



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SAHAKONEEN RUNKOLOH- KON SOVELTUVUUS RO- BOTTIHITSAUKSEEN

TEKIJÄ/T: Juha Leppänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Juha Leppänen			
Työn nimi Sahakoneen runkolohkon soveltuvuus robottihitsaukseen			
Päiväys	2.6.2018	Sivumäärä/Liitteet	47/0
Ohjaaja(t) TKI-asiantuntija Jenni Toivanen, projekti-insinööri Aku Tuunanen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Veisto Oy			
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Veisto Oy:n R200 A.1 -sahakoneen runkolohkon soveltuvuutta robotisoituun hitsaukseen. Työssä selvitettiin tarvittavat muutokset lohkon rakenteeseen robottihitsattavuuden parantamiseksi, ja esitettiin kiinnitinratkaisu kokoonpanon silloittamiseen sekä kiinnittämiseen robotin kappaleenkäsittelijään. Muutosehdotusten perusteella runkolohko mallinnettiin uudelleen ja kokoonpanon valmistuskustannuksista sekä kiinnitinratkaisusta muodostettiin kustannusarviot, joita verrattiin alkuperäisen kokoonpanon valmistuskustannuksiin.</p> <p>Työ aloitettiin perehtymällä robotisoidun hitsauksen teoriaan sekä tutustuttiin robottihitsauksen kustannuksia, tuotavuutta ja laatua määritteleviin tekijöihin. Kiinnitinsuunnittelusta ja teollisuusrobotin etäohjelmoinnista kerättiin tietoa tutustumalla asiaa käsitteleviin lähdeeteoksiin. Robottihitsattavuutta parantavien ehdotusten pohjalta muodostettiin 3D-malli Vertex-suunnitteluohjelmistolla. Hitsausrobotin ulottuvuus runkolohkon hitseihin simuloitiin RobotStudio-simulointiohjelmistolla. Uudelleen suunnitellun lohkomallin ja RobotStudio-simuloinnin perusteella kehitettiin uusi kiinnitinratkaisu tuotteen silloittamiseen ja hitsaamiseen. Muokatun runkolohkon hitsaus simuloitiin RobotStudio-ohjelmistolla. Lisäksi laskettiin rungon hitsauskustannukset ja tarkasteltiin tuotemuutosten ja kiinnitinratkaisun materiaali- ja koneistuskustannuksia.</p> <p>Työn tuloksena saatiin 3D-mallit uudesta runkolohkosta ja hitsaukseen tarvittavasta kiinnitinratkaisusta. Tuloksena saatiin myös kustannusarvio kokoonpanon robotisoituun hitsaukseen siirtymisestä ja sitä verrattiin alkuperäisen tuotteen valmistuskustannuksiin. Kustannusarvio, hitsaamon työkuorman tasoittaminen ja työhyvinvointi huomioiden muodostettiin ehdotus robottihitsaukseen siirtymisestä tuotteen valmistuksessa.</p>			
Avainsanat robottihitsaus, hitsauskiinnitin, 3D-mallinnus			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Juha Leppänen			
Title of Thesis The suitability of the sawing machine frame block for robot welding			
Date	2.6.2018	Pages/Appendices	47/0
Supervisor(s) Ms Jenni Toivanen, R&D-Advisor and Mr Aku Tuunanen, Project Engineer			
Client Organisation /Partners Veisto Oy			
<p>Abstract</p> <p>The goal of this thesis was to find out if the Veisto company's R200 A.1 sawing machine frame block is suitable for robot welding. The needed changes to the structure of the block in order to improve robot welding were re-searched and a welding fixture solution was introduced in this thesis to tack weld and fasten the assembly to the manipulator of the robot. The frame block was re-modeled after the propositions and the estimate of costs for the assembly's manufacturing expenses and the fixture solutions were made and they were compared to the original manufacturing costs of the assembly.</p> <p>The research started with studying the theory of robot welding and the defining factors of cost, productivity and quality in robot welding. Information on the remote programming of welding fixture planning and industrial robots was gathered from research materials. Based on the propositions concerning the improving of robot welding, a 3D model was made with the Vertex engineering software. The reach of the welding robot to the welds in the frame block was simulated with the Robotstudio simulation programme. Based on the re-designed block model and the Robotstudio simulation, a new fixture solution to tack weld and weld the product was developed. The welding of the modified frame block was simulated with Robotstudio. In addition, the welding costs of the frame and the product changes, and also the material and machining costs of the fixture solution, were examined.</p> <p>As a result of the work, the 3D models of the new frame block and the fixture solutions needed in welding were created. Also, the estimate of costs when switching into robot welding was obtained and it was compared to the manufacturing costs of the original product. Considering the estimate of costs, adjusting the work load in the welding workshop and the well-being at work, it was proposed that robot welding should be used in manufacturing the product.</p>			
Keywords robot welding, fixture, 3D modelling			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
1.1	Työn tausta	5
1.2	Tavoite, toteutus ja rajausta.....	5
1.3	Veisto Oy	6
2	ROBOTISOITU HITSAUS	7
2.1	Robottihitsauksen hyödyt ja haasteet	7
2.2	Railonhaku	7
2.3	Railonseuranta.....	8
2.4	Robottihitsauksen vaatimat toleranssit	10
2.5	Hitsausmuodonmuutokset ja niiden hallinta	11
2.6	Hitsauskiinnitin	13
2.7	Etäohjelmointi	15
3	TUOTTAVUUS, LAATU JA KUSTANNUKSET ROBOTTIHITSAUKSESSA	17
3.1	Tuottavuus	17
3.2	Laatu	19
3.3	Kustannukset.....	19
3.3.1	Tuotantoajat.....	20
3.3.2	Hitsauskustannukset	21
4	CASE: SAHAKONEEN RUNKOLOHKON SOVELTUVUUS ROBOTTIHITSAUKSEEN	25
4.1	Tuotteen esittely.....	25
4.1.1	Runkolohkon rakenne.....	26
4.1.2	Valmistus nykyään	27
4.2	Hitsaussolu.....	27
4.3	Robottihitsattavuuden tarkastelu.....	28
4.4	Hitsauskiinnitin	32
4.5	Simulointi	37
4.6	Hitsausjärjestys	37
4.7	Kustannusten arviointi.....	39
5	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	41
6	YHTEENVETO.....	44
	LÄHTEET.....	45

1 JOHDANTO

Vuonna 2016 maailman talousfoorumin yhteydessä Davosissa Suomi listattiin UBS-pankin vertailussa neljännelle sijalle sen mukaan kuinka hyvin maat pystyvät hyötymään teollisuuden neljännestä valankumouksesta eli automaatiosta ja robotiikasta. Suomen vahvuutena vertailussa oli koulutustaso. (UBS 2016, 25.) Tällä hetkellä Suomen teollisuudessa eletään vahvan kasvun kautta. Tilastokeskuksen mukaan teollisuuden liikevaihto oli vuoden 2017 loka-joulukuussa lähes 7 % suurempi kuin samaan aikaan vuotta aiemmin (Suomen virallinen tilasto (SVT) 2018). Nyt voisi olla yrityksillä hyvä hetki korottaa omaa automaatioastettaan ja näin tehostaa tuotantoa sekä paikata puuttuvan työvoiman aiheuttamaa tuotantomäärien vajetta.

Opinnäytetyö keskittyy Mäntyharjulla sijaitsevan sahatavaran tuotantolinjoja valmistavan Veisto Oy:n sahakoneen runkolohkon robottihitsattavuuden arviointiin. Tuotteen hitsauksen robotisoitavuutta arvioidaan hitsausteknillisten seikkojen, kustannusten ja työhyvinvoinnin näkökulmasta. Haasteita valmistukseen tuo erityisesti tuotteen pienet sarjakoot ja erilaiset variaatiot.

1.1 Työn tausta

Työn aihe tuli työnantajaltani Veisto Oy:ltä, jossa työskentelen mekaniikkasuunnittelijana. Työn taustana on Veisto Oy:n R200 A.1 sahakoneen rungon muutos putkipalkkirakenteesta levyistä valmistettavaksi rakenteeksi. Erityisiä ongelmia putkipalkkirunkoisessa sahakoneessa on ollut mittavaihtelut ja hitsauksen haasteellisuus sekä valmistukseen käytettävä aika. Tästä syystä tuotteesta on suunniteltu kolmesta lohkoista koostuva levyrunkoinen versio, johon työni liittyy. Levyistä muodostettu runkorakenne mahdollistaa paremmin robotisoidun hitsauksen ja samalla yrityksellä on tavoite tehostaa ja automatisoida tuotantoaan, parantaa tuotteiden laatua sekä parantaa hitsaamon työmu- kavuutta ja -turvallisuutta.

1.2 Tavoite, toteutus ja rajaus

Työn tavoitteena on saada riittävästi tietoa tukemaan päätöstä siitä, hitsataanko saharungon 1. lohkon kokoonpano robotilla vai käsin. Päätöksen tueksi muodostetaan arvio kokoonpanon soveltuvuudesta robottihitsaukseen yrityksen robottihitsaussolussa, arvio hitsauskustannuksista ja vertailu kustannuksista käsinhitsauksen suhteen. Lisäksi loppuarviossa huomioidaan kuorman tasaaminen, työhyvinvointi hitsaamossa ja automatisoinnin imago vaikutus.

Työ aloitetaan keräämällä teoriatietoa liittyen hitsauskustannuksiin, hitsattavuuteen, automatisoituun hitsaukseen ja kiinnitinsuunnitteluun, sekä tutustutaan yrityksen robotin ominaisuuksiin, hitsaussoluun ja niiden raja-arvoihin. Hitsausrobotin ulottuvuus runkolohkon hitseihin mallinnetaan RobotStudio-simulointiohjelmistolla ja tämän perusteella tehdään mahdollisia muutosehdotuksia rakenteeseen. Yhteistyössä hitsaajien kanssa suunnitellaan hitsausjärjestys ja kiinnittimen rakenne. Kokoonpanolle mallinnetaan alustava kiinnitinratkaisu ja simuloidaan hitsaus RobotStudio-simulointiohjelmistolla. Hitsaus-, kiinnitin-, ja muutuskustannuksia verrataan käsinhitsauksen kus-

tannusarvioihin. Työn perusteella tehdään kustannusarvio robotisoidusta hitsauksesta, lista mahdollisista muutosehdotuksista rakenteeseen ja ehdotukset jatkotoimista.

Työssä keskitytään erityisesti robottihitsauksen edellytyksiin ja kustannusten arviointiin. Työ rajataan käsittelemään R200 A.1 sahakoneen 1. lohkoa lukuun ottamatta hitsauskiinnittimen suunnittelua, jossa sivutaan myös muita kokoonpanoja, jotta saataisiin kuva todellisista kiinnitinkustannuksista 1. lohkon kohdalla.

1.3 Veisto Oy

Veisto Oy valmistaa HewSaw-merkkisiä sahatavaran tuotantolinjoja ja on yksi maailman johtavia toimijoita alalla. Perheyritys työllistää yli 200 henkilöä, joista suurin osa työskentelee tehtaalla ja pääkonttorilla Mäntyharjulla. Veisto Oy:n tuotteista noin 80 % menee vientiin ympäri maailman. Tärkeimpiä vientialueita ovat Ruotsi, Venäjä, Baltia, Keski-Eurooppa, Pohjois-Amerikka ja Eteläisen pallonpuoliskon istutusmetsävyöhykkeet. (Veisto Oy 2018 a.) Yrityksen toiminta alkoi parrunveistokoneiden valmistuksella Kone-Veisto Velj. Rautio -nimellä vuonna 1964. Yrityksen ensimmäinen sahakone VeistoSaha R115 valmistui 80-luvun alkupuolella ja ensimmäiset koneet ulkomaille HewSaw-tuotemerkillä myytiin 80-luvun loppupuolella. Koneyksiköitä on vuosien saatossa myyty yli 400 kappaletta 32 maahan. (Veisto Oy 2018 b.)

Yrityksellä on tarve saada vajaalla kuormalla käyvälle robottihitsaussolulle lisää kuormaa ja rakenteiden tasalaatuisuutta halutaan parantaa. Vastaavan tyyppisiä kokoonpanoja ei ole yrityksessä aiemmin robotisoitu, joten valmista vertailupohjaa ei työlle ole. Yrityksellä on myös tarve prosessille, jonka perusteella tuotteen robottihitsaukseen soveltuvuutta ja kannattavuutta voitaisiin arvioida myös muissa, suuremmissa kokoonpanoissa.

2 ROBOTISOITU HITSAUS

MIG/MAG-hitsausprosessi on osoittautunut hyvin automatisoitavaksi. Sillä on hyvät asentohitsausominaisuudet, laaja lämmöntuonnin vaihtelualue ja se on yleisesti joustava menetelmä. (Kara ja Rajamäki 1983, 22.) MIG/MAG-hitsauksen langankohdistusvaatimusten, osavalmistustarkkuuksien ja kaaren läpi tapahtuvan railon seurannan vuoksi pienahitsi on suositeltavin liitosmuoto (Lempiäinen ja Savolainen 2003, 84 - 87). Salmen (2017, 7) mukaan piensarjavalmistuksessa sarjan koko, volyymin huono ennustettavuus ja variaatioiden suuri määrä vaikeuttavat tuotteiden robotisoitua valmistusta. Edellä mainituista asioista voi esittää päätelmän, että robottihitsattavaksi tuotteeksi soveltuu hyvin MIG/MAG-prosessilla hitsattava tuote, jonka tuotantomäärä on riittävä ja joka sisältää paljon pienaliitoksia.

2.1 Robottihitsauksen hyödyt ja haasteet

Hitsauksen robotisoinnilla saavutetaan tietyssä tuotantotilanteessa kiistattomia hyötyjä, mutta varjopuolena on myös uusia, käsinhitsauksessa lähes tuntemattomia haasteita. Robottihitsausprosessin tuottavuuden parantuminen perustuu lähinnä kaariaikasuhteen parantamiseen. Robottihitsauksessa kaariaikasuhte voi olla 60 - 80 %, kun se käsinhitsauksessa on tyypillisesti 20 - 40 %. Robotisoidulla hitsauksella voidaan poistaa käsinhitsauksesta fyysisesti sekä henkisesti kuormittavia yksitoikkoisia ja raskaita hitsejä. (Kara ja Rajamäki 1983, 30; Stenbacka 2011, 32.) Hitsaaminen robotilla parantaa yleisesti työturvallisuutta ja kohentaa työolosuhteita, koska operaattori ei altistu samalla tavalla kaaren säteilylle, huonoille työasennoille tai savuille (Salkinoja 2010, 10). Karan ja Rajamäen (1983, 30) mukaan robotisoinnilla vapautettua ammattitaitoista työvoimaresurssia voidaan käyttää tehokkaammin vaativissa kohteissa.

Robotisoitu hitsaus mahdollistaa hitsauksen suurtehomenetelmien käytön ja tavanomaisista hitsauslaitteistakin on hyödynnettävissä käsinhitsausta suuremmat hitsausnopeudet ja sulatustehot. Robotisoidun hitsauksen suuret hitsausnopeudet korostavat hitsausprosessin tiettyjä ongelmia, kuten heikentynyt kaasusuojaus, liitosvirheet, keskilinjasuotaumat ja kuumahalkeilu. Hitsiliitosten keskilinjasuotaumaa ja kuumahalkeilua edesauttaa suuresta kuljetusnopeudesta johtuva pisananmuotoinen hitsisula ja ongelmaa lisää mahdolliset epäpuhtaudet hitsissä. Suuret hitsausnopeudet voivat aiheuttaa lujia teräksiä hitsatessa hitsausliitoksen alueella vetyhalkeilua ja karkenemistä. (Hiltunen 2011 a, 13.)

2.2 Railonhaku

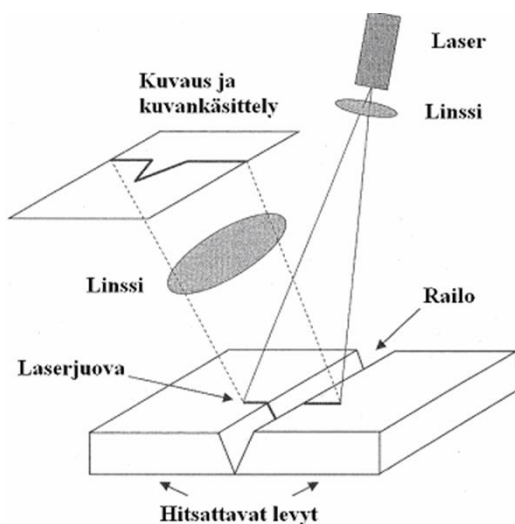
Railonhakua käytetään robotisoidun hitsauksen hitsien paikantamiseen. Tyypillisesti railonhaussa käytetään hitsauspolttimen kaasusuutinta tai lisääinelankaa. Haku perustuu virtapiiriin sulkeutumiseen lisääinelangan tai kaasusuuttimen koskettaessa työkappaleeseen, jolloin robotin ohjaukseen tallentuu mitatun pisteen paikkatieto. (Jääskeläinen, Solehmainen, Tuunainen 2010, 45.) Haun aikana jännite on suhteellisen pieni, joten ongelmaksi voi muodostua työkappaleen riittävän puhtauden saavuttaminen. Etuna on, että ylimääräisiä, mahdollisesti tilaa vieviä antureita ei tarvita. Haittana on ajan käyttö, koska hakuliikkeet täytyy ajaa hitaasti. (Kara ja Rajamäki 1983, 32.)

Railonhaku voidaan tehdä myös optisesti. Tällöin railojen paikat haetaan erillisellä laitteella, joka voi olla sivuun käännettävä, telineeseen hitsauksen ajaksi laitettava tai on sijoitettuna esimerkiksi hitsauspolttimen rannelaippaan. Hyvänä puolena on menetelmän nopeus, joka on hitsikohtaisesti joitakin sekunteja verrattuna langalla hakemisen noin 15 sekuntiin. Huonona puolena menetelmässä on se, että sillä ei pysty lukemaan railoa hitsauksen aikana, jolloin etenkin pitkissä hitseissä muodostuu ongelmaksi hitsauksen aikaisten muodonmuutosten aiheuttamat poikkeamat railojen sijainnissa. (Hiltunen 2009, 31.)

2.3 Railonseuranta

Valokaaren läpi tapahtuva railonseuranta perustuu virran muutokseen hitsauksen aikana. Mittaustapa perustuu siihen, että vapaalangan pituuden muutos aiheuttaa muutoksia hitsausvirrassa ja tämä menetelmä vaatii valokaaren poikkitaissuuntaista levitystä eli vaaputusta. (Jääskeläinen ym. 2010, 45.) Markkinoilla on myös sovelluksia, joissa mitataan jännitteen muutosta hitsauksen aikana, mutta nämäkin menetelmät perustuvat virran mittaamiseen. Poikkeava rata aiheuttaa railon kylkien läheisyydessä puoliskojen kesken erisuuruiset virta-arvot, joiden perusteella automaattikka ohjaa robotin rataa keskemälle railoa. Menetelmän heikkoutena on, että se tarvitsee railon kyljet ja vaaputuksen mittauksen toteuttamiseksi. (Kara ja Rajamäki 1983, 32 - 35.) Tosin jo 1,5 kertaa langan paksuuden poikkeutus valokaaressa riittää railonseurannan toteuttamiseen (ABB 2015, 2). Hiltunen (2011 b, 19) mukaan pienahitseissä levyn reunan täytyy ulottua 3 - 4 mm siihen ajatellun hitsin korkeuden päälle, jotta levyn reuna ei sulaisi ja aiheuttaisi ongelmia railon seurannalle. Usein railonseurantaohjelmistoissa on ominaisuus, jossa useampia palkoja hitsatessa ensimmäinen palko hitsataan railonseuranta käyttäen. Ensimmäisen palon korjatun railon paikkatiedon perusteella hitsataan seuraavat palot, jolloin ei tarvitse enää käyttää railonseuranta ja voidaan hitsata myös pintapalot. (ABB 2010, 4.) Vahvuutena kaaren läpi tapahtuvassa railonseurannassa on poltinpään vapaus lisälaitteista, seurannan mahdollisuus hitsauksen aikana ja edullisuus (Hiltunen 2009, 31).

Railonseuranta voidaan toteuttaa myös optisesti, missä yleisintä laitetekniikkaa edustaa strukturoidun valon käyttö (kuva 1). Hitsauksen aikaisella optisella railonseurannalla voidaan saada monipuolisempaa tietoa railosta kuin kaaren läpi tapahtuvalla seurannalla, kuten railon tilavuus ja edellisten palkojen muoto tai koko. Tietoa voidaan tarvittaessa hyödyntää reaaliaikaisesti hitsausprosessin säätöön, jota kutsutaan adaptiiviseksi hitsaukseksi. (Jääskeläinen ym. 2010, 46 - 47.)



Kuva 1. Periaatekuva optisesta railon seurannasta (Jääskeläinen 2017 b, 4).

Laitteisto voi koostua esimerkiksi yhdestä laser-valonlähteestä ja yhdestä heijastavaa valoa mittaavasta kamerasta. Prosessissa laserin valo muokataan valotasoksi, joka projisoidaan hitsauspolttimen eteen. Kappaleesta heijastava valo luetaan kameralla ja käsitellään ohjelmistolla, joka tuottaa tietoa radan ohjaukseen sekä mahdollisesti hitsausparametrien säätöön. (Jääskeläinen ym. 2010, 46 - 47.)

Strukturoidun valon laser-kamera-railon seurannan ja -haun hyödyt verrattuna perinteiseen kaaren läpi ja kaasuholkilla tai vapaalangalla tapahtuvaan menetelmään (Jääskeläinen ym. 2010, 52 - 53):



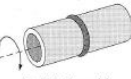
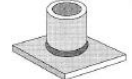
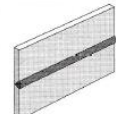
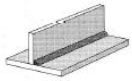

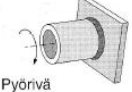
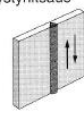

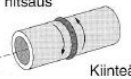
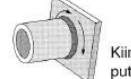




- menetelmä soveltuu usealle eri hitsausprosessille ja materiaalille
- tekniikka soveltuu lähes ilmaraottomille päittäisliitoksille, pienille raitoille ja ohutlevyille
- railonhaku toimii myös suurilla, yli 2m/min hitsausnopeuksilla
- levitysliekettä ei vaadita
- monipalkohitseisissä jokaisen palon kohdalla voidaan käyttää railon seurantaa ja -mittausta
- hitsausparametreja voidaan säätää railonmittauksen perusteella prosessin aikana
- railonhakupintojen sähkönsäilyvyyttä haittaava ruoste, maali tai muu lika ei ole esteenä optisille menetelmille
- nopea ohjelmointi railonhauille ja hitsien aloitus- ja lopetuspisteille.

Strukturoidun valon laser-kamera-railon seurannan ja -haun haasteet (Jääskeläinen ym. 2010, 53 - 54):

- ei sovellu ahtaisiin kotelorakenteisiin, koska seurantalaitteisto tarvitsee tilaa hitsauspolttimen etupuolella
- perusaineen pinnan kirkkauden vaihtelusta seuraava lasersäteiden heijautuvuuden vaihtelu haittaa laitteiston toimintaa
- pienillä raitoilla naarmut tekevät seurannasta epäluotettavan
- polttimeen tai 6-akseliin kiinnitetty laitteisto kääntyy hitsauspolttimen mukana, joten näissä tapauksissa käytettävyys heikkenee yhden vapausasteen menetyksen myötä
- pienillä pyörähdysmuodoilla railon seurantaa ei voi käyttää
- järjestelmän ohjaus on hajautettu erillisen pc:n ja robotin ohjauksen välille.

2.4 Robottihitsauksen vaatimat toleranssit

Robotisoidun hitsauksen onnistumisen avaintekijänä on oman sekä mahdollisten alihankkijoiden tuotantolaitteiden saavutettavissa oleva osien valmistustarkkuus (Lempiäinen ja Savolainen 2003, 84). Eri hitsausprosesseilla on liitettävien osien ja hitsauspään kohdistuksen suhteen erilaisia tarkkuusvaatimuksia. Tarkimmat vaatimukset asettaa laser- ja elektronisuihkuhitsaus noin $\pm 0,1$ mm tarkkuusvaatimuksellaan (Jääskeläinen, Solehmainen, Tuunainen ja Räsänen 2016, 8). Väljintä tarkkuusvaatimus päätää edustaa kuona- ja termiittihitsaus. MIG/MAG-prosessi asettuu edellä mainittujen väliin $0,5 \times$ langanhalkaisijan tarkkuusvaatimuksellaan. Tarkkuusvaatimus koskee railomuodoltaan vaativinta tapausta eli päittäisliitosta. Pienaliitoksen vaatima kohdistustarkkuus on sivusuunnassa 2 mm ja pystysuunnassa 1 mm. Vaaputuksen käyttö väljentää tarkkuusvaatimuksia ja lisäksi jalkoasennon käyttö vaaka- tai pystyasentoon (kuva 2) verrattuna mahdollistaa 1,5-kertaisen poikkeaman langan kohdistuksessa. Edellä mainituista syistä jalkoasento on robotisoidussa hitsauksessa tuottavuuden lisäksi myös tarkkuusvaatimusten vuoksi asento, jota tulee suosia aina kun mahdollista. (Lempiäinen ja Savolainen 2003, 85.)

Hitsausasennot			
Päittäisliitos	Pienaliitos	Putken hitsaus	Pienaliitos
Jalkohitsaus  AWS: 1G EN: PA	Jalkohitsaus  AWS: 1F EN: PA	Vaaka-akseli Jalkohitsaus  Pyörivä putki AWS: 1G EN: PA	Pystyakseli Alapienahitsaus  Kiinteä putki AWS: 2F EN: PB
Vaakahitsaus  AWS: 2G EN: PC	Alapienahitsaus  AWS: 2F EN: PB	Pystyakseli Vaakahitsaus  Kiinteä putki AWS: 2G EN: PC	Vaaka-akseli Alapienahitsaus  Pyörivä putki AWS: 2F EN: PB
Pystyhitsaus  AWS: 3G EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)	Pystyhitsaus  AWS: 3F EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)	Vaaka-akseli Ylös- tai alaspäin- hitsaus  Kiinteä putki AWS: 5G EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)	Vaaka-akseli Pystyhitsaus  Kiinteä putki AWS: 5F EN: PG (alaspäin) PF (ylöspäin)
Lakhitsaus  AWS: 4G EN: PE	Yläpienahitsaus  AWS: 4F EN: PD	Kalteva akseli Ylös- tai alaspäin- hitsaus  Kiinteä putki 45° AWS: 6G EN: H-L045 (ylöspäin) J-L045 (alaspäin)	Pystyakseli Yläpienahitsaus  Kiinteä putki AWS: 4F EN: PD

Kuva 2. Hitsausasennot ja niiden tunnuksot (Lepola ja Makkonen 2005, 27).

Kappaleen valmistuksen alussa jo esimerkiksi levyn valssauksessa muodostuu lämpötilan nostosta ja epätasaisesta jäähtymisestä johtuvia sisäisiä jännityksiä. Jännitykset lisääntyvät levyjä käsiteltäessä, esimerkiksi erityisesti polttoleikkaus tuo epätasaisesti lämpöä kappaleeseen ja aiheuttaa herkästi

muodonmuutoksia. (Lepola ja Makkonen 2005, 352.) Levyleikkeiden leikkaamisessa pyritään käyttämään edullisinta ja tehokkainta menetelmää, jolla laatuvaatimukset ja toimitusvarmuus toteutuvat. Pelkästään suoria leikkauksia sisältävät leikkeet voidaan usein leikata levyleikkurilla. Aukkoja, reikiä ja muita geometrisia piirteitä sisältävät levyt ovat oletettavasti kannattavinta leikata levytyökeskussella tai termisesti. (Piironen 2013, 17.)

Termisesti leikattavien kappaleiden tulisi olla sopusuhtaisia. Hoikkia, ohuita ja pitkiä ulokkeita tulisi välttää, koska ne usein vääntyvät leikkauksen aikana. (Piironen 2013, 17.) Vaikka termisesti leikatun levyleikkeen mitat olisivatkin standardin mukaisten suurimpien sallittujen eromittojen sisällä (taulukko 1), robotisoituun hitsaukseen aiheutuu ongelmia paksujen levyjen leikkauspintojen ollessa hitsattavan rakenteen paikoittavina piirteinä, kun muistetaan robottihitsauksen vaatimat toleranssit.

Vesileikkaus mekaanisena menetelmänä on varteenotettava vaihtoehto termiselle leikkaukselle pinnanlaatunsa ja leikkaustarkkuutensa puolesta. Vesileikkaus sopii useimmille materiaaleille ja prosessin alhaisen lämpötilan takia muodonmuutoksia ei juuri tapahdu, joten työvarat voivat olla pieniä. (Piironen 2013, 17.)

Taulukko 1. Nimellismittoja koskevat sallitut eromitat toleranssiluokalle 1 (SFS-EN ISO 9013:2017, 22).

Työkappaleen aineenpaksuus <i>a</i>	Nimellimitat									
	> 0 ... < 3	≤ 3 ... < 10	≤ 10 ... < 35	≥ 35 ... < 125	≥ 125 ... < 315	≥ 315 ... < 1 000	≥ 1 000 ... < 2 000	≥ 2 000 ... < 4 000	≥ 4 000 ... < 6 000	≥ 6 000 ... < 8 000
	Sallitut eromitat									
> 0 ... ≤ 1	±0,075	±0,10	±0,10	±0,20	±0,20	±0,30	±0,40	±0,65	±0,90	±1,60
> 1 ... ≤ 3,15	±0,10	±0,15	±0,20	±0,25	±0,25	±0,35	±0,40	±0,65	±1,00	±1,75
> 3,15 ... ≤ 6,3	±0,20	±0,20	±0,25	±0,25	±0,30	±0,40	±0,45	±0,70	±1,10	±1,90
> 6,3 ... ≤ 10	-	±0,25	±0,30	±0,30	±0,35	±0,45	±0,55	±0,75	±1,25	±2,20
> 10 ... ≤ 15	-	±0,30	±0,35	±0,40	±0,45	±0,55	±0,65	±0,85	±1,50	±2,50
> 15 ... ≤ 20	-	±0,40	±0,40	±0,45	±0,55	±0,75	±0,85	±1,2	±1,90	±2,80
> 20 ... ≤ 25	-	±0,45	±0,50	±0,60	±0,70	±0,90	±1,10	±1,60	±2,40	±3,25
> 25 ... ≤ 32	-	-	±0,70	±0,70	±0,80	±1,0	±1,6	±2,25	±3,00	±4,00
> 32 ... ≤ 50	-	-	±0,7	±0,70	±0,8	±1,0	±1,6	±2,5	±3,8	±5,0
> 50 ... ≤ 100	-	-	±1,3	±1,3	±1,4	±1,7	±2,2	±3,1	±4,4	±5,6
> 100 ... ≤ 150	-	-	±1,9	±2,0	±2,1	±2,3	±2,9	±3,8	±5,1	±6,3
> 150 ... ≤ 200	-	-	±2,6	±2,7	±2,7	±3,0	±3,6	±4,5	±5,7	±7,0
> 200 ... ≤ 250	-	-	-	-	-	±3,7	±4,2	±5,2	±6,4	±7,7
> 250 ... ≤ 300	-	-	-	-	-	±4,4	±4,9	±5,9	±7,1	±8,4

2.5 Hitsausmuodonmuutokset ja niiden hallinta

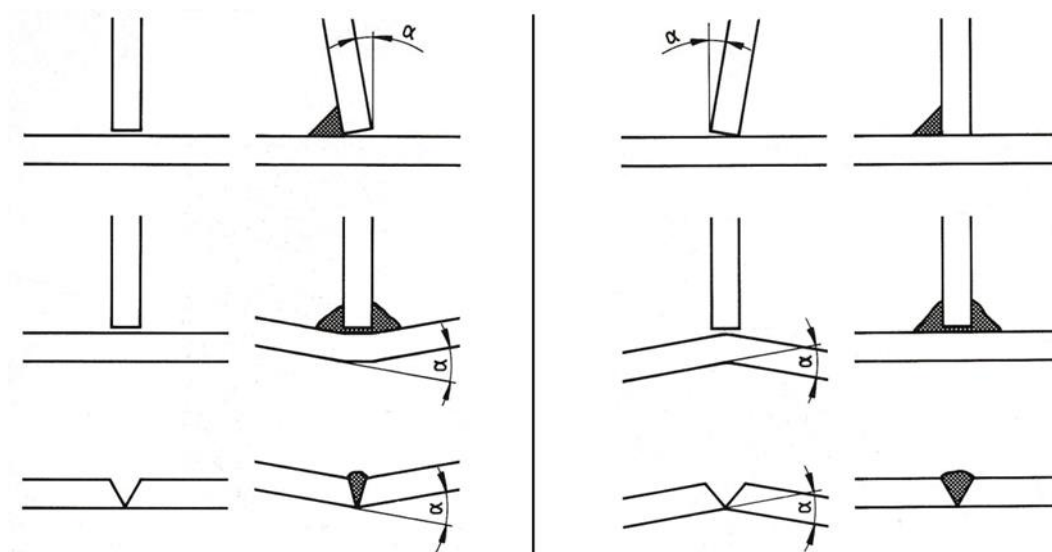
Hitsaus polttoleikkauksen ohella tuo epätasaisesti lämpöä kappaleeseen ja aiheuttaa kappaleeseen muodonmuutoksia. Osa jäännösjännitysten haitoista on havaittavissa silmämääräisesti, mutta osittain ne jäävät piiloon lauetakseen myöhemmin kuormituksen tai muun tekijän vaikutuksesta. (Lepola ja Makkonen 2005, 352.)

Hitsausmuodonmuutosten ja jäännösjännitysten merkittävimmät haitat (Lepola ja Makkonen 2005, 352):

- vaikeuttavat erityisesti robotisoitua hitsausta
 - esikoneistus voi olla haastavaa
 - osia voi joutua käsittelemään ennen kiinnittimeen asettelua
- heikentävät rakennetta
 - voi huonontaa rakenteen staattisen kuorman kestoa
 - voi huonontaa väsymislujuutta
- huonontavat toimivuutta
 - tarkat paikoitukset voivat olla haastavia
 - liikkuvat osat eivät mahdollisesti toimi
- visuaaliset haitat.

Muodonmuutosten ehkäisyssä merkittävä osuus on hitsausprosessin valinnalla ja rakenteiden sekä valmistusvaiheiden suunnittelulla. Yleispätevää ohjetta rakenteiden suunnitteluun muodonmuutosten vähentämiseksi ei voi antaa, vaan ratkaisut on tehtävä tapauskohtaisesti. Hitsin koon optimoinnilla ja sitä kautta myös mahdollisimman pienellä lämmöntuonnilla saavutetaan hyötyjä useassa tapauksessa. (Lepola ja Makkonen 2005, 357.) Katkohitsien käytöllä voidaan vähentää hitsausmuodonmuutoksia, mutta on huomioitava niiden käytön rajoitteet esimerkiksi dynaamisessa kuormituksessa ja korroosioalttiissa ympäristössä (Kara ja Rajamäki 1983, 13).

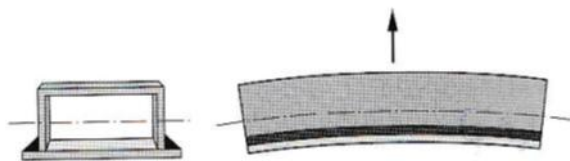
Pienaliitoksissa kulmamuodonmuutos lisääntyy a-mitan kasvaessa. Täten myös tarvittavan ennakon määrä kasvaa. Yliuuren a-mitan käyttö hitseissä ei välttämättä lisää rakenteen lujuutta, mutta kasvattaa kulmamuodonmuutosta ja aiheuttaa mahdollisesti rakenteen oikomistarvetta. Hitsattaessa pienahitsiin useampia palkoja, toimii alempi jäähtynyt palko saranana ja päälle hitsattava hitsi taivuttaa rakennetta. Kuvassa 3 on esimerkkejä hitsattavissa liitoksissa yleisistä kulmamuodonmuutoksista ja niiden ennakoinnista esitaivutuksella tai -asetuksella. Edellä mainittu ilmiö pätee myös v-railoon tehtyyn monipalkohitsiin. (Lepola ja Makkonen 2005, 358.)



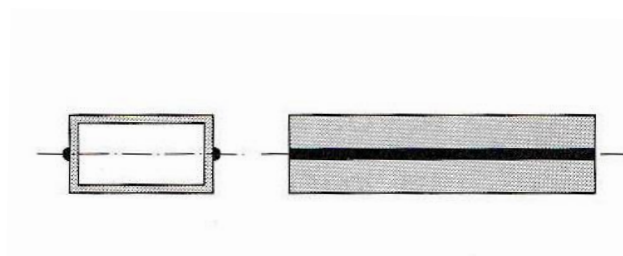
Kuva 3. Kulmamuodonmuutokset ja niiden ennakointi (Leino ja Meuronen 1987, 70).

Hitsausjärjestyksellä voidaan vaikuttaa erityisesti hitsauksen aiheuttamiin muodonmuutoksiin ja hitsausjännityksiin. Usein nämä asiat ovat toisilleen vastakohtia, sillä jos kappaleen rakenteella tai hitsausjärjestyksellä on saatu pienennettyä hitsausmuodonmuutoksia, on rakenteessa korkea jännitystila. Muodonmuutosten yhteydessä hitsausjännitykset usein pienenevät. (Kara ja Rajamäki 1983, 27.) Lähtökohdana hitsausjärjestyksen muodostamiselle voidaan pitää sitä, että hitsiliitokset täyttävät niille asetetut laatuvaatimukset ja rakenteisiin ei synny lujuuden tai käytön kannalta vahingollisia muodonmuutoksia tai jännityksiä. Hitsausjärjestys olisi pyrittävä suunnittelemaan sellaiseksi, että rakenne muodostaa lopullisen jäykkyytensä mahdollisimman myöhään. Tällä pyritään hitsien kutistumisesta aiheutuvien sisäisten jännitysten pienentämiseen. (Lepola ja Makkonen 2005, 362.)

Hitsien symmetrinen sijoittelu neutraaliakselin ympärille vähentää muodonmuutoksia hitsausjännitysten kumotessa toisensa. Symmetrisyys ei aina takaa täysin suoraa rakennetta, vaan hitsit olisi hitsattava lisäksi vastakkaisilta kohdilta samanaikaisesti. (Lepola ja Makkonen 2005, 357.) Kuvissa neljä ja viisi on esitelty kotelopalkkirakenteen hitsien symmetrian parantamisen vaikutukset kaareutumista vastaan. Huomion arvoista on, että symmetrinen esimerkkiratkaisu voi olla hankalasti robotisoitava, kuten mm. railonreurantaa käsittelevässä osiossa mainitaan.



Kuva 4. Kotelopalkin epäsymmetrinen hitsaus (Lepola ja Makkonen 2005, 357).



Kuva 5. Kotelopalkin symmetrian kannalta parannettu valmistusmalli (Lepola ja Makkonen 2005, 357).

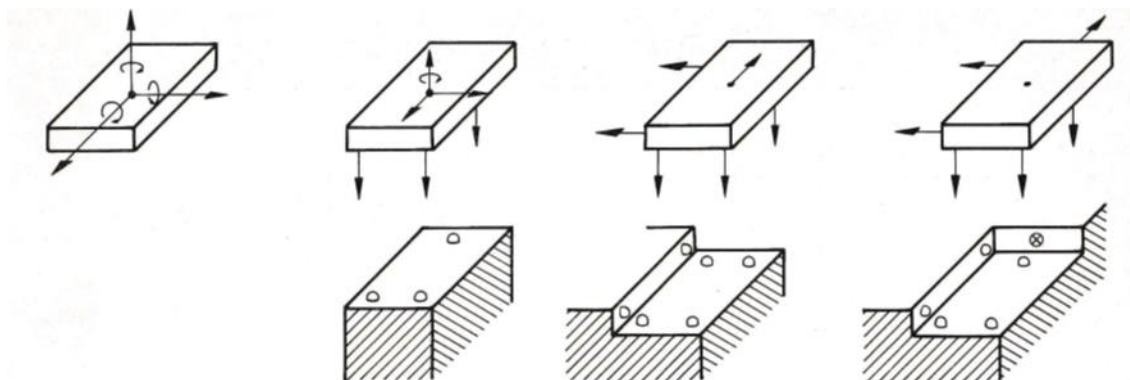
2.6 Hitsauskiinnitin

Hitsauskiinnittimillä tarkoitetaan apulaitteita, joita käytetään helpottamaan ja vakioimaan hitsausta sekä siihen liittyviä toimia (Jääskeläinen, ym. 2016, 4). Leino ja Meuronen (1987, 3) toteavat, että hitsauskiinnitin on oleellinen osa robottihitsauksessa ja sillä on parantava vaikutus lopputuotteen muoto- ja mittatarkkuuteen. Kiinnittimien käytön myötä tuotantoa pyritään kehittämään tehokkaammaksi ja tuotteita laadukkaammaksi, josta seurauksena saadaan kustannussäästöjä (Jääskeläinen ym. 2016, 4). Hitsauskiinnittimien käyttö on merkittävässä roolissa laadun ja kustannustehokkuuden osalla, etenkin kun kyseessä on automatisoitu hitsaus. Hitsauskiinnittimen käytön kannatta-

vuotta voi yksinkertaisesti arvioida vertaamalla työkustannusten säästöä kiinnitinkustannuksiin, mutta kokonaisuudessa täytyy ottaa huomioon myös työturvallisuus sekä työergonomia. Parhaassa tapauksessa kiinnitinsuunnittelu voidaan toteuttaa samaan aikaan tuotteen suunnittelun kanssa, jolloin tuotteen osien muotoon voidaan vielä vaikuttaa. Etenkin laserleikkausta käytettäessä on mahdollisuus valmistaa osiin itsepaikoittavia piirteitä, jolloin parhaassa tapauksessa silloituskiinnintä ei tarvita. (Jääskeläinen ym. 2016, 4 - 10.) Leinon ja Meurosen (1987, 35) mukaan usean peräkkäisen toisinaan paikoittavan osan käyttöä tulee välttää, koska riskinä on valmistusepä tarkkuuksien kasautuminen.

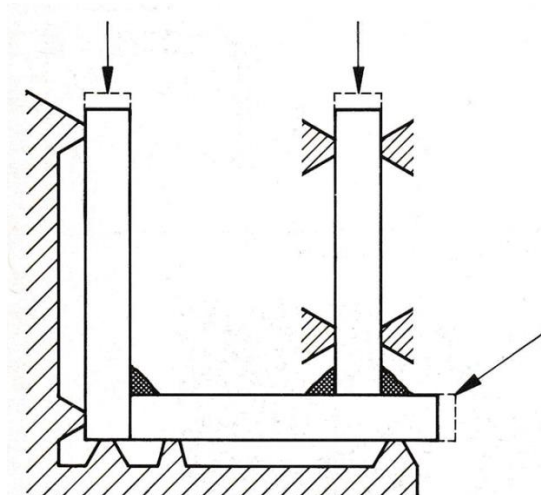
Hitsauskiinnittimen käytettävyyteen ja toimivuuteen on suunnittelulla ratkaiseva rooli, eri vaihtoehtoja on suositeltavaa luonnostella ja suunnitteluun kannattaa panostaa. Laadukkaita kiinnittimiä suunnitellakseen suunnittelijalla tulee olla kokemusta valmistavasta tuotannosta sekä hitsattavien tuotteiden valmistusprosesseista. Suunnittelussa lähtötietojen määrittely on tehtävä huolella, jotta välttäisiin vääriä oletuksia ja työn keskeytyksiä. Kiinnintä on suositeltavaa suunnitella ryhmässä, jossa on osallisena myös tuotteen hitsaajia. Käytettävät kiinnitinkokonaisuudet voidaan jaotella toimintansa mukaan kahteen päätyyppiin, hitsauskiinnittimiin ja silloituskiinnittimiin. Lisäksi voidaan mainita yhdistelmäkiinnitin, jossa silloituksen aikana käytetään molempia kiinnittimiä ja hitsaukseen siirryttäessä helposti irrotettava silloituskiinnitin poistetaan. (Jääskeläinen ym. 2016, 7-13.) Silloituskiinnintä käytetään tuotteen kokoonpanon nopeuttamiseen ja mittatarkkuuden varmistamiseen. Silloituskiinnittimessä on usein myös muotoja, joilla varmistetaan tuotteen oikeanlainen kasaaminen ja mittatarkkuus. Silloituksessa muodonmuutokset ja jännitykset ovat yleensä pieniä, jolloin kiinnitin voi olla kevyempi rakenteeltaan. (Jääskeläinen ym. 2016, 7.)

Hitsauskiinnittimen suunnittelun tärkein tavoite on saada hitsattavat railot oikeille paikoilleen toistettavasti. Hitsausmuodonmuutokset voivat olla hankalasti arvioitavissa, joten on järkevää käyttää säädettäviä vasteita. On myös tärkeä huomioida, että kiinnittimen mitoitusperusteena ei ole valmis tuote vaan ennen hitsausmuodonmuutosten tapahtumista oleva kokoonpano. Aina ei puhuta isoista muutoksista, mutta suurissa kappaleissa ero on huomattava. (Leino ja Meuronen 1987, 61.) Huomioidavaa on myös jälkikoneistettavien kappaleiden koneistusvarojen rajallisuus, sillä esimerkiksi muutaman millimetrin koneistusvara ei salli suuria muodonmuutoksia. Hitsattavan kappaleen suurimpien kuormitusten tulisi kohdistua kiinnittimen kiinteisiin vasteisiin. Tukipisteinä tulisi käyttää piste- tai viivamaisia muotoja säädettävyyden ja puhtaanapidon helpottamiseksi. Tukipisteiden mitoituksessa on huomioitava niihin kohdistuvan pintapaineen suuruus. Kappaleen tukemisen lähtökohtana voidaan pitää 3-2-1-sääntöä, joka havainnollistetaan kuvassa 6. Suurimmalle paikoittavalle pinnalle sijoitetaan suurin määrä paikoittavia pisteitä. Tason asemoimiseksi tarvitaan kolme pistettä, orientatio määrätään sivun linjauksella, joka tapahtuu kahdella pisteellä. Lopullisen paikan määrittämiseen tarvitaan vielä yksi piste. (Jääskeläinen ym. 2016, 17.) 3-2-1-sääntö mukainen tuenta ei aina ole riittävä, varsinkin kun kyseessä on suurikokoinen tai ohut levy. Tukipisteiden lukumäärää voi tasoilla joutua kasvattamaan tai pisteiden sijasta voidaan käyttää kapeita tasomaisia tukipintoja. (Leino ja Meuronen 1987, 12.)

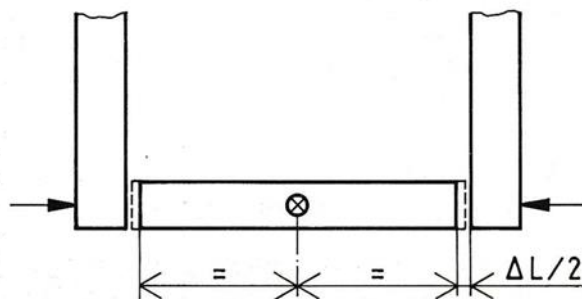


Kuva 6. Kappaleen tuenta 3-2-1-säännön mukaan (Leino ja Meuronen 1987, 12).

Osien toleranssien mukainen mittavaihtelu tulee ottaa huomioon kiinnittimen suunnittelussa. Ensimmäinen keino on kuvassa 7 esitetty tapa, jossa valmistusepätkkuudet ohjattaisiin hitsauksen sekä lopputuloksen kannalta merkityksettömiin kohtiin. Kuvassa 8 esitetään mittavaihtelun puolittava periaate paikoittaa hitsattavia osia. (Leino ja Meuronen 1987, 62.)



Kuva 7. Mittavaihteluiden ohjaaminen pois rakenteen kannalta oleellisista kohdista (muokattu Leino ja Meuronen 1987, 62).



Kuva 8. Mittavaihteluiden puolittaminen (Leino ja Meuronen 1987, 62).

2.7 Etäohjelmointi

Etäohjelmoinnin tarkoituksena on ohjelmoida tuotantorobotti, mutta ohjelma tehdään erillään tuotantorobotista olevalla tietokoneella. Etäohjelmointiohjelmaan luodaan tuotantoympäristöstä kinemaattinen 3D-malli ja ohjelmaa tehdessä hyödynnetään suunnittelun tuottamia 3D-malleja tuotteista ja kiinnittimistä. (Jääskeläinen 2017 b, 22.) Etäohjelmoinnin vaiheet on esitetty kuviossa 1. Etäohjelmoimalla hitsausrobotti pyritään parantamaan laatua, pitämään robotin käyttöaste korkeana ja tehostamaan ohjelmointityötä. Perinteiseen tapaan hitsausohjelmaa käsiohjaimella tehtäessä tuotantoon käytettävissä olevaa aikaa kuluu tuottamattomaan työhön ja nimensä mukaisesti etäohjelmoinnilla ohjelma tehdään erillään robotista, joka mahdollistaa samanaikaisen tuotannon robotilla. Solun tuottavuus on sitä parempi, mitä vähemmän aikaa se on pysähdyksissä. (Alonen ym. 2014, 39.)

Jääskeläisen (2017 b, 20) mukaan erityisesti isoilla robottiasemilla etäohjelmointi parantaa työergonomiaa ja -turvallisuutta.



Kuvio 1. Mallipohjaisen ohjelmoinnin vaiheet (Jääskeläinen 2017 b, 23 - 25).

Ohjelmoinnin ohessa on mahdollista simuloida ohjelmoidut radat, jossa tarkastellaan mm. liikeratojen oikeellisuus, nivelten asennot, nivelten kulmarajat ja singulariteettiongelmat. Tässä yhteydessä tehdään myös törmäystarkastelu, jossa simuloidaan robotin ja työkalun liike suhteessa työkappaleeseen, kiinnittimeen ja muuhun robotin työympäristöön. (Jääskeläinen 2017 b, 25.) Lisäksi ohjelmoinnin yhteydessä saadaan tietoa eri valmistus- ja vaiheajoista ja voidaan suunnitella kiinnitinratkaisua tuotteelle. Omalta osaltaan tehokkaat etäohjelmointityökalut voivat laskea kannattavan sarjakkoon rajaa robotisoidussa hitsauksessa (Alonen ym. 2014, 39.) Yksi etäohjelmoinnin haasteista on, että vaikka hitsaussolun komponentit onkin mallinnettu todellisuutta vastaaville paikoilleen, ei virtuaalinen malli vastaa koskaan täysin todellisuutta. Kaikkia komentoja ei pystytä aina etäohjelmoimaan, vaan ohjelmat voidaan joutua viimeistelemään tuotannossa. Lisäksi ohjelmisto ei osaa ottaa suoraan huomioon työkalun massaa tai ulkoisten voimien vaikutusta. Vaikutuksia voidaan vähentää, mutta tarkkuus ei yllä opettamalla ohjelmoinnin tasolle. (Jääskeläinen 2017 b, 20 - 24.)

3 TUOTTAVUUS, LAATU JA KUSTANNUKSET ROBOTTIHITSAUKSESSA

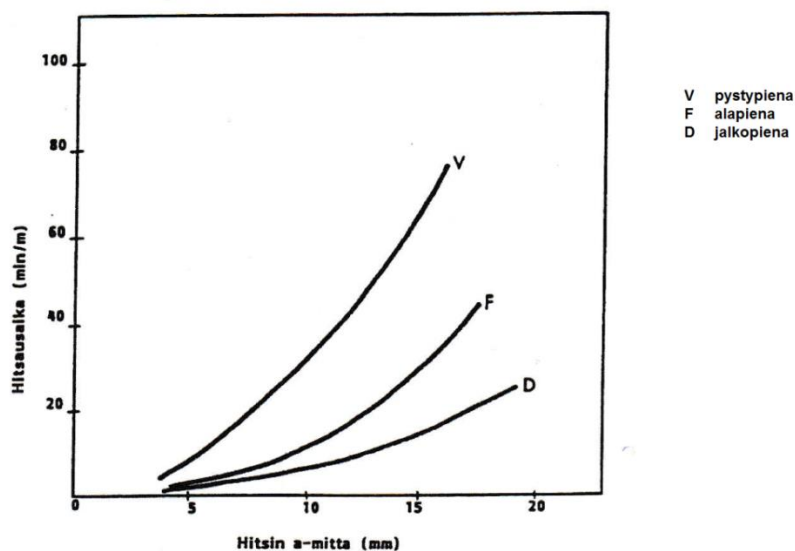
Hitsauksen robotisoinnilla haetaan tiettyjä vaikutuksia tuotantoon. Yhdet keskeisimpiä robotti-investoinnin yhteydessä tarkasteltavia aihealueita on tuottavuus, laatu ja kustannukset. (Stenbacka 2011, 6 - 7.)

3.1 Tuottavuus

Yrityksen koko toiminnan tarkoitus on luoda tuote tai palvelu, jonka arvo on suurempi kuin tämän tuottamiseen ja toimittamiseen tarvittavat kustannukset. Tuottavuudella on tässä merkittävä rooli ja yritys voi olla tehokas myös keskittymällä pääasiallisesti tuottavuuteen. Tuottavuuden ohella täytyisi myös ottaa huomioon arvo asiakkaalle, jolloin huomion kohteena ei voi olla ainoastaan hitsausnopeus tai hitsiaineentuotto. Oleellista on käsittää, että suuremmassa kokonaisuudessa esimerkiksi hitsiaineentuoton ohella on tärkeää miettiä ominaisuuksia, jotka saavat tuotteen asiakasarvon nousemaan. (Stenbacka 2011, 4 - 23.) Palkkakustannusten ollessa edullisempia Suomen lähellä olevissa maissa, täytyy hitsausta suunnitellessa pystyä analyysin ja laskelmin perustelemaan, miksi tuote kannattaa valmistaa Suomessa. (Stenbacka 2011, 4.)

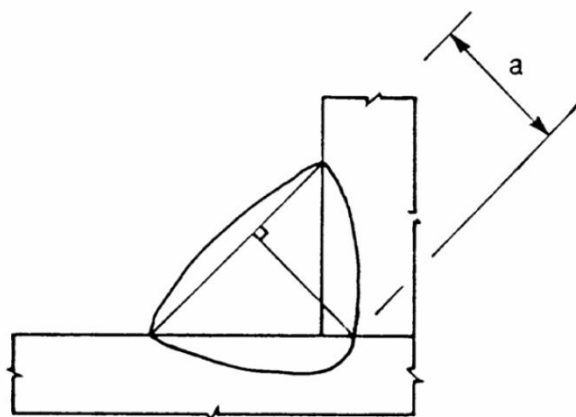
Vaikka hitsausrobotin tuottavuus on huomattavasti suurempi kuin käsinhitsauksen, tuotteen valmistuskustannukset eivät suoraan alene pelkän robotisoinnin seurauksena. Robotisoitu hitsaus tarvitsee yleensä operaattorin, mahdollisesti ohjelmoijan, hitsauskiinnittimen suunnittelijan sekä kiinnittimen valmistajan työpanokset. Täten kokonaiskustannukset eivät välttämättä jää juurikaan pienemmiksi kuin käsinhitsauksessa. Odotettua tuottavuutta ei robotisoidulla hitsauksella pystytä saavuttamaan, mikäli käytetään käsinhitsauksen menettelytapoja. Usein tuotesuunnittelun kustannuksia karsitaan valmistusteknisestä suunnittelusta kohdalta. Käsihitsauksessa tämä ei ole aiheuttanut suuria ongelmia johtuen prosessin joustavuudesta ja ammattitaitoisista hitsaajista. Robottihitsaukseen siirryttäessä tämä on tuottanut huomattavia vaikeuksia. (Kuivanen, Viitaniemi, Leino ja Ruuhilehto, 1995, 14 - 16.)

Myös hitsausasento vaikuttaa tuottavuuteen. Robotisoidussa hitsauksessa kappale on pääsääntöisesti kiinnitetty kappaleenkäsittelijään ja näin helposti käännettävissä. Jalkoasennossa suoritetun pienahitsauksen tuottavuus (kuvio 2) voi olla 2 - 3 kertainen, vaaka- ja pystyasentoihin verrattuna (Jääskeläinen 2017 a, 5).



Kuvio 2. Hitsausajan riippuvuus hitsausasennosta (Lempiäinen ja Savolainen 2003, 84 - 87).

Robottihitsauksen tasalaatuisuuden vuoksi on mahdollista hyödyntää tunkeumaa pienahitsin a-mitassa, mikäli tunkeuman suuruus pystytään toteamaan luotettavasti ennakkoon tehtävin kokein (SFS-EN 1993-1-8, 45). Kuvassa 9 on esitetty edellä mainitun standardin mukainen periaate tunkeuman hyödyntämisestä. Karan ja Rajamäen (1983, 14) mukaan suorien hitsien hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset vähenevät huomattavasti, kun pienen painopiste lähestyy liitettävän levyn keskilinjaa. Lisäksi hitsauksen tuottavuus kasvaa pienemmän tarvittavan hitsiainemäärän vuoksi.



Kuva 9. Tunkeuman hyödyntäminen pienahitsin a-mitassa (SFS-EN 1993-1-8, 45).

3.2 Laatu

Seuraavassa luettelossa esitetään hitsauksen laadun määräävät tekijät. Luettelon kolme ensimmäistä kohtaa määrää 70 % laadusta ja yli 50 % kustannuksista. Hitsauksen laatua määräävät tekijät (Stenbacka 2011, 15):

- perusaineen valinta
- rakenneratkaisut
- mitoitus
- hitsausmenetelmän valinta
- työpajakäytännöt
- tuotteen tarkastustoimenpiteet.

Hitsauksen laadunvarmistuksella osana suurempaa muutosohjelmaa voi olla merkittäviä taloudellisia vaikutuksia. Virheellinen hitsaus voi johtaa rakenteen rikkoontumiseen tai reklamaatioihin. Toisaalta liian korkeat laatuvaatimukset, hitsaajien pätevyinnit ja hitsausohjeiden hyväksyttäminen voivat aiheuttaa tarpeettomia kustannuksia, vaikka rakenteen kestävyys ei parantuisikaan oleellisesti. (Stenbacka 2011, 15 - 16.) Robottihitsauksessa tasainen lämmöntuonti on helposti toteutettavissa, koska ohjelman parametrien toistettavuus on hyvä, kun olosuhteet ovat vakioitu. Tästä syystä esimerkiksi hitsin geometria, tunkeuma ja muut ominaisuudet ovat luotettavia. (Hiltunen 2011 b, 13.) Väsyttävän kuormituksen alaisena oleviin liitoksiin robotisoidun hitsauksen etuina ovat yhtenäinen ja sileä pinta sekä tasainen laatu (Salkinoja 2010, 10).

3.3 Kustannukset

Tuotteiden standardoinnilla ja moduloinnilla, eli yleisellä tasolla osien, nimikkeiden, toimintojen ym. lukumäärän vähentämisellä, on valmistuksen kokonaiskustannuksia alentava vaikutus. Erityisen hyödyllistä standardointi on, kun tuotteen sarjakoko estää kannattavan automatisoidun valmistuksen. Moduloinnissa tuote jaetaan sopiviksi toiminnallisiksi ja fyysisiksi kokonaisuuksiksi, moduuleiksi, joita käytetään useassa yrityksen tuotteessa ja saman tuotteen useassa osassa. Moduuliosien lisäksi tuotteessa on myös tuote- tai tuotevariaatiokohtaisia osia. Moduuleissa kannattaa mahdollisuuksien mukaan ylittää myös toiminnallisuuden rajapinnat. Esimerkiksi samaa korvaketta voidaan käyttää useamman eri osan kiinnitykseen. Standardoinnista saa lisähyötyä robotisoidussa hitsauksessa, kun sen ulottaa esimerkiksi hitsattavan osan levynpaksuuksiin, liitosmuotoihin, railon muotoihin, a-mittoihin ja hitsausparametreihin sekä -aliohjelmiin. Tällä saavutetaan nopeampi robotin ohjelmointi ja pienempi lukumäärä mm. parametrikokeita tai hitsauskiinnittimiä. Lisäksi osakokoonpanojen standardoinnilla voidaan etukäteen varmistua railojen luoksepäästävydestä. (Lempiäinen ja Savolainen 2003, 84 - 85.)

Kiinnittimestä aiheutuvat kustannukset nostavat robotilla hitsattavan tuotteen kannattavuusrajaa. Kustannukset laskevat sitä mukaa, kun sarjakoko suurenee. (Leino ja Meuronen 1987, 3.) Suuri osa kiinnittimestä aiheutuvista kustannuksista muodostuu suunnittelusta ja valmistuksesta. Edellä mai-

nittujen lisäksi tulee huomioida kiinnittimestä aiheutuvat varastointi-, huolto- ja ylläpitokulut. (Jääskeläinen ym. 2016, 7.)

Muodostamalla hitsattavista tuotteista sopivia tuoteperheitä, voidaan kiinnitinkustannuksia karsia huomattavasti. Kiinnitin valmistetaan sellaiseksi, että sitä voidaan helposti muuttaa tuotevariantin mukaan. Tällöin kiinnitinkustannukset jakautuvat useammalle lopputuotteelle ja kokonaisuutena kiinnittimiin sitoutuvaa pääomaa voidaan vähentää tuotekohtaisiin kiinnittimiin verrattuna. Tuotteiden huolellisella suunnittelulla on mahdollista muodostaa hyvinkin erilaisista tuotteista tuoteperheitä. (Leino ja Meuronen 1987, 8 - 77.)

3.3.1 Tuotantoajat

Hitsauskustannuksia laskettaessa voidaan hitsaukseen käytettävä aika jaotella ajankäytöllisesti vaiheisiin. Seuraavassa on esitetty robotisoidun MIG/MAG tuotantohitsauksen tärkeimmät ajalliset vaiheet.

Asetusaika (t_{as}) on ennen hitsausvaihetta uuden työn aloittamiseen kuluva aika, joka voi olla esimerkiksi kiinnittimien valmistus tai robotin ohjelmointi. Sarjatuotannossa tämä aika voidaan jakaa sillä kerralla valmistettävien osien määrällä. Asetusaikaa voidaan lyhentää tehokkaasti robotin etäohjelmoinnilla. (Stenbacka 2011, 66.)

Kaariaika (t_{ka}), joka voidaan laskea MIG/MAG-hitsaukselle seuraavasti (Stenbacka 2011, 67):

$$t_{ka} = M/T \quad (1)$$

jossa,

M = hitsiaineen määrä ja

T = hitsiaineentuotto.

Vaiheaika (t_{va}) summaa hitsaukseen käytetyn ajan. Vaiheaikaan lasketaan kaariaika, kaarisivuaika, käsittelyaika ja apuaika (Stenbacka 2011, 67):

$$t_{va} = t_{ka} + t_{si} + t_{kä} + t_{ap} \quad (2)$$

jossa,

t_{ka} = kaariaika,

t_{si} = kaarisivuaika,

$t_{kä}$ = käsittelyaika ja

t_{ap} = apuaika.

Kappalekohtainen tehtäväaika (t_{te}) muodostuu seuraavasti (Stenbacka 2011, 68):

$$t_{te} = t_{as}/n + t_{va} \quad (3)$$

jossa,

t_{as} = asetus aika,

n = kappalemäärä ja

t_{va} = vaiheaika.

3.3.2 Hitsauskustannukset

Hitsauskustannuksia laskiessa täytyy käsiteltävästä prosessista tuntea kolme tekijää: hyötyluku, paloikasuhde ja hitsiaineen tuotto. Hyötyluku ilmoittaa, kuinka suuri osa lisäaineesta muodostaa hitsiä. Osa lisäaineesta lasketaan häviöksi, joka voi olla roiskeita, oksideja kaasua ym. MIG/MAG umpilankahitsauksen hyötyluku on käsin sekä mekanisoidusti 95 %. (Stenbacka 2011, 68 - 69.)

Paloikasuhde (e) lasketaan seuraavan kaavan mukaisesti (Stenbacka 2011, 71):

$$e = t_{ka}/t_{va} \times 100 \quad (4)$$

jossa,

t_{ka} = kaariaika ja

t_{va} = vaiheaika.

Hitsiaineentuotto (T) muodostuu seuraavan kaavan mukaan (Stenbacka 2011, 68):

$$T = (T_{max} \times I_{kä}) / I_{max} \quad (5)$$

jossa,

T_{max} = hitsiaineen tuotto enimmäisvirralla,

$I_{kä}$ = käytetty hitsausvirta ja

I_{max} = hitsausvirta enimmäishitsiaineen tuotolla.

Sulahitsausprosessien kokonaishitsauskustannukset (K_H) voidaan laskea osakustannuksista seuraavasti (Stenbacka 2011, 84):

$$K_H = K_{Ty} + K_{Hi} + K_{Ko} + K_{En} + K_{Ku} \quad (6)$$

jossa,

K_{Ty} = työkustannukset,

K_{Hi} = hitsauslisäainekustannukset,

K_{Ko} = konekustannukset,

K_{En} = energiakustannukset ja

K_{Ku} = kunnossapitokustannukset.

Osakustannuksien laskennassa on keskitytty pääosin robotisoidun MIG/MAG- prosessin kuluihin, jotka on laskettu euroina hitsiaineen kokonaismäärää kohti. Työkustannukset (K_{Ty}) voidaan laskea seuraavasti (Lukkari 2011, 5; Stenbacka 2011, 87):

$$K_{Ty} = (M/T) \times (100/e) \times H_{Ty} \quad (7)$$

jossa,

M = hitsiainemäärä (kg),

H_{Ty} = operaattorin/hitsaajan työtunnin hinta (€/h),

T = hitsiaineen tuotto (kg/h) ja

e = paloaikasuhte (%)

Mig/Mag-prosessin hitsausainekustannukset (K_{Hi}) muodostuvat lisäainekustannuksista ja suojakaasukustannuksista seuraavasti (Stenbacka 2011, 84 - 87):

$$K_{Hi} = K_{Li} + K_{Su} \quad (8)$$

jossa,

K_{Li} = lisäainekustannukset ja

K_{Su} = suojakaasukustannukset.

Lisäainekustannukset (K_{Li}) saadaan lisäaineen kulutuksesta, prosessikohtaisesta hyötyluvusta ja tuotteiden ostohinnasta seuraavasti (Stenbacka 2011, 87):

$$K_{Li} = M \times (100/N) \times H_{Li} \quad (9)$$

jossa,

M = hitsiainemäärä (kg),

H_{Li} = lisäaineen hinta (€/kg) ja

N = hyötyluku (%).

Suojakaasukustannuksia (K_{Su}) laskiessa täytyy ottaa huomioon myös mahdolliset juurikaasukustannukset ja juurikaasun esi- ja jälkihuuhdeltu. Suojakaasukustannukset lasketaan yksinkertaistetusti kaasun ostohinnasta, kaariajasta ja kaasunvirtauksen määrästä (Stenbacka 2011, 85 - 88):

$$K_{Su} = (M \times 0,06 \times V \times H_{Su}) / T \quad (10)$$

jossa,

M = hitsiainemäärä (kg),

$0,06$ = kaasunvirtauksen kerroin, kun yksikkönä l/min,

V = kaasun virtaus (l/min),

H_{Su} = suojakaasun hinta (€/m³) ja

T = hitsiaineen tuotto (kg/h).

Konekustannukset (K_{Ko}) lasketaan yksinkertaistettuna koneen tuntihinnan ja kaariajan kautta (Stenbacka 2011, 88 - 89):

$$K_{Ko} = (M/T) \times (100/e) \times H_{Ko} \quad (11)$$

jossa,

M = hitsiainemäärä (kg),

H_{Ko} = koneen tuntihinta (€/h),

T = hitsiaineentuotto (kg/h) ja

e = paloaikasuhte (%).

Koneen tuntikustannuksiin (H_{Ko}) huomioidaan hitsauslaitteet, mekanisointilaitteet, kiinnittimet ja käsittelylaitteet (Stenbacka 2011 87 - 89.). Yrityksillä voi olla eri tavat laskea tuntihinnat, seuraavana yksi esimerkki, jossa tuloksena saadaan tuntihinta (Jääskeläinen 2017 a, 20):

$$H_{Ko} = \left(H_H \times \left(\frac{1}{T_p} + \frac{p}{2 \times 100} \right) + Y \right) \times \frac{1}{T_K} \quad (12)$$

jossa,

H_H = hankinta-arvo,

T_p = poisto aika,

p = pääoman korko,

Y = vuosittaiset huoltokulut ja

T_K = vuosittainen käyttöaika.

Energiakustannukset (K_{En}) voidaan laskea täydellisemmälläkin kaavalla, mutta tässä työssä riittävään tarkkuuteen päästään kaavalla, jossa kustannukset muodostetaan hitsiainemäärän, energian hinnan ja hitsauskoneen energian ominaiskulutuksella kilo kohti. Arvona ominaiskulutukselle nykyaikaisissa koneissa voidaan käyttää 3 kWh/hitsiainekilo (Stenbacka 2011, 89):

$$K_{En} = E \times M \times H_{En} \quad (13)$$

jossa,

E = energian ominaiskulutus (kWh/hitsiaine kg),

M = hitsiainemäärä (kg) ja

H_{En} = energian ostohinta (€/kWh).

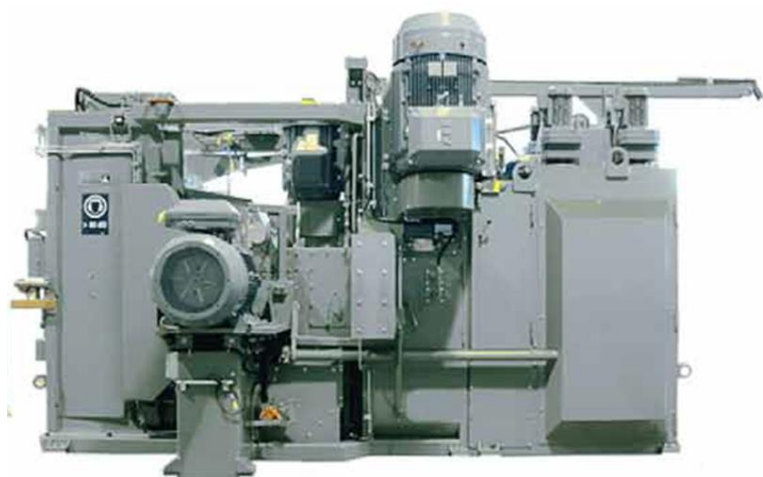
Kunnossapitokustannukset ilmoitetaan usein prosenttiosuutena hitsauskustannuksista hitsauskohde- ja yrityskohtaisesti. Kunnossapitokustannusten osuus on tavallisesti pieni, noin 1 - 2 %. (Stenbacka 2011, 89.)

4 CASE: SAHAKONEEN RUNKOLOHKON SOVELTUVUUS ROBOTTIHITSAUKSEEN

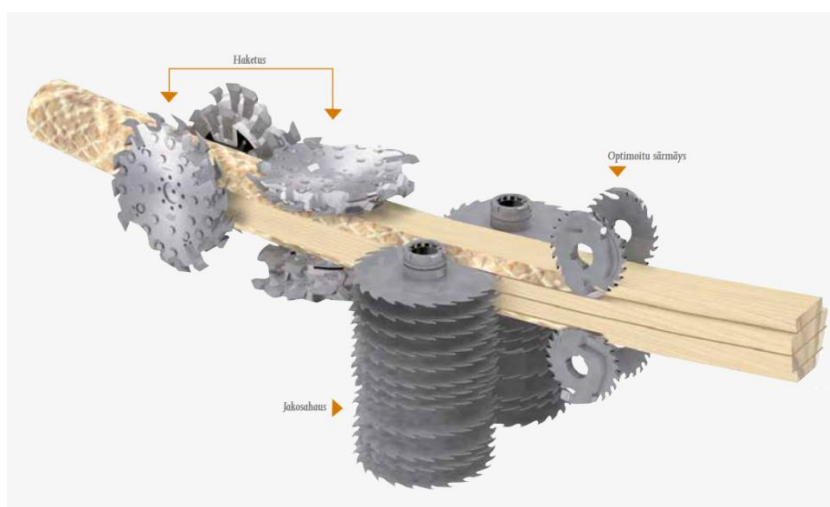
Case-osuudessa keskitytään lohko 1:een ja sen robotisoituun hitsaukseen. Luvussa ehdotetaan hitsien robotisoitavuutta edesauttavia ratkaisuja rakenteeseen, suunnitellaan kiinnitinratkaisu tuotteen hitsaamiseksi ja lopuksi verrataan kustannuksia aiempiin lohkon valmistuskustannuksiin.

4.1 Tuotteen esittely

HewSaw R200 A.1 sahakone (kuva 10) on ollut Veisto oy:n tuotteena jo yli 30 vuotta. R200 A.1 on pysynyt pääpiirteittäin samana koko historiansa aikana. Sahakone on tarkoitettu latvaläpimitaltaan 80 - 230 mm tukkien sahaukseen. Lyhyin tukin pituus on 2,4 m ja linjanopeus on 70 - 200 m/min. Veisto Oy:n R200 A.1 sahakoneiden vahvuutena on kertasyöttöperiaate eli yksi sahakone valmistaa tukista hakkeen ja sahatavaran (kuva 11). Tästä on seurauksena kompaktit, tilaa säästävät, sahalinjat.

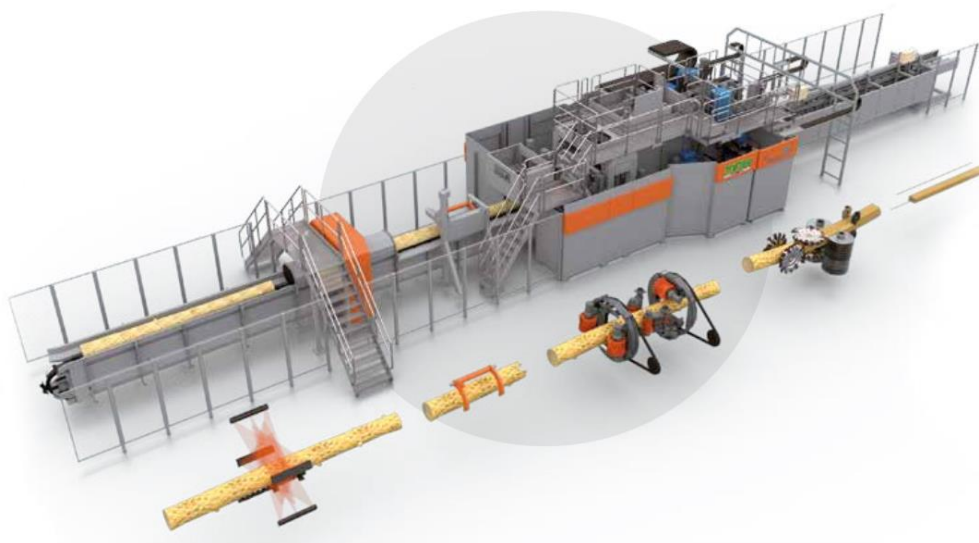


Kuva 10. HewSaw R200 A.1 sahakone (Veisto Oy 2018 c).



Kuva 11. Sahakoneen toimintaperiaate (Veisto Oy 2017, 4).

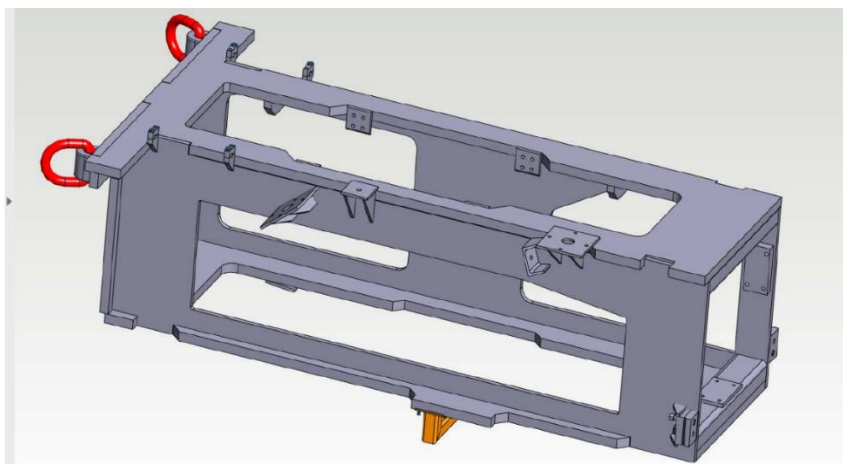
Veisto Oy:n valmistamat laitteet keskittyvät pääasiallisesti puun sahaamiseen. Kuvassa 12 on esimerkki modernista Veisto Oy:n yhden sahakoneen linjasta. Linjan pääkomponentit kuvassa vasemmalta oikealle ovat tukinmittauskuljetin, potkaisija, tukinsuuntauslaite ja sahakone.



Kuva 12. Yhden sahakoneen linja (Veisto Oy 2017, 4).

4.1.1 Runkolohkon rakenne

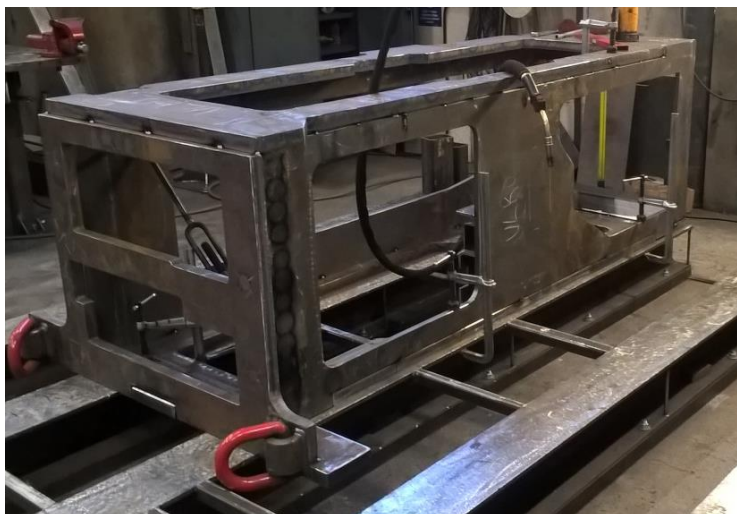
Sahan rungon päämateriaali on alun perin ollut putkipalkki ja koko runko on liitetty hitsaamalla yhdeksi kappaleeksi. Tuotteen rungon uudelleensuunnittelun myötä runko muodostuu kolmesta levyrakenteisesta lohkoista, jotka kiinnitetään ruuviliitoksiksi toisiinsa. Lohkojen rakennetta on aikaisemmasta rungosta yksinkertaistettu. Runkolohko koostuu pääasiassa viidestä alihankintana leikatusta rakenneteräslevystä. Materiaalina levyissä on s355 teräs. Kuvassa 13 paksut 40 mm:n vahvuiset levyleikkeet ovat nostolenkeillä varustettu levy vasemmassa päädyssä ja ylä- sekä alapuolella sijaitsevat levyt. Paksujen levyjen väliin jäävät sivut ovat 20 mm vahvuisia. Kokoonpanoon kuuluu edellisten osien lisäksi alikokoonpanoja ja yksittäisiä osia, jotka toimivat pääasiassa komponenttien kiinnityspisteinä. Hitsauksen jälkeen kokoonpano koneistetaan. Koneistusvarat levyissä ovat yleisesti 5 mm.



Kuva 13. R200 A.1 sahakoneen alkuperäisen runkolohkon kokoonpano.

4.1.2 Valmistus nykyään

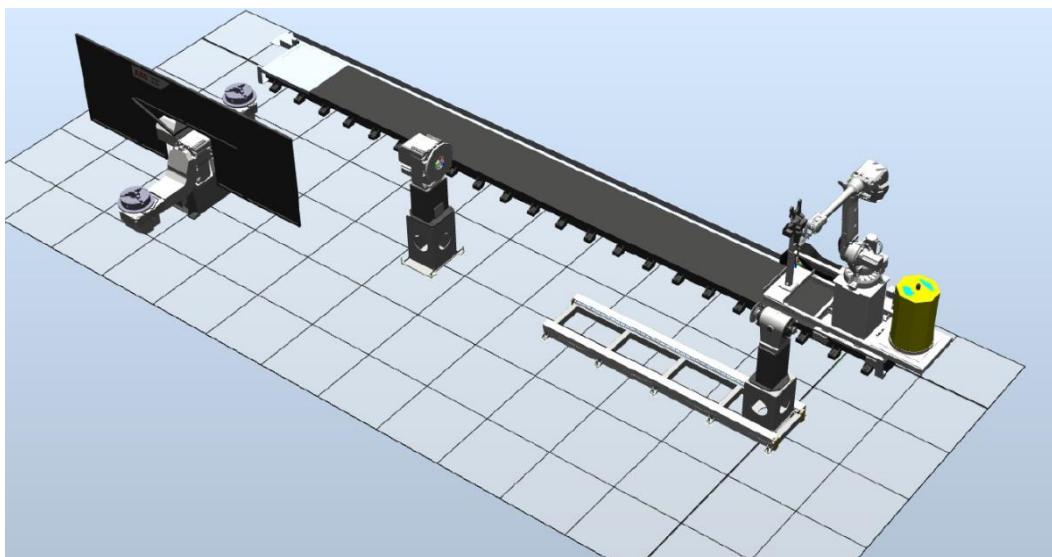
Runkolohkon paksimmat 40 mm vahvuiset levyt valmistetaan polttoleikkaamalla ja 20 mm vahvuiset levyt leikataan plasmalla. Plasma- ja polttoleikkeet tulevat alihankkijalta ja levyleikkurilla tehtävät työt tulevat pääasiassa omalta konepajalta. Levyt kasataan nykyisin ilman tuotekohtaista kiinnitintä. Kuvassa 14 näkyvät palkit, joiden päälle tuotteet tuodaan kasattavaksi. Palkkeihin on olemassa erilaisia yleismallisia kiinnityselementtejä kasauksen helpottamiseksi. Hitsaus tapahtuu käsin ja on mahdollista, että hitsaaja kasaa myös alikokoonpanot lohkon hitsauksen yhteydessä. Hitsauksen jälkeen osat koneistetaan ja maalataan, jonka jälkeen valmis lohko tarkastusmitataan. Lohko tulee aikanaan kokoonpanoon muiden osien kanssa, jossa sahakone kasataan.



Kuva 14. R200 A.1 sahakoneen alkuperäisen runkolohkon silloitushitsaus.

4.2 Hitsaussolu

Veisto Oy:n robottihitsaussolu (kuva 15) perustuu kaksiakseliseen, puolta vaihtavaan 500 kg kantavaan IRBP B -servopöytään, 2000 kg kantavaan grillimäiseen IRBP L -servopöytään ja radalla olevaan ABB IRB 4600 – 20/2,5 -robottiin. Hitsauslaitteistona on Kemppi A7 Mig Welder. IRBT 4004 -servoradan ajoliike on 9,9 m ja ulottuu molemmille servopöydille, jotka sijaitsevat samalla puolella rataa. Servoradalla sijaitsee polttimen huoltoyksikkö ja robotti on sijoitettu korokeyalustalle. Grilli on varustettu liikkuvalla tukilaakeriyksiköllä ja välimatkaa voi säätää portaattomasti kahdesta viiteen metriin. Suurin pyörintähalkaisija grillissä on kolme metriä.



Kuva 15. Kuva Veisto Oy:n hitsaussolun RobotStudio-mallista.

4.3 Robottihitsattavuuden tarkastelu

Tuotteen hitsattavuutta arvioitiin simuloimalla kappaleen hitsausta RobotStudio-simulointiohjelmassa ja pohtimalla kokoonpanon kohdalla hitsauksen onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä. Simuloinnissa pienen haasteen tuotti robotissa kiinni olevan langansyöttölaitteiston puuttuminen RobotStudion mallista. Hitsattavuutta arvioitaessa pyrittiin huomioimaan, että jalkoasentoa tai alapienaa pystytettiin käyttämään mahdollisimman paljon. Robotin ulottuvuus kokoonpanoon oli yllättävän rajallinen. Joidenkin lyhyiden hitsien hyvät hitsausasennot olisivat edellyttäneet robotin ulottumista lohkon yli tai läpi, joka ei tällä solun kokoonpanolla ja kyseisen kokoisella työkappaleella ole mahdollista. Joidenkin sisäosien hitsauksesta arvioitiin aiheutuvan ongelmia hankalan hitsausasennon vuoksi, mutta näiden kohtien tarkastelu jätettiin hitsausohjelman tekoon. Syynä tähän oli se, että kiinnitinsuunnittelulla tai kokoonpanon uudelleensuunnittelulla ei koettu olevan vaikutusta hitsattavuuteen ilman, että jonkun muun osan hitsattavuus kärsisi. Taulukossa 2 on esitetty edellä mainittujen ongelmien lisäksi yksilöityjä haasteita ja ehdotuksia kyseisten ongelmien ratkaisemiseksi.

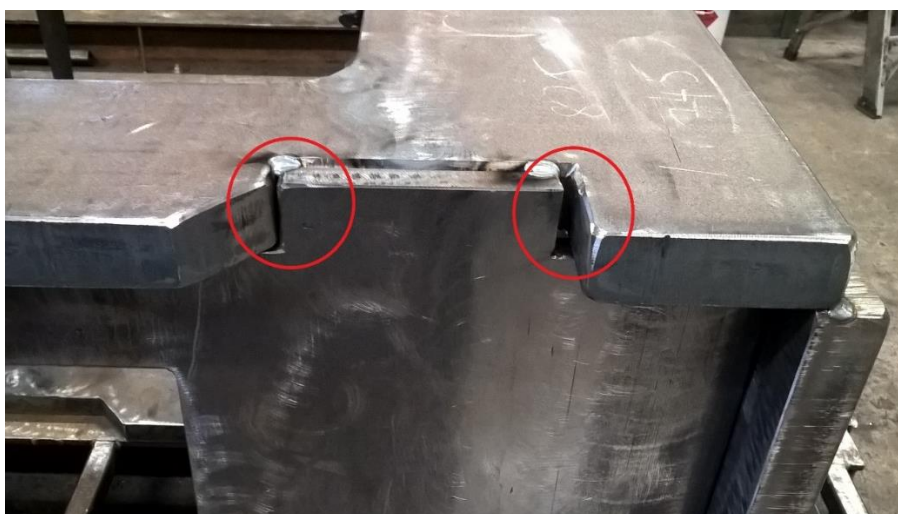
Taulukko 2. Alkuperäisen lohko 1:n robottihitsattavuuden tarkastelussa havaitut ongelmat.

Havaittu ongelma		Ongelman ratkaisu
Kokoonpanossa on paljon hitsejä, joissa ei voida käyttää railonseurantaa.	→	Vaihdetaan railonseurantaan sopimattomat hitsit piena-hitseiksi, joissa seurantaa voidaan käyttää.
Nostolenkkien hitsaus on haasteellista robotilla ja myös käsin, jos liitos täytyy tehdä valmiiseen kokoonpanoon.	→	Nostolenkit hitsataan etukäteen päädyn levyyn, jotta levy voidaan kääntää hyvään hitsausasentoon.
Paineilmapalkeiden korvat estävät sivujen pitkien ulko-hitsien esteettömän hitsaamisen ja ovat oletettavasti vaikeasti hitsattavissa robotilla, joka johtuu kokoonpanojen heikosta valmistustarkkuudesta.	→	Kokoonpanot hitsataan käsin robottihitsauksen jälkeen.
Puskurin korva estää pitkän sivun esteettömän hitsauksen, korvan tarkka paikoitus on haasteellista ja polttimen ulottuma osan hitsaamiseksi on puutteellinen.	→	Osa hitsataan kokoonpanoon käsin robottihitsauksen jälkeen.
Keskitystelojen kiinnityspisteiden t-mallista rakennetta ei voi hitsata robotilla, koska poltin ei mahdu hitsaamaan hitsejä.	→	Rakennetta muokataan niin, että poltin mahtuu hitsaamaan hitsit.

Muutosehdotukset

Kokoonpanoon tehtiin muutosehdotuksia, joilla pyrittiin parantamaan robottihitsattavuutta. Kokoonpanon muutosten reunaehtona oli, että kokoonpanon ulkopuolisia osia ei merkittävästi muuteta. Lisäksi levyjen muutoksissa on otettava huomioon liikkuvien osien vaatima tila ja rakenteen lujuuden säilyttäminen.

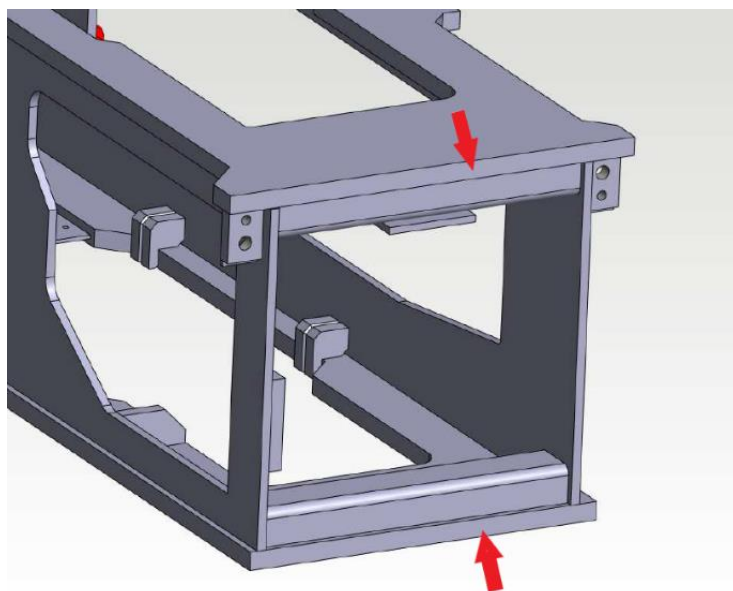
Tarkastelussa kiinnitettiin huomiota robottihitsausta hankaloittaviin paikoitusulokkeisiin levyjen reunassa (kuva 16). Paksumpien levyjen valmistustarkkuuden ollessa huono, näistä paikoituspiirteistä saatu hyöty robottihitsauksessa ei ole kovin suuri. Piirteillä saatu paikoitustarkkuus ei riitä robotisoituun hitsaukseen ja tässä tapauksessa vielä useista lyhyistä osista lohkon vierekkäisille tahkoille hitsattavan v-railohitsin toteuttaminen robotilla on haasteellista. Railon syvyyden ollessa 6 mm ei railonseuranta ole luotettava näissä hitseissä. Kyseiset paikoituspiirteet ehdotetaan poistettavaksi kokoonpanosta.



Kuva 16. Paikoituspiirteet levyjen reunassa.

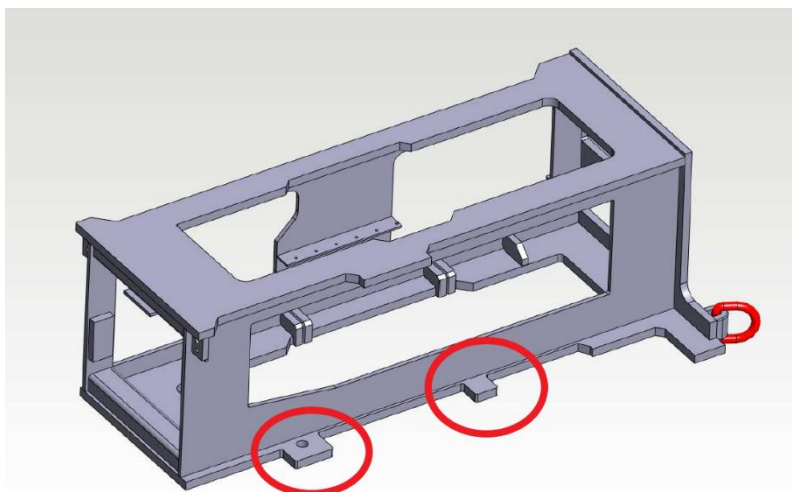
V-railoitsejä pyrittiin poistamaan suurten levypintojen välistä ja korvaamaan ne pienahitseillä mahdollisimman monessa liitoksessa. Hitsien muutokselle ei todettu olevan lujuusperusteisia esteitä. Pienahitseihin siirtymisen myötä lohkoista poistui useita metrejä railonvalmistusta vaativia hitsejä. Levyn reunan jatkaminen rakenteen ulkopuolelle pienahitsin ja railonseurannan vaatiman mitan verran aiheuttaa joidenkin sahan suojien uudelleenmuotoilua. Lisäksi yhden hydraulisynterin ja paineilmapalkeen liiketilan varmistamiseksi on koneistuksen yhteydessä jyrittävä pieni upotus levyn reunaan.

20 mm levyissä oli jätetty sovitussvaraa leikkauspinnalle 2 mm, joka voi aiheuttaa vaikeuksia levyjä silloitettaessa. 20 mm levyleikkeet ovat plasmaleikattuina niin mittatarkkoja, ettei sovitussvaraa liitoksiin todettu tarvittavan. Laadun parantamiseksi voisi olla perusteltua leikata 20 mm levyt laserilla, jolloin muodonmuutosten riski levyn leikkauksessa pienenee. Levyjen mittatarkkuutta voisi entisestään parantaa valitsemalla tiukemmilla toleransseilla valmistettuja levyjä. Särmättyjä koteloidia rakenteen päädyssä (kuva 17) ehdotettiin lyhennettäväksi 10 mm ja samalla alareunaa siirrettäväksi 10 mm kauemmas levyn reunasta, jotta v-railoitse voitaisiin korvata pienahitsillä.



Kuva 17. Pohjan koteloiden rakenne muokattuna.

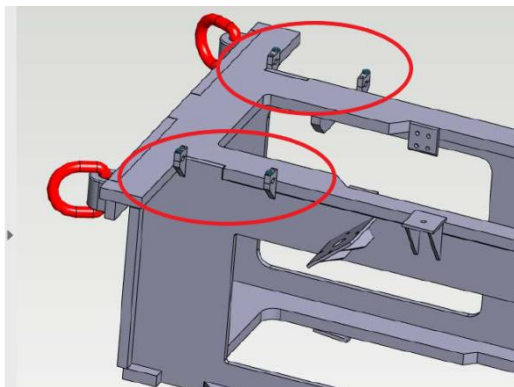
Kokoonpanosta ehdotetaan poistettaviksi alemman paineilmapalkeen ja kumipuskimen korvan alikokoonpanot ja korvattavaksi ne 40 mm levyyn tehtävillä ulokkeilla (kuva 18) ja laserleikatuilla shimmi-levyillä. Alikokoonpanojen hitsaus runkoon olisi ollut robotilla haasteellista ja nykyinen levyrakenne mahdollistaa osien helpohkon korvaamisen. Samalla kokoonpanon valmistuskustannukset oletettavasti alenevat.



Kuva 18. Paineilmapalkeen ja kumipuskimen kiinnitys.

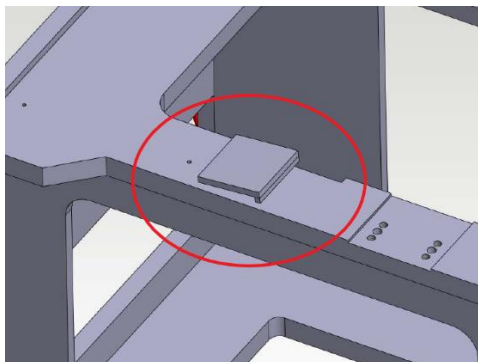
Keskitystelojen kiinnityksen t-mallinen rakenne ehdotetaan muutettavaksi kahdeksi 40 mm levyistä tehdyksi osaksi, jolloin pienahitseihin on hyvä ulottuvuus robotilla. Aiempi kokoonpano olisi pitänyt hitsata käsin. Kyseisten osien pinnat oikaistaan ja kierteytetään myöhemmin, joten paksusta levyistä tehty rakenne todettiin kokonaisuuden kannalta parhaimmaksi. Rakenne aiheuttaa v-railohitsin hitsaamisen kappaleiden väliin, jotta koneistuksen jälkeen osat olisivat myös levyjen välistä kiinni toisissaan. Osista johtuvat kustannukset nousevat hieman ratkaisun myötä, mutta vastaavasti valmistettavuus paranee. Kiinnityspisteen levyt olisi myös mahdollista korvata 80 mm levyleikkeellä, jolloin välissä oleva railohitsi saadaan poistettua. Ratkaisussa päädyttiin 40 mm levyyn, jotta eri paksuisia levyjä olisi rungossa mahdollisimman vähän.

Nostopuomien korvakkeet (kuva 19) ehdotetaan korvattavaksi ruuveilla kiinnitettävillä malleilla. Pinnalla on muitakin koneistuksia, jolloin pinnan oikaisu ja kolmen kierteen teko runkoon jokaisen korvallisen kohdalla vaikuttaa perustellulta. Hitsattavissa osissa olisi ollut myös kaksi kierrettä, jotka korvataan nyt kahdella läpireiällä. Osien muutos helpottaa levyjen välisen pienahitsin hitsausta runkolohkoon ja vähentää mittanauhan käyttöä. Osien paikoitus on toleroitu hitsattavalle osalle melko tarkaksi 0 - (+0,5), joten koneistetut kiinnityspisteet helpottavat näiden osien paikoitusta. Osien kiinnittämiseksi levyaihiota levennettiin korvallisten kohdalta.

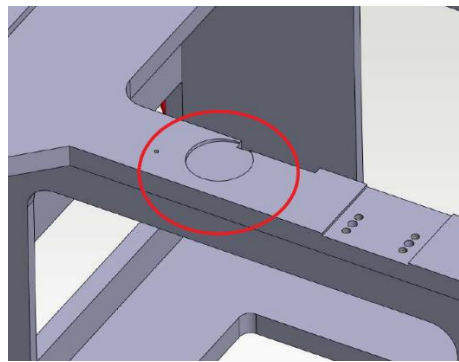


Kuva 19. Nostopuomien kiinnityspisteet.

Syöttöpyörien kumipuskimen vastinlevy (kuva 20) ehdotetaan korvattavaksi runkolohkoon upotettava vastaavaan kulmaan tulevalla koneistuksella (kuva 21). Kumipuskinta joudutaan säätämään muutoksen takia noin 10 mm, säätövaran todettiin riittävän muutokseen.

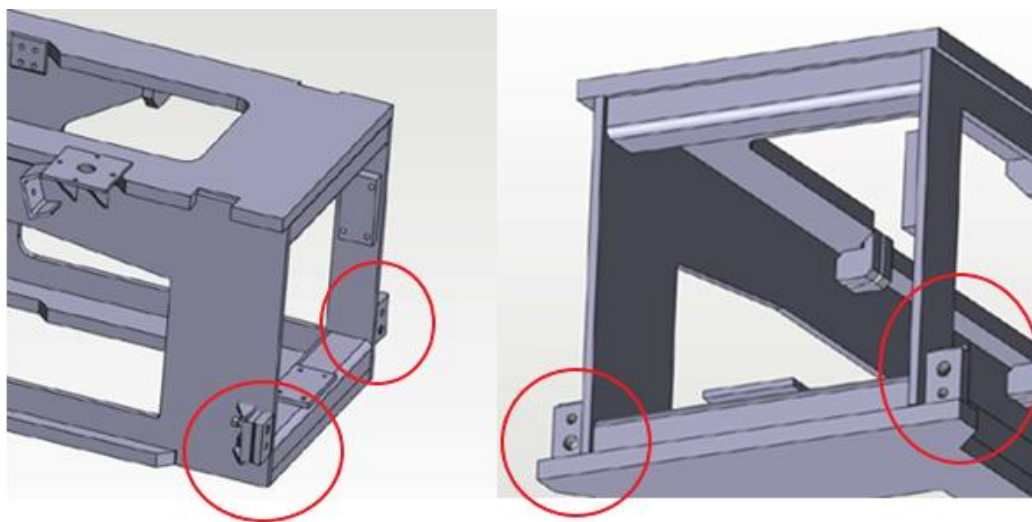


Kuva 20. Kumipuskimen vastinlevy.



Kuva 21. Kumipuskimen vastinlevyn korvaava koneistus

Kiinnitinratkaisua simuloitaessa ilmeni ongelma, jossa säädettävät jalat haittasivat rungon pitkien hitsien hitsaamista. Ongelma muodostui levyjen liitoksia muutettaessa pienahitseiksi, jonka seurauksia ei muutoksen yhteydessä osattu odottaa. Jalkojen paikka ehdotetaan muutettavaksi 40 mm levyyn kiinni, jolloin toinen tukirivoista voitaisiin poistaa kokoonpanosta. Samalla levyn reunaa muotoiltiin hieman paremmin jalan kiinnitykseen sopivaksi. Kuvassa 22 vasemmalla alkuperäisen lohkon kuva ja oikealla päivitetty malli.



Kuva 22. Säätöjalat ennen muutosta ja muutoksen jälkeen.

4.4 Hitsauskiinnitin

Kiinnitin suunniteltiin yrityksen käyttämällä Vertex 3D-suunnitteluohjelmistolla, jossa kiinnitin suunniteltiin edellisen luvun muutosehdotuksien mukaan muokatun mallin ympärille. Kiinnittimen suunnittelussa otettiin huomioon mm. taulukossa 3 luetellut ongelmat. Hitsauskiinnittimen suunnittelussa lähtökohtana oli, että 1. lohkon vuosittaiset, keskimäärin 2 - 3 kappaleen hitsausmäärät tekevät

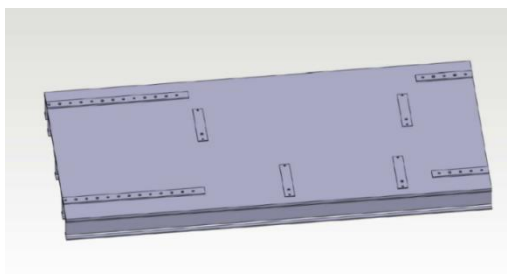
kiinnitusratkaisusta oletettavasti kalliin tuotteen valmistusmäärään nähden. Samassa saharungossa on lähes samoilla ulkomitoilla oleva 3. lohko, jonka robottihitsaus voisi olla myös mahdollista. Samoihin päätykehikoihin osia ei luultavasti voi asentaa, koska vasteet jouduttaisiin säätämään jokaiselle kokoonpanolle uudestaan.

Tällä hetkellä paksujen levyjen mittavaihtelut lisäävät huomattavasti hitsausaikaa. Levyjen mittavaihtelut ovat yleensä toleranssien sisällä, mutta sellaisenaan ne eivät sovellu hitsattavaksi, vaan levyjä täytyy oikoa kuumilla ennen kokoonpanoa. Levyjen oikominen lisää kustannuksia merkittävästi, koska suurien levyjen lämmitys vie paljon aikaa ja kuluttaa lämmitykseen tarvittavia kaasuja. Ongelmaan yritetään saada helpotusta suunnittelemalla kiinnittimestä osien muotoon pakottamiseen soveltuva. Jokaisen paksun levyn esikoneistus olisi yksi vaihtoehto kokoonpanon valmistustarkkuuden parantamiseksi, mutta lähtökohtana pidettiin levyjen kokoonpano ilman esikoneistusta. Esikoneistus olisi tässä kokoonpanossa työlästä, oletettavasti kallista ja kuormittaisi koneistamoita turhaan.

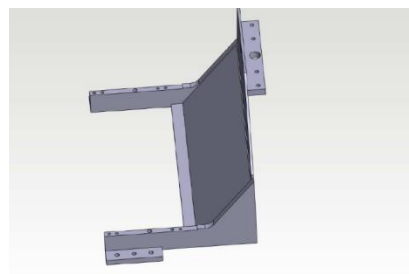
Taulukko 3. Kiinnittinsuunnittelussa havaitut suurimmat ongelmat ja niiden ratkaisut.

Kiinnittimen suunnittelussa huomiota kiinnitettiin seuraaviin ongelmiin		Ongelman ratkaisu
Kiinnittimestä johtuvat tuotekohtaiset kustannukset ovat suuret, koska vuosittainen tuotteiden valmistusmäärä on pieni.	→	Suunnitellaan osittain yleiskäyttöisistä moduuleista valmistettu kiinnitin, jolloin kiinnitinkustannukset jakaantuvat useammalle eri tuotteelle.
Siirryttäessä silloitusvaiheesta hitsaukseen hitsattavan kokoonpanon asento voi helposti muuttua.	→	Päätykehikon silloitusosat toimivat hitsauskiinnittiminä, jolloin kiinnitystä ei tarvitse vaihtaa hitsaukseen siirtäessä.
Paksujen levyleikkeiden suuri tasomaisuuden vaihtelu vaikeuttaa, osien paikoittamista.	→	Suunnitellaan jäykkä ja useasta pisteestä paikoittava silloituskiinnitin, jolla levyjä voi pakottaa oikeaan muotoon.
Kiinnittimestä voi tulla liian raskas johtuen osien pakottamiseen tarvittavasta jäykästä rakenteesta.	→	Runkolohkosta tehdään silloituksessa itsekantava, jolloin pohjalevy ja sisäkiinnittimet voidaan jättää pois hitsauskokoonpanosta.
Hitsauskiinnittimen moduuliosien tarkka paikointus voi olla haastavaa.	→	Kiinnittimeen valmistetaan koneistettu kiinnityspinta ja kohdistus toteutetaan lieriötapeilla.
Silloitusosien oikea sijoittaminen voi olla haasteellista, kun pohjalevyssä on useiden tuotepiheiden kiinnitinosien kiinnityspisteitä.	→	Osien oikeaa paikointusta helpotetaan suunnittelemalla yhtenevä värimerkkaus tuotekohtaiseen osaan ja pohjalevyyn.
Moduuliosien määrän lisääntyessä tarvittavien kiinnitinosien etsintä varastosta on haastavaa.	→	Moduuliosiin tehdään värimerkintä ja kiinnitettävän kokoonpanon osanumero merkitään jokaiseen moduuliosaan.
40 mm paksujen levyleikkeiden leikkauspinnat ovat epätarkkoja, josta seuraa hitsien ja koneistettavien pintojen sijainnin vaihtelua, mikäli leikattu pinta määrää osan sijainnin.	→	Kiinnitin pyritään suunnittelemaan niin, että valssatut levyn pinnat vastaavat kiinnittimen vastinpintoihin.
Kiinnittimen valmistuskustannukset kasvavat liikaa johtuen lukuisista painimista ja vastinpinoista.	→	Painimissa ja vastimissa suunnitellaan käytettäväksi ruuveja, jotka kiinnitetään rakenteeseen hitsattavilla DIN 6334 mutterilla eli ns. pitkällä mutterilla.
Pohjalevyn koneistetut pinnat ovat hankalasti puhtaanapidettäviä.	→	Pohjalevyn koneistetut pinnat tehdään pohjalevyyn hitsattaviin korokelappuihin.
Jatkossa uusien kokoonpanojen kiinnitinmoduulien liittäminen pohjalevyyn vaatii koko pohjalevyn koneistuksen.	→	Uudet kiinnitinmoduulit asennetaan joko samoja kiinnityspisteitä hyödyntäen tai pohjalevyyn hitsattavilla esikoneistetuilla kiinnityslevyillä.
Kiinnittimen liittäminen kappaleenkäsittelijän alkuperäisiin kiinnityspintoihin on vaikeaa.	→	Suunnitellaan kappaleenkäsittelijän kiinnittimen laipoihin kulmahyllyt, jotta liittäminen olisi helpompaa ja turvallisempaa.
Vain päädyistä hitsauksessa kiinnitettävien kokoonpanojen pituus voi vaihdella ja näin rajoittaa kiinnittimellä hitsattavien tuotteiden määrää.	→	Pohjalevyyn suunnitellaan koneistettavaksi 150 mm välein useita kiinnityspisteitä päätyosille.

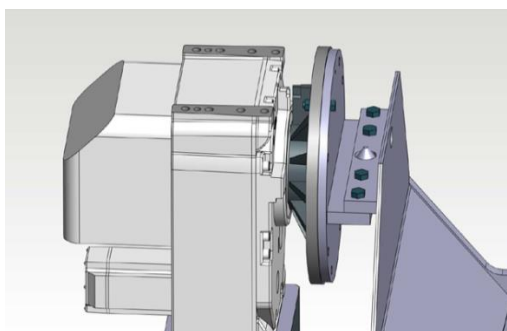
Hitsauskiinnitin suunniteltiin yhdistelmäkiinnitin-periaatetta mukaillen. Kiinnittimen perustana toimii pohjalevy (kuva 23) ja kappaleenkäsittelijään kiinnittävät päätyosat (kuva 24). Päätyjen kiinnittämisen helpottamiseksi suunniteltiin kappaleenkäsittelijän laippoihin kiinnitettävät osat (kuva 25), joihin kiinnitin voidaan laskea siltanosturilla ylhäältä ja paikoitus oikealle paikalle tapahtuu kartiotapilla. Lisäosilla haetaan kiinnittämisen helpottamista ja turvallisuuden parantamista. Edellä mainitut ovat yleisöisiä, joita on tarkoitus käyttää kaikissa robottihitsauskokoontavoissa. Pohjalevyn runko on suunniteltu I-palkista, jotta paksujen levyjen muotoon pakottaminen ei aiheuttaisi suuria muodonmuutoksia kiinnittimessä. Valmistuksen yhteydessä pohjalevy on tarkoitus koneistaa mittatarkkuuden varmistamiseksi. Päätyosat kiinnitetään ruuvein silloituksen ajaksi pohjalevyyn ja irrotetaan, kun tuote viedään robotille hitsattavaksi. Pohjalevylle nostetaan siltanosturia käyttäen kunkin kokoonpanon silloittamiseen tarvittavat moduuliosat. Päätyosiin kiinnitetään hitsauksessa käytettävät kiinnittimet. Tämän kokoonpanon kohdalla rungosta tulee silloituksen jälkeen itsekantava, jolloin kiinnityksessä kappaleenkäsittelijään voidaan käyttää pelkästään päätyosia ja päätykehikoita.



Kuva 23. Hitsauskiinnittimen pohjalevy.



Kuva 24. Hitsauskiinnittimen päätyosa.



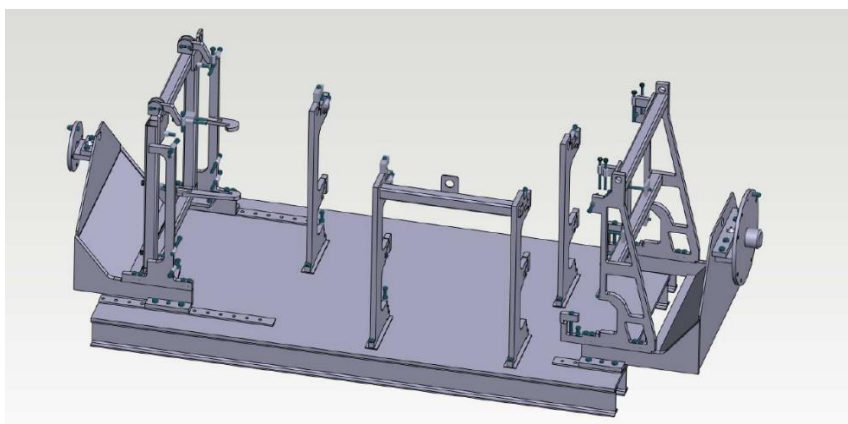
Kuva 25. Hitsauskiinnittimen päädyn kiinnitysratkaisu.

Päätyosat pystytään yhdistämään palkkirakenteella tai yksinkertaisimmillaan laserleikatulla levyllä, jolloin siitä muodostuu perinteisempi grilli-mallisen kappaleenkäsittelijän pöytä (kuva 26). Kiinnittimien valmistuskustannukset päätyosien välille yksinkertaisille kokoonpanoille ovat oletettavasti jatkossa edulliset. Tuotekohtaisen vähäisen vuosittaisen valmistusmäärän ja kiinnittimeen kohdistuvien suurien voimien vuoksi todettiin ruuvien käytön olevan paras ratkaisu tämän tuotteen kiinnittämiseen. Leikkeisiin leikataan mahdollisuuksien mukaan muttereille paikoittavat piirteet, jolloin kiinnittimen kokoonpanohitsaus helpottuu. Muttereiden käytön myötä kierteiden teko vähenee oleellisesti ja hitsausroiskeista johtuva kierteiden vikaantuminen on helposti korjattavissa rakenteeseen vaihdettavalla uudella mutterilla. Etuna on myös muttereiden kiinnitinosia lujempi materiaali, jolloin kierteet kestävät paremmin epäpuhtauksia ja useampia kiinnityskertoja. Kaikki silloituksessa käytetyt ruuvit ovat M16-kokoa, joten osien kiinnitys paikoilleen on suhteellisen nopeaa mutterinvääntimen avulla.



Kuva 26. Mahdollinen kiinnittimen pohjaratkaisu.

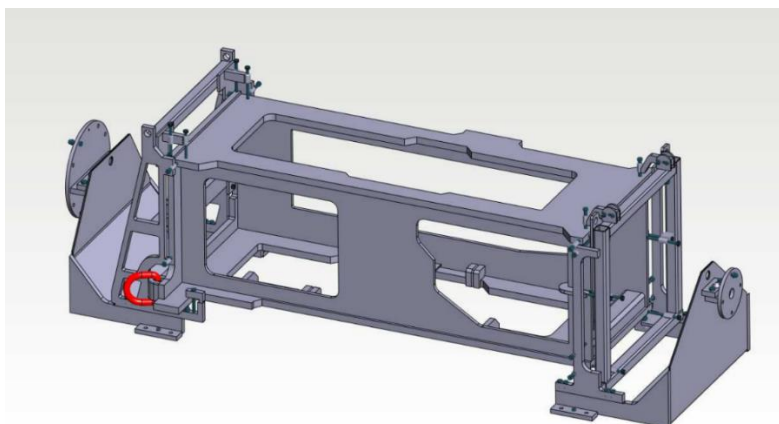
Tuotteen muutosten ja kiinnittinratkaisun (kuva 27) myötä paksujen levyjen leikkauspinnat eivät ole tuotteen oleellisten mittojen määrääviä pintoja ja samalla osien mittavaihteluista riippuvaisten hitsien määrä laskee huomattavasti. Lähes kaikki vastinpinnat tulevat valssattua levynpintaa vasten. Tämä monimutkaista hieman kiinnitintä, mutta laatuakökulma todettiin tärkeämmäksi kokonaisuuden kannalta. Kappaleenkäsittelijän ollessa 2000 kg kantava ja hitsattavaksi suunnitellun 3. lohkon painon ollessa hieman yli 1500 kg, kääntöpöytään tulevan kiinnittimen massan tulee olla enintään noin 450 kg. Kiinnittimen ja tuotteen painopiste olisi oltava lähellä kääntäjän vetolaipan akselia ja samalla riittävä jäykkyys kiinnittimessä oli myös säilytettävä, jotta parannetaan robotin ratojen paikkansäilytystä.



Kuva 27. Suunniteltu kiinnitinkokonaisuus.

Lohko suunniteltiin kokoonpantavaksi niin, että kokonaisuutena ratkaisu olisi mahdollisimman hyvä kustannusten, kasattavuuden ja hitsattavuuden osalta. Suuret levyosat voidaan laskea kiinnittimeen siltanosturilla ylhäältä päin. Kiinnittimessä on käytetty tarvittavissa paikoissa sivuunkäännettäviä kiinnityselementtejä, jotta osat voidaan laskea esteettömästi kiinnittimeen. Valtaosa pienistä irtosista suunniteltiin kiinnitettäväksi ylhäältä alaspäin, jolloin lohkoa ei tarvitse käänellä silloituksen aikana. Kokoonpanon asento kiinnittimessä määräytyi myös pienten osien kiinnityssuunnan mukaisesti. Pienille osille ei toistaiseksi suunniteltu kiinnitintä tai tulkkia, vaan tuotteen pienen vuosittaisen valmistusmäärän vuoksi paikoitus tapahtuu käyttäen rullamittaa. 20 mm levyjen osalta laserleikkeisiin siirtymisen myötä olisi mahdollista merkitä osien paikat laserilla levyn pintaan. Tuotteen irrotus silloitusvaiheesta tapahtuu avaamalla pohjalevyyn jäävät kiinnittimet lohkoista, kiertämällä auki pää-

työsiä kiinnittävät ruuvit ja nostamalla kokonaisuus (kuva 28) pois pohjalevytä sivuun ja ylös- periaatteella.



Kuva 28. Hitsaussolun kappaleenkäsittelijään kiinnitettävä kokoonpano.

Kiinnitinratkaisua suunniteltaessa ei pidetty pakollisena hitsata kaikkia hitsejä robotilla, jos se vaikeuttaa kiinnittimen suunnittelua tai hitsit ovat robotin ulottumattomissa. Kiinnitin estää säädettävän jalan kahden hitsin hitsaamisen robotilla, joista pituutta kertyy yhteensä hieman yli 100 mm. Nämä hitsit päätettiin hitsata silloituksen yhteydessä. Lisäksi lohkon alapuolelle nostolenkkien päähän jää kiinnittimestä johtuvat kaksi noin 50 mm osuutta hitsaamatta.

4.5 Simulointi

Kokoonpanolle tehtiin hitsausohjelma RobotStudio-simulointiohjelmistolla. Käytössä oli uusi lisenssi RobotStudio-ohjelmistoon, joten työ alkoi ohjelman asennuksella ja tietojen synkronoinnilla hitsaamon ohjelmiston kanssa. Ohjelmistoon ladattiin Vertex-simulointiohjelmistolla mallinnettu kokoonpano (kuva 28). Robotin liikkeitä simuloitaessa käytettiin ohjelmiston törmäyksistä varoittavaa ominaisuutta. Kokoonpanolle simuloitiin piirustusten mukaiset hitsit. Simuloinnissa havaittiin pientä hienosäätöä vaativia kohtia kiinnittimen suunnittelussa, jotka korjattiin malliin. Suurelta osin ongelmassa oli kyse liian pienestä polttimelle varatusta tilasta.

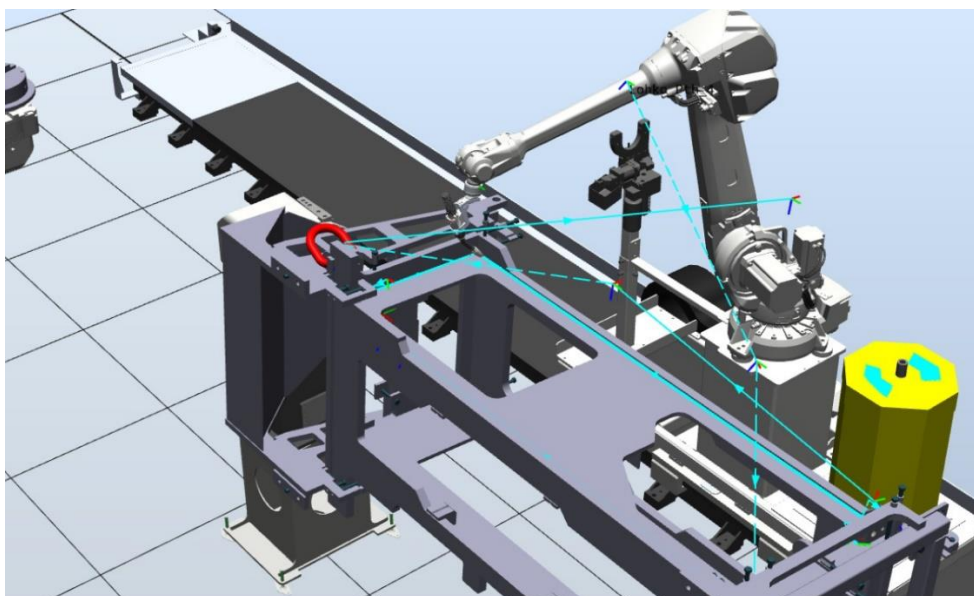
4.6 Hitsausjärjestys

Hitsausjärjestystä suunniteltiin robottioperaattorin kanssa tuotannossa olleen kappaleen perusteella. Rungossa oli hitsauksen vaikutuksesta hieman taipumaa (kuva 29), jota voisi yrittää poistaa seuraavassa kokoonpanossa. 20 mm levyjen taipumaan vaikuttaa osaltaan hitsausjärjestys, mutta myös väliin jäävän kotelon mahdollinen alimitta, jolloin jäähtyvä hitsi vetää levyjä sisään. Suunnitellussa kiinnittimessä osat painetaan ruuvilla yhteen, joten kotelon ja seinien väliin ei jää merkittävää ilmarakoa.



Kuva 29. Hitsauksessa tapahtunut muodonmuutos runkolohkossa.

Hitsausjärjestyksessä ensimmäiseksi suunniteltiin hitsattavaksi ulkopuolen pitkät kylkihitsit, jotta sisäpuolen hitsit eivät pääsisi vapaasti taivuttamaan rakennetta. Järkevimmäksi koettiin hitsata molemmat kylkihitsit ja pääty kerralla samalta sivulta (kuva 30). Tämän jälkeen hitsataan lohkon sisäosat jokaisen sivun avauksen kautta. Robotin liikeratojen järkevöittämiseksi päätettiin hitsata kaikki mahdolliset hitsit kultakin sivulta yhdellä kerralla. Levyjen vääntelyn ei pitäisi olla enää tässä vaiheessa suuresti riippuvainen hitsausjärjestyksestä.



Kuva 30. Sivulevyn hitsit RobotStudio-simulaatiossa.

4.7 Kustannusten arviointi

Tuotteen alkuperäisiä arvioituja kustannuksia verrattiin robotilla hitsattavan tuotteen arvioituihin kustannuksiin. Alkuperäisestä lohkosta käytössä oli vain karkeat erittelemättömät arviot hitsauskustannuksista. Alkuperäisen lohkon arvioita verrattiin samaan aikaan tuotannossa olleeseen kappaleeseen ja arviot todettiin oikean suuntaisiksi. Vertailua hankaloitti se, että tuotannossa olleen lohkon hitseistä suuri osa hitsattiin robotilla ilman kiinnitintä, jolloin käsinhitsauksen kellottaminen ei onnistunut. Koneistuksien ja hitsauksen vaatiman aikamäärän arviointi tehtiin yhteistyössä yrityksen muun henkilöstön kanssa. Osien hinnat haettiin tuotannonohjausjärjestelmästä ja levyleikkeiden hinnat arvioitiin samantyyppisten kappaleiden toteutuneilla kilohinnoilla. Kilohinta laskettiin muuttaman osan aritmeettisella keskiarvolla.

Kokoonpanoon ehdotettujen muutosten kustannusvaikutuksista tehtiin laskelmat niin osien kuin työnkin osalta. Hitsauskustannukset muodostettiin päivitetyn lohkon kokoonpanon perusteella. Kiinnitinkustannukset jaettiin kahteen osaan. Kokoonpanokohtaiset kiinnittimet, joista kustannukset kohdistuvat vain tälle tuotteelle, muodostuvat päätykehikoista ja sisäkiinnittimistä. Kiinnitinkorjauksen yleisosa suunniteltaessa arvioitiin osia voitavan käyttää vähintään kymmeneen kokoonpanoon, joten osien kustannuksista tälle kokoonpanolle tulee kymmenesosa kokonaiskustannuksista. Kiinnitinkustannuksista selvitettiin myös työn sekä osien osuus kokonaiskustannuksista.

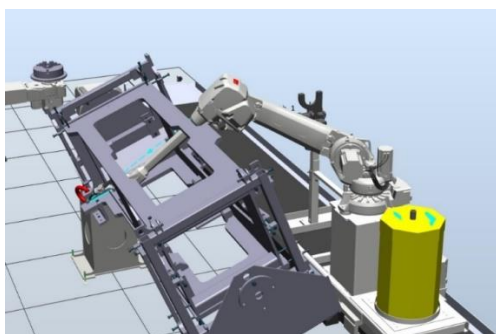
Kokoonpanolle laskettiin erikseen robotilla ja käsin hitsattavien hitsien kustannukset. Hitsausarvoina käytettiin robotin hitsauslaitteistolta saatuja lukuja. Arvot olivat kyseiselle paksuja levyjä sisältävälle tuotteelle ehkä hieman kevyet. Hitsiaineen tuottonopeus a6 hitsille oli vain hieman yli 4 kiloa tunnissa. Hitsauskustannukset laskettiin käyttämällä teoriaosuudessa esiteltyjä kaavoja. Hitsien tilavuus laskettiin hitsin poikkipinta-alan ja hitsin pituuden tulona, joka kerrottuna teräksen tiheydellä muodostaa kaavoissa käytetyn hitsiaineen määrän. Taulukossa 4 esitetään laskelmissa käytetyt arvot. Aivan kaikkia arvoja ei ollut saatavissa sellaisessa muodossa, joita laskelmat olisivat vaatineet. Näissä kohdissa tyydyttiin arvioimaan käytettävät arvot. Aiemmista kokoonpanoista päätellen levyjen oikomiseen täytyy varata useita tunteja aikaa. Käytetyksi ajaksi arvioitiin keskimääräinen luku, joka on 10 tuntia. Levyjen esivalmistelu-aika laskettiin mukaan kaikkiin laskelmiin lukuun ottamatta työn tuoksissa olevaa paloaikasuhteen vertailua nykyisen ja päivitetyn runkolohkon välillä.

Taulukko 4. Kustannuslaskelmissa käytetyt arvot.

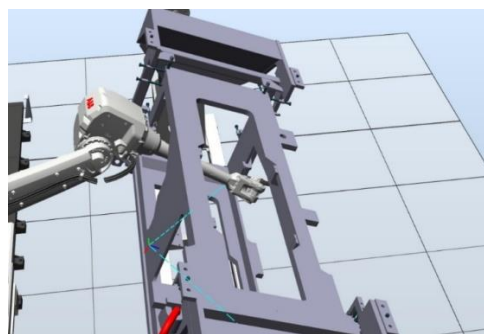
Laskelmissa käytetyt arvot		
Tekijä	Arvo	Selite
Asetusaika (t_{as})	1,0	Kiinnittimen valmistelu-aika 1 tunti
Hitsiaineen määrä (kg)	8,7	Määrä on laskettu päivitetyn lohkon robotilla hitsattavien hitsien tilavuuden perusteella
Hitsiaineen tuotto (kg/h)	4,1	1. lohkon robotin hitsiaineen tuottonopeus 0,95 % hyötyluvun perusteella
Kaarisivu-aika (t_{sa}) (h)	0,4	0,4 tuntia häiriön korjaamiseen
Käsittely-aika (t_{ka}) (h)	12,0	2 tuntia osien asetteluun kiinnittimeen sekä silloitukseen ja 10 tuntia levyjen oikomiseen
Apu-aika (t_{ap}) (%)	5,0	Arvio
n = kappalemäärä	1,0	Todennäköinen sarjakoko
Hitsiaineen tuotto enimmäisvirralla (kg/h)	4,1	Laskelmassa on käytetty hitsattavien hitsien keskimääräistä hitsiaineen tuottoa
Operaattorin/hitsaajan työtunnin hinta (€/h)	30,0	Esimerkkiarvo
Lisäaineen hinta (€/kg)	1,5	Esimerkkiarvo
Hyötyluku (%)	95,0	Lähdeaineiston ohje-arvo (Stenbacka 2011, 72.)
Kaasun virtaus (l/min)	15,0	Ohjeellinen suojavaasun virtaus
Suojavaasun hinta (€/m ³)	4,0	Lähdemateriaalin esimerkkiarvo (Stenbacka 2011, 102.)
Koneen tuntikustannukset (€ [#])	30,0	Esimerkkiarvo koneen tuntikustannuksista
Energian ostohinta (€/kWh)	0,1	Esimerkkiarvo
Kunnossapitokustannukset	1,5	Lähdemateriaalin esimerkkiarvo (Stenbacka 2011, 85.)
Käsinhitsauksen laskennassa käytetyt edellisistä poikkeavat arvot		
Paloaikasuhte (%)	20,0	Laskelmassa on käytetty 20 % paloikasuhdetta
Koneen tuntikustannukset (€ [#])	10,0	Laskelmassa on käytetty konekustannuksissa 10 euron esimerkkiarvoa

5 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuotteen robottihitsattavuus oli jo alkuperäisessä tuotteessa hyvä ajateltuna robotin ulottuvuutta lohkon hitseihin. Alkuperäisessä tuotteessa 19 % hitsien pituudesta oli käsinhitsattavia. Uudelleensuunnittelussa tuotteessa tulos oli 9 %. Hitsien pituuksien vertailussa kiinnittimen rakenteen oletettiin olevan sama. Pienehkö robottihitsattavien hitsien osuuden kasvu johtuu mm. siitä, että alkuperäisen kokoonpanon kylkien pitkät v-railohitsit määriteltiin robotilla hitsattavaksi, vaikka niiden toteutus olisi todennäköisesti ollut vaikeaa. Luultavasti hitsaus olisi vaatinut vähintään railonhaun käyttämistä useaan otteeseen hitsin matkalla. Uudelleensuunnittelussa lohkoissa lähes kaikki robotilla hitsattavat hitsit mahdollistavat railonseurannan käytön. Jotkut hitsit olisivat hitsattavissa lohkon läpi (kuva 31 ja 32), mutta robotissa oleva langansyöttölaitteisto (kuva 33) estää robotin ulottumisen riittävän pitkälle. Hitsit olisivat paremmin ulottuvissa, jos kokoonpanoa käännettäisiin servopöydässä, mutta hitsien muuttuminen pysty- tai yläpienaksi tekee hitsaamisesta haastavaa.



Kuva 31. Hitsaus kokoonpanon aukkojen läpi päätylevyyn.

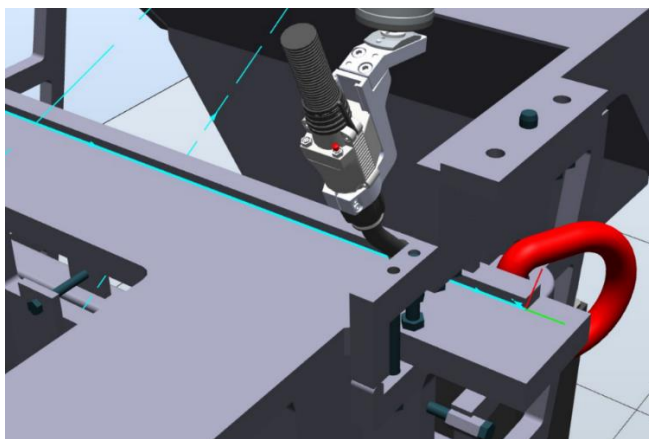


Kuva 32. Hitsaus kokoonpanon aukkojen läpi säätöjalkaan.

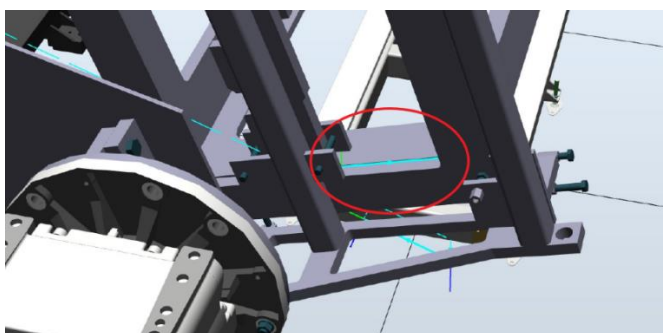


Kuva 33. Robotin langansyöttölaitteisto.

Kiinnittimen rakenne estää osan hitsien hitsauksesta (kuva 34). Ongelmat olisivat usein ratkaistavissa kiinnittimen rakenteen muutoksella, mutta kiinnittimestä tulisi monimutkaisempi, painavampi ja oletettavasti myös kalliimpi. Tuotteen suuremmalla vuosittaisella valmistusmäärällä olisi kannattavaa tehdä kiinnittimestä useamman hitsin hitsauksen mahdollistava. 1. lohkon rakenteeseen jäi vielä hitsejä (kuva 35), joita ei pystytty muuttamaan pienahitseiksi. Syynä kuvan tapauksessa oli lohkon sisään tulevien osien vaatima tila, jolloin levyä ei voitu muokata pienahitsille sopivaksi.



Kuva 34. Kiinnittimen rakenteesta johtuva hitsauksen estyminen.



Kuva 35. Railohitsi lohkon päädyssä.

Nykyisen runkolohkon ja päivitetyn mallin hitsattavuutta vertailtiin keskenään muutamalla hitsauksen tunnusluvulla (taulukko 5). Uudelleensuunnittelun myötä lohkon hitsattavan lisäaineen määrä lisääntyi hieman, koska v-railohitsien muuttaminen vastaaviksi pienahitseiksi lisää hitsin tilavuutta. Paloaikasuhdetta laskettaessa vähennettiin sekä alkuperäisen että uudelleensuunnittelun lohkon hitsausajasta sama määrä levyjen oikomiseen kuluva arvioitu aika, jotta tulos kuvaisi hyvin käsinhitsauksen ja robottihitsauksen eroa. Uudelleensuunnittelun lohkon paloaikasuhteeksi muodostui noin 45 % alkuperäisen lohkon paloikasuhteen ollessa 8 %.

Taulukko 5. Hitsauksen tunnuslukujen vertailu alkuperäisen ja uudelleensuunnittelun runkolohkon välillä.

Hitsauksen tunnusluvut		
	Alkuperäinen lohko	Uudelleensuunniteltu lohko
Hitsien kokonaispituus (m)	39,2	36,5
V-railohitsit (m)	9,2	1,1
Hitsisaumojen tilavuus (l)	1,2	1,3
Robottihitsien osuus lisäainemäärästä (%)	76,0 %	84,8 %
Paloikasuhde (%)	8,0 %	44,5 %

1. lohkon valmistuksen kokonaiskustannukset (taulukko 6) ilman kiinnittimen kustannuksia alenivat laskelmien perusteella noin 8 %, joka perustuu hitsauskustannusten alenemiseen. Hitsauskustannukset alenevat suurelta osin railonvalmistuksen vähenemisen ja osien paikoittamisen nopeutumisen seurauksena. Valmistukseen kuluvan ajan laskettiin lyhenevän yli 30 %. Kiinnittimestä aiheutuvat

kustannukset lisäävät kokonaiskustannuksia, mutta arvion mukaan kuuden tuotteen jälkeen kokonaisuudesta tulee edullisempi kuin käsin hitsaamalla.

Taulukko 6. Kokoonpanon ehdotettujen muutosten suhteelliset kustannusvaikutukset (alkuperäisen lohkon kustannuksilla on arvo 100).

Lohkon muutosten arvioidut kustannusvaikutukset		
	Alkuperäinen lohko	Uudelleensuunniteltu lohko
Hitsauskustannukset	100	61
Koneistuskustannukset	100	105
Kokonaiskustannukset ilman kiinnitintä	100	92
Kokonaiskustannukset kiinnitin huomioituna	100	137

Työhyvinvoinnin kannalta kyseisen raskaan siltanosturilla liikuteltavan kokoonpanon siirtäminen robottihitsaukseen on suositeltavaa. Jo kiinnitinratkaisu itsessään lisää työturvallisuutta ja lisäksi kiinnitin nopeuttaa oletettavasti valmistusta. Kokoonpano sisältää yksitoikkoisia ja osin hankalassa työasennossa tehtäviä hitsejä, jotka sopisivat hyvin robotin tehtäväksi. Työkuorman tasaamiseen hitsaamossa tuotteen robotisoitu hitsaus sopii hyvin. Useiden yrityksen valmistamien osien tuotantomäärät ovat suhteellisen pienet, joten vaihtoehtoiset robotisoivat kokoonpanot ovat tuotantomäärien suhteen samalla tasolla. Robotisoidun valmistuksen korostaminen huippuluokan tuotteiksi profiloituneissa sahalinjoissa lisää oletettavasti tuotteen houkuttelevuutta ja parantaa yrityksen kuvaa automaation osaajana.

Perustuen työni tuloksiin mielestäni lohko 1:n hitsaus sopii robotisoitavaksi. Nykyisellä tuotteen kysynnällä menee noin 2 - 3 vuotta ennen kuin kiinnitin maksaa itsensä takaisin ja robottihitsauksesta tulee taloudellisesti kannattavaa, mutta suunniteltu moduuleista kasattu säädettävillä vasteilla oleva kiinnitin mukautuu pienellä vaivalla tuotteen rakenteen mahdollisten muutoksien mukaan. Lisäksi näen paljon mahdollisuuksia kiinnittimen yleisosien pohjalle valmistettaville kiinnitinratkaisuille. Yksinkertaiseen kiinnittimeen sitoutuva muutaman sadan euron lisäpanostus ei varmasti ole esteenä tuotteen robotisoidulle hitsaukselle.

Jatkotoimina voisi olla tarpeen selvittää levynoikaisun mahdollisuuksia tai selvittää, onko mahdollista saada parempilaatuisia levyleikkeitä. Parempilaatuisilla levyillä kiinnitinratkaisu tulisi edullisemmaksi ja tuotanto toimisi tehokkaammin. Vaikka tuotetta ei päätettäisikään robottihitsata, rakenteeseen tehdyt muutosehdotukset tekevät oletettavasti käsihitsauksestaakin tuottavampaa parempien liitosmuotojen ja yksinkertaisemman rakenteen ansiosta. Jatkossa RobotStudion solumalliin olisi syytä lisätä langansyöttölaitteiston 3D-malli, jotta robotin tilantarve tulisi nopeammin ja tarkemmin simuloidua.

6 YHTEENVETO

Robotisoitu hitsaus vahvistaa asemaansa konepajoissa tekniikan kehittymisen ja robottien hintojen alenemisen myötä. Kaikkia hitsejä ei todennäköisesti ainakaan lähitulevaisuudessa tulla hitsaamaan robotilla, vaan käsinhitsaukselle on vielä tarvetta. Oleellista on siirtää oikeat tuotteen robotille hitsattavaksi ja kohdistaa ammattihitsaajien työpanos vaativiin kohteisiin. Robotilla hitsattavien tuotteiden valinnassa ja suunnittelussa on tärkeää ymmärtää robotin rajoitteet ja vahvuudet.

Tässä opinnäytetyössä arvioitiin Veisto Oy:n R200 A.1 sahakoneen rungon 1. lohkon soveltumista robotisoituun hitsaukseen. Tarve arvioinnille ilmeni, kun putkipalkista rakennettu runko korvataan levyrakenteisella kolmesta erillisestä lohkoista koostuvalla kokonaisuudella, jolloin runkolohkon robottihitsaus vaikutti mahdolliselta. Robotisoidulla hitsauksella haetaan ensisijaisesti parempia työskentelyoloja hitsaamoon, kuorman tasoittumista hitsaamossa ja yrityksen kuvan ylläpitoa automaation huippuosaajana. Teoriaosuudessa pohjustettiin case-osuudessa käsiteltäviä asioita. Huomiota kiinnitetään erityisesti tuotteen robottihitsattavuutta edesauttaviin tekijöihin, kiinnitinsuunnitteluun, simulointiin ja kustannuslaskentaan. Hitsausrobotin ulottuma runkolohkon hitseihin mallinnettiin Robot-Studio-simulointiohjelmistolla. Tuotteen prototyyppiversion valmistusta seurattiin ja selvitettiin tuotteen valmistuksessa esiintyvien ongelmien syitä. Ulottumatarkastelun ja robottihitsattavuutta parantavien kehitysideoiden perusteella mallinnettiin uusi runkolohko ja tälle runkolohkolle kiinnitinkorjaus robottihitsausta varten.

Työssä esitettiin muutosten ja kiinnitinkorjauksen kustannusarviot ja verrattiin niitä tämän hetkisen kokoonpanon valmistuskustannuksiin. Seuraavassa luettelossa esitetään työstä saadut oleellimmat tulokset:

- runkolohkon uudelleensuunnittelun myötä hitsien kokonaispituus väheni lähes 7 %
- uudelleensuunnittelun myötä 85 % hitseistä on robottihitsattavia niin, että railonseurantaa voidaan käyttää ja railotilavuudet ovat hallittavissa
- robotille haastavat pienet v-railohitsit poistettiin rakenteesta
- hitsauskustannukset alenivat 39 %
- tuotteen valmistuksen kokonaiskustannukset ilman kiinnitinkustannuksia alenivat 8 %
- robottihitsaus on taloudellisesti kannattavaa 6 valmistetun tuotteen jälkeen.

Edellä esitettyjen tulosten lisäksi tuotteen robottihitsauksen havaittiin olevan kannattavaa myös työkuorman tasoittamiseksi ja työturvallisuuden parantamiseksi. Työn tulosten perusteella päädyttiin suosittelemaan runkolohkon robotisoitua hitsausta ja kiinnitinjärjestelmän valmistamista. Jos ehdotetut muutokset ja kiinnitinkorjaus hyväksytään ja tulokset tuotannossa ovat hyviä, käytettyjä ratkaisuja sovelletaan mahdollisesti yrityksen muihinkin vastaaviin tuotteisiin.

LÄHTEET

- ABB 2010. Weldguide III. [verkkoaineisto] [Viitattu 2018-03-30.] Saatavissa: <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105152A5218&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB 2015. Weldguide IV. [verkkajulkaisu] [Viitattu 2018-03-30.] Saatavissa: https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0163EN_B&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
- ALONEN, Antti, JÄÄSKELÄINEN, Esa, NISSINEN, Juha, PIRINEN, Markku, SOLEHMAINEN, Kari, TOIVANEN, Jenni ja TUUNAINEN, Aku 2014. HITNET — Hitsaavan teollisuuden hankintatoimen ja toimitusketjun tehostaminen. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja D4/4/2014. [Viitattu 2018-03-30.] Saatavissa: http://portal.savonia.fi/amk/sites/default/files/pdf/tki_ja_palvelut/julkaisut/2014-hitnet-loppuraportti.pdf
- HILTUNEN, Esa 2009. Robottihitsaus Essenissä. Hitsaustekniikka-lehti 6/2009. Saatavissa: http://www.shy-hitsaus.net/portals/shy/iBooklet/2009/ht_6_09/index.html#/32/
- HILTUNEN, Esa 2011 a. Materiaalin valinta ja vaikutus robottihitsauksessa. Luentomateriaali. Robottihitsauksen asiantuntijakoulutus, kurssi 5. Lappeenranta.
- HILTUNEN, Esa 2011 b. Robottihitsattavan tuotteen suunnittelussa huomioonotettavia tekijöitä. Luentomateriaali. Robottihitsauksen asiantuntijakoulutus, kurssi 5. Lappeenranta.
- JÄÄSKELÄINEN, Esa 2017 a. Hitsauksen mekanisointi ja automatisoinnin periaatteet ja vaatimukset. [Verkkoaineisto]. Sijainti: Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun Moodle [verkko-oppimisympäristö]. Hitsausautomaatio-kurssi.
- JÄÄSKELÄINEN, Esa 2017 b. MigMag-hitsaus robotilla ja etäohjelmointi. [Verkkoaineisto]. Sijainti: Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun Moodle [verkko-oppimisympäristö]. Hitsausautomaatio-kurssi.
- JÄÄSKELÄINEN, Esa, SOLEHMAINEN, Kari, TUUNAINEN, Aku ja RÄSÄNEN, Miika 2016. Hitsauskiinnitin vai joustava hitsauskiinnitin. Hitsauksen laadunhallinta ja kiinnitintekniikka (HiKi) -projektin loppuraportti. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja D4/4/2016. [Viitattu 2018-03-30.] Saatavissa: https://portal.savonia.fi/amk/sites/default/files/pdf/tki_ja_palvelut/julkaisut/hikiraportti.pdf
- JÄÄSKELÄINEN, Esa, SOLEHMAINEN, Kari, TUUNAINEN, Aku 2010. Uudet innovaatiot hitsausautomaatiossa. HitSavonia II hankkeen loppuraportti. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja D4/15/2010. 1. painos. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. [Viitattu 2018-03-30.] Saatavissa: http://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/_tki-ja-palvelut/julkaisutoiminta/pdf/hit2netversio.pdf
- KARA, Jouko JA RAJAMÄKI, Pekka 1983. Hitsauksen mekanisointi ja automatisointi. Tekninen tiedotus 4:1983. Metalliteollisuuden kustannus Oy.

KUIVANEN, Risto, VIITANIEMI, Juhani, LEINO, Kalervo ja RUUHILEHTO, Kaarin 1995. Tavoitteena turvallinen ja toimiva hitsausrobottijärjestelmä. HITSAUSPAJA-projektin loppuraportti. VTT tiedotteita. Espoo: VTT

LEINO, Kalervo ja MEURONEN, Ismo 1987. Hitsauskiinnittimen suunnittelu. Tekninen tiedotus 15:1987. Metalliteollisuuden kustannus Oy.

LEMPIÄINEN, Juhani ja SAVOLAINEN, Jari 2003. Hyvin suunniteltu- puoliksi valmistettu. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys Ry.

LEPOLA, Pertti ja MAKKONEN, Matti 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY.

LUKKARI, Juha 2011. Hitsaustalous ja tuottavuus. Hitsaustekniikka-lehti 3/2011. [Viitattu 2018-04-09.] Saatavissa: http://www.shy-hitsaus.net/Portals/shy/dokumentit/HT-3-11%20hitsaustalous_201108101.pdf

PIIRONEN, Tomi 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen. Onnistuneen suunnittelun periaatteita – DFMA. Hitsaavan teollisuuden hankintatoimen ja toimitusketjun tehostaminen – HitNet. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja D4/2/2013. [Viitattu 2018-03-30.] Saatavissa: <http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf>

SALKINOJA, Heikki 2010. Hitsauksen automatisoinnin ja mekanisoinnin tason optimointi. Hitsaustekniikka-lehti 2/2010. Saatavissa: http://www.shy-hitsaus.net/portals/shy/iBooklet/2010/ht_2_10/files/assets/basic-html/page12.html

SALMI, Timo 2017. Luentomateriaali. Miten saamme tehot irti roboteista? Modernin robottiteknikan mahdollisuudet tuotannossa –työpaja. [Viitattu 2018-03-29.] Saatavissa: http://www.vtt.fi/img/Palvelut/palvelut-pk-yrityksille/pk-projektil%C3%A4hd%C3%B6t/modernin-robottiteknikan-mahdollisuudet-tuotannossa/SMACC-seminaari-2017-04-04-Salmi-Tehot_roboteista-V1.pdf

SFS-EN ISO 9013:2017. Terminen leikkaus. Termisesti leikattujen pintojen luokittelu. Geometrinen tuotemääritys ja laatutoleranssit. Vahvistettu 2017-02-24. [Viitattu 2018-03-30.] 3. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Saatavissa: www.sfs.fi

SFS-EN 1993-1-8:2005. EUROCODE 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Vahvistettu 2005-08-15. [Viitattu 2018-04-09.] 3. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Saatavissa: www.sfs.fi

SUOMEN VIRALLINEN TILASTO (SVT) 2018. Teollisuuden liikevaihtokuvaaja. [Verkkajulkaisu] ISSN=1798-5943. joulukuu 2017. Helsinki: Tilastokeskus. [Viitattu: 30.3.2018.] Saatavissa: http://www.stat.fi/til/tlv/2017/12/tlv_2017_12_2018-03-15_tie_001_fi.html

STENBACKA, Nils 2011. Hitsaustalous ja tuottavuus. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys.
Alkuperäisteos 2009. Ruotsi

UBS 2016. Extreme automation and connectivity: The global, regional, and investment implications of the Fourth Industrial Revolution. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 2018-03-30.] Saatavissa: https://www.static-ubs.com/global/en/about_ubs/follow_ubs/highlights/davos-2016/_jcr_content/par/columncontrol/col1/actionbutton.1562449048.file/bGluay9wYXRoPS9jb250ZW50L2RhbmS91YnMvZ2xvYmFsL2Fib3V0X3Vicy9mb2xsb3ctdWJzL3dlZi13aGl0ZS1wYXBldi0yMDE2LnBkZg==/wef-white-paper-2016.pdf

VEISTO OY 2017. HewSaw yleisesite 2017. [Viitattu 2018-03-27.] Saatavissa: http://www.hewsaw.com/images/news/HewSaw_Yleisesite_2017.pdf

VEISTO OY 2018 a. [Verkkosivu]. [Viitattu 2018-03-27.] Saatavissa: <http://www.hewsaw.com/fi/>

VEISTO OY 2018 b. Historia. [Verkkosivu]. [Viitattu 2018-03-27.] Saatavissa: <http://www.hewsaw.com/fi/yritys/historia>

VEISTO OY 2018 c. HewSaw R200 A.1. [Verkkosivu]. [Viitattu 2018-03-27.] Saatavissa: <http://www.hewsaw.com/fi/tuotteet/hewsaw-r200-a-1>