

Hydraulisen voimayksikötuoteperheen teräsrakenteen valmistettavuuden tar- kastelu

Suunnittelun näkökulma

Mikko Vilhunen

Opinnäytetyö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Mikko Vilhunen	
Työn nimi Hydraulisen voimayksikkötuoteperheen teräsrakenteen valmistettavuuden tarkastelu	
Päiväys 9.11.2011	Sivumäärä/Liitteet 38
Ohjaaja(t) Lehtori Anssi Suhonen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu, HitNetWork-hanke	
Tiivistelmä <p>Tämä opinnäytetyö kuului osaksi Savonia-ammattikorkeakoulun toteuttamaa HitNetWork-hanketta. Hankkeen tavoitteena on hitsaustoimintaketjun tehokkuuden ja laadun parantaminen. HitNetWork-hanke on Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa yhdessä toteutettava Hitsaavan teollisuuden hankintatoimen ja toimitusketjun tehostaminen -hanke.</p> <p>Työn tavoitteena oli tarkastella Junttan Oy:n hydraulisen 10xCU-voimayksikön runkorakenteen valmistettavuutta. Tuotantoa seuraamalla tarkoituksena oli saada hyvät pohjatiedot 10xCU-mallin valmistettavuudesta ja löytää mahdolliset epäkohdat sekä kehittämiskohteet, joita voitaisiin hyödyntää suurempien voimayksiköiden suunnittelussa. Työn pohjatietojen kerääminen perustui tuotannon 4 x 4 x 5-analysointiin, joka on osa hitsaavan teollisuuden kokonaisvaltaisen johtamisen mallia (Total Welding Management).</p> <p>Lopputulokseksi saatiin tuotannon 4 x 4 x 5-analysoinnista saadut tulokset, joista nähdään, mille tuotannon osa-alueelle mahdollinen kehitystoiminta tulisi ensisijaisesti keskittää. Tuloksiin pohjautuen valittiin kaksi case-tapausta, joilla tarkasteltiin 10xCU-malliin kuuluvien osien rakenteiden muutosta sekä niiden vaikutusta kappaleen valmistettavuuteen.</p>	
Avainsanat valmistettavuus, hitsauksen kokonaisvaltainen johtaminen, tuotekehitys	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Mikko Vilhunen			
Title of Thesis Aspects on the Manufacturability of the Framework of the Hydraulic Power Pack			
Date	November 9, 2011	Pages/Appendices	38
Supervisor(s) Mr Anssi Suhonen			
Client Organisation/Partners Savonia University Of Applied Sciences, HitNetWork-project			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final project was to improve the quality and efficiency of a welding supply chain by examining the manufacturability of the framework of the 10xCU -hydraulic powerpack. The project is part of the HitNetWork -project conducted by Savonia University of Applied Sciences and carried out with Lappeenranta University of Technology as part of the Welding Industry -project which includes strengthening of procurement and supply chain operations.</p> <p>First, production was observed in order to find out possible defects and areas requiring further development. The information gained was to be used for future design and production of bigger powerpacks. The basic information was collected from the results of 4x4x5 -analysis, which is part of the Total Welding Management (TWM) model.</p> <p>As a result of the project, the information gained from the 4x4x5 -analysis shows the areas of production that require primary development. Based on the results two case studies were selected and the structural change of the parts in the 10xCU -powerpack and their impact on the manufacturability of the part were also studied.</p>			
Keywords manufacturability, total welding management, product development			

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty HitNetWork-hankkeeseen. Työn tavoitteena oli tarkastella hydraulisen voimayksikön teräsrakenteen valmistettavuutta suunnittelun näkökulmasta. Työn valvojana toimi lehtori Anssi Suhonen Savonia-ammattikorkeakoulusta.

Kiitokset HitNetWork-hankkeelle, joka mahdollisti työn toteutumisen, sekä Junttan Oy:n suunnitteluinsinööri Tatu Silvastille ja Stera Technologies Oy:n projekti-insinööri Antti Lappalaiselle hyvästä ja sujuvasta yhteistyöstä. Suuret kiitokset tahtoisin välittää myös HitNetWork-hankkeen projektipäällikkö Jenni Toivaselle sekä projekti-insinööri Aku Tuunaiselle aktiivisesta tuesta ja opastuksesta.

Kuopiossa 9.11.2011

Mikko Vilhunen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	TYÖN TAUSTAT	9
2.1	Taustaorganisaatio.....	9
2.1.1	HitNetWork	9
2.1.2	Stera Technologies Oy	9
2.1.3	Junttan Oy	10
2.2	Voimayksikön käyttö paalutuksessa	10
2.3	Voimayksikkötuoteperhe	11
2.4	Tuoteperheen teräsrakenteen kehittäminen.....	11
3	VALMISTETTAVUUDEN KEHITTÄMINEN	12
3.1	Total Welding Management	12
3.2	4 x 4 x 5-analysointi	13
3.3	Valmistettavuuden huomioonottaminen suunnittelussa	18
3.3.1	Valmistusmyönteisyys	19
3.3.2	DFM	19
4	VALMISTUKSESSA KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT	21
4.1	Laserleikkaus.....	21
4.2	Särmäys.....	22
4.3	MAG-hitsaus	23
5	TYÖN TOTEUTUS	25
5.1	4 x 4 x 5-analysointi.....	25
5.1.1	Tuotannon pohjatietojen keräys.....	25
5.1.2	Ongelmien jaottelu	26
5.1.3	Tietojen analysointi.....	28
5.2	Osien rakenteen muutosten vaikutus valmistettavuuteen.....	29
5.2.1	Esimerkki 1. Ilmanotto- ja poistosäleiköt.....	30
5.2.2	Esimerkki 2. Sähkökeskuksen kiinnike.....	33
6	TULOKSET JA YHTEENVETO.....	37
	LÄHTEET	39

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö kuuluu osana Savonia-ammattikorkealoulun HitNetWork-hanketta, joka on osa Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa yhdessä toteutettavaa Hitsaavan teollisuuden hankintatoimen ja toimitusketjujen tehostaminen - kokonaishanketta. HitNetWork-hanke tutkii hitsaustoimintaketjujen tehokkuuden ja laadun parantamista verkostomaisessa toimintaympäristössä. Hankkeeseen kuuluu kolme pääyrittystä verkostokumppaneineen. Pää- sekä verkostoyritysten kehitysmahdollisuuksia tarkastellaan erilaisten pilottituotteiden avulla. Tavoitteena on verkoston hitsauskustannusten pienentäminen ja tuotannon tehostaminen.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään Junttan Oy:n hydraulisen 10xCU-voimayksikön runkorakenteen valmistettavuuden tarkasteluun. Junttan Oy toimii yhtenä hankkeen pääyrittäjästä, hydraulisen voimayksikön runkorakenteen valmistaa verkostoyritys Stera Technologies Oy.

Aikaisemmin hydraulisen 10xCU-voimayksikön teräsrakenteinen runko on ollut epäedullinen valmistaa puuttuvien valmistusdokumentaatioiden ja vanhanaikaisten valmistusmenetelmien takia. Vuonna 2010 Savonia-ammattikorkeakoulun toteuttaman DigiBranch-hankkeen myötä 10xCU-mallin runkorakenne on suunniteltu uudestaan käyttämällä edullisempia ja nykyaikaisempia valmistusmenetelmiä. DigiBranch-hanke keskittyi tutkimuksessaan digitaaliseen tuotantoon. Hankkeen osatutkimusprojektit käsittelevät mm. simulointia, prototyyppejä, valmistettavuutta sekä elinkaari liiketoimintaa. Aikaisemmin kokoonpanossa on ollut paljon hitsattuja rakenteita, jotka on nykyään korvattu särmätyillä osilla. Samaa runkoratkaisua käytetään suuremmissa 15xCU- ja 20xCU-voimayksikkömalleissa. Tuotannon eri vaiheita tarkastelemalla valmistusprosessista pyrittiin löytämään ongelmat, jotka voitaisiin myöhemmin ottaa huomioon jo tuotteiden suunnitteluvaiheessa.

10xCU-voimayksikön valmistettavuuden tarkastelu ja tuotannon analysointi pohjautui kokonaisvaltaiseen hitsaavan teollisuuden johtamisen malliin (Total Welding Management), jonka on kehittänyt amerikkalainen J. R. Barckhoff. Menetelmä perustuu matriisianalyysiin, jonka tarkoituksena on löytää hitsaustoiminnasta ongelmat, joihin kehitys tulisi ensisijaisesti keskittää. Matriisianalysoinnin avulla voidaan tehokkaasti vaikuttaa tuottavuuden, taloudellisuuden sekä laadun parantamiseen.

2 TYÖN TAUSTAT

Tässä osiossa käsitellään työn taustalla vaikuttavia organisaatioita sekä esitellään Junttan Oy:n hydraulinen voimayksikkötuoteperhe sekä siihen liittyvä teräsrakenteen kehittämistyö.

2.1 Taustaorganisaatio

2.1.1 HitNetWork

HitNetWork on kolmevuotinen Savonia-ammattikorkeakoulun hanke, joka toteutetaan 2010 - 2013. Hankkeen tavoitteena on hitsaustoimintaketjujen tehokkuuden ja laadun parantaminen. HitNetWork-hanke on Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa yhdessä toteutettava Hitsaavan teollisuuden hankintatoimen ja toimitusketjun tehostaminen -hanke. Hankkeen tarkoituksena on kehittää verkostomaista toimintaympäristöä rakentamalla toimintamalli hitsaavan tuotannon tehokkuuden ja laadun parantamiseksi. Hankkeessa tehtävä tutkimus sisältää tieteellistä ja käytännön tutkimustyötä sekä opinnäytetöitä. (Toivanen 2010, 1.)

Hankkeeseen kuuluu kaikkiaan yhdeksän yritystä, jotka koostuvat kolmesta pääyri-tyksestä ja niiden verkostoyrityksistä. Hitsaavan tuotannon kehitysmahdollisuuksia tutkitaan mm. pääyritysten pilottituotteiden avulla, joihin verkostoyritykset valmistavat jonkin osakokonaisuuden. Tarkastelu keskittyy hitsauskustannusten pienentämiseen sekä tuotannon tehostamiseen. (Toivanen 2010, 1.)

2.1.2 Stera Technologies Oy

Stera Technologies muodostettiin vuonna 2007, kun pitkään alalla toimineet Levyosa Oy, Elektromet Yhtiöt Oy, Hihra Oy, Aumec Systems Oy ja Beertekno Oy yhdistyivät. Yritys on erikoistunut mekaniikan ja elektroniikan sarjavalmistukseen. Tuotantolaitok- sia on yhteensä yhdeksän. Kotimaan tuotantolaitokset sijaitsevat Turussa, Kaarinas- sa, Paimiossa, Forssassa, Tammelassa ja Kaavilla. Kotimaan laitosten lisäksi tehtaita on myös Virossa ja Intiassa. Kaavilla sijaitsevan yksikön erikoisalaan kuuluvat pää- asiassa erilaiset polttoaine- ja hydrauliiikkasäiliöjärjestelmät. (Stera Technologies Oy.)

2.1.3 Junttan Oy

Junttan Oy on erikoistunut hydraulisten paalutuskoneiden ja -laitteiden sekä Extra-Drill-kallioporauslaitteiden suunnitteluun, valmistukseen, markkinointiin ja huoltoon. Valmistusvalikoimaan kuuluu syvästabilointikoneita, porapaalukoneita, hydraulisia järkäleitä, voimayksiköitä sekä kairoja. Junttan Oy on lyöntipaalutusteknologian edelläkävijä sekä alansa maailman markkinajohtaja. Junttan Oy on Sinituote-konserniin kuuluva yhtiö, jonka päätoimipaikka sijaitsee Kylmämäen teollisuuskeskitymässä Kuopiossa. (Junttan Oy.)

2.2 Voimayksikön käyttö paalutuksessa

Paalutus on yleisesti käytetty pohjarakennusmenetelmä, jonka tehtävänä on lujittaa rakennusalueen maaperän kantavuutta. Tämä mahdollistaa rakentamisen maaperälle, joka ei välttämättä kestäisi rakennuksen kuormitusta. Paaluttamalla maaperä mahdollistetaan rakennelman kuormitusten jakautuminen kantavampiin maakerrokseen tai kallioon. Paalutuksella voidaan korjata myös jo olemassa olevia perustuksia. Menetelmää käytetään yleensä silloin, kun rakennuksen käyttötarkoitus muuttuu ja perustuksilta vaaditaan enemmän kantavuutta. Paalutuksessa käytettävien paalujen materiaalina käytetään yleensä betonia, terästä ja puuta. (Its-vahvistus Oy.)

Paalutuksessa tehokas työkalu on Junttan Oy:n valmistama hydraulinen järkäle. Järkäle koostuu irtojärkäleestä sekä hydraulisesta voimanlähteestä, joka voi olla peräisin paalutuskoneesta tai erillisestä voimayksiköstä. (Silvast 2010, 15.)

Voimayksikköä käytetään yleensä silloin, kun irtojärkälettä käytetään ilman paalutus-konetta. Irtojärkäle nostetaan erillisellä nosturilla paalutettavan paalun päälle. Voimayksikkö on sijoitettu maahan paalutuskentälle mahdollisimman lähelle hydraulista järkälettä tai järkälettä käsittelevän nosturin vastapainoksi. Voimayksiköstä saatava hydraulikkavoima mahdollistaa järkäleen optimaalisen toiminnan.

(Silvast 2010, 15.)

2.3 Voimayksikkötuoteperhe

Junttan Oy:n voimayksikkötuoteperhe koostuu viidestä voimayksikkömallista: 5CCU, 10CCU, 15CCU, 20CCU ja 30CCU. Näistä 15CCU- ja 20CCU-mallit valmistetaan lähes samalla runkorakenteella. Runkojen erona on ainoastaan pituuden muuttuminen. Heikkotehoisuutensa vuoksi 5CCU-malli on jäämässä pois tuoteperheestä. Tällöin teräsrakenteiden osalta voidaan puhua kolmen tuotteen tuoteperheestä. (Hietikko & Suhonen 2010, 15.)

Tässä työssä tarkastellaan 10xCU-voimayksikkömallin runkorakenteen valmistusta. Valmistusprosessia tutkimalla etsitään tuotannolliset ongelmat ja mahdolliset kehittämiskohteet, joihin voitaisiin vaikuttaa 15xCU- ja 20xCU-mallien suunnitteluvaiheissa.

2.4 Tuoteperheen teräsrakenteen kehittäminen

Savonia-ammattikorkeakoulun toteuttamassa DigiBranch-hankkeessa keskityttiin valmistettavuuden ja tuottavuuden tutkimiseen ja kehittämiseen, jotka toteutettiin teettämällä opinnäytetöitä. Junttan Oy:n 10CCU-voimayksikkömalli toimi case-tapauksena DigiBranch-hankkeessa 2010. (Silvast 2010, 12.)

Malli valittiin työhön, koska sen teräsrakenteet vaativat eniten kehitystyötä voimayksikkötuoteperheessä eikä malli menestynyt hyvin markkinoilla. Voimayksikkö on kehitetty 1990 - luvun alussa ja sen valmistusdokumentaatio on ollut heikko. Siitä huolimatta 10CCU-mallia valmistettiin, koska aikaisemmin yrityksellä on ollut omaa tuotantoa. Nykyään voimayksiköiden tuotanto on yhden teräsrakennetoimittajan varassa ja puutteelliset valmistusdokumentaatiot ovat nostaneet tuotteen valmistuskustannuksia. Työn tavoitteena oli 10CCU-mallin teräsrakennetavutuksen valmistettavuuden kehittäminen sekä sen kustannustehokkuuden parantaminen. (Silvast 2010, 10 - 11.)

Työn tuloksena oli uudistettu 10CCU-malli, jossa laajoja hitsauskokoontaloja vähennettiin särmäämällä rungon profiilit itse, tällöin niistä saatiin halutun vahvuisia ja muotoisia. Aikaisemman 10CCU-mallin suurimpia ongelmia olivat vaikeasti valmistettavat pitkät ohuet runkosäiliöt, jotka olivat myös hankalia tarkastaa ja pinnoittaa. Uudessa mallissa runkosäiliöt korvattiin erillisillä säiliöillä. Samalla voimayksikön pääkomponenttien layout suunniteltiin uudestaan. (Silvast 2010, 16.)

3 VALMISTETTAVUUDEN KEHITTÄMINEN

Tässä osiossa esitellään kokonaisvaltaisen hitsaavan teollisuuden johtamisen malli ja siihen liittyvä hitsaavan tuotannon analysointi. Lisäksi perehdytään tuotteen valmistettavuuteen ja siihen vaikuttaviin tekijöihin, joita suunnittelijan tulisi ottaa huomioon tuotekehityksessä.

3.1 Total Welding Management

Total Welding Management (TWM) on kokonaisvaltainen hitsaavan teollisuuden johtamisen malli, jonka on kehittänyt amerikkalainen J. R. Barckhoff. Sen tehtävänä on parantaa hitsauksen laatua ja tuottavuutta, mikä auttaa yhtiön kannattavuutta ja kilpailukykyä. (Barckhoff 2005, 182.)

TWM-järjestelmä koostuu joukosta erilaisia toiminnanohjausjärjestelmiä, kuten työkeskeinen suunnittelu ja -ohjaus. Järjestelmä perustuu ylimmän johdon sitoutumiseen sekä ylösalaisin käännettyyn organisaatiomalliin. Malli on päinvastainen perinteiseen yrityksen organisaatiomalliin verrattuna, koska ylin johto on sijoitettu alimmalle tasolle, kun taas työntekijä on nostettu ylimmälle tasolle. Hitsaaja on toiminnan keskeinen piste. Kaikki muut toiminnot ovat tukitoimintoja, jotka tukevat hitsaajaa työssään taaten hänelle kaiken tarvittavan optimaaliseen tulokseen pääsemiseksi. (Barckhoff 2005, 19 - 28.)

Hitsaajaa tukeva järjestelmä koostuu neljän tärkeän osaston tuesta, jotka antavat kukin oman panoksensa hitsaajalle. Kunkin osaston tulisi keskittyä viiteen asiaan, jotka parantavat hitsauksen laatua ja tuottavuutta. Näitä osastoja ovat rakenteen suunnittelu, tuotannon suunnittelu, hitsaustuotanto sekä laadunhallinta. Jokaisen osaston on osaltaan pyrittävä vähentämään

- hitsien määrää ja tilavuutta
- kaariaikaa
- korjauksia ja pilalle menneitä kappaleita
- työn rasittavuutta
- irrottamisia ja uudelleenkiinnittämisiä.

(Barckhoff 2005, 47 - 63.)

Rakenteen suunnittelussa on otettava huomioon kaikki yleiset tuotteen ja rakenteen vaatimukset kuten komponenttien suunnittelu, materiaalin valinta, hitsattavuus, hitsaustapa, hitsin koon määrittäminen sekä hitsauksen laatuvaatimukset ja laadun mittaavuus. Kun suunnittelijalla on vaadittava tietotaito kyseisten vaatimusten täyttämistä, hitsaaja saa parhaan mahdollisen tuen rakenteen suunnittelulta. (Barckhoff 2005, 37 - 38.)

Tuotannon suunnittelu vastaa hitsausprosessista, hitsausvälineistä ja tuotantotiloista. Se laatii työsuunnitelman, joka käsittää työpisteiden layoutit, työmenetelmät, aika-standardit, materiaalivirrat ja hitsausjärjestyksen. Tuotannon suunnittelu vastaa myös kunnossapitosuunnitelmasta. (Barckhoff 2005, 38.)

Hitsaustuotannosta vastaava varmistaa, että kaikki hitsattavat komponentit ovat suunniteltu niin että ne ovat helposti hitsattavissa. Vastuualueeseen kuuluu myös työpisteiden toiminnan tarkkailu, materiaalivirran seuranta, työvälineiden toiminnasta huolehtiminen sekä vastata hitsareiden koulutuksista ja pätevyyksistä. (Barckhoff 2005, 38 - 39.)

Laadunhallinta vastaa laadunhallintajärjestelmän toiminnasta ja laaduntarkastuksista sekä laatuohjeista. Kun hitsaus täyttää kaikki laadulliset vaatimukset, saadaan se suoritettua taloudellisesti. Asiakkaalle voidaan tällöin varmentaa, että vaadittu laatu on saavutettu. (Barckhoff 2005, 39.)

3.2 4 x 4 x 5-analysointi

TWM-järjestelmässä käytettävä hitsaavan tuotannon tutkimusmenetelmä perustuu matriisirakenteeseen. Matriisin tarkoituksena on löytää hitsaustoiminnoista ongelmakohdat joihin kehitystoiminta tulisi ensisijaisesti keskittää. Matriisitutkimuksen avulla voidaan tehokkaasti vaikuttaa tuottavuuden-, taloudellisuuden- sekä laadun parantamiseen. Alla on esitetty TWM-matriisin neljä toimintoa, joista kukin koostuu viidestä avainalueesta. (Barckhoff 2005, 94 - 98.)

Rakenteen suunnittelu

- Materiaalin valinta
- Hitsin koko ja mitat
- Railo- ja liitostyyppit
- Valmistettavuus
- Hitseille asetettavat vaatimukset

Tuotannon suunnittelu

- Valitut standardit ja pätevyudet
- Vaatimusten katselmus ja tekninen katselmus
- Hitsausprosessin ja menetelmän valinta
- Työmenetelmien kehittäminen
- Työpisteen suunnittelu

Hitsaustuotanto

- Hitsaushenkilöstön osaaminen ja pätevyudet
- Hitsaukseen liittyvät toiminnot (materiaalin- ja toimintojen hallinta)
- Työn suorittaminen
- Työ- ja hitsausmenetelmien toteutus
- Työpisteen hallinta

Laadun varmistus

- Laatu politiikka ja laatujohtaminen
- Laatustandardit ja -ohjeet
- Laadunhallinta
- Tarkastukset, mittaukset ja raportointi
- Korjaavat toimenpiteet

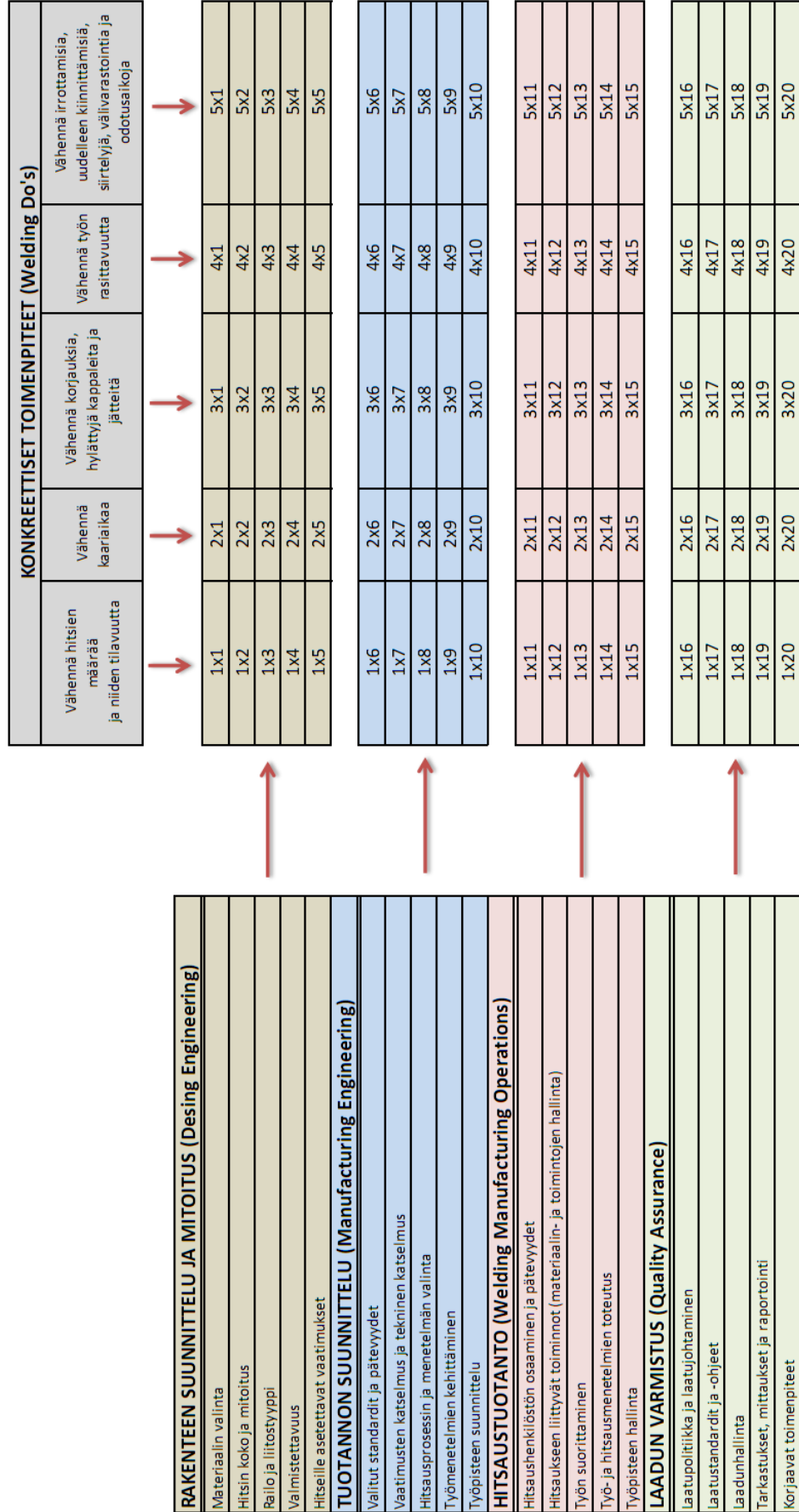
(Barckhoff 2005, 79 - 86.)

Näiden avainalueiden kautta pyritään tarkastelemaan viittä alla esitettyä konkreettista toimenpidettä, jotka vaikuttavat oleellisesti hitsaustyön taloudellisuuteen

- Vähennä hitsien määrää ja niiden tilavuutta
- Vähennä kaariaikaa
- Vähennä korjauksia, hylättyjä kappaleita ja jätteitä
- Vähennä työn rasittavuutta
- Vähennä irrottamisia, uudelleen kiinnittämisiä, siirtelyjä, välivarastointia ja odotusaikoja

(Barckhoff 2005, 65 - 70.)

Edellä mainituista kohdista muodostuu 4 x 4 x 5-matriisi, joka sisältää yhteensä 100 kohtaa, joilla voidaan vaikuttaa hitsaavan tuotannon taloudellisuuteen. Matriisimalli on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. 4 x 4 x 5-analysoinnissa käytettävä matriisimalli

Hitsaustuotantoa tarkastelemalla pyritään löytämään ne tuotannon ongelmakohdat, jotka ovat epäedullisia tuotantoprosessille. Tarkasteluvaiheen tavoitteena on saada mahdollisimman paljon pohjatietoa tuotannosta ja siihen liittyvistä ongelmista. Kaikki havaitut ongelmat kirjataan tietojen analysointia varten. (Barckhoff 2005, 98 - 99.)

Tietojen analysoinnissa jokainen tuotannossa havaittu ongelma selvitetään. Analysoinnissa käytetään apuna matriisimallia, jossa on esitetty viisi konkreettista toimenpidettä tuotannon parantamiseksi. Näistä toimenpiteistä valitaan se, joka kuvaa ongelmaa parhaiten. Toimenpiteet on esitetty kuvassa 2.

KONKREETTISET TOIMENPITEET (Welding Do's)				
Vähennä hitsien määrää ja niiden tilavuutta	Vähennä kaariaikaa	Vähennä korjauksia, hylättyjä kappaleita ja jätteitä	Vähennä työn rasittavuutta	Vähennä irrottamisia, uudelleen kiinnittämisiä, siirtelyjä, välivarastointia ja odotusaikoja

KUVA 2. Konkreettiset toimenpiteet

Kun on päätetty, minkä toimenpiteen avulla ongelmaa aletaan tarkastella, etsitään sopiva päätoiminto ja sen sisältämä avainalue, johon ongelma viittaa. Avainalueet ja niiden muodostamat toiminnot on esitetty kuvassa 3.

RAKENTEEN SUUNNITTELU JA MITOITUS (Desing Engineering)
Materiaalin valinta
Hitsin koko ja mitoitus
Railo ja liitostyyppi
Valmistettavuus
Hitseille asetettavat vaatimukset
TUOTANNON SUUNNITTELU (Manufacturing Engineering)
Valitut standardit ja pätevyudet
Vaatimusten katselmus ja tekninen katselmus
Hitsausprosessin ja menetelmän valinta
Työmenetelmien kehittäminen
Työpisteen suunnittelu
HITSAUSTUOTANTO (Welding Manufacturing Operations)
Hitsaushenkilöstön osaaminen ja pätevyudet
Hitsaukseen liittyvät toiminnot (materiaalin- ja toimintojen hallinta)
Työn suorittaminen
Työ- ja hitsausmenetelmien toteutus
Työpisteen hallinta
LAADUN VARMISTUS (Quality Assurance)
Laatupolitiikka ja laatujohtaminen
Laatustandardit ja -ohjeet
Laadunhallinta
Tarkastukset, mittaukset ja raportointi
Korjaavat toimenpiteet

KUVA 3. Päätoiminnot ja avainalueet

Havaitut ongelmat sijoitetaan matriisimallin niille kuuluvan konkreettisten toimenpiteen ja avainalueen risteymäkohtaan kuvan 4 osoittamalla tavalla. Kun kaikille ongelmille on saatu paikka matriisista, nähdään, mille toiminnoille ja avainalueille kehitystoiminta tulisi keskittää.

		KONKREETTISET TOIMENPITEET (Welding Do's)				
		Vähennä hitsien määrää ja niiden tilavuutta	Vähennä kaariaikaa	Vähennä korjauksia, hylättyjä kappaleita ja jätteitä	Vähennä työn rasittavuutta	Vähennä irrottamisia, uudelleen kiinnittämiä, siirtelyjä, välivarastointia ja odotusaikoja
RAKENTEEN SUUNNITTELU JA MITOITUS (Desing Engineering)						
Materiaalin valinta						
Hitsin koko ja mitoitus						
Railo ja liitostyyppi	→					
Valmistettavuus			X			
Hitseille asetettavat vaatimukset						
TUOTANNON SUUNNITTELU (Manufacturing Engineering)						
Vaillut standardit ja pätevyudet						
Vaatimusten katselmuks ja tekninen katselmuks						
Hitsausprosessin ja menetelmän valinta	→					
Työmenetelmien kehittäminen						
Työpiirteen suunnittelu						
HITSAUSTUOTANTO (Welding Manufacturing Operations)						
Hitsaushenkilöstön osaaminen ja pätevyudet						
Hitsaukseen liittyvät toiminnot (materiaalin- ja toimintojen hallinta)						
Työn suorittaminen	→					
Työ- ja hitsausmenetelmien toteutus						
Työpiirteen hallinta						
LAADUN VARMISTUS (Quality Assurance)						
Laatupolitiikka ja laatujohtaminen						
Laatustandardit ja -ohjeet						
Laadunhallinta	→					
Tarkastukset, mittaukset ja raportointi						
Korjaavat toimenpiteet						

KUVA 4. Ongelmien sijoittaminen matriisiin

4 x 4 x 5-analysoinnin jälkeen valitaan ensisijaiset kehittämiskohteet, joihin tuotannossa halutaan puuttua. Tämän jälkeen asetetaan muutokselle tavoitteet ja suoritetaan muutokset. Muutosten jälkeen mitataan ja arvioidaan aikaansaatuja vaikutuksia sekä ylläpidetään seurantaraportointia. (Barckhoff 2005, 123 - 126.)

3.3 Valmistettavuuden huomioonottaminen suunnittelussa

Tuotteen kehitysvaiheessa suunnittelijat keskittyvät pääasiassa tuotteen ominaisuuksiin sekä niiden parantamiseen eivätkä he välttämättä ole tietoisia valmistuksessa käytettävistä menetelmistä tai siitä, kuinka tuote tullaan valmistamaan. On yleisesti tiedossa, että 70 - 80 % tuotteen valmistuskustannuksista määräytyy sen suunnitteluvaiheen aikana. Valmistuskustannuksiin lasketaan kaikki panokset, joilla raaka-aineesta jalostetaan valmis tuote. Tämän vuoksi suunnittelijoiden tulee tuntea suunnittelemiensa tuotteiden valmistusmenetelmät yrityksensä toimitus- ja valmistusverkostossa. Valmistettavien kappaleiden suunnittelussa valmistusmenetelmän valinta on yksi tärkeimmistä tehtävistä ja se kannattaa tehdä jo suunnittelun alkuvaiheessa. Suunnittelun ja valmistuksen yhteistyötä parantamalla voidaan saavuttaa jopa 70 %:n säästö hitsattavien ja koneistettavien tuotteiden valmistuskustannuksissa. (Huhtala & Pulkkinen 2009, 229 - 230; Hietikko & Suhonen 2010, 10.)

Tuotetta suunniteltaessa sen osien valmistusmenetelmät lyödään usein lukkoon hyvin aikaisessa vaiheessa tuotekehitysprosessia. Tuotteen suunnittelijoiden olisi kyettävä arvioimaan ja vertailemaan eri konstruktiovaihtoehtojen valmistettavuutta, ennen

kuin tuotteen muodot tai arkkitehtuuri on vielä päätetty. Suunnittelun tulisi siis kiinnittää huomiota tuotteen valmistusmyönteisyyteen sekä valmistuskustannuksiin jo tuotekehityksen alkuvaiheessa. (Hietikko 2008, 151.)

3.3.1 Valmistusmyönteisyys

Suunnittelun tuotteen ominaisuudet ja rakenne vaativat paljon tuotantojärjestelmältä. Tuotteen suunnittelun ja valmistusjärjestelmän yhteensopivuus on suoraan verrannollinen tuotteen lopullisiin valmistuskustannuksiin. Tuotteen suunnittelussa valmistusmyönteisyys on hankalaa ottaa huomioon, jos tuotteen valmistaa yrityksen ulkopuolinen toimittaja. Suunnittelulta edellytetään vankkaa tuotannon tuntemista. (Soininen 2010, 32.)

Seuraavassa on listattu joukko suunnittelun yleispiirteitä, joita suunnittelijan tulisi ottaa huomioon:

- osat pitää olla valmistettavissa käytössä olevilla työmenetelmillä ja työkaluilla
- osat pitää olla valmistettavissa mahdollisimman vähillä työvaiheilla ja lyhyillä asetusajoilla
- osien koneistukset pitää olla tehtävissä yhdellä asetuksella
- osien liian tarkat toleranssit johtavat usein erikoisprosesseihin tai erikoistyökalujen käyttöön
- mitat ja suunnittelupiirteet pitää standardoida kuten kierteet, reikien muodot ja taivutussäteet.

(Hietikko 2010, 157 - 158.)

3.3.2 DFM

Suunnittelutyöllä voidaan vaikuttaa merkittävästi tuotteen materiaali- sekä valmistuskustannuksiin. Hyvä suunnittelutyö ottaa huomioon mahdollisimman aikaisessa vaiheessa kaikki tuotteen elinkaaren eri vaiheisiin sijoittuvat rajoitukset ja tavoitteet. Tähän tehtävään on kehitetty DFX (Design For X) -menetelmä, jonka tavoitteena on saada suunnittelija miettimään tuotteen valmistukseen, kokoonpantavuuteen, luotettavuuteen sekä käytön jälkeisiin toimiin perustuvia seikkoja. Tässä työssä keskitytään valmistettavuuden tarkasteluun, tällöin käytetään termiä DFM (Design For Manufacturing). (Laherto 2010, 2.)

DFM-menetelmä on ennakoivan tuotesuunnittelun prosessi, jonka tarkoituksena on optimoida valmistukseen liittyviä toimintoja. Tällaisia toimintoja ovat valmistusprosessit, kokoonpano, testaus, hankinta, toimitus, jakelu, huolto sekä korjaus. Lisäksi menetelmän tehtävänä on varmistaa tuotteelle paras kustannustaso, laatu, luotettavuus, säännöstenmukaisuus, turvallisuus, toimitusaika sekä asiakastyytyväisyys. (Hietikko 2008, 153 - 154.)

DFM-menetelmän päätavoitteena on pienentää tuotteen valmistuksesta aiheutuvia kustannuksia, kun suunnittelija huomioi kyllin aikaisessa vaiheessa tuotteen asettamat vaatimukset tuotannolle. Tästä syystä on tärkeää tietää, kuinka valitut ratkaisut vaikuttavat tuotantoon sekä tuotantojärjestelmään. (Laherto 2010, 3.)

4 VALMISTUKSESSA KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT

Tässä osiossa käsitellään tuotteen valmistuksessa käytettäviä menetelmiä sekä niihin liittyviä mahdollisuuksia ja rajoitteita, joita suunnittelijan tulisi ottaa huomioon.

4.1 Laserleikkaus

Laserleikkaus on terminen leikkausmenetelmä, jossa leikkaus tapahtuu lasersäteilyn energiaa hyväksikäyttämällä. Lasersäteen avulla työkappaleeseen sulatetaan railo, jolloin käytetään termiä lasersulatusleikkaus, tai kuumennetaan leikkauskohta syttymislämpötilaansa, jolloin käytetään termiä laserpolttoleikkaus. Sulatusleikkauksessa leikkauskohtaan suunnataan kaasusuihku, jonka tehtävänä on poistaa sulanut metalli leikkausrailosta. Polttoleikkauksessa kaasun tehtävänä on metallin hapettaminen sekä syntyvän sulan metallioksidin poistaminen. (Ihalainen 1985, 266.)

Laserleikkauksella voidaan leikata metalleja, joilla on hyvä absorbointikyky ja joita voidaan leikata myös tavallisilla polttoleikkausmenetelmillä. Vähäisen lämmöntonnin ansiosta laserleikkaus soveltuu hyvin kappaleille, joissa on paljon pieniä tarkkuutta vaativia muotoja, koska lämmön tuomia muodonmuutoksia ei synny. Yleensä laserleikatut osat ovat sellaisenaan valmiita, koska leikkauspinnan laatu on hyvä ja mittatarkkuus suuri. Laserleikatun kappaleen koko tai muodot eivät ole sidottuja mihinkään ennalta sovittuihin standardimittoihin, vaan yksittäisen kappaleen koon määrittää käytettävän levyaihion ja työaseman mitat. Osien muodon vapautta voidaan helposti hyödyntää kappaleen hitsaus- tai kokoonpanovaiheessa, koska kappaleisiin voidaan leikata tarkkoja olakkeita, ulokkeita ja koloja asemointia helpottamaan. (Ihalainen 1985, 267; Matilainen 2010, 164.)

Ohutlevytuotteiden leikkausvaiheella on suuri vaikutus tuotteen valmistuskustannuksiin ja lopulliseen laatuun. Vaikka laserleikkaus ei aseta suuria rajoitteita tuotteen suunnittelulle, alla on listattu seikkoja, joihin suunnittelijan tulisi kiinnittää huomiota:

- kappaleen muotoilu
- taivutusta varten tehtävien nurkkien loveukset
- leikkauksen tarkkuus
- taloudellinen levyn käyttö
- käytettävät materiaalit ja niiden soveltuminen laserleikkaukseen
- materiaalien ainevahvuudet.

(Laherto 2010, 13.)

4.2 Särmäys

Särmäys kuuluu lähes jokaiseen ohutlevytuotteen valmistuksessa käytettäviin työmenetelmiin. Työkappaletta taivutettaessa särmäyspuristimella levyjen taivutukset ovat usein suoraviivaisia ja levy muovautuu vain yhdestä suunnasta. Yleisimmin käytetty taivutusmenetelmä on vapaataivutus, jossa levyaihio taipuu ylätyökalun ja vastimen välissä. Ylätyökaluna toimiva painin ei missään vaiheessa kosketa kokonaisuudessaan muokattavaa levyaihiota, vaan niiden väliin jää ilmarako. Vapaalle taivutukselle on ominaista terävät ($< 90^\circ$) painimen ja vastimen kulmat. Tällöin muokattavaan aihioon saadaan haluttu taivutuskulma pelkästään painimen iskunpituutta säätämällä. Kappaleen takaisinjousto huomioidaan lievällä ylitaivutuksella, jolloin kulma asettuu halutun suuruiseksi. Jotta tuotteelle asetettavat vaatimukset kuten ulkonäkö, tarkkuus, lujuus täyttyisi, edellyttää se suunnittelijalta rakenteiden taivutusmenetelmien ja peruseriaatteiden tuntemusta. (Ihalainen 1985, 268 - 269.)

Särmäämällä valmistettavien kappaleiden suunnittelussa tulisi erityisesti kiinnittää huomiota levyaihioiden materiaaliin, paksuuteen sekä taivutussäteeseen. Näillä kaikilla tekijöillä on vaikutus käytettävän särmäyskoneen ominaisuuksiin kuten kokoon ja tehoon. Mitä sitkeämpi, suurempi ja paksumpi levyaihio on, sitä suuremman tehon aihion taivuttaminen vaatii. Taivutussäteen pienentyessä laitteiston tehontarve kasvaa. Ylimääräisiä asetusaikoja tulisi välttää. Tästä johtuen valmistettavissa kappaleissa tulisi käyttää samoja taivutussäteitä, jotta välttyttäisiin ylimääräisiltä työkalunvaihdoilta. Alla on listattu seikkoja kappaleen taivutussäteiden suunnittelua varten:

- Taivutussäde tulee määriteltävä mahdollisimman suureksi.
- Yleisimmille käytössä oleville materiaaleille taivutussäteen suuruus tulee olla vähintään yhtä suuri kun kappaleen ainevahvuus.
- Vapaassa taivutuksessa takaisinjousto tulee ottaa huomioon.
- Taivutuksen jälkeen levyn suoranosan pituus tulee olla vähintään neljä kertaa levyn ainevahvuus plus taivutussäteen suuruus.
- Levyaihiossa olevat reiät ja aukot tulee sijoittaa särmätystä kulmasta vähintään kolme kertaa ainevahvuus plus taivutussäteen suuruus.

(Hietikko & Suhonen 2010, 11 - 12.)

Jos suunnittelutyössä ei tarpeeksi kiinnitetä huomiota kappaleen valmistettavuuteen ja siinä käytettäviin menetelmiin, vaikuttaa se suoraan kappaleen valmistuksessa syntyviin kustannuksiin sekä laatuun. Monesti kaikkien työmenetelmään vaikuttavien tekijöiden huomioonottaminen samalla kertaa on hankalaa tai lähes mahdotonta. Alla on listattu yleisesti suunnittelijoille sattuvia virheitä kappaleiden suunnittelussa:

- Levyaihiota taivuttaessa, kappaleen reuna törmää särmäyspuristimen yläpalkkiin.
- Laippakorkeus on jätetty liian lyhyeksi, jolloin taivutuslinja on liian lähellä levyn reunaa ja levy lipeää alatyökalan uraan.
- Reiät ja aukot on sijoitettu liian lähelle taivutuskohtaa, jolloin niiden muoto muuttuu materiaalin venyessä taivutuslinjojen lähellä.

(Matilainen 2010, 264.)

4.3 MAG-hitsaus

MAG-hitsaus (Metal-Arc Active Gas Welding) on metallikaasukaarihitsausta, jossa valokaaren ympärille johdetaan suojakaasu. Kaasun tehtävänä on suojella hitsisulaa ja elektrodia ilman haitallisilta vaikutuksilta. Hyvän mekanisoitavuutensa ansiosta se soveltuu erinomaisesti sarjatuotantoon. Menetelmä on myös paljon käytetty ohutlevytuotannossa, sillä suuresta hitsausvirtatiheydestä johtuen hitsauksesta aiheutuvat muodonmuutokset ovat pieniä. (Ihalainen 1985, 299 - 230.)

MAG-hitsauksessa ohutta lisäainelankaa syötetään langansyöttölaitteen avulla tasaisesti hitsisulaan. Hitsisula muodostuu, kun lisäainelanka ja perusaine sulavat niiden välissä olevan valokaaren ansiosta. Hitsisula ja valokaari suojataan hitsikohtaan suunnatulla aktiivisella suojakaasulla. Aktiivisella suojakaasulla tarkoitetaan kaasua, joka reagoi hitsisulan kanssa. Suojakaasuina käytetään yleensä puhdasta hiilidioksidia tai hiilidioksidin ja argonin seosta. (Ihalainen 1985, 297 - 299.)

Hitsausmenetelmiä on nykyään erittäin paljon. Niinpä suunnittelijan tulee olla perillä eri hitsausmenetelmistä ja niihin liittyvistä vaatimuksista. Lähtökohtaisesti hitsattujen rakenteiden tulisi olla kyllin lujia, jotta ne kestäisivät niihin kohdistuvat kuormitukset. Hitsauksen aikana kappaleen rakenteessa tapahtuu helposti lämmön tuomia muodonmuutoksia ja myös materiaalin ominaisuudet saattavat muuttua. Oikein suunnitellun ja suoritettun hitsauksen tuloksena on kuitenkin käyttötarkoitusta kestävä rakenne, joka on optimaalinen niin lujuus- kuin sitkeysominaisuuksiltaan. Alla on listattu valmistuksen kannalta tärkeitä seikkoja, joita suunnittelijan tulisi ottaa huomioon hitsattuja rakenteita suunnitellessa:

- Hitsit sijoitetaan rakenteen kohtiin, jossa niihin kohdistuu mahdollisimman vähän rasitusta.
- Hitsit sijoitellaan niin, että ne on mahdollisimman helposti hitsattavissa.
- Hitsien koko ja lukumäärä saatava mahdollisimman pieneksi, samoin hitsattavien komponenttien lukumäärä.

- Hitsatuissa kokoonpanoissa komponenttien asemointi tulee olla mahdollisimman yksinkertaista.
- Hitsien koko ja hitsausjärjestys suunniteltava niin, että lämmön aiheuttamia muodonmuutoksia ei esiinny.

(Matilainen 2010, 275; Hietikko & Suhonen 2010, 14.)

Ohutlevytuotteita suunnitellessa, suunnittelijalla on oltava käsitys hitsauksesta aiheutuvasta lämmön vaikutuksista kappaleeseen. Suunnittelijan on arvioitava minkä suuruista a-mittaa hitsiliitoksissa käytetään. Lämmöntuonti aiheuttaa kappaleen materiaaliin mikrorakennemuutoksia, joista aiheutuu työkappaleeseen sisäisiä jännityksiä. Näistä johtuen kappaleessa voi ilmetä haitallisia hitsausmuodonmuutoksia, jotka ilmenevät taipumina ja venyminä. Lisäksi liian suuren a-mitan käyttö aiheuttaa ylisuuria lisäainekustannuksia. (Matilainen 2010, 318.)

5 TYÖN TOTEUTUS

Tässä osiossa kuvataan, kuinka kokonaisvaltaisen hitsaavan teollisuuden johtamisen mallia ja siihen liittyvää hitsaavan tuotannon analysointia on käytetty tässä työssä. Lisäksi annetaan esimerkkejä tuotteen osien rakennemuutoksista, joilla on pyritty parantamaan niiden valmistettavuutta.

5.1 4 x 4 x 5-analysointi

5.1.1 Tuotannon pohjatietojen keräys

Junttan Oy:n hydraulisen 10xCU-voimayksikön teräsrakennerrunko valmistetaan Stera Technologies Oy:n tehtaalla Kaavilla. Runkorakenteet koostuvat pääsääntöisesti särmätyistä osista. Särmäyksellä on pyritty vähentämään laajoja hitsauskokoontapanoja ja osanimikkeitä. Runkorakenteet koostuvat kolmesta osakokonaisuudesta, jotka ovat runko, pellitys ja säiliöt. Lähes kaikkien osien valmistuksessa käytettäviä valmistusmenetelmiä on laserleikkaus, särmäys ja hitsaus. Jotkin kokoonpanot sisältävät myös koneistettuja osia.

Tuotannon tarkasteluvaihe suoritettiin seuraamalla tuotteen valmistusta tuotantotiloissa. Tarkastelu keskittyi tuotteen osien särmäykseen sekä hitsauskokoontanoihin. Tarkasteluvaiheen tavoitteena oli saada tietoa valmistuksessa olevista ongelmista. Pohjatietoja kerättiin tuotannon eri vaiheita seuraamalla, haastatteleamalla työntekijöitä sekä osallistamalla itse työhön. Kaikki tuotannossa ilmenneet ongelmat kirjattiin analysointia varten.

Särmäys

Tuotannon tarkastelu aloitettiin tutkimalla särmäystä. Paras tapa seurata valmistusmenetelmää oli työskennellä särmääjän työparina. Tällöin oli helppo saada mahdollisimman monipuolista tietoa kappaleiden valmistettavuudesta ja kappaleiden valmistettavuuteen liittyvistä ongelmista. Työn ohella haastateltiin henkilökuntaa, jolloin saatiin lisätietoa heidän näkemyksistään tuotteesta.

Tarkasteluvaiheen runkona toimi TWM-matriisi, joka on suunniteltu hitsaavan tuotannon tarkasteluun. Särmäyksen tarkastelussa ei ollut menetelmää, jonka mukaan edettä. Särmäyksen tarkastelu tapahtui tutkimalla kriittisesti jokaisen kappaleen valmis-

tusta kirjaamalla muistiin kaikki esiin nousseet ongelmat. Ongelmatilanteessa selvitetiin ongelman syy sekä pohdittiin alustavasti erilaisia parannusvaihtoehtoja työntekijöiden kanssa.

Hitsaus

Hitsauskoonpanojen pohjatietoa kerättiin seuraamalla hitsaajien työskentelyä ja haastatteleamalla heitä valmistukseen liittyvistä asioista. Tarkastelu keskittyi hitsaajan sekä erilaisten tukitoimintojen tarkkailuun. Tukitoiminnoista tarkkailtiin pääasiassa työpisteiden materiaalivirtaa ja varustustasoa, hitsaajan ohjeistusta ja apuvälineiden käyttöä. Hitsaajan työn tarkkailussa keskityttiin TWM-matriisimallin viiteen konkreettiseen toimenpiteeseen, joilla on merkittävä vaikutus hitsaavan tuotannon optimoinnissa.

Työtä tarkastelemalla löydettiin puutteita mm. hitsaajien työskentelytavoista ja tukitoiminnoista. Ongelmatapaukset kirjattiin muistiin ja hitsaajien kanssa pohdittiin mahdollisia muutos- tai parannusvaihtoehtoja, jotka tukisivat mahdollisimman paljon hitsaajaa ja helpottaisivat heidän työskentelyään. Käytössä oli myös 10xCU:n runkorakenteiden 3D-malli, jota käytettiin havainnollistamaan tuotteen rakennetta komponenttien paikoitukseen ja mitoitukseen liittyvissä ongelmissa.

5.1.2 Ongelmien jaottelu

Tuotannon tarkasteluvaiheen jälkeen havaitut ongelmat jaoteltiin ennen tietojen analysointia. Ongelmat jaettiin kahteen ryhmään: särmäyksessä ilmenneisiin ja hitsauksessa ilmenneisiin ongelmiin. Jokaisen ongelman tiedot merkittiin kuvan 5 mukaiselle kaavakkeelle.

Osan piir.nro	
Toiminto	
Konkreettinen-toimenpide	
Avalalue	
Havainto	
Syy	
Vaikutus työsken- telyyn	
Korjausehdotus	
Tarkennus	

KUVA 5. Ongelmien jaottelussa käytetty havainnointikaavake

Kaavakkeeseen merkittiin osan tai kokoonpanon piirustusnumero, joka helpotti oikeiden valmistusdokumenttien etsinnässä.

Kolme seuraavaa kohtaa liittyi ongelman sijoittamiseen TWM-matriisissa. Näihin merkittiin toiminto eli osa-alue, johon ongelma liittyi. Toimintoja ovat rakenteen suunnittelu ja mitoitus, tuotannon suunnittelu, hitsaustuotanto ja laadun varmistus.

Konkreettiseen toimenpiteeseen valittiin yksi viidestä kohdasta, joka parhaiten kuvaa ongelman luonnetta, sekä yksi avainalueista, johon ongelman syntyperä viittasi.

Kaavakkeeseen merkittiin havainto, joka oli lyhyt kuvaus ongelmasta, sekä ongelman syy ja vaikutukset työntekijään. Lopuksi kaavakkeeseen merkittiin alustava korjaus-ehdotus sekä ongelman tarkempi kuvaus.

5.1.3 Tietojen analysointi

Tietojen analysoinnissa apuna käytettiin TWM-menetelmään kuuluvaa 4 x 4 x 5-analysointia. Havaitut ongelmat pyrittiin lokeroimaan matriisimalliin, jonka avulla saatiin selville, mille toiminnoille ja avainalueille kehitystoiminta tulisi ensisijaisesti keskitää. Analysoinnissa käytetty matriisimalli on esitetty kuvassa 1.

Analysointi aloitettiin ongelman tarkastelulla. Ongelman syytä ja alkuperää tutkimalla sille pyrittiin löytämään oma paikkansa matriisissa. Matriisimallin konkreettisista toimenpiteistä valittiin se, joka kuvasi ongelmaa parhaiten. Konkreettiset toimenpiteet ovat:

- Vähennä hitsien määrää ja niiden tilavuutta.
- Vähennä kaariaikaa.
- Vähennä korjauksia, hylättyjä kappaleita ja jätteitä.
- Vähennä työn rasittavuutta.
- Vähennä irrottamisia, uudelleenkiinnittämisiä, siirtelyjä, välivarastointia ja odotusaikoja.

Tämän jälkeen pohdittiin, mihin neljästä päätoiminnosta ongelma sijoittuu. Päätoimintoja ovat:

- rakenteen suunnittelu ja mitoitus
- tuotannon suunnittelu
- hitsaustuotanto
- laadun varmistus.

Kun päätoiminto oli valittu, valittiin avainalueesta se, joka kuvasi ongelman syntyperää.

Kun sopiva avainalue oli löytynyt, ongelma sijoitettiin ruudukolle avainalueen ja konkreettisen toimenpiteen risteymäkohtaan. Jokaisen havaitun ongelman läpikäynnin jälkeen kaikki havainnot sijoitettiin samalle matriisipohjalle kuvan 6 osoittamalla tavalla.

		KONKREETTISET TOIMENPITEET (Welding Do's)				
		Vähennä hitsien määrää ja niiden tilavuutta	Vähennä kaariaikaa	Vähennä korjauksia, hylättyjä kappaleita ja jätteitä	Vähennä työn rasittavuutta	Vähennä irrottamisia, uudelleen kiinnittämissä, siirtelyjä, välivarastointia ja odotusaikoja
RAKENTEEN SUUNNITTELU JA MITOITUS (Desing Engineering)				2 kpl 1 kpl		
Materiaalin valinta						
Hitsin koko ja mitoitus						
Railo ja liitostyyppi						
Valmistettavuus			6 kpl		7 kpl	
Hitsille asetettavat vaatimukset						
TUOTANNON SUUNNITTELU (Manufacturing Engineering)						
Valitut standardit ja pätevydet						
Vaatimusten katselmuksena ja tekninen katselmuksena						
Hitsausprosessin ja menetelmän valinta						
Työmenetelmien kehittäminen						
Työpisteen suunnittelu						
HITSAUSTUOTANTO (Welding Manufacturing Operations)					1 kpl	7 kpl
Hitsaushenkilöstön osaaminen ja pätevydet						
Hitsaukseen liittyvät toiminnot (materiaalin- ja toimintojen hallinta)						
Työn suorittaminen						
Työ- ja hitsausmenetelmien toteutus						
Työpisteen hallinta						
LAADUN VARMISTUS (Quality Assurance)						
Laatupolitiikka ja laatujohtaminen						
Laatustandardit ja -ohjeet						
Laadunhallinta						
Tarkastukset, mittaukset ja raportointi						
Korjaavat toimenpiteet						1 kpl

KUVA 6. Havaitut ongelmat sijoitettuna matriisimalliin

Matriisista nähtiin ongelmien jakautuminen eri tuotannon asteille. Tämän jälkeen kehitystoiminta voitiin keskittää kriittisimpiin avainalueisiin, joissa ongelmia havaittiin eniten.

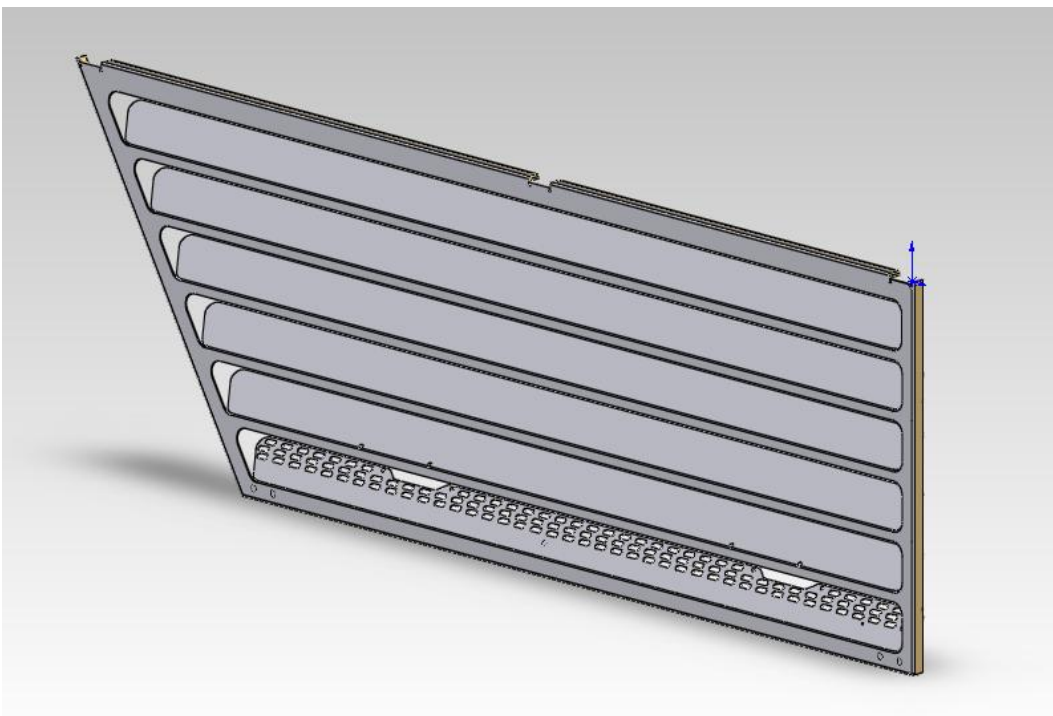
5.2 Osien rakenteen muutosten vaikutus valmistettavuuteen

Tuotannon tarkasteluvaiheessa esiin nousseista ongelmista valittiin kaksi case-tapausta, joita tutkittiin tarkemmin. Case-tapauksia valittaessa kiinnitettiin huomiota siihen, kuinka suuri parannus valmistettavuuteen saadaan kappaleen rakenteen muutoksilla. Osien rakenteen muutoksilla pyrittiin löytämään sellainen ratkaisu, joka tyydyttää tuotteen tuotannolliset vaatimukset sekä parantaa osien valmistettavuutta.

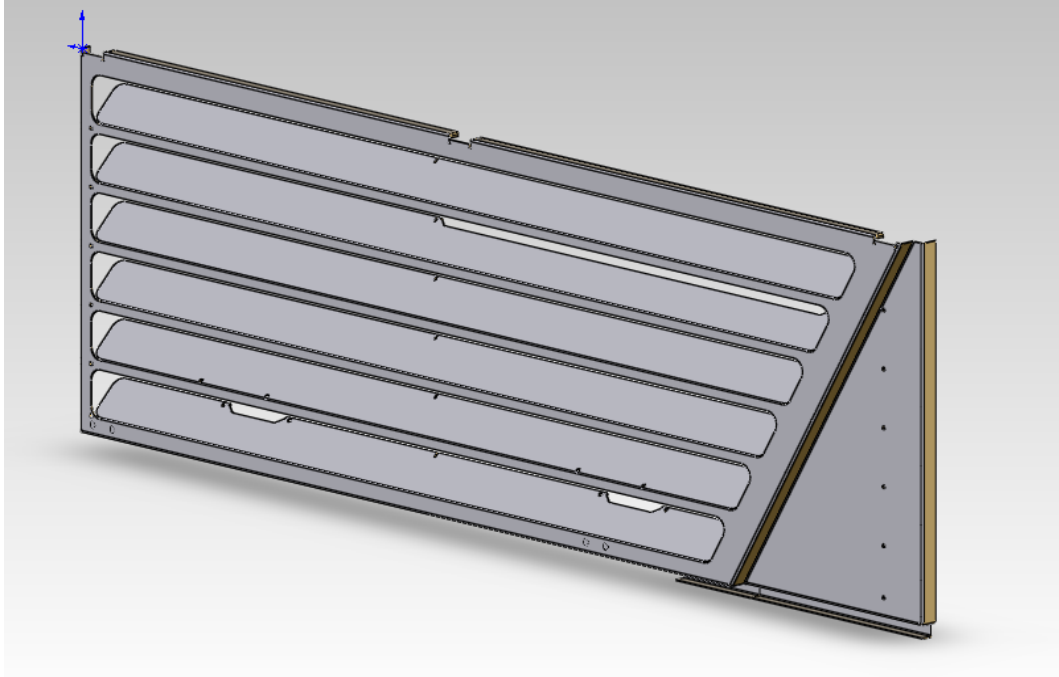
5.2.1 Esimerkki 1. Ilmanotto- ja poistosäleiköt

Nykyisin tuotteen ulkonäöllä on yhä suurempi merkitys ja tuotteiden mallien ideat syntyvät muotoilijalta, joten tuotteen suunnittelun lähtökohtana on ulkonäköön perustuva houkuttelevuus. Tällöin tuote tai sen osa voi täyttää tehtävänsä, mutta sen valmistaminen voi olla hankalaa ja jopa epäedullista. Taivuttamalla valmistettavien osien suunnittelussa valmistettavuuden asiantuntemus korostuu entistä tärkeämmäksi muihin valmistusmenetelmiin verrattuna. Siispä tuotteen suunnittelun tulisi purkaa lennokkaimmatkin ideat pieniksi osiksi ja tarkastella niiden valmistettavuutta. (Matilainen 2010, 255.)

Ensimmäisenä case-tapauksena tarkastellaan 10xCU-mallin ilmasäleikköjen rakennetta. Suurimpia ongelmia osien valmistuksessa oli ilmanotto- ja poistosäleikön särmäys. Säleiköt on sijoitettu voimayksikön kylkiin pitkille sivuille ja ne toimivat samalla osana julkisivupellitystä. Kappaleiden taivutukset koostuvat pääasiassa 45° kulmaan särmättävistä erimittaisista ilmasäleikoistä. Tästä syystä työkalujen vaihtoa on paljon ja asetusajat ovat pitkiä. Alkuperäiset ilmanotto- ja poistosäleiköt on esitetty kuvissa 7 ja 8.



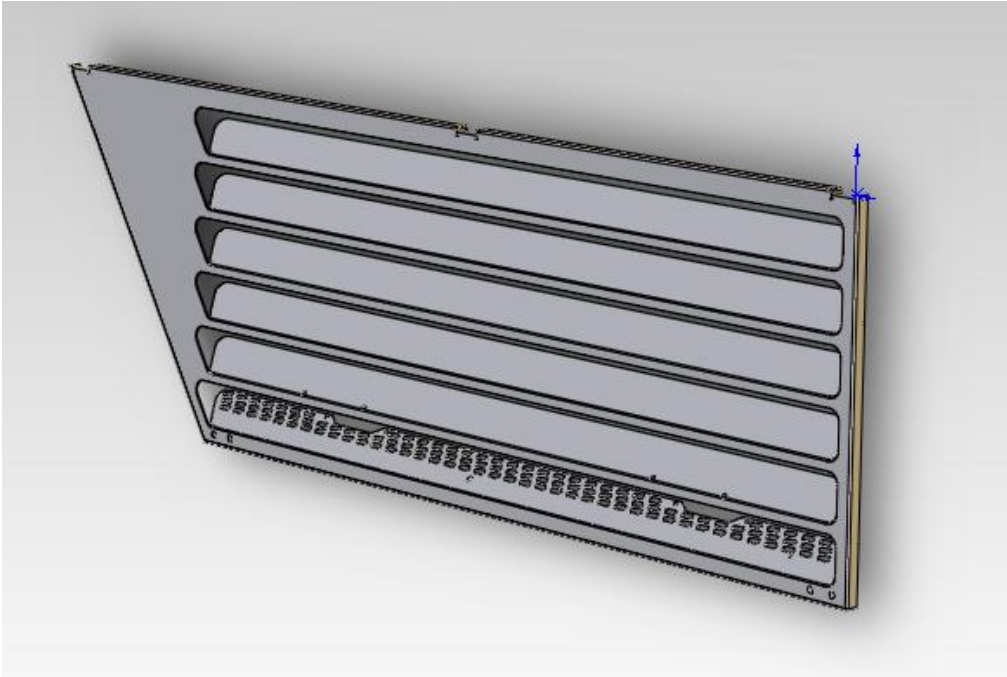
KUVA 7. Alkuperäinen ilmanottosäleikkö



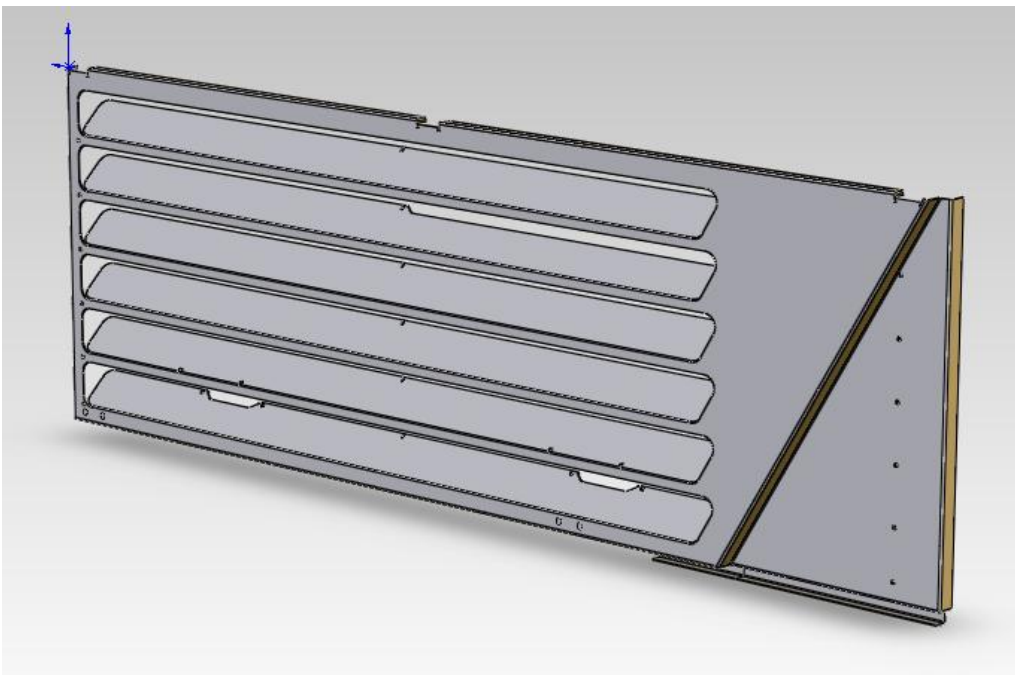
KUVA 8. Alkuperäinen ilmanpoistosäleikkö

Ongelman lähtökohtana olivat pitkät asetusajat sekä runsaat työkalunvaihdot, minkä takia kappaleiden valmistus oli hidasta. Kappaleiden valmistettavuutta tulisi parantaa pienentämällä niiden valmistukseen liittyviä asetusajoja, muuttamatta kuitenkaan kappaleiden äärimittoja ja perusmuotoa. Osien valmistettavuutta tarkastelemalla ja työntekijöiltä haastattelemalla saatiin korjausehdotuksia kappaleiden rakenteiden muutoksiin, kuten taivutussäteiden ja ilmasäleikköjen pituuden standardointiin.

Kappaleen rakennetta yksinkertaistettiin siten että molempien osien säleiköt muutettiin samanmittaisiksi, jotta kaikki säleet voitaisiin särmätä samalla työkaluasetuksella. Muutokset on esitetty kuvissa 9 ja 10.



KUVA 9. Muutokset ilmanottosäleikössä



KUVA 10. Muutokset ilmanpoistosäleikössä

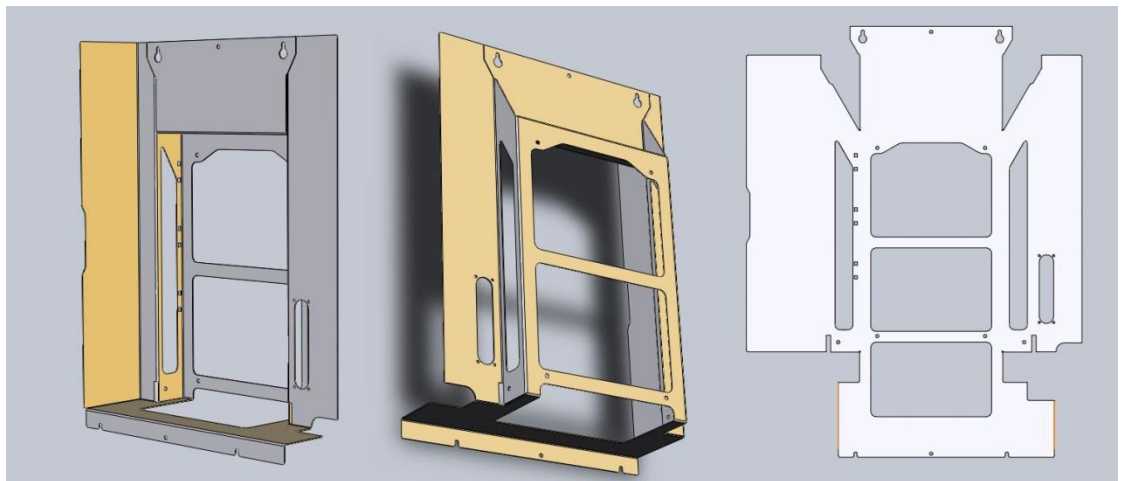
Rakenteen muutoksesta johtuen ilma-aukkojen virtaus pinta-alat pieninevät noin 10 %, joka vaikuttaa heikentävästi jäähdytysilman kulkuun, mutta parantaa samalla rakenteen äänieristystä ja valmistettavuutta. Säleikköjen pituuden yhdenmukaistamisella, kappaleen särmäykseen kuuluva aika saadaan jopa puolitettyä.

5.2.2 Esimerkki 2. Sähkökeskuksen kiinnike

Ohutlevykappaleiden valmistuksessa taivutukseen vaikuttaa monet eri tekijät, joita tulisi huomioida tuotteen suunnittelussa. Taivutuksessa tapahtuu aina muodonmuutoksia, ja erityisesti takaisinjousto on vaikeasti hallittava ilmiö, koska taivutuksen jälkeen levyssä olevat sisäiset jännitykset pyrkivät palauttamaan kappaleen alkuperäiseen muotoonsa. Ohutlevykappaleen suunnittelijan on myös otettava huomioon valmistuksessa esiintyvät mittavirheet, jotka johtuvat usein levyn paikoituksesta. Taivutusjärjestyksellä voidaan usein määrätä mihin kohtaan kappaletta mahdolliset mittavirheet jäävät. Tämä korostuu etenkin monimutkaisissa levykappaleissa joissa on paljon taivutuksia. (Matilainen 2010, 256.)

Toisena case-tapauksena tarkastellaan 10xCU-mallin sähkökeskuksen kiinnikettä. Osa valmistettiin särmäämällä yhdestä levykappaleesta. Suurimpia ongelmia osan valmistuksessa aiheutti sen kotelomainen rakenne ja runsaat erimittaiset taivutukset, jonka takia särmäyspuristimen työkaluja jouduttiin usein vaihtamaan.

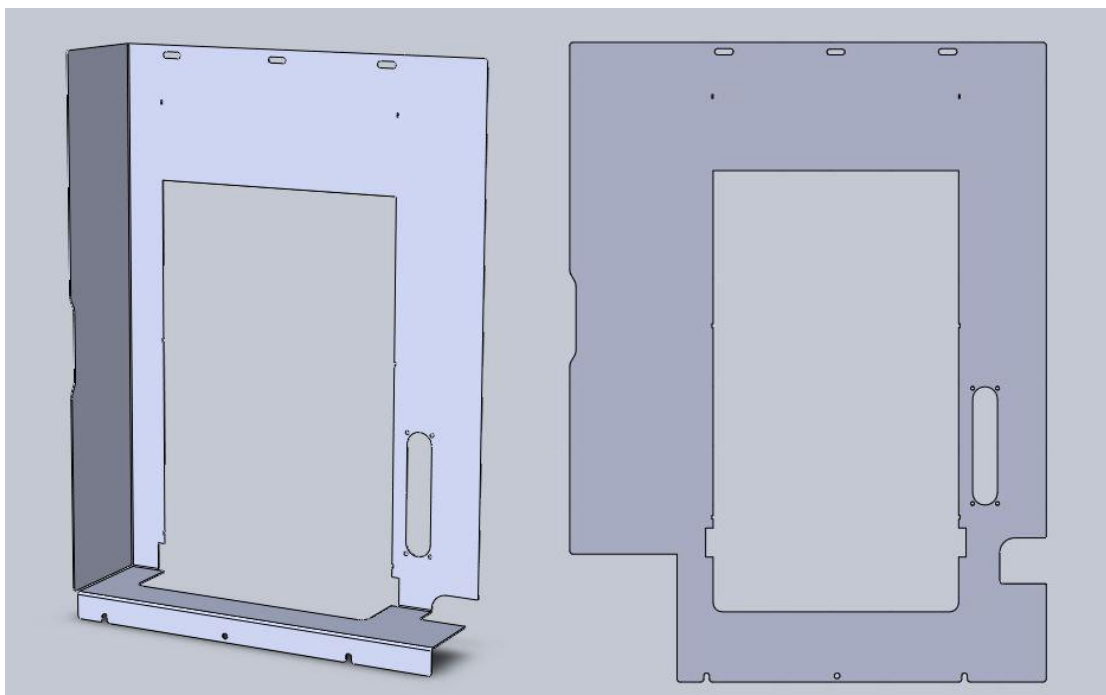
Runsaiden taivutusten vuoksi mittavirheiden määrä kasvoi huomattavasti ja takaisinjoustoja oli hankala hallita. Tämä vaikutti lopputulokseen, jossa kaikki taivutukset eivät osuneet kohdalleen ja kappaletta hitsatessa hitsaaja joutui käyttämään kiinnittimiä oikean muodon saavuttamiseksi. Alkuperäinen kiinnike on esitetty kuvassa 11.



KUVA 11. Alkuperäinen sähkökeskuksen kiinnike

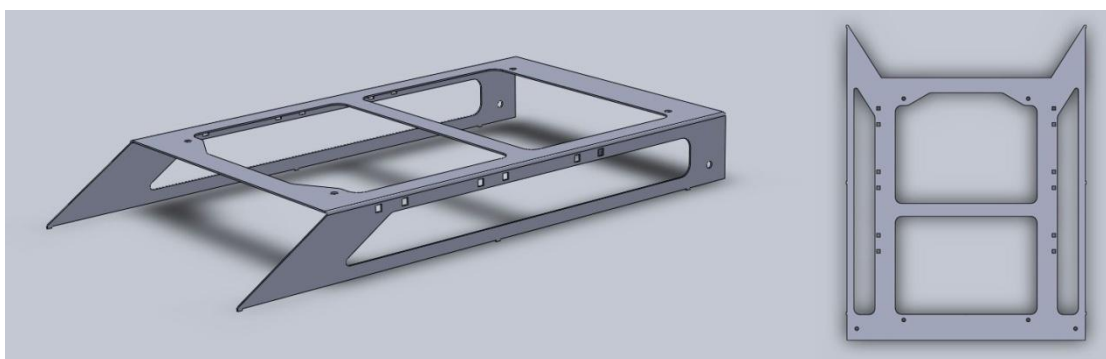
Alkuperäinen kiinnike muodostui yhdestä särmätystä levyaihiosta. Valmistuksessa jouduttiin käyttämään yhdeksää eri taivutusta joista lähes jokainen täytyi suorittaa eri työkaluasetuksella, joka johti pitkiin asetusaikoihin.

Rakenteen uudelleen suunnittelun lähtökohtana oli kappaleen valmistettavuuden parantaminen muuttamatta kappaleen muotoa ja mittoja. Taivutuksien suunnittelussa työkaluasetuksia pyrittiin standardoimaan, jotta työkalujen vaihtoon käytetyt asetukset saataisiin pidettyä lyhyinä. Kappaleen kotelomaisen rakenteen aiheuttamia hankaluuksia vähennettiin muuttamalla rakenne hitsauskokoontamiseksi.



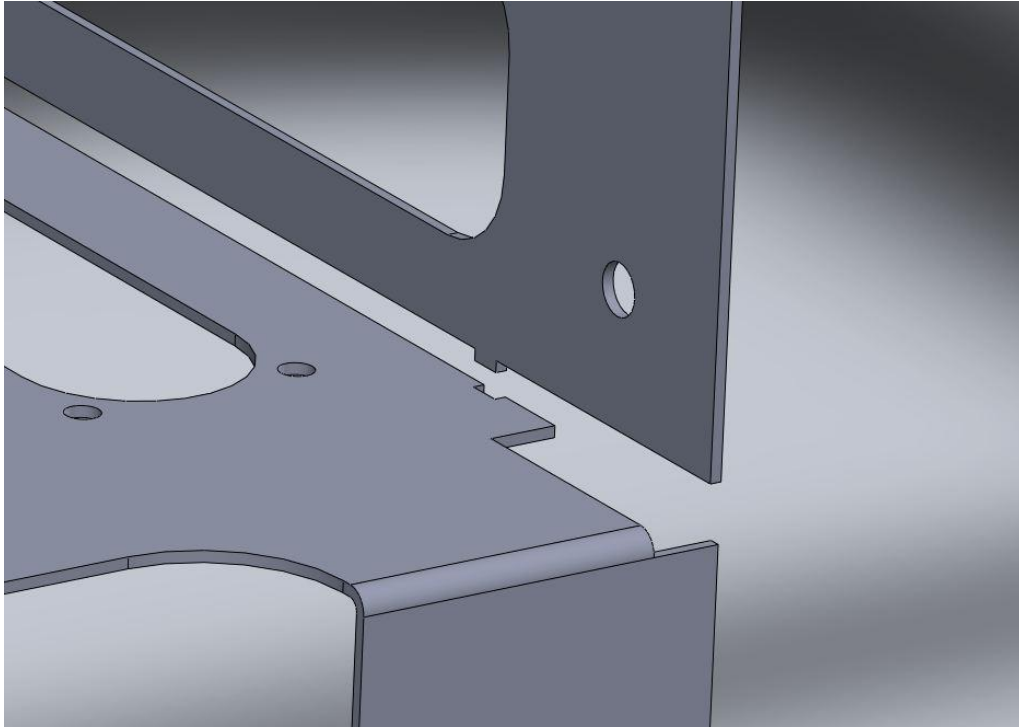
KUVA 12. Kiinnikkeen runkolevy

Uusi rakenne koostuu kahdesta särmätystä levyaihiosta. Kiinnikkeen runkolevy (kuva 12) voidaan valmistaa yhteensä kolmella taivutuksella käyttäen samaa työkaluasetusta. Runkolevyyn liitetään taustakotelo (kuva 13), johon lopullinen sähkökeskus kiinnitetään. Osa voidaan valmistaa kahdella taivutuksella käyttämällä samaa työkaluasetusta kuin runkolevyssä.



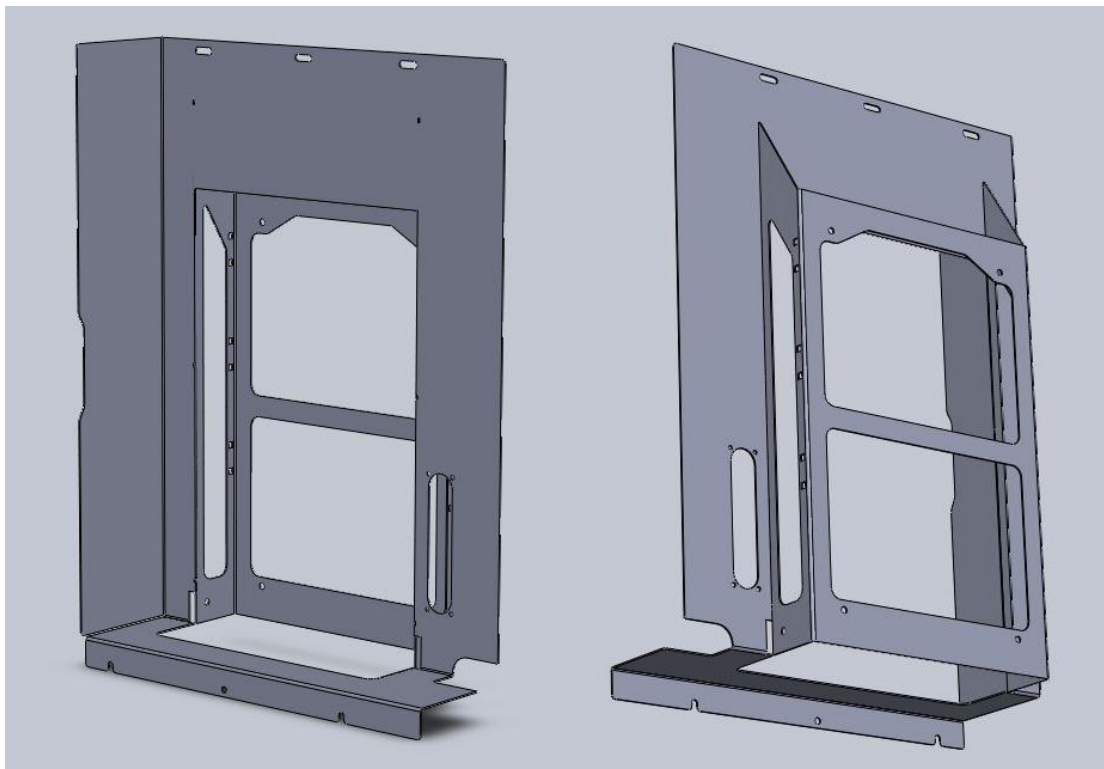
KUVA 13. Runkolevyyn liitettävä taustakotelo

Kiinnikkeen levyaihiot leikataan käyttämällä laserleikkausta. Tällöin niihin voidaan helposti lisätä erilaisia koloja ja ulokkeita, jotka helpottavat hitsauskokoontamista toimimalla paikoitusmerkkeinä (kuva 14).



KUVA 14. Osien paikoitusta helpottavat merkinnät

Rakenteen uudelleensuunnittelun myötä kiinnike voitaisiin valmistaa hitsauskokoontamiseksi kahdesta särmätystä levyaihiosta, jotka pystytään valmistamaan yhteensä viidellä kanttauksella käyttäen koko ajan samaa työkaluasetusta. Taivutusten vähenemisessä myös mittavirheistä johtuvien haittojen riski pienenee. Kiinnikkeen uusi rakenne on esitetty kuvassa 15.



KUVA 15. Kiinnikkeen uusi rakenne

6 TULOKSET JA YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tarkastella 10xCU-voimayksikkömallin valmistettavuutta keräämällä pohjatietoa tuotannosta ja analysoimalla havaittuja ongelmia Total Welding Management -menetelmässä käytettävän 4 x 4 x 5-analysoinnin avulla. Kerätyistä pohjatiedoista saatiin tietoa valmistuksessa ilmenneistä ongelmista, joihin tulisi tuotteen valmistettavuuden kannalta puuttua. Lisäksi työssä tarkasteltiin osien valmistettavuuden parantamista kahden case-tapauksen avulla, joissa tutkittiin, kuinka osien rakenteen muutokset vaikuttavat niiden valmistettavuuteen.

Työn tarkasteluvaiheessa havaitut ongelmat jakaantuivat miltei tasan tuotantoperäisiin ja suunnitteluperäisiin ongelmiin. Tuotannossa suurimman haasteen toivat hitsauksesta johtuvat haitalliset muodonmuutokset, jotka aiheuttivat vääntymiä ja kaareutumia kappaleissa. Hitsauskokoontamisissa ongelmia tuotti kappaleiden asemointi. Joissakin hitsauskokoontamisissa kappaleiden asemointia helpottamaan oli käytetty lasermerkkausta, jossa kappaleeseen merkitään muiden osien paikat jo laserleikkauksenvaiheessa. Joidenkin osakokoontamien merkkäminen oli onnistunut, mutta useissa tapauksissa lasermerkkaus puuttui. Osien asemointia helpottamaan voitaisiin tulevaisuudessa suunnitella erilaisia hitsausjigejä, joilla kokoonpanon osat saadaan pidettyä oikeilla paikoillaan hitsauksen aikana. Suunnitteluperäisistä ongelmista suurimmat ongelmat havaittiin osien särmäysvaiheessa. Osat olivat hankalia valmistaa niiden muotojen ja monimutkaisten kappalerakenteiden takia. Lisäksi ne vaativat paljon työkalujen vaihtoja, jotka johtivat pitkiin asetusaikoihin. Joissakin tapauksissa valmistusdokumenteissa annetut mitat olivat puutteellisia, minkä takia särmääjä joutui itse laskemaan tarvittavat mitat.

Työn konkreettisena tuotoksena saatiin tuotannon tarkasteluvaiheessa syntynyt lista havaituista ongelmista. Lisäksi kaksi case-tapausta, joissa tarkastellaan, kuinka kappaleen rakenteeseen tehdyt muutokset vaikuttavat niiden valmistettavuuteen. Havaituista ongelmista tehtiin myös 4 x 4 x 5-analysointi, jonka avulla selvitettiin, mille osialueelle kehitystoiminta tulisi ensisijaisesti keskittää.

Analysoinnin tuloksista havaittiin kaksi selvästi erottuvaa avainaluetta, joihin kehitystoiminnan tulisi puuttua. Päätoiminnoista rakenteen suunnittelusta ja mitoituksista löytyi yhteensä 16 ongelmaa, joista 13 liittyi valmistettavuuteen. Hitsaustuotannosta havaittiin 8 ongelmaa, joista 7 kuului hitsaukseen liittyviin toimintoihin. Analysoinnin perusteella tuotteen suunnittelussa tulisi keskittyä sen valmistusmyönteisyyteen. Käy-

tössä olevien valmistusmenetelmien tunteminen sekä niihin liittyvien mahdollisuuksi-
en ja rajoitteiden tunnistaminen on erittäin tärkeää tuotteen valmistuksen kannalta.
Valmistettavuuden huomioonottamisella ja hyödyntämisellä suunnittelutyössä voi-
daan saavuttaa huomattavia säästöjä tuotteen valmistuskustannuksissa.

Case-tapauksissa perehdyttiin tarkemmin itse osien valmistettavuuteen. Lopputulok-
sella pyrittiin vaikuttamaan valittujen kappaleiden valmistusaikaan ja valmistuskus-
tannuksiin. Rakenteiden uudelleensuunnittelun tarkoituksena oli ottaa huomioon
myös työntekijään kohdistuva rasitus vähentämällä hankalia ja raskaita työvaiheita
sekä ylimääräisiä työkalujen vaihtoja. Molemmissa tapauksissa rakenteiden muutok-
set johtavat jopa särmäyksessä käytettävän työajan puolittumiseen.

Tässä työssä tehdyn tutkimuksen myötä sekä pää- että verkostoyrityksessä ilmeni
kehittämiskohteita. Havaittuihin ongelmiin puuttamalla saadaan uuden tuotteen suun-
nittelussa poistettua aikaisempien mallien virheet, jotka korostuvat helposti, kun
suunnitellaan uutta mallia jo olemassa olevan pohjalta.

LÄHTEET

Barckhoff, J.R. 2006. *Total Welding Management*. USA: American Welding Society.

Hietikko, E. & Suhonen, A. 2010. *Digital Tool For Product Development - DigiBranch-hankkeen väliraportti*. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja.

Hietikko, E. 2008. *Tuotekehitystoiminta*. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja.

Huhtala, P & Pulkkinen, A. 2009. *Tuotettavuuden kehittäminen - Parempi tuotteen useasta näkökulmasta*. Helsinki: Teknologiateollisuus ry.

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 1985. *Valmistustekniikka*. Helsinki: Otatieto.

Its-vahvistus. 2011 Its-vahvistus Oy:n kotisivut, [viitattu syyskuussa 2011]
<http://www.its-vahvistus.com>

Junttan Oy. 2011 Junttan Oy:n kotisivut, [viitattu syyskuussa 2011]
<http://www.junttan.com>

Laherto, A. 2010. *Ohjeita ohutlevytuotteiden valmistusystävälliseen suunnitteluun*. Lappeenranta: Teknillinen yliopisto, konetekniikan koulutusohjelma. Kandidaatin-työ ja seminaari.

Matilainen, M., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. *Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja*. Tampere: Teknologiateollisuus ry.

Silvast, T. 2010. *Hydraulisen voimayksikkötuoteperheen teräsrakenteen kehittäminen*. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, kone- ja tuotesuunnittelu. Opinnäytetyö.

Soininen, S. 2010. *Liikkuvien työkoneiden valmistettavuuden kehittäminen teollisessa liiketoimintaverkostossa*. Lappeenranta: Teknillinen yliopisto, konetekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.

Stera Oy. 2011 Stera Oy:n kotisivut [viitattu syyskuussa 2011]
<http://www.stera.com>

Toivanen, J. 2010. *Hitsaavan teollisuuden hankintatoimen ja toimitusketjun tehostaminen*. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Projektisuunnitelma.