



# DFM&A:n vaikutus valmistuskustannuksiin

Vertailu raakakonseptin ja DFM&A-konseptin välillä

Aleksi Viljakainen

Opinnäytetyö, AMK

Lokakuu 2024

Insinööri (AMK), Konetekniikka

**Aleksi Viljakainen**

**DFM&A:n vaikutus valmistuskustannuksiin, vertailu raakakonseptin ja DFM&A-konseptin välillä**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Lokakuu 2024, 37 sivua

Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

## **Tiivistelmä**

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Harvia Finland Oy. Harvia halusi selvittää tuotesuunnittelussa käytettävien prosessien vaikutusta. Tehtävään valikoitiin DFM&A suunnittelumetodi, koska DFM&A:n käyttäminen työskentelyssä on selkeää ja DFM&A:n prosessi on selkeä. Suunnittelumetodin vaikutusta selvitetään vertailemalla valmistuskustannuksia.

Tuotekehitys on tärkeä osa tuotteita valmistavien yritysten toimintaa. Tuotekehityksellä voidaan tarjota asiakkaille ajankohtaisia ja uusia tuotteita. Tuotekehitystä voidaan toteuttaa monella tapaa, mutta yleisesti ottaen prosessien mukainen tuotekehitys on tehokasta. Design for manufacturability and assembly on suunnittelumetodi, jolla vaikutetaan suunnittelufilosofiaan. Tilanteeseen sopivalla suunnittelufilosofialla saadaan hyötyjä muun muassa suunnittelun ja tuotannollisuuden tehokkuudesta.

Opinnäytetyö aloitettiin selvittämällä tarpeellinen teoria. DFM&A-metodin ymmärtämiseksi on tärkeää tietää myös tuotannollista puolta, jotta metodi olisi tarpeeksi kattava. Teoriaa selvitettiin DFM&A:n, valmistuskustannusten, levyn leikkaamisen, taivutuksen ja kokoonpanon kannalta. Tutkimus itsessään toteutettiin suunnittelemalla raakakonsepti uudestaan DFM&A-suunnittelufilosofian mukaisesti, jonka jälkeen näitä kahta vertailtiin toisiinsa valmistuskustannusten saralta.

Tulokset ovat opinnäytetyön kannalta positiivisia. Valmistuskustannuksissa on nähtävissä selkeä lasku. Lisäksi opinnäytetyötä tehdessä huomattiin DFM&A:n olevan erinomainen ohjenuora suunnittelijalle, sillä sen prosessimainen kulku ohjaa suunnittelijaa ajattelemaan useammalta näkökulmalta. Johtopäätöksenä sanottakoon, että opinnäytetyö oli onnistunut ja toimeksianto on toteutettu.

## **Avainsanat (asiasanat)**

Tuotekehitys, Suunnitteluprosessi, DFMA, DFM, DFA

## **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

Liitteet 1, 2, 3, 4 ja 5 on salassa pidettäviä, ja ne ovat poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena on viranomaisten toiminnan julkisuudesta annetun lain (621/1999) 24 §:n kohta 17 ja 20. Salassapitoaika on kaksi (2) vuotta. Salassapito päättyy 7.10.2026.

**Aleksi Viljakainen**

**The impact of DFM&A on manufacturing costs, comparison between the raw concept and the DFM&A concept**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, October 2024, 37 pages.

Degree Programme in Mechanical Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

The client of the thesis is Harvia Finland Oy. Harvia wanted to investigate the impact of the processes used in product design. The DFM&A design method was chosen for the assignment because DFM&A is clear to use in the work and the DFM&A process is clear. The impact of the design method is investigated by comparing manufacturing costs.

Product development is an important part of the activities of companies that make products. Product development is a way of offering customers new and up-to-date products. There are many ways to do product development, but in general, process-oriented product development is effective. Design for manufacturability and assembly is a design method that influences the design philosophy. With the right design philosophy, benefits include design and manufacturing efficiency.

The thesis started by clarifying the necessary theory. To understand the DFM&A method, it is also important to know the production side to make the method comprehensive enough. The theory was explained in terms of DFM&A, manufacturing costs, sheet cutting, bending and assembly. The study itself was carried out by redesigning the raw concept according to the DFM&A design philosophy, after which the two were compared in terms of manufacturing costs.

The results are positive for the thesis. There is a clear decrease in manufacturing costs. In addition, the thesis found DFM&A to be an excellent guide for the designer, as its process-like approach guides the designer to think from multiple perspectives. In conclusion, the thesis was successful, and the mandate has been fulfilled.

### **Keywords/tags (subjects)**

Product development, Design process, DFMA, DFM, DFA

### **Miscellaneous (Confidential information)**

Attachments 1, 2, 3, 4 and 5 are confidential and has been removed from public thesis. Secrecy is based on section 24 parts 17 and 20 of the law of Publicity. The confidentiality period is two (2) years. Confidentiality ends on 7.10.2026.

## Sisältö

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Johdanto .....</b>  | <b>3</b>  |
| 1.1      | Yritysesittely.....  | 3         |
| 1.2      | Työn tausta ja lähtötilanne .....  | 4         |
| 1.3      | Työn tavoite.....  | 4         |
| 1.4      | Työn rajaus .....  | 4         |
| 1.5      | Tutkimuskysymykset .....   | 5         |
| <b>2</b> | <b>Teoria.....</b>   | <b>5</b>  |
| 2.1      | Tiedonhaun ja lähdeaineiston kuvaus sekä eettisyys .....                     | 6         |
| 2.2      | Tutkimusmenetelmän valinta, teoria ja käyttö.....                            | 6         |
| 2.3      | DFM&A .....  | 8         |
| 2.3.1    | DFM .....  | 9         |
| 2.3.2    | DFA .....  | 12        |
| 2.4      | Valmistuskustannukset .....  | 15        |
| 2.5      | Levyn leikkaaminen .....   | 16        |
| 2.6      | Taivutus .....   | 17        |
| 2.7      | Kokoonpano .....   | 19        |
| <b>3</b> | <b>Työn toteutus .....</b>   | <b>19</b> |
| 3.1      | Suunnittelutyö käyttäen DFM&A:ta.....  | 20        |
| 3.2      | Valmistuskustannus laskenta .....  | 23        |
| <b>4</b> | <b>Tulokset ja jatkotoimenpiteet .....</b>                                   | <b>28</b> |
| <b>5</b> | <b>Pohdinta ja johtopäätökset.....</b>                                       | <b>29</b> |
|          | <b>Lähteet .....</b>   | <b>31</b> |
|          | <b>Liitteet .....</b>  | <b>32</b> |
|          | Liite 1. Raaka konsepti (Salassa pidettävä) .....                            | 32        |
|          | Liite 2. Kuoren DFM&A-konsepti (Salassa pidettävä) .....                     | 33        |
|          | Liite 3. Sivupalan DFM&A-konsepti (Salassa pidettävä) .....                  | 34        |
|          | Liite 4. Etupalan lippa DFM&A-konsepti (Salassa pidettävä).....              | 35        |
|          | Liite 5. DFM&A-konsepti (Salassa pidettävä).....                             | 36        |
|          | <b>Kuviot</b>  |           |
|          | Kuvio 1. DFM&A Prosessi (Kutz 2014, 59).....                                 | 8         |
|          | Kuvio 2. Tuotteen kustannuksien ja hinnan rakenne (Mital ym. 2008, 371)..... | 15        |
|          | Kuvio 3. Konseption materiaalikustannukset. ....                             | 24        |

|   |    |
|---|----|
| Kuvio 4. Leikkauksen kustannuksien vertailu. ....                               | 25 |
| Kuvio 5. Vertailu kuoren leikkaamisesta levytyöstökeskuksella ja laserilla..... | 25 |
| Kuvio 6. Särmäyksen hintojen vertailu konseptien välillä. ....                  | 26 |
| Kuvio 7. Kokoonpanon hinnan vertailu.....                                       | 27 |
| Kuvio 8. Valmistuskustannuksien vertailu. ....                                  | 27 |

## **Taulukot**

|  |    |
|--|----|
| Taulukko 1. Kuoren osien määrät raakakonseptilla ja DFA-metodilla suunnitellulla. .... | 21 |
|--|----|

# 1 Johdanto

Tuotekehitys on tärkeä osa organisaatioiden toimintaa ja kasvua. Uusilla tuotteilla vahvistetaan ja edesautetaan organisaation asemaa markkinaympäristössä. Uusien tuotteiden tuominen markkinoille on tärkeää niin yrityksen ja organisaatioiden, kuin asiakkaankin kannalta. Uuden tuotteen suunnittelu on monivaiheinen prosessi, jossa on otettava huomioon paljon asioita. Näitä asioita voivat olla esimerkiksi käytettävyys, tuotannollisuus, huollettavuus ja hinta. DFM&A on yksi suunnittelijan avuksi suunniteltu metodi, jolla vaikutetaan suunnittelufilosofiaan. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan ja käytetään DFM&A-suunnittelumetodia. Lisäksi tutkitaan valmistuskustannusten muuttumista DFM&A-metodin myötä.

## 1.1 Yritysesittely

Harvia on kansainvälisesti johtava sauna- ja spa-yhtiö. Harvian tuotevalikoimaan kuuluvat niin kiukaat ja kiuaskomponentit, kuin kokonaiset spa- ja saunaratkaisut. Harvian markkina-aseman salaisuus on uusien teknillisesti edistyneiden tuotteiden tarjoaminen. (Tietoa meistä, n.d.) Harvian markkinaosuus oli vuonna 2023 yli 20 %, ja se on kasvanut entisestään noin 5 % (Markkinat ja toimintaympäristö, n.d).

Harvia on vuonna 2023 tehnyt liikevaihtoa 150,5 miljoonaa euroa, josta liikevoittoa on tehty 33 miljoonaa euroa. Liikevaihto on kasvanut useina vuosina voimakkaasti orgaanisen kasvun ja yritysostojen takia. Harvia työllistää noin 600 ammattilaista Aasiassa, Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Kolmannes työntekijöistä tekevät työtänsä Muuramessa Keski-Suomessa, josta löytyy yhtiön pääkonttori sekä suurin tuotantolaitos. (Tietoa meistä, n.d.)

Harvia tarjoaa tuote- ja palveluvalikoimaa kaikenlaisille erilaisille saunojille. Saunakulttuureja on monenlaisia, ja niiden erot otetaan huomioon erilaisissa sauna- ja spa-ratkaisuissa. Harvia Finland Oy on Suomessa toimiva saunoja valmistava yritys, joka toimii Harvia Groupin alla. Harvia Group on nykyään globaalisti suuri organisaatio, ja siihen kuuluu useampi yritys. Harvia on kerännyt alleen useampia tunnettuja tuotemerkkejä. Näitä ovat Harvia, Sentiotec, Almost Heaven Saunas, EOS ja Kirami. (Brändit, n.d.) Useampi brändi saman konsernin alla takaa Harvialle mahdollisuuden kasvaa globaalisti, ja tehdä spa- ja saunakokonaisuuksia jokaisen makuun.

## 1.2 Työn tausta ja lähtötilanne

Opinnäytetyö aloitettiin keskeneräisestä konseptista. Yrityksessä tuotekehitys toimii impulsseilla, eli ulkoinen yksikkö tai henkilö kertoo, mitä tarvitaan. Tämän kiuasmallin kohdalla tuotekehitykseen tuotiin keskeneräinen konsepti, josta lähdettiin rakentamaan valmista kiuasmallia.

Opinnäytetyössä toteutetaan konseptitasolla DFM&A-suunnittelumethodin mukainen prosessi, ja raakakonseptia sekä DFM&A-metodilla suunniteltua konseptia toisiinsa valmistuskustannusten näkökulmasta. Työllä pyritään selvittämään prosessin mukaisen suunnittelun vaikutusta valmistuskustannuksiin, ja tuomaan uutta näkökulmaa konseptille.

## 1.3 Työn tavoite

Työn tavoitteena on suunnitella Harvialle matalan hintapisteen häkkikiuas. Tehtävä toteutetaan viemällä konseptia DFM&A-prosessin läpi, jonka jälkeen verrataan alkuperäisen ja DFM&A-filosofian mukaisen kiukaan valmistuskustannuksia.

## 1.4 Työn rajaus

Työssä käydään läpi DFM&A-metodia läpi ensin teoriassa ja lopuksi käytännössä. Konseptia muokataan analyysissä esiin tulleiden muutostarpeiden mukaisesti. Lopuksi alkuperäistä konseptia ja prosessin läpi vietyä versiota verrataan keskenään, jotta nähdään, vaikuttiko DFM&A kiukaan hintapisteeseen.

Uuden kiuasmallin raaka konseptissa on mukana niin kuori ja siihen liittyvät osat, kuin kiukaan runkokin. Kiukaan runko on osa, joka sisältää kiukaan tulitilan, savukanavat sekä pienen kivitilan. Uudessa kiuasmallissa kiukaan rungon ympärille tehdään kuori, joka pidättelee kiviä itsensä ja kiukaan rungon välissä. Opinnäytetyössä otetaan kantaa nimenomaan kuoreen ja sen osiin. Lisäksi raakakonsepti tuo vaatimuksia kiukaan ulkonäölle. Ulkomuoto sekä sen visuaaliset ominaisuudet ovat jo raakakonseptissa tiukasti lukkoon lyötyjä.

Opinnäytetyössä tehdään teoreettista työtä kustannuslaskelmien osalta. Kustannuksia laskiessa täytyy tehdä arvauksia ja vertailua muihin samankaltaisiin valmistettaviin kappaleisiin, sillä esimerkiksi työsyklin aikaa ei pystytä mittaamaan. Tähän suurin vaikuttaja ja syy on ajan puute. Opinnäytetyössä metodin mukainen suunnittelutyö toteutetaan vain kerran ajan puutteen vuoksi. DFM&A suunnittelumetodina on iteratiivinen, eli siinä palataan uudestaan aiempaan vaiheeseen tehdäkseen muutoksia havainnointien mukaisesti.

## 1.5 Tutkimuskysymykset

Opinnäytetyö on tuotekehitysprojekti, jossa tutkimuksena on lisänä DFM&A suunnittelumetodin vaikutus kiukaan valmistuskustannuksiin. Tutkimuskysymyksenä toimii:

- Pystyykö DFM&A suunnittelumetodia käyttämällä laskemaan tuotteen valmistuskustannuksia?

Opinnäytetyössä otetaan kantaa tekeillä olevaan kiuasmalliin. DFM&A-metodia käytetään alussa saatuun raakakonseptiin, jota muokataan suunnittelumetodin filosofian mukaisesti. Lopussa verrataan raakakonseptia ja DFM&A-konseptia toisiinsa, jotta voidaan todeta valmistuskustannuksien aleneminen, mikäli sitä tapahtuu.

Lisäksi opinnäytetyössä haetaan teoriaa DFM&A-suunnittelumetodin mukaista suunnittelufilosofiasta. DFM&A-suunnittelumetodia käytetään myös käytännössä, jolloin suunnittelu toteutetaan filosofian mukaisesti. Opinnäytetyö toimii hyvänä esimerkkinä DFM&A-suunnittelumetodin käytöstä ja sen vaikutuksista. Erilaiset suunnittelumetodit tuovat suunnittelijalle tukea ja turvaa työn toteuttamiseen.

## 2 Teoria

Uusi kiuasmalli on puukiuas. Puukiukaissa lämmitys tapahtuu polttamalla puuta kiukaan rungon sisällä, ja tätä kautta lämmittämällä kiukaan rungon rakenteita. Rakenteiden lämmitessä kiuaskivet imevät itseensä lämpöä ja varastoivat sitä. Puukiukaan etuna on pehmeämpi huonetilan lämmitys. Kiukaan valintaan vaikuttavana puolena voidaan pitää puun palotapahtumassa syntyviä kaasuja, jotka täytyy ohjata pois löylytilasta savupiipulla.

## 2.1 Tiedonhaun ja lähdeaineiston kuvaus sekä eettisyys

Opinnäytetyössä käsitellään syvällisesti DFM&A- suunnittelumetodia, sekä valmistuskustannuksiin liittyviä tekijöitä ja kaavoja. Teoriaa haettiin Janet Finnan avulla. Lisäksi muiden opinnäytetyöt Theseuksessa ovat toimineet ohjenuorana hyvien lähteiden löytämiselle. Avoimesta verkosta haetuja lähteitä on myös tarkasteltu, ja niiden luotettavuutta on arvioitu vertailemalla niitä toisiin avoimen verkon lähteisiin. Johdantoon käytettyä tietoa on löydetty yrityksen verkkosivuilta.

Lähteiden käytössä sekä niihin referoitaessa on tärkeää muistaa eettisyys. Eettisyys opinnäytetyössä taataan lähdemerkinnöillä, sekä lähdeluettelolla. Jyväskylän ammattikorkeakoulun tekemien ja opiskelijoille tarjoamien opinnäytetyön raportointiohjeiden käyttö on oleellinen osa kirjoitustyötä. Raportointiohje kulkee koko opinnäytetyön kirjoittamisen ajan mukana, ja ohjeen mukaisia merkintöjä on käytetty opinnäytetyössä. Raportointiohje takaa teknillisesti oikean raportin ja tuo eettisen puolen asiat esiin, kun raportointiohjetta seurataan ja käytetään niin kuin sitä kuuluukin.

## 2.2 Tutkimusmenetelmän valinta, teoria ja käyttö

Opinnäytetyö toteutettiin tutkimuksellisena kehittämistoimintana, johon on sovellettu laadullisen tutkimuksen menetelmiä. tutkimuksellinen kehittämistoiminta antaa hyvän ohjenuoran tutkimuskysymyksiä selventämiseksi. Laadullisella tutkimusmenetelmällä voidaan löytää oikeita ja relevantteja kuvailevia tutkimustuloksia, joita voidaan käyttää ongelman ratkaisuun.

Tutkimuksellinen kehitystoiminta tuo yhteen tiedontuotannon, kehittämisprosessin ja toimijoiden osallistumisen. Tutkimuksellisen kehitystoiminnan keskiössä on projektimainen toiminta, joka etenee luonnollisesti suunnittelusta varsinaiseen toteutukseen ja sieltä arviointiin. (Toikko & Rantanen 2009, 10.)

Toimijoiden osallistuminen on oleellista tutkimusmenetelmässä, sillä useampi erilaisten sidosryhmien ajatukset ovat oleellisia kehityksessä. Eri sidosryhmien näkemykset hyväksyminen ja kuuleminen on olennaista, vaikkakin jokainen sidosryhmä todennäköisesti ajaa omia intressejään. Toimijoiden osallistuttamisella tarkoitetaan siis niin käytännön tekijöiden osallistumista suunnitteluun ja suunnittelijoiden osallistumista käytännön tekemiseen. (Toikko & Rantanen 2009, 10–11.)

Tietoa voidaan tuottaa monenlaiseen tarpeeseen. Tiedontuotannon osallistuttaminen tutkimukseen voidaan tehdä kolmella tavalla. Ensimmäisessä tavassa tutkimusta itsessään käytetään arviointilähteenä kehittämistoimien vaikutuksista, epäonnistumisista tai onnistumisista. Toisessa tavassa tutkimustuloksia voidaan käyttää uusien käytäntöjen käyttöönottoon. Kolmannessa tavassa integroidaan tutkimus ja kehittäminen. Tällöin puhutaan siis tutkimusavusteisesta kehittämisestä. (Toikko & Rantanen 2009, 10–11.)

Tutkimuksellinen kehittämistoiminta sopii hyvin opinnäytetyön aiheeseen. Tiedontuotannon, Kehittämisen prosessin ja toimijoiden osallistuminen ovat oleellisia osia opinnäytetyön onnistumisen takaamiseksi. Opinnäytetyössä selvitetään alkutilanne raaka-aste konseptista. DFM&A suunnittelu-  
metodin mukaisella filosofialla suunniteltua mallia verrataan raakaan konseptiin. Keskinäistä vertailua tehdään myös valmistuskustannuksien saralla. Samalla tutkitaan, että voidaanko tässä tapauksessa DFM&A-metodilla laskea valmistuskustannuksia.

Tiedontuotantoa käytetään opinnäytetyössä kolmannella tavalla, kuten yllä on mainittu. Käytännön ja tiedon integroiminen toisiinsa on luonnollinen osa DFM&A-metodia, jossa teorian mukaista analysoitua kappaletta sitten käytetään vertailussa valmistuskustannuksista.

Kehittämisen prosessi itsessään tapahtuu DFM&A-metodilla. DFM&A antaa ohjeita ja neuvoja siitä, miten kokonaisuuksia tulisi suunnitella. Kehittämisen prosessin vaikutusta tutkitaan valmistuskustannus vertailulla, ja vertailusta saatuja tuloksia käytetään johtopäätöksissä.

Toimijoiden osallistumiseen otetaan huomioon havainnointi. Opinnäytetyön tekijä on itse toiminut yrityksen laboratoriotilassa kasaajana, ja on näin saanut kattavan näkemyksen uuden kiuasmallin protoiluvaiheen ongelmista ja hyvistä puolista.

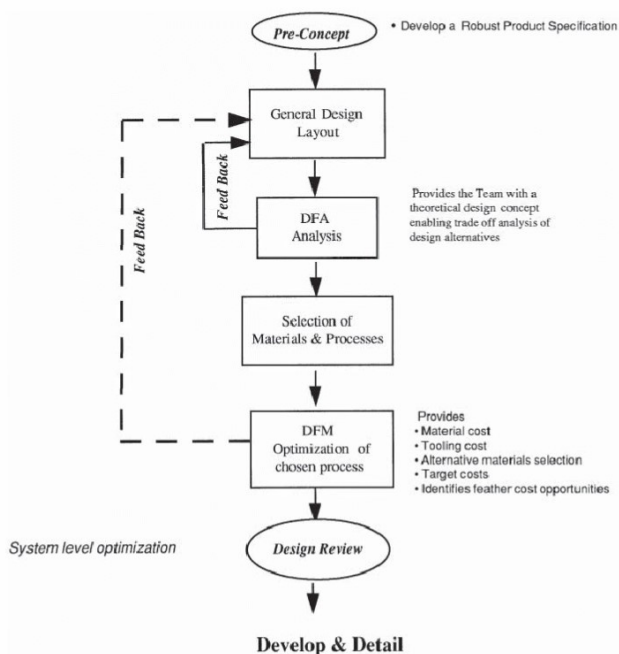
Tutkimuksellisen kehittämistoiminnan lisäksi tarvitaan laadullista tutkimusta. Laadullisen tutkimuksen ajatuksena on, että kerättyä tietoa ei odoteta lukuina tai absoluuttisina arvoina, vaan kuvailevina teksteinä. Laadullinen tutkimus tuo hyvin esiin aiheen tai ongelman yksityiskohtia, joista on sitten helppo lähteä tekemään korjaavia toimenpiteitä. Laadullista tutkimusta voi tehdä monella tavalla. (Laadullisen tutkimuksen tekeminen, n.d.) Näitä ovat esimerkiksi:

- Haastattelut
- Asiantuntijoiden mielipiteet
- Havainnoiva tutkimus

Oleellista siis laadulliselle tutkimukselle on sen kuvaileva luonne, jossa ongelmaa tai aihetta käsitellään eri näkökulmista. Kuvailevan luonteen takia yksityiskohtien ymmärtäminen on helpompaa, mutta esimerkiksi ennustaminen on hankalampaa numeerisen datan puutteen takia. (Laadullisen tutkimuksen tekeminen, n.d.)

## 2.3 DFM&A

DFM&A (Designing for Manufacturing and assembly) on menetelmä, jolla tähdätään laskemaan kappaleen valmistuskustannuksia keskittymällä yksittäisiin yksinkertaisiin osiin. DFM&A:n perimmäinen idea on vähentää yksittäisten osien määrää kokoonpanossa. Lisäksi DFM&A-analysissä kulmakivenä on taata jäljelle jäävien ja uusien osien helppo käsittely ja asennus. (Kutz 2014, 56.)



Kuvio 1. DFM&A Prosessi (Kutz 2014, 59)

DFM&A tuo kokonaisuuteen lisää kestävyyttä, huollettavuutta ja laatua lopputuotteelle. Suurin vaikutus DFM&A:lla on suunnittelutyön alussa, jossa sillä voidaan vaikuttaa tuotteen kokonaisuuteen tarkistelemalla kokonaisuuden osien hintaa, kokoonpanovaihetta ja kokoonpano aikaa. DFM&A on iteratiivinen tekniikka (katso kuvio 1.), jossa palataan edellisiin vaiheisiin tekemään korjauksia ja muutoksia palautteen mukaan. (Kutz 2014, 57.)

DFM&A-analyysin prosessiin kuuluu kaksi oleellista askelta: DFA (design for assembly) ja DFM (design for manufacturing). DFA ottaa kantaa kappaleen työvoimapuoleen. Tällä siis tarkoitetaan ihmistyövoimaa, joka tarvitaan uudesta suunnittelusta aina valmiiseen kokonaisuuteen saakka. DFM ottaa kantaa materiaaleihin ja työkalujen käyttöön. DFM rikkoo valmistusprosessin pienempiin yksinkertaisiin askeleisiin. (Kutz 2014, 57.)

Tuotannon kustannukset rakentuvat hyvin aikaisessa vaiheessa tuotekehitystä. Tutkimusten mukaan jopa 80 % tuotannon kustannuksista muuttuvat kiveen hakatuiksi ensimmäisien valmistuskuvien aikana. Monien organisaatioiden mukaan on hankalaa tehdä muutoksia tehostakseen valmistusta ja vähentääkseen tuotannon kustannuksia myöhemmässä vaiheessa. (Kutz 2014, 57.)

### **2.3.1 DFM**

DFM (Design for manufacturability) on metodi, jolla tähdätään helposti ja kustannustehokkaasti valmistettaviin kappaleisiin. DFM tähtää tekemään kokonaisuuksista helpommin kasattavia uhraamatta kappaleen toiminallisuutta tai käytännöllisyyttä. DFM purkaa valmistusprosessia pienempiin osiin. Näillä pienemillä osilla voidaan vaikuttaa kappaleen valmistuksessa ilmeneviin ongelmiin muun muassa työstövaiheissa. (Kutz 2014, 56–57.)

DFM-menetelmää käytetään monilla eritavoilla. Yksi tehokas tapa on ottaa tuotanto mukaan suunnitteluprosessiin hyvinkin aikaisessa vaiheessa suunnittelua, kuin mitä on perinteisesti totuttu. Tuotannon työntekijöiden ammattitaidon ja kokemuksen käyttäminen suunnittelussa on tehokas tapa tuoda uusia näkemyksiä osien valmistukseen liittyvissä ajatuksissa. Toinen hyvinkin kunnianhimoinen tapa on toteuttaa tuotannon prosessin suunnittelua samanaikaisesti tuotekehityksen kanssa. Tuotannon prosessien suunnittelussa on oleellista, että prosessien suunnittelija saa tarpeeksi tietoa tuotekehityksen vaiheista ja ajatuksista, jotta prosessien suunnittelijalla on oikeanlainen käsitys valmistettavista kappaleista. (Susman 1992, 4.)

Tuotannon työntekijöiden osallistuminen tehokkaisten onnistuu käyttämällä erilaisia metodeja. Oleellista on, että tuotannon työntekijät ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa tuotekehityksen kanssa. Tuotannon työntekijöiden ja tuotekehityksen välinen kommunikointi on koordinoitava niin, että valmistushenkilöstö voi tuoda oman panoksensa tuotekehitykseen joko kasvotusten, tai mahdollisen välikäden kautta. (Susman 1992, 4.)

On tärkeää, että organisaation sosiaalinen kulttuuri tukee eri osastojen välistä työskentelyä. Organisaation verkosto on tärkeä paikka löytää uusia näkemyksiä eri toimialoihin. Tärkeää on, että toimiston henkilöstö jalkautuu tuotantoon tekemään havaintoja ja saamaan sieltä dataa korjatakseen tai muuttaakseen prosessia, tuotekehityksessä olevaa nimikettä tai jakamaan omaa näkemystään ja saamaan kommentteja. (Susman 1992, 10.)

DFM:n voidaan jakaa osiin. Jokainen osa on oma vaiheensa suunnittelussa, ja ne huomioon otta-  
malla voidaan laskea valmistuskustannuksia. Alle on kasattu 5 DFM:n periaatetta (What is design  
for manufacturing or DFM?, 2020.):

1. Prosessi
2. Suunnittelu
3. Materiaali
4. Ympäristö
5. Vaatimustenmukaisuus/testaus

Prosessi on tärkeä tutkia ja miettiä läpikotaisin, jotta osataan valita oikeanlainen työstömenetelmä osille. Oleellista prosessin valinnan kannalta on valita tilanteeseen sopiva työstömenetelmä, jotta suunnittelussa voidaan ottaa työstömenetelmän tuomat esteet ja mahdollisuudet huomioon. Työ-  
vaiheiden vapaudet ja rajoitukset on tiedettävä kappaleita suunnitellessa. Materiaalin valinta on oleellinen osa suunnittelua, jotta työstömenetelmien valinta onnistuu tehokkaasti. Lisäksi erilaiset materiaalien mekaaniset ominaisuudet, näkyvät ominaisuudet ja lämpöominaisuudet ovat tärkeitä asioita tietää ennen materiaalin valintaa. Tähän vaikuttava ympäristö on suurin tekijä, mutta myös

suunnitellun kokonaisuuden tuomat tarpeet on otettava huomioon. Testaaminen ja vaatimustenmukaisuus on tärkeä ottaa huomioon suunnitteluvaiheen alussa, sillä lopussa sitä on hankalampi saavuttaa. (What is design for manufacturing or DFM?, 2020.)

DFM:n periaatteiden lisäksi on olemassa nyrkkisääntöjä, joilla DFM:ta voidaan toteuttaa. Alla on listattuna 7 sääntöä (What is design for manufacturing or DFM?, 2020.):

1. Vähennä osien määrää kokoonpanossa
2. Käytä standardisoituja osia ja materiaaleja
3. Tee modulaarisia kokoonpanoja
4. Ota huomioon suunnittelussa osien tehokas keskinäinen kiinnitys
5. Minimoi kappaleiden pyörittely työstö- ja kokoonpanovaiheessa
6. Pyri suunnittelemaan kappaleet niin, ettei montaa kappaleen kiinnitystä ja työstövaihetta ole tarpeellista tehdä
7. Määrittele hyväksyttävä pinnan viimeistely

Osien vähentämisellä voidaan tuoda kokoonpanoon optimoituja osia, jotka voivat hoitaa useamman tehtävän, vähentää työstöaikaa ja helpottaa kasaamista. Standardisoitujen osien käyttö on kannattavaa, sillä jokaiselle kokoonpanolle kustomoidut osat ovat työläitä tehdä, ja vaativat aina uuden asetuksen työstökoneelle. Lisäksi standardisoitujen osien käyttö parantaa laatua. Materiaaleja valitessa on tiedettävä kappaleen käyttötarkoitus, sekä yrityksen yleisesti käytettävät materiaalit. Kokoonpanoa suunnitellessa on oleellista pitää mielessä mahdolliset muutokset ja tulevaisuuden versiot. Vaikkakaan kaikkea ei voi arvata, voi kokoonpanon suunnitella modulaarisesti. Modulaarisella suunnittelulla osien vaihtaminen käy vaivattomasti, mikäli siihen tulee tarvetta. Osien keskinäisessä kiinnityksessä on oleellista pitää kiinnikkeet samankokoisina ja mahdollisimman vähäisinä. Kokoonpanossa tehtävät manuaaliset kappaleen pyörittelyt ovat aikaa vieviä, joten kokoonpanot tulisi suunnitella niin, että kappaleen ylimääräinen pyörittely ei ole tarpeellista. Osien tuotannossa on oleellista miettiä työstövaiheita, joita kappaleen valmistus vaatii. Mitä vähemmän kappaletta tarvitsee työstää eri koneilla, sen helpompaa sen tekeminen on. Lisäksi on oleellista ilmoittaa, missä pinnassa voidaan hyväksyä huonompi pinnanlaatu. (What is design for manufacturing or DFM?, 2020.)

### 2.3.2 DFA

DFA (Design for assembly) on metodi, jota käytetään yhdessä DFM:n kanssa. DFA tähtää vähentämään kappaleita kokonaisuudesta mahdollisimman paljon. Lisäksi DFA pyrkii saamaan suunnittelijan miettimään kohdetta uudesta näkökulmasta, ja näin mahdollisesti löytämään paremman ratkaisun. (Mital 2008, 8.) DFA vaatii ympäristön, jossa ideointia voi tapahtua. Tällaisessa tilanteessa palautetta täytyy saada useasta paikasta ja ideoinnin täytyy olla vapaata. (Mital 2008, 138.) DFA käsittää useamman eri menetelmän, joilla voidaan tehdä arviointia. Yleensä DFA:ta käyttäessä käytetään vähintään kahta menetelmää, jotta saadaan paras tulos (Mital 2008, 140).

DFA-menetelmä pitää sisällään samanaikaista ajatusta tuotannon rajoitteista ja tuotekehityksen päämäärästä löytääkseen ja lievittääkseen tuotannollisia ongelmia tuotekehityksessä. Tällä tavalla voidaan lisätä tuotteen laatua ja vähentää läpimeno aikaa. (Swift & Booker 2003, 7.)

DFA:ta tehdessä on oleellista tietää, millaista kokoonpanomenetelmää yrityksessä käytetään. Näitä on 3 erilaista ja niiden erot ovat huomattavia. Kokoonpanomenetelmiä on kolme, ja niitä voidaan nimittää manuaaliseksi kokoonpanoksi, automaattiseksi kokoonpanoksi ja robotti kokoonpanoksi. Kokoonpanomenetelmät voidaan jakaa seuraavalla tavalla (Desai & Mital 2021, 128–129.):

**Manuaalinen kokoonpano:** Manuaalisessa kokoonpanossa prosessi hoidetaan manuaalisesti. Yleensä työ tehdään käyttämällä yleisiä työkaluja, kuten ruuvimeisseleitä. Tämän tyyppisessä kokoonpano prosessissa kappalehinta on tasainen, ja tähän ei tarvita isoja alkuinvestointeja. Manuaalisen kokoonpanon etu on sen nopea adaptiivisuus uuteen.

**Automaattinen kokoonpano:** Automaattisessa kokoonpanossa on mukana koneita, joilla työ voidaan tehdä. Lisäksi kokoonpano prosessissa käytetään usein automaattisia syöttölaitteita. Tällainen kokoonpano kykenee toimimaan tehokkaasti yhden kokoonpanon kanssa, sillä koneet ovat yleensä kustomoituja juuri siihen tarpeeseen. Tällöin kokoonpanoon on investoitava suurempi määrä rahaa, mutta suurissa kappale erissä saadaan investoinnit nopeasti kuoletettua pois.

**Robotti kokoonpano:** Robotti kokoonpanossa robotti hoitaa ihmisen työt, jolloin robotti esimerkiksi siirtää aihiota työstökoneelta toiselle. Robotti kokoonpano on hyvinkin joustava, sillä robotin ohjelmointi voidaan tehdä uudestaan, mikäli kappale muuttuu. Robotti kykenee tekemään töitä

itsenäisesti, ja se kykenee tekemään töitä niin kauan kuin aihiota riittää. Robotti kokoonpanon alkuihminen investointi on suuri, mutta robotin toimiessa saadaan investoitu raha kuoletettua nopeasti.

Jokaisen kokoonpanomenetelmän kohdalla on oleellista miettiä kokoonpanomenetelmän omia yksityiskohtia. Alle on listattu jokaisen kokoonpanomenetelmän omat suunnitteluohjeet: (Desai & Mital 2021, 130–133.)

**Manuaalinen kokoonpano:** Kokoonpanijan oma päätöksenteko tulisi poistaa tai vähentää rajusti. Tällä tavalla voidaan vähentää jokaisen kokoonpanijan omaa näkemystä, jolloin kokoonpanojen keskinäinen laatu saadaan pidettyä tasaisena. Jokaisen kokoonpantavan osan olisi hyvä olla näkyvillä, ja niihin olisi tarpeen päästä hyvin käsiksi. Osien keskinäinen asemointi tulisi tapahtua automaattisesti. Osien olisi oleellista sopia moneen paikkaan, jolloin erinäisten osien määrää saadaan vähennettyä. Myös osien yhdistely toisiinsa sopivissa paikoissa on oleellista. Symmetrisyys sopivissa kappaleissa auttaa asemoimisessa. Mikäli kappaleessa on tarvetta epäsymmetrisyydelle, on epäsymmetrisyys syytä tehdä niin, ettei osia saa paikalleen väärinpäin. Kokoonpanovaiheessa osien pito kädellä on hankalaa, joten on parempi, jos kappale pysyy paikoillaan luonnollisesti kiinnityksen ajan. Osien ei myöskään pidä jäädä jumiin toisiinsa kokoonpano vaiheessa.

**Automaattinen kokoonpano:** Automaattisessa kokoonpanossa osia ei voida siirtää kappaleiden asemoiseksi, vaan on käytettävä luonnollisia ohjaimia, kuten viisteitä. Kaikista suurimman tai jäykkimmän osan tulisi toimia ankkuroituna kappaleena, johon muut osat kiinnitetään. Standardi komponenttien käyttö (esimerkiksi ruuvit ja mutterit) tulisi olla paljolti käytössä. Kappaleiden suunnittelussa on hyvä ottaa huomioon sen orientaatio, jotta kappaleet ovat oikein päin kokoonpano paikalla. Taipuvia, herkkiä ja hiottuja kappaleita pitäisi välttää, jotta kappaleet kestävät kuljetuksen ja käsittelyn.

**Robotti kokoonpano:** Osien määrä on oltava vähäinen. Osissa on oleellista ottaa huomioon robotin käyttämät työkalut, jotta robotti saa kappaleesta kiinni. Itsekiinnittyviä osia on hyvä käyttää. Robotin työkalun olisi hyvä saada kiinni kaikista kappaleista, jotta työkalua ei ole tarpeen vaihtaa kesken kokoonpanon. Kokoonpanon on hyvä tapahtua suoraan ylhäältä. Kappaleiden pyörittely ei ole mahdollista kaikissa tapauksissa, joten kappaleen suunnittelussa on hyvä huomioida sen orientaatio. Kappaleiden olisi hyvä olla sellaisia, että niitä voidaan käsitellä irtotavarana.

Yllä olevissa kokoonpanon tyypeissä ja suunnitteluohjeissa olevat tiedot ovat yleispäteviä. Tämän opinnäytetyön sisältö käsittelee ohutlevyosia, joten on tärkeä löytää ohutlevysuunnitteluun vaikuttavia ohjeita. Yleispätevät ohjeet ja säännöt toimivat hyvinä ohjenuorina, mutta niihin ei kannata sokeasti luottaa.

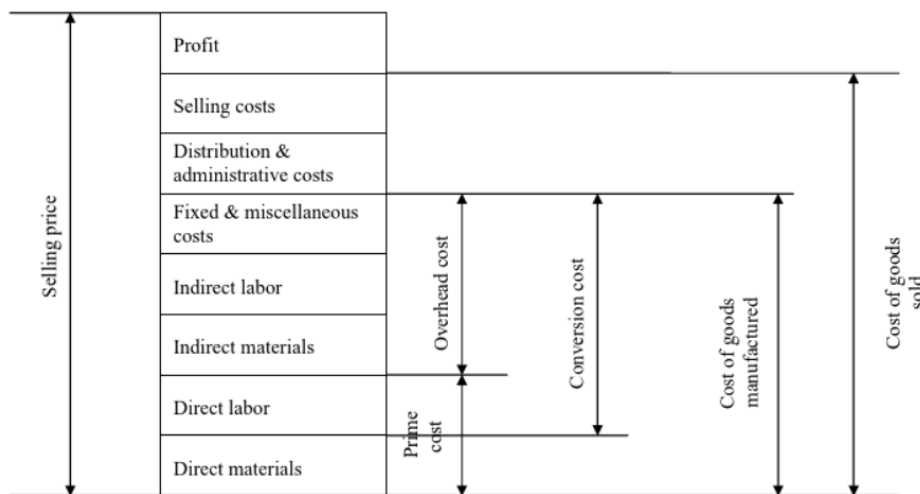
Alla on lista nyrkkisäännöistä suunnittelijalle helpottaakseen suunnittelutyötä: (Swift & Booker 2003, 9.)

- Reikiä tehdessä on tärkeää miettiä, voidaanko reiät tehdä yhdessä työvaiheessa. Tähän vaikuttavia seikkoja on materiaalin paksuus ja reikien määrä, sekä niiden välinen mitta
- Yleispäteviä lausuntoja piirustuksissa tulisi välttää. Esimerkkeinä voidaan pitää ”työkalujäljet kiellettyjä” ja ”kiillota tämä pinta”. Nämä usein aiheuttavat ylimääräistä miettimistä tuotannossa, ja mahdollisuus niiden väärin ymmärtämiseen on olemassa.
- Mittojen on oleellista olla mitattavissa kappaleesta
- Mittojen on oleellista olla helposti luettavissa, ja niiden ei kuulu mennä päällekkäin
- Mahdollisimman kevyillä rakenteilla voidaan säästää niin tuotannollisissa kuluissa, kuin materiaalikustannuksissakin
- On tärkeää pyrkiä tekemään standardityökalujen mukaisia työstöjä. Tässä voidaan tehdä poikkeus, mikäli volyymi kappaleilla on tarpeeksi iso
- Suuremmat viisteet ja pyöritykset helpottavat kappaleiden työstämistä
- Osien työstön on hyvä tapahtua mahdollisimman vähissä kappaleen uudelleen asetteluissa. Tällä tavalla voidaan vähentää kappaleen käsittelyyn menevää aikaa ja parantaa valmistustarkkuutta

Yllä oleva lista on myös yleispätevä. Ohjeet ovat selkeitä ja nopeasti omaksuttavia, mutta suunnittelijan on tiedettävä omaan suunnittelutehtäväänsä sopivat säännöt ja ohjeet. Esimerkiksi suuremmat viisteet ja pyöritykset toimivat monessa paikassa, mutta ohutlevyissä se ei ole olennaista.

## 2.4 Valmistuskustannukset

Opinnäytetyön kannalta on oleellista tutkia kappaleiden valmistuskustannuksia. Kuten Mital, Desai, Subramanian ja Mital (2008, 369) kertovat, on yrityksen selviytyäkseen tehtävä voittoa. Valmistuskustannuksien vertaileminen raa'an konseptin ja DFM&A-metodilla suunnitellun mallin välillä tuo opinnäytetyöhön tutkimuksellista otetta. Lisäksi tällä tavoin voidaan todentaa tuloksia, sekä käyttää valmistuskustannuslaskelmista saatua dataa tukemaan opinnäytetyön lopputulemaa.



Kuvio 2. Tuotteen kustannuksien ja hinnan rakenne (Mital ym. 2008, 371)

Kuten kuviosta 2 nähdään, on kappaleen kustannuksiin ja myyntihintaan vaikuttavia tekijöitä monia. Taulukko ei suoraan näytä eri osien vaikutusta tuotteen myyntihintaan, mutta Mital ja muut (2008, 370) kertovat, että suurimman osuuden tekee "prime cost"-osuus. Näitä kohtia kutsutaan myös operatiiviseksi kustannukseksi. Tähän kuuluvat suorat työvoima- ja materiaalikustannukset. Lisäksi kappaleen valmistuskustannuksiin on otettava huomioon epäsuorat työvoima- ja materiaalikustannukset. Suorilla kustannuksilla tarkoitetaan kustannuksia, jotka ovat suoraan nähtävissä kappaleen valmistuksessa. Näillä tarkoitetaan esimerkiksi kappaleeseen käytettyä materiaalia, ja työstämiseen käytettävää työvoimaa. Epäsuorilla kustannuksilla tarkoitetaan välillisiä kustannuksia, jotka ovat esimerkiksi kappaleen työvoiman johtajien palkat ja asennuksessa käytettäviä tehtaan yleispäteviä osia. Lisäksi kappaleen valmistuskustannuksiin vaikuttaa kiinteät ja sekalaiset kustannukset. Tällaisia ovat esimerkiksi tilojen vuokrat ja koneiden huoltoon käytettävät summat. (Mital ym. 2008, 370.)

Nämä viisi asiaa vaikuttavat tuotteen valmistuskustannuksiin. Tuotteen myyntihinnan saadakseen täytyy valmistuskustannuksiin vielä lisätä jakelu- ja hallintokulut, myyntikulut sekä kate (Mital ym. 2008, 370–371). Opinnäytetyössä keskitytään nimenomaa tuotteen valmistuskustannuksiin, ja tähän tarvittaviin tietoihin ja kaavoihin.

Jotta kappaleiden kustannuksia voidaan arvioida, tarvitaan luotettavaa informaatiota. Informaation on oltava ajankohtaista, ja kokemukseen perustavaa. Suurimman osan tiedoista voi löytää kirjainpidosta. Mikäli jokin asia ei ole vielä tiedossa, täytyy käyttää ajatusta ja ammattitaitoa arvataksien mahdollisimman lähellä olevan arvon. Tällainen voisi olla esimerkiksi kappaleen työstöön käytettävä aika. (Mital ym. 2008, 373.)

Valmistuskustannusten laskenta on monitasoinen työ. Shammadovan (2022) nopean laskennan oppaan mukaan laskenta voidaan jakaa osiin. Nämä osat ovat:

1. Selvitä materiaalin, työvoiman ja yleiskustannusten summat tiettyinä ajanjaksona
2. Lisää nämä kolme toisiinsa
3. Selvitä, kuinka monta kappaletta on tuona aikana tehty
4. Jaa 2-vaiheessa laskettujen kustannusten summa tehtyjen kappaleiden määrällä

Tällä tavalla saadaan raaka arvio kappaleen valmistuskustannuksista. Shammadovan (2022) laskenta käyttää samoja tietoja kuin Mitalin ja muiden. (2008). Shammadovan (2022) materiaali ja työvoima on rinnastettavissa kuviossa 2 olevaan ”prime cost”-osuuteen ja yleiskustannukset ovat rinnastettavissa ”overhead”-osuuteen. Valmistuskustannusten laskennassa on tärkeää mitata ja tutkia kustannusten muodostumista, mikäli mahdollista. Mahdollisimman oikeat arvot esimerkiksi kappaleen työstöajassa tai käytetyssä materiaalissa ovat kulmakiviä onnistuneelle laskennalle.

## 2.5 Levyn leikkaaminen

Levytyöstökeskus on oleellinen osa Harvian tuotteiden tuotantoa. Ohutlevyjä käytetään Harvian tuotteiden valmistuksessa paljon, ja niiden jatkojalostus on yleistä. Levyjä leikatessa on oleellista miettiä, että miten saadaan yhdelle levyille mahdollisimman monta osaa, jotta hukka ei olisi niin suurta (Matilainen, Parviainen, Havas, Hiitelä & Hultin 2011, 168).

Mekaanisessa leikkaamisessa leikataan ohutlevyä voimaa käyttäen. Mekaanisessa leikkaamisessa käytetään yleensä työkalua, jolla levyyn painetaan voimalla työkalun mukainen reikä. Mekaanista leikkaamista voidaan käyttää kaikilla materiaaleilla, mutta levynpaksuuden muuttuessa on oltava tarkkana, että koneen leikkausvoima on tarpeeksi iso. (Matilainen ym. 2011, 169–170.)

Laserleikkaus suorittaa leikkauksena monimutkaisinkin kappaleen. Laseri leikkaa kappaletta aiheuttamalla reaktiota materiaalissa hapen avulla. Laserilla leikkaaminen sopii monenlaisille teräksille, ja se kykenee leikkaamaan materiaaleja, jotka eivät ole leikattavissa tavallisella polttoleikkauksella. (Matilainen ym. 2011, 159.)

Kappaleita suunniteltaessa on tärkeää muistaa levyn leikkaamiseen liittyvät asiat. Laserilla leikatessa voidaan tehdä hyvinkin moninaisia ja monimutkaisia kappaleita, mutta laserikaan ei kaikkeen pysty. Laser kykenee tekemään pieniäkin railoja, joilla voidaan mahdollistaa esimerkiksi avauksia tai ”ovia”. Yleisesti laserilla leikatut kappaleet ovat todella tarkkoja (jopa 0,1 mm). Yleensä kappaletta leikatessa syntyy purseita, mutta laserilla leikatessa leikkausparametrien säätämällä voidaan päästä purseista eroon. (Matilainen ym. 2011, 162.)

Mekaanisessa leikkaamisessa on oleellista pitää mielessä koneen ja työkalujen asettamat rajat tuotesuunnittelussa. Mekaanisesti leikatessa voidaan leikata vain muotoja, joihin on olemassa työkalut. Esimerkiksi pyöreät muodot aiheuttavat ongelmia, sillä oikeanlaista työkalua ei siihen varmastikaan ole. Lisäksi mekaaninen leikkaaminen tuo työstömenetelmänä luonteeltaan olennaisia ongelmia. Kiertyminen, tasokaareutuminen ja taipuminen on tärkeä ottaa huomioon levyä työstäessä mekaanisella leikkauksella. Mekaanisessa leikkaamisessa virheet ovat usein enemmän kiinni koneen leikkausparametreistä, kuin tuotesuunnittelijan tuotoksista. (Matilainen ym. 2011, 171–172.)

## **2.6 Taivutus**

Levyjen taivutus on oleellinen osa Harvialla työstettävien kappaleiden työmallia. Suuri osa levytyökeskukselta tulevia aihioita viedään särmäysoasastolle tavutettavaksi. Joidenkin osien kohdalla taivutukset ovat yksinkertaisia ja lukumäärältään vähäisiä, mutta joidenkin osien kohdalla taivutuksia joudutaan tekemään useampi ja peräkkäin.

Ohutlevyä taivuttaessa voidaan käyttää kahta tapaa, vapaataivutusta tai pohjaaniskutaivutusta. Vapaataivutuksessa säädetään särmäyspuristimen iskun pituutta niin, että saadaan haluttu kulma taivutukselle. Vapaataivutuksessa haetaan alle 90° kulmia. Pohjaaniskutaivutuksessa tehdään iskun pituuden säätö niin, että ylempi työkalu painautuu kokonaan alemmaa työkalua vasten. Pohjaaniskutaivutuksessa välissä oleva kappale muotoutuu tarkasti työkalujen mukaan, ja mahdollistaa takaisinjouston eliminoinnin. (Matilainen ym. 2011, 240–241.)

Tuotesuunnittelussa on oleellista ottaa huomioon taivutettavien levyjen koko, taivutussäde ja oikeaistuuksien pituus. Liian pieniä taivutuksia ei voida tehdä, sillä aihion ominaisuudet voivat aiheuttaa takaisinjoustoja, jolloin kappale palaa alkuperäiseen muotoonsa työstön jälkeen. Yleisesti taivutettavat kappaleet omaavat elastista ja plastista muodonmuutosta, mutta plastista muodonmuutosta on oltava enemmän takaisinjouston eliminoinniseksi. (Matilainen ym. 2011, 245.) Suunnittelussa on oleellista ottaa huomioon seuraavat asiat (Matilainen ym. 2011, 256):

- Aihion materiaali
- Aihion paksuus
- Aihion laatu
- Aihion materiaalin ominaisuudet
- Aihion mahdollinen pinnoite
- Suunniteltu geometria
- Taivutuksen pituus
- Taivutuksen kulma
- Taivutuksen säde
- Taivutetun sivun pituus

Taivutukset ovat yleensä tarkkoja. Yleinen tarkkuus taivutuksilla on noin  $\pm 0,5$  mm. Taivutuksen tarkkuuteen vaikuttavat taivutuskulman tarkkuus ja särmän suoruus, koneiden mahdollinen jousto, työkalujen kunto ja niiden oikeanlainen valinta. Lisäksi vapaataivutuksessa vastimen ura ja painimen kärkisäteen välinen suhde vaikuttaa tarkkuuteen. (Matilainen ym, 253.)

## 2.7 Kokoonpano

Harvialla käytetään tehtaassa funktionaalista layouttia. Tällä tarkoitetaan siis koneiden ja tarvikkeiden sijoittelua tehtaassa lattialla niin, että jokainen prosessi on nivottu yhteen. Tällaisella toimintatavalla haetaan helpompaa sopeutumista nopeastikin vaihtuviin työstettäviin kappaleisiin. Tehtaan toiminta on jaettu niin, että levytyöstökeskukset ovat omissa nurkassaan, särmäykoneet seuraavassa ja kokoonpano on omissa soluissaan kolmannessa nurkassa. Funktionaalinen layout antaa mahdollisuuden moninaiseen tuotteiden valmistukseen, mutta vaatii tuotannon ohjaukselta erityistä tarkkaavaisuutta materiaalivirtojen monimutkaisuuden takia. (Tuotannon layout, n.d.)

Kokoonpanoa ajatellen uuden kiuasmallin suunnittelussa on käytetty DFA (Design for assembly) ajattelua, jolla voidaan taata kiuasmallin kokoonpanon tehokkuus ja kasattavuus. DFA pyrkii vähentämään kiinnitettävien osien määrää, sekä tekemään niistä helpommin asennettavia. DFA:sta on lisää oman otsikkonsa alla.

Desain ja Mitalin (2021, 128–129) mukaisella kokoonpanonjaolla, on Harvian kokoonpano manuaalinen. Kokoonpanossa käytetään lähinnä ruuveja ja nittejä kiinnitystarpeina. Lisänä kokoonpanolle voi tulla jokin kone, jolla kiukaan kuoren muoto saadaan tehtyä.

## 3 Työn toteutus

Opinnäytetyö toteutettiin suunnittelemalla uusi versio raakalle konseptille käyttäen DFM&A suunnittelumetodia. Tämän jälkeen raakaa konseptia ja DFM&A:lla tehtyä konseptia verrattiin toisiinsa valmistuskustannusten saralta. Valmistuskustannusten muutos toimii mittarina tutkimukselle, ja sen avulla selvitetään mahdollinen DFM&A-metodin vaikutus.

DFM&A suunnittelumetodia käytettiin siinä, missä se oli järkevää. Kaikki osat käytiin läpi DFM&A suunnittelu filosofian mukaisesti, mutta niihin tehdyt muutokset vaihtelevat ja muutosten määrä on vaihtelevaa. Raakakonsepti suunnitellaan DFM&A metodien mukaisesti, mutta ajan puutteen takia iteratiivista prosessia ei tehdä. Lisäksi suunnitteluprosessi tehdään havaintojen perusteella, jotka opinnäytetyöntekijä on itse tehnyt kuoria kasatessa. Opinnäytetyölle oleellista on, että raakakonseptia ja DFM&A metodin mukaista konseptia vertaillaan toisiinsa valmistuskustannuksien saralta. Tällä vertailulla voidaan todentaa valmistuskustannuksien muuttuminen, mikäli näin käy.

### 3.1 Suunnittelutyö käyttäen DFM&A:ta

Liitteessä 1 on nähtävissä raakakonsepti. Konseptin oleelliset vaatimukset ovat ulkonäköön liittyviä. Kiukaan ulkomuotoilu on määritetty tuotekehitykseen tullessa ”käskyssä” ja kiukaan koko muuta kuorikokoonpanoa on suunniteltu tuohon kuoreen sopivaksi.

Raakakonseptin osissa on muutettavaa DFM&A suunnittelumetodin filosofian mukaisesti. Kuvio 1 (Kutz 2014, 59) mukaan, on nyt päästy ensimmäisestä sarakkeesta (pre-concept) seuraavaan kohtaan (General Design layout) ja siitä edelleen jatketaan DFA-analyysiin. DFA-analyysin jälkeen tehdään materiaalin ja prosessien valinta. Materiaalien ja prosessien valintojen jälkeen tehdään DFM. Tämän jälkeen siirrytään suunnitteluprosessissa detail-suunnitteluun. Iteratiivista, eli alkuun tai edelliseen paluuta tehdään DFA- ja DFM-analyysien jälkeen.

Valmistusprosesseina käytetään opinnäytetyössä Harvian yleisiä valmistusmenetelmiä. Näihin kuuluvat: levyn leikkaaminen joko laserilla tai mekaanisesti leikkaamalla ja särmäys. Lisäksi mahdollista on käyttää epäkeskopuristinta tai muuta työkalua/konetta, mutta uusien koneiden tai työkalujen työkalun hinta tulee ottaa huomioon laskelmissa. Lisäksi esimerkiksi hitsaaminen on yleinen kiinnitystapa, joskin se ei ole tehokas tapa kiinnittää kuoren osia runkoon. Esimerkiksi runkoon hitsattavien klemmareiden muutoksella voidaan mahdollisesti muuttaa kuoren kappaleiden määrää tai muotoa. Opinnäytetyössä kuitenkin otetaan huomioon vain kuoren ja sen kiinnitysosien suunnittelu.

DFA-analyysin peruspohjana on kappaleiden vähentäminen kokoonpanon helpottamiseksi. Lisäksi DFA ottaa kantaa kappaleiden käsittelyyn ja kokoonpanon helppouteen. Kappaleiden vähentäminen näkyy suorana säästönä valmistus- ja kokoonpanokustannuksissa. Jäljelle jäävien kappaleiden käsittelyn ja kokoonpanon helpottamisessa pyritään laskemaan kokoonpanoon käytettävää aikaa ja näin laskea valmistuskustannuksia.

Kappaleiden poistamisessa on otettava monenlaisia asioita huomioon. Tärkeä on ymmärtää, että kiukaan kuoren kokoonpanon pitää kestää kiuaskivien tuomat voimat ilman pullistumista tai muuten hajoamista. Etupalan voi poistaa, mikäli kuoreen tehdään etupalan toiminnallisuudet. Tämä tarkoittaisi särmien lisäämisen luukun reikään, jotta ne voidaan oikealla työkalulla epäkeskoko-

neella lyödä. Liitteessä 2 on nähtävissä ajatus kuoresta, johon on integroituna etupala. Koska kuoreen on integroituna etupalan sivulipat, saadaan vähennettyä hukkaa kappaletta leikatessa huomattavasti. Kuoressa integroitu etupala tuetaan särmien päälle tulevalla lipalla, joka on nähtävissä liitteessä 4. Lipa voidaan toteuttaa vielä yksinkertaisemmin, mikäli lippaa ei ole tarpeen kiinnittää kuoren kokoonpanoon ennen kuoren kiinnittämistä kiukaan runkoon. Liitteessä 4 oleva lipa on suunniteltu niin, että se kiinnitetään kuoreen, ja näin se toimii myös tukemisessa sekä kuoren paikoittamisessa runkoon nähden.

Sivupaloilla on tärkeä tehtävä kivien kannattelussa ja muodon ylläpitämisellä. Sivupalojen poistamisella olisi katastrofaaliset vaikutukset kuoren toiminnallisuudelle, joten sivupaljon kohdalla on järkevämpi tutkia kappaleiden yksinkertaisuutta. Liitteessä 3 on nähtävissä DFA-konsepti sivupaloista, joissa ei ole uhrattu toiminnallisuutta. Liitteen 3 sivupaloissa on otettu huomioon symmetrisyys, jolloin samaa osaa voidaan käyttää kiukaan vasemmalla ja oikealla puolella. Lisäksi valmistuksessa ei tarvitse ottaa huomioon suuntia sen enempää, sillä samalla tavalla leikatut ja särmätyt sivupalat sopivat molemmille puolille.

Alla olevassa taulukossa (kts. taulukko 1) on nähtävissä suunnittelumetodien eroavaisuus. DFA-suunnittelumetodilla saatiin ensimmäisen iteraation aikana poistettua 2 osaa. Muutoksia osiin on tehty niiden käsittelyn sekä valmistuksen helpottamiseksi. Lisäksi on huomattavaa, että esimerkiksi etupala on poistunut DFA-konseptista, mutta etupalan lipa on tullut uutena osana.

Taulukko 1. Kuoren osien määrät raakakonseptilla ja DFA-metodilla suunnitellulla.

| OSA NUMERO     | RAAKA KONSEPTI | DFA-KONSEPTI |
|----------------|----------------|--------------|
| KUORI          | 1              | 1            |
| ETUPALAN LIPPA | 0              | 1            |
| ETUPALA        | 1              | 0            |

|                |    |    |
|----------------|----|----|
| SIVUPALA       | 2  | 2  |
| TAKAPALA (YLÄ) | 2  | 1  |
| TAKAPALA (ALA) | 0  | 1  |
| NIITTI         | 29 | 27 |
| PORARUUVI      | 6  | 6  |
| RUUVI          | 1  | 1  |
| YHTEENSÄ       | 42 | 40 |

Materiaali on jo konseptivaiheessa lyöty lukkoon. Materiaalilla haetaan kiukaaseen tiettyä ulkonäköä. Materiaalina käytetään ruostumatonta terästä. Materiaalin ulkonäkö on sopiva sellaisenaan kiukaan kuoren osiin. Lisäksi materiaalin ominaisuudet sopivat hyvin työstettäväksi valittuihin prosesseihin. Lisäksi materiaalin hinta on hyvässä linjassa kiukaan valmistuskustannusten pienuuden kannalta. Näkyvissä osissa on tärkeää käyttää ruostumatonta terästä ulkonäön takia, mutta piilossa olevia tai kivien alla olevia osia voidaan tehdä muusta materiaalista. Toisaalta kappaleiden ollessa samaa materiaalia voidaan samalta ohutlevyltä leikata useampia eri kappaleita samanaikaisesti. Materiaalin hyvien ominaisuuksien ja hintapisteen takia on tässä vaiheessa todeta, että kaikki osat tehdään samasta materiaalista.

DFM-vaiheessa suunnitellaan kappaleita valmistettavuuden kannalta. Yllä onkin mainittu jo useita DFM-ajatuksen mukaisia suunnittelun tuloksia. Esimerkiksi sivupalojen kohdalla on mietitty symmetrisyyttä, jotta niiden valmistus ja käsittely kokoonpanossa olisi mahdollisimman yksinkertaista. Lisäksi kuoren osien suunnittelussa on otettu huomioon osien käsiteltävyyttä. Muiden osien kohdalla käsiteltävyys on hyvällä tasolla, mutta DFM&A-metodin mukaisen kuoren käsittely ja työstö on hankala. Itse kuori on luonnollisesta jo iso osa, ja sen tekeminen useammasta osasta olisi työläs

ja todennäköisesti kalliimpi vaihtoehto. Kuoren leikkaaminen ohutlevystä ei ole sen suurempi homma, mutta kuoren jatko työstämiseen tarvitaan uusi kone tai työkalu. Uudella koneella voitaisiin mahdollistaa kuoren mankelointi ja integroidun etupalan särmäys samanaikaisesti, jolloin ongelmaa kuoren työstämisessä ei tule. Takapalojen suunnittelussa pyritään yksinkertaisuuteen, jotta kappaleet on suunniteltu suoraan kuoren muotoa tukeviksi. Liitteessä 5 on DFM&A-suunnittelumethodin mukainen ensimmäinen iteraatio. Lisäksi DFM-ajattelun mukaisesti on tarkasteltu särmättävien kohtien särmäysmahdollisuutta. Tällä tarkoitetaan sitä, että varmistetaan osien särmäys helposti. Tämä näkyy esimerkiksi särmättävien osuuksien leveyksissä, jotka on mitoitettu niin, että käytettävän särmäyskoneen puristavat terät sopivat niihin hyvin.

Tästä eteenpäin mentäessä pitäisi käydä uudestaan läpi DFM&A-metodin mukainen prosessi. Prosessiin kuuluu iteratiivinen vaiheistus, mutta tässä opinnäytetyössä iteratiivista vaiheistusta ei tehdä ajan puutteen vuoksi. Lisäksi oleellista DFM&A:lle on, että suunnittelua tehdään monialaisessa tiimissä, jossa olisi eri teollisuuden alojen asiantuntijoita. Näin varmistuttaisiin siitä, että näkökulmia on riittävä määrä ja useampi asia tulee huomioitua. Lisäksi DFM&A:lle olennaista olisi protoilla ja sitä kautta nähdä tuotannollisia haasteita tai onnistumisia. Protoiluvaiheittakaan ei ole tehty, koska siihen ei riitä aika. Raaka konsepti on prosessin mukaisesti tehty toiseksi konseptiksi, joita verrataan toisiinsa valmistuskustannusten saralta.

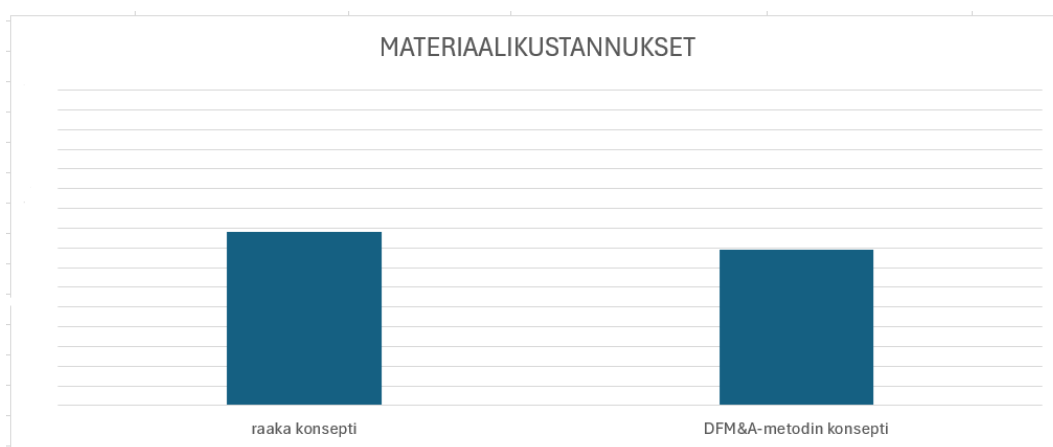
### **3.2 Valmistuskustannus laskenta**

Valmistuskustannuksien laskenta on oleellinen osa niin yrityksen toiminnan kannalta, kuin opinnäytetyön tehtävän kannalta. Valmistuskustannuksien laskeminen konsepti- ja protovaiheessa on hyvä tapa, jolla voidaan tarkentaa konseptin ja/tai prototyypin onnistumista, mikäli hinta on oleellinen tekijä tuotteen myynnissä. Valmistuskustannuksien laskennan tarkkuus riippuu monesta tekijästä, kuten mitatuista arvoista ja realistisista materiaalin käytöistä. Suunnitteluprosessin alussa laskettuja valmistuskustannuksia ei voida pitää tarkkoina, koska esimerkiksi tuotannon työstöaikaa ei voida mitata vielä.

Valmistuskustannuksia lasketaan tässä opinnäytetyössä pinnallisesti. Tämän suurin syy on se, että ei ole aikaa ottaa protoja raakakonseptista tai DFM&A-prosessin mukaisesta konseptista. Yritykseltä on saatavana koneiden tuntihinnat, mutta kuormitusta koneella joutuu arvioimaan. Arvio

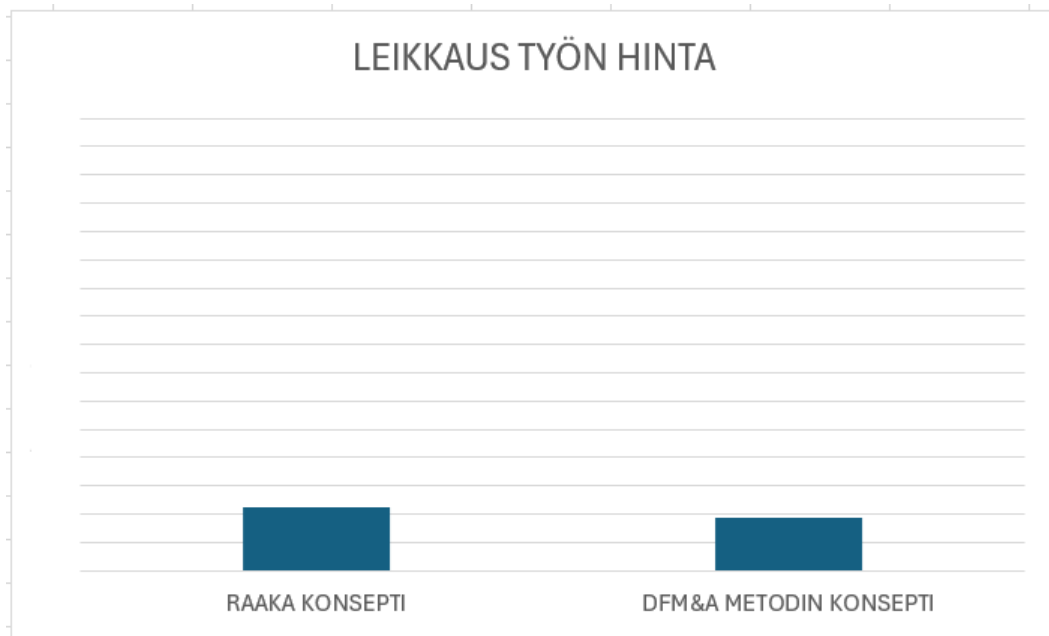
suoritetaan vertailemalla kappaleen työstöä tarvitsevia yksityiskohtia muihin jo tuotannossa oleviin kappaleisiin. Samankaltaisuudet kappaleiden välillä auttavat arvioimaan kappaleen kuormitusta työstökoneella. Tässä opinnäytetyössä käytetään yritykseltä saatuja arvoja laskennassa, mutta lukuja ei näytetä opinnäytetyössä yrityksen yksityisyyden salaamiseksi. Kokoonpanon osuutta laskennassa verrataan myös muihin tuotteisiin siltä osin, kuin se on mahdollista. Kokoonpanossa ei oteta huomioon koko kiukaan kokoonpanoa, vaan kuoren kokoonpano sekä sen kiinnitys runkoon. Alla olevissa kuvioissa on käytetty samaa skaalaa. Kuvioiden lähtötaso on aina nolla, ja asteikon suurin arvo on kaikissa sama. Suurin arvo ei ole 100, jotta yrityksen yksityisten tietojen suojaaminen säilyy.

Materiaalin hinnan laskennassa käytetään yritykseltä saatua kilohintaa ja kappaleita ajatellaan äärimitoilla olevina suorakulmioina. Todellisuudessa suurin osa osista ei ole täydellisiä suorakulmioita, mutta tällä tavalla laskemalla voidaan olettaa laskennan olevan yläkanttiin. Lisäksi kappaleiden hukkapalat tulevat mukaan laskentaan, kun oletetaan kappaleiden painot tulevan äärimitoilla olevista suorakulmioista.



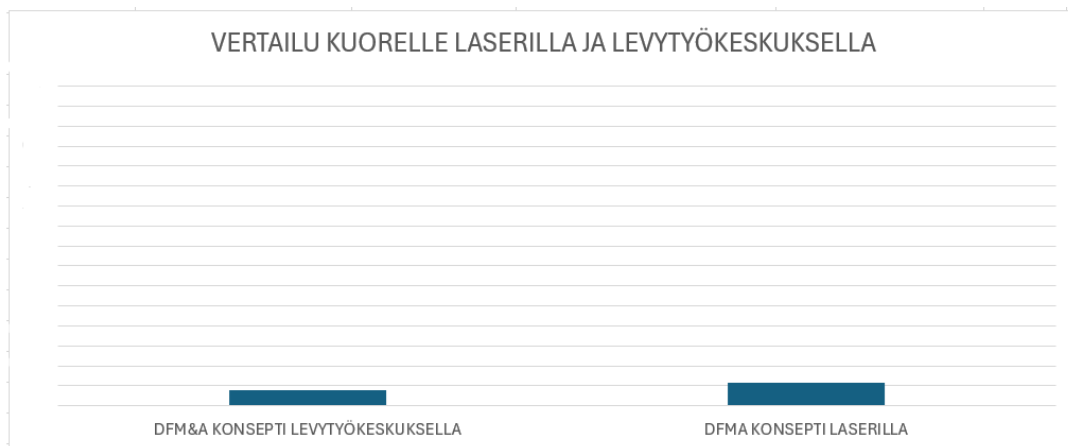
Kuvio 3. Konseptin materiaalikustannukset.

Kuviosta 3 on nähtävissä materiaali kustannukset suunnitelluille osille. Raakakonseptin on 10 % kalliimpi kuin DFM&A-konsepti. Todellisuudessa materiaalikustannusten ero voi olla suurempi, sillä kappaleet eivät oikeasti ole suorakulmioita, vaan esimerkiksi kuoressa on paljon reikiä ja aukkoja.



Kuvio 4. Leikkauksen kustannuksien vertailu.

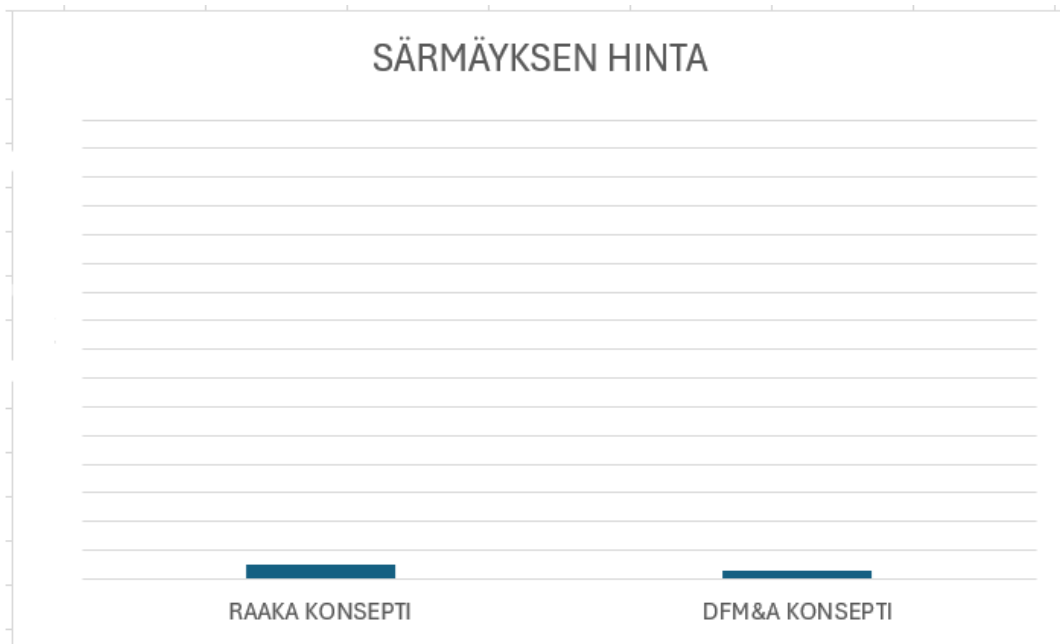
Kuviossa 4 on nähtävissä konseptien ero leikkaustyön kannalta. Raakakonsepti on 21 % kalliimpi kuin DFM&A-konsepti. Tähän suurimpia vaikuttajia on kappaleiden kokojen ero, sekä etupalan integrointi kuoreen.



Kuvio 5. Vertailu kuoren leikkaamisesta levytyöstokeskuksella ja laserilla.

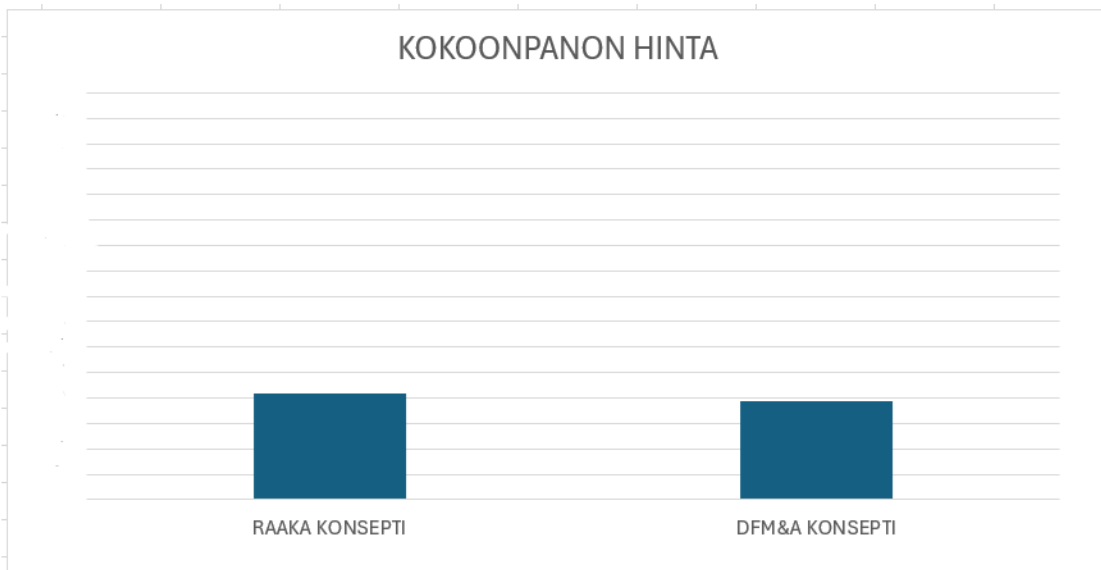
Kuviossa 5 esitetään vertailua kuoren leikkaamisesta levytyöstokeskuksella ja laserilla. Laser on 34 % kalliimpi, kuin levytyökeskus. Kuviossa 5 leikkaus on laskettu laserille, mutta suunnittelemalla kappaleen levytyöstokeskukselle voitaisiin pudottaa huomattavasti osan työstöhintaa alaspäin.

Tässä on tärkeää huomioida kuormituksen muutos. Laskennassa on käytetty samaa kuormitusta, mutta todellisuudessa kuormitus voi olla levytyöstökeskuksella



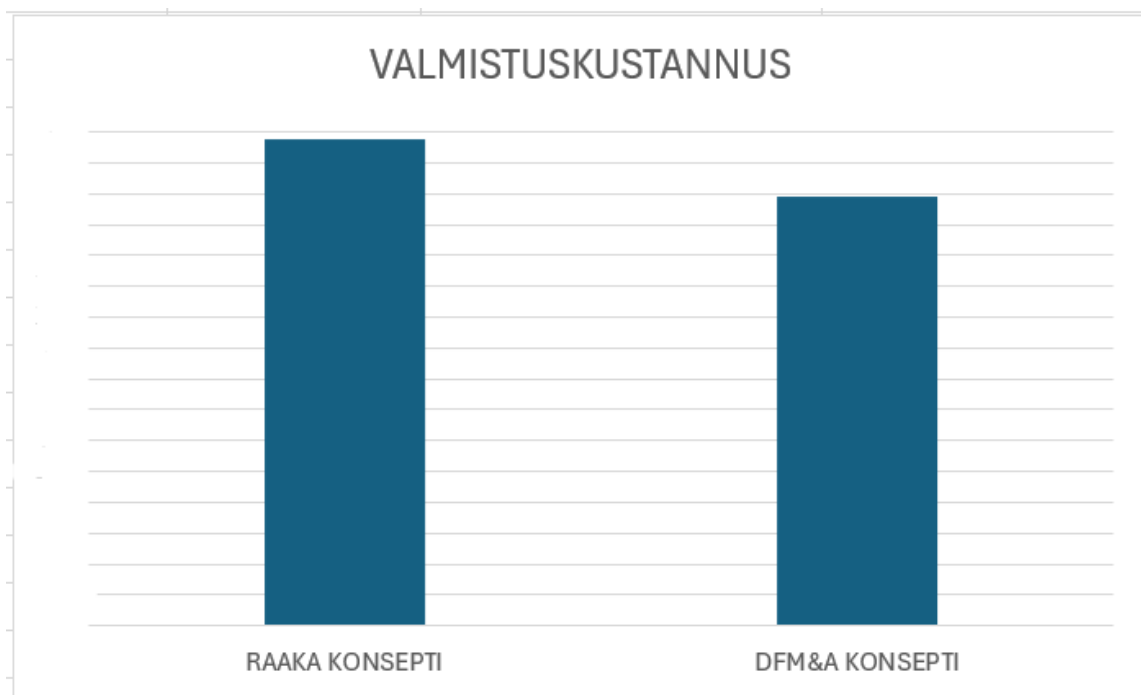
Kuvio 6. Särmäyksen hintojen vertailu konseptien välillä.

Kuviossa 6 on nähtävissä särmäyksen hinnan vertailu konseptien välillä. Raakakonsepti on 78 % kalliimpi särmätä. Tähän vaikuttavat raakakonseptin osien monimutkaisuus. DFM&A-konseptissa on pyritty vähentämään särmäyksen määrää niin paljon, kuin se vain on mahdollista.



Kuvio 7. Kokoonpanon hinnan vertailu.

Kuviossa 7 vertaillaan konseptien kokoonpanon hintaa. Raakakonseptin kokoonpano on 8 % kalliimpi, kuin DFM&A-konsepti. Kokoonpanoon on laskettu mukaan kuoren mankelointi ja DFM&A-konseptissa integroidun etupalan työstäminen siihen tarkoitettulla koneella.



Kuvio 8. Valmistuskustannuksien vertailu.

Näiden laskelmien mukaan valmistuskustannukset tippuvat, kuten kuviosta 8 nähdään. Raakakonsepti on 13 % kalliimpi valmistaa kuin DFM&A-konsepti niiden osien kannalta, johon tämä opinäytetyö ottaa kantaa. Valmistuskustannuksiin on otettu huomioon kaikki yllä olevien kuvioiden laskelmat.

Lisäksi huomioon on otettava integroidun etupalan työstöön tarkoitetun koneen hinta. Koneen hankintahinnan kuoletusaika on raa'alla laskelmalla noin 2 vuotta. Raa'assa laskelmassa hankintahinnan kuoletus tehdään säästöillä, jotka perustuvat edellisten taulukoiden laskentoihin. Materiaalisäästöä tehdään, kun ei tarvitse erikseen leikata etupalaa kokonaisuudessaan. Integroitu etupala vähentää hävikkiä kuorta leikatessa. Leikkaussäästöissä on huomioitu etupalojen ja kuorien leikkaukseen käytetty aika. Kokoonpanosäästö perustuu laskettuihin arvoihin.

## 4 Tulokset ja jatkotoimenpiteet

DFM&A suunnittelumetodina on tehokas tapa saada suunnittelija ajattelemaan suunnittelua eri näkökulmista. Vielä tehokkaamman DFM&A:sta saa toteuttamalla suunnittelua monialaisesti niin, että ajatuksia ja mielipiteitä kysellään monelta ammattilaiselta. Metodien mukaisen filosofian mukaan ottaminen suunnittelussa on opittava taito, ja metodin mukainen suunnittelu helpottuu ajan myötä. Metodi ottaa tehokkaasti kantaa konseptitasolla olevaan kokonaisuuteen monelta eri kantilta.

DFM&A-filosofian mukaista suunnittelua on toteutettu tehokkaasti, ja sen vaikutukset ovat selkeästi näkyvissä. Varsinkin kokoonpanon osien vähentämisessä haastetaan suunnittelijaa tai suunnittelutiimiä ajattelemaan täysin uudesta näkökulmasta kokonaisuutta. Osien yhdisteleminen ja kiinnitysten vähentäminen näkyy niin kappaleiden valmistuskustannuksissa, kuin kokoonpanon työajassa. Opinäytetyössä onnistuttiin yhdistämään etupala ja kuori toisiinsa, mutta tämä loi yhden uuden osan. Uusi osa on joka tapauksessa helpompi työstää, kuin alkuperäinen etupala. Lisäksi sivupalojen symmetrisyys helpottaa paljon kokoonpanossa, sekä kappaleen työstämisessä särmällä.

Raa'an laskelman mukaan valmistuskustannuksia onnistuttiin pudottamaan. Tuloksiin ei pidä luottaa sokeasti, sillä laskentaa on toteutettu arvioimalla parametrejä. Tähän suurin syy oli ajan puute, eikä pystytty tarkistamaan esimerkiksi kuormitusta. Laskelmat antavat suuntaa näyttävät tulokset,

mutta todellisuudessa protojen työstäminen ja kokoonpanojen tekeminen antaisi oikeita tuloksia parametreihin. Parametrien tarkentuessa myös laskennan virheellisyys vähenisi, ja voitaisiin todeta kappaleiden todelliset hinnat.

DFM&A-konseptille tarvitaan uusi kone. Uudella koneella kyettäisiin toteuttamaan uusi integroitu etupala kuoreen. Koneen hinta ja sillä tehtävä volyyymi ovat kuvitteellisia lukuja, joten niiden laskelmien mukaan ei kannata vielä uutta konetta hankkia. Lisäksi koneen kuoletukseen on laskettu säästöt eri lasketuilla osilla. Todellisuudessa säästö voi olla jotain muuta, sillä eri kohteiden säästö on laskettu raa'asti.

Monialainen ammattilaistiimi on oleellinen lisä jatkotoimenpiteissä. Lisäksi protojen tekeminen suunnitteluvirheiden ja korjattavien kohteiden löytämiseksi on tärkeää. Toisaalta kokoonpanosta löytyy myös hyviä puolia, ja ne on hyvä löytää, jottei muutoksia tehdessä poisteta hyvien puolien tuomia etuja. Jatkotoimenpiteenä tehtyä työtä voidaan lähteä jatkojalostamaan DFM&A suunnittelumetodin mukaisesti eteenpäin suuremmalla tiimillä. Varsinkin tuotannon mielipiteet prototyypejä tehdessä on tärkeää ja arvokasta dataa suunnitteluvaiheessa. Jokaisen projektin kohdalla tulee jossakin välissä hetki, jossa täytyy todeta suunnittelutyön olevan riittävä. Tästä on kuitenkin hyvä jatkaa kokonaiseen tuotteeseen asti.

Seuraavana vaiheena opinnäytetyön jälkeen olisi suotavaa tutkia DFM&A-suunnittelumetodia prosessina, ja tehdä suunnitteluohje sen pohjalta. Suunnitteluohjetta voitaisiin sitten käyttää suunnittelumetodin sopivuuden tarkistamiseksi ja sen prosesseja voidaan räätälöidä toimeksiantajalle sopivaksi.

## **5 Pohdinta ja johtopäätökset**

Opinnäytetyö on toteutunut onnistuneesti. Opinnäytetyössä on tutkittu DFM&A:ta suunnittelumetelmänä ja tehty filosofian mukaisia muutoksia kappaleisiin. Tutkimuksena oli selvittää DFM&A-metodin vaikutus valmistuskustannuksiin vertaamalla DFM&A-konseptia raakakonseptiin. Tässä onnistuttiin ja tulokset ovat DFM&A-konseptin kannalta hyviä. DFM&A suunnittelumetodina on monipuolinen ja hyvin tehty kokonaisuus, joka haastaa suunnittelijan tai suunnittelutiimin ajattelemaan suunnittelua uusista näkökulmista. Näkökulmat itsessään ovat yksinkertaisia, mutta ne nopeasti unohtuvat suunnittelijalta työtä tehdessään. Suunnittelumetodin filosofian sisäistäminen

tekee suunnittelutyöstä helpompaa ja tehokkaampaa. Tehokkuus nousee esiin varsinkin kustannuksissa, sillä metodin mukaisesti suunniteltu kokonaisuus on helppo valmistaa. Lisäksi opinnäytetyö kuvastaa hyvin prosessoidun tekemisen etuja. Prosessoitu tekeminen yritystoiminnassa oleellisesti lisää tuotettavuutta, laatua ja tuotekehityksen suunnittelun monipuolista ajattelua. Varsinkin DFM&A-metodin kohdalla suunnittelutyö vaatii pohtimista eri näkökulmista, joka jo itsessään tuo suunnittelutyölle erinomaista pohjaa. Lisäksi monen eri teollisuudenalan ammattilaisen näkemys suunnittelussa helpottaa yksittäisen suunnittelijan tehtävää, sillä 3D-malleja pyörittävän suunnittelijan tieto ei välttämättä riitä toteuttamaan suunnittelua riittävän monialaisesti.

Tämmöisenään opinnäytetyö toimii toimeksiantajalle osoituksena prosessien mukaisen suunnittelun toimivuudesta. Opinnäytetyössä esitellään ja käytetään DFM&A:ta ja sen vaikutukset ovat nähtävissä valmistuskustannusten saralla. Opinnäytetyötä voidaan käyttää pohjana suunnitteluprosessien valinnalle, sekä suunnitteluohjeen tekemiselle.

## Lähteet

Brändit. N.d. Harvian tarjoama tietopaketti groupin sisäisistä brändeistä. Harvia. Viitattu 14.6.2024. <https://harviagroup.com/fi/brandit/>

Desai, A., Mital, A. 2021. Sustainable product design and development. Boca Raton, FL: CRC Press.

Kutz, M. 2014. Mechanical engineers' handbook: Materials and mechanical design. painos 4. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

Laadullisen tutkimuksen tekeminen. N.d. SurveyMonkeyn tarjoama artikkeli. SurveyMonkey. Viitattu 13.8.2024. <https://fi.surveymonkey.com/mp/conducting-qualitative-research/>

Markkinat ja toimintaympäristö. N.d. Harvian tarjoama markkina info. Harvia. Viitattu 14.6.2024. <https://harviagroup.com/fi/tietoa-meista/markkinat-ja-toimintaymparisto/>

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E., & Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Jyväskylä: Teknologiainfo Teknova Oy.

Mital, A., Desai, A., Subramanian, A. & Mital, A. 2008. Product development: A structured approach to consumer product development, design, and manufacture. Boston: Butterworth-Heinemann, An imprint of Elsevier.

Toikko, T., Rantanen, T. 2009. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta. Painos 3. Tampereen Yliopistopaino Oy.

Shammadova, Z. 2022. Manufacturing Cost: Definition, Components and Importance. Nettiartikkeli. Number squad. Viitattu 4.9.2024. <https://numbersquad.com/manufacturing-cost-definition-components-and-importance/>

Susman, G. 1992. Integrating design and manufacturing for competitive advantage. New York: Oxford university press.

Swift, K. G., Booker, J. D. 2003. Process selection: From design to manufacture. painos 2. Boston: Butterworth-Heinemann.

Tietoa meistä. N.d. Harvian tarjoama tietopaketti. Harvia. Viitattu 14.6.2024. <https://harviagroup.com/fi/tietoa-meista/>

Tuotannon layout. N.d. Logistiikan maailman tarjoama verkkoaineisto. Logistiikan maailma. Viitattu 27.6.2024. <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tuotantostrategia/tuotannon-layout/>

What is design for manufacturing or DFM?. 2020. East West:in tarjoama blogikirjoitus. East West Manufacturing. Viitattu 14.8.2024. <https://news.ewmfg.com/blog/manufacturing/dfm-design-for-manufacturing>

## **Liitteet**

### **Liite 1. Raaka konsepti (Salassa pidettävä)**

**Liite 2. Kuoren DFM&A-konsepti (Salassa pidettävä)**

**Liite 3. Sivupalan DFM&A-konsepti (Salassa pidettävä)**

**Liite 4. Etupalan lippa DFM&A-konsepti (Salassa pidettävä)**

**Liite 5. DFM&A-konsepti (Salassa pidettävä)**