

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Konetekniikan koulutus

Mikko Martikainen

IRTOTAVARAKAHMARIN RUNGON SUUNNITTELU
ROBOTTIHITSATTAVAKSI

Opinnäytetyö
Marraskuu 2019



OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2019
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Mikko Martikainen

Nimeke
Irtotavarakahmarin rungon suunnittelu robottihitsattavaksi

Toimeksiantaja
Mantsinen Group Ltd Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tutkia käsin hitsatun satamanosturin kahmarin rungon robotisointia ja valmistettavuutta hitsauksen osalta. Työn tavoitteena oli kehittää havaittuihin ongelmiin ratkaisut ja lopuksi verrata kehitetyn version valmistuskustannuksia alkuperäiseen.

Ennen työn varsinaista toteutusta raportin alussa olevaa teoriaosuutta varten koostettiin tietoa valmistusystävällisyyden perusteista hitsatuissa rakenteissa. Tietoa hankittiin alan kirjallisuuden ja yritysvierailujen avulla. Työn käytännön osuudessa on selvitetty alkuperäisen rungon ongelmia robotisoinnin kannalta ja raportoitu niihin liittyvistä ratkaisuvaihtoehdoista. Luonnosten pohjalta uudesta rungosta piirrettiin valmistuskuvat kustannusten selvittämiseksi.

Työssä onnistuttiin vähentämään nimikkeiden, osien ja levynvahvuuksien määrää. Rakennemuutosten avulla onnistuttiin poistamaan sisäpuolisia hitsejä ja yhtenäistämään hitsien muotoja ja tyyppisiä. Rungosta tunnistettiin myös robotisoinnin kannalta yleisesti ongelmallisia kohtia ja niihin löydettiin erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja.

Kieli
suomi

Sivuja 45
Liitteet 4
Liitesivumäärä 4

Asiasanat
vakioita, robottihitsaus, teräsrakenne, valmistusystävällisyys



THESIS
November 2019
Degree Programme of Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Mikko Martikainen

Title
Designing the Clamshell Bucket Frame for Robotic Welding
Commissioned by
Mantsinen Group Ltd Oy

Abstract

This thesis examined the robotization and manufacturability of the clamshell bucket frame of a hand-welded quay crane in terms of welding. The goal was to develop solutions to the perceived problems and then compare the manufacturing costs between the developed version and the original.

Prior to starting the actual thesis, information regarding the basics of production-friendliness in welded structures was compiled to the theoretical section at the beginning of the report. The information was gathered through industrial visits and literature related to the field. The practical section of the thesis determined the problems of robotization in the original frame and reported options to solve them. Manufacturing illustrations of the new frame were drawn based on drafts to determine the expenses.

The thesis succeeded in reducing the number of headings and components as well as plate thickness. The structural changes helped to remove internal welds and unify different forms and types of welding. Furthermore, commonly problematic parts for robotization were identified in the frame, and different options to solve them were found.

Language

Finnish

Pages 45

Appendices 4

Pages of Appendices 4

Keywords

standardize, robot welding, steel structure, manufacturability

Sisältö

1	Johdanto.....	5
1.1	Toimeksiantaja.....	6
1.2	Opinnäytetyö.....	7
2	MAG-hitsaus.....	8
2.1	Hitsausasennot.....	8
2.2	Hitsausasennon merkitys kustannuksiin.....	9
2.3	Toleranssien merkitys hitsauksen tuottavuuteen.....	10
2.4	Yhteistyö tuotannon kanssa.....	12
2.5	Hitsattavuus.....	13
2.6	Railojen luoksepäästävyys.....	14
3	DFX-menetelmä.....	16
3.1	DFM.....	16
3.2	DFA.....	17
3.3	DFMA.....	18
3.4	DFWA.....	19
3.5	Modulointi ja standardointi.....	20
4	Rungon ongelmien selvitys robotisoinnin kannalta.....	21
4.1	Lähtötilanne.....	23
4.2	Ongelman määrittely.....	25
5	Ratkaisut havaittuihin ongelmiin.....	26
5.1	Rungon keskiosan ongelmat robottihitsauksen kannalta.....	26
5.1.1	Kotelomainen rakenne.....	27
5.1.2	Turvokelevyt hitsausviisteiden päällä.....	28
5.1.3	Rungon sisäpuoleiset hitsisaumat.....	28
5.1.4	Nostokorvakot hitsausviisteiden päällä.....	30
5.2	Päätylevyissä olevat holkit.....	31
5.3	Muuttuvatilavuuksiset viisteet pikakiinnittimen putkissa.....	32
5.4	Toistettavuus ja osien paikoitus.....	34
5.5	Nimikkeiden ja levyjen yhtenäistäminen.....	36
5.6	Hitsisaumatyyppien yhtenäistäminen.....	37
5.7	Vaaputustila.....	38
6	Analyysi.....	39
6.1	Alihankkijoilta kerätty palaute.....	39
6.2	Kehitetyn rungon valmistuskustannukset.....	40
7	Pohdinta.....	41
8	Lähteet.....	44

Liitteet

Liite 1	Hitsisaumojen numerointi lähtötilanteessa
Liite 2	Hitsisaumojen numerointi kehitetyssä versiossa
Liite 3	Hitsin määrä lähtötilanteessa
Liite 4	Hitsin määrä kehitetyssä versiossa

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella irtotavarakahmarin runko robottihitsattavaksi. Tavoitteena oli selvittää manuaalisesti hitsatun tuotteen ongelmia robotisoinnin kannalta ja ratkaista ne suunnittelemalla tuote robottihitsaukselle ystävälliseksi. Tuotteen hitsaus suoritetaan manuaalisesti MAG-hitsaamalla ja näin ollen sen soveltuvuus automatisoituun hitsaukseen ei ollut optimaalinen. Läheskään kaikkien hitsattujen rakenteiden suunnittelussa ei ole otettu huomioon robottihitsausta, sillä niiden hitsaaminen on toteutettu aina käsin.

Professori Martikaisen (n.d.) mukaan hitsauksen automatisoinnista ja robotisoinnista on muodostunut Suomen teollisuudessa tärkeä valtti yritysten kilpailukyvyyn ylläpidossa. Pohjoismaiseen tapaan työvoima ei ole halpaa nyt eikä tulevaisuudessa. Yritysten pitää siis löytää muita tapoja parantaa omaa kilpailukykyään, sillä kilpailu ulkomailta koveenee jatkuvasti suomalaisten yritysten siirtäessä manuaalista hitsausta alihankintaan halvemman työvoiman maihin. (Martikainen n.d.)

Hitsausrobottien määrä on kasvanut 2000-luvulla noin 1500 robottiin. Niiden merkitys tuottavuuteen on merkittävä, sillä yhden robottikäden on laskettu tekevän kolmen hitsaajan työt. Muita syitä automatisoituun hitsaukseen on miehittämättömänä tehtävä työ, jonka avulla hitsaajia voidaan siirtää vaativampiin työtehtäviin, joiden automatisointi ei ole kannattavaa. Lisäksi automatisoitu hitsaus tasaa laatua ja hankintapäätöstä voi siivittää myös imagotekijät. (Hiltunen 2019.)

Suunnittelutyön onnistumisella ja valmistettavuuden huomioonottamisella on suuri merkitys tuotteen lopullisiin kustannuksiin. Asikaisen (2016) mukaan jopa 70 % tuotteen kustannuksista syntyy tuotteen suunnitteluvaiheessa ennen varsinaista hankintapäätöstä. (Asikainen 2016.) Automatisoinnille ominaiset piirteet täytyy ottaa huomioon tuotesuunnittelussa, sillä robotit eivät ylety hitsaamaan läheskään samoihin paikkoihin mitä ihminen. Toisaalta helposti automatisoitavaksi suunniteltu tuote on mielekäs hitsata käsin, joten hitsatun rakenteen suunnittelu automatisointia silmällä pitäen sujuvoittaa myös manuaalista hitsaamista.

1.1 Toimeksiantaja

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Mantsinen Group Ltd Oy. Se on suomalainen Liperissä perustettu perheyritys, jonka toiminta on maailmanlaajuista. Yrityksen liikevaihto on n. 76 miljoonaa euroa ja se työllistää yli 550 henkilöä. Yritys valmistaa Ylämyllyllä hydraulisia nostureita erityisesti satamien sekä puunjalostus- ja terästeollisuuden tarpeisiin. Yhtiön liiketoimintayksiköt ovat materiaalinkäsittelykoneet ja logistiikkapalvelut. Materiaalinkäsittelykoneiden valmistuksesta se saa yli puolet liikevaihdostaan, joita myydään yli 50 maahan. Logistiikkapalveluja yritys myy erityisesti puunjalostusteollisuudelle niin Suomessa kuin ulkomailla. (Mantsinen Group Ltd Oy 2019a.)

Yritys perustettiin vuonna 1963 ja se aloitti liiketoimintansa polttopuun ja tukkien kuljetuksella metsäyhtiöille ja muille asiakkaille. Mantsinen solmi vuonna 1974 Uimaharjun tehtaan kanssa sopimuksen tuontipuun käsittelystä ja samana vuonna se sai nykyisen nimensä. Seuraavat kaksi vuosikymmentä yritys kasvoi reippaalla tahdilla laajentamalla logistiikkapalvelujaan niin Suomessa kuin ulkomailla Venäjällä ja Baltiassa. Tällä ajanjaksolla aloitettiin myös lisälaitteiden kuten puutavarakahmareiden kehitys ja materiaalinkäsittelykoneiden muokkaus omien tarpeiden mukaiseksi. Vuonna 1998 Mantsinen aloitti omien satamanostureiden valmistuksen ja vuotta myöhemmin Ylämyllylle valmistui uudet tuotantotilat, jossa satamanostureiden sarjatuotantoa jatkettiin. (Mantsinen Group Ltd Oy 2019a.)

2000-luvulla Mantsinen on laajentanut niin tuotantotilojaan Ylämyllyllä kuin jälleenmyyjäverkostoaan maailmalla. Se julkaisi vuonna 2008 HybriLift®-innovaation koneidensa energiatehokkuuden parantamiseksi. Yritys on lisäksi lanseerannut uusia konemalleja kokoluokassa 60-300 tonnia. Näistä merkittävimpiä koneita ovat maailman suurin hydraulinen nosturi Mantsinen 300 ja maailman suurin pyöräalustainen satamanosturi Mantsinen 200. (Mantsinen Group Ltd Oy 2019b.)

Yrityksen valttina omien nostureiden kehityksessä on rautainen vuosikymmenien kokemus materiaalinkäsittelystä ja innovaatio hydraulisesta, taloudellisesta, tarkasta ja nopeasta nosturista vaijerikäyttöisen korvaamiseksi. Koneiden suunnittelussa on myös

huomioitu hyvä näkyvyys ohjaamosta työskentelyalueelle ja koneiden räätälöinti asiakkaan toiveiden mukaan. Koneiden tarkoituksena on siis käsitellä ketterästi ja nopeasti irtotavaraa, ei niinkään nostaa mahdollisimman raskaita taakkoja. (Heiskanen 2018.)

1.2 Opinnäytetyö

Tässä opinnäytetyössä kehitettävä tuote on irtotavarakahmarin runko (kuva 1). Sen hitsaus on toteutettu manuaalisesti hitsaamalla alihankkijan toimesta. Hitsausrobottien yleistymisen ja tavoite laskea tuotteen valmistuskustannuksia loi aiheen opinnäytetyölle. Työn tarkoituksena oli selvittää rungon hitsauksen robotisointiin liittyvät ongelmat ja ratkaista ne. Työhön ei sisällynyt kehitetyn rungon lujuuslaskentaa.

Rungon tehtävä on yhdistää irtotavarakahmarin kauhan puoliskot toisiinsa. Rungon sivuille kiinnittyvät myös hydraulisylinterit, joiden tehtävä on sulkea ja avata kahmarin kauhat. Rakenteen yläosa varustetaan pikakiinnittimellä tai rotaattorilla, josta se kiinnittyy materiaalinkäsittelykoneeseen. Rungot ovat erilaisia kaksi- ja nelisylinterisissä malleissa. Tässä työssä käsiteltävä malli on kaksisylinterisen mallin runko pikakiinnittimellä.



Kuva 1. Irtotavarakahmarin runko.

2 MAG-hitsaus

MAG-hitsaus (Metal Active Gas welding) on prosessi, jossa virtalähteellä tuotettu valo-kaari palaa hitsauspistoolista tulevan hitsauslangan ja hitsattavan kappaleen välillä muodostaen hitsisulan. Laitteistoon kuuluva langansyöttölaite syöttää hitsauslankaa automaattisesti sulaan. Hitsauksen aikana pistoolista virtaa suojakaasua estämään ilman pääsy hitsattavaan kohtaan, sillä ilmalta suojattu valo-kaari ja hitsisula ovat ehtoja onnistuneelle lopputulokselle. Tästä syystä prosessin käyttö on keskittynyt tuulelta ja vedolta suojattuihin olosuhteisiin. (Kemppi Oy.)

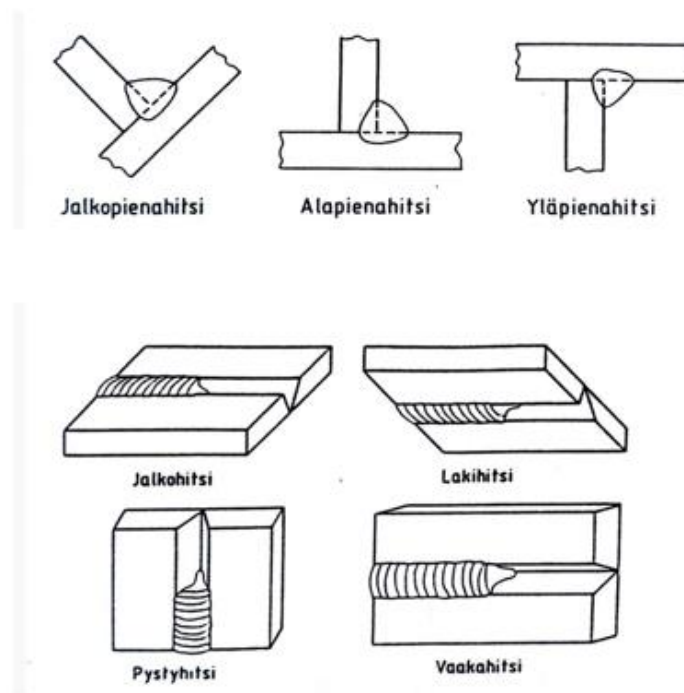
Pääsääntöisesti MAG-hitsausta käytetään rautametallien hitsauksessa aina pienteollisuudesta raskaaseen teollisuuteen. Prosessi on lisäainelangan kulutuksen perusteella jo useimmissa maissa käytetyin hitsausprosessi. Syitä kasvaneeseen suosioon on automaattinen hitsauslangan tuonti hitsisulaan, prosessin automatisoinnin helppous ja edullinen lisäaine, josta syntyy kuonaton ja siisti hitsiliitos. Laajat parametrien säätömahdollisuudet ovat myös prosessin merkittävä etu. Edellä mainitut seikat selittävät myös sen, miksi se on robotisoiduin hitsausprosessi. (Esab Oy.)

2.1 Hitsausasennot

Hitsausasennolla on suuri merkitys tuotteen valmistettavuuteen. Sillä voidaan vaikuttaa hitsisulan hallittavuuteen ja vaikeimmat asennot estävätkin tehokkaiden hitsausparametrien käytön. Tämä lisää tuotteen valmistuskustannuksia ja verottaa valmistusystävällisyyttä.

Kuvassa 2 on esitetty tyypillisimmät hitsausasennot ja siitä selviää jalkoasennon ero muun tyyppisiin hitsauksiin nähden. Tuotetta suunnitellessa kannattaa aina pyrkiä sellaisiin liitoksiin, joiden hitsaus voidaan suorittaa jalkoasennossa. Se on ylivoimaisesti tuottavin hitsausasento. Sula on vakaa ja sen käyttäytyminen on helposti hallittavissa, sillä se ei lähde vyörymään herkästi. Vaakahitsi ja lakihitsi taas ovat haastavampia ja hitaampia hitsata jalkoasentoon verrattuna, sillä sula pyrkii valumaan maan vetovoiman

suuntaan. Tämä pulma rajoittaa hitsausvirran käyttöä ja altistaa sulan herkemäksi parametrien muutoksille. (Niemi & Kemppi 1993, 15.)

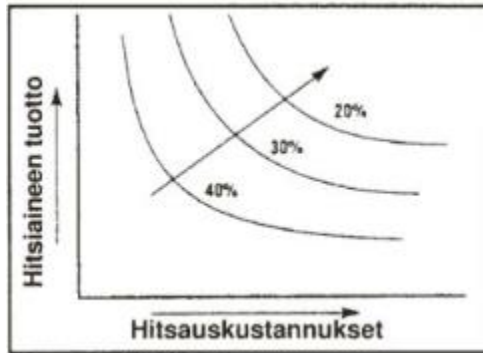


Kuva 2. Yleisimmät hitsausasennot (Niemi & Kemppi 1993, 15).

2.2 Hitsausasennon merkitys kustannuksiin

Kuviosta 1 nähdään, että hitsauskustannuksiin eniten vaikuttavat asiat ovat paloaikasuhte ja lisääineen tuotto. Paloaikasuhte tarkoittaa valokaaren palamisajan suhdetta kokonaisaikaan, joka ilmoitetaan prosenteissa. Lisääineen tuotto tarkoittaa sulatetun lisääineen määrää kaariaikatuntia kohden. Mitä korkeampia nämä arvot ovat, sen kustannustehokkaampaa hitsaustyö on. (TWI-työryhmä 2010, 5.)

Hitsausvirran nosto lisää lisääineen kulutusta ja kasvattaa polttimen kuljetusnopeutta. Tästä seuraa mahdollisen hitsausasennon rajoittuminen jalkoasentoon tai alapienasentoon. Nämä ovat hitsausasentoja, joihin pitäisi pyrkiä ottamalla asia huomioon ensisijaisesti tuotteen liitoksia suunnitellessa tai tuotannossa kappaleen käsittelylaitteiden avulla. (TWI:n työryhmä, 2010, 9.)

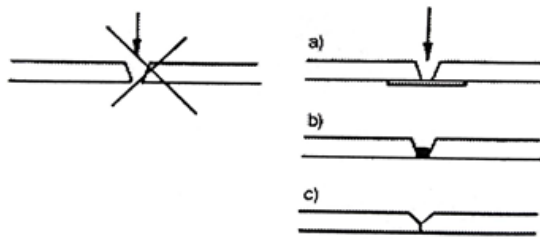


Kuvio 1. Hitsiainen tuoton vaikutus hitsauskustannuksiin eri paloaikasuhteilla (TWI-työryhmä 2010, 5).

2.3 Toleranssien merkitys hitsauksen tuottavuuteen

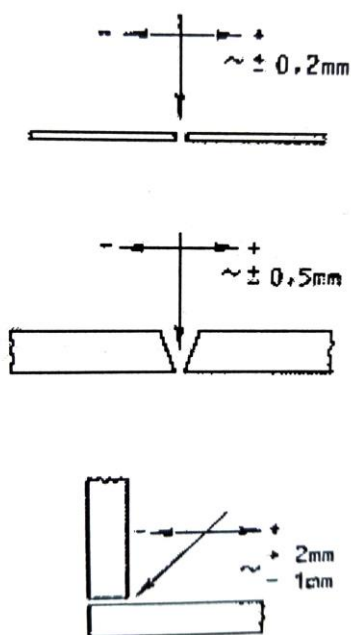
Vaikka lisäaineen tuotto voidaan nostaa korkeaksi, on syytä pohtia myös railojen kokoon ja muotoon vaikuttavien toleranssien merkitystä railon todelliseen kokoon. Ylärajoilla olevat toleranssit voivat aiheuttaa ei-toivottua railon kasvua, joka aiheuttaa ilma-araollaan läpipalamisvaaran ja kasvaneella tilavuudella turhaa hitsaamista. Oikein tehdyn suunnittelun avulla voidaan pienentää toleransseja ja saada korkean lisäainetuoton potentiaali käyttöön. (TWI:n työryhmä, 2010, 9.)

Peukalosääntönä robottihitsattavan tuotteen toleransseissa on, että ne tiukentuvat, kun tuote hitsataan robotilla manuaalihitsauksen sijaan (Räsänen 2015, 8). Ilmaraot eivät ole sallittuja, sillä robotin näppäryys ei riitä ilmarakojen umpeen hitsaamiseen (kuva 3). Räsänen mukaan ongelmien välttämiseksi tuotteita ei tulisi laittaa robotille hitsattavaksi vaan tuotteet tulisi suunnitella robottihitsattavaksi ja vasta sen jälkeen laittaa robotille hitsattavaksi. Suunnittelijan tulisi pitää myös mielessä, mihin tarkkuuksiin päästään oikeasti ja miten epätarkkuuksien aiheuttamia liitoskohtien muutoksia pystytään hallitsemaan. (Räsänen 2015, 3.)



Kuva 3. Robottihitsauksessa käytettävät juurituet. Vasen: Ei robotisoitava tilanne. a) Kiinteä juurituki. b) Pohjapalkojen hitsaus käsin. c) Osatunkeumahitsi liitokseen, jossa ei lämpilamisvaatimusta (Lempiäinen & Savolainen 2003, 86).

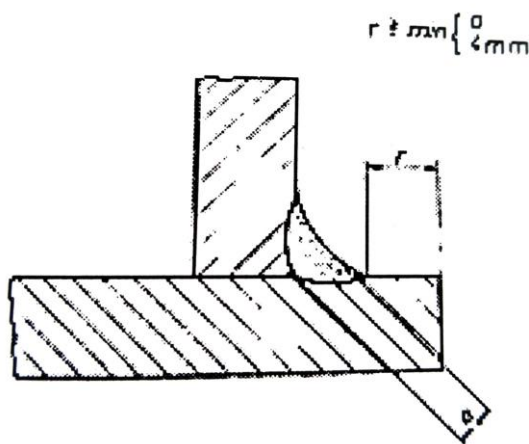
Sopivan valmistusmenetelmän valinnalla voidaan vaikuttaa vaadittaviin toleransseihin. MIG/MAG-hitsaus asettuu hiukan eri hitsausmenetelmien toleranssivaatimusten keskiarvon yläpuolelle. Nyrkkisääntönä tämän hitsausprosessin tarkkuusvaatimuksena pidetään $\pm 0,5 \cdot$ hitsauslangan halkaisija. Tämä arvo koskee sovitustarkinta päittäisliitosta, jonka käyttöä olisi syytä välttää robottihitsauksessa. Kun puhutaan pienaliitoksesta, tarkkuus väljenee jo sivusuunnassa 2 mm ja pystysuunnassa 1 mm (kuva 4). Vaaputuksen käyttö robottihitsauksessa höllentää vaatimuksia edelleen. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 86.)



Kuva 4. Tarkkuusvaatimukset liitostyypeittäin. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 86).

Yllä lueteltujen tarkkuusvaatimusten perusteella on selvää, että robotisoinnin kannalta paras liitostyyppi on aina pienaliitos. Sen etuna on liitoksen muodostama juurituki, sillä tavanomaisessa pienassa ei vaadita hitsin tunkeumaa perusaineen läpi. Pienaliitosten asemointi on myös helppoa ja railon tarkkuusvaatimus on väljä päittäisliitokseen nähden. Viistettyihin railoihin verrattuna pienaliitoksen railon tilavuus on avoimen geometrian takia helposti hallittavissa. Tästä seuraa, että a-mitan pienet vaihtelut eivät erotu selvästi, vaikka levyjen väliin olisi jäänyt silloituksessa pieni rako. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 86–87.)

Pienahitsien sijoituksessa levyjen reunoille on tärkeää muistaa jättää tilaa hitsisaumalle, jotta se mahtuu helposti liitokseen valumatta (kuva 5). Yli tulevalla levyn reunalla on myös tarkoitus mahdollistaa vaaputukseen perustuva railonseuranta ja hävittää näkyvistä toleranssin sallimat osien kokoonpanossa syntyneet epätarkkuudet. Minimissään levyn pitäisi tulla liitoksen yli pienan kyljen verran ja siitä vielä 3–4 mm yli. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 87.)



Kuva 5. Vaaputustila pienalle (Lempiäinen & Savolainen 2003, 87).

2.4 Yhteistyö tuotannon kanssa

Suunnittelijan pitää ymmärtää tarkasti ja realistisesti, mitä osavalmistus kykenee valmistamaan ja millaiset laitteet heillä on. Eri menetelmien ja laitteiden mahdollisuudet sekä haasteet pitää ottaa huomioon niin rakennetta suunnitellessa kuin osien valmistusmenetelmää päättäessä. Kokoonpanohitsausta suorittava robotti pitää myös tuntea, sillä

esimerkiksi robottiin liitetty erityyppinen kappaleenkäsittelylaite vaikuttaa merkittävästi, kuinka hyvin jalkoasento on hyödynnettävissä. Asian merkitys korostuu, kun siirrytään käyttämään tiukempia toleransseja. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 85.)

Suunnittelijan täytyy myös ymmärtää kokoonpanohitsausta suorittavan robotin railonhakumenetelmä ja railonseuranta, sillä ne muodostavat rajoitteita ja mahdollisuuksia valmistukseen ja sitä kautta tuotteen suunnitteluun. Lisäksi suunnittelijan pitää tietää robotin ulottuvuus, kapasiteetti, pyörähdyshalkaisija ja vapausasteet, jotta kappaleen valmistettavuus saadaan mahdollisimman hyväksi. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 85.)

2.5 Hitsattavuus

Parasta hitsisaumaa on hitsi, jota ei ole olemassa. Nyrkkisääntönä on, että hitsisauma on kalleinta metallia teräsrakenteessa. Ne ovat myös rakenteen heikkoja kohtia, sillä hitsit muodostavat rakenteeseen epäjatkuvuuksia ja voivat sisältää hankalasti havaittavia sisäisiä virheitä. Prosessin lämmöntuonti aiheuttaa kappaleeseen vääntelyitä ja lujuusominaisuuksien heikentymistä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 85.)

Hitsisaumoja voidaan poistaa esimerkiksi suosimalla levyn kanttaamista hitsiliitoksen sijaan. Vahvikeripoja ja tukirakenteita taas voidaan poistaa joko kasvattamalla perusaiheen paksuutta tai kanttaamalla levyä jäykemmäksi. Tämä vähentää osien määrää, joka vie tuotetta paremman valmistettavuuden suuntaan tekemällä siitä yksinkertaisemman. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 85.)

Hyvin hitsattavan rakenteen tyypillinen piirre on esteetön pääsy hitsattavaan kohtaan (Niemi & Kemppe 1993, 283). Avoin tila hitsiliitosten luona helpottaa niin automatisoitua kuin manuaalista hitsausta ja tekee hitsien viimeistelystä helpompaa. Lähtökohtaisesti on pyrittävä suunnittelemaan rakenne, joka voidaan koota kokonaan ennen hitsausta. Näin saadaan selkeästi valmistettava tuote, jossa jokainen työvaihe pysyy omanaan. Tyypillinen työjärjestys hitsattujen rakenteiden tekoon on: silloitus, hitsaus, varuste-
luosien lisäys, viimeistely ja tarkastus.

Osien silloitus hitsaustyön aikana hankaloittaa aina työn sujumista. Esimerkiksi robottihitsattavassa tuotteessa ohjelma joudutaan keskeyttämään osien lisäämisen ajaksi. Lisäksi lämmön aiheuttamien vääntelyiden jälkeen osien sovitus ei ole enää yhtä helppoa kuin silloitusvaiheessa ja osia voi joutua hiomaan, jotta ne kävisivät hitsisaumojen ja muuttuneiden mittojen kanssa yhteen (Niemi & Kemppi 1993, 15). Tästä voi päätellä, että ensin kokonaan silloitetun ja sen jälkeen hitsatun kappaleen mitat ovat huomattavasti tarkempia verrattuna kappaleeseen, johon on lisätty jäykkyyden kannalta tärkeitä osia kesken hitsauksen.

Toki tuotteen valmistus on aina tapauskohtaista ja riippuu sen ominaispiirteistä. Esimerkiksi valmistuksellisessa mielessä liian suuret kappaleet on jaettava erillisiin hitsauskokoontaihin, jotka yhdistetään lopuksi. Toinen syy poiketa kokonaan silloituksesta ennen hitsaamista on pitkäkestoisen ahtaiden koteloiden sisällä tapahtuvan työn välttäminen. Näissä tapauksissa lopullinen tuote jaetaan pienempiin lohkoihin tai kesken silloituksen valmiiksi hitsattaviin alueisiin, jonka jälkeen niistä tehdään joko lopullinen rakenne tai kokonaan hitsattavaksi silloitettu kappale. Lohkojen yhdistämisvaiheen suunnittelussa on tärkeää pyrkiä ratkaisuihin, jotka minimoivat asentohitsaukset. (Niemi & Kemppi 1993, 284.)

2.6 Raitojen luoksepäästävyys

Robottihitsauksen perimmäisenä ajatuksena on hitsata silloitettuja tai jigiin aseteltuja hitsauskokoontaija valmiiksi. Esimerkiksi mekanisoidussa hitsauksessa tavoitteena on hitsata vain yksittäisiä hitsejä tehokkaasti, eikä kokonaisia osakokoontaija. Tuotteen robotisoitavuuden kannattavuutta voidaan mitata vertaamalla robottihitsattavan hitsin määrää hitsien kokonaismäärään. Tavoitteena robotilla hitsattavien hitsien määrälle voidaan pitää 80-90 % kokonaishitsitilavuudesta. (Hiltunen 2005)

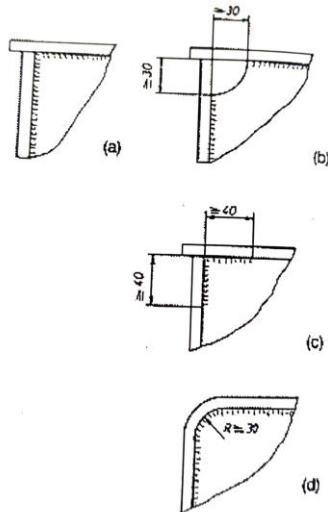
Luoksepäästävyys ja rakenteen yksinkertaisuus on suuri haaste automatisoidun hitsauksen kannalta. Kotelomaisissa kappaleissa tämä ongelma näkyy kappaleen sisäpuolelle jäävissä hitseissä. Toinen yleinen ongelma tulee hitsauskiinnitimestä, sillä se tulee helposti joko hitsattavien hitsien eteen tai robotin liikeratojen eteen, jonka takia robotti joutuu tekemään ylimääräisiä liikkeitä kiertääkseen esteitä. Suunnittelijan täytyy siis sijoit-

taa hitsausrailit ja muotoilla kiinnitin siten, että luoksepäästävyys olisi mahdollisimman hyvä. (Hiltunen 2005)

Mikäli hitsauspoltin ei mahdu railon luo, ei sitä voi robotilla hitsata. Tietenkään aina ei voida automatisoida kaikkea hitsaamista, tai se joudutaan tekemään epäedullisilla poltinkulmilla joissain kohdissa railoa. Esimerkiksi kotelomaisen kappaleen sisäpuolisissa hitseissä joudutaan käyttämään välillä hiukan vetävää kulmaa, vaikka pyrkimys olisi hitsata aina hiukan työntävässä kulmassa. Muuttuvan poltinkulman tekemiä ongelmia voidaan kompensoida tekemällä muutokset hitaasti muutaman kymmenen millimetrin matkalla. Mikäli epäoptimaaliset olosuhteet aiheuttavat laatuongelmia, voidaan osa hitseistä hitsata käsin tai ratkaista ongelma tekemällä konstruktio muutoksia. Yleinen ratkaisu sisäpuolisten hitsien korvaamiseen on laittaa kiinteä sisäpuolinen juurituki ja hitsata liitos läpi yhdeltä puolelta juuritukea vasten. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 90–91.)

Toisinaan rakenteen jakaminen useisiin osakokoonpanoihin ja rakenteen hitsaus useammalla kuin yhdellä kiinnityksellä on kannattavaa. Useissa vaiheissa hitsattu rakenne mahdollistaa sisäpuolistenkin hitsien hitsaamisen helposti, mutta ratkaisu voi monimutkaistaa työkiertoa ja konstruktioita. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 90–91.)

Hitsatuissa rakenteissa olevat sisänurkat ovat pulma automatisoidessa, sillä niihin jää helposti virheitä, mikäli uusi palko aloitetaan vanhan päältä. Nurkassa poltin joutuu muuttamaan suuntaa sekä poltinkulmaa. Kuvassa 6 on esitetty yleisimmät ratkaisut ongelmaan. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 91–92.)



Kuva 6. Kolme erilaista vaihtoehtoa ratkaista sisänurkan ongelmallinen robottihitsaus: (a) Lähtötilanne. (b) Nurkka poistetaan kokonaan loveamalla se. (c) Nurkka hitsataan manuaalisesti (d) Nurkka poistetaan pyöristämällä se. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 92).

3 DFX-menetelmä

DFX-lyhenne tulee englannin kielen sanoista Design For X, jossa kirjaimella X viitataan mihin asiaan tai asioihin suunnittelussa halutaan panostaa. Huomioon otettava vaihe voi liittyä esimerkiksi valmistukseen, huoltoon, ympäristöystävällisyyteen tai vaikkapa laatuun. (Hietikko, 2007, 42.)

3.1 DFM

Valmistettavuus (DFM) eli Design For Manufacturability on laaja käsite, joka sisältää kaikki menetelmät, jotka edesauttavat yksinkertaistamaan tuotteiden valmistusta ja täten alentavat valmistuskustannuksia. Järjestelmää voidaan sanoa systemaattiseksi tuotekehitysjärjestelmäksi, joka perustuu tarkistuslistoihin, peruseriaatteisiin, suosituksiin ja peukalosääntöihin. Mainitut asiat auttavat pyrkimään helposti valmistettavan tuotteen suunnitteluun. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 85.)

Hitsauskoonpanon osissa on tärkeää varmistua tuotteen arkkitehtuurin onnistumisesta ja tuotteen konseptisuunnittelun onnistumisesta ennen detaljisuunnitteluvaihetta. Hitsa-

tussa rakenteessa osien suunnittelu kannattaa aloittaa kalleimmista osista. Asian toteutus toisinpäin aiheuttaa riskin, että kalliimmissa osissa joudutaan tekemään kompromisseja halvempien takia. Osien suunnittelussa on myös syytä muistaa jo suunniteltujen osien olemassaolo ja niiden käyttömahdollisuudet. Nyrkkisääntö on, että mitään jo suunniteltua ei keksitä uudestaan sekä standardikomponentteja ja -materiaaleja pyritään käyttämään. Suunnittelun tehokkuutta lisää myös aiempien kokemusten hyödyntäminen vastaavista tuotteista. (Hietikko, 2007, 45.)

Mikäli saman osan käyttöön on olemassa useita eri valmistusmenetelmiä, kannattaa menetelmän valinnassa käyttää aina apuna henkilöä, jolla on tarkkaa tietoa valmistusmenetelmästä. Komponenttikohtaisen valmistusmenetelmän valinta ei ole kannattavaa tehdä yksittäisen kustannuksen perusteella. Halvimmalla tehty osa ei ole välttämättä tuotteen kokonaiskustannusten kannalta järkevin ratkaisu. (Hietikko, 2007, 45.)

Valmistettavuuden kannalta komponenttien piirteet kannattaa suunnitella siten, että ne käyvät molemmille puolille rakennetta ja ovat helppoja kohdistaa symmetristen piirteidensä ansiosta. Koneistettavat piirteet kannattaa valita siten, että ne ovat valmistettavissa yhdellä kiinnityksellä ja standardoiduilla työkaluilla. (Hietikko, 2007, 46.) Esimerkiksi sovitteet kannattaa tehdä aina siten, että reikä koneistetaan standardikokoisella kalvaimella ja tappiin sorvataan sovitteen vaatima erotus.

3.2 DFA

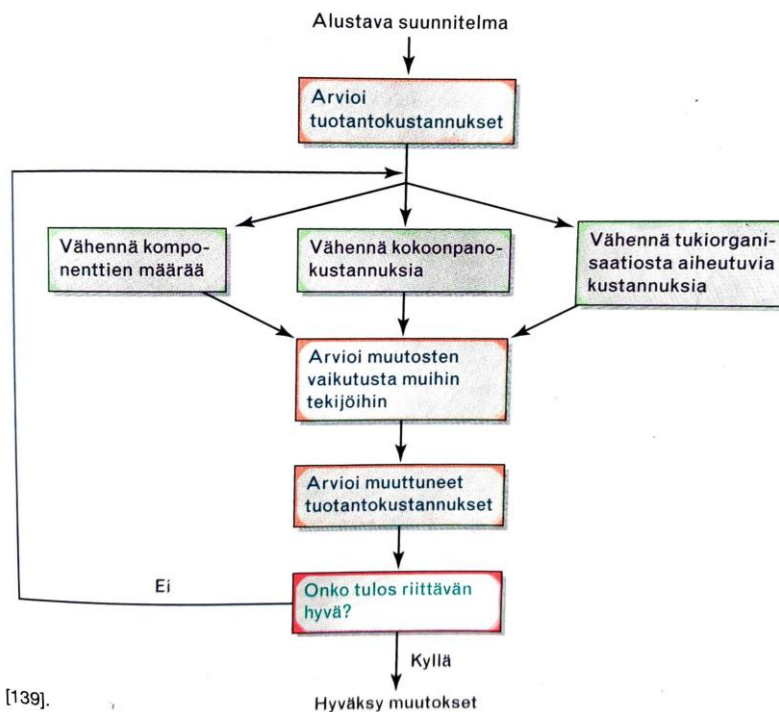
Kokoonpanoystävällisessä suunnittelussa DFA:ssa (Design For Assembly) pyritään vähentämään osien kokoonpanosta aiheutuvia kustannuksia. Minimikokoonpanoaika perustuu osien teoreettiseen minimimäärään, joten kokoonpanokustannusten alentaminen perustuu osien määrän vähentämiseen ja niiden asentamisen helpottamiseen. Komponenttien tarpeellisuutta voidaan arvioida kolmen säännön pohjalta:

- Täytyykö osan liikkua muihin nähden?
- Onko materiaalin oltava eri muihin osiin verrattuna?
- Täytyykö osan olla irrotettavissa huollon tai asennuksen takia?

Mikäli yksikään mainituista ehdoista ei täyty, komponentin voi mahdollisesti integroida muihin osiin. Parantamalla tuotteen valmistettavuutta integroimalla tulee kuitenkin aina tehdä arvio muutosten vaikutuksesta kokonaisuuteen. (Laakko. 1998, 187–188.)

3.3 DFMA

DFMA (Design For Manufacturing and Assembly) on kahden aiemmin mainitun menetelmän yhdistelmä, joka pyrkii valmistus- ja kokoonpanoystävällisen tuotteen suunnitteluun. Konstruktio pyritään tekemään mahdollisemman edulliseksi tuotteen ominaisuuksia unohtamatta. Prosessia voidaan käyttää joko uuden tuotteen kehitysvaiheessa tai tuotannossa olevan osan parantamiseen, jolla pyritään löytämään edullisin kokonaisratkaisu. Menetelmä on iteratiivinen, joten kuvan 7 prosessi käydään läpi niin monta kertaa, kunnes lopputulokseen voi olla tyytyväinen. (Laakko. 1998, 185.)



[139].

Kuva 7. DFMA-prosessin kulku (Laakko 1998, 185).

3.4 DFWA

Hitsausystävällisen tuotteen suunnittelu eli DFWA (Design For Welding Assembly) on menetelmä, jolla pyritään huomioimaan hitsauskokoontalon valmistusta helpottavat seikat. Hitsatun rakenteen suunnittelun lähtökohtana on aina se, että rakenne täyttää sille asetetut vaatimukset. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tuotteesta pitää pystyä tunnistamaan kohdat, missä mikäkin laatu täyttää vaatimukset. Jokainen hitsisauma, korotettu hitsiluokka ja yleistoleranssien tiukennus lisää valmistuskustannuksia, joten suunnittelijan pitää kyetä hahmottamaan eri vaihtoehdot ja niiden vaikutukset kustannuksiin. (Kojo 2019.)

Hitsatuissa rakenteissa tulee suosia komponentteja, joiden paikoitus tapahtuu aina oikein ja automaattisesti samoihin paikkoihin. Tämä voidaan toteuttaa suunnittelemalla paikoitusnastoja ja -olakkeita osiin, jotta osa kävisi paikoilleen epäsymmetrisyytensä ansiosta vain yhdellä tavalla. Myös sijainnin merkkaaminen laserilla tai jollain piirteellä on yleinen tapa helpottaa tuotteen kokoonpantavuutta. Katkohitsien hitsaamista taas voi nopeuttaa muotoilemalla levyn reunan siten, että vain hitsattavaksi tarkoitettut kohdat ovat kosketuksissa liitettävään pintaan. Paikoitusta helpottavat piirteet tulee sijoittaa ja mitoittaa aina siten, että niiden käyttö ilman jokaisen mitan tarkastusmittausta johtaa vaadittujen toleranssien täyttymiseen. (Kojo 2019.)

Automatisoinnin sujuvuuden kannalta tärkeää on pyrkiä vakioimaan muuttujia. Railot, liitostyypit, railomuodot, a-mitat, hitsausparametrit ja erillisten tuotteiden muutos tuoteperheiksi helpottaa valmistusta. Tämän avulla voidaan vähentää menetelmäkokeita ja käyttää samoja parametritaulukoita ja hitsauskiinnittimiä erilaisille tuotteille. Lisäksi ohjelmointi ja asetusajat pienenevät, kun kaikki mahdollinen on yhdenmukaistettu. (Kojo 2019.)

Kustannusten ja jälkikäsitteilyn kannalta hitsaustilavuus tulee pitää mahdollisimman pienenä ja pyrkiä sijoittamaan hitsit lähelle liitettävän osan neutraaliakselia. Hitsien sijaitessa neutraaliakselin läheisyydessä ne tasaavat parhaiten toistensa muodonmuutoksia. Varsinkin pitkissä hitseissä pienikin muutos railojen tilavuudessa vaikuttaa lopullisiin kustannuksiin paljon. Tästä syystä railojen kokoon pitää kiinnittää huomiota

suunnitteluvaiheessa ja pyrkiä optimoimaan railotilavuus mahdollisimman pieneksi. (Hietikko 2007, 48.)

3.5 Modulointi ja standardointi

Modulointi ja standardointi tarkoittavat yleisesti toimintojen, nimikkeiden, osien yms. määrän vähentämistä ja sen pyrkimys on alentaa tuotantokustannuksia. Tämän mahdollisuuden hyödyntäminen on erityisesti silloin kannattavaa, kun sarjakoot ovat sen kokoisia, että se rajoittaa automatisoinnin kannattavuutta. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 84.)

Hitsattavissa tuotteissa tämä tarkoittaa sitä, että tuote moduloidaan eli jaetaan sopivaksi kokonaisuuksiksi fyysisesti ja toiminnallisesti. Tavoitteena moduloiduissa osissa on niiden soveltuvuus mahdollisimman moniin eri yrityksen valmistamiin tuotteisiin tai useisiin kohtiin ja käyttötarkoituksiin samoissa tuotteissa. Toiminnallisuus ei luo rajoja moduloitujen osien käyttöön, vaan samaa osaa voidaan käyttää myös useiden eri asioiden kiinnitykseen toisiinsa liittymättömissä osakokoonpanoissa. Esimerkiksi C-kiskoa voidaan käyttää sekä hydraulikkaputkien että valojen kiinnitykseen. Standardointi ja modulointi luovat tuoteperheitä, jotka on rakennettu moduuliosista. Tällaisten kokonaisuuksien automatisointi on järkevää, sillä ne sisältävät samankaltaisia valmistusvaiheita ja ovat samanmuotoisia. Täten valmistusmäärät ovat suuria ja automatisoinnin kannattavuus paranee, vaikka yksittäinen tuote ei olisi menekkinsä perusteella kannattava automatisoida. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 84.)

Standardoinnin ja moduloinnin hyödyt kannattaa käyttää myös automatisoidussa hitsauksessa. Erityisesti robottihitsauksessa sen käytöllä saavutetaan suuria hyötyjä, kun sitä sovelletaan levynpaksuuksiin, hitsin liitosmuotoihin, railogeometrioihin, a-mittoihin, hitsausparametreihin ja hitsausaliohjelmiin. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 84.)

Levynpaksuuksien yhtenäistäminen nopeuttaa ja selkeyttää esikäsitteilyä ja vähentää materiaalihukkaa. Yhtenäiset levynpaksuudet yhdessä hitsien kokojen ja tyyppien standardoinnin kanssa vähentävät käytössä olevia erilaisia hitsejä. Tästä seuraa:

- parametrikokeiden väheneminen
- robotilla käytettävien parametritaulukoiden lukumäärän pieneminen
- hitsauskiinnittimien lukumäärän väheneminen
- hitsausrobotin ohjelmointiajan lyheneminen.

Särmäyksen ja taivutuksen avulla voidaan vähentää hitsaamista ja liitettävien osien määrää. Menetelmän varjopuolena kuitenkin on materiaalissa esiintyvät epätarkkuudet, kuten pienet heitot levynpaksuudessa ja koostumuksessa. Tästä seuraa muutoksia mekaanisissa ominaisuuksissa, joka näkyy särmäyksen takaisinjouston vaihteluna. Tätä ongelmaa voidaan hallita särmäyksessä apuna käytettävillä tulkeilla. Mikäli särmäystä käytetään osavalmistuksessa, kannattaa taivutuskulmat ja -säteet yhtenäistää, vaikkapa ainepaksuus- ja materiaalikohtaisiksi. Tämä standardoi myös nurkkien hitsauksen. Nyrkkisääntö levynmuovaukseen on se, että aina pyritään valmistamaan tuote särmämällä mankeloinnin sijaan, sillä mankelointi on epätarkkaa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, 84.)

4 Rungon ongelmien selvitys robotisoinnin kannalta

Työn tekeminen alkoi toukokuussa 2019, kun opinnäytetyön teoriaosuus oli hyväksytty. Perehtyminen robottihitsaukseen ja levyosien valmistukseen alkoi tekemällä yritysvierailuja sopimusvalmistajien luo. Vierailujen tarkoitus oli tutustua materiaalinkäsittelykoneen työlaitteita valmistavien yritysten toimintaan sekä heidän konekantansa mahdollisuuksiin ja haasteisiin. Kohteina olivat Kirike Oy Outokummussa sekä PLP Pääkkönen ja Viimet Oy Joensuussa.

Ensimmäinen vierailu oli Kirike Oy:lle, jossa tehtaan toimitusjohtaja Markus Kinnunen esitteli yrityksen tuotantoa robottihitsauksen näkökulmasta. Tehdaskierroksen jälkeen hän piti luennon valmistettavuudesta robottihitsauksen kannalta ja kertoi näkemyksiä, kuinka ratkaista tuotteen robotisointiin liittyviä ongelmia. Vierailun jälkeen Kinnunen lähetti vielä teoriamateriaalia luennolta sähköpostitse. Tapaamisen aikana esiin tulivat erityisesti tuotteen tiukemmat valmistustoleranssit, robotisoitavien kappaleiden valinta

muodon ja volyymin perusteella, hitsauskiinnitinratkaisut robottihitsaukseen ja kokemukset pienien ilmarakojen hitsaamisesta robotilla.

Toisen vierailun kohde oli Joensuussa sijaitseva PLP Pääkkönen Oy, jossa tehtaan toimitusjohtaja Janne Pääkkönen esitteli levyosien valmistusprosessia. Vierailun alussa Pääkkönen kertoi levyosien valmistuksesta yleisesti, sekä kohdennetusti rungon osiin liittyen. Tämän jälkeen hän esitteli yrityksen tuotantolaitteet ja kertoi niiden kapasiteetistä ja tarkkuudesta. Yksityiskohtaisesti esiteltäisiin koneisiin kuuluivat CNC-ohjattu plasma-, laser-, viiste- ja kaasuleikkauskone sekä särmäyspuristin. Esittelykierroksen jälkeen keskustelun pääpaino oli siinä, millaisia tarkkuuksia voi vaatia milloinkin valmistusmenetelmältä ja millaisia osia ylipäätään voidaan valmistaa edellä mainituilla laitteilla ja menetelmillä. Vierailu toi arvokasta tietoa siitä, kuinka valmistuspiirustuksia kannattaa laatia, jotta valmistettavaan osaan saadaan kustannustehokkaasti toistettavissa oleva maksimaalinen tarkkuus.

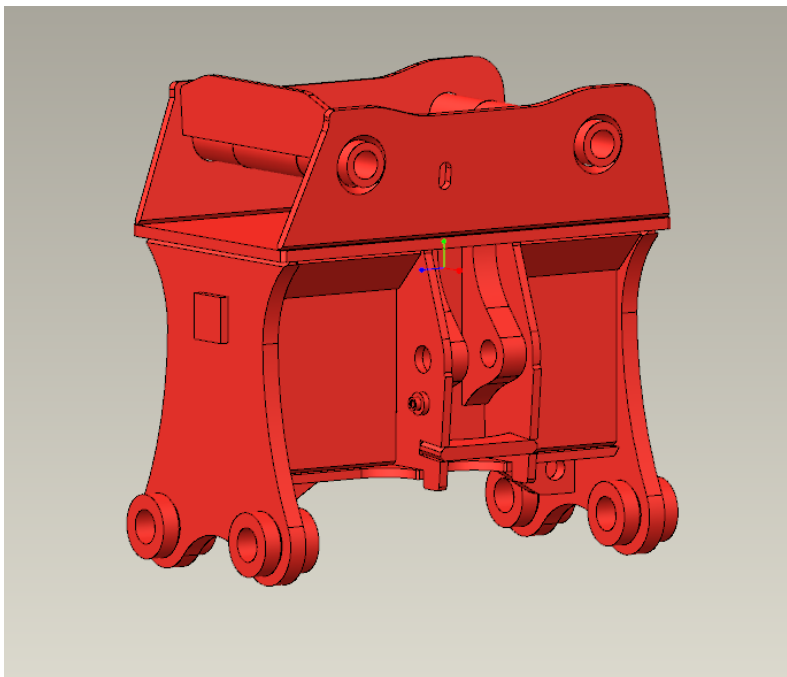
Kolmannen vierailun kohteena oli joensuulainen Viimet Oy. Yritys oli hiljattain investoinut hitsausrobottiin, jonka kappaleenkäsittelylaitteen kapasiteetti on 3000 kg. Vierailun alussa keskusteltiin tehtaan toimitusjohtaja Ari Niskasen kanssa paksuista levyistä tehtyjen rakenteiden robottihitsauksesta sekä plasmalla ja kaasulla viistettyjen railojen hitsaamisesta robotilla. Keskustelussa tuli ilmi robotin mahdollisuus hitsata viisteisiin juuripalkoja ilman juuritukea, mikäli hitsiltä ei vaadita läpipalamista. Tämän jälkeen vuorossa oli robottihitsausasemaan tutustuminen ja robottihitsattavien tuotteiden tutkiminen.

Yrityksellä on käytössä myös hitsauspöytä koneistetulla pöytälevyllä ja jigikiinnittimillä. Pöytää käytetään suuremmille robottihitsattaville osille kokoonpanoalustana, sillä sitä voi käyttää joustavasti erilaisten kappaleiden silloitusjiginä tarkkuudesta ja toistettavuudesta tinkimättä. Hallikierroksen jälkeen keskusteltiin valmistusystävällisyydestä ja siitä, millaisia kustannuksia tuotteen robotisoinnista syntyy ennen kuin ensimmäinen robottihitsattu tuote on tehty. Vierailun pääpainona oli massaltaan muutamasta sadasta kilosta aina pariin tonniin olevien tuotteiden robotisointi sekä plasma- ja kaasuleikkattujen viisteiden hitsaus robotilla.

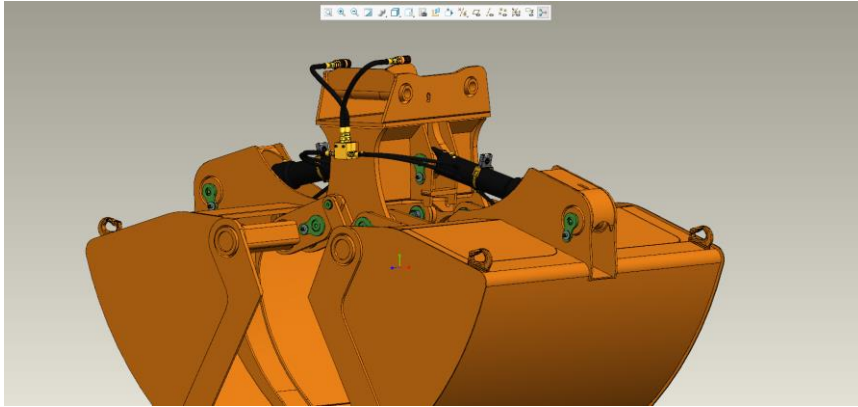
Yritysvierailujen jälkeen ennen käytännön ratkaisujen miettimistä perehdyttiin vielä Mantsinen Groupin sisäisiin suunnitteluohjeisiin. Suunnitteluohjeiden tarkoitus on yhtenäistää tuotesuunnittelun käyttämiä toimintatapoja. Muun muassa hitsausviisteiden muoto ja koko on määrätty, mikäli suunnittelijalla ei ole perusteltua syytä poiketa määräyksistä. Lisäksi ohjeissa oli tietoa valmistuspiirustusten tekemisestä.

4.1 Lähtötilanne

Tuotteessa olevien ongelmien kartoitus alkoi tutustumalla tuotteen valmistuspiirustuksiin ja 3D-malliin (kuva 8) ja sen jälkeen pohtimalla, mitä ongelmia siinä voisi piillä valmistettavuuden kannalta. Lisäksi rungosta keskusteltiin sitä valmistaneiden ihmisten kanssa. Ongelmien ratkaisemiseksi ainut ehto oli, että reikien, vastepintojen ja muiden käyttöön vaikuttavien piirteiden on pysyttävä samana. Samaa runkoa käytetään useiden erilaisten kauhojen kanssa, joten päivitetyn rungon on käytävä yhteen kaikkien sille tarkoitettujen kauhatyyppien kanssa. Mikään ei siis estänyt suunnittelemasta kokonaan uudenlaista runkoa, mutta asetetut ehdot rajoittivat käytettävissä olevia ratkaisuvaihtoehtoja. Kuvassa 9 on esitetty liikemalli, jonka avulla tutkittiin kokoonpanossa olevien osien liikkumiseen tarvittavaa tilaa.

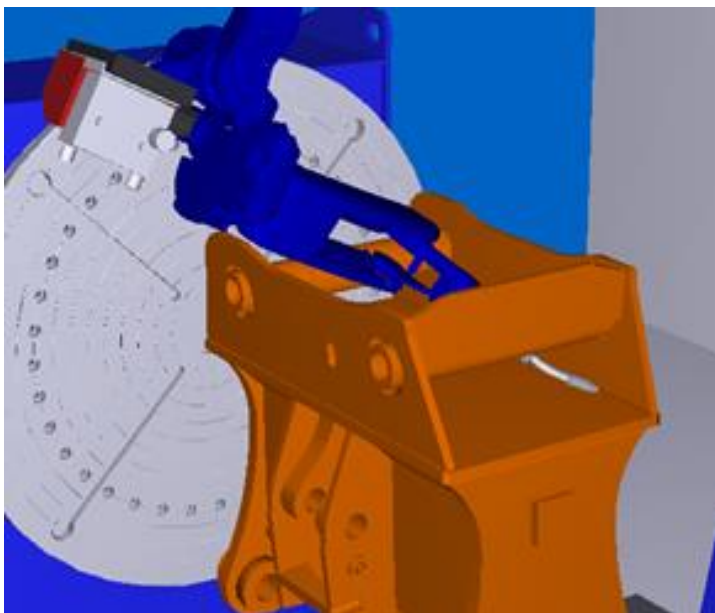


Kuva 8. Kehitettävän rungon 3D-malli lähtötilanteessa.



Kuva 9. Kahmarin liikeratamalli, jota käytettiin liikkuvien osien vaatiman tilantarpeen tutkimiseen.

Robottihitsattavan hitsin määrä selvitettiin laskemalla lähtötilanteen kokonaishitsitilavuus Excelissä (liite 3), jonka ensisijainen tarkoitus oli kartoittaa kappaleen hitsiaineen ja -tyyppien määrää. Siihen on numeroitu hitsisaumat liitteen 1 mukaisesti. Sen mukaan kappale sisältää n. 20 kg hitsiä ja karkean arvion mukaan maksimissaan puolet onnistuisi hitsata robotilla. Arviot ovat tehty sillä perusteella, että kappale kiinnitetään pohjastaan Pyloni-mallisella kiinnittimellä robotin pyörityspöytään. Ulottuvuuden kannalta epäselviä kohtia analysoitiin Pemamekin ohjelmistolla hitsausinsinöörin johdolla (kuva 10).



Kuva 10. Hitsauspolttimen ulottuvuuden analysointi tietokoneohjelmiston avulla 3D-ympäristössä.

Lähtötilanteen ongelmien kartoituksessa esiin nousi seuraavia ongelmia robotisoinnin kannalta:

- Kappaleen sisällä on paljon hitsiä.
- Osia joudutaan lisäämään runsaasti kesken hitsauksen. Esimerkiksi vahvikelevyt 30-3864 ja hydraulisylinterin turvokelevyt 30-3862 voi silloittaa ja hitsata vasta sitten, kun niiden alla olevat hitsit on hitsattu.
- Tuotteessa on ahtaita paikkoja ja epäedullisia hitsityyppejä.
- Tuote sisältää runsaasti erilaisia hitsityyppejä, railokulmia sekä muuttuvatilavuuksisia viisteitä.
- Saumojen läheisyydessä on liian vähän tilaa hitsille.

4.2 Ongelman määrittely

Lähtötilanteessa tehty arviointi robottihitsattavuudesta kertoi tuotteen lähtötilanteen olevan heikosti sopiva robottihitsaukseen Kappaleen sisään jäävien hitsien osuus ja sekävien työvaiheiden määrä oli suurin ongelma robotisoinnin kannalta. Havaittujen ongelmien jälkeen oli vuorossa tutkia, missä käsin hitsattavissa hitseissä on suuri lisäänemäärä. Ideana ei ollut yrittää muuttaa väkisin kaikkia saumoja robottihitsattavaksi, vaan tavoite oli saavuttaa vähintään 80 % aste robottihitsaukselle kohtuullisella suunnittelutyöllä.

Tuotteen hitsauskokoontamisen piirustuksia tutkittiin valmistuksellisessa mielessä, jossa käytettiin moduloinnin, standardoinnin ja DFX-periaatteiden mukaista menettelyä. Ensimmäiseksi eri materiaalien ja levypaksuuksien ja erilaisten osien lukumäärä selvitettiin ja pohdittiin:

- Kuinka tuotteen rakennetta voidaan yksinkertaistaa?
- Mitä vaihtoehtoja on kotelomaisten rakenteiden poistoon?
- Voiko levyvahvuuksia yhtenäistää?
- Voiko erilaisia osia yhtenäistää ja vähentää?
- Onko tuotteessa osia, jotka ovat epäsymmetrisiä ilman syytä?
- Voiko tuotteessa käyttää standardikoon osia?

Tämän jälkeen oli vuorossa tutkia valmistuksellisia seikkoja kokoonpantavuuden ja automatisoinnin kannalta. Tätä asiaa pohdittiin seuraavien kysymysten kannalta:

- Onko tuotteessa tarpeettomasti erilaisia hitsityyppejä ja viistekulmia?
- Mitä tuotteesta voi kokoonpanna väärin?
- Miten osien asemoinnin toistettavuutta voi parantaa?
- Onko tuotteessa laserleikattavaa ja -merkattavaa levyvahvuutta käytössä?
- Miten väärin kasaamisen voi estää?
- Onko osiin mahdollista lisätä paikoituskoloja ja osien asemointia helpottavia piirteitä?
- Onko tuotteessa hitsejä, joiden ympärille on helppo lisätä tilaa?
- Onko hitsien ympärillä riittävästi vaaputustilaa?
- Voidaanko sisänurkat poistaa?

5 Ratkaisut havaittuihin ongelmiin

Ratkaisuvaihtoehtojen pohtiminen aloitettiin keskeisimmistä osista eli rungon rakenteesta ja sen suurimmista osista. Tavoitteena oli luoda ongelmiin erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja ja valita niistä paras. Koko runkoa piti muuttaa useaan otteeseen suunnittelu-työn aikana, sillä muutoksia tehdessä löytyi myös muita vaihtoehtoja tai esteitä muutosten tekoon. Tuotekehitysprosessin kulku oli siis iteratiivinen.

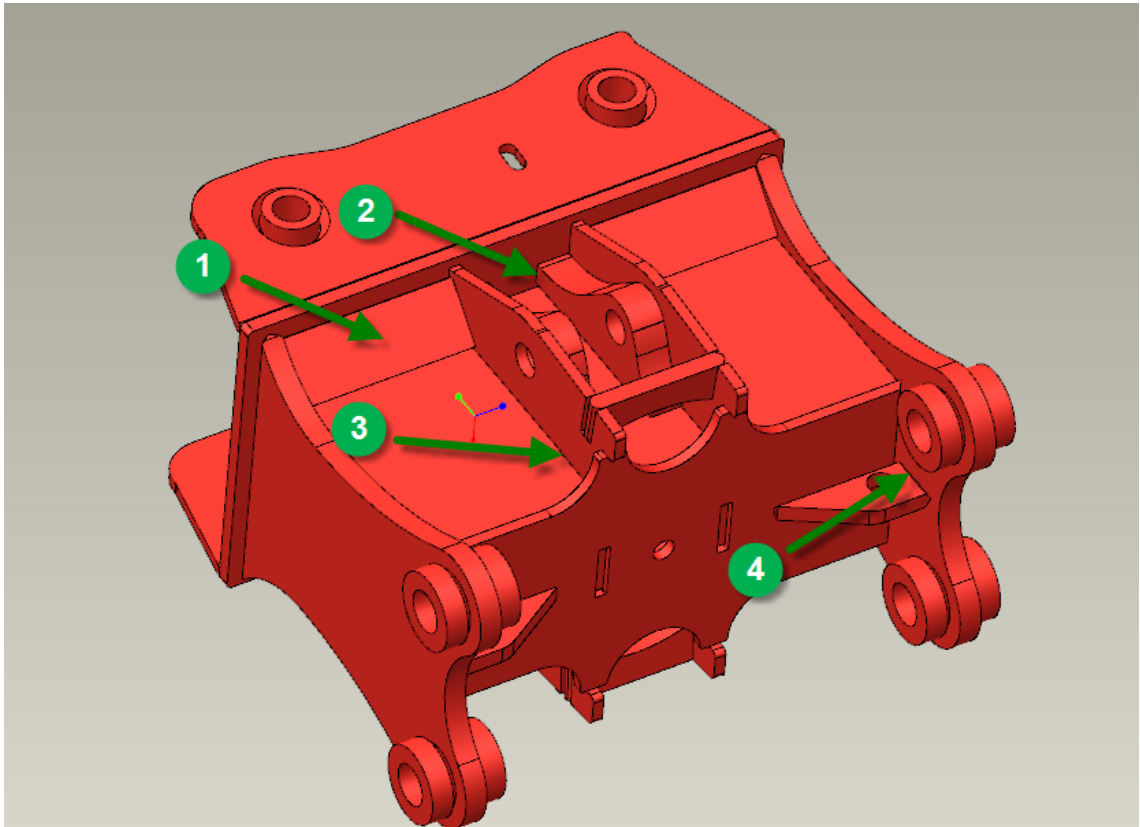
Sisänurkkien poistoon ei löytynyt sellaista ratkaisua, joka olisi täyttänyt tuotteelle asetetut vaatimukset. Esteeksi niiden poistoon osoittautui ongelmat korroosion tai toistettavuuden suhteen. Asia voidaan kuitenkin ratkaista tuotannossa esimerkiksi lopettamalla hitsipalot porrastetusti nurkan läheisyyteen ja hitsaamalla ne käsin viimeistelyn yhteydessä.

5.1 Rungon keskiosan ongelmat robottihitsauksen kannalta

Rungon keskiosassa olevat ongelmat, joita ovat

- kotelomainen rakenne, (1)
- turvokelevyt hitsisauman päällä, (2)
- rungon sisäpuoliset hitsit, (3)

- nostokorvakot hitsisauman päällä, (4)
ovat merkattu kuvaan 11 vihreillä nuolilla.



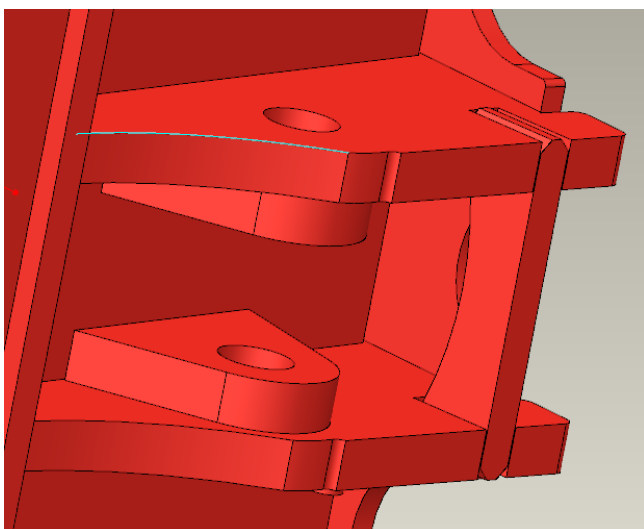
Kuva 11. Robotisointia hankaloittavat ongelmat lähtötilanteen rungossa. Syynä pääosin huono tai mahdoton ulottuvuus hitsin luo.

5.1.1 Kotelomainen rakenne

Kotelomaiset rakenteet monimutkaistavat kappaleen valmistusta, sillä osat on lisättävä kesken hitsaustyön. Tavoitteena oli päästä niistä eroon, jotta hitsaus voidaan suorittaa lisäämättä osia kesken automatisoidun hitsauksen. Koteloiden poistamiseksi levy koikeiltiin mallintaa yhdestä osasta särmättynä sekä kääntää suoraa levyä hiukan vinoon. Kokemukset mittaheitoista särmäyksessä ja 3D-mallissa näkynyt heikko ulottuvuus kansilevyn sisäpuolen saumoihin olivat peruste valita suora, viistoon asetettu levy korvaamaan kotelot. Lisäksi viistoon asetettu levy kaventaa rungon alaosaa ja tuo hieman tilaa holkkien 30-3834 ympärille.

5.1.2 Turvokelevyt hitsausviistein päällä

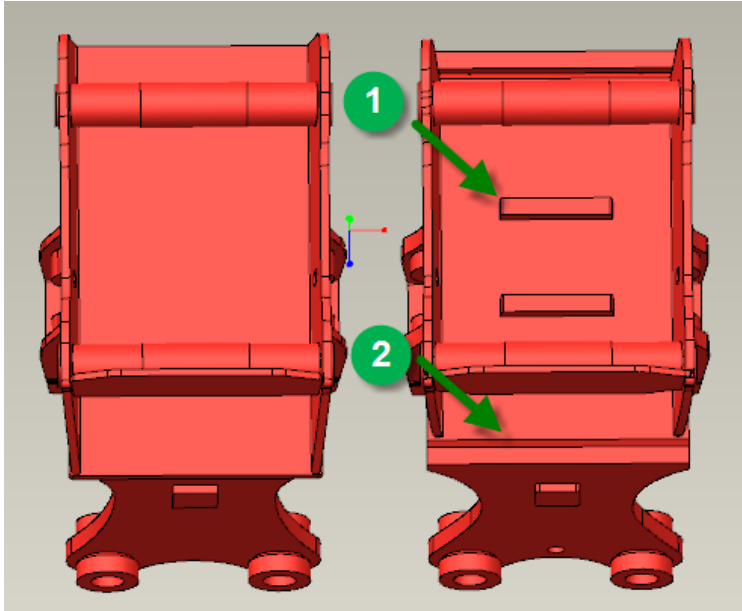
Kuvassa 11 osoitettu alkutilanteen turvokelevy 30-3862 aiheutti ongelmia, sillä se olisi pitänyt asettaa hitsisauman päälle kesken hitsaamisen. Korvaavaksi vaihtoehdoksi mietittiin, että turvokelevy olisi yhtenäinen, koko rungon läpi menevä paksu levy. Mallinnuksessa havaittiin ongelmana kauhan vastinpintojen kohtaaminen rungon vastinpintoihin ja lisääntynyt esikoneistuksen tarve, jotta sylinteri mahtuisi liikkumaan. Lisäksi korvakoiden välimatkan kasvu olisi heikentänyt hydraulisynterin tappia merkittävästi. Ongelman ratkaisemiseksi päädyttiin muotoilemaan turvokelevy uudestaan ja kasvattamaan rungon läpi menevien levyjen paksuutta kuvassa 12 esitellyllä tavalla.



Kuva 12. Uudelleen suunniteltu turvokelevy, joka ei tule muiden hitsisaumojen päälle.

5.1.3 Rungon sisäpuoleiset hitsisaumat

Alussa tehdyn hitsiaineen määrän laskennasta selvisi, että iso osa hitseistä sijaitsee kappaleen sisäpuolella ja on näin ollen robotin ulottumattomissa. Alkuperäisessä rungossa olleiden levyjen 30-7659 paksuuden muutoksessa 20 mm → 40 mm oli tarkoituksena vahvistaa rungon keskiosaa ja aiemmissä käytössä olevissa rungoissa heikoksi osoittautuneita kauhan vastinpintoja. Tavoitteena oli tehdä rungon keskiosasta niin luja, että paksunnetuissa levyissä riittää hitsit ulkoapäin. Kuvassa 13 on esitetty hitsit, jotka on tarkoitus hitsata sisäpuolelle. Muut hitsit suunniteltiin siten, että ne voidaan hitsata ulkoapäin juuritukea tai tulppaliitosta hyväksi käyttäen.



Kuva 14. Vasemmalla alkuperäinen malli ja oikealla kehitetty versio. Nuolet osoittavat muutettuja liitoksia, joiden tarkoituksena on vähentää sisäpuolen hitsien määrää. Numero 1: Kannen läpi tuotu liitos, jonka tarkoitus on tuoda keskilevyjen sisäpuolen hitsi robotin ulottuville. Numero 2: Päätylevyyn muutettu liitos, jolla on saatu vähennettyä erityisesti sisäpuolen hitsiä.

5.1.4 Nostokorvakot hitsausviisteen päällä

Pohjassa olevien korvakoiden poisto oli perusteltua sekä valmistettavuuden että työturvallisuuden kannalta. Nostokorvia käytettäessä joudutaan menemään hydraulikan varassa riippuvan taakan alle. Lisäksi nykyisissä kauhoissa on nostokoukkuja turvallisemmissa paikoissa (kuva 9).

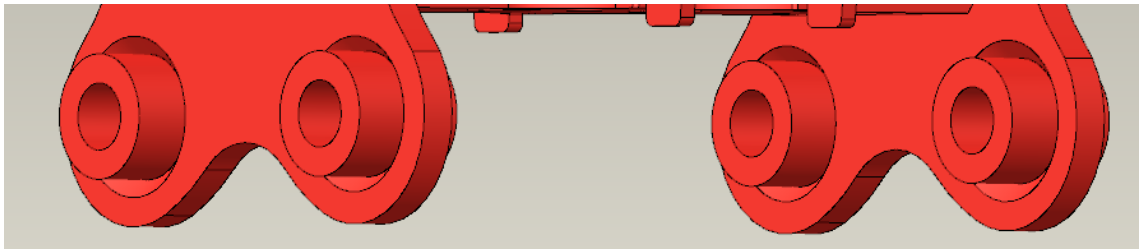
Korvakoiden poisto vähentää myös jälkikäsitteilyn tarvetta, sillä Niskasen (2019) mukaan niiden hitsaus vääntää rakennetta, josta seuraa lämmöllä oikomisien tarvetta. Korvakoiden läheisyyteen runkoon lisättiin reiät nostosakkeleita varten helpottamaan käsittelyä tuotannossa. Kauhakokoonpanossa oleva linkusto estää sakkelin mahtumisen reikään ja näin ollen niiden väärinkäytön kokonaisessa kahmarissa.

5.2 Päätylevyissä olevat holkit

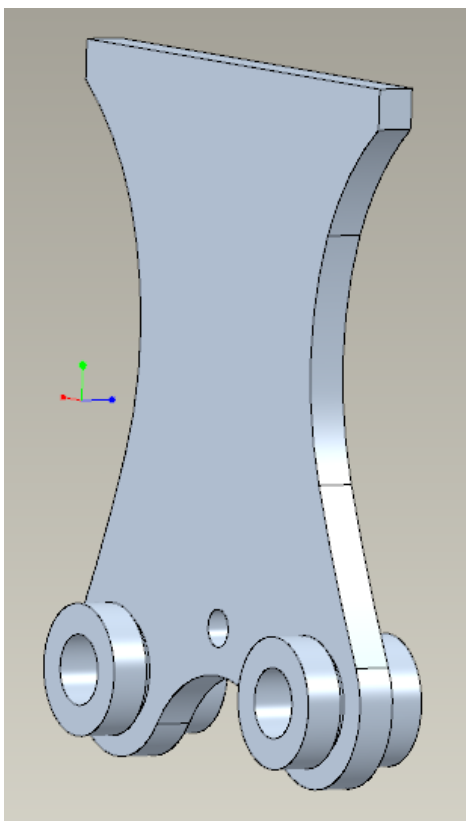
Holkit 30-3834 joudutaan hitsaamaan käsin ennen päätylevyjen hitsaamista, sillä hitsin sijainti on niin ahdas pohjalevyyn nähden jopa käsin hitsattuna. Tässä ongelmassa ratkaisu valittiin kahden vaihtoehdon väliltä. Ensimmäinen vaihtoehto oli pitää rakenne ennallaan ja hitsata holkit levyihin ennen muuhun rakenteeseen liittämistä tai hitsata ahdas osuus käsin ja helposti ulottuvat osat robotilla. Etuna alkuperäisessä ratkaisussa pitäytymisessä olisi vakio railo, sillä viiste sorvataan holkkiin ja holkki asetetaan aina levyä vasten, joten se olisi helppo robotisoida alikokoonpanona. Lisäksi uudelleensuunnittelun vaivaa ei olisi. Haittana tässä olisi kokonaisen rungon kokoonpantavuuden pysyminen hiukan monimutkaisena.

Toinen mahdollisuus olisi korvata holkit kuvan 15 mukaisesti levyn läpi tulevilla ainesputkilla. Etuna tässä olisi hitsausasennon vaihtuminen jalkoasennoksi ja mahdollisuus hitsata saumat ilman alikokoonpanoa. Lisäksi osien lukumäärä vähenisi ja ne voisi valmistaa standardoidusta materiaalista yhdellä työvaiheella. Haittana tässä ratkaisussa oli kokoonpantavuuden heikkeneminen, vaikka osien lukumäärä vähenisi ja teoreettinen kokoonpantavuus parani.

Läpiholkkien asentaminen olisi aina haastavampaa, koska levyssä olevan reiän geometrialle pitäisi asettaa toleranssi, jotta putki menisi aina reiästä läpi. Läpireikä viisteellä vaikuttaisi päätylevyn muotoiluun, joka kasvattaisi levyn painoa. Hitsiaineen määrä kasvaisi myös voimakkaasti siirryttäessä upotetusta pienasta läpihitsaukseen. Edellä mainittujen syiden takia lopputulos oli pysyttäytyä alkuperäisessä ratkaisussa. Päätylevyille luotiin oma alikokoonpano (kuva 16) holkkeineen ja rungon keskiosan suunnittelussa pyrittiin luomaan tilaa holkkien ympärille.



Kuva 15. Ainesputkesta tehty vaihtoehto holkeille 30-3834, joka olisi helpompi robotisoida, mutta hankalampi kokoonpanna.

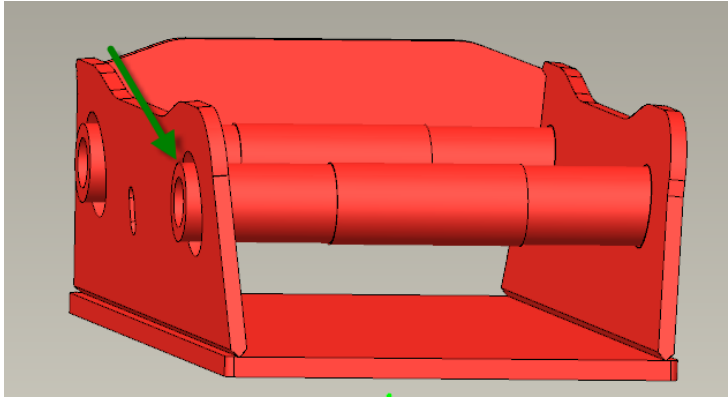


Kuva 16. Päätylevy eriteltynä alikokoonpanoon, joka voidaan hitsata sellaisenaan robotilla.

5.3 Muuttuvatilavuuksiset viisteet pikakiinnittimen putkissa

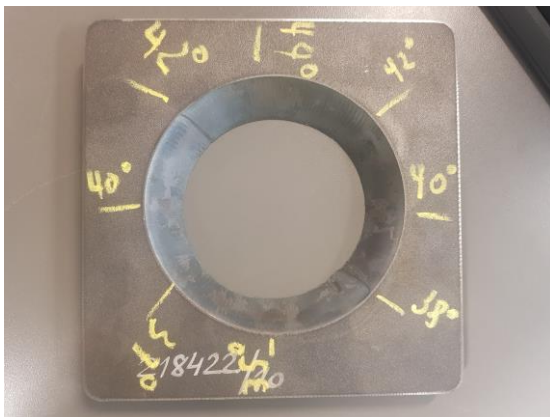
Putkien 30-1919 sekä levyjen 30-3924 ja 30-3925 välinen hitsausviiste pikakiinnittimessä kuvassa 17 on ongelmallinen robotille, sillä sen tilavuus muuttuu 5 asteen kulmassa olevien levyjen mukaan. Ne sisältävät kuitenkin runsaasti hitsiä, eli viisteissä on

potentiaalia nostamaan robottihitsattavien saumojen määrää. Vinossa kulmassa olevien levyjen muutos suoraksi ei ollut mahdollista, joten toisena vaihtoehtona tutkittiin muuttuvatilavuuksista viisteystystä.



Kuva 17. Pikakiinnitin. Vihreän nuolen osoittama viiste ei ole tilavuudeltaan vakio.

Ongelman ratkaisemiseksi asiaa tiedusteltiin levyosien valmistajalta. He eivät osanneet sanoa suoraan vastausta kysymykseen, mutta pyysivät toimittamaan koekappaleesta valmistuspiirustukset asian toteamiseksi. Kuvassa 18 on esitetty plasmalla viistetty koekappale. Ainakin teoriassa se on onnistunut plasmaleikkaukselle tyypillisin toleranssein. Lopullinen hyöty viisteestä toki selviäisi vasta käytännössä, sillä silloin selviäisi toistettavuus ja vaikutus kustannuksiin.



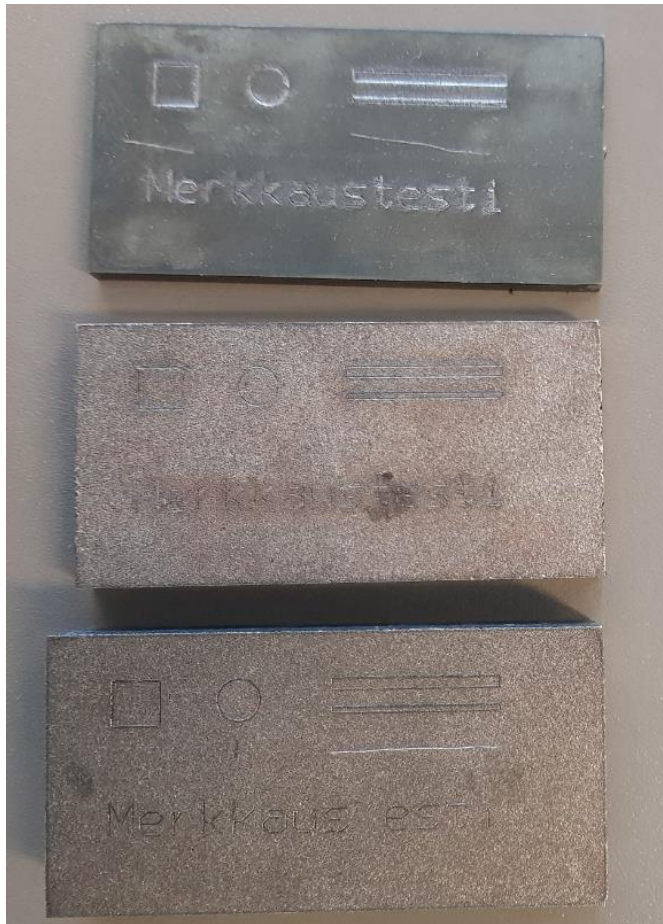
Kuva 18. Muuttuvatilavuuksinen viiste.

5.4 Toistettavuus ja osien paikoitus

Tuotteen hitsauskokoontalon tiukimmat toleranssit sijaitsivat pikakiinnittimessä. Niiden suhteen valmistettavuudessa ei ollut ongelmaa, sillä ne tulee silloittaa pikakiinnittimelle suunnitellussa jigissä. Alkuperäisessä rungossa oli valmiina kokoonpanoa ja paikoitusta helpottavia piirteitä ja rakenneratkaisuja. Esimerkiksi pohjalevyssä 30-3833 oli valmiina paikoitusta helpottavat suorakaiteen muotoiset aukot ja levyissä 30-6839 aukot, joihin pystyy tulevat levyt 30-7659 on helppo asettaa.

Plasma- tai lasermerkkausta voidaan käyttää, kun paikoitusta helpottavien piirteiden käyttäminen ei ole mahdollista. Merkkauksen etuna on kokoonpanotyön nopeutuminen ja mittaviivojen käsin piirtämisen pois jääminen. Seurauksena tästä inhimillisten virheiden mahdollisuus pienenee. Haittana on se, että levyä ei voi enää sinkoraepuhaltaa tai päästää ruostumaan merkkauksen jälkeen, sillä merkkiviivat eivät enää erotu levystä. Toinen ongelma liittyy erilaisten osien määrän kasvuun. Jos ennen on käynyt sama levy kahteen paikkaan ja uuteen versioon lisätään merkit esimerkiksi varusteosalle, on levystä tehtävä uusi nimike. Esimerkiksi vanhassa versiossa levyt 30-7659 ovat samanlaiset, mutta mikäli osaan tehdään merkkaukset esimerkiksi kierrenastoille 76-2200, syntyy siinä erillinen nimike ainoastaan toisella puolella sijaitsevan kierrenastan takia. Toki merkkauksen voisi tehdä myös samaan nimikkeeseen molempiin osiin, mutta se voi aiheuttaa sekaannuksia.

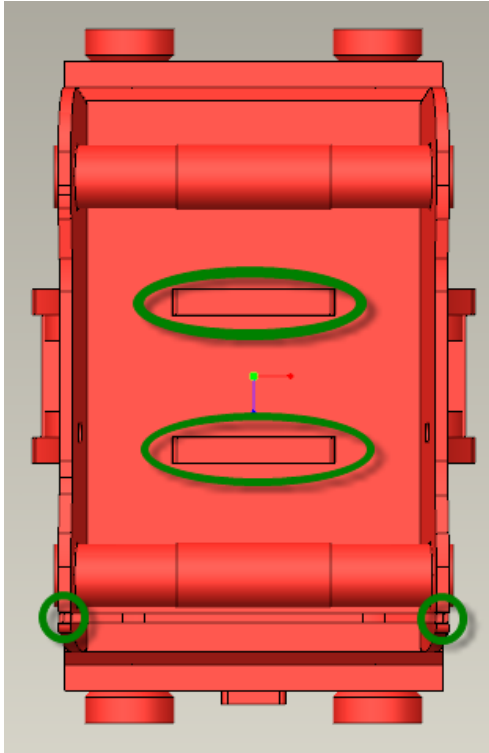
Termisestä leikkauksesta laserleikkaus on tarkin ja käytännöllisin menetelmä automatisoidun hitsauksen osavalmistukseen. Laserilla voidaan leikkauksen lisäksi tehdä tarkkoja viisteitä leikkauksen yhteydessä. Nykyaikainen laser pystyy leikkaamaan 20 mm terästä ja viisteyttämään sitä 15 mm vahvuuteen asti. Prosessilla päästään 0.2-0.4 mm tarkkuuteen riippuen ainevahvuudesta. Viisteleikkauksessa juuripinnan korkeuden toleranssissa päästään 0.5 mm tarkkuuteen. (Flinkenberg Steel 2019) Muita mainittavia etuja laserissa on erittäin suora leikkauspinta ja mahdollisuus tehdä kuvan 19 mukaisia kaapeja ja tarkkoja osien paikoitusviivoja leikkauksen yhteydessä.



Kuva 19. Laserilla tehtyjä paikoitusmerkintöjä.

Laserleikattujen osien käyttö tässä työssä ei ollut mahdollista, sillä rungossa käytetyn teräksen paksuus on pääosin 20 mm tai yli. Vaikka suoran pinnan pystyisi vaivoin leikkaamaan laserilla, menetettäisiin sen tuomat edut seuraavassa työvaiheessa, viisteetyksessä, joka pitäisi kuitenkin tehdä plasmalla tai kaasulla.

Nimikkeiden kurissapitämiseksi ja ulkoarastointimahdollisuuden säilyttämiseksi työssä käsiteltyyn tuotteeseen ei lisätty paikoitusta helpottavia merkkauksia. Pääpaino oli luoda paikoitusta helpottavia piirteitä. Kuvassa 20 on esimerkkejä paikoitusta helpottavaista piirteistä, jotka lisättiin kehitystyössä.



Kuva 20. Pikakiinnittimen paikoitusta helpottavat piirteet ympyröitynä vihreällä.

5.5 Nimikkeiden ja levyjen yhtenäistäminen

Suunnittelutyössä tavoitteena oli pitää erilaisten materiaalien, nimikkeiden, levynvahvuuksien ja valmistusmenetelmien lukumäärä minimissä. Tuotteessa pidettiin koneistamalla valmistettavat osat ennallaan ja keskityttiin tarkastelemaan levyosien yhtenäistämistä. Taulukossa 1 on tarkasteltu levynvahvuuksien ja -osien määrää lähtötilanteen hitsauskokoontamisessa.

Taulukko 1. Osien ja nimikkeiden lukumäärä ennen kehitystyötä.

Järjestysnumer	Levynpaksuus	Materiaali	Kappalemäärä
1	15	S355	6
2	16	S355	1
3	20	S355	6
4	25	S355	1
5	30	S355	2
6	30	HARDOX	2
7	40	S355	2
8	50	S355	8
9	60	S355	4
	9		32

Vertaamalla kehitettyä runkoa (taulukko 2) lähtötilanteeseen (taulukko 1) voidaan todeta, että rungon valmistukseen käytettävien levynvahvuuksien määrä putosi kolmanneksella ja osien kappalemäärä viidenneksellä.

Taulukko 2. Osien ja nimikkeiden lukumäärä kehitetyssä versiossa.

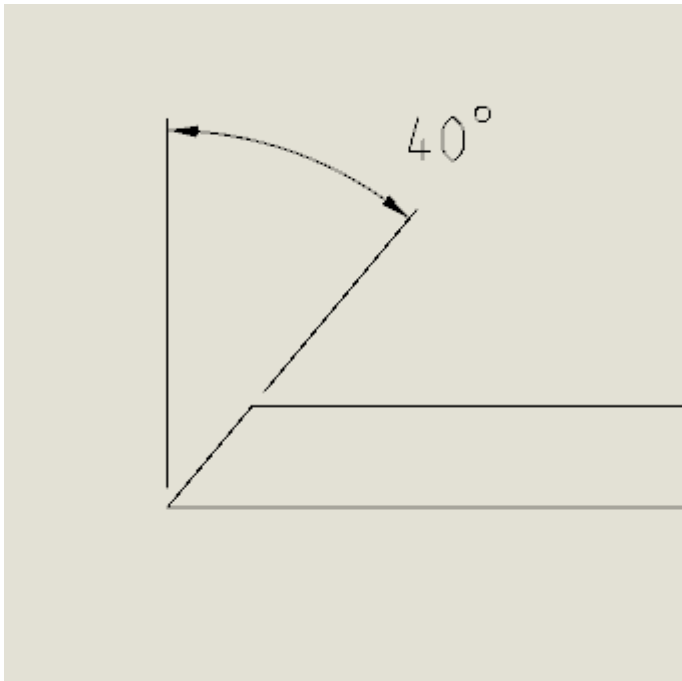
Järjestysnumer	Levynpaksuus	Materiaali	Kappalemäärä
1	15	S355	3
2	20	S355	4
3	25	S355	1
4	30	HARDOX	2
5	40	S355	8
6	50	S355	8
	6		26

5.6 Hitsisaumatyyppien yhtenäistäminen

Kehitettyyn runkoon pyrittiin yhdenmukaistamaan hitsien tyyppiä ja muotoa. Liitoksissa tavoitteena oli suosia pienaa, mutta käytössä oleviin läpihitsattujen hitsien liitostyyppeihin ei koskettu, sillä niiden olemassa ololle on syynsä. Kehitetyn version railokulmien ja pienaliitosten koon yhtenäistämiseen käytettiin Mantsinen Group Ltd Oy:n

sisäisiä ohjeita. Railokulmien yhtenäistämisen tarvetta löytyi useista viisteistä, erityisesti pikakiinnittimestä.

Hitsiviisteissä pyrittiin suosimaan sisäisen ohjeen mukaisesti juuripinnatonta puoli V-railoa (kuva 21) plasmaleikkattavien osien suunnittelussa. Puoli V-railon käyttö on perusteltua, sillä sen valmistus on nopeampaa ja sitä kautta kustannustehokkaampaa. Polttoleikkauspalvelut pystyvät tekemään osan muotoleikkauksen yhteydessä plasma- tai laserleikkurilla kuvan 21 mukaisen railon. Tämä siis tarkoittaa sitä, että levyosan leikkaus ja viisteitys voidaan tehdä samalla ajolla ja asetuksella. Muotoleikkauksen jälkeen tapahtuva viisteitys jää siis pois ja osa voidaan valmistaa vähemmällä työvaiheilla.

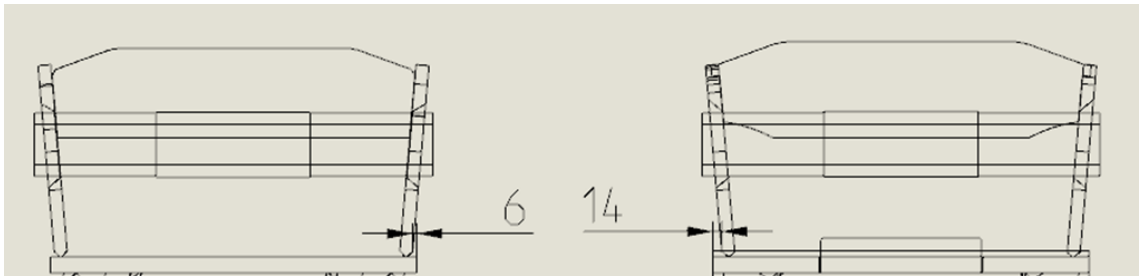


Kuva 21. Puoli V-railo teräslevyn valmistuspiirustuksessa. Railotyyppi on kustannustehokas, sillä sen voi leikata plasmalla yhdellä ajolla muotoleikkauksen yhteydessä.

5.7 Vaaputustila

Rungon kehitystyössä otettiin huomioon robottihitsauksessa vaadittu vaaputustila hitsiliitosten läheisyydessä (kuva 22). Pikakiinnittimen liitostyyppi kansilevyyn ei muuttunut kehitystyössä, mutta uuteen versioon lisättiin vaaputustilaa. Kyseisen liitoksen ammitan koko on 5 mm. Alkuperäiseen 6 mm yli tulevaan osuuteen lisättiin 8 mm peliva-

raa. Vähempikin olisi riittänyt minimivaatimukseen, mutta ylimääräisellä tilalla haluttiin kompensoida pienen alle jäävän puoli V-railon aiheuttamia muutoksia.



Kuva 22. Vasemmalla puolella alkuperäinen runko ja oikealla puolella kehitetty versio.

6 Analyysi

Havaittujen ongelmien ratkaisemisen jälkeen tuotetta analysoitiin kehitystyölle annettujen tavoitteiden mukaisesti. Hitsien määrää tarkasteltiin uudelleen liitteessä 4 olevan taulukon mukaan. Sen perusteella erilaisten hitsi- ja railotyyppien määrä ja hitsin kokonaisuus vähentyivät. Puoli V-railon käytön lisäys onnistui myös plasmaleikattavissa levyissä, joissa sillä haluttiin poistaa sisäpuolen hitsejä. Rungon massa puolestaan keveni hiukan lähtötilanteeseen nähden. Ero alkuperäiseen ei ollut merkittävä, mutta yleisesti ottaen kaikki ostamatta jäävä metalli alentaa tuotteen valmistuskustannuksia.

Rungosta kerättiin palautetta lähettämällä uudet valmistuspiirustukset materiaalinkäsittelykoneen työlaitteita valmistaville alihankkijoille. Asia hoidettiin pitämällä palaveri kunkin alihankkijan luona ja esittelemällä runkoon tehdyt muutokset. Lisäksi rungosta pyydettiin tarjoukset kustannusten selvittämiseksi.

6.1 Alihankkijoilta kerätty palaute

Saadun palautteen perusteella oli ilmeistä, että osan valmistettavuus on parantunut selvästi ja potentiaali robotisointiin kasvanut. Osien massan ja määrän sekä hitsiaineen väheneminen oli heidän arvionsa mukaan selkeä peruste läpimenoajan lyhenemiseen ja sitä kautta valmistuskustannusten alenemiseen. Rungosta löytyi yhä kehitettävää, jonka

avulla robotisointiastetta voitaisiin nostaa entisestään kehitetyssä versiossa. Työstä tuli palautetta seuraavalla tavalla:

- Positiivinen palaute:
 - Robotisointivälineet ja valmistettavuus ovat parantuneet selkeästi.
 - Arviolta n. 70 % nykyisellään robotisoiduissa.
 - Ulottuvuus on parantunut selkeästi.
 - Hitsin määrä on vähentynyt.
- Asiat, joita on syytä vielä miettiä:
 - Voisiko osaa mittojen toleransseista muuttaa valmistusystävällisempään suuntaan?
 - Onko hitsien pinnan muotoa syytä ilmoittaa? Mikäli halutaan tiettyyn kohtaan korkeampia laatuvaatimuksia, se on osoitettava laatu- luokan korotuksella tai erillisellä merkinnällä jälkikäsittelystä.
 - Voisiko joidenkin mittojen esitystapaa parantaa?
 - Ovatko kaikki läpihitsaukset tarpeen?
- Kehitysideat:
 - Voisiko pienä lisätä ennestään?
 - Onko pikakiinnitin mahdollista valmistaa särmämällä?
 - Voisiko railokulmaa kasvattaa yli 20 mm levyissä robotisoidun hitsauksen helpottamiseksi?

6.2 Kehitetyn rungon valmistuskustannukset

Työn kannalta keskeisistä tuloksista tehtiin yhteenveto taulukkoon 3. Siinä verrattiin uutta runkoa vanhempaan malliin kustannusten ja massojen perusteella. Robotisointikustannukset sisältyvät uuden rungon kappalehintaan, mutta eriteltynä ne ovat noin 1.5 kertaa vanhan rungon hinta. Kustannukset muodostuvat tuotannon käynnistämisestä, joita syntyy hitsauskiinnittimien teosta ja robotin ohjelmoinnista.

Todellisia hintatietoja ei julkaistu, vaan lukuna käytettiin alkuperäisen rungon keskihintaa arvolla 1. Kaikki hinnat sisälsivät koneistuksen ja maalauksen, sillä eriteltyjä hintatietoja ei ollut saatavilla. Koneistuksen tai maalauksen määrä ei työssä muuttunut, joten se ei aiheuttanut muutosta versioiden välillä. Hitsauskokoontalon kehityksen avulla

rungon kokonaiskustannukset laskivat 10 %, joka selittyy osin taulukossa 3 näkyvän hitsiaineen määrän vähenemisellä, joka lyhentää hitsausaikaa.

Taulukko 3. Yhteenveto kehitystyön keskeisistä tuloksista.

Muuttuja	Vanha runko	Uusi runko	Ero alkuperäiseen %
Hinta käsinhitsattuna	1	Ei tiedossa	-
Hinta robotisoituna	-	0,9	-10 %
Hitsin määrä	20,35 kg	17,12 kg	-15,87 %
Massa	766,7 kg	759,5 kg	-0,94 %

7 Pohdinta

Kehitystyössä onnistuttiin löytämään valmistettavuutta parantavia ratkaisuja sekä tunnistamaan robotisoiuuden kannalta haasteellisia asioita ja kehittämään niitä. Alihankkijoilta kerätyn palautteen mukaan valmistettavuus ja robotisoitavuus parani kehitystyön tuloksena lähtötilanteesta. Uuden rungon kokonaishinta oli myös tarjousten perusteella edullisempi.

Opinnäytetyössä käsitelty aihe on varsin ajankohtainen yrityksille, jotka ovat tekemisissä sarjatuotantona valmistettavien hitsattujen rakenteiden parissa. Työn tuloksena rungosta löydettiin sellaisia ongelmia ja ratkaisuja, joita voidaan käyttää myös muihin vastaaviin koneenosiin. Toisaalta robotisoinnin kannalta vaillinaiseksi jääneet ongelmat kertovat siitä, millaisia rakenneratkaisuja omaavia tuotteita kannattaa pyrkiä välttämään tuotteiden robotisointia harkitessa.

Saatuihin hintatietoihin tulee suhtautua hiukan kriittisesti, sillä kustannukset voivat muuttua myöhemmin sen perusteella, että millaiseksi tuotteen valmistus käytännössä koetaan. Robotisoiduille osille tyypilliset aloituskustannukset voivat myös vaikuttaa sopimusten erityispiirteisiin. Toisaalta melko korkea valmistuksen aloitukseen liittyvä kertakustannus ja siitä syntyvä kynnys vaihtaa valmistuspaikkaa voi lisätä halua voittaa tarjous. Kustannuksista suurin osa määräytyy suunnittelupöydällä, joten ostoerien ja valmistajien välillä tuskin syntyy suurta hintaeroa. Havainto valmistuskustannusten

vaihtelun pienuudesta valmistajan tai eräkoon muuttuessa tehtiin myös muiden alihankinnasta tulevien samantapaisten tuotteiden kustannuksia tutkiessa.

Yhtään kappaletta uutta mallia ei valmistettu opinnäytetyön teon aikana, joten arviot robotisoitavuudesta pysyivät arvioina. Toteutuvaa robotisointiastetta ei siis voitu todentaa, vaan alku- ja lähtötilanteen arviointi hoidettiin ulottuvuusanalyysillä ja robottihitsaukseen perehtyneiden henkilöiden kanssa keskustelemalla. Mahdollinen käsin hitsaamisen tarve sisänurkissa ja syvien railojen pohjapaloissa voi vaikuttaa robotilla hitsattavan hitsin määrään.

Työtä kannattaisi jatkaa selvittämällä, että olisiko järkevää yhdistää nämä pikakiinnittimellä ja rotaattorilla olevat 2-sylinteriset rungot yhdeksi perusnimikkeeksi. Näin rungon maltillista volyyymia saataisiin nostettua moduloinnilla sekä robottiohjelmista ja tuoterakenteista aiheutuvat kustannukset vähenisivät. Mielestäni rotaattorilla olevassa mallissa olisi enemmän potentiaalia robotisointiin kuin pikakiinnittimellä varustetussa mallissa. Rotaattorilla varustetussa rungossa joitain tässä työssä havaittuja ongelmia ei olisi edes olemassa.

Mikäli tämä runko päädyttäisiin pitämään kokonaan omana nimikkeenä, tulisi robotisointiastetta ja valmistettavuutta pyrkiä vielä lisäämään annetun palautteen perusteella. Jos taas rotaattorilla oleva malli päätettäisiin robotisoida, pitäisi siihen siirtää tässä työssä tehtyjä asioita robotisointiasteen parantamiseksi. Molempien mallien robotisointia samalla hitsauskiinnittimellä voisi myös miettiä, sillä tuotteet ovat samankaltaisia.

Robotisointiasteen kohottaminen liitostyyppejä muuttamalla ei ole välttämättä mahdollista, sillä ne voivat vaikuttaa tuotteelle asetettujen vaatimusten täyttymiseen. Jos lopullista päätöstä tehdessä rungoilla ei näytä olevan riittävää robotisointiastetta tai volyyymia, kannattaa robotisoinnin selvittely kohdistaa muihin työlaitteiden osiin. Esimerkiksi useisiin konemalleihin käytettävä riipukkeen osa tai paljon hitsaamista, yksinkertaisia liitostyyppejä ja rakenteen muodostamia juuritukia sisältävä romukahmarin runko voisi olla hyvä tuote tarkempaa selvitystä varten.

Työstä jäi sellainen mielikuva, että plasmaleikatuista osista kokoonpantu umpinainen rakenne, joka sisältää paljon vaatimuksia läpihitsaamisesta ei ole helppo tuote suunnitel-

la robottihitsattavaksi. Hyvä tapa löytää kannattavasti robotisoitavia tuotteita olisi etsiä paljon hitsaamista ja erityisesti pienahitsejä sisältäviä tuotteita, jotka ovat yksinkertaisia rakenteeltaan, mutta hankalia käsitellä hitsatessa. Myös laserleikkaukseen soveltuvista ainevahvuuksista olisi merkittävä hyöty. Näistä yksinkertaisista, yksitoikkoista työtä sisältävistä tuotteista valittaisiin vuotuisen menekin ja hitsiainekilojen perusteella robotisoinnin kannalta lähempään tarkasteluun otettavat tuotteet.

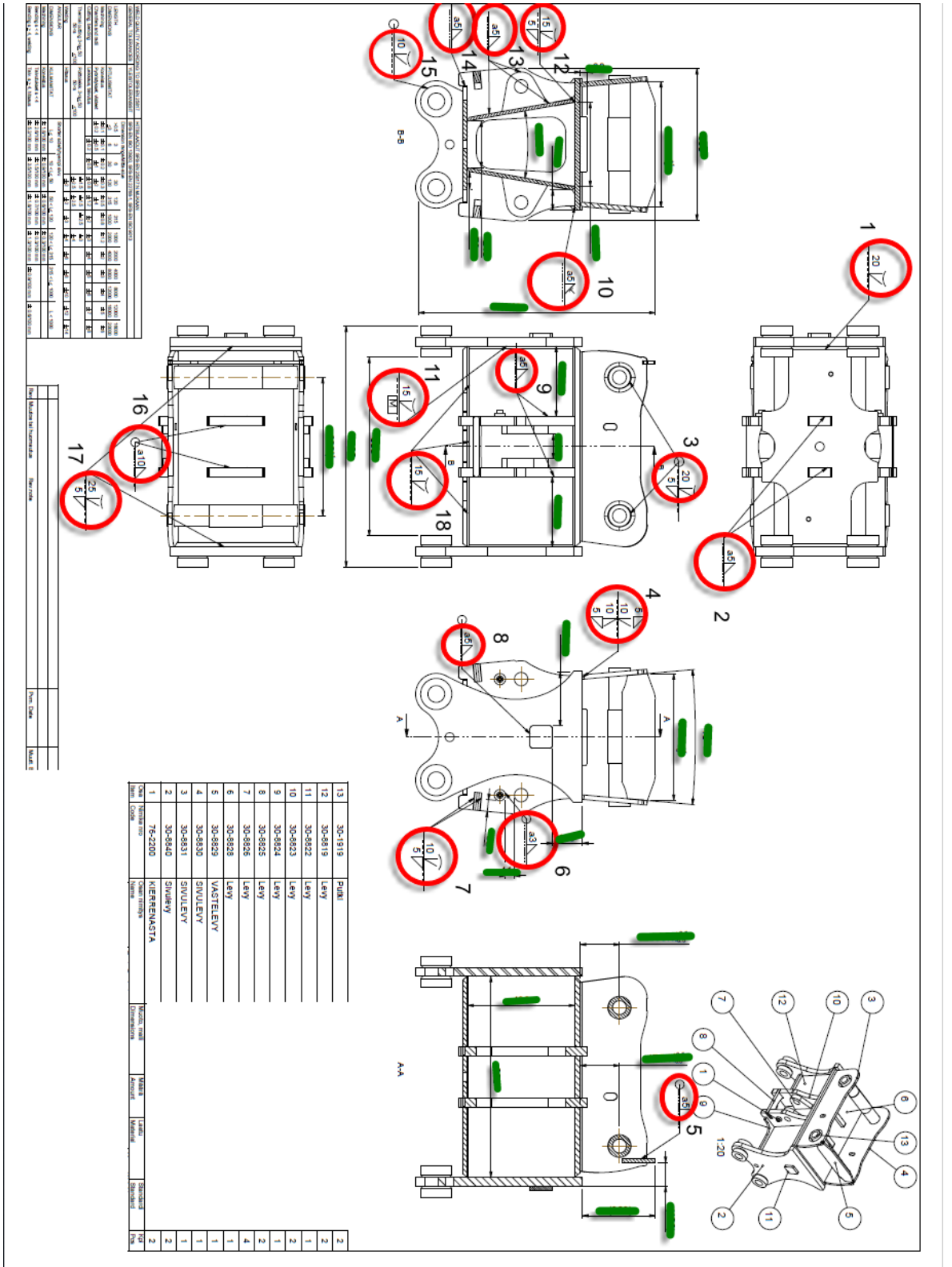
Uskon että tiettyjen työlaitteiden robotisoinnilla olisi mahdollista saavuttaa helppoja kustannussäästöjä, nopeampia läpimenoaikoja ja tasaisempaa laatua. Toisaalta ymmärrän kynnyksen robotisoida, sillä aloituskustannuksia syntyy väistämättä uudelleensuunnittelusta ja tuotteen automatisoinnista. Voidaanko silti luvata, että robotisoinnin puolesta puhuvat asiat toteutuvat?

Opinnäytetyön aihe oli mielestäni erittäin hyvä sen ajankohtaisuuden vuoksi. Työssä käsitelty runko oli mielenkiintoinen, sillä se on käytössä oleva osa. Lisäksi mitään ennakotietoa asiasta ei ollut, sillä runko oli koskematon robotisoinnin suhteen. Työn tekemisen avulla opin uusia asioita teräsrakenteiden suunnittelusta ja valmistusystävällisyyden parantamisesta. Olen varma, että käsitelystä aiheesta on minulle apua tulevaisuudessa.

8 Lähteet

- Comatec Groupin yleisesite. 2016. Ajatuksen voima suunnitteluun.
https://issuu.com/comatecgroup/docs/comatec_group_esite_fi 17.3.2019: 2.
- Esab Oy. ESABIN OSAAMISKESKUS, MIG/MAG-HITSAUS.
<https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/mig-mag-hitsaus.cfm> 25.3.2019
- Flinkenberg Oy. Ajankohtaista. Työvarat teräksen leikkauksessa. 10.9.2019
<https://www.flinkenberg.fi/tyovarar-teraksen-leikkauksessa/> 6.7.2019
- Flinkenberg Oy. Uutiskirje 6/2019. Laserviisteet automatisoidun hitsauksen tarpeisiin. 6.7.2019.
- Heiskanen, M. 2018. ”Intohimo tekemiseen tuli hiipien, yhtäkkiä huomasi olevani umpirakastunut”, sanoo isänsä perustamaa yritystä kasvattava Mia Mantsinen. Talouselämä 15.8.2018.
<https://www.talouselama.fi/uutiset/intohimo-tekemiseen-tuli-hiipien-yhtakkaa-huomasin-olevani-umpirakastunut-sanoo-isansa-perustamaa-yritysta-kasvattava-mia-mantsinen/65b8e95d-898d-3738-8d2d-705da9fc242b> 15.3.2019.
- Hietikko, E. From Experience to Skill – HitSavonia-hankkeen loppuraportti. 27.11.2007. http://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/_tki-ja-palvelut/julkaisutoiminta/pdf/From_Experience_to_Skill.pdf 19.4.2019.
- Hiltunen, E. 2005. Robottihitsauskoulutus, Joensuu. Robottihitsattavan tuotteen suunnittelu. Jakso 3. 19–20.1.2005.
- Hiltunen, E. 2019. Robotisointiprojektin vaiheet ja toteutus. SHY:n seminaari aiheesta robotisointi ja hitsauksen laatu. Muistiinpanot 16.4.2019.
- Kemppi Oy. Hitsausaapinen. <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/mig-maghitsaus/> 25.3.2019
- Kojo, E. 2019. Hitsausinsinööri. Hitsatun rakenteen suunnittelu -opintojakso. Karelia-ammattikorkeakoulu. Tuntimuistiinpanot 21.3.2019.
- Laakko, T. 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Porvoo 1998.
- Lempiäinen, J. & Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu-puoliksi valmistettu. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Mantsinen Group Ltd Oy. 2019a. Yritys. <https://www.mantsinen.com/fi/yritys/> 16.3.2019.
- Mantsinen Group Ltd Oy. 2019b. Historia. <https://www.mantsinen.com/fi/yritys/historia/#ad-image-0>. 16.3.2019
- Martikainen, J. Hitsauksen robotisointi. N.d. Investointi, joka maksaa itsensä takaisin Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
<https://developmentcentre.lut.fi/alasivu.asp?kid=713&alasivu=998> 17.3.2019.
- Niemi, E. & Kemppi, J. 1993. Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet. Helsinki: Painatuskeskus Oy.
- Niskanen, A. 2019. Hallituksen puheenjohtaja. Viimet Oy. Haastattelu 20.6.2019
- Räsänen, N. Robottihitsauksen mahdollisuudet ja vaatimukset. TAKEOFF! Hitsauksen automatisoinnin sekä laser- ja hybridihitsauksen mahdollisuudet. 21.5.2015.
https://www.pohjois-savo.fi/media/seminaarit-ja-tapahtumat/2015/takeoff2_21052015/robottihitsauksen-mahdollisuudet-ja-vaatimukset.pdf 20.3.2019

TWI:n työryhmä. 2010. Hitsauskustannusten alentaminen. Suomen hitsausyhdistyksen jäsenlehti. 5/2010: 9. https://www.shy-hitsaus.net/portals/shy/iBooklet/2010/ht_5_10/files/assets/basic-html/page9.html 27.3.2019



Hitsi nro	hitsaussyvyys (mm)	a-mitta (mm)	railokulma (°)	pituus (mm)	hitsien lkm	Hitsin massa (kg)
1	20		35	340	2	0,75
2		a5		251	2	0,10
3		a6		1305	4	1,48
4		a6		20	16	0,09
5	15		35	900	2	1,11
6	15		35	900	2	1,27
7		a6		20	ks. Kohta 4	
8	13		35	335	4	0,62
9		a6		472	4	0,53
10		a6		472	4	0,53
11	10		45	322	8	2,02
12		a6		120	8	0,27
13		a5		1020	2	0,40
13.1	9		40	1020	2	0,54
13.2		a5		1020	2	0,40
13.3	9		50	1020	2	0,77
14		a6		20	ks. Kohta 4	
15		a4		157	2	0,04
15.1		a4		400	1	0,05
16			10	440	8	2,76
17	20		35	320	4	1,41
17.1		a4		213	4	0,11
17.2		a6		107	4	0,12
18	20		35	530	2	1,17
18.1	20		35	290	2	0,64
18.2	20		35	105	4	0,46
19	10		45	80	8	0,25
19.1		a6		80	8	0,18
20		a6		180	2	0,10
20.1		a6		50	2	0,03
21		a6		7568	1	2,14
Hitsin kokonaismäärä (kg)						20,35

Hitsi nro	hitaussyvyys	a-mitta (mm)	railokulma (°)	pituus (mm)	hitsien lkm	Hitsin massa (kg)
1	20		40	280	2	0,74
2		5		291	2	0,11
3	20		40	320	4	1,69
4		5		1000	2	0,39
4.1	10		40	1000	2	0,66
4.2	10		40	1000	2	0,66
4.3		5		1000	2	0,39
5		5		206	2	0,08
6		3		157	2	0,02
7	10		45	80	8	0,25
8		5		383	1	0,08
9		5		487	4	0,38
10		5		50	4	0,04
11	15		40	487	4	1,44
12	15		40	900	2	1,33
12.1		5		900	2	0,35
13		5		1179	4	0,93
14		5		20	4	0,02
15	10		45	440	8	2,76
16		10		594	2	0,93
17	25		40	588	2	2,42
17.1		5		588	2	0,23
18	15		40	816	2	1,21
Hitsin kokonaismäärä (kg)						17,12