



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# HARUSVAIJEREIDEN KIILAKI- RISTIMEN TUOTEKEHITYS

Opinnäytetyö

TEKIJÄ:

Jari Lipponen

|  |                            |
|--|----------------------------|
| Koulutusala<br>Tekniikan ja liikenteen ala   |                            |
| Tutkinto-ohjelma<br>Konetekniikan tutkinto-ohjelma   |                            |
| Työn tekijä<br>Jari Lipponen   |                            |
| Työn nimi<br>Harusvaijereiden kiilakiristimen tuotekehitys   |                            |
| Päiväys<br>7.2.2022  | Sivumäärä/Liitteet<br>43/3 |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)<br>Eurolaite Oy  |                            |
| Tiivistelmä<br><p>Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena kuvata valmistus- ja kokoonpanomyötäisiä suunnitteluperiaatteita soveltava tuotekehitysprojekti avaamalla ensin teoriapohjaa, johon käytännön toimet perustuivat. Tuotekehitystyö jaettiin kahteen vaiheeseen, joista ensimmäisessä oli tarkoitus löytää tuottava ratkaisu kiilakiristimen valmistamiseksi leikkaavilla menetelmillä. Toisessa, optiksi jätetyssä vaiheessa, oli tarkoitus suorittaa tuotteen jatkokehitys, ja optimoida kokonaisuutta pidemmälle. Tässä opinnäytetyössä käsitellään ensimmäisen vaiheen suorittamista.</p> <p>Työn päätarkoitus oli tuottaa lisäarvoa asiakkaana toimivalle Eurolaite Oy:lle konkreettisina prototyyppinä, 3D-malleina ja tutkimusinformaationa. Tämän raportin tavoitteena oli tukea Teollisuuden uudet osaajat (TUO) -hankkeen tavoitteiden mukaisesti erityisesti Pohjois-Savon pk-yritysten tutkimus-, tuote- ja tuotannonkehittämistoimintaa.</p> <p>Tutkimus- ja toteutusmenetelmät olivat suunnitteluperiaatteita soveltavia, vahvasti käytännönläheisiä ja keellisiä, sillä projektin kohteena olevan kokoonpanon toiminnallisuudet olivat haastavasti simuloitavissa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin ratkaisu, joka täytti teknisten reunaehtojen mukaiset sekä toimeksiantajan kanssa asetetut tavoitteet ja vaatimukset. Vaikka tavoitteet saavutettiin, jäi kohteena olevan tuotteen osalta vielä sijaa jatkokehitystoimenpiteille ennen sarjatuotantoon saattamista. Onnistuneen tuloksen avaintekijöitä olivat toimiva vuoropuhelu projektin toteuttajien ja toimeksiantajan välillä, sekä mahdollisuus hyödyntää toteuttajaorganisaatiolta löytyvää testausvälineistöä.</p> |                            |
| Avainsanat<br>tuotekehitys, koneistus, kehitysprojekti, TKI, DFMA, tuotesuunnittelu  |                            |

|   |                          |
|---|--------------------------|
| Field of Study<br>Technology, Communication and Transport   |                          |
| Degree Programme<br>Degree Programme in Mechanical Engineering  |                          |
| Author<br>Jari Lipponen   |                          |
| Title of Thesis<br>Development Project of Wedged Guy Wire Anchor Tightener  |                          |
| Date<br>7 February 2022   | Pages/Appendices<br>43/3 |
| Client Organisation /Partners<br>Eurolaite Oy   |                          |
| <p><b>Abstract</b></p> <p>The aim of this Bachelor's thesis was to describe a development project based on the principles of design for manufacturing and assembly by first opening the theoretical background. The product development work was divided into two stages. The aim of the first stage was to find a productive solution for manufacturing the product by using cutting methods. The aim of the second stage was to further improve and optimize the product. This thesis describes the first stage.</p> <p>The main purpose of this work was to provide value for the client company, Eurolaite Oy, by providing concrete prototypes, 3D-models, and research information. The aim of this thesis was to support the research-, product- and production development of SME-companies located especially in Northern Savonia, as stated in the project plan of New skills for industry (NSI) -project.</p> <p>Due to the challenging functionality of the target assembly in terms of simulation methods, the research and implementation methods utilized in this project applied the presented design principles and were highly practical and experimental.</p> <p>The result of the work was a solution which met the technical specifications required and the goals initially set with the client. Although the targets were achieved, room for further development of the product was left before proceeding to serial production. The key factors for the successful result were a functioning dialogue between the project implementers and the client, and the possibility to utilize the testing equipment possessed by the implementing organization.</p> |                          |
| <p><b>Keywords</b><br/>product development, machining, development project, R&amp;D, DFMA, product design</p>   |                          |

## ESIPUHE

Tämä opinnäytetyön raportti toteutettiin Teollisuuden Uudet Osaajat (TUO)-hankkeessa, tarkoituksena tukea erityisesti kohdealueena toimivan Pohjois-Savon pk-yritysten tutkimus-, tuote- ja tuotannonkehittämistoimintaa. Hankkeen muita tavoitteita ovat mm. kehittää yritysten ja oppilaitosten henkilöstön osaamista uusien toimintamallien ja digitaalisuuden avulla työelämän vaatimuksiin vastaamiseksi, kehittää oppilaitosyhteistyötä, sekä turvata osaavan työvoiman ja koulutustarjonnan saatavuutta.

Haluan kiittää ohjaajani Simo Mäkistä opinnäytetyön ohjaamisen ja vaihtoehtoisten tutkimuslinjojen esiin tuomisen lisäksi itse käytännön projektin alkuvaiheen ideoinnista ja tuesta. Erityiskiitokset menevät Arto Urpilaiselle, jonka kanssa projektin käytännön toimenpiteet toteutettiin. On ollut ilo työskennellä ja saada oppia niin aiheeseen liittyvistä kuin liittymättömistäkin asioista 3D-mallinnuksen rautaiselta ammattilaiselta.

Kiitokset myös kaikille muille henkilöille, jotka ovat tämän projektin suorittamisessa avustaneet ja tukeneet.

Kuopiossa 7.2.2022

Jari Lipponen

## SISÄLTÖ

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | JOHDANTO .....  | 7  |
| 2     | TAUSTATIETOJA .....   | 8  |
| 2.1   | Toimeksiantajayritys .....  | 8  |
| 2.2   | Projektin kohteena oleva tuote .....                                | 8  |
| 2.3   | Lähtökohdat ja tavoitteet .....                                     | 9  |
| 3     | TUOTEKEHITYKSEN PERIAATTEET JA VAIHEET .....                        | 10 |
| 4     | SUUNNITTELUMENETELMÄT JA -PERIAATTEET.....                          | 12 |
| 4.1.1 | Valmistettavuusperiaate .....                                       | 13 |
| 4.1.2 | Valmistettavuuden arviointi.....                                    | 14 |
| 4.1.3 | Valmistettavuuden kehittäminen .....                                | 15 |
| 4.1.4 | Koneistuksen vaikutus osien valmistettavuuteen .....                | 16 |
| 4.1.5 | Kokoonpanomyötäiset periaatteet .....                               | 17 |
| 4.1.6 | Kokoonpantavuuden arviointi.....                                    | 17 |
| 4.1.7 | Kokoonpanomyötäisen suunnittelun ohjeita ja näkökulmia.....         | 18 |
| 5     | PROTOTYYPIT TUOTESUUNNITTELUSSA.....                                | 19 |
| 6     | TYÖN TOTEUTUS .....   | 22 |
| 6.1   | Suunnitteluvaihe .....  | 22 |
| 6.1.1 | Reunaehdot ja vaatimukset tuotteelle.....                           | 22 |
| 6.1.2 | Materiaalin valinta .....   | 24 |
| 6.1.3 | Suunnittelutyön aloitus .....                                       | 25 |
| 6.1.4 | Alkuperäisen mekanismin arviointi.....                              | 26 |
| 6.1.5 | Uuden version konseptointi.....                                     | 27 |
| 6.1.6 | Aihoiden optimointi ja valinta .....                                | 30 |
| 6.2   | Prototyyppien valmistusmenetelmät ja -vaiheet .....                 | 32 |
| 6.2.1 | Kiilapesän koneistus .....  | 32 |
| 6.2.2 | Kiilan koneistus .....  | 33 |
| 6.3   | Prototyyppien kuormitustestaus .....                                | 34 |
| 6.3.1 | Kuormitustestauksen valmistelut ja ensimmäiset kuormituskokeet..... | 35 |
| 6.3.2 | Lopulliset kuormitustestit.....                                     | 37 |
| 7     | YHTEENVETO JA JATKOKEHITYSEHDOTUKSET .....                          | 39 |
| 7.1   | Tilanne projektin lopussa.....                                      | 39 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 7.2   | Jatkokehitysehdotukset valmistuksen osalta .....    | 39 |
| 7.2.1 | Ehdotukset kiilapesän valmistukseen .....           | 40 |
| 7.2.2 | Ehdotukset kiilojen valmistukseen .....             | 40 |
| 7.3   | Muut jatkokehitysehdotukset .....                   | 40 |
| 8     | POHDINTA.....                                       | 41 |
|       | LÄHTEET .....                                       | 42 |
|       | LIITE 1: EHDOTELMA KIILAPESÄN VALMISTAMISEKSI ..... | 44 |
|       | LIITE 2: EHDOTELMA KIILOJEN VALMISTAMISEKSI .....   | 45 |
|       | LIITE 3: MUUT JATKOKEHITYSEHDOTUKSET.....           | 46 |

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe tulee Eurolaite Oy -yritykseltä, joka lähestyi Savoniaa vuoden 2020 loppupuolella ja tiedusteli Savonian mielenkiintoa lähteä toteuttamaan tuotekehitysprojektia, jonka aiheena oli merkittävä olemassa olevan tuotteen uudelleensuunnittelu heidän tuotteisiinsa kuuluvalla sähkön siirto- ja jakeluverkon harusvajereiden kiilakiristimelle.

Perusteena projektin käynnistämiseksi olivat nykyisen tuotteen laatuvahtelut, ja sen myötä tuotteen riskialttius huomioiden mahdollisten ongelmatilanteiden kerrannaisvaikutukset, kuten mittavat huoltotyöt. Tuotteiden vuosivolyymit ovat tuhansia kappaleita, ja tuotetta valmistetaan useassa eri mitatasarjassa.

Konkreettisina tavoitteina ja ratkaistavina ongelmina opinnäytteessä on alkuperäisen kiilakiristinkoonpanon valuosien (kiilapesä, kiilat & U-pultin tukikappale) ongelmien, kuten laatuvahteluiden ja niiden myötä syntyvien, negatiivisten kerrannaisvaikutusten ratkaiseminen selvittämällä, voiko kyseistä tuotetta valmistaa kustannustehokkaasti ja laatuvaatimukset täyttävästi ainetta poistavilla menetelmillä siten, että vanha tuote voitaisiin korvata uudella versiolla. Tuotteen jatkokehitys ja tuotantoon saatto rajataan tästä opinnäytteestä pois.

Projektin käytännön työ on toteutettu Savonian palveluliiketoimintana ja tämän raportin tuottaminen TUO-hankkeessa. Raportin on tarkoitus tukea Pohjois-Savon pk-yritysten tutkimus-, tuote- ja tuotannonkehittämistoimintaa, kuvaamalla käytännönläheisen tuotekehitysprojektin läpiviemistä todellisen esimerkin avulla.

## 2 TAUSTATIETOJA

### 2.1 Toimeksiantajayritys

Eurolaite Oy on sähkötekniikka-alan asiantuntijayritys, joka on erikoistunut sähkötekniikan tuotteiden palveluntuotantoon, myyntiin, markkinointiin sekä maahantuontiin. Yritys on perustettu vuonna 1988, ja sen keskeisimpiin tavoitteisiin kuuluvat hyvä asiakaspalvelu, täsmälliset toimitukset, korkea-tasoinen teknisen tuki, sekä taloudellisen ja teknisen lisäarvon tuottaminen asiakkaille. (Eurolaite Oy, 2021.)

Yritys noudattaa kaikessa toiminnassaan YK:n kestävän kehityksen agenda, ja sen vahvuuksiin kuuluvat ammattitaitoinen henkilökunta, jolla on pitkä kokemus sähkötekniikan alalta. Yritys edustaa alan johtavia toimijoita, jotka tarjoavat laadukkaita ja kilpailukykyisiä sähkötekniikan kokonaisratkaisuja. (Eurolaite Oy, 2021.)

Eurolaite kuuluu ruotsalaiseen, pörssinoteerattuun Addtech-konserniin, Energy Supply -yksikköön. Konsernin vuotuinen liikevaihto on noin 600 miljoonaa euroa, ja työntekijöitä on noin 2000. Eurolaite Oy:n liikevaihto vuodelta 2020 oli 6,2 miljoonaa euroa, ja henkilöstöä oli 7 (Finder 2021).

### 2.2 Projektin kohteena oleva tuote

Kiilakiristimen tarkoituksena on kiinnittää sähkön siirto- ja jakeluverkon harusvaijerit perustuksiin. Kiristin koostuu pääasiassa kolmesta osasta; U-pultti, kiilapesä ja kiila. Sen muita osia ovat U-pultin sankojen väliin tuleva tukikappale, muovimateriaalista valmistetut eristinhylyt, sekä U-pulttiin kuuluvat mutterit ja aluslevyt. Kiristimen tulee kestää luonnonolojen lisäksi luonnossa aiheutuvat, yllättävät kuormitukset, kuten puun kaatuminen voimalinjojen päälle. Kuvassa 1 näkyy kiristin luonnossa, paikalleen asennettuna.



KUVA 1. Alkuperäinen kiristin asennettuna (Tiihonen 2021)

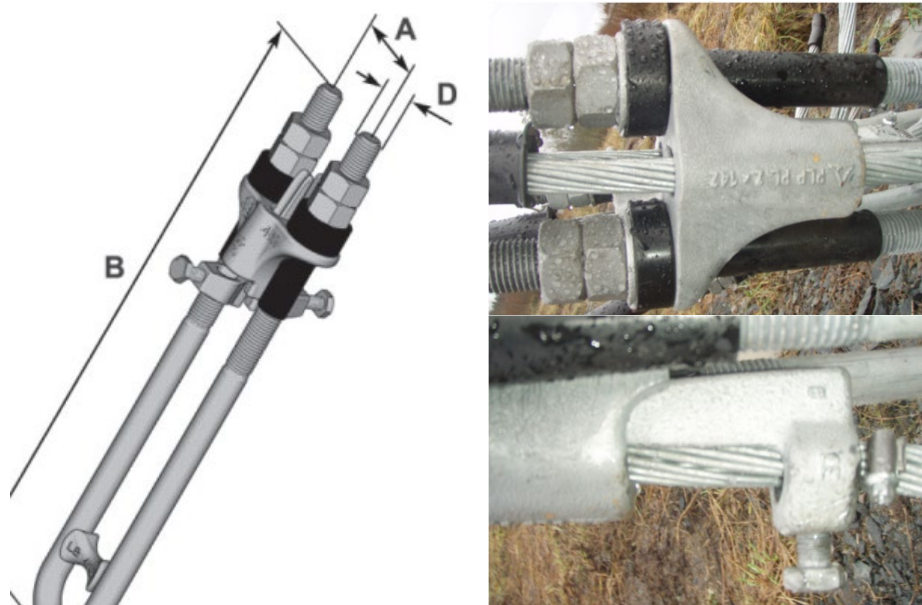


## 2.3 Lähtökohdat ja tavoitteet

Projekti käynnistettiin alkuvuodesta 2021. Tarjousvaiheessa laadittiin kaksi vaihetta projektin suorittamiseksi, josta toistaiseksi päädyttiin toteuttamaan ensimmäinen, jossa tavoitteena oli löytää mahdollisimman tuottava ratkaisu alkuperäisen kiilakiristimen valmistamiseksi leikkaavilla menetelmillä. Toisessa vaiheessa (joka jätettiin optioksi) oli tarkoitus suorittaa tuotteen jatkokehitys, optimoiden kokonaisuutta pidemmälle erityisesti lujuustarkastelun ja massan optimoinnin näkökulmasta, sekä toteuttaa vastaavan tyyppinen kehityskokonaisuus pienemmässä muodossa kiilakiristin tuoteperheen muihin mittasarjoihin.

Tässä projektissa kohteena oleva kiilakiristin on tuoteperheen suurin mittaluokaltaan, eli vajereiden mukaisesti ilmoitettuna  $2 \times 185 \text{ mm}^2$ , jonka vuosivolyymit ovat tuhansia kappaleita. Projektin kohteena kiilakiristimestä olivat kiilapesä, 2 kpl kiiloja sekä U-pultin tukikappale. Muut komponentit säilyivät alkuperäisenä. Projektin tuloksena haluttiin konseptin lisäksi tuotteita edustavat prototyypit, sekä niitä koskeva dokumentaatio, jonka perusteella jatkokehitys ja tuotantoon saatto ovat mahdollisia.

Määreinä olivat teknisten ominaisuuksien puolelta yhteneväisyys Ruotsin sähkön jakeluverkkoyhtiö Svenska kraftnätin (SVK) tuotetta koskevan teknisen määrittelyn (TR05-14E, 2020) kanssa, josta nostona erityisesti kohdan 8, taulukon 1 vaatimus vajereille kestää 506 kN kuormitusta niitä vedettäessä lukittuna kiristimeen. Nostona käytännön vaatimuksista tuotteen täytyi olla mahdollisimman helposti asennettavissa yksinkertaisin työkaluin, sillä kyseisiä tuotteita asennetaan eri kohteisiin, vaihtelevissa luonnonoloissa, kuten pakkasessa ja kaatosateessa. Kuvassa 2 on esitetty alkuperäinen kiilakiristin tuotekuvana ja paikalleen asennettuna.



KUVA 2. Alkuperäinen kiilakiristinkokoonpano (Tiihonen 2020)

### 3 TUOTEKEHITYKSEN PERIAATTEET JA VAIHEET

Tuotekehitystoiminta määritellään Jokisen (2001, 9) kirjassa siten, että se on monivaiheinen prosessi, jonka tavoitteena on kehittää uusi tai parannettu tuote. Toiminnalla pyritään saavuttamaan määritetyt tavoitteet niin hyvin kuin on teknisesti ja taloudellisesti mahdollista ja tarkoituksenomaista (Jokinen 2001, 9).

Systemaattinen ja toimiva tuotekehitystoiminta on yksi keskeinen edellytys tuoteyrityksen olemassaololle ja pärjäämiselle jatkuvassa, ja kiristyvässä kilpailutilanteessa. Jos tuotekehitystä ei tehdä, tai sitä laiminlyödään, tulee vääjäämättä aika, jolloin olemassa olevat tuotteet eivät ole enää ajan tasalla, joka taas näkyy vähenevässä myynissä, ja lopulta jopa toiminnan loppumisena. (Jokinen 2001, 9.)

Tuotekehitystoiminta vaatii yleensä laaja-alaista osaamista, joten sitä varten on suositeltavaa koostaa tiimi eri alojen asiantuntijoista. Tuotekehitysprojekti on luonteeltaan verrattavissa muihin projekteihin, joten yleiset projektisuunnittelun periaatteet pätevät siinäkin. (Hietikko 2021, 43.) Tuotekehitystoiminnasta voidaan puhua taiteen, tieteen, teknologian ja talouselämän risteyskohtana, johon kulttuuri ja tekniikka vaikuttavat. Tuotekehitystoiminnassa vaaditaan osaamista niin luonnontieteistä kuin käytännön työstäkin. (Jokinen 2001, 9–10.)

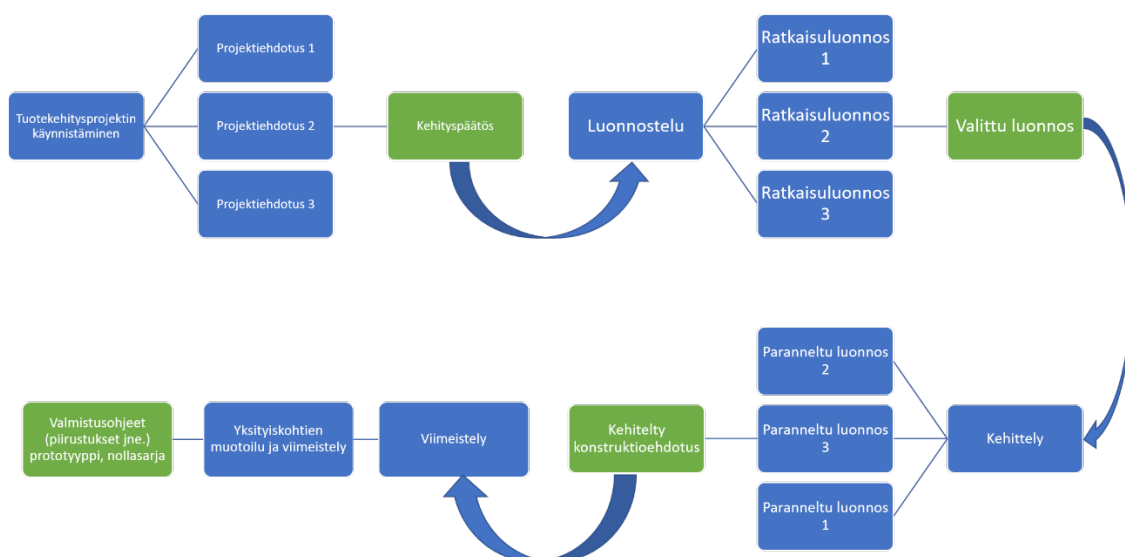
Tuotekehityksen työvaiheita on eri mallien ja filosofoiden mukaan erilaisia. Tässä opinnäytetyössä käyn läpi kaksi mallia, jotka ovat Tapani Jokisen (2001) ”Tuotekehitys”- kirjassa esittämä yleinen mallia, sekä Esa Hietikon (2021) ”Tuotekehitystoiminta” – kirjassa kuvaama Ulrich-Eppingerin malli. Opinnäytteen käytännön työssä on sovellettu eri malleissa esitettyjä vaiheita.

Jokisen (2001, 14–17) kirjan esittämässä mallissa ne jaetaan neljään toimintavaiheeseen, jotka ovat

- Projektin käynnistäminen, jossa määritetään vaatimukset ja asetetaan tavoitteet, sekä selvitetään projektiehdotuksien joukosta taustatietojen avulla kannattavin vaihtoehto, josta voidaan edetä kehityspäätökseen, ja jonka pohjalta edelleen luonnosteluun.
- Luonnosteluvaihe alkaa tehtävän analysoinnilla, ja mahdollisten kehityspäätöksessä huomaamatta jääneiden ongelmien ratkomiseen. Tehtävän tai tuotteen toiminnot jaetaan osatoimintoihin, joille etsitään ideointimenetelmien avulla ratkaisumahdollisuuksia. Osatoimintojen ratkaisumahdollisuudet, tai -periaatteet jalostetaan edelleen kokonaisuudeksi, jota kuvataan ratkaisuluonnokseksi. Lopulliseen tuotteeseen saadaan tosielämässä usein valittua vain yksi ratkaisuluonnos, jonka pohjalta ajatusta lähdetään jalostamaan kehittämissä vaiheissa.
- Kehittämissä vaiheissa havaitaan yleensä teknistaloudellisesti heikkoja ajatuksia tai kohtia, jotka pyritään poistamaan. Tässä vaiheessa pyritään projektista ja tuotteesta riippuen etsimään valmistuskustannuksiin ja toiminnallisuuksiin vaikuttavat oleellimmat osat, jotka optimoidaan. Kun kaikki vaatimukset täyttävä konstruktio, eli kehitetty konstruktioehdotus saadaan aikaiseksi, voidaan siirtyä viimeistelyvaiheeseen. Jos kokonaisuudessaan toimivaa ratkaisua ei löydy, voidaan palata edelliseen vaiheeseen, uuden ratkaisuluonnoksen valintaan.

- Viimeistelyvaiheessa suuria muutoksia ei enää tapahdu. Viimeistelyssä tuotetaan valmistuspiirustukset, osaluettelot, ohjeet ja muut tarvittavat dokumentit. Viimeistelyn jälkeen voidaan valmistaa prototyyppi, jonka ominaisuudet tarkastetaan ja varmistetaan, että ne vastaavat tavoitteita.

Prototyyppivaiheen jälkeen on suositeltavaa valmistaa vielä niin sanottu nollasarja, josta saadaan lisätietoa tuotteen valmistushajonnasta ja ominaisuuksista, sekä voidaan jalostaa tuotantomenetelmiä paremmiksi. Yksinkertaistettu malli kuvatuista vaiheista on esitetty kuvassa 1.



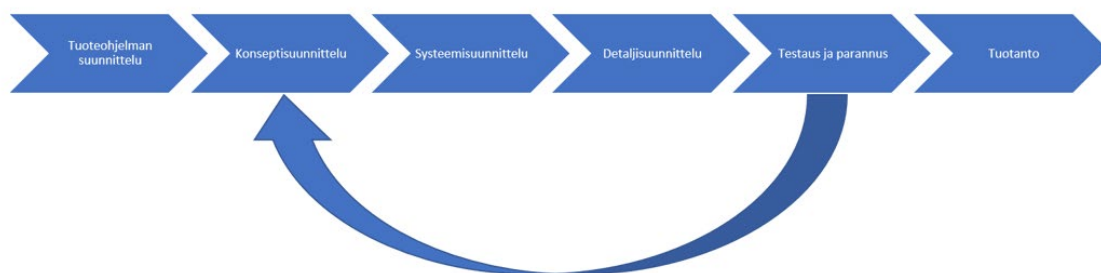
Hietikon (2021, 45) mukaan tuotekehitysprojekteista on olemassa eri malleja, mutta kaikkia niitä yhdistävät ainakin tarvekuvaus, luovan työn vaihe ja detaljisuunnittelu. Karkeasti eri malleja jaettaessa voidaan puhua ns. vesiputousmallista ja spiraalimallista. Vesiputousmallissa vaiheissa edetään kronologisesti, ja seuraava vaihe ei voi alkaa ennen edellisen vaiheen päätöstä. Spiraalimallissa prosessi on iteratiivisempi, ja vaiheita kierretään koko prosessin ajan, tähdäten lopulliseen ratkaisuun tarkentamalla aiemmin saatua ratkaisua asteittain. (Hietikko 2021, 45.)

Mainitussa Ulrich-Eppingerin mallissa (Hietikko 2021, 47–49) vaiheet on jaoteltu hieman eri tavalla kuin Jokisen (2001) kirjan mallissa, mutta kokonaisuus noudattelee samaa kaavaa. Karkea mallin kuvaus on esitetty kuvassa 2.

Ulrich-Eppingerin mallissa vaiheita ovat

- Tuoteohjelman suunnitteluvaiheessa asetetaan projektin tavoitteet sekä reunaehdot, ja voidaan päättää, (mahdolliseen esiselvitykseen tukeutuen) aloitetaanko projektia vai ei.
- Konseptisuunnittelussa selvitetään asiakastarve ja tuoteominaisuudet, joiden pohjalta saadaan tuotespesifikaatiot, eli tuotteelle asetettavat, mitattavat ominaisuudet ja niiden tavoittearvot. Niiden selvittyä, siirrytään luovaan työhön, jossa koitetaan tuottaa mahdollisimman paljon ideoita asiakastarpeen täyttämiseksi. Lopuksi joku luonnoksista valitaan, ja sen kanssa edetään seuraavaan vaiheeseen.

- Systeemisuunnittelun tarkoituksena on pohtia edellisessä vaiheessa saadun luonnoksen mallin arkkitehtuuria, huomioiden tuoterakenne ja modulaarisuus, jotta (pienellä) varioinnilla saadaan mahdollisimman monen asiakkaan tarpeisiin vastaava ratkaisu.
- Detaljisuunnittelussa tuotteen kaikki osat ja kokoonpanot saavat lopulliset muotonsa. Tässä vaiheessa määritetään myös, miten, mistä, ja millä osat valmistetaan tai ostetaan. Kuten Jokisen kirjan mallin kehittämissä vaiheissa, tässäkin vaiheessa määritetään useita, kerrannaisvaikutusten kautta lopullisen tuotteen kustannuksiin ja toimivuuteen vaikuttavia osa-alueita.
- Testaus ja parannusvaiheeseen tultaessa täytyy olla olemassa tuotetta edustava prototyyppi, jonka avulla voidaan varmistua siitä, että tuote toimii kuten on suunniteltu, ja että se voidaan valmistaa mahdollisimman edullisin kustannuksin. Saatujen tuloksien perusteella voidaan palata tarvittaessa aina konseptointivaiheeseen saakka muokkaamaan tuotetta.
- Tuotantovaihe, joka ymmärretään tässä mallissa tuotteen lanseeraamiseksi ja tuotantoon saattamiseksi. Ensimmäinen vaihe on valmistaa nollasarja, jonka avulla testataan tuotantoa ja koulutetaan henkilöstöä.



Puhuttaessa tuotekehitystoiminnasta, puhutaan usein tuotekehityksen eri prosessimalleista. Eri tyyppisiä tuotekehitysprosesseja ovat esimerkiksi teknologiatyöntöprosessi, jossa toiminta alkaa teknologisesta innovaatiosta, jolle pyritään etsimään markkinat, ja paranteluprosessi, jonka tarkoituksena on parannella olemassa olevaa tuotetta (Hietikko 2021, 45). Tässä opinnäytetyössä voidaan puhua paranteluprosessista, jonka tarkoituksena on parannella merkittävästi olemassa olevaa tuotetta.

Siirryttäessä tuotekehitysprosesseista ja niiden malleista sekä vaiheista kohti käytäntöä, aletaan lähestyä suunnittelumenetelmiä ja -periaatteita, joita tuotekehitysprojektin eri vaiheissa voidaan soveltaa.

#### 4 SUUNNITTELUMENETELMÄT JA -PERIAATTEET

Tuotteen suunnitteluvaiheet ovat oleellinen osa tuotekehitysprojektia, olipa kyse uuden tuotteen suunnittelusta tai vanhan tuotteen merkittävästä uudelleensuunnittelusta. Lempiäisen & Savolaisen (2003, 49) mukaan lähteistä riippuen 60–85 % tuotteen lopullisista kustannuksista määritetään

suunnitteluvaiheessa, joten suunnittelukustannusten minimointi tai suunnitteluvaiheessa kiirehtiminen ei ole suotavaa, mikäli halutaan maksimoida edellytykset saada projektista paras, ja kustannustehokkain mahdollinen lopputulos.

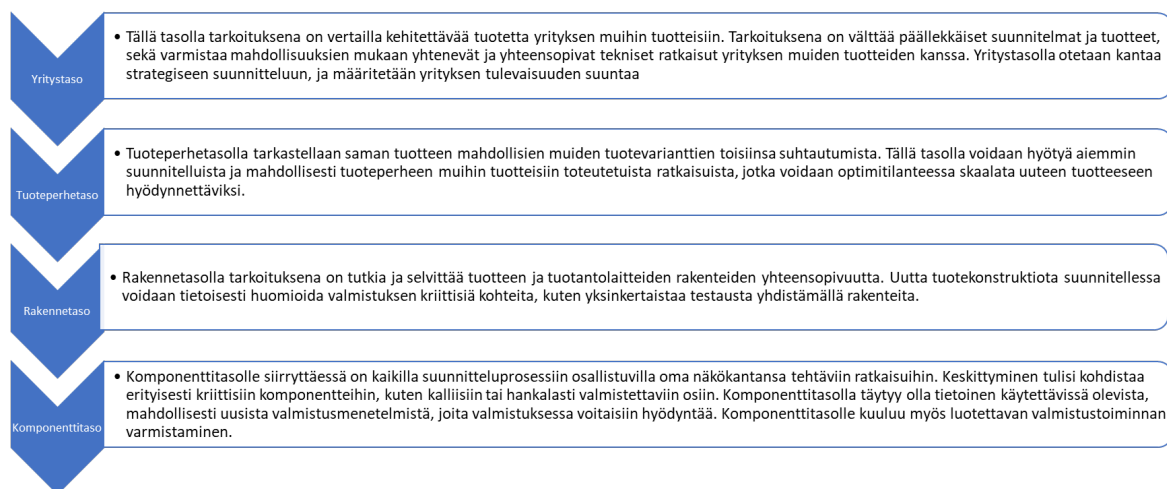
Tuotekehitystä ja suunnittelua varten on kehitetty lukuisia eri periaatteita ja menetelmiä kuten Japanissa 1970 -luvun puolivälissä, kehitetty, erityisesti asiakastarpeet huomioiva Quality Function Deployment (QFD)-menetelmä, tai tuotteen tai sen valmistukseen liittyvää, tiettyä ominaisuutta painottavat Design for X (DFX) -periaatteet (Hietikko 2021, 81 & 167).

Tämän opinnäytteen toteutuksessa keskeisenä teoriapohjana toimi erityisesti valmistusmyötäiseen suunnitteluun ohjaavat periaatteet, kuten käsite Design for Manufacturing (DFM), jonka lisäksi ratkaisuisissa on huomioitu myös kokoonpantavuusmyötäisyyden periaatteita, jotka kuuluvat käsitteen Design for Assembly (DFA), alle. Nämä kaksi periaatetta nähdään usein niin toisiinsa liittyvinä, että niistä käytetäänkin joissain tapauksissa myös yhdistettyä käsitettä, Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) (Hietikko 2021, 167).

#### 4.1.1 Valmistettavuusperiaate

DFM-periaatteen tarkoituksena on niin Lempiäisen ym. (2003, 13) mukaan, kuin tässäkin projektisakin yksinkertaistaa tuotekonstruktion valmistamista ja alentaa tuotteen kaikkia valmistuskustannuksia, kun taas DFA-periaatetta sovelletaan mietittäessä osien yhteensovittamista kokoonpanon näkökulmasta. DFA-periaatteen tavoitteena on tuotteen rakenteen, ja sen kokoonpanosuorituksen yksinkertaistaminen (Lempiäinen ym. 2003, 69).

DFM-periaatteen mukaisesti tuotekonseptiin vaikutetaan ylhäältä-alas-menetelmällä, neljällä tasolla, jotka ilmenevät kuvasta 3 (Lempiäinen ym. 2003, 16–17). Usein DFM-ideointiin ylempillä tasoilla kiinnitetään liian vähän huomiota, ja taas toisaalta keskitytään liikaa alemmille tasoille, kuten komponenttitasolle, tuotekehitystavoitteen ohjatessa toimimaan juuri päinvastoin.



KUVA 3. Tuotesuunnittelun tasot

DFM-periaate korostuu tuotekehityksessä erityisesti konseptointivaiheessa, sillä tuotteiden valmistusmenetelmät joudutaan päättämään hyvin varhaisessa vaiheessa, sillä yksityiskohtaisempaan ja tarkempaan valmistettavuutta tukevaan suunnitteluvaiheeseen päästään, kun on päätetty valmistetaanko osat esimerkiksi koneistamalla vai lisäävällä valmistuksella. Tuotekehitysprojektin alkuvaiheessa tulisikin löytää parhaat jatkoedellytykset tarjoavat konseptit niin suunnittelun- kuin valmistuksenkin osalta (Lempiäinen ym. 2003, 15).

Suunnittelun aikana tulee tarkastaa, mitä vaikutuksia eri ehdotuksilla on kokonaisuuden kannalta, ja tuotesuunnittelun alemmille tasoille. Huolimatta iteroivasta työskentely- ja ideointitavasta, aiemmin mainittu periaate ylhäältä-alas järjestyksen seuraamisesta pätee. Suunnittelun tulisi alkaa aina strategiatasolta, eikä yksittäisestä komponentista. (Lempiäinen ym. 2003, 18.)

Konseptointivaiheessa lyödään lukkoon suuret linjat valmistuksen ja suunnittelun osalta. Konseptoinnissa tulisi vertailla useita eri vaihtoehtoja, ja arvioida niistä jokainen erikseen kokonaisuus huomioiden, eikä keskittyen pelkkiin yksittäisen komponentin muuttuviin valmistuskustannuksiin, kuten toisinaan on tapana (Lempiäinen ym. 2003, 19).

#### 4.1.2 Valmistettavuuden arviointi

Jos suunnittelun alkuvaiheessa päädytään valitsemaan ensimmäinen pöydällä oleva konsepti, otetaan huomattava riski siitä, ettei paras mahdollinen vaihtoehto pääse jatkoon, jolloin ollaan vaarassa menettää kilpailuetu niihin kilpailijoihin nähden, jotka jaksavat etsiä ja arvioida eri konseptien joukosta parhaan (Lempiäinen ym. 2003, 19).

Konseptisuunnittelussa täytyy pystyä vastustamaan ihmiselle luontaista, nopeaa ratkaisuun päätymistä, ja kyetä hahmottamaan eri konseptien joukosta teknis-taloudellisesti vertaamalla, laaja-alaisesti koko valmistettavuus huomioiden paras vaihtoehto, jota voidaan lähteä jatkokehittämään (Lempiäinen ym. 2003, 19).

DFM-projektissa on tärkeää tietää ja nähdä myös eri tuotekonseptien erot valmistettavuuden kannalta, ennen kuin siirrytään yksityiskohtaisempaan suunnitteluun. Tämä vaatii ammattitaitoa suunnittelijoilta, sillä joskus valmistuksen tuloksia voi olla hankala hahmottaa ennen kuin mallista on olemassa yksityiskohtaisia piirustuksia. (Lempiäinen ym. 2003, 22.)

Lempiäisen ym. (2003, 20–22) mukaan vaihtoehtoisten konseptien, tai valmistettavuuden arvioinnissa voidaan hyödyntää seitsemää, yleistä mittaria tai kriteeriä:

- Laatu - käsittää tuotteen kyvyn noudattaa sille asetettuja vaatimuksia ja noudattaa tuoteselostetta. Epätoivotussa tilanteessa kalleimmat laatuongelmat voivat ilmetä esimerkiksi koko tuotantoerän reklamaatioina.
- Kustannukset (muuttuvat ja kiinteät) – muuttuvia kustannuksia ovat mm. työvoima ja materiaalit, kun taas kiinteitä kustannuksia ovat esimerkiksi varastointi, laadunvalvontakustannukset, sekä tilat ja niiden ylläpito.
- Joustavuus – kyvykyys siirtää halutut muutokset valmiiseen tuotteeseen.
- Riski – tuotekonstruktion aiheuttamat riskit tuotantovolyymien kohottamiselle ja jatkuvalla valmistukselle.

- Läpimenoaika – kyvykkyys saavuttaa nopea läpimenoaika tuotannossa.
- Tehokkuus – tehokkuus aineellisten ja aineettomien, kuten taloudellisten ja henkilöllisten resurssien, hyödyntämisessä.
- Ympäristö- ja elinkaarivaikutukset – tuotteen kierrätettävyyden, purettavuuden ja tuotteen sekä sen valmistuksen aiheuttamat vaikutukset ympäristöön

Tarkoitus on, että yllä mainitut kriteerit ja mittarit tukevat eri konseptien ja konstruktioiden välistä arviointia, sekä optimitilanteessa toisiaan; esimerkiksi joustavuuden vähentäessä valmistukseen liittyviä riskejä. Mainittuja kriteerejä käytettäessä tulee myös huomioida ja varmistaa, ettei toisen kohdan kehittäminen ole pois toisesta, esimerkiksi tehokkuuden ja läpimenoajan ylikorostaminen, jonka seurauksena kannetaan suurta riskiä tuotannon keskeytymiselle suuremman viikatilanteen tuloksena. (Lempiäinen ym. 2003, 21.)

#### 4.1.3 Valmistettavuuden kehittäminen

Suunnitteluvaiheessa tarvitaan valmiista tuotteesta mahdollisimman paljon tietoa, jota voidaan hyödyntää myös valmistettavuusnäkökohtien huomioimisessa. Tuon tiedon hankkimiseksi voidaan hyödyntää esimerkiksi eri alojen asiantuntijoita, kokeneempia suunnittelijoita, vertailua kilpaileviin tuotteisiin tai hyödyntämällä loppukäyttäjän ja -valmistajan tietotaitoa. (Lempiäinen ym. 2003, 23.)

DFM-periaatteiden mukaisesti myös tuotteen suunnittelijan tulee olla perillä osan valmistusmenetelmistä. Jos vaihtoehtoja valmistukseen on useampia, tulee kaikkia vaihtoehtoja verrata, hyödyntäen valmistusprosessin tuntevan henkilön asiantuntemusta (Hietikko 2021, 172).

Yleisiä DFMA-suunnitteluperiaatteita ovat Hietikon (2021, 172) mukaan seuraavat:

- Vältä erikätisiä osia, eli suunnittele osat siten, että samaa osaa voidaan käyttää niin oikealla kuin vasemmalla puolella.
- Suosi symmetrisiä osia, kokoonpanovaiheen suuntausvaatimusten vähentämiseksi.
- Suunnittele osa ja sen valmistuksessa käytettävä kiinnitin yhdessä tai suunnittele osa käymään yleiskäyttöiseen kiinnittimeen. Automaatiota varten tulee huomioida myös osien riittävän tarkka kohdistus.
- Suunnittele osat standardoiduilla työkoneilla ja työkaluilla valmistettaviksi.
- Suosi standardimittoja aina kuin mahdollista, jotta osien valmistuksessa vältytään erikoistyökalujen käytöltä, ja selvittää mahdollisimman vähäisillä koneistuksilla ja muilla työstöillä.
- Jos osaan tulee koneistuksia, suunnittele ne tehtäväksi yhdellä asetuksella.
- Valitse materiaali tuotteen elinkaaren aikaiset kokonaiskustannukset huomioiden. Esimerkiksi ruostumaton teräs on kalliimpaa kuin rakenneteräs, mutta ruostumattoman avulla voidaan estää tuotteen ruostuminen ja mahdollisesti säästää pintakäsittelykustannuksissa.
- Valitse sopivat toleranssit. Tarpeettomien tarkkojen toleranssien käyttö aiheuttaa lisäkustannuksia valmistuksessa.

#### 4.1.4 Koneistuksen vaikutus osien valmistettavuuteen

Koneistus tarkoittaa käsitteenä koneellista lastuavaa työstöä. Yleisiä, teollisuudessa käytettyjä koneistusmenetelmiä ovat mm. sorvaus, jyrsintä, poraus, hionta, sahaus sekä aventaminen. (Maaranen 2012, 15.) Koneistus on keskeinen osa nykyaikaisten, metalliteollisuuden konepajojen toimintaa. Koneistamalla tehdyt osat ovat yleensä tarkkamittaisia, ja niiden valmistustoleranssit voivat olla joskus jopa muutamien tuhannesosamillimetrien sisällä. Koneistamalla valmistetuilta osilta vaaditaan usein, että niiden tulee sopia toisiinsa tarkkamittaisella sovitteella. (Maaranen 2021, 11.)

Tarkkuutensa ja yleisten käyttökohteidensa puolesta koneistus onkin oleellinen menetelmä valmistavassa teollisuudessa, ja siitä johtuen myös huomioitava valmistettavuus-, ja kokoonpanomyönteisiä suunnitteluperiaatteita käytettäessä.

Valmistettavuusperiaatteiden näkökulmasta on useita asioita, joita koneistus yksittäisen osan suunnittelun näkökulmasta aiheuttaa. Lastuava työstö vaikuttaa osan hintaan merkittävästi, ja vaikuttaa myös suunnittelun näkökulmasta esimerkiksi mittojen ja muotojen tolerointiin menetelmän rajoitteiden ja mahdollisuuksien mukaisesti (Lempiäinen ym. 2003, 63).

Seuraavia yleisiä, valmistettavuusmyötäisten periaatteiden mukaisia ohjeita koneistuksen vaikutuksesta osan muodoille ja mitoitukseseen mainitaan Lempiäisen ym. (2003, 63–66) kirjassa:

- Jos mahdollista, vältä koneistusta. Suosi muotojen valmistusta valamalla tai ohutlevyistä leikkaamalla ja muovaamalla, mikäli mahdollista, noiden menetelmien ollessa usein koneistusta edullisempia.
- Määritä toleranssit ja koneistuspinnan karheudet juuri riittävälle tasolle, jotta ne täyttävät toiminnallisuus-, ja muut vaatimukset; näin vältetään ylimääräistä lastuamisaikaa, ja päästään edullisempaan lopputulokseen.
- Koneistus voi aiheuttaa suuria työstövoimia, joten osan kiinnitys työstön aikaiseen kiinnittimeen täytyy huomioida suunnitteluvaiheessa. Isot, yhdensuuntaiset pinnat mahdollistavat tukevan kiinnityksen.
- Vältä ohuiden pintojen koneistusta ja niistä kiinnittämistä, sillä ne voivat aiheuttaa osaan muodonmuutoksia joko työstö-, tai kiinnitysvoimien vaikutuksesta.
- Vältä teräviä kulmia, ja suosi (jyrsittävässä osissa) niiden poistamiseen viisteitä pyörityksien sijaan. Teräviä kulmia välttämällä osan käsittely on turvallisempaa, ja niiden avulla saadaan vältettyä osan pohjaaminen esimerkiksi akselia sovitteelliseen pohjareikään asennettaessa.
- Osat tulisi saada koneistettua yhdellä kiinnityksellä. Kiinnityksen vaihtaminen mahdollistaa mitta-, ja muotovirheille, varsinkin tarkasti toleroitujen osien kohdalla. Lisäksi kiinnityksen vaihtaminen tuottaa osan valmistukselle yhden lisävaiheen, joka voi nostaa kustannuksia.
- Vältä karkaisuja erityisesti tarkkamittaisien osien kohdalla. Karkaisun vaikutuksia mittamuutoksiin on hankalaa arvioida, ja kovien aineiden koneistus on haastavaa sekä kallista.
- Vältä erikoisia muotoja, ja syviä sisäpuolisia muotoja, jotka vaativat erikoisteriä.
- Etsi ja käytä mahdollisimman tarkoituksenmukaisia aihioita, joista osa valmistetaan, jotta lastuamalla poistettava ainemäärä olisi mahdollisimman pieni. Mitä enemmän aihioista joudutaan materiaalia lastuamaan, sitä kalliimmat ovat osan materiaali-, ja työstökustannukset.



#### 4.1.5 Kokoonpanomyötäiset periaatteet

Kokoonpantavuuden tärkeimpänä periaatteena on tuotteen kokoonpanosuorituksen yksinkertaistaminen, joka usein käytännössä tarkoittaa osien toimintojen yhdistämiseen ja osien määrän vähentämiseen. DFM:n tavoin myös DFA-periaatteet ohjaavat tuotetta toimimaan paremmin, luotettavammin ja näyttämään siistimmältä, sekä helpottamaan huollettavuutta. (Lempiäinen ym. 2003, 69.)

Kun suunnittelussa päähuomion kohteena on kokoonpantavuuden kehitys, on tärkein periaate suunnitella tuote mahdollisimman vähistä osista kasattavaksi. Toinen tavoite on suunnitella osat siten, että kokoonpanosuoritus on mahdollisimman yksinkertainen ja vie mahdollisimman vähän aikaa. Kokoonpantavuus onkin yksi tärkeimmistä valintakriteereistä, ja se tulisi huomioida aikaisessa vaiheessa tuotekehitysprojektia. (Hietikko 2021, 169.)

Osien vähentämistä puoltaa se tosiasia, että jokainen osa lisää kustannuksia eksponentiaalisesti, joten tuotteen jokaisen osan kohdalla tulisi pohtia sen tarpeellisuutta. Osien vähentämisen seurauksena jäljelle jäävät osat saattavat monimutkaistua, mutta nykyiset, numeerisesti ohjatut työstökoneet kykenevät tuottamaan myös haastavampia muotoja monessa tapauksessa kustannustehokkaasti. (Hietikko 2021, 170.) Valintoja tehdessä tulee kuitenkin pohtia, onko kannattavampi käyttää useampia osia ja säilyttää tehokkaampi valmistettavuus, vaiko tinkiä valmistettavuudesta osien määrän vähentämiseksi.

Ratkaisuilla on suuria vaikutuksia kiinteisiin kustannuksiin, sillä pois jätettyä osaa ei tarvitse Hietikon (2021, 170) mukaan

- Suunnitella
- Valmistaa ja testata
- Varastoida
- Ostaa ja kuljettaa
- Kierrättää ja hävittää.

Kokoonpanosuorituksen yksinkertaisuutta tukeva periaate on ns. "Poka Yoke" -periaate, joka tarkoittaa osan suunnittelemista siten, että se voidaan asentaa vain yhdellä tavalla, eikä sitä voida siten asentaa väärin päin. Osien tulisi myös asemoitua oikeaan kohtaan itsestään. Hietikon (2021, 170) mukaan kokoonpanossa tulee olla:

- Osia, jotka ovat symmetrisiä asennussuunnassa, tai tämän ollessa mahdotonta, on pyrittävä mahdollisimman suureen symmetriaan.
- Osia, jotka, eivät takerru tai jumitu toisiinsa käsittelyn tai varastoinnin yhteydessä.
- Mahdollisimman vähän tai ei yhtään osaa, jotka ovat liukkaita, joustavia, kokoluokaltaan liian pieniä tai suuria, tai vaarallisia käsitellä.
- Selkeä runko-osa, joka pysyy paikallaan ilman kiinnittimiä.

#### 4.1.6 Kokoonpantavuuden arviointi

Kokoonpantavuuden arviointiin vaikuttavia tekijöitä ovat se, onko tuote tarkoitettu manuaaliseen, mekanisoituun vai automatisoituun kokoonpanoon. Usein kokoonpano tapahtuu ainakin pääosin manuaalisesti. Manuaalinen kokoonpano taas voidaan jakaa kahteen vaiheeseen: osan käsittelyyn ja

asennukseen, joista käsittely kattaa esiin ottamisen, asemoinnin ja siirtelyn, kun taas asennus pitää sisällään osan sijoittamisen ja kiinnittämisen paikalleen. (Hietikko 2021, 170.)

Kokoonpantavuutta voidaan arvioida sitä varten kehitetyillä ohjelmistoilla tai arviointityökaluilla, jotka ovat parhaimmillaan integroitu 3D-suunnitteluohjelmistoon (Hietikko 2021, 170). Toinen tapa arvioida kokoonpantavuutta on hyödyntää erilaisia kokoonpantavuusindeksejä.

Kaavassa 1 on esitetty Boothroydin ja Dewhurstin kaava kokoonpantavuuden arviointiin (Lempiäinen ym. 2003, 70). Kaavassa  $N$  on välttämättömien osien määrä ja  $T_{kok}$  puolestaan tuotteen arvioitu kokonaiskokoonpano-aika. Numero 3 kuvaa yksittäisen osan ihanteellista kokoonpano-aikaa (3 sek). Matala indeksiluku kertoo vaikeasta kokoonpantavuudesta ja mahdollisuuksista parantaa nykyistä kokoonpanoa.

$$H_{\text{Kokoonpantavuus}} = \frac{100xNx3}{T_{kok}} \quad (1)$$

Kaava 1. Kokoonpantavuusindeksi Boothroydin ja Dewhurstin mukaan

Hietikon (2021, 171) mukaan kokoonpanotehokkuutta voidaan arvioida kokoonpanoindexillä  $E$ , joka on esitetty kaavassa 2. Indexiä sovelletaan määrittäessä välttämättömien osien määrää kokoonpanossa. Kaavassa  $N_{min}$  kuvaa teoreettista osien minimimäärää,  $t_a$  yhden osan perusasennusaikaa ja  $t_{ma}$  arvioitua kokoonpano-aikaa.

$$E = N_{min}t_a/t_{ma} \quad (2)$$

Kaava 2. DFA-indeksi  $E$

Osien teoreettinen minimimäärä saadaan kysymällä jokaisen osan kohdalla kolme kysymystä:

- Pitääkö osan päästä liikkumaan suhteessa muihin kokoonpanon osiin?
- Pitääkö osan olla eri materiaalia?
- Pitääkö osa olla irrotettavissa huollon tai muun vastaavan syyn johdosta?

Jos johonkin kysymyksistä vastataan "kyllä", on osa laskettava mukaan teoreettiseen minimimäärään.

#### 4.1.7 Kokoonpanomyötäisen suunnittelun ohjeita ja näkökulmia

Kokoonpantavuuden arviointiin käytettävät ohjelmistotyökalut noudattelevat yleisiä DFA:lle tarkoitettuja ohjeistuksia ja näkökulmia. Kyseisiä näkökohtia hyödyntäen voi kokoonpantavuutta arvioida myös itse. Lempiäinen ym. (2003, 164–165) esittää kirjassaan seuraavia yleisiä ohjeita ja näkökulmia kokoonpanomyötäistä suunnittelua varten:

- Tähtää yksinkertaisuuteen
  - Osien määrän minimointi, osien monikäyttöisyys, kokoonpantavuuden yksinkertaistaminen.
- Standardisoi
  - Standardiosien ja -komponenttien käyttö mahdollisuuksien mukaan, standardisointi materiaalien käytössä.
- Järkeistä tuotesuunnittelu
  - Tuoteperheistä modulaarisia, standardisoinnin toteuttaminen tuoteperheittäin.
- Käytä mahdollisimman laajaa toleranssialuetta
  - Toimintojen vähentäminen, ei-kriittisten osien toleroinnin vähentäminen.
- Tähtää yksinkertaisuuteen
  - Osien määrän minimointi, osien monikäyttöisyys.
- Valitse materiaalit, jotka sopivat toimintoon ja tuotantoprosessiin
  - Materiaalien valinnassa huomioitava myös tuotantoprosessille soveltuvuus, tuotteelta vaadittujen toiminnallisten piirteiden lisäksi.
- Minimoi tuottamattomat operaatiot
  - Erillisten tarkastusten, käsittelyn ja viimeistelyn minimointi.
- Kokoonpanotyön suunnittelu
  - Osan materiaalin ominaisuuksien hyödyntäminen tarpeettomien osien tai ylimääräisen prosessoinnin vähentämisessä, esimerkiksi muoviosien plastisuuden hyödyntäminen osan kiinnityksessä.
  - Tarpeettomien rajoitusten välttäminen prosesseissa, jotta mahdollistetaan tuotantollinen joustavuus.
- Tiimityö
  - Rinnakkaissuunnittelun ja henkilöstön kehityksen edistäminen.

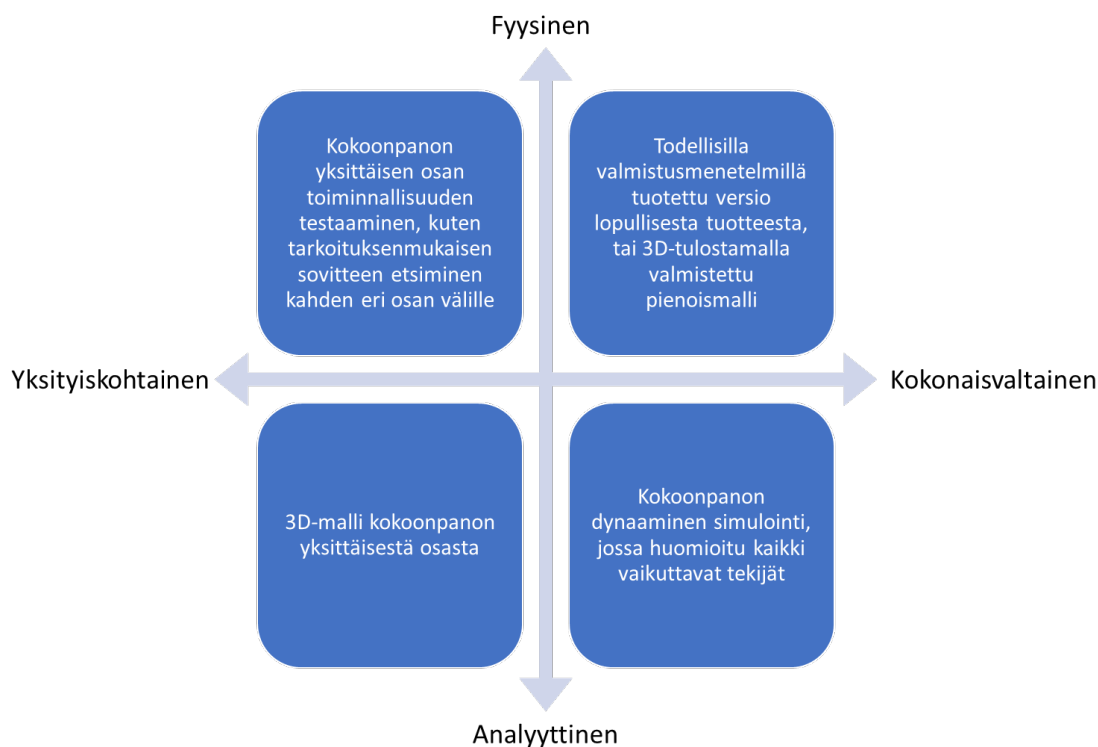
Mainituilla ohjeilla ja näkökulmilla tähdätään mm. tuotettavampaan ja nopeampaan kokoonpanoon, varaston ja työkalujen käytön optimointiin, sekä tuotteen luotettavuuden ja kustannusrakenteen optimointiin (Lempiäinen ym. 2003, 164–165).

## 5 PROTOTYYPIT TUOTESUUNNITTELUSSA

Ulrichin, Eppingerin & Yangin kirjassa (2020, 297) prototyypit määritellään vapaasti käännettynä siten, että ne ovat likimääräinen arvio tuotteesta yhden tai useamman kiinnostavan ominaisuuden mukaisesti esitettyinä. Esitetty näkemys kattaa prototyyppien eri muodot aina matemaattisista- ja simulaatiomalleista täyden toiminnallisuuden omaavaksi, lopullista tuotetta kuvaavaksi fyysiseksi versioksi (Ulrich ym. 2020, 297).

Prototyypit kuuluvat useassa tapauksessa tuotekehitykseen, ja niiden avulla voidaan oikein käytettynä madaltaa tulevan tuotteen kehityskustannuksia ja riskejä kehitystyön eri vaiheissa, sekä nopeuttaa kehitystyön etenemistä. Prototyyppien käyttö tulee olla perusteltua ja suunniteltua. (Ulrich ym. 2020, 312–313.)

Prototyypit voidaan luokitella kuvan 4 mukaisesti nelikenttään, jossa määräävät ominaisuudet ovat prototyypin olemus (fyysinen tai analyttinen) ja kattavuus (yksityiskohtainen tai kokonaisvaltainen). Prototyyppien eri luokkia havainnollistavana esimerkkinä käytetään kuvassa kokoonpanoa, jossa on dynaamisia toiminnallisuuksia ja se koostuu useasta eri osasta, jotka on sovittava toisiinsa.



KUVA 4. Prototyyppien luokittelu (Mukaillen Ulrich ym. 2020, 300)

Prototyyppien tuottamiseen on olemassa satoja eri tapoja ja menetelmiä, varsinkin fyysisten versioiden kohdalla. Viimeisten 50 vuoden aikana erityisesti tietokoneavusteinen suunnittelu ja lisäävä valmistus, eli tuttavallisemmin 3D-tulostus ovat osoittautuneet tärkeiksi työkaluiksi prototyyppien valmistuksessa. (Ulrich ym. 2020, 307.) Riippuen prototyypiltä halutuista toiminnallisuuksista, voidaan prototyyppi toteuttaa eri tavoilla:

Analyttisemmat prototyypit voidaan usein toteuttaa tietokoneavusteisesti, esimerkiksi mallintamalla kokoonpanosta toiminnalliset osat, ja suorittamalla niille elementtimenetelmään (FEM) perustuva simulointi, jonka avulla voidaan tutkia esimerkiksi annettujen ehtojen alla tapahtumaa kuormitusta ja sen jakaumaa, tai vaikkapa yksittäisen osan metallin 3D-tulostusprosessin aikana tapahtuvaa ylikuumentumista tai muodonmuutoksia (Lipponen 2021).

Kaikissa tapauksissa, erityisesti haastavasti simuloitavissa kokonaisuudessa ei analyttisiä prototyyppejä voi tai ole tarkoituksenmukaista hyödyntää tietyn vaiheen jälkeen, vaan fyysisten prototyyppien avulla voidaan edetä nopeammin ja tarkoituksenmukaisemmin. Tässä opinnäytteessä käsiteltävä tuote on esimerkki edellä mainitun kaltaisesta tilanteesta.

Fyysisten prototyyppien valmistamiseen voidaan tuotteen lopullisten valmistusmenetelmien soveltamisen lisäksi hyödyntää esimerkiksi mainittua 3D-tulostusta, joka mahdollistaa nykyään realististen prototyyppien valmistamisen useassa tapauksessa nopeammin ja kustannustehokkaammin kuin koskaan aikaisemmin, erityisesti muovisten prototyyppien kohdalla (Ulrich ym. 2020, 308).

Tuotekehitysprojekteissa prototyyppijä hyödynnetään Ulrichin ym. (2020, 300–303) mukaan neljään eri kategoriseen tarkoitukseen:

- Oppimiseen (*Learning*)
  - Prototyyppijä voidaan käyttää esimerkiksi apuna vastaamaan tuotteen tiettyä toiminnallisuutta koskevaan kysymykseen, kuten ”kestääkö se suunnitellun kuormituksen tilanteessa X”. Prototyypin testauksesta saadun tuloksen perusteella kyetään laatimaan tuotteesta tai toiminnallisuudesta uusi versio
- Kommunikointiin (*Communication*)
  - Prototyypin avulla on helppo demonstroida tuotetta tai sen osia eri sidosryhmien välillä, kuten esimerkiksi esittämällä pienoismalli lopullisesta tuotteesta ohjausryhmän kokouksessa. Käsin kosketeltavan mallin avulla on huomattavasti helpompi ymmärtää mitä ollaan hakemassa, verrattuna matemaattiseen malliin tai piirrettyyn luonnokseen
- Integraatioon (*Integration*)
  - Prototyyppien avulla voidaan varmistaa esimerkiksi kokoonpantavissa tuotteissa osien yhteensopivuus tuottamalla tarvittavista osista prototyypit. Erityisesti tilanteissa, joissa kehitystyö on jaettu useammalle taholle, on hyvä hyödyntää prototyyppijä samaan suuntaan kulkevan kehityksen varmistamiseksi.
- Välietappeihin (*Milestones*)
  - Kehitysprosessin myöhemmissä vaiheissa prototyypeillä voidaan osoittaa, että tietty välietappi tai toiminnallisuus on saavutettu, ja kehitystyössä voidaan siirtyä eteenpäin. Joissain kehitysprojekteissa asiakas tai johto voi vaatia toiminnallisuuden varmentavan prototyypin tekemisen ennen seuraavaan vaiheeseen siirtymisen hyväksymistä.

Vaikka kaikenlaisia prototyyppijä voikin soveltaa tai hyödyntää kaikkiin mainittuihin tarkoituksiin, soveltuvat tietyt, kategorisesti erilaiset prototyypit paremmin eri tarkoituksiin. Esimerkiksi yksittäistä toiminnallisuutta kuvaavaa, tietokoneella toteutettua matemaattista mallia on hankala hyödyntää lopullisen kokoonpanon eri ominaisuuksia esitellessä, kun taas fyysistä, kokonaisvaltaista prototyyppiä voi soveltaa niin oppimiseen, viestimiseen, integraation esittelyyn ja välietappien demonstroiintiin. (Ulrich ym. 2020, 303.)

## 6 TYÖN TOTEUTUS

### 6.1 Suunnitteluvaihe

Työn toteutus alkoi suunnitteluvaiheella, joka toteutettiin DFMA-periaatteita mukailleen ja soveltaen luvussa 3.1 esitettyjä Tapani Jokisen (2001) ”Tuotekehitys”-, ja Esa Hietikon (2021) ”Tuotekehitystoiminta”-kirjoissa kuvattuja tuotekehitysprojektin vaiheita. Jokisen (2001, 14–17) kirjassa vaiheita oli neljä, ja Hietikon (2021, 47–49) kirjassa esitetyssä Ulrich-Eppingerin mallissa vaiheita oli kuusi.

Tässä opinnäytetyössä suunnitteluprosessissa vaiheita oli

- Projektin käynnistäminen, jossa määritettiin reunaehdot ja vaatimukset
- Luonnostelu, tai konseptointivaihe, jossa analysoitiin alkuperäinen mekanismi, etsittiin tuotteille soveltuva materiaali, sekä luonnosteltiin toimiva konsepti, joka täytti asetetut vaatimukset ja määreet, ja noudatti teoriaosassa esitettyjä DFMA-periaatteita ja ohjeita
- Detaljisuunnitteluvaihe, jossa konseptia jatkokehitettiin erityisesti materiaalin hankintamahdollisuuksia ja sen käytön optimointia silmällä pitäen
- Testaus-, ja parannusvaihe, jossa saadun konseptin mukaisesti valmistettujen prototyyppien kuormitustestien tulosten perusteella kehitettiin tuotteen geometriaa, ja määritettiin soveltuvia mittatoleransseja toiminnallisuuden edistämiseksi

Vaiheiden sisältöä on avattu ja esitetty tarkemmin seuraavissa luvuissa.

#### 6.1.1 Reunaehdot ja vaatimukset tuotteelle

Toimeksiantajan toiveesta projekti suoritettiin heidän suurinta mittasarjaansa edustavalle tuotteelle, jonka kokoluokka oli ilman U-pulttia ja sen tarvikkeita n. 185 x 205 x 115 mm kokoisen laatikon sisään mahtuva, massaltaan noin 7 kg kokoonpano.

Projektin toteutus alkoi tarvekuvauksella, jossa analysoimalla alkuperäisen tuotteen toiminta perusteellisesti, ja selvittämällä alkuperäisen tuotteen tekniset vaatimukset, saatiin luotua niin sanottu suunnitteluavaruus, joka muodosti rajoitteet ja mahdollisuudet uudelle versiolle.

Tavoitteita ja määrittelyä teknisten määreiden osalta aiemmin mainittu Ruotsin sähkön jakeluverkkoyhtiön Svenska kraftnätin (SVK) tuotetta koskeva tekninen määrittely (TR05-14E, 2020), ja siellä viitatu standardit, kuten

- SFS 5701 – Avojohtojen johtimet ja teräsköydet
- SFS-EN ISO 1461 – Valurauta- ja teräskappaleiden kuumasinkkipinnoitteet
- SFS-EN 10025-2 – Seostamattomat rakenneteräkset.

Teknisessä määrittelyssä kuvataan tarkasti, mitä vaatimuksia tuotteella on, sekä minkälaisia kuormia sen täytyy kestää, ja minkälaisilla menetelmillä tuotetta testataan. Nostona teknisestä määrittelystä mainittakoon tuotteelta vaadittu, kohdan 8 taulukon 1 vaatimus vajereille kestää 506 kN kuormitusta niitä vedettäessä lukittuna kiristimeen.

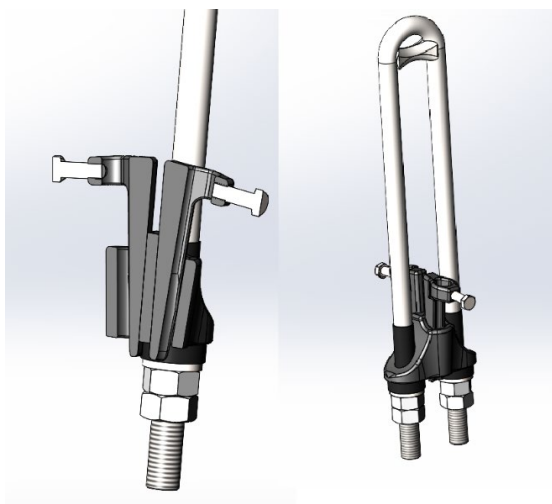
Lisäksi tuotteen kokonaisuudessa tuli olla sellainen, että sen liikuttelu ja lopulliseen kohteeseen asennus onnistuu ihmisen tekemänä, ilman nostoapuvälineitä. Laissa ei ole määritelty kilorajoja nostettavaan taakan massalle, vaan taakkojen käsittelyn aiheuttama kuormitus tulee huomioida kokonaisuutena. Kuormittumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. taakan paino ja muoto, taakan sijainti suhteessa vartaloon, siirtomatkan pituus, sekä työntekijän henkilökohtaiset ominaisuudet (Työsuojeluhallinto 2020; Työturvallisuuskeskus julkaisuaika tuntematon.)

Toimeksiantajan toiveiden pohjalta tuleva määre oli alkuperäisessä versiossa käytetyn U-pultin hyödyntäminen. Perusteina tälle oli U-pulttien hyvä saatavuus, niiden ollessa käyttökohteeseen aikoihin suunniteltuja ja tuotteen eri kokoluokille taulukoidut, sekä niiden toimitus- ja toimintavarmuuden ollessa erinomaiset. U-pulttien materiaalina on kuumasinkitty rakenneteräs S355. Näin ollen toiminnallisten vaatimusten määrittävänä tekijänä oli U-pultin sankaväli, jota pidettiin uuden version lähtökohdanna konstruktion suunnittelun näkökulmasta.

Alkuperäisestä versiosta haluttiin hyödyntää toistaiseksi myös alkuperäiset muoviset eristinhylyt, jotta projektin rajaus saadaan tarkoituksenmukaiseksi, ja voitaisiin keskittyä mekaaniseen suunnitteluun ja konseptiin kokonaisuutena.

Tavoitteiden asettamista ja tutkintalinjoja varten selvitettiin myös alkuperäisen osan kulurakenne, ja toiveet uuden version kustannuksista. Alusta asti tiedettiin, että koneistamalla versio olisi välittömiltä kuluiltaan kalliimpi valettuun verrattuna, mutta kerrannaisvaikutukset, kuten laatuvirheen aiheuttamat toimintakatkokset tasaavat eroa huomattavasti, joskin sitä olisi vaikea laskemalla todentaa absoluuttisella tasolla. Toimeksiantajan kanssa määritettiin alkuvaiheessa tavoitehinta kokonaisuudelle.

Toimeksiantajalta pyydettiin valmistuspiirustukset ja fyysinen kappale olemassa olevasta tuotteesta, jotta sitä päästäisiin konkreettisesti arvioimaan. Alkuperäisen version arviointia helpottamaan rakennettiin kuvan 5 mukaisesti tuotteen kokoonpano 3D-mallintamalla. Mallintaminen osoittautui melko haastavaksi, osien ollessa täynnä valamisen näkökulmasta suunniteltuja piirteitä, kuten päästökulmia, epäsäännöllisiä muotoja, ja muita perinteisestä koneenrakennuksesta poikkeavia piirteitä, kuten muuttuvasäteisiä pyörityksiä.



KUVA 5. Alkuperäisen tuotteen kokoonpano 3D-mallinnettuna (Lipponen 2021)

## 6.1.2 Materiaalin valinta

Ennen varsinaisten suunnittelutyön aloittamista tehtiin toimeksiantajan pyynnöstä lyhyt kartoitus tuotteeseen sovellettavasta materiaalista. Selvitystyön tuloksena selvisi, että rakenneteräs S355 vastaa mekaanisilta ominaisuuksiltaan alkuperäistä valumateriaalia, ja soveltuu alkuperäisen materiaalin tavoin kuumasinkitykseen, jonka tuote ei-ruostumattomista materiaaleista valmistettuna käytännössä vaatii haastavien ympäristöolosuhteiden takia.

Toimeksiantajan toiveena oli saada selvitys siitä, voisiko tuotteen valmistaa ruostumattomasta teräksestä, sen ollessa materiaalina rakenneteräksiä ja sinkitystä ekologisempi pidemmän käyttöikänsä ja 100 % uudelleenkierrätettävyytensä ansiosta, vaikkakin sen tuottamisesta koituu enemmän CO<sub>2</sub> päästöjä kuin rakenneteräksellä, kuten kuvan 6 taulukosta ilmenee. (ASSDA 2005; Calbrite 2022; Jahanshahi, S, Norgate, T.E, Rankin, W.J, 2007; Outokumpu 2021.)

| Metal           | Process   | GER<br>(MJ/kg) | GWP (kg<br>CO <sub>2</sub> e/kg) | AP (kg<br>SO <sub>2</sub> e/kg) | SWB<br>(kg/kg) |
|-----------------|---|----------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Nickel          | Flash furnace smelting and Sherritt-Gordon refining | 114            | 11.4                             | 0.130                           | 65             |
|                 | Pressure acid leaching and SX/EW                    | 194            | 16.1                             | –                               | 351            |
| Copper          | Smelting/convertng and electro-refining             | 33             | 3.3                              | 0.040                           | 64             |
|                 | Heap leaching and SX/EW                             | 64             | 6.2                              | –                               | 125            |
| Lead            | Lead blast furnace                                  | 20             | 2.1                              | 0.022                           | 14.8           |
|                 | Imperial smelting process                           | 32             | 3.2                              | 0.035                           | 15.9           |
| Zinc            | Electrolytic process                                | 48             | 4.6                              | 0.055                           | 29.3           |
|                 | Imperial smelting process                           | 36             | 3.3                              | 0.036                           | 15.4           |
| Aluminium       | Bayer refining, Hall–Heroult smelting               | 211            | 22.4                             | 0.131                           | 4.5            |
| Titanium        | Becher and Kroll processes                          | 361            | 35.7                             | 0.230                           | 16.9           |
| Steel           | Integrated route (BF and BOF)                       | 23             | 2.3                              | 0.020                           | 2.4            |
| Stainless steel | Electric furnace and Argon–Oxygen decarburisation   | 75             | 6.8                              | 0.051                           | 6.4            |

KUVA 6. Taulukko eri metallien tuottamisesta koituvista ympäristövaikutuksista (Norgate ym. 2007)

Ruostumattoman teräksen ja sinkityn rakenneteräksen, sekä sinkittyjen teräsvaijereiden yhteensopi- vuutta kyseenalaistettiin jo alkutilanteessa, mutta asian varmistamiseksi tehtiin vielä lyhyt selvitys.

Selvitystyössä hyödynnettiin tutkimustietoa, sekä Savoniolla toteutettua materiaalitutkimusta. Eräissä tutkimuksissa oli selvitetty sinkityn rakenneteräksen ja ruostumattoman teräksen yhdistä- misen seurauksena syntyviä reaktioita, muodostamalla galvaaninen pari ruostumattoman teräslevyn ja sinkityn teräspultin välille, upottamalla osat suolaliuokseen. Projektin kohteena olevan tuotteen luonnollisessa käyttöympäristössä muodostuisi ruostumatonta terästä ja sinkittyä rakenneterästä yhdessä käytettynä vastaava ilmiö.



Kuten kuvasta 7 huomaa, valkoisena esiintyvä galvaaninen korroosio on merkittävää jo lyhyelläkin aikavälillä. Kuvassa osat olivat olleet liuoksessa noin kolme kuukautta.



KUVA 7. Sinkitty rakenneteräs ja RST galvaanisena parina suolaliuoksessa (Lipponen 2021)

Hyvin lyhyen tutkimuksen jälkeen siis todettiin, että ruostumattomasta teräksestä valmistettuna tuotteeseen jouduttaisiin tekemään kohtuuttoman paljon muutoksia verrattuna alkuperäiseen versioon, jotta vältettäisiin galvaanisen parin muodostuminen ensinnäkin U-pultin ja kiilapesän sekä kiilojen välille, ja toisekseen kiilakiristimen ja sinkittyjen teräsvarjereiden välille.

Galvaanisen parin muodostuminen voidaan välttää, jos kahden eri metallia olevan osan välillä ei ole potentiaaliero, sähköistä kontaktia (eristimen käyttö) tai elektrolyyttiä (Euro Inox 2011, 4).

Vaihtoehtona pohdittiin eristimien laittamista väliin, mutta todettiin, että varjerein ja kiilapesän galvaanisen parin muodostuminen olisi lähes mahdoton välttää. Galvaanisen korroosion seurauksena voisi pahimmillaan seurata jopa varjerein katkeaminen kuormituksen alla, joka taas voisi johtaa merkittäviin tuhoihin. Niinpä materiaalin osalta päädyttiin rakenneteräkseen S355, joka on todetusti kustannustehokas ja hyvin lastuttavissa oleva materiaali.

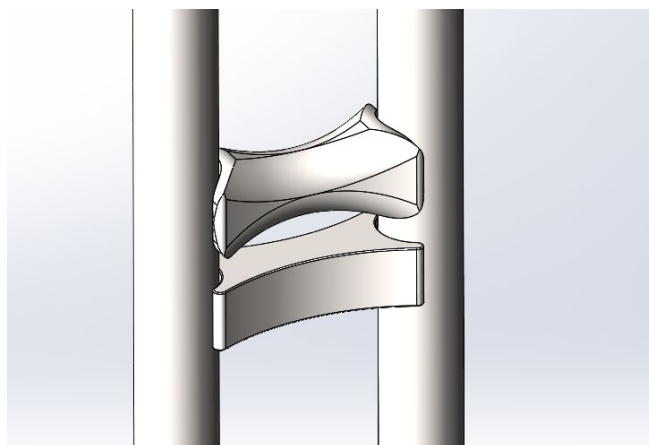
Huonona puolena rakenneteräksestä tehdyssä versiossa on lyhyemmän elinkaariodotuksen lisäksi pinnoituksen tarve, joka on sekä ympäristön-, että kustannusten kannalta epätoivottava vaihe, mutta toiminnan kannalta kriittinen. Toimeksiantajan tavoitteena on suunnata kohti ekologisempia tuotteita, joten eri pinnoitusmenetelmien ja materiaalien käytön selvitys jatkuu tulevaisuudessa.

### 6.1.3 Suunnittelutyön aloitus

Suunnittelu alkoi yksinkertaisimmasta osasta, eli U-pultin jalkojen väliin tulevasta tukikappaleesta, joka voitiin suunnitella ennen toiminnallisen konseptin, eli kiilapesän ja kiilojen suunnittelua. Alkuvai-

heessa päätettiin, että tukikappaletta ei lähdetä valmistamaan koneistamalla, vaan levyaihiosta termisesti leikkaamalla, sen ollessa yksinkertaisin ja kustannustehokkain, mutta samalla määreet riittävällä tasolla täyttävä tapa valmistaa kyseinen osa ainetta poistavasti.

Kuvassa 8 näkyvän, uuden mallin suunnittelu oli yksinkertainen ja nopea prosessi, sillä sen määreinä olivat vain sopivuus U-pultin jalkojen väliin, ja kustannustehokas valmistettavuus. Tarkempia teknisiä määreitä osalle ei ollut, sillä siihen kohdistuva kuormitus ei ole merkittävää. Sopivuus U-pulttiin varmistettiin toleroimalla toiminnallinen välimitta alkuperäisen version mitoituksen mukaisesti, ja pitkille sivuille lisättiin pienet pyöristykset ylimääräisen materiaalin karsimiseksi, sekä visuaalisen ilmeen tuomiseksi.



KUVA 8. Alkuperäinen ja uusi U-pultin tukikappale (Lipponen 2021)

Kun malli saatiin valmiiksi, lähetettiin tarjouskyselyt termistä leikkausta tarjoaviin yrityksiin, ja saatiin alustava hinta-arvio niin prototyypeille, kuin isommille tuotantoerille laserleikkeinä.

Alun perin tukikappale suunniteltiin leikattavaksi 25 mm levystä, joka olisi vastannut alkuperäisen osan paksuutta, mutta palveluntarjoajilta saatujen kommenttien perusteella muokattiin versio 20 mm levystä tehtäväksi, osan toimiessa vain tukena U-pulttien sangoille, eikä siihen siten kohdistuisi suuria kuormituksia, jonka vuoksi vaadittaisiin suurempaa ainevahvuutta.

Paksumman version laserleikkauksen kanssa olisi palveluntarjoajien mukaan voinut tulla pienelle alueelle kohdistuvan, suuren lämpö määrän vuoksi haasteita. Todettiin, että ohuempi versio oli parempi niin kustannusten-, kuin valmistuksenkin näkökulmasta.

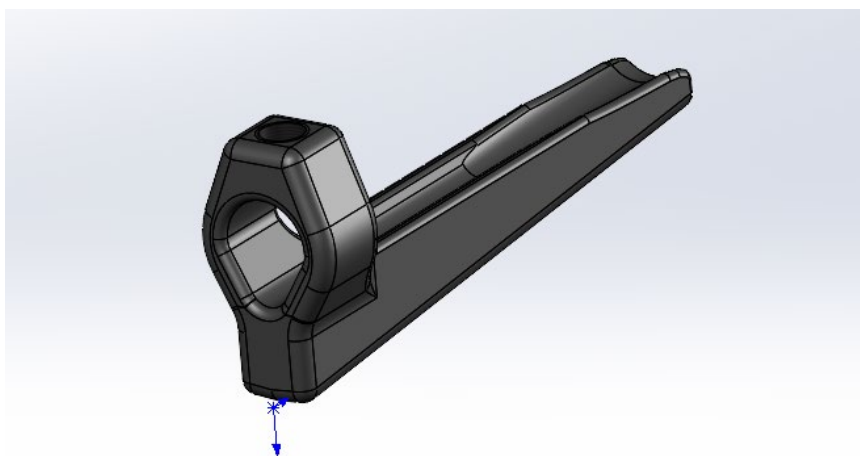
#### 6.1.4 Alkuperäisen mekanismin arviointi

Tukikappaleen suunnittelun jälkeen aloitettiin toiminnallisten osien, eli kiilan ja kiilapesän suunnittelu. Alkuperäisen version toiminnallisen, mekaanisen periaatteen muodostaa alkeelliseksi koneeksi luettava kiila, ja sillä aikaansaatu kiilaliitos, jolla vaijerit lukitaan kiilapesään (Salmi 2005, 275).

Alkuperäisen tuotteen asennusohjeiden (Eurolaite Oy 2019, 8) mukaisesti, kiila asennetaan kiilapesään lyömällä kiilan päähän, jolloin kiila uppoaa pesään ja vaijeri lukittuu. Vaijerin kiinnitys kiilaan varmistetaan kiristämällä kiilassa oleva M16 ruuvi siten, että sen pää painaa vaijeria kohti kiilan vastinpintaa.

Suunnittelun luovassa vaiheessa mietittiin vaihtoehtoisia mekanismeja vaijereiden kiristämiseksi kiilapesään, kuten esimerkiksi kierteillä ja kartiomaisella kiilalla toimivia vaihtoehtoja vaijerin kiristämiseksi, mutta pohdintojen jälkeen päätettiin kuitenkin pysyä lyömällä asennettavassa kiilamekanismissa, erityisesti sen muihin mekanismeihin verrattuna hyvän kokoonpantavuuden vuoksi.

Ainut selkeä muutostarpeen vaativa kohta mekanismin osalta oli kuvassa 9 esiintyvä kiilassa oleva silmukka, jossa on M16 kierre vaijeriin kiinnityksen varmistamista varten. Alkuperäisessä versiossa silmukan läpi ruuvattava pultti litistää vaijerin painamalla sitä pistemäisesti, aiheuttaen mm. vaijerin purkautumista, joten siihen täytyi ideoida vaihtoehtoinen ratkaisu, jolla painetta saadaan jaettua paremmin.



KUVA 9. Alkuperäinen kiila mallinnettuna (Lipponen 2021)

#### 6.1.5 Uuden version konseptointi

Uutta versiota lähdettiin konseptoimaan yhtä aikaa alkuperäisen version toimintaan perehtyessä. Suunnittelu aloitettiin määritetyn suunnitteluvaruuden rajoissa ja alkuperäisen mekanismin ohjaamana.

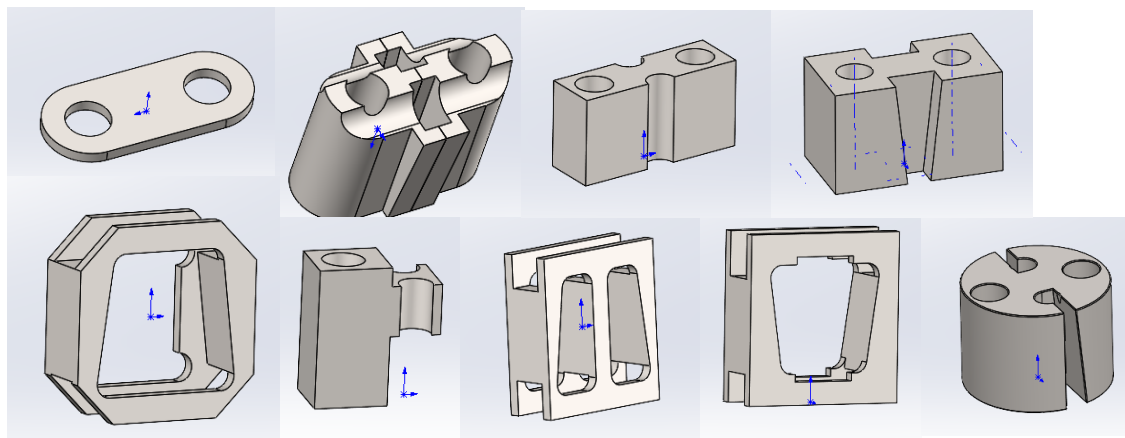
Kiilapesä ja kiila kulkivat suunnittelun osalta rinnakkain, toisen vaikuttaessa oleellisesti toiseen, joten niitä käsiteltiin kokonaisuutena. Määrittelyehdot niille olivat, että kiilojen ja kiilapesän muodostama kokonaisuus täytyi saada asetettua olemassa olevaan U-pulttiin, ja vaijerit tuli saada lukittua siten, että ne kestävät 506 kN suuruisen vetokuormituksen. Lisäksi kiilan määrittelynä oli, että siinä tuli olla mekanismi, jolla vaijerin kiinnitys varmistetaan kiilaan.

Valmistusmyötäisen suunnittelun ollessa näkökulmana, tuli suunnittelussa huomioida alusta asti myös valmiiden osien valmistusmenetelmät ja aihiot, joista osat tehdään. Vaihtoehtoja valmistusmenetelmiksi olivat yleiset, konepajoissa käytetyt lastuavat menetelmät, joista erityisesti sorvaus ja jyr-sintä. Aihion osalta vaihtoehtoja olivat standardien mukaiset aihiotyypit, kuten takeet, kuumavalssatut kvarttolevyt, sekä latta- ja pyörötangot. Oleellinen näkökohta oli, että löydettäisiin mahdollisimman tarkoituksenmukainen aihio, jotta selvittäisiin mahdollisimman vähällä materiaalinpoistolla sekä työvaiheilla ja koneajalla.

Konseptia hakiessa lähdettiin osia luonnostelemaan melko lailla massasta välittämättä, sen ollessa toiminnan kannalta merkityksetön tekijä tuotteessa, vaikkakin lopullisessa versiossa sen merkitys

kustannuksiin ja kokoonpantavuuteen on huomattava. Tarkempia vaatimuksia kiilapesän tai kiilojen vaaditulle lujuudelle ei teknisessä määrittelyssä annettu, joten alkuperäisen tuotteen ainevahvuudet toimivat ohjaavina tekijöinä tämän projektin käsittelemässä, ensimmäisessä kehitysvaiheessa.

Kuvassa 10 näkyy konseptin eri luonnoksia, kuten kahdesta tai kolmesta osasta kiilapesän valmistamista ja kiilan integroimista kiilapesään, osien määrän vähentämistä tavoitellessa. Vasen ylälaita kuvastaa suunnitteluavaruutta ilman mekanismia, eli yksinkertainen terminen leike, joka saadaan asennettua U-pulttiin.



KUVA 10. Koontikuva eri konseptiajatuksista (Lipponen 2021)

Koneistuksen näkökulmasta versioissa oli merkittäviäkin eroja. Ammattitaitoon perustuvan arvon mukaisesti kokonaisuus saatiin tässä kohtaa parhaimmillaan koneistettua kahdessa työvaiheessa, kun pahimmillaan vaiheita oli jopa viisi.

Suunnittelussa pidettiin kuitenkin mielessä kokonaiskuva, eikä ylikorostettu mitään yksittäistä tekijää. Jos esimerkiksi jollain versiolla valmistusaika olisi suurempi kuin toisella, mutta sillä saataisiin vähennettyä osien kokonaismäärää, se priorisoitiin edelle.

Lopullinen vertailu tehtiin kolmen eri konseptin välillä:

- Versio A – kaksi erillistä kiilaa, pyörähdyssymmetrinen kiilapesä, jossa kiilojen paikat ovat ulkoa päin jrsittävät
- Versio B – kaksi erillistä kiilaa, ja prismaattinen kiilapesä, jossa kiilojen paikat ovat ulkoa päin jrsittävät
- Versio C – prismaattinen kiilapesä, joka koostuu kahdesta osasta, ja kiilamekanismi on integroitu kiilapesään

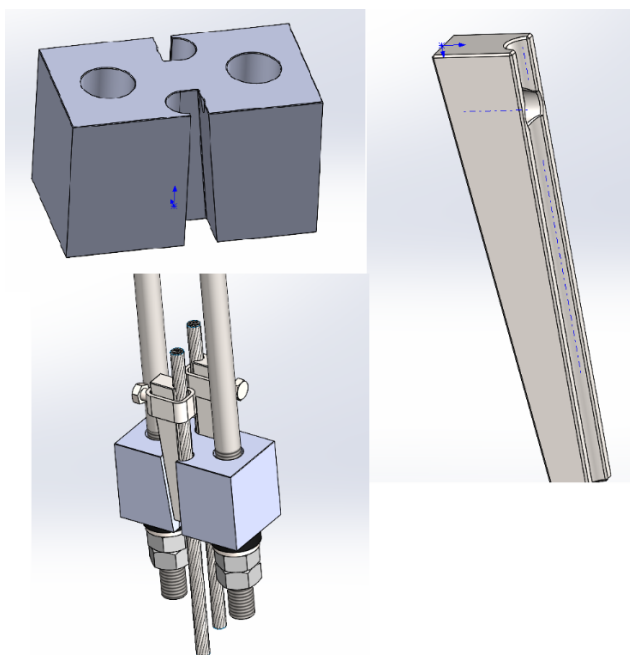
Lopullista konseptia valitessa hyödynnettiin DFMA-periaatteita, ja valinnan perusteeksi vertailtiin eri konseptien hyviä ja huonoja puolia kuvan 11 taulukon mukaisesti. Vertailun perusteella parhaiten asetetut määreet täyttäväksi konseptiksi valikoitui kuvassa 12 näkyvä versio B.

| Versio A  | Versio B   | Versio C  |
|---|--|---|
| + Materiaalinkäytön vähäinen tarve                            | + Voidaan hyödyntää tehokkaita valmistusmenetelmiä     | + Vähempi osien määrä koska erillisille kiiloille ei tarvetta     |
| + Pyöroaihioiden hyvä saatavuus                               | + Helppo kiinnittää tavallisiin koneistuskiinnittimiin | + Kevyt lopputuote  |
| + Valmistus yhdessä vaiheessa jyrsimällä                      | + Valmistus yhdessä vaiheessa jyrsimällä               | - Mekanismin toimivuus ja tuotteen mekaaninen kestävyys epävarmaa |
| - Materiaalia poistettava runsaasti koneistamalla             | + Yksinkertainen asennettavuus                         | - Suurin määrä koneistamalla poistettavaa materiaalia             |
| - Tuote hankalasti asennettava                                | - Painava lopputuote                                   | - Tarve koneistaa sisäpuolisia muotoja, ja suuri määrä vaiheita   |
| - Hankalasti kiinnitettävä tavallisiin koneistuskiinnittimiin | - Kalliit aihokustannukset                             | - Tuote hankalasti asennettava                                    |

Kuva 11. Vertailutaulukko kolmen eri konseptin välillä (Lipponen 2021)

Siirtämällä kiilassa oleva vaijerin ura suoralle pinnalle, vastoin alkuperäisen version vinossa pinnassa olevaa ratkaisua, saatiin koneistuksen näkökulmasta yksinkertaistettua myös kiilapesältä vaadittuja muotoja. Käytettävät työstömenetelmät olisivat jyrsintä ja poraus.

Kyseisessä konseptissa kiilapesän sivu jätettiin avoimeksi, jotta kiilamainen muoto saadaan koneistettua tehokkailla, dynaamisilla jyrsintämenetelmillä, joissa voidaan hyödyntää työkalun koko leikkaavaa pituutta, ja jouhevia työstöliikkeitä (Camcut 2022).



KUVA 12. Toimivan konseptin löytäminen (Lipponen 2021)

Vaijerin kiilaan kiinnittymisen varmistuksen osalta pysyttiin alkuperäisessä mekanismissa, mutta pultti muutettiin kiilaan pohjaavaksi, jolloin vaijerin vastinpinnaksi saatiin pulttia parempi ratkaisu.

Valitun konseptin ensimmäisessä versiossa vaijerin vastinpintana toimi RHS-putkesta sahattu ja kier- teitetty osa. Valmistettavuuden näkökulmasta viisain vaihtoehto vaijerin varmistamiseksi kiilaan oli etsiä tarkoituksenmukainen standardikomponentti, sillä kyseisen toiminnallisuuden integrointi alku- peräisen version tapaan koneistamalla valmistettuun kiilaan nostaisi materiaali-, sekä valmistuskus- tannuksia merkittävästi ja olisi ollut haastava toteuttaa.

Toimivan konseptin löydyttyä, oli seuraava keskeinen suunnittelunäkökohta ylimääräisen massan karsiminen. Kyseisen tuotteen mittaluokasta johtuen, muodostivat materiaalikustannukset suuren osan lopullisen tuotteen valmistuskustannuksista. Ensimmäisen suunnittelun version materiaalikus- tannusten osuus lähenteli jo alkuperäisen tuotteen kokonaisvalmistuskustannuksia, joten ylimääräi- sen massan karsiminen oli keskeisessä osassa suunnittelua, unohtamatta poistettavan materiaalin määrän minimoimista. Tuotteen vertailtava massa, eli massa ilman U-pulttia tarvikkeineen oli tässä kohtaa n. 18 kg.

Toiminnallisten geometrioiden optimointi ja mittatoleranssien tarkentaminen suunniteltiin toteutetta- vaksi prototyyppien valmistuksen ja kuormitustestauksen tulosten perusteella, sillä malli vaijereineen oli erittäin haastava simuloitava elementtimenetelmää (FEM) hyödyntämällä. Kiilapesän geometrian karkea jatko-optimointi suunniteltiin tehtäväksi aihion valinnan yhteydessä.

#### 6.1.6 Aihoiden optimointi ja valinta

Seuraavaksi tuli eteen aihoiden optimointi ja valinta, mutta ennen sitä selvitettävänä työnä oli osan mahdollinen valmistettavuus takeena, tai taeaihioiden käyttö. Palveluntarjoajilta kyselyjen jälkeen tuli kuitenkin ilmi, että perusteltavissa olevilla muutoksilla valittu konsepti ei soveltuisi tehtäväksi ta- keena, eikä sitä tutkintalinjaa olisi järkevä enää edistää tämän projektin kohdalla. Taeaihioistakaan ei olisi perustavanlaatuisia hyötyjä saatu, sillä massan tai muotojen optimointia ei kyseisille osille ollut takeena mahdollista kovin suuresti tehdä. Aihoiden valinnassa keskityttiin siis standardienmu- kaisiin vaihtoehtoihin.

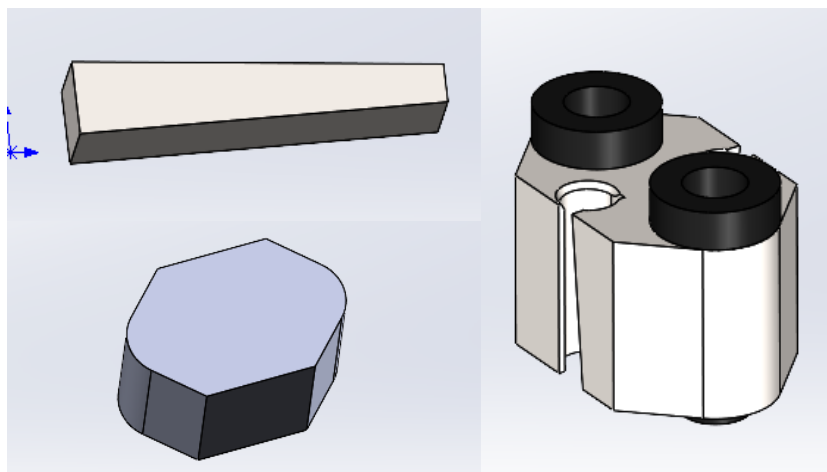
Kiilan osalta aihiovaihtoehtoja olivat lopullisen osan muotoja mukaileva terminen leike, tai latta-ai- hio. Valmistettavuusnäkökulmaisen pohdinnan, sekä aihiovaihtoehtojen kustannusvertailun tulok- sena kannattavimmaksi vaihtoehdoksi muodostui muotoja mukaileva terminen leike. Vaikka latta- aihion materiaalikustannukset olivat halvimmassa tapauksessa noin puolet termisen leikkeen vastaa- vista, olivat absoluuttiset summat kuitenkin sen verran pieniä, että suuremman materiaalmäärän poistaminen latta-aihiosta nostaisi työstökustannuksien myötä aihiot saman hintaiseksi. Järkevällä kiinnitinsuunnittelulla onnistuisi koneistus molemmilla vaihtoehdoilla tehokkaasti.

Kiilapesän osalta aihiovaihtoehtoja olivat alkuvaiheessa latta-aihiot, termiset leikkeet ja neliötangot. Sopivan ja kustannustehokkaan aihion etsintä osoittautui haasteelliseksi, sillä aihion paksuus asetti rajoja sen ylittäessä monien terästoimittajien katalogissa ilmoitetut vaihtoehdot latta-aihioiden osalta. Neliötankoa katalogeista löytyi, mutta kustannustehokasta vaihtoehtoa, jonka sisälle kiilapesä mahtuisi, ja jossa poistettavaa materiaalia ei jäisi kohtuuttoman paljon taas ei löytynyt.

Selvitystyön ja vertailun jälkeen päädyttiin termiseen leikkeeseen myös kiilapesän osalta. Saatavuus, ja siten toimitusvarmuus oli vaihtoehtoista parhain, vaikka yksittäisen aihion kustannukset nousivatkin leikkaukseen kuluvaan ajan seurauksena.

Samalla, kun aihiovaihtoehtoja mietittiin, tarkennettiin myös kiilapesän geometriaa valmiin mallin osalta. Ulkomuodosta haluttiin karsia kaikki ylimääräinen massa pois, sillä teknisten määreiden edellyttämiin lujuusvaatimuksiin nähden geometria oli reilusti alkuperäistä versiota kestävämpi, ja massaa oli alkuperäiseen versioon nähden runsaasti.

Massan optimoimiseksi ei ollut ulkomuotojen geometrian puolesta paljoa tehtävissä, sillä muovisten eristehylsyjen haluttiin visuaalisista syistä asettuvan kiilapesän ulkomuotojen tasalle, ja leveyssuuntaa ei ollut mahdollista kaventaa ilman kokoonpantavuuden merkittävää heikkenemistä. Aihion kokonaispaksuuden optimointi oli tarkoitus toteuttaa prototyyppien kuormitustestausten tulosten perusteella. Lopullisten aihioden muodot, sekä eristehylsyjen istuvuus ilmenevät kuvasta 13.



KUVA 13. Lopulliset aihiot ja eristehylsyjen istuvuus (Lipponen 2022)

Aihioden valinta ja optimointi on vaihe, jossa ei varsinkaan suuren volyymin lopputuotteiden kehityksessä kannata oikaista, sillä kaikki ylimääräinen massa voi aiheuttaa mm. volyymin aiheuttamien kerrannaisvaikutusten seurauksena vuositasolla todella huomattavan eron kustannuksissa niin materiaali-, kuin sinkityskustannustenkin (€/kg) myötä.

Esimerkiksi tässä projektissa käsiteltävän tuotteen kohdalla 10 mm kiilapesän aihion kokonaispaksuudesta merkittiin 15 % muutosta pelkästään aihion materiaalikustannuksissa. Kyseisen tuotteen kohdalla, jossa materiaalikustannukset muodostavat suuren osan lopullisen tuotteen tuotantokustannuksista, oli tavoitehinnan saavuttamisen kannalta erittäin tärkeää löytää optimaaliset aihiot. Oli myös muistettava, että kokoonpanon lopullisen massan tulee olla sellainen, että asennus onnistuu ihmiseltä kenttäolosuhteissa ilman nostoapuvälineitä, eli jokainen säästetty kilo helpottaisi myös käsiteltävyyttä.

Aihioden muotojen ja mittojen löytymisen jälkeen kilpailutettiin palveluntarjoajilta pienehkö koe-erä kiila-, ja kiilapesäaihiosta, prototyyppien valmistusta varten. Lisäksi pyydettiin tarjoukset isommille tuotantoerille kustannustason selvittämiseksi. Kuvassa 14 näkyvä koe-erä molempia aihioita, sekä

prototyypit U-pultin tukikappaleista tilattiin, ja siirryttiin kiilapesien ja kiilojen prototyyppien valmistukseen sekä kuormitustestaukseen, jonka perusteella oli tarkoitus tarkentaa toiminnalliset mitat sekä mittatoleranssit tuotteen toiminnallisuuden varmistamiseksi.



KUVA 14. Saapuneet aihiot (Lipponen 2021)

## 6.2 Prototyyppien valmistusmenetelmät ja -vaiheet

Tässä työssä sovellettujen prototyyppien luokittelu oli luvussa 3.3 mainitun, Ulrichin, Eppingerin & Yangin kirjan (2020, 300) mukaisesti fyysinen ja kokonaisvaltainen, sillä prototyyppien ja niiden valmistuksen tarkoituksena oli mm. todentaa suunnitellun konseptin toimivuus, edustaa lopullista tuotetta asiakkaan kanssa käytyjä keskusteluja varten, ja palvella valmistettavuuden tarkempaa arviointia ja kehitystä.

Kiilojen sekä kiilapesän valmistus tapahtui Savonian konetekniikan laboratoriotiloissa, koneistuslaboratoriossa, koneistamalla ne pystykaraisella työstökeskuksella (Haas VF-2YT), jonka teholuokka oli erityisesti kiilapesän kohdalla valituille menetelmille riittämätön, mikä ilmeni valmistuksen aikaisina haasteina.

Lopullisten tuotteiden valmistus suunniteltiin alusta saakka tehtäväksi riittävän tehokkaalla vaakakaraisella työstökeskuksella, jolla kiilapesä saadaan koneistettua valmiiksi yhdessä-, ja kiilat kahdessa vaiheessa. Lisäksi vaakakaraisella työstökeskuksella saadaan koneistettua useampi kappale kerralla, joka parantaa kustannustehokkuutta vähentämällä asetustyöhön kuluva aikaa.

Kappaleiden kiinnittämisessä hyödynnettiin matalakiinnittimistä koostettua, modulaarista kiinnitysjärjestelmää sen joustavuuden vuoksi, jolloin vältyttiin kappalekohtaisten-, tai erikoiskiinnittimien suunnittelulta ja valmistukselta. Työstöohjelmat luotiin Mastercam-ohjelmistolla, joka on maailman suosituin työstökoneiden ohjaamiseen tarkoitettu CAM-ohjelmisto (Zenex Computing Oy 2022).

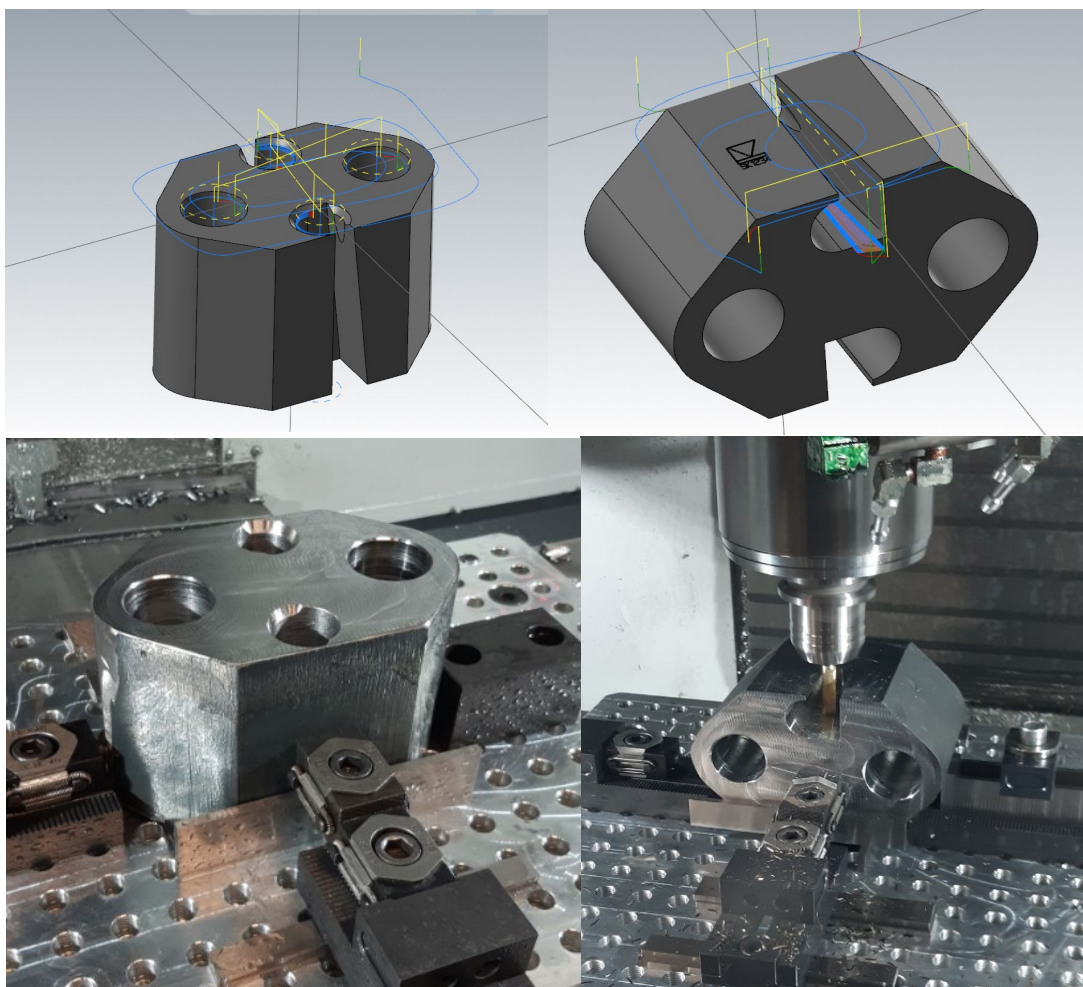
### 6.2.1 Kiilapesän koneistus

Kiilapesän koneistuksessa vaiheita oli 3 kpl. Ensimmäisessä vaiheessa kiilapesästä tasattiin yläpinta dynaamisella työstöradalla, sekä porattiin reiät U-pultille sekä kiilojen paikoille. Toisessa vaiheessa



Kiilapesä käännettiin kiinnittimessä sivupinta pohjaa vasten, ja koneistettiin kiilamainen muoto sivusta dynaamisella työstöradalla, sekä kaiverrettiin toimeksiantajan edellyttämät valmistajan, sekä tuotteen tunnukset sivupintaan. Vaihe 3 on kaiveruksia lukuun ottamatta sama kuin vaihe 2, mutta kappaleen vastakkaiselle puolelle. Vaiheet ilmenevät kuvasta 15.

Kiilapesän valmistaminen useammassa vaiheessa on toiminnallisuuden / valmistusteknisten haasteiden kannalta ongelmallista. Useassa vaiheessa tehtynä eri vaiheissa koneistettujen piirteiden, kuten päältä porattujen reikien ja sivusta koneistetun kiilan muodon tarkka yhteensovittaminen on käytännössä mahdotonta, jolloin syntyy toimintaan ja erityisesti tolerointiin vaikuttavia portaita. Prototyyppien osalta koneistuksissa onnistuttiin pystykaraisella työstökeskuksella kuitenkin tyydyttävästi.



KUVA 15. Kiilapesän koneistuksen vaiheet (Lipponen 2021)

### 6.2.2 Kiilan koneistus

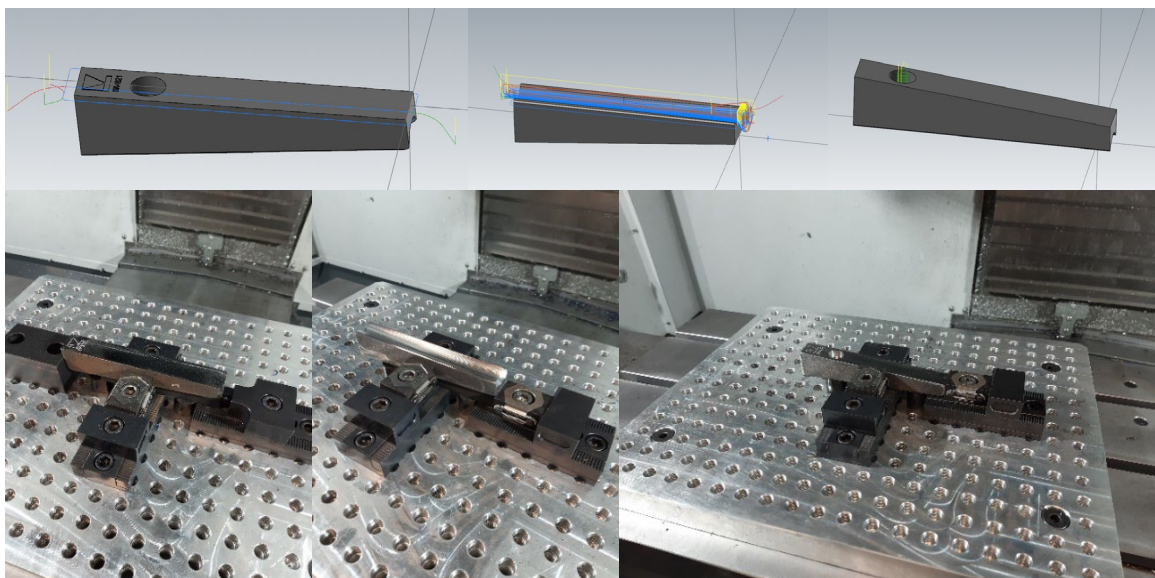
Kiilan koneistus suoritettiin prototyyppien osalta kolmessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa tasoitettiin kiilan liukupinta, sekä kaiverrettiin valmistajan tunnus. Toisen vaiheen koneistuksina tehtiin kiilan urapuoli kokonaisuudessaan, avaamalla ura umpiaineeseen ja rouhimalla karkea muoto uralle nurkkapyörityksellä varustetulla 10 mm varsijyrsimellä. Uran muoto viimeisteltiin D14 pallopäisellä varsijyrsimellä.

Kahta ensimmäistä koneistusvaihetta varten täytyi suunnitella kuvassa 16 näkyvä, Savonian Mark-forged Mark Two – 3D-tulostimella tulostettu vaste, jonka materiaalina käytettiin hiilikuituvahvisteista Onyx -komposiittifilamenttia, sen mekaanisten ominaisuuksien ollessa jonkin verran nylonia paremmat (Markforged 2021). Vasteen avulla kiila saatiin kiinnitettyä haluttuun astekulmaan koneistuksen ajaksi.



KUVA 16. 3D-tulostettu vaste (Lipponen 2021)

Kolmannessa vaiheessa kiila käännettiin jälleen ympäri, mutta tällä kertaa samansuuntaisesti kiilan urapuolen kanssa. Kolmannessa vaiheessa koneistettiin reikä vaijerin kiristyskappaletta varten. Kaikki kiilan valmistamisen vaiheet ilmenevät kuvasta 17. Kiilan prototyyppien valmistuksessa haasteita aiheutti työvarojen vähäisyys. Lopullisia tuotteita varten päätettiin aihioon lisätä työvaroja työstettäville pinnoille.



KUVA 17. Kiilan koneistuksen vaiheet (Lipponen 2021)

### 6.3 Prototyyppien kuormitustestaus

Valmistuksen lisäksi myös kaikki kuormitustestit suoritettiin Savonian konetekniikan laboratoriotiloissa. Testit suoritettiin standardin SFS-ISO EN 6892-1 -mukaisella staattisella kokeella Savonian kalibroidulla walter+bai ag -dynaamisella kuormituskehällä, jonka kuormituksen yläraja on 500 kN. Testituloksia ei voi suoraan verrata SVK:n määrittelyssä vaadittuun tulokseen, sillä käytetty testausympäristö ei täyttänyt vaadittuja, virallisia määreitä, eikä Savoniolla myöskään ole akkreditoitun

testauslaitoksen leimaa, jolloin tuloksista ei ole oikeuksia myöntää virallista sertifikaattia. Mainitut asiat huomioiden, testitulokset huomioitiin suuntaa-antavasti, ja niitä hyödynnettiin toiminnallisten muotojen kehityksessä referenssiarvoina.

Prototyyppien kuormitustestaukseen siirtymisen myötä projektissa edettiin luvun 4.1 alussa kuvattuun, testaus-, ja parannusvaiheeseen, jossa saadun konseptin mukaisesti valmistettujen prototyyppien kuormitustestien tulosten perusteella kehitettiin tuotteen geometriaa, ja määritettiin soveltuvia mittatoleransseja toiminnallisuuden edistämiseksi.

Tuotetta edustavia prototyyppinä valmistettiin useita eri versioita, joiden testitulosten ja valmistuksen aikana saatujen havaintojen perusteella osien mitoitus ja tolerointi haettiin niin lähelle lopullista tuotetta, kuin käytössä olevilla puitteilla oli mahdollista. Erityisesti kiilan uran mitoitus, tolerointi ja geometria vaativat useiden prototyyppien valmistusta ja niiden testausta. Tässä kappaleessa on kuvattu yleisesti prototyyppien kuormitustestauksessa käytetyt testausolosuhteet, ja -menetelmät.

### 6.3.1 Kuormitustestauksen valmistelut ja ensimmäiset kuormituskokeet

Ensimmäisiä kuormituskokeita varten rakennettiin testipenkki, jossa alkuperäistä ja uutta kiilakiristintä testataan erikseen. Ensin testattiin alkuperäinen versio, jotta siitä saatuja tuloksia voitiin käyttää referenssiarvoina uudelle versiolle, konseptin toimivuuden varmistamiseksi. Kuormitustestaus suoritettiin vetämällä staattisella voimalla toisesta päästä U-pulttia, ja toisesta molemmin puolin kiilapesää kiinnittyvää, lenkin muodostavaa vaijeria. Testipenkkiä varten koneistettiin pyörähdyskappale, joka kiinnitettiin kuormituskehän alemman pään leukoihin, vaijerin muodostamaa lenkkiä varten. Testausta varten kasatut uusi ja vanha versio kiilakiristimestä näkyvät kuvassa 18.



KUVA 18. Testejä varten kasatut kiristimet (Lipponen 2021)

Ennen testejä käännettiin kuormituskehän alempi, kiinteä pää 90 astetta kiertoakselin ympäri, kiinnityspisteiden vastaavan kulma-eron vuoksi. Yläpuolen, eli liikkuvan pään kiinnittimeksi päädyttiin laittamaan kuvassa 19 näkyvä välikappale, ettei sormia tarvinnut laittaa puristuvien leukojen lähelle testipenkkiä kasatessa.



KUVA 19. Uusi ja vanha kiilakiristin kuormituskehässä (Lipponen 2021)

Ensimmäisten testien perusteella todettiin, että laadittu testipenkki ei soveltunut sellaisenaan testaukseen, sillä kiristimiä kasatessa jouduttiin taivuttamaan vaijeri voimaa käyttäen pienisäteiselle lenkille, jolloin vaijeriin pääsi syntymään siihen heikentävästi vaikuttava, paikallinen jännitystilä, tehden siitä alttiimman ennenaikaiselle murtumiselle varsinaisessa kuormitustestissä. Alkuperäisen version vaijerin luistamisen ehkäisemiseksi laadittiin prototyyppiä varten kuvassa 20 näkyvä, omavalmisteinen kiristysmekanismi tankotavarana saatavasta, sopivan kokoisesta putkiaihioista.

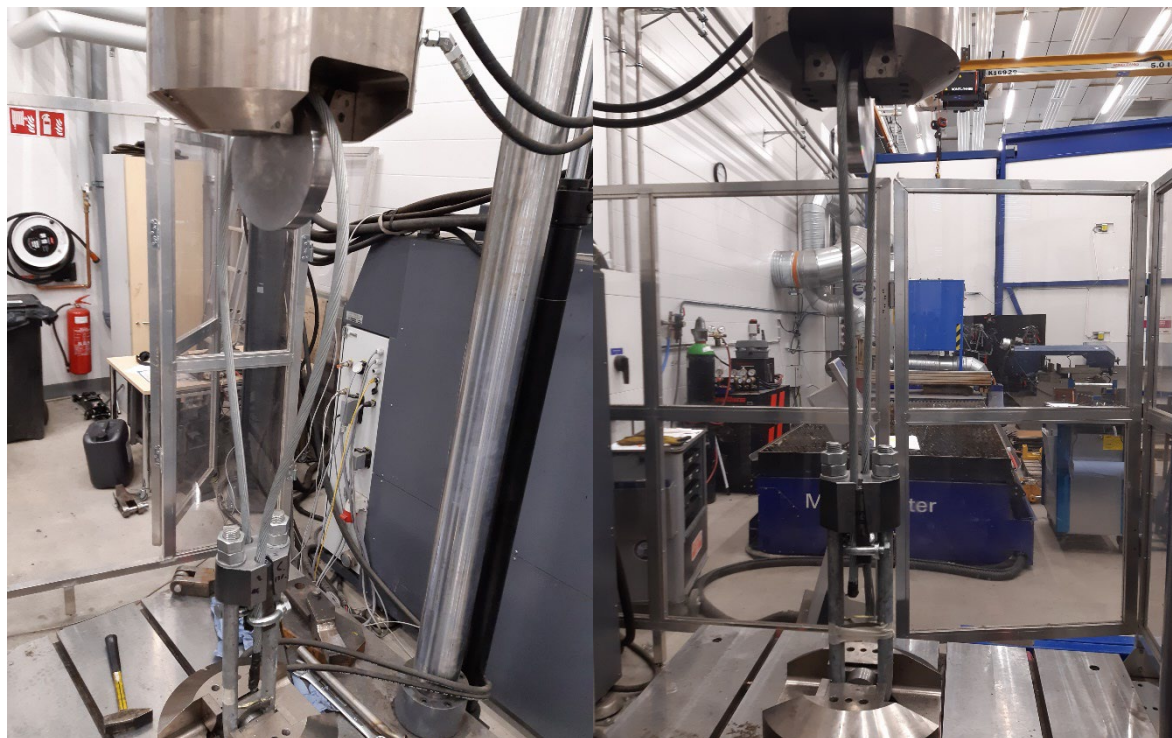


KUVA 20. Teräsversio kuormituskehässä lukitusmekanismin kanssa (Lipponen 2021)

### 6.3.2 Lopulliset kuormitustestit

Ensimmäisten testien johtopäätösten perusteella testausolosuhteita muutettiin siten, että vaijeri mahtui tekemään loivemman lenkin. Tämä toteutettiin koneistamalla suurempi pyörähdyskappale, jonka ympäri vaijeri kiertää, ja pidentämällä kuormituskehän testausväliä äärimmilleen, jolloin voitiin hyödyntää pisintä mahdollista vaijeria.

Kiilakiristimen kiinnitys testauspenkkiin muutettiin kuvan 21 mukaisesti testaustapahtuman helpottamiseksi ylösalaisin ensimmäisiin testeihin verrattuna, eli uudessa testauspenkissä vaijerin muodostama lenkki tuli yläpuoliseen, liikkuvaan leukaan ja U-pultin kiinnitys alapuoliseen, kiinteään leukaan.



KUVA 21. Uusi testauspenkki (Lipponen 2021)

Muutokset toteuttamalla saatiin testattua alkuperäinen versio mahdollisimman luotettavalla tavalla, käytettävät olosuhteet huomioiden, jotta saatiin referenssiarvo uuden version testejä varten. Uudella testauspenkillä toteutettiin useita kuormitustestejä eri versioille uudesta tuotteesta. Kokeellisia menetelmiä tarvittiin, sillä useat muutokset olivat liian pieniä, tai liian haastavasti mallinnettavissa ja simuloitavissa, jotta niiden perusteella saatuihin tuloksiin olisi voinut luottaa ilman niiden konkreettista varmentamista.

Joihinkin suoritetuista testeistä kiilat ja kiilapesät kuumasinkittiin, jotta nähtiin sen aiheuttamat vaikutukset tuloksiin. Lisäksi testien aikana etsittiin standardikomponenteista vaihtoehtoja vaijerin kiilaan lukitsemiselle.

Päätutkimuslinja kiilojen osalta oli uran geometrian, mittojen sekä toleranssien, määrittäminen siten, että tuotteen toiminnallisuutta testaavissa kuormitustesteissä tulokset saataisiin referenssiarvoa paremmaksi ja käyttäytyminen testeissä olisi ennakoitavaa ja simulointimallien mukaista.

Lopulta päästiin tilanteeseen, jossa testauksessa syntyneiden ongelmien juurisyyt saatiin selvitettyä ja ratkaistua uusilla konstruktioilla, jolloin testauksia varten määritetty referenssiarvo kuormitustesteissä saatiin ylitettyä. Kuvassa 22 näkyy eri kiilan uran iteraatioita.



KUVA 22. Kiilan iteraatioita projektin eri vaiheissa (Lipponen 2021)

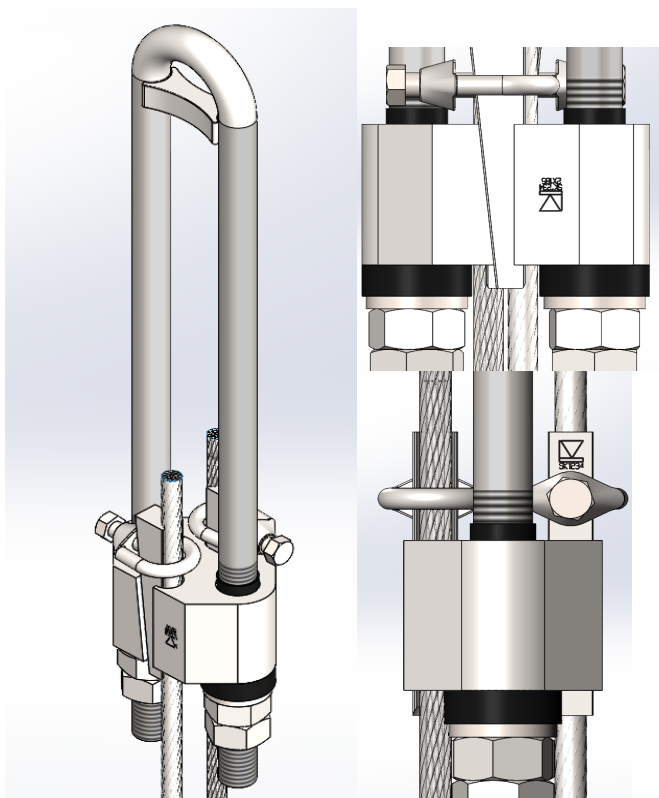
Kiilapesän osalta tärkeintä oli löytää kiilan kanssa muodostetulle toiminnalliselle muodolle toimiva ratkaisu mitoituksen ja toleroinnin osalta, samalla optimoiden materiaalinkäyttö muuttamatta valittua konseptia. Lopullisessa tilanteessa kiilapesän optimoinnilla saavutettiin noin 30 % säästöt pesän materiaalikustannuksissa.

## 7 YHTEENVETO JA JATKOKEHITYSEHDOTUKSET

### 7.1 Tilanne projektin lopussa

Projekti aloitettiin suunnittelemalla vaihtoehtoisia konsepteja, joista päädyttiin kuvan 23 mukaiseen kokoonpanoon, joka koostuu termisesti leikatuista aihioista valmistettuihin kiilapesään, kiiloihin (2 kpl) sekä U-pultin tukikappaleeseen. Näistä kiilapesään, sekä kiiloihin suoritetaan koneistukset, joilla saavutetaan osien toiminnallisuudet. Mainittujen omavalmistekomponenttien lisäksi päädyttiin kiilan vaijeriin lukitsemisen osalta valitsemaan ratkaisuksi standardikomponentteihin kuuluva nostolenkki, jonka läpi menevällä pultilla kiritään vaijeri kiilaan, alkuperäiseen ratkaisuun verrattuna huomattavasti tasaisemmin jakautuneella voimalla. Lopullisen tuotteen vertailtava massa, eli kokoonpanon massa ilman U-pulttia tarvikkeineen oli noin 10 kg.

Tämän opinnäytetyön lopussa oltiin tilanteessa, jossa seuraavana vaiheena on virallisissa, akkreditoituissa testausolosuhteissa suoritettavat testit, jonka jälkeen suositeltu toimenpide on niin sanotun nollasarjan valmistus, josta saatujen tulosten perusteella tuote voidaan jatkojalostaa sarjatuotantoon saatettavaksi.



KUVA 23. 3D-malli valmiista kokoonpanosta (Lipponen 2021)

### 7.2 Jatkokehitysehdotukset valmistuksen osalta

Vaikka prototyypit saatiin valmistettua pystykaraisella työstökeskuksella, ei kappaleessa 4.2 mainittuja menetelmiä voida pitää riittävän tehokkaana sarjatuotantoa ajatellen, vaan sarjatuotannossa tulisi soveltaa vaakakaraista työstökeskusta pystykaraisen sijaan. Vaakakarainen kone mahdollistaa useamman kappaleen koneistamisen valmiiksi samalla kiinnityksellä; kiilapesien osalta yhdessä, ja

kiilojen osalta kahdessa vaiheessa, joka laskee kappalekohtaisia kustannuksia merkittävästi, eliminoiden samalla asetuksien vaihdon mahdollisesti aiheuttamia laatueroja kiilapesän osalta.

#### 7.2.1 Ehdotukset kiilapesän valmistukseen

Kappale sisältää yrityskohtaista tietoa, ja on siksi käsitelty liitteessä 1.

#### 7.2.2 Ehdotukset kiilojen valmistukseen

Kappale sisältää yrityskohtaista tietoa, ja on siksi käsitelty liitteessä 2.

#### 7.3 Muut jatkokehitysehdotukset

Kappale sisältää yrityskohtaista tietoa, ja on siksi käsitelty liitteessä 3.



## 8 POHDINTA

Tämän projektin osalta tavoitteena oli löytää mahdollisimman tuottava ratkaisu alkuperäisen kiilakiristimen osien valmistamiseksi leikkaavilla menetelmillä. Lisäksi saadun ratkaisun tuli olla yhtenevä teknisten vaatimusten, ja toimeksiantajan toiveiden kanssa.

Projektille asetetut tavoitteet voidaan katsoa saavutetuiksi, raportissa mainitut reunaehdot huomioiden. Tavoitteista ainoastaan alun perin suunniteltu aikataulu ei pitänyt. Työn tuloksina saatiin sertifioituja testauksia vaille valmis ratkaisu projektin kohteena olevan tuotteen osien valmistamiseksi leikkaavilla menetelmillä, tavoitteiden mukaisesti. Lisäksi toimeksiantajalle saatiin tuotettua tarvittava dokumentaatio osien valmistukseen saattamisen, ja lopullisten hienosäädön tueksi.

Työn resursoinnin suunnittelun osalta alkuperäinen arvio osoittautui erittäin tarkaksi, johon voidaan olla tyytyväisiä. Lopulliset työn tulokset ja projektiin liittyvät jatkosuunnitelmat selkiytyvät tämän opinnäytteen valmistumisen jälkeen, joten lopullista arviota työstä kokonaisuutena on tässä kohtaa haastavaa tehdä. Tämän raportin puitteissa saatiin kuitenkin tuotettua nykytietoon ja projektin läpiviennistä saatuun kokemukseen perustuvat jatkokehitysehdotukset.

Työn suorittaminen on ollut paikoin haastavaa, mutta erittäin mielenkiintoista ja ammatillista kehittämistäni ja työtehtäviäni tukevaa. Vastaavanlaisen projektin suorittamisesta tässä mittakaavassa minulla ei ollut aiempaa kokemusta, joten projektin läpiviemisestä sai runsaasti kokemusta tulevia haasteita varten. Projektin suorittamisen aikana olen saanut perehtyä tuotesuunnittelun eri osa-alueisiin, sekä sitä koskevaan tutkimukseen ja kirjallisuuteen. Perehtymisen seurauksena oma ymmärrykseni eri suunnittelumenetelmistä ja -periaatteista kehittyi, ja niiden erot sekä sovelluskohteet selkiytyivät. Erityisesti olen saanut oppia DFMA-suunnitteluperiaatteiden käytäntöön soveltamisesta, sekä suunnittelun ja tuotannon yhdistämisestä.

Vaikka projektin kohteena olevat tuotteet voivat vaikuttaa yksinkertaisilta, olen saanut huomata projektin edetessä miten pienet ja yksinkertaiseltakin vaikuttavat asiat voivat vaatia todella paljon käytännön kokeilua ja todentamista. Olen myös huomannut, miten pienetkin muutokset voivat vaikuttaa toiminnallisuuteen ja sitä kautta kokonaisuuteen merkittäväällä tavalla. Tämän kaltaista oppia ei mielestäni mistään teoreettisesta mallista tai lähdeaineistosta luettuna voi sisäistää ilman käytännön kokemusta.

Projektiä on edistetty ensisijaisesti tosielämän tilanteen ja muuttuvien prioriteettien mukaisesti lopulliseen ratkaisuun ja tavoitteisiin tähdäten, suunnitteluperiaatteiden kulkiessa mukana soveltavassa roolissa. Ilman soveltavaa otetta, ei tämän projektin teknis-taloudellisia tavoitteita olisi voitu saavuttaa.

Jatkossa vastaavantyyppisiä projekteja varten täytyy varsinkin aikataululliseen suunnitteluun tuoda lisää realismia, ja tiivistää edelleen eri osapuolien välistä yhteistyötä ja selkeyttää vastuualueiden jakoa. Tästä(kin) projektista saatujen, käytännönläheisten ja tosielämää huomioivien näkökohtien huomiointia ei voi liiaksi korostaa, joten niiden mielessä pitäminen toiminee jatkossakin.

## LÄHTEET

ASSDA 2005. Recycling. Verkkoartikkeli. Saatavissa: <https://www.assda.asn.au/technical-info/environment-health-and-safety/recycling> Viitattu 4.1.2022

Calbrite Industries® 2018. Is Stainless Steel Recyclable? Verkkoartikkeli. Saatavissa: <https://www.calbrite.com/articles/shop-talk/stainless-steel-recyclable/> Viitattu 4.1.2022

Camcut Oy 2022. Mastercam dynaaminen jyrsintä. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.camcut.fi/tuki/ohjeet/mastercam-dynaaminen-jyrsinta/> viitattu 4.1.2022

Euro Inox, 2011. Ruostumattomat teräkset kosketuksissa muiden metallisten materiaalien kanssa. Verkkojulkaisu. Saatavissa: [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/Contact\\_with\\_Other\\_FI.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Contact_with_Other_FI.pdf) Viitattu 11.2.2021

Eurolaite Oy 2019. Harustarvikkeet. Verkkodokumentti. Saatavissa: [https://www.eurolaite.fi/wp-content/uploads/2020/12/mittakuva\\_Harustarvikkeet\\_2019.pdf](https://www.eurolaite.fi/wp-content/uploads/2020/12/mittakuva_Harustarvikkeet_2019.pdf) Viitattu 4.1.2022

Eurolaite Oy 2021. Eurolaite Oy – Kestävä kehitys. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.eurolaite.fi/eurolaite/kestava-kehitys/> Viitattu 31.12.2021

Eurolaite Oy 2021. Eurolaite Oy – Sähkötekniikan asiantuntija. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.eurolaite.fi/eurolaite/> Viitattu 31.12.2021

Finder Oy 2021. Eurolaite Oy yritystiedot. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.finder.fi/Energiatuotannon+laitteet/Eurolaite+Oy/Espoo/yhteystiedot/132659> Viitattu 31.12.2021

Hietikko, Esa 2021. Tuotekehitystoiminta. 4. painos. Helsinki: BoD -Books on Demand.

Jahanshahi, S, Norgate, T.E, Rankin, W.J, 2007. Assessing the environmental impact of metal production processes. ScienceDirect. Tutkimusraportti. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652606002320> Viitattu 9.2.2021

Jokinen, Tapani 2001. Tuotekehitys. 6. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Lempiäinen, Juhani & Savolainen, Jari 2003. Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu. Helsinki: Hakapaino Oy.

Lipponen, Jari 2021. 3D-tulostettujen metalliosien tulostusprosessin simulointi. Blogi. Saatavissa: <https://blogi.savonia.fi/3dtulostus/2021/05/14/3d-tulostettujen-metalliosien-tulostusprosessin-simulointi/> Viitattu 12.1.2022

Maaranen, Keijo 2012. Koneistus. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Markforged 2021. Material datasheet – Composites. Verkkodokumentti. Saatavissa: <http://static.markforged.com/downloads/composites-data-sheet.pdf> Viitattu 5.1.2022

Outokumpu 2021. Verkkoartikkeli. Saatavissa: <https://www.outokumpu.com/fi-fi/expertise/2020/comparing-carbon-footprints-how-to-avoid-the-pitfalls> Viitattu 9.2.2021

Outokumpu 2022. Verkkoartikkeli. Saatavissa: <https://www.outokumpu.com/fi-fi/sustainability/environment/circular-economy/stainless-steel-life-cycle> Viitattu 4.1.2022

Salmi, Tapio 2005. Statiikka. 3. painos. Tampere: Pressus Oy.

Svenska Kraftnät 2020. Overhead transmission lines - Wedged guy wire anchor tighteners for guyed supports. Verkkodokumentti. Saatavissa: <https://www.svk.se/siteassets/4.aktorsportalen/nat-verksamhet/tekniska-riktlinjer/tr05/tr05-14e---wedged-guy-wire-anchor-tighteners-for-guyed-supports-revision-2.pdf> Viitattu 31.12.2021

Tiihonen, Kalevi 2020. Alkuperäinen kiilakiristinkokoonpano. Valokuva.

Tiihonen, Kalevi 2021. Alkuperäinen kiristin asennettuna. Valokuva.

Työsuojeluhallinto 2020. Nostot käsin. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/fyysinen-kuormitus/nostot-kasin> Viitattu 5.1.2022

Työturvallisuuskeskus julkaisuaika tuntematon. Fyysiset kuormitustekijät. Verkkosivu. Saatavissa: [https://ttk.fi/tyoturvaluus\\_ja\\_tyosuojelu/tyoturvaluuden\\_perusteet/tyoymparisto/fyysiset\\_kuormitustekijät](https://ttk.fi/tyoturvaluus_ja_tyosuojelu/tyoturvaluuden_perusteet/tyoymparisto/fyysiset_kuormitustekijät) Viitattu 5.1.2022

Ulrich, Karl T, Eppinger, Steven D, Yang, Maria C 2020. Product Design and Development. 7. painos. New York: McGraw-Hill Education.

Zenex Computing Oy 2022. Mastercam.fi-verkkosivut. Verkkosivu. Saatavissa: <https://mastercam.fi/> Viitattu 5.1.2022

**LIITE 1: EHDOTELMA KIILAPESÄN VALMISTAMISEKSI**

Poistettu julkisesta versiosta.

LIITE 2: EHDOTELMA KIILOJEN VALMISTAMISEKSI

Poistettu julkisesta versiosta.

## LIITE 3: MUUT JATKOKEHITYSEHDOTUKSET

Poistettu julkisesta versiosta.