

KARELIA AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Samuli Havukainen

HYDRAULISÄILIÖN HITSUKSEN SIIRTÄMINEN ROBOTTIHIT-
SAUKSEEN

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013

 Karelia UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	OPINNÄYTETYÖ Toukokuu 2013 Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma Karjalankatu 3 80200 JOENSUU
Tekijä Samuli Havukainen	
Nimeke Hydraulisäiliön hitsauksen siirtäminen robottihitsaukseen Toimeksiantaja Suomen Levyprofiili Oy	
Tiivistelmä Opinnäytetyön tarkoituksena oli hydraulisäiliön hitsausprosessin siirtäminen robottihitsaukseen. Työ rajattiin koskemaan osien uudelleensuunnittelua ja hitsausjigin suunnittelu. Säiliön osat täytyi muuttaa robottihitsaukseen soveltuviksi ja rakentaa niille toimiva jig robottia varten. Tavoitteena työssä oli puolittaa hitsausprosessista muodostuvat kustannukset ja uudelleensuunnittelulla saada muitakin valmistuskustannuksia pienemmiksi. Uudelleensuunnittelussa käytettiin apuna DFMA-tuotekehitysmenetelmiä. Kaikki osat käytiin läpi ja tarkasteltiin niiden valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta. Samalla osat muutettiin robottihitsaukseen soveltuviksi. Osiin lisättiin hitsattavuutta auttavia kohdistuksia ja paikoitusmenetelmiä. Hitsausjigin suunnittelussa käytettiin apuna yrityksessä opittuja menetelmiä ja toteutustapoja. Opinnäytetyön tuloksena hitsauskustannukset saatiin puolitettua ja uudelleensuunnittelulla kustannuksia pienennettyä sekä tuote soveltumaan robottihitsaukseen. Työssä kuvataan kuinka tavoitteisiin päästiin ja käydään läpi hitsausjigin suunnittelu. Lisäksi pohditaan opinnäytetyön ja kehitysmenetelmän tuloksia.	
Kieli suomi	Sivuja 33
Asiasanat uudelleensuunnittelu, DFMA, hitsauskiinnitin, hitsausjigi, robottihitsaus	



THESIS
May 2013
Mechanical and Production Engineering

Karjalankatu 3
FIN 80200 JOENSUU
FINLAND

Author
Samuli Havukainen

Title
Upgrading Manual Welding of Hydraulic Tank to Automatic Robot Welding

Commissioned by
Suomen Levyprofiili LTD

Abstract

The main purpose of this thesis was upgrading a hydraulic tank welding process to a robotic one. The work was limited to redesign and welding jig design. The tank components had to be converted to suit the robot welding process and therefore, a working jig was to be built. The purpose of this thesis was to halve the costs of the welding process and lower other manufacturing costs by the aid of redesign.

DFMA -product development methods were used in the redesign process. All the parts were reviewed and analyzed with regard to manufacturability and assembly. At the same time components were modified for the robotic welding. Welding ability helping alignments and positioning methods were added. In addition, the methods and ways of implementing learned in the company were utilised in the welding jig design.

On the basis of the results it can be concluded that welding costs were reduced by half and the cost of redesign were diminished. Moreover, the product became suitable for the robot welding process. The study describes how the targets were achieved and explains the welding jig design process. It also discusses the development of the method's results.

Language
Finnish

Pages 33

Keywords
re-design, DFMA, welding fixture, welding jig, robot welding

SISÄLTÖ

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto.....	5
1.1	Työn taustat ja tavoitteet	5
1.2	Toimeksiantoyritys.....	5
2	Tuotteen uudelleensuunnittelu DFMA:n avulla ja käytettyjä tekniikoita	6
2.1	Lähtötiedot	6
2.2	DFMA-suunnittelu	7
2.3	Osien yhdistäminen ja vähentäminen	8
2.4	Kokoonpanon huomioiminen suunnittelussa	11
2.5	Kokoonpanohitsaus	13
2.6	Robottihitsaus.....	14
2.7	Liitosmuodot	15
2.8	Modulointi ja standardointi	17
2.9	Paikoitusnastat ja etsaukset	18
2.10	Särmättävät osat	20
2.11	Laserleikattavat osat.....	22
2.12	Tuotteen kustannuslaskenta	23
3	Hitsausjigin suunnittelu	24
3.1	Lähtötiedot	24
3.2	Hitsausjigin käyttötarkoitus	24
3.3	Hitsausjigille asetettavat vaatimukset	25
3.4	Säiliön hitsausjigi	26
4	Tulokset ja pohdintaa	29
4.1	Suunnittelu ja kustannusten laskenta	29
4.2	Käytännön tulokset.....	30
4.3	Pohdintaa.....	31
	Lähteet.....	33

1 Johdanto

1.1 Työn taustat ja tavoitteet

Tämä opinnäytetyö käsittelee hydraulisäiliön hitsausprosessin siirtämistä hitsausrobotille. Aikaisemmin säiliön hitsaus suoritettiin käsihitsauksena ilman minkäänlaista mekaniointia. Työ sisältää säiliön robottihitsausjigin suunnittelun sekä osien valmistustekni- sen tarkastelun.

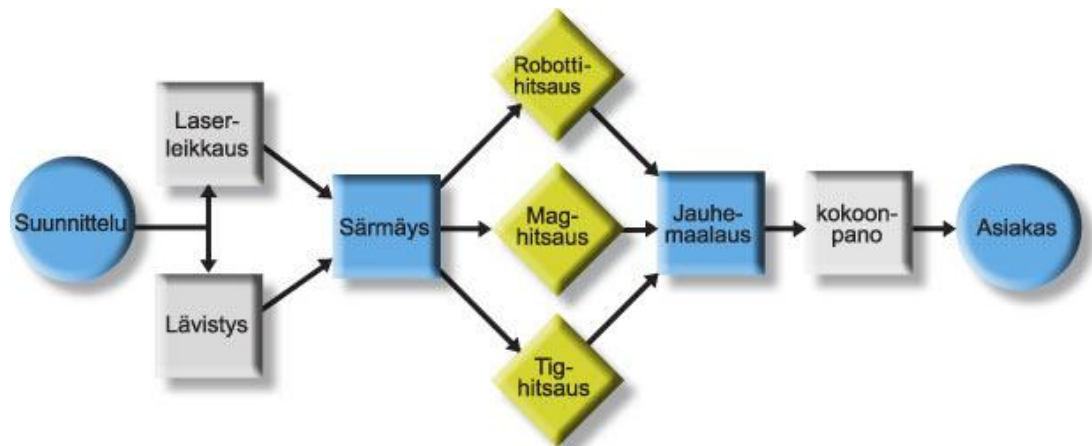
Työn tavoitteena oli puolittaa hitsauksen nykyiset kustannukset. Kustannussäästöjä ha- ettiin hitsaukseen käytetyn ajan pienentämisellä ja sivuaikojen pienentämisellä. Sivu- ajoilla tarkoitetaan tässä sitä aikaa, joka ei ole hitsaustyötä, esimerkiksi osien mittaami- nen oikealle kohdalle. Tavoitteeseen pääsemiseksi robottihitsaukseen oli suunniteltava toimiva jigi hitsausta varten. Suunnittelun yhteydessä tarkasteltiin kaikkien osien val- mistettavuutta ja kokoonpantavuutta ja mietittiin, miten ne olisi edullisempi valmistaa.

1.2 Toimeksiantoyritys

Suomen Levyprofiili Oy on ohutlevytekniikkaan keskittynyt sopimusvalmistajayritys. Yritys on perustettu vuonna 1998 ja se sijaitsee Joensuun Käpykankaan teollisuusalu- eella. Yrityksessä työskentelee noin 80 henkilöä. Yrityksen asiakkaita ovat muun muas- sa John Deere Oy ja Sandvik Mining & Construction Oy. (Suomen Levyprofiili Oy 2013.)

Suomen Levyprofiili valmistaa sopimusasiakkailleen pintakäsiteltyjä ohutlevyrakenteita ja osakokonaisuuksia. Yritys valmistaa John Deere -metsäkoneiden konepeitot, sekä muita suoja-, teline- ja kiinnitysratkaisuja. Sandvikille yritys tekee muun muassa po- rauslaitteiden pölyerottimia, moottorinkatteita sekä hydrauli- ja polttoainesäiliöitä. (Suomen Levyprofiili Oy 2013.)

Tuotteet vaihtelevat suorista levyistä monimutkaisiin särmättäviin ja hitsattaviin osakonnaisuuksiin.



Kuva 1. Prosessikaavio (Suomen Levypoli Oy, 2013)

Tuotteen valmistus sisältää useita eri työvaiheita. Prosessikaaviossa (kuva 1) näkyvät yrityksessä käytössä olevat teknologiat.

2 Tuotteen uudelleensuunnittelu DFMA:n avulla ja käytettyjä tekniikoita

2.1 Lähtötiedot

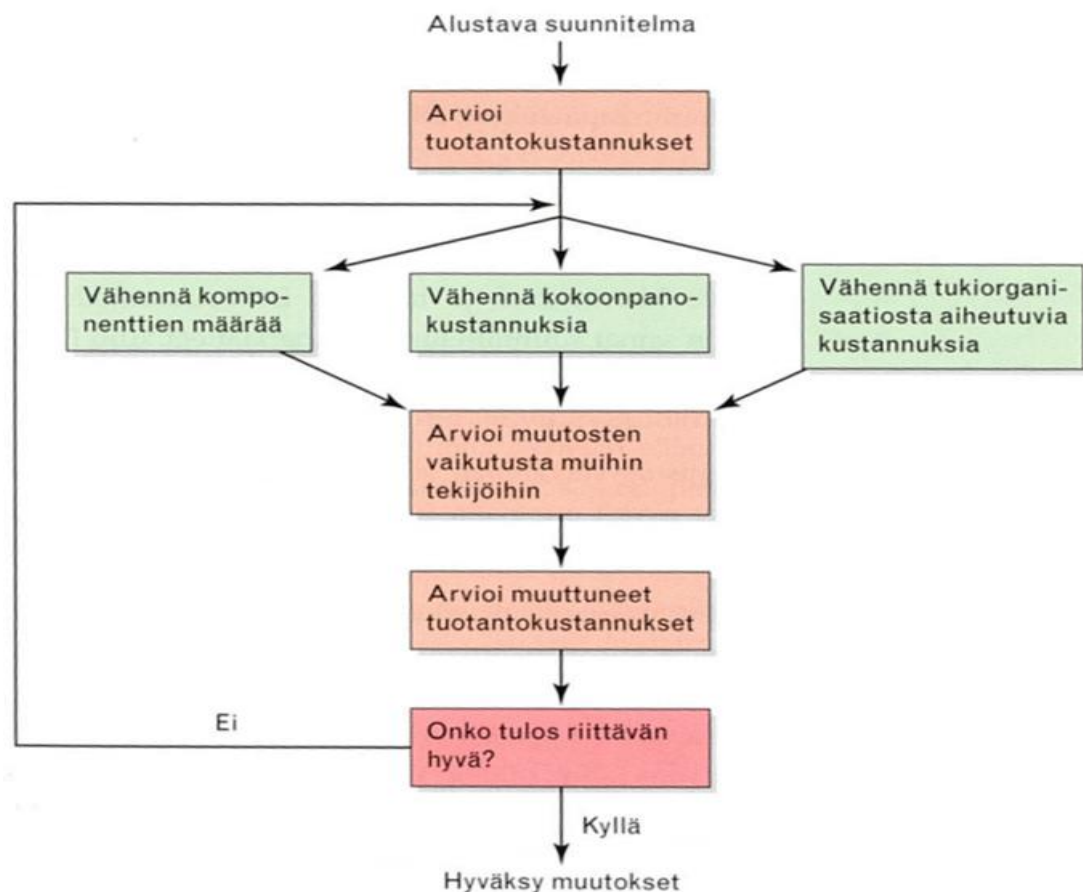
Lähtökohtana säiliön uudelleensuunnittelussa oli hitsausprosessin nopeuttaminen robotisoinnin avulla ja osien muuttaminen robottihitsaukseen soveltuviksi. Samalla tarkasteltiin muiden työvaiheiden osien valmistettavuutta ja valmistuskustannuksia.

Säiliön osia saatiin muuttaa erilaisiksi, kunhan toiminnallisuus, liityntäpinnat ja kiinnityspisteet pysyivät samoina. Säiliöön tehdyt muutokset tulee hyväksyttävä asiakkaalla.

Tarkasteltavia säiliöitä oli kaksi, jotka sisälsivät paljon samoja osia. Tavoitteena oli myös yhdistää näiden valmistusta moduloinnin avulla. Työssä tarkastellaan vain toisen säiliön muutoksia. Työssä käytettiin asiakkaalta saatuja 3D-malleja, joita käsiteltiin SolidWorks 3D -ohjelmalla.

2.2 DFMA-suunnittelu

Säiliön uudelleensuunnittelussa käytin apuna DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) -tuotekehitysmenetelmiä. DFMA sisältää kaksi osittain päällekkäistä osaluuetta, jotka ovat DFM (Design for Manufacturability) ja DFA (Design for Assembly). (Laakko ym. 1998, 16.) DFMA-prosessikulku on esitetty seuraavassa kuvassa.



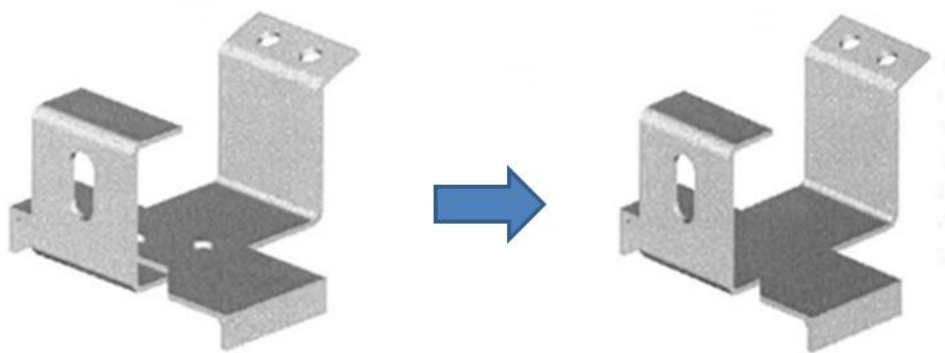
Kuva 2. DFMA-prosessikulku (Laakko ym. 1998, 16).

Valmistettavuus, DFM, on yksinkertaisuudessaan tietokantapohjainen systemaattinen tuotekehitysmenetelmä, jonka avulla tuotekehitystiimi voi suunnitella tuotteen niin, että se olisi helpompi valmistaa. Se sisältää suosituksia, tarkistuslistoja, perusperiaatteita ja peukalosääntöjä. DFM auttaa yritystä yksinkertaistamaan tuotekonstruktion valmistamista ja alentamaan kustannuksia. DFM mahdollistaa tuotteen paremman toimivuuden, luotettavuuden, saa näyttämään paremmalta, helpottaa tuotteen huollettavuutta sekä parantaa ympäristökuormitusta. Kuitenkin kaikki tässä tähtää valmistuskustannusten alentamiseen, joka saavutetaan tuotekehitys- ja valmistustiimin yhteistyöllä. (Lempiäinen, Savolainen 2003, 13.)

Kokoonpantavuus, DFA (Design for Assembly) on toinen keino, kun kehitellään olemassa olevaa kokoonpanoprosessia. DFA:n avulla tarkastellaan kokoonpanon kannalta olennaisia asioita, kuten osien paikoitettavuus, takertuvuus ja sekaantuminen. (Lempiäinen, Savolainen 2003, 13.)

2.3 Osien yhdistäminen ja vähentäminen

Nykyaikaiset leikkaus- ja särmäysmenetelmät mahdollistavat ohutlevytuotteiden yhdistämisen hyvinkin monimutkaisiksi kokonaisuuksiksi. Kuvassa kolme on esimerkki, kuinka osat voi yhdistää särmäystä hyväksi käyttäen.



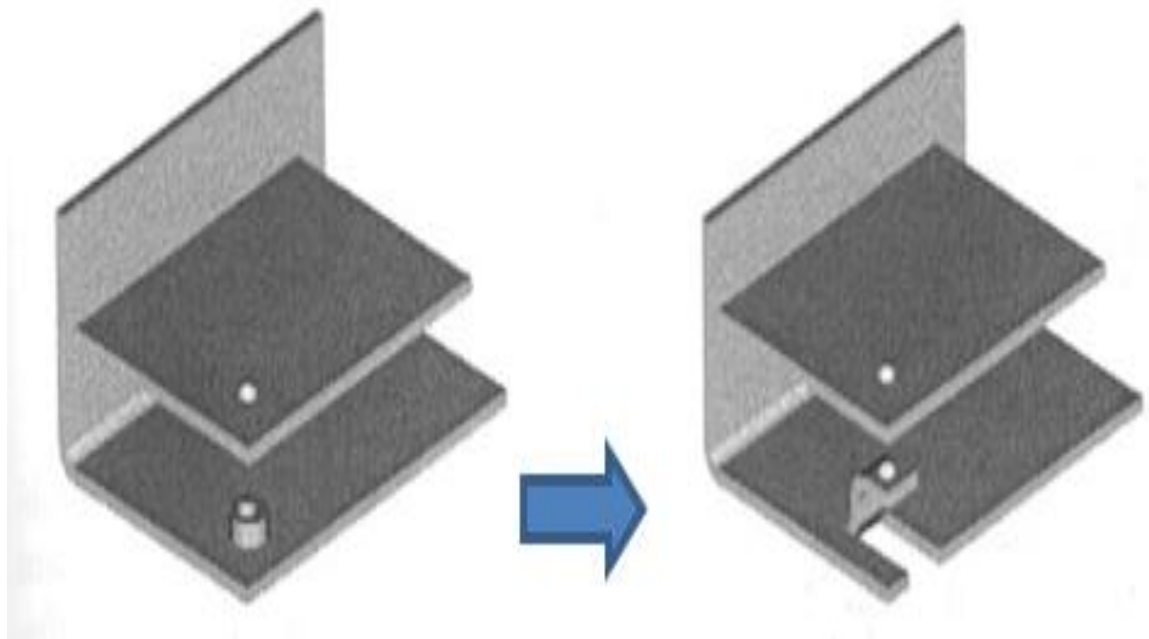
Kuva 3. Ohutlevyosien piirteiden yhdistäminen (Lempiäinen, Savolainen 2003, 59).

Konstruktiossa osaluvun ja nimikkeiden vähentäminen lisää tuottavuutta kokoonpanossa ja on yksi kokoonpantavuuden peruspilareista. Osien yhdistäminen vähemmäksi te-

kee yleensä osasta monimutkaisemman, mutta nykyaikaisilla tekniikoilla tästä ei tarvitse olla huolissaan. (Lempiäinen, Savolainen 2003, 58.)

Poisjätettävä osa pienentää kustannuksia, sillä sitä ei enää tarvitse suunnitella, valmistaa, testata prototyyppinä, valmistaa tuotteen kokoonpanoa varten, valvoa onko saapunut kokoonpanoa varten, varastoida, poistaa epäkuranttina kirjanpidosta, mahdollisesti ostaa ja kuljettaa sekä kierrättää ja lopulta hävittää. (Lempiäinen, Savolainen 2003, 71.)

Pienten levy- ja koneistusosien liittämistä toisiinsa hitsaamalla tulee mahdollisuuksien mukaan välttää. Kokoonpanohitsaus voi aiheuttaa ohuissa levyissä niin isoja muodonmuutoksia, että leikkuun tarkka tolerointi häviää. Osa kannattaakin suunnitella niin, että se pystyttäisiin tekemään samasta osasta, ilman ylimääräisiä osia. (Lempiäinen, Savolainen 2003, 59.) Kuvassa neljä on esimerkki muotojen yhdistämisestä samaan osaan.



Kuva 4. Osien yhdistäminen samasta aineesta särmäämällä (Lempiäinen, Savolainen 2003, 59).

Professori Geoffrey Boothroydin (1987) kehittämässä kokoonpantavuuden teoriassa on kolme hyväksyttävää perustetta osien välttämättömyydelle. Nämä syyt ovat:

- osan on oltava erillinen, jos tuotteen toiminnan kannalta sen on oltava eri materiaalia kuin viereiset osat, esim. sähköön eristysmateriaali >< sähköön johdodemateriaali
- osan on oltava erillinen, jos osa liikkuu viereisiin osiin nähden, eikä tätä liikettä voida aikaansaada osan materiaalin tai muodon elastisuutta hyväksikäyttäen, esim. pyörivä akseli >< kiinteä liukulaakeri
- osan on oltava erillinen, jotta tuotteen kokoonpano tai purku on mahdollisia, esim. vaihdelaatikon puolikkaiden jakotaso on välttämätön.

Edellisistä voi todeta, että osien kiinnitystä toisiinsa tai ulkonäköseikkoja ei oteta tässä välttämättömyyskriteerissä millään tavalla huomioon. Monessa kaupallisessa tuotteessa onkin ulkonäön vuoksi suunniteltu ”turhia” osia. (Lempiäinen, Savolainen 2003, 70.)

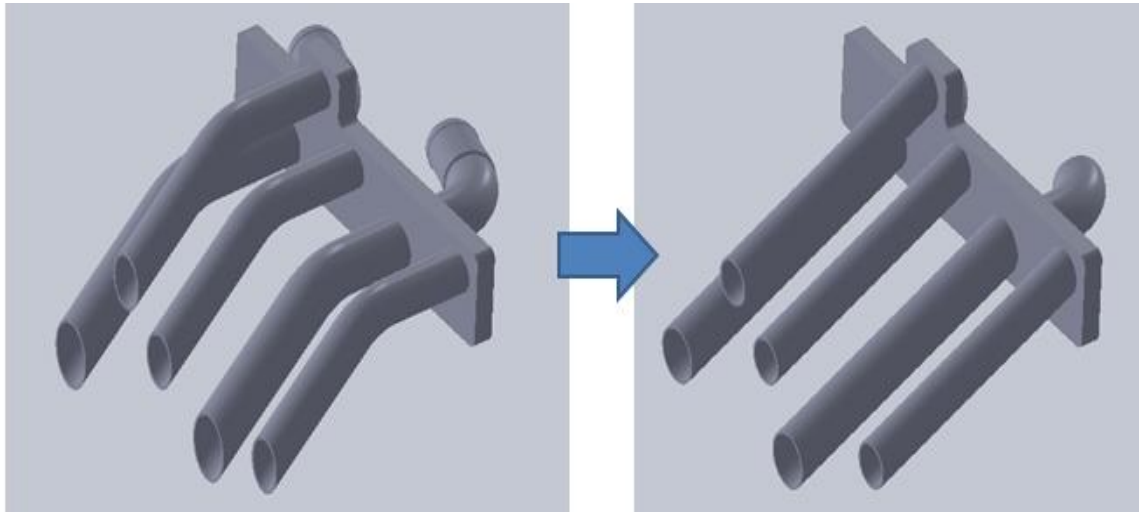
Boothroydin ja Dewhurstin (1989) kehittämällä kokoonpantavuusindeksillä voidaan laskea tuotteelle arvioitu kokonaiskokoonpanoaika T_{kok} , jossa N on välttämättömien osien määrä (Lempiäinen, Savolainen 2003, 70).

$$\mu_{kokoonpantavuus} = \frac{100 \times N \times 3[sek]}{T_{kok}}$$

Kaavasta nähdään, että osien vähentäminen lisää suoraan kokoonpantavuutta ja vähentää kokoonpanoaikaa.

Säiliö sisälsi putkia ja käyriä, jotka aikaisemmin oli hitsattu toisiinsa useasta eri osasta. Putket oli mahdollista tehdä myös yhdestä putkesta taivuttamalla. Tein tarjouspyynnön useaan eri metallialan yritykseen putkien taivuttamiseksi. Putkien monimuotoisuuden ja sarjakoon pienuuden vuoksi taivuttaminen olisi tullut kalliimmaksi kuin hitsaaminen, joten tämä vaihtoehto hylättiin.

Toinen keino putkirakenteissa oli osien vähentäminen. Rakenteesta löytyi turhia mutkia, jotka korvattiin suoralla putkella. Kuvassa viisi vasemmalla puolella näkyy viisi putkea, jotka on hitsattu kolmesta eri osasta. Ne korvattiin suorilla putkilla, tällä saatiin osamäärää vähennettyä kymmenellä kappaleella.



Kuva 5. Käyrien putkien korvaaminen suorilla putkilla (Kuva: Samuli Havukainen).

Säiliö sisälsi myös kaksi muuta putkea, joissa oli samanlainen rakenne kuin kuvassa ylhäällä. Näissäkin putket oli mahdollista toteuttaa suorista putkista. Tällä muutoksella saatiin neljä osaa pois rakenteesta.

2.4 Kokoonpanon huomioiminen suunnittelussa

Tuotteiden kokoonpantavuuden parantamiseksi suunnittelijan on osattava yhdistää eri osien toimintoja yhteen samaksi osaksi. Tällä tavoin suuri määrä käsittelyjä ja liitoksia jää pois lopullisen tuotteen kokoonpanosta. Konstruktiossa liitokset ovat aina yksi laaturiski. Osien vähentämisellä on myös suora suhde tuotteesta aiheutuviin kiinteisiin kustannuksiin. (Lempiäinen, Savolainen 2003, 71.)

Kokoonpanoa saadaan tehostettua kehittämällä tuotteita siten, että kokoonpano yksinkertaistuu tai poistuu kokonaan. Tuotteen suunnittelija on tässä pääosassa. Suunnittelija päättää kokoonpanotavan ja tuotteen kokoonpanon helppouden. Lisäksi hänen täytyy

ottaa huomioon tuotteen mekanisointi ja automaatiomahdollisuus. Vaikka tuotteen kokoonpanoa tai hitsausta ei ole tarkoitus automatisoida, on manuaalisessakin kokoonpanossa hyvä noudattaa automaation suunnitteluperiaatteita, sillä ne helpottavat myös manuaalista kokoonpanoa. (Lempiäinen, Savolainen 2003, 81.)

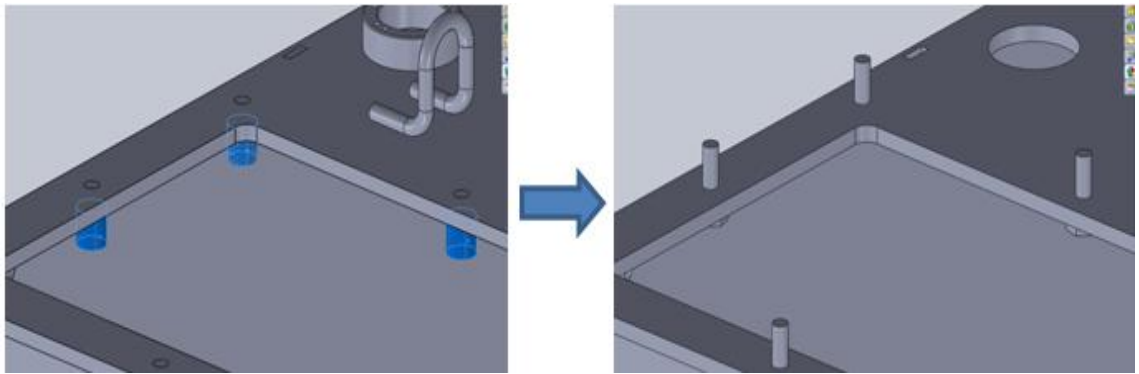
Useissa kokoonpanon automatisointihankkeissa on huomattu, että olemassa olevan tuotteen kokoonpanon automatisointi on mahdotonta tai se ei ole kannattavaa. Tällöin konstruktio on usein suunniteltava uudelleen. Kokoonpanosuuntia on vähennettävä ja osien määrää rajoitettava. (Lempiäinen, Savolainen, 2003, 81.)

Seuraavassa muutamia yleisperiaatteita, joita on hyvä noudattaa manuaalisessa kokoonpanossa, kun suunnitellaan uuskonstruktiota (Lempiäinen, Savolainen 2003, 81):

- suunnitellaan rakenne automaattisen kokoonpanon ehdoilla, myös manuaalinen kokoonpano yksinkertaistuu ja helpottuu
- käytetään mahdollisimman vähän osia (yhdistele osia) ja harvoja kokoonpanosuuntia
- käytetään moduuleja konstruktiossa
- yksinkertaistetaan ja vähennetään
- käytetään mahdollisimman vähän
 - komponentteja
 - liitoksia
 - liitoselementtejä
 - sovittamista
 - asettamista paikoilleen
 - kuljettamista ja käsittelyä
- suunnitellaan niin, että on helppoa
 - asemoida kappaleet
 - käsitellä komponentteja
 - käsitellä työkaluja
 - pinota ja pakata osia
- ennakoidaan liittämiset, käsittelyt, työmenetelmät, nostot ja riiputettavuus
- suunnitellaan tuottavan ja tuottamattoman työn suhde edulliseksi
- otetaan huomioon:

- ergonomiset ja työnmuotoilulliset tekijät
- yksi perusosa, johon muut osa liitetään
- perusosan asennon muutosmahdollisuudet
- kokoonpanomenetelmien ennakkoon suunnittelut.

Kokoonpanossa säiliöön pultataan kiinni kansi, jota varten säiliössä on aukko ja aukon reunoilla sisäpuolelle hitsatut kierreholkit. Holkkeihin on koneistettu kierre, joka ei ole läpi, koska kierrereikä ei saa olla avoinna säiliöön, ettei säiliö ala vuotaa kierteiden kohdalta. Holkit korvattiin pulteilla, jotka hitsataan sisäpuolelta ympäri ja kansi kiinnitetään muttereilla säiliöön. Tällä saatiin kalliit koneistusosat korvattua edullisemmilla pulteilla (kuva 6).



Kuva 6. Koneistettujen holkkien korvaaminen pulteilla (Kuva: Samuli Havukainen).

2.5 Kokoonpanohitsaus

Hitsattavan tuotteen suunnittelun lähtökohta on aina, että tuotteen tulee täyttää sille asetetut toiminnalliset vaatimukset ja edellytykset. Suunnittelijalla pitää olla käsitys yrityksellä käytössään olevista tuotantokoneista, menetelmistä sekä mahdollisuuksista. Tämä koskee kaikkia osavalmistuksessa käytettäviä laitteita niin leikkauksen kuin särmäyksenkin osalta. Lisäksi täytyy tietää niiden saavutettavissa olevat mittatarkkuudet ja myös alihankinnasta ostettujen osien tarkkuus. (Lempiäinen, Savolainen 2003, 83.)

Robottihitsauksen onnistuminen loppukokoonpanohitsauksessa on avainasemassa suunniteltaessa tuotteita robottihitsaukseen. On etua jos suunnittelija tuntee hitsausrobotin ulottuvuuden ja käsittelypöytien ominaisuudet. Lisäksi täytyy myös ymmärtää railonhaun ja railonseurannan periaatteet, että osaa ottaa nämä rajoitukset tai mahdollisuudet huomioon suunnittelussa. (Lempiäinen, Savolainen, 2003, 83.)

Hitsattavassa tuotteessa lähtökohtana on, että se sisältää mahdollisimman vähän hitsattavia osia. Hitsaamalla rakenteeseen muodostuu aina epäjatkuvuuskohtia, jotka pilaavat perusaineen ominaisuudet. Monesti jäykisteripa tai tuki voidaan korvata yhdistämällä se tuotteeseen särmättäväksi osaksi. (Lempiäinen, Savolainen, 2003, 83.)

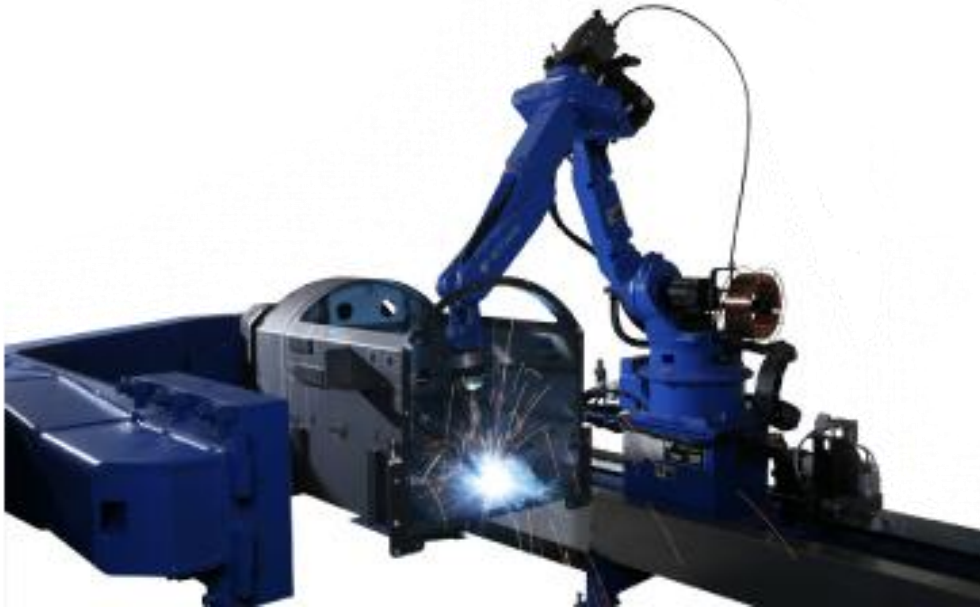
2.6 Robottihitsaus

Säiliön hitsauksessa käytetään MAG-hitsausta eli metallikaasukaarihitsausta. MAG-hitsaus kuuluu kaasukaarihitsausprosessiin, jossa työkappaleen ja lisäainelangan välille synnytetään valokaari. Valokaari sulattaa perusainetta ja samalla lisäainelangan, joka siirtyy pisaroina hitsattavaan saumaan ja sekoittuu perusaineen kanssa. Palamisprosessi tapahtuu hitsauskaasun ympäröimänä. Hitsauskaasu suojaa sulaa ja kaaritilaa ympäröivältä ilmalta. Hitsisulan jähmettyessä syntyy hitsisauma, joka on vähintään yhtä lujaa kuin perusaine. Perusaineella tarkoitetaan hitsattavana olevan kappaleen materiaalia. (MET-julkaisuja 1999, 81.)

MAG-hitsauksessa käytetään aktiivista suojakaasua, joka yleisimmin on hiilidioksidin (CO_2) ja argonin tai argonin ja hapen (O_2) seoksia. MAG-hitsaus sekoitetaan monesti MIG-hitsaukseen, joka eroaa MAG-hitsauksesta pääasiassa suojakaasun koostumuksesta. MIG-hitsauksessa käytetään inerttiä, reagoimatonta suojakaasua, joka koostuu yleensä argonista tai argonin ja heliumin seoksesta. MAG-hitsaus soveltuu terästen ja ruostumattomien terästen hitsaamiseen, kun taas MIG-hitsaus soveltuu niin sanottujen ei-rautametallien hitsaukseen, kuten alumiiniin ja titaaniin. (MET-julkaisuja 1999, 81.)

Yrityksessä on käytössä Motoman-merkkinen hitsausrobotti ja siihen liitetty Motomanin kappaleenkäsittelijä, missä on kaksi pyörityspöytää (kuva 7). Kappaleenkäsittelijä

on kaksiosainen, joka mahdollistaa toisen tuotteen asettamisen samaan aikaan, kun robotti hitsaa toista.



Kuva 7. Motomanin hitsausrobotti ja kappaleenkäsittelijä (Suomen Levyprofiili Oy, 2013).

Hitsausprosessin onnistuminen robottihitsauksessa vaatii tuotteilta suurta tarkkuutta ja kiinnittimiltä hyvää paikoitettavuutta. Nykyaikaisilla railonseuranta- ja etsintätoiminnoilla hitsaus kuitenkin onnistuu epätarkkuuksista huolimatta. Nykyään näiden teknikoiden hinnat ovat sen verran edullisia että pienenpienkin sarjojen hitsaaminen robotilla on kannattavaa. (Aalto ym. 1999, 120.)

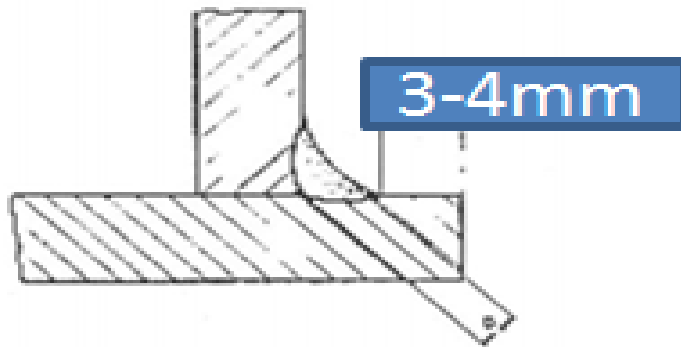
Työn laadun parantuminen ja laadun tasaisuus ajaa kehitystä kohti hitsauksen robotisointia. Työn nopeutuminen robotisoinnin myötä laskee myös tuotteiden valmistuskustannuksia. (Aalto ym. 1999, 120.)

2.7 Liitosmuodot

Särmättäviä ohutlevyjä sisältävän tuotteen hitsaaminen robotilla voi olla haastavaa. Sen takia robotisoidussa hitsauksessa tulee suosia pienaliitoksia ja erityisesti alapienäasentoa, jotta päästään suuriin hitsausnopeuksiin (Lepola, Makkonen 2005, 125). Osien

asemointi ja sovittaminen nastoja ja koloja käyttäen on helppoa, eikä railo vaadi suurta tarkkuutta. Pienaliitoksen kohdistustoleranssit verrattuna päittäisliitokseen ovat vain noin viidesosa. Ilmarako pyritään jättämään nollaan, mutta pienet raot vaikuttavat vain vähän a-mittaan. (Lempiäinen, Savolainen 2003, 87.)

Levyosien reunaan tuleville pienaliitoksille pitää jättää riittävästi tilaa levyn reunaan, minimissään 3–4 mm pienen kyljen korkeuden päälle (kuva 8). Tällä ehkäistään mitta- virheiden esiintyessä hitsattavan reunan sulaminen ja hitsin valuminen. Tämä mahdollistaa myös railonseurannan onnistumisen vaaputusta käytettäessä. (Lempiäinen, Savolainen 2003 87.)



Kuva 8. Levyosien reunaan on hyvä jättää tilaa vaaputukselle (Lempiäinen, Savolainen 2003, 87).

Robotisoidussa hitsauksessa päittäisliitoksen onnistuminen toistuvasti yhdeltä puolelta hitsattavaksi on lähes mahdotonta. Siksi päittäisliitokset tuleekin mahdollisuuksien mukaan muuttaa piena- tai päällekkäisliitoksiksi. Jos tämä ei ole mahdollista, on suositeltavaa käyttää erillistä juuritukea tai kappaleeseen kiinni jäävää tukea. (Lempiäinen, Savolainen 2003, 87.)

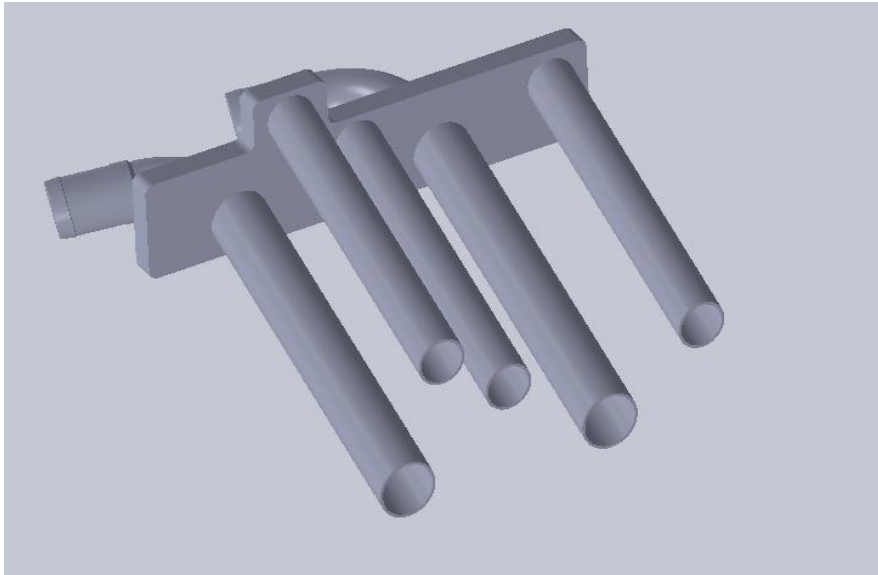
Säiliössä kaikki hitsausliitokset saatiin toteutettua pienaliitoksina. Joitakin nurkkia muutettiin pienaliitoksiksi viemällä toinen reuna toisen sivun yli noin 15 millimetriä. Tämä mahdollisti robottihitsauksen onnistumisen ja paikoitusnastojen käytön.

2.8 Modulointi ja standardointi

Moduloinnilla ja standardoinnilla tarkoitetaan yleensä nimikkeiden, erilaisten toimintojen, osien ym. lukumäärän vähentämistä. Moduloinnissa päätavoitteena on kokonais kustannusten alentaminen. Automatisoinnissa investoinnit usein nousevat niin korkeiksi, että se edellyttää suuria sarjakokoja. Sarjakoon pienuus tuotantotekniikassa rajoittaa automatisoinnin kannattavuutta, tällöin modulointi on yksi ratkaisu kustannusten pienentämiseen. (Lempiäinen, Savolainen 2003, 84.) Moduloinnin ja standardoinnin avulla yksittäisten osien kierto kasvaa, joka auttaa vähentämään suunnittelutyön ja pääoman määrää (Laakko ym. 1998, 16).

Hitsattavissa osissa modulointi aloitetaan siitä, että tuote jaetaan sopiviksi toiminnalliseksi ja fyysisiksi kokonaisuuksiksi. Moduuli on hyvä muodostaa niin, että se sopii mahdollisimman moniin yrityksessä tehtäviin tuotteisiin tai moneen paikkaan samassa tuotteessa. Esimerkiksi samaa korvaketta voidaan käyttää monessa eri tuotteen kiinnittämisessä. Moduuliosien valmistus kannattaa keskittää omille organisoiduille työpisteille, koska niiden valmistusmäärät saattavat nousta suuriksi. (Lempiäinen, Savolainen, 2003, 84.)

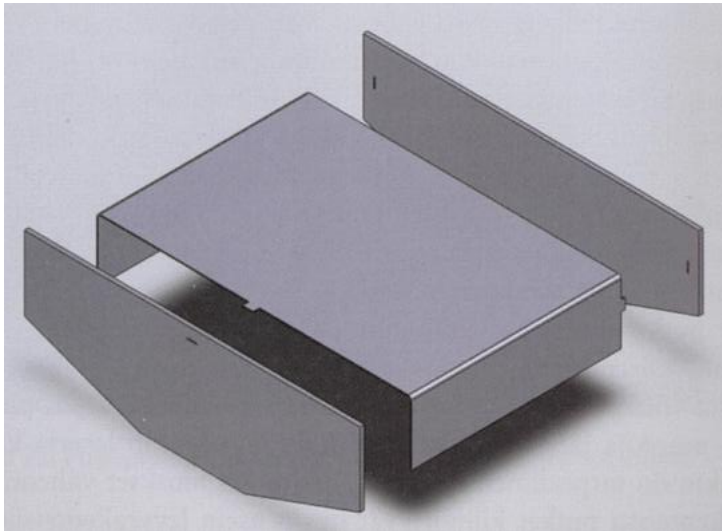
Säiliö sisältää laippakokoonpanon (kuva 9), jonka hitsaus katsottiin robotilla mahdottomaksi. Tämä osa menee myös toiseen säiliöön, joten tästä osasta tehtiin oma moduuli. Osa on tarkoitus hitsata omana vaiheena ja mahdollisesti suurempina sarjoina eri hitsauspisteessä. Laippakokoonpano varastoidaan robotin läheisyyteen, josta se on nopeasti otettavissa, kun säiliöitä hitsataan robotilla.



Kuva 9. Laippakokoonpano, josta on tarkoitus tehdä oma moduuli (Kuva: Samuli Havukainen).

2.9 Paikoitusnastat ja etsaukset

Tuotteen asemoinnin helpottamiseksi tuotteeseen voidaan suunnitella ulokkeita ja koloja. Tätä kutsutaan yleisesti paikoitusnastojen käytöksi. Paikoitusnastojen käytöllä päästään eroon turhista mittauksista ja sillä voidaan korvata jopa hitsauskiinnittimet kokonaan. Hitsauksessa osien asemointi ja mittausten väheneminen lisää tuotteen mittatarkkuutta ja alentaa hitsauskustannuksia huomattavasti. Tyypillinen välys on 0,2 millimetriä. Tämä välys on sopiva, jotta osien asennus ei tuottaisi ongelmia. Kolot ja nastat täytyy suunnitella tietyille sivuille niin, että haluttu mitta tuotteessa toteutuu. Esimerkiksi särmäyksen mittaheitot täytyy ottaa huomioon nastoja ja koloja sijoittaessa. Oikein sijoitetuilla paikoitusnastoilla saadaan myös estettyä symmetriseltä näyttävien osien väärinasennuksen riski (kuva 10). Myös laserin mittatarkkuus on otettava huomioon. Nykyisillä lasereilla päästään 0,1 mm tarkkuuteen, ainevahvuuden ollessa alle 10 mm. (Matilainen ym. 2011, 164.)



Kuva 10. Esimerkki paikoitusnastojen käytöstä, joilla estetään väärinasennuksen mahdollisuus (Lempiäinen, Savolainen 2003).

Tuotteen asemointia ja mittaustyötä hitsauksessa voidaan helpottaa myös etsaamalla eli piirtämällä laserin avulla levyn pintaan viivoja tai merkkejä leikkauksen yhteydessä (Matilainen ym. 2011, 164). Tämä on usein tarpeen, jos nastoitusräikiä ei ole mahdollista tehdä. Nastoitusräiät täytyy myös monesti tulpata hitsaamalla näkyviltä puolilta, joten etsaus on tällöin parempi. Etsaus on mahdollista tehdä vain yhdelle puolelle, joten suunnittelussa on otettava huomioon kumminpäin kappaleen levyllä asettaa.

Kaikki levyosat joihin tuli pienasauma, asemoitiin toisiinsa kolo- ja nastaperiaatteella. Välyksenä käytettiin 0,2 millimetriä. Muissa osien paikoituksessa käytettiin etsausta. Kaikki osat saatiin paikoitettua nasta/kolo -periaatteella tai etsauksilla, joten hitsausprosessissa yhtäkään osaa ei tarvitse asemoida mitan avulla. Tällä saadaan sivuaikoja vähennettyä huomattavasti ja virheen mahdollisuus pienenee.

2.10 Särmättävät osat

Särmäyksellä tarkoitetaan levyn taivutusta haluttuun muotoon särmäyspuristimen avulla. Yksi osa voi sisältää useampia taivutuksia ja taivutukset voivat olla eri suuntiin. Särmäyspuristimia on paljon erityyppisiä ja -kokoisia eri käyttötarkoituksiin. Puristimien leveydet voivat vaihdella yhdestä jopa kymmeneen metriin, mutta yleisesti ne ovat kahdesta neljään metriin. Särmäyspuristimen toiminta voi olla toteutettu mekaanisesti, hydraulisesti tai pneumaattisesti. Yleensä suurimman tehon saavuttamiseksi vaaditaan hydraulinen puristin. Nykyaikaiset särmäyskoneet ovat numeerisesti ohjattavia ja niihin on mahdollista liittää robotti käsittelemään kappaletta. Ohjelmoitavat vasteet ja taivutusliikkeen toteuttaminen mahdollistavat särmäyksen toistettavuuden. (Matilainen ym. 2011, 240.)

Särmäyspuristin koostuu kolmesta pääelementistä. Ne ovat yläpalkki, alapalkki ja takavasteet. Työliike toteutetaan yleensä yläpalkkia liikuttamalla alapalkkia kohden. Ylä- ja alapalkeissa on työkalut, joiden väliin levy asetetaan ja taivutetaan haluttuun muotoon. Taivutettava reunan pituutta saadaan säädettyä takavasteiden etäisyyttä säätämällä. Ylätyökalu on yleensä teräväkärkinen tai pyöreäpäinen painin ja alatyökalu V:n -muotoinen vastin. (Matilainen ym. 2011, 240–241.)

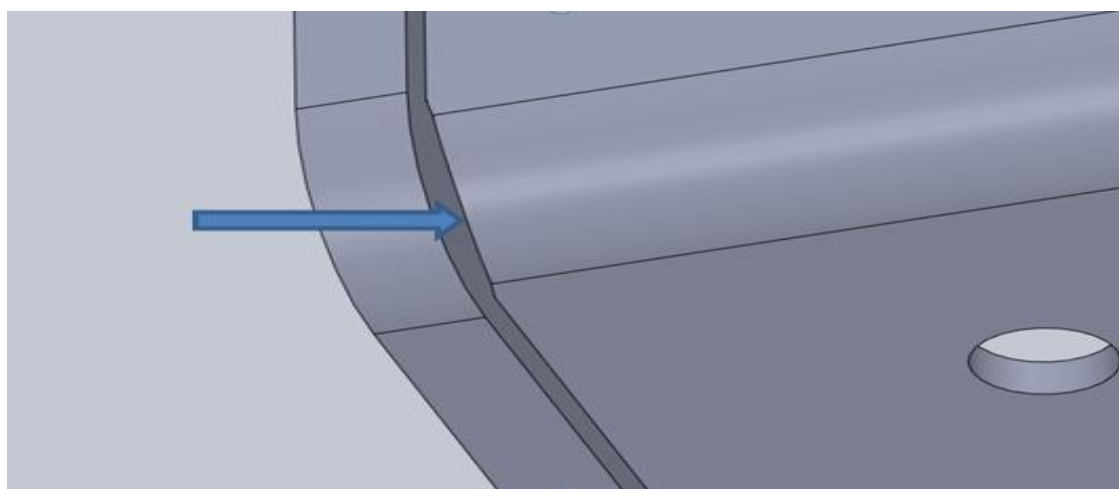
Särmäys toteutetaan vapaataivutuksena tai pohjaaniskutaivutuksena. Vapaataivutuksessa kappale taipuu V-aukon reunojen ja yläterän vaikutuksesta, mutta työliike lopetetaan ennen kuin kappale saavuttaa V-aukon pohjan. Haluttu taivutussäde saadaan pääasiassa alatyökalun V-aukon leveyttä muuttamalla. Pohjaaniskutaivutuksessa taas kappale puristetaan niin syvälle, että se muotoilee tarkasti ala- ja ylätyökalujen muotoja. Vapaataivutuksen etuja ovat yksinkertaiset työkalut ja se, että työkalun muodolla ei ole vaikutusta syntyvään muotoon. Samoilla työkaluilla voidaan särmätä erilaisia kappaleita ja haluttua kulmaa voidaan muuttaa säätämällä iskunpituutta. Vapaataivutus onkin käytetyimmistä taivutusmuodoista ohutlevyteollisuudessa sen yksinkertaisuuden ja muunneltavuuden takia. (Ihalainen ym. 2003, 270.)

Robottihitsauksessa tuotteiden on käytävä mahdollisimman hyvin keskenään paikoilleen. Nurkkiin ja kulmiin ei saa juurikaan jäädä ilmarakoa. Siksi särmättäviin osiin on kiinnitettävä erityistä huomiota, että osat käyvät paikoilleen. Särmäyksessä levyn pai-

koitusmenetelmästä johtuen levyosaan jää aina johonkin kohtaan mittavirheitä. Piirustuksessa on hyvä ilmetä, mihin kohtaan osaa mittavirheet voi jättää. Myös nastapaikoituksia tehtäessä on otettava huomioon mahdolliset särmäyksessä tulevat mittaheitot. Sen takia nastat kannattaisi aina sijoittaa niin, ettei särmäyksellä ole niihin vaikutusta. (Matilainen ym. 2011, 256.)

Kappaleen nurkkiin kannattaa lisätä helpotuksia, jotta särmäykset eri suuntiin ovat mahdollisia ilman levyn repeytymistä kulmista. Helpotukset voivat olla pyöreitä, neliskulmaisia tai mielivaltaisen muotoisia. (Matilainen ym. 2011, 259.)

Särmäyksessä taivutussäteen kohdalta levyn reuna pullistuu hieman, joten levyn reunaan taivutuksen kohdalle on hyvä tehdä loivennus (Saramo, E-P. 2012.). Robottihitsauksessa pienasauma on oltava mahdollisimman tiivis ja jos pullistunut reuna jää kantaan, se aiheuttaa ilmaraon pienasaumaan (kuva 11).



Kuva 11. Pienasaumaan jää rako, jos levyn pullistumista särmän kohdalta ei ennakoida (Kuva: Samuli Havukainen).

Robottihitsausta ajatellen särmättävät osat ovat aina riskitekijä hitsauksen onnistumiselle. Särmäyksessä levynvahvuuden ja koostumuksen vaihtelut voivat aiheuttaa ongelmia kulman takaisinjoustoan ja sen myötä mittavirheisiin. Takaisinjoustoan vaihtelua voidaan ehkäistä erilaisilla osavalmistuksen apuvälineillä. Näistä käytetään usein nimitystä särmäystulkki tai särmäyssapluuna. Sama koskee myös rullamuovattavia osia ja niitä tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää. (Lempiäinen, Savolainen 2003, 85.)

Kolot ja nastat sijoitin tuotteisiin niin, ettei särmäyksen mittavaihteluilla ole vaikutusta tuotteiden asemoinnissa. Lisäksi särmättävistä nurkista täytyi niistää vähän ainetta pois, ettei se jää kantamaan hitsauksessa. Varsinkin robottihitsauksessa nurkan aiheuttama pullistuma on ongelmallinen, koska pienasaumaan jää ilmarako, joka taas haittaa hitsausta.

2.11 Laserleikattavat osat

Laserleikkaus kuuluu termisiin prosesseihin, jossa materiaali osaksi höyrystyy ja sulaa lasersäteen ansiosta. Sulanut materiaali puhalletaan kaasun avulla leikkausrailosta pois. Kaasu lisäksi suojaa leikkausreunoja hapettumiselta ja sillä tuodaan termistä energiaa leikkausprosessiin. (Kujanpää, Salminen 1998, 32.)

Laserleikkaus on monessa paikassa syrjäyttänyt perinteiset leikkausmenetelmät. Laserleikkauksen etuja on suuri leikkausnopeus ja mittatarkkuus. Laserleikkauksella saavutetaan yleensä noin 0,1 millimetrin tarkkuus, materiaalipaksuuden ollessa alle 10 millimetriä. Leikattavan levyn paksuus riippuu laserin tehosta ja leikkausnopeudesta, sekä leikattavasta materiaalista. Parhaaseen tulokseen päästään alle 10 millimetrin paksuisilla materiaaleilla. Laserleikattavien osien muoto voi olla lähes minkäläinen tahansa. Kappale voi olla hyvinkin monimutkainen ja muodot voi olla sekä sisä- että ulkopinnalla. Kappaleen kokoa rajoittaa vain käytettävä levykoko. (Matilainen ym. 2011, 162.)

Verrattaessa laseria muihin leikkausmenetelmiin, sen etuna on pieni lämmöntuonti ja sillä pystytään leikkaamaan hyvinkin ohuita railoja. Leikattu kappale on yleensä sellaisenaan jo valmis kokoonpantavaksi. (Kulina, ym. 1996, 1.2-1.)

Laserleikattavista osista täytyy tehdä leikkausrata laseria varten. Tämä onnistuu tallentamalla kappaleen geometriset muodot ja reiät DXF (Data eXchange Format) -muotoon. Myös etsausviivat ja piirrot täytyy tallentaa samaan tiedostoon. Etsaukset täytyy merkitä piirustuksiin tai ne on jollain muulla tavalla saatava laserkoneen ohjelmoijan tietoon, että etsaukset tulevat oikein.

Säiliöön tulevat kaikki alle 10 millimetrin levyosat leikataan itse laserilla. Lisäksi säiliöön tulee muutamia koneistettavia ja paksumpia osia, jotka ostetaan ulkoa. Piirustuksien ja DXF:ien teossa oli oltava tarkkana, että etsaukset tulevat osiin oikealle puolelle. Kaikki etsaukset merkattiin piirustuksiin, jotta laserohjelmoija tietää kumminpäin kapaleen levyllä asettaa.

2.12 Tuotteen kustannuslaskenta

Kustannuslaskennalla lasketaan yleensä jonkin yrityksen osatoiminnon ja eri tuotteiden kannattavuutta, sekä selvitetään tuotteen valmistuksesta aiheutuvat kustannukset. Laskennan avulla on voitava selvittää tuotteesta aiheutuvat muuttuvat hankinta- ja valmistusmenot. (Lehtonen, J-M 2004, 37.)

Kustannus on rahana mitattavaa resurssien käyttöä johonkin tarkoitukseen. Resurssilla tarkoitetaan tuotannontekijää, jota seurataan erillään muista tuotannontekijöistä. Se voi olla raaka-aineluokka, yksi työvaihe tai työntekijäryhmä. Kustannus yhden resurssin kohdalta voidaan laskea seuraavalla kaavalla: (Lehtonen, J-M 2004, 37.)

$$Kustannus = Hintatekijä * Määrätekijä$$

Käytön määrä voidaan saada selville esimerkiksi ajankäytön seurannalla tai jos on raaka-aineesta kysymys, on yrityksillä yleensä tuoterakenteessa valmiit määrät. Kun määrä on saatu selville, on laskelman laatijan vielä päätettävä käytön hinta. Raaka-aineille on yrityksellä olemassa hankintahinnat ja työntekijäkustannukset voidaan laskea esimerkiksi keskituntiansion mukaan. Keskituntiansioon on lisäksi lisättävä lakisääteiset muut henkilösivukustannukset. Hintatekijä voi lisäksi tai yksinään olla myös koneesta aiheutunut kustannus, tätä ilmaistaan yleensä konetuntihintana. (Lehtonen, J-M 2004, 38.)

Tuotteen kokonaiskustannukset saadaan laskemalla kaikki tuotteeseen tarvittavien resurssien kustannus. Resursseja voidaan tarvittaessa yhdistää tai hajottaa pienemmiksi kokonaisuuksiksi. (Lehtonen, J-M 2004, 38.)

3 Hitsausjigin suunnittelu

Hitsauskiinnittimellä tarkoitetaan yleisesti sellaista kiinnitintä, johon hitsattava tai hitsattavat tuotteet kiinnitetään ja silloitetaan kiinni tai hitsataan loppuun asti. Yleisesti hitsauskiinnittimistä käytetään myös nimitystä hitsausjigi. Hitsausjigi voi sisältää mekaanisia, hydraulisia tai pneumaattisia puristimia, joilla kappale pysyy kiinni jigissä.

3.1 Lähtötiedot

Yrityksessä valmistetaan kahdenlaisia hydraulisäiliöitä. Ne ovat muodoiltaan hieman erilaisia, mutta ulkomitat ja tilavuus ovat samat. Ajatuksena alusta asti oli, että molemmat säiliöt saataisiin hitsattua samassa jigissä.

Säiliöistä täytyi löytää yhteiset kiinnityspisteet ja määrittää, mitkä ominaisuudet ja mitat ovat tärkeitä. Lisäksi täytyi miettiä, hitsataanko tuote loppuun asti samassa jigissä vai tehdäänkö useampi jigi. Ajatuksena oli että osat kootaan ja silloitetaan kiinni toisessa pisteessä ja siirretään sieltä robotille hitsattavaksi. Viimeistely tapahtuisi myös robottihitsaussolussa. Tämä edellyttää ainakin kahta samanlaista jigistä, jotta yhtä aikaa voidaan silloittaa osia kiinni ja hitsata robotilla.

3.2 Hitsausjigin käyttötarkoitus

Nyky aikaisten koneiden ja valmistusmenetelmien tarkkuuden parantuessa, myös hitsatuilta teräsrakenteilta vaaditaan yhä parempaa tarkkuutta ja laatuvaatimuksia. Siitä johtuen myös hitsausjigeiltä vaaditaan monia eri ominaisuuksia. Usein jigi on rakennettu juuri kyseistä työtaphtumaa varten. (Lepola, Makkonen 2005, 373.)

Hitsausjigin tarkoitus on pitää rakenne halutussa muodossa ja varmistaa tuotteen laatuvaatimukset. Lisäksi sillä voidaan vähentää työntekijän fyysistä rasitusta ja nopeuttaa hitsaustapahtumaa. (Lepola, Makkonen 2005, 373.)

Hitsausjigi voi myös olla moniosainen, on pääjigi mihin osat ladotaan ja sen lisäksi apujigejä, joilla saadaan jokin tietty osa paikoitettua tai estettyä sen liikkuminen. Tällä saadaan jigin kokoa rajoitettua ja toimintaa helpommaksi.

3.3 Hitsausjigille asetettavat vaatimukset

Jigin käyttökohteen mukaan jigille asetetaan eri vaatimuksia. Esimerkiksi jos nostoapuvälineitä ei ole hitsauspaikalla saatavilla, täytyy jigin paino ja koko pitää kohtuullisena. Jigin täytyy kuitenkin olla niin jäykkä, ettei se väänny hitsausjännityksien vaikutuksesta ja pysyy muodossaan lämpövaihteluissa. Jigi saadaan pidettyä kevyenä käyttämällä hyväksi särmättyjä jäykisteitä levyjen reunassa tai erillisiä jäykisteripoja. (Saramo 2012.)

Paksun levyn sijasta jigi voidaan rakentaa kotelomaiseksi, joka on lähes yhtä jäykkä kuin paksu levy olisi, mutta on huomattavasti kevyempi. Kotelomaisesta rakenteesta myös lämpö siirtyy nopeammin ilmaan. Lämmönsiirtymistä jigissä voidaan myös edesauttaa tekemällä jigiiin erilaisia aukkoja tai käyttämällä eri materiaalia niissä kohdissa, missä lämpötila nousee korkeaksi. Kupari ja alumiini ovat hyviä siirtämään lämpöä. Kuparia voidaan myös käyttää juuritukena päittäisliitoksissa, jos sellaisia rakenteessa on. (Saramo 2012.)

Jigin suunnittelussa täytyy ottaa huomioon valmistuksessa tapahtuvat epätarkkuudet ja toleranssit. Osat täytyy sopia jigiiin toleranssien molemmissa ääripäissä. Tämä luo haasteita osien kiinnityksille jigissä. Varsinkin särmättyjen osien kulmaheitot ja särmien mittaheitot on huomioitava. (Saramo 2012.)

Kappale voidaan paikoittaa jigiiin erilaisilla ohjaustapeilla, -paloilla tai -levyillä. Yksi hyvä keino paikoittaa kappale on käyttää DIN 912 -ruuvien pyöreää kantaa, niillä saadaan esimerkiksi pyöreästä reiästä paikoitettua kappale käyttämällä kolmella sivulla ruuvien kantaa. Kappale voidaan kiinnittää jigiiin ruuveilla tai kiinnitykseen voidaan käyttää erityisesti kappaleen kiinnitykseen tarkoitettuja painimia, nämä ovat huomattavasti nopeampia käyttää kuin ruuvikiinnitys (kuva 12). (Saramo 2012.)



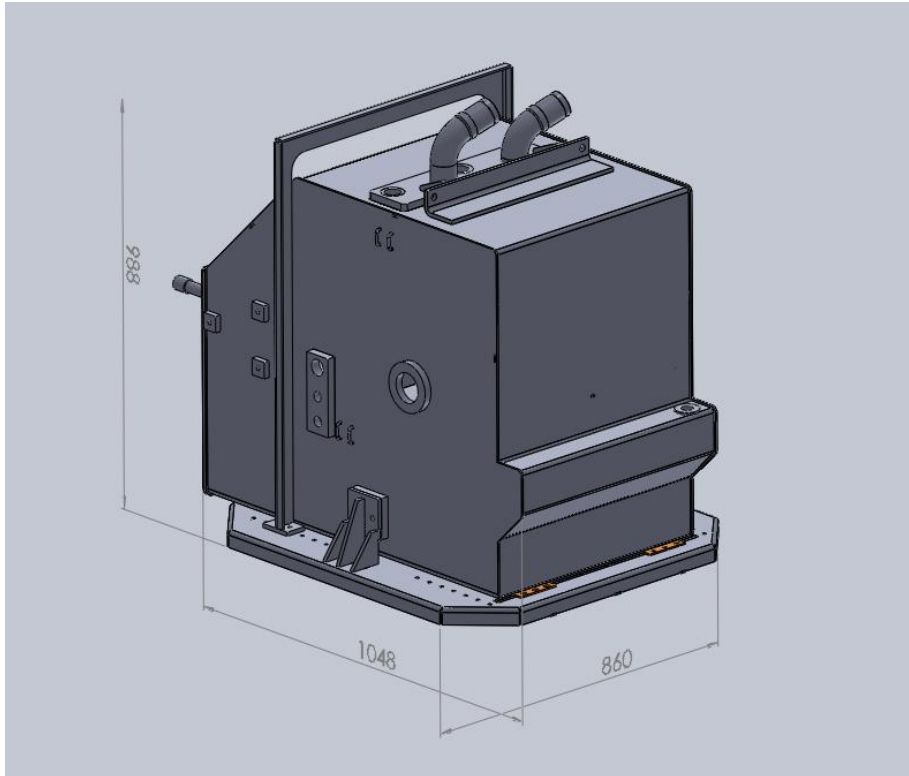
Kuva 12: Kappaleen kiinnittämiseen tarkoitettuja painimia (Destaco, 2013).

Hyvin rakennettu jigikään ei yksinään takaa hyvää lopputulosta. Hitsausjärjestyksellä on suuri merkitys tuotteen lopputuloksen kannalta. Siksi hitsarilla täytyy olla ohjeet tai käsitys hitsausjärjestyksestä jigissä.

3.4 Säiliön hitsausjigi

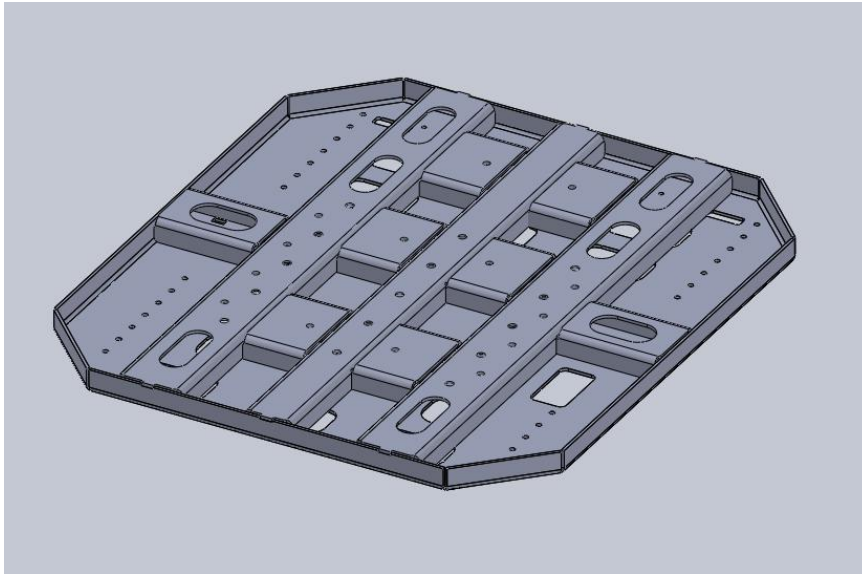
Hitsausjigin teko aloitettiin miettimällä, miten päin säiliö sijoitetaan jigiiin ja mistä kohti säiliö saadaan kiinni. Säiliön koosta johtuen myös robotin ulottuvuus ja kiinnityspaikka täytyi miettiä. Täytyi myös miettiä, miten osat paikoitetaan jigiiin.

Säiliön kiinnitys jigiiin toteutettiin ruuvikiinnityksellä. Säiliössä on kaksi kiinnityspistettä, joilla asiakas kiinnittää säiliön koneeseen. Kiinnityspisteet ovat levystä leikatut kappaleet, joissa on kaksi M12 kierrereikää. Säiliö kiinnitetään jigiiin näistä kiinnityspisteistä siten, että kiinnityslaput kiinnitetään ensin jigiiin ruuveilla, sen jälkeen tuote asetetaan jigiiin ja tämän jälkeen laput hitsataan kiinni säiliöön. Tällä varmistetaan että kiinnityspisteet sijaitsevat aina samassa kohden. Koska kiinnityspisteet sijaitsevat eri puolilla säiliötä ja välissä on särmätyjä rakenteita, ei jigiiin kiinnityspaikoista voinut tehdä kiinteitä. Toinen kiinnityspaikka on kiinteä ja toinen liikuteltava, mikä sallii särmätyjen osien mittaheitot. Kuvassa 13 näkyy kiinnityspisteet, joista säiliö tulee ruuveilla kiinni.



Kuva 13. Kuva hitsausjigistä ja tuotteesta (Kuva: Samuli Havukainen).

Jigissä on yksi levy, jonka reunat on taivutettu alas. Levyn pohjaan suunniteltiin U:n muotoon särmätyt jäykisteet, jotka hitsattiin kiinni (kuva 14). Näin jigin pohjalevystä saatiin kotelomainen, joka on tarpeeksi jäykkä, mutta samalla kevytrakenteinen. Jigiin täytyi myös suunnitella rei'itys robotin kääntöpöytään sekä pyörityspöytään kiinnittämistä varten. Lisäksi jigiin suunniteltiin kaksi irrotettavaa suorakulmion muotoista osaa. Ne estävät rakenteiden vääntymisen hitsauksen aikana. Nämä osat kiinnitetään pulteilla jigiin sen jälkeen, kun kaikki osat on silloitettu kiinni. Näiden lisäksi yhden putken silloittamista varten täytyi suunnitella yksi erillinen apujigi. Se ohjaa yhden putken oikeaan kohtaan.



Kuva 14. Jäykistetty jigin pohjalevy (Kuva: Samuli Havukainen).

Koska osien paikoitus toisiinsa hoidettiin nasta/kolo-periaatteilla ja etsauksia hyväksikäyttäen, ei jigiin juuri tarvinnut suunnitella osien paikoituksia. Jigissä on toisessa reunassa vasteet, mitä vasten säiliön yhden osan levynreuna tulee ja kyljistä säiliö tulee kiinni pulteilla kiinnityslappuihin. Kiinnityslaput kiinnitetään pulteilla jigiin irrallaan, jonka jälkeen ne hitsataan kiinni säiliöön niin hyvin, että säiliö pysyy kiinni jigissä hitsauksen ajan. Osat silloitetaan kiinni toisiinsa käsin jigissä, minkä jälkeen se siirretään robotille hitsattavaksi. Jigistä tehtiin lopuksi hitsaus ja osakuvat sekä levyosista DXF -tiedostot.

4 Tulokset ja pohdintaa

4.1 Suunnittelu ja kustannusten laskenta

Suunnittelussa käytettiin apuna DFMA-tuotekehitysmenetelmiä sekä työpaikalla hyviksi todettuja tekniikoita. Jigin suunnittelussa apuna oli työpaikan vakituinen suunnittelija, jonka kanssa olen aikaisemminkin tehnyt yhteistyötä.

Yhtenä lähtökohtana suunnittelussa oli, että osat on helppo asemoida toisiinsa. Tavoitteena oli, että yhtäkään osaa ei tarvitsisi mitan avulla asemoida paikalleen. Tässä onnistuttiin etsauksia ja nasta/kolo-sovitteita käyttämällä. Tämä nopeuttaa huomattavasti osien asemointia ja silloitusta, kun ei tarvitse mitata onko osa kohdallaan, vaan voi luottaa siihen että se on. Se miten paljon tällä saadaan hitsausajasta pois, on vaikea tarkkaan mitata, mutta kokonaiskustannuksiin sillä on vaikutusta. Pelkän mittauksen poistamisella voidaan päästä jopa puolta nopeampaan hitsausaikaan.

Työn päätavoitteena oli puolittaa hitsausprosessin aiheuttamat kustannukset. Tavoitteeseen päästiin muuttamalla osat robottihitsaukseen soveltuviksi ja yksinkertaistamalla osia. Lisäksi osien vähentämisellä saatiin hitsaustyötä vähemmäksi ja sen myötä hitsausaikaa pienemmäksi. Moduloinnin avulla laippakokoonpanon ja muutamien pienempien osien valmistus nopeutui.

Seuraavassa laskelmassa nähdään, mistä kustannuksia saatiin leikattua. Laskelmassa on mukana kaikki toimet, joita yrityksessä on tehty kustannusten pienentämiseksi. Työnantajan pyynnöstä kustannukset on ilmoitettu vain prosenttiosuuksina.

Hydraulisäiliö

Resurssi	Hinta €	%-osuus	kehityspotentiaali €	Kehityspotentiaali %
levymateriaali	xxx	9 %	xxx	16 %
laser	xxx	5 %	xxx	33 %
särmäys	xxx	3 %	0	0 %
osto-osat hitsaus	xxx	9 %	xxx	33 %
hitsaus + koeponnistus	xxx	25 %	xxx	50 %
puhdistus	xxx	3 %	xxx	40 %
pintakäsittely	xxx	9 %	xxx	33 %
varusteluosat	xxx	31 %	xxx	19 %
varustelutyö	xxx	6 %	0	0 %
YHT	xxx	100 %	xxx	
Kehitystyön tulos				21.1 %

Taulukko 1. Kustannusten laskenta ja kehitysprosessilla saavutettu tulos (Taulukko: Samuli Havukainen).

Uudelleensuunnittelun tavoitteena oli lisäksi saada tuotteen osien valmistuskustannuksia alaspäin sekä yksinkertaistaa rakennetta ja pyrkiä yhdistämään ja vähentämään osamäärää. Osien yksinkertaistamisella saatiin osien määrää säiliössä vähennettyä 14 kappaletta. Näillä, hitsausprosessin kustannusten puolittamisella sekä muilla muutoksilla, on säiliön kokonaiskustannuksia mahdollista vähentää 21,1 %. Muutokset odottavat vielä asiakkaan hyväksymistä.

Jigin suunnittelussa konkreettinen tulos oli itse hitsausjigi. Jigi saatiin rakennettua sellaiseksi kuin haluttiin, ja se toteutti sille asetetut vaatimukset. Jigi suunniteltiin ja rakennettiin niin, että se sopi kahdelle eri säiliölle.

4.2 Käytännön tulokset

Suunnitteluosuuden valmistuttua oli vuorossa testierän hitsaus. Osia ajettiin kahteen säiliöön, jotta varaa epäonnistumiselle olisi. Osat leikattiin ja särmättiin, jonka jälkeen niitä päästiin sovittamaan toisiinsa sekä silloittamaan kiinni. Säiliön kasauksen yhteydessä huomasimme muutamia kohtia, jotka vaativat vielä parantamista. Nastojen paik-

koja ja joidenkin osien pituuksia täytyi muuttaa, jotta kasausta ja hitsaus onnistuisivat paremmin. Robotilla hitsauksen yhteydessä tuli myös esille muutamia kohtia, jotka vaativat muutoksia.

Hitsausjigi toimi robotilla hyvin ja sillä saatiin kappale pidettyä tukevasti paikoillaan, jotta hitsaaminen robotilla onnistui. Jigiin ei tarvinnut lisätä kiinnityspisteitä, eikä tehdä muitakaan muutoksia.

4.3 Pohdintaa

Muutoksia tehdessä ehkä haastavinta oli arvioida niiden kannattavuutta ja muutosten sopivuutta asiakkaalle. Lisäksi täytyi miettiä miten osan muutos vaikuttaa toiseen osaan tai päinvastoin. Kaikki muutokset oli vahvistettava asiakkaalta, mikä toi omat haasteet suunnitteluun ja aikatauluun. Pienenkin muutoksen hyväksyntä vei paljon aikaa. Suunnittelun alussa tuotetta ei lähdetty juurikaan muuttamaan, vaan pyrittiin menemään samalla konseptilla. Jälkeenpäin ajateltuna olisi pitänyt rohkeasti muuttaa koko säiliön rakennetta niin, että se olisi vielä kustannustehokkaampi valmistaa. Lisäksi yrityksellä ei ollut käytettävissä tietoa säiliön ympäristöstä mihin se tulee. Tämä rajoitti joidenkin kiinnityspisteiden ja letkujen paikkojen muuttamista.

Suunnittelulle, testierän hitsaukselle ja tuotantoon siirtymiselle asetettiin aikataulut. Suunnittelu saatiin pysymään aikataulussa, mutta testierän hitsausaikataulu ei pitänyt, mikä johtui lähinnä tuotannollisista syistä. Muutettu säiliö ei ole vielä tuotannossa, koska muutokset odottavat asiakkaan hyväksyntää ja tätä ei vielä työn loppuvaiheessa oltu saatu.

Tavoitteeseen hitsauksen kustannusten puolittamisen osalta kuitenkin päästiin ja opin-
näytetyössä esitetyillä keinoilla ne on mahdollista saavuttaa. Koko työn tuloksena, hitsauksen robotisoinnilla ja säiliön valmistettavuuden kehittämisellä, on mahdollista saavuttaa 21,1 %:in säästö kokonaiskustannuksissa.

Mielestäni työ onnistui hyvin ja olen tulokseen tyytyväinen. Tietenkin näin jälkeenpäin ajateltuna monta asiaa voisi tehdä toisin, mutta ainahan sitä kehitettävää löytyy ja pitääkin löytyä.

Työssä oli mielenkiintoista opiskella DFMA-tuotekehitysmenetelmiä ja se että kuinka järjestelmällisesti asioita voidaan tehdä. Tämä antoi hyvät pohjat tuleville tuotekehitysprojektille ja tietoa eri mahdollisuuksista ja menetelmistä.

Lähteet

Aalto, H., Heilala, J., Hirvelä, T., Kuivanen, R., Laitinen, M., Lehtinen, H., Lempiäinen, J., Lylynoja, A., Renfors, J., Selin, K., Siintoharju, T., Temmes, J., Tuovila, T., Veikkolainen, M., Vihinen, J., Virtanen, A. 1999. Robotiikka. Vantaa: Tummavuoden Kirjapaino Oy.

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M., Sihvonen, P. 2003. Valmistustekniikka. 10. Painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Kujanpää, V., Salminen, A. 1998. Suuritehoisen Nd:YAG-laserin käyttö konepajateollisuudessa. Helsinki: Hakapaino Oy.

Kulina, P., Richter, K., Ringelhan, H., Weber, H. 1996. Lasertyöstö. Jyväskylän ammatillinen aikuiskoulutuskeskus Keuruun aikuiskoulutusosasto.

Laakko, T., Sukuvaara, A., Borgman, J., Simolin, T., Björkstrand, R., Konkola, M., Tuomi, J., Kaikonen, H. 1998. Tuotteen 3D-CAD – suunnittelu. Porvoo: WSOY.

Lehtonen, J-M. 2004. Tuotantotalous. 1.painos. Vantaa: WSOY.

Lempiäinen, J., Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu. 1. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Lepola, P., Makkonen, M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. 1.painos. Helsinki: WSOY.

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E., Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere: Tammerprint Oy.

MET -julkaisuja nro 7/1999. Metalliteollisuuden Keskusliitto. Ohutlevyjen liittäminen. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Saramo E-P. 2012. Suunnittelija. Suomen Levyprofiili Oy. Haastattelu 15.12.2012.

Suomen Levyprofiili Oy. 2013. Yritys. <http://www.suomenlevyprofiili.fi/yritys>. 15.4.2013.

Suomen Levyprofiili Oy. 2013. Teknologia. <http://www.suomenlevyprofiili.fi/teknologia>. 15.4.2013.