



# jamk

## Filamentin puolauskoneen rakenne- suunnittelu

Niilo Janhunen

Opinnäytetyö, AMK

Huhtikuu 2024

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

**Janhunen, Niilo**

## **Filamentin puolaukoneen rakennesuunnittelu**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Huhtikuu 2024, 47 sivua

Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Opinnäytetyö tehtiin Saarijärvellä toimivalle Inweb Oy:lle. Tavoitteena oli kehittää yrityksen filamentin tuotantolinjalle käytössä olevalle filamentin puolaukoneelle korvaaja, joka kykenee aiempaa nopeampaan tuotantotahtiin, sekä laadukkaampaan puolausjälkeen.

Opinnäytetyö toteutettiin koneensuunnitteluprojektina, jonka ohjenuorana oli VDI 2221 systemaattisen koneensuunnittelun standardi. Työn alussa kehitettävälle kohteelle määriteltiin vaatimukset, joiden pohjalta suunnittelutyö eteni. Koneelle tehtiin toimintorakenne ja toimintojen toteuttamiselle määritettiin ratkaisumenetelmät. Sopivien ratkaisujen löytyttyä toiminnot jaettiin toteuttamiskelpoisiin moduuleihin, joiden perusteella koneelle suunniteltiin layout. Lopuksi koneesta tehtiin yksityiskohtainen 3D-malli CAD-suunnitteluohjelmalla.

Opinnäytetyön konkreettisina tuloksina syntyi filamentin puolaukoneen 3D-malli, osaluettelot ja kokoonpanopiirustukset. Suunnittelutyö tuotti toteuttamiskelpoisen rakenteen uudelle filamentin puolaukoneelle, jonka toimeksiantaja voi rakentaa ja ottaa käyttöön tuotannossaan parantaakseen filamentin tuotannon läpimenoaikaa ja laatua. Uusi puolaukone mitoitettiin puolaamaan filamenttia kelalle nopeammin ja tasaisemmillä kierroksilla vanhaan laitteeseen verrattuna. Lisäksi koneen rakenne ja käytetyt komponentit mahdollistavat uusien käyttöä helpottavien toimintojen lisäämisen.

Koneen rakentaminen jäi suunnitellusti toimeksiantajayrityksen vastuulle ja tuotekehitysprojekteille tyypilliseen tapaan koneessa saattaa ilmetä vielä prototyypin valmistamisen jälkeisiä kehitystarpeita. Opinnäytetyössä saavutettiin kuitenkin sille alussa määritellyt tavoitteet ja projektia voidaan pitää onnistuneena.

### **Avainsanat (asiasanat)**

tuotekehitys, koneensuunnittelu, 3D-tulostus, mekaniikka, konepiirustus, konseptisuunnittelu

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

Liitteet 1–16 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on Julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 21, teknologista taikka muuta kehittämistyötä ja niiden arviointia koskevat tiedot. Salassapitoaika on kymmenen (10) vuotta, salassapito päättyy 27.11.2033.

**Janhunen, Niilo**

### **Mechanical design of a filament spooler**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, April 2024, 47 pages

Degree Programme in Mechanical Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

The thesis was conducted for Inweb Oy, operating in Saarijärvi. The objective was to develop a replacement for the filament spooling machine currently used in the company's filament production line, capable of achieving a faster production pace and higher winding quality.

The thesis was carried out as a machine design project, guided by the VDI 2221 systematic machine design standard. At the beginning of the project, requirements for the target were defined, which guided the progression of the design work. A functional structure was developed for the machine, and solution methods were determined for implementing its functions. Once suitable solutions were found, the functions were divided into feasible modules, based on which the layout of the machine was designed. Finally, a detailed 3D model of the machine was created using CAD design software.

The concrete results of the thesis included a 3D model of the filament spooling machine, bill of materials, and assembly drawings. The design work produced a feasible structure for the new filament spooling machine, which the client can build and implement in their production process to improve filament production throughput and quality. The new spooling machine was sized to wind filament onto spools faster and with higher precision compared to the old device. Additionally, the machine's structure and components enable the addition of new user-friendly features.

The construction of the machine was intentionally left to the responsibility of the client company, and as typical in product development projects, there may still be development needs after the prototype is manufactured. However, the objectives defined at the beginning of the thesis were achieved, and the project can be considered successful.

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

Product design, machine design, 3D-printing, mechanical engineering, mechanical drawing, concept design

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

Appendices 1-16 in this thesis are confidential, and they have been removed from the public version of the thesis.

Grounds for secrecy: Act on the Openness of Government Activities 621/1999, Section 21: Information concerning technological or other developmental work and its evaluation. Period of secrecy is ten (10) years, and it ends in 27.11.2033.

## Sisältö

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Johdanto .....</b>   | <b>3</b>  |
| 1.1      | Opinnäytetyön tavoitteet.....                                 | 3         |
| 1.2      | Opinnäytetyön rajaus.....                                     | 4         |
| 1.3      | Tutkimusmenetelmä .....                                       | 4         |
| 1.3.1    | Konstrukttiivinen tutkimus .....                              | 5         |
| 1.3.2    | Kvalitatiivinen tutkimusote.....                              | 5         |
| <b>2</b> | <b>Filamentin valmistustekniikka.....</b>                     | <b>6</b>  |
| 2.1      | Mitä filamentti on?.....                                      | 6         |
| 2.2      | Puolaukone .....  | 8         |
| 2.3      | Kuljetinmekanismi.....  | 9         |
| <b>3</b> | <b>Tuotekehitys.....</b>                                      | <b>11</b> |
| 3.1      | Yleinen tuotekehitysprosessi .....                            | 11        |
| 3.2      | Koneensuunnittelun metodit tuotekehityksessä.....             | 15        |
| 3.3      | Suunnittelun apuvälineet.....                                 | 17        |
| 3.3.1    | Morfologinen kaavio.....                                      | 17        |
| 3.3.2    | Päätösmatriisi .....  | 18        |
| 3.3.3    | Toimintokaavio .....  | 20        |
| <b>4</b> | <b>Konedirektiivi ja CE-merkki .....</b>                      | <b>21</b> |
| <b>5</b> | <b>Toteutus .....</b>   | <b>22</b> |
| 5.1      | Tiedonkeruu ja määrittely .....                               | 22        |
| 5.2      | Konseptisuunnittelu .....                                     | 23        |
| 5.3      | Yksityiskohtien suunnittelu .....                             | 24        |
| <b>6</b> | <b>Tulokset.....</b>  | <b>25</b> |
| <b>7</b> | <b>Pohdinta.....</b>  | <b>26</b> |
| 7.1      | Johtopäätökset.....   | 26        |
| 7.2      | Työn luotettavuus .....                                       | 27        |
| 7.3      | Työn eettisyys.....   | 27        |
|          | <b>Lähteet .....</b>  | <b>29</b> |
|          | <b>Liitteet .....</b>   | <b>32</b> |
|          | Liite 1. Vaatimuslista (Salassa pidettävä) .....              | 32        |
|          | Liite 2. Puolaukoneen toimintokaavio (Salassa pidettävä)..... | 33        |
|          | Liite 3. Morfologinen kaavio (Salassa pidettävä) .....        | 34        |
|          | Liite 4. Päätösmatriisit (Salassa pidettävä) .....            | 35        |

|   |    |
|---|----|
| Liite 5. Moduulirakennekaavio (Salassa pidettävä) .....                   | 36 |
| Liite 6. Layoutsuunnittelu 1 (Salassa pidettävä) .....                    | 37 |
| Liite 7. Layoutsuunnittelu 2 (Salassa pidettävä) .....                    | 38 |
| Liite 8. Vetolaitteen kuvia (Salassa pidettävä) .....                     | 39 |
| Liite 9. Kelanpyörittäjän kuvia (Salassa pidettävä) .....                 | 40 |
| Liite 10. Jännityksen mitaajan kuvia (Salassa pidettävä) .....            | 41 |
| Liite 11. Sivuttaisliikkeen kuvia (Salassa pidettävä) .....               | 42 |
| Liite 12. Kääntöpyörän kuvia (Salassa pidettävä) .....                    | 43 |
| Liite 13. Komponenttien layout 1 (Salassa pidettävä) .....                | 44 |
| Liite 14. Komponenttien layout 2 (Salassa pidettävä) .....                | 45 |
| Liite 15. Puolauskoneen yleismitat (Salassa pidettävä) .....              | 46 |
| Liite 16. Esimerkkejä moduulien osaluetteloista (Salassa pidettävä) ..... | 47 |

## Kuviot

|   |    |
|---|----|
| Kuvio 1. Markforged:n valmistamaa nylon filamenttia kelalle puolattuna. (Markforged Nylon White Filament Spools (800 cm <sup>3</sup> ) 2018.) .....   | 6  |
| Kuvio 2. Filamentin valmistusprosessi koostuu viidestä vaiheesta. ....  | 8  |
| Kuvio 3. Showmark:n valmistama filamentin uudelleenpuolaukseen suunniteltu kone. (Showmark Unispooler Fiber Optic Spooler n.d.) .....   | 9  |
| Kuvio 4. Itsestään kääntyvä ruuvi. (Absac Self Reversing Screw 2016.).....  | 10 |
| Kuvio 5. Itsestään kääntyvä lineaarinen rullarengas (Rolling ring drive n.d.).....  | 10 |
| Kuvio 6. Vasemmanpuoleinen systeemi esittää täysin mekaanisesti ohjattua kuljetinta, jossa on huomattavasti vähemmän komponentteja, kuin oikeanpuoleisessa sähköisesti ohjatussa systeemissä. (Understanding Rolling Ring Linear Drives n.d.) ..... | 11 |
| Kuvio 7. Tuotekehitys on monivaiheinen prosessi. ....   | 12 |
| Kuvio 8. Rinnakkaisen tuotekehitysprosessin etenemistä kuvaava vuokaavio. (Ford & Sterman 1998, 36.) .....  | 15 |
| Kuvio 9. Koneensuunnitteluprosessin eteneminen systemaattisen koneensuunnittelun standardin VDI 2221 mukaan. (VDI 2221 1993.) .....   | 17 |
| Kuvio 10. Esimerkki morfologisesta kaaviosta, jossa vihreällä korostetut vaihtoehdot esittävät kohteeseen valittuja ja oranssit hylättyjä ratkaisuja. ....  | 18 |
| Kuvio 11. Esimerkki tyypillisestä päätösmatriisista, jossa vaihtoehdot on pisteytetty kategorioittain "+", "-" ja "S" merkein. (Prim & Trabasso 2006, 7.) .....   | 19 |
| Kuvio 12. Esimerkki toimintorakennekaaviosta, joka esittää kopiokoneen paperin kulkureitin toimintaa. (Otto & Zamirowski 1999, 2.) .....  | 20 |

# 1 Johdanto

3D-tulostuksen laajamittainen kasvu teknologiateollisuuden alalla on tuonut uusia mahdollisuuksia tehostaa tuotteiden valmistamista niin tuotannon apuvälineiden, prototyyppien kuin valmiiden tulostettujen komponenttien avulla. Yritykset ympäri maailman kehittävät keinoja hyötyä 3D-tulostamisesta ja sen eri menetelmistä omassa toimintaympäristössään. Tämä on tuonut kasvua tulostuspalveluita tarjoaville yrityksille. 3D-tulostuspalveluja tarjoavat yritykset kilpailevat keskenään tuotteidensa laadulla, toimituskyvyllä ja hinnalla. Ylläpitääkseen ja kasvattaakseen kilpailukykyä kasvavassa markkinassa yritysten tulee tehostaa prosessejaan parantaakseen tuotannon läpimenoaika ja laatua.

Opinnäytetyön toimeksiantajayritys Inweb Oy on Saarijärvellä toimiva 3D-tulostettuja ratkaisuja teollisuuden tarpeisiin tarjoava yritys. Yritys erottuu kilpailijoistaan hallitsemalla koko tuotantoketjua raaka-aineen kehityksestä ja filamentin valmistamisesta tuotesuunnitteluun ja eri kokoisten sarjojen tulostamiseen FFF-tekniikalla. Vastatakseen kasvavaan kysyntään Inweb Oy on päivittänyt 3D-tulostamisen raaka-aineena toimivan filamentin valmistukseen käytettävää tuotantolinjaansa. Yritys on hankkinut suuremman tuotantokapasiteetin mahdollistavan muovipursottimen, mutta tuotantolinjan loppupäässä sijaitseva valmista filamenttia kelalle puolaava kone ei kykene vastaamaan kasvaneeseen tuotantotahtiin. Vanha puolauskone ei myöskään täytä puolausjäljeltään yrityksen omia jatkuvasti kehittyviä laatutavoitteita. Opinnäytetyö keskittyy ratkomaan toimeksiantajan tuotannon todellista ongelmaa ja pyrkii näin ollen tuomaan yritykselle edellytyksiä kehittää kilpailukykyään.

## 1.1 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää toimeksiantajalle uusi filamentin puolauskone, joka ylittää vaadittuun tuotantotahtiin, puolaa valmistettavan filamentin siististi kelalle ja vastaa muihin toimeksiantajan vaatimusmäärittelyssä tuotteelle asettamien vaatimuksiin. Työssä tavoitellut konkreettiset tulokset olivat tuottaa 3D-malli filamentin puolauskoneesta, komponenttilistaus, kokoonpanopiirustukset koneen rakentamiseksi sekä selvitys koneen CE-merkitsemisestä.

Tavoitteiden täytyessä toimeksiantaja kykenee rakentamaan suunnitelman pohjalta uuden tuotantolaitteen, joka lyhentää tuotannon läpimenoaikaa poistamalla pullonkaulan ja parantaa tuotteen laatua. Tulokset vaikuttavat yrityksen toimintaan positiivisesti parantaen sen kilpailukykyä kasvattamalla tuotannon kapasiteettia.

## **1.2 Opinnäytetyön rajaus**

Opinnäytetyö keskittyi filamentin puolauskoneen mekaaniseen suunnitteluun systemaattisen koneensuunnittelun standardin VDI 2221 vaiheiden mukaisesti projektin systemaattisen etenemisen ja dokumentoitavuuden varmistamiseksi. Työssä suunniteltiin koneen mekaaninen rakenne CAD-ohjelmistoa hyödyntäen ja siitä tuotettiin 3D-malli sekä kokoonpanopiirustus. Puolauskoneen sijoittuminen tuotantoympäristöön huomioitiin suunnittelussa, ja koneen fyysisten rajapintojen suunnittelu yhteensopivaksi olemassa olevaan ympäristöön sisältyi opinnäytetyön rajaukseen. Koneen rakenteeseen kuuluu myös sähkökomponentteja, joiden valinta liittyy oleellisesti mekaniikkasuunnitteluun ja näin ollen sisältyi työhön.

Koneen sähköisen ohjauslogiikan luominen rajattiin työn ulkopuolelle aiheen paisuessa liian laajaksi. Myös koneen kokoonpano rajattiin ulos samasta syystä ja jäi toimeksiantajan omalle vastuulle.

## **1.3 Tutkimusmenetelmä**

Opinnäytetyön tutkimus keskittyi koneensuunnitteluun ja näin ollen uuden luomiseen. Tähän hyvin sopiva tutkimusmenetelmä on konstrukttiivinen tutkimus, jonka tavoitteena on luoda artefakteja. Tämän tutkimuksen tapauksessa artefakteja ovat opinnäytetyön tavoitteissa mainitut filamentin puolauskoneen tekniset mallit ja suunnitelmat.

Tutkimuksessa hyödynnettiin kvalitatiivista tutkimusotetta, sillä koneensuunnitteluprojektit perustuvat aineistoihin ja niiden analysointiin, jonka pohjalta tutkimustulokset muodostetaan. Työssä tutkitut kysymykset ”Millainen kone kohteeseen soveltuu parhaiten?” ja ”Miten vaatimukset täyttävä kone suunnitellaan?” vaativat joustavan tutkimusotteen, jossa on mahdollista palata aiempiin työvaiheisiin tekemään tarvittavia muutoksia.

### 1.3.1 Konstruktiivinen tutkimus

Konstruktiivinen tutkimusmenetelmä keskittyy innovatiivisten ratkaisujen kehittämiseen ja arviointiin todellisen maailman ongelmien ratkomiseksi. Toisin kuin perinteiset tutkimusparadigmat, jotka ensisijaisesti pyrkivät ymmärtämään ilmiötä, konstruktiivinen tutkimus pyrkii suunnittelemaan ja toteuttamaan artefakteja, eli tuotteita, prosesseja, järjestelmiä tai mitä tahansa muita tuotoksia ongelman ratkaisemiseksi. (Lukka 2003, 83-84.)

Konstruktiivisen tutkimusmenetelmän ytimessä on muutama avainperiaate. Menetelmä on ongelmanratkaisukeskeinen ja selkeästi painottunut käytännön haasteisiin. Tutkimuksessa keskitytään iteratiiviseen suunnittelu-, kehitys- ja arviointiprosessiin, jossa ratkaisuja tarkennetaan palautteen ja empiirisen testauksen avulla. Konstruktiivisessa tutkimuksessa tutkija on läheisesti vaikutuksessa tutkimusympäristöön hankkien tietoa jo olemassa olevista teorioista suunnittelutyön tueksi. (Lukka 2003, 84-85.) Menetelmä rohkaisee yhteistyöhön tutkijoiden ja kohdeorganisaatioiden välillä luoden yhdistävää siltaa akatemian ja operatiivisen toiminnan välille. (Lukka 2003, 86-87.)

Eräs suurimmista konstruktiivisen tutkimuksen hyödyistä on sen kyky tuottaa konkreettisia tuloksia, joilla on suora käytännön vaikutus. Menetelmän luomat artefaktit ovat välittömästi relevantteja ja hyödynnettävissä tutkimuskohteessa. Konstruktiivisen tutkimuksen iteratiivisuus mahdollistaa ratkaisujen nopean parantamisen, jolloin ne ovat tehokkaita ja kykenevät mukautumaan muutoksiin ongelma-alueella. Vaikka tutkimus todettaisiin prosessin lopulta epäonnistuneeksi, tuloksia voidaan usein hyödyntää muissa tarkoituksissa. (Lukka 2003, 85.)

### 1.3.2 Kvalitatiivinen tutkimusote

Kvalitatiivinen tutkimusote on empiirinen lähestymistapa ilmiön tutkimiseen ja läpikotaiseen ymmärtämiseen keräämällä ja analysoimalla ei-tilastollista dataa. Se on sovellettavissa tutkimuksiin, jonka tutkimuskysymykset ovat tyyppiä ”Mistä tämä johtuu?”. Toisin sanottuna kvalitatiivista tutkimusta ovat tutkimukset, joiden tutkittavaa ilmiötä ei vielä tunneta. Tunnettua ilmiötä tutkitaan puolestaan kvantitatiivisella tutkimusotteella, joka tutkii ilmiötä tilastollisesti. (Kananen 2011, 36-37.) Näitä kahta tutkimusotetta voidaan kuitenkin hyödyntää myös samassa tutkimuksessa ja puhdasta kvalitatiivista tutkimusta on jopa mahdotonta suorittaa ilman teoreettisia kiinnekohtia (Juhila n.d.).



Kvalitatiivinen tutkimus pohjautuu muutamaan peruseriaatteeseen. Se on tutkiva ja joustava, mahdollistaen tutkimuksen rakenteen sopeuttamisen prosessissa ilmenevien havaintojen perusteella (Creswell 2009, 22). Se on sidottu aihepiiriinsä korostaen ilmiön ymmärtämistä sen luonnollisessa esiintymisympäristössä (Denzin & Lincoln 2018, 43). Lisäksi se on holistinen metodi ja keskittyy tutkittavan kohteen kokonaisvaltaisuuteen eikä muuttujien lokeroimiseen (Patton 2014, 59).

## 2 Filamentin valmistustekniikka

### 2.1 Mitä filamentti on?

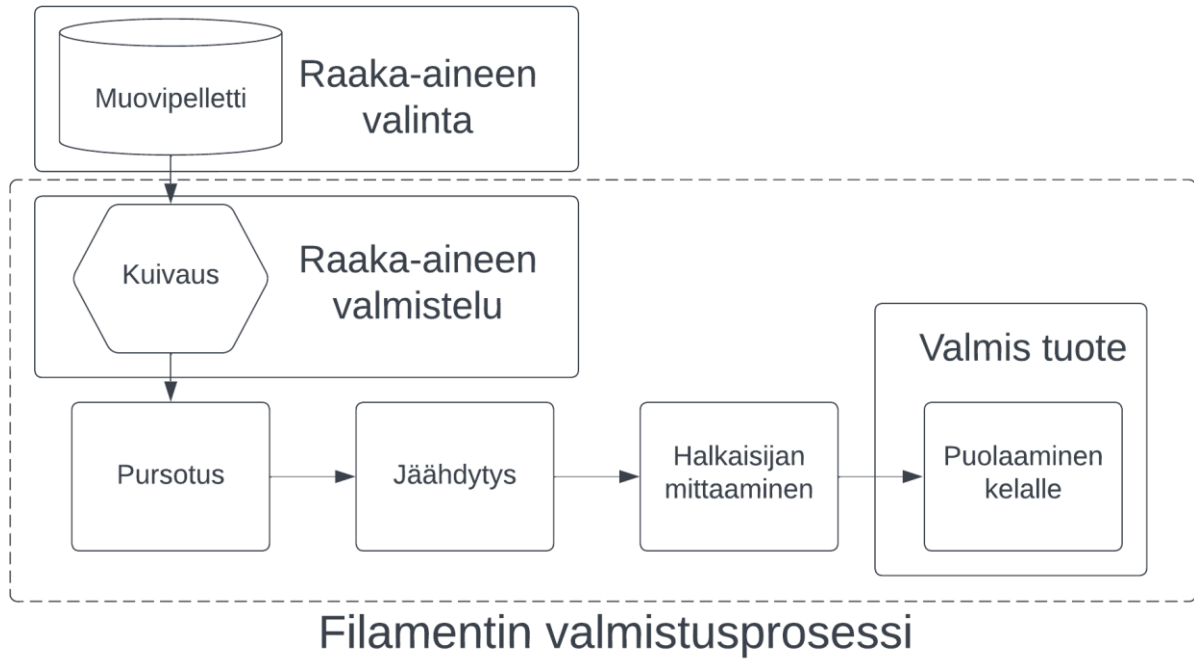
Filamentti on FFF (Fused Filament Fabrication) -tekniikkaan perustuvien 3D-tulostimien tulostusmateriaalina käytettävää termoplastista muovinauhaa, joka säilötään kelalle puolattuna kuvion 1 mukaisesti ja josta nauha purkautuu tulostimeen tulostusprosessin aikana (What is 3D Printer Filament? 2024). Kelalle puolatun filamentin massa vaihtelee 750:n ja 8000 gramman välillä ja sen halkaisija on tyypillisesti 1,75 mm tai 2,85 mm (What is the length of filament on your spools? n.d.).



Kuvio 1. Markforged:n valmistamaa nylon filamenttia kelalle puolattuna. (Markforged Nylon White Filament Spools (800 cm<sup>3</sup>) 2018.)

Filamentit voidaan jakaa kahteen pääryhmään, polymeeri- ja komposiittifilamentteihin. Polymeerifilamentit ovat puhtaita polymeeriyhdisteitä, kuten PLA eli polylaktidi tai ABS eli akrylinitriilibutaadienistyreeni (What is a Thermoplastic? (Definition and Examples) n.d.). Komposiittifilamentit ovat puolestaan polymeerifilamentteja, joihin on lisätty täyteaineita, joilla materiaalin mekaanisia ominaisuuksia saadaan muokattua halutunlaisiksi. Esimerkiksi lasikuidun käyttäminen lisäaineena kasvattaa materiaalin taivutus- ja kimmokerrointa. (Kristiawan 2021.)

Filamentin valmistusprosessi jakautuu viiteen osaan kuvion 2 mukaisesti: muovipellettien kuivamiseen, pursottamiseen, jäädyttämiseen, halkaisijan mittaamiseen ja kelalle puolaamiseen. Ennen varsinaista pursotusprosessia muovipelletit kuivataan laadukkaan pursotuksen takaamiseksi. Kuivat pelletit johdetaan pursottimeen, jossa syöttöruuvi kuljettaa niitä lämmitysalueiden läpi. Pelletit sulavat ja muuttuvat homogeeniseksi massaksi. Mahdollisesti pellettien sekaan lisätty pigmentti sekoittuu massaan sen kulkiessa pursottimen läpi. Pursottimesta ulos tuleva kuuma muovinauha jäädytetään asteittain hallitsemattoman kutistuman välttämiseksi ja hyvän pinnanlaadun saavuttamiseksi. Jähmettynyt filamentti kulkee mittalaitteen läpi, jolla seurataan filamentin halkaisijaa, sen vaihtelua ja näin ollen laatua. Viimeisenä vaiheena valmistusprosessissa filamentti puolaetaan kelalle puolauskoneella, jonka jälkeen tuote on valmis. (How it's made 2023.)

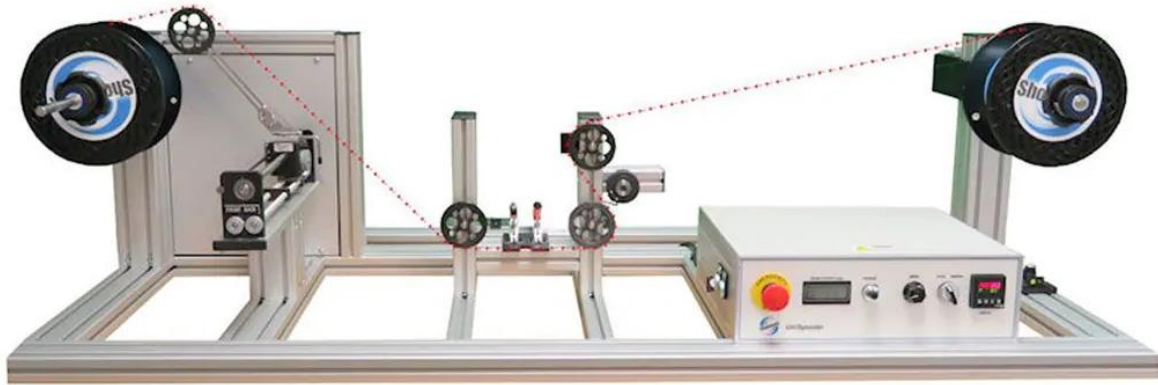


Kuvio 2. Filamentin valmistusprosessi koostuu viidestä vaiheesta.

## 2.2 Puolauskone

Putkien, kaapeleiden, johtojen, lankojen ja muiden pitkien taipuisien tuotteiden valmistuksessa ja säilömisessä hyödynnetään usein kelalle puolaamista tuotteen käsittelyn helpottamiseksi. Työn suorittaa kone, joka huolehtii materiaalin tasaisesta jakautumisesta kelan kehälle. (Traverse Drive Unit Selection for a Winding System n.d.)

Puolauskone koostuu tyypillisesti pyörivästä akselista, johon täytettävä kela kiinnittyy, ja kuljetinmekanismista, joka huolehtii kelattavan materiaalin sivusuuntaisesta liikkeestä puolauksen aikana. Koneessa voi olla myös muita toimintoja, kuten materiaalin jännitystä säätelevä mekanismi, automaattinen pysäytys materiaalin loppuessa, tai säädettävä syöttönopeus. Puolauskoneiden ominaisuudet vaihtelevat käyttökohteiden mukaan ja ne voivat olla pieniä pöydälle mahtuvia laitteita, kuten kuviossa 3 esitetty uudelleenkelaukone, tai suuria paperiteollisuuden paperin puolaukseen tarkoitettuja laitteita. (How Many Types of Winding Machines Are There? 2023.)

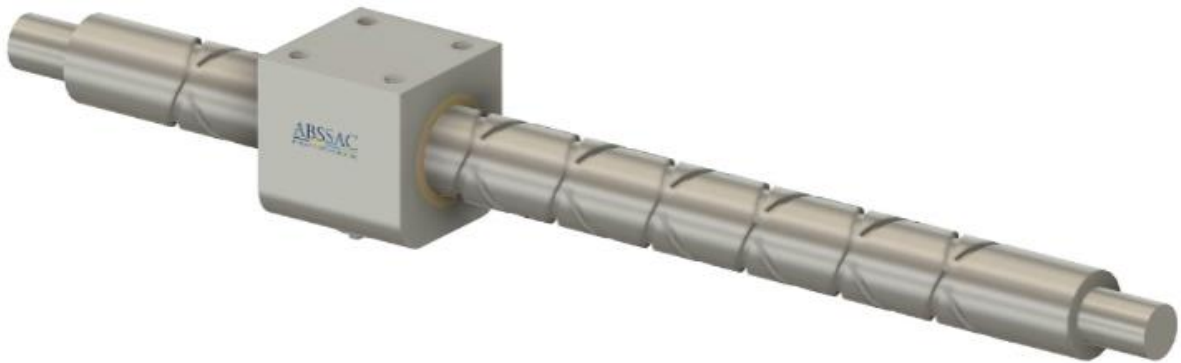


Kuvio 3. Showmark:n valmistama filamentin uudelleenpuolaukseen suunniteltu kone. (Showmark Unispooler Fiber Optic Spooler n.d.)

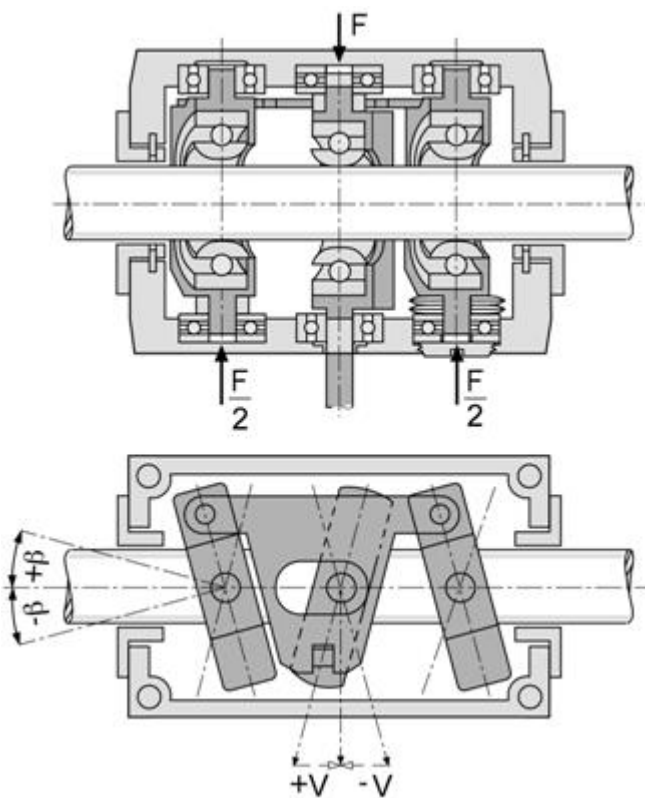
## 2.3 Kuljetinmekanismi

Korkealaatuisen puolausjäljen saavuttamiseksi puolaukskoneessa tulee olla kuljetin, joka liikkuu kelan edessä edestakaisin ja ohjaa puolattavan materiaalin siististi kelalle kierros kierroksen viereen. Kuljettimen syötön tulee olla yhtenevä puolattavan materiaalin halkaisijan (tai ei-pyöreiden profiilien tapauksessa leveyden) kanssa. Ohuilla materiaaleilla kuljettimen syöttö on hidasta ja paksuilla materiaaleilla nopeaa puolauksen kierrosnopeuden ollessa sama. Syöttöliikkeen saavuttaessa kelan laidan, mekanismin tulee vaihtaa suuntaa ja palata kelan toiseen laitaan, toistaen tätä liikettä koko puolausprosessin ajan. (Traverse Drive Unit Selection for a Winding System n.d.)

Kuljetinmekanismin ohjaus voidaan toteuttaa joko mekaanisesti tai elektronisesti. Mekaaninen ohjaus kytketään kela pyörittävän moottorin voimansiirtoon ja muunnetaan edestakaiseksi lineaarisiksi liikkeeksi esimerkiksi kuviossa 4 esitetyllä itsestään kääntyvällä ruuvilla tai kuvion 5 mukaisella itsestään kääntyvällä lineaarisella rullarenkaalla. (Understanding Rolling Ring Linear Drives n.d.)

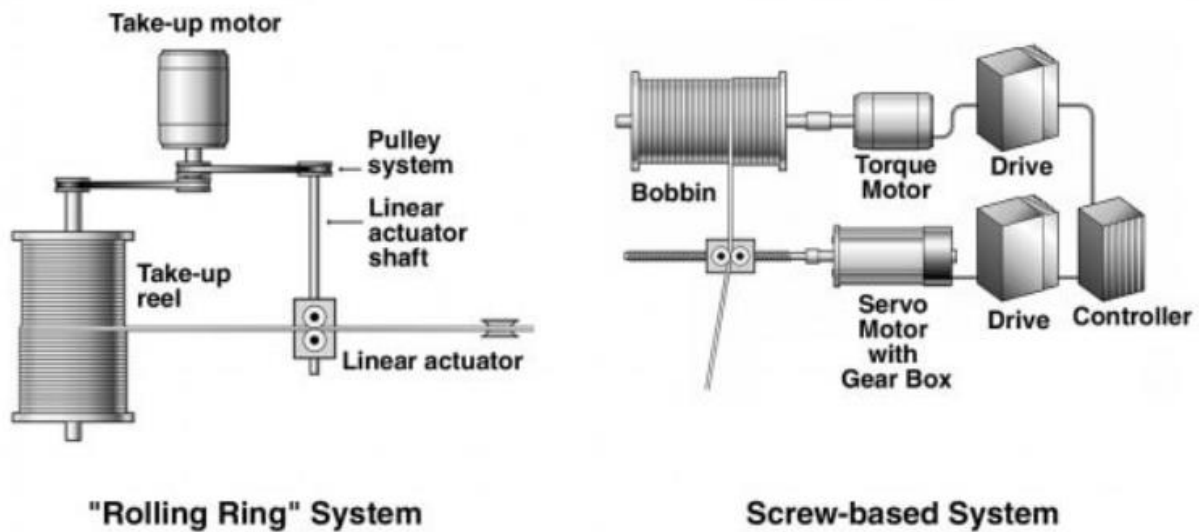


Kuvio 4. Itsestään kääntyvä ruuvi. (Absac Self Reversing Screw 2016.)



Kuvio 5. Itsestään kääntyvä lineaarinen rullarengas (Rolling ring drive n.d.)

Mekaanisesti ohjatun kuljetinmekanismin etuna on syötön automaattinen synkronoituminen kelausnopeuden muutoksiin, kuljetin akselin pyörimisnopeuden ollessa kytköksissä kelaus akselin pyörimisnopeuteen. Mekaanista ohjausta käytettäessä vähenevät myös järjestelmän toteuttamiseen vaadittavat sähkökomponentit, kuvion 6 mukaisesti. Elektronisen ohjausjärjestelmän edut tulevat puolestaan vastaan, kun tarvitaan erikoisia puolauskuvioita tai muita tasaisesta edestakaisesta liikkeestä poikkeavia liikeratoja. (Traverse Drive Unit Selection for a Winding System n.d.)



Kuvio 6. Vasemmanpuoleinen systeemi esittää täysin mekaanisesti ohjattua kuljetinta, jossa on huomattavasti vähemmän komponentteja, kuin oikeanpuoleisessa sähköisesti ohjatussa systeemissä. (Understanding Rolling Ring Linear Drives n.d.)

### 3 Tuotekehitys

#### 3.1 Yleinen tuotekehitysprosessi

Tuotekehitys on aktiviteettien summa, joka alkaa markkinamahdollisuuden havaitsemisesta ja päättyy tuotteen toimittamiseen asiakkaalle. Se yhdistää yrityksen funktioista markkinointia, suunnittelua ja tuotantoa. Pohjimmiltaan tuotekehityksen tarkoituksena on kehittää uusia tuotteita, jotka voidaan valmistaa ja myydä voittoa tuottaen. Tuotekehityksen laadun mittareina voidaan pitää tuotteen laatua, tuotteen hintaa, kehitystyöhön kuluva aikaa, kehitystyön kustannuksia ja tuotekehitystiimin kehityskykyisyyttä. (Ulrich & Eppinger 2016, 2.)

Onnistunut tuotekehitys vaatii Matricomp Oy:n mukaan pitkäjänteistä ja tarkkaa työtä kehitettävästä tuotteesta riippumatta. Prosessin pituus ja kustannus vaihtelee paljon tapauskohtaisesti, ja joissain tapauksissa prosessi ei lopu koskaan. Tällöin tulee tehdä päätös riittävän pitkälle viedystä kehitystyöstä ja siirtyä tuotteen myyntiin. Tuotekehitysprosessi jakautuu Matricompin mukaan kahdeksaan vaiheeseen kuvion 7 mukaisesti. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.)



Kuvio 7. Tuotekehitys on monivaiheinen prosessi.

Tuotekehitysprosessi alkaa vaatimusten määrittelyllä. Vaiheessa listataan kaikki tuotteen halutut ominaisuudet ja rajoitukset. Vaatimusmäärittelyssä tulee kuvata kaikki vaatimukset ja rajoitteet mahdollisimman tarkasti, jotta tulkinnan varaa ja epäselvyyksiä ei jää. Listaan lisätään tieto vaatimuksen laadusta. Näitä ovat kiinteät vaatimukset, joiden tulee toteutua joka tapauksessa, vähimmäisvaatimukset, joiden määritelty raja-arvo tulee ylittää, sekä toivomukset, joiden toteutuminen ei ole pakollista, mutta tavoiteltavaa. (Jokinen, 2001.) Huolellisesti toteutettu vaatimusmäärittely

toimii vakaana pohjana koko projektille. Tuotettu vaatimuslista toimii jatkovaiheissa projektin tarkastuslistana, johon tuotteen kehitysversioita verrataan. Listan perusteella tuoteversioita voidaan asettaa paremmuusjärjestykseen, ja puutteelliset hylätä. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.)

Vaatimusmäärittelystä siirrytään ratkaisujen määrittelyyn, jossa vaatimuslistan pohjalta kehitellään vaatimukset täyttäviä ratkaisuja. Ideoinnissa ongelmaa lähestytään vapaasti erilaisista näkökulmista ja ratkaisuehdotuksia on hyvä muodostua paljon. Ideoita verrataan vaatimuslistaan ja ne asetetaan paremmuusjärjestykseen. Parhaista ideoista jalostetaan konseptitason suunnitelmia, joissa ratkaisujen toteutuksia parannellaan. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.) Ratkaisujen kehittelyvaiheessa vapaan ideoinnin esteeksi saattaa muodostua määrittelyvaiheessa muodostetut oletukset siitä miltä suunniteltavan kohteen tulisi näyttää tai miten sen tulisi toimia. Tällöin suuri joukko mahdollisia uusia ratkaisuja voi jäädä keksimättä. Ennakkokäsityksien vaikutusta ideoinnissa voidaan vähentää yleistämällä tarkasteltavaa ongelmaa. Yleistämisessä voidaan hyödyntää seuraavia menetelmiä:

- Vaatimuslistasta jätetään huomioimatta vaatimukset, joita ei ole aivan pakko toteuttaa.
- Määrälliset vaatimukset muutetaan laadullisiksi.
- Ongelman ytimen määrittelyä muutetaan.

Sopivalla yleistämisellä voidaan avata paljon uusia mahdollisuuksia tuotesuunnitteluun ilman ongelman käsittelyn liiallista laajenemista. (Jokinen, 2001.)

Markkinoiden testaaminen suoritetaan ennen kuin tuotekehitysprosessiin on käytetty liikaa aikaa, sillä vaihe saattaa päättää prosessin, jos markkinat antavat huonon vastaanoton. Potentiaalisilta asiakkailta tiedustellaan kiinnostusta uudesta tuotteesta. Mahdollisia ennakkotilauksiakin voidaan ottaa jo vastaan tukemaan tuotekehityksen etenemistä. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.)

Kun tuotteen kysynnästä on saatu positiivinen ennuste, kehitysprosessissa siirrytään ratkaisun konseptointiin ja simulointiin. Parhaaksi valikoituneita tuotekonsepteja tutkitaan tarkemmin, nii-



den kustannuksia, vaatimusten täyttöö ja toimivuutta tarkastellaan. Hyvä keino tuotteiden testaamiseen on simulointi, sillä se ei vaadi prototyypin rakentamista. Simuloinnilla pystyy todentamaan helposti ja nopeasti tuotekonseptin toimivuuden, suorituskyvyn ja massan. Tuloksista valitaan lopullinen konseptivaihtoehto. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.)

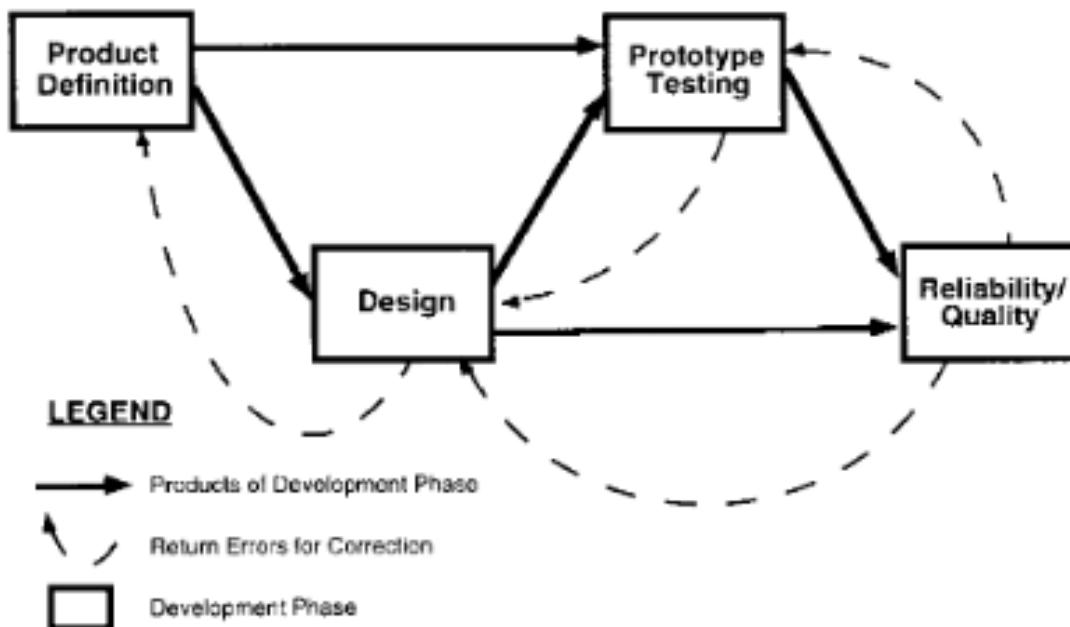
Aiempien vaiheiden pohjalta syntynyt lopullinen ratkaisu lyödään lukkoon ja yksityiskohtien suunnittelu aloitetaan. Työvaihe on prosessin työläin ja vaatii suurta tarkkuutta. Yksityiskohtien suunnittelussa tuotteen lopullinen ulkoasu saa muotonsa 3D-mallin avulla ja tuotteen dokumentaatio rakennetaan valmistamista varten. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.)

Kun suunnittelutyö on tullut päätökseen, siirrytään prototyypin valmistamiseen. Prototyyppiä valmistettaessa tulee huomioida laadunvarmistaminen, jotta prototyyppi toimii kuten on suunniteltu. Valmista prototyyppiä testataan käytännössä ja sillä tehdään samat mittaukset, jotka aiemmin suoritettiin simuloinnilla. Testaus suoritetaan huolellisesti ja järjestelmällisesti. Kaikki mahdolliset skenaariot, joita tuotetta käytettäessä voi esiintyä, pyritään testaamaan. Tärkeintä prototyypin testauksessa on löytää virheet tuotteen toiminnassa, jotta ne voidaan korjata ennen sen päätymistä asiakkaalle. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.)

Testattu prototyyppi arvioidaan ja arvion pohjalta päätetään, vaatiiko tuote vielä jatkokehitystä vai siirrytäänkö tuotannon suunnitteluun. Toimivaksi todetulle prototyypille aletaan suunnitella tuotantoa arvioidun volyymin mukaan ja tuote saa lopullisen hintansa valmistuskustannusten selvityksessä. Tuotannon ja tuotekehityksen yhteistyö voi tuoda vielä muutoksia tuotteeseen kustannuksien ja valmistettavuuden optimoimiseksi. Tuotteelle tehdään usein kehitystyötä myös markkinoille vapautumisen jälkeen asiakaspalautteen perusteella. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.)

Edellä esitetyt vaiheet kuvaavat paljon käytettyä perättäistä tuotekehitysprosessia, jolle Ford ja Serman (1998, 31-32) ehdottavat tuotekehitysprosessin dynaamisen mallintamisen tutkimuksensa vaihtoehtoista ja nopeampaa rinnakkaista tuotekehitysmenetelmää. Menetelmä pohjautuu tiimien yhtäaikaiseen työskentelyyn eri vaiheiden kehitystehtävien parissa ja sen toimivuus nojaa

merkittävästi tiimien väliseen kommunikointiin (Ford & Sterman 1998, 31-32). Myös Hambali, Sapan, Ismail, Nukman ja Abdul Karim (2009, 12) korostavat kommunikaation olevan rinnakkaisen tuotekehityksen peruspilari, jota ylläpidetään säännöllisillä tiimien välisillä palavereilla. Rinnakkainen tuotekehitys mahdollistaa prosessin nopean läpimenoajan eri kehitysvaiheiden edetessä samanaikaisesti. Prosessia voidaan kuvata kuviossa 8 esitetyllä vuokaaviolla, jossa tuotekehityksen tulokset kulkevat vaiheiden välillä tiimiltä tiimille ja tarvittaessa palaten takaisin aiempaan vaiheeseen uudelleen käsiteltäväksi. (Ford & Sterman 1998, 36.) Rinnakkaisen tuotekehitysmenetelmän tiimityökeskeinen luonne tekee siitä kuitenkin soveltumattoman yksilötyönä suoritettavaan opinnäytetyöhön.



Kuvio 8. Rinnakkaisen tuotekehitysprosessin etenemistä kuvaava vuokaavio. (Ford & Sterman 1998, 36.)

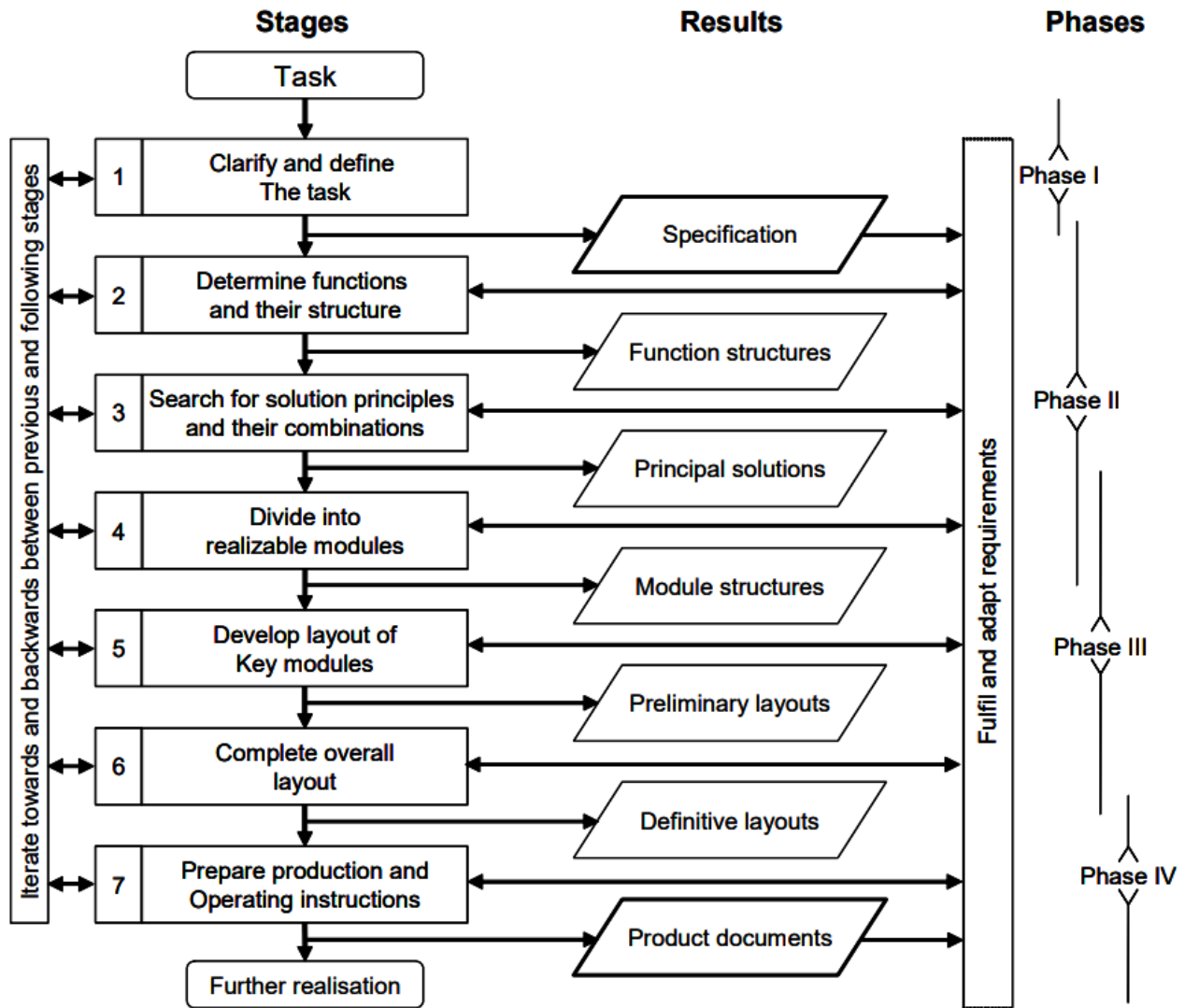
### 3.2 Koneensuunnittelun metodit tuotekehityksessä

Opinnäytetyön tuotekehitysprosessi toteutettiin VDI 2221 systemaattisen koneensuunnittelun standardin mukaisesti. VDI 2221 on vuonna 1993 julkaistu suunnitteluohje, joka korvasi aiemman VDI 2222 ohjeen (Jänsch & Birkhofer 2006, 49).

Koneensuunnittelu ja tuotekehitys ovat tiukasti toisiinsa kytköksissä olevia toimintoja. Tuotekehitys yleisellä tasolla tarkoittaa minkä tahansa tuotteen kehittämistä, mutta kun kehitettävä tuote on kone, tuotekehitysprosessia tarkennetaan koneensuunnittelun periaatteilla. Ulrich ja Eppinger (2016, 12) korostavat tuotekehityksen systemaattista lähestymistapaa. Prosessin tulee olla tarkasti jäsenelty ja kattaa koko tuotteen elinkaari. Systemaattinen lähestymistapa vähentää virheiden riskiä, laskee kustannuksia ja parantaa prosessin tehokkuutta.

Eräs koneensuunnittelun systemaattisuutta parantava standardi on vuonna 1993 julkaistu VDI 2221. Standardi pohjautuu Kesselringin vuonna 1954 julkaisemaan keksintöjen ohjenuoraan ja siitä myöhemmin vuonna 1973 johdettuun saksalaisen insinöörijärjestö VDI:n standardiin VDI 2222. Systemaattisen koneensuunnittelun standardi VDI 2221 pyrkii yleistämään järjestelmällisen metodin teknisten tuotteiden ja järjestelmien suunnitteluun. (Jänsch & Birkhofer 2006, 47.)

VDI 2221 standardi jakaa suunnitteluprosessin neljään päävaiheeseen, joihin jokaiseen sisältyy vaihekohtaiset suoritettavat tehtävät. Prosessin vaiheita on neljä: tehtävän selventäminen, konseptisuunnittelu, rakennesuunnittelu ja detaljisuunnittelu. Kuvio 9 esittää tehtävien ja niistä odotettavien tulosten sijoittumista suunnitteluprosessin vaiheisiin. Prosessi etenee lineaarisesti eteenpäin, eikä myöhempiä vaiheita voi aloittaa ennen aiempien valmistumista. Esimerkiksi vaatimuslistan tulee olla täysin valmis ennen tuotteen toimintojen suunnitteluun siirtymistä. (Reichwein, Vogel, Schork & Kircher 2020, 654.) Toisaalta standardi rohkaisee edestakaiseen iterointiin eri tehtävien välillä halutun tuloksen saavuttamiseksi ja esimerkiksi vaatimuslistaa voidaan sopeuttaa realiteetteihin suunnitteluprosessin edetessä (Jänsch & Birkhofer 2006, 47).



Kuvio 9. Koneensuunnitteluprosessin eteneminen systemaattisen koneensuunnittelun standardin VDI 2221 mukaan. (VDI 2221 1993.)

### 3.3 Suunnittelun apuvälineet

#### 3.3.1 Morfologinen kaavio

Koneensuunnittelussa on tyypillistä, että koneen toiminnot voidaan toteuttaa useilla erilaisilla ratkaisumenetelmillä. Rubin (2004) määrittelee käsitelystassään morfologian tarkoittavan ”muotoa koskevaa” ja morfologisen analyysin olevan luovan ideoinnin menetelmä, jonka avulla pyritään

löytämään parhaat ratkaisumenetelmät ja niiden yhdistelmät halutun lopputuloksen saavuttamiseksi.

Morfologinen kaavio on morfologisen analyysin työkalu, jolla vaihtoehtoisia ratkaisumalleja ja niiden joukkoja voidaan helposti verrata toisiinsa. Kaavion luonti alkaa kehitettävän kohteen toimintojen listauksella. Listaukseen tulee sisällyttää vain kohteen toiminnan kannalta merkittävimmät toiminnot, jotta vältetään listauksen kasvamisesta liian pitkäksi. Listauksen luonnissa tulee kiinnittää huomiota siihen, että toimintoja kuvataan nimenomaan toimintoina eikä komponentteina. Jokaista listattua toimintoa kohden ideoidaan ratkaisuvaihtoehtoja. Vaihtoehdot voivat olla olemassa olevia ratkaisuja, komponentteja tai uusia ideoita. Lopulta toiminnot ja ratkaisuvaihtoehdot kootaan yhteen taulukkoon kuvion 10 mukaisesti ja niistä valitaan tavoitteet parhaiten täyttävät ratkaisut. (Moultrie, 2016.) Richardson, Summers ja Mocko (2011, 77) tiivistävät morfologisen kaavion hyödyt tutkittavan suunnittelutilan laajentamiseen, muutoin huomaamatta jäävien ratkaisujen esilletuontiin, sekä uudenlaisten odottamattomien komponenttiyhdistelmien löytämiseen.

|            | Ratkaisu 1   | Ratkaisu 2   | Ratkaisu 3   | Ratkaisu 4   |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Toiminto 1 | Vaihtoehto 1 | Vaihtoehto 2 | Vaihtoehto 3 | Vaihtoehto 4 |
| Toiminto 2 | Vaihtoehto 1 | Vaihtoehto 2 |              |              |
| Toiminto 3 | Vaihtoehto 1 | Vaihtoehto 2 | Vaihtoehto 3 |              |
| Toiminto 4 | Vaihtoehto 1 | Vaihtoehto 2 | Vaihtoehto 3 | Vaihtoehto 4 |

Kuvio 10. Esimerkki morfologisesta kaaviosta, jossa vihreällä korostetut vaihtoehdot esittävät kohteeseen valittuja ja oranssit hylättyjä ratkaisuja.

### 3.3.2 Päätösmatriisi

Ongelmanratkaisussa ja päätöksenteossa törmätään usein tilanteisiin, joissa joudutaan pohtimaan useita kriteerejä samaan aikaan. Prim ja Trabasso (2006, 7) esittelevät tutkimuksessaan päätösmatriisimenetelmää, jossa vaihtoehtoja verrataan toisiinsa valittujen kriteerien pohjalta. Menetel-

mässä yksi vaihtoehdoista valitaan vertailukohtaksi, johon muita vaihtoehtoja verrataan. Matriisissa vaihtoehdot pisteytetään joko samaksi (S), paremmaksi (+), tai huonommaksi (-), kuin vertailukohta. Pisteytyksen jälkeen vaihtoehtojen ”+” ja ”-” -merkintöjen määrät lasketaan ja niiden erotus muodostaa ratkaisukohtaisen kokonaispistemäärän. (Ks. Kuvio 11.) Kokonaispisteitä vertaamalla selviää menetelmän tuottama paras vaihtoehto (Prim & Trabasso 2006, 7). Päätösmatriiseja voidaan kuitenkin toteuttaa tapauskohtaisesti vaihtelevin menetelmin. Aiemmin esitetyistä poiketen Forman ja Selly (2001, 37) esittelevät erilaisen tavan päätösmatriisin muodostamiseen, jossa kriteereille asetetaan painotuskertoimet ja vaihtoehdot pisteytetään numeraalisesti. Vaihtoehtojen pisteet kerrotaan kriteerikohtaisesti painotuskertoimella ja tulokset lasketaan yhteen kokonaispistemäärän ratkaisemiseksi. Menetelmää hyödynnettäessä tulee kuitenkin kiinnittää huomiota painotuskertoimien tarkoituksenmukaiseen hyödyntämiseen, jotta tulokset eivät vääristy. (Forman & Selly 2001, 37.)

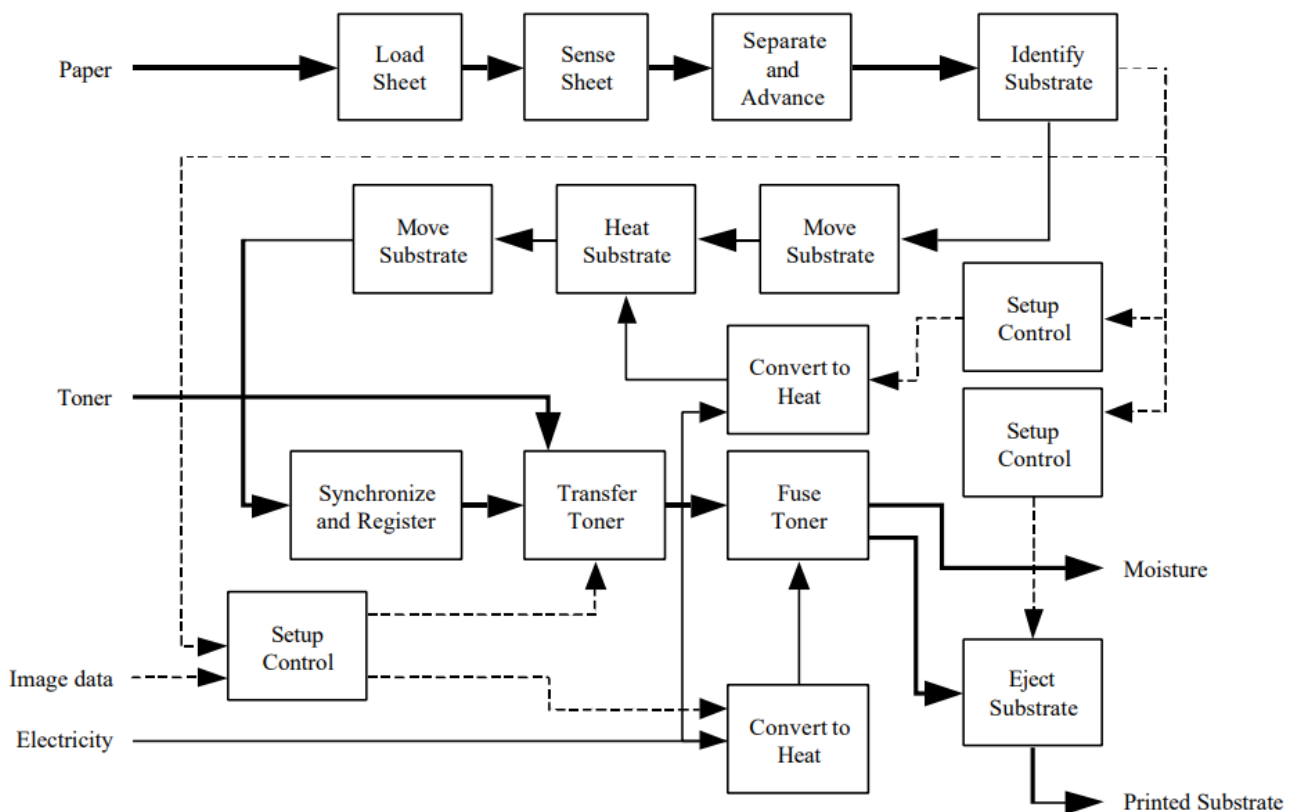
| Pugh's Decision Matrix Method |                            | Design Tools                 |            |              |          |                       |          |                     |          |
|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------|--------------|----------|-----------------------|----------|---------------------|----------|
|                               |                            | Brainstorming<br>(reference) | Checklists | Brainwriting | Synetics | Morphologica<br>I Box | Bionics  | Lateral<br>Thinking | TRIZ     |
| Innovation's<br>Barriers      | 1. Intuitive methods       | S                            | +          | S            | +        | S                     | +        | S                   | +        |
|                               | 2. Psychological Inertia   | S                            | -          | S            | +        | S                     | +        | S                   | +        |
|                               | 3. Motivation              | S                            | -          | +            | +        | +                     | +        | +                   | +        |
|                               | 4. Poor problem definition | S                            | S          | S            | S        | +                     | S        | S                   | +        |
|                               | 5. Variability             | S                            | +          | S            | -        | +                     | -        | S                   | +        |
|                               | 6. Complexity              | S                            | +          | S            | -        | +                     | -        | S                   | +        |
| Total +                       |                            | 0                            | 3          | 1            | 3        | 4                     | 3        | 1                   | 6        |
| Total -                       |                            | 0                            | 1          | 0            | 2        | 0                     | 2        | 0                   | 0        |
| <b>Total Score</b>            |                            | <b>0</b>                     | <b>2</b>   | <b>1</b>     | <b>1</b> | <b>4</b>              | <b>1</b> | <b>1</b>            | <b>6</b> |

Kuvio 11. Esimerkki tyypillisestä päätösmatriisista, jossa vaihtoehdot on pisteytetty kategoriaoittain "+", "-" ja "S" merkein. (Prim & Trabasso 2006, 7.)

### 3.3.3 Toimintokaavio

Monimutkaisten systeemien toimintoja ja niiden välisiä yhteyksiä on usein vaikea hahmottaa. Otto ja Zamirowski (1999, 2) esittelevät tutkimuksessaan sähkömekaanisille systeemeille soveltuvan toimintorakennetta havainnollistavan toimintokaavion.

Toimintokaavio yhdistää tarkasteltavan kohteen alatoimintoja energian, materiaalin ja tiedonkulun mukaan kuvion 12 mukaisesti. Tuotesuunnittelussa toimintokaavio toimii pohjana tuotteen toimintojen ryhmittelyssä toteuttamiskelpoisiksi komponenteiksi ja alikokoonpanoiksi (Otto & Zamirowski 1999, 2).



Kuvio 12. Esimerkki toimintorakennekaaviosta, joka esittää kopiokoneen paperin kulkureitin toimintaa. (Otto & Zamirowski 1999, 2.)

## 4 Konedirektiivi ja CE-merkki

Koneiden kehittyessä yhä monimutkaisemmiksi ja yhteiskunnan vaatiessa niitä operoivien henkilöiden turvallisuuden jatkuvaa parantamista, koneensuunnittelijoiden tulee keskittyä suorituskyvyn, toimintojen ja kustannustehokkuuden lisäksi kasvavissa määrin koneiden turvallisuuteen. Koneen suunnittelussa tulee huomioida koko koneen elinkaari, eikä se saa missään tapauksessa aiheuttaa riskiä käyttäjän tai muiden ihmisten ja omaisuuden loukkaantumiselle tai vahingoittumiselle. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi on luotu paljon lakeja, standardeja ja toimintamalleja, kuten EU:n konedirektiivi. (Ridley & Pearce 2006.)

Euroopan unionin alueella sovelletaan koneita koskevaa, vuonna 2006 voimaan astunutta direktiiviä 2006/42/EY. EU:n konedirektiivi määrittelee vaatimukset, jotka kaikkien alueella olevien koneiden tulee täyttää. Näin varmistetaan unionin alueella tuotteiden vapaa liikkuvuus ja turvallisuuden hyvä taso. Asetuksessa määritellään koneen valmistajaan kohdistuvat velvollisuudet, toimintamalli koneen saattamiseen markkinoille ja siihen vaadittavan vaatimustenmukaisuuden osoittaminen, sekä koneiden suunnittelussa ja valmistamisessa huomioitavat turvallisuusvaatimukset. (Tukes n.d.)

Konedirektiivin vaatimukset määrittävät koneen suunnittelulle ja valmistukselle viitekehyksen, joiden puitteissa toimittaessa saavutetaan yleisesti hyväksyttävä turvallisuuden taso. Vaatimuksien mukaan koneen suunnittelija on velvollinen suorittamaan riskien arvioinnin koneelle sen tarkoitetulla käytöllä, sekä ennakoitavissa olevalla väärinkäytöllä. Havaittujen riskien merkitystä tarkastellaan ja riskitasoa lasketaan tarvittaessa riskien eliminoinnilla tai pienentämisellä. Riskien hallinta tulisi suorittaa ensisijaisesti suunnittelutyössä tehtävillä valinnoilla. Direktiivi määrittelee turvallisuuden raja-arvoja esimerkiksi ergonomialle, melutasoille, energiatehokkuudelle sekä mekaanisille ja elektronisille suojauksille. Koneen valmistaja on velvollinen antamaan tuotteelleen vaatimustenmukaisuusvakuutuksen, tuottamaan teknisen dokumentaation vaatimuksenmukaisuuden arviointia varten, sekä tarjoamaan koneen käyttö- ja huolto-ohjeet. Konedirektiivin mukaiset laitteet merkitään CE-merkinnällä, joka tarkoittaa sen täyttävän vaaditut turvallisuusmääräykset. CE-merkitty kone kuuluu Euroopan unionin alueella vapaasti liikuteltavan tavarankategoriaan. (Direktiivi 2006/42/EY.)



CE-merkintä tehdään koneeseen siten, että merkintä on helposti luettavissa näkyvällä paikalla ja se on kiinnitetty pysyvästi. Merkinnälle on määritelty mittasuhteet, joiden mukaisesti se tulee toteuttaa. CE-merkintä on voimassa aina laitteen vaatimuksenmukaisuusvakuutuksen ollessa ajantasainen, ja sitä päivitetään tarpeen vaatiessa esimerkiksi lainsäädännön muuttuessa. (CE-merkintä 2024.)

## 5 Toteutus

### 5.1 Tiedonkeruu ja määrittely

Työn toteutus alkoi VDI 2221:n mukaisella tehtävänannon selventämisellä. Vaiheessa kerättiin mahdollisimman paljon tietoa kehitettävästä kohteesta, jotta tuotekehitysprosessi lähtisi etenevämmän systemaattisesti oikeaan suuntaan. Tiedonkeruun tavoitteena oli muodostaa luvun 3.1 määrittelyn mukainen vaatimuslista. Vaatimuslistaan tarvittavien tietojen kerääminen tapahtui keskustelemalla filamentin tuotantolinjan parissa töitä tekevien henkilöiden kanssa, pohtimalla heidän kanssaan nykyisen puolauskoneen ongelmakohtia, sekä vaihtoehtoisia ratkaisuja ongelmien ratkaisemiseksi. Keskustelu tapahtui tuotantoympäristössä ja kehitettävää kohdejärjestelmää päästiin tutkimaan normaalissa toiminnassaan.

Keskustelun lisäksi tutkittavaa kohdetta mitattiin sekä tarkasteltiin aistinvaraisesti. Puolauskoneen paikasta tuotantolinjalla otettiin mitat, johon uuden koneen tulee myös mahtua. Uuden muovipurjottimen suurin pursotusnopeus mitattiin ja siitä laskettiin teoreettinen vähimmäisvaatimus puolauskoneen puolausnopeudelle. Tuotannossa käytettäviä puolauskoneeseen asetettavia tyhjiä keiloja mitattiin yhteensopivuuden varmistamiseksi. Mittausta suoritettaessa selvisi myös yrityksen suunnitelma kelamallin päivittämiseksi tulevaisuudessa, jolloin kelaa pitelevä rakenne, sekä sitä ympäröivä tila tulee mitoittaa tämä huomioon ottaen.

Tiedonkeruussa esille tulleet vaatimukset ja ideat kirjattiin ylös ja kirjoitettiin puhtaaksi taulukkomuotoiseksi vaatimuslistaksi, johon lisättiin myös tieto vaatimuksen laadusta, luvussa 3.1 määrittelyn menetelmän mukaisesti (Ks. Liite 1). Merkintöinä käytettiin KV, VV ja T, jotka tarkoittavat kiinteää vaatimusta, vähimmäisvaatimusta ja toivomusta. Vaatimuslistaan kirjatut asiat jakautuivat kategorioihin geometria, toiminnot, valmistus ja suorituskyky. Menetelmä tuotti vaatimuslistan

lisäksi aivoriihen kaltaista spontaania pohdiskelua ja ajatuksia mahdollisista ratkaisuista kehitettävän järjestelmän parantelemiseksi. Myös nämä ajatukset kirjattiin talteen myöhempää hyödyntämistä ideointivaiheessa silmällä pitäen.

## 5.2 Konseptisuunnittelu

Projektin ideointivaihe aloitettiin tarvittavien lähtötietojen keruun jälkeen VDI 2221-standardissa esitetyllä toimintorakenteiden määrittelyllä. Koneen toiminnallisuus jaettiin neljään päätoimintoon, jotka tulivat esille vaatimuslistaa luodessa:

- Filamentin halkaisijan mittaaminen
- Filamentin veto
- Filamentin sivusuuntainen ohjaus
- Filamentin puolaus kelalle

Lisäksi päätoimintojen ympärille muodostui ohjaustoimintoja, jotka säätelevät päätoimintojen läpi kulkevan kriittisen polun toimintaa. Toimintojen suhdetta toisiinsa analysoitiin niin materiaalin kulun, kuin toimintojen ohjauksen kannalta ja pohdinnan tuloksena syntyi toimintokaavio (Ks. Liite 2). Kaaviossa toimintojen välisiä suhteita kuvataan yhtenäisillä nuolilla, jotka esittävät materiaalin kulkua toimintojen välillä, sekä katkoviivanuolilla, jotka kuvaavat ohjaussignaalien kulkua. Toimintoja ympäröivä katkoviivoitettu suorakulmio ja sen yli risteävät materiaali- ja signaalinolet kuvaavat konetta ja sen rajapintoja ympäröivään maailmaan sisään- ja ulostulojen osalta.

Suunniteltavan laitteen toimintojen tultua selväksi kehitysprosessi eteni toimintojen toteutustapojen suunnitteluun. Vaiheeseen kuului olemassa olevien ratkaisujen etsiminen ja niiden sovellettavuuden arviointi. Ideoinnissa hyödynnettiin internetistä löytyviä laitevalmistajien esitteitä ja esittelyvideoita, avoimen lähdekoodin järjestelmien dokumentaatioita, patentteja, sekä alkuperäistä korvattavaa kohdejärjestelmää itseään. Kaikkien toimintojen toteuttamiseen löytyi useita valmiita ratkaisuja, sekä itse kehiteltyjä konsepteja, joista toteutuskelpoisimmat kirjattiin ylös toimintojen toteutustapojen valintaa varten.

Parhaiten vaatimukset täyttävien osatoimintojen toteutusmenetelmien valitsemiseksi luotiin luvussa 3.3.1 esitetty morfologinen kaavio (Ks. Liite 3). Kaavio esittää koneen osatoimintoja, sekä niiden mahdollisia toteutustapoja, jotka kirjattiin ylös aiemmassa vaiheessa. Kaavio itsessään ei sisällä toimintojen toteutustavan valintaan liittyviä perusteluja, jotka toteutettiin erillisillä päätösmatriiseilla osatoiminnoittain (Ks. Liite 4). Päätösmatriiseissa osatoimintojen toteutusvaihtoehdoille annettiin pisteitä sen mukaan, kuinka hyvin mikäkin vaihtoehtoista täytti toiminnolle asetettuja vaatimuksia. Tietyissä tapauksissa kahden toteutusvaihtoehdon välille syntyi tasapeli ja valinta näiden väliltä tehtiin painottamalla tapauskohtaisesti tärkeimmiksi koettuja ominaisuuksia. Hyödyntämällä morfologista kaaviota ja päätösmatriiseja erillisinä toisiaan tukevina työkaluina, saavutettiin parempi visuaalinen toteutus suunnitteluprosessin jatkovaiheiden perustaksi informaation jakautuessa helpommin havainnoitaviin kokonaisuuksiin.

Toimintojen toteutusmenetelmien vahvistuttua konseptisuunnittelu eteni moduulirakenteen, sekä koneen layoutin suunnitteluun. Vaiheita suoritettiin rinnakkain, sillä toteutettavien osakokonaisuuksien, eli moduulien rakenteet vaikuttavat olennaisesti myös layouteihin, joita niistä on mahdollista koota. Vaihtoehtoisia layouteja koneelle syntyi muutamia ja niistä esimerkkeinä liitteessä 6 esitetty toteutettavaksi valittu kompakti layout, sekä liitteessä 7 esitetty hylätty layoutsuunnitelma, joka ei mahtunut koneelle vaatimusmäärittelyssä määriteltyyn tilaan. Vaiheessa muodostunut moduulirakennekaavio on esitetty liitteessä 5. Moduulirakenteen ja layoutin suunnitelmien valmistuttua koneen toiminnallisuus, sekä karkea ulkomuoto vahvistuivat ja konseptisuunnittelu katsottiin päättyneeksi.

### **5.3 Yksityiskohtien suunnittelu**

Yksityiskohtien suunnittelussa konseptisuunnittelun tuloksien pohjalta mallinnettiin yksityiskohtainen koneen 3D-malli Autodesk Fusion 360 CAD-suunnitteluohjelmistolla. Suunnittelu tapahtui järjestelmällisesti moduuli kerrallaan komponenttien valmistustekniset seikat huomioiden. Toimeksiantajan toiveen mukaisesti mahdollisimman suuri osa koneen komponenteista suunniteltiin ainetta lisäävällä FFF-tekniikalla valmistettavaksi, sekä standardikomponentteja hyödyntäen, jotta koneen valmistuskustannukset pysyisivät matalina ja osia voitaisiin valmistaa toimeksiantajayrityksen sisällä FFF-tekniikalla. Tällöin myös koneen mahdollinen jatkokehittäminen ja muuntelu on helpompaa ja kustannustehokkaampaa. Suunnittelun aikana jouduttiin palaamaan myös takaisin toimintojen ratkaisutapojen määrittelyyn, kun jännityksen säädön toteutukseen löydettiin aiemmin valittua

parempi ratkaisu, jossa painetta mittaava venymäliuska korvattiin magneettisella pyörimisasento-tunnistimella. Yksityiskohtien suunnittelussa pohdittiin myös paljon koneturvallisuuteen liittyviä seikkoja ja koneen puristumisriskin omaava vetolaite päätettiin suojata runkorakenteella. Muut koneen puristumis- tai takertumisriskin sisältävät moduulit todettiin voimiltaan riittävän pieniksi, jolloin ne eivät aiheuta koneen käyttäjälle loukkaantumiseriskiä. Hätäseis-painike sijoitettiin koneeseen etulaitaan helposti saavutettavaan paikkaan. Liitteet 8–13 esittävät yksityiskohtien suunnittelussa syntyneitä 3D-malleja koneen moduuleista, sekä yleisasusta.

3D-mallien valmistuttua komponentit yhdistettiin toisiinsa CAD-ohjelmiston kokoonpanotoiminnoilla, joilla komponenttien väliset liitokset saatiin mallinnettua todellisuutta vastaaviksi. Kiertyvien, liukuvien ja kiinteiden liitosten ansiosta 3D-mallin mekaniikan toiminta saatiin simuloitua ja varmistettua. CAD-ohjelmistolla tuotettiin 3D-mallin pohjalta moduulikohtaiset kokoonpanokuvat ja osaluettelot, joiden mukaisesti toimeksiantaja pystyy toteuttamaan koneen kokoonpanon. Liitteet 15–16 esittävät esimerkkejä edellä mainituista dokumenteista.

## 6 Tulokset

Opinnäytetyöprojektin tuloksena syntyi toimeksiantajan asettamien vaatimusten pohjalta suunniteltu filamentin puolauskoneen mekaaninen rakenne, josta konkreettisina tuotoksina ovat 3D-malli, osaluettelot moduuleittain, kokoonpanopiirustukset ja komponenttien valmistamiseen tarvittavat tiedostot. Kone suunniteltiin toimeksiantajan toiveiden mukaisesti hyödyntäen mahdollisimman paljon standardikomponentteja, sekä FFF-tekniikan ainetta lisäävän valmistamisen keinoin valmistettavia komponentteja. Näin yritys kykenee tuottamaan koneen komponentteja itse.

Työssä oli tarkoitus tuottaa myös selvitys koneen CE-merkitsemisestä. Opinnäytetyön tekemiseen varattujen rajallisten resurssien takia koneen EU-vaatimusten mukaisuutta ei kuitenkaan ehditty lopullisesti varmistaa ja tämä jää toimeksiantajan tehtäväksi ennen koneen valmistamista ja käyttöönottoa. Koneita suunniteltaessa on kuitenkin seurattu EU:n konedirektiiviä, joten koneen rakenteeseen tai toimintoihin ei ole odotettavissa suuria muutostarpeita.

Projektissa suunniteltu puolauskone on mekaaniselta rakenteeltaan suoraan hyödynnettävissä toimeksiantajayrityksen tuotannossa, mutta käytännössä sen rakentaminen ja käyttöönotto vaatii

vielä runsaasti työtä, erityisesti ohjelmakoodin kirjoittamisen osalta. Yrityksen aiempaan puolauskoneeseen verrattuna opinnäytetyössä suunniteltu kone on suorituskykyisempi, sekä joustavasti suunniteltu toimintorakenne mahdollistaa uusien käyttöä helpottavien toimintojen lisäämisen ohjelmakoodin kautta.

## 7 Pohdinta

### 7.1 Johtopäätökset

Opinnäytetyöprojektia voidaan pitää onnistuneena tutkimuskysymyksiä vastausten löytyttyä. Tutkimuskysymyksiin ”Millainen kone kohteeseen soveltuu parhaiten?” ja ”Miten vaatimukset täyttävä kone suunnitellaan?” löytyneet vastaukset eivät ole helposti sanallisesti kuvailtavissa, sillä ne ovat konkreettisia moniulotteisia konstruktioita ja niiden kokonaisuuksia. Parhaiten vastaukset ovat havainnoitavissa tarkastelemalla tutkimuksen tuloksena syntyneitä piirustuksia, kuvia ja muita dokumentteja. Työssä käytetty konstruktioivinen tutkimusmenetelmä osoittautui tehtävään hyvin soveltuvaksi ja menetelmän tuottamat artefaktit ovat suoraan hyödynnettävissä toimeksiantajayrityksen toiminnassa. Suunnittelutyön tuloksia voidaan arvioida ennen koneen prototyyppin rakentamista ja koekäyttöä vain laskennallisesti ja simuloimalla, mutta näiden pohjalta opinnäytetyöprojektissa syntynyt koneen mekaniikka vaikuttaa toimivalta ja toteutuskelpoiselta. Toimeksiantajalla on tarkoitus toteuttaa koneen rakentaminen ja käyttöönotto tuotannossaan.

Tutkimuksen aikana suoritettua tuotekehitysprojektia vastaavia projekteja tehdään tyypillisesti yrityksissä tiimityöskentelynä, jolloin tiimiin kuuluu eri osa-alueiden asiantuntijoita ja kehitysprojektin työkuorma jakautuu useammalle tekijälle. Opinnäytetyö suoritettiin yksilötyönä, joten kaikki työvaiheet kasautuivat yhdelle tekijälle. Useita sähkömekaanisia moduuleita sisältävän koneen suunnittelun työmäärä yllätti tutkimuksen tarkasta rajauksesta huolimatta ja projektin aikataulu venyi alkuperäiseen suunnitelmaan verrattuna. Tämän takia joitakin koneeseen suunniteltuja ratkaisuja olisi voitu toteuttaa paremmin jo ideointivaiheessa, tai viimeistään yksityiskohtien suunnittelussa. Koneiden tuotekehityksessä on kuitenkin tyypillistä tehdä muutoksia vielä prototyyppin valmistamisen jälkeen ja näitä tullaan varmasti tekemään myös tähän filamentin puolauskoneeseen.

## 7.2 Työn luotettavuus

Työssä käytettiin tietopohjaa, joka luotiin pääasiassa kirjallisuuden, tutkimusten, akateemisten julkaisujen ja standardien pohjalta. Näitä voidaan pitää luotettavina lähteinä ja luotettavuutta arvioitiin aina myös tapauskohtaisesti. Lisäksi tietolähteinä käytettiin joitain yritysten verkkosivuja, joiden sisällön luotettavuutta arvioitiin kriittisesti erityisesti tarjotun tiedon puolueellisuutta tarkastellen.

Aineiston keruussa ja säilytyksessä oltiin huolellisia tietojen säilymisen ja muuntumattomuuden takaamiseksi. Keskusteluilla kerätty aineisto kirjattiin ylös välittömästi ja säilöttiin digitaaliseen muotoon sekä toimeksiantajan tietojärjestelmiin, että opinnäytetyöntekijän tietokoneelle. Aineistoa käsiteltiin koko projektin ajan aineistonhallintasuunnitelman mukaisesti.

Koneensuunnitteluprojektissa, jossa kehitetään parhaiten halutun toiminnon suorittavaa konetta, työn tulosten luotettavuuteen vaikuttaa paljon ideointiin ja ratkaisujen etsimiseen käytetty aika. Mitä enemmän ratkaisuvaihtoehtoja löydetään ja analysoidaan, sitä parempiin tuloksiin päästään. Opinnäytetyön rajallinen työskentelyaika rajoittaa tätä vaihetta ja tästä voidaan vetää johtopäätös, jonka mukaan työn tuloksena syntynyt kone ei ole optimaalinen. Asiaa tulisikin tarkastella näkökulmasta ”Milloin tuotteen kehitys on saavuttanut riittävän tason?”, josta saisi aikaan mielenkiintoisen jatkotutkimuksen. Toinen työn tulosten luotettavuutta mahdollisesti heikentävä seikka on kehitystyön suorittajan takertuminen tiettyihin löytyneisiin ratkaisumalleihin. Tarkastelemalla ongelmaa riittävän kaukaa voidaan löytää parempia ratkaisuvaihtoehtoja itsestäänselvyksinä pidettyjen ratkaisujen tilalle.

## 7.3 Työn eettisyys

Opinnäytetyötä suoritettaessa on huomioitava useita tutkimuksen eettisyyteen liittyviä seikkoja. Usein työn aineiston tai tietoperustan luonnissa hyödynnetään tai käsitellään haastatteluja, salassa pidettäviä, tai muuten arkaluontoisia asioita. Muita huomioitavia asioita ovat muun muassa tekijänoikeuksista huolehtiminen, sekä plagioinnin välttäminen.

Tässä opinnäytetyössä toimeksiantajayritys määritteli salassa pidettäväksi teknologista tai muuta kehittämistyötä ja niiden arviointia koskevat tiedot. Opinnäytetyössä käsitellyt salassa pidettävät

asiat sisällytettiin työn liiteaineistoon ja niiden salaamiseksi tehtiin salassapitosopimus. Lisäksi toimeksiantaja sitoutui tarkistamaan opinnäytetyön sisällön ennen työn julkaisua, jolla varmistettiin salassapidon onnistuminen.

Työssä käytettävää aineistoa hankittiin keskusteluilla, joita käytiin toimeksiantajayrityksen henkilöstön kanssa. Keskusteluihin osallistuneiden henkilöiden yksityisyydensuojasta huolehdittiin niin, että henkilöitä ei voi tunnistaa kerätystä aineistosta. Lisäksi henkilöitä kohdeltiin hyvin ja tasa-arvoisesti.

Opinnäytetyö suoritettiin hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti, eikä siinä ole hyödynnetty vilppiä tai plagiointia. Työhön liittyvää aineistoa käytettiin huolellisesti, tietoturvallisesti ja aineistonhallintasuunnitelman mukaisesti.

## Lähteet

- Abszac Self Reversing Screw. 2016. Yrityksen Abszac tuotteen esittelyvideo. Viitattu 30.1.2024. [https://www.abssac.co.uk/uploads/site/video/aks3r\\_Self\\_Reversing\\_Lead\\_Screw\\_Animation.mp4](https://www.abssac.co.uk/uploads/site/video/aks3r_Self_Reversing_Lead_Screw_Animation.mp4)
- CE-merkintä. 2024. Julkaisu Euroopan unionin verkkosivuilla. Viitattu 12.2.2024. [https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index\\_fi.htm](https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_fi.htm)
- Cresswell J. 2009. Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. Viitattu 14.1.2024. [https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog\\_609332/objava\\_105202/failovi/Cresswell.pdf](https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/failovi/Cresswell.pdf)
- Denzin N. & Lincoln Y. 2018. The Sage Handbook of Qualitative Research. Viitattu 14.1.2024. <https://www.daneshnamehicsa.ir/userfiles/files/1/9-%20The%20SAGE%20Handbook%20of%20Qualitative%20Research.pdf>
- Direktiivi 2006/42/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi koneista. Viitattu 5.2.2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0042>
- Ford D., Sterman J. 1998. Dynamic modeling of product development processes. Tutkimusartikkeli Wiley-verkkokirjastossa. Viitattu 17.2.2024. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/%28SICI%291099-1727%28199821%2914%3A1%3C31%3A%3AAID-SDR141%3E3.0.CO%3B2-5>
- Forman E.H. & Selly M.A. 2001. Decision by Objectives. How to Convince Others that You Are Right. World Scientific Publishing Co:n julkaisu. Viitattu 9.3.2024. [https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=Oa5baCLC1GoC&oi=fnd&pg=PA1&dq=T.+L.+Saaty+and+Ernest+Forman+Decision+Matrix+Analysis&ots=wYePZ8LLwE&sig=6t6b---6xk95gHFivLVYmE1oL00&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=Oa5baCLC1GoC&oi=fnd&pg=PA1&dq=T.+L.+Saaty+and+Ernest+Forman+Decision+Matrix+Analysis&ots=wYePZ8LLwE&sig=6t6b---6xk95gHFivLVYmE1oL00&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Hambali A., Sapuan S.M., Ismail N., Nukman Y. & Abdul Karim M.S. 2009. The Important Role of Concurrent Engineering in Product Development Process. Malesian Putran yliopiston julkaisu. Viitattu 17.2.2024. <https://core.ac.uk/download/pdf/153820235.pdf>
- How it's made. 2023. Julkaisu Spectrum Filaments verkkosivuilla. Viitattu 4.1.2024. <https://spectrumfilaments.com/en/manufacturing/>
- How Many Types of Winding Machines Are There? 2023. Weavetech:n artikkeli Medium-sivustolla. Viitattu 30.1.2024. <https://medium.com/@alidhraweavetech1/how-many-types-of-winding-machines-are-there-3d7bdd7034f3>



Jokinen T. 2001. Tuotekehitys. Viitattu 7.2.2024.

Juhila K. N.d. Laadullinen tutkimus ja teoria. Julkaisu Tietoarkiston verkkosivuilla Viitattu 14.1.2024. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/mita-on-laadullinen-tutkimus/laadullinen-tutkimus-ja-teoria/>

Jänsch J. & Birkhofer H. 2006. The Development of the Guideline VDI 2221 - The Change of Direction. Viitattu 4.1.2024. <https://www.designsociety.org/download-publication/18983/THE+DEVELOPMENT+OF+THE+GUIDELINE+VDI+2221+-+THE+CHANGE+OF+DIRECTION>

Kananen J. 2011. Rafting Through the Thesis Process. Step by step guide to thesis research. Viitattu 14.1.2024.

Kristiawan R. 2021. A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters. Julkaisu Open Engineering verkkosivuil. Viitattu 4.1.2024. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/eng-2021-0063/html>

Lukka K. 2003. The Constructive Research Approach. Viitattu 12.1.2024.

Markforged Nylon White Filament Spools (800 cm3). 2018. Mark3D-verkkokaupan tuotesivu. Viitattu 7.1.2024. <https://www.mark3d.com/en/product/filaments-for-markforged-3d-printers/markforged-nylon-pa-6-filament-fff-800%C2%B3cm-roll/#>

Moultrie J. 2016. Morphological charts. Julkaisu Cambridgen yliopiston verkkosivuilla. Viitattu 9.3.2024. <https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/research/dmg/tools-and-techniques/morphological-charts/>

Otto K.N. & Zamirowski E.J. 1999. Identifying Product Family Architecture Modularity Using Function and Variety Heuristics. Julkaisu Research Gate verkkosivuilla. Viitattu 9.3.2024. [https://www.researchgate.net/figure/An-example-of-a-function-structure\\_fig1\\_246413868](https://www.researchgate.net/figure/An-example-of-a-function-structure_fig1_246413868)

Patton M. 2014. Qualitative Research & Evaluation Methods: Integrating Theory and Practice. Viitattu 14.1.2024. [https://www.sagepub.com/sites/default/files/upm-binaries/3299\\_Patton\\_Chapter\\_2.pdf](https://www.sagepub.com/sites/default/files/upm-binaries/3299_Patton_Chapter_2.pdf)

Prim M.F. & Trabasso L.G. 2006. Theory of Inventive Problem Solving Applied to Business Process Management Projects (BPM-TRIZ). Julkaisu Research Gate verkkosivuilla. Viitattu 9.3.2024. [https://www.researchgate.net/publication/228706196\\_Theory\\_of\\_Inventive\\_Problem\\_Solving\\_Applied\\_To\\_Business\\_Process\\_Management\\_Projects\\_BPM-TRIZ](https://www.researchgate.net/publication/228706196_Theory_of_Inventive_Problem_Solving_Applied_To_Business_Process_Management_Projects_BPM-TRIZ)

Reichwein J. Vogel S. Schork S. & Kircher E. 2020. On the Applicability of Agile Development Methods to Design for Additive Manufacturing. Julkaisu Science Direct verkkosivuilla. Viitattu 4.2.2024. <https://pdf.sciencedirectassets.com/>

Richardson J.L., Summers J.D. & Mocko G.M. 2011. Function Representations in Morphological Charts: An Experimental Study on Variety and Novelty of Means Generated. 21. CIRP-

suunnittelukonferenssin aineisto. Viitattu 9.3.2024. <https://www.researchgate.net/publication/255568524> Function Representations in Morphological Charts An Experimental Study on Variety and Novelty on Means Generated

Ridley J. & Pearce D. 2006. Safety With Machinery. Second Edition. Viitattu 4.2.2024.

Rolling ring drive. N.d. Tuotesivu Uhing verkkokaupassa. Kuvagallerian kuva. Viitattu 30.1.2024. <https://www.uhing.com/en/products/rolling-ring-drive>

Rubin A. 2004. Tulevaisuudentutkimus tiedonalana. TOPI – Tulevaisuudentutkimuksen oppimateriaalit. Tulevaisuuden tutkimuskeskus, Turun yliopisto. Viitattu 9.3.2024. <https://tulevaisuus.fi/kasitteet/kasitteita-i-r/>

Showmark Unispooler Fiber Optic Spooler. N.d. Fiber Optic Center verkkokaupan tuotesivu. Viitattu 14.1.2024. <https://focenter.com/showmark-unispooler-fiber-optic-spooler-12336>

Traverse Drive Unit Selection for a Winding System. N.d. Julkaisu Amacoil verkkosivuilla. Viitattu 30.1.2024. <https://www.amacoil.com/news-articles/traverse-selection-winding-system/>

Tukes. N.d. Koneita koskevat vaatimukset. Julkaisu Tukes verkkosivuilla. Viitattu 4.2.2024. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet>

Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä. N.d. Julkaisu Matricomp Oy verkkosivuilla. Viitattu 10.1.2024. <https://matricomp.fi/artikkelit/tuotekehityksen-vaiheet/>

Ulrich K. & Eppinger S. 2016. Product Design and Development, Sixth Edition. Viitattu 8.1.2024.

Understanding Rolling Ring Linear Drives. N.d. Julkaisu Amacoil verkkosivuilla. Viitattu 1.2.2024. <https://www.amacoil.com/news-articles/understanding-rolling-ring-linear-drives/>

VDI 2221. 1993. Systematic approach to the development and design of technical systems and products. Viitattu 13.1.2024.

What is a Thermoplastic? (Definition and Examples). N.d. Julkaisu TWI-Global verkkosivuilla. Viitattu 12.2.2024. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-a-thermoplastic>

What is the length of filament on your spools? N.d. Julkaisu ColorFabb verkkosivuilla. Viitattu 13.4.2024. <https://support.colorfabb.com/hc/en-150/articles/360002291617-What-is-the-length-of-filament-on-your-spools>

What is 3D Printer Filament? 2024. Julkaisu Raise 3D verkkosivuilla. Viitattu 4.1.2024. <https://www.raise3d.com/academy/what-is-3d-printer-filament/>

## **Liitteet**

### **Liite 1. Vaatimuslista (Salassa pidettävä)**

**Liite 2. Puolauskoneen toimintokaavio (Salassa pidettävä)**

**Liite 3. Morfologinen kaavio (Salassa pidettävä)**

**Liite 4. Päätösmatriisit (Salassa pidettävä)**

**Liite 5. Moduulirakennekaavio (Salassa pidettävä)**

**Liite 6. Layoutsuunnittelu 1 (Salassa pidettävä)**



**Liite 7. Layoutsuunnittelu 2 (Salassa pidettävä)**

**Liite 8. Vetolaitteen kuvia (Salassa pidettävä)**

**Liite 9. Kelanpyörittäjän kuvia (Salassa pidettävä)**

**Liite 10. Jännityksen mittaajan kuvia (Salassa pidettävä)**

**Liite 11. Sivuttaisliikkeen kuvia (Salassa pidettävä)**

**Liite 12. Kääntöpyörän kuvia (Salassa pidettävä)**

**Liite 13. Komponenttien layout 1 (Salassa pidettävä)**

**Liite 14. Komponenttien layout 2 (Salassa pidettävä)**



**Liite 15. Puolauskoneen yleismitat (Salassa pidettävä)**

**Liite 16. Esimerkkejä moduulien osaluetteloista (Salassa pidettävä)**