

Kian Ajdari

KONFIGUROITAVAN TUOTTEEN SUUNNITTELU JA MALLINUS

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Huhtikuu 2024

TIIVISTELMÄ

Kian Ajdari: Konfiguroitavan tuotteen suunnittelu ja mallinnus
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Huhtikuu 2024

Yrityksiltä vaaditaan koko ajan asiakaslähtoisempää toimintaa kilpailukyvyyn säilyttämiseksi. Asiakkailta on usein yksilöllisiä vaatimuksia, joihin yrityksen tulee vastata toimivalla ja kilpailukykyisesti hinnoitellulla tuotteella. Tuotekonfiguroinnilla on mahdollista vastata edellä mainittuihin haasteisiin. Tuotteiden konfigurointi perustuu aiempien tuotteiden muunteluun, jossa saadaan tuloksena varianteja. Näitä varianteja käyttämällä tai yhdistelemällä on usein mahdollisuus saada asiakastarpeen täyttävä kokonaisuus, joka sopii myös muiden sidosryhmien intresseihin.

Tässä työssä keskityn erityisesti fyysisten tuotteiden konfigurointiin, vaikka konfiguraatiota on mahdollista toteuttaa muillakin liiketoiminnan osa-alueilla. Tutkin kirjallisuuskatsauksen muodossa tuotekonfiguroinnin kannattavia käyttökohteita sekä niitä asioita, jotka suunnittelijan olisi hyvä ymmärtää tuotetta luodessaan. Työ koostuu kolmesta pääluvusta. Luvussa 2 perehdyn yleisesti tuotekonfigurointiin, standardointiin ja modulaarisuuteen. Luku 3 sisältää tietoa parametrisoinnista ja parametrisesta mallinnuksesta. Luvussa 4 on käytännön esimerkki siitä, miten konfiguroitava CAD-malli rakennetaan. Se sisältää myös pohdintaa mallin rakennuksesta.

Tuotekonfiguraatiota hyödynnetään laajasti teollisuudessa eri osa-alueilla. Se sopii parhaiten käyttöön esimerkiksi projekteihin, jotka on mahdollista koota tuoteperheen osista ATO (Assemble to order) tai ainutlaatuisiin projekteihin ETO (Engineer to order), jossa on mahdollisuus käyttää aiemmin tehtyjä tuotteita mallina. ATO-tuotteita on usein helppo konfiguroida, sillä niissä sama perusrakenne voi toistua ja tuoterakenteessa on usein modulaarisuutta. Modulaariset tuotteet ovatkin keskeisessä osassa, kun ajatellaan tuotteen kannattavuuden ja joustavuuden saavuttamista samanaikaisesti. Myös ETO-tuotteissa on kannattavaa hyödyntää modulaarisuutta, koska se yksinkertaistaa suunnittelua merkittävästi. ETO-tuotteissa korostuu usein CAD-mallien muuntelu, sillä nimensä mukaan tuotteet suunnitellaan tilauksesta.

Suunnittelu vaiheen päätökset vaikuttavat suuresti tuotteen koko elinkaareen. Nykyään hyödynnetään paljon 3D CAD -mallinnusta, jossa tuote saadaan käyttäjän tarkasteltavaksi, ja sille voidaan suorittaa useita yrityksen kannalta hyödyllisiä toimenpiteitä nopeasti. Konfiguroitavia CAD-malleja tehdessä parametrisointi ja parametrinen suunnittelu on asioita, jotka suunnittelijan tulee hallita. Suunnittelijan tulee lisäksi tietää modulaarisuuden perusteet ja ymmärtää miten modulaariset tuoteperheet rakentuvat. Standardointi on kriittinen osa toimivaa modulointia, eli tuotteen jakamista moduuleihin. Sen avulla saavutetaan esimerkiksi toistuva rakenne, jolla moduulit kiinnittyvät toisiinsa.

Avainsanat: Konfigurointi, modulaarisuus, standardointi, parametrisointi, CAD

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

ABSTRACT

Kian Ajdari: Design and modeling of a configurable product
Bachelor's thesis
Tampere University
Bachelor's Degree Program in Mechanical Engineering
April 2024

Companies are constantly required to adopt more customer-centric approaches to maintain competitiveness. Customers often have individual requirements to which the company must respond with functional and competitively priced products. Product configuration can often solve the challenges mentioned above. Product configuration is based on the modification of previous products, resulting in variants. By using or combining these variants, there is often an opportunity to create a solution that meets customer needs and also aligns with the interests of other stakeholders.

In this thesis, I focus specifically on the configuration of physical products, although configuration is possible in other areas of business as well. I explore profitable use cases for product configuration and the aspects that designers should understand when creating this kind of a product. The thesis consists of three sections. Section 2 provides an overview of product configuration, standardization, and modularity. Section 3 contains information about parameterization and parametric modeling. Section 4 includes a practical example of how a configurable CAD-model is built.

Product configuration is widely used across various industries. It is best suited for projects that can assemble products from product family components ATO (Assemble to Order) or unique projects ETO (Engineer to Order) where previously made products can be used as models. ATO products are often easy to configure due to recurring basic structures and modular designs. Modular products are essential for achieving profitability and flexibility simultaneously. It is also profitable to utilize modularity in ETO products as it significantly simplifies design. In ETO products, CAD-model modification is often emphasized since the products are designed to order.

Design decisions greatly influence the entire lifecycle of a product. Nowadays, 3D CAD -modeling is widely used, allowing users to examine the product and perform several beneficial actions quickly. When creating configurable CAD-models, parameterization and parametric design are essential skills for designers. Designers must also understand the basics of modularity and how modular product families are structured. Standardization is a critical part of effective modularization, involving the division of the product into modules to achieve, for example, a recurring structure where modules attach to each other.

Keywords: Configuration, modularity, standardization, parameterization, CAD

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin Originality Check service.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. KONFIGUROITAVAT TUOTTEET	3
2.1 Tuotteiden konfigurointi teollisuudessa	3
2.2 Modulaarisuus	5
2.3 Standardointi	7
2.4 Konfiguraattorit	9
3. CAD-MALLIEN KONFIGUROINTI	10
3.1 Parametrisointi teoriassa	10
3.2 Parametrisoinnin keinot	11
4. KONFIGURAATIOIDEN LUOMINEN	13
4.1 Lähtötiedot	13
4.2 Mallin luominen	15
4.3 Tulokset ja niiden analysointi	18
5. YHTEENVETO	19
LÄHTEET	21

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ATO	engl. Assemble to order, kootaan tilauksen mukaan.
CAD	engl. Computer-aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
Configurations	SolidWorksissa oleva työkalu mallin konfiguraatioiden säilyttämiseen ja hallintaan
Design Table	SolidWorksissa oleva, Excelin kautta toimiva työkalu konfiguraatioiden tekemiseen ja muokkaamiseen
Equations	SolidWorksissa oleva työkalu malliin liittyvien yhtälöiden tekemiseen ja hallintaan
ETO	engl. Engineer to order, suunnitellaan tilauksen mukaan
MTS	engl. Made to stock, tehdään varastoon
Skissaus	engl. Sketching, piirteiden hahmottelua malliin 2D-muodossa

1. JOHDANTO

Kilpailun kasvaessa teollisuudessa valmistettavilta tuotteilta vaaditaan koko ajan enemmän. Niiden tulee olla laadukkaita, tarkoitukseen sopivia sekä kilpailukykyisesti hinnoiteltuja. Tuotekonfiguraatio vastaa tietyissä tilanteissa näihin haasteisiin. Konfigurointi mahdollistaa asiakaslähtöisen tuotteen, sillä siinä käytetään yleisesti sopivaa pohjaa, joka muokataan tiettyyn tarkoitukseen oikeanlaiseksi (Pakkanen et al. 2016, s. 4). Kun muokataan aiemmin hyväksi todettua tuotetta, syntyy merkittäviä säästöjä erityisesti suunnittelukustannuksissa, mutta myös tuotteen elinkaaren muissa vaiheissa (Pulkinen 2007, s. 97).

Tässä työssä perehdyn kirjallisuuskatsauksen muodossa tuotekonfiguroinnin hyötyihin sekä käytännön keinoihin, joilla CAD-malleista voidaan rakentaa konfiguroituvia. Niiden konfiguroitavuus ei ole itsestäänselvyys, sillä yksinkertaisetkin mallit voidaan rakentaa lähes äärettömällä määrällä eri työvaiheiden yhdistelmiä, joista vain muutama on kannattava konfiguroinnin näkökulmasta (Camba et al. 2016, s. 1). Aihe on minulle kiinnostava, sillä olen työskennellyt suunnittelijana ja haluan parantaa osaamistani ja syventää ymmärrystäni CAD-maailmasta. Työssä käsittelen aihetta tuotteiden suunnittelijan näkökulmasta ja vastaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Missä yhteyksissä tuotekonfigurointi on kannattavaa toteuttaa?
- Mitä tulee ymmärtää konfiguroitavaa tuotetta suunniteltaessa?
- Mitä keinoja suunnittelijan tulee käyttää saadakseen oikeaoppisesti konfiguroituvia CAD-malleja?

Työ etenee konfiguroinnin teoriasta suunnittelun käytäntöön. Alussa kerron tuotekonfiguroinnista yleisesti. Toinen luku käsittelee sen kannattavuutta ja sitä mistä halutut hyödyt käytännössä tulevat. Kerron minkä tyyppiset tuotteet ovat sopivia konfigurointiin ja missä sitä tyypillisesti hyödynnetään. Toisessa luvussa käsitellään myös tuotteiden mo-

dulaarisuutta, sillä se on keskeistä konfiguroitavien tuotteiden kaikkien sidosryhmien tarpeiden täyttämiseksi. Lisäksi käyn läpi standardoinnin perusteet ja vaikutukset tuotteen elinkaareen.

Kolmannessa luvussa perehdytään siihen, mitä on hyödyllistä ymmärtää malleja rakentaessa ja mitä on tehtävä saadakseen konfiguroituvia CAD-malleja. Parametrinen suunnittelu on tuotekonfiguroinnin perustana ja tässä kappaleessa selitän mitä se tarkoittaa sekä mitä eri keinoja sen toteuttamiseen löytyy nykyaikaisista CAD-ohjelmista.

Neljäs luku sisältää soveltavan esimerkin, jossa rakennetaan konfiguroitava CAD-malli kannesta ja testataan sen toimintaa luomalla sille eri konfiguraatioita. Luku sisältää kuvauksen kuvitteellisesta tilanteesta, sekä tiedot siitä mitä tehtiin ja millä oletuksilla. Tulosten esittämisen yhteydessä on myös pohdintaa käytetyistä toimintatavoista sekä niiden tarkoituksenmukaisuudesta. Luvun tarkoituksena on demonstroida konfigurointiin liittyvien työkalujen hyödyntämistä, sekä edellisten kappaleiden metodien noudattamista parametrisessa mallinnuksessa.

2. KONFIGUROITAVAT TUOTTEET

Konfigurointi voidaan määritellä useilla eri tavoilla, joista suurin osa kuvaa jonkinlaista muokkaamista. Esimerkiksi Pulkkinen (2007, s. 70) esittelee yksinkertaiset määritelmät: "muokata jotakin" ja "muotoilla". Sana on alkujaan latinan kielestä, jossa "configuratio" tarkoittaa samankaltaista muotoa. Pakkanen (2015, s. 72) esittää sanan "konfiguraatio" merkityksen kahdella eri tavalla. Toisella hän tarkoittaa tekemistä, kun taas toisella kappaletta tai lopputulosta.

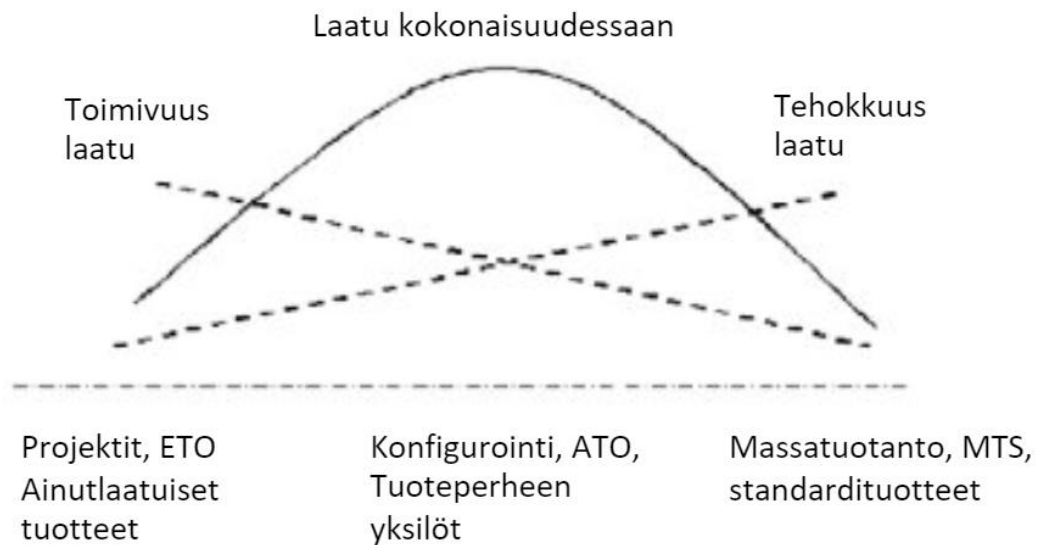
Konfiguroitavat tuotteet voivat olla esimerkiksi teollisia järjestelmiä, koneita tai autoja. Konfiguroinnissa tieto asiakastarpeista määrittää komponenttien tai moduulien yksilölliset piirteet (Pulkkinen 2007, s. 71). Konfigurointi valmistettavissa tuotteissa tapahtuu usein jo olemassa olevien yksiköiden tai moduulien kautta (Pakkanen et al. 2016, s. 4). Näitä moduuleja, piirteitä tai kokoonpanoja yhdistellään ennalta määritellyllä tavalla, jolloin saadaan ainutlaatuisia tuotekokonaisuuksia. Tämä tapahtuu yleensä konfiguraattorin eli siihen tarkoitukseen luodun tietokoneohjelman avustuksella (Pulkkinen 2007, s. 72). Modulaarisuuden perustana on järjestelmän tiettyjen osien tai piirteiden standardointi, jossa esimerkiksi moduulien väliset pinnat pysyvät samana, vaikka moduuleja muokattaisiin.

2.1 Tuotteiden konfigurointi teollisuudessa

Pulkkinen (2007, s. 97) väitöskirjassa käsiteltyjen yritysten päätavoite oli laajentaa konfiguraatiomahdollisuuksia ja vähentää suunnitteluun kuluvaa aikaa. Yleisesti yritysten välillä vallitsi toivomus mahdollisimman lyhyestä ajasta tuotteen myynnin ja toimituksen välillä, sillä sen koettiin tuovan kilpailuetua ja kasvattavan asiakkaan kokemaa arvoa. Pulkkinen mukaan lyhentynyt toimitusaika tarkoittaa myös vähentynyttä työn määrää tuotetta kohden, mikä johtaa resurssien rationaalisempaan hyödyntämiseen. Useassa tapauksessa selvisi konfiguroinnin tuoneen säästöjä tuotteen toimituksessa, erityisesti epäsuorissa kustannuksissa. Suunnittelutyön sekä muiden tuotteen hallinnan tehtävien määrä pieneni huomattavasti sen jälkeen, kun yritys otti tuotekonfiguroinnin käyttöönsä. Useista pienistä iteratiivisista ja uudelleensuunnittelutehtävistä oli päästy lähes kokonaan eroon ja koko prosessista oli tullut selkeä ja hallittava.

Konfiguroitavien tuotteiden suunnittelu ja valmistus tarjoaa yrityksille mahdollisuuksien lisäksi myös haasteita. Suuri osa haasteista liittyy kuitenkin tuotteiden määrään, eikä niinkään konfigurointiprosessiin. Sinz et al. (2007, s. 78) mukaan eräs suurimmista haasteista on tuotantoketjun muuttaminen ja suuren tuotevariaatioiden määrän hallitseminen.

Lisäksi hinnoittelu muuttuu dynaamiseksi, ja laskutus täytyy miettiä yksitellen. Suuremman tuotemäärän hallitseminen vaatii edistyneempää työskentelytapaa ja useampia tehtäviä (Sinz et al. 2007, s. 78). Tulosta voi verrata Pakkasen (2007 s. 97) havaintoihin, jossa tuotekonfiguraatiosta etsitään ratkaisua, kun variaatioiden määrä on jo suuri. Jos voidaan saada tarkoitukseen sopiva lopputulos konfiguroimalla, uusien tuoterakenteiden luominen ei ole kannattavaa.



Kuva 1. Erilaisten tuotantoratkaisujen vaikutus laadun mittareihin (muokattu lähteestä Pulkkinen 2007, s. 101)

Kuvan 1 vasemmalla puolella on kuvattu laatua toimivuuden kannalta. Kuvasta voidaan tulkita, että ainutkertaiset projektit ovat laadukkaita, jos painotetaan tuotteen toimivuutta. Vuorostaan massatuotanto toteuttaa laadun määritelmän tehokkuuden puolesta, mutta ei kykene välttämättä vastaamaan monimutkaisiin asiakastarpeisiin. Massatuotannossa ei kyetä ottamaan huomioon asiakkaiden yksilöllisiä tarpeita ja laatu kärsii toimivuuden kannalta. Kokonaisuudessaan laatu on konfiguroitavissa tuotteissa sekä tuoteperheen yksilöiden hyödyntämisessä. Kun haluttu tuote on mahdollista toteuttaa konfiguroimalla, saadaan tarkoitukseen sopiva, laadukas sekä tehokkaasti valmistettava tuote. (Pulkkinen 2007, s. 101)

Tämä on usein mahdollista projekteissa, joissa haluttu lopputuote on ainutlaatuinen, mutta se on mahdollista koota jo olemassa olevista tuoteperheiden osista (Pulkkinen 2007, s. 96). Projektit ovat ainutlaatuisia kokonaisuuksia, joilla on rajattu toteutusaika, laajuus sekä budjetti. Projekteja toteuttavat yleensä niihin erikoistuneet yritykset tai or-

ganisaatiot. (Arto et al. 2008, s. 32) Niiden toteutus sisältää kaiken myynnin ja toimittamisen väliltä, mutta suhde saattaa jatkua projektiin liittyvissä palveluissa myös projektin päättymisen jälkeen (Arto et al. 2008, s. 343). Pulkkinen (2007, s. 42) esittelee seitsemän olennaisinta projektiliiketoiminnan piirrettä, joista ensimmäinen on tuotekehityksen suuri merkitys. Tuotteiden konfiguroinnin on todettu helpottavan ja nopeuttavan tuotekehitystä useassa otteessa (Juuti 2008 s. 7; Levin 2015 s. 1). Tuotekonfiguroinnin voidaan siis tulkita olevan erityisen hyödyllistä juuri projektiliiketoiminnassa, jossa projekti on mahdollista toteuttaa eri moduulien yhdistelmänä.

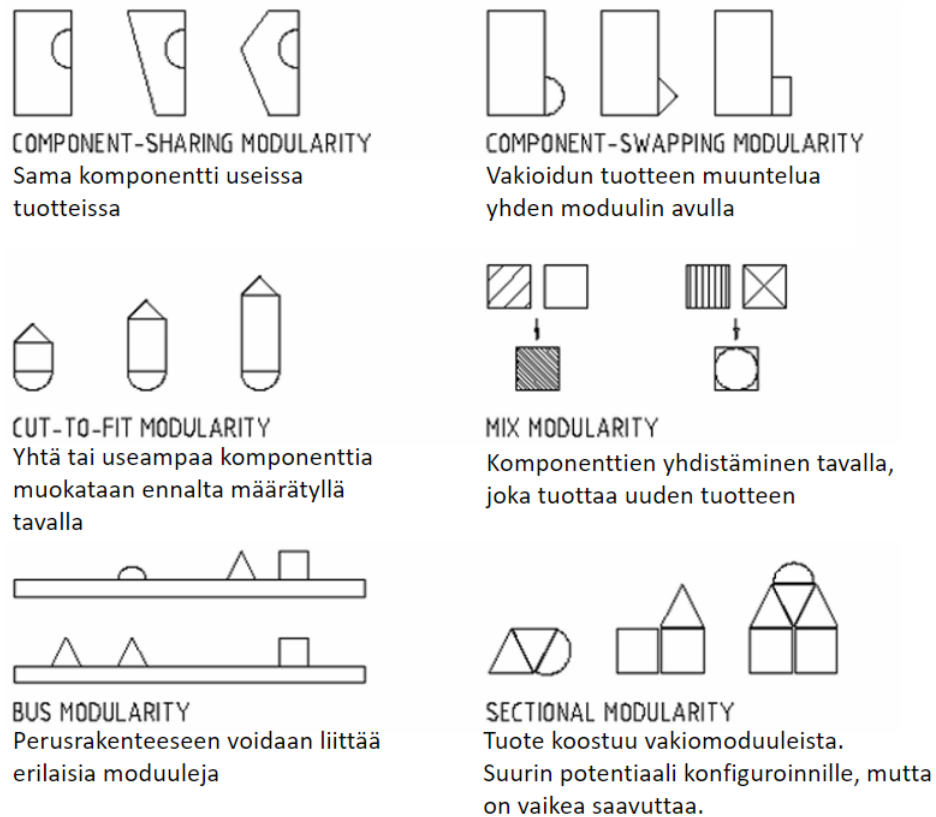
Kokonaisuudessaan laatu paranee konfiguroitavien tuoteperheiden ansiosta erityisesti ATO (Assemble To Order) -sekä ETO (Engineer To Order) -tyylisessä liiketoiminnassa. Vapaaksi jääviä resursseja voidaan suunnata uudelleen käytettävien standardimallien tai moduulien suunnitteluun. Tuttu tuoteperhe helpottaa myös toimituksen jälkeistä huolto- ja ylläpitovaihetta. Rakenteen ollessa ennestään tuttu esimerkiksi kunnossapidon toimenpiteet helpottuvat. (Pulkkinen 2007, s. 101–102) Myös varaosatoimitukset helpottuvat, sillä yksittäiset osat tai moduulit eivät välttämättä ole ainutlaatuisia, vaan niitä saattaa olla valmiina.

2.2 Modulaarisuus

Kilpailun kasvaminen markkinoilla pakottaa yritykset toimimaan tehokkaasti jokaisessa tuotteen elinkaaren vaiheessa (Windheim 2020, s. 33). Viime vuosikymmeninä modulaaristen eli monikomponenttisten järjestelmien merkitys on kasvanut tässä kilpailussa (Levin 2015, s. 1). Modulaarisilla kokonaisuuksilla pystytään tarjoamaan asiakkaille monipuolisempia tuotteita, jotka kohtaavat heidän tarpeensa paremmin (Windheim 2020, s. 33). Järjestelmien modulaarisuus mahdollistaa myös useita yrityksen edun mukaisia asioita, kuten monikäyttöisyyttä, pitkäikäisyyttä, tehokkaampaa tuotekehitystä ja uudelleen konfigurointi mahdollisuuksia (Levin 2015, s. 1; Tseng et al. 2019). Modulaaristen tuotteiden tavoite on halutun konfiguroitavuuden saavuttaminen samalla, kun tarvittavien komponenttien määrä pysyy mahdollisimman alhaisena (Windheim 2020, s. 33).

Modulaarisessa tuotearkkitehtuurissa jokaista tuotteen toiminnallista osaa edustaa yksi kappale. Lisäksi tuotteen sisältämien kappaleiden välillä on tarkasti määritellyt suhteet. Tällaisessa tuotearkkitehtuurissa on mahdollista tehdä yksittäisiin osiin muutoksia ilman, että tuotteen toimivuus kärsii. Vastakohtana tälle toimii integroitu tuotearkkitehtuuri, jossa yksittäisellä osalla saattaa olla useampia tehtäviä. Lisäksi osien väliset suhteet eivät ole tarkasti määriteltäviä. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 185) Harvat tuotteet ovat täysin kumpaakaan, sillä kummallakin tuotearkkitehtuuryypillä on omat vahvuutensa. Esimerkiksi integroidulla tuotearkkitehtuurilla on mahdollista saavuttaa toimivuuden kannalta

parempi lopputulos, mutta se voi aiheuttaa tuotteen elinkaaren aikana suuria kustannuksia (Ulrich & Eppinger 2012, s. 186).



Kuva 2. Erilaisia modulaarisuustyyppejä (muokattu lähteestä Pine 1993)

Modulaarisuutta voidaan toteuttaa usealla eri tyylillä. Pine (1993) on jakanut modulointityylit kuuteen pääluokkaan kuvan 2 mukaisesti. Tätä jakoa on käytetty myös useassa uudemmassa julkaisussa (Lehtonen 2007, s. 41; Pakkanen 2015, s. 55). Osa tyyleistä on melko lähellä toisiaan ja niistä on olemassa myös eroavia näkemyksiä. Esimerkiksi Ulrich & Eppinger (2012, s. 186) esittelevät kirjassaan jaon kolmeen modulointityyliin. Kaksi niistä ovat samoja kuin aiemmin mainituissa teoksissa väylämodulaarisuus (engl. bus modularity) sekä palapelimodulaarisuus (engl. sectional modularity). He käyttävät näiden kahden lisäksi myös aukkomodulaarisuutta (engl. slot modularity), jossa pinnat moduulien välillä ovat erilaisia. Tällöin moduuleja ei ole mahdollista vaihtaa keskenään. Tyylien ymmärtäminen on hyvä lähtökohta modulaarisen tuotteen suunnitteluun ja mallinnukseen.

2.3 Standardointi

Tuotteiden modulaarisuus perustuu standardointiin (Juuti 2008, s. 39). Parametrisia malleja luodessa tulee ottaa huomioon tuotteen tai tuoterakenteen rajoitukset eli standardit tai standardoinnit. Minkä tahansa tuoterakenteen rajoituksina saattaa toimia yrityksen sisällä sovitut asiat, tai yleiset kansainväliset standardit (Pakkanen 2015, s.50). Yrityksen tulee olla tarkka siitä mitä standardoidaan sen tuotteissa, sillä se vaikuttaa merkittävästi tuotteen kannattavuuteen (Juuti 2008, s. 4). Suunnittelijan tulee tuntea yrityksen sisäiset standardit, sekä periaatteet mistä ne ovat muotoutuneet, sillä näiden tunteminen mahdollistaa oikeaoppisen ja toimivan tuotekonfiguroinnin (Pakkanen et al. 2016, s. 4).

Pakkasen (2015, s. 50) mukaan standardointi voi perustua kansainvälisiin, teollisiin tai yritysten sisäisiin sopimuksiin tai markkinasuuntauksiin. On myös mahdollista puhua standardi osista ja standardoiduista osista. Standardiosat ovat yleensä kansainvälisten sopimusten tuloksia, kun taas standardoidut osat ovat alkuperältään sekalaisempia. Standardoinnista on olemassa useita määritelmiä, joista Pakkanen (2015, s. 50) esittelee kaksi. Ensimmäisessä määritelmässä komponenttien standardointi on saman palan käyttöä useammassa tuotteessa. Määritelmän mukaan osa voidaan standardoida, jos se koostuu vain yhdestä tai muutamasta toiminnallisista elementeistä, joita hyödynnetään laajasti erilaisissa tuotteissa. Toisen määritelmän mukaan standardoinnilla tarkoitetaan tilannetta, joissa useita komponentteja korvataan yhdellä komponentilla, joka pystyy suorittamaan niiden kaikkien toiminnot. Ensimmäinen määritelmä on yhtenevämpi tämän työn kanssa.

Pakkasen (2015, s. 50) mukaan komponenttien standardointi voi tapahtua kolmessa eri tilanteessa. Ensimmäisessä komponenttien standardointi tapahtuu tuotteen sisällä. Tässä useita eri komponentteja korvataan yhdellä komponentilla. Tämä vähentää tuotteen kehityksen monimutkaisuutta. Toisessa tilanteessa komponenttien standardointi tapahtuu tuotteiden sisällä, tai niiden välillä. Tässä tapauksessa ainutlaatuisia komponentteja korvataan yhteisellä komponentilla eri tuotteissa. Kolmannessa tilanteessa komponenttien standardointi tapahtuu tuoteperheiden sisällä, eli yhteisiä komponentteja käytetään eri tuotteissa, tai parannelluissa tuotteissa koko tuoteperheen olemassaolon ajan.

Suunnittelijoiden tulisi aina pyrkiä käyttämään komponentteja, joita ei tarvitse erikseen valmistaa. Osien tulisi olla helposti saatavilla vakiona tai ostamalla, sillä helposti saatavilla olevat ostettavat osat ovat yleensä halvempia kuin itse valmistetut. Kummankin tavoite on vähentää uudelleen suunnittelun määrää ja kalliiden komponenttien käyttämistä.

(Pakkanen 2015, s. 49–50) Tässä standardointi liittyykin vahvasti modulaarisuuteen. Samojen mallien tai komponenttien käyttö ei kuitenkaan ole aina mahdollista yksilöllisistä asiakastarpeista johtuen (Pakkanen et al. 2016, s. 3).



Kuva 3. Standardoinnin vaikutukset tuotteen elinkaaren vaiheissa (muokattu lähteestä Pakkanen 2015, s. 52)

Standardoinnilla on merkittäviä vaikutuksia tuotteen elinkaareen. Se näkyy jokaisessa tuotteessa eri tavalla ja sen vuoksi tuotteen koko elinkaarta tulisi analysoida mahdollisten säästöjen tai kustannusten kannalta (Pakkanen 2015, s. 52). Kuva 3 esittää yleistyksen standardoinnin vaikutuksista tuotteen elinkaaren eri vaiheisiin. Tärkein asia tuotteen elinkaaren alussa on tuotekehityksen tehostuminen. Tämän ovat todenneet myös Pulkkinen (2007, s. 97) ja Juuti (2008, s. 7). Standardoinnin takia tuoterakenne ei kuitenkaan ole aina optimaalinen, jos mietitään asiakkaan yksilöllisiä tarpeita. Valmistuksen toimitusvarmuus paranee ja kustannukset saattavat pienentyä mittakaavaedun myötä. Tuotteen käyttäminen ja ylläpito myös helpottuu, sillä rakenne saattaa olla ennestään tuttu. Standardoitujen tuotteiden ja rakenteiden suunnittelu on suositeltavaa lähes jokaiselle kovaa kilpailua kohtaavalle yritykselle. Ne vähentävät tilauksesta toimitukseen kuluvaan aikaan, jonka on todettu olevan merkittävä kilpailuetu yrityksille (Pulkkinen 2007, s. 97).

2.4 Konfiguraattorit

Juutin (2008, s. 36) mukaan konfiguraattorit ovat tietokoneohjelmia, joita käytetään konfiguraatioiden määrittämiseen. Konfiguraattori hyödyntää sille annettuja tuotteen rajoitteita sekä käyttäjältä tulevia parametreja, ja muodostaa näistä yksilöllisen tuotteen. Sen sijaan Pakkanen (2015, s. 79) esittelee konfiguraattorin ohjelmistopohjaiseksi järjestelmäksi, joka tukee käyttäjää tuoteyksilöiden luomisessa tiettyjä rajoitteita hyödyntäen. Konfiguraattori voi mahdollistaa yritykselle useita hyötyjä, kuten lyhyemmät läpimenoajat, paremman laadun, tiedon säilymisen sekä tehokkaamman resurssien ohjauksen (Pakkanen 2015, s. 79). Konfiguraattorin määritelmä on siis melko laaja, mutta yleisesti se on malleja luova tietokoneohjelma, joka hyödyntää sille annettuja parametreja mallin luomiseen.

Konfiguraattoreita on erilaisia riippuen niiden käyttötarkoituksesta, ja näillä on myös käyttäjilleen erilaisia vaatimuksia. Pakkanen (2015, s.19) mainitsee muun muassa myynti- ja tuotantojärjestelmä konfiguraattorit. Hänen mukaansa tuotantojärjestelmän konfiguraattori tarvitsee tietoa kaikista mahdollisista komponenteista, jotka koskevat sen valmistusvaatimuksia ja sen suhteita tuotteen muihin mahdollisiin komponentteihin. Sen sijaan myynti konfiguraattori ei vaadi niin yksityiskohtaista tietoa esimerkiksi komponenteista tai käytetyistä teknologioista (Juuti 2008, s. 35).

Konfigurointi vaihtoehtojen kasvaessa eri varianttien määrä kasvaa huomattavasti, jonka vuoksi konfiguraattori on erittäin hyödyllinen työkalu tuotemäärän hallintaan. Esimerkiksi mallien luomiseen tehty konfiguraattori voi auttaa asiakkaita valitsemaan tuotteiden välillä. Tällainen konfiguraattori voisi esittää vaihtoehdot mallinnettuina, ja antaa asiakkaan valita mieluisen vaihtoehdon yrityksen asettamien tuoterajoitteiden puitteissa. (Sinz et al. s. 79) Tuotekonfiguroinnin ongelmat voikin tiivistää ongelmaksi asiakkaan tarpeiden ja tuoterajoitteiden välillä. Vaikka konfiguraattoreihin liittyy useita etuja, niiden käyttöönottoprojekti voi olla usein hyvinkin haastava ja epäonnistunut (Pakkanen 2015, s. 79).

3. CAD-MALLIEN KONFIGUROINTI

Useat kirjailijat ovat huomanneet, että mallien helppo ja oikeaoppinen muokkautuvuus on kriittisessä asemassa nykyaikaisessa suunnittelussa ja tuotekehityksessä (Camba et al. 2016, s. 1). CAD-ohjelmissa konfiguraatiot ovat saman mallin variantteja, jossa geometria on erilaista tai piirteitä on suljettu (engl. suppressed). Lisäksi on mahdollista muuttaa esimerkiksi osan materiaalia tai väriä konfiguraatioiden välillä. Toisin sanottuna, joidakin parametreja on muutettu. (Lombard 2019, s. 335) Mallia tehdessä saman näköisen lopputuloksen voi saavuttaa lähes loputtomilla eri tavoilla, mutta vain muutamalla niistä on mahdollista saada oikeanlainen rakenne, joka on jatkossa konfiguroitavissa ja hyödynnettävissä muissakin malleissa (Camba et al. 2016, s. 1). Myös kokoonpanoilla on mahdollista olla konfiguraatioita, joissa on mahdollista muuttaa esimerkiksi tiettyjä osia. Keskityn kuitenkin yksittäisten osien konfigurointiin, työn laajuuden hallitsemiseksi.

3.1 Parametrisointi teoriassa

Parametrinen suunnittelu tarkoittaa parametrien hyödyntämistä tietyn muodon saavuttamiseksi. Asian voisi muotoilla myös suhteiden avulla suunnitteluksi tai rajoitelähtöiseksi suunnitteluksi. Jos suuri osa tuotteen elementeistä voidaan ryhmitellä tuoteperheisiin, jotka voidaan parametrisoida niiden piirteiden mukaan, on siitä suunnittelussa suuri apu. Tuoteperhe on oleellinen parametrisessa suunnittelussa, sillä sen jäsenet eroavat toisistaan vain tiettyjen mittojen välisissä eroissa, alla olevan perusrakenteen ollessa sama. Tuoteperheen luomiseen tarvitaan topologista tietoa kappaleesta ja sen piirteistä, sekä piirteiden välisistä suhteista. (Mondero 2000, s. 371)

Parametrisessa suunnittelussa CAD mallin laatu määrittää pitkälti sen tulevan konfiguroitavuuden ja joustavuuden. Oikeaoppisesti tehdyssä mallissa geometriaa voidaan muokata, ja malli pysyy tarkoituksenmukaisena hajoamatta. Lisäksi tätä ennalta määrättyä geometriaa voidaan käyttää uudelleen samankaltaisissa suunnittelutehtävissä. Tämä malli koostuu rakennepuusta, jossa erilaiset piirteet ovat määriteltynä ja niillä on ylä- ja alapiirre (engl. parent/child) suhteet. Eli yläpiirre (engl. parent) vaikuttaa sen alle luotuun piirteeseen (engl. child). (Camba et al. 2016, s. 1) Esimerkkinä tästä voisi toimia neliön 2D viivat, ja niistä tapahtunut pursotus. Viivat ovat yläpiirre ja pursotus niiden alapiirre. Parametrisoitavia asioita voisivat olla neliön sivujen mitat ja pursotuksen korkeus. Oikeaoppinen parametrisointi säästää aikaa sekä tietokoneen muistia (Mondero 2000, s. 371).

Parametrisoitu malli antaa käyttäjän muuttaa kappaleen geometriaa suorasti tai epäsuorasti. Tuoteperhettä pystyy hyödyntämään esimerkiksi lenkkiavaimen mallinnuksessa, jossa jokaisen avaimen muoto riippuu sille tarkoitetun pultin koosta. Kuten muissakin

tuoteperheissä, tässäkin mitoilla on hierarkia, joista korkeimpana olisi avaimen halkaisija. Muita oleellisia mittoja ovat avaimen varren pituus ja paksuus. (Stroud & Nagy 2011, s. 525) Tässä voisi olla kannattavaa parametrisoida varren pituus ja paksuus pultin koon funktiona niin, että ne muuttuvat suhteessa pultin koon muutoksiin.

Skissaus (engl. sketching) eli piirteiden hahmottelu on perusta, jonka avulla voidaan rakentaa useimmat mallien piirteistä. Parametri voidaan tässä tapauksessa määrittellä yhtenä mitattavista tekijöistä, jotka määrittelevät järjestelmää ja sen käytöstä muutoksia tehdessä. Esimerkiksi SolidWorksin skissit ovat parametrisia. Tämä mahdollistaa konfiguroitavien mallien luomisen, joissa säilyy halutut piirteet ja jotka noudattavat tiettyjä sääntöjä muuttuessaan. Tämä on parametrinen mallinnuksen ydin. Parametrien avulla tapahtuva skissaus onkin suunnittelijan tärkeimpiä työkaluja. (Lombard 2013)

3.2 Parametrisoinnin keinot

Kuten aiemmin todettiin, skissin (engl. sketch) sisäiset parametriset suhteet määrittelevät tavan, jolla skissi reagoi muutoksiin esimerkiksi mitoissa, suhteissa tai ulkopuolisissa tekijöissä. Myös muut tekijät kuten esimerkiksi funktiot, skissin ulkopuolinen malligeometria ja jopa geometria kokoonpanon toisesta osasta voivat ohjata muutosta. Kun skissi parametrisoidaan oikealla tavalla syntyy malleja, jotka konfiguroituvat toivotusti, ja ennakoitavasti. (Lombard 2013) Alla esitellyt tiedot pätevät erityisesti SolidWorksissa. Parametrisointi ja siihen liittyvät työkalut ovat kuitenkin osana lähes jokaista nykyaikaista suunnitteluohjelmaa. Käsittelen näissä kappaleissa aihetta SolidWorksin kautta, yksinkertaistamisen vuoksi.

SolidWorks skissi voi olla viidessä eri tilassa riippuen siitä, miten sen määrittely on tehty. Skissin viivan väri määrittää sen tilan, joka on myös nähtävillä alareunan palkissa. Värikoodien ja skissin määrittelyn ymmärtäminen on tärkeää, sillä se vaikuttaa suuresti mallin toimivuuteen etenkin konfigurointitilanteissa. Yleisimmät värit ovat sininen ja musta, jossa sininen tarkoittaa määrittelemätöntä piirrettä, kun taas musta täysin määriteltyä. Muita värejä ovat punainen, keltainen ja ruskea. Punainen ja keltainen tarkoittavat ylimääriteltyä skissiä, jossa käyttäjän antamat relaatiot eivät ole mahdollisia toteuttaa. Ruskea skissi viittaa siihen, että se on kadottanut piirteen, jonka kautta se oli määritelty. Relaatioiden poistaminen ei ole suositeltavaa, sillä usein se saattaa johtaa mallin hajoamiseen. Kun relaatioita poistetaan, useat siitä riippuvaiset piirteet saattavat menettää lähtötietonsa ja alkaa "roikkumaan". (Lombard 2013) Esimerkkinä viiva, joka on skissattu vaakasuoraan origosta. Viivan origossa oleva puoli on määritelty, jonka lisäksi viivan vaakasuoruus on määritelty. SolidWorksissa tämä näkyy viivan ja origossa olevan pää-

tepisteen värissä, joka on tässä tapauksessa musta. Viivan toinen päätepiste on alimääritely, joten se pysyy sinisenä, koska viivan pituutta ei ole määritely. Skissin määrittelytilat näkyvät grafiikkaikkunan oikeassa alakulmassa. Kun käytetään Smart Dimension työkalua viivan pituuden määrittelyyn, viiva päätepiteineen muuttuu mustaksi, ja oikean alakulman teksti vaihtuu "Fully Defined" eli viiva täysin määritely.

Skississä olevat relaatiot eivät ole ainoa tapa määrittellä mittoja järkevästi. SolidWorkissa on mahdollisuus käyttää mallin parametrissointiin myös yhtälöitä ja muuttujia. Equations työkalulla on mahdollista luoda yksinkertaisia tai monimutkaisia yhteyksiä muuttujien välille yhtälöiden kautta. Globaaleja muuttujia voidaan myös hyödyntää Equations työkalulla, mittojen nimien lisäksi. Lisäksi yhtälöitä voidaan sulkea tarvittaessa. (Lombard 2019, s. 318) Yhtälöt ovat kätevä tapa määrittellä esimerkiksi reikäjako kappaleen mittojen mukaan. Yhtälöiden rakentaminen malliin onkin kätevä tapa saada erilaisia variantteja tuotteelle, jossa piirteet muuttuvat toistuvasti tai johdonmukaisesti.

Lombardin (2019, s. 318) mukaan suunnittelijan tulisi ottaa tavaksi tärkeimpien ominaisuuksien, skissien ja mittojen nimeäminen. Tämä korostuu etenkin Equations, Configurations ja Design Table työkalujen käytössä, sillä näitä työkaluja käytetään usein piirteiden nimien perusteella. Nimetyt mitat ja piirteet tekevät edellä mainittujen työkalujen käytöstä selkeää ja nopeaa, sillä kirjoitetun yhtälön toimintaa voi ymmärtää usein vain lukemalla. Esimerkiksi D6@Sketch3 on epäselvä verrattuna Pituus@AukonPursotus. Mittojen nimissä ei ole mahdollista käyttää @-merkkiä, sillä sitä käytetään mitan nimen ja siihen liittyvän piirteiden erottimena. Lisäksi välilyönnin käyttö ei ole suositeltavaa, sillä Excel voi tulkita niitä väärin. Nimen tulisi olla mahdollisimman lyhyt ja kuvaava, sillä usein edellä mainituissa työkaluissa on rajattu alue, mihin esimerkiksi yhtälö kirjoitetaan.

SolidWorksin Configurations työkalu mahdollistaa useiden eri varianttien olemassaolon ja hallinnan yhden mallin tiedostossa, mikä on suunnittelijan kannalta kätevää ja nopeaa. Mallin variantteja on mahdollista luoda Configurations työkaluun manuaalisesti tai Excelin kautta toimivan Design Table työkalun avulla (Lombard 2019, s. 340). Lombard (2019, s. 317) mainitsee, että käyttäjän tulee olla tarkkana Configurations ja Equations työkalujen käytön yhdistämisessä, etenkin jos ne on liitetty Design Tableen. Kyse ei ole siitä, etteivätkö ne toimisi yhdessä, vaan enemmänkin järjestyksen ylläpitämisestä. Käyttäjien on tässä tapauksessa mahdollista ohjata mallin mittoja sekä Configurations että Equations työkalujen avulla, mikä saattaa aiheuttaa sekavuutta. (Lombard 2019, s. 333). SolidWorksissa on kuitenkin mahdollisuus valita päivittyvätkö mallissa tehtävät muutokset Design Tableen, mikä ehkäisee sekavuuden syntymistä.

4. KONFIGURAATIOIDEN LUOMINEN

Tässä luvussa on yksinkertainen esimerkki yksittäisen komponentin CAD-mallin konfiguroinnista. Luvun sisältö on toteutettu SolidWorks CAD-ohjelmalla, jotta tutkielma pysyy johdonmukaisena. Ensimmäisessä alaluvussa on esitetty malliin tarvittavat lähtötiedot sekä oletukset. Toisessa alaluvussa on esitetty keinoja, joita käytin lopputuloksen saamiseksi. Kolmannessa alaluvussa on tällä menetelmällä saadut lopputulokset sekä pohdintaa niiden tarkoituksenmukaisuudesta. Sanaa konfigurointi käytän tässä luvussa, kun puhutaan itse muokkaamisesta. Lopputuloksesta käytän sanaa variantit selkeyden vuoksi.

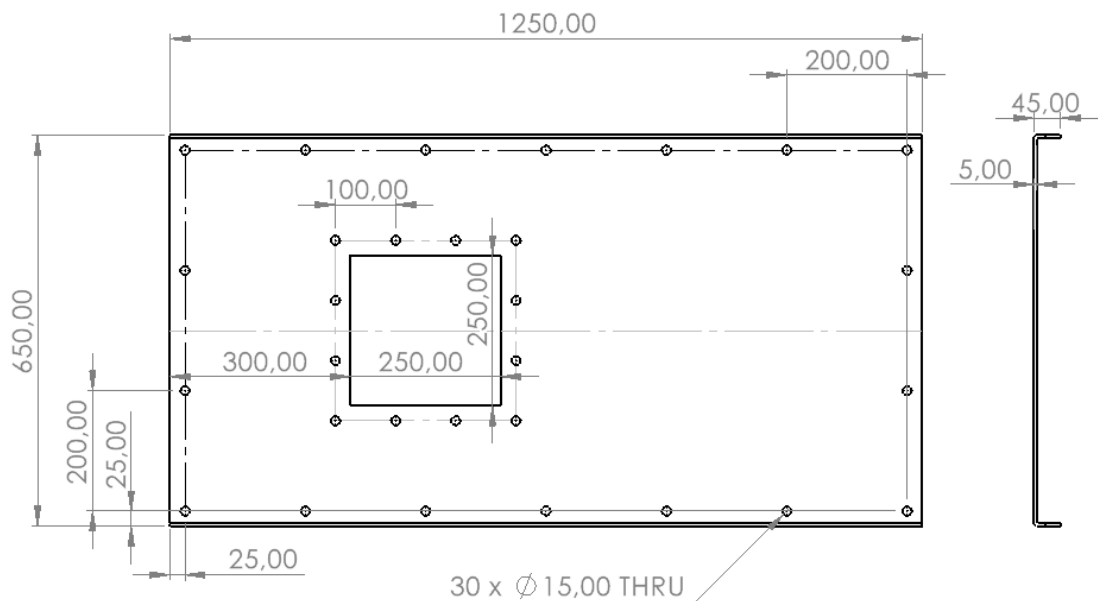
Esimerkkinä on käytetty yksinkertaista teräslevystä valmistettua kantta, sillä koen tilanteen olevan mahdollinen myös oikeassa työelämässä. Lisäksi kansi on tarpeeksi yksinkertainen mallinnettava työn laajuutta ajatellen. Kannet ovat hyvin yleisiä komponentteja teollisuudessa, ja niitä on useita erilaisia omiin käyttötarkoituksiinsa. Niiden tarkoituksena voi olla esimerkiksi laitteen sisällä olevan materiaalin suojaus, tai henkilöiden suojaaminen laitteen sisäpuolen toiminnalta. Kannen ominaisuudet riippuvat suuresti sen tehtävästä laitekokonaisuudessa. Kansi on soveltuva komponentti konfiguroitavaksi juuri tarvittavien varianttien määrän vuoksi.

4.1 Lähtötiedot

Jokaisen CAD mallin rakentaminen alkaa oletuksella tai varmallalla tiedolla halutusta lopputuloksesta. Esitän hypoteettisen tilanteen, jossa tarvitaan pulttiliitoksella kiinnitettäviä kansia tietyn laitteen kolmeen kokoluokkaan. Yrityksessä voisi olla standardoituina laitteiden leveys alkavaksi 0,6 metristä ja suurenevan aina 0,2 metriä kokoluokkien välillä. Lisäksi kansia tarvitaan kahta eri pituutta jokaiselle eri leveydelle. Jokaisen kokoluokan pidemmässä kannessa tulisi olla kiinnitysmahdollisuus nopeasti avattavalle luukulle. Kansia tarvitaan siis yhteensä 6 kappaletta.

Tavoitteena on, että mallia voidaan konfiguroida kahden yhtälön ja Design Tablen kautta. Tämä on mahdollista toteuttaa usealla eri tavalla, mutta olen valinnut tähän esimerkkiin reikien määrän kautta mallin konfiguroinnin. Kuten aiemmin mainittiin, laitteiden koko muuttuu 0,2 metrin välein. Tässä tilanteessa pulttien reikäjakokin voisi olla 0,2 metriä, jolloin yhden reiän lisäys muuttaa kannen suurempaan laiteluokkaan ja toisinpäin. Standardoitu reikäjako voisi olla toimiva ratkaisu, jos vaatimukset laitteille ovat samanlaisia, ja laitteiden varianttien määrän kohtuullinen. Yhtälön olisi voinut asettaa toimimaan myös

niin, että reikäjako muuttuu sivun pituuden funktiona, mutta standardoinnin oletuksen perusteella koin edellä mainitun tavan järkevämmäksi.



Kuva 4. Luonnos halutusta lopputuloksesta pienimmän laitemallin toiselle kannelle.

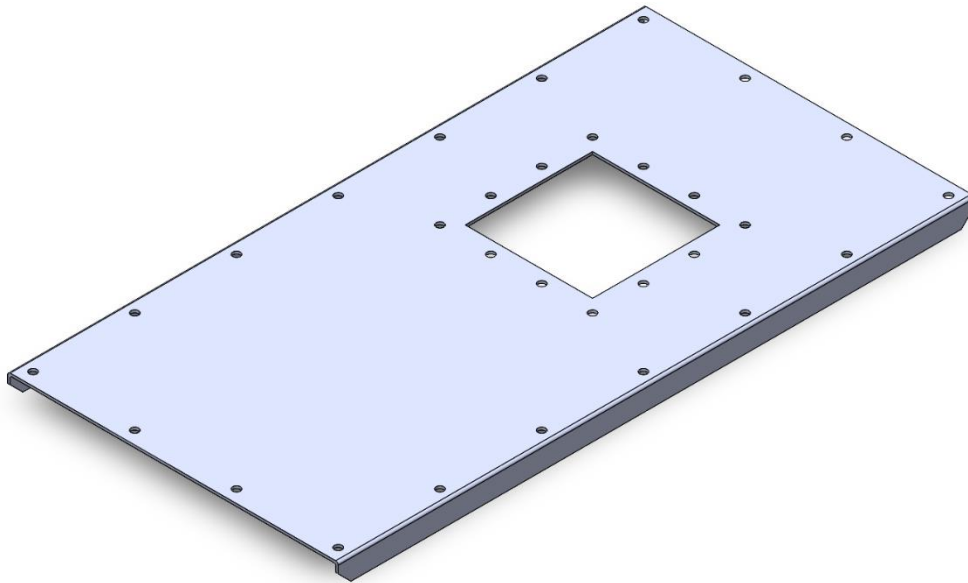
Kuvassa 4 on yksinkertainen piirustus halutusta lopputuloksesta pienimmän laitteen luukulliselle kannelle. Kaikki tarvittavat piirteet eivät ole mitoitettu, mutta niiden suhteen mallinnuksessa on tehty oletuksia. Tämän piirustuksen perusteella tehty malli tulee toimimaan pohjana konfiguroinnille. Konfiguroinnissa keskeisessä asemassa ovat yhtäläisyydet ja erot mallien välillä, joten ne ovat tärkeitä tiedostaa ja erotella. Jokaiseen kanteen tulevia yhteisiä piirteitä ja mittoja ovat:

- 5 mm levynpaksuus
- 45 mm korkeat reunat
- 15 mm kaikkien reikien halkaisija
- 200 mm ulompien reikien välillä kummassakin suunnassa

Mallit eroavat toisistaan sivujen mittojen perusteella, reikien määrällä, sekä sillä tuleeko niihin paikkaa luukulle. Lyhyemmät kannet jokaiselle leveydelle ovat 850 mm pitkiä, eli reikiä on pituussuunnassa viisi. Pidemmät kannet puolestaan ovat 1250 mm pitkiä, ja reikiä on pituussuunnassa seitsemän. Lisäksi pitkissä kansissa on keskilinjalla paikka, mihin luukku voidaan kiinnittää pulttiliitoksella. Tämä kohta sijaitsee 300 mm kannen päädyssä kuten kuvassa 4 on esitetty.

4.2 Mallin luominen

Kuten edellä mainittiin, eri konfiguraatioiden luomiseksi tarvitaan pohjamalli, jota muokataan tarpeen mukaan. Aloitettiin edellisessä alaluvussa esiintyneen mallin tekeminen skissaamalla origoon keskeltä alkavan suorakulmion ja parametrisoimalla sen kannen ulkomittojen mukaan. Aloitettiin origosta, sillä malli on usean akselin suhteen symmetrinen ja origon kautta kulkevia tasojä hyödynnetään mallin rakentamisessa. Seuraavaksi pursotettiin kannen ulkomuoto ja käytettiin Shell työkalua reunojen saamiseen. Tehtiin yksi ulkokehän reikä ja jatkettiin sitä Pattern työkalulla ensin yhteen ja sitten toiseen suuntaan. Tämän jälkeen hyödynnettiin Mirror työkalua reikien heijastamiseksi aputasojen suhteen. Skissattiin ja parametrisoitiin aukko luukulle sekä reiät pulttiliitokselle ja asetettiin niille rajoite olla pituussuunnassa olevan keskilinjan kanssa yhtenevät. Viimeiseksi lisättiin viisteet kulmiin ja pyöristykset taitoksiin. Pohjamalli konfiguroinnille oli valmis. Lopputulos on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Pohjamalli konfiguroinnille.

Seuraavaksi tehtiin konfiguraatiota helpottavia toimenpiteitä, joita esiteltiin luvussa 3.2. Nimettiin tärkeimmät piirteet, jotta yhtälöiden ymmärrettävyys parantuisi. Tehtiin reikien määrästä kummassakin suunnassa globaalit muuttujat, jolloin ne tulevat näkyviin myös Equations työkalussa. Sitten tehtiin yhtälöt kannen pituudelle ja leveydelle, niin että ne muuttuvat reikien määrää muutettaessa. Tätä vaihetta piirteiden nimeäminen helpottaa. Lisäksi se auttaa ymmärtämään yhtälön toimintaa. Pituuden ja leveyden mittojen nimien eteen ilmestyi Σ -merkki, joka tarkoittaa ohjataan yhtälön kautta ohjaamista. Yhtälön voi kirjoittaa mitatun numeroarvon tilalle, tai Equations työkaluun. Vaikka yhtälön

kirjoittaisi suoraan mitan arvon riville, se tulee näkymään Equations työkalussa. Yhtälö sisälsi kolmen muuttujan arvot, joista saatiin lopullinen tulos sivun pituudelle. Reikien määrästä tulee vähentää yksi, jonka jälkeen tämä arvo kerrottiin reikien välissä olevalla etäisyydellä. Siihen lisättiin vielä reiän ja reunan välin kaksinkertainen arvo. Sivun pituus pysyi samana, josta voidaan päätellä yhtälön olleen oikein. Kuvan 6 Equations työkalun alueella nähtiin, että pituus on edelleen 1250 mm ja leveys 650 mm. Kuvassa 6 on myös auki kirjoitetut yhtälöt.

The image shows the Equations tool interface in SolidWorks. At the top, two 'Modify' dialog boxes are visible. The first one is for 'Pituus@Sketch1' with the equation:
$$= ("ReikienPM@LPattern2" - 1) * "ReikienVäliP@LPattern2" + 2 * "EtäisyysReunastaP@Sketch3"$$
 The second one is for 'Leveys@Sketch1' with the equation:
$$= ("ReikienLM@LPattern1" - 1) * "ReikienVäliL@LPattern1" + 2 * "EtäisyysReunastaL@Sketch3"$$
 Below these is the main 'Equations, Global Variables, and Dimensions' panel. It contains a table with the following data:

Name	Value / Equation	Evaluates to
Global Variables		
"ReikienPM"	= 7	7.00
"ReikienLM"	= 4	4.00
<i>Add global variable</i>		
Features		
<i>Add feature suppression</i>		
Equations		
"Pituus@Sketch1"	= ("ReikienPM@LPattern2" - 1) * "D3@LPattern2" + 50	1250mm
"Leveys@Sketch1"	= ("ReikienLM@LPattern1" - 1) * "D3@LPattern1" + 50	650mm
"ReikienPM@LPattern2"	= "ReikienPM"	7
"ReikienLM@LPattern1"	= "ReikienLM"	4

At the bottom of the panel, there are checkboxes for 'Automatically rebuild' (unchecked), 'Link to external file' (unchecked), and 'Automatic solve order' (checked). The 'Angular equation units' are set to 'Degrees'.

Kuva 6. Yhtälöt Equations -työkalussa ja mittojen kohdalla.

Jäljellä oli enää itse konfigurointi. SolidWorksin Design Table on hyvä työkalu, kun tarvitaan useampia variantteja. Design Tablea tehtäessä on mahdollista valita päivittyvätkö malliin manuaalisesti tehtävät muutokset myös Design Tableen. Näin voidaan välttää Lombardin (2019, s. 317) mainitsema sekavuuden uhka. Valittiin Design Tableen asioita, joita halutaan ohjata sen kautta. Tässä tapauksessa ne olivat reikien määrä kumpaankin suuntaan sekä luukun aukon olemassaolo.

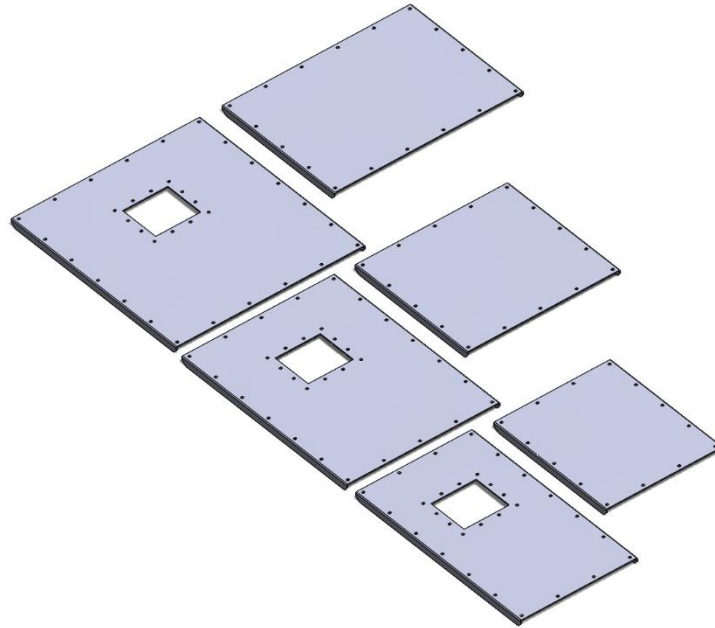
SolidWorks teki kuvan 7 mukaisen Excel-linkin, jonka kautta mallin variantit määriteltiin ja tehtiin. Vasemmassa reunassa oli tila, mihin kirjoitettiin uusien varianttien nimet. Kuvan 7 mukaisesti rivin keskelle kirjoitettiin numeroarvo halutusta reikien määrästä, sekä valintamahdollisuus luukun aukolle. Luukun aukon sulkeminen tapahtui kirjoittamalla S eli Suppressed tai U eli Unsuppressed tietyn variantin riville. Kun Design Table suljettiin, SolidWorks muodosti parametrien mukaiset variantit automaattisesti. Ne olivat valmiina käytettäväksi Configurations työkalussa.

	A	B	C	D	E	F
1	Design Table for: KANSIV2					
2		ReikienLM@LPattern1		ReikienPM@LPattern2		
3	600+Luukku	4	7	U		
4	600	4	5	S		
5	800+Luukku	5	7	U		
6	800	5	5	S		
7	1000+Luukku	6	7	U		
8	1000	6	5	S		
9						
10						

Kuva 7. SolidWorksin automaattisesti tekemä Design Table

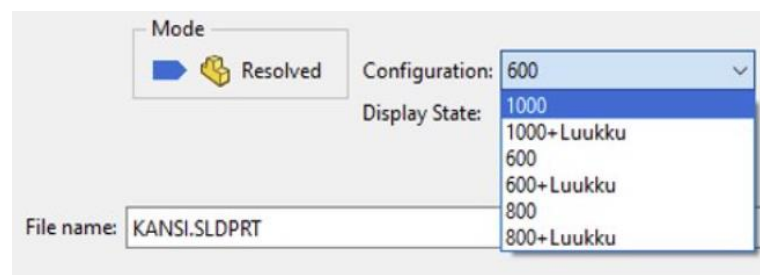
Halutut variantit olisi voinut saada myös manuaalisesti konfiguroimalla. Se alkaisi teke- mällä manuaalisesti uudet konfiguraatiot Configurations työkaluun. Ne tulisi nimetä ku- vaavasti niiden hyödyntämisen helpottamiseksi. Sitten tulisi muuttaa kaksi kertaa leveys- suunnassa olevien reikien määrää, jolloin saataisiin variaatiot erikokoisille laitteille. Tässä kohtaa olisi mahdollista valita, mihin variantteihin tämän tulisi toteutua. Tämän jälkeen tulisi vähentää pituussuunnassa olevien reikien määrää, sekä sulkea luukun au- kon piirre. Tämän vaiheen voisi myös tehdä yhdelle varianteista, jonka jälkeen tulisi mää- rittää muutkin variantit, joissa se toteutuu. Nyt kannen variantit olisivat valmiina käytet- täväksi tälläkin tyylillä. Manuaalinen konfigurointi voisi sopia tilanteeseen, jossa variant- teja tarvitaan hyvin vähän. Design Table soveltuu kuitenkin useammin konfigurointiteh- tävään sen nopeuden ja muokkautuvuuden vuoksi.

4.3 Tulokset ja niiden analysointi



Kuva 8 Saadut lopputulokset.

Onnistuttiin saamaan kuvan 8 mukaiset kannen variantit. Kun ensimmäinen malli oli valmis, siihen oli helppoa liittää yhtälöt sekä Design Table, jonka kautta sitä konfiguroitiin. Tämän helppouden edellytyksenä on kuitenkin oikein tehty parametrisointi. Samanlainen lopputulos olisi ollut mahdollista saavuttaa usealla tavalla. Konfiguroitavaa mallia tehdessä on tärkeää pitää mielessä mallin käyttötarkoitus. Jos reikäjako ei olisi ollut standardoitu, olisi mallia voinut ohjata muillakin tavoilla järkevän lopputuloksen saamiseksi. Variantit luotiin tässä Design Tablen kautta, mutta jos kannen variantteja olisi tarvittu vähemmän, sen olisi voinut tehdä myös manuaalisesti. Design Tablen avulla variantteja saatiin kuitenkin nopeammin. Manuaalisen konfiguroinnin mahdollisuudesta on myös hyvä olla tietoinen, sillä sen käyttö on hyväksyttävää tietyissä tilanteissa. Näitä kahta tapaa ei tule kuitenkaan sekoittaa, jotta vältetään sekavuuksilta. Kannen variantit olisivat nyt käytettävissä esimerkiksi kokoonpanossa kuvan 9 mukaisesti.



Kuva 9. Konfiguraatioiden käyttömahdollisuus kokoonpanoa tehdessä.

5. YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli perehtyä kirjallisuuskatsauksen sekä soveltavan esimerkin kautta tuotekonfigurointiin. Tutkimuskysymyksissä haluttiin tietää, missä tuotekonfigurointia kannattaa hyödyntää, mitä tulee ymmärtää niin tehtäessä, sekä mitä keinoja itse suunnittelijalla on käytettävissään. Tässä luvussa käyn läpi vastaukset tutkimuskysymyksiin sekä pohdin työssä selvinneitä asioita. Ensimmäisissä luvuissa johdateltiin aiheeseen, kun taas luvuissa 3 ja 4 käsiteltiin tuotekonfigurointia lähempänä käytäntöä. Tärkeimmiksi asioiksi muodostuivat modulaarisuus, standardointi, parametrisointi sekä oikeaoppinen CAD-mallinnus.

Luvussa 2 todettiin, että tuotekonfiguraatiota hyödynnetään laajasti teollisuuden eri osaluilla. Parhaiten se kuitenkin sopii käyttöön ETO- tai ATO- tyyliin tuotteisiin, jossa asiakastarpeet saattavat olla monimutkaisia, kuten esimerkiksi projektiliiketoiminnassa. On huomioitavaa, että konfigurointi perustuu jonkin aiemmin olemassa olevan muokkaukseen, jolloin rakenteeltaan täysin ainutlaatuiset tuotteet eivät sovellu tähän kategoriin. ETO- tai projektimaisia tuotteita pystyy kuitenkin toteuttamaan myös erilaisia osaperheiden variantteja yhdistelemällä sekä muuntelemalla, jolloin konfiguroinnin käyttö on ehdottomasti kannattavaa ja yleistä. ATO tuotteissa on tyypillistä, että sama perusrakenne toistuu, jolloin voidaan hyödyntää modulaarisuuden tuomaa konfigurointimahdollisuutta. Tuotekonfiguraatio on kannattavaa myös näissä yhteyksissä, sillä se nopeuttaa toimitusaikaa, vähentää turhaa työtä ja tehostaa tuotekehitystä. Nopea toimitusaika olikin asiakkaan asemassa oleville usein tärkeää.

Konfiguroitavaa tuotetta suunniteltaessa keskeisiksi asioiksi huomattiin modulaarisuus, sekä standardointi. Modulaarisilla kokonaisuuksilla pystytään tarjoamaan asiakkaille monipuolisempia tuotteita, jotka kohtaavat heidän tarpeensa paremmin. Modulaarisuus on jaettu eri tyylihin ja valmis tuote voi koostua yhden tai useamman tyylin yhdistelmästä. Järjestelmien tai yksittäisten tuotteiden modulaarisuus mahdollistaa niiden monikäyttöisyyden, pitkäikäisyyden, tehokkaan tuotekehityksen sekä enemmän uudelleen konfigurointi mahdollisuuksia. Kuten alaluvussa 2.3 todettiin, modulaarisuus perustuu standardointiin. Standardointia voi tapahtua useassa eri tilanteessa ja se tarkoittaa esimerkiksi

tietyn rakenteen vakioimista. Standardointi vaikuttaa monipuolisesti tuotteen koko elinkaareen, ja sen vaikutuksista tulee olla tietoinen päätöksiä tehdessä. Useat vaikutuksista ovat positiivisia, mutta standardointi ei sovi kaikkialle.

Kolmannessa luvussa todettiin, että suunnittelijan tulee ymmärtää parametrinen mallinnus ja oikeaoppiset mallinnustekniikat. Valmiin mallin saa usealla eri tavalla, mutta vain muutama niistä johtaa konfiguroitavaan lopputulokseen. Parametrisointi eli mallin määrittely onnistuu monipuolisesti nykyaikaisissa mallinnusohjelmissa kuten SolidWorks. Skissien määrittelyn tilan näkee niiden väristä, ja näiden ymmärtäminen ja tulkitseminen ovatkin tärkeitä osattavia. Piirteiden oikeanlainen nimeäminen on myös tärkeää, sillä mallia muokattaessa se selkeyttää eri työkalujen käyttöä. SolidWorkissa on useita mallin konfigurointiin käytettäviä työkaluja kuten Equations, Design Table ja Configurations. Jokaisella näillä onkin oma käyttötarkoituksensa. Näiden työkalujen yhdistelyssä tulee kuitenkin olla tarkka, jotta malli pysyy johdonmukaisena, eikä sekavuutta pääse syntymään.

Luvussa 4 onnistuttiin tekemään kannesta konfiguraatioita parametrisen mallinnuksen keinoin. Huomattiin, että konfiguroitavaan lopputulokseen on mahdollista päästä usealla eri tavalla. Malliin liitettiin yhtälöt, joita päädyttiin ohjaamaan reikien määrän kautta, sillä oletuksena oli reikäjaon standardointi. Mallia päädyttiin konfiguroimaan Design Tablen kautta, sillä se on nopeaa ja yleistä teollisuudessa. SolidWorksissa on useita hyödyllisiä työkaluja konfigurointiin, joita tulee käyttää tarpeen mukaisesti. Mallin kohdistuvat tavoitteet ja vaatimukset on hyvä pitää mielessä alusta alkaen, jotta malli tulee parametrisoitua oikein. Kannen konfiguraatiot säilyvät kannen tiedostossa, ja ovat käytettävissä sieltä esimerkiksi kokoonpanoissa.

LÄHTEET

Arto, K. A., Kujala, J., Dietrich, P., & Martinsuo, M. (2008). *Projektiliiketoiminta*. Helsinki: WSOY.

Camba, J. D., Senent, E., Herraiz, I., Peña, F., & Sánchez, F. (2016). Parametric CAD modeling: An analysis of strategies for design reusability. *Computer-Aided Design*, Vol. 74, pp. 18–31.

Juuti, T. (2008). *Design Management of products with variability and commonality: contribution to the Design Science by elaborating the fit needed between product structure, Design process, Design goals and design organization for improved R&D efficiency*. Tampere: Tampere University of Technology.

Lehtonen, T. (2007). *Designing modular product architecture in the new product development*. Tampere: Tampere University of Technology.

Levin, M. Sh. (2015). *Modular System Design and Evaluation*. 1st ed. Cham: Springer International Publishing.

Lombard, M. (2013). *Solidworks 2013 Bible*. 1st ed. Indianapolis, Indiana: Wiley.

Lombard, M. (2019). *Mastering Solidworks*. 1st ed. Indianapolis, Indiana: Sybex.

Monedero, J. (2000). Parametric design: a review and some experiences. *Automation in Construction*, Vol. 9(4), pp. 369–377.

Pakkanen, J., Juuti, T., Lehtonen, T., & Laine, A. (2016). *Brownfield Process: A method for modular product family development aiming for product configuration*.

Pakkanen, J. (2015). *Brownfield process: a method for the rationalization of existing product variety towards a modular product family*. Tampere: Tampere University of Technology.

Pine, B. J. (1993). *Mass customization: the new frontier in business competition*. Boston, MA: Harvard Business School Press.

Pulkkinen, A. (2007). *Product configuration in projecting company: the meeting of configurable product families and sales-delivery process*. Tampere University of Technology.

Sinz, C., Gehrke, J., & Paech, B. (2007). Configuration. *IEEE Intelligent Systems*, [Online] Vol. 22, pp. 78–90.

Stroud, I. & Nagy, H. (2011). *Solid Modelling and CAD Systems*. Springer London.

Tseng, M. M., Wang, Y. & Jiao, R. J. (2019). Modular Design. In *CIRP Encyclopedia of Production Engineering* (pp. 1226–1235). Berlin, Heidelberg: Springer.

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2012). *Product design and development*. 5th ed. New York, NY: McGraw-Hill Irwin.

Windheim, M. (2020). *Cooperative decision-making in modular product family design*. Berlin: Springer Vieweg.