotantotekniikan opiskelijoille Robotin käyttö-tutkinnon osaa? (Voit valita useita) \*
  - a. Kaikille sama paketti osaamisalasta riippumatta
  - b. Levyseppähitsaajille pääasiassa robottihitsausta, mutta koulutukseen sisältyy muutakin robotiikkaa
  - c. Levyseppähitsaajille vain robottihitsausta

- d. Jokaisella opettajalla oma tyyli ja oma sisältö
  - e. Muu, mikä?
9. Opetatteko etäohjelmointia (Esim. RobotStudio, Delfoi, KukaSim, MotoSim, RoboGuide)? Jos kyllä, millä ohjelmalla ja millaisia kokemuksia siitä teillä on? \*
10. Onko tullut isoja törmäyksiä ja miten niiltä voitaisiin välttyä? \*
11. Miten simuloitte häiriötilanteita? \*
12. Mihin suuntaan mielestänne robottihitsaus kehittyy tulevina vuosina ja miten oppilaitosten tulisi siihen varautua? \*
13. Millaisia neuvoja antaisitte koulutusmateriaalin ja harjoitustöiden suunnitteluun?

*Tähdellä merkittyihin kysymyksiin on pakko vastata.*

## LIITE 5

**KYSELY ROBOTILLA HITSATTAVAN TUOTTEEN SUUNNITTELUSTA****Kyselyyn vastannut Ferrum Steel Oy:n robottihitsauksesta vastaava työnjohtaja****1. Millainen tuote ei sovellu robotilla hitsattavaksi?**

"-Olemme havainneet, että suurimpia ongelmia robottihitsauksessa aiheuttavat <4mm ainevahvuuden omaavat tuotteet joihin olisi tarkoitus saada aikaan siisti nurkkahitsi. Toisaalta tämä johtuu myös siitä, että kaikki solumme on varustettu 1.2mm umpilangalla ja lanka tarvitsee palaakseen kunnolla vähintään 200A hitsausvirtaa. Jotta kyseisellä setupilla saataisiin hyvä lopputulos sovitusten täytyisi olla ehdottoman hyviä, eikä ilmarakoa sallita yhtään.

-Toinen esimerkki hankalasta robottihitsattavasta tuotteesta on, mikäli saumojen luokse päästävyys on huono. Esimerkkinä näistä kotelora-kenteet ja ahtaat nurkan taustat. Vrt. ersimerkiksi reikää mistä sopii ihmisen käsi hitsauspolttimen kanssa vs. robotin käsivarsi ulkoisella letkupaketilla niin vitos akselin möykky on aika suuri verrattaen ihmisen ranteeseen. 😊"

**2. Millainen tuote sopii hyvin robotilla hitsattavaksi?**

"-Mielestäni parhaat robottihitsattavat tuotteet ovat selkeitä suuria saumoja a4→ omaavia ainepaksuudesta 5mm→olevia kokoonpanoja. Me olemme saaneet äärettömän suurta apua robottihitsaussoluista tuotteisiin joiden kääntely ja käsitleminen on haastavaa ja jopa työturvallisuus näkökulmasta vaarallista. Näissä tuotteissa on pääsääntöisesti ollut isoja >a10 saumoja joiden käsinhitsaaminen on ollut jopa puuduttavaa. Nykyisellään robotin käsittelylaite kääntää saumojen välillä tai jopa kesken hitsauksen kappaletta uuteen asentoon ja tämä tehostaa paloaikaa huomattavasti. "

**3. Mitä asioita tuotteen geometriassa pitää huomioida?**

"-Robottihitsattavaa tuotetta suunniteltaessa olisi hyvä kiinnittää erityistä huomiota hitsien luokse päästävyyteen. Lisäksi jos hitsisaumat menevät nurkkien yli, ja jos suunnittelussa on mahdollista niin tällaisiin nurkkiin olisi hyvä lisätä pyöristys jolloin robotin on huomattavasti helpompi hitsata nurkan yli pyöristyksen kanssa kuin ilman. "

**4. Kumpi on tärkeämpi, sarjakoko vai tuotteen kokonaishitsausaika? Miksi?**

”-Ferrumilla hitsataan nykyään n 70 erilaista tuotetta käyttäen jotain kolmesta robottisolusta ja näiden kappaleiden sarjakoot ovat suurusluokkaa 1-5kpl 55%, 6-19kpl 30%, 20-50kpl 10%, 51-100 5%. Sarjako-koa ja kokonaishitsausaika tottakai tulee miettiä, mutta yhtenä tärkeänä asiana toisin esille myös toistuvuuden, eli millä taajuudella kyseistä tuotetta tehdään. Meidän yksittäiskappaleiden robottihitsausaika lienee jossain 40 minuutin – 1 tunnin välillä, mutta taas näiden kappaleiden käsinhitsausajat olisivat varmasti jossain luokkaa 4-5tuntia/kpl, joten tähän verrattuna robottihitsaus yhtä kappalettakin ajatellen on kannattavaa. Toki näitä yksittäin tehtäviä kappaleita tehdään lähes viikoittain vuodesta toiseen. Taas suuremmissa sarjoissa hitsausajat ovat huomattavasti lyhyempiä, mutta vastaavasti näitä saadaan yleensä kiinnitettyä 2-10kpl samaan jigiiin ja yhden hitsausyökin aikana valmistuu useampia tuotteita.”

**5. Kannattaako yksittäiskappaleita hitsata robotilla? Kuinka pitkä kokonaishitsausaika pitäisi olla, että se on kannattavaa?**

”-Lähtökohtaisesti jos tiedetään, että kyseistä tuotetta tehdään ainoastaan yhden kerran ja yksi kappale niin me emme ole koskaan sitä edes suunnitelleet robottihitsattavaksi. Syitä tähän on erilaisten railomuotojen hitsaaminen ja näiden hitsausarvojen hienosäätö. Myös kiinnitinkustannukset tulevat olemaan turhan suuret yksikkökohtaisesti johon kiinnittimen suunnittelu ja valmistuskustannuksista.”

**6. Mitä vaatimuksia jigille eli hitsauskiinnittimelle on?**

”-Mielestäni ylivoimaisesti tärkein ominaisuus hitsauskiinnittimelle on se, että se paikoittaa määrätyn tuotteen tarkasti juuri samoin joka kerta. Myös kiinnittimen käyttäjäystävällisyys ja kappaleenvaihtoaika sekä runsaat säätömahdollisuudet näyttelevät suurta roolia mietittäessä onnistunutta hitsauskiinnitintä. Mielestäni kiinnittimen tulee olla riittävän vankkatekoinen, jotta se ei lähde vääntymään hitsauksessa syntyvän lämmön vaikutuksesta. Lisäksi mikäli kappaleen hitsauksen aikana tapahtuu lämpövääntymää, joissain tapauksissa on erittäin hyvä, mikäli kiinnittimellä saadaan tehtyä kappaleeseen esijännitystä ennen hitsausta, jolloin kappale on hitsauksen jälkeen toleranssit täyttävä. Meillä ferrumilla kahdessa solussa, jotka on varustettu molemmat kahdella L-pöydällä on käsittelylaitteen lautasessa nollapiste kiinnittimiä 2-4kpl/lautanen, joihin kiinnittimen vaihto ja kiinnitys ovat todella nopeita ja voidaan olla varmoja, että kiinnitin on asemoita juuri oikeaan paikkaan suhteessa robotin koordinaatistoon.”

**7. Voiko robotilla hitsata ilman jigiiä?**

”-Vastaus kysymykseen on kyllä, mutta mikäli halutaan toistaa robotilla samanlaisia kappaleita, jollain täytyy todentaa, että kappale on oikeassa paikassa. Myös robotin railonhakua voidaan käyttää tällaisissa tapauksissa, mutta siitä huolimatta hitsauksen aikana on vaarana, että etenkin pulssihitsausta käyttäen kappale alkaa värisemään ja se heikentää lopputulosta. ”

#### **8. Mitä vaatimuksia silloituksella on?**

”-Kappaleiden silloitukseen vaikuttaa useat asiat; Lähtökohtaisesti kappale tulee olla silloitettuna niin, että se pysyy kasassa hitsauksen aikana. Olemme myös huomanneet, että silloitushitsien koolla on väliä varsinkin jos hitsataan yksipalkko hitsejä. Jos silloitushitsi on liian suuri on vaarana, että robotin railonseuranta lähtee kiertämään silloitushitsiä ja pahimmassa tapauksessa hukkaa seuratun railon kokonaan. Mikäli kyseessä on monipalkko hitsi ja pohjapalkkoa hitsatessa voidaan käyttää isoja hitsausarvoja, silloitushitsin koolla ei ole niinkään väliä, koska se sulaa pienen kokonsa vuoksi helposti. Yhteenvetona voisoin sanoa, että silloitus on tehtävä laadukkaasti, jotta lopputuote on virheetön”

#### **9. Voiko robotilla silloittaa kappaleet, mitä se vaatisi?**

”-Robotilla voi silloittaa kappaleet, mutta se vaatii huomattavasti enemmän ominaisuuksia jigiltä, jotta kappaleet saadaan asemoitua toisiinsa nähden oikein. Silloitushitsistä aiheutuva lämpövääntyminen pitää pystyä kumoamaan jigillä. Osien ladonta ja valmiin hitsatun tuotteen irrottaminen jigistä täytyy miettiä jigien suunniteltaessa, että ei käy tilannetta, jossa kappale on hitsattuna jigissä, mutta sitä ei saada irrotettua sieltä. ”

#### **10. Millainen merkitys etäohjelmoinnilla on tuotteen suunnittelun kannalta?**

”-Meillä ferrumilla ei ole juurikaan sananvaltaa tuotteen suunnittelun ja robotin etäohjelmoinnin välillä, koska asiakas tilaa meiltä kokoonpanon heidän piirustuksellaan, eikä he ota kantaa onko se hitsattu robotilla vai käsin. Tämä asia on meidän päätettävissä ja tällöin suunnittelutyö on tehty jo ennemmin. Ainoa asia mihin me pystymme vaikuttamaan on se, että minkälainen kiinnitin me suunnitellaan ja valmistetaan, jotta emme estä kiinnittimen geometrialla hitsien luokse päästävyyttä. Tämä asia onkin aina ensimmäinen pohdinnan paikka jos päätämme robotisoida uuden tuotteen. Ensimmäisenä täytyy miettiä kiinnitystapa ja paikka, mistä kappaletta lähdetään robottiin kiinnittämään, jotta kappale saadaan hitsattua kokonaan tai ainakin lähes koko-

naan yhdellä kiinnityksellä. Etäohjelmoinnilla yleensä säästämme val-  
tavan määrän tuotantoaika robotisolulla, koska yleensä ohjelma tar-  
vitsee ajaa vaan ns. kylmäajona läpi, ennen tuotannon aloittamista. ”

**11. Pitääkö robottihitsattava tuote suunnitella aina yhdellä kiinni-  
tyksellä hitsattavaksi, vai voiko kiinnitystä muuttaa hitsausten  
välissä?**

”-Lähtökohtaisesti optimaalisin tilanne on jos kappale voidaan hitsata yhdellä kiinnityksellä alusta loppuun asti, mutta mikäli kappaleen geometria ei sitä salli ja hitsien luoksepäästävyys tai robotisolun ominaisuudet sitä eivät mahdollista on myös täysin mahdollista, että kiinnitystä vaihdetaan välillä. Yleensä tämä vaatii kaksi erillistä ohjelmaa tai vähintään kaksi eri rutiinia, jotka voivat olla nimettynä vaikka step1 ja step2, jolloin operaattori voi hitsata ensin ensimmäisen kiinnityksen saumat, jonka jälkeen kappaleen kiinnitys vaihdetaan ja hitsataan seuraavan kiinnityksen mahdollistavat hitsit. Meillä ferrumilla on myös tuotteita joita hitsataan robotilla jaksotetusti, esimerkkinä tästä, että ensin hitsataan jonkun tuotteen yksi tai useampi alikokoonpano robotilla, jonka jälkeen robottihitsatut kappaleet liitetään yhteen ja lopuksi hitsataan tuote lopulliseen muotoonsa. ”

**12. Onko tuotetta järkevää suunnitella siten, että osa tuotteesta hit-  
sataan robotilla ja osa käsin?**

”-Tämä on mahdollista, että osa saumoista hitsataan joko ennen robotihitsausta tai robottihitsauksen jälkeen käsin, mutta näissä tapauksissa meidän tuotannossa on kyse siitä, että hitsi jää jonnekin niin ahtaaseen väliin, että robotti sinne ei sovi. Tehokkain tapa ehdottomasti on se, että robotilla voidaan hitsata kappale alusta loppuun saakka ilman käsihitsausta, mutta aina se ei ole mahdollista. ”

**13. Mitä muuta pitää ottaa huomioon, jos miettii käsin hitsattavan  
tuotteen muuttamista robotilla hitsattavaksi?**

”-Käsihitsauksen ja robottihitsauksen välistä eroa on hieman jo vastauksissani sivuttu tuolla ylempänä, mutta yleisesti ottaen sanoisin, että mikäli kappale on toistuva ja ulkomitoiltaan sopii robotisoluumme ja siinä on vähintään 10 minuutin robottihitsausaika niin harmitsemme vakavasti kappaleen robottihitsausta. Osa tuotteista joita valmistamme on railomuodoiltaan ja hitsien sijainneiltaan lähes mahdollomia robottihitsattavia, jolloin ne on tehokkaampaa tehdä käsin. Robotilla ei päästä kaikkiin hankalimpiin paikkoihin mihin ihminen taipuu ja se poissulkee automatisoidun hitsauksen. ”

## LIITE 6

**OPISKELIJAPALAUTE**

1. Opintojakson pituus?
  - a. Liian pitkä
  - b. Sopiva
  - c. Liian lyhyt
  - d. Muu, mikä?
  
2. Opintojakson sisältö?
  - a. Teoriaa voisi olla vähemmän
  - b. Sopivassa suhteessa teoriaa ja käytäntöä
  - c. Teoriaa voisi olla enemmän
  - d. Muu, mikä?
  
3. Kuinka paljon jouduit odottelemaan, että pääset robotille?
  - a. Liian paljon
  - b. Jonkin verran, mutta ei häiritsevästi
  - c. Vähän
  - d. Ei ollenkaan
  
4. Harjoitustöiden määrä?
  - a. Liikaa
  - b. Sopivasti
  - c. Liian vähän
  - d. muu
  
5. Harjoitustöiden taso?
  - a. Liian vaikeita
  - b. Sopivia
  - c. Liian helppoja
  - d. muu
  
6. Millaisia harjoitustöitä olisi kaivannut enemmän?
  
7. Miten arvioisit näyttötehtävää?
  - a. Liian vaikea suhteessa harjoitustöiden tasoon
  - b. Sopivan haastava, mittaa hyvin osaamista

- c. Helppo, ei ollut haastetta
  - d. Olisin kaivannut haastavampaa tehtävää
  - e. Muu, mikä?
8. Jos saisit päättää, miten muuttaisit näyttötehtävää?
9. Mikä opintojaksolla oli vaikeinta?
10. Onko jotain, mitä olisit halunnut oppia, mutta ei ollut aikaa tai muusta syystä jäi oppimatta?
11. Mikä kurssilla oli mielenkiintoisinta?
12. Entä vähiten mielenkiintoista (tylsintä)?
13. Mitä asioita muuttaisit opintojakson sisällöstä?
14. Miten kurssi muutti suhtautumistasi robotiikkaan? (voit valita useita)
- a. Mielenkiinto kasvoi
  - b. Haluaisin oppia enemmän robotiikasta
  - c. Mielenkiinto vähentyi entisestään
  - d. Ei mitään vaikutusta
  - e. Muu, mikä?
15. Minkä arvosanan antaisit itsellesi asteikolla 1–5 (osallistuminen, motivaatio, osaaminen)?
16. Minkä arvosanan antaisit kurssille asteikolla 1–5?
17. Onko jotain mitä vielä haluaisit sanoa opintojaksoon ja sen kehittämiseen liittyen?