

LUT-YLIOPISTO  
LUT School of Energy Systems  
LUT Kone  
BK10A0402 Kandidaatintyö

OHUTLEVYTUOTTEIDEN VALMISTUSMENETELMIEN KEHITTÄMINEN  
ILMANVAIHTOLAITETEOLLISUUDESSA

DEVELOPING MANUFACTURING METHODS IN A SHEET METAL INDUSTRY

Tampereella 21.9.2019  
Jani Mäki-Mantila  
Tarkastaja professori Harri Eskelinen  
Ohjaaja insinööri Tero Lumpiola

## **TIIVISTELMÄ**

LUT-Yliopisto  
LUT Energiajärjestelmät  
LUT Kone

Jani Mäki-Mantila

### **Ohutlevytuotteiden valmistusmenetelmien kehittäminen ilmanvaihtolaiteteollisuudessa**

Kandidaatintyö

2019

42 sivua, 8 kuvaa ja 9 taulukkoa

Tarkastaja: professori Harri Eskelinen

Ohjaaja: insinööri Tero Lumpiola

Hakusanat: ohutlevy, valmistusmenetelmät, DFMA

Ohutlevytuotteiden sarjatuotannossa etenkin alihankintateollisuudessa kustannustehokkuus on tärkeää. Tuote- ja tuotannonsuunnittelussa määritetään tuotteen toiminta, sen osien määrä, valmistus- ja kokoonpanomenetelmät ja kokoonpanon helppous. Tässä työssä on kehitetty ohutlevytuotetehtaan tuotetta ja valmistusmenetelmiä. Tuote- ja tuotannonkehityksessä käytettyjä menetelmiä ovat morfologinen matriisi, arvoanalyysi, Lean ja DFMA. Näitä työkaluja hyödyntäen on kohdetuotteena olevan ilmastointikanavaan asennettavan ohutlevystä ja villasta valmistettavan äänenvaimentimen konstruktiota kehitetty ja valmistettavuutta parannettu.

## **ABSTRACT**

LUT University  
LUT School of Energy Systems  
LUT Mechanical Engineering

Jani Mäki-Mantila

### **Developing manufacturing methods in a sheet metal industry**

Bachelor's thesis

2019

42 pages, 8 figure and 9 table

Examiner: Professor Harri Eskelinen

Supervisor: Engineer Tero Lumpiola

Keywords: sheet metal, manufacturing, DFMA

Mass production of the sheet metal components cost efficiency is important. This applies specially to subcontracting manufacturers. Product design and production planning defines functions, number of parts, manufacturing and assembly methods and the easiness of assembly. Methods used in this research are Morphology Matrix, Value Analysis, Lean and DFMA. With these methods the product, air duct silencer, made of sheet metal and wool, product design and manufacturability has been improved.

## **ALKUSANAT**

Tämä tekniikan kandidaatintyö on tehty Air Group Oy:lle. Haluan kiittää sieltä työn ohjaaja Tero Lumpiolaa ja muita kanssani työkenneleitä, joista osa on tuttuja ohutlevymaailmasta jo vuosien takaa tehdessäni diplomityötä ABB:lle Toijalassa.

Kiitoksen kuuluvat myös työn tarkastajalle Harri Eskeliselle, joka on ollut suurena apuna minun viedessäni diplomi-insinöörin opintojani loppuun LUTissa pitkän, ulkomailla työskentelyn aiheuttaneen, tauon jälkeen.

*Jani Mäki-Mantila*

## SISÄLLYSLUETTELO

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

### ALKUSANAT

## SISÄLLYSLUETTELO

### KÄYTETYT SYMBOLIT JA LYHENTEET

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>9</b>
1.1	Yritysesittely.....	9
1.2	Tutkimuksen tausta.....	9
1.3	Tutkimusongelman kuvaus.....	10
1.4	Tavoitteet.....	11
1.5	Rajaukset.....	11
1.6	Tieteellinen anti.....	11
<b>2</b>	<b>KONEENSUUNNITTELUN MENETELMÄT</b> .....	<b>12</b>
2.1	Tuotesuunnittelun menetelmiä.....	12
2.1.1	Morfologinen matriisi.....	13
2.1.2	Arvoanalyysi.....	14
2.1.3	Modularisointi.....	15
2.2	Tuotannon kehittämisen menetelmiä.....	16
2.2.1	Lean.....	17
2.2.2	Valmistus ja -koonpanoystävällinen tuotesuunnittelu DFMA.....	18
2.2.3	Ympäristönäkökohtien huomioonottaminen DFMA:n yhteydessä.....	22
2.2.4	Make or Buy -analyysi.....	23
<b>3</b>	<b>TULOKSET JA ANALYYSI</b> .....	<b>24</b>
3.1	Konekanta kohdeyrityksessä.....	24
3.1.1	Leikkaus.....	24

3.1.2	Taivutus .....	24
3.1.3	Muovaus.....	24
3.1.4	Liittäminen.....	24
3.2	Kohdeyrityksen valmistusteknillinen nykytilanne.....	24
3.3	Laatikkomaisen äänenvaimentimen valmistuksen nykytilanne.....	25
3.3.1	Aihionvalmistus .....	25
3.3.2	Taivutus ja muovaus .....	25
3.3.3	Kokoonpano.....	25
3.4	Laatikkomaisen äänenvaimentimen valmistuksen kehitysideoita .....	26
3.4.1	Kannen kiinnitys vaippaan.....	26
3.4.2	Taivutus ja muovaus .....	26
3.4.3	Laatikkomaisen äänenvaimentimen morfologinen matriisi.....	27
3.5	Pyöreän äänenvaimentimen valmistuksen kehitysideoita.....	30
3.5.1	Pyöreän äänenvaimentimen morfologinen matriisi .....	31
3.6	Tuotannon virtauttaminen.....	34
3.7	Kustannuslaskenta .....	34
3.8	Kokoonpanon kapasiteetti.....	34
3.9	Valitut ratkaisut kohdeyrityksessä.....	35
3.9.1	Pyöreän äänenvaimentimen valmistus.....	35
3.10	Tehdasvierailut.....	36
<b>4</b>	<b>POHDINTA.....</b>	<b>38</b>
4.1	Avaintulokset.....	38
4.2	Tulosten uutuusarvo.....	39
4.3	Tulosten hyödynnettävyys .....	39
4.4	Jatkotutkimusaiheet .....	39
<b>5</b>	<b>YHTEENVETO .....</b>	<b>39</b>

**LÄHDELUETTELO**  
**LIITTEET**

**KÄYTETYT SYMBOLIT JA LYHENTEET**

CAD	Computer Aided Design
DFE	Design for Environment
DFM	Design for Manufacturing
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly



# 1 JOHDANTO

Ohutlevy tuotteiden sarjatuotannossa etenkin alihankintateollisuudessa kustannustehokkuus on tärkeää. Tuotesuunnittelussa määritetään tuotteen toiminta, sen osien määrä, valmistus- ja kokoonpanomenetelmät ja kokoonpanon helppous. Koneiden ja kokoonpanopisteiden sijoittelu taas määrittää tuotteiden materiaalivirtoja tehtaan sisällä. Omavalmistuksen osuus ja ostettavien komponenttien osuus mietitään taloudellisuuden ja toimitusvarmuuden kannalta. Liittämismenetelmien erot kustannuksissa ja luotettavuudessa pitkäaikaiskäytössä pitää arvioida. Haluttavaan automaation tasoon vaikuttavat investointien kannattavuus, asetusten teon helppous ja sarjojen koko. Näistä kaikista muodostuu tuotteen hinta, joka määrittelee sen, onko tuotetta kannattavaa valmistaa kilpailuille markkinoille.

## 1.1 Yritysesittely

Air Group valmistaa ohutlevystä osia ilmanvaihtolaitteistoihin. Käyttökohteita ovat rakennusten ja laivojen ilmanvaihtojärjestelmät ja valmistettavia tuotteita ovat muun muassa äänenvaimentimet, hajottajat, ulkosäleiköt, ulospuhallushajottajat, ilmasäleiköt ja kanavat. Yrityksellä on omaa tuote- ja tuotannonkehitystä. Tuotteita tehdään alihankintaperiaatteella taikka asiakkaina on isoja LVI-tukkuja. Yrityksen toimipisteet ovat Tampereella ja Akaassa. Henkilökuntaa on noin 30.

## 1.2 Tutkimuksen tausta

Äänenvaimennin on ilmanvaihdon peruskomponentti. Äänenvaimennin on villalla tai muulla vaimentavalla materiaalilla täytetty kuvan 1 kaltainen laite, joka asennetaan osaksi ilmanvaihtokanavaa. Äänenvaimentimen avulla tulevasta ja poistettavasta ilmasta vähennetään ilmanvaihtokoneen se ilmanvirtauksen aiheuttamaa ääntä. Ilmanvaihtokomponenttien valmistusmäärät ovat suuria ja tuotteiden yksinkertaisen rakenteen vuoksi alalla on paljon valmistajia, joten hintakilpailu valmistajien välillä on kovaa. Kovassa hintakilpailutilanteessa on tuotteen suunnittelun ja valmistuksen pyrittävä siihen, että tuote pystytään valmistamaan mahdollisimman tehokkaasti. Isot valmistusmäärät taas mahdollistavat ja oikeuttavat käyttämään tuote- ja tuotannonkehitykseen resursseja.



**Kuva 1.** Äänenvaimennin. (Air Group 2019)

### 1.3 Tutkimusongelman kuvaus

Tuotevalikoimaa halutaan kasvattaa edullisesti valmistettavalla kuvan 2 kaltaisella pyöreällä äänenvaimentimella. Pyöreälle äänenvaimentimelle on omat käyttökohteensa ja sen valmistaminen lisää yrityksen tilauskantaa. Valmistettavuudessa nousee erityisesti esille päätylevyn ja vaipan välinen liitos ja sen muotoilu. Pyöreän vaimentimet muut työvaiheet ovat olemassa olevalla konekannalla järkevästi valmistettavissa.

Lisäksi nyt jo valmistuksessa olevan laatikkomaisen äänenvaimentimen valmistettavuuteen etsitään parannuksia. Valmistettavuuden parantaminen mahdollistaisi silloin kapasiteetin lisäämisen olemassa olevilla resursseilla.



**Kuva 2.** Pyöreä äänenvaimennin. (Rejko 2019)

#### 1.4 Tavoitteet

Suunnitella äänenvaimennin ja sen valmistaminen niin että

- a) materiaalikustannukset ovat mahdollisimman pienet
- b) valmistaminen mahdollisimman helppoa ja nopeaa ottaen huomioon olemassa oleva konekanta
- c) uudet valmistusmenetelmät perustelevat investoinnit uusiin koneisiin tai apulaitteisiin
- d) tuotannossa on mietitty ostokomponenttien ja oman valmistuksen suhdetta

#### 1.5 Rajaukset

Rajataan tutkimus koskemaan pyöreän äänenvaimentimen päädyn ja vaipan valmistamista ja liittämistä. Tämä on pyöreän äänenvaimentimen hankalimmin valmistettava osa, joten kehitystyö tuotteessa on järkevintä kohdistaa ensin siihen. Laatikkomaisen vaimentimen valmistettavuuden nykytila selvitetään ja ideoidaan parannuksia valmistettavuuteen.

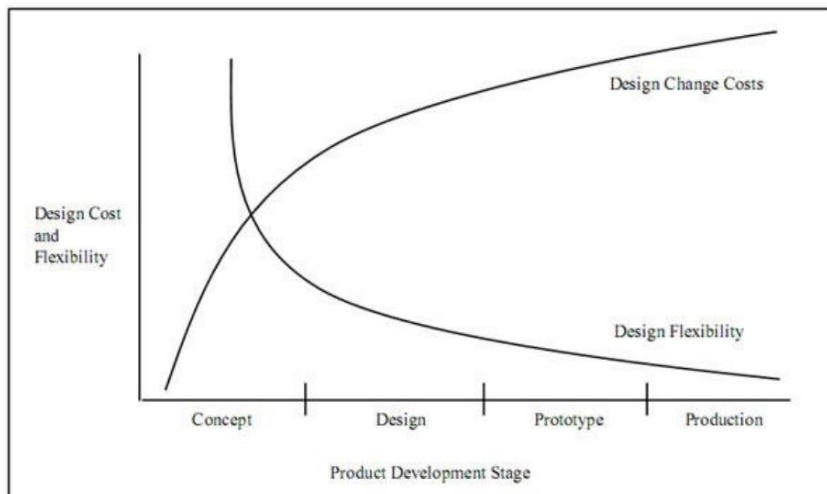
#### 1.6 Tieteellinen anti

Vaikkakin kyseessä on suhteellisen tarkkaan rajattu ongelma, on hyödyllistä tuotesuunnittelun ja valmistustekniikoiden kehittämisen kannalta pohtia aihetta

syvällisemmin. Mitä koeteltuja ja vakiintuneita menetelmiä voidaan hyödyntää tuotesuunnittelussa ja valmistuksen suunnittelussa? Onko tuotteen rakenne kokoonpanon kannalta hyvä? Mitkä ovat asiakkaan vaatimukset tuotteelle? Onko modulaarisuutta otettu huomioon ja onko muiden valmistettavien tuotteiden välillä mahdollista käyttää samoja moduuleita? Onko valmistustekniikoissa kehitettävää? Onko ohutlevytuotteen kustannuslaskennasta hyötyä? Ovatko uudet konehankinnat perusteltuja?

## 2 KONEENSUUNNITTELUN MENETELMÄT

Koneensuunnittelussa suunnittelumenetelmän valintaan ja suunnitteluressseihin vaikuttavat suunniteltava tuote ja sen monimutkaisuus, valmistusmäärät sekä se suunnitellaanko tuotetta puhtaalta pöydältä vai onko kyseessä olemassa olevan tuotteen tuotehuolto tai variointi. Suunnittelumenetelmän valintaan vaikuttavat myös käytettävissä olevat asiantuntijat ja heidän osaamisensa ja tietämyksensä alasta, tuotteesta, ja valmistusmenetelmistä. Kuvassa 3 on haluttu kuvata tunnettua tosiasiaa, kuinka tuotesuunnittelun alkuvaiheessa on parhaimmat mahdollisuudet vaikuttaa tuotteeseen ja sen hinnanmuodostukseen.



**Kuva 3.** Tuotekonseptin muutettavuuden ja hinnan lukittuminen tuotesuunnitteluprosessin etenemisvaiheiden mukaan (Kerckänen 2018).

### 2.1 Tuotesuunnittelun menetelmiä

Tuotesuunnittelumenetelmiä yhdistää järjestelmällisyys, jolla tuotesuunnittelun vaiheet dokumentoidaan ja arvostellaan ja toisaalta taas vapaammat ideointimenetelmät, joilla

pyritään löytämään kokonaan uusia ja luovia ratkaisuja tuotteisiin ja niiden toimintoihin. Luodaan seuraavassa katsaus muutamiin tässä tutkimuksessa määritellyn ongelman ratkaisuun hyvin soveltuviin menetelmiin, morfologiseen matriisiin ja arvoanalyysiin.

### 2.1.1 Morfologinen matriisi

Morfologisessa matriisissa tuote jaetaan osatoimintoihin ja osatoiminnoille ideoidaan ja etsitään muutamia eri ratkaisuja. Näitä osatoimintojen ratkaisuja yhdistämällä rakennetaan halutulla tavalla toteutetut toiminnot tuotteeseen. Menetelmä auttaa ajattelemaan tuotetta paremmin pilkkomalla se osatoimintoihin. Taulukossa 1 on eristetty morfologinen matriisi, kun konseptina on kehittää laite naulan lyömiseksi puuhun. Taulukossa 2 on esitetty, kuinka osatoimintojen ratkaisusta rakennetaan haluttu kokonaistuote. Viiva taulukossa 2 kuvaa valittuja osaratkaisuja, joiden perusteella yksi tuotekonsepti on syntynyt.

*Taulukko 1.* Morfologinen matriisi (Ulrich & Eppinger 2012, s. 135).

<i>toiminto/ratkaisu</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>muutetaan sähköenergia liikkeeksi</i>	sähkömoottori	lineaarimoottori	solenoidi
<i>energian kerääminen varastoon</i>	jousi	liikkuva massa	
<i>liike-energian siirto naulaan</i>	yksi isku	monta iskua	painaminen

Taulukko 2. Morfologinen matriisi (Dym &amp; Little 2012, s. 104).

Osa-toiminto	1	2	3	4	5
Ratkaisu-Periaate					
Käyttö-voima	Sähkömoottori <b>4</b>	Paineilmakäyttö			
Tarttumisen peltiin	Pihdit, ilma/sähkö/mek. 	Haarukka 	Haarukka ja pihdit 	Haarukka ja magn. 	Imukupit 
Pellin siirto liukuhinnan alle	Liukuhinna 	Koko laite liikkuu 	Käsivarsi 	Sylinteri 	
Pellin kuljetus hyllylle	Liukuhinna 	Koko laite liikkuu 	Käsivarsi 		
Pellin nosto	Lineaarijohde 	Hammasratas 	Hissi 	Käsivarsi 	Ketju Säädä taulukon riviä 
Pellin asetus hyllyyn	Sylinteri 	Liukuhinna 	Lineaarijohde 	Koko laite liikkuu 	

### 2.1.2 Arvoanalyysi

Arvoanalyysi on Ulrich ja Eppinger (2012, s.154-162) mukaan menetelmä, jossa samat vaatimukset täyttävän tuotteen eri konsepteja arvioidaan keskenään sen perusteella, kuinka hyvin konsepti täyttää sille asetetut vaatimukset. Konsepti voi olla muodostettu aiemmin laaditun morfologisen matriisin perusteella. Eri vaatimuksille voidaan asettaa eri painokertoimia. Analyysin havainnollistamiseksi voidaan muodostaa esimerkiksi taulukon 3 tyyppinen vertailu. Eri konseptien saamat pisteet lasketaan yhteen, jolloin saadaan käytetyillä painotuksilla paras konsepti. Jos mukaan otetaan vielä kyseisen tuotekonseptin valmistamisen kustannukset, voidaan arvioida konseptin hyvyttä suhteessa hintaan.

Taulukko 3. Arvoanalyysi (Ulrich & Eppinger 2012, s. 163).

	Painoarvo 1-8	Pisteet 1-3		
		Pehmeä	Cooler	BOX
		Valmistuksen ja koonpanon helppous	3	3
Kestävyys	5	1	3	2
Käytön helppous	8	1	2	3
Lämpöeristävyys	7	1	2	3
Massa	4	3	2	2
Huollettavuus	2	3	1	2
Kustannukset	1	3	1	2
Ulkonäkö	6	2	3	1
<b>Pisteitä yhteensä</b>		<b>62</b>	<b>77</b>	<b>81</b>

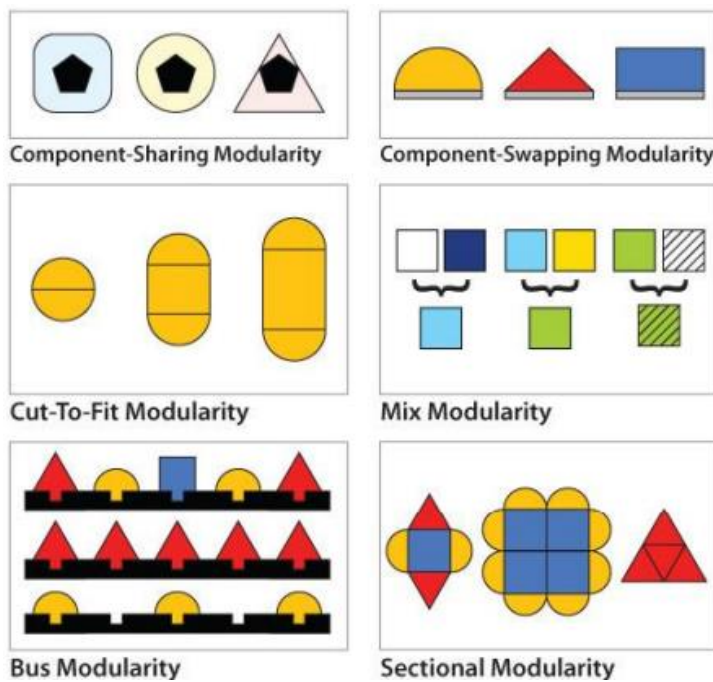
### 2.1.3 Modularisointi

Modulaarisuuden tyyppiä (Ulrich & Tung 1991, s. 45-73.)

Modulaarisuus voidaan kuvan 3 mukaan jakaa esimerkiksi viiteen erilaiseen modulaarisuuden lajiin:

1. Komponenttien käyttö useammassa tuotteessa, component-sharing modularity: samaa moduulia voidaan käyttää useissa eri perusyksiköissä. Moduulia voidaan käyttää myös eri tuoteperheissä.
2. Komponenttien vaihtokelpoisuus, component-swapping modularity: vähintään kaksi moduulia on vaihdettavissa samaan perusyksikköön ja näistä muodostuu samaan tuoteperheeseen kuuluvia tuotevariantteja.

3. Parametrinen modulaarisuus, cut-to-fit modularity: parametrin arvoja voidaan määrittellä tapauskohtaisesti. Esimerkiksi tuotteen mitat ovat muunneltavissa, vaikka konstruktio pysyy sellaisenaan.
4. Sekoitettu modulaarisuus, mix-modularity: esimerkiksi maalien sekoittaminen perusmaalista ja sävytteestä.
5. Väylämodulaarisuus, bus modularity: perusyksikköön on mahdollista liittää erilaisia moduuleja vapaavalintaisessa järjestyksessä saavuttaen vapaavalintaisia yhdistelmiä.
6. Rakennuslohkomodulaarisuus, sectional modularity: ryhmä moduuleja voidaan yhdistellä rajapintojen avulla mihin tahansa järjestykseen kuten legopalikoita.



**Kuva 3.** Modularisaation eri vaihtoehtoja (Kerkkänen 2019).

## 2.2 Tuotannon kehittämisen menetelmiä

Tuotannon kehittäminen sisältää menetelmiä, joilla valmistusta pyritään helpottamaan ja valmistuskustannuksia ja valmistamiseen kuluvaan aikaan pyritään vähentämään. Materiaalin ja puolivalmisteiden liike tehtaan sisällä on valmistamisen visuaalisuuden ja turhan



liikuttamisen poistamiseksi hyvä suunnitella niin että materiaalivirrat kulkevat valmistusvaiheiden mukaan. Tuotteiden varastointi ja seuraavan työvaiheen odottelu lisäävät kustannuksia. Massaräätälöity tuotantotapa toisaalta taas vaatii, että peruskomponentteja on aina varastoituna ja tuotteen loppukokoonpannaan asiakastilausten perusteella. Koneiden asetusajat vaikuttavat siihen kuinka joustavaa tuotanto on. Jos asetusajat ovat pitkiä, tulee valmistettavista sarjoista myös pitkiä, jolloin varastoitavien puolivalmisteiden määrä kasvaa.

### 2.2.1 Lean

Lean on kokonaisvaltainen tuotannonkehitysmenetelmä. Siinä pyritään karsimaan kaikki ylimääräinen työ pois. Ylimääräiseksi määritellään työ, joka ei tuota asiakkaalle arvoa. Leanissa määritellään ensin yrityksen prosessit ja sen jälkeen prosesseja lähdetään kehittämään tavoitteena turhan työn poistaminen.

#### Työn vakiinnuttaminen

Työtapojen ja -menetelmien kehittäminen edellyttää ensimmäisenä niiden vakiinnuttamista. Vasta kun kaikki työntekijät toimivat samalla tavalla, voidaan selvittää, miten työn toteutustapa vaikuttaa laatuun, tuottavuuteen ja turvallisuuteen. (Kouri 2009, s. 16.)

#### Työohjeet

Työohjeita käytetään työn vakiinnuttamisessa. Ohjeet ovat selkeitä, havainnollisia ja yksinkertaisia. Ohjeissa kuvataan työn päävaiheet ja niihin liittyvät keskeiset turvallisuuteen, laatuun ja tuottavuuteen vaikuttavat seikat. Työohjeet ovat työpisteessä helposti saatavissa. (Kouri 2009, s. 17.)

#### Tuotannon virtautus

Virtauttamisen tavoitteena on valmistaa tuotteet nopeasti valmiiksi välittömän tarpeen perusteella. Käytännössä tämä tarkoittaa tuotteiden valmistamista toistuvissa pienerissä tilauskannan tai varastotarpeiden perusteella. Keskeneräisen tuotannon määrä ja varastot pidetään mahdollisimman pieninä, jotta tuotteet virtaisivat tuotannossa pysähtymättä. Eräkokojen pienentäminen edellytetään asetusajojen määrätietoista pienentämistä. (Kouri 2009, s. 20-21.)

Tuotteiden liike tehtaan sisällä järjestetään niin että tuote virtaa tehtaan läpi mahdollisimman suoraviivaisesti ja että siirtoja on mahdollisimman vähän. Tämä parantaa myös tuotannon visuaalisuutta.

#### Imuohjaus

Imuohjauksessa töiden aloitus perustuu osien kulutukseen. Impulssi töiden tekemiseen saadaan esimerkiksi silloin kun tuotelaatikko tyhjenee. Imuohjausimpulssi voi tulla seuraavalta työvaiheelta tai osaa käyttävältä kokoonpano-osastolta. (Kouri 2009, s. 22.)

#### Tuotannon tasoitus, pienet sarjat, lyhyet asetusajat

Tuotannon tasoituksella tarkoitetaan tuotteiden valmistamista pienissä säännöllisesti toistuvissa erissä asiakastarpeen mukaan. Tällä pyritään välttämään tuotteiden turhaa varastointia ja pienentämään keskeneräisen tuotannon määrää. Haittapuolena ovat lisääntyneet tuotevaihdot ja asetusajat. Tasoitettu tuotanto edellyttää lyhyitä asetusajoja ja pieniä asetuskustannuksia. (Kouri 2009, s. 18.)

#### Hukan poistaminen

Leanissa tuottavuuden parantaminen ei perustu työtahdin kasvattamiseen vaan erilaisten hukkien poistamiseen. Käytännössä hukalla tarkoitetaan kaikkea turhaa ja arvoa lisäämätöntä työtä. Erilaiset hukkailmiöt estävät tehokkaan työn tekemisen. Kun hukkia poistetaan systemaattisesti, työn tuottavuus ja laatu paranevat. (Kouri 2009, s. 10.)

#### 2.2.2 Valmistus ja -kokoonpanoystävällinen tuotesuunnittelu DFMA

Valmistuskustannukset ovat avainasemassa määriteltäessä tuotteen menestystä. Voittomarginaali on myyntihinnan ja valmistuskustannusten erotus kerrottuna myytyjen tuotteiden määrällä. Myyntimäärät ja myyntihinnan määrittelee suurelta osin tuotteen laatu. Taloudellisesti hyvää tuotesuunnittelua on siis se, että tuotetaan korkeaa laatua pienin kustannuksin. DMFA (Design for Manufacturing and Assembly) on yksi menetelmä tämän saavuttamiseen. Tehokas DFMA:n käyttö johtaa pieniin valmistuskustannuksiin ilman että tuotteen laatu kärsii. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 255.)

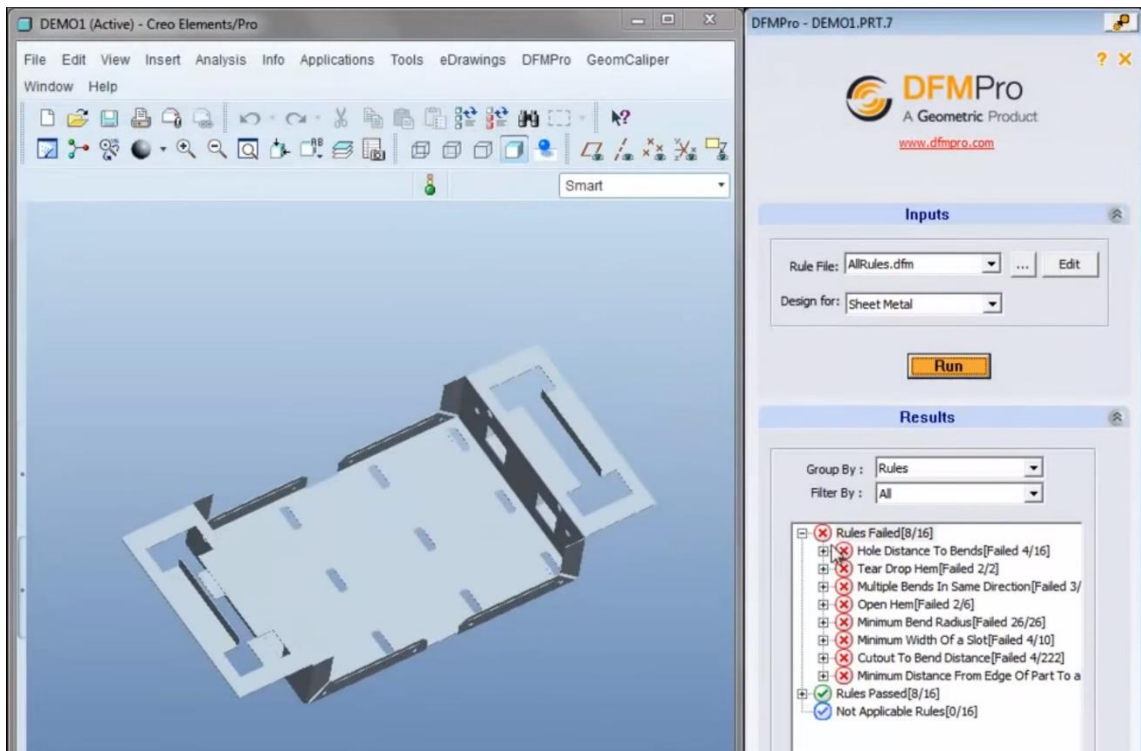
Ulrich ja Eppinger mukaan (2012, s. 256-273.) DFMA –projektin kulku on seuraavanlainen:  
Valmistuskustannusten arviointi

Valmistuksen kulut koostuvat komponenttien raaka-ainekuluista ja komponenttien valmistukseen liittyvistä kone-, työkalu- ja työvoimakuluista, sekä tuotteen kokoonpanon kustannuksista. Myös yritystoiminnan kustannukset jyvitetään mukaan tuotteen valmistuskustannuksiin.

#### Komponenttien hinnan alentaminen

Komponenttien materiaalipaksuuksien ohentaminen minimimittoihinsa ja edullisemmat materiaalit säästävät materiaalikustannuksissa, mutta voivat myös hankaloittaa valmistamista ja heikentää tuotteen laatua. Löytämällä kokonaisoptimi valmistettavuuden, hinnan ja tuotteen laadun välillä päästään myös taloudellisesti parhaaseen tulokseen. Konstruktion muotoilulla on määräävä vaikutus osien lukumäärään, kokoonpanon helppouteen ja materiaalintarpeeseen.

Komponenttien suunnitteluvaiheessa on syytä ymmärtää mistä komponenttien valmistuskustannukset muodostuvat. Esimerkiksi liian jyrkästi määritelty sisäsäde koneistuksessa voi johtaa kipinätyöstön käyttöön jyrsinän sijaan, mikä nostaa hinnan moninkertaiseksi. Joissakin tapauksissa yrityksillä on käytössä suunnitteluohjeita tietyillä valmistusmenetelmillä valmistettavien kappaleiden suunnitteluun. Näitä suunnitteluohjeita voi olla myös kuvan 4 mukaisesti jo suunnitteluohjelmassa, jolloin osapiirustusten piirtovaiheessa voidaan samaan aikaan arvioida valmistettavuutta.



**Kuva 4.** DFMPPro ohjelmisto suunnitteluohjelmaan (DFMPPro.com 2019).

#### Kokoonpanon vähentäminen osia vähentämällä

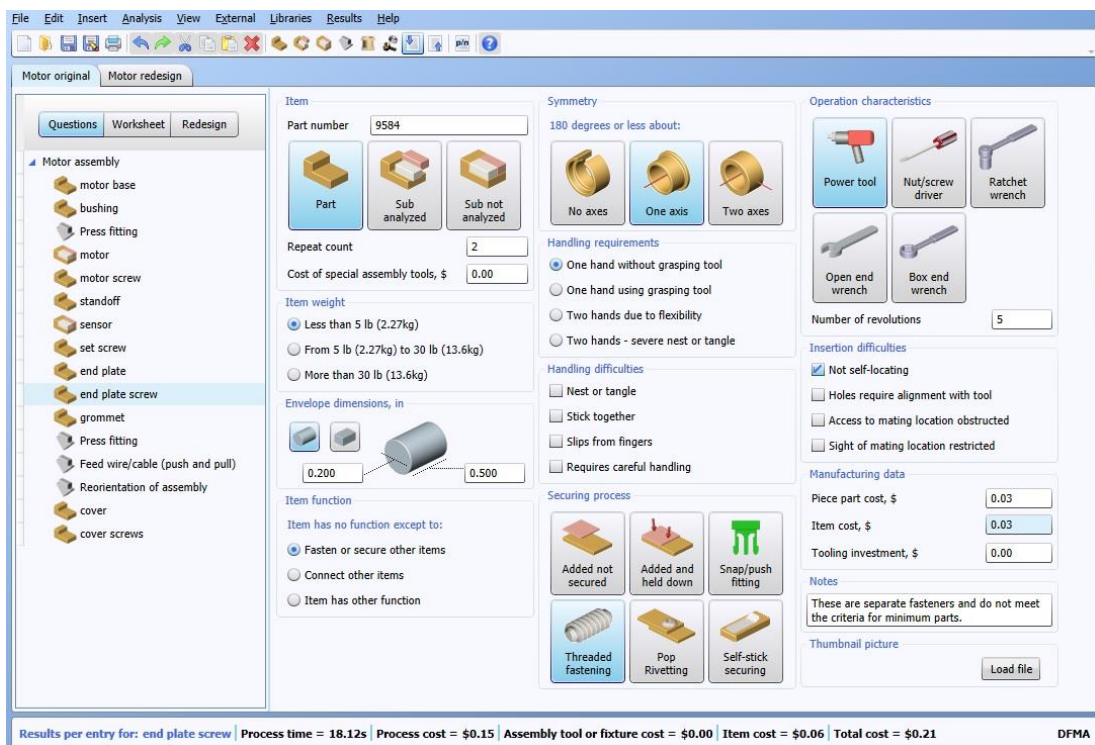
Jos osalla ei ole mitään erityistä toimintavaatimusta esimerkiksi materiaalin suhteen tai sen ei tarvitse liikkua muiden osien suhteen tai sen ei tarvitse olla irrotettavissa esimerkiksi kokoonpanon, asennuksen tai huollon takia, voidaan se integroida osaksi isompaa osakokonaisuutta.

#### Kokoonpanon helpottaminen

- a) Osa on itsepaikoittuva. Osa hakee itse paikkaansa kokoonpantavassa tuotteessa, kun kappaleissa on esimerkiksi urat tai kuopat paikoitusta varten. Osat, jotka vaativat tarkkaa paikoittamista vaativat hitaita ja tarkkoja liikeitä kokoonpanotyöntekijältä. Yksinkertaisen paikoittamisen apukeino on viiste. Viiste ohjaa osat kohti oikeaa paikkaa.
- b) Osan ei tarvitse olla oikeassa asennossa. Mitäs vähemmän osan tarvitsee olla oikeassa asennossa, sitä helpompaa on sen asentaminen. Pahin tapaus on se, kun osan tarvitsen olla oikeassa asennossa kaikkien kolmen akselin suhteen. Ideaalitapaus on pallo, joka ei tarvitse asennoitumista minkään akselin suhteen.

- c) Osa voidaan asentaa yhdellä kädellä. Tällöin osa on helpompi käsitellä ja toinen käsi jää vapaaksi esimerkiksi työkalua varten.
- d) Asennus ei vaadi työkaluja. Yleisesti ottaen asennus työkaluja käyttäen vie enemmän aikaa. Lineaariliike vie vähemmän aikaa kuin pyörivä liike. Tästä syystä suositetaan esimerkiksi niittejä tai pistehitsejä ruuvien sijaan.
- e) Osa on varmistettu heti kun se on paikoillaan. Näin olleen puristimia tai muuta tilapäistä tukemista tarvita, vaan osa pysyy paikoillaan heti kun se on asennettu tuotteeseen.

Kokoonpanon kustannusten arviointiin ja kokoonpanon kehittämiseen on tarjolla kuvan 5 mukaisia ohjelmistoja, joihin määritellään tuotteen osien ominaisuudet. Määriteltäviä ominaisuuksia ovat muun muassa tuotteen koko, paino, symmetria xyz-akseleiden suhteen, mitä osan käsittely vaatii ja kuinka se kiinnitetään. Tekemällä muutoksia osiin ja konstruktion voidaan muutosten vaikutusta kokoonpanoaikaan simuloida.



**Kuva 5.** DFMA ohjelmisto (DFMA.com 2019).

### Aputoimintojen kustannuksien alentaminen

Kun valmistus yksinkertaistuu, myös valmistusta tukevat toiminnot saattavat yksinkertaistua. Esimerkiksi vähentyneet osat tuotteessa helpottavat varastonhallintaa. Standardoitujen osien käyttö vaatii vähemmän talon sisäistä suunnittelutyötä.

### DFMA kustannusvaikutukset muihin toimintoihin

Aiheuttaako DFMA:n käyttö pidempiä suunnitteluajoja ja sitä kautta suurempia suunnittelukustannuksia. Hidastuttaako tuotteen ylisuunnittelu markkinoille tuontia. Tuleeko osista niin monimutkaisia että niiden kone- ja työkalukustannukset nousevat suuremmiksi kuin saatavat hyödyt. Toisaalta jos DFMA on hyvin integroitu tuotesuunnitteluprosessiin sen ei pitäisi pidentää tuotesuunnitteluajoja eikä aiheuttaa liian monimutkaisten tuotteiden suunnittelua. Voiko DFMA vaikuttaa tuotteen laatuun. Ideaalitapauksessa saadaan tuotteen valmistettavuutta parannettua ja samalla laatu paranee. Mutta on myös mahdollista, että valmistettavuuden parantuessa menetetään osa tuotteen laadusta. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 256-273.)

### 2.2.3 Ympäristönäkökohtien huomioonottaminen DFMA:n yhteydessä

Kuten (Mesa, Mayry, Arrieta, Corredor ja Bris 2018, s 227-244) artikkelissaan kirjoittavat olisi ympäristönäkökohtien huomioonottaminen jo DFMA-prosessin yhteydessä perusteltua, koska silloin ympäristöystävälliset ominaisuudet tulevat huomioonotetuksi jo tuotteen ja sen valmistuksen suunnittelun yhteydessä. Näin ympäristöominaisuuksien huomioonottaminen ei vaadi ylimääräisiä tuotesuunnittelukierroksia, eikä ympäristöasioiden miettimistä jälkikäteen vaan ympäristöominaisuudet tulisivat suunnitelluksi tuotteeseen jo alusta alkaen. Voidaan puhua DFMA:n lisäksi termistä DFE - design for environment.

Ympäristöystävällisyyden mittareina voidaan käyttää valmistuksen energiankulutusta, hiilijalanjälkeä, osien lukumäärää, materiaalintarvetta, kokoonpanoaikaa ja valmistuskustannuksia. DFE:n tavoitteet ovat hyvin samankaltaisia kuin DFMA:n tavoitteet yleensäkin. Kun materiaalinkulutusta ja energiankulutusta vähennetään ja kokoonpanoaikaa lyhennetään, paranee myös tuotteen ympäristöystävällisyys. Tuotesuunnittelulla voidaan osien määrää vähentää ja valmistuksen suunnittelussa voidaan vähentää hukan määrää.

DFMA:n kannalta hyvin suunniteltu ja taloudellisessa ja valmistuksellisessa mielessä hyvä tuote on siis monesta näkökohdasta myös ympäristöystävällinen.

Ympäristöystävällisyyden varmistamiseksi mittaaminen on hyvä keino varmistaa, onko parannusta saavutettu. Eri leikkausmenetelmistä selvitetään energiankulutus ja se kerrotaan tarvittavien leikkausten pituudella. Liittämismenetelmien energiankulutusta pistehitsauksen ja muiden liittämismenetelmien välillä vertaillaan. Lopputuotteen paino kertoo materiaalikulutuksesta ja osien määrä on yhteydessä kokoonpanon helppouteen ja siten nopeuteen. Jos valmistusmäärät ovat suuria, voi hyvinkin tarkan mittaroinnin käyttö olla perusteltua viimeisenkin hyödyn saavuttamiseksi.

#### 2.2.4 Make or Buy -analyysi

Valmista itse vai osta, make or buy - jatkuvaa miettimistä valmistavassa teollisuudessa. Kannattaako ostaako joku komponentti valmiina vai tehdä se itse. Tietyn komponentin valmistamiseen erikoistuneen alihankkijan volyymit mahdollistavat sen, että tuotanto on voitu hioa tehokkaaksi ja hinta edulliseksi omaan valmistukseen nähden.

Toisaalta omaan ydinosaamiseen kuuluvia valmistusalueita taas ei kannata siirtää valmistettavaksi muualla siksi että yrityksessä olevan strategisen osaamisen halutaan säilyvän yrityksen sisällä. Itse valmistettaessa myös toimitusvarmuus on omissa käsissä ja valmistusmäärien vaihdellessa varastojen hallinta on helpompaa.

Osto-osien määrää voi myös vähentää integroimalla osavalmistuksessa lisää toimintoja valmistettaviin osiin. Esimerkiksi levytyökeskuksen muovaavilla työkaluilla voi tehdä muotosulkeisia liitoksia, saranoita, urituksia ja kierteytyksiä. Valmistusmäärien vaihdellessa varastonhallinta ja toimitusaikojen hallinta on helpompaa mitä vähemmän osto-osia ja niiden toimittajia on.

### 3 TULOKSET JA ANALYYSI

#### 3.1 Konekanta kohdeyrityksessä

Kuten yleensäkin konepajassa, on tämänkin yrityksen konekanta eri ikäistä ja monilta eri valmistajilta. Avainkoneita ovat aihoiden valmistukseen käytettävät levytyökeskukset ja laserleikkuri. Aiemmin käytössä ollut plasmaleikkaus on saanut väistyä laserleikkauksen tieltä. Plasmaleikkauksella ei pysty leikkaamaan rei'itettyä levyä, kun taas laserille se ei ole ongelma. Särmäyspuristimilla tehdään taivutukset ja kokoonpanossa käytössä ovat pistehitsit ja sikkikoneet. Tiivistystä vaativien osien tiivistys tehdään akryylimassalla.

##### 3.1.1 Leikkaus

Aihionvalmistuksessa on käytössä muutaman vuoden ikäinen Finn-Power laserleikkuri ja hydraulitoiminen Finn-Power levytyökeskus.

##### 3.1.2 Taivutus

Taivutus suoritetaan särmäyspuristimilla, joita on käytössä useita eri ikäkausilta. Uusimmassa niistä on numeerinen ohjaus.

##### 3.1.3 Muovaus

Muovaus suoritetaan särmäyspuristimiin tehdyillä muovaustyökaluilla. Nämä työkalut mahdollistavat yksinkertaisten muotojen tekemisen ohutlevyyn

##### 3.1.4 Liittäminen

Pistehitsaus on pääasiallinen liittämismenetelmä. Lankakiekkohitsausta käytetään, kun kaksi ohutlevyä täytyy liittää päittäin yhteen esimerkiksi, kun valmistetaan lieriömäisiä kappaleita suorasta ohutlevyaihiosta.

Niittäus on käytössä silloin kun pistehitsaus ei ole mahdollista, eli kun liitoksen väissä on tiivistemassa, tai kun liitoksen toiselle puolelle ei ole pääsyä.

#### 3.2 Kohdeyrityksen valmistusteknillinen nykytilanne

Kohdeyrityksessä automaation taso on matala. Koneet ovat yksittäisiä stand alone- koneita, joita käyttää työntekijä. Tämä on havaittu tarkoituksenmukaiseksi tavaksi toimia koska



silloin muutokset tuotannossa ovat helppoja ja nopeita. Yksittäiset koneet ovat edullisia ja niitä on hyvin saatavissa myös käytettynä ja stand alone koneen asennus ja käyttöönotto on nopeampaa kuin kokonaisen tuotantojärjestelmän. Koneiden viat ovat helppoja korjata eivätkä aiheuta pitkiä keskeytyksiä usein kiireellisiin toimituksiin.

### 3.3 Laatikkomaisen äänenvaimentimen valmistuksen nykytilanne

Yleisin koko on kanavahalkaisijaan 125 mm käytävä äänenvaimennin. Äänenvaimentimia valmistetaan eri pituuksia ja pidempi vaimennin vaimentaa enemmän ääntä. Pituudet ovat 300 mm, 500 mm ja 1000 mm.

#### 3.3.1 Aihionvalmistus

Äänenvaimentimen aihiot käsittävät vaipan ja kannen aihiot sekä päätylevyjen aihiot sekä pieniä listoja äänenvaimentimen sisustan kalustamiseen. Vaipan aihiot tulevat valmiina määrämittaan leikattuna levynä alihankkijalta. Vaippaan ja kanteen tehdään reiät särmäyspuristimen rei'itystyökalulla. Kulmalista ja kaarilista leikataan laserleikkurilla tai levytyökeskuksella sivutuotteena muun tuotannon yhteydessä. Kaulus hankitaan osto-osana ja se sisältää kumitiivisteiden valmiiksi kiinnitettynä.

Käytettävät vaimennusmateriaalit ovat vuorivilla ja polyesterivanulevy. Vaimennusmateriaalit tulevat toimittajalta levyinä ja ne leikataan pyörösahalla tarvittaviin mittoihin.

#### 3.3.2 Taivutus ja muovaus

Äänenvaimentimen vaippa, kansi ja päätylevy särmätään särmäyspuristimella. Kulmalista särmätään ja kaarilistan muoto muovataan särmäyspuristimeen tehdyllä kaarevalla työkalulla.

#### 3.3.3 Kokoonpano

Kaulus pistehitsataan päätylevyyn ja tiivistetään akryylimassalla. Kulmalista ja kaarilista pistehitsataan päätylevyn sisäpuolelle. Kansi kiinnitetään vaippaan pistehitsaamalla ja tiivistetään akryylimassalla. Neljä villasuikaletta asennetaan äänenvaimentimen sisään. Akryylimassa levitetään äänenvaimentimen vaipan reunoihin ja kansi painetaan paikoilleen. Kannen liitos varmistetaan vetokaraniiteillä. Äänenvaimennin on valmis.

Pistehitsaus on nopea ja yksinkertainen tapa ohutlevytuotteiden kokoonpanoon. Pistehitsauslaitteet ovat edullisia ja niiden huollontarve on vähäinen. Sinkitys ohutlevyn ollessa kyseessä pistehitsaus vahingoittaa levyn sinkkipintaa ja edesauttaa korroosion syntymistä. Lievä korroosio on kuitenkin lähinnä ulkonäöllinen muutos eikä vaikuta tuotteen toimintaan sen käyttöiän aikana.

### 3.4 Laatikkomaisen äänenvaimentimen valmistuksen kehitysideoita

Laatikkomaisista äänenvaimenninta on valmistettu useiden vuosien ajan satojatuhansia kappaleita. Pieniä kehityksiä ja parannuksia on tehty koko tuotannon ajan, ja tuote on hioutunut vuosien saatossa sekä asiakkaan vaatimukset täyttäväksi, hinnaltaan kilpailukykyiseksi, että olemassa olevalla konekannalla helposti valmistettavaksi.

#### 3.4.1 Kannen kiinnitys vaippaan

Kannen kiinnitys vaippaan on aikaa vievä työvaihe. Kannen, vaipan ja päädyn vielä ollessa levyaihioina niihin tehdään vetokaraniittien reiät särmäyspuristimen rei'itystyökalulla. Kokoonpanon lopuksi kansi kiinnitetään vaippaan akryylimassalla ja vetokaraniiteillä. Eräs kehitysajatus on kannen liimaaminen. Kansi voitaisiin liimata, jolloin vetokaraniittaus ja aihiovaiheessa tehty rei'itys särmäyspuristimella jäisi pois. Toinen mahdollisuus on tehdä kanteen sellainen muotosulkeinen liitos, että kansi voitaisiin massauksen jälkeen painaa paikoilleen ilman aikaa vievää vetokaraniittausta.

#### 3.4.2 Taivutus ja muovaus

Kantikkaan äänenvaimentimen osat olisi mahdollista valmistaa taivutusautomaatilla. Vaippa, kansi ja pääty soveltuvat hyvin taivutusautomaatilla taivutettavaksi. Taivutusautomaatti on kuitenkin kallis investointi, joten on mietittävä sen käyttöastetta. Onko yrityksessä muita tuotteita, joita voidaan valmistaa taivutusautomaatilla. Kuinka kauan taivutusautomaatti toimii miehittämättömänä. Kuinka paljon aikaa taivutusautomaatin käyttöönotto vaatii, ennen kuin työ on tuottavaa. Mikä on taivutusautomaatin käyttöikä, onko se vielä tuottavassa käytössä 20 vuoden kuluttua, kuten perinteiset särmäyspuristimet siinä iässä ovat. Näitä riskejä sisältyy taivutusautomaatin hankintaan.

Vastaavassa teollisuudessa taivutusautomaatteja on käytössä ja ne on integroitu tuotantolinjaan siten että kokoonpano imuohjaa taivutusautomaatin toimintaa. Taivutusautomaatti ottaa aihion omasta levypinostaan ja taivuttaa sen, purkaa ja syöttää rullarataa pitkin oikealle kokoonpanopisteelle. Kun kokoonpanopisteellä otetaan kappale työn alle, lähtee valokennon tai painonapin avulla viesti taivutusautomaatille taivuttaa uusi kappale.

### 3.4.3 Laatikkomaisen äänenvaimentimen morfologinen matriisi

Laatikkomainen äänenvaimennin koostuu osista kaulus, kulmalista, kaarilista, pääty, vaippa, kansi ja vaimenninmateriaali. Taulukon 4 morfologisessa matriisissa on näille osille haettu eri toteutustapoja. Ideoiden lähteenä olivat tuotesuunnittelun ja tuotannon yhteiset ideapalaverit, muiden ohutlevy tuotteiden tutkiskelu ja sekä nykyisille valmistusmenetelmille vaihtoehtoisten valmistusmenetelmien pohtiminen.

Taulukko 4. Laatikkomaisen äänenvaimentimen morfologinen matriisi.

	nykyinen tuote	idea 1	idea 2	idea 3	idea 4
<b>kaulus</b>					
muoto	laipallinen	suora			
liitostapa	pistehitsaus ja tiivistys akryylimassalla	sikkaus			
<b>kulmalista</b>					
materiaali	0,7mm	0,6mm	0,55mm		
aihionvalmistus	levytyökeskus tai laserleikkaus sivutuotteena				
muoto	suorakulmainen lista	osa sisältyy päädyn muovaukseen			
liitostapa	pistehitsaus	paikoituslovi ja pistehitsaus	paikoituslovi ja liimaus	kielekeliitos	
<b>kaarilista</b>					
materiaali	0,7mm	0,6mm	0,55mm		
aihionvalmistus	levytyökeskus tai laserleikkaus sivutuotteena				
muoto	kaareva lista jäykisteurilla	osa sisältyy päädyn muovaukseen			
liitostapa	pistehitsaus	paikoituslovi ja pistehitsaus	paikoituslovi ja liimaus	kielekeliitos	
<b>pääty</b>					
materiaali	0,7mm	0,6mm	0,55mm		
aihionvalmistus	laserleikkaus tai levytyökeskus				
muoto	neljältä sivultä särmätty, vetokaraniittien reiät valmiina	kulmalistan ja kaarilistan paikoituslovi	kaulusliitos puristamalla	muotoonpuristettu pääty ja suora kaulus	taivutusautomaatille uudelleensuunniteltu
liitostapa	pistehitsaus ja tiivistys akryylimassalla	liimattu	kielekeliitos vaippaan		
<b>vaippa</b>					
materiaali	0,7mm	0,6mm	0,55mm		
aihionvalmistus	valmis aihio mittaanleikattuna alihankkijalta				
muoto	särmätty u-muoto, vetokaraniittien reiät valmiina	muotoonpuristettu	ilman reikiä	rullamuovattu	taivutusautomaatille uudelleensuunniteltu
<b>kansi</b>					
materiaali	0,7mm	0,6mm	0,55mm		
aihionvalmistus	laserleikkaus tai levytyökeskus				
muoto	neljältä sivultä särmätty, vetokaraniittien reiät valmiina	kansi sisältyy vaippaosaan	ilman reikiä	taivutusautomaatille uudelleensuunniteltu	
liitostapa	tiivistys akryylimassalla ja vetokaraniittaus	liimaus	kielekeliitos		
<b>vaimenninmateriaali</b>					
materiaali	villa	polyesteri			
muoto	u-muoto	levy			

Taulukon 4 matriisista valittiin ideapalaverissa osien materiaalille, aihionvalmistukselle, muodolle ja liitostavalle soveltuvimmat ideat, joista muodostui sitten kokonainen tuotekonsepti. Uusia tuotekonsepteja rakennettiin kaksi kappaletta ja vertailuun otettiin mukaan myös olemassa oleva tuote. Valinnat on esitetty taulukossa 5. Keltaisella värillä on

valittu isompia muutoksia muotoiluun ja valmistamiseen vaativa tuote. Sininen vaihtoehto sisältää pienempiä parannuksia nykyiseen tuotteeseen verrattuna. Väri on vihreä, jos keltainen ja sininen valinta osuivat samaan ruutuun.

Taulukko 5. Laatikkomaisen äänenvaimentimen valitut tuotekonseptit.

	nykyinen tuote	idea 1	idea 2	idea 3	idea 4
<b>kaulus (osto-osa)</b>					
muoto	laipallinen	suora			
liitostapa	pistehitsaus ja tiivistys akryylimassalla	sikkaus			
<b>kulmalista</b>					
materiaali	0,7mm	0,6mm	0,55mm		
aihionvalmistus	levytyökeskus tai laserleikkaus sivutuotteena				
muoto	suorakulmainen lista	osa sisältyy päädyn muovaukseen			
liitostapa	pistehitsaus	paikoituslovi ja pistehitsaus	paikoituslovi ja liimaus	kielekeliitos	
<b>kaarilista</b>					
materiaali	0,7mm	0,6mm	0,55mm		
aihionvalmistus	levytyökeskus tai laserleikkaus sivutuotteena				
muoto	kaareva lista jäykisteurilla	osa sisältyy päädyn muovaukseen			
liitostapa	pistehitsaus	paikoituslovi ja pistehitsaus	paikoituslovi ja liimaus	kielekeliitos	
<b>pääty</b>					
materiaali	0,7mm	0,6mm	0,55mm		
aihionvalmistus	valmis aihio mittaanleikattuna alihankkijalta	laserleikkaus tai levytyökeskus	leikataan kelalta		
muoto	neljältä sivulta särmätty, vetokaraniittien reiät valmiina	kulmalistan ja kaarilistan paikoituslovi	kaulusliitos puristamalla	muotoonpuristettu pääty ja suora kaulus	taivutusautomaatille uudelleensuunniteltu
liitostapa	pistehitsaus ja tiivistys akryylimassalla	liimattu	kielekeliitos vaippaan		
<b>vaippa</b>					
materiaali	0,7mm	0,6mm	0,55mm		
aihionvalmistus	valmis aihio mittaanleikattuna alihankkijalta	leikataan kelalta			
muoto	särmätty u-muoto, vetokaraniittien reiät valmiina	muotoonpuristettu	ilman reikiä	rullamuovattu	taivutusautomaatille uudelleensuunniteltu
<b>kansi</b>					
materiaali	0,7mm	0,6mm	0,55mm		
aihionvalmistus	valmis aihio mittaanleikattuna alihankkijalta	leikataan kelalta	laserleikkaus tai levytyökeskus		
muoto	neljältä sivulta särmätty, vetokaraniittien reiät valmiina	kansi sisältyy vaippaosaan	ilman reikiä	taivutusautomaatille uudelleensuunniteltu	
liitostapa	tiivistys akryylimassalla ja vetokaraniittaus	liimaus	kielekeliitos		
<b>vaimenninmateriaali</b>					
materiaali	villa	polyesteri			
muoto	levy	u-muoto			

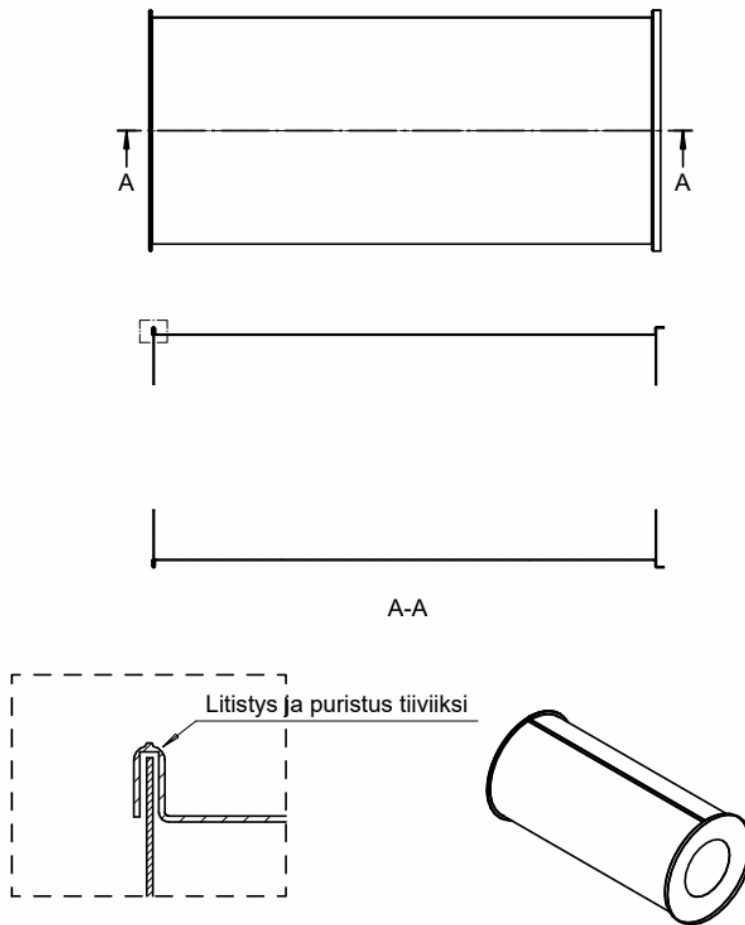
Vertailu suoritettiin taulukon 6 arvoanalyysin avulla. Arvoanalyysissa tuotekonsepteja vertailtiin eri painotuksilla olevien kriteerien avulla. Kokonaispisteiden avulla valittiin paras tuotekonsepti.

*Taulukko 6.* Laatikkomaisen äänenvaimentimen arvoanalyysi.

		versio	versio	versio
<b>kriteeri</b>	painoarvokerroin 1-5	nykyinen	keltainen	sininen
valmistettavuus	3	3	4	5
hinta	5	3	4	4
valmistettavuus nykyisillä koneilla	3	5	1	3
modulaarisuus	1	2	2	2
ulkonäkö	2	4	2	4
äänenvaimennus	2	4	3	4
materiaalikustannukset	4	2	5	4
asennettavuus	3	4	3	3
yhteispisteet		77	76	87

### 3.5 Pyöreän äänenvaimentimen valmistuksen kehitysideoita

Pyöreä äänenvaimennin on uusi valmistukseen otettava tuote. Sen eniten suunnittelua ja valmistekniikan miettimistä vaativa kohta on päädyn ja vaipan liitos. Kumpaanko osaan liittävä muoto on järkevintä tehdä. Tehdäänkö muoto puristamalla, painosorvaamalla vai sikkaamalla. Kuvassa 6 muoto on tehty päätyyn ja se puristetaan tiiviiksi vaipan ympärille.



**Kuva 6.** Pyöreän äänenvaimentimen päädyn kiinnitys vaippaan. Pääty on suora ja muotoilu on vaipassa. Pääty asetetaan paikoilleen ja muoto suljetaan tiiviisti sikkikoneella.

### 3.5.1 Pyöreän äänenvaimentimen morfologinen matriisi

Pyöreä äänenvaimennin koostuu osista kaulus, pääty, vaippa ja vaimenninmateriaali. Taulukon 7 morfologisessa matriisissa on näille osille haettu eri toteutustapoja. Ideoiden lähteenä olivat tuotesuunnittelun ja tuotannon yhteiset ideapalaverit ja muiden ohutlevytuotteiden tutkiskelu.

Taulukko 7. Pyöreän äänenvaimentimen morfologinen matriisi.

kaulus	idea 1	idea 2	idea 3	idea 4
muoto	suora	laipallinen		
liitostapa	pistehitsaus ja tiivistys akryylimassalla	sikkaus		
<b>pääty</b>				
materiaali	0,7mm	0,6mm	0,55mm	
aihionvalmistus	laserleikkaus	leikkaava puristinyökalu		
muoto	painosorvattu	puristettu	suora	
liitostapa	sorvaus	sikkaus	liimaus	pistehitsi
<b>vaippa</b>				
materiaali	0,7mm	0,6mm	0,55mm	
aihionvalmistus	valmis aihio mittaanleikattuna alihankkijalta			
muoto	pyörästyskoneella mankelointi	pyörästyskoneella mankelointi ja sikkikoneella päätyihin liitosta varten muodot		
sauma	kiekkohitsaus			
<b>vaimenninmateriaali</b>				
materiaali	villa	polyesterivanulevy		
muoto	valmiiksi tehty putkimainen	tehdään itse levystä		

Taulukon 7 matriisista valittiin ideapalavereissa osien materiaalille, aihionvalmistukselle, muodolle ja liitostavalle soveltuvimmat ideat, joista muodostui sitten kokonainen tuotekonsepti. Uusia tuotekonsepteja rakennettiin kaksi kappaletta. Valinnat on esitetty taulukossa 8. Keltaisella värillä on valittu isompia muutoksia valmistamiseen ja olemassa olevaan konekantaan vaativa tuote. Sininen vaihtoehto on helpompi valmistaa nykyisellä konekannalla. Väri on vihreä, jos keltainen ja sininen valinta osuivat samaan ruutuun.



Taulukko 8. Pyöreän äänenvaimentimen valitut tuotekonseptit.

<b>kaulus</b>	idea 1	idea 2	idea 3	idea 4
muoto	suora	laipallinen		
liitostapa	pistehitsaus ja tiivistys akryylimassalla	sikkaus		

<b>pääty</b>				
materiaali	0,7mm	0,6mm	0,55mm	
aihionvalmistus	laserleikkaus	leikkaava puristintyökalu		
muoto	painosorvattu	puristettu	suora	sikkaus
liitostapa	sorvaus	sikkaus	liimaus	pistehitsi

<b>vaippa</b>				
materiaali	0,7mm	0,6mm	0,55mm	
aihionvalmistus	valmis aihio mittaanleikattuna alihankkijalta			
muoto	pyörästyskoneella mankelointi	pyörästyskoneella mankelointi ja sikkikoneella päätyihin liitosta varten muodot		
sauma	kiekkohitsaus			

<b>vaimenninmateriaali</b>				
materiaali	villa	polyesterivanulevy		
muoto	valmiiksi tehty putkimainen	tehdään itse levystä		

Vertailu suoritettiin taulukon 9 arvoanalyysin avulla. Arvoanalyysissä tuotekonsepteja vertailtiin eri painotuksilla olevien kriteerien avulla. Kokonaispisteiden avulla valittiin paras tuotekonsepti.

Taulukko 9. Pyöreän äänenvaimentimen arvoanalyysi.

<b>kriteeri</b>	painoarvokerroin 1-5	versio	versio
		keltainen	sininen
valmistettavuus	3	3	3
hinta	5	4	3
valmistettavuus nykyisillä koneilla	3	1	5
modulaarisuus	1	2	2
ulkonäkö	2	3	4
äänenvaimennus	2	3	3
materiaalikustannukset	4	3	2
asennettavuus	3	3	4
yhteispisteet		67	75

### 3.6 Tuotannon virtauttaminen

Nykytilanteessa aihionvalmistukseen liittyvät koneet ovat tehdastilan reunoilla ja kokoonpano suoritetaan hallin keskellä. Virtauttamista niin, että tuotteet kulkisivat yhteen suuntaan tehtaan sisällä tulisi tutkia. Varsinkin siinä tapauksessa, jos uusia merkittäviä koneinvestointeja tehdään, on tehtaan layout hyvä miettiä uudelleen. Layoutmuutosten aiheuttamaan tuotannon keskeytys on nykyisellä tuotantotahdilla hankala toteuttaa.

### 3.7 Kustannuslaskenta

Valmistetun ohutlevykappaleen kustannuslaskenta käsittää materiaalin ja työn hinnan. Aihiot leikataan laserleikkurilla. Laserleikkurin nestausohjelman tiedossa ovat eri levy materiaalien hinnat ja aihion hinta pystytään laskemaan sitä kautta. Äänenvaimentimessa käytettävät pienet levyosat voidaan tehdä usein jäljelle jääneiden levyjen hukkapaloista sivutuotteena.

Särmäyspuristimen hankintahinta ja vuotuiset särmäysmäärät huomioiden särmäyksen hintana lasketaan 0,30€/särmä. Tuntihintana särmäykselle pidetään 60€/tunti sisältäen kaikki kulut särmäystyöntekijän kokonaispalkasta hallin lämmitykseen ja konekustannuksiin.

Kokoonpanotyön hintana lasketaan 48€/h myös sisältäen kaikki kulut.

Koska tuotteita tehdään monessa vaiheessa, on yhden tuotteen läpimenoaikaa hankala laskea. Aihionvalmistuksen jälkeen osat saattavat olla varastoituna ennen kuin kokoonpano alkaa. Siksi kustannuslaskennan teko on hyvin hankalaa ja sillä saadut hyödyt ovat vähäisiä. Paras mittari tuotannon kehityksessä kustannuslaskennan sijaan on kokoonpanoaika sekä materiaalikustannukset.

### 3.8 Kokoonpanon kapasiteetti

Kokoonpanon kapasiteettia voidaan lisätä

- lisäämällä työntekijöitä
- vähentämällä työvaiheisiin kuluvaan aikaa
- vähentämällä työvaiheita
- vähentämällä kappaleen osia
- yksinkertaistamalla tuotetta ja siten sen kokoonpanoa
- tuomalla kokoonpanoon uusia menetelmiä

Kokoonpanossa tehdään 20 000 vaimenninta vuodessa. Tarkkaa aikaa yhden tuotteen kokoonpanolle on hankala arvioida, mutta kapasiteetin lisäystä voida arvioida sitä kautta, kuinka paljon mikäkin parannus lyhentää valmistusaikaa. Esimerkiksi jos kokoonpanoajasta saadaan pois 1 minuutti, vuodessa se tarkoittaa 20 000 valmistettavan äänenvaimentimen tapauksessa 42 päivää eli noin kaksi miestyökuukautta. Vaikutukset minuutinkin kokoonpanoajan lyhennyksessä ovat siis merkittäviä.

### 3.9 Valitut ratkaisut kohdeyrityksessä

Jo pitkään valmistuksessa olleeseen laatikkomaiseen äänenvaimentimeen löytyi muutamia kehitysajatuksia, joista kannen liimaus oli lupaavin parannus ja helppoiten toteutettavissa. Pyöreän vaimentimen valmistus aloitettiin kokonaan alusta ja siinä tärkeimmäksi ideointikohdaksi muodostui kannen ja vaipan liitos. Liitoksen tekemiseen löydettiin olemassa olevilla koneilla tehtävissä oleva ratkaisu.

#### 3.9.1 Pyöreän äänenvaimentimen valmistus

Pyöreän äänenvaimentimen osien muotoiluun on kaksi erilaista perusratkaisua. Ratkaisujen periaate on sellainen, että muovaus tehdään joko vaipan aihioon tai päädyn aihioon toisen osan pysyessä suorana. Kokoonpanossa osat laitetaan sisäkkäin ja puristetaan yhteen sikkikoneella pyörittäen. Tällöin saadaan aikaan tiivis liitos, joka tarvittaessa vielä tiivistetään akryylimassalla.

Jos muotoilu tehdään vaippaan, voidaan se tehdä sikkikoneella. Jos muotoilu tehdään päätylevyyn, voidaan muoto tehdä joko painosorvaamalla tai puristamalla. Puristimeen on tällöin valmistettava työkalut erikokoisia kansia varten. Edullisempi tapa on hyödyntää olemassa olevia työkaluja ja tehdä muovaus äänenvaimentimen vaippaan.

Jos valmistettavat määrät kasvavat suuriksi voidaan pyöreän vaimentimen päädyt tehdä puristamalla. Tämä on nopeampi ja tarkempi menetelmä. Silloin puristimelle on valmistettava vetotyökalut tätä työvaihetta varten.

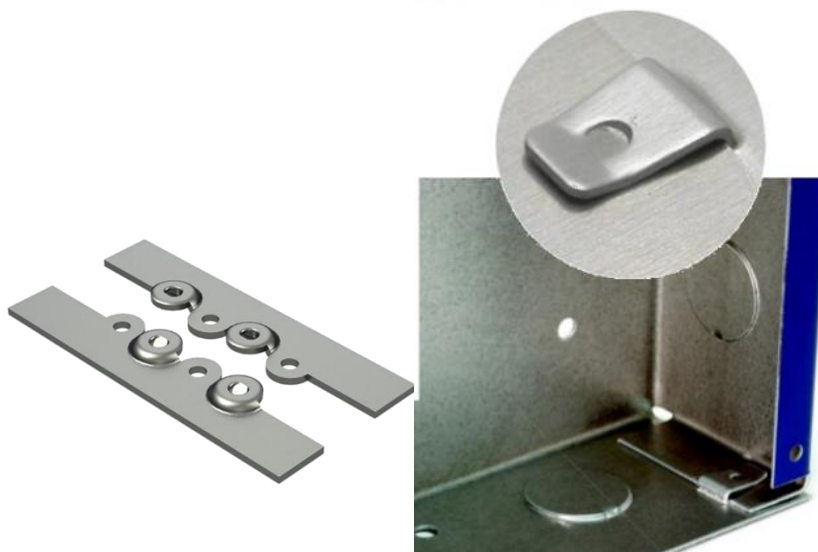
### 3.10 Tehdasvierailut

#### Prima Power, Seinäjoki

Prima Power valmistaa levytyökeskuksia, laserleikkureita, taivutusautomaatteja ja särmäyspuristimia. Lisäksi valmistetaan mekaanisen leikkauksen ja laserleikkauksen yhdistäviä yhdistelmälevytyökeskuksia.

Kohdeyrityksen tapauksessa levytyökeskuksen työkaluista olisi apua muun muassa silloin kun halutaan siirtyä ohuempiin materiaalivahvuuksiin, jolloin suoriin peltipintoihin voi muovata jäykistäviä uria. Näin materiaalikustannuksissa voitaisiin säästää. Muovaavilla työkaluilla voi myös valmistaa 12 mm korkeita kauluksia, joista saattaisi olla apua tiivistekauluksen liittämässä. Air Groupille on nyt käytössään levytyökeskuksia, mutta niiden jo iäkkäät ohjausjärjestelmät eivät salli muovaavien työkalujen käyttöä.

Levytyökeskuksen työkaluilla voi suoraan tehdä paikoilleen napsahdavia muotosulkeisia liitoksia. Näitä työkaluja ovat muun muassa kuvan 7 tyyppiset Wilson ZipTech ja Mate SnapLock. Tällaisilla liitoksia on mahdollista päästä niittauksesta ja pistehitsauksessa kokonaan tai osittaan eroon. Ilmanvaihtolaiteteollisuudessa kyseisten liitosten ongelmaksi muodostuu liitoksilta vaadittava ilmatiiveys. Liitososan valmistaminen samasta levystä kuin itse tuote vaatii materiaalin leikkaamista irti levystä, jolloin levyyn tulee ilmaa vuotava aukko.



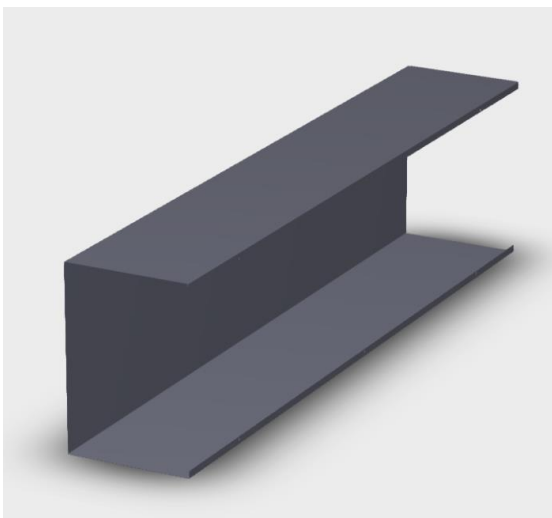
**Kuva 7.** Wilson ZipTech ja Mate SnapLock levytyökeskustyökaluilla muovatut muotosulkeiset liitokset ohutlevyissä (Wilson 2019) (Mate 2019).

Taivutusautomaatin soveltamiseksi kohdeyrityksen tuotantoon tulisi myös vanhat tuotteet suunnitella soveltuvien osin uudelleen taivutusautomaatin mahdollisuudet huomioiden. Voidaanko esimerkiksi kuvat 8 laatikkomaisen äänenvaimentimen vaippa suunnitella eri tavalla, jos se valmistetaan taivutusautomaatilla särmäyspuristimen sijaan. Taivutusautomaatilla tehtäväksi suunnitellut tuotteet voivat mahdollistaa helpotuksia kokoonpanossa. Koottavat osat voidaan suunnitella niin, että yksi osa korvaa aikaisemmat monta osaa. Myös kappaleiden reunoihin voi taivuttamalla tehdä sellaisia muotoja, jotka suoraan mahdollistaisivat kokoonpanossa muotosulkeisen liitoksen. Nyt rullamuovaamalla tehtäviä säleitä on myös mahdollista valmistaa pienempiä eriä taivutusautomaatilla.

Taivutusautomaatin syöttöä ja purkua voi automatisoida monella tapaa. Ensimmäinen taso on se, että käyttäjä syöttää aihion koneelle ja myös kääntää aihion kesken työkierron, sekä poistaa valmiin tuotteen.

Toinen automaation taso on se, että käyttäjä syöttää aihion, mutta taivutusautomaatti kääntää aihion tarvittaessa työkierron aikana ja käyttäjä poistaa valmiin tuotteen. Tällä automaation tasolla ei koneenkäyttäjältä vaadita juurikaan asiantuntemusta, vaan kuka tahansa voi lyhyen opastuksen jälkeen ryhtyä koneenkäyttäjäksi.

Kolmas automaation taso on se, että taivutusautomaatti on sama kuin edellisessä tasossa, mutta aihion syöttö ja purku tapahtuu automaattisesti.



**Kuva 8.** Laatikkomaisen vaimentimen vaippa (Air Group 2019).

Pohjanmaan Rakennuspelti, Seinäjoki

Pohjanmaan Rakennuspelti valmistaa paneelityyppisiä ohutlevyosia rakennusteollisuudelle. Ohutlevyosien aihionvalmistus tapahtuu levytyökeskus-laseryhdistelmäkoneella ja paneelien tavutus suoritetaan taivutusautomaatilla. Koska jotkut paneelit ovat pitkiä ja kapeita ei taivutusautomaatin manipulaattoritarttuja pysty niihin tarttumaan. Siksi taivutusautomaatin kappaleenkäännöstä huolehtii työntekijä.

MSK Cabins, Alahärmä

MSK Cabins valmistaa alihankintana työkoneiden ohjaamoja. Pääasiakkaita ovat Valtra ja Sandvik. Ohjaamojen kokoonpanolinja on autoteollisuuden kaltainen liukuhihna, jossa ohjaamoon kiinnitetään osa toisensa jälkeen ja ohjaamo saa lopullisen muotonsa ja varusteensa. Kokoonpanolinjan työsuunnittelulla on käytetty Maxi Most-menetelmää, jolla kokoonpanon nopeutta on pystytty parantamaan. Ohutlevyosien aihionvalmistus tapahtuu levytyökeskus-laseryhdistelmäkoneella.

## **4 POHDINTA**

Pyöreä ja kantikas äänenvaimennin eivät ole toisiaan poissulkevia tuotteita, vaan niille molemmille on omat käyttökohteensa. Toisen mallin kasvanut myynti ei pienennä toisen mallin myyntiä. Siksi on tarpeellista kehittää kummankin mallin valmistusmenetelmiä.

### **4.1 Avaintulokset**

Tärkeimpiä saavutettuja parannuksia laatikkomaisen äänenvaimentimen valmistuksen kehittämisessä oli muutos kannen kiinnityksessä. Aiemmin kansi kiinnitettiin tiivistemassalla ja vetokaraniiteilla, joita varten oli kanteen, vaippaan ja päädyn tehty reiät. Uusi menetelmä on liimaus. Reikien teko ja vetokaraniittaus jää tällöin kokonaan pois.

Pyöreä vaimennin on uusi tuote. Siihen kehitettiin päädyn ja vaipan kiinnittämiseen sopiva liitosmuoto, joka voidaan tehdä nykyisillä koneilla. Kriittisin osaongelma tämän tuotteen valmistuksessa saatiin ratkaistua.

#### 4.2 Tulosten uutuusarvo

Käytetyt valmistusmenetelmät ovat koeteltuja menetelmiä ohutlevyteollisuudessa, joten niiden käyttöönottoon ei liity uutuusarvoa. Mielenkiintoinen menetelmä sen sijaan oli tuotteesta ideapalaverien kautta rakennettu morfologinen matriisi, josta arvoanalyysin avulla valittiin sopiva kokonaisratkaisu uudelle tuotteelle. Tätä tapaa on syytä hyödyntää muidenkin tuotteiden tuotekehityksessä tai tuotehuollossa.

#### 4.3 Tulosten hyödynnettävyys

Tehdyn parannukset valmistusmenetelmissä otettiin käyttöön laatikkoma9isessa äänenvaimentimessa. Pyöreän vaimentimen valmistus voitiin aloittaa tehdyn tutkimuksen antamien tulosten perusteella.

#### 4.4 Jatkotutkimusaiheet

Jatkotutkimuskohteita löytyy koko ajan, jos ajatellaan, että tuotteisiin tulee jatkuvasti pieniä muutoksia joko asiakkaan pyynnöstä tai esimerkiksi tehtaan lattialla saatujen ideoiden vuoksi. Tämän tutkimuksen runkoa voi silloin hyödyntää uusien ideoiden kehittämisessä ja arvioinnissa.

## 5 YHTEENVETO

Asiakkaan vaatimukset äänenvaimentimelle ovat asennettavuus kanavaan, ilmatiiveys ja äänenvaimennus. Lisäksi vaimentimen materiaalien on kestettävä käyttökohteensa ilmasto. Vaatimuslista on niin selvä, ettei sen perusteella alettu pohtia vaimentimen perusrakennetta uudelleen. Sen sijaan vaimennin ajateltiin osiansa summana ja jokaista osaa tarkasteltiin kriittisesti sekä muotoilun, että kokoonpanon kannalta. Morfologisen matriisin ja arvoanalyysin pohjalta karsittiin ideointipalaverien aikana syntyneitä ideoita paremmuusjärjestykseen ja päädyttiin sekä pyöreän, että laatikkomaisen äänenvaimentimen suhteen parannuksiin sekä materiaalikäytön että kokoonpantavuuden kannalta.

Pyöreän vaimentimen suhteen löydettiin sopiva osien muotoilu päädyn ja vaipan liittämistä varten. Suunniteltu muoto voidaan kokoonpanna olemassa olevien koneiden avulla ja tuotanto voidaan siten aloittaa heti.

Laatikkomaisessa vaimentimessa tehtiin muutamia parannuksia kokoonpanon helpottamiseksi. Näistä merkittävin oli siirtyminen kannen kiinnittämiseen liimaamalla. Tämä vähensi työvaiheita ja nopeutti kokoonpanon tähän mennessä hitainta vaihetta, sekä vähensi myös aihionvalmistuksen työvaiheita.



## LÄHDELUETTELO

Air Group Oy. Ilmastointi. 2019. [verkkodokumentti]. [viitattu: 15.6.2019]. Saatavissa: <http://www.airgroup.fi/#ilmastointi>

Boothroyd Dewhurst Inc. DFMA software. 2019. [verkkodokumentti]. [viitattu: 17.6.2019]. Saatavissa: <http://www.dfma.com/software/dfma.asp>

Dym, C.L. & Little, P. 2012. Engineering Design. 4th ed. New York, N.Y: John Wiley & Sons, Inc. 338s.

Geometric Inc. DMPro software. 2019. [verkkodokumentti]. [viitattu: 19.6.2019]. Saatavissa: <https://dfmpro.geometricglobal.com/cad-systems>

Kerkkänen, K. 2018. BK65A0203 Tekninen suunnittelu. Tuotekehitys. Syksy 2018 luentomateriaali 3. Lappeenranta: LUT-Yliopisto. 54s.

Kerkkänen, K. 2019. BK65A0900 Koneensuunnittelu. Modulaarinen suunnittelu. Kevät 2019 luentomateriaali 5. Lappeenranta: LUT-Yliopisto. 59s.

Kouri, I. 2009. Lean taskukirja 6/2009. Helsinki: Teknologiateollisuus ry. 38s.

Mate Inc. Fabrication Solutions. 2019. [verkkodokumentti]. [viitattu: 19.6.2019]. Saatavissa: <https://www.mate.com/fabrication-solutions/forming-applications/customer-gallery/assembly-solutions>

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja 6/2010. Tampere: Tammerprint Oy. Teknologiateollisuus ry. 387 s.

Mesa, J., Maury, H., Arrieta, R., Corredor, L. & Bris, J. 2018. A novel approach to include sustainability concepts in classical DFMA methodology for sheet metal enclosure devices. Research in Engineering Design, April 2018, Volume 29, Issue 2. s. 227–244.

Pahl, G. & Beitz, W. 1992. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki: MET. 543 s.

Rejko Oy. Tuotteet. 2019. [verkkodokumentti]. [viitattu: 21.7.2019]. Saatavissa: <https://www.rejko.fi/tuotteet.html?id=54546/765424>

Ulrich, K.T. & Eppinger, S.D. 2012. Product Design and Development. New York: Irwin McGraw-Hill. 358 s.

Ulrich, K. & Tung, K. 1991. Fundamentals for Product Modularity. Proceedings of the 1991 ASME Winter Annual Meeting Symposium on Issues in Design/Manufacturing Integration. Atlanta. s. 45-73.

Virkkala, V. 1994. Luova ongelmanratkaisu. Helsinki: Insinööritieto. 292 s.

Wilson Tools. Products. 2019. [verkkodokumentti]. [viitattu: 25.7.2019]. Saatavissa: <https://www.wilsontool.com/en-US/Products/Punching/Fab-Thin-Turret/Special/Zip-Tech>