



Koneistuskiinnittimen suunnittelu DFM-, DFA- ja DFMA-menetelmiin pohjautuen

Kari Stranden

Opinnäytetyö, AMK

Huhtikuu 2023

Konetekniikka, Insinööri (AMK)

Stranden Kari

Koneistuskiinnittimen suunnittelu DFM-, DFA- ja DFMA-menetelmiin pohjautuen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Huhtikuu 2023, 40 sivua

Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Viimet Oy. Viimet Oy on konepaja, joka sijaitsee Pohjois-Karjalassa. Yritys valmistaa keskiraskaita koneenosia ja toiminnot ovat keskittyneet pääasiallisesti hitsaukseen sekä jyr-sinkoneistukseen. Toimeksiantaja halusi nostaa koneistuskapasiteettia osana yrityksen menetelmäkehitystä. Tavoitteena oli suunnitella koneistuskiinnitin annettujen vaatimusten perusteella. Kiinnittimen suunnittelu toteutettiin DFM-, DFA- ja DFMA-menetelmiä soveltaen.

Työ toteutettiin tapaustutkimuksen avulla. Koneistuskiinnitin suunniteltiin yhdelle tuotteelle, jolloin lopputuloksista saatiin tarkempia ja laajempia tapaustutkimusta hyödyntäen. Tuotteen koneistusasetoa ja asetuksen tekoa tuleviin kiinnittimiin arvioitiin esisuunnittelussa, jossa hyödynnettiin DFA-menetelmää. Kiinnittimen suunnitteluun valmistuksen kannalta hyödynnettiin DFM-menetelmää.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi valmiiksi suunniteltu kiinnitinkokoonpano, jossa otettiin huomioon koneistuskiinnittimelle asetetut tavoitteet. Kiinnittimen suunnittelussa tehdyissä valinnoissa sovellettiin eri menetelmien asettamia mahdollisuuksia, jolloin suunnitteluprossista saatiin sujuvampi ja kustannustehokkaampi työvaihe. Opinnäytetyössä sovelletuilla suunnittelumenetelmillä ja niiden konkreettisella hyödyntämisellä voidaan helpottaa toimeksiantajan tulevaa suunnittelutyötä ja kasvattaa yrityksen kilpailukykyä.

Avainsanat (asiasanat)

DFM, DFA, DFMA, 3D-mallinnus, 3D-suunnittelu, kiinnitinsuunnittelu, menetelmäkehitys

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Liite 1 on salassa pidettävä ja piilotettu julkaistavasta opinnäytetyöstä. Salassapitoperuste on julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 21. Salassapitoaika on viisi (5) vuotta, salassapito päättyy 8.5.2028.

Stranden, Kari

Koneistuskiinnittimen suunnittelu DFM-, DFA- ja DFMA-menetelmiin pohjautuen

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, April 2023, 40 pages

Degree Programme in Mechanical Engineer. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The client of the thesis was Viimet Oy. Viimet Oy is an engineering workshop located in North Karelia. The company manufactures medium-heavy machine parts, and the operations are mainly focused on welding and milling. The client wanted to increase machining capacity as part of the company's method development. The aim was to design the machining fixture on the basis of the specified requirements. The fixture design was carried out applying DFM, DFA and DFMA methods.

The work was carried out through a case study. The machining fixture was designed for one product and the results were more detailed and extensive using case study. The machining position of the product and the setting on future fixtures were assessed in preliminary planning using the DFA method. The DFM method was used in the design of the fixture for manufacturing purposes.

The result of the thesis was a pre-designed fixture assembly, which considered the objectives set for the machining fixture. The choices of the fixture design were based on the possibilities offered by the various methods, which made the design process more fluent and cost-effective work phase. The design methods applied in the thesis and their concrete use can facilitate the future planning work of the client and increase the company's competitiveness.

Keywords/tags (subjects)

DFM, DFA, DFMA, 3D modelling, 3D design, fixture design, method development

Miscellaneous (Confidential information)

Appendix 1 is confidential and removed from the public thesis. Basic for secrecy: Arc on the Openness of Government Activities 621/1999, Section 24, 21. Period of secrecy is five (5) years, and it ends 8.5.2028.

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Tutkimusasetelma	7
2.1	Opinnäytetyön tavoite	7
2.2	Aiheen valinta ja rajaus	7
2.3	Luotettavuus ja eettisyys	8
3	Tietoperusta	8
3.1	DFM	8
3.1.1	Periaate.....	8
3.1.2	Tavoite	10
3.2	DFA	11
3.2.1	Periaate.....	11
3.2.2	Edellytykset.....	12
3.2.3	Esimerkit	13
3.3	DFMA.....	16
3.3.1	Periaate.....	16
3.3.2	Vaiheistus.....	16
4	Suunnittelua ohjaavat tekijät	19
4.1	Tuote ja kiinnityspisteet	19
4.2	Vaatimukset	20
4.3	Kiinnittimen tarkoitus.....	22
5	DFA-menetelmän vaikutukset suunnitteluun	22
5.1	DFA-versiot.....	23
5.2	Versio 1.....	23
5.3	Versio 2.....	25
5.4	Versio 3.....	27
5.5	Yhteenveto	29
6	Kiinnittimen suunnittelu DFM-menetelmää hyödyntäen	31
6.1	Versio 1.....	31
6.2	Versio 2.....	32
6.3	Versio 3.....	33
6.4	Yhteenveto	34

7 Tulokset	36
8 Johtopäätökset ja pohdinta	37
Lähteet	39
Liitteet	40
Liite 1: Valmiin kokoonpanon havainnekuvat	40

Kuviot

Kuvio 1. DFM kustannusten jakautuminen	11
Kuvio 2. Symmetrian käyttö.....	13
Kuvio 3. Symmetrian käyttö geometriassa	14
Kuvio 4. Ohjaavat pinnat.....	14
Kuvio 5. Keskittäminen.....	15
Kuvio 6. Ohjaavan pinnan määrittäminen	15
Kuvio 7. DFMA:n vaiheistus	17
Kuvio 8. Kolmen käännön kuvanto ja isometrinen näkymä tuotteesta	19
Kuvio 9. Koneistustorni	21
Kuvio 10. Versio 1 tuotteet tornissa	24
Kuvio 11. Versio 1 kiinnitinhahmotelma	25
Kuvio 12. Versio 2 tuotteet tornissa	26
Kuvio 13. Versio 2 kiinnitinhahmotelma	27
Kuvio 14. Versio 3 tuotteet tornissa	28
Kuvio 15. Versio 3 kiinnitinhahmotelma	29
Kuvio 16. Versio 1 hahmotelma	32
Kuvio 17. Versio 2 hahmotelma	33
Kuvio 18. Versio 3 hahmotelma	34

Taulukot

Taulukko 1. DFA taulukko	30
Taulukko 2. Versio 1 kustannukset	35
Taulukko 3. Versio 2 kustannukset	35
Taulukko 4. Versio 3 kustannukset	35

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää suunnittelumenetelmien hyödyntämisen mahdollisuuksia ja vaikutuksia suunnittelutyöhön ja sen lopputulokseen. Suunnittelumenetelmillä on erilaisia painotuksia, jolloin menetelmän hyödyntämisellä voidaan vaikuttaa suunniteltavan tuotteen valmistettavuuteen, kokoonpantavuuteen ja kustannuksiin. Suunnitteluprosessin sujuvoittamisella ja kustannustehokkaampien vaihtoehtojen löytämisellä voidaan helpottaa suunnittelijan päivittäistä työskentelyä ja kasvattaa yrityksen kilpailukykyä. Tässä opinnäytetyössä suunnitteluprosessia tarkastellaan menetelmänsinöörin näkökulmasta osana yrityksen menetelmäkehitystä.

Opinnäytetyö tehdään Viimet Oy:lle. Viimet Oy on konepaja, joka sijaitsee Pohjois-Karjalassa. Yritys valmistaa keskiraskaita koneenosia ja toiminnot ovat keskittyneet pääasiallisesti hitsaukseen sekä jyrsinkoneistukseen. Yritys työllistää tällä hetkellä 33 henkilöä. Viimet Oy kuuluu osaksi EFM Group-konsernia. EFM Groupiin kuuluu Viimet Oy:n lisäksi Joensuun CNC Machining Oy ja KKR Steel Oy.

Opinnäytetyössä suunnitellaan koneistuskiinnitin asiakkaan tuotteelle, jonka silloitus- ja robottihitsaus, koneistus sekä kokoonpano tehdään Viimet Oy:n toimesta. Opinnäytetyön käytännön osuus rajataan yhteen kiinnittimeen, sillä jokainen kiinnitin suunnitellaan pääsääntöisesti tuotekohtaisesti. Opinnäytetyössä kiinnittimen suunnittelusta tuotetaan 3D-malleja, jotka tehdään SolidWorks 2021-ohjelmistolla.

Opinnäytetyön tietoperustana toimii käsitteet DFM (Design for Manufacturing), DFA (Design for Assembly) ja DFMA (Design for Manufacturing & Assembly). Opinnäytetyössä pyritään löytämään suunnittelumenetelmien konkreettisia hyötyjä ja haasteita, jotka näkyvät päivittäisessä suunnittelutyössä. Opinnäytetyön tietoperustaa hyödynnetään koneistuskiinnittimen suunnittelussa, jossa pyritään yhdistämään teoreettinen tieto käytännön toteutukseen.

Opinnäytetyön tavoitteena on löytää perusteltuja ratkaisuja suunnittelumenetelmien hyödyntämiseen, joilla voidaan helpottaa ja selkeyttää suunnittelijan työtä. Työssä pyritään tekemään havaintoja siitä, minkälaisia konkreettisia vaikutuksia menetelmien hyödyntämisellä on opinnäytetyön

aineistona suunniteltaviin 3D-malleihin. 3D-malleja arvioidaan opinnäytetyön tietoperustaa hyödyntäen. Työssä pyritään tuomaan ilmi, kuinka kustannustehokas ja toimiva suunnitteluprosessi tuo hyötyjä toimeksiantajalle.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyöllä pyritään valaisemaan ja aukaisemaan asioita, jotka ovat suunnittelutyön kannalta järkeviä ja kustannustehokkaita. Työn tavoitteena on tuoda ilmi asiat, jotka tekevät suunnittelusta tehokkaampaa ja lopputuloksesta halutun. Tavoitteena on löytää suunnittelusta syntyviä kustannuksia ja ymmärtää niiden muodostumista muun muassa eri valmistusmenetelmien kautta.

Opinnäytetyössä etsitään vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Kuinka DFM-, DFA- ja DFMA-menetelmät ohjaavat suunnittelussa syntyviä ratkaisuja?
2. Kuinka menetelmät vaikuttavat suunnittelun lopputulokseen?

Opinnäytetyö perustuu tapaustutkimukseen. Tapaustutkimuksen tavoitteena on löytää perusteltuja vaihtoehtoja yhden kohteen äärellä (Tapaustutkimus 2015). Opinnäytetyö käsittelee yhden kiinnittimen suunnittelua, jonka suunnittelusta halutaan löytää perusteltuja ratkaisuja. Työ keskittyy yhteen kohteeseen, koska parhaimmat tulokset löydetään, kun kohdetta käsitellään useasta eri näkökulmasta, jotka eroavat konkreettisesti lopputuloksessa toisistaan.

2.2 Aiheen valinta ja rajaus

Opinnäytetyön aiheen valintaan vaikutti opinnäytetyön tekijän aikaisempi työkokemus ja nykyinen toimenkuva, joka liittyy opinnäytetyön aiheeseen. Opinnäytetyön tietoperusta rajattiin DFA-, DFM- ja DFMA-suunnittelumenetelmiin. Opinnäytetyön aineistoksi tuotettiin hahmotelmat eri 3D-malleista. Käytännön osuus rajattiin suunnitteleamalla koneistuskiinnitin yhteen asiakkaan tuotteeseen. Suunnittelusta syntyvät tekniset dokumentit rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle. Opinnäytetyössä näytettiin 3D-mallit ainoastaan eri versioiden hahmotelmista, lopullinen

kiinnitinkokoonpano on yrityksen sisäistä dokumentaatiota eikä näin ollen ole julkisessa työssä näkyvissä.

2.3 Luotettavuus ja eettisyys

Opinnäytetyön tietoperustana on käytetty useita eri lähteitä samojen käsitteiden asiasisällöstä. Tällä tavalla pystytään vertailemaan lähteistä saatavaa tietoa ja varmistamaan niiden sisällön luotettavuus. Opinnäytetyössä toimitaan myös tutkimuseettisten ohjeistusten mukaisesti. Tietoperustana oleviin lähdeaineistoihin viitataan asianmukaisin tekstiviittein. Opinnäytetyössä näkyvää tuotetta, jolle koneistuskiinnitin suunniteltiin, käsiteltiin toimeksiantajan asiakkaan näkökulmasta. Asiakkaalta kysyttiin, missä määrin tuotteen ja koneistustornin 3D-malleja sekä muita tietoa saa esittää. Työn valmistuttua se lähetettiin asiakkaalle hyväksyttäväksi, ennen kuin se julkaistiin. Opinnäytetyön sisältö käytiin läpi myös toimeksiantajan edustajan kanssa opinnäytetyön ohjaajan lisäksi, jotta opinnäytetyön sisältö noudattaa toimeksiantajan vaatimuksia.

3 Tietoperusta

Seuraavissa kappaleissa esitellään opinnäytetyön tietoperustaa pohjautuen aikaisempaan tutkimukseen. Opinnäytetyön tietoperustana toimivat suunnittelumenetelmät DFM, DFA ja DFMA. Suunnittelumenetelmien teoreettista tietoa hyödynnetään opinnäytetyön käytännön osuudessa eli toimeksiantajalle suunniteltavan koneistuskiinnittimen suunnittelussa.

Opinnäytetyössä hyödynnetään pääasiassa verkkolähteitä, sillä ne olivat helppoiten saatavilla ja niissä on kuvattu kattavasti tietoperustana olevat käsitteet käytännönläheisten esimerkkien avulla. Lähdeaineistoa oli saatavilla rajoitetusti ja suurin osa opinnäytetyössä hyödynnetystä aiemmasta tutkimuksesta on kansainvälistä, johtuen tietoperustana olevista käsitteistä.

3.1 DFM

3.1.1 Periaate

DFM-termillä tarkoitetaan valmistusystävällistä suunnittelua. Prosessissa otetaan huomioon valmistuksen mahdollisuudet sekä rajoitukset. DFM-termin pääasialliset tavoitteet kiinnittyvät suun-

niteltavan tuotteen kustannustehokkaaseen valmistettavuuteen, suunniteltavan tuotteen tai kokonaisuuden korkeampien onnistumisprosenttien saavuttamiseen sekä yhteistyöhön suunnittelun ja valmistuksen välillä. (Taber 2021.) Oikeilla valmistustekniikoilla sekä materiaalivalinnoilla päästään haluttuun lopputulokseen tehokkaammin ja nopeammin (Sild 2021).

DFM:n avulla saadaan määriteltyä suunnittelussa asioita, jotka vaikuttavat tuotteen valmistettavuuden kaikkiin vaiheisiin. Valmistuksesta saadaan jouhevampi ja nopeampi prosessi niin asiakkaalle kuin valmistajalle, kun pystytään määrittämään tuotteen valmistettavuus ja sitä edellyttävät asiat etukäteen. Valmistusprosessi on poikkeuksetta tuotekohtainen ja tähän määritelty työvaiheet ja prosessit ovat tärkeitä tuotteen kustannustehokkaan läpimenon kannalta. (Sild 2021.)

Valmistusprosessilla ja -menetelmillä on ensimmäinen ratkaiseva tekijä tuotekustannusten suhteen. Valmistusmenetelmät täytyy valita siten, että valmistettavalta tuotteelta, osalta tai komponentilta vaadittavat ominaisuudet saadaan toteutettua. Valmistusprosessin valintaan vaikuttavat tuotteen materiaali, vaadittu pinnanlaatu, toleranssit sekä jälkikäsittelytarpeet. (Sild 2021.) Suurena vaikutuksena on myös valmistuksen vaiheistus, sillä kokoonpanoissa voi olla esikoneistusta, kokoonpanohitsausta, loppukoneistusta ja mahdollisesti manuaalinen kokoonpano.

Myös tuotesuunnittelijan valinnoilla tuotteeseen tehtyihin ratkaisuihin on iso merkitys valmistuksesta tuleviin kustannuksiin. Suunnittelijan täytyy ymmärtää tuotteen lopullinen käyttötarkoitus, jotta hän osaa määrittää tuotteeseen toiminnalliset- ja ei-toiminnalliset piirteet. Tuotteisiin valittu materiaali riippuu käyttötarkoituksesta. Materiaalin valintaan tuotteessa vaikuttaa rajoittavana tekijänä siltä vaadittavat ominaisuudet, muun muassa kulutuksen kestävyys, paino, työstettävyys ja hitsattavuus. (Sild 2021.) Hitsatussa rakenteessa täytyy ottaa huomioon hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset, joten tarkkoihin pintoihin täytyy lisätä työstövarat.

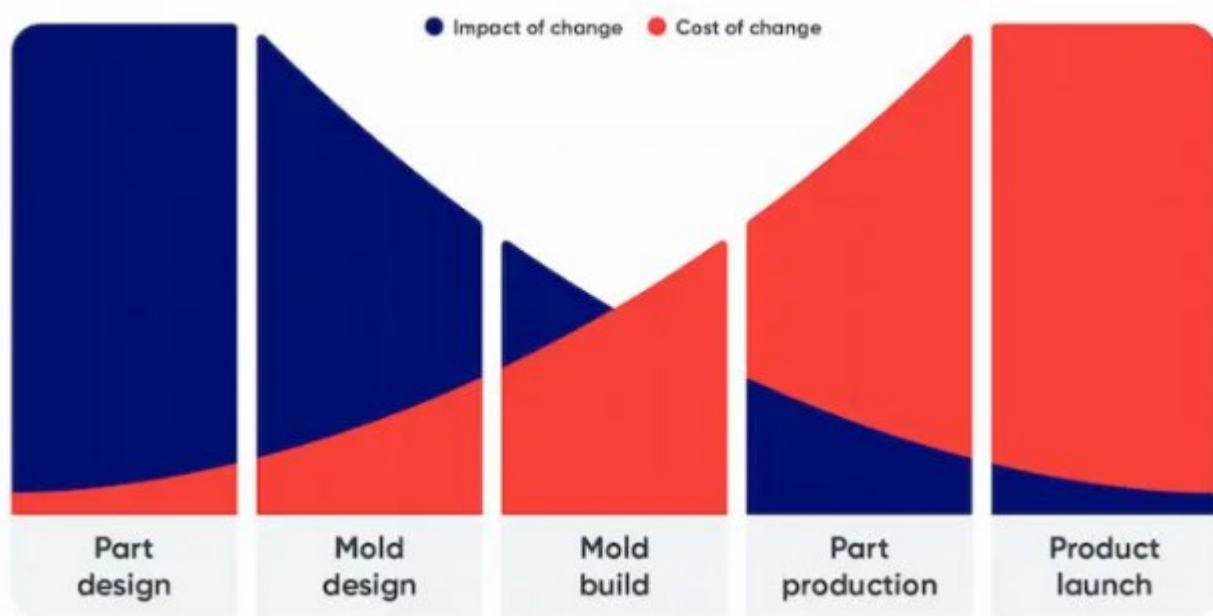
Tuotesuunnittelija pystyy määrittämään kustannuksia tehokkaasti, kun tuotteen lopullinen käyttötarkoitus on selvillä. Tällä tarkoitetaan tuotteelle asetettuja vaatimuksia, missä olosuhteissa tai käytössä tuote tulee olemaan. Nykyisin suunnittelutyöhön liittyy erilaisia standardeja, mitkä ohjaavat tuotteen suunnittelua, jotta se läpäisee vaadittavat sertifikaatit. (Sild 2021.)

3.1.2 Tavoite

DFM-menetelmän tavoitteena on optimoida osan, komponentin tai tuotteen suunnittelua kustannustehokkaammaksi. Tavoitteena on ohjata suunnittelussa käytettyjä materiaalivalintoja, optimoida tuotteessa käytettyjä osien määrä, hyödyntää mahdollisimman paljon samanlaisia osia kokoonpanossa sekä käyttää standardiosia mittatilausosien sijaan, mikäli mahdollista. (What is Design for Manufacturing (DFM)? N.d.) Tarkoituksena on lisätä yhteistyötä projektissa määriteltyille osapuolille ja tämän kautta yhteistyötä eri sidosryhmien kanssa. Tuote- ja valmistusuunnitelun tekeminen projektin alkuvaiheessa on tärkeä osa, jotta saavutetaan myös valmistuksen kannalta onnistunut lopputulos. (Taber 2021.) Suunnittelijan täytyy tietää, missä tuote tullaan valmistamaan, jotta huomioon voidaan ottaa käytettävissä olevat mahdollisuudet. Menetelmän tarkoituksena on myös selkeyttää tuotetiedonhallintaa suunnittelu- ja valmistusosaston välillä. Kaikki suunnittelijoiden tekemät menetelmä- tai tuotemuutokset pitää olla dokumentoituina myöhempää tarkastelua varten. (Taber 2021.)

Sekä Siim Sildin (2021) että Mark Taberin (2021) mukaan DFM-menetelmä on yhdistettävissä nykypäivänä käytössä oleviin tietokonepohjaisiin CAD- ja 3D-suunnitteluohjelmiin. Ohjelmat mahdollistavat tuotteen hahmottelun osa- ja kokoonpanotasolla, joten fyysistä tuotetta ei tarvitse valmistaa välttämättä tuotteen sopivuutta varten (Sild 2021). Tällä säästetään aikaa ja kapasiteettia valmistuksesta, sillä mahdolliset virheet on mahdollista korjata ennen prototyypin valmistamista.

DFM-menetelmässä pääpaino on suunnittelun alkuvaiheessa tehtyihin ratkaisuihin, sillä noin 70 % tuotteen valmistuskustannuksista on määrättävissä suunnittelun alkuvaiheessa (What is Design for Manufacturing (DFM)? N.d.). Tästä syystä suunnittelun alkuvaiheisiin kannattaa käyttää riittävästi aikaa ja resursseja. Siim Sild (2021) on artikkelissaan avannut kustannusten muodostumista suunnittelun eri vaiheissa. DFM-menetelmää on pyrittävä käyttämään mahdollisimman varhaisissa suunnitteluprosessin vaiheissa, sillä silloin muutosten tekeminen on huomattavasti edullisempaa verrattuna myöhäisempiin vaiheisiin (Kuvio 1). Tästä syystä valmistettavuuden arviointi tulee tehdä alkuvaiheessa mahdollisimman perusteellisesti (Sild 2021).



Kuvio 1. DFM kustannusten jakautuminen (Sild 2021)

3.2 DFA

3.2.1 Periaate

DFA-menetelmän tarkoituksena on suunnitella tuotteet helposti kokoonpantaviksi. Tavoitteena on optimoida kokoonpanossa olevien osien määrä sekä tehdä kokoonpanosta helposti koottava. DFA-menetelmän tarkoituksena on tehdä valmistusprosessista nopeampi, helpompi ja tuottavampi. (Velling 2021.) DFA-menetelmä on rinnastettavissa DFM-menetelmään. DFA-menetelmän tarkoituksena on löytää ensin kustannustehokkain kokoonpanon asetelma, minkä jälkeen voidaan tehdä valmistuksen suunnittelu. (Design For Assembly (DFA) N.d.)

Kokoonpanosuunnittelun täytyy kulkea koko suunnitteluprosessin läpi, mutta suurin painoarvo menetelmälle on alkuvaiheessa. DFA-menetelmän mukaisesti suunnittelijoiden tulee harkita tuotteen osille sekä osakokoonpanoille kustannustehokasta tuoterakennetta, jossa otetaan huomioon kokoamisen sekä käytön helppous. Prosessin tarkoituksena on tehdä suunnittelutyötä helpottava työkalu, jossa otetaan huomioon erilaiset vaihtoehdot ja näiden yhdistelmät, mahdollisuus vertailla keskenään eri konfiguraatioita, tunnistaa mahdolliset ongelmakohdat sekä löytää uusia näkökulmia asialle. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, 73.) Kokoonpanosuunnittelussa pyritään löytämään toimintamalli, joka on helppo yhdistää suunnittelijoiden jokapäiväiseen toimintaan myös suunnitteluohjelmissa.

DFA-prosessiin liittyvät seuraavat asiat:

- Osien määrän minimointi
- Modulaarisuus
- Osien symmetrisyys
- Standardiosien käyttö
- Toleranssien perusteltu käyttö
- Sisäänrakennetut kiinnikkeet
- Virheiden esto. (Velling 2021.)

DFA-menetelmä voidaan kuvata kolmen kysymyksen avulla kokoonpanokohtaisesti:

1. Täytyykö osan liikkua verrattuna muihin kokoonpanossa oleviin osiin?
2. Ovatko osat keskenään eri materiaalia?
3. Onko osan oltava erillinen tuotteen toiminnan tai huollon kannalta?

Jos vastauksena jokaiseen kysymykseen on ei, osa voidaan yhdistää todennäköisesti toiseen samassa kokoonpanossa olevaan osaan. (Velling 2021.)

DFA-työkalua käytetään myös viestintään. Viestintää valmistus- ja suunnitteluinsinöörien välillä lisätään ja suunnitteluprosessin aikana tehdyt ideat, perustelut ja päätökset pyritään dokumentoidaan hyvin myöhempää käyttöä varten. (Boothroyd ym. 2011, 73.) Hyvin dokumentoidut perustelut ja päätökset helpottavat mahdollisesti myös seuraavan suunnittelijan työtä.

3.2.2 Edellytykset

Tehokkaasti hyödynnetty DFA-menetelmä vaatii Boothroyd ym. (2011, 73) mukaan seuraavat edellytykset:

1. Riittävien lähtötietojen sekä menetelmien tarjoaminen suunnittelijalle tai suunnittelutiimille, jolla varmistetaan, että tuotteen monimutkaisuus ja kokoonpano otetaan huomioon varhaisessa suunnitteluvaiheessa. Tällä tavoitellaan sitä, että suunnittelun alkuvaiheessa otetaan huomioon riittävästi tuotteeseen kohdistuvat kustannukset.

2. Suunnittelijoita tai suunnittelutiimiä ohjeistetaan suunnittelemaan yksinkertaisemmin. Perustellaan syitä esimerkkien kautta, kuinka saavutetaan säästöjä suunnittelemalla yksinkertaisia osia, jotka muodostavat kokoonpanon.
3. Hyödynnetään kokeneempien suunnittelijoiden tietotaitoa jalkauttamalla tätä tietoa vähemmän kokeneille suunnittelijoille.
4. Perustetaan mahdollisuuksien mukaan kokoonpanoajoista sekä eri kustannustekijöistä olevat tietokannat eri suunnittelutilanteisiin ja tuotannon olosuhteisiin.

3.2.3 Esimerkit

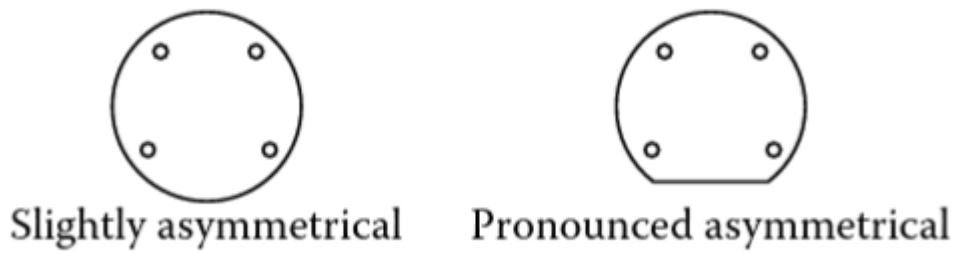
DFA-menetelmää pyritään hyödyntämään Boothroyd ym. (2011, 75–78) mukaan seuraavilla tavoilla:

1. Osien piirteet pyritään suunnittelemaan siten, että ne ovat täysin symmetrisiä toisiinsa nähden. Mikäli tämä ei ole mahdollista toteuttaa, on järkevää suunnitella tuote siten, että siinä ei hyödynnetä ollenkaan symmetriaa. Näin kappaleet eivät sekoitu niin helposti toisiinsa (Kuvio 2.)



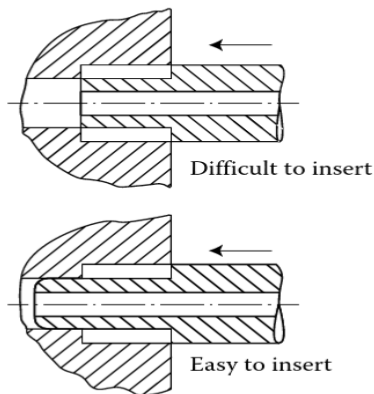
Kuvio 2. Symmetrian käyttö (Boothroyd ym. 2011, 75)

2. Osien geometriassa kannattaa myös käyttää joko symmetriaa tai jos se ei ole mahdollista niin tehdä osaan selkeä muutos, jotta geometria muuttuu (Kuvio 3).



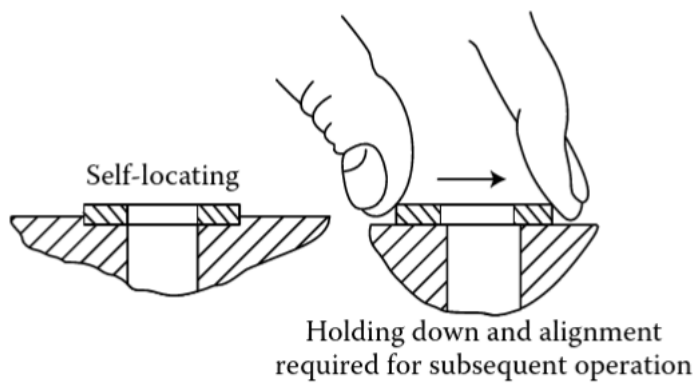
Kuvio 3. Symmetrian käyttö geometriassa (Boothroyd ym. 2011, 75)

3. Suunnitellaan holkit ja ohjaavat pinnat siten, että holkki ohjautuu itsestään paikoilleen (Kuvio 4).



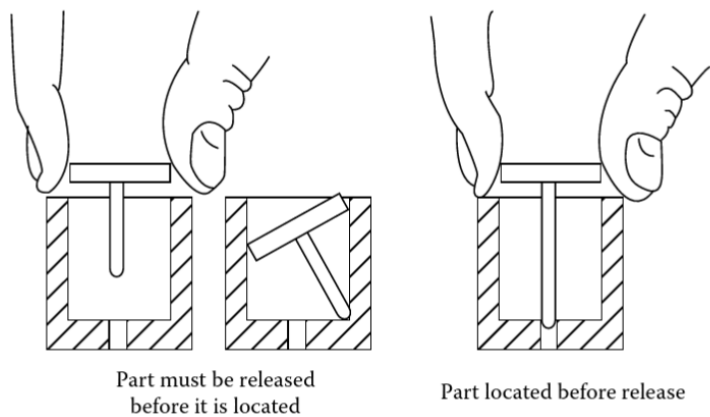
Kuvio 4. Ohjaavat pinnat (Boothroyd ym. 2011, 76)

4. Suunnitellaan tasopinnat itsepaikantavaksi siten, että esimerkiksi aluslaatan asettaminen helpottuu, koska sitä ei tarvitse pitää paikallaan (Kuvio 5).



Kuvio 5. Keskittäminen (Boothroyd ym. 2011, 77)

5. Pyritään suunnittelemaan ohjaava osa tuotteesta siten, että se ohjautuu vastakappaleeseen ennen kuin se vapautetaan paikoilleen. Mikäli tätä ei huomioida niin riskinä on, että osa asettuu väärään asentoon kokoonpanossa (Kuvio 6).



Kuvio 6. Ohjaavan pinnan määrittäminen (Boothroyd ym. 2011, 78)

3.3 DFMA

3.3.1 Periaate

DFMA-käsite yhdistää käsitteet DFM ja DFA. Suunnittelumenetelmän tarkoituksena on optimoida tuotteen kokoonpanonäkökulmat yhdistettynä käytettävissä oleviin valmistustekniikoihin. Tarkoituksena on yhdistää molempien käsitteiden tavoitteet yhteen suunnittelumenetelmään. Hyvin suunniteltu DFMA-menetelmä tarjoaa sekä lyhyen että pitkän aikavälin etuja. Nämä edut ovat välttämättömiä tuotteen luomiseksi, mikäli haluaa päihittää nykyajan kovan kilpailun. (Sild 2018.)

DFMA:n kolme päätarkoitusta on Boothroyd ym. (2011, 16) mukaan:

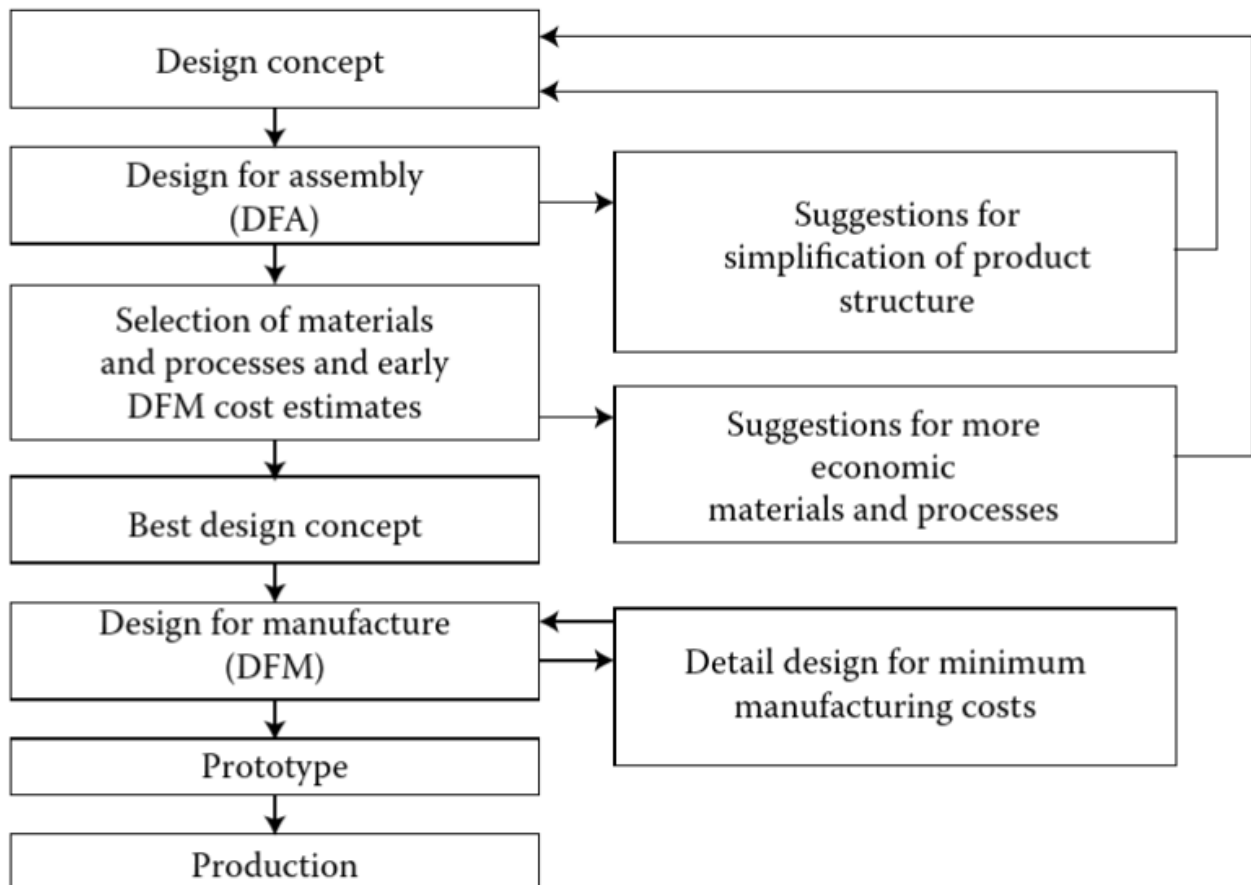
1. Suunnittelussa ohjataan tuotteen valmistus- ja kokoonpanokustannuksia alhaisemmaksi.
2. Käytetään mahdollisuuksien mukaan benchmarkkausta jo olevista ratkaisuista.
3. Kustannusarvioinnin tekemisessä auttaminen ja tavarantoimittajien kanssa neuvottelemisen.

DFMA:n tarkoituksena on määrittää systemaattinen toimintatapa suunnittelun, kokoonpanon ja valmistuksen näkökulmasta. Tällä pyritään yksinkertaisimpiin tuotteisiin, joissa on vähemmän osia. Näillä pyritään pienempiin suunnittelukustannuksiin käytetyn ajan osalta.

DFMA-työkalut rohkaisevat myös vuoropuheluun suunnittelijoiden ja valmistusinsinöörien sekä muiden henkilöiden välillä, jotka osallistuvat lopputuotteen kustannusten määrittämiseen suunnittelun alkuvaiheessa. Tämä tarkoittaa, että ryhmätyöskentelyyn rohkaistaan, jolloin samanaikaisen tai rinnakkaisen suunnittelun edut voidaan saavuttaa. (Boothroyd ym. 2011, 19.)

3.3.2 Vaiheistus

Kuviossa 2 on esitelty DFMA-prosessin eri vaiheet. Prosessin ensimmäinen vaihe on suorittaa DFA-analyysi, millä saavutetaan tuoterakenteen yksinkertaistaminen. Tämän jälkeen suoritetaan DFM:n avulla tarvittaville osille kustannusarviot. Kustannuksia täytyy verrata ilman DFM-menetelmää tehtyjen ja menetelmää hyödyntäen tehtyjen suunnitelmien välillä. Näistä valitaan paras konsepti. Tämän jälkeen valmistetaan prototyyppi ja mahdollisesti prototyyppi menee tuotantoon. (Boothroyd ym. 2011, 14.) Kuviossa 7 on esitetty kaavio vaiheistuksesta.



Kuvio 7. DFMA:n vaiheistus (Boothroyd ym. 2011, 14.)

Markkinoille saattamisaika tuotteen ideoinnin ja valmiin tuotteen välillä halutaan olevan mahdollisimman lyhyt. Prosessin mukaisesti halutaan yksinkertaistaa valmistusprosesseja ja kokoonpanovaiheita. Tehokas DFMA alkuvaiheessa vähentää kehityskustannuksia ajattelemalla etukäteen ja ratkaisemalla mahdollisia ongelmia, joita saattaa ilmetä myöhemmin. Prosessissa pyritään löytämään alkuvaiheessa tuotteessa mahdollisesti ilmenevät ongelmat. DFMA pyrkii poistamaan tarpeen tehdä loppupään suunnittelumuutoksia. (Sild 2022.)

Menetelmän tarkoituksena on lisätä viestintää eri sidosryhmien välillä. Hyvin ohjattu ja vastuutettu tuotekehitystyö esimerkiksi suunnittelijoiden ja valmistusinsinöörin välillä kertoo molemmille osapuolille kunkin osaston parhaista käytännöistä tietyn päämäärän saavuttamiseksi. Tämä auttaa ottamaan suunnittelussa huomioon myös valmistettavuuteen liittyvät näkökulmat. (Sild 2022.)

On ratkaisevan tärkeää, että DFMA alkaa konseptin luomisvaiheesta. Seuraavaksi on lueteltuina periaatteita, jotka ohjaavat suunnittelua:

1. Tuotteen muotoilu. Suunnittelun pitäminen yksinkertaisena on yksi DFMA:n periaatteista. Tuotteen muotoilussa täytyy huomioida rakenteen käyttötarkoitus sekä sille asetetut rajoitteet ja vaatimukset. Rakenteessa pyritään yksinkertaiseen geometriaan ja turhia piirteitä tulee välttää. Yksinkertainen rakenne on helpompi ja nopeampi valmistaa, siitä tulee poikkeuksetta kevyempi ja se on kustannuksiltaan halvempi. (Sild 2022.)

2. Modulaarisuus ja kiinnittimet. DFMA suosii modulaarista suunnitteluperiaatetta. Modulaarisuus jakaa tuotteen eri moduuleihin, joissa jokaisella on oma tehtävänsä. Moduuleiden tarkoitus on tehdä tuotteesta muunneltava. Rakenteessa voidaan käyttää perustana samaa runkoa, johon on mahdollista asentaa erilaiset osat. Eduiksi kuvataan tilan ja materiaalin säästöt. (Sild 2022.) Järkevästi suunniteltu kiinnitysjärjestelmä antaa mahdollisuuksia tuotannossa ja pitemmällä aikavälillä säästää kustannuksissa ja ajassa. Esimerkkinä koneistuskiinnitin, jossa on perusrunko, mihin on mahdollista asentaa kiinnittimet eri tuotteille.

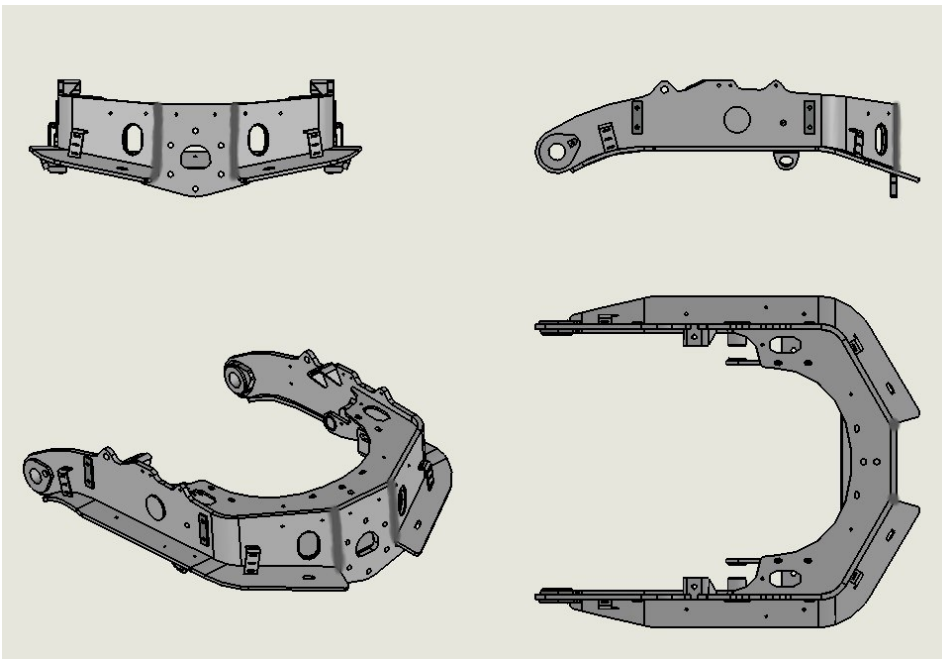
3. Osien optimointi ja vakiointi. Kokoonpanossa olevien osien määrä vaikuttaa olennaisesti kustannuksiin. Vähemmällä osilla saavutetaan tuotteelle nopeampi kokoonpanoaika. Samaa osaa pyritään käyttämään kokoonpanossa useampaa toimintoa varten, jos se on mahdollista. Suunnitellessa jokaiselle osalle täytyy löytyä perustelu, minkä takia se on kokoonpanossa. Suunnitellessa pyritään käyttämään vakio-osia. Standardisoitujen osien ja komponenttien saatavuus on hyvä ja hinta on halvempi verrattuna mittatilausosiin. (Sild 2022.)

4. Toleranssit. Suunnittelusta syntyviin kustannuksiin vaikuttaa tuotteelle vaaditut toleranssit. Toleranssien määrittäminen on suunnittelijan työ, joten suunnittelijalla täytyy olla ymmärrys, mikä on tuotteen lopullinen käyttötarkoitus. Turhan tiukkojen toleranssien asettaminen nostaa valmistuskustannuksia ja vaatii tarkemmat valmistusmenetelmät. (Sild 2022.) Toleranssien määrittelyyn vaikuttavat monet asiat, kuitenkin pääsääntöisesti ei määritellä turhan tarkkoja toleransseja, mikäli tälle ei ole perustetta.

4 Suunnittelua ohjaavat tekijät

4.1 Tuote ja kiinnityspisteet

Opinnäytetyössä suunniteltava koneistuskiinnitin suunnitellaan asiakkaan tuotteelle. Asiakkaan toiveesta tuotteesta ei näytetä yksityiskohtaisempia piirustuksia, leikkauskuvantoja eikä railomuotoja. Tuoteperhe koostuu useammasta eri mallista. Tuotteen mallien välillä on eroja muun muassa koossa ja rakenteessa. Tuotteen osuus opinnäytetyössä rajautuu sen mahdollisiin kiinnityspisteisiin, joista se on mahdollista kiinnittää koneistusta varten. Tuote on hitsattu teräsrakenne, jossa on koneistettavia pintoja.



Kuvio 8. Kolmen käännön kuvanto ja isometrinen näkymä tuotteesta

Tuotteen kiinteiksi vastepinnoiksi pyritään valitsemaan toisistaan mahdollisimman kaukana olevat pinnat. Tuotteesta valitaan kiinteiksi vastepinnoiksi kolme pintaa. Kolme kiinteää vastetta on riittävä tuotteen koneistettavien pintojen sijainti, mitoituksen geometriset vaatimukset ja rakenne huomioon ottaen. Mahdolliset lisävasteet toimivat värinää vaimentavina ja ovat toiminnaltaan säädettäviä.

Tuotteen molemmissa päädyissä on koneistettavia pintoja, joten tästä voidaan päätellä, että molempiin päihin tarvitaan vastepinnat, mitä vasten tuote asettuu kiinteästi. Myös päädyistä katsottuna huomataan, että päätylevyssä on alapinnassa pyöreä geometria, missä on hyvä mahdollisuus vastepinnalle. Päätylevy on kiinnityksen kannalta myös järkevä, sillä se on rakenteen tukevin kohta. Tuotetta päältä päin katsottaessa havaitaan, että sivuttaissuuntaan tarvitaan vastepintoja, jotta kappale saadaan sivuttaissuunnassa kiinnitettyä paikoilleen. Sivuttaissuunnan vasteet pyritään sijoittamaan siten, että ne ovat myös lähellä koneistettuja pintoja. Sivuttaissuunnan vasteissa on otettava huomioon hitsauskokoontamisessa tulevat mahdolliset mitoitusliittymät muuttujat. Vastepinnat on suunniteltava siten, että tuote asettuu vasteita vasten, vaikka mitoitus on toleranssialueen ylä- tai alapäässä.

4.2 Vaatimukset

Tuotteen koneistus toteutetaan työstökoneella, joka on varustettu kahdella pyörityspöydällä. Työstökoneessa on kääntyvä kulmapää, joka mahdollistaa työstön pysty- ja vaaka-asennossa. Tässä opinnäytetyössä kiinnittimet suunnitellaan yhdelle koneistustornille.

Tuote tullaan kiinnittämään kiinnittimiin mekaanisesti, joten erilaiset pneumaattiset ja hydrauliset ratkaisut eivät ole käytettävissä kappaleen vaihtoa sekä kiinnitystä varten. Tuotteen vaihtamista varten on käytössä nosturi sekä nostoa varten on nostoapuväline, joka mahdollistaa helpomman käsittelyn nostojen yhteydessä. Nostoapuväline on suunniteltu siten, että se mahdollistaa tuotteen kääntämisen eri asentoihin.

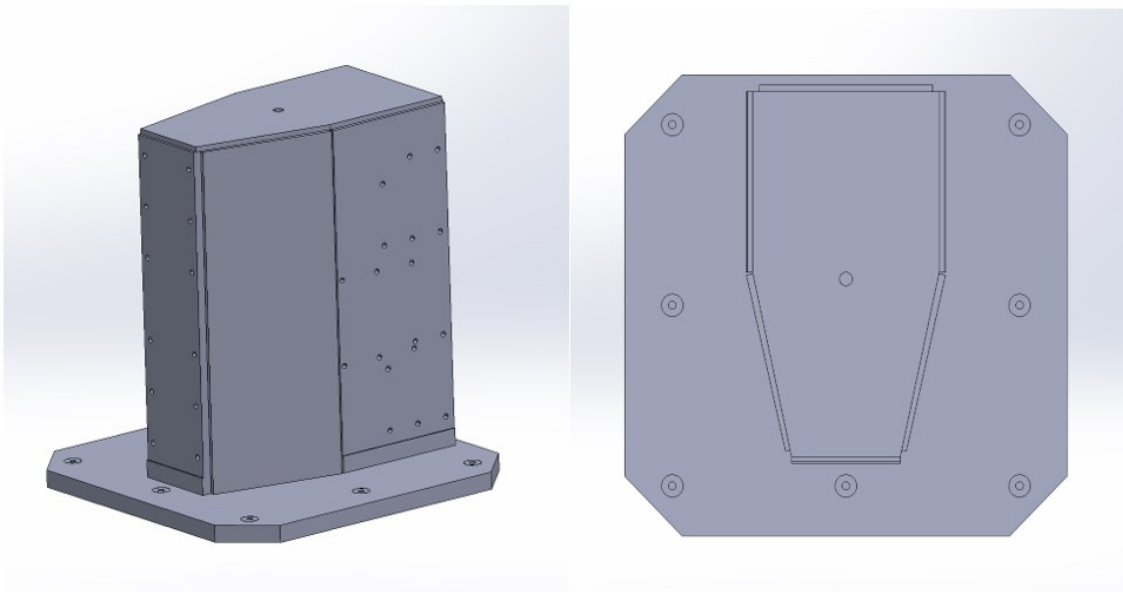
Toimeksiantajan vaatimuksena on, että tuotetta pystytään koneistamaan vähintään kaksi tuotetta kerrallaan. Toimeksiantajan toiveesta kiinnitys tullaan toteuttamaan yrityksen jo olemassa olevaan koneistustorniin, sillä uuden koneistustornin suunnittelu ja valmistaminen yhtä mallia varten tulee kalliiksi verrattuna siihen, että hyödynnetään jo käytössä olevaa tornia. Kiinnittimen suunnittelussa tehdyt valinnat toteutetaan siten, että kiinnitin on valmistettavissa EFM Groupin sisäisillä valmistusmenetelmillä ja materiaaleilla. Alla lueteltuna valmistusmenetelmät:

- Termiset leikkausmenetelmät
- Käsini- ja robottihitsaus
- Jyrsintä
- Sorvaus

- Särmäys

Vaatumuksena suunnittelun raportoinnille on, että mallinnetuista osista tehdään dxf-tiedostot polttoleikkausta varten sekä kaikista osa- ja kokoonpanokuvista tarvittavat piirustukset valmistusta varten. Kiinnitinkokoonpanosta tehdään myös osaluettelo, josta ilmenee, mistä komponenteista ja osista kokoonpano koostuu sekä asetuskuva, mistä ilmenee tuotteen asettaminen kiinnittimiin. Piirustukset eivät sisälly opinnäytetyöhön.

Toimeksiantajan toiveesta tuote tullaan kiinnittämään koneistustorniin, joka on jo tuotantokäytössä. Kuviossa 9 on projektiokuvannot tornista. Torni on materiaaliltaan terästä ja äärimitat ovat leveydeltään, pituudeltaan ja korkeudeltaan noin metrin. Koneistettuja pintoja on molemmissa sivuissa ja päädyssä. Koneistettujen pintojen tarkoitus on mahdollistaa mittatarkat pinnat sivuille ja päädyille, mikä on tärkeää, sillä koneistustorni on ”runko”, jota vasten erilaiset kiinnittimet kiinnitetään. Tornissa on kierrereihiä päätylevyssä sekä molemmilla sivuilla.



Kuvio 9. Koneistustorni

Käytössä olevan koneistustornin suunnittelussa on hyödynnetty modulaarista suunnitteluperiaatetta, eli tarkoituksena on ollut, että yhteen koneistustorniin on mahdollista kiinnittää erikokoisia ja -mallisia kiinnittimiä, jotka mahdollistavat useiden eri tuotteiden kiinnityksen.

4.3 Kiinnittimen tarkoitus

Kiinnittimen pääasiallinen tehtävä on asemoida koneistettava tuote samaan sijaintiin ja asentoon suhteessa koneistuskeskuksen origoon, eli nollapisteeseen. Kiinnittimen tarkoitus on pitää tuote paikallaan koneistuksen ajan, lastuamisvoimista huolimatta. Toisin sanoen kiinnitysvoimien pitää olla suurempia kuin tuotteeseen vaikuttavat koneistuksessa syntyvät lastuamisvoimat. Koneistuskiinnitin täytyy suunnitella siten, ettei kiinnitin ja siinä olevat elementit ja rakenne ole työkalun liikeratojen esteenä. Tarkoituksena on, että kiristysvoima saataisi muodostettua mahdollisimman lähelle niitä pintoja, mistä koneistetaan. Näin saadaan minimoitua tuotteeseen kohdistuvat värinäät, mitkä aiheutuvat koneistuksessa työkalun liikkeestä.

Vastepintojen sijainti pyritään toteuttamaan siten, että niitä vasten tuote on helppo asettaa, eikä tuotetta ole mahdollisuutta asettaa siihen väärällä tavalla. Kiinteiden vastepintojen sijainti kannattaa pyrkiä toteuttamaan niin, että tuote asettuu niitä vasten sen omalla massallaan. Täten kiinteitä ja näin ollen ohjaavia vastepintoja ei saa olla liikaa, muuten tuote voi jäädä osittain irti jostakin vasteesta. Säädettyjen vasteiden tehtävä on toimia tukipintoina kiinteiden lisäksi sekä kompensoida hitsauskokoontamisessa tapahtuvien mittaheittojen, hitsauksessa aiheutuvien muodonmuutoksien, särjätyissä osissa olevia mahdollisia muodonmuutoksia sekä mahdollista levyleikkeen vinoa tai epätasaista polttopintaa. Kiinteiden ja säädettyjen vasteiden määrä on aina tuotekohtainen – ja riippuu sen geometriasta.

Vastepintojen sijainti ja määrä voi toimia osittain myös tulkkina: mikäli tuote ei lepää omalla massalla vastepinnoissa kiinni, tuotteessa voi olla mittavirhe, joka voi johtua esimerkiksi levyleikkeiden särjäyksestä tai hitsauskokoontamisesta. Kiinnitinsuunnittelussa huomioitavaa on, että kiinnitin suunnitellaan useimmiten tuotekohtaisesti, joten oikein suunniteltu kiinnitin estää siihen väärän mallisen kappaleen käymisen paikalleen. Perustana tuotteen onnistuneelle koneistukselle on tuotteen paikallaan pysyminen koneistuksen ajan.

5 DFA-menetelmän vaikutukset suunnitteluun

Opinnäytetyön teoriaosuus perustuu suunnittelumenetelmiin DFM, DFA ja DFMA. Opinnäytetyön aineistona toimii SolidWorks 2021-ohjelmistolla suunnitellut 3D-mallit. DFA-menetelmän pohjalta suunnittelutyön aikana huomioidaan itse kiinnittimen valmistettavuutta kokoonpanojen suhteen,

mikäli rakenne vaatii kokoonpanoa. Rakenteessa on kokoonpanoa, mikäli siinä on enemmän kuin yksi osa. Kiinnittimen käytettävyydessä on suuri painoarvo, joka korostuu suunnittelijan valintojen mukaan. Suunnittelussa tullaan huomioimaan DFA-menetelmä jo suunnittelun alkuvaiheessa, sillä se, miten tuote asetetaan kiinnittimiin ja missä asennossa, vaikuttaa sen käytettävyyteen. Käytettävyyttä arvioidaan kolmessa eri asennossa, kuinka tuote on mahdollista kiinnittää koneistustorniin. Kolmelle eri kiinnitysmahdollisuudelle tehdään havainnollistava kiinnitinsuunnittelu, jossa tarkastellaan käytettävyyttä DFA-menetelmän näkökulmasta. Kolmesta vaihtoehdosta arvioidaan DFA-prosessin mukaan käyttäjäystävällisin.

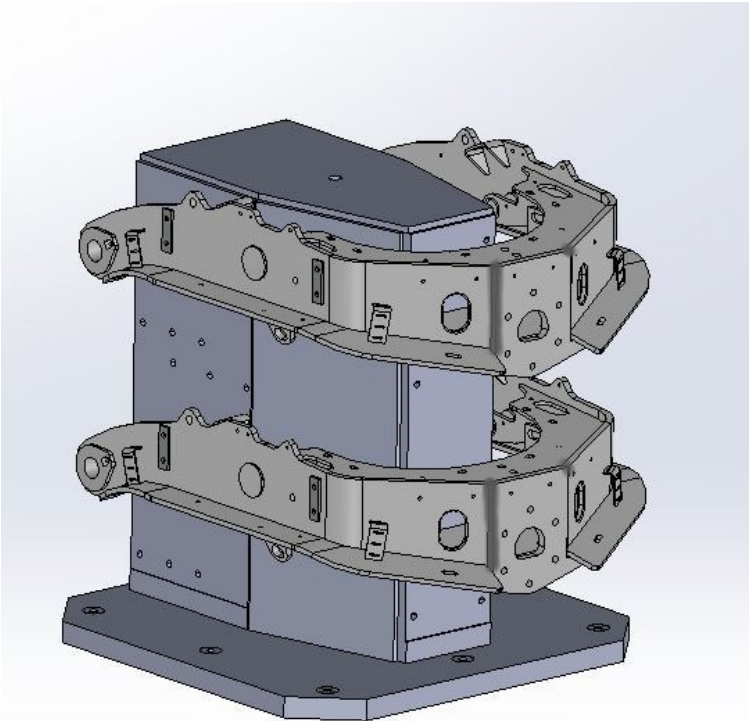
5.1 DFA-versiot

Koneistustornin fyysiset mitat ja rakenne rajoittavat tuotteen mahdollisia asentoja, kuinka tuote voidaan siihen kiinnittää. Koneistustorni on sopiva tuotetta ajatellen, sillä tuote on sisämitoiltaan noin 10 cm leveämpi, mitä tornin koneistettu leveys. Tuotteen sisämittojen kapeimman kohdan on oltava leveämpi kuin koneistustornin koneistettujen pintojen leveys, jotta kiinnittäminen on mahdollista tuotteen geometria huomioon ottaen.

Tuotteen hahmottelu koneistustorniin aloitettiin arvioimalla, missä eri asennossa ja millä puolin tornia tuote on siihen mahdollista sijoittaa. Heti suunnittelun alkuvaiheessa huomioitiin vaatimuksena oleva vähintään kahden tuotteen kiinnittäminen samaan torniin. Esisuunnittelu toteutettiin kaikkiin kolmeen versioon.

5.2 Versio 1

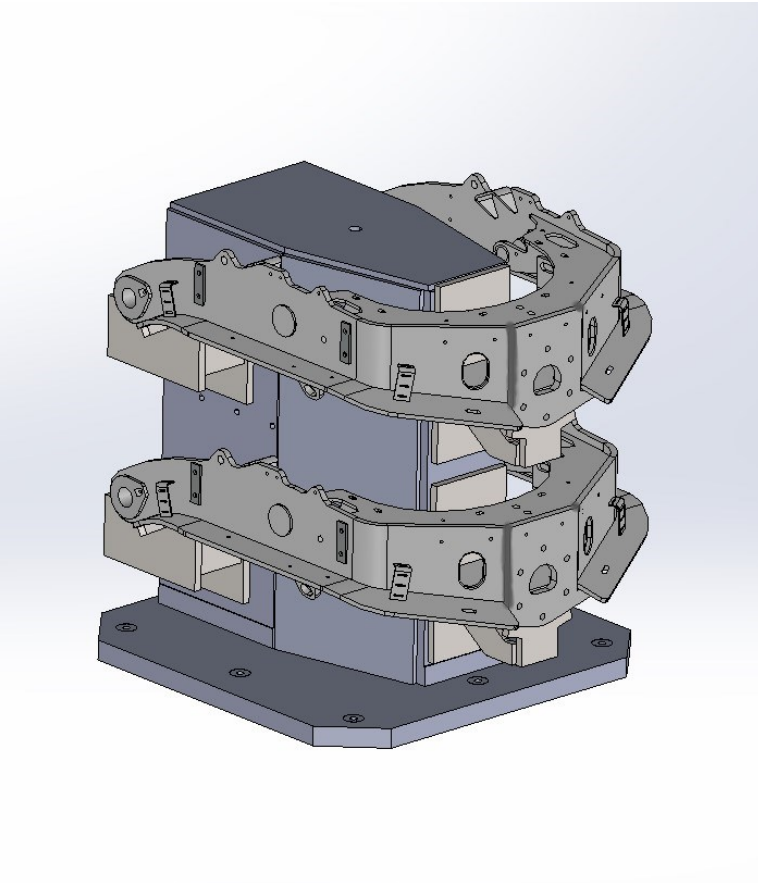
Ensimmäisessä versiossa tuotteet sijoitettiin koneistustorniin siten, että tuotteen päätylevy on yhdensuuntainen koneistustornin päätylevyn kanssa. Korkeussuunnassa tuotteet sijoitettiin siten, että ne molemmat sopivat torniin ja että niiden välille jäi riittävästi tilaa, jotta niiden asettaminen olisi helpompaa. Pituussuunnassa tuotteet sijoitettiin niin, että päätylevyn sisäpuolella oleva levy ei ota torniin kiinni.



Kuvio 10. Versio 1 tuotteet tornissa

Tuote asemoitiin sivuttaissuunnassa siten, että tuotteen keskipiste ja koneistustornin keskipiste ovat samalla kohdalla. Tällä saavutetaan helpompi ja järkevämpi mahdollisuus toteuttaa sivukiinnittimet molemmin puolin, sillä tuote on saman verran molemmin puolin irti tornista.

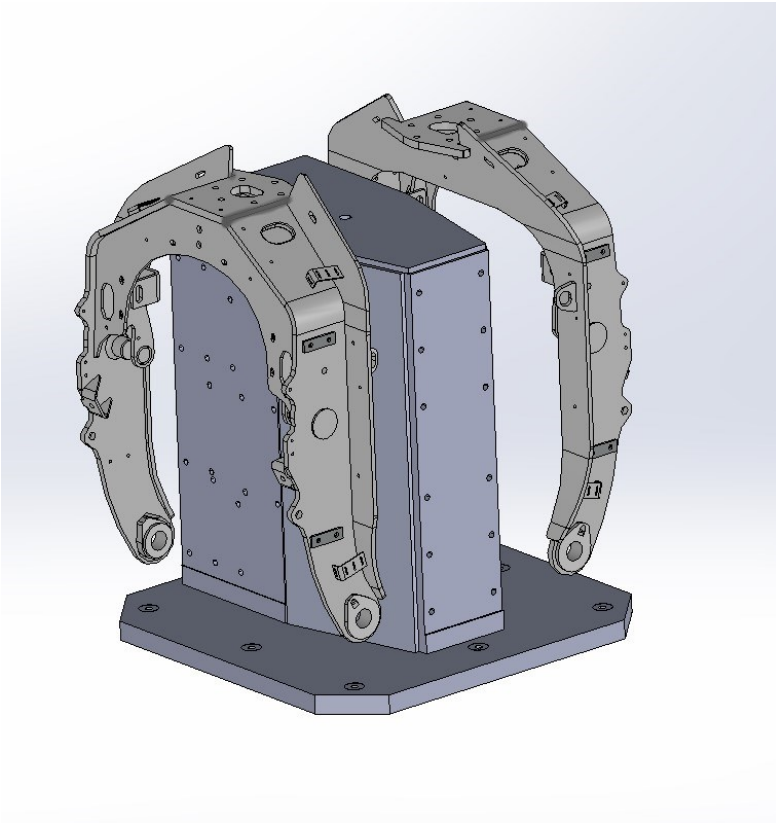
Versiossa yksi tuotteen kiinnittämiseksi tarvitaan molemmille puolille sivumoduulit sekä päätymoduuli. Tuotteen asemoinnin ansiosta sivumoduulit on mahdollista toteuttaa samalla periaatteella molemmin puolin, peilikuvana. Päätymoduuli on mahdollista toteuttaa omanaan. Tuotteen kiinnityspisteet huomioon ottaen vastepinnat kiinnittimiin on mahdollista toteuttaa siten, että tuote lepää niiden varassa omalla massallaan, mikä on eduksi tuotetta siihen asettaessa. Koneistustornin koneistetut pinnat ovat valmiiksi päädystä ja molemmilla sivuilla.



Kuvio 11. Versio 1 kiinnitinhahmotelma

5.3 Versio 2

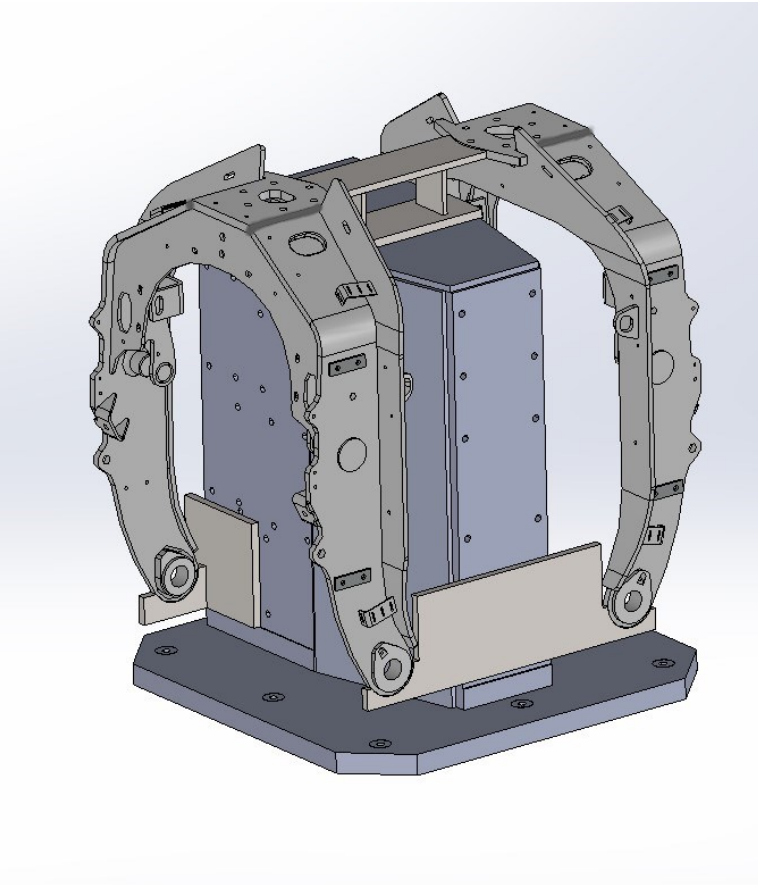
Toisessa hahmotelmassa tuotteet sijoitettiin vastakkaisille puolille koneistustornia, vastakkain toisiaan nähden. Tuotteet sijoitettiin pystyasentoon ja tuotteen päätylevy asemoitiin kohtisuoraan tornin päätylevyyden nähden. Tuote asemointiin siten, että se olisi mahdollisimman lähellä koneistustornia. Tällä pyritään siihen, että suunniteltavat kiinnittimet eivät tulisi kooltaan isoiksi, sillä mitä kauemmaksi tuote sijoitetaan tornista, niin samalla kasvaa etäisyys koneistustornin kiinnitettävästä pinnasta ja samassa suhteessa kiinnittimen rakenteen täytyy olla jäykempi.



Kuvio 12. Versio 2 tuotteet tornissa

Hahmotteluvaiheessa huomattiin, että vastakkaisille puolille asettelu ei ole moduuleiden suunnittelun kannalta yhtä yksinkertainen, mitä versiossa yksi. Tornin muotoilu ohjaa kiinnittimen määrän niin, että pelkästään pääty- ja sivumoduulit eivät riitä yksinään. Rakenteessa täytyy olla tornin yläosassa oma moduuli, joka toimii kiinteänä vasteena päätylevylle.

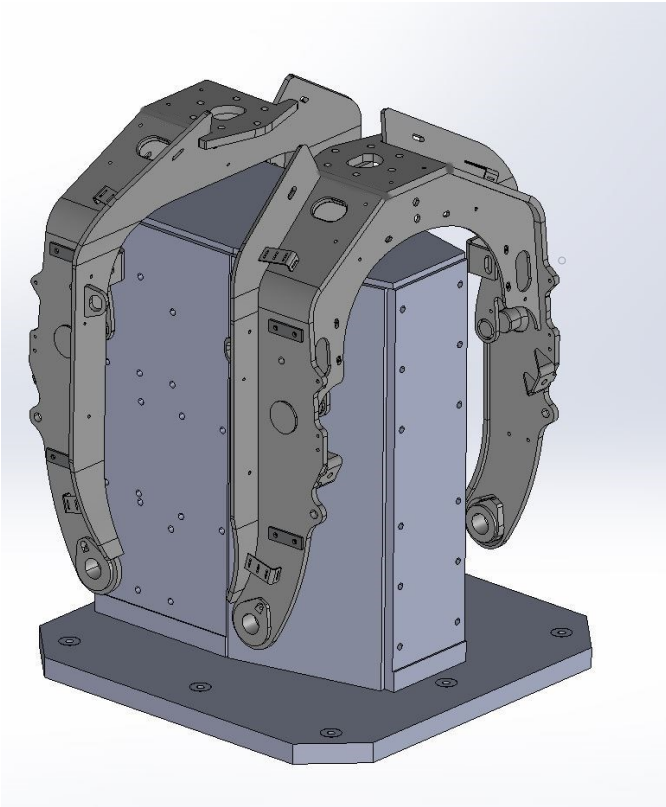
Kuviossa 13 on hahmoteltu kiinteiden vastepintojen sijainti. Tuotteen ollessa pystyasennossa kiinnittäminen vasteita vasten on haastavampaa verrattuna versioon yksi, sillä tuote ei lepää vasteita vasten painovoiman varaisesti, vaan pyrkii kaatumaan pois päin vasteista. Kiinteät vasteet koostuvat neljästä eri moduulista: molemman puolen sivumoduulit, päätymoduuli ja ylämoduuli. Ylämoduulin kiinnittäminen koneistustorniin vaatii torniin kierrereikien teon sekä pinnan plaanauksen moduulin pohjalevyn kohdalle. Tämä tuo kiinnittimen valmistamiseen yhden työvaiheen lisää.



Kuvio 13. Versio 2 kiinnitinhahmotelma

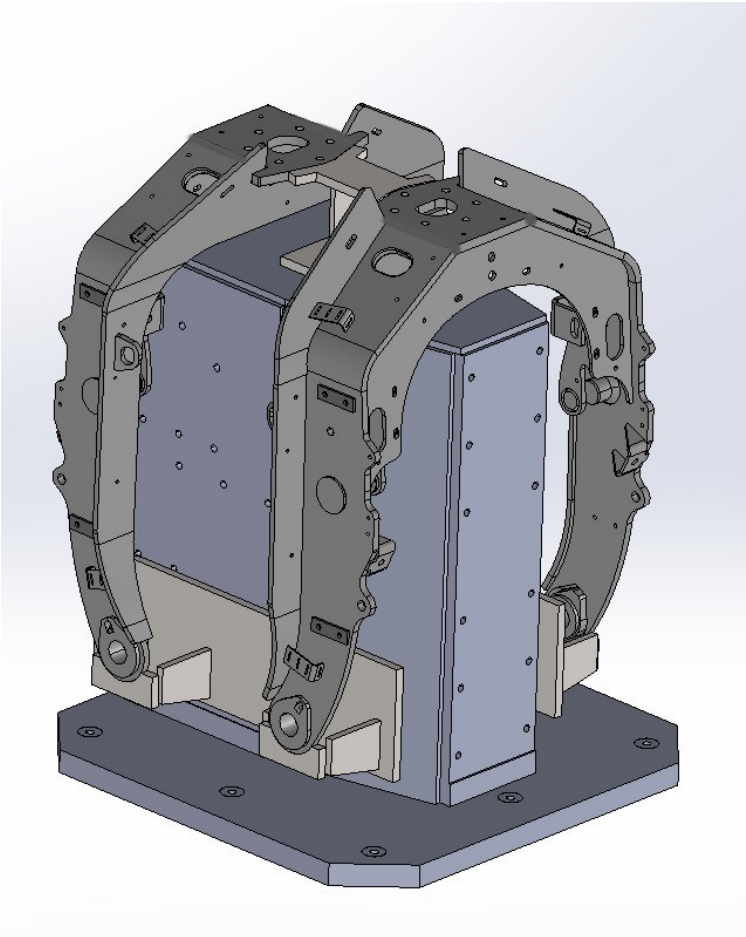
5.4 Versio 3

Kolmannessa versiossa tuotteet sijoitettiin siten, että tuotteen päätylevy on kohtisuoraan tornin päätylevyä nähden, kuten versiossa kaksi. Tuote asetoitiin siten, että se on molemmin puolin saman verran irti koneistustornin sivuista.



Kuvio 14. Versio 3 tuotteet tornissa

Kolmannessa versiossa kiinteiden vastepintojen toteuttaminen onnistuu kolmella moduulilla. Molemmilla puolilla on omat sivumoduulit sekä päätymoduuli. Sivuvaste hahmoteltiin samasta levyaihiosta, sillä toinen vaste jää tornin sivun vinolle pinnalle, kuten versiossa kaksi. Päätylevyn vasteessa käytettiin samaa moduulia, jossa kiinteät vasteet ovat toistensa peilikuva. Ylämoduulin kiinnittäminen koneistustorniin vaatii torniin kierrereikien teon sekä pinnan plaanauksen moduulin pohjalevyn kohdalle. Tämä tuo kiinnittimen valmistamiseen yhden työvaiheen lisää, kuten versiossa kaksi. Versiossa kolme tuote on myös pystyasennossa, joten kiinnittäminen vasteita vasten on haastavampaa verrattuna versioon yksi, sillä tuote ei lepää vasteita vasten painovoiman varaisesti, vaan pyrkii kaatumaan pois päin vasteista.



Kuvio 15. Versio 3 kiinnitinhahmotelma

5.5 Yhteenveto

Hahmotelmat kiinteistä vastepinnoista tehtiin kolmesta eri versiosta. Koska kiinnittimen tarkoitus on pitää tuote kiinni sille määritellyissä vastepinnoissa, saadaan tämä toteutettua helpoiten versioon yksi, sillä tuote asettuu vastepintoja vasten omalla massallaan. Versio yksi puoltaa myös siinä, että siihen on mahdollista toteuttaa helpoiten samoihin moduuleihin painimet, mitkä pitävät tuotetta paikallaan vastepinnassa. Kiinnittimen paino pysyy alhaisempana, kun painimille ei tarvitse tehdä erillistä moduulia tai rakennetta. Vaikka versiossa yksi tulee olemaan eniten erillisiä moduuleita, muut ominaisuudet puoltavat siltikin valinnan kohdistuvan siihen. Taulukossa 1 on kuvailtu valintaan vaikuttavia ominaisuuksia.

Taulukko 1. DFA taulukko

Ominaisuudet	Toteutuminen	Versio 1	Versio 2	Versio 3
Kiinteät vastepinnat toteutuvat	Moduulien määrä (kpl)	6	4	3
Tuote asemoituu vasteita vasten painovoiman varassa	kyllä/ei	kyllä	ei	ei
Koneistustornin olemassa olevat piirteet mahdollistavat kiinnityksen	kyllä/ei	kyllä	ei	ei
Kiinnityselementit on mahdollista toteuttaa samoihin moduuleihin, missä on vastepinnat	kyllä/ei	kyllä	ei	ei

6 Kiinnittimen suunnittelu DFM-menetelmää hyödyntäen

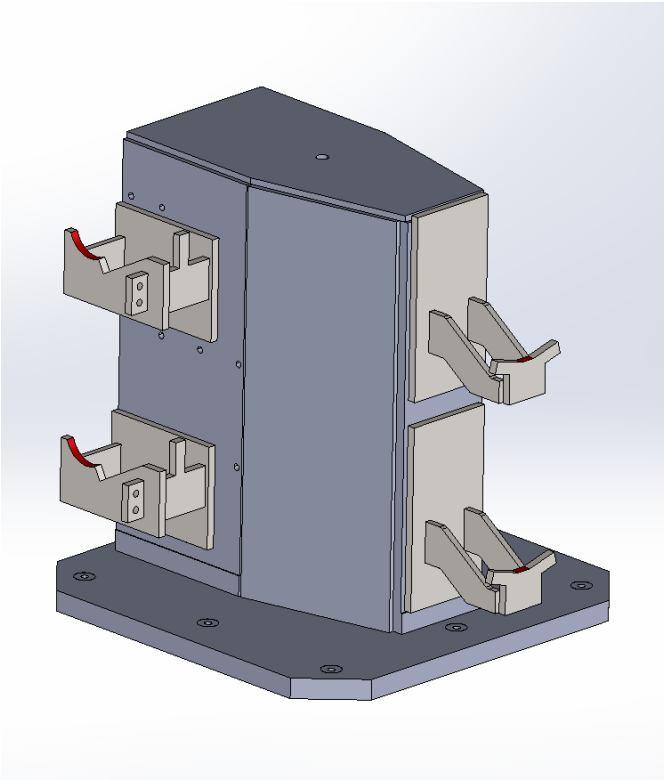
Valinta kohdistui edellisen vertailun mukaisesti versioon yksi, joten tämän mukaan aloitetaan kiinnitinsuunnittelu. Suunnittelussa pyritään löytämään järkevin vaihtoehto toteuttaa kiinnittimen suunnittelu DFM-prosessin suositusten mukaisesti. Pääasiallisesti DFM ohjaa kiinnittimen suunnittelua tässä työssä kiinnittimen rakenteen ja liitosmuotojen osalta. Kiinnittimistä tehdään kolme hahmotelmaa, joissa tarkastellaan eri valmistusmenetelmien valintaa ja käyttöä. Kustannuslaskenta tehdään kaikista versioista.

Kolmen eri version hahmottelu toteutetaan siten, että kiinnittimissä on samat määräävät kiinteät vastepinnat sekä säädettävät sivuttaisvasteet. Näin ollen kaikista hahmotelmista saadaan samat kiinnittimeltä vaadittavat ominaisuudet, joten erot saadaan ilmi muun muassa liitosmuotojen kautta. Kiinteät vastepinnat on merkitty punaisella hahmotelmakuviin. Termillä moduuli tarkoitetaan yhtä kokoonpanoa, esimerkiksi päätymoduuli. Termillä kiinnitin tarkoitetaan tässä tapauksessa kiinnitinkokoonpanoa, joka koostuu useammasta eri moduulista.

6.1 Versio 1

Versiossa yksi sivumoduulin rakenne koostuu viidestä eri levyleikkeestä. Levyjen liitokset toisiinsa tehdään hitsaamalla. Pohjalevy sekä vastepinnan levy ovat levynvahvuudeltaan samoja. Tukilevyt pohjalevyn ja vastepinnan levyn välillä ovat vahvuudeltaan ohuempia. Särmättyjä levyjä versiossa yksi ei ole.

Myös sivumoduulin rakenne koostuu yhteensä neljästä eri levyleikkeestä. Liitokset ovat hitsattuja. Särmättyjä levyjä ei ole. Kaikki levynvahvuudet on suunniteltu siten, että ne on mahdollista leikata käytössä olevilla termisillä leikkausmenetelmillä.

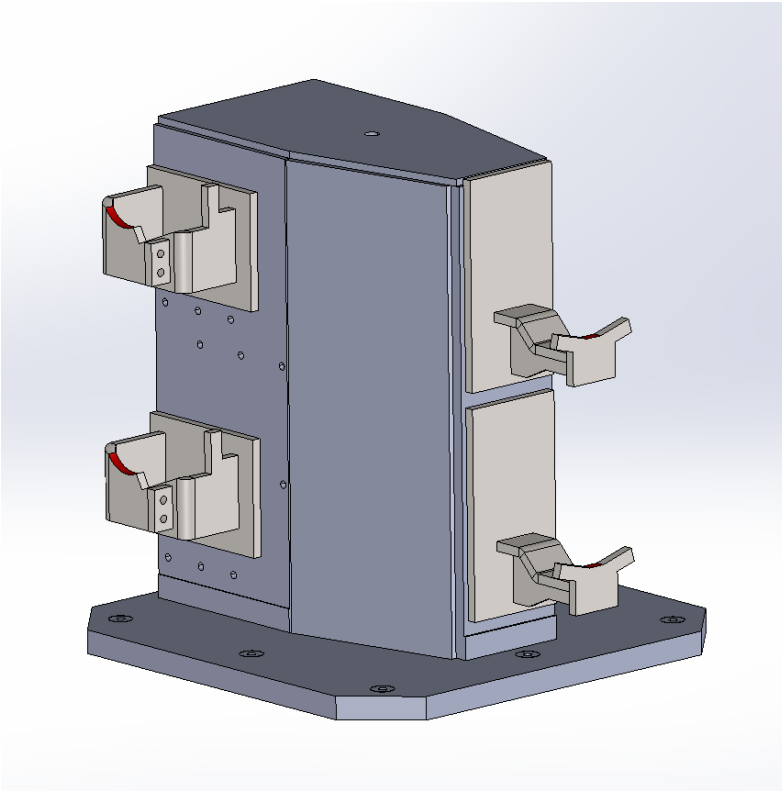


Kuvio 16. Versio 1 hahmotelma

6.2 Versio 2

Versiossa kaksi sivumoduulin rakenne koostuu kolmesta levyleikkeestä. Vastepinnan levy on särmätty molemmista päädystä. Särmätyllä levyllä voidaan korvata tässä tapauksessa kaksi levyä, jotka oli tarkoituksena hitsata kiinni pohja- ja vastepinnalle määritettyjen levyjen välille. Särmätty levy on suunniteltu kiinnitettäväksi pohjalevyyn pulttiliitoksella pohjalevyn puolelta. Pultit ovat tyyppiltään senkkikantapultteja. Liitoksen kierre on koneistettu särmättyyn levyyn. Levyn mitoituksessa on otettu huomioon särmäyksen yleiset reunaehdot.

Päätymoduuli koostuu versiossa kaksi pohjalevyn lisäksi särmätystä levystä, mikä hitsataan kiinni vastepinnan levyyn. Särmätyn levyn alapuolella on tukilevy, joten osien lukumäärä on yhteensä neljä. Päätylevyn valmistaminen vaatii yhden työvaiheen enemmän verrattuna versioon yksi, osien määrän ollessa sama. Päätymoduulin vastepinnan levy on kiinni hitsatulla liitoksella särmäys- ja tukilevyssä. Molempien moduuleiden levynvahvuudet on suunniteltu siten, että ne ovat leikattavissa käytössä olevilla termisillä leikkausmenetelmillä.

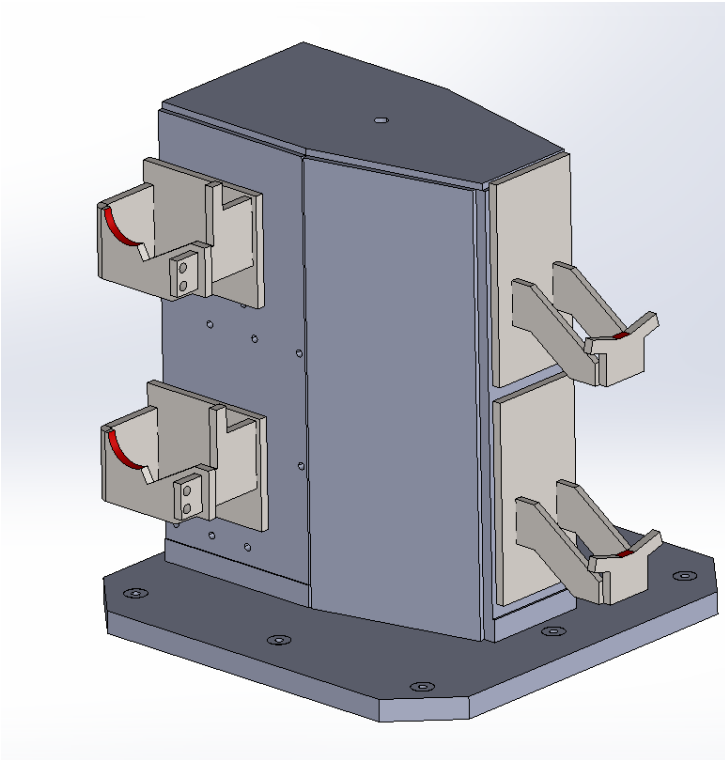


Kuvio 17. Versio 2 hahmotelma

6.3 Versio 3

Versiossa kolme sivumoduuli koostuu kolmesta levyleikkeestä. Vastepinnan levyssä on särmäys vain toisessa päässä sekä poltettu reikä tukilevyn asemointia varten. Vastepinnan levyssä on särmäys vain toisessa päässä, sillä tukilevyllä tehty polttoreikä olisi muuten liian lähellä särmäystä. Tukilevy ja vastepinnan levy kiinnitetään pohjalevyyn hitsaamalla. Pohjalevyssä on polttoreikä vastepinnan levyn ja tukilevyn paikoitusta varten. Tukilevyn ja vastepinnan levyyn suunniteltiin geometria siten, että levyssä on nastat, jotka paikoittuvat suoraan polttoreikiin.

Päätymoduuli koostuu yhteensä neljästä levyleikkeestä, jotka ovat suunniteltu hitsattavaksi toisiinsa. Moduulissa ei ole särmättyjä levyjä. Päätymoduulin pohjalevyihin tehtiin polttoreiät tukilevyn paikoitusta varten. Tukilevyihin suunniteltiin myös geometria siten, että levyssä on nastat, jotka paikoittuvat suoraan polttoreikiin. Näiden kohdistimien ansiosta saatiin hitsauskokoonpasta nopeampi ja ehkäistä inhimilliset mitoitusvirheet.



Kuvio 18. Versio 3 hahmotelma

6.4 Yhteenveto

Suunniteltavan kiinnittimen kustannuksia arvioidaan erikseen versioista 1, 2 ja 3. Kustakin versiosta erotellaan sille tarvittavien työvaiheiden hinnat. Levyleikkeiden aihoiden hintoja ei huomioida, sillä moduuleiden paino ei eroa merkittävästi eri versioiden välillä. Kustannukset ovat viitteellisiä. Tarkoituksena on laskea, kuinka eri versioiden väliset kustannukset eroavat suhteessa toisiinsa.

Taulukko 2. Versio 1 kustannukset

Koneistuksen kustannus	1,8			
Hitsauksen kustannus	1			
Särmäyksen kustannus	1,7			
	Hitsaukseen menevä aika	Koneistukseen menevä aika	Särmäykseen menevä aika	Kustannukset
Sivumoduulit (4kpl)	119,7	0	0,0	2,0
Päätymoduulit (2kpl)	45,2	0	0,0	0,8
Kustannukset yhteensä				2,7

Taulukko 3. Versio 2 kustannukset

Koneistuksen kustannus	1,8			
Hitsauksen kustannus	1			
Särmäyksen kustannus	1,7			
	Hitsaukseen menevä aika	Koneistukseen menevä aika	Särmäykseen menevä aika	Kustannukset
Sivumoduulit (4kpl)	3,0	180	80,0	7,7
Päätymoduulit (2kpl)	38,7	90	40,0	4,5
Kustannukset yhteensä				12,2

Taulukko 4. Versio 3 kustannukset

Koneistuksen kustannus	1,8			
Hitsauksen kustannus	1			
Särmäyksen kustannus	1,7			
	Hitsaukseen menevä aika	Koneistukseen menevä aika	Särmäykseen menevä aika	Kustannukset
Sivumoduulit (4kpl)	84,7	0	60,0	3,1
Päätymoduulit (2kpl)	25,2	0	0,0	0,4
Kustannukset yhteensä				3,5

Kustannusvaikutukset olivat versioiden yksi ja kolme välillä suhteellisen pienet, mutta versiossa kolme on vähemmän osia, mikä puoltaa DFM-menetelmän tavoitetta. Myös versiossa kolme levyleikkeissä olevat polttoreiät tekevät hitsauskoonpanon kasaamisesta yksinkertaisemman, mikä näkyy suoraan pienempänä hitsaukseen menevänä aikana. Versiossa kaksi valmistuskustannuksia

nostaa koneistuskustannukset hitsaus- ja särmäyskustannusten lisäksi. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että rakenne kannattaa suunnitella hitsattavaksi, mikäli kyseessä on osa, jota ei tarvitse irrottaa. Versiossa kolme käytetyt menetelmät ovat kustannustehokkaimmat. Näistä syistä versio kolme on vaihtoehtoista sopivin, mille tehdään lopullinen suunnittelu. Versioon kolme on helpoin toteuttaa lopullinen suunnittelu, koska siihen saa toteutettua kustannustehokkaimmin kiinnittimeltä vaadittavat ominaisuudet.

7 Tulokset

Kun versio kolme oli valittu, jatkettiin suunnittelua tämän pohjalta. Sivu- ja päätymoduulien rakenne suunniteltiin DFMA-menetelmän mukaisesti, helposti kokoonpantaviksi mahdollisimman vähillä osilla. Materiaaliksi valittiin levyleikkeisiin rakenneteräs, joka on hyvin hitsattavissa ja koneistettavissa. Myös Sildin (2021) mukaan materiaalin valinnassa tulee huomioida siltä vaadittavat ominaisuudet, kuten työstettävyys ja hitsattavuus. Kiinnittimien kokoonpanohitsaus on tarkoitus tehdä käsin hitsaamalla ja prosessina on MAG-hitsausmenetelmä.

Sivukiinnittimistä suunniteltiin molemmin puolin rakenteeltaan samanlaisia, toinen on toteutettu peilikuvana. Suunnittelussa hyödynnettiin näin ollen osien symmetrisyyttä Boothroyd ym. (2011, 75) osoittamalla tavalla. Sivukiinnittimiin tehtiin kiinteät vastepinnat molemmin puolin, vastepinnat toteutettiin tekemällä levyleikkeeseen upotus, jonka säde on vastaava kuin tuotteessa. Näin ollen kiinteät vastepinnat paikoittavat korkeuden koordinaatistossa. Painimeksi suunniteltiin muotolesti, joka käy tuotteeseen vain yhdessä asennossa ja kulmassa. Sivumoduuleihin toteutettiin säädettävä tukipainin, millä saadaan tuote pysymään vastepinnassa, sillä levyleikkeessä on kaareva pinta, mitä vasten muotolesti painaa tuotetta vasten. Tukipainimen pinta on karhennettu, joten tarkoituksena on, että puristusvoiman takia karhennettu pinta pitää tuotteen vastetta vasten, eikä tuote pääse liukumaan irti vastepinnasta.

Sivumoduulin rakenne koostui neljästä eri levyleikkeestä, jotka on suunniteltu hitsattavaksi toisiinsa. Sivumoduuli koostuu pohjalevystä, mihin kootaan muu rakenne. Kaikki osat on suunniteltu paikoitettavaksi toisiinsa polttoreikien avulla, joten hitsauskokoonpanossa syntyvät inhimilliset mittavirheet on eliminoitu ja hitsauskokoonpano on helpompi tehdä. Tällä tavalla kiinnittimen suunnittelussa pystyttiin soveltamaan Boothroyd ym. (2011, 76) tekemää havaintoa, jonka mukaan ohjaavat pinnat kannattaa suunnitella siten, että ne helpottavat kokoonpanoa. Paikoitus on

toteutettu tekemällä pohjalevyyn polttoreiät ja puolestaan siihen kiinnitettävään levyyn paikoitusnasta. Näiden ansiosta saatiin hitsausaikaa vähäisemmäksi, mikä ilmeni hahmotelman versio kolme kustannuslaskennasta. Levyleikkeiden leikkausmenetelmäksi valittiin laserleikkaus, sillä leikkeissä olevat kohdistusreiät- ja nastat vaativat tarkemman leikkausmenetelmän kuin plasma- tai kaasuleikkaus. Myös levynvahvuuksien puolesta kiinnittimien kaikki leikkeet ovat leikattavissa EFM Groupin konekannasta löytyvällä laserleikkurilla. Hitsattujen rakenteiden mitoituksessa on huomioitu tarvittavat koneistusvarat kiinnittimen loppukoneistukselle. Loppukoneistus on suunniteltu tehtäväksi koneistustornissa. Tällä varmistetaan vastepintojen mittatarkkuus.

Sivumoduulin rakenne on toteutettu siten, että siinä on säädettävä vaste sivuttaissuunnassa. Rakenteessa on kääntyvä linkku, jolla tuote saadaan kiristettyä säädettävää vastetta vasten. Linkku mahdollistaa kiristyksen lyhyemmällä pultilla, joten rakenne on tukevampi. Linkun ansiosta tuote on helppo asettaa kiinnittimiin, sillä sen saa käännettyä pois edestä. Linkku lukitaan paikalleen helppokäyttöisellä kuulalukitustapilla. Sivumoduulin levyleikkeisiin suunniteltiin polttokevennyksiä siten, että ne eivät heikennä rakennetta. Polttokevennyksien ansiosta rakenteesta saatiin painoa pois lujuudesta kärsimättä. Sivumoduulin lopulliseksi painoksi muodostui 25 kg, joten paikalleen nostamiseen ei tarvita välttämättä nosturia.

Päätymoduuli toteutettiin samalla periaatteella kuin sivumoduulit: moduuli koostuu pohjalevystä, mihin kasataan muu rakenne. Levyt kohdistuvat pohjalevyyn paikoitusnastoilla. Päätymoduulin vastepintaan tehdään säätömahdollisuus korkeussuunnassa, joka on kuitenkin lukittavissa. Päätylevyä tuetaan myös sivuttaissuunnassa säädettävillä pulteilla. Päätymoduulissa on irrotettava ja kääntyvä muotolesti, jolla saadaan tuotetta painatettua alapuolella olevaa vastetta vasten. Muotolesti on irrotettavissa, sillä se täytyy saada pois edestä, kun kiinnittimeen asetetaan kappale, ja puolestaan nostetaan pois. Kaikki kiinnittimessä olevat pultit, joilla tuote kiristetään kiinnittimiin, ovat samalla kannalla. Näin ollen kiristämiseen ei tarvitse erikokoisia hylsyjä. Päätymoduulin painoksi muodostui 25 kg, joten tämänkään paikalleen laittamiseen nosturi ei ole välttämätön.

8 Johtopäätökset ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella koneistuskiinnitin pohjautuen DFM-, DFA- ja DFMA-suunnittelumenetelmiin. Tavoitteena oli tutkia, kuinka suunnittelumenetelmien teoriatieto on mahdollista yhdistää konkreettiseen suunnittelutyöhön.

Opinnäytetyössä etsittiin vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Kuinka DFM-, DFA- ja DFMA-menetelmät ohjaavat suunnittelussa syntyviä ratkaisuja?
2. Kuinka menetelmät vaikuttavat suunnittelun lopputulokseen?

Opinnäytetyössä löydettiin eri versioiden suunnittelulla piirteitä, jotka vaikuttivat laajalti suunnittelusta syntyviin kustannuksiin ja ennen kaikkea suunniteltavan kiinnittimen käytettävyyteen. Työssä löydettiin DFA-menetelmää soveltaen kolmesta eri versiosta käyttäjäystävällisin toteutustapa koneistusasetuksen tekemiselle ja DFM-menetelmää soveltaen kolmesta eri versiosta kustannustehokkain toteutustapa lopulliselle suunnittelulle. Lopullinen kiinnittimen suunnittelu toteutettiin DFMA-menetelmän mukaisesti, jolloin kiinnittimestä saatiin helposti kokoonpantava mahdollisimman vähillä osilla. Opinnäytetyön tuloksena syntynyt koneistuskiinnitin käytiin läpi yhdessä toimeksiantajan kanssa ja lopputulokseen oltiin tyytyväisiä. Suunnitelluista osista tehdään vielä piirustukset levyleikkeiden aihioista dxf-muodossa sekä tarvittavat hitsaus-, esi- ja loppukoneistus-, kokoonpano- ja asetuskuvat. Nämä rajautuivat opinnäytetyön ulkopuolelle.

Opinnäytetyötä tehdessä opettavaisinta oli tutkia eri versioita ja punnita näiden mahdollisuuksia keskenään. Työ opetti tarkastelemaan ja pohtimaan suunnittelussa tehtäviä asioita aikaisempaa laajemmin. Työn tuloksien luotettavuutta suunnittelun näkökulmasta voidaan pitää realistisena ja paikkaansa pitävänä eri versio hahmotelmien vertailun ansiosta. Suunnittelun etenemistä ja vaiheistusta auttoivat suunnittelijan tausta ja se, että vastaavanlainen suunnittelutyö oli jo toteutettu aikaisemmin. Haasteita työssä aiheutti se, että osasi kyseenalaistaa omat näkemykset ja vaihtoehdot suunnittelun mahdollisuuksista. Näiden läpikäyminen opinnäytetyössä antoi kuitenkin lisää tietoa suunnittelusta ja sen vaikutuksesta suunniteltavaan lopputuotteeseen. Jatkotoimenpiteenä opinnäytetyön pohjalta olisi mahdollista pohtia suunniteltavan kiinnittimen toiminallisuutta ottaen huomioon automaation tuomat vaikutukset ja mahdollisuudet kappaleen vaihtoon ja kiinnitykseen.

Lähteet

Boothroyd, G., Dewhurst, P. & Knight, W.A. 2011. Product Design for Manufacture and Assembly. Third Edition. Boca Raton: CRC Press. Viitattu 21.11.2022. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.uef.fi:2443/lib/uef-ebooks/reader.action?docID=1446217&ppg=300>, ProQuest Ebook Central.

Design For Assembly (DFA). N.d. Artikkele Sofeast:n sivustolla. Viitattu 26.10.2022. <https://www.sofeast.com/glossary/design-for-assembly-dfa/>.

Sild, S. 2021. Design for Manufacturing. Artikkele Fractory:n sivustolla. Julkaistu 1.12.2021. Viitattu 26.10.2022. <https://fractory.com/design-for-manufacturing-dfm/>.

Sild, S. 2022. Design for Manufacturing and Assembly. Julkaistu 11.4.2022. Viitattu 26.10.2022. <https://fractory.com/design-for-manufacturing-and-assembly-dfma/>.

Taber, M. 2021. What is Design for Manufacturing (DFM)? Artikkele PTC:n sivustolla. Julkaistu 22.3.2021. Viitattu 26.10.2022. <https://www.ptc.com/en/blogs/plm/what-is-design-for-manufacturing>.

Tapaustutkimus. 2015. Artikkele Jyväskylän yliopiston sivustolla. Julkaistu 23.3.2015. Viitattu 26.10.2022. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/tapaustutkimus>.

Velling, A. 2021. Design for Assembly. Artikkele Fractory:n sivustolla. Julkaistu 28.9.2021. Viitattu 26.10.2022. <https://fractory.com/design-for-assembly-dfa/>.

What is Design for Manufacturing (DFM)? N.d. Artikkele TWI:n sivustolla. Viitattu 8.1.2023. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-design-for-manufacture-dfm>.

Liitteet

Liite 1: Valmiin kokoonpanon havainnekuvat

Salassapidettävä liite.