

LUT-YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

**TUOTTEEN KOKOONPANON VALMISTUSYSTÄVÄLLISEN
RAKENTEEN KEHITTÄMINEN JA MITTAAMINEN**

Jyväskylässä 25.4.2021

Markus Eronen

Tarkastajat Dosentti Harri Eskelinen

DI Arto Korhonen

TIIVISTELMÄ

LUT-Yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Markus Eronen

Tuotteen kokoonpanon valmistusystävällisen rakenteen kehittäminen ja mittaaminen

Diplomityö

2021

83 sivua, 54 kuvaa, 15 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastajat: Dosentti Harri Eskelinen
DI Arto Korhonen

Hakusanat: savukaasupellit, DFMA, kokoonpanoystävällisyys, valmistusystävällisyys, modulaarisuus, standardisointi, rinnakkaissuunnittelu

Tämä diplomityö toteutettiin Jyväskylässä Sammet Dampers Oy:lle. Yrityksen tuotteita ovat teollisuus- ja marine-savukaasupellit.

Suunnittelulla voidaan vaikuttaa eniten tuotteen valmistuksen kustannuksiin. Tässä työssä tutkimusongelmana on kuinka kyseisen yrityksen tuotteiden valmistus- ja kokoonpanoystävällisyyttä, modulaarisuutta sekä huoltoa voidaan parantaa suunnittelussa tuotteiden rakenteeseen tehtävien muutoksien kautta. Nämä oletettavasti pienentävät tuotteen tuotantokustannuksia.

Tutkimuskysymykset ovat: Miten saadaan tuotteen kokoonpanoa ja valmistusystävällisyyttä parannettua ja miten parannusten merkitys voidaan osoittaa DFMA:n tunnuslukuja käyttäen? Miten tuotteen modulaarisuutta saadaan parannettua ja miten parannusten merkitys voidaan osoittaa DFMA:n tunnuslukuja käyttäen?

Tutkimustyön tavoitteena on palvella suunnitteluosastoa, jotta tuotteiden suunnittelussa huomioitaisiin asioita, jotka parantavat tuotteen valmistusta, kokoonpantavuutta, suunnittelua, tuotantotehokkuutta ja huoltoa. Teoreettisessa osassa perehdytään tuotteen valmistus- ja kokoonpanoystävällisen rakenteen (DFMA) sekä modulaarisuuden periaatteisiin. Teoriaosassa perehdytään myös kokoonpantavuuden eri arviointimenetelmiin sekä tuotteen eri kokoonpanojärjestelmiin. Teoriapohja on kerätty tieteellisistä tutkimuksista, artikkeleista ja kirjallisuudesta. Empiirisessä osiossa esitetään, kuinka näitä periaatteita on sovellettu ja voitaisiin jatkossa soveltaa kohdeyrityksen valmistamiin tuotteisiin. Tutkimus on rajattu yrityksen valmistamiin marine 2-tie ja 3-tie pelteihin kokoluokkiin DN350 – DN2000.

Tuloksena syntyi peltien kehittyneempi kokoonpanoratkaisu. Uudelleen suunnitellun 3-tiepellin osien määrä vähentyi ja kokoonpanoaika lyheni.

ABSTRACT

LUT University
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Markus Eronen

Product development and measurement for better assembly

Master's thesis

2021

83 pages, 54 figures, 15 tables and 1 appendix

Examiners: Docent Harri Eskelinen
M. Sc. (Tech.) Arto Korhonen

Keywords: dampers, DFMA, DFM, DFA, modularization, standardization, concurrent engineering

This Master's thesis has been written for Sammet Dampers in Jyväskylä. Company's products are marine and industry dampers.

Product design has the greatest impact on product manufacturing costs. The research problem of this thesis is how to improve target company's products assemblability, manufacturing, modularity and maintenance by product design changes and thus reduce the production costs.

This thesis has two research questions: How to improve product assemblability and manufacturing and how the importance of improvements can be shown using the parameters of DFMA? How to improve product modularity and how the importance of improvements can be shown using the parameters of DFMA?

The objective of this thesis is to serve design department to make better product design taking account manufacturing, assemblability, product design, production efficiency and maintenance. The theoretical part introduces the basics of product design for manufacture and assembly (DFMA) and product modularity. Theoretical part introduces also different product assembly systems and methods for evaluating design for assembly. Theoretical basics has been gathered from various sources such as scientific researches, articles, and literature. The empirical part introduces methods on how the target company has utilized and how they should utilize the theoretical procedures mentioned above. This thesis is limited to the company's marine 2-way and 3-way dampers sizes DN350 – DN2000.

As a result, a new more advanced assembly method was born and the number of parts and assembly time in company's redesigned 3-way damper was decreased.

ALKUSANAT

Sain innostuksen tähän diplomityöhön, koska olen aina ollut kiinnostunut tuotteen suunnittelun vaikutuksesta valmistukseen ja kokoonpanoon. Olen pienestä pitäen huoltanut ja purkanut erilaisia teknisiä laitteita sekä ajoneuvoja kuten autoja, moottoripyöriä, venemoottoreita, moottorisahoja jne. Näiden laitteiden ja ajoneuvojen huoltamisessa olen kiinnittänyt huomiota kuinka pienillä suunnittelumuutoksilla olisi niiden huoltaminen ja kokoonpano helpompaa, esimerkiksi käyttämällä samaa ruuvikokoa mahdollisimman monessa paikassa. Ennen insinööriopintoja ja niiden aikana olen ollut töissä kokoonpanolinjoilla eri yrityksissä ja huomannut kuinka kokoonpanotyötä ja valmistusta voitaisiin helpottaa tuotteen suunnittelun kautta. Monesti pienillä suunnittelumuutoksilla saadaan aikaiseksi merkittäviä parannuksia valmistuksessa sekä kokoonpanossa. Olen huomannut, että monissa tapauksissa valmistus ja suunnittelu ovat eriytyneet kauaksi toisistaan. Näissä tapauksissa suunnittelijoiden on vaikea tietää millä tuotteen rakenteen muutoksilla parannetaan tuotteen valmistusta ja kokoonpanoa. Oli mielenkiintoista ja silmiä avaavaa päästä ensimmäistä kertaa katsomaan kuinka Sammetin tuotteita valmistetaan käytännössä. Paikan päällä heräsi paljon uusia ideoita ja ajatuksia, kuinka tuotteiden suunnittelulla voidaan parantaa valmistusta ja kokoonpanoa.

Haluan kiittää koko Sammet Dampersin tiimiä ja yhteistyökumppaneita, erityisesti Arto Korhosta, joka toimi tämän työn toisena tarkastajana sekä työn ohjaajana. Kiitokset Dosentti Harri Eskeliselle vinkeistä ja toimimisesta työn ensimmäisenä tarkastajana.

Haluan kiittää myös vanhempiani ja muita läheisiäni, jotka auttoivat ja kannustivat tämän työn aloittamiseen sekä sen loppuun saamiseksi. Kiitokset opiskelijatovereilleni, joista oli suuri apu DI-opinnoissani. Erityisesti kiitos puolisololleni, kun jaksoit loppuun asti kannustaa tämän työn valmiiksi saamisessa.

Markus Eronen

Markus Eronen

Jyväskylässä 25.4.2021

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO

LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	9
	1.1 Tutkimuksen tavoite	9
	1.2 Tutkimusongelma	10
	1.3 Tutkimuskysymykset.....	10
	1.4 Rajaukset.....	10
2	SAMMET DAMPERS OY	11
3	TUTKIMUSMETODIT DFMA:N MUKAISEEN SUUNNITTELUUN	12
4	SUUNNITTELUN VAIKUTUKSET TUOTTEEN HINTAAN	13
5	SUUNNITTELUN VAIKUTUS TUOTANTOTEHOKKUUTEEN	16
	5.1 Yli seinän ja rinnakkaissuunnittelu.....	16
	5.2 DFMA ajattelu	19
6	KOKOONPANTAVUUDEN ARVIOINTIMENETELMIÄ	27
	6.1 Hitachi kokoonpantavuuden arviointimenetelmä (AEM).....	27
	6.2 Boothroyd Dewhurst DFA menetelmä	29
	6.3 Lucas DFA menetelmä	31
7	MODULAARISUUS JA STANDARDISOINTI	36
	7.1 Standardisointi	36
	7.2 Osien modulaarisuus.....	37
	7.3 Liitosten modulaarisuus.....	39
	7.4 Platform ajattelu.....	41
	7.5 Valmistusvaiheen modulaarisuus	42
8	TUOTTEEN KOKOONPANOJÄRJESTELMÄT	44
9	SAMMET SHANGHAIN KOKOONPANOOTEHDAS	50
10	TULOKSET	55

10.1 Sammet 3-tiepelin uuden ja vanhan mallin vertailu	56
10.2 Uuden 3-tiepelin modulaarisuus	66
11 POHDINTA	70
11.1 Vertailu muiden tutkijoiden saamiin tuloksiin ja kirjallisuustutkimuksen havaintoihin	70
11.2 Tutkimuksen objektiivisuus	72
11.3 Tutkimuksen reliabiliteetti ja validiteetti sekä virhetarkastelu	72
11.4 Keskeiset johtopäätökset.....	74
11.5 Tulosten uutuusarvo.....	77
11.6 Tulosten hyödynnettävyys ja yleistettävyys	77
11.7 Jatkotutkimusaiheet	77
12 YHTEENVETO	79
LÄHTEET	80
LIITTEET	

LIITE I: Yleisesti vääriksi syiksi todetut väitteet miksi DFMA:ta ei käytetä

SYMBOLILUETTELO

<i>A</i>	Lucas DFA välttämättömät osat [kpl]
<i>B</i>	Lucas DFA ei välttämättömät osat [kpl]
<i>DE</i>	Lucas DFA suunnittelurakenteen tehokkuus [%]
<i>E</i>	Hitachi kokoonpantavuuden suhde
<i>E_{ma}</i>	Kokoonpanotehokkuus [%]
<i>K</i>	Hitachi kokoonpanon kustannussuhde
<i>N_{min}</i>	Osien teoreettinen minimimäärä [kpl]
<i>t_a</i>	Perus kokoonpanoaika osalle [3 s.]
<i>t_{ma}</i>	Tuotteen kokonais- kokoonpanoaika [s]

LYHENNELUETTELO

AEM	Hitachi kokoonpantavuuden arviointimenetelmä (Assemblability Evaluation Method)
BOM	Tuotteen osalista (Bill of material)
DFA	Tuotteen kokoonpanoystävällinen suunnittelu (Design For Assembly)
DFC	Tuotteen suunnittelu kilpailukyvyyn kannalta (Design For Competitiveness)
DFM	Tuotteen valmistusystävällinen suunnittelu (Design For Manufacture)
DFMA	Tuotteen valmistus- ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu (Design For Manufacture and Assembly)
DFQ	Tuotteen laatuystävällinen suunnittelu (Design For Quality)
DFR	Tuotteen suunnittelu luotettavuuden kannalta (Design For Reliability)
DWG	CAD piirustustiedostoformaatti (AutoCAD Drawing Database)
IMO	Kansainvälinen merenkulkujärjestö (International Maritime Organization)

1 JOHDANTO

Sammet Dampers Oy:n marine savukaasupeltien kysyntä on kasvanut suuresti vuodesta 2018 päästödirektiivien kiristymisen myötä. 1.1.2020 astui voimaan päästödirektiivi IMO (International Maritime Organization) 2020, joka määrää merialusten rikkipäästöjen rajaksi entisestä 3,5 painoprosentista 0,50 painoprosenttiin, kun liikennöidään päästörajoitusalueiden ulkopuolella. Päästörajoitusalueita ovat: Itämeren alue, Pohjanmeren alue, Pohjois-Amerikan alue (kattaa nimetyt rannikkoalueet Yhdysvalloissa ja Kanadassa) sekä Karibianmeren alue (Puerto Ricon ja Yhdysvaltain Neitsytsaarien ympärillä). Päästörajoitusalueilla rikkipäästöjen raja on 0,10 painoprosenttia. (IMO 2019.)

Sammet Dampers laajensi toimintaansa ja perusti kokoonpanotehtaan Kiinaan Shanghaihin vuonna 2018. Shanghaihin perustettiin tytäryhtiö Sammet China Ltd, jonka tuotantotila koostuu kahdesta 3 176 m² tuotantohallista. Kiinan kokoonpanotehtaalla valmistettiin kevään 2019 - 2020 aikana noin 1000 marine peltiä, joista suurin osa oli 3-tiepeltejä (Sammet 2020.)

1.1 Tutkimuksen tavoite

Sammetin marine peltien kysynnän kasvun myötä ja toiminnan siirryttyä Kiinaan, on peltien rakenteeseen tehty muutoksia, jotta ne olisivat modulaarisempia ja soveltuisivat paremmin Kiinan kokoonpanon tuotantoon.

Sammetin marine 2-tie ja 3-tie pelleistä on kehitetty uusi mallisarja kokoluokkiin DN350 - DN2000, joiden rakenteessa on pyritty huomioimaan modulaarisuutta ja valmistusystävällisyyttä.

Tutkimustyön tavoite on palvella Sammetin suunnitteluosastoa, jotta suunnittelussa huomioitaisiin asioita, jotka helpottavat tuotteen valmistusta, suunnittelua ja parantavat tuotantotehokkuutta, kokoonpantavuutta ja tuotteiden huoltoa.

1.2 Tutkimusongelma

Sammetin tuotteiden kysynnän kasvun myötä sekä valmistuksen laajennettua Kiinaan, on ilmennyt ongelmia ja haasteita tuotteiden valmistuksessa sekä kokoonpanossa. Näihin ongelmiin on vaadittu suunnittelussa tuotteiden rakenteeseen tehtäviä muutoksia. Tuotteiden suunnittelussa voidaan tehdä ratkaisuja, jotka helpottavat merkittävästi mm. tuotantoa ja huoltoa. Tässä työssä tutkimusongelmana on kuinka Sammetin tuotteiden valmistus- ja kokoonpanoystävällisyyttä, modulaarisuutta sekä huoltoa voidaan parantaa suunnittelussa tuotteiden rakenteeseen tehtävien muutoksien kautta, joiden ansiosta myös tuotteen valmistuskustannukset oletettavasti pienenevät.

1.3 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymykset ovat:

1. Miten saadaan tuotteen kokoonpanoa ja valmistusystävällisyyttä parannettua ja miten parannusten merkitys voidaan osoittaa DFMA:n tunnuslukuja käyttäen?
2. Miten tuotteen modulaarisuutta saadaan parannettua ja miten parannusten merkitys voidaan osoittaa DFMA:n tunnuslukuja käyttäen?

1.4 Rajaukset

Tutkimus on rajattu Sammet Dampersin valmistamiin marine 2-tie ja 3-tie pelteihin kokoluokkiin DN350 - DN2000. Tätä tutkimusta voidaan kuitenkin hyödyntää myös muihin Sammetin tuotteisiin sekä vastaaviin muiden yritysten tuotteisiin.

2 SAMMET DAMPERS OY

Sammet- yhtiöiden historia alkaa vuodelta 1984, jolloin Leppävedelle perustettiin Sammasmaan Metalli Oy. Toimintaa laajennettiin vuonna 1988 Pihtiputaalle ja 1990-luvulla Haapavedelle.

Sammet- yhtiöiden tuotevalikoimaan kuuluivat A-luokan paineastiat, suuret teräsrakenteet, lämmönvaihtimet, palamisilman esilämmittimet sekä teollisuuden sulku- ja säätöpellit, joista syntyikin myöhemmin Sammetin ydinliiketoiminta.

Vuonna 1993, perustettiin Sammet Dampers vastaamaan sulku- ja säätöpeltien kasvavaa kysyntää. Joulukuussa 2006 Sammasmaan Metalli ja Sammet Asennus Oy liitettiin yhteen ja Sammet Dampers keskittyi omien tuotteiden luomiseen, suunnitteluun, kehittämiseen ja markkinointiin. Sitten Sammet Dampersista tuli myös Asennuksen emoyhtiö.

Vuonna 2008 Sammet Dampers myi omistamansa Sammet Asennuksen SSG Sahala Oy:lle. Vuonna 2016 Sammet Dampers myytiin ruotsalaiselle pörssiyritykselle Addtech AB:lle. Vuodesta 2018 Sammet Dampersilla on ollut tytäryhtiö Kiinassa Shanghaissa, jossa kokoonpannaan Sammetin tuotteita. Sammetin tuotteita valmistetaan myös alihankintaketjujen kautta Euroopassa.

Tällä hetkellä Sammet Dampersin päätoimipaikka on Jyväskylässä, jossa toimii tuotteiden suunnittelu, tuotekehitys, myynti ja markkinointi. Tuotevalikoima voidaan karkeasti jakaa kahteen eri ryhmään, teollisuus- ja marine-pelteihin. Marine pelteihin kuuluvat laivojen rikkipesureissa käytettävät 2-tie ja 3-tiepellit. Teollisuuspelteihin kuuluvat mm. sälepellit, säätöpellit, tiivistysilmapelit, giljotiinipelit, divertterit ja kellopellit. Teollisuuspeltejä käytetään esimerkiksi lämpövoimalaitoksissa savukaasujen ohjaukseen.

Työntekijöitä Sammet Dampersilla on noin 30 ja Shanghain tytäryhtiössä noin 60. Yrityksen liikevaihto oli n. 31 milj. € tilikaudella 2019 - 2020 (Finder N.D).

3 TUTKIMUSMETODIT DFMA:N MUKAISEEN SUUNNITTELUUN

Tämän tutkimuksen metodinen lähestymistapa on koottu kolmesta toisiaan seuraavasta vaiheesta alla olevassa järjestyksessä:

1. Kirjallisuustutkimus
2. CASE Shanghain kokoonpanotehtaan hyväksi käyttäminen
3. Tutkittavan tuotteen vanhan ja uuden rakenteen kokoonpanon vertailu

Kirjallisuustutkimuksen perusteella tutkimusongelman ratkaisemiseksi valitaan ne keinot, joilla voidaan määrittää DFMA-tunnusluvut tutkittavalle tuotteelle. Kirjallisuustutkimus on jaettu tämän vuoksi neljään eri osaan

1. DFMA:n ohjeet ja säännöt
2. Kokoonpantavuuden arviointimenetelmät
3. Modulaarisuuden ja standardisoinnin säännöt
4. Kokoonpanojärjestelmien ohjeet ja säännöt

Kirjallisuustutkimuksen tiedonhaku tehdään tieteellisistä sekä kaupallisista lähteistä, jotta varmistetaan valittavien menetelmien luotettavuus ja niiden soveltuvuus tutkittavan tuotteen kehittämiseen.

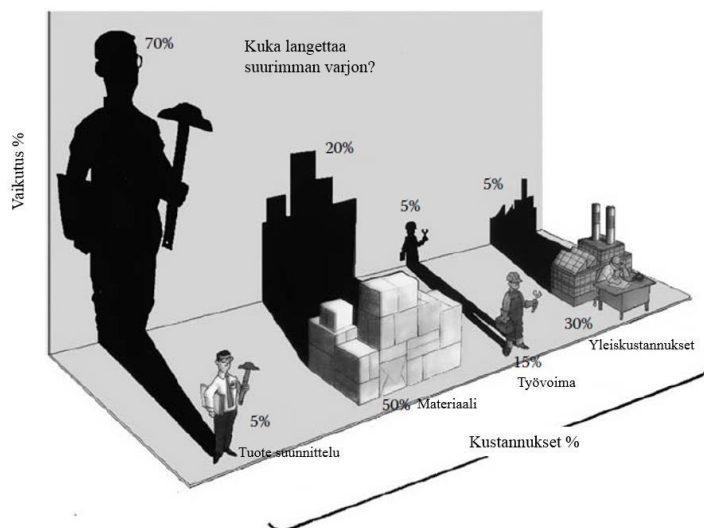
Case-tapauksena tarkasteltavasta Shanghain kokoonpanotehtaan toimivuudesta kerätään havaintoja ja hiljaista tietoa Teams-yhteistyöalustaa hyödyntäen. Tällä tavoin kirjallisuustutkimuksessa löydetty tieto ja sen perusteella valittavat menetelmät, voidaan sovittaa yhteen kohdeyrityksessä jo olemassa olevan osaamisen kanssa. Näillä menettelyillä voidaan löytää toimivia ratkaisuja tutkittavan tuotteen kehittämiseksi.

Kun tutkittavan tuotteen rakenne on kehitetty edellä mainittujen menetelmien mukaisesti, tehdään tuotteen uuden ja vanhan rakenteen kokoonpanon läpimenoaikojen sekä osien lukumäärän vertailu. Vertailuissa käytetään uudelleen suunniteltua ja vanhaa DN350 sekä DN1200 3-tiepeltiä.

4 SUUNNITTELUN VAIKUTUKSET TUOTTEEN HINTAAN

Tässä luvussa käydään läpi tuotteen kustannuksien muodostuminen eri elinkaaren vaiheissa. Lopussa on esitetty vanha, mutta hyvä käytännön esimerkki siitä kuinka valmistuksen huomioon ottavalla suunnittelulla olisi tehty isoja säästöjä tuotteen osan valmistuksessa.

Tuotteen suunnittelulla vaikutetaan eniten tuotteen hintaan. Kuvan 1 mukaan suunnittelulla vaikutetaan tuotteen hintaan 70 %, mutta suunnittelukustannukset tuotteen myyntihinnasta ovat vain 5 %. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 8.)

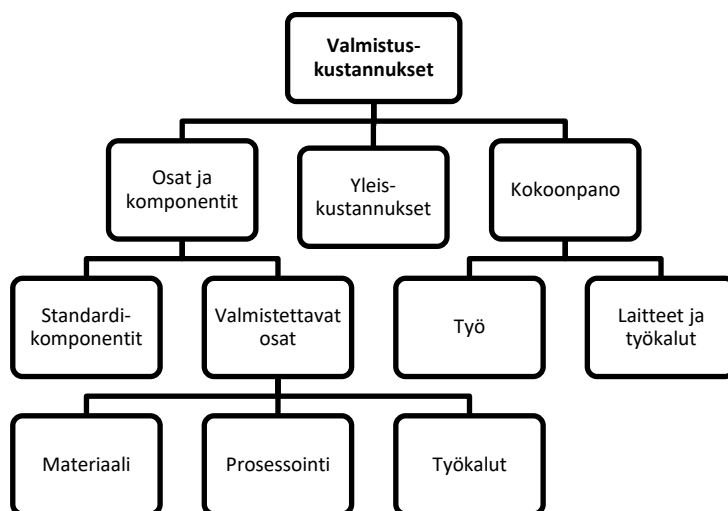


Kuva 1. Tuotteen kustannusrakenne (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 8).

Lempiäisen (2008) mukaan riippuen tuotteesta kokoonpanotoimintojen osuus valmistuskustannuksista ovat keskimäärin 20 – 40 %.

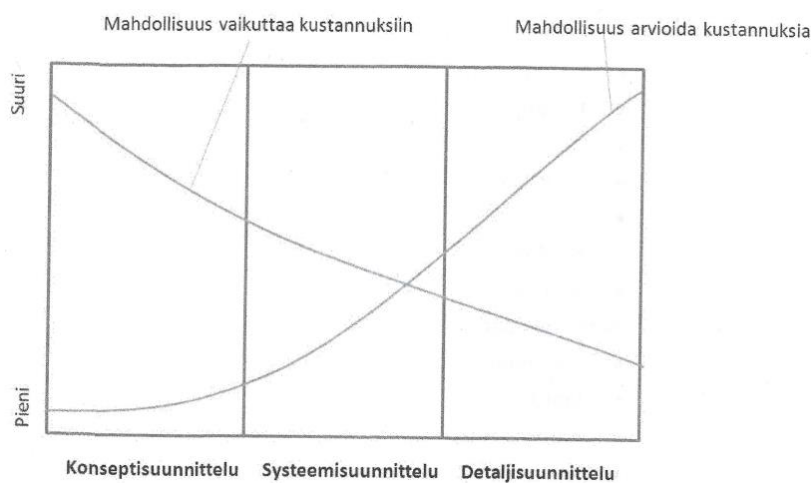
Monessa tapauksessa suunnittelijat eivät tiedä tarpeeksi tarkasti tuotteen valmistus- ja kokoonpanomenetelmiä ja tästä syystä eivät osaa ottaa huomioon tuotteen suunnittelussa valmistuksen resursseja. Tällä on suuri ns. domino vaikutus koko tuotteen loppuketjuun. Monesti uusien tuotteiden ongelmaksi muodostuu, että on suunniteltu teknisesti toimiva ja hyvä tuote, mutta se on haastava ja kallis valmistaa. (Manufacturing hub 2019.)

Tuotteen valmistuskustannukset muodostuvat monesta eri tekijästä kuvan 2 mukaisesti. Tärkeimpänä kustannuksiin vaikuttavana tekijänä on erä koko, mitä pienempi se on sitä suuremmaksi tulevat kiinteät kustannukset tuotetta kohden. Tuotteen kiinteitä kustannuksia ovat mm. keskeneräinen tuotanto, tilauskustannukset, ja sisäiset kuljetukset. (Hietikko 2015, s. 164.)



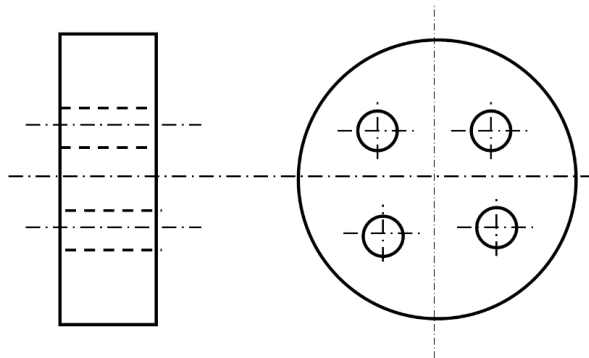
Kuva 2. Tuotteen valmistuskustannukset (Hietikko 2015, s. 164).

Kun tuotteen konstruktiio alkaa tarkentua, kustannusten arviointi helpottuu mutta samalla mahdollisuus vaikuttaa kustannuksiin pienenee kuvan 3 mukaisesti. Tämän takia olisikin syytä pyrkiä arvioimaan tuotteen kustannuksia koko tuotekehitysprosessin ajan. Konseptisuunnittelun eli alustavan suunnittelun aikana arviointimallit täytyy perustaa kokemuksiin ja vertailuihin vastaavanlaisista olemassa olevista tuotteista. (Hietikko 2015, s. 165.)



Kuva 3. Suunnittelun eri vaiheissa mahdollisuus vaikuttaa tuotteen kustannuksiin (Hietikko 2015, s. 165).

Eräs esimerkki siitä kuinka suunnittelun ja valmistuksen välisen kommunikaatiopulan takia Catepillarin valmistama hihnapyörä tuli kalliiksi. Tohtori John Farris oli insinöörinä töissä Catepillarin moottorivalmistusyksikössä Yhdysvalloissa 1990 luvulla. Hän sai tehtäväkseen tutkia kuvan 4 hihnapyörän valmistuskustannuksia. Hihnapyörä koneistettiin kylmävalssatusta teräksestä, mikä maksoi tuolloin 13,63 \$. Catepillar tarvitsi näitä hihnapyöriä 60.000 kappaletta vuodessa. Farris sai selville, että neljä reikää porattiin yksi kerrallaan. Hän ehdotti, että reiät porattaisiin yhtä-aikaa, jolloin hihnapyörän valmistaminen tulisi 2 \$ edullisemmaksi. Kävi kuitenkin ilmi, ettei se ollut valmistusteknisten syiden takia mahdollista, ellei reikiä siirrettäisi hieman kauemmaksi toisistaan. Osan muuttaminen ei kuitenkaan ollut enää mahdollista, koska varaosia ja moottoreita, joissa hihnapyörää käytetään, oli jo ehditty valmistaa 10.000 kappaletta. Jos valmistus olisi otettu huomioon suunnittelun alkuvaiheessa, olisi rahaa säästetty 120.000 \$ vuodessa. (Farris N.Dc.)



Kuva 4. Catepillarin hihnapyörä (Farris N.Dc.).

Tuotteen kustannuksiin voidaan vaikuttaa eniten suunnittelulla. Kuvan 1 mukaisesti tuotteen suunnittelulla vaikutetaan tuotteen hintaan 70 %. Eräköko vaikuttaa eniten tuotteen kiinteisiin kustannuksiin, mitä pienempi se on sitä suuremmaksi tulevat kiinteät kustannukset tuotetta kohden. Tässä tutkimustyössä tutkimusongelman ratkaisemiseksi suunnittelijan on tärkeää tietää tuotteen valmistus ja kokoonpanomenetelmät, jotta suunnittelussa voidaan huomioida valmistuksen resursseja.

5 SUUNNITTELUN VAIKUTUS TUOTANTOTEHOKKUUTEEN

Tässä luvussa käydään läpi asioita, joita tuotteiden suunnittelussa tulisi ottaa huomioon, jotta tuotteesta saataisiin mahdollisimman hyvä valmistuksen ja suunnittelun näkökannalta. Luvussa esitellään yli seinän ja rinnakkaissuunnittelun erot sekä valmistus- ja kokoonpanoystävällisen tuotteen suunnittelun (DFMA) periaate.

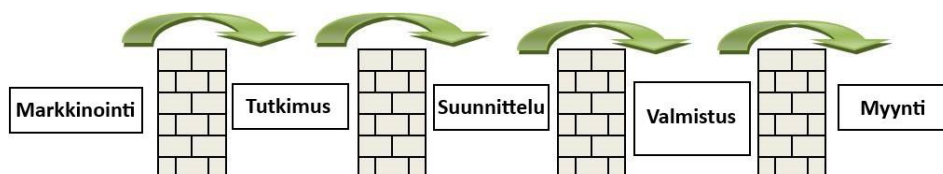
5.1 Yli seinän ja rinnakkaissuunnittelu

Teollisen vallankumouksen seurauksena tekniikka kehittyi ja tuotteista tuli yhä monimutkaisempia eikä yksi ihminen voinut enää hallita tuotteen suunnittelua, valmistusta ja myyntiä. Suuret yhtiöt jakoivat vastuualueet eri osastoihin kuten:

- Markkinointi (yrittää ymmärtää asiakkaan tarpeita nyt ja tulevaisuudessa)
- Tutkimus (kehittää tekniikkaa markkinoinnin tarpeisiin)
- Suunnittelu (suunnittelee tuotteet vastaamaan asiakkaiden tarpeita, käyttää suunnittelussa tutkimuksen kehittämää tekniikkaa)
- Valmistus (kehittää valmistustekniikan valmistamaan tuotteet, jotka suunnitteluyksikkö on suunnitellut)
- Myynti (kehittää ja toteuttaa suunnitelmia, joilla tuotteet saadaan myytyä asiakkaille)

(Farris N.Da.)

Tästä tulee nimitys ”yli seinän” suunnitteluperiaatteelle, joka tunnetaan englanniksi nimellä ”over the wall”. Kyseisessä periaatteessa jokaisen osaston välille on muodostunut seinä kuvan 5 mukaisesti ja ne toimivat erillään omina yksikköinä. Tästä syystä eri yksiköissä ei voitu enää vaikuttaa edellisen yksikön tekemiin päätöksiin ja huomattiin, että suunnittelun laatu huononi. Huomattiin myös, että usein tällä periaatteella valmistetut tuotteet, eivät vastanneet täysin asiakkaan tarpeita. (Hietikko 2015, s. 140.)



Kuva 5. Yli seinän suunnittelu (Farris N.Da.).

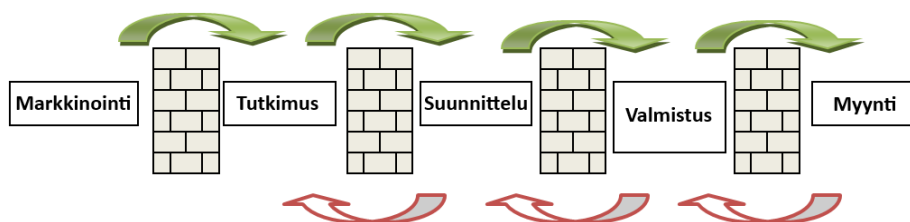
Eri yksiköiden välille muodostuneen kommunikaatiopulan takia eri yksiköt joutuivat palauttamaan saamansa suunnittelun jatkokäsittelyyn, koska eivät voineet edetä.

Esimerkiksi:

- Markkinointi esittelee tuotteen, johon tutkimusyksikkö ei löydä tekniikkaa.
- Tutkimusyksikkö kehittää tekniikan, joka on liian kallis tai ei ole tarpeeksi kestävä kyseiseen tuotteeseen.
- Suunnitteluyksikkö suunnittelee tuotteen, joka on liian kallis ja hankala valmistettavaksi.
- Valmistusyksikkö valmistaa lopulta tuotteen monien muutoksien jälkeen ja se on liian kallis tai ei vastaa asiakkaan tarpeita.

(Farris N.Da.)

Kuvassa 6 nähdään kuinka suunnitteluprosessi virtaa väärään suuntaan ja tämän seurakusena suunnitteluprosessi hidastuu.



Kuva 6. Käänteinen virtaus yli seinän suunnittelussa (Farris N.Da).

Tutkimusten mukaan 60 % osista valmistetaan eri tavalla kuin suunnittelijat ovat ne suunnitelleet valmistuspiirustuksiin. Tämän syynä on ollut se, että: piirustukset ovat olleet epätäydelliset, valmistusta ei voi tehdä tarkoitetulla tavalla, piirustus ei ole yksikäsitteinen tai osia ei voi asentaa piirustusten mukaisesti. (Hietikko 2015, s. 142.)

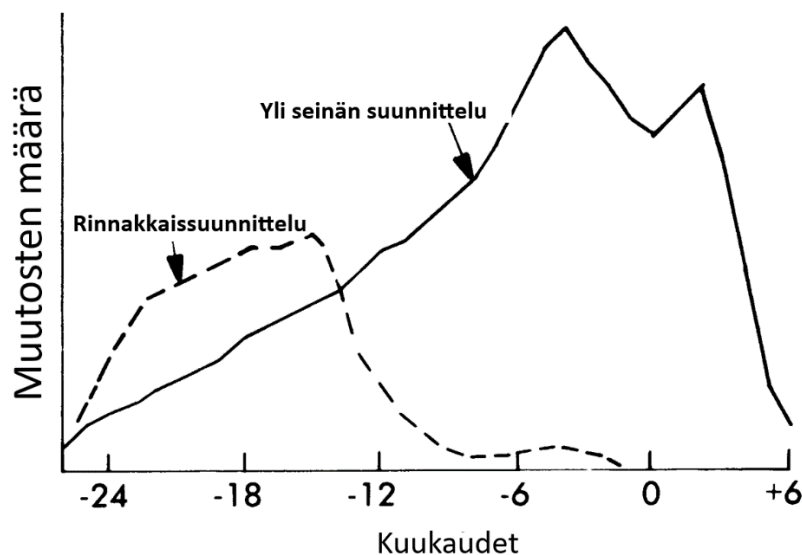
Lempiäisen ja Savolaisen mukaan (2003, s. 38) yrityksissä on eräänä ongelmana se, että suunnittelutiimi ei välitä valmistuksen ongelmista, koska johto mieltää alhaisen valmistettavuuden pelkästään valmistustiimin ongelmaksi. Tämä on kuitenkin täysin virheellinen arvio.

Näistä syistä 80-luvulla kehitettiin uusi periaate ns. rinnakkaissuunnittelu, josta käytetään myös nimitystä integroitu suunnittelu. Englanniksi tämä periaate tunnetaan nimellä

concurrent engineering. Hietikon mukaan tätä periaatetta käytetään vieläkin kovin harvassa suomalaisessa yrityksessä. (Hietikko 2015, s. 140 - 141.)

Rinnakkaissuunnittelussa suunnittelua on toteuttamassa tiimi, jossa on mukana jäseniä, jokaisesta tuotteen elinkaaren vaiheesta (markkinointi, tutkimus, suunnittelu, valmistus, myynti jne.). Tämä vaatii tehokasta kommunikointia tiimin jäsenten välillä. (Hietikko 2015, s. 140 - 141.)

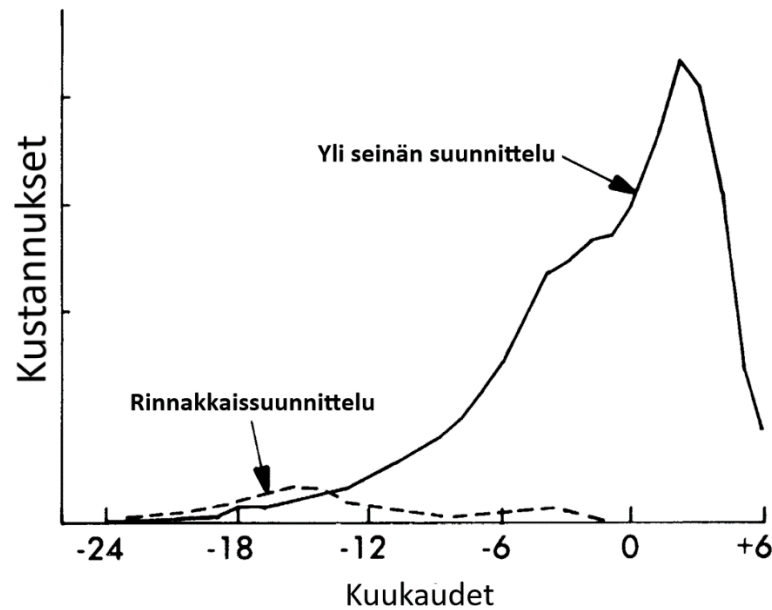
Rinnakkaissuunnittelun hyödyt voidaan havaita kuvista 7 ja 8. Kuvassa 7 on esitetty kuvaajana, rinnakkaissuunnittelun sekä ”yli seinän” periaatteen muutosten määrä tuotekehityksessä suhteessa aikaan. Kuvaajassa vaakarivillä on aika, jossa 0 kuukausi kuvastaa tuotteen julkaisupäivää ja pystyriivillä on suunnittelutiimin tekemien muutoksien määrä tuotteeseen. Kuvaajasta voidaan huomata kuinka ”yli seinän” periaatteessa suunnittelussa joudutaan tekemään muutoksia paljon enemmän etenkin 6 kuukautta ennen ja jälkeen tuotteen julkaisun. (Farris N.Db.)



Kuva 7. Suunnittelun muutosten määrä suhteessa aikaan (Farris N.Db).

Kuvasta 8 näemme tuotekehityskustannukset rinnakkaissuunnittelussa ja ”yli seinän” suunnittelussa suhteessa aikaan. Kuvia 7 ja 8 vertailemalla huomataan, että kuvaajien muodot ovat samantyyppiset. Rinnakkaissuunnittelussa tuotekehityksen alkuvaiheessa kustannukset ovat korkeimmillaan, koska siinä vaaditaan yrityksen eri tiimejä

osallistumaan tuotekehitykseen ja tuotteen suunnitteluun. ”Yli seinän” periaatteessa tuotekehityskustannukset ovat huomattavasti korkeampia, varsinkin juuri tuotteen julkaisun jälkeen, koska silloin monia työntekijöitä tarvitaan korjaamaan huomattuja ongelmia. (Farris N.Db.)



Kuva 8. Tuotekehityskustannukset suhteessa aikaan (Farris N.Db).

5.2 DFMA ajattelu

DFMA on lyhenne sanoista ”design for manufacture and assembly”. Se yhdistää DFA ja DFM ajattelua. DFA tulee sanoista ”design for assembly” ja DFM sanoista ”design for manufacture”. DFA on ajattelutapa, jolla pyritään suunnittelemaan osat helposti kokoonpantaviksi. DFM on ajattelutapa, jolla pyritään suunnittelemaan osat helposti valmistettaviksi. Boothroydin mukaan DFMA:ta käytetään kolmeen päätoimintaan:

1. Rinnakkaissuunnittelun perustana, jossa suunnittelutiimi pyrkii saamaan tuotteen valmistuksen ja kokoonpanon yksinkertaiseksi tuoterakennetta kehittämällä, samalla pienentäen tuotteen kustannuksia ja suunnitteluparannuksien määrää.
2. Työkaluna arvioimaan kilpailijoiden tuotteissa olevia haasteita valmistuksessa ja kokoonpanossa.
3. Auttaa hallitsemaan kustannuksia ja neuvottelemaan toimittajien sopimuksista.

(Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 1.)

DFMA:n päätavoitteet Eskelisen et al. (2007, s. 5) mukaan ovat:

- tuotteen suunnittelun ja valmistuksen yhteistyön parantaminen
- pienentää tuotekehityksen vaatimaa aikaa ja kustannuksia
- parantaa tuotteen laatua ja luotettavuutta
- lyhentää tuotteen läpimenoaikaa
- tuottavuuden parantaminen
- kyky vastata nopeammin asiakkaan vaatimuksiin.

DFMA ajattelun keskeiset toimenpiteet tuotteen suunnittelussa Eskelisen et al. (2007, s. 5) mukaan ovat:

- minimoi osien määrä kokoonpanossa
- käytä modulaarisia kokoonpanoja
- yritä löytää osalle mahdollisimman monta eri toimintaa
- vältä lisäosien käyttö osien toisiinsa liittämisesssä
- suunnittele kokoonpanot niin, että kaikki osat voidaan asentaa samalta puolelta
- minimoi erilaisten valmistusmenetelmien ja vaiheiden käytön tarve
- suunnittele tuotteet helpoiksi valmistaa omien käytössä olevien valmistusmenetelmien mukaan
- varmista, että tarvittaville työkaluille on varattu tarpeeksi tilaa asennusvaiheessa
- käytä standardin mukaisia muotoja, työkaluja ja komponentteja
- varmista osien riittävä koneistusvara
- varmista valittujen materiaalien soveltuvuus valmistusmenetelmiin
- käytä asianmukaisia yleisiä toleransseja, jotka soveltuvat omaan tuotantoon
- varmista asennuksien virheellisyyksistä ja suunnittele osat niin, että mahdollisten valmistusvirheiden tapahduttua ne ovat vaarattomia tuotteen rakenteessa
- varmista, että pinnankarheusarvot, mittojen suuruus- ja kulmatoleranssit sekä geometriset toleranssit ovat linjassa keskenään
- käytä osia, joiden asennussuunnalla ei ole merkitystä ja vältä osia, joiden asentaminen väärin on mahdollista
- valitse valmistustapa, joka vaatii vähiten valmisteluja
- yritä toistaa samoja valmistustapoja, ajattele valmistusvaihe ikään kuin moduulina
- muista parametrisuus suunnittelussa
- suunnittele osat soveltuvaksi automaattiseen tuotantoon

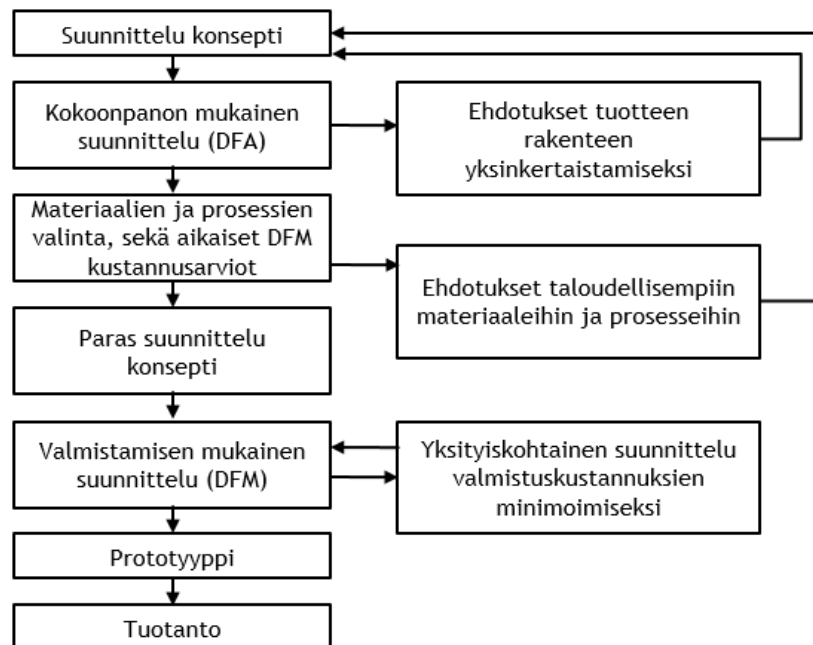
- ota huomioon ergonomia tuotteen manuaalisessa kokoonpanossa.

Lisäksi:

- minimoi erilaisten osien määrä kokoonpanossa
- minimoi joustavien osien määrä
- käytä symmetrisiä osia tai jos se ei ole mahdollista tee osat selvästi epäsymmetrisiksi
- minimoi ruuvien määrä.

(Meuleman Electronics 2017.)

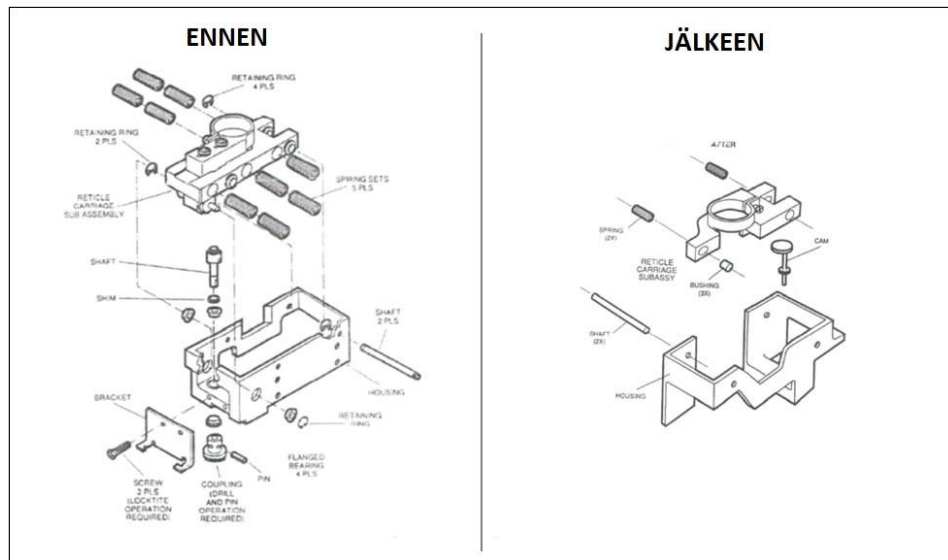
DFMA prosessikuvaus nähdään kuvasta 9. Ensimmäisenä tuotteen suunnitteluun sovelletaan DFA ajattelua, jonka avulla saadaan yksinkertaistettua tuotteen rakennetta. Seuraavaksi valitaan sopivat materiaalit, jotka vastaavat tuotteen vaatimuksia. Parhaan mahdollisen konstruktion löydyttyä tuotteen, joka osaan sovelletaan DFM ajattelua, jolla pyritään minimoimaan valmistuskustannukset.



Kuva 9. DFMA prosessi (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 14).

Kuva 10 havainnollistaa miten DFMA toimii käytännössä. Kuvassa on esitetty Texas Instrumentsin kehittämä asestä tähtäin panssarivaunuun. Vasemmalla nähdään alkuperäinen suunnittelu ja oikealla sama DFMA ajattelun jälkeen. Kuvasta voidaan jo huomata kuinka

ennen DFMA ajattelua tuote sisältää monia erilaisia osia ja ne voidaan myös asentaa väärin. DFMA ajattelun jälkeen sama tuote sisältää vähemmän osia ja ne ovat paljon helpompia asentaa. (Meuleman Electronics 2017.)



Kuva 10. Tuote ennen ja jälkeen DFMA ajattelua (Meuleman Electronics 2017).

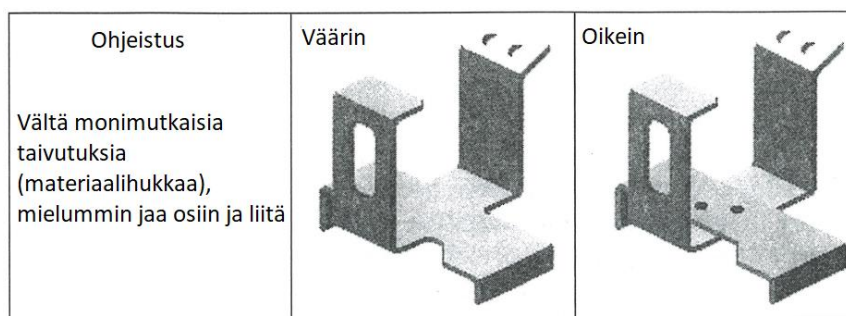
Taulukosta 1. voidaan havaita eriteltynä, kuinka DFMA ajattelulla saatiin vähennettyä kuvassa 10 esitellyn tuotteen kokoonpano-aikaa 84,7 %, erilaisten osien määrää 66,7 %, kaikkien osien määrää 74,5 %, säätöjen määrää 77,6 %, metalliosien valmistusaikaa 71,1 % ja painoa 45,8 %. On ilmeistä, että nämä parannukset vaikuttavat myös tuotteen kokonais-valmistuskustannuksiin merkittävästi.

Taulukko 1. Tuote ennen ja jälkeen DFMA ajattelua (Meuleman Electronics 2017).

	Alkuperäinen	DFMA:n jälkeen	Parannus
Kokoonpano-aika (h)	2,15 h	0,33 h	84,7%
Erilaisten osien määrä	24	8	66,7%
Kaikkien osien määrä	47	12	74,5%
Säätöjen määrä	58	13	77,6%
Valmistusaika metallisille osille	12,63 h	3,65 h	71,1%
Paino (kg)	0,22	0,12	45,8%

DFMA ajattelussa on kuitenkin syytä ottaa huomioon koko valmistusprosessi eikä vain sitä, kuinka tehdään yksittäiset osat helpommin valmistettavaksi. Esimerkkinä tästä vuonna

1971 julkaistu suunnitteluohje, joka korosti virheellisesti yksinkertaistamaan yksittäisen osan valmistamisen. Kuvassa 11 virheellisesti ohjeistettu yksittäisen monimutkaisen osan korvaaminen useammalla yksinkertaisemmalla osalla. Vaikka materiaalikustannukset ovat pienemmät ”oikein” ohjeistetussa osassa, kokonais-valmistuskustannukset ovat yli 50 % enemmän kuin ”väärin” ohjeistetussa osassa. Tämä voidaan havaita taulukosta 2, jossa kokonais- valmistuskustannukset ovat laskettu molemmille osille, kun niitä on valmistettu 100.000 kappaleen erät. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 5-6.)



Kuva 11. Väärin ohjeistettu suositus ohutlevyosan valmistustavaksi (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 6).

Taulukko 2. Valmistuskustannukset dollareissa (\$) kuvan 11 osille, kun 100.000 kappaletta on valmistettu (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 6).

	Väärin	Oikein
Asetus	0.015	0.023
Prosessi	0.535	0.683
Materiaali	0.036	0.025
Osapala	0.586	0.731
Työstö	0.092	0.119
Kokonais valmistus	0.678	0.850
Kokoonpano	0.000	0.200
Yhteensä	0.678	1.050

Tuotteen konseptisuunnitteluun eli alustavaan suunnitteluun tulee kiinnittää huomiota sillä, hyvällä konseptisuunnittelulla saadaan aikaan vain välttämättömien osien olemassaolo, mutta hyvällä komponenttisuunnittelulla ei välttämättä aikaansaada kilpailukykyistä tuotetta. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 18).

Osien vähentäminen kokoonpanossa johtaa monesti niiden monimutkaistumiseen, mutta nykyiset valmistusmenetelmät mahdollistavat monimutkaistenkin osien tuotannon. Levytyötekniikoissa edistys on ollut viime aikoina erityisen nopeaa mittatarkkuuden ja monimutkaisten muotojen toteutuksen osalta. Jokainen pois jätetty osa vaikuttaa merkittävästi kiinteisiin kustannuksiin, koska sitä ei enää tarvitse:

- suunnitella
- valmistaa
- varastoida
- valvoa, onko saapunut kokoonpanoon
- ostaa
- kuljettaa
- kierrättää ja hävittää.

(Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 71.)

Osien, nimikkeiden ja erilaisten osien määrän minimointiin tuotteessa käytännön ohjeita Lempiäisen & Savolaisen (2003, s. 72) mukaan ovat:

- Andersonin laki: Älä suunnittele osaa, jonka voit ostaa luettelon perusteella.
- Tee osista symmetrisiä, jotta vältytään osien oikea-vasen versioita ja joiden tunnistus on vaikeaa sekä aiheuttaa virheasentamisen riskin.
- Älä käytä standardiosista kuten ruuveista joka eri pituutta, halkaisijaa, kantamuotoa ja pintakäsittelyvaihtoehtoa. Näin vältytään, että varastot ei täyty eri kokoisista ruuveista.
- Pyri käyttämään eri tuotteissa samoja osia. Osien valmistusmäärän kasvu pienentää myös muuttuvia kuluja.

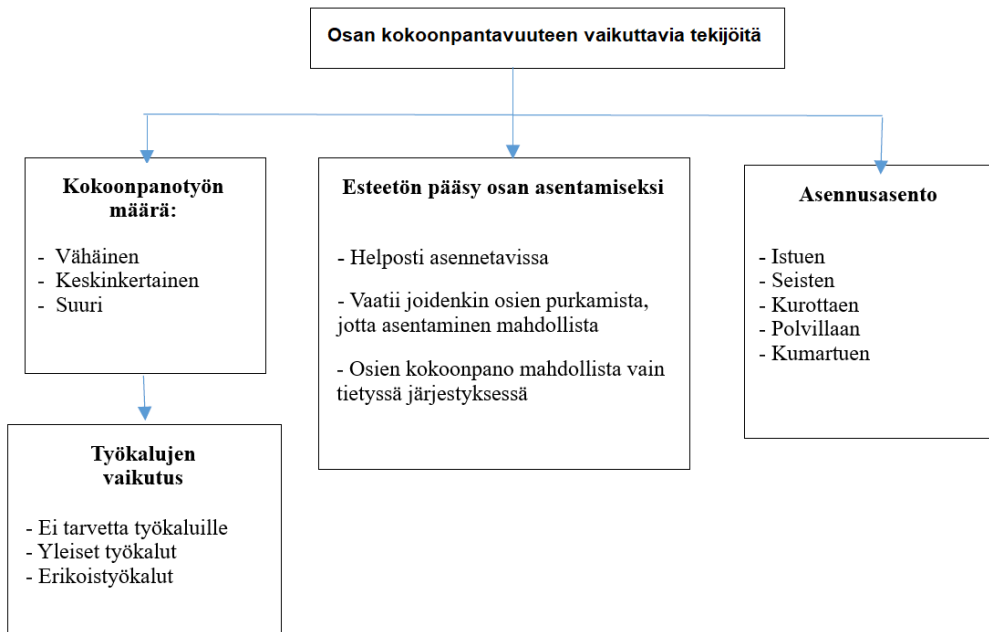
DFMA ajattelun avulla voidaan aikaansaada valtavia parannuksia tuotteen kokoonpantavuuteen. DFMA ajattelu pyrkii vähentämään osien määrää tuotteessa, jonka ansiosta tuotteen kokoonpano on yksinkertaisempi ja nopeampi, se on edullisempi valmistaa sekä se lisää laatua, koska on vähemmän osia, jotka voivat vikaantua. Myös tuotteen tuotekehityksestä tulee nopeampaa, koska on vähemmän osia suunniteltavana. (Lewis 2014, s. 73.) Kokemusten mukaan myös tuotteen huollettavuus ja purettavuus on parempi, kun tuotteen kokoonpano helpottuu. Suunnittelussa DFMA ajattelua tulisikin

soveltaa entistä enemmän tuotteisiin, jotka vaativat jatkuvaa huoltoa. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 18.)

DFM ajattelun mukaisessa suunnittelussa myös suunnittelijan tulee tuntea osan valmistusmenetelmät (Hietikko 2015, s. 170). Tärkeää tuotteen DFMA ajattelun mukaisessa suunnittelussa on, että ensin tehdään oikeita asioita ja vasta sen jälkeen tehdään asiat oikein (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 14). Ensimmäinen DFMA:n tavoite on vähentää osia kokoonpanossa ja sen jälkeen tehdä osat mahdollisimman nopeiksi ja helpoiksi asentaa (Hietikko 2015, s. 167).

Osan kokoonpantavuuteen vaikuttaa mm. komponenttien asentamiseen vaadittu työn määrä, kokoonpantavan osan sijainti (miten helposti siihen pääse käsiksi), kokoonpanijan vaaditut työasennot ja työkalut. Nämä tekijät vaikuttavat merkittävästi onnistuneen kokoonpanoprosessin saavuttamisessa. Useimmissa kokoonpanoprosesseissa tarvitaan yleisiä työkaluja, kuten esimerkiksi ruuvimeisseleitä ja ruuvien vääntötyökaluja. Jos komponenttien asentamiseen tarvitaan hyvin paljon voimaa, yleensä tarvitaan erikoistyökaluja niiden asentamiseen. Joidenkin osien kohdalla voidaan myös vaatia erikoistyökaluja niiden onnistuneen asennuksen saavuttamiseksi. (Desai 2019, s. 887.)

Voidaan helposti päätellä, että kokoonpanoon vaadittu aika on suoraan suhteessa kokoonpanotyön määrään, kokoonpanossa osien luokse pääsevyyteen, luonnottomiin tai luonnollisiin asennusasetoihin sekä osan monimutkaisuuteen. Luonnottomissa asennoissa työskentely johtaa kokoonpanotyöntekijöiden eriasteiseen väsymiseen, mikä vaikuttaa heidän tuottavuuteensa. Suunnittelulla voidaan vaikuttaa huomattavasti osien kokoonpantavuuteen, esimerkiksi osien muodolla ja geometrialla, materiaalilla, vaadittujen kiinnittimien tyyppillä ja niiden määrällä kokoonpanotoimintoja kohden. Kuvassa 12 on esitetty kokoonpantavuuteen vaikuttavia tekijöitä. (Desai 2019, s. 887.)



Kuva 12. Kokoonpantavuuteen vaikuttavia tekijöitä (Desai 2019, s. 887).

Tässä tutkimustyössä tutkittavan uuden kehittyneemmän tuotteen suunnittelussa hyödynnetään rinnakkaissuunnittelun periaatetta yhdessä valmistusyksikön kanssa, jotta tuote olisi suunniteltu valmistuksen näkökannalta kerralla oikein ja siinä olisi huomioitu asioita, jotka helpottavat tuotteen valmistusta ja kokoonpanoa. Virheiden korjaaminen on aina kalliimpaa jälkikäteen. Tämän tutkimustyön uuden kehittyneemmän tuotteen suunnittelussa pyritään DFMA ajattelulla samaan tuotteiden osien lukumäärää vähennettyä sekä saamaan niistä helpommin asennettavia. Nämä nopeuttavat ja helpottavat tuotteen valmistusta, jotka puolestaan laskevat tuotteen valmistuskustannuksia. Tuotteen kokoonpanon helpottuessa myös tuotteen purettavuus ja huollettavuus helpottuu.

6 KOKOONPANTAVUUDEN ARVIOINTIMENETELMIÄ

Kokoonpantavuuden arviointiin on kehitetty useita eri menetelmiä eri tutkijoiden toimesta mm.

- Hitachi kokoonpantavuuden arviointimenetelmä AEM (Assemblability Evaluation Method)
- Lucas DFA menetelmä
- Fujitsu tuottavuuden arviointimenetelmä
- Boothroyd Dewhurst DFA menetelmä
- AT&T DFA menetelmä
- Sony DFA menetelmä
- SAPPHIRE (ohjelmistopaketti, jolla voidaan analysoida kokoonpantavuutta)

Kahta eri menetelmää käyttämällä ja niitä vertailemalla voidaan varmistaa parempi suunnittelurakenne. Menetelmät keskittyvät objektiiviseen suunnittelun arviointiin.

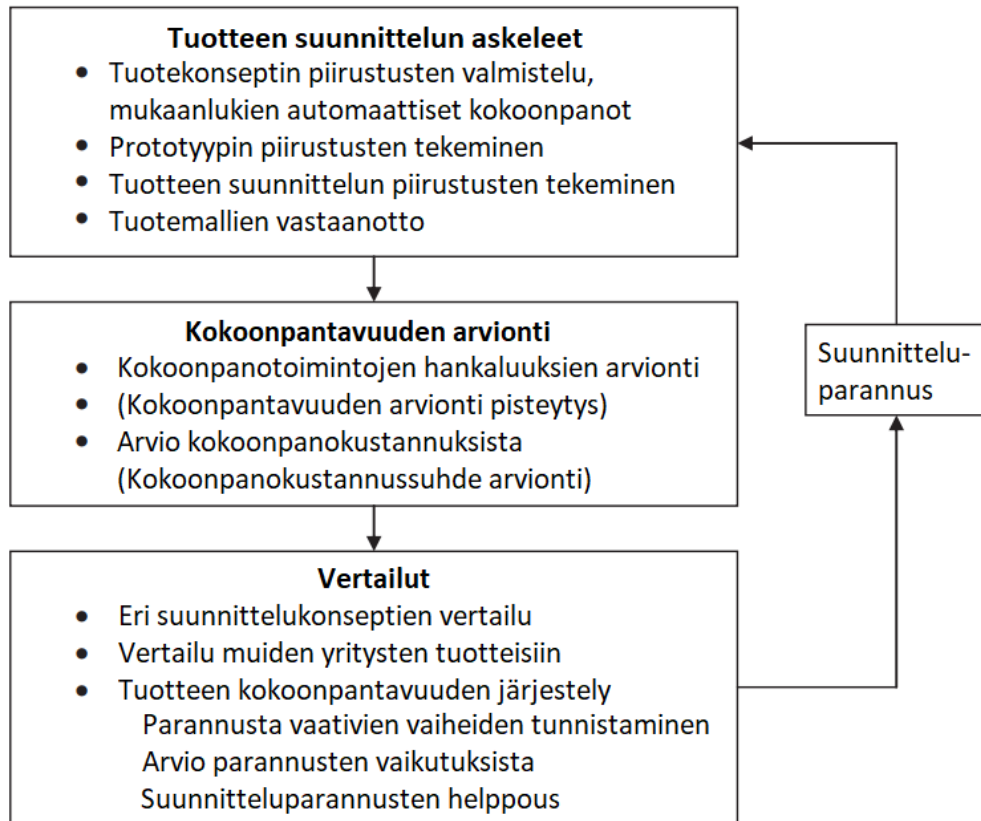
Tässä luvussa esitellään tarkemmin Hitachin AEM menetelmä, Lucas DFA menetelmä ja Boothroyd Dewhurst DFA menetelmä. (Mital et al. 2008, s. 140.) Kaikkiin näihin kolmeen menetelmään on olemassa tietokoneohjelmisto, joka helpottaa kokoonpantavuuden arviointeja ja niiden dokumentointia (Leaney et al. 1992).

6.1 Hitachi kokoonpantavuuden arviointimenetelmä (AEM)

Hitachin AEM menetelmä esitettiin ensimmäisen kerran vuonna 1967. (Leaney et al. 1992.) Hitachi kehitti AEM menetelmän yrittäessään automatisoida nauhatallentimen mekanismin kokoonpanon. Menetelmää parannettiin vuosien ajan ja vuonna 1990 julkaistiin uusi versio AEM menetelmästä. Parannuksia tehtiin mm. kokoonpanon kustannusarvion tarkkuuteen yksittäisissä osissa. (Eskilander 2001, s. 47.)

Hitachin menetelmä pyrkii parantamaan suunnittelua tunnistamalla heikkoudet suunnittelun varhaisessa vaiheessa. Menetelmässä käytetään kokoonpantavuuden arviointiin kokoonpantavuuden suhdetta (E) ja kokoonpanon kustannussuhdetta (K). Tämä on ainoa arviointimenetelmä, joka ottaa huomioon myös tuotantotalouden eikä näin ollen

ole luonteeltaan täysin tekninen. Kuva 13 esittää kuinka Hitachin menetelmää sovelletaan suunnittelun yhteydessä. (Mital et al. 2008, s. 141.)



Kuva 13. Hitachi AEM (Mital et al. 2008, s. 141).

Hitachin menetelmässä tuotteen kokoonpanossa tulee ensiksi tunnistaa jokaisen asennettavan osan toimenpiteet ja tarvittavat liikkeet asennuksessa. Yksinkertaisemmaksi liikkeeksi Hitachin menetelmässä on ajateltu olevan sekä ihmiselle, että koneelle, alaspäin suuntautuva liike. Jos liike poikkeaa tästä yksikertaisesta alaspäin olevasta liikkeestä, annetaan sille rangaistuspisteitä erillisen taulukon mukaisesti. AEM menetelmässä käytetään symboleja kuvastamaan tiettyjä liikkeitä ja toimia kokoonpanossa. Näitä symboleja on 20, esimerkiksi: osan asennukseen tarvittavat liikkeet, kiinnitys, muovaus, kiertäminen ja liittäminen. (Leaney et al. 1992.)

Arviointimenettelyssä, paras pistetulos joka osalle on 100. Jokainen osa käydään läpi ja niille annetaan rangaistuspisteet, jotka vähennetään 100 pisteestä. Tuotteen kokoonpanon asennettavuuden kokonaisarvo E saadaan osien pisteiden keskiarvosta. Hyvän

kokoonpantavuuden raja on 80 pistettä ja sitä voidaan pitää myös rajana automatisoidulle kokoonpanolle. (Leaney et al. 1992.)

Kokoonpantavuuspisteet ei kuitenkaan ota kantaa osien vähentämisen tuomista hyödyistä, tämän takia käytetään myös kustannussuhdetta K . K :n arvo saadaan jakamalla uuden tuotteen kokoonpanon kokonaiskustannukset vanhan tuotteen kokoonpanon kokonaiskustannuksilla. Tavoite on saada arvoksi 0,7 eli vähennettyä kokoonpanon kokonaiskustannuksia 30 %. Tavoitteeseen päästään vähentämällä osia tai tekemällä ne helpommin asennettavaksi. (Leaney et al. 1992.)

6.2 Boothroyd Dewhurst DFA menetelmä

Professori Geoffrey Boothroydin DFA menetelmästä ensimmäinen kirjapainos julkaistiin vuonna 1980 (Leaney et al. 1992). Vuonna 1983 perustettiin yhtiö Boothroyd Dewhurst, Inc. sekä tietokoneohjelmisto DFA menetelmästä. Yhtiö on siitä asti kehittänyt DFA menetelmää, jo yli 30 vuoden ajan. (DFMA 2021a.)

Boothroydin DFA menetelmä on saatavissa manuaaliselle, robotisoidulle, automatisoidulle sekä piirilevyjen kokoonpanoille. Tunnetuin näistä on manuaalisen kokoonpanon DFA menetelmä. (Eskilander 2001, s. 51.)

Boothroydin menetelmä pyrkii vähentämään kokoonpanossa tarvittavien osien kokonaismäärää, huomioimalla käsittely- ja kokoonpanoajat (Mital et al. 2008, s. 140). Boothroydin menetelmässä keskeisenä tekijänä on arvioida kokoonpanossa jokaisen osan tarpeellisuus kysymällä kolme eri kysymystä jokaisen osan kohdalla. Kysymykset ovat seuraavat:

1. Pitääkö osan liikkua erillään muiden asennettujen osien kanssa? Vain suuret liikkeet sallitaan, esimerkiksi pienet liikkeet voidaan toteuttaa kiinteillä elastisilla elementeillä.
2. Pitääkö osan olla eri materiaalia tai olla eristetty muista asennetuista osista?
3. Pitääkö osan olla irrotettavissa, jotta muiden osien asentaminen on mahdollista?

(Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 10-11.)

Jos osan kohdalla vastaus on kyllä, johonkin näistä kolmesta kysymyksestä, lasketaan se mukaan osien teoreettiseen minimimäärään (N_{min}). Kokoonpanotehokkuus E_{ma} voidaan laskea Boothroydin mukaan seuraavasti:

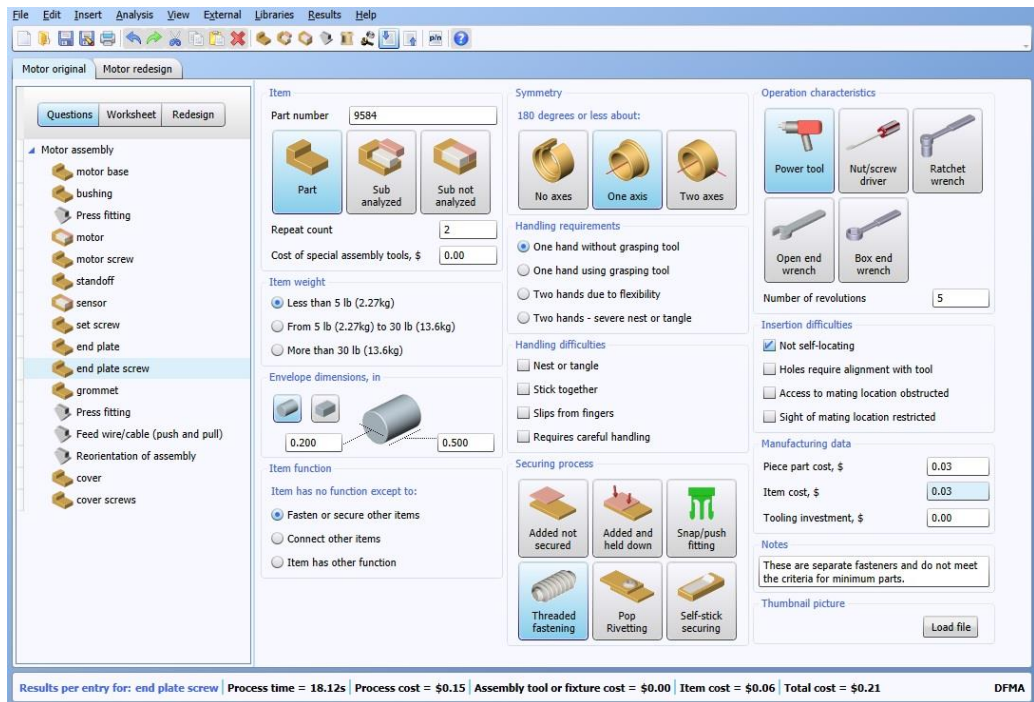
$$E_{ma} = \frac{N_{min} t_a}{t_{ma}} \quad (1)$$

Yhtälössä 1 N_{min} on osien teoreettinen minimimäärä, t_a on perus kokoonpanoaika osalle, mikä Boothroydin mukaan on 3 s. ja t_{ma} on tuotteen kokonais-kokoonpanoaika. Mitä suurempi arvo on, sitä parempi tehokkuus on. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 82.)

Kuvassa 14 on nähtävissä kuvankaappaus Boothroyd Dewhurst DFA tietokoneohjelmasta, joka on tilattavissa Boothroyd Dewhurst yhtiöltä. Ohjelmaa käyttäneet yritykset ovat hyötynet ohjelman käytöstä tuotteissaan seuraavasti (tulokset kerätty yli sadasta julkaistusta tapauksista):

- Työvoimakustannukset -42 %
- Tuotteen osamäärä -54 %
- Erilliset kiinnittimet -57 %
- Paino -22 %
- Kokoonpanoaika -60 %
- Kokoonpanokustannukset -45 %
- Kokoonpanotyökalut -73 %
- Kokoonpanotoiminnot -53 %
- Tuotekehitysjakso -45 %
- Kokonaiskustannus -50 %

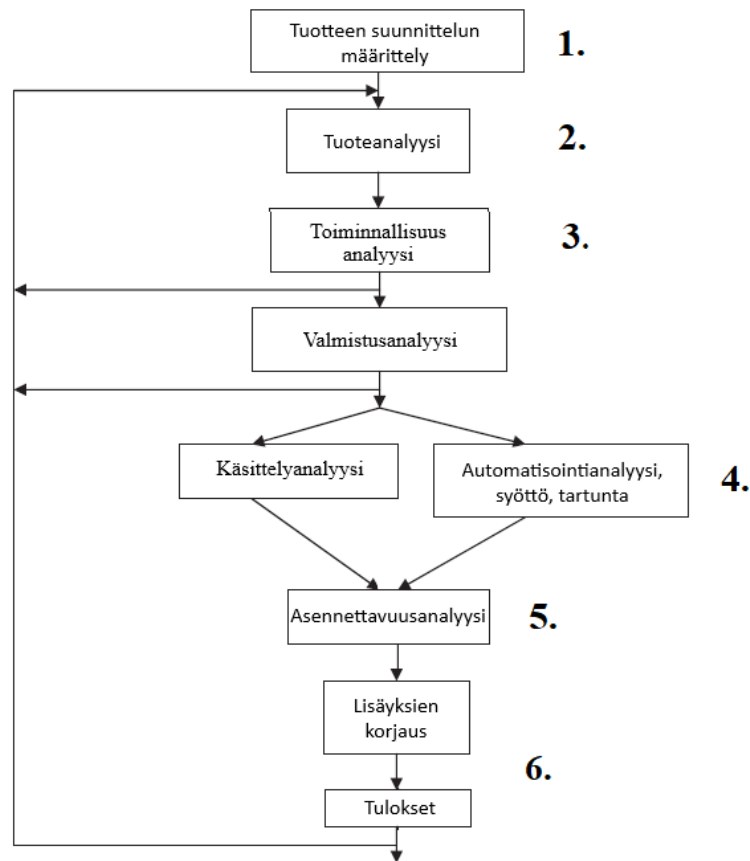
(DFMA 2021b.)



Kuva 14. Kuvankaappaus Boothroyd Dewhurst DFA tietokoneohjelmasta (DFMA 2021b).

6.3 Lucas DFA menetelmä

Lucas DFA menetelmä on kehitetty 1980 luvun alussa Iso-Britanniassa Lucas Corporationin toimesta. Lucas DFA menetelmässä kokoonpantavuuden arviointi on jaettu kolmeen erilliseen ryhmään: toiminnallisuuteen, syöttöön ja asennukseen. Kuvassa 15 on esitetty periaatekuva Lucasin DFA menetelmästä. (Mital et al. 2008, s. 140–142.)



Kuva 15. Lucas DFA menetelmä (Mital et al. 2008, s. 142).

Lucasin menetelmän vaiheet ovat seuraavat:

1. Tuotteen suunnittelun määrittely.
2. Tuoteanalyysi.
3. Toiminnallisuusanalyysi (ensimmäinen Lucas analyysi), palataan kohtaan 2, jos analyysi johtaa ongelmiin.
4. Syöttöanalyysi (toinen Lucas analyysi).
5. Asennettavuusanalyysi (kolmas Lucas analyysi).
6. Arviointi.
7. Palataan kohtaan 2 jos analyyseissa ilmenee ongelmia.

(Mital et al. 2008, s. 143.)

Toiminnallisuusanalyysi on ensimmäinen vaihe Lucasin DFA menetelmässä. Osat ovat jaettu kahteen ryhmään välttämättömiin osiin "A" ja ei välttämättömiin osiin "B",

Boothroydin menetelmän mukaisesti. Näistä osien määrästä lasketaan suunnittelurakenteen tehokkuus (DE) seuraavasti: (Mital et al. 2008, s. 143.)

$$DE = \frac{A}{A+B} * 100 \quad (2)$$

Yhtälössä 2 tavoitteena on päästä vähintään 60 % tehokuuteen, ellei tähän päästä tehdään suunnittelurakenteeseen muutoksia ennen kuin edetään toiseen vaiheeseen. Suunnittelurakenteen tavoite on, että tuotteessa olisi mahdollisimman paljon välttämättömiä osia A ja mahdollisimman vähän ei välttämättömiä osia B . (Mital et al. 2008, s. 143.)

Syöttöanalyysi on Lucas DFA analyysin toinen vaihe. Tässä vaiheessa keskitytään ongelmiin, joita kohdataan osien ja osakokoonpanojen käsittelyssä ennen varsinaista kokoonpanoa. Jokaisesta kokoonpanon osasta lasketaan yhteen pisteet A – D taulukon 3 mukaisesti. (Mital et al. 2008, s. 143.)

Taulukko 3. Lucas DFA, osan käsittely pisteytys (Mital et al. 2008, s. 144).

	Pisteet
A. Osan koko ja paino	
Erittäin pieni, tarvitsee työkaluja	1.5
Sopivan kokoinen käsillä käsittelyyn	1
Iso tai/ja painava, tarvitsee enemmän kuin yhden käden	1.5
Iso tai/ja painava, tarvitsee nostimen tai kaksi ihmistä	3
B. Käsittelyvaikeudet	
Herkkä	0.4
Joustava	0.6
Tahmea	0.5
Sotkeutuva	0.8
Osien meneminen hankalasti sisäkkäin	0.7
Terävä tai hankaava	0.3
Ei voi koskettaa	0.5
Vaikea tarttua, liukas	0.2
Ei käsittelyvaikeuksia	0
C. Osan suuntautuminen	
Symmetrinen, ei tarvitse suunnata	0
Päästä päähän helppo nähdä	0.1
Päästä päähän ei näkyvissä	0.5
D. Osan kiertosuuntaus	
Symmetrinen	0
Osan kiertosuuntaus helppo havaita	0.2
Osan kiertosuuntaus vaikea havaita	0.4

Yhteenlasketut pisteet sijoitetaan yhtälöön, jossa pisteet jaetaan välttämättömien osien A määrällä. Tästä saadaan syöttö/käsittely suhde seuraavasti: (Mital et al. 2008, s. 143.)

$$\text{Syöttö/käsittely suhde} = \frac{\text{Käsittely pisteet}}{A} \quad (3)$$

Mitä pienempi yhtälön 3 arvo on, sitä parempi. Tavoitteena on päästä enintään 2.5 suhteeseen. (Mital et al. 2008, s. 143.)

Kolmas vaihe Lucas DFA analyysiä on asennettavuusanalyysi. Tämä on samantyyppinen kuin syöttöanalyysi. Taulukon 4 mukaan lasketaan joka kokoonpanon osasta yhteen pisteet A – F, jotka sijoitetaan yhtälöön seuraavasti: (Mital et al. 2008, s. 143.)

$$\text{asennettavuus suhde} = \frac{\text{Asennettavuus pisteet}}{A} \quad (4)$$

Yhtälössä 4 pisteet jaetaan välttämättömien osien A määrällä, mistä saadaan asennettavuus suhde. Tässäkin on tavoitteena päästä enintään 2.5 suhteeseen. (Mital et al. 2008, s. 143.)

Taulukko 4. Lucas DFA asennettavuuspisteet (Mital et al. 2008, s. 145).

	Pisteet
A. Osan paikoitus ja kiinnittäminen	
Pysyy itsestään paikoillaan	1.0
Vaatii kiinnittämistä	2.0
Lisänä seuraavat:	
Itsekiinnittyvä (napsausliitos)	1.3
Ruuvattava	4.0
Niitattava	4.0
B. Prosessin suunta	
Ylhäältä alas	0
Suora, ei ylhäältä alas	0.1
Ei suora	1.6
Taivutettava	4.0
C. Osan asettaminen	
Yksi asetus	0
Monta asetusta	0.7
Vaaditaan yhtä aikaa monta asetusta	1.2
D. Pääsy tai/ja näkyvyys	
Suora	0
E. Kohdistus	
Helppo kohdistaa	0
Vaikea kohdistaa	0.7
F. Asetusvoima	
Ei vastustusta asetusvoimalle	0
Vastustaa asetusvoimaa	0.6
Rajoitettu voima	1.5

Taulukossa 5 on esitetty yhteenveto Hitachi AEM, Boothroyd Dewhurst DFA ja Lucas DFA menetelmistä.

Taulukko 5. Yhteenveto kokoonpantavuuden arviointimenetelmistä.

	Hitachi AEM	Boothroyd Dewhurst DFA	Lucas DFA
Ottaa huomioon kokoonpanokustannukset	kyllä	ei	ei
Pyrkii ensisijaisesti vähentämään osien määrää	ei	kyllä	kyllä
Huomioi käsittely ja kokoonpanoajat	ei	kyllä	ei
Osat jaettu välttämättömiin ja ei välttämättömiin	ei	kyllä	kyllä
Saatavissa erillinen tietokoneohjelmisto	kyllä	kyllä	kyllä

Tässä tutkimustyössä Sammetin 3-tiepelteihin tullaan soveltamaan Boothroyd Dewhurst DFA menetelmää ja Lucas DFA menetelmää, koska näissä menetelmissä ei tarvitse tietää tuotteen valmistuskustannuksia, joita tässä tutkimustyössä ei käsitellä suoranaisesti. Nämä menetelmät pyrkivät vähentämään tuotteen osien määrää kokoonpanossa sekä tekemään niistä helpommin asennettavia, minkä ansiosta myös tuotteen valmistuskustannukset pienenevät. Menetelmissä kokoonpantavat osat jaetaan välttämättömiin ja ei välttämättömiin osiin. Tarkoituksena olisi suunnitella tuotteet niin, että ei välttämättömiä osia olisi mahdollisimman vähän.

7 MODULAARISUUS JA STANDARDISOINTI

Tässä luvussa käydään läpi standardisoinnin, osien modulaarisuuden, liitosten modulaarisuuden, platform ajattelun ja valmistusvaiheen modulaarisuuden periaatteet. Näitä periaatteita tuotteiden suunnittelussa hyödyntämällä helpotetaan tuotteiden valmistusta, suunnittelua, tuotekehitystä sekä huoltoa.

7.1 Standardisointi

Standardisoinnilla edistetään toimintaa valikoimien ja toimintatapojen yhtenäistämällä. Hyvä standardisointi ei rajoita tai kahlitse. Standardointi auttaa vähentämään variaatioiden määrää. (Lapinleimu et al. 1997, s. 291–293.)

Yleisin ja helpoin taso yritysstandardisoinnissa on materiaalien ja tarvikkeiden standardisointi kuten: teräslaadut, ahiomitat, ruuvit, mutterit jne. Tämän rinnalla kulkee yleisistä standardeista mukaillut suunnitteluohjeet esimerkiksi sovitestandardit, tuotantokalustostandardit, kuten työvälinestandardit. (Lapinleimu et al. 1997, s. 291–293.)

Komponenttistandardisointi on yksi standardisoinnin tasoista. Komponentti on yleensä ostettu valmis kokonaisuus, jossa ei ole paljoa omaa työtä. Näitä voivat olla mm. vaihteisto, hydraulikoneikko jne. Yhden yrityksen tuote on tavallisesti toisen yrityksen komponentti. (Lapinleimu et al. 1997, s. 291–293.)

Tuotestandardisointi on vaativin standardisoinnin tasoista. Se aikaansaa standardituotteita tai moduuleja, joista kootaan tuotteita. Tuotestandardisoinnin muodot ovat standardituotteet tai moduulirakenteet. (Lapinleimu et al. 1997, s. 291–293.)

Jotta säästettäisiin aikaa ja rahaa tulee eri tuotteiden välillä jakaa samoja osia, välineitä ja tietämystä. Tyypillinen esimerkki on autoteollisuudessa, jossa käytetään monesti samaa moottoria tai lohkoa useassa eri mallissa. Toyota on äärimmäinen esimerkki siitä, kuinka jopa 60 % osista on siirretty tuotteesta toiseen. (Huhtala & Pulkkinen 2009, s. 161.)

Standardisoinnin suunnitteluperiaatteita Hietikon (2015, s. 171) mukaan ovat:

- Käytä standardiosia aina kun mahdollista, jos standardiosaa ei ole käytä samaa osaa, joka on jo suunniteltu aikaisemmin.
- Standardisoi suunnittelupiirteitä esim. kierrereiät ja -tyypit, muodot lävistetyissä aukoissa, taivutussäteet jne. Näin tuotannossa tarvitaan vähemmän eri työkaluja.
- Minimoi standardiosien tyypimäärät, mitä vähemmän nimikkeitä, sitä vähemmän dokumentointia, testausta, tilausta, toimitusta, varastointia jne.
- Minimoi kokoonpanon osien määrä.

7.2 Osien modulaarisuus

Moduuli on standardisoitu osakokoonpano, joka yleensä vaatii omaa työtä. Yhden yrityksen standardikomponentti voi olla toisen yrityksen moduuli tai moduuleista koottu tuote. (Lapinleimu et al. 1997, s. 294.)

Lempiäisen ja Savolaisen mukaan (2003, s. 47) tuotteen moduloinnilla tarkoitetaan tuotteen jakamista valmistuksen kannalta parhaisiin mahdollisiin osakokoonpanoihin. Moduloinnilla pyritään vähentämään tuotteen osia ja käyttämään mahdollisimman paljon samanlaisia osia. Tarkoituksena on, että moduuli sopisi mahdollisimman moniin yrityksen valmistamiin tuotteisiin tai useaan kohteeseen yhdessä tuotteessa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 84.)

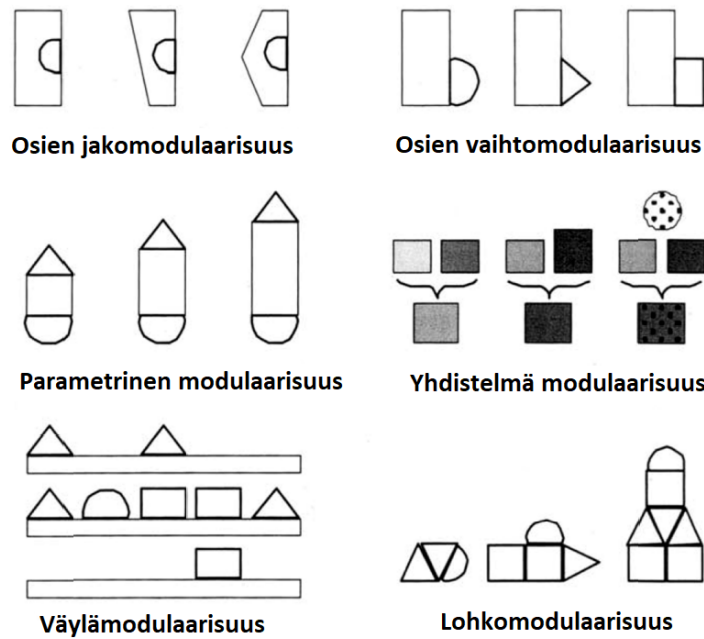
Moduuleilla voidaan saada aikaan kokosarja, rakennesarja tai molemmat. Moduuleina voidaan pitää mm. laadullisia moduuleja kuten telan leveys ja määrällisiä moduuleja esim. telojen määrä. Moduulirakenteilla eri variaatiot ovat nopeasti yhdisteltävissä standardimoduuleista. Se tekee suunnittelusta helppoa ja virheetöntä sekä tuotekehityksen kohdistaminen helpottuu. (Lapinleimu et al. 1997, s. 294-298.)

Erityisesti kokoonpanossa moduulit ovat tärkeitä. Moduulirakenteella saadaan tyypillinen sekatuotantokokoonpano hallintaan, koska tuotteen kokoonpano voidaan jakaa eri osakokoonpanoiksi. (Lapinleimu et al. 1997, s. 294-298.)

Moduloinnin onnistuminen edellyttää yhteistyötä tuotesuunnittelun, valmistuksen ja markkinoinnin välillä. Yhteistyön ansiosta kaikkien näkökannat voidaan ottaa huomioon. (Lapinleimu et al. 1997, s. 294-298.)

Pakkanen (2015, s. 54) lainaa Pineä (1993), jonka mukaan modulaarisuus voidaan jakaa kuuteen eri tyyppiin kuvan 16 mukaan. Näitä ovat:

- **Osien jakomodulaarisuus** (Component-sharing modularity), jossa käytetään samaa osaa useassa eri tuotteessa.
- **Osien vaihtomodulaarisuus** (Component-swapping modularity), tämä täydentää osien jakomodulaarisuutta niin että, vaihtomodulaarisuudessa modulaariset osat yhdistetään samaan perustuotteeseen ja aikaansaadaan yhtä monta eri tuotetta kuin vaihdettavia moduuleita on käytössä.
- **Parametrinen modulaarisuus** (Cut-to-fit modularity), tämä ottaa huomioon yhden tai useamman komponentin, joka vaihtelee ennalta asetettujen rajojen mukaan.
- **Yhdistelmä modulaarisuus** (Mix modularity), yhdistelemällä erilaisia osia saadaan aikaan eri tuotteita.
- **Väylämodulaarisuus** (Bus modularity), tässä käytetään vakiorakennetta, johon voidaan liittää useita eri osia.
- **Lohkomodulaarisuus** (Sectional modularity), tässä moduloinnissa kaikilla osilla on yhdenmukaiset liitospinnat, joka mahdollistaa osien yhdistämisen mielivaltaisesti. Tämäntyyppinen modulaarisuus on vaikein saavuttaa, mutta se mahdollistaa suurimman valikoiman ja uudelleen konfiguroinnin.



Kuva 16. Moduloinnin tyypit (Pakkanen 2015, s. 55).

Moduulirakenteen ansiosta hyötyjä, joita on saatu esimerkkitapauksissa aikaiseksi Lapinleimun et al. (1997, s. 297) mukaan ovat:

- Tuotesuunnitteluun käytetty aika pudonnut esim. 50 % alkuperäisestä.
- Rajoittavasta standardisoinnista huolimatta standardivariaatioiden määrä on kasvanut.
- Tuotteen osien määrä vähentynyt esim. 50 %.
- Valmistuksen läpäisy aika pudonnut esim. kuukausista viikkoihin.
- Tuotteen laatu on parantunut.
- Materiaali- ja tuotantovarastojen kierto noussut ja niihin sitoutunut pääoma vähentynyt.
- Toimitusaikojen hallinta parantunut.
- Kilpailukyky ja tuottavuus parantunut.

7.3 Liitosten modulaarisuus

Millerin ja Elgårdin (1998, s. 14) mukaan liitosten rajapinnat voidaan jakaa kolmeen osaan:

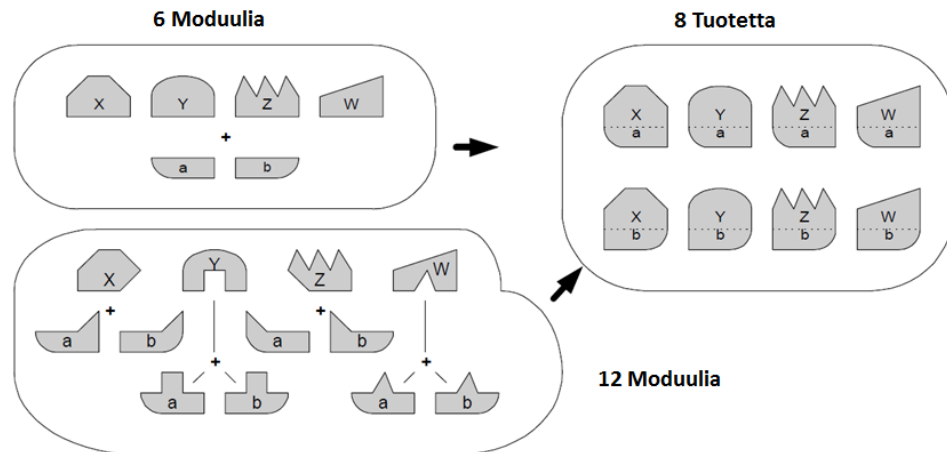
1. Toiminnalliset rajapinnat, jotka määräytyvät moduulien toiminnallisuuden mukaan
2. Mekaaniset rajapinnat, kuten mekaaniset pinnat, liittimet ja ruuvit.
3. Sähköiset rajapinnat, kuten viestintä, signaali ja teho

Modulaaristen osien liitospintojen määrittely vaatii aikaa, mutta se on erittäin tärkeää. Useat modulaarisuudella saavutettavissa olevat edut menetetään, jos modulaaristen osien liitospintojen määrittelyssä epäonnistutaan. Näitä etuja ovat mm. moduulien rinnakkainen tuotekehitys sekä mahdollisuus muodostaa moduuleista eri tuotteita. Moduloinnilla pyritään yksinkertaistamaan tuotetta, mutta moduuleissa liitoksiin liittyvät rajoitukset voivat johtaa nopeasti epäselviin keskinäisiin suhteisiin. Tämän vuoksi monesti käytetyin menetelmä liitoksien lopullisen suunnitteluratkaisun löytämiseksi on yrityksen ja erehdyksen kautta, vaatien useita eri suunnittelukierroksia. (Braidert & Weld 2003, s. 6.)

Liitospintojen suunnittelu tulisi suorittaa varhaisessa vaiheessa tuotekehitystä, jotta rinnakkaistoiminnat olisivat mahdollisia ja liitospintoihin liittyvät vaatimukset eivät aiheuttaisi suuria muutoksia itse moduuleihin. Jotta modulaarisesta konseptista on hyötyä, tulee moduuleilla olla yhteiset rajapinnat. Varhaisessa vaiheessa tulisi liitospinnoille määrittää rajoitteita esimerkiksi sijainti, mitat ja tilantarve. Liitospintojen yksityiskohtainen suunnittelu suoritetaan yhdistettävien moduulien suunnittelun aikana. Blackenfelt ja Sellgren esittelevät artikkelissaan moduulien liitospintojen suunnitteluun ns. black box menettelytavan. Siinä liitospinnoille varataan ns. ratkaisutila, jota tarkennetaan moduulien suunnittelun edetessä. Tällä tavoin moduulien liitospinnan yksityiskohtainen suunnittelu voidaan irrottaa moduulien alkuvaiheen suunnittelusta. Pitää kuitenkin muistaa, että moduulia voidaan aina muuttaa liitospintaa lukuun ottamatta, mutta kun liitospintaa muutetaan, on myös kaikkia siihen liitettäviä moduuleita muutettava. (Blackenfelt & Sellgren 2000, s. 1–2.)

Liitospintojen suunnittelussa tulisi huomioida, että ne ovat valideja myös silloin kun tuote kehittyy ennalta arvaamattomaan suuntaan. Esimerkiksi moduulien liitospinta voidaan hieman ylivoimata, jolloin se kestää myös mahdollisesti myöhemmin suunnitellun raskaamman moduulin. Liitospinnan ylivoimattamisella voidaan tarkoittaa myös esimerkiksi ylimääräisen tilavaruuden jättämistä tuotteen jatkokehitystä ajatellen. (Blackenfelt & Sellgren 2000, s. 3.)

Miller ja Elgård (1998, s. 14) esittävät havainnollisesti kuvan 17 avulla kuinka huolellisesti suunnittelulla liitospinnoilla saadaan aikaiseksi kuudesta moduulista kahdeksan eri tuotetta, verrattuna tilanteeseen, jossa on 12 moduulia ja vain kahdeksan eri tuotetta.

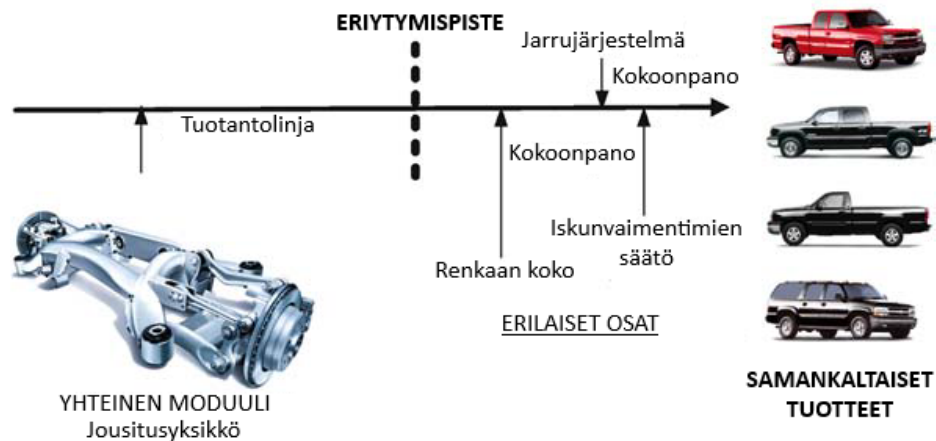


Kuva 17. Moduulien rajapinnat (Miller & Elgård 1998, s. 14).

Moduulien väliset rajapinnat vaikuttavat ratkaisevasti lopputuotteen ja tuotevalikoiman joustavuuteen. Tästä syystä rajapintaliityntöjen arviointi on tärkeää moduulikonseptin valinnassa. (Österholm & Tuokko 2001, s. 31.)

7.4 Platform ajattelu

Josen ja Tollenaeren (2005, s. 372) mukaan tuoteplatform muodostuu, kun eri tuotteet käyttävät samoja standardimoduuleja. Samaa standardimoduulia käytettäessä on helppoa luoda rajoitetusti eri tuotteita, kun siihen lisätään erityyppisiä komponentteja. Tästä esimerkkinä kuva 18, jossa eri autot jakavat saman alustanjousitusyksikön, joka on siis standardimoduuli. Linjan eriyttämispisteen jälkeen siihen lisätään kunkin auton kohdalla erilaiset renkaat, jarrujärjestelmä sekä iskunvaimentimet. Näin saadaan aikaiseksi samasta alustasta eri tuotteita.



Kuva 18. Tuoteplatform autoteollisuudessa (Jose & Tollenaere 2005, s. 373).

Rafinejadin (2007, s. 147) mukaan tuotteen platformin määrittely on yksi yrityksen tärkeimmistä strategisista päätöksistä, kun suunnitellaan uutta tuotetta. Keskittymällä tuoteplatformiin voidaan sillä yksinkertaistaa tuotteen prosessin strategiaa. Hyvin suunnitellulla tuoteplatformilla aikaansaadaan alustan elinkaaren aikana useita eri johdannaistuotteita, ilman tarvetta tehdä useita merkittäviä päätöksiä. Tuoteplatform vähentää myös tuotekehitys- ja valmistuskustannuksia. (Rafinejad 2007, s. 147.)

Jokaiselle asiakkaalle erikseen kehitettävän ja valmistettavan tuotteen sijaan on järkevämpää kehittää samankaltaisista tuotteista muodostettu tuoteperhe. Tuoteperheen syntyä edesauttaa vakiintunut tuotealusta, josta luodaan halutun kaltaisia variantteja modulaarisen rakenteen avulla. Tuotealustan ja sille perustuvan tuoteperheen kehityksen nähdään kuitenkin usein olevan liian monimutkaista ja se pitää sisällään riskin epäonnistumisesta, minkä vuoksi yrityksen on helpompaa keskittyä yksittäisen tuotteen kehitykseen. (Ohvanainen & Hietikko 2012, s. 181.)

7.5 Valmistusvaiheen modulaarisuus

Modulaarisuus voidaan laajentaa koskemaan myös valmistusprosesseja. Valmistusvaiheen modulaarisuudessa on tärkeä tuntee valmistusprosessit kunkin komponentin kohdalla. Tarkoituksena on saavuttaa samankaltaisia ja toistuvia piirteitä eri komponenttien välillä, joiden ansiosta erilaisiin osiin voidaan soveltaa samoja valmistusprosesseja ja -asetuksia. Tämän ansiosta tuotteiden valmistuksen läpimenoaika ja kustannukset laskevat. (Shaik et al. 2015, s. 791-792.)

Tässä tutkimustyössä hyödynnetään pääluvussa esitettyä osien standardisoinnin periaatetta niin, että uuden kehittyneemmän tuotesarjan suunnittelussa pyritään jakamaan mahdollisimman paljon samoja osia, välineitä ja tietämystä tuotteiden kesken, jotka puolestaan säästävät aikaa ja rahaa. Osien modulointi on tärkeää erityisesti kokoonpanoissa. Tämän tutkimustyön uuden kehittyneemmän tuotteen suunnittelussa pyritään moduulirakenteella saamaan sekatuotantokokoonpano hallintaan, kun tuotteen kokoonpano voidaan jakaa selkeästi eri osakokoonpanoihin. Huolellisella suunnittelulla liitoksista saadaan modulaarisia ja mahdollisimman moni osa on liitettävissä keskenään toisiinsa kuvan 17 mukaisesti. Platform ajattelussa on tarkoituksena muodostaa tuoteperhe, jossa on vakiintunut tuotealusta, josta muodostetaan samankaltaisia eri tuotteita

modulaarisen rakenteen avulla kuvan 18 mukaisesti. Hyvin suunnitellulla tuoteplatformilla aikaansaadaan alustan elinkaaren aikana useita eri johdannaistuotteita, ilman tarvetta tehdä useita merkittäviä päätöksiä. Tuoteplatform laskee tuotekehitys- ja valmistuskustannuksia. Valmistusprosessit voidaan myös moduloida ja saavuttaa samankaltaisia ja toistuvia piirteitä eri komponenttien välillä, joiden ansiosta erilaisiin osiin voidaan soveltaa samoja valmistusprosesseja ja -asetuksia. Tämän ansiosta tuotteiden valmistuksen läpimenoaika ja kustannukset laskevat.

8 TUOTTEEN KOKOONPANOJÄRJESTELMÄT

Tässä luvussa käydään läpi tuotteen eri kokoonpanojärjestelmiä. Luvussa esitellään automatisoidun, robotisoidun ja manuaalisen kokoonpanon kustannusten suhde tuotteen valmistusmäärään. Manuaalisesta kokoonpanosta esitellään kolme eri järjestelmää, jotka ovat: kokoonpanopaikka, kokoonpanolinja ja kokoonpanotehdas.

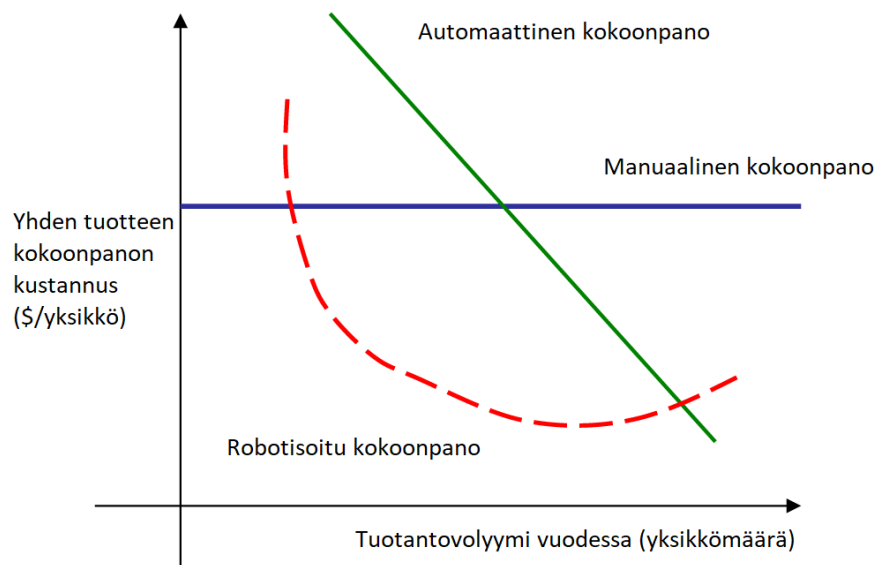
Kokoonpanoksi kutsutaan omassa tehtaassa eri vaiheissa valmistettujen sekä muualta hankittujen osien, standardikomponenttien ja -tarvikkeiden liittämistä toisiinsa, joista muodostuu tuote tai sen osa. Asiakkaan luona tehtävää kokoonpanoa kutsutaan asennukseksi. (Lapinleimu et al. 1997, s. 111.)

Kokoonpano voidaan tehdä manuaalisesti, automaattisesti, tai roboteilla. Manuaalisessa kokoonpanossa työntekijät suorittavat kokoonpanon manuaalisesti ilman välttämätöntä tarvetta yksikertaisille työkaluille kuten ruuvimeisseli tai pihdit. (Desai 2019, s. 881.) Työntekijä voi olla kiinteästi kokoonpanopisteellä vaikkapa penkillä tai siirtyä kokoonpanopaikasta toiseen tuotteen mukana (Swift & Booker 2013, s. 281). Manuaalisessa kokoonpanossa yksikkökustannus on vakio ja se ei vaadi suurta pääoman sijoitusta alkuvaiheessa. Erilaisilla työkaluilla helpotetaan kokoonpanoa. Manuaalisessa kokoonpanossa on monesti yläraja tuotantovolyymille ja työkustannukset ovat korkeita. Esimerkkejä kustannuksista, joita tulee työntekijöiden palkan lisäksi ovat erilaiset maksettavat etuudet työntekijöille, työntekijöiden loukkaantumisesta aiheutuneet kustannukset sekä terveellisen ja puhtaan työskentely-ympäristön ylläpitäminen. (Desai 2019, s. 881–882.)

Automaattisessa kokoonpanossa käytetään synkronoituja indeksointilaitteita ja syöttölaitteita. Järjestelmä on tyypillisesti rakennettu mittatilaustyönä, vain yhtä tuotetta varten. Yhden tuotteen hinta laskee mitä suuremmat ovat tuotantomäärät, näin ollen tuotantomäärän kasvaessa pääomasijoituksen osuus valmistuksen kokonaiskustannuksista pienenee. Indeksointipöydät, syöttölaitteet ja automaattiset ohjaukset tekevät kokoonpanomenetelmästä jäykän. (Desai 2019, s. 881–882.)

Robotisoitu kokoonpano tai ”pehmeä” automaatio on joustava kokoonpanomenetelmä. Käytössä voi olla yksittäinen robotti tai moniasemainen robotisoitu kokoonpanosolu. Kaikkia toimintoja ohjataan samanaikaisesti tietokoneelta. Menetelmällä voidaan päästä yhtä suurin tuotantomäärin kuin automaattisessa kokoonpanossa. Robotisoitu kokoonpano on hyvin joustava, joka kompensoi suuria pääomavaatimuksia. (Desai 2019, s. 881–882.)

Manuaalisen automaattisen ja robotisoidun kokoonpanon kustannukset tuotetta kohden nähdään vuotuisen tuotantomäärään verrattuna kuvan 19 kuvaajassa. Voidaan havaita, että manuaalisen kokoonpanon kustannus on kiinteä riippumatta tuotantomäärästä. Automaattisen kokoonpanon kustannus tuotetta kohden on lineaarinen ja kääntäen verrannollinen vuotuisen tuotantomäärään. Robotisoidun kokoonpanon kustannusten suhde tuotantomäärään on hieman monimutkaisempi, johtuen prosessin joustavuudesta. (Desai 2019, s. 881–882.)



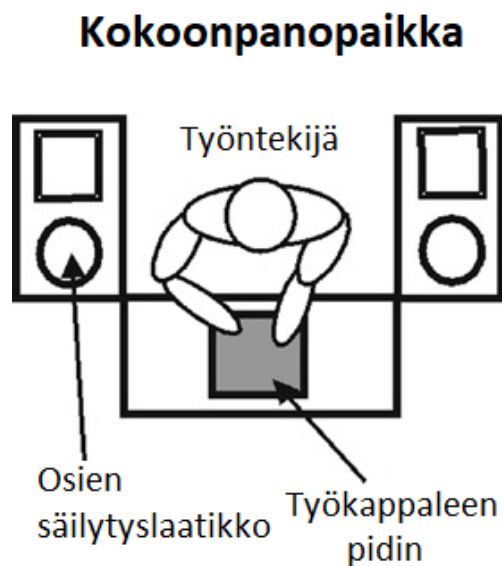
Kuva 19. Tuotteen kokoonpanokustannusten vertailu eri menetelmillä (Desai 2019, s. 882).

Kokoonpanotyö sisältää kappaleiden käsittelemistä, siirtämistä, varastointia, liittämistä, sovittamista sekä tarkastamista. Periaatteessa vain liittämistyö kohottaa tuotteen jalostusarvoa. Muut toiminnot kuten, tarkastaminen, siirrot, käsittelyt ja varastoinnit aiheuttavat kustannuksia ja aikaviivettä, mutta ilman näitä toimintoja kokoonpano ei ole mahdollista. Näiden jalostusarvoa vähentävien toimintojen osuus on pyrittävä pitämään mahdollisimman vähäisenä. Suuret kustannukset kokoonpanossa eivät aina johdu itse

kokoonpanotyöstä, vaan periytyvät edeltävistä vaiheista, joissa kokoonpanoa ei ole otettu riittävästi huomioon. Tärkeää ja olennaista on osien saaminen mahdollisimman lähelle tuotetta, johon ne asennetaan. (Lapinleimu et al. 1997, s. 111-112.)

Lapinleimun et al. (1997, s. 111) mukaan kokoonpano voidaan järjestää paikkakokoonpanoksi tai linjakokoonpanoksi. Erillisissä kokoonpanotehtaissa tapahtuu suurten valmistusmäärien kokoonpano. Kokoonpantavia osia on omasta valmistuksesta tulevia sekä varasto-ohjattavia C-osia, joiden hoitovastuu voidaan antaa kokoonpanolle.

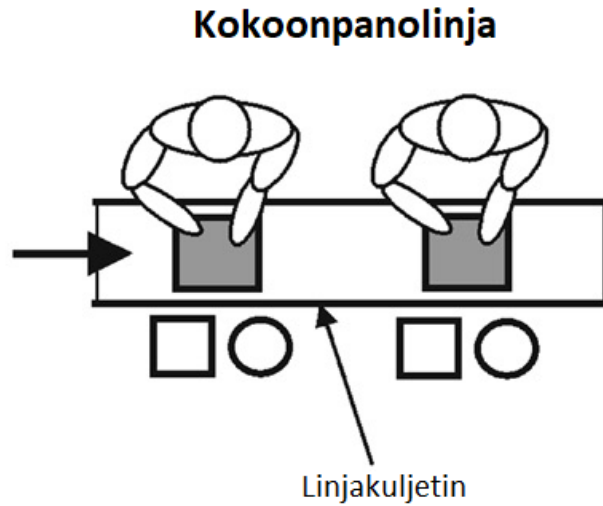
Kokoonpanopaikka soveltuu yksittäis- ja pienerätuotantoon. Kokoonpanopaikka on kiinteä ja sen hoitaa kokonaisuudessaan yksi henkilö tai työryhmä. Kokoonpano voi olla jaettu eri ammattialoihin esimerkiksi, mekaaniset-, sähköiset- ja hydrauliset kokoonpanotyöt. Työn jakamisen seurauksena työn joustavuus ja tuottavuus voivat kärsiä verrattuna tasa-arvoiseen ryhmään. (Lapinleimu et al. 1997, s. 112.) Kuvassa 20 on nähtävissä, miten manuaalinen kiinteä kokoonpanopaikka toimii käytännössä.



Kuva 20. Kiinteä kokoonpanopaikka (Swift & Booker 2013, s. 281).

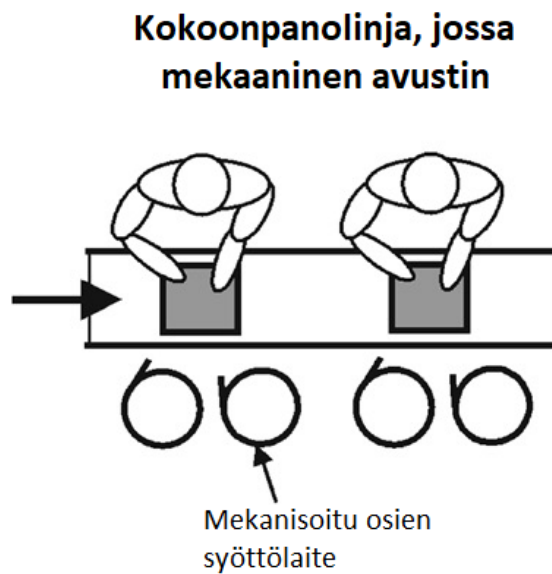
Kokoonpanolinjassa henkilöstön työ on jaettu vaiheisiin, jossa jokainen hoitaa omaa tehtävänsä tai sen voi hoitaa myös ryhmä, jolloin kyseessä on kokoonpanosolu. Tämä soveltuu suuriin eriin ja joukkotuotantoon. Mitä pitemmälle työ ositellaan, sitä lähempänä ollaan liukuhihnatyötä. (Lapinleimu et al. 1997, s. 112.) Kuva 21 esittää kokoonpanolinjan

toimintaa, jossa jokaisella työntekijällä on oma tehtävänsä ja tuote liikkuu kuljettimella kokoonpanopaikoille.



Kuva 21. Kokoonpanolinja, jossa henkilöstöllä omat tehtävät (Swift & Booker 2013, s. 281).

Manuaalinen kokoonpano voi olla myös varustettu osittain automatisoidulla tai mekanisoidulla syötöllä, käsittelyllä asennuksella tai tarkastuksella (Swift & Booker 2013, s. 281). Kuvassa 22 on nähtävissä kokoonpanolinja, jossa on mekaaninen osien syöttölaite.



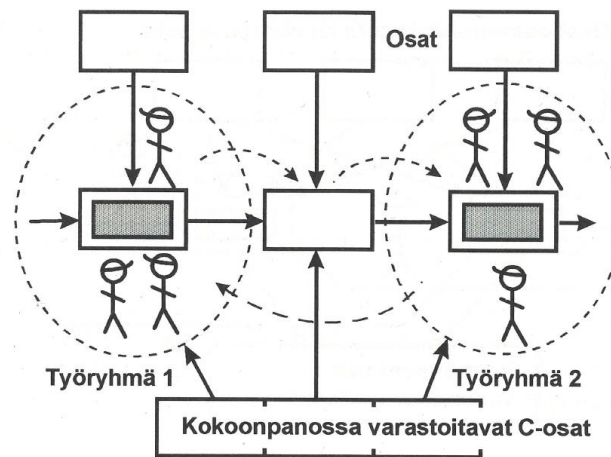
Kuva 22. Kokoonpanolinja, jossa mekaaninen osien syöttölaite (Swift & Booker 2013, s. 281).

Kokoonpanolinjassa tuote voi liikkua eri kokoonpanopisteille esimerkiksi siirrettävän alustan päällä tai kuljettimella:

- tasaisella nopeudella pysähtymättä
- ajoittain, jolloin hihna liikkuu tietyin väliajoin
- vapaalla siirrolla, jolloin työntekijä päättää milloin tuote siirtyy eteenpäin.

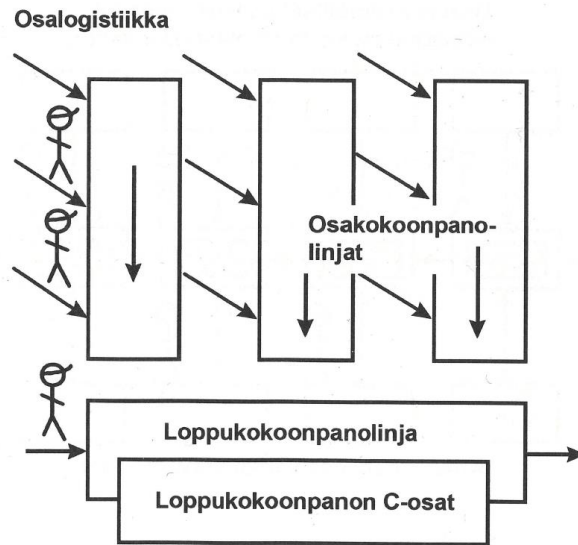
(Swift & Booker 2013, s. 281.)

Kokoonpanolinjassa työryhmä voi vastata myös tuoteyksikön kokoonpanosta alusta loppuun ja täten kulkee tuotteen mukana suorittaen kaikki kokoonpanovaiheet. Linjassa tuote viedään aina seuraavalle työasemalle, jossa on oikeat työvälineet. Viimeisenä toimena työryhmä tekee tuotteeseen lopputarkastuksen ja leimaa siitä tositteen. Tämän jälkeen ryhmä siirtyy linjan alkuun ja aloittaa uuden tuoteyksikön kokoonpanon. Tällainen saman työryhmän linjakokoonpano soveltuu parhaiten erätuotantoon. Kuvassa 23 on nähtävissä työryhmätyyppinen kokoonpanolinja, jossa kaksi ryhmää toimii lomittain. (Lapinleimu et al. 1997, s. 112.)



Kuva 23. Kokoonpanolinja, jossa toimii työryhmä (Lapinleimu et al. 1997, s. 114).

Kokoonpanotehdas koostuu usein kokoonpanopaikoista ja -linjoista. Se soveltuu parhaiten suurille tuotteille ja tuotantomäärälle. Kokoonpanoon voi liittyä myös muita työvaiheita, kuten esimerkiksi, pintakäsittelyt, sähkö- ja putkityöt sekä pakkaustyöt. Kokoonpanon yhteyteen on hyvä lisätä myös muita toimintoja, kuten lopputarkastus ja asiakkaalle luovutus. Kuvassa 24 on nähtävissä kokoonpanotehdas, jossa on useita osakokoonpanolinjoja sekä loppukokoonpanolinja. (Lapinleimu et al. 1997, s. 112.)



Kuva 24. Kokoonpanotehdas (Lapinleimu et al. 1997, s. 114).

Tuotteen kokoonpano voidaan suorittaa manuaalisesti, automaattisesti, tai roboteilla. Manuaalisen kokoonpanon kustannukset ovat kiinteitä eivätkä ne riipu tuotantomääristä. Automaattisen kokoonpanon kustannus yhtä tuotetta kohden on lineaarinen ja kääntäen verrannollinen vuotuisen tuotantomäärään. Robotisoidussa kokoonpanossa kustannusten suhde tuotantomäärään on monimutkaisempi, tämä johtuu prosessin joustavuudesta.

Tässä tutkimustyössä tuotteiden kokoonpano suoritetaan manuaalisesti. Kokoonpanotyö sisältää kappaleiden käsittelemistä, siirtämistä, varastointia, liittämistä, sovittamista sekä tarkastamista. Käytännössä vain liittämistyö kohottaa tuotteen jalostusarvoa, joten tuotteen jalostusarvoa vähentävien toimintojen osuus on pyrittävä pitämään mahdollisimman vähäisenä. Suuret kustannukset kokoonpanossa eivät aina johdu itse kokoonpanotyöstä, vaan periytyvät edeltävistä vaiheista, joissa kokoonpanoa ei ole otettu riittävästi huomioon. Tämän tutkimustyön tutkimusongelman ratkaisemiseksi tärkeää ja olennaista on osien ja osakokoonpanojen saaminen mahdollisimman lähelle tuotetta, johon ne asennetaan.

9 SAMMET SHANGHAIN KOKOONPANOOTEHDAS

Tässä luvussa esitellään, kuinka Sammetin Shanghaiin kokoonpanotehdas toimii käytännössä.

Sammetin kokoonpanotehdas sijaitsee Shanghaissa Jinshanin teollisuusalueella. Kokoonpanotehdas koostuu kahdesta 3 176 m² tuotantohallista. Ensimmäiseen halliin saapuu peltiaihiot alihankinnan kautta, jonka jälkeen ne kokoonpannaan manuaalisesti. Toisessa hallissa valmiit tuotteet pakataan asiakkaalle lähetystä varten.

Kokoonpanohalli koostuu osakokoonpano- ja pääkokoonpanolinjoista, kuva 24 vastaa teoreettisesti tätä tilannetta. Kuvassa 25 on nähtävillä Sammet Shanghaiin kokoonpanohalli. Vihreällä nuolella merkityssä kohdassa toimii osakokoonpano- sekä 2-tiepeltien kokoonpanolinja. Punaisella nuolella merkityissä kohdissa toimii 3-tiepeltien pääkokoonpanolinjat. Kokoonpano virtaa nuolen suuntaisesti ja se koostuu eri työvaiheista. Kokoonpanolinjan alkupäähän tuodaan hitsatut peltiaihiot alihankinnasta, jonka jälkeen kokoonpano etenee vaiheittain ja linjan loppupäässä tehdään pelteihin lopputarkastus. Lopputarkastuksen jälkeen pellit kuljetetaan viereiseen halliin, jossa ne pakataan asiakkaalle lähetystä varten. Keltaisella merkityssä kohdassa on materiaali- ja osavarasto, joista pelteihin kuuluvat osat lastataan keräilyvaunuihin, jotka sijaitsevat sinisellä merkityllä keräilylinjalla.



Kuva 25. Sammet Shanghai kokoonpanohalli.

Sammetin kokoonpanolinjat on varustettu kahdella siltanosturilla, jotka näkyvät kuvan 25 ylälaidassa (oranssi ja keltainen puomi). Kokoonpano tulee pystyä tekemään mahdollisimman vähillä nostoilla, ettei kokoonpanotyö keskeydy odotellessa nosturin vapautumista. Suunnittelussa tulee huomioida, että raskaita osakokoonpanoja tulee välttää tai niiden asentamiseen on kehitettävä asennustapa, joka voidaan tehdä ilman siltanosturia.

Keräilylinjalla kokoonpantavat osat valmistellaan pääkokoonpanoa varten, tehdään esimerkiksi pieniä osakokoonpanoja, jonka jälkeen ne lastataan kuvassa 26 nähtävään keräilyvanuun. Keräilyvaiheen ollessa keskeneräinen merkitään vaunu punaisella lipulla ja kun keräily on valmis, merkitään se vihreällä lipulla. Jokainen vaunu sisältää yhden tuotteen kokoonpantavat osat. Vaunua voidaan siirtää helposti kokoonpanovaiheesta toiseen. Vaunu koostuu kolmesta eri kerroksesta ja jokainen kerros sisältää osat vain yhteen kokoonpanovaiheeseen. Kokoonpanolinjalla ensimmäisessä työvaiheessa asennetaan siis vain vaunun ylimmän kerroksen osia ja toisessa vaiheessa toisen kerroksen osia jne.



Kuva 26. Osien keräilyvaunut.

3-tiepellit virtaavat kokoonpanolinjan alusta loppuun puisen alustan päällä, joka toimii samalla pellin pakkauksen pohjana. Kuvassa 27 nähdään 3-tiepellien kokoonpanolinja ja pakkausalusta. Pakkausvaiheessa asennetaan siis vain seinät ja katto. Suunnittelussa tulee ymmärtää ja huomioida, että pellin kaikki osat on pystyttävä asentamaan ylhäältä ja sivuilta niin, että pelti on koko ajan pystyasennossa alustan päällä.



Kuva 27. 3-tiepeltien kokoonpanolinja ja pakkausalusta.

2-tiepelleissä ja 3-tiepeltien 2-tie moduuleissa käytetään kokoonpanossa kuljetusalustana kuvan 28 mukaisia pyörillä varustettuja pukkeja johon pelti kiinnitetään. Pyörillä varustettujen pukkien avulla tuotetta on helppo liikuttaa kokoonpanovaiheesta toiseen.



Kuva 28. 2-tiepelti ja kuljetusalusta.

Pakkauslinja toimii kiinteän kokoonpanopaikan tavoin. Pakkauslinja koostuu kolmesta kiinteästä kokoonpanopaikasta, joissa jokaisessa asennetaan pellin ympärille valmiiksi elementeiksi kootut pakkauksen seinät ja katto.

Pakkauslinjan alkupäässä kokoonpanosta tulleet pellit odottaa asiakkaan lopputarkastusta ja hyväksyntää lähetettäväksi. Kun lähetykseen saadaan asiakkaalta lupa, asennetaan

kuljetusalustan ympärille seinät ja katto, jonka jälkeen pelti voidaan toimittaa asiakkaalle. Kuvassa 29 nähdään pakkausta odottavat pellit ja kuvassa 30 pakattu pelti, joka odottaa lähetystä asiakkaalle.



Kuva 29. Pakkausta odottavat 3-tiepellit kuljetusalustan päällä.



Kuva 30. Pakattu 3-tiepelti, puisen kuljetusalustan ympärille asennettu seinät ja katto.

Shanghaiin kokoonpanotehtaalla tuotteiden kokoonpano tulee olla mahdollista suorittaa mahdollisimman vähillä nostoilla, ettei kokoonpanotyö keskeydy odotellessa nosturin vapautumista. Tämän tutkimusyön tutkimusongelman ratkaisun kannalta suunnittelussa on huomioitava, että raskaita osakokoonpanoja tulee välttää tai niiden asentamiseen on

kehitettävä asennustapa, joka voidaan tehdä ilman siltanosturia. Shanghain kokoonpanotehtaalla 3-tiepellit virtaavat kokoonpanolinjalla puusta valmistetun alustan päällä, joka toimii samalla pellin pakkauksen pohjana. Tässä tutkimustyössä kehitettyneemmän tuotteen kaikki osat on pystyttävä kokoonpanemaan ylhäältä ja sivuilta niin, että tuote on koko ajan pystyasennossa alustan päällä. Tämä on huomioitava suunnittelussa.

10 TULOKSET

Peltien modulaarisessa suunnittelussa käytettiin menetelmänä ajatustapaa, että kaikki hitsattavat osat tulisi voida tehdä erillään kokoonpanosta. Toisin sanoen peltien rakenne suunniteltiin siten, että kaikki liikkuvat osat voidaan asentaa hitsauksen jälkeen kokoonpanossa. Tällä menetelmällä peltien rakenteesta saadaan modulaarinen, joka helpottaa valmistusta ja tekee peltien huollon helpommaksi, kun voidaan tarvittaessa vaihtaa varaosia ilman hitsaamista. Modulaarisuuden kehittämiseen Sammetin 3-tiepelleissä käytettiin teoriaosuudessa esiteltyjä standardisoinnin, osien, sekä liitosten modulaarisuuden periaatteita. 3-tiepellin osia ja osakokoonpanoja pyrittiin suunnittelemaan niin, että mahdollisimman moni osa kävisi myös Sammet Dampersin valmistamiin 2-tie marine pelteihin ja muihin 3-tiepellin kokoihin.

Parempaan tuotantotehokkuuden saavuttamiseksi osien helpomman asennuksen myötä, käytettiin uudessa 3-tiepellin suunnittelussa hyväksi rinnakkaisuunnittelun periaatteita yhdessä Kiinan valmistusyksikön kanssa. Tällä tavoin suunnittelussa osattiin puuttua ja keskittyä oleellisesti tuotantoa helpottaviin ja nopeuttaviin asioihin. Teams-yhteistyöalustan tietokoneen ruudunjaon ansiota tuotteen rakenteen kehitysehdotukset saatiin tehokkaasti esitettyä kuvista ja suoraan CAD (Computer Aided Design) 3D mallista.

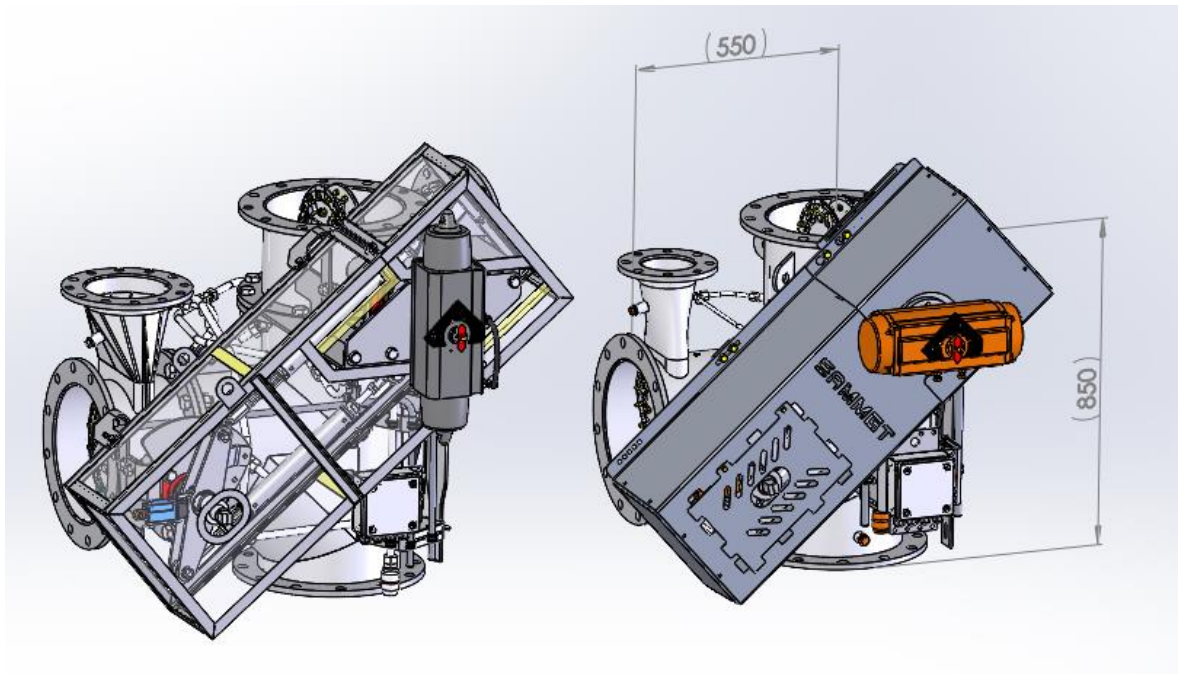
Tutkimuksen tuloksissa vertaillaan vanhan ja uuden 3-tiepellin kaikkien osien määrää, kaikkien erilaisten osien määrää, kokoonpanossa osien määrää, kokoonpanossa erilaisten osien määrää, painoa sekä kokoonpanoaikaa. Tuloksissa on laskettu myös Lucas DFA menetelmän mukaisesti suunnittelurakenteen tehokkuus sekä Boothroyd Dewhurst DFA menetelmän mukaisesti kokoonpanotehokkuus. Molemmissa menetelmissä tarvittavan teoreettisen osien minimäärän arviointi tapahtui tämän tutkimustyön tekijän toimesta. Osien teoreettiseen minimäärään ei esimerkiksi laskettu mukaan kaikkia ruuveja tai muttereita olettaen, että ne voisivat olla osiin valmiiksi kiinnitettyinä tai korvattu muilla liitosmenetelmillä. Osien teoreettiseen minimäärään ei myöskään laskettu aluslevyjä, olettaen, että ne voitaisiin jättää pois tai korvata muttereilla, joissa on kiinteä aluslevy.

Tuotteen kaikkien osien määrä sekä kaikkien erilaisten osien määrä saatiin suoraan Excel taulukkona SolidWorks CAD ohjelmasta. Kokoonpanossa olevien kaikkien osien määrä sekä erilaisten osien määrä saatiin poistamalla hitsauksessa liitettävät osat manuaalisesti taulukosta, jossa oli listattuna tuotteen kaikki osat.

10.1 Sammet 3-tiepellin uuden ja vanhan mallin vertailu

Sammet DN350 3-tiepellin vanha ja uusi 3D-malli on nähtävissä kuvasta 31. Kuvassa 32 on oikea kuva DN350 3-tiepelleistä. Huomaa, että 3D kuvissa vanhan pellin vivustusuoja näkyy virheellisesti läpinäkyvänä, koska tietokoneella on vaikea simuloida verkkoa, jota vanhassa mallissa on käytetty.

Pelti koostuu hitsatusta runko-osasta, jossa on liikkuvat lapalevyt. Lapalevyt ovat 3-tiepellin molemmissa päissä ja niitä ohjataan yhdellä paineilmatoimilaitteella. Toisen lapalevyn sulkeutuessa toinen aukeaa vipujen ja tankojen välityksellä. Lapalevykokoonpano näkyy DN350 3-tiepeltiin asennettuna kuvassa 35 sinisellä korostettuna.

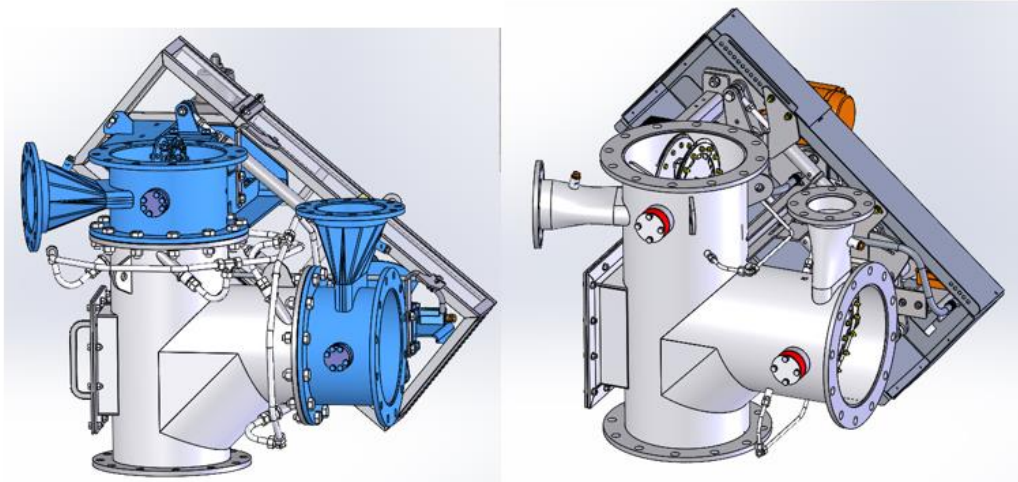


Kuva 31. Sammet DN350 3-tiepelti kokoonpano vasemmalla vanha ja oikealla uusi malli (mitat mm).



Kuva 32. Sammet DN350 3-tiepelti kokoonpano vasemmalla vanha ja oikealla uusi malli

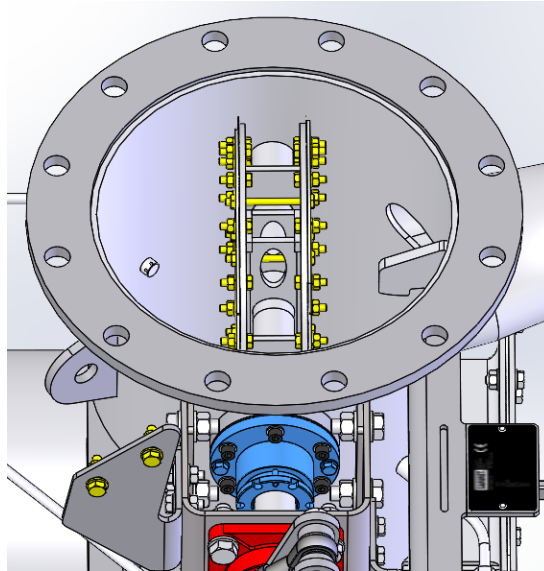
Suurimpia muutoksia, joita uuteen 3-tiepellin rakenteeseen tehtiin, olivat runkoon ruuveilla kiinnitettyjen 2-tie moduulien yhdistäminen osaksi runkoa. Tämän ansiosta kiinnityslaippojen määrä vähentyi, hitsattavien osien ja hitsien määrä vähentyi, kokoonpanossa moduulien ruuvauksesta päästiin eroon, sekä pellin päämittoja voitiin pienentää. Kuvassa 33 on vasemmalla nähtävissä vanhan DN350 3-tiepellin kiinnitetty 2-tiemoduulit, jotka ovat korostettu sinisellä.



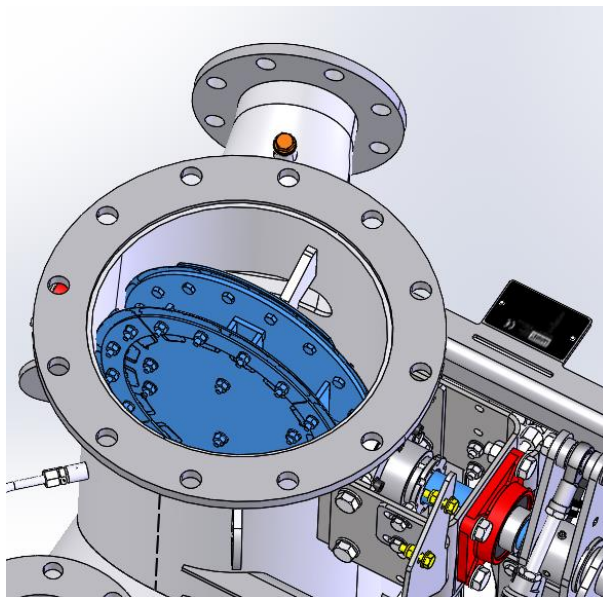
Kuva 33. Sammet DN350 3-tiepelti kokoonpano vanha ja uusi malli, sinisellä korostettu vanhan 3-tiepellin 2-tiemoduulit.

Vanhassa 3-tiepellissä ei ollut mahdollista asentaa hitsattuun runko-osaan hitsausten jälkeen lapalevyn kokoonpanoa, vaan se oli tehtävä ennen hitsausta. Uudessa mallissa tämä

mietittiin uudelleen ja 3-tiepellin runko-osaan suunniteltiin ruuveilla kiinnitettävä akseliläpivienti laakeripesä, joka on nähtävissä sinisellä kuvassa 34. Tämän ansiosta uudessa DN350 3-tiepellissä kuvassa 35 sinisellä nähtävä lapalevykokoonpano on mahdollista suorittaa osakokoonpanona eri kokoonpanopisteessä ja asentaa se hitsattuun 3-tiepellin runkoon.

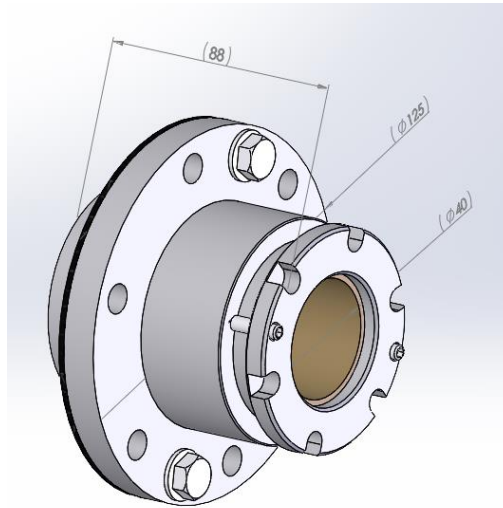


Kuva 34. Uuden DN350 3-tiepellin D40 akseliläpivienti laakerikokoonpano korostettu sinisellä, asennettuna 3-tiepellin runkoon.



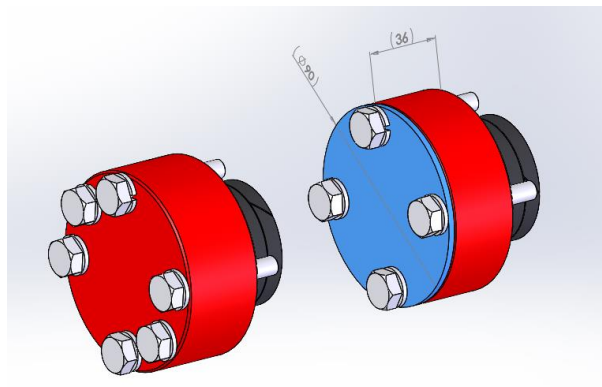
Kuva 35. Uuden 3-tiepellin lapalevyn osakokoonpano korostettu sinisellä, asennettuna 3-tiepellin runkoon.

Myös akseliläpiviennin laakeripesän kokoonpano on uudessa mallissa mahdollista suorittaa osakokoonpanona ja tuoda se pääkokoonpanoon kokonaisena moduulina. Kuvassa 36 nähdään akseliläpiviennin laakerin D40 osakokoonpano, jota käytetään DN350 – DN550 3-tie- ja 2-tiepelleissä.



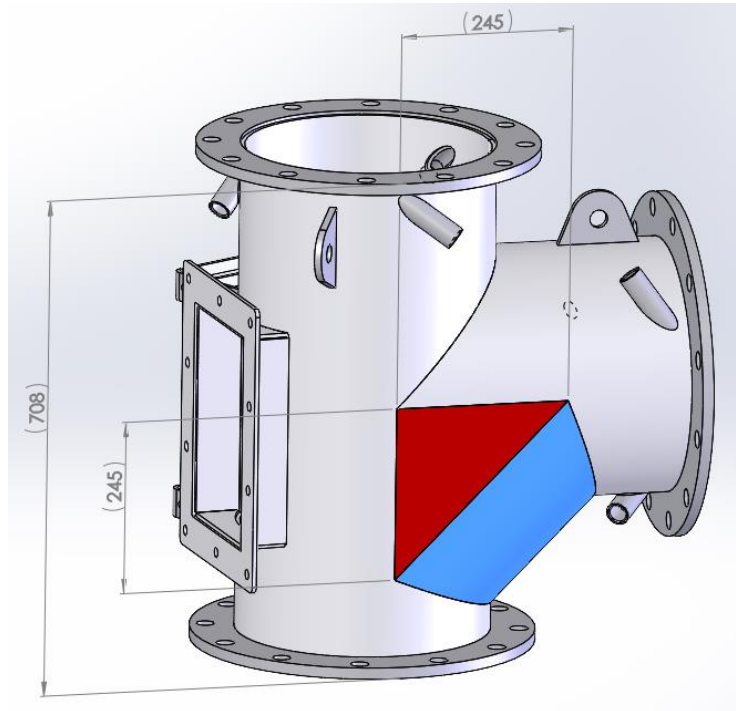
Kuva 36. Akseliläpivienti laakeri D40 osakokoonpano, jossa mitat mm.

Lapalevyn akselin toisen pään ns. huoltovapaalaakerointi oli aiemmin toteutettu laakerilla, jossa oli kuusi ruuvia, joista neljä ruuvia oli kiinnitykseen ja kaksi ruuvia laakerin irrotusreikien peittämiseen. Uuden pellin laakerista tehtiin avonainen ja siihen lisättiin levyleikkeestä tehty kansi, joka helpottaa laakerin asennusta ja irrotusta. Kannen ansiosta myös kaksi irrotusreiän tulpparuuvia voitiin jättää pois, koska reiät peittyvät kannen alle. Kuvassa 37 on nähtävissä vasemmalla vanha ja oikealla uusi D40 laakeri, jossa sinisellä korostettu kansilevy.



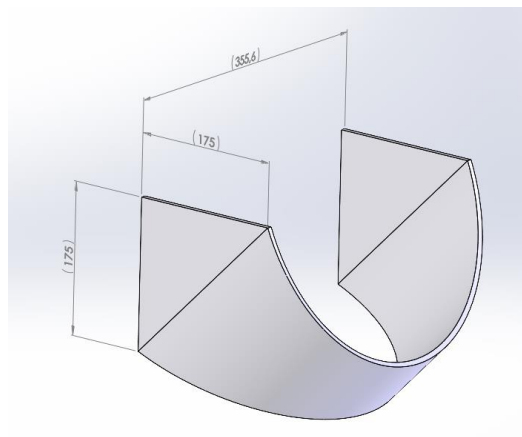
Kuva 37. 3-tiepellin vanha ja uusi D40 huoltovapaa laakeri, jossa sinisellä korostettu irrallinen kansilevy (mitat mm).

Uuden 3-tiepellin hitsattavaan runkolevyyn yhdistettiin kaksi erillistä osaa, jotka olivat aiemmassa mallissa hitsattu eri osista. Kuvassa 38 on nähtävillä vanha DN350 3-tiepellin hitsattu runko, jossa on hitsattu yhteen kaksi punaisella merkittyä kolmiolevyä ja yksi sinisellä merkitty mankeloitu levy.



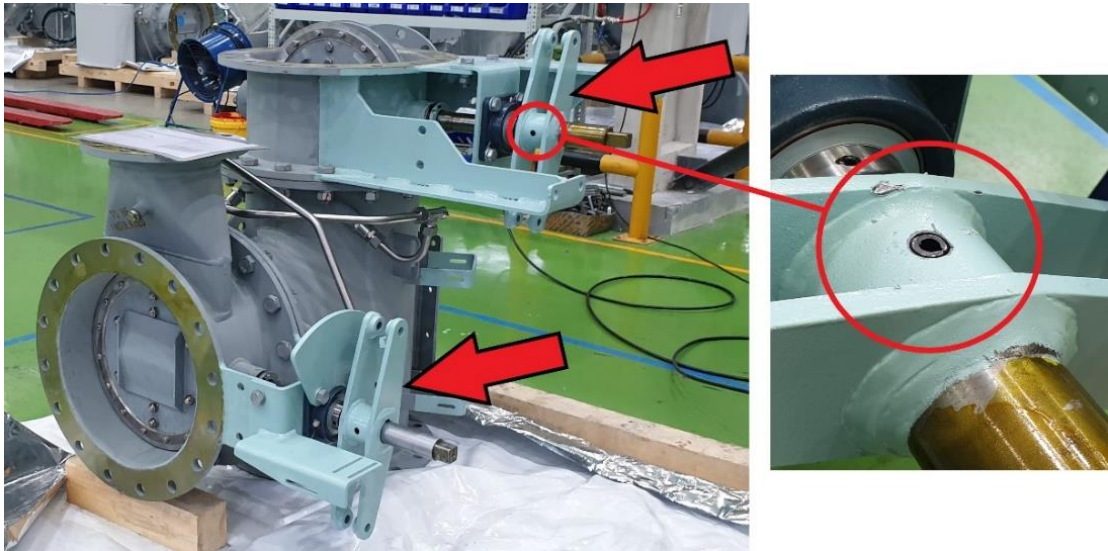
Kuva 38. Vanha DN350 3-tiepellin runkolevy, jossa hitsattu yhteen punaisella ja sinisellä merkityt levyt (mitat mm).

Kuvassa 39 nähdään uuden DN350 3-tiepellin mankeloitu runkolevy, johon on yhdistetty kuvan 38 punaisella ja sinisellä merkityt levyt samaan osaan. Tämän ansiosta hitsattavia osia on vähemmän sekä hitsien yhteenlaskettu pituus pienenee.



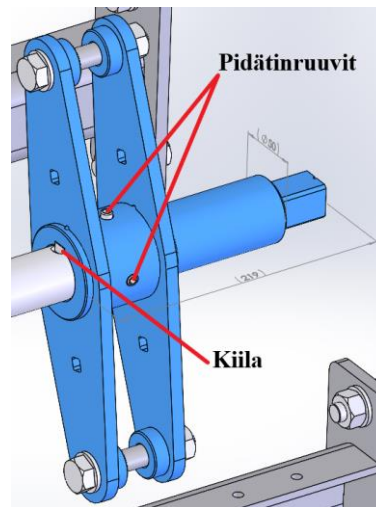
Kuva 39. Uuden DN350 3-tiepellin runko-osa, joka valmistettu yhdestä levystä mankeloimalla (mitat mm).

Kokoonpanossa ongelmia tuotti 3-tiepellien akselien päihin asennettavan vivun asennus, erityisesti akselin suuntaisen liikkeen estävän jousisokan asennus. Sokan asentaminen lyömällä aiheutti vipuun jälkiä, joten siihen tarvitsi erikoistyökalua. Kuvassa 40 vasemmalla näkyy 3-tiepellin akselin päihin asennetut vivut nuolella merkittynä ja oikealla näkyy jousisokka asennettuna ja asennuksesta aiheutuneita jälkiä.



Kuva 40. DN350 3-tiepeltiin akselien päähän asennetut vivut vasemmalla nuolilla merkittyinä ja oikealla näkyy vivun jousisokka tarkemmin ja sen asennuksessa aiheutuneita jälkiä.

Uudessa mallissa jousisokka jätettiin pois ja korvattiin pidätinruuveilla, joiden asentamiseen ei tarvita erikoistyökaluja. Vivussa kiilaliitos siirtää momentin askelille ja pidätinruuvit estävät akselinsuuntaisen liikkeen. Vipuholkin toleransseja tehtiin myös hieman väljemmäksi asennuksen helpottamiseksi. Näillä muutoksilla saatiin vivun asennuksesta huomattavasti helpompaa. Kuvassa 41 nähdään sinisellä korostettuna DN350 pellin uusi vipu ja siinä olevat pidätinruuvit.

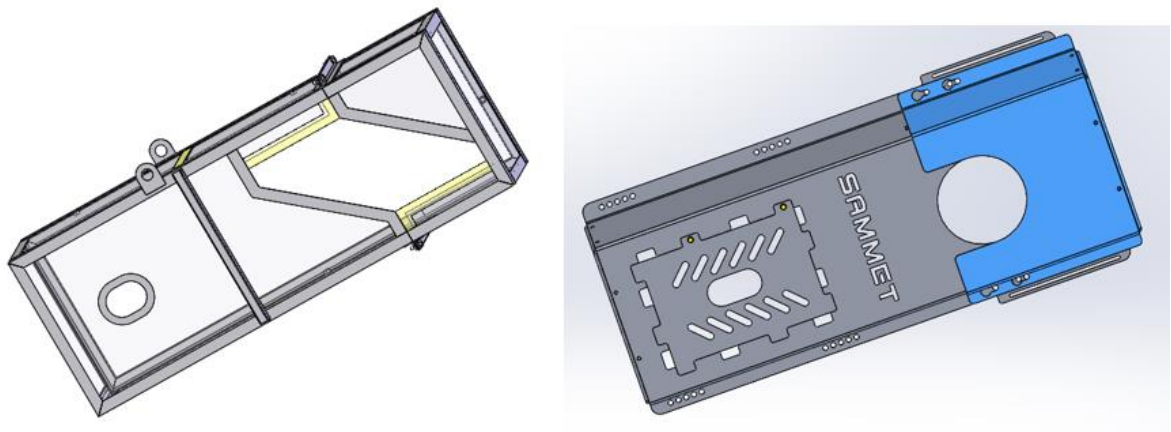


Kuva 41. DN350 pellin vipu korostettu sinisellä, joka lukitaan akseliin kiilaliitoksella ja pidätinruuveilla (mitat mm).

Uuden 3-tiepellin ehkä merkittävin parannus on vivustosuojaissa. Aiemmin 3-tiepeleissä vivustosuojan runko tehtiin hitsaamalla kulmaan sahatuista kulma- ja lattatangoista. Runko-osan ympärille hitsattiin teräsverkko, jonka jälkeen vivustosuoja kuumasinkittiin. Kuumasinkitys aiheutti ikävän näköisiä valumajälkiä teräverkkoon, jotka ovat nähtävissä kuvassa 42. Uusi vivustosuoja tehtiin kokonaisuudessaan alumiinilevystä, jolloin osien määrä vähentyi merkittävästi sekä valmistus yksikertaistui huomattavasti. Uuden vivustosuojan levy voidaan leikata levyarkista esim. laser levyleikkurilla DWG (CAD piirustustiedostoformaatti) tiedoston avulla. Parhailtaan vivustosuoja voidaan valmistaa täysin automatisoidulla levytyökeskuksella, joka tekee myös levyn taivutukset automaattisesti. Kuvassa 43 on nähtävillä vasemmalla vanha ja oikealla uusi vivustosuoja. Uuteen vivustosuojaan saatiin huomattavasti siistimpi ulkonäkö sekä lisättyä SAMMET mainosteksti.



Kuva 42. Kuumasinkityksestä aiheutuneet valumat teräsverkossa.



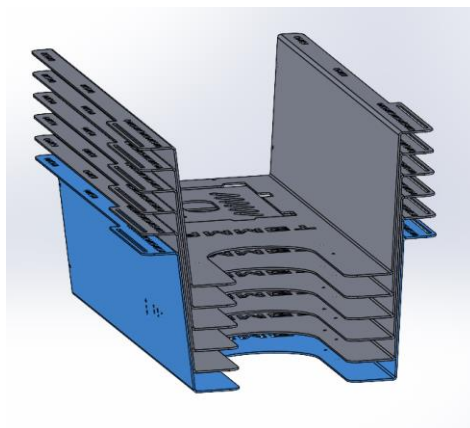
Kuva 43. 3-tiepellin vanha ja uusi vivustosuoja, jossa sinisellä korostettu etuosa, joka mahdollistaa pituuden säädön.

Taulukosta 6 voidaan nähdä kuinka vivustosuojan uudelleen suunnittelulla saatiin vähennettyä osien määrää yli 58 % erilaisten osien määrää yli 65 % ja painoa yli 37 %.

Taulukko 6. DN350 3-tiepellin vivustosuoja osien määrä ennen ja jälkeen.

3 tie DN350 Vivustosuoja	Vanha malli	Uusi malli	Muutos
Kaikkien osien määrä	55	23	-58,2 %
Kaikkien erilaisten osien määrä	26	9	-65,4 %
Paino (kg)	18,6	11,7	-37,1 %

Vivustosuojan suunnittelussa otettiin huomioon myös osien pinottavuus. Levystä valmistetun vivustosuojan laidat ovat taivutettu hieman pienempään kulmaan kuin 90°, jonka ansiosta vivustosuojia voidaan pinota varastoihin, mikä säästää huomattavasti säilytystilaa. Kuva 44 havainnollistaa tätä tilannetta.



Kuva 44. Uuden vivustosuojan pinottavuus.

Vivustosuojaan tarvittava irrotettavissa oleva huoltoluukku suunniteltiin niin, että leikattua huoltoaukon irtopalaa voidaan käyttää huoltoluukun kantena. Tämän ansiosta myös materiaalia säästyy suojan valmistuksessa. Huoltoluukun aukkoon suunniteltiin epäsymmetrisesti asetellut kielekkeet, joita voidaan käyttää luukun kiinnitykseen, kun luukku käännetään ympäri. Yläpuolella luukku on kiinni kahdella ruuvilla ja alapuolella kielekkeet on painettu vivustosuojan levyn sisään. Kuva 45 havainnollistaa tätä tilannetta.



Kuva 45. Uuden vivustosuojan huoltoluukku.

Kokonaisuudessaan DN350 3-tiepellin osien määrää saatiin vähennettyä uudessa mallissa 13 %, erilaisten osien määrää 17,8 %, kokoonpanossa osien määrää 3,6 % ja painoa 24,3 %. Uuden DN350 3-tiepellin kokoonpanoaika lyheni 29,7 %. Nämä tulokset ovat nähtävissä taulukosta 7.

Taulukko 7. DN350 3-tiepellin osien määrä.

3-tie DN350	Vanha malli	Uusi malli	Muutos
Kaikkien osien määrä	1051	914	-13,0 %
Kaikkien erilaisten osien määrä	191	157	-17,8 %
Kokoonpanossa osien määrä	826	796	-3,6 %
Kokoonpanossa erilaisten osien määrä	111	111	0,0 %
Kokoonpanoaika (min)	590	415	-29,7 %
Paino			-24,3 %

DN350 3-tiepellin uudelleen suunnittelulla saatiin vähennettyä ruuvien määrää kokoonpanossa 3,1 %. Kokoonpanossa kaikista asennettavista osista ruuvien suhteellinen määrä vanhassa pellissä on 74,8 % ja uudessa pellissä ruuveja on 75,3 %. Ruuvien suhteellinen määrä nousi hieman (0,4 % yksikköä) uudessa DN350 3-tiepellissä. Molemmista DN350 pelleissä erilaisia ruuvikantoja on 10 kpl. Nämä tulokset ovat nähtävissä taulukossa 8.

Taulukko 8. Ruuvien määrä DN350.

3-tie DN350	Vanha malli	Uusi malli	Muutos	
Kokoonpanossa osien määrä	826	796	-3,6 %	
Ruuvien, muttereiden ja aluslevyjen määrä kokoonpanossa	618	599	-3,1 %	
Eri ruuvikantojen määrä kokoonpanossa	10	10	0,0 %	
Ruuvien, muttereiden ja aluslevyjen määrä %	74,8 %	75,3 %	0,4 %	(yksikköä)

DN350 3-tiepellin kokoonpanotehokkuus Boothroydin (kaava 1 s. 30) mukaan vanhassa mallissa on 2,6 % ja uudessa mallissa 3,9 % eli parannusta saatiin 1,3 % yksikköä. Lucas DFA menetelmän mukaisesti (kaava 2 s. 33) laskettu suunnittelurakenteen tehokkuus vanhassa mallissa on 37,4 % ja uudessa mallissa 41,1 %, joten parannusta saatiin 3,7 % yksikköä. Nämä tulokset ovat nähtävissä taulukosta 9.

Taulukko 9. DN350 3-tie kokoonpano ja suunnittelurakenteen tehokkuus.

3-tie DN350	Vanha malli	Uusi malli	Muutos	
Kokoonpanossa osien teoreettinen minimimäärä	309	327		
Kokoonpanotehokkuus (Boothroyd)	2,6 %	3,9 %	1,3 %	(yksikköä)
Suunnittelurakenteen tehokkuus (Lucas)	37,4 %	41,1 %	3,7 %	(yksikköä)

Vastaavasti DN1200 3-tiepellin osien määrää saatiin vähennettyä uudessa mallissa 10,9 %, erilaisten osien määrää 18,6 %, kokoonpanossa osien määrää 7,6 %, kokoonpanossa erilaisten osien määrää 5,8 % ja painoa 21,7 %. Uuden DN1200 3-tiepellin kokoonpanoaika lyheni 14,9 %. Nämä tulokset ovat nähtävissä taulukosta 10.

Taulukko 10. DN1200 3-tiepelin osien määrä.

3-tie DN1200	Vanha malli	Uusi malli	Muutos
Kaikkien osien määrä	1613	1437	-10,9 %
Kaikkien erilaisten osien määrä	199	162	-18,6 %
Kokoonpanossa osien määrä	1383	1278	-7,6 %
Kokoonpanossa erilaisten osien määrä	120	113	-5,8 %
Kokoonpanoaika (min)	1410	1200	-14,9 %
Paino			-21,7 %

DN1200 3-tiepelin uudelleen suunnittelulla saatiin vähennettyä ruuvien määrää kokoonpanossa 12,1 %. Kokoonpanossa kaikista asennettavista osista ruuvien suhteellinen määrä vanhassa pellissä on 78,8 % ja uudessa pellissä ruuveja on 75,0 %. Ruuvien suhteellinen määrä laski 3,9 % yksikköä. Vanhassa pellissä erilaisia ruuvikantoja on 10 kpl ja uudessa pellissä 11 kpl. Nämä tulokset ovat nähtävissä taulukossa 11.

Taulukko 11. Ruuvien määrä DN1200.

3-tie DN1200	Vanha malli	Uusi malli	Muutos	
Kokoonpanossa osien määrä	1383	1278	-7,6 %	
Ruuvien, muttereiden ja aluslevyjen määrä kokoonpanossa	1090	958	-12,1 %	
Eri ruuvikantojen määrä kokoonpanossa	10	11	10,0 %	
Ruuvien, muttereiden ja aluslevyjen määrä %	78,8 %	75,0 %	-3,9 %	(yksikköä)

DN1200 3-tiepelin kokoonpanotehokkuus Boothroydin (kaava 1 s. 30) mukaan vanhassa mallissa on 1,8 % ja uudessa mallissa 2,3 % eli parannusta saatiin 0,5 % yksikköä. Lucas DFA menetelmän mukaisesti (kaava 2 s. 33) laskettu suunnittelurakenteen tehokkuus vanhassa mallissa on 36,9 % ja uudessa mallissa 42,5 %, joten parannusta saatiin 5,5 % yksikköä. Nämä tulokset ovat nähtävissä taulukosta 12.

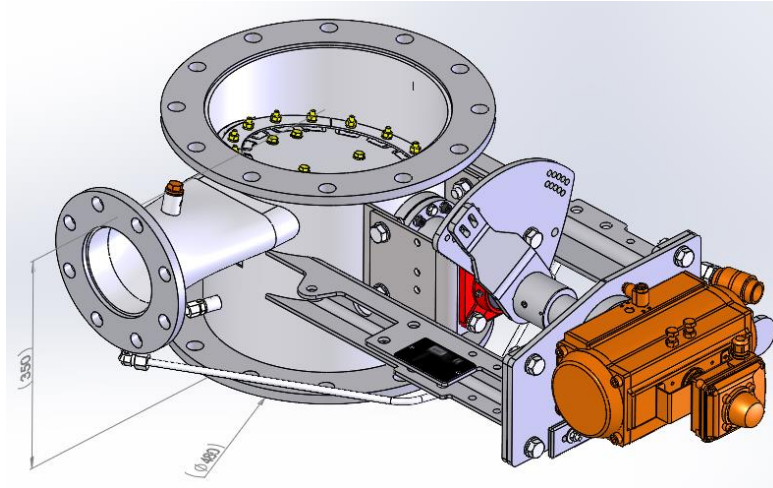
Taulukko 12. DN1200 3-tie kokoonpano ja suunnittelurakenteen tehokkuus.

3-tie DN1200	Vanha malli	Uusi malli	Muutos	
Kokoonpanossa osien teoreettinen minimimäärä	511	543		
Kokoonpanotehokkuus (Boothroyd)	1,8 %	2,3 %	0,5 %	(yksikköä)
Suunnittelurakenteen tehokkuus (Lucas)	36,9 %	42,5 %	5,5 %	(yksikköä)

10.2 Uuden 3-tiepelin modulaarisuus

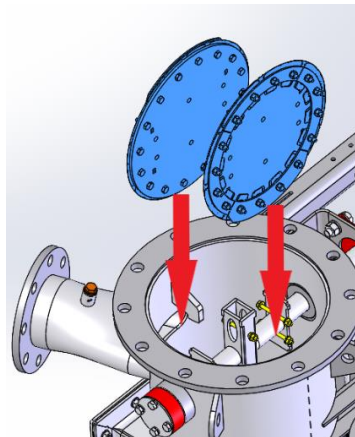
Uusien 3-tiepelien rakenne mahdollistaa kuvan 35 (s. 58) sinisellä merkatun lapalevykokoonpanon modulaarisen kokoonpanon ja se käy myös Sammetin 2-tiepelteihin.

Kuvassa 46 on nähtävillä Sammetin 2-tiepellin DN350 kokoonpano. On siis mahdollista suorittaa lapalevyn kokoonpano yhdessä pisteessä ja tuoda valmis osakokoonpano 2-tie tai 3-tie peltien kokoonpanolinjalle.



Kuva 46. Sammet 2-tie peltikokoonpano DN350 (mitat mm).

Sammetin Shanghai kokoonpanotehtaalle 2-tiepeltien ja 3-tiepeltien hitsatut rungot saapuvat alihankinnasta niin, että kuvassa 35 (s. 58) sinisellä korostettu lapalevykokoonpano on jo tehty lukuun ottamatta sen reunoille asennettavia tiivisteitä. Uuden DN350 3-tiepellin kohdalla kokoonpanoaika mitattiin kahta eri menetelmää käyttäen. Ensimmäisessä tavassa lapalevyn reunoille asennettiin tiivisteet osakokoonpanona ja ne asennettiin erillään 3-tiepellin akseliin, joka oli jo valmiiksi asennettu 3-tiepellin runkoon kuvan 47 mukaisesti. Asennuksen jälkeen tiivisteet säädettiin ja kiristettiin paikoilleen.



Kuva 47. Sinisellä korostettujen lapalevyjen osakokoonpanojen asennus 3-tiepellin runkoon.

Toisessa tavassa lapalevyn kokoonpano, akseli mukaan lukien, suoritettiin erillään osakokoonpanona ja se tuotiin valmiina moduulina 3-tiepellin runkoon kuvan 48 mukaisesti. Asennuksen jälkeen lapalevyn reunalla olevat tiivisteet säädettiin ja kiristettiin paikoilleen.



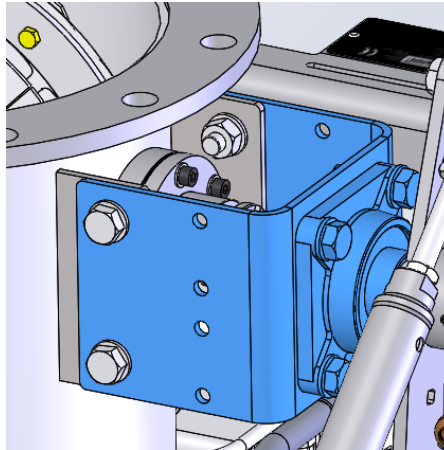
Kuva 48. Lapalevykokoonpanon asennus 3-tiepellin runkoon.

Kokoonpanoaika edellä mainitun tavan 2 mukaan oli 25 % nopeampi taulukon 13 mukaisesti.

Taulukko 13. DN350 3-tiepellin lavan asennusaika kahta eri menetelmää käyttämällä.

3-tie DN350 lapalevyjen asennus	Tapa 1	Tapa 2	Muutos
Kokoonpano-aika (min)	60	45	-25,0 %

Muita modulaarisia osia kokoonpanossa, joita voidaan käyttää sekä 2-tie, että 3-tiepileissä ovat mm. kuvan 36 (s. 59) akseliläpivientilaakeri osakokoonpano, kuvan 37 (s. 59) huoltovapaa laakeri, sekä kuvan 49 laippalaakeri kokoonpano.



Kuva 49. Laippalaakeri kokoonpano korostettu sinisellä, asennettuna 3-tiepellin runkoon.

Uudessa 3-tiepellissä isoin parannus modulaarisuuden osalta on vivustosuoja. Aiemmin vivustosuoja oli tehtävä joka kokoluokalle oma eli yhteensä 22 kappaletta taulukon 14 mukaisesti. Vivustosuojan uudelleen suunnittelun ansiosta samaa suojaa voidaan käyttää useissa eri kokoluokissa. Uuden vivustosuojan pituutta voidaan säätää halutuksi kuvan 43 (s. 63) sinisellä merkattua suojalevyä liikuttamalla. DN350 – DN2000 kokoluokkiin erilaisia vivustosuojaja tarvitaan viisi kappaletta kuten myös laakereita. Tämä johtuu siitä, että akselikoko kasvaa DN600, DN900, DN1400 ja DN1800 peltien kohdalla.

Taulukko 14. 3-tie ja 2-tiepellit DN350 - DN2000 standardiosat.

	DN koko	Laippalaakeri	Akseliläpivienti laakeri	Huoltovapaa laakeri	Vivustosuoja (vain 3-tiepellit)
1	DN350	1	1	1	1
2	DN400	1	1	1	1
3	DN450	1	1	1	1
4	DN500	1	1	1	1
5	DN550	1	1	1	1
6	DN600	2	2	2	2
7	DN650	2	2	2	2
8	DN700	2	2	2	2
9	DN750	2	2	2	2
10	DN800	2	2	2	2
11	DN900	3	3	3	3
12	DN1000	3	3	3	3
13	DN1100	3	3	3	3
14	DN1200	3	3	3	3
15	DN1300	3	3	3	3
16	DN1400	4	4	4	4
17	DN1500	4	4	4	4
18	DN1600	4	4	4	4
19	DN1700	4	4	4	4
20	DN1800	5	5	5	5
21	DN1900	5	5	5	5
22	DN2000	5	5	5	5
	Moduulien määrä	5	5	5	5

11 POHDINTA

Tässä luvussa tuloksia vertaillaan luvussa 5.2 esitettyyn Texas Instrumentsin valmistaman tuotteen tuloksiin DFMA ajattelun jälkeen, pohditaan tutkimuksen objektiivisuutta, reliabiliteettia ja validiteettia. Luvussa esitellään myös keskeiset johtopäätökset, tulosten uutuusarvo, tulosten hyödynnettävyys ja yleistettävyyys sekä jatkotutkimusaiheet.

11.1 Vertailu muiden tutkijoiden saamiin tuloksiin ja kirjallisuustutkimuksen havaintoihin
Luvussa 5.2 on esitelty Texas Instrumentsin valmistama tuote, johon sovellettiin DFMA ajattelua. DFMA ajattelun jälkeen uuden tuotteen kokoonpanoaika pieneni 15,3 prosenttiin, kun kokoonpanossa osien määrä pieneni 25,5 prosenttiin, erilaisten osien määrä 33,3 prosenttiin ja paino 54,2 prosenttiin, alkuperäisestä 100 prosentista.

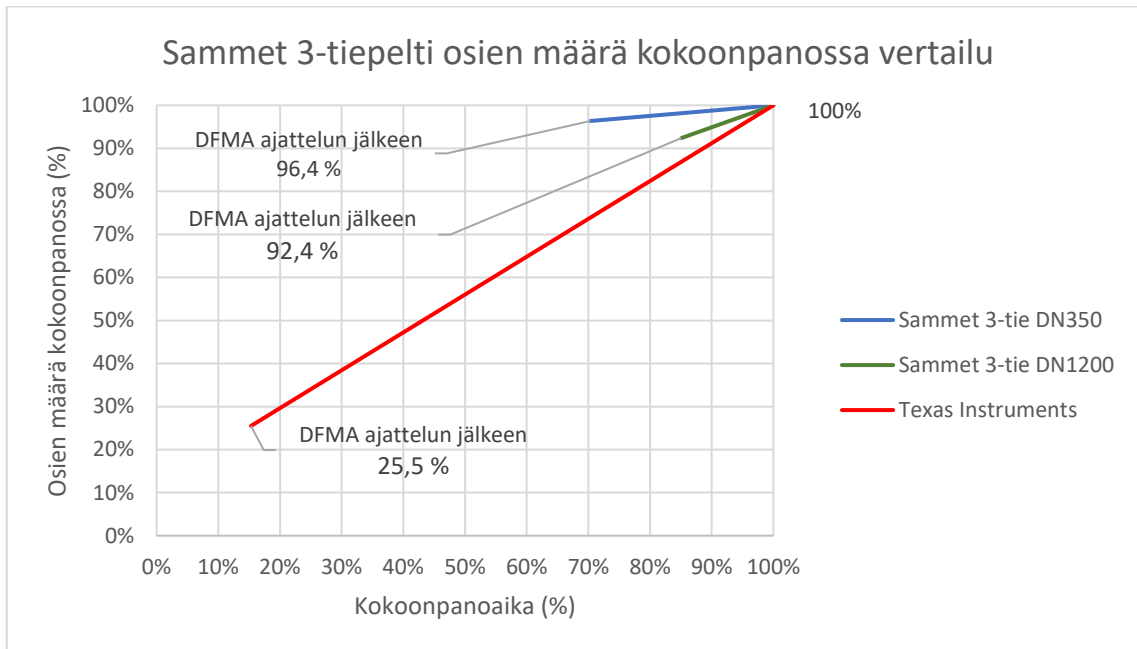
Vastaavasti Sammetin DN350 3-tiepellissä DFMA ajattelun jälkeen uuden tuotteen kokoonpanoaika pieneni 70,3 prosenttiin, kun kokoonpanossa osien määrä pieneni 96,4 prosenttiin, erilaisten osien määrä pysyi samana ja paino pieneni 75,7 prosenttiin, alkuperäisestä 100 prosentista. Sammetin DN1200 3-tiepellissä uuden tuotteen kokoonpanoaika pieneni 85,1 prosenttiin, kun kokoonpanossa osien määrä pieneni 92,4 prosenttiin, erilaisten osien määrä 94,2 prosenttiin ja paino 78,3 prosenttiin, alkuperäisestä 100 prosentista. Nämä tulokset ovat nähtävissä taulukosta 15.

Taulukko 15. DFMA ajattelun jälkeen uuden tuotteen vertailu.

DFMA ajattelun jälkeen	Sammet DN350 3-tiepelti	Sammet DN1200 3-tiepelti	Texas Instruments
Kokoonpanossa osien määrä	96,4 %	92,4 %	25,5 %
Kokoonpanossa erilaisten osien määrä	100,0 %	94,2 %	33,3 %
Kokoonpanoaika	70,3 %	85,1 %	15,3 %
Paino	75,7 %	78,3 %	54,2 %

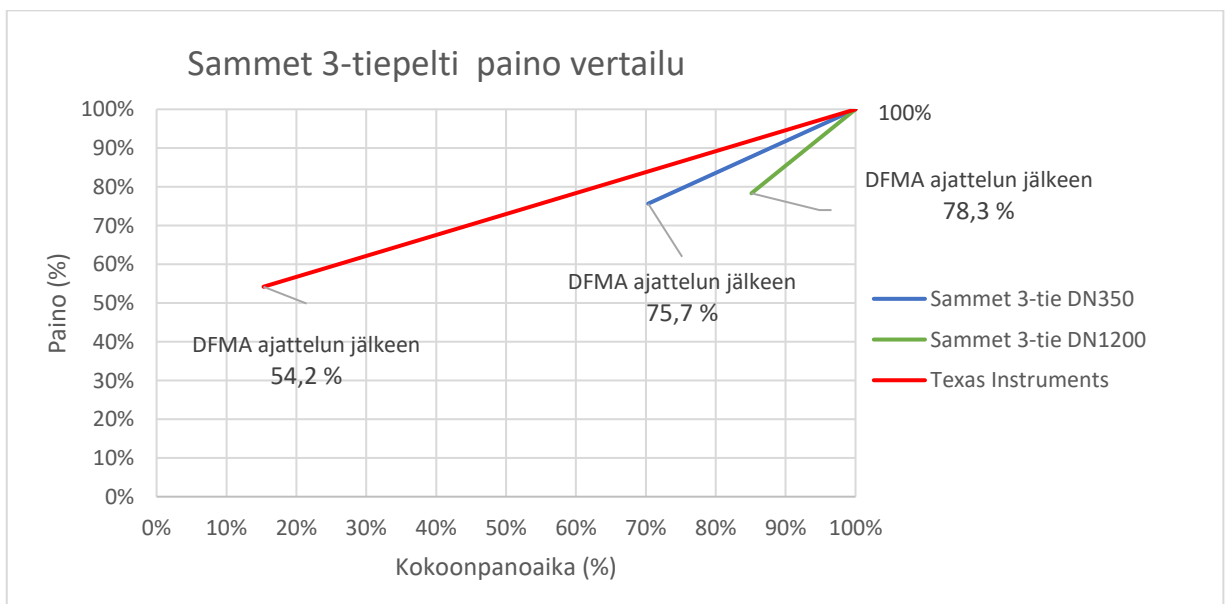
Kun sijoitetaan samaan kuvaajaan Texas Instrumentsin valmistaman tuotteen ja Sammetin 3-tiepeltien DN350 ja DN1200 osien määrä ja paino suhteessa kokoonpanoaikaan ennen ja jälkeen DFMA ajattelun, voimme vertailla tuloksia havainnollisesti. Kuvassa 50 nähdään kuvaaja, jossa vaaka-akselilla on kokoonpanoaika % ja pystyakselilla osien määrä

kokoonpanossa %. Kuvaajaan on sijoitettu Sammetin DN350 ja DN1200 3-tiepellin sekä Texas Instrumentsin valmistaman tuotteen kokoonpanoajat ja osien määrät ennen ja jälkeen DFMA ajattelun.



Kuva 50. Sammet 3-tiepelti osien määrä suhteessa kokoonpanoaikaan.

Kuvassa 51 nähdään kuvaaja, jossa vaaka-akselilla on kokoonpanoaika % ja pystyakselilla tuotteen paino %. Kuvaajaan on sijoitettu Sammetin DN350 ja DN1200 3-tiepellin sekä Texas Instrumentsin valmistaman tuotteen kokoonpanoajat ja painot ennen ja jälkeen DFMA ajattelun.



Kuva 51. Sammet 3-tiepelti paino suhteessa kokoonpanoaikaan.

Kuvaajista voimme päätellä, että osien määrä kokoonpanossa suhteessa kokoonpano-aikaan oli Sammetin DN1200 3-tiepellisessä lähempänä Texas Instrumentsin tuotetta. Tuotteen painon suhde kokoonpano-aikaan oli lähempänä Texas Instrumentsin tuotetta Sammetin DN350 3-tiepellisessä.

Kuvaajista voidaan myös päätellä, että osien määrän vähentäminen vaikutti eniten kokoonpano-aikaan Sammet DN350 3-tiepellisessä ja vähiten Texas Instrumentsin tuotteessa. Painon vähentäminen vaikutti eniten kokoonpano-aikaan Texas Instrumentsin tuotteessa ja vähiten Sammet DN1200 3-tiepellisessä.

Tuloksia vertaillaan tulee kuitenkin ottaa huomioon, että tässä tutkimuksessa vertailuna käytetty Texas Instrumentin tuote eroaa merkittävästi Sammetin 3-tiepelleistä. Vertailussa saatiin kuitenkin samansuuntaisia tuloksia eri tuotteiden kesken.

11.2 Tutkimuksen objektiivisuus

Tässä tutkimustyössä esitellyt tulokset ovat samansuuntaisia, kuin edellisessä kappaleessa vertailu Texas Instrumentsin valmistamaan tuotteeseen. Tuotteen osia vähentämällä saadaan kokoonpano-aikaa vähennettyä. Sammet Dampersin uudet marine 3-tiepellit on suunniteltu yhteistyössä valmistus- ja suunnittelutiimin kanssa, joten tässä tutkimuksessa esitelty 3-tiepellin kehittyneempi tuoterakenne ei ole pelkästään tämän tutkimustyön tekijän kehittämä.

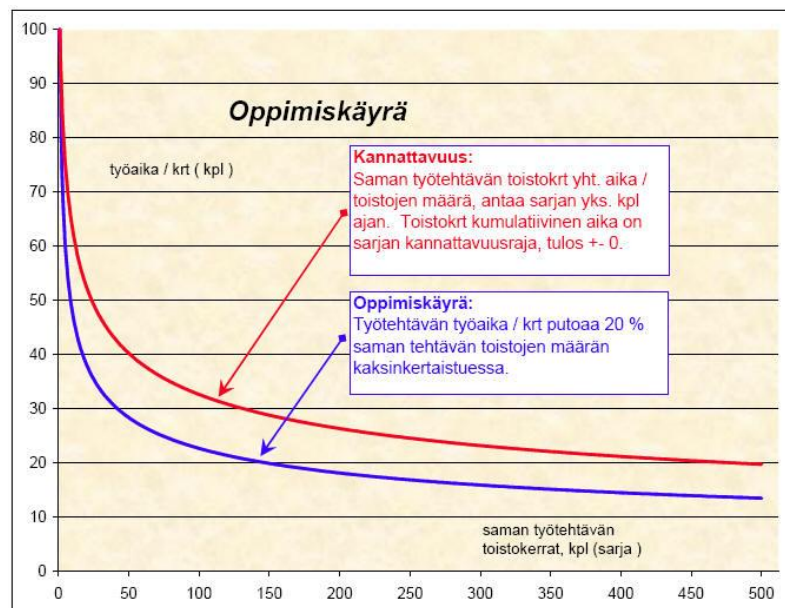
Tutkimuksen tuloksissa taulukoissa 12 ja 9 laskettu kokoonpanotehokkuus Boothroydin menetelmällä ja suunnittelurakenteen tehokkuus Lucas DFA menetelmällä perustui manuaalisesti määritettyihin tuotteen osien teoreettisiin minimimääriin. Tässä tutkimuksessa osien minimimäärityksen teki tutkimuksen tekijä, joten toisen tutkijan näkökulmasta nämä tulokset voivat olla erilaisia.

11.3 Tutkimuksen reliabiliteetti ja validiteetti sekä virhetarkastelu

Tässä tutkimuksessa tutkittiin valmistus- ja kokoonpanoystävällisen tuotteen kehittämistä ja mittaamista. Teoriaosuudessa esitettiin, että tuotteen kokoonpantavia osia vähentämällä ja yksinkertaistamalla sekä tekemällä rinnakkaissuunnittelua valmistuksen kanssa, saadaan tuotteen kokoonpano-aikaa pienennettyä. Tutkimuksessa tehdyistä tuloksista voidaan

havaita, että tutkittavissa 3-tiepelleissä (DN350 ja DN1200) osien määrää saatiin vähennettyä sekä kokoonpanossa, että valmistuksessa. Uusien 3-tiepeltien suunnittelussa käytettiin rinnakkaissuunnittelun periaatetta yhdessä Kiinan valmistuksen kanssa. Molemmissa pelleissä kokoonpano-aika pieneni, näin ollen voidaan todeta, että tutkimuksen tulokset ovat valideja.

Tähän tutkimukseen uusien DN350 ja DN1200 3-tiepeltien kokoonpano-aikaa ei ehditty mittaamaan kuin kerran. Uuden 3-tiepellin kokoonpano poikkeisi joiltakin osin myös totutusta vanhasta mallista, joten kokoonpano-aikaa kului varmasti uuden opetteluun. Jotta tulokset olisivat täysin luotettavia, tulisi kokoonpanoajan mittauksia tehdä uudesta 3-tiepellin kokoonpanosta useita kertoja ja vertailla tuloksien vaihtuvuutta. Oletus on, että uuden 3-tiepellin kohdalla toistettaessa kokoonpano-aikaa kokoonpano-aika lyhenee tiettyyn pisteeseen, jonka jälkeen se pysyy kutakuinkin samana kuvan 52 oppimiskäyrän mukaisesti.

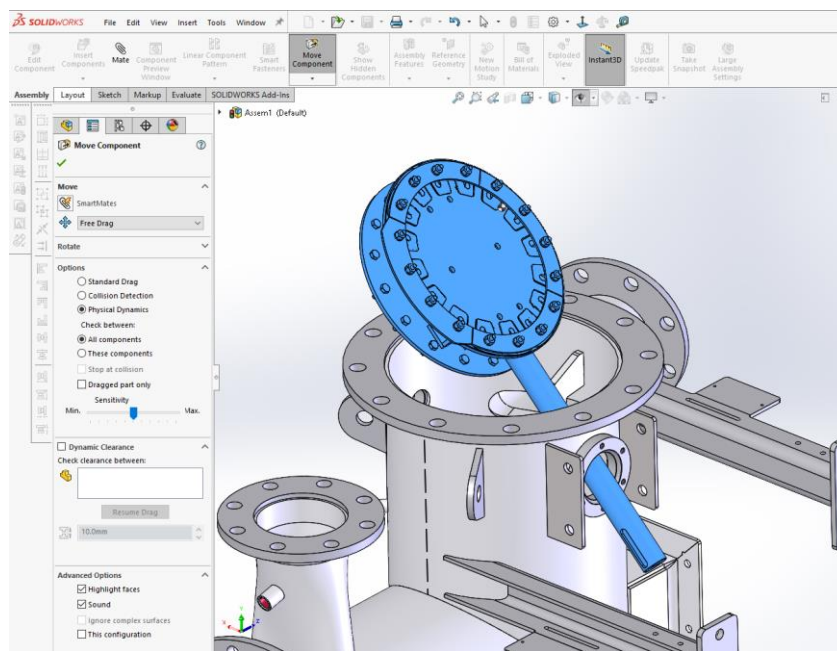


Kuva 52. Oppimiskäyrä (Merplan. N.D).

Tuloksissa esitetty suunnittelurakenteen tehokkuus Lucasin menetelmällä ja kokoonpanotehokkuus Boothroydin menetelmällä laskettuna perustui siihen, että kokoonpanossa arvioitiin osien teoreettinen minimimäärä. Kokoonpanossa osien minimimäärä arvioitiin molemmissa 3-tiepelleissä sekä uudessa, että vanhassa mallissa tutkimuksen tekijän toimesta saman aikaisesti ja samoilla periaatteilla, joten tuloksia voidaan pitää keskenään vertailukelpoisina.

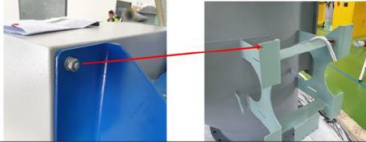
11.4 Keskeiset johtopäätökset

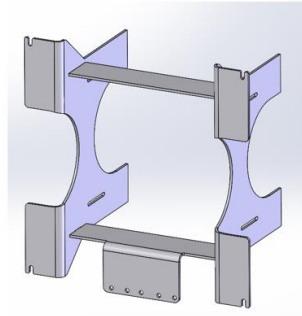
Nykyisillä CAD ohjelmilla voidaan tehdä tarkkoja simulointeja ja törmäystarkasteluja, esimerkiksi onko osan kokoonpano ylipäättänsä mahdollista ja miten päin se tulisi suorittaa. Tästä esimerkkinä kuva 53, jossa simulointiin SolidWorks 3D suunnitteluohjelmalla onko sinisellä korostetun lavan osakokoonpano mahdollista asentaa 3-tiepellin runkoon. CAD ohjelmalla kokoonpanon simulointi vähentää tuotannossa prototyypin testausta ja jo suunnitteluvaiheessa voidaan miettiä kokoonpanosuunnat ja -menetelmät valmiiksi.



Kuva 53. Sinisellä korostetun osan kokoonpanon törmäystarkastelu SolidWorksilla.

Yllättävää on ollut huomata, kuinka pienillä suunnittelumuutoksilla voidaan vaikuttaa merkittävästi valmistusystävällisyyteen ja kokoonpanotehokkuuteen. Esimerkkinä tästä isoissa 3-tiepeleissä käytetyn laitekaapin asentaminen 3-tiepellin runkoon. Aiemmin runkoon hitsatussa kiinnitystelineessä oli pelkät reiät kiinnitystä varten. Tuotannossa oli haasteellista saada laitekaappia asennettua kiinnitystelineeseen ja se vaati kaksi työntekijää. Teimme kiinnitystelineen suunnitteluun muutoksen tekemällä kiinnitysrei'istä avoimet. Tämän ansiosta laitekaapin ruuvit voidaan asentaa etukäteen kaappiin ja nostaa se yhden työntekijän toimesta kiinnitystelineeseen. Tämä on nähtävissä kuvasta 54, jossa yläpuolella näkyy ote palaverimuistiosta ja kuvaus ongelmasta, alapuolella näkyy uudelleen suunniteltu kiinnitysteline.

Subject	Remark	Time / Conclusion	Action / Resp.
1.	Electric cabinet installation holes change to open hole- easy & faster assembly, less manpower 	GO. Engineering will provide sketch how to implement this change on week 48. Production can take it use immediately. Manufacturing drawings will be revised afterwards.	Eng



Kuva 54. Laitekaappiteline, jossa alapuoella näkyy kehitetty malli, joka helpottaa siihen asennettavan kaapin asennusta telineen nurkissa olevien avoimien reikien ansiosta.

Suunnittelun vaikutukset tuotteen kokonaishintaan ovat merkittävät. Teoriaosuudessa eri lähteiden mukaisesti suunnittelulla voidaan vaikuttaa 70 % tuotteen kokonaishintaan, mutta vain 5 % tuotteen hinnasta tulee suunnittelukustannuksista. Tämän takia olisikin syytä lisätä suunnitteluun käytettyä aikaa, tehdä rinnakkaissuunnittelua ja pyrkiä ”tehdään kerralla oikein” periaatteeseen. Turhan usein suunnittelu tehdään kiireellä, koska on paine saada valmistuskuvat mahdollisimman nopeasti valmistukseen. Tämä johtaa harmittavan usein kuitenkin siihen, että valmistuksessa tulee ongelmia ja suunnittelussa joudutaan myöhemmin tehdä korjauksia jo suunniteltuihin projekteihin. Virheiden korjaaminen on aina kalliimpaa kuin kerralla oikein tehdyssä suunnittelussa.

Tuotteen modulaarisen rakenteen hyödyt kokoonpanojassa voidaan nähdä tuloksista taulukosta 13 (s. 68), jossa DN350 3-tiepellin kokoonpanoaika on eritelty kahta eri tapaa käyttäen. Modulaarisempi tapa 2, jossa suoritettiin enemmän osakokoonpanoja, oli 25 % nopeampi kuin tapa 1. Pitää kuitenkin huomioida, että kyseinen testi suoritettiin DN350 3-tiepeltiin, jonka osakokoonpanot ovat käsiteltävissä käsivoimin niiden keveyden ja pienen koon vuoksi. Isommissa pelleissä osakokoonpanojen käsittely on huomattavasti vaikeampaa painon ja ison koon vuoksi. Näissä tapauksissa tulokset eivät välttämättä ole samansuuntaisia.

D350 3-tiepellin kohdalla uudessa mallissa erilaisten osien määrä pysyi samana kokoonpanossa vaikkakin kokoonpanossa osien kokonaismäärä vähentyi. Tämä johtuu siitä, että uusi malli on modulaarisempi.

Rinnakkaissuunnittelu on tärkeää uuden tuotteen suunnittelussa sekä tuotekehityksessä. Olisikin tärkeää miettiä keinoja, miten rinnakkaissuunnittelua voitaisiin saada tehokkaammaksi ja koskemaan kaikkia osastoja esimerkiksi myös myyntiä, markkinointia, huoltoa sekä laatua. Myynnin ja markkinoinnin on tärkeää tietää mitä mahdollisuuksia suunnittelussa ja valmistuksessa on sekä vastaavasti suunnittelijoiden ja valmistajien tulisi saada markkinoinnista ja myynnistä tietoa mitkä asiat tuotteessa ovat asiakkaille tärkeitä. Laatuosaston tulisi informoida suunnittelijoita ja valmistajia esimerkiksi tuotteissa toistuvissa laatuongelmista ja huolto-osaston tuotteiden huollossa esiintyvistä ongelmista. Sammetin tapauksessa rinnakkaissuunnittelun periaatteita valmistuksessa ja suunnittelussa tulisi soveltaa myös muihin Euroopassa oleviin alihankintavalmistajiin.

Suunnittelijan on tärkeää tuntea tuotteiden valmistus- ja kokoonpanomenetelmät. Jollei suunnittelija tunne valmistus- ja kokoonpanomenetelmiä, suunnittelussa on vaikea puuttua oleellisesti tuotteen kokoonpanoa ja valmistusta helpottaviin asioihin. Olisikin hyvä, jos kaikki suunnittelijat pääsisivät paikanpäälle katsomaan valmistusta ja kokoonpanoa ja vaikka itse kokeilemaan tuotteen kokoonpanoa. Jollei suunnittelijoiden ole mahdollista päästä katsomaan valmistusta ja kokoonpanoa, tulisi heille esittää tuotteen kokoonpano- ja valmistusmenetelmät kuvia ja videoita apuna käyttäen.

Kokoonpanossa osien määrän laskentaan käytettiin peltien CAD 3D-malleista saatavaa BOM (bill of material) osalistaa. Hieman hankaluutta tuotti, kun suunnittelurakenne oli eri kuin todellinen kokoonpanorakenne. Oli itse mietittävä mitkä osat kuuluvat hitsauskokoonpanoihin, ja mitkä osat hitsauksen jälkeiseen kokoonpanoon. Tuotteen suunnittelurakenteen olisikin hyvä olla myös sama kuin todellisuutta vastaava kokoonpanorakenne, ei esimerkiksi käytetä samassa kokoonpanossa ruuveilla liitettäviä ja hitsattavia osia.

Tämän tutkimustyön ongelmanratkaisun kannalta tärkeää oli vähentää osien määrää ja erilaisten osien määrää kokoonpanoissa. Osien- ja erilaisten osien määrän vähentäminen helpottaa myös nimikkeiden hallintaa tuotannonohjausjärjestelmissä. Kuvan 50 ja 51 kuvaajista voidaan päätellä, että Sammetin 3-tiepeltien kokoonpanon läpimenoaikaan vaikutti enemmän osien määrän vähentäminen kuin painon vähentäminen.

11.5 Tulosten uutuusarvo

Tulosten uutuusarvona voidaan pitää tässä työssä esitettyjä menetelmiä, joilla Sammet Dampersin valmistamista 3-tiepelleistä saatiin valmistusystävällisempiä ja kokoonpanotehokkaampia.

11.6 Tulosten hyödynnettävyys ja yleistettävyys

Tässä tutkimuksessa esiteltyjä rinnakkaissuunnittelun ja DFMA:n periaatteita voidaan hyödyntää kaikkiin Sammetin sekä muidenkin yritysten tuotteisiin ja toimintaan.

Sammetin maapuolen 2-tie ja 3-tiepellit ovat kutakuinkin samantyyppisiä, kuin tässä tutkimuksessa esimerkkeinä käytetyt marine 2-tie ja 3-tiepellit, joten tätä tutkimusta ja sen tuloksia voidaan hyödyntää maapuolen 2-tie- ja 3-tiepelteihin sellaisinaan. Tuotteiden standardisointi ja modulaarisuus tulee koskea kaikkia Sammetin tuotteita.

11.7 Jatkotutkimusaiheet

Tässä tutkimuksessa kokoonpanotehokkuuden arviointiin käytettiin manuaalisesti Lucas DFA menetelmän mukaista suunnittelurakenteen tehokkuuden arviointia ja kokoonpanotehokkuuden arviointiin käytettiin Boothroydin DFA menetelmää. Kokoonpantavuuden arviointimenetelmiin on olemassa erilaisia tietokoneohjelmia, joiden avulla suunnittelurakenteen ja kokoonpanotehokkuuden arviointi helpottuu. Molemmissa menetelmissä tuli arvioida tuotteen kokoonpanossa osien teoreettinen minimimäärä. Lucas DFA suunnittelurakenteen tehokkuus kannustaa suunnittelijaa vähentämään osien määrää suunniteltavien tuotteiden kokoonpanoissa ennen rakenteen etenemistä valmistukseen. Tämä menetelmä olisi hyvä ottaa käyttöön uusien tuotteiden suunnittelussa ja tuotekehityksessä, jotta tuotteista saataisiin kokoonpanoystävällisempiä kokoonpantavien osien määrän vähentymisen myötä. Lucas DFA menetelmän mukaisesti suunnittelurakenteen tehokkuuden tulisi olla vähintään 60 %. Uudessa DN350 3-tiepellisissä

suunnittelurakenteen tehokkuus on n. 41 % ja DN1200 pellissä n. 43 %. Näiden tulosten perusteella tulisikin vielä miettiä 3-tiepeltien rakennetta uudelleen, jotta päästäisiin Lucas DFA menetelmän 60 % tavoitteeseen.

Teoriaosuudessa esiteltyä platform ajattelutapaa olisi hyvä soveltaa Sammetin tuotteisiin esimerkiksi niin että, 2-tie ja 3-tiepeltien samaan runkoon olisi mahdollista asentaa eri tiivistysratkaisuilla varustettuja alapalevyjä. Näin saataisiin samasta rungosta rakennettua eri tuotteita eri asiakkaiden vaatimusten mukaisesti.

Tuloksista kävi ilmi, että vaikka ruuvien, muttereiden ja aluslevyjen määrää saatiin vähennettyä uusiin DN350 ja DN1200 3-tiepelteihin on niiden suhteellinen määrä kaikista kokoonpantavista osista molemmissa pelleissä n. 75 %. Olisikin syytä tukiä onko oikeasti kaikki ruuviliitokset tarpeellisia ja voitaisiinko ruuviliitoksia korvata muilla liitostavoilla sekä voitaisiinko esimerkiksi aluslevyt jättää pois tai korvata ne mutterilla, joissa on kiinteä aluslevy. Pitää muistaa, että jokainen liitos tuotteessa on myös laaturiski. Uudessa DN1200 3-tiepellissä erilaisia ruuvikantoja on 11 kpl ja DN350 pellissä niitä on 10 kpl. Jotta kokoonpanossa tarvittaisiin vähemmän erilaisia työkaluja, eri ruuvikantojen määrää tulisi pyrkiä pitämään minimissään.

12 YHTEENVETO

Tulosten mukaisesti tässä tutkimustyössä tuotteen uudelleen suunnittelulla saatiin parannettua valmistus- ja kokoonpanoystävällisyyttä sekä vähennettyä osien määrää ja kokoonpanoaikaa, mitkä olivat tutkimuksen päätavoitteita. DN350 3-tiepellissä kaikkien osien määrä vähentyi 13 %, kokoonpanossa osien määrä vähentyi n. 4 % ja kokoonpanoaika vähentyi n. 30 %. DN1200 3-tiepellissä kaikkien osien määrä vähentyi n. 11 %, kokoonpanossa osien määrä vähentyi n. 8 % ja kokoonpanoaika vähentyi n. 15 %. Uskon, että vielä tarkemmalla konseptisuunnittelulla voimme vähentää 3-tiepelleistä osien määrää entisestään ja näin ollen parantamaan edelleen kokoonpanoaikaa. Myös rinnakkaissuunnittelu yhdessä valmistuksen ja kokoonpanon kanssa parantaa ja nopeuttaa tuotteiden valmistusta sekä kokoonpanoa entisestään. Tätä tutkimustyötä tehdessäni maailmalla vallitsi Covid-19 koronapandemia, mikä vaikeutti tutkimusta, kun uusia 3-tiepellin prototyyppejä ja niiden valmistusta ei päässyt katsomaan paikanpäälle.

Tämän tutkimustyön tuloksissa ei vertailtu suoraan tuotteen valmistus- ja kokoonpanokustannuksia luottamuksellisista syistä. Tuloksista voidaan kuitenkin ymmärtää, että kokoonpanoajan lyhentyessä sekä valmistusystävällisyyden parantuessa rinnakkaissuunnittelun avulla, tuotteen valmistus- ja kokoonpanokustannukset laskevat. Modulaarisuudella ja osien standardisoinnilla saadaan osien eräkokoja suuremmaksi, joka pienentää yksittäisen osan valmistuskustannuksia.

LÄHTEET

Blackenfelt, M. & Sellgren, U. 2000. Design of Robust Interfaces in Modular Products. [Viitattu 23.10.2020]. Saatavissa:

https://www.researchgate.net/publication/228537681_Design_of_robust_interfaces_in_modular_products.

Boothroyd, G., Dewhurst, P. & Knight, W. A. 2011. Product Design for Manufacture and Assembly. 3. painos. Boca Raton: Taylor & Francis Group. 670 s.

Breidert, J. & Welp, E. G. 2003. Tools Supporting the Development of Modular Systems. DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm. s. 341–342.

DFMA. 2021a. Background. [Verkkosivu]. [Viitattu 06.04.2021]. Saatavissa: <https://www.dfma.com/backgrd.asp>

DFMA. 2021b. DFA PRODUCT SIMPLIFICATION. [Verkkosivu]. [Viitattu 06.04.2021]. Saatavissa: <https://www.dfma.com/software/dfma.asp>

Desai, A. 2019. Ease of product assembly through a time-based design methodology. Assembly Automation. Volume 39, Number 5. s. 881–903.

Eskelinen, H. & Ström, J. 2007. DFM(A)-Aspects of an Advanced Cable Gland Design. Lappeenranta: Lappeenranta University of Technology. 21 s. [Viitattu 23.10.2020]. Saatavissa:

<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/31020/TMP.objres.711.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Eskilander, S. (2001). Design For Automatic Assembly – A Method For Product Design: DFA2. Tukoholma: Royal Institute of Technology. 189 s.

Farris, J. N.Da. Over-The-Wall Design Process. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.10.2020]. Saatavissa:

<http://npdbook.com/introduction-to-stage-gate-method/the-era-of-specialization-and-over-the-wall-design/>

Farris, J. N.Db. Concurrent Engineering. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.10.2020]. Saatavissa:

<http://npdbook.com/introduction-to-stage-gate-method/concurrent-engineering/>

Farris, J. N.Dc. The \$13.63 Washer. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.10.2020]. Saatavissa:

<http://npdbook.com/introduction-to-stage-gate-method/concurrent-engineering/the-5-washer/>

Finder. N.D. Sammet Dampers Oy. [Verkkosivu]. [Viitattu 04.02.2021]. Saatavissa:

<https://www.finder.fi/Konepajateollisuus+ja+metallity%C3%B6t/Sammet+Dampers+Oy/Jyv%C3%A4skyl%C3%A4/yhteystiedot/193312>

Hietikko, E. 2015. Tuotekehitystoiminta. 3. painos. Helsinki: BoD – Books on Demand. 204 s.

Huhtala, P. & Pulkkinen, A. 2009. Tuottavuuden kehittäminen – Parempi tuotteisto useasta näkökulmasta. Tampere: Esa Print Oy. 431 s.

IMO. 2019. IMO 2020 – cutting sulphur oxide emissions. [Verkkosivu]. [Viitattu 04.02.2021]. Saatavissa: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>

Jose, A. & Tollenaere, M. 2005. Modular and platform methods for product family design: literature analysis. Journal of Intelligent Manufacturing 16, s. 371–390. [Viitattu 15.01.2020]. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s10845-005-7030-7>

Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. 1. painos. Porvoo: WSOY. 398 s.

Leaney, P. G. & Wittenberg, G. 1992. Design For Assembling: The Evaluation Methods Of Hitachi, Boothroyd And Lucas. Bedford: Emerald Group Publishing Limited.

Lempiäinen, J. & Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu. 1. painos. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys Ry. 180 s.

Lempiäinen, J. 2008. Quality in Engineering Design (in Finnish), Lahti, Finland. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.12.2020]. Saatavissa: http://www.deltatron.fi/recent_topics.html

Lewis, G. 2014. Product Design for Manufacturing and assembly. Mechanical Engineer's Handbook, Volume 2. 4. painos. Hoboken: John Wiley & Sons. 955 s.

Manufacturing hub. 2019. How Product Design Decisions Can Make or Break Your Cost Model. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.10.2020]. Saatavissa:

<https://www.manufacturinghub.io/product-design/how-product-design-decisions-can-make-or-break-your-cost-model/>

Merplan. N.D. Oppimiskäyrä ja vastaava kumulatiivinen kannattavuus. [Verkkosivu]. [Viitattu 04.02.2021]. Saatavissa: <http://www.merplan.fi/artikkeli/oppimisk.htm>

Meuleman Electronics. 2017. Successful product design with DFMA. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.10.2020]. Saatavissa: <https://blog.meuleman.io/en/successful-product-design-with-dfma>

Miller, T. D. & Elgård, P. 1998. Defining Modules, Modularity and Modularization. Proceedings of the 13th Research Seminar. Fuglsoe. 19 s.

Mital, A., Desai, A., Subramanian, A. & Mital, A. 2008. Product Development: A Structured Approach to Design and Manufacture. Burlington: Elsevier. 425 s.

Ohvanainen, J. & Hietikko, E. 2012. Building competitive advantage through platform-based product family thinking: Case powerpacks. Journal of Industrial Engineering and Management. s. 180–197. [Viitattu 05.01.2020]. Saatavissa:

https://www.researchgate.net/publication/270019399_Building_competitive_advantage_through_platform-based_product_family_thinking_Case_powerpacks

Pakkanen, J. (2015). Brownfield Process: A Method for the Rationalisation of Existing Product Variety towards a Modular Product Family, Tampere University of Technology. Publication; Vol. 1299, Tampere University of Technology. 283 s. [Viitattu 23.12.2020]. Saatavissa:

https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/114943/pakkanen_1299.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rafinejad, D. 2007. Innovation product development and commercialization: case studies and key practices for market leadership. Fort Lauderdale: J. Ross Publishing. 430 s.

Sammet. 2020. News update: 1000th Damper from Sammet's Shanghai factory. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.01.2021]. Saatavissa: <https://www.sammet.fi/1000th-damper-from-sammet-s-shanghai-factory>

Shaik, A., Rao, V. & Rao, C. (2015). Development of modular manufacturing systems—a review. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Volume 76, Number 5-8. Springer, 2015. s. 789–802.

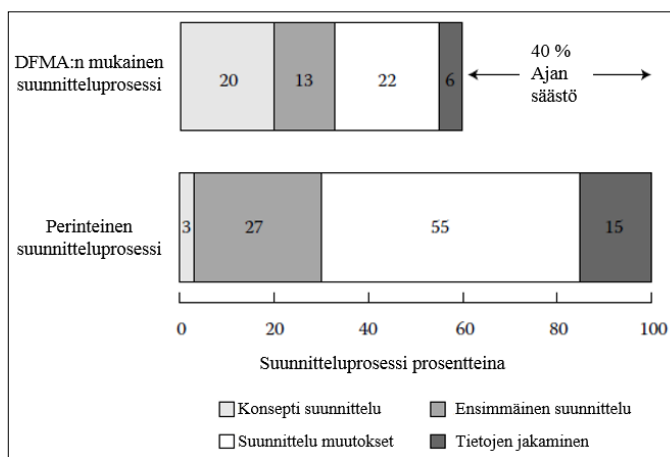
Swift, K. G. & Booker, J. D. (2013). Manufacturing Process Selection Handbook. Butterworth-Heinemann. s. 281–290.

Österholm, J. & Tuokko, R. 2001. Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin - Modular Function Deployment. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy. 64 s.

Yleisesti vääriksi syiksi todetut väitteet miksi DFMA:ta ei käytetä.

- **Ei ole aikaa**

Monesti ajatellaan virheellisesti säästettävän aikaa, kun uusi tuote saadaan mahdollisimman nopeasti suunniteltua valmistukseen. Kuitenkin todellisuudessa uuden tuotteen suunnittelun kokonaisaika ja tarvittavien suunnittelumuutosten määrä vähenee, kun uuden tuotteen suunnitteluun käytetään alussa enemmän aikaa. Kuva 55 havainnollistaa tätä tilannetta. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 15.)



Kuva 55. Suunnittelun kokonaisaika DFMA (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 7).

- **Tämä ei ole meidän keksintömme**

Monesti kohdataan vastustusta uusille tekniikoille ja ratkaisuille, kun niitä määrätään suunnittelijoiden käyttävän. DFMA:n avulla löydettyjen uusien ratkaisujen ja teknikoiden tulisi olla suunnittelijoiden itse kehittämiä. Suunnittelijat tulisikin ottaa mukaan päätöksentekoon, kun mietitään uusia ratkaisuja ja tekniikoita. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 15.)

- **Ruma vauva syndrooma**

Monesti kohdataan vastarintaa, kun ulkopuolinen huomauttaa suunnittelijalle tuotteen vaativan parannuksia. Tätä voidaan verrata tilanteeseen, kuinka joku

sanoisi äidille, että hänen lapsensa on ruma. Tämän takia on tärkeää ottaa suunnittelijat mukaan DFMA analyysihin ja tarjota heille kannustimia parempiin suunnitteluratkaisuihin. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 15.)

- **Alhaiset kokoonpanokustannukset**

Monesti on perusteltu, ettei DFA analyysia tarvita, koska kokoonpanokustannukset ovat verrattain pienet tuotteen kokonaiskustannuksista. Tämä kuitenkin on täysin väärä ajattelutapa. DFA analyysin avulla voidaan päätyä vaikkapa tilanteeseen, jossa kokoonpantava tuote vaihdetaan yhteen koneistettuun osaan. Tämä voi vähentää kokonaisvalmistuskustannuksia yli 50 %. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 15-16.)

- **Vähäinen tuotantomäärä**

Monesti ajatellaan, että DFMA ajattelusta hyödytään vasta kun tuotteita tuotetaan suuria määriä. Voidaan kuitenkin väittää, että DFMA ajattelu on jopa tärkeämpää pienemmissä tuotantoerissä. Tämä koska, monesti alkuperäistä suunnittelua ei uudelleenarvioida pienissä tuotantoerän tuotteissa ja prototyyppi päätyy suoraan tuotantoon. Ajattelusta ”tee asiat heti oikein” tulee entistä tärkeämpi mitä pienemmät tuotantoerät ovat kyseessä. Itse asiassa osien yhdistämisen mahdollisuudet näissä olosuhteissa ovat suuremmat, koska sitä ei yleensä huomioida suunnittelussa. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 17.)

- **Olemme tehneet näin vuosia**

Tämä väite perustuu usein siihen, että yrityksessä on käytetty jonkinlaista menetelmää tuottavuuden suunnittelua varten. Tämä kuitenkin monesti johtaa osien yksityiskohtaiseen valmistusta helpottavaan suunnitteluun, joka voi tarkoittaa esimerkiksi ohutlevyosan taivutuksien määrän vähentämistä. Kuitenkin kokemus on osoittanut, että on edullisempaa yhdistää mahdollisimman monta ominaisuutta yhteen osaan. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 17.)

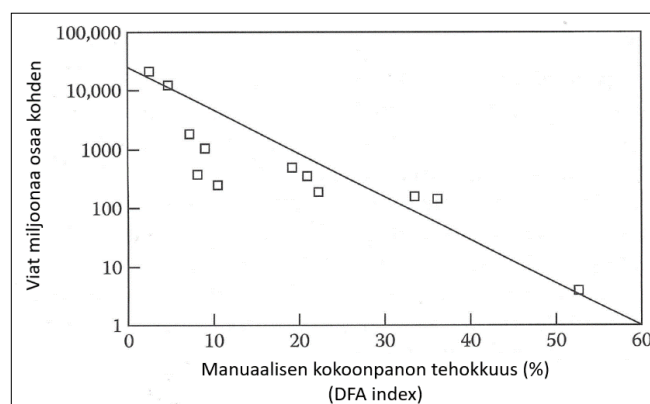
- **DFMA on vain arvoanalyysi**

On totta, että DFMA:n ja arvoanalyysin tavoitteet ovat samat. On kuitenkin ymmärrettävä, että DFMA on tarkoitettu sovellettavaksi suunnitteluvaiheen

alkupuolella eikä arvoanalyysi kiinnitä asianmukaista huomiota tuotteen rakenteeseen ja sen mahdolliseen yksinkertaistamiseen. DFMA:n etuna on järjestelmällinen vaiheittainen menettelytapa, jota voidaan soveltaa suunnittelun jokaisessa vaiheessa, ja joka haastaa suunnittelijan tai tiimin perustelemaan kaikkien osien olemassaolon sekä harkitsemaan vaihtoehtoisia ratkaisuja. Kokemus on osoittanut, että DFMA tekee merkittäviä parannuksia olemassa oleviin tuotteisiin, vaikka arvoanalyysi olisikin jo suoritettu. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 17.)

- **DFMA on vain yksi monista tekniikoista**

DFMA jälkeen on ehdotettu monia muita tekniikoita esimerkiksi DFQ (design for quality), DFC (design for competitiveness), DFR (design for reliability) jne. Monessa tapauksessa DFMA on laiminlyöty ja suunnittelussa on kiinnitetty enemmän huomiota esimerkiksi tuotteen suorituskykyyn ja ulkonäköön. On kuitenkin osoittautunut, että kun tuotteen valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen kiinnitetään huomiota, muut tekijät kuten tuotteen laatu ja luotettavuus myös parantuvat. Kuvasta 56 nähdään havainnollisesti, kuinka kokoonpanon tehokkuuden arvon (DFA index) parantuessa myös tuotteen vikojen määrä vähentyy. Kuvassa pystyrivillä on viat miljoonaa koottua osaa kohden ja vaakarivillä DFA kokoonpantavuusarvo. Jokainen neliö kuvassa kuvastaa uudelleen suunniteltua tuotetta jonka Motorola on valmistanut. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 17-18.)



Kuva 56. Kokoonpanotehokkuuden arvon vaikutus tuotteen vikoihin (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 18).

- **DFMA johtaa tuotteisiin, jotka ovat hankalia huoltaa**

Tämä väite pidä millään tavalla paikkaansa. Kokemusten mukaan myös tuotteen huollettavuus ja purettavuus on parempi, kun tuotteen kokoonpano helpottuu. Suunnittelussa DFMA ajattelua tulisikin soveltaa entistä enemmän tuotteisiin, jotka vaativat jatkuvaa huoltoa. Esimerkiksi monessa tapauksessa huoltoluukusta, joka on monella ruuvilla kiinnitetty, on huollon jälkeen osa ruuveista jätetty kiinnittämättä. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 18.)

- **Suunnittelusäännöt ovat parempia**

Suunnittelusääntöjen vaarana on, että ne ohjaavat suunnittelijaa väärään suuntaan. Yleensä säännöt pakottavat suunnittelijaa ajattelemaan yksinkertaisempia osia, jotka ovat helpommin valmistettavissa. Tämä voi kuitenkin johtaa monimutkaisempiin tuoterakenteisiin ja sen kautta tuotteiden kokonaiskustannusten nousuun. DFMA:n systemaattiset menettelytavat ohjaavat suunnittelijaa yksinkertaisempiin tuoterakenteisiin ja antavat määrällistä tietoa mahdollisten suunnittelumuutosten tai ehdotuksien vaikutuksista. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 18.)

- **Kieltäytyminen DFMA:n käytöstä**

Ellei suunnittelijoilla ole riittävästi kannustimia omaksua DFMA filosofiaa ja käyttää työkaluja sen arviointiin, monesti nähdään, että ne eivät toimi eikä niistä ole apua. Tästä syystä olisikin tärkeää antaa suunnittelutiimille kannustimia ja työkaluja, joilla voidaan helposti sisällyttää DFMA ajattelua tuotteisiin suunnittelun aikana. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, s. 18-19.)