

**Sami Laukkanen**

## **Raitiovaunun lattiaritilän hitsauksen robotisointi**



Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Kevät 2023



**KAMK • University  
of Applied Sciences**

## Tiivistelmä

**Tekijä(t):** Laukkanen Sami

**Työn nimi:** Raitiovaunun lattiaritilän hitsauksen robotisointi

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), konetekniikka

**Asiasanat:** Robotisointi, robottihitsaus, kiinnitinsuunnittelu, etäohjelmointi, raitiovaunu, hitsaus

Tässä opinnäytetyössä kehitettiin Skoda Transtech Oy:n raitiovaunu tuotannon automatisaatioastetta robotisoimalla Tampereen raitiovaunuprojektiin liittyvien lattiaritilöiden hitsaus. Lattiaritilöiden hitsaaminen oli havaittu yrityksessä kyseisen projektin tuotannon pullonkaulaksi, jonka vuoksi lattiaritilöiden hitsaus haettiin siirtää robotille. Työhön kuului lattiaritilöiden robottihitsauskiinnittimen suunnittelu, lattiaritilän robottihitsausohjelman tekeminen etäohjelmointina sekä robottiohjelman ylösajo tuotantoon. Työn tavoitteena oli mahdollistaa lattiaritilöiden hitsaaminen robotilla.

Työ toteutettiin kolmessa vaiheessa, jotka ovat kiinnitinsuunnittelu, etäohjelmointi, ja robottiohjelman ylösajo. Kiinnitinsuunnittelu toteutettiin käyttämällä 3D-mallinnusohjelma Autodesk Inventoria. Kiinnitinsuunnittelun päätavoitteena oli suunnitella hitsauskiinnitin, joka rajoittaa robottihitsausta mahdollisimman vähän, mutta on kuitenkin tuotetta tarpeeksi tukeva, ettei tuote pääse muuttamaan muotoaan hitsauksen aikana. Etäohjelmointi suoritettiin Delfoi Arc etäohjelmointiohjelmistoa käyttämällä. Etäohjelmoinnin tavoitteena oli saada aikaan toimiva hitsausohjelma. Ylösajovaiheessa robottihitsaukselle haettiin soveltuvat parametrit koehitsauslevyjä hitsaamalla sekä tarkastettiin ja korjattiin etäohjelman paikoituspisteet robotin käsiohjaimella. Työssä esitelty teoria keskittyy MAG-hitsaukseen, pulssihitsaukseen, hitsausvirheiden syntyyn sekä hitsausrobotiikkaan. Teoriaosuuden pääaineistoina toimivat J. Lukkarin kirjoittama teos Hitsaustekniikka: Perusteet ja kaarihitsaus (1997), sekä H. Aallon ja R. Kuivasen kirjoittama teos Robotiikka (1999)

Opinnäytetyön tuloksena saatiin robotisoitua lattiaritilöiden hitsaus ja sen ansiosta tilaajayrityksen tuotannon automatisaatioastetta saatiin kasvatettua sekä lattiaritilöiden tuotannon läpimenoaika pystyttiin lyhentämään 70 %. Opinnäytetyön keskeisiä tuotoksia olivat robottihitsauskiinnittimen 3D-mallit, valmistuspiirustukset ja valmistusohjeet, robottiohjelman sisältävä solumalli ja solumallista käännetty robottiohjelma sekä säädetyt hitsausparametrit ja robotilla optimoitu robottiohjelma. Opinnäytetyön toteutuksen aikana hitsattiin onnistuneesti yksi robotisoinnin kohteena ollut lattiaritilä.

Opinnäytetyö onnistui hyvin. Opinnäytetyössä suunniteltua hitsauskiinnitintä yritys voi tuotantosarjan päätteeksi käyttää mallina uusien tuotteiden kiinnittimien suunnittelussa tai muokata nykyistä kiinnitintä ottamaan vastaan useampia erilaisia tuotteita. Työssä haettuja hitsausarvoja yritys pystyy hyödyntämään muissa vastaavissa tuotteissa, joissa materiaalit ja railomuodot ovat vastaavanlaiset. Työn johtopäätöksenä hitsauksen robotisoinnin todettiin tehostavan lattiaritilöiden valmistusta.

## **Abstract**

**Author(s):** Laukkanen Sami

**Title of the Publication:** Robotizing of Tram Floor Welding

**Degree Title:** Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

**Keywords:** Robotizing, robot welding, welding fixture design, offline programming, tramcar, welding

The aim of the thesis was to develop the degree of automation of the commissioner, Skoda Transtech Oy, by robotizing welding of tram floors within Tampere tramcar project. It was seen as a bottleneck in the production of the Tampere tram car project. Therefore, the welding of the tram floors was to be robotized. The thesis purpose was to design a robot-welding fixture for the tram floors, create a robot-welding program by offline programming, and optimize the program for production.

The thesis was executed in three phases. Firstly, the designing of the robot-welding fixture, secondly, creating of the offline program, and finally optimizing the robot program. The welding fixture design was programmed by a 3D-modelling software, Autodesk Inventor. To ensure minimal interference with the robot welding the welding fixture was to be strong enough to support the product and prevent it from deforming while welding. For the offline programming Delfoi Arc software was used. A well-functioning welding program was to be created, to enable activation for production without major program corrections of the robot. The optimization phase consisted of tuning the welding parameters by welding test welds, as well as checking and correcting the position points in the robot program with the robot's teach pendant. The theory part of this thesis focuses on MAG-welding, pulse welding, forming of welding defects and welding robotics. Field specific literature was studied in the theory part.

The robotization of the tram floor welding and increase in the degree of automation in the company, were the key results for this thesis. The production time of the tram floors was reduced by 70 %. The products of the thesis were 3D-models, production pictures and instructions for the robot-welding fixture, robot cell model consisting of the robot welding program and the translated robot program, tuned welding parameters and robot program optimized for production. One tram floor was successfully welded by a robot during this thesis.

The thesis was successful. The thesis commissioner can use the welding fixture designed in this thesis as a model for new welding fixtures or modify it to accommodate additional products. The tuned welding parameters can be used in products of same materials and groove shapes. As a conclusion, the robotizing of the tram floors welding enhanced the production.

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Työn lähtötiedot ja tavoitteet .....	2
3	Teoria.....	4
3.1	Hitsaus.....	4
3.1.1	MAG- hitsaus.....	4
3.1.2	Pulssihitsaus .....	6
3.1.3	Hitsausparametrien säätäminen.....	7
3.1.4	Hitsausvirheet ja -viat.....	8
3.2	Robottihitsaus .....	9
3.2.1	Hitsausrobotti.....	9
3.2.2	Hitsausrobotin ohjelmointi .....	12
4	Työn toteutus .....	14
4.1	Hitsauskiinnittimen suunnittelu .....	14
4.1.1	Runkorakenne .....	16
4.1.2	Tuotteen tuenta .....	16
4.1.3	Paikoitusvasteet .....	19
4.1.4	Tuotteen ja kiinnittimen kiinnitys .....	20
4.1.5	Kiinnittimen valmistus.....	22
4.2	Robotin etäohjelmointi .....	23
4.2.1	Tuotteen hitsattavuus .....	23
4.2.2	Ohjelmoinnin kulku .....	24
4.3	Robottiohjelman ylösajo .....	29
4.3.1	Hitsausparametrien säätäminen.....	29
4.3.2	Kiinnittimen toiminnan varmistaminen .....	30
4.3.3	Robottiohjelman tarkastaminen .....	31
5	Työn tulokset .....	34
6	Pohdinta .....	36
	Lähteet .....	39

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä esitellään raitiovaunun lattiaritilän hitsauksen robotisointiprojektin toteutus ja sen tulkitsemiseen tarvittava teoria. Työn tilaajana toimi Skoda Transtech Oy, työ tehtiin tilaajayrityksen toimitiloissa ja tilaajayrityksen laitteistolla. Työn käytännön osuus pitää sisällään tuotteen robottihitsauskiinnittimen suunnittelun, robotin etäohjelmoinnin ja etäohjelman ylösajon tuotantoon.

Kyseinen aihe valikoitui työnantajan työtarpeen perusteella, sillä lattiaritilöiden hitsaus ymmärrettiin pullonkaulaksi Tampereen raitiovaunujen tuotannossa, ja se täytyi saada automatisoitua. Työskentelin jo ennen opinnäytetyön aloittamista Skoda Transtech Oy:n palveluksessa robottihitsausasiantuntijana, ja tämä robotisointiprojekti olisi tullut minun tehtäväkseni joka tapauksessa, joten tehtävän saadessani pyysin, että saisin tehdä tästä aiheesta opinnäytetyöni, ja se kävi työnantajalle. Aihe on mielestäni mielenkiintoinen, sillä se sisältää elementtejä opintojeni molemmista suuntautumisvaihtoehdoista, jotka ovat robotiikka ja koneensuunnittelu.

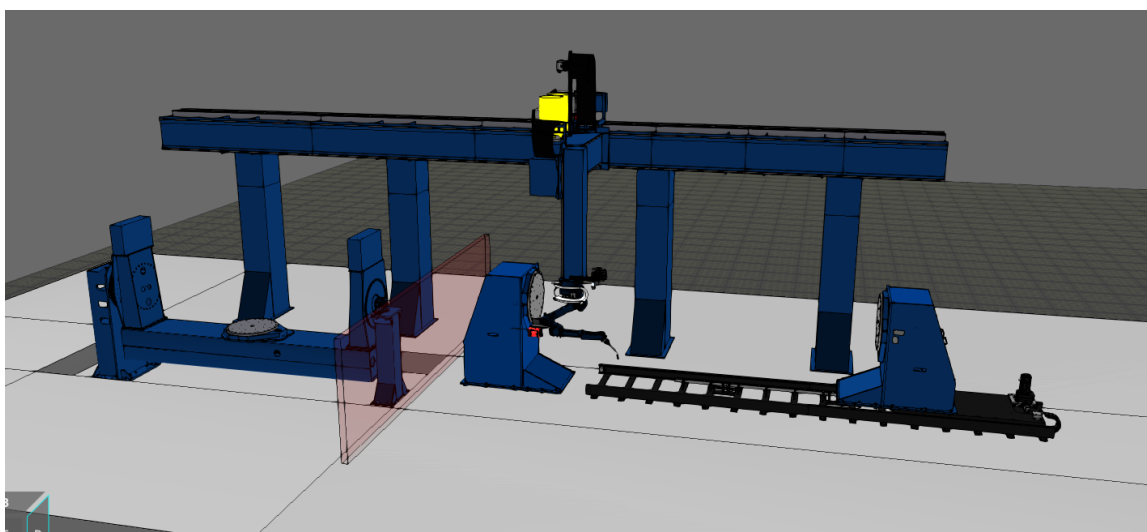
Työn tavoitteena on saada robotisoitua Tampereen raitiovaunuprojektin korien lattiaritilöiden hitsaus. Keskeisinä tuotoksina opinnäytetyössä ovat hitsauskiinnittimen 3D-mallit, sen valmistuspiirustukset ja ohjeet, solumalli, joka sisältää lattiaritilän hitsaukseen soveltuvan robottiohjelman sekä robotin virtalähteeseen tallennetut hitsausarvot sekä toimivaksi säädetty robottihitsausohjelma, jolla voidaan hitsata automaattijolla tuotantokappaleita.

Robotisoinnilla pyritään tehostamaan tuotantoa ja laskemaan tuotteen valmistuksen läpimenoaika. Robotisoitu hitsaus vakioi myös tuotteen valmistuksen laadulliset tekijät ja saa tuotteiden välisien poikkeamien määrän minimiin. Robotisaatiolla voidaan myös kasvattaa yrityksen tuotantokapasiteettia, mikä auttaa yritystä kasvamaan tulevaisuudessa. Tuotannon robotisoinnilla voidaan myös yleisesti parantaa työviihtyvyyttä siirtämällä raskaat ja vaaralliset työt ihmisiltä roboteille.

Opinnollisina tavoitteina tälle opinnäytetyölle asetettiin kehittää opiskelijan osaamista suunnitteluun ja etäohjelmointiin soveltuvien ohjelmistojen käytössä, kehittää hitsaukseen ja robotiikkaan liittyvää teoreettista osaamista sekä kehittää robotiikkaan ja robottien ohjelmointiin liittyvää ongelmanratkaisukykyä.

## 2 Työn lähtötiedot ja tavoitteet

Työssä käsiteltäviä lattiaritilöitä on hitsattu aikaisemman tuotantosarjan yhteydessä käsin, mutta tämän on havaittu olevan hidas ja työergonomialtaan hankala prosessi, jonka on havaittu olevan Tampereen raitiovaunutuotannon pullonkaula. Ritilöiden hitsaus käsin vei keskimäärin 180 työtuntia. Suuren hitsaajaresurssitarpeen ja rajallisen tuotantotilan vuoksi lattiaritilöiden hitsaaminen päätettiin mekanisoida. Mekanisointi toteutetaan Yaskawan toimittamalla AR2010 robottikäsiavarteen perustuvalla robottihitsaussolulla, koska se soveltuu yrityksen robottiasemista parhaiten tämän tyyppisten tuotteiden hitsaukseen. Robottisolu esiteltynä kuvassa 1.



Kuva 1. Yaskawa robottisolu

Yrityksessä on hitsattu vastaavantyyppisiä lattiaritilöitä robotilla muiden raitiovaunuprojektien yhteydessä. Näiden tuotteiden hitsauksesta oli mahdollista ottaa mallia tämän työn toteutukseen.

Opinnäytetyön tavoitteena on robotisoida lattiaritilän SL1234 hitsaus, ja luoda puitteet tuotteen SL5678 robotisoinnille. Robotisointiprojektiin sisältyy tuotteen robottihitsauskiinnittimen suunnittelu, tuotteen robottihitsausohjelman tekeminen etäohjelmointina ja tuotteen robottihitsausohjelman ylösajaminen tuotantoon.

Kiinnitinsuunnittelussa tavoitteena on saada suunniteltua kiinnitin, jossa voidaan hitsata sekä tässä työssä robotisoitava nimike SL1234, ja lyhyempi vastaavanlaisen rakenteen omaava nimike SL5678. Nimikkeen SL5678 hitsausohjelman tekeminen ei kuulu tämän työn tavoitteisiin.

Etäohjelmoinnissa tavoitteena on saada aikaan toimiva robottihitsausohjelma, jota voidaan käyttää tuotteen SL1234 hitsaukseen ilman suuria korjauksia ylösajovaiheessa. Ylösajon tavoitteena on kehittää tuotteen hitsaukseen soveltuvat hitsausparametrit ja hienosäätää robotin hitsausohjelma valmiiksi tuotantokäyttöä varten.

### 3 Teoria

Tässä osiossa esitellään robottihitsausprojektin tulkintaan tarvittava teoria hitsauksesta ja robotoidusta hitsauksesta. Esiteltävässä teoriassa keskitytään seostetun teräksen hitsaamiseen MAG-pulssihitsausprosessilla sekä yleiseen hitsausrobotiikkaan.

#### 3.1 Hitsaus

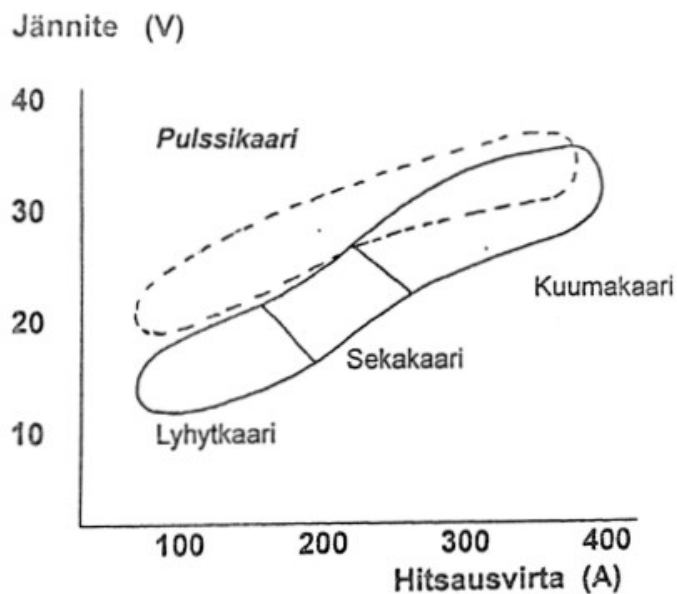
Hitsauksella tarkoitetaan yleisesti osien yhteen liittämistä lämmönlähteen tai puristuksen avulla, siten, että osat muodostavat jatkuvan yhteyden toisiinsa. Hitsaus voidaan tehdä joko ilman lisäainetta, tai lisäaineen kanssa. [1.] Lämmönlähteenä käytetään yleensä elektrodin ja työkappaleen välissä palavaa valokaarta, jonka avulla perus- ja lisäaineet sulatetaan. Sulaneet aineet muodostavat yhdessä hitsisulan, joka jäähmettyessään muodostaa hitsin aineiden välille. [2. s. 16]

##### 3.1.1 MAG- hitsaus

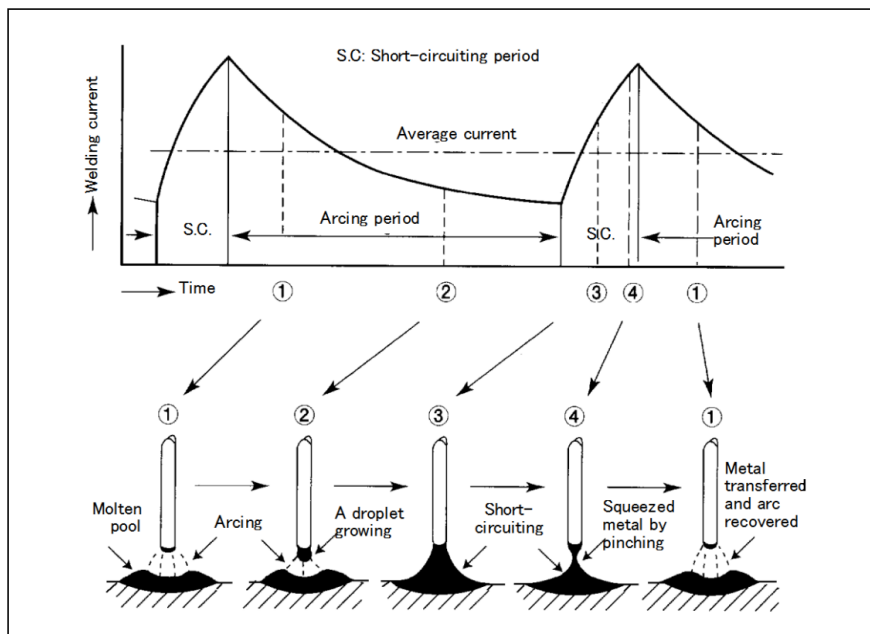
MAG-hitsaus on metallikaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa elektrodina toimivan lisäainelangan pään ja työkappaleen välillä, aktiivisesti hitsaustapahtumaan osallistuvan suojakaasun ympäröimänä. Prosessissa lisäainelankaa syötetään langansyöttömoottorin avulla valokaareen, joka sulattaa lisäaineen, joka siirtyy pisaroina hitsisulaan. [2. s. 159]

Aineensiirtymän muoto metallikaasukaari hitsauksessa riippuu hitsauksessa käytettävistä parametreista, joista merkittävimmät ovat sähkövirran ja kaarijännitteen suuruudet, jotka muodostavat hitsauksessa käytettävän sähkötehon. Matalalla teholla hitsattaessa aineensiirtymä tapahtuu noin lisäainelangan vahvuusina pisaroina, jotka siirtyessään aiheuttavat oikosulkuja lisäaineen ja työkappaleen välille. Aine siirtyy siis oikosulkusiirtymänä, ja hitsauksen sanotaan olevan lyhytkaarialueella. Korkealla hitsausteholla pisarakoko pienenee ja aineensiirtymä tapahtuu suihkumaisesti, tällöin puhutaan kuumakaarihitsauksesta. Lyhyt- ja kuumakaarihitsauksien välissä on seka-kaarialue, jossa ainetta siirtyy sekä suihkumaisesti että suurina pisaroina, joka aiheuttaa paljon roiskeita. [2. s. 165–169] Kuvassa 2 ovat havainnollistettuna kaarialueiden rajat ja päällekkäisyydet. Kuvassa 3 näkyvät havainnollistettuna lyhytkaarihitsauksen hitsausvirran ja pisanmuodostuksen yhteys.





Kuva 2. Kaarialueiden rajat [2, s. 171]



Kuva 3. Lyhytkaarihitsauksen vaiheet [3]

Kuumakaarelle ominainen suihkumainen aineensiirtymä on tavoiteltavaa, sillä se ei juurikaan aiheuta roiskeita, toisin kuin lyhyt- ja erityisesti sekakaari. Hitsattavan aineen materiaalivahvuus aiheuttaa kuitenkin rajoitteita käytettävälle hitsausteholle. Ohut perusaine voi palaa korkealla

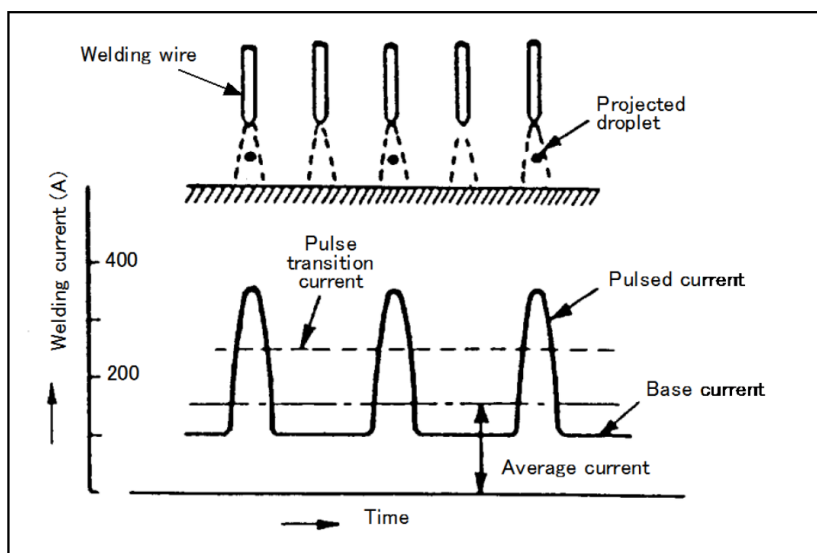
hitsausteholla läpi, ja tällöin on pienennettävä hitsaustehoa ja siirryttävä lyhytkaarialueelle. [2. s. 169–171]

Suojakaasuna MAG-hitsauksessa käytetään aktiivista kaasua, joka on tyypillisesti argonin ja hiilidioksidin, argonin ja hapen tai argonin, hiilidioksidin ja hapen seos. [2, s. 159] Tämän opinnäytetyön käytännön osuudessa hitsattavien raitiovaunun lattiaritilöiden suojakaasuna käytetään Mison 8 -suojakaasua, joka on argonvaltainen kaasu sisältäen vain 8 prosenttia hiilidioksidia.

### 3.1.2 Pulssihitsaus

Pulssihitsauksessa tasaisen perusvirran päälle syötetään korkeita virtapulsseja määrätyn väliajoin korkealla taajuudella. Syötetty virtapulssi saa lisäainepisaran irtoamaan, tällöin aineensiirtymä saadaan suihkumaiseksi myös kuumakaarialueen ulkopuolella hitsattaessa. Pulsrikaarella hitsattaessa hitsaus tapahtuu kokonaan ilman oikosulkuja ja on siten lähes roiskeetonta. [2. s. 171–173]

Perusvirran päälle syötettävä korkea virtapulssi on tyypillisesti noin kaksi kertaa perusvirtaa suurempi. Pulssitaajuus on usein välillä 20 ... 400 Hz. Pulssihitsauksessa hitsauskaasun tulee olla joko täysin inerttiä tai seoskaasua, jossa on korkeintaan 20 % hiilidioksidia. [2. s. 171–173] Kuvassa 4 on havainnollistettu pulssin muotoa ja sen yhteyttä irtoavaan lisäainepisaraan.



Kuva 4. Pisaranmuodostus tyypillisessä pulssikaarihitsauksessa. [3]

### 3.1.3 Hitsausparametrien säätäminen

MAG-hitsauksessa tärkeimmät säädettävät hitsausparametrit ovat hitsausvirta ja langansyöttö, kaarijännite, hitsausnopeus ja hitsauspolttimen asento. Hitsausparametrit tulee säätää vastamaan halutun hitsityypin, hitsattavan materiaalin ja hitsauslaitteiston mukaan. [2. s. 204]

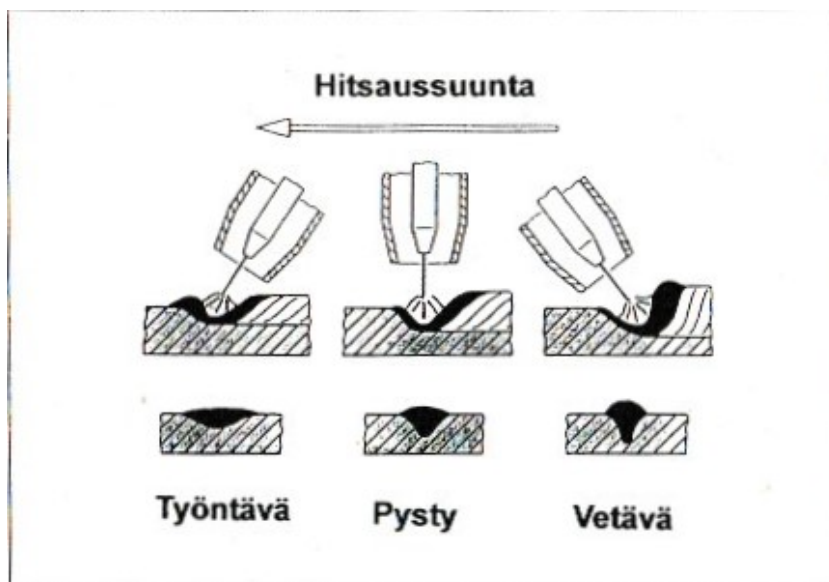
Langansyötön säätö vaikuttaa nykyaikaisissa synergiakäyrien perusteella säätävissä hitsausvirtalähteissä, joko suoraan tai määrätyn kertoimen kautta hitsausvirran suuruuteen. Langansyöttöä kasvattamalla hitsausvirtakin kasvaa. Langansyötön ja hitsausvirran määrä vaikuttavat hitsiaineen tuottoon ja hitsin tunkeumaan. Tuotto ja tunkeuma kasvavat mitä korkeampaa hitsausvirtaa käytetään. [2. s. 205–208]

Kaarijännite vaikuttaa pääasiassa valokaaren pituuteen ja muotoon, kaarijännitteen noustessa hitsauksessa lämmönlähteenä käytettävän valokaaren pituus kasvaa ja valokaari laajenee. Pitkä ja leveä valokaari osuu laajemmalle alueelle hitsattavassa tuotteessa sulattaen perusainetta laajemmalta alueelta. Pitkä valokaari muodostaa leveän hitsin, mutta sen tunkeuma on heikompi, johtuen valokaaren lämmön kohdistumisesta vähemmän hitsin juureen. Liian suuri jännite voi aiheuttaa hitsiin hitsausvirheitä, kuten reunahaavaa, huokosia ja roiskeita. [2. s. 204–205]

Hitsausnopeus vaikuttaa hitsauksessa syntyvän hitsipalon kokoon ja muotoon, tunkeuman määrään ja hitsisulan käyttäytymiseen. Hitaalla hitsausnopeudella hitsisulan määrä matkan yksikköä kohti on suuri, minkä vuoksi syntyvän hitsin koko kasvaa, liian hidas hitsausnopeus voi saada hitsisulan vyörymään valokaaren alle, jolloin valokaari ei osu suoraan hitsattavaan työkappaleeseen vähentäen tunkeumaa ja kasvattaen roiskeiden määrää. Kun hitsausnopeus on säädetty siten, ettei sula pääse vyörymään valokaaren alle on hitsauksen tunkeuma korkeimmillaan. Hitsausnopeutta edelleen kasvatettaessa tunkeuman määrä alkaa laskea lämmöntuonnin laskiessa matkan yksikköä kohden. Liian suuri hitsausnopeus voi johtaa liitosvirhesiin, kuten jyrkkiin liittymiin hitsin ja perusaineen rajapinnoilla. [2. s. 208]

Hitsauspolttimen asennolla on suuri merkitys tunkeuman määrään ja hitsipalon muotoon johtuen valokaaren hitsisulaan kohdistamasta kaaripaineesta. Kaaripaine pyrkii työntämään hitsisulaa pois päin valokaaresta, jolloin riippuen lisäainelangan kohdistuksesta hitsaussuuntaan nähden valokaari työntää hitsisulaa taaksepäin kuljetussuuntaan nähden, hitsirailoa kohti, tai eteenpäin kuljetussuuntaan nähden. Kun hitsauspolttimen asento on kuljetussuuntaan nähden vetävä, on hitsin tunkeuma suurin valokaaren päästessä palamaan suoraan kohti työkappaletta, polttimen asentoa muutettaessa työntävämpää kohti alkaa tunkeuman määrä laskea hitsisulan päästessä

enemmän valokaaren ja työkappaleen väliin. Työntävä poltinkulma tuottaa pienemmän tunkeuman, mutta saa aikaan pinnaltaan tasaisemman hitsin. [2. s. 208–210] Kuvassa 5 on havainnollistettu hitsauspolttimen kohdistuksen vaikutusta hitsisulaan.



Kuva 5. Polttimen kohdistuksen vaikutus hitsisulaan ja hitsimuotoon [2, s. 210]

#### 3.1.4 Hitsausvirheet ja -viat

Hitsiin voi syntyä virheitä useista eri syistä johtuen. SFS 3052:n määritelmä hitsausvirheestä on ”epäjatkuvuus hitsissä, tai poikkeama hitsin muodossa. Hitsausvirheitä ovat esim. halkeamat, vajaa hitsautumissyvyys, huokoisuus ja kuonasulkeumat.” [1]. Hitsausvirheiksi voidaan laskea kaikki poikkeamat ihanteellisesta hitsistä. Hitsausvirheen vakavuuden perusteella määritellään, täytykö se korjata. Hitsausvirhe muuttuu hitsausviaksi, kun se määrätään korjattavaksi. [2. s. 32]

Tämän opinnäytetyön käytännön osuudessa kohdattavat hitsausvirheet ja -viat koostuvat pääosin reunahaavoista ja liitosvirheistä. Viat ja virheet todetaan silmämääräisesti NDT-tarkastajan toimesta, hitsiluokka tuotteen hitseissä on C.

Reunahaava on hitsin ja perusaineen rajapintaan muodostuva pitkänomainen kraatteri, joka heikentää hitsatun materiaalin väsymislujuutta toimien alkulovena murtumalle. Reunahaava syntyy, kun valokaaren perusaineeseen sulattama kuoppa ei pääse kokonaan täyttymään hitsisulasta.

Alapienahitsissä varsinkin pystyssä oleva levy on altis reunahaavalle. Reunahaavaa voidaan välttää lyhentämällä valokaarta, pienentämällä hitsausvirtaa ja laskemalla hitsausnopeutta. Terävää reunahaavaa ei sallita hitsiluokassa C. [2. s. 50] Kuvassa 6 reunahaava havainnollistettuna.



Kuva 6. Reunahaavat. [4]

Liitosvirheellä tarkoitetaan epätäydellistä liittymää hitsin ja perusaineen tai hitsin palkojen välillä. Liitosvirhe syntyy, kun hitsausenergia ei ole riittänyt sulattamaan hitsin ja perusaineen liittymäpintaa jouheaksi. Syitä tälle voi olla esimerkiksi sulan vyöryminen valokaaren eteen, liian pieni hitsausvirta, liian suuri kuljetusnopeus tai railopinnoilla ollut epäpuhtaus, joka on estänyt sulan vapaata liikkumista. [2. s. 49–50]

## 3.2 Robottihitsaus

Robottihitsaus on automatisoitua hitsausta, jossa automatisointi on toteutettu teollisuusrobotilla, tai -robotteja käyttämällä. Hitsausrobotti toteuttaa hitsausta siihen ladatun robottiohjelman mukaisesti, ilman aktiivista ohjausta operaattorin toimesta. [5.]

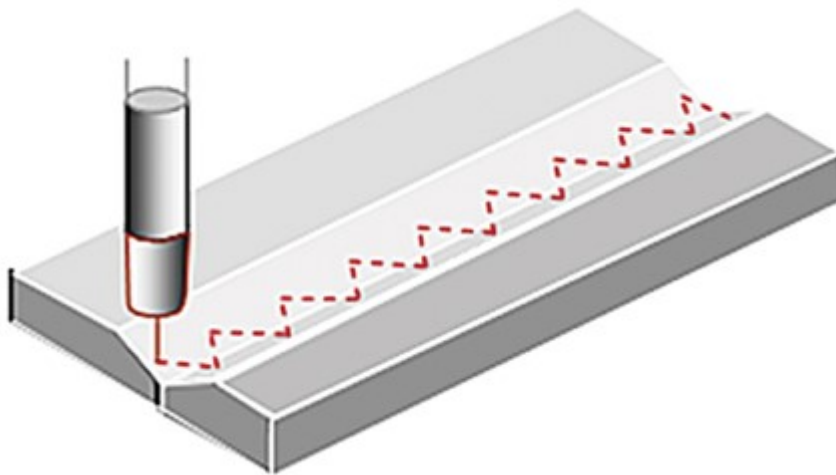
### 3.2.1 Hitsausrobotti

Hitsausrobotti on tyypillisesti kuusiakselinen teollisuusrobottikäsivarsi, joka voi olla asennettu kiinteästi lattiaan tai liikkua kytkettynä rataa. Robottihitsaussolussa on yleensä hitsausrobotin lisäksi robotin ohjaama kappaleenkäsittelijä, jonka avulla työkalua voidaan kääntää eri asentoihin hitsauksen aikana. [6. s. 39]

Hitsausroboteissa on eräitä erityisominaisuuksia, joilla ne poikkeavat muuhun käyttöön suunnitelluista teollisuusroboteista. Näitä erityisominaisuuksia ovat esimerkiksi railonseuranta- ja railonhakutoiminnot.

Railonseuranta on reaaliaikaista robotin radan korjaamista robottiin liitettyjen anturien avulla. Railonseuranta voi perustua esimerkiksi hitsausvirran monitorointiin, lasersensoriin tai konenäköön. Railonseuranta käyttämällä voidaan kompensoida hitsausradan epätarkkuuksia. [6. s. 39–40]

Tyypillisesti railonseuranta on toteutettu hitsausvirtaa seuraavan anturin avulla. Hitsausvirran mukaan tapahtuva railonseuranta toiminta perustuu robotin liikkeeseen lisättävään hitsausraataan nähden poikittaiseen levityslikkeeseen, joka saa hitsauksessa käytettävän vapaalangan pituuden vaihtelemaan riippuen siitä, missä vaiheessa levityslikettä robotti on menossa. Vapaalangan pituuden muutos saa aikaan muutoksen hitsausvirrassa, jonka mukaan railonseuranta muuttaa robotin kulkureittiä. [7.] Kuvassa 7 hitsausvirran seurantaan perustuvan railonseurannan levityslieki havainnollistettua.



Kuva 7. Railonseurannan levityslieki. [8]

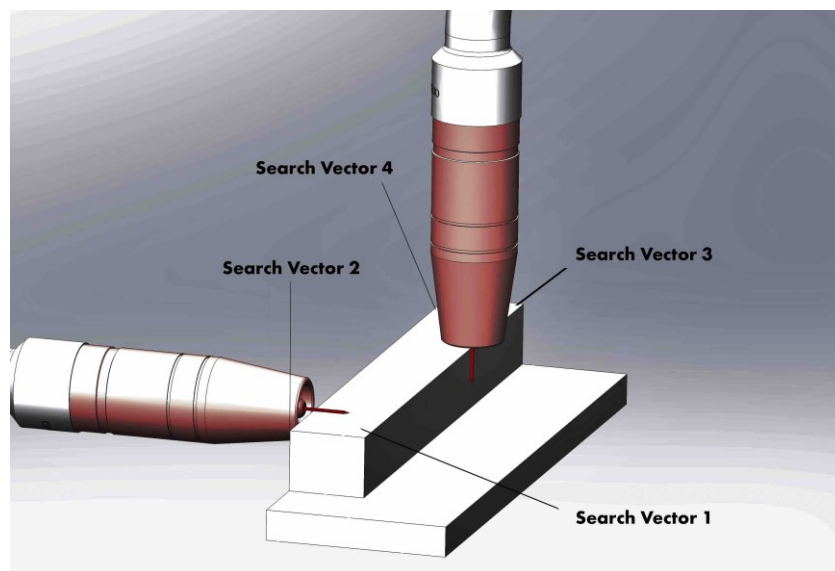
Railonhaussa robotti mittaa hitsattavan tuotteen geometriaa ja siirtää mittauksen perusteella ohjelmapisteitä vastaamaan tuotteen todellisia hitsausriloja. Railonhaku voi perustua esimerkiksi kosketukseen, laseriin tai konenäköön.

Kosketukseen perustuvassa railonhaussa robotti käy koskemassa ohjelmassa määrättyjä pintoja ja säilöo pintojen löydetyn sijainnin ja ohjelmaan ohjelmoidun hakupisteen sijaintien erotuksen

muistiin. Tätä tallennettua tietoa voidaan käyttää ohjelmassa siirtämään ohjelmapisteitä vastaamaan todellisen tuotteen geometriaa. Tällä toiminnolla voidaan korjata epätarkkuuksia tuotteen paikoituksessa hitsauskiinnittimeen ja tuotteen osien paikoituksessa toisiinsa. Hakutoiminnon heikkoutena on sen käyttöön kuluva aika. Yksi kolmiulotteinen haku lisää ohjelma-aikaa noin 15 sekuntia. [7.] Railonakuja voi olla ohjelman pituudesta ja halutusta tarkkuudesta riippuen jopa useita satoja, jolloin hakuihin kuluva aika voi olla yhteensä tunteja.

Yhtä kosketusta kohden voidaan määrittää siirto vain yhtä suuntaa kohden, minkä vuoksi hitsirailon tarkka paikantaminen vaatii yleensä vähintään kahden pinnan hakemisen. Kolmen pinnan haulla saadaan aikaan paras tarkkuus paikoitukseen, kun kaikki koordinaatiston suunnat on haettu. [7.] Ohjelmassa voidaan käyttää useampia hakuja, joita voidaan kutsua päälle ja pois käskyllä robotin ohjelmassa.

Kosketukseen perustuva railonhaku toimii siten, että robotti kytkee hitsauslangan tai erillisen tuntotyökalun jännitteelliseksi ja aloittaa liikkeen kohti haettavaa pintaa. Jännitteellisen työkalun koskiessa työkappaleen pintaa virtapiiri sulkeutuu ja robotti saa tästä Input-tiedon. Joissain poltintyypeissä haku voidaan suorittaa lisäainelangan lisäksi myös kaasuholkillla. [7.] Kosketukseen perustuvaa hakutoimintoa on havainnollistettu kuvassa 8.



Kuva 8. Kosketukseen perustuva railonhaku. [7.]

### 3.2.2 Hitsausrobotin ohjelmointi

Hitsausrobotteja voidaan ohjelmoida samoin, kuin muitakin teollisuusrobotteja. Vaihtoehtoina ovat tyypillisesti opettamalla ohjelmointi ja etäohjelmointi.

Opettamalla ohjelmoitaessa robottia ajetaan käsiajolla haluttuihin paikkoihin, joihin tallennetaan paikoituspisteet robotin ohjelmaan. Opettamalla ohjelmoitaessa robotti on siis ajettava jokaiseen ohjelmaan haluttuun pisteeseen, mikä vie merkittävästi aikaa ja estää robotin käyttämisen tuotannossa ohjelmoinnin aikana aiheuttaen tuotantoseisakkeja. Opettamalla ohjelmointi tapahtuu robotin käsiohjaimen välityksellä, joten siihen ei tarvita erillisiä ohjelmistoja tai laitteistoja. Käsiohjaimella ohjelmaan voidaan lisätä myös muita komentoja, kuten hitsaussovelluksissa kaaren päälle- ja pois kytkentöjä. [6. s. 79–80]

Opettamalla ohjelmointi on vähenemässä etäohjelmoinnin eli offline-ohjelmoinnin yleistyessä. Etäohjelma tehdään tietokoneohjelmaa, kuten Delfoi Roboticsia käyttämällä. Etäohjelmointi tapahtuu 3D-grafiikassa, johon viedään robottisolu sekä työstettävä tuote mahdollisine kiinnittimineen. [6. s. 81–82]

Etäohjelmointi perustuu samalla tavalla paikoituspisteisiin kuin opettamalla ohjelmointi, mutta toisin kuin opettamalla ohjelmoitaessa robottia ei tarvitse käsin siirtää haluttuihin paikoituspisteisiin. Sen sijaan ohjelmisto pystyy luomaan paikoituspisteet automaattisesti 3D-grafiikasta valittuun muotoon ja luotujen pisteiden orientaatiot voidaan määrittää esivalittujen parametrien avulla. Muotojen perusteella tapahtuva ohjelmointi mahdollistaa työkalun orientaation pysymisen vakiona kuljettavan radan suhteen suunnasta riippumatta. [6. s. 84–85]

Etäohjelmoitu robottiohjelma voidaan simuloida ennen siirtoa tuotantoon. Simuloinnissa ohjelmointiin käytettävä ohjelmisto ajaa robotin solumallia luodun ohjelman mukaisesti, jolloin ohjelmasta voidaan tarkastaa syntaksin toimivuus ja liikeratojen toimivuus ja turvallisuus. Ohjelmisto voidaan määrätä pysäyttämään simulointi törmäyksen, akselien liikearvojen ylityksen tai singulaariteetin kohdatessaan, jolloin käyttäjä pystyy korjaamaan simuloinnin pysäyttäneen virheen. [6. s. 86]

Ohjelman onnistuneen simuloinnin jälkeen ohjelmointiohjelmisto kääntää eli postprosessoi ohjelman halutun robottimallin omalle ohjelmointikielelle. Käännetty ohjelma voidaan siirtää robotille esimerkiksi tietoverkkoa tai massamuistilaitetta käyttäen. [6. s. 86]



Ohjelman suora käyttöönotto robottisolussa vaatii solumallin tarkan kalibroinnin. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista, jolloin etäohjelmoinnilla tehdyn ohjelman paikoituspisteet eroavat todellisesta tuotteesta. Paikoituspisteiden poikkeamat voidaan korjata opettamalla pisteet kohdalleen tai käyttämällä erilaisia aistinjärjestelmiä, kuten railonhakua paikoittamaan radat oikeisiin paikkoihin. [6. s. 86–87]

Etäohjelmoinnin suurin etu opettamalla ohjelmointiin on ohjelmoinnista johtuvan seisokkiajan puute. Robotti pystyy työskentelemään muiden tuotteiden parissa etäohjelmoinnin aikana, toisin kuin opettamalla ohjelmoitaessa, jolloin robotti on pois tuotantokäytöstä ohjelmoinnin ajan. [6. s. 81–82]

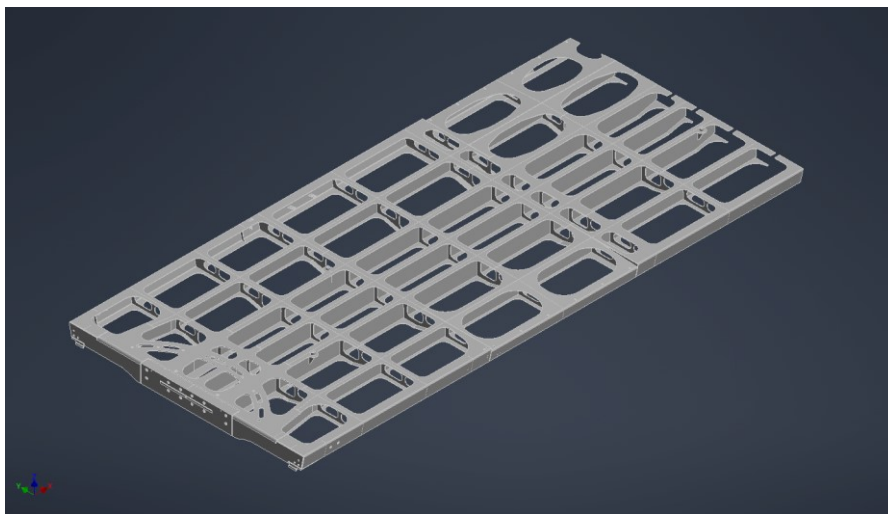
## 4 Työn toteutus

Tässä osuudessa esitellään työn käytännön toteutukseen liittyvät vaiheet. Työn käytännön osuus sisältää kolme vaihetta, jotka ovat hitsauskiinnittimen suunnittelu, robotin etäohjelmointi ja robotiohjelman ylösajo. Työ aloitettiin hitsauskiinnittimen suunnittelulla joulukuussa 2022. Alkuperäisen aikataulun mukaan työn käytännön osuuden olisi pitänyt valmistua 2023 viikolla 10, tästä kuitenkin myöhästettiin merkittävästi johtuen tuotannollisista haasteista. Käytännön osuus saatiin lopulta valmiiksi viikolla 16.

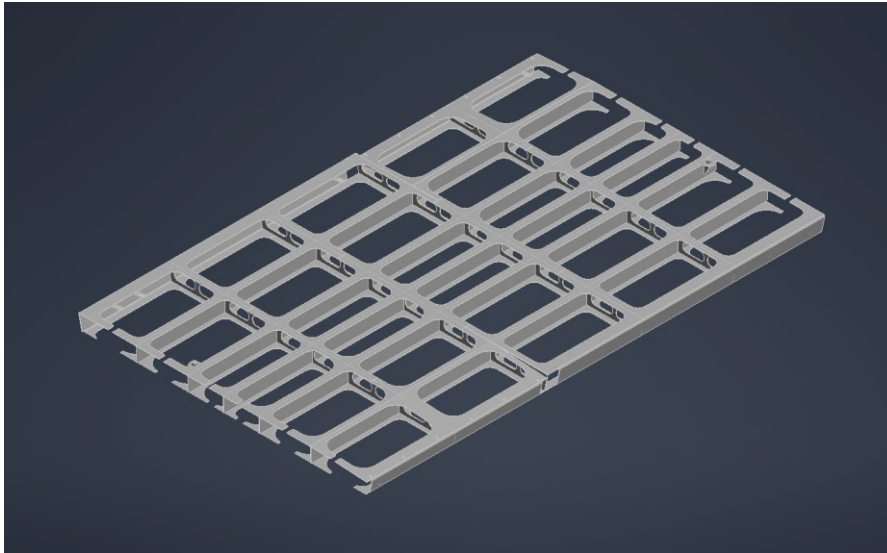
### 4.1 Hitsauskiinnittimen suunnittelu

Kiinnitinsuunnittelu toteutettiin Autodesk Inventor 2021 -3D-mallinnusohjelmistoa käyttäen. Suunnittelun apuna käytettiin tuotteiden ja robotisolun 3D-malleja. Mallinnetun kiinnittimen toimintaa ja soveltuvuutta testattiin suunnittelun aikana robotin solumallissa Delfoi Robotics 4.3. -ohjelmistossa.

Kiinnittimessä on pystyttävä hitsaamaan nimikkeet SL1234 ja SL5678, jotka ovat nähtävillä kuvissa 9 ja 10. Tuotteiden kokoonpano ja silloitus tapahtuu erillisessä kiinnittimessä, joten kokoonpanoon ja silloitukseen liittyviä vaatimuksia ja erityistarpeita ei tarvinnut ottaa huomioon kiinnittimen suunnittelussa. Kiinnitinsuunnittelun päätavoitteena oli pitää kiinnittimen rakenne mahdollisimman avoimena, jotta robotihitsaus olisi esteetöntä, mutta kuitenkin siten, että tuotteen tuenta riittäisi pitämään tuotteen tasomaisuuden toleranssissaan hitsauksen aikana.



Kuva 9. Tuote SL1234



Kuva 10. Tuote SL5678

Tuotteet kutistuvat varsin paljon hitsauksen aikana, mikä täytyi ottaa huomioon kiinnittintä suunniteltaessa. Tuotteen kutistuma pitkittäissuunnassa on noin 20 mm ja poikittaissuunnassa 10 mm. Suuri kutistuma täytyi huomioida tuotteen tuentojen ja vastinpintojen paikoituksissa.

Hitsauskiinnittimen suunnittelu alkoi hitsattavien tuotteiden tarkastelulla, ja niiden yhtäläisyyksien kirjaamisella. Tuotteet ovat samankaltaisia kennorakenteisia ritiläelementtejä, jotka ovat molemmat saman levyisiä ja niiden pitkittäisten uumalevyjen jako on sama. Ne eroavat kuitenkin pituuden, keskimmäisten kolmen uumalevyn korkeuden ja poikittaisten uumalevyjen jaon osalta. Erityispiirteenä tuotteen SL1234 toisessa päädyssä on koneistettu kytkinpalkki. Kuvassa 11 on nähtävissä tuotteiden päätyprofiilien eroavaisuudet.

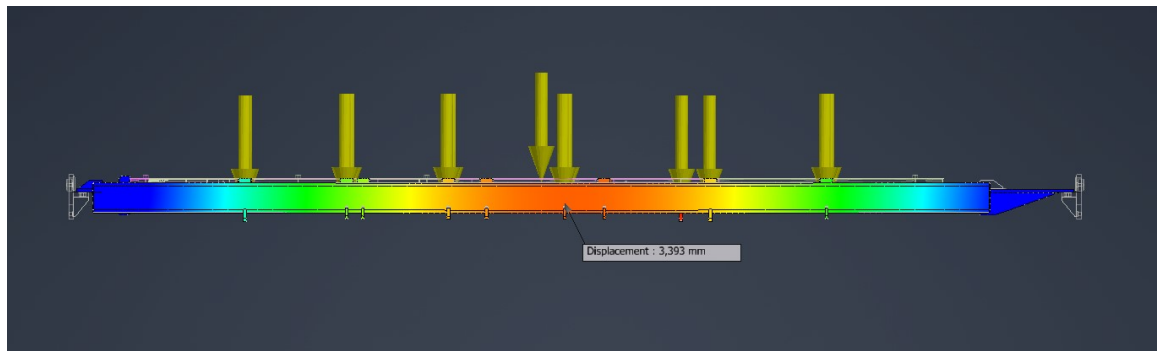


Kuva 11. Tuotteiden päätyprofiilit.

#### 4.1.1 Runkorakenne

Kiinnittimessä hitsattavien tuotteiden ulkomitat ovat nimikkeen SL1234 osalta 5310 x 2500 x 190 mm ja nimikkeen SL5678 osalta 3950 x 2500 x 140 mm. Tuotteiden suuren koon ja erityisesti pituuden vuoksi kiinnittimen on oltava tarpeeksi jäykkä, jotta se ei pääse tuotteen painon vaikutuksesta roikkumaan hitsauksen aikana. Liika roikkuma voi aiheuttaa tuotteen taipumisen roikkuman muotoon hitsauksen aikana.

Tarpeeksi jäykkä rakenne todettiin saavutettavan putkipalkista valmistettavalla kehikolla. Tarvitavaksi palkkikooksi arvioitiin 200 x 100 mm:n putkipalkki vähintään 8 mm seinämävahvuudella. Tällaista ei kuitenkaan löytynyt suoraan yrityksen omasta varastosta, joten materiaaliksi valikoitui seuraava vähintään yhtä luja palkki, joka tässä tapauksessa osoittautui 200 x 100 x 10 mm:n putkipalkiksi. Tästä suunniteltiin kehikon pitkittäiset palkit. Poikittaiseksi palkiksi valikoitui 200 x 200 x 10 mm:n putkipalkki, jonka valinta perusteltiin pidemmän liittymäalan saavuttamisella poikittaisiin palkkeihin. Inventorilla suoritetussa laskennassa kuormatun kiinnittimen roikkuman huipparvoksi saatiin 3,4 mm. Kuvassa 12 kuormitetun kiinnittimen roikkuma mallinnettuna.

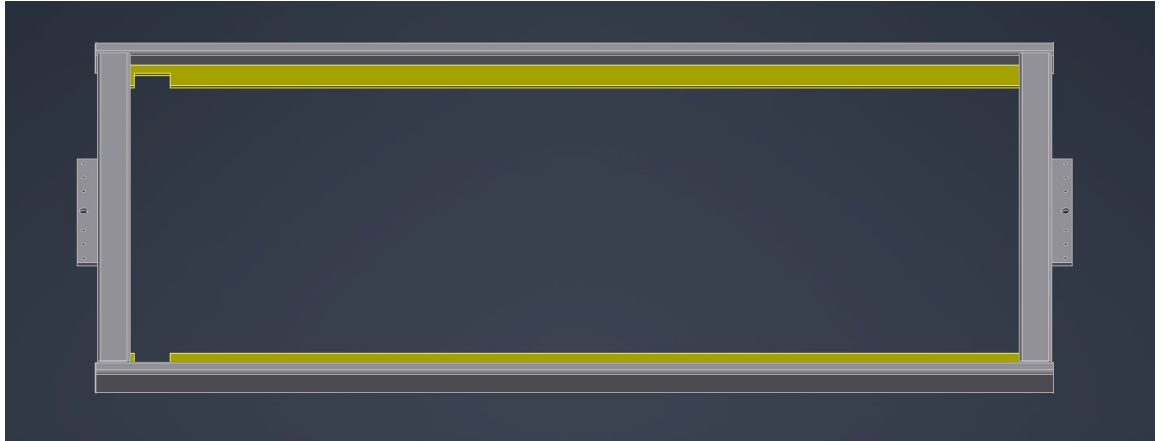


Kuva 12. Kiinnittimen roikkuma

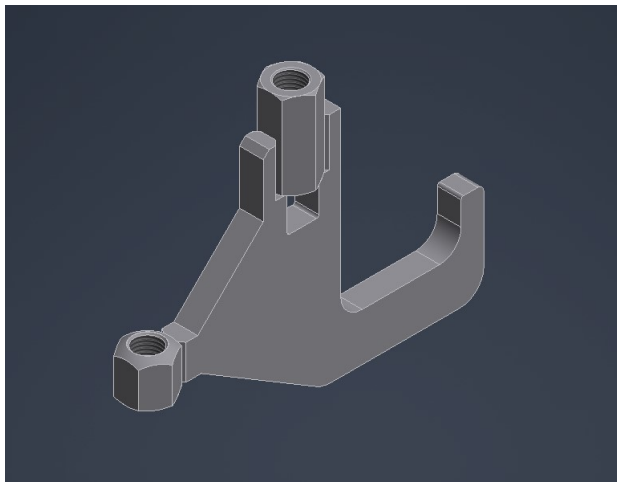
#### 4.1.2 Tuotteen tuenta

Tuotteiden ollessa ulkoreunoiltaan samanlaiset oli tuotteen tuenta kiinnittimessä luontevinta toteuttaa ulkoreunoilta. Aikaisempien projektien lattiaritilät on hitsattu kiinnittimessä, jossa tuotetta tuetaan koko pohjan alalta rimoituksella, mutta tämä ei ollut helposti toteutettavissa tuotteiden ollessa eri korkuiset pohjiltaan. Kiinnittimen ensimmäisessä preliminäärimallissa tuenta toteutettiin kiinnittimen päästä päähän kulkevilla lattarautaa mustuttavilla leikkeillä, minkä kon-

septi esitettyinä kuvassa 13. Tällainen tuenta olisi kuitenkin vaatinut tukipinnan suoristamisen koneistamalla kiinnittimen hitsauksessa tapahtuvien muodonmuutosten vuoksi, miltä haluttiin välttyä. Tuennaksi valikoituikin poikittaisten uumalevyjen kohdille tulevat alapuoliset vastinraudat. Tuotteen alapuolen vastinraudat esiteltynä kuvassa 14.



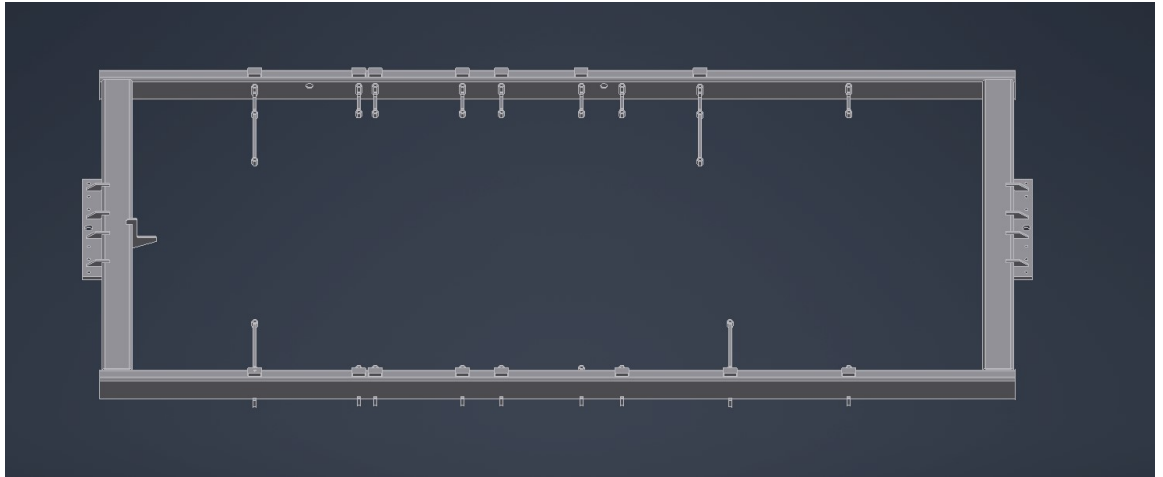
Kuva 13. Ensimmäinen tuentakonsepti



Kuva 14. Tuotteen tuennan vastinrauta

Vastinraudat suunniteltiin aluksi kaikki saman mittaisiksi mutta projektin seurantalavereissa noussut huoli tuotteen muodonmuutoksista hitsauksen aikana sai aikaan tarpeen jäykistää tuotteen tuentaa. Tuentaa tehostettiin suunnittelemalla pidennetyt vastinraudat tuotteen molempiin pätyihin. Pidennetty vastinrauta suunniteltiin ulottumaan toisen ja kolmannen lokerorivin risteykseen, mistä syystä pidennetyn tukiraudan tulee olla aina poikittaisen uumalevyn kohdalla, jotta se ei tule hitsattavan lokeron eteen. Tuotteiden poikittaisten uumalevyjen uumajaon eroavaisuuksista johtuen samaan kohtaan asettuvia poikittaisia uumalevyjä oli vain yksi pari, joka asemoitiin tuotteen toiseen pätyyn. Yksi pari pidempiä vastinrautoja ei todennäköisesti olisi ollut

tarpeeksi takaamaan tuotteen suoruutta hitsauksen aikana, joten toinen pari päätettiin asettaa lyhyemmän lattiaritilän pätyyn, pidemmän lattiaritilän poikittaisten uumien kohdalle. Tässä paikoituksessa ritilöille saadaan tarvittava tuki, eikä vastinrauta pääse tulemaan lyhyemmän ritilän hitsauksen tielle, sillä ritilän päädystä jätetään 150 mm hitsaamatta. Vastinrautojen asettelu kuvattuna kuvassa 15.



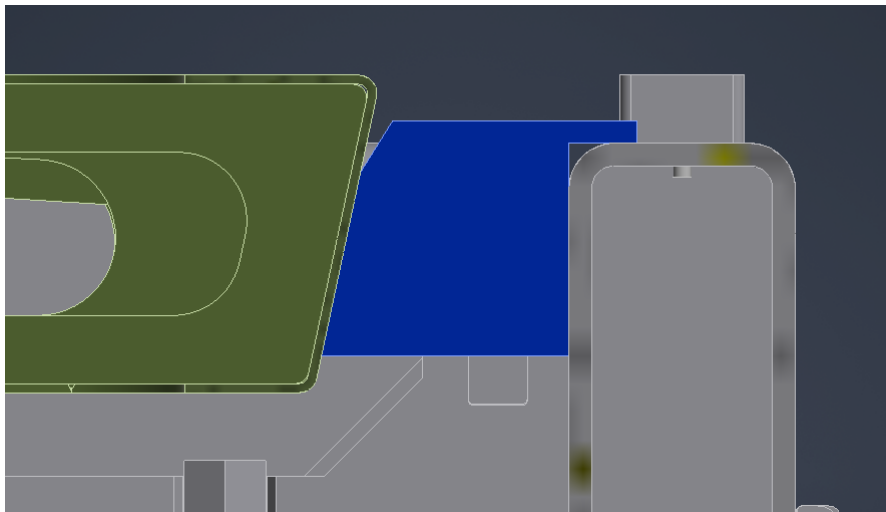
Kuva 15. Vastinrautojen paikat

Tuote asettuu vastinrautojen päissä olevien vastinruuvien päälle. Ruuvit ovat kiinni vastinrautaan hitsatuissa pitkissä M24-muttereissa. Vastinruuvien avulla kiinnittimeen voidaan tarvittaessa säätää ennakoita, ja niiden säätövaran avulla voidaan kompensoida kiinnittimen hitsauksessa syntyneitä muodonmuutoksia. Vastinruuvit säädetään kiinnittimen valmistuksen jälkeen ristilinjalasella samaan korkoon.

Vastinrautojen paikoituksessa huomioitiin tuotteen kutistuma paikoittamalla vastinraudat puolikkaan kutistuman verran kauemmas toisistaan. Tällöin saavutetaan tukipinnoissa keskiarvo, jolloin vastinrautojen paikoitus on hitsauksen alussa yhtä virheellinen kuin hitsauksen lopussa, paikoitusvirheen suunta on vain vastakkainen.

#### 4.1.3 Paikoitusvasteet

Tuotteiden luotettavan paikoittamisen toteuttaminen todettiin haasteelliseksi tuotteiden eroavaisuuksien vuoksi. Tuotteiden tulisi paikoittua yhtäläisten piirteiden avulla tai kokonaan eri kohtiin. Poikittaissuunnan paikoituksessa voitiin käyttää tuotteen ulkoreunoja, jotka ovat muodoltaan vastaavat molemmissa tuotteissa. Poikittaissuunnan paikoitukseen valittiin tuotteen laita-palkin muotoon sopiva viisto pinta, joka pystyy toimimaan myös toissijaisesti ohjauspintana kiinnittimen latauksen aikana. Poikittaissuunnan paikoittimet esiteltynä sinisenä kuvassa 16.



Kuva 16. Poikittaissuunnan paikoitus

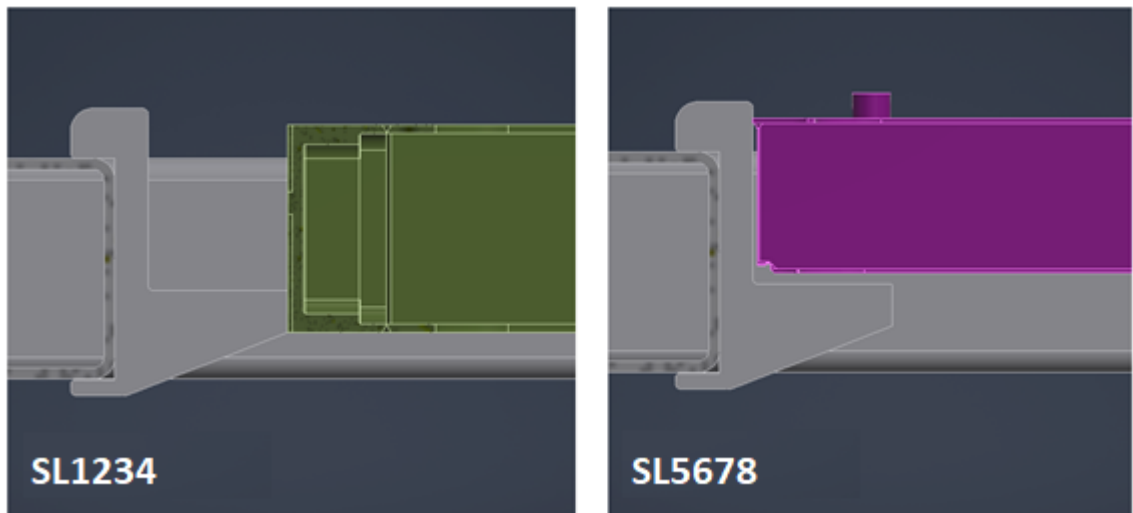
Poikittaissuuntaisen paikoituksen helpottamiseksi kiinnittimeen suunniteltiin paikoittimien vastakkaiselle puolelle ohjausvasteet, jotka vastaavat tuotteen reunaprofiilin muotoa. Ohjausvasteet suunniteltiin jäävän 10 mm irti tuotteen reunasta, jotta tuote mahtuu varmasti asettumaan paikoilleen. Ohjausvasteiden tarkoituksena on ohjata tuotetta oikeaan asentoon kiinnittimen latausvaiheessa.

Tuotteeseen lisättyjen hitsauskutistumavarojen vuoksi silloitettu tuote on 10 mm todellista tuotetta ja tuotteen 3D-mallia leveämpi, jolloin vastepinta ja ohjausvaste suunniteltiin molemmat 5 mm lyhyemmiksi. Hitsauksen loputtua tuotteen tulisi olla noin 5 mm irti poikittaissuunnan vastuksista ja 15 mm irti ohjausvasteista.

Pitkittäissuunnan paikoittaminen osoittautui poikittaissuuntaa vaikeammaksi, sillä tuotteilla ei ollut yhtäläisiä piirteitä kummassakaan päädyssä. Nimikkeen SL1234 päädyn koneistettu kytkinpalkki valikoitui luonnolliseksi paikoituspinnaksi, sillä sen mittatarkkuuden voidaan olettaa olevan suurin koko tuotteessa. Nimikkeellä SL5678 ei vastaavaa luontaista paikoituspintaa ole, joten sen

paikoittaminen päätettiin toteuttaa laserleikkeenä valmistetun kansilevyn reunasta. Laserleikkeen valmistustarkkuus riittää tarkan paikoituksen toteuttamiseen, mutta tuotteen kasaaminen käsityönä aiheuttaa osan paikoitukseen epätarkkuutta, ja siten lisää tuotteen paikoituksen epätarkkuutta kiinnittimeen. Tämä paikoitusepätarkkuus todettiin kuitenkin olevan niin pieni, että se voidaan korjata robotin railonhauilla.

Pitkittäisen suunnan paikoituspinnat asettuivat eri tasoihin johtuen ensimmäisten poikittaisten uumalevyjen paikoituksesta samaan vastinrautaan. Eri tasoon paikoitus oli toteutettavissa hyödyntäen tuotteiden korkeuseroja. Nimikkeen SL1234 kytkinpalkkiin tuleva paikoituspinta asetettiin alemmas kuin tuotteen SL5678, joten tuotteet oli mahdollista paikottaa saman paikoitusosan avulla. Pitkittäissuunnan paikoitus esiteltynä kuvassa 17.

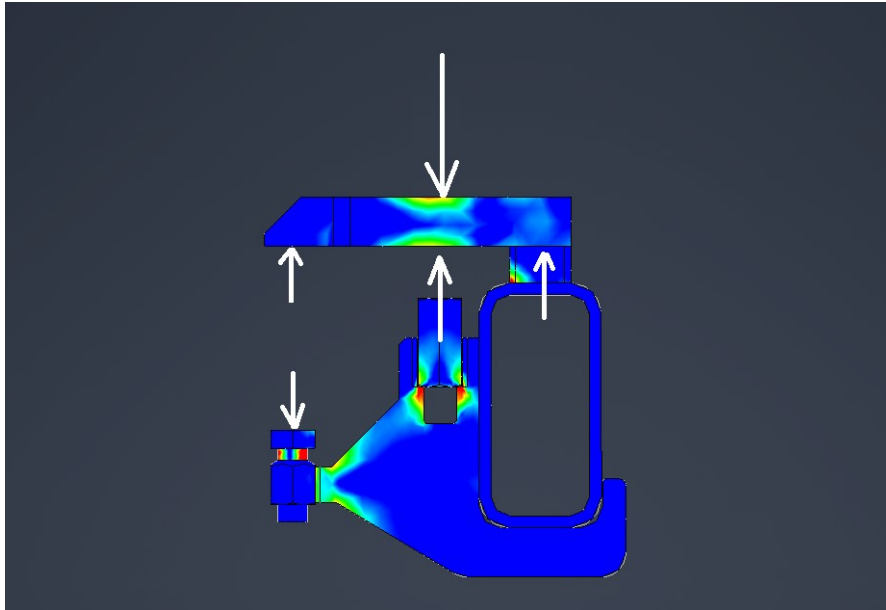


Kuva 17. Pitkittäissuunnan paikottimet

#### 4.1.4 Tuotteen ja kiinnittimen kiinnitys

Tuotteen kiinnittämiseen kiinnittimeen valittiin ruuveilla kiristettävät lestit. Lestien paikat ovat samassa kohtaa kuin tuotetta kannattelevat vastinraudat, jotta tuotteeseen kohdistuvat puristusvoimat ja tuotetta tukevat tukivoimat ovat kohdakkain, eivätkä pääse aiheuttamaan vääntömomenttia tuotteeseen. Kiristysruuvien vastinkappaleet suunniteltiin vastinraudan kanssa samaan rakenteeseen, jolloin vastinraudan ja runkopalkin kiinnityspintaan ei kohdistu juurikaan vääntävää jännitystä. Tuotteeseen ja vastinrautoihin kohdistuvia voimia on kuvattu kuvassa 18.

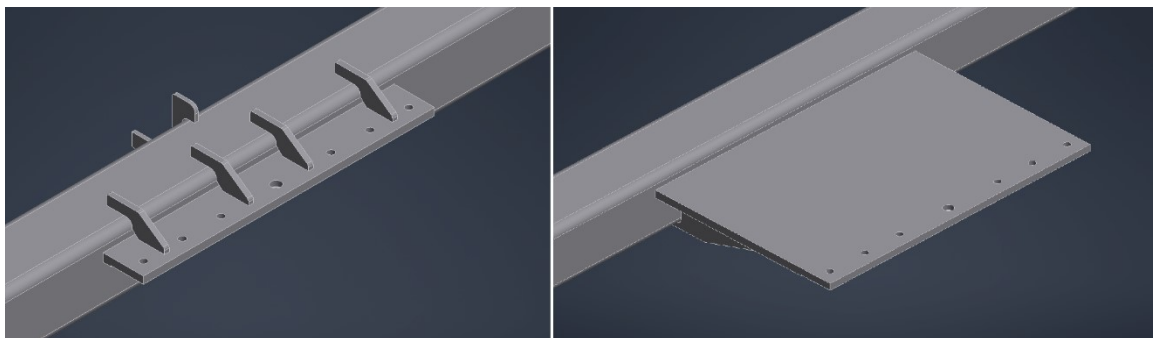




Kuva 18. Tuotteen kiinnityksen kuormitukset

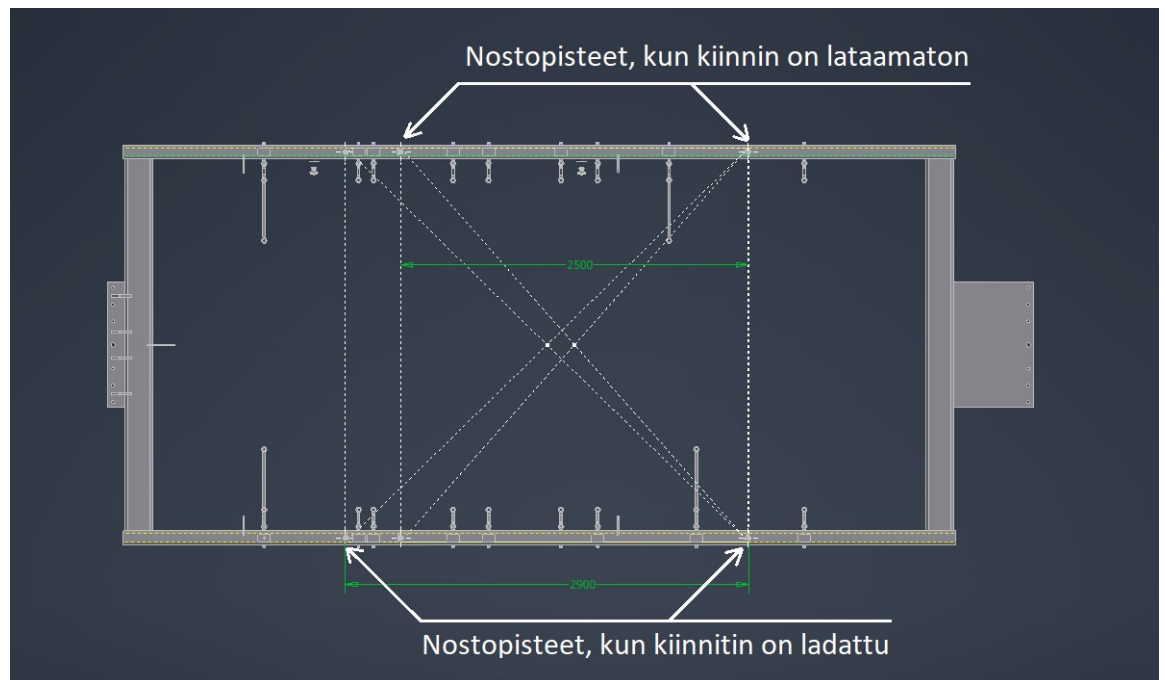
Kiinnittimen kiinnittäminen robotin pyörityslaitteeseen suunniteltiin tapahtuvaksi kiinnittimen poikittaisiin runkopalkkeihin hitsattavilla kiinnityslaipoilla. Alkuun kiinnityslaipat suunniteltiin samanlaisiksi tuotteen molempiin päihin, mutta tästä jouduttiin luopumaan, kun kiinnittimen soveltuvuutta testattiin sijoittamalla se robotin etäohjelmoinnin solumalliin. Kiinnitintä käännettäessä solumallissa havaittiin kiinnittimen osuvan pyörityslaitteeparin kiskoilla liikkuvan pään jalustaan. Liikkuvan pään laippa ja sen tukiraudat jouduttiin suunnittelemaan uudelleen ja niiden pituutta kasvatettiin, jotta kiinnittimen rungon nurkka ei pääse enää osumaan pyörityslaitteeseen.

Kiinnityslaippojen kiinnityspinnat suunniteltiin käyttäen apuna robotin pyörityslaitteen 3D-mallia, josta saatiin suoraan kiinnitykseen käytettävän reikäryhmän mitat ja kiinnityslaitteen paikoitintapin mitat. Kiinnityslaippa paikottuu reikäryhmän keskellä olevasta paikoitutapista robotin pyörityslaitteen kiinnityslaitteeseen. Kiinnityslaipat esiteltynä kuvassa 19.



Kuva 19. Kiinnityslaipat

Kiinnittimen vaihtaminen ja sen siirtäminen suunniteltiin toteutettavaksi siltanosturilla. Nostoa varten kiinnittimen runkoon suunniteltiin kuusi M10-kierre-reikä, joihin asetettiin 900 kg kantavat nostolenkit. Nostolenkien paikat suunniteltiin siten, että kiinnintä voidaan nostaa ja siirtää sekä tyhjänä että ladattuna tuotteella. Nostokohtat valikoituivat siten, että pitkittäisen suunnan vasteen päädyssä olevat nostopisteet toimivat sekä lataamattoman että ladatun kiinnittimen nostossa ja vastakkaisen pään nostopiste valitaan riippuen, onko kiinnitin ladattu vai lataamaton. Kuvassa 20 esiteltynä nostopisteet ja käytettävän nostopisteen valinta.



Kuva 20. Nostopisteiden valinta

#### 4.1.5 Kiinnittimen valmistus

Kiinnittimen osat suunniteltiin liitettäväksi toisiinsa hitsaamalla. Hitsaus aiheuttaa kiinnittimeen muodonmuutoksia lämmön ja hitsin kutistumisesta aiheutuvien vääntävien voimien vaikutuksesta. Näitä kiinnittimen rakennetta vääristäviä voimia pyrittiin minimoimaan suunnittelemalla hitsit mahdollisimman symmetrisiksi. Hitsikoot pyrittiin myös pitämään mahdollisimman matalana, jotta kiinnittimen rakenteeseen vaikuttavat voimat olisivat mahdollisimman pienet. Suunniteltuja hitsikokoja arvioitiin uudelleen ja pienennettiin vielä kiinnittimen valmistusvaiheessa, koska tuotannosta nousi huoli runkopalkkien suorana pysymisestä. Kiinnitinsuunnittelun valmistuttua tuotteen 3D-malleista tehtiin valmistuspiirustukset ja valmistuksessa tarvittavat työohjeet,

jotka ajettiin yrityksen tuotannonohjausjärjestelmään. Ostokomponenttien tarjouskyselyt ja tilaukset tehtiin myös tässä vaiheessa. Kiinnitin valmistettiin yrityksen omissa tiloissa kiinnitintuotantoon varatussa tuotantotilassa. Poiketen valmistussuunnitelmasta kiinnittimen pintakäsittely päätettiin jättää toteutettavaksi vasta ensimmäisen option tuotantosarjan jälkeen, jotta kiinnittimeen mahdollisesti tarvittavat muutokset voidaan helposti toteuttaa. Pintakäsittelyllä ei ole merkitystä kiinnittimen käyttöön, vaan sen tarkoituksena on vain suojata kiinnitintä tuotantosarjan valmistumisen jälkeisen varastoinnin aikana.

## 4.2 Robotin etäohjelmointi

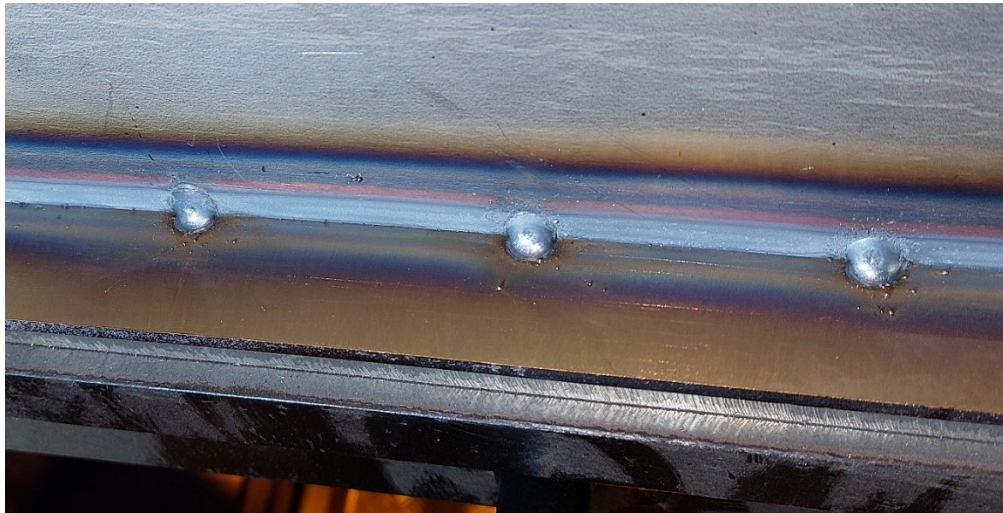
Robotin etäohjelmointi toteutettiin Delfoi Robotics Essentials 4.3. -ohjelmistolla ja Delfoi Arc -lisäosalla. Delfoi Robotics on teollisuusrobottien etäohjelmointiin erikoistunut ohjelmisto ja Delfoi Arc on hitsaussovelluksiin tarkoitettu lisäosa, joka sisältää muun muassa hitsausratojen ja railonhakujen ohjelmointiominaisuudet. Ohjelman avulla robotteja voidaan ohjelmoida 3D-ympäristössä ja robottiohjelman ajoa voidaan simuloida.

Tuotteen hitsauksessa käytettiin apuna muista vastaavista tuotteista opittua tietoa, josta saatiin perusteet ohjelmoinnille. Esimerkiksi hitsauspolttimen orientaatiokulmat ja hitsausjärjestyksen perusteet voitiin ottaa suoraan edellisten tuotteiden ohjelmista. Myös osaa edellisten tuotteiden hitsausparametreista voitiin hyödyntää.

### 4.2.1 Tuotteen hitsattavuus

Hitsattava materiaali tuotteessa on seostettua terästä levyvahvuuksin 2-10 mm. Tuotteen uumalevyt hitsataan ympäriinsä kiinni pienahitsillä kansi- ja pohjalevyihin. Aikaisemmista tuotteista opitun mukaisesti tuotteen hitsattavuus uumalevyn ensimmäisen puolen pienassa on hyvä ja hitsistä tulee hyvin tasainen ja lähes poikkeuksetta virheetön. Kuitenkin uumalevyn toiselle puolelle hitsattavassa pienassa hitsattavuus heikkenee merkittävästi. Hitsin yläpintaan muodostuu herkästi reunahaavaa, hitsin muoto on selkeästi kuperampi ja hitsissä on merkittävästi kateettipoikkeamaa vaakalevyn puolelle. Tästä hitsattavuuden muutoksesta johtuen levyn toista puolta hitsattaessa on laskettava hitsausnopeutta ja painotettava railonseurantaa enemmän pystylevyn puolelle.

Materiaalin sisältämän kuparin, epäillään nousevan hitsatun levyn vastakkaisella puolella pintaan aiheuttaen osan hitsauksen haasteista. Kuvassa 21 näkyy hitsin lämmön aiheuttamat lämpömuutokset, sekä levyn pintaan noussut kuparin värinen alue lämpöjäljen yläpuolella. Koehitsauslevyjä hitsattaessa on havaittu ensimmäisen hitsin lämmöntuontia vähennettäessä toisen hitsin laadun parantumista. Toisin sanoen, kun levyn lämpömuokkautuminen on vähäisempää, onnistuu vastakkaiselle puolelle hitsaaminen paremmin.



Kuva 21. Materiaalin muokkautuminen hitsauksen seurauksena

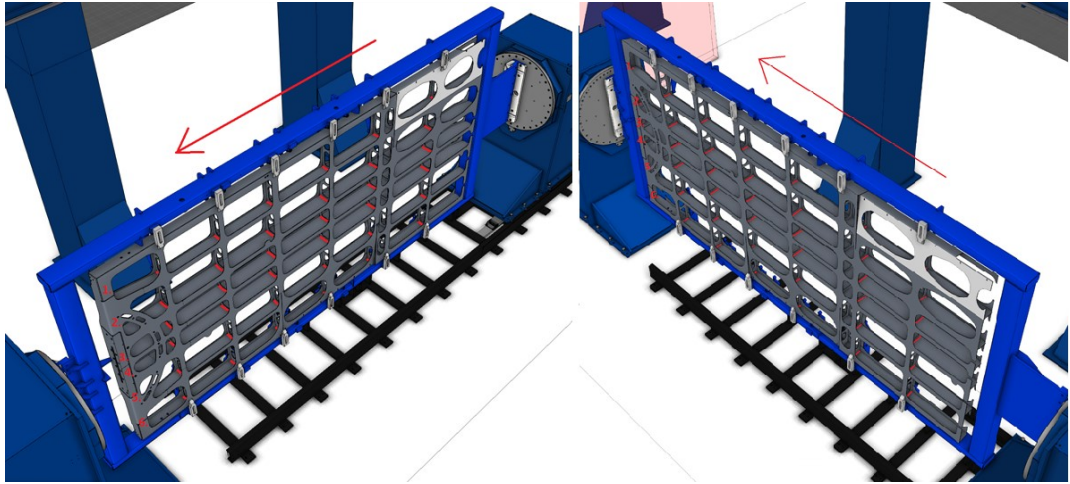
Materiaalissa on havaittu myös magneettisuuden muutoksia hitsauksen aikana, mutta näiden vaikutuksesta hitsausprosessiin ei kuitenkaan ole saatu tarpeeksi tutkimustietoa. Valokaari vaikuttaa vakaalta koko hitsauksen ajan, jolloin magneettista puhallusta ei prosessissa juurikaan ole. Valokaaren käyttäytymistä on tarkasteltu visuaalisesti hitsauksen aikana.

#### 4.2.2 Ohjelmoinnin kulku

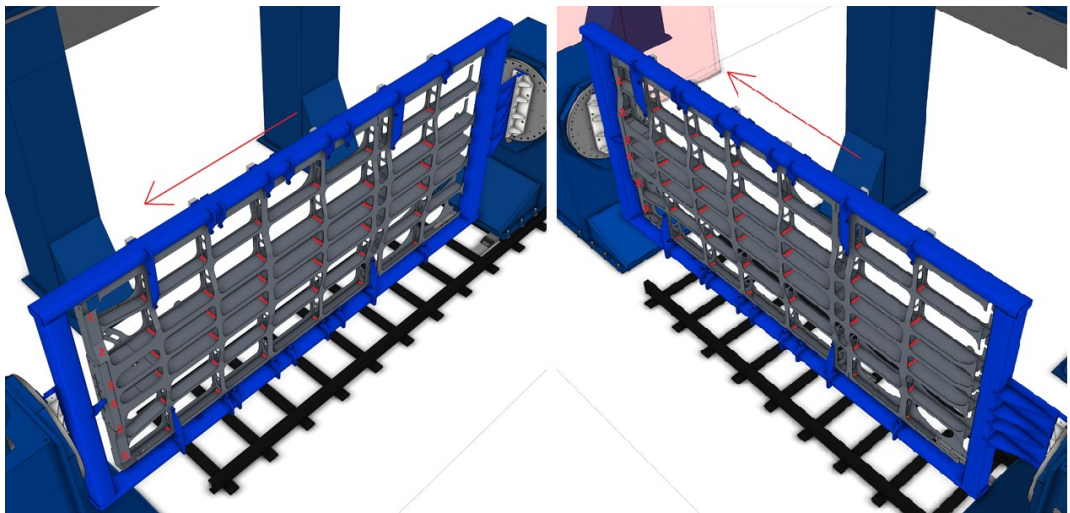
Etäohjelmointi aloitettiin tuomalla robotin solumalliin kiinnittimen ja hitsattavan tuotteen 3D-mallit, jotka paikoitettiin solumallissa robotin pyörityslaitteeseen. Paikoituksen jälkeen kiinnitintä ja tuotetta pyöritettiin solumallin pyörityslaitteessa ja täten saatiin viimeinen varmistus, että kiinnitin ja tuote mahtuvat kääntymään oikein pyörityslaitteen mukana.

Hitsausjärjestys suunniteltiin siten, että tuotteen pitkittäisten ja poikittaisten uumalevyjen väliset hitsit hitsataan ensin rivi kerrallaan, minkä valmistumisen jälkeen aloitetaan lokeroiden pohjia kiertävien hitsien hitsaaminen tuotteen keskeltä lokero kerrallaan kohti laitoja. Lokeron kiertojen

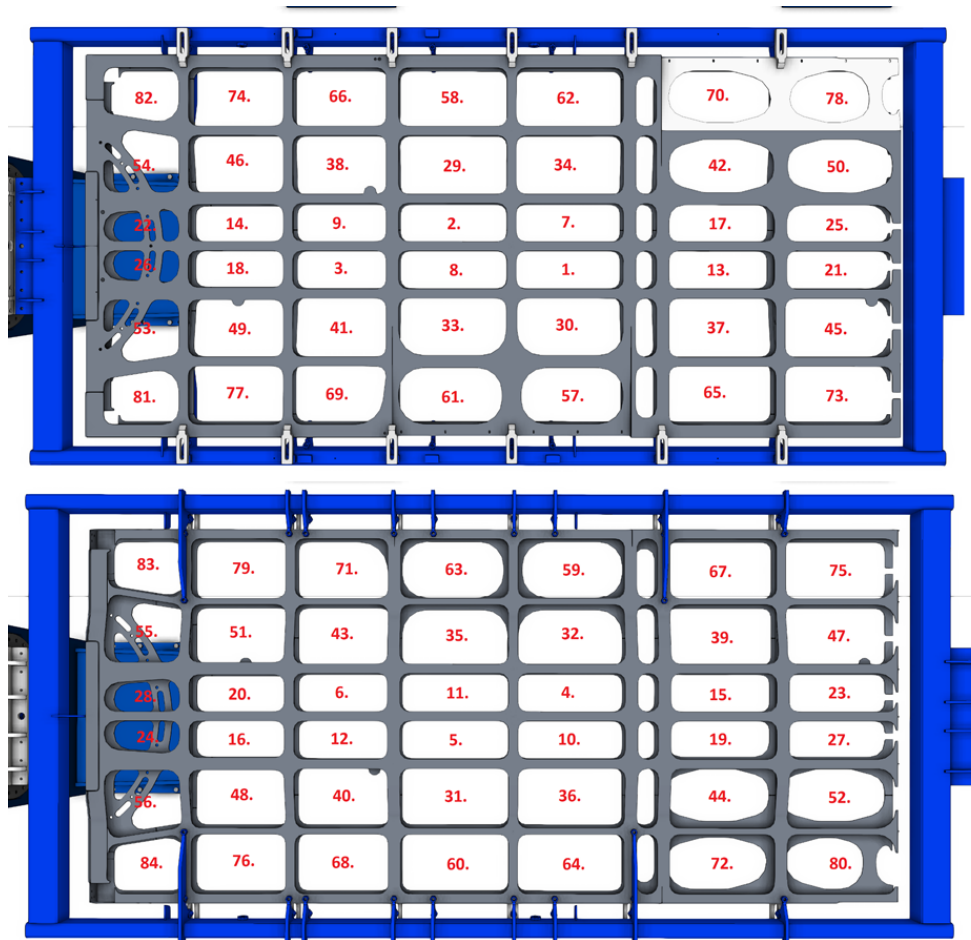
hitsien hitsausjärjestys suunniteltiin siten, että lokeroita hitsataan kerrallaan kaksi tai kolme per tuotteen puoli, jonka jälkeen tuote käännetään ympäri toisen puolen hitsausta varten. Saman lokeron vastakkaiset puolet hitsataan peräkkäisissä vaiheissa, jotta hitsien kutistumisesta aiheutuvat voimat saadaan kumottua. Hitsaus etenee tuotteen keskeltä kohti reunoja. Kuvissa 22, 23, ja 24 esitettyinä suunniteltu hitsausjärjestys.



Kuva 22. Uumalevyt vaihe 1.



Kuva 23. Uumalevyt vaihe 2.



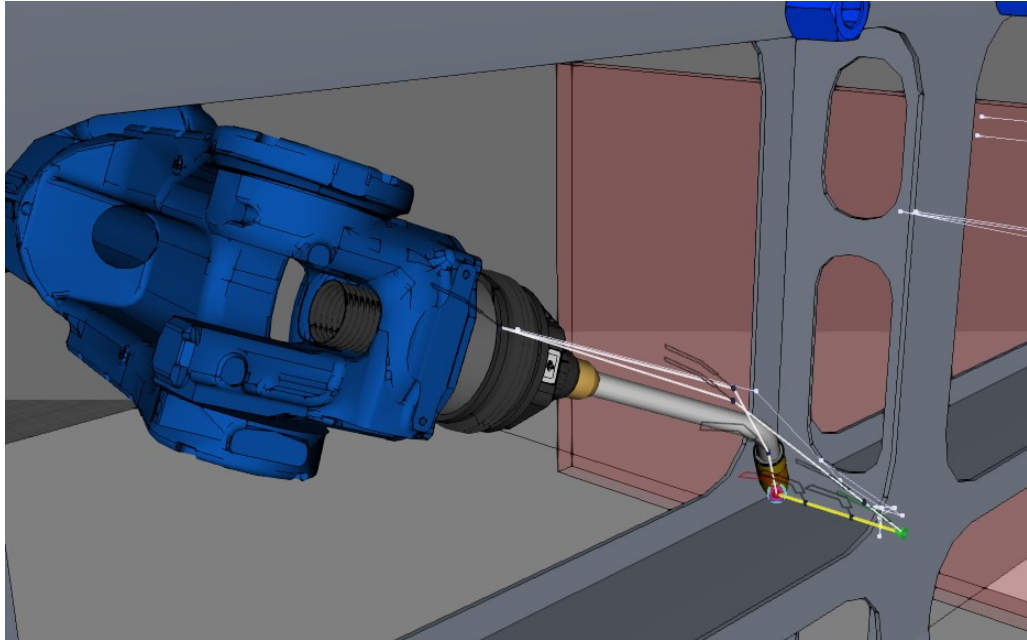
Kuva 24. Lokeron kiertojen hitsausjärjestys

Uumalevyjen väliset hitsit hitsataan yhdellä palolla aloittaen sopivalta etäisyydeltä ennen lokeron nurkkaa ja lopettaen sopivan etäisyyden verran ennen seuraavaa nurkkaa. Ennen hitsauksen aloittamista robotti suorittaa railonhaun, jolla se korjaa hitsausradan paikoituksen vastaamaan todellista tuotetta. Robotti hakee kaikki samalla rivillä olevat railopinnat ennen hitsauksen aloittamista. Railopintojen haun jälkeen robotti hitsaa kaikki hitsit kyseiseltä riviltä. Railohaun lisäksi uumalevyjen hitsauksessa käytetään railonseurantaa, joka siirtää hitsireittiä riippuen railon todellisesta suunnasta. Railonseurantaa käyttämällä saadaan kompensoitua mahdollisia kasausvirheistä johtuvia viistoja railoja. Railonhaun käyttäminen on välttämätöntä etäohjelmalla hitsattaessa, sillä todellinen tuote ja kiinnitin poikkeavat aina niiden 3D-malleista, joilla etäohjelmointi on suoritettu.

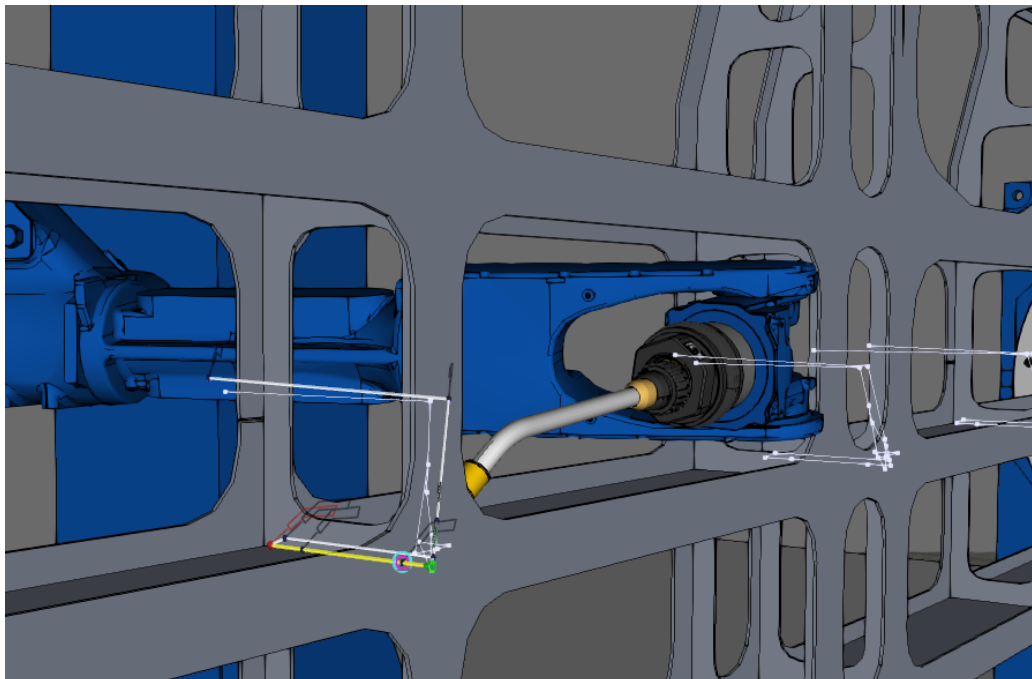
Tuotteen geometria aiheutti haasteita uumalevyjen välisten hitsien toteutukseen, sillä polttimen orientaatiota täytyy kääntää hitsauksen alussa 20 astetta vetäväksi ja lopussa ennen lopetuspiiteeseen saapumista 20 työntäväksi, jotta hitsauspolttimen kaasuholkki ei pääse osumaan tuotteeseen. Orientaatiokäännöksestä johtuen robotin ranne on käännettävä lopetuksessa lokeron



sisälle. Keskimmäisten rivien ahtaissa lokeroissa koko robotin kyynärvarsi on käännettävä lokeron sisään, jotta hitsi voidaan toteuttaa ilman törmäystä. Kuvassa 25 ja 26 on esitetty uumien hitsausta.

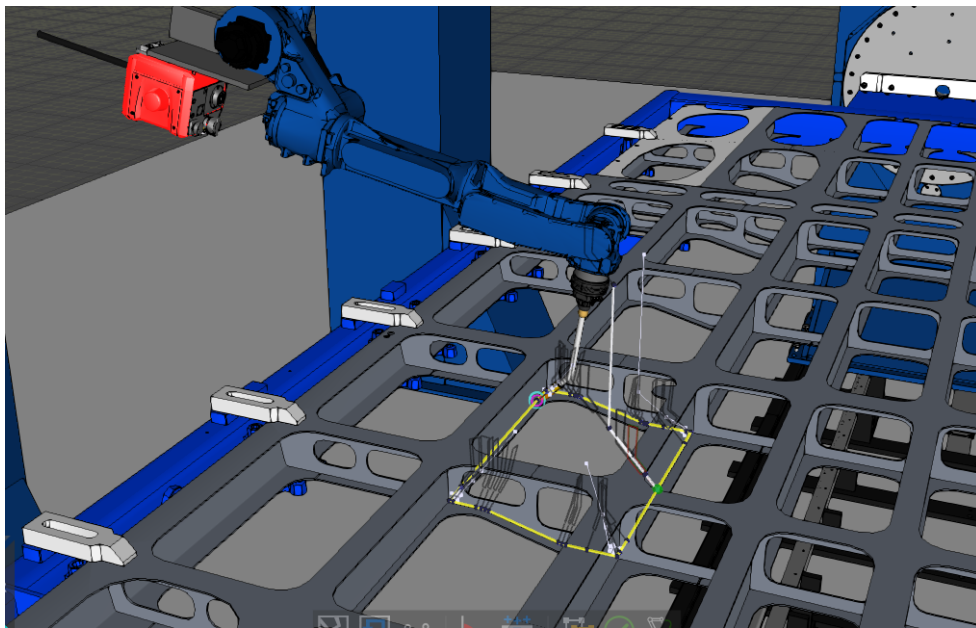


Kuva 25. Uumalevyjen hitsaus



Kuva 26. Uumalevyjen hitsaus ahtaissa lokeroissa

Lokeron kiertojen hitsaus alkaa myös railonhaulla, jossa lokeron jokainen nurkka haetaan ennen hitsausta. Aikaisemmista tuotteista on opittu, että ilman jokaisen nurkan hakemista nurkissa tapahtuvat käännökset eivät onnistu luotettavasti. Se tarkoittaa joko liian aikaisin tai liian myöhään tapahtuvia käännöksiä, jotka johtavat liitosvikoihin nurkkien alueella. Railonhaun lisäksi lokeron kierroissa käytetään railonseurantaa, jonka avulla hitsi pysyy railossaan riippumatta uumalevyjen suoruudesta tai tuotteessa olevista korkeuseroista. Tuotetta joudutaan kääntämään pohjapuolen hitsejä hitsattaessa, johtuen tuotteen pohjan muodosta. Kuvassa 27 esiteltynä lokeron kierron hitsausrata.

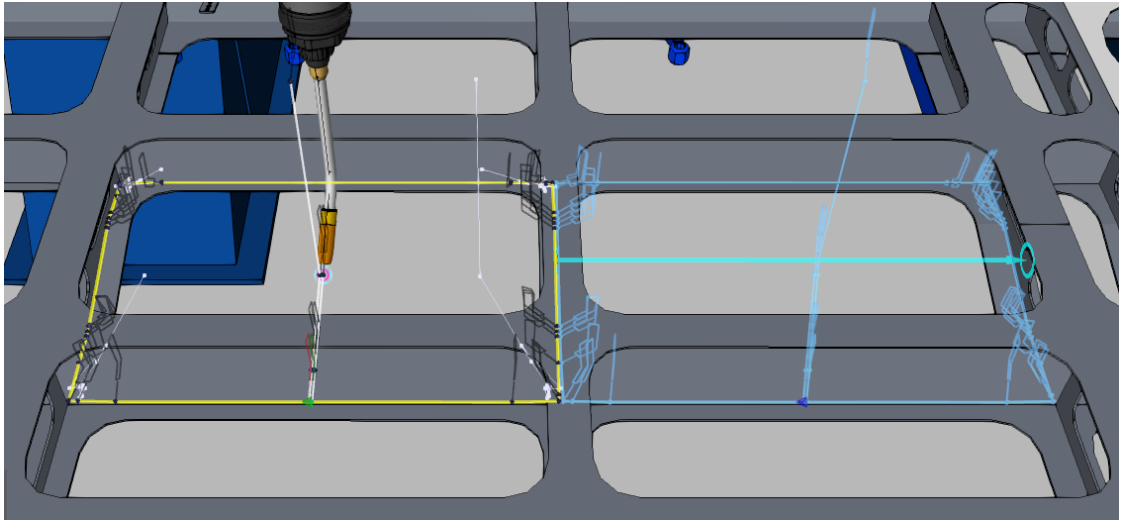


Kuva 27. Lokeron kierron hitsi

Lokeron kierron hitsiä hitsatessaan robotti pysähtyy hetkeksi jokaisessa nurkassa olevaan TIMER käskyyn, tällä pysähdyksellä nurkkaan saadaan enemmän hitsiainetta, jolla varmistetaan jouhean liittyminen nurkassa pystysuunnassa olevaan uumalevyjen väliseen hitsiin. Yksittäisen lokeron hitsausaika on keskimäärin 5 minuuttia, jonka lisäksi railonhakujen tekemiseen menee noin 1 minuutti.

Etäohjelmointia helpotti lokeroiden samankaltaisuus, joka mahdollisti aliohjelmien uudelleenkäyttämisen. Etenkin railonhakujen liikkeitä oli mahdollista käyttää uudelleen ohjelmasta toiseen. Kuvassa 29. on nähtävissä hitsausradan siirtäminen lokerosta toiseen.





Kuva 28. Polun siirto lokerosta toiseen

Valmista robotin ohjelmaan ajettiin simulaatiossa. Simulaatioajossa on tarkoituksena löytää mahdolliset ohjelmointivirheet ennen ohjelman lataamista tuotantorobotille. Simuloinnissa havaittiin kaksi törmäykseen johtavaa liikettä, jotka korjattiin. Korjausten jälkeen ohjelma postprosessoitiiin robotin ohjelmointikielelle ja toimitettiin robotille USB-muistitikulla.

### 4.3 Robottiohjelman ylösajo

Robottiohjelman ylösajovaihe sisälsi virtalähteen hitsausparametrien säätämisen lokeron kiertojen hitsejä varten, kiinnittimen toiminnan varmistamisen ja robottiohjelman tarkastamisen käsiä jolla. Ylösajovaiheen tavoitteena oli viimeistellä ohjelma ja parametrit siten, että ohjelma voidaan luovuttaa tuotantokäyttöön.

#### 4.3.1 Hitsausparametrien säätäminen

Hitsausparametrien säätäminen toteutettiin hitsaamalla robotilla koehitsauslevyjä. Hitsausprosessia seurattiin tarkastelemalla valokaaren ja sulan käyttäytymistä hitsauksen aikana; hitsien laatua arvioitiin myös hitsauksen jälkeen silmämääräisesti. Testihitsien välillä hitsausarvoja säädettiin ja arvojen muutoksen tuloksia arvioitiin uudelleen. Silmämääräisesti parhaan tuloksen antaneiden hitsausarvojen koehitsauslevyistä otettiin hieet, joilla varmistettiin riittävän tunkeuman saavuttaminen.

Säädön tavoitteena oli saada aikaan hitsausarvot, joilla vältytään pystylevyn vastapuolelle hitsattavan hitsin reunahaavoilta ja liitosvioilta. Toisena tavoitteena oli saada nopeutettua hitsauksen läpimenoaikaa. Aikaisemmin vastaavissa tuotteissa käytettyjen hitsausarvojen kohdalla hitsausnopeudet ovat olleet 36 cm/min levyn ensimmäiselle puolelle hitsattaessa ja 27 cm/min levyn toiselle puolelle hitsattaessa. Testeissä saavutetut hitsausparametrit mahdollistivat viattoman hitsin hitsaamisen nopeuksilla 58 cm/min levyn ensimmäiselle puolelle hitsattaessa ja 44 cm/min levyn toiselle puolelle hitsattaessa. Hitsauksen nopeuttamisella saavutettava hitsausajan säästö on siis noin 39 % ensimmäistä hitsiä hitsattaessa ja noin 38 % toista hitsiä hitsattaessa.

Testeissä todettiin ohuen pystylevyn olevan vahvempaa pystylevyä herkempi reunahaavalle. Tästä syystä ohuemman levyn hitsausarvot poikkeavat merkittävästi valokaaren pituuden ja kuljetusnopeuden osalta riippuen siitä, onko kyseessä ensimmäinen vai toinen hitsi. Ohuen levyn toisen hitsin parametreista säädettiin valokaaren pituutta pienemmälle, jotta valokaari kohdistuisi pienemmälle alalle ehkäisten reunahaavan syntyä. Hitsausnopeuden pudottaminen kasvatti hitsiaineen määrää matkan yksikköä kohden, jolloin valokaaren sulattama kraatteri pystylevyssä täytyi paremmin vähentää reunahaavan riskiä. U/D- ja L/R-arvot ovat seurannan parametreja, joista U/D määrittää seurannan tavoitteleman vapaalangan pituuden ja L/R seurannan painotuksen, painotus alapienahitsissä – suunta on kohti pystylevyä ja + suunta on kohti vaakalevyä.

Testihitseissä saadut arvot lisättiin robotin ohjelmaan lokeron kiertojen aliohjelmiin. Uumalevyjen väliset hitsit päätettiin hitsata vanhoilla hitsausarvoilla, jotta voitiin välttää hitsin aloitus- ja lopetusarvojen säätäminen uumien hitsaukseen soveltuviksi. Uumalevyjen välisien hitsien hitsauksen nopeuttamisessa ei ole myöskään niin suurta hyötyä kuin lokeron kiertojen hitsauksen nopeuttamisessa, sillä uumalevyjen välisten hitsien hitsauksessa hitsausajan suhde railonhakuihin ja puhdistusohjelmiin on pienempi.

#### 4.3.2 Kiinnittimen toiminnan varmistaminen

Kiinnittimen valmistuttua se kuljetettiin trailerilla robottisoluun, jossa sen vastinrautojen tukiruuvit säädettiin lasermittalaitteella samaan korkoon. Tukiruuvien säädön jälkeen kiinnitin ladattiin tuotteella SL1234 ja nostettiin robotin pyörittäjään. Kiinnitintä pyöritettiin ympäri molempiin suuntiin, jolla varmistuttiin kiinnittimen mahtuvan kääntymään vapaasti pyörityslaitteessa.

Kiinnittimen todettiin olevan helposti ladattavissa sekä kiinnitettävissä robotin pyörittäjään. Kiinnitin ei myöskään silmämääräisen tarkastelun perusteella vaikuttanut roikkuvan tuotteen painosta.

#### 4.3.3 Robottiohjelman tarkastaminen

Robottiohjelman tarkastaminen aloitettiin lataamalla robotin ohjelma robotin ohjaimeen, joka onnistui ilman virheilmoituksia. Robotin ohjain tarkastaa siihen ladatut ohjelmat syntaksivirheiden varalta ja estää ohjelman lataamisen, mikäli virheitä esiintyy.

Tarkastaminen eteni robotin pääohjelman mukaisesti alkaen uumalevyjen hitsauksella. Kaikkien aliohjelmien hitsausradat katsottiin piste pisteeltä läpi, ja havaitut paikoitusvirheet korjattiin käyttäen hyväksi rinnakkaissiirto toimintoa, jonka avulla paikoituspisteitä voidaan siirtää ilman, että railonhakua tarvitsisi opettaa uudelleen. Pisteiden tarkastuksessa suurimmat poikkeamat paikoituspisteissä havaittiin olevan noin 4 mm:n suuruusluokkaa, nämä poikkeamat sijaitsivat tuotteen keskivivun ahtaissa lokeroissa, joissa robotin polttimen orientaatio poikkesi eniten railonhausassa käytetystä orientaatiosta. Silloin hitsauspolttimen muodon epätarkkuudet solumallin ja todellisen polttimen välillä korostuvat kasvattaen paikoituspoikkeamaa.

Tuotetta hitsattiin sitä mukaa, kun hitsiradat saatiin tarkastettua. Tällä tavalla hitsauksen laadusta saatiin heti suora palaute, mikä mahdollisti hitsausparametrien, kuljetusnopeuden, seurannan parametrien ja polttimen orientaatioiden optimoinnin tarkastuksen aikana. Esimerkiksi uumalevyjen välisien hitsien hitsausnopeutta ja railon seurannan levityслиikkeen amplitudia täytyi pudottaa, kun hitseissä havaittiin tästä johtuvaa reunahaavaa. Tämän tarkastusmetodin heikkoutena on kappaleen jäähtyminen hitsien välillä, minkä vuoksi hitsien laatu ja varsinkin hitsausmuodonmuutosten määrä ei vastaa täysin automaattitilassa hitsattua tuotetta.

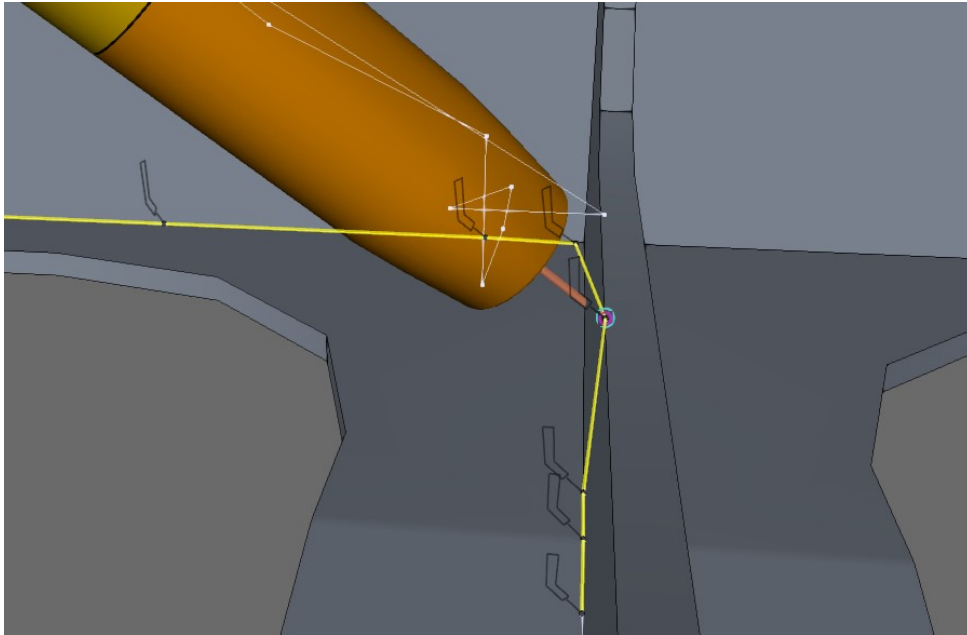
Lokeron kiertoja hitsattaessa havaittiin poikkeamia testihitseissä saatujen hitsausparametrien toiminnassa. Testihitseissä mitatut railon seurannan parametrit eivät tuottaneet hitsattaessa odotettua tulosta vapaalangan kasvaessa testihitsien U/D-arvolla liian pitkäksi. Railon seurannalle mitattiin uudet arvot hitsaamalla mittaukseen tarvittava testihitsi suoraan tuotteeseen. Mittauksen tuloksena saatu U/D-arvo toimi lokeron kiertojen hitsauksessa paremmin, ja vapaalanka pysyi määritetyssä mitassa.

Testihitsien hitsausparametreja käytettäessä havaittiin myös pystylevylle syntyvää reunahaavaa tilanteessa, jossa uumalevyn vastakkaisella puolella oli jo hitsi. Reunahaavaa pyrittiin vähentämään laskemalla kuljetusnopeutta asteittain lokero lokerolta, kunnes vikaa ei enää silmämääräisesti havaittu. Seurannan levitysliikkeen amplitudia päätettiin myös pienentää, tällä muutoksella saatiin laskettua pystylevylle muodostuvan reunahaavan riskiä entisestään. Hitsausprosessia tarkasteltiin silmämääräisesti ja todettiin hitaamman kuljetusnopeuden auttavan kaaren sulattaman reunahaavakraatterin täytössä, sulan noustessa korkeammalle pystylevyllä. Kuvassa 29 on nähtävissä pystylevylle muodostuva terävä reunahaava.



Kuva 29. Pystylevyn reunahaava

Lokeron kiertojen hitseissä havaittiin kateettipoikkeamaa vaakalevyn puolelle käynnöksen jälkeen noin 30 mm:n matkalla, jolloin hitsauspolttimen kohdistus hitsiin on vetävä. Ongelman syntyä tarkkailtiin hitsauksen aikana silmämääräisesti, ja ongelman juurisyyksi todettiin nurkan täytössä apuna olevan pysähdyksen aikana muodostuneen sulan valahtaminen valokaaren eteen, mikä häiritsi railonseuranta korjaamasta hitsiä takaisin railoon. Ongelmaa esiintyy myös muissa vastaavissa tuotteissa. Ongelma saatiin ratkaistua lisäämällä paikoituspiste noin 25 mm nurkan jälkeen, joka kohdistettiin tarkoituksella pystylevylle. Luotu paikoituspiste korjaa robotin rataa enemmän pystylevylle nurkan jälkeen matkalla, jolla railonseuranta on estynyt. Kuvassa 30 on nähtävillä käynnöksen jälkeen lisättävä piste.



Kuva 30. Käännöksen jälkeinen piste

Ohjelmaa tarkastettaessa tarkkailtiin myös robotin toimintaa väliliikkeiden aikana ja varmistettiin, ettei ohjelma sisällä törmäyksiä aiheuttavia virheitä. Uumalevyjen hitsauksessa muutaman aliohjelman kohdalla robotti kulki liian läheltä robotin radan pylvää, minkä johdosta takalanganjohdin osui pylvääseen. Osumista ei seurannut vaurioita, mutta ne aiheuttavat tarpeetonta rasi- tusta langanjohtimelle, joten ohjelmaa korjattiin käsin opettamalla vaaranpaikkoihin väliliikkeet siten, että takalanganjohdin pääsee väistämään pylvään.

## 5 Työn tulokset

Työn tuloksena saatiin aikaiseksi robottihitsauskiinnitin, joka pystyy vastaanottamaan molemmat työn tavoitteena olleet tuotteet, teknisesti toimiva robottihitsausohjelma ja robottihitsattu tuote, jonka virhemäärä on kohtuullisella tasolla, huomioiden tuotteen olevan ensimmäinen robottihitsattu kappale laatuaan.

Työn osana suunniteltu kiinnitin on tarpeeksi avoin vaivattomalle robottihitsaukselle, eikä kiinnittintä tarvinnut väistää kertaakaan hitsausohjelman aikana. Hitsattavuudelle asetetut tavoitteet onnistuttiin siis tavoittamaan. Tuotteen tasomaisuuden todettiin olevan riittävällä tasolla, minkä ansiosta voitiin todeta kiinnittimen toimivan, eikä siihen ole tarpeen suunnitella lisätukia tuotteen FT029489 hitsausta varten. Kuitenkaan ylösajossa käytetty kappale ei kerro koko totuutta, sillä sen hitsit ovat päässeet jäähtymään merkittävästi pidempiä aikoja hitsausten välissä verrattuna automaattijolla hitsattavaan. Todellinen kuva tuotteen tasomaisuudesta saadaan vasta ensimmäisen automaattijolla hitsatun tuotteen jälkeen.

Robottiohjelma todettiin toimivaksi ja se soveltui pienien korjausten jälkeen hyvin tuotteen hitsaukseen. Merkittävältä ohjelmointivirheiltä vältyttiin kokonaan.

Kaikkiaan lattiaritilän robotisointiprojekti onnistui hyvin, lattiaritiläkohtaisen ajallisen säästön arvioitiin olevan yli 100 tuntia hitsausaikaa, mikäli robottihitsauksen jälkeen ei löydy korjausta vaativia hitsausvikoja. Kokonaishitsausaika robotisoidulla tuotteella on arvion mukaan 50-60 tuntia sisältäen 20-30 tuntia käsin suoritettavaa hitsausta ennen robottihitsausta, 10-20 tuntia robottihitsausta ja 10-20 tuntia robottihitsauksen jälkeen tapahtuvaa käsin suoritettavaa loppuhitsausta. Tuotteen valmistuksen läpimenoaika pystyttiin teoriassa lyhentämään 65-75 %. Todellisuudessa luku on kuitenkin pienempi, sillä robottihitsauksessa syntyy aina jonkin verran hitsausvikoja, joiden korjaamiseen käsin hitsaamalla kuluva aika lisätään kokonaishitsausaikaan. Arvioiden tekoon on käytetty tuotannonohjausjärjestelmästä poimittuja työvaihekohtaisia työarvoaikoja. Opinnäytetyön tuotoksen avulla yritys pystyy jatkossa hitsaamaan projektin loput lattiaritilät robotilla.

Työssä saavutettiin myös hitsausparametrit, joita yritys voi jatkossa käyttää nopeuttamaan muiden vastaavien tuotteiden valmistusta, ja kasvattamaan hitsien laatua. Lisäksi opinnäytetyön tu-

loksena saatiin kehitettyä ratkaisu vastaavissa tuotteissa esiintyneisiin käännösten jälkeisiin ka-teettipoikkeamiin, jotka ovat heikentäneet tuotteiden laatua ja ovat aiheuttaneet kustannuksia virheiden korjauksiin kuluvan työajan takia.

## 6 Pohdinta

Opinnäytetyö onnistui mielestäni hyvin, ja sen tuotoksien avulla tilaajayritys pystyi kasvattamaan hitsauksensa automaatioastetta. Yritys sai työn tuloksena hitsauskiinnittimen, ja toimivan robotihitsausohjelman raitiovaunun lattiaritilän hitsaukseen. Työn tuloksena saatiin myös aikaiseksi tietoa, jota tilaajayritys voi käyttää tulevaisuudessa parantamaan robotisoidun hitsauksen laatua ja kasvattamaan hitsausrobotisolun kapasiteettia läpimenoaikojen lyhentymisen avulla. Työn voidaan siis katsoa kasvattaneen merkittävästi yrityksen kykyä hitsata vastaavanlaisia tuotteita tulevaisuudessa.

Opinnäytetyön opinnollisissa tavoitteissa onnistuttiin myös hyvin. Sain paljon kokemusta työn toteutuksessa käytettyjen ohjelmistojen Autodesk Inventorin ja Delphi Roboticsin käytöstä, sekä koin kehittyneeni kyseisten ohjelmistojen käytössä. Opinnäytetyön tekeminen kehitti myös ammatillista osaamistani hitsausrobotiikan asiantuntijana antaen laajempaa hitsauksen teoriapohjaa, jota pystyn soveltamaan alalla tulevaisuudessa.

Opinnäytetyön käytännön osuuden tekemisen koin sujuvaksi ja pystyin toteuttamaan työn pitkälti itseohjautuvasti. Työn edistymistä seurattiin viikoittain lyhyillä pystypalavereilla, joissa projektin aikataulua tarkennettiin. Omalta osaltani suunniteltu aikataulu piti hyvin, vaikka jouduinkin pitämään työn toteutuksessa noin kahden viikon tauon toisen työprojektin kehittämisen vuoksi. Käytännön osuuden viivästymiset suunnitellusta aikataulusta johtuivat tuotannon vaikeuksista toimittaa robotille hitsattavia lattiaritilöitä johtuen osa- ja työvoimapuutteista.

Vaikka opinnäytetyö onnistuikin hyvin, jäi siitä muutamia asioita mieleen, jotka eivät toimineet kuten suunnittelin, ja jotka olisi voinut tehdä toisella tapaa paremmin. Poikkeamat eivät olleet suuria, mutta aiheuttivat pieniä viivästyksiä ylösajovaiheen aikana.

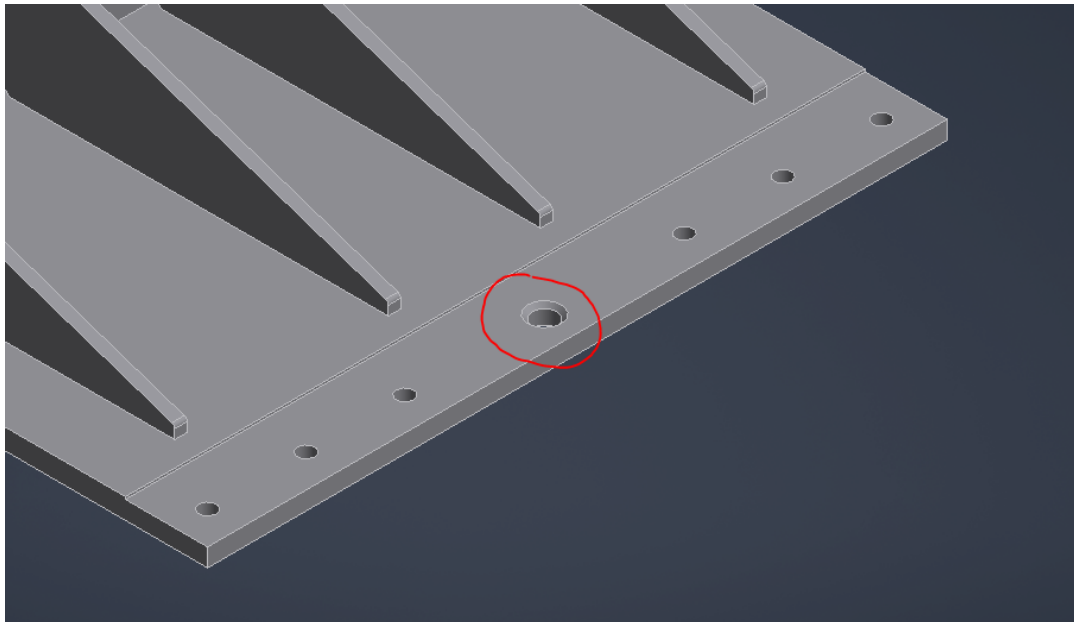
Kiinnitinsuunnittelun osalta muuttaisin tuotetta tukevien vastinrautojen rakennetta siten, että tuote tukeutuisi vapaasti kallistuvien tukien päälle kallistukseltaan kiinteiden vastinruuvien sijasta. Nykyisenlaiset vastinruuvit eivät kiinnittimen rakenteen ja valmistusmenetelmien vuoksi ole kallistuksensa osalta samassa tasossa toistensa kanssa valmistuksessa syntyneiden paikoituspoikkeamien ja kiinnittimen hitsauksesta johtuneiden muodonmuutosten vuoksi. Kuvassa 31 on nähtävillä vastinruuvien tasomaisuuden poikkeamat. Toinen kiinnittimeen liittyvä virhe sijoittui



kiinnittimen paikoittamiseen robotin pyörittäjään. Kiinnityslaippojen paikoitustapin reikien mal-  
leihin ja siten valmistuspiirustuksiin tuli turhat viisteet. Viisteillä ei ole vaikutusta kiinnittimen toi-  
mintaan, mutta lisäsivät hieman laippojen valmistuskustannuksia. Viisteet nähtävillä kuvassa 32.



Kuva 31. Vinot tukivasteet



Kuva 32. Ylimääräinen viiste

Robottiohjelman tarkastusvaiheessa havaittiin tuotteeseen tehtävien railonhakujen olevan mo-  
nissa paikoissa liian lähellä tuotteen seinämiä aiheuttaen virheellisiä kontakteja hakuohjelmissa.  
Poikkeamat johtuivat tuotteeseen lisätyistä hitsauskutistumavaroista, joiden takia varsinainen

tuote on pidempi kuin ohjelmoinnissa käytetty tuotteen 3D-malli aiheuttaen poikkeamia uuma-levyjen sijainnissa solumalliin nähden. Railonhaut, joihin ongelma kohdistui, jouduttiin siirtämään rinnakkaisiirrolla 15 mm irti seinästä, tehden ylimääräisen työvaiheen muutamiin aliohjelmiin. Ongelmalta olisi voitu välttyä tekemällä railonhaun liikkeit kauemmas tuotteen pinnoista.

Opinnäytetyön tuloksista voidaan päätellä hitsauksen robotisoinnin vähentävän tuotteen hitsauksen läpimenoaikaa ja laatuvariaatioita. Hitsaavaa tuotantoa on tuotannon tehostumisen kannalta kannattavaa viedä entistä enemmän robotille. Tilaajayrityksen kannattaa robotisoida etenkin opinnäytetyössä robotisoidujen lattiaritilöiden kaltaiset tuotteet, sillä niiden robotisoidulle hitsaukselle on olemassa valmiit parametrit.

## Lähteet

- 1 SFS 3052:2020 Hitsaussanasto. Yleistermit. Suomen Standarditoimistoliitto. 2020.
- 2 Juha Lukkari. 1997. Hitsaustekniikka. Perusteet ja kaarihitsaus. 3. p Helsinki:Edita.
- 3 Kobelco. Essential factors in Gas Shielded Metal Arc Welding [kuva] 2015 [viitattu 31.3.2023] saatavilla: [https://www.kobelco.co.jp/english/welding/events/files/2015\\_KOBELCO\\_GMAW.pdf](https://www.kobelco.co.jp/english/welding/events/files/2015_KOBELCO_GMAW.pdf)
- 4 BOC. Overfill, Underfill & Undercut [kuva] [viitattu 31.3.2023] saatavilla: <https://www.boconline.co.uk/en/processes/welding/welding-defects/overfill-underfill-undercut.html>
- 5 Kemppi. Hitsausaapinen [internet] [viitattu 31.3.2023] saatavilla: <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/robottihitsaus/>
- 6 Aalto H, Kuivanen R, Suomen robotiikkayhdistys Ry. 1999. Robotiikka. Helsinki:Talentum.
- 7 Scott Huber, Abicor Binzel. How Seam Tracking Solutions Compare. [internet] 2020 [viitattu 31.3.2023] saatavilla: <https://blog.binzel-abicor.com/usa/how-seam-tracking-solutions-compare>
- 8 Bancroft. Selecting the right seam tracking solution. [kuva] [viitattu 31.3.2023] saatavilla: <https://bancrofteng.com/selecting-right-seam-tracking-solution/>