

Väinö Karhunen

OSITTAIN KONFIGUROITAVAN TUOTTEEN KEHITYS

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Mikko Vanhatalo
Toukokuu 2022

TIIVISTELMÄ

Väinö Karhunen: Osittain konfiguroitavan tuotteen kehitys, Development of a partly configurable product
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2022

Yritysten välisen kilpailun kasvun sekä vaativampien asiakkaiden myötä yritykset joutuvat jatkuvasti kehittämään uusia tuotevariantteja, joiden on mukauduttava yhä tarkemmin asiakkaiden vaatimuksiin. Muuttuviin asiakastarpeisiin voidaan vastata konfiguroitavilla tai osittain konfiguroitavilla tuotteilla, joita voidaan modifioida asiakastarpeen mukaan tilaus-toimitus prosessissa.

Konfiguroitavat tuotteet pohjautuvat usein modulaariseen arkkitehtuuriin, joka mahdollistaa tuotteen ominaisuuksien muuttamisen moduuleja vaihtamalla. Modulaarisen arkkitehtuurin yhteydessä moduloinnilla tarkoitetaan tapahtumaa, jossa tuote jaetaan moduuleihin. Moduloinnin rinnalla merkittävä tekijä konfiguroitavien tuotteiden kannalta on vakiointi, jossa useampi tuotteen sisältämä komponentti pyritään korvaamaan yhdellä komponentilla, joka toteuttaa vaihdettujen komponenttien toiminnallisuudet. Yritys voi muuttaa olemassa olevan tuotteensa konfiguroitavaksi Brownfield-prosessilla, jossa hyödynnetään yrityksen olemassa olevia, uudelleenkäytettäviä resursseja. Prosessin avulla yrityksellä on mahdollisuus siirtyä projektituotteista tilauksesta konfiguroitaviin tuotteisiin, ja täten hyötyä konfiguroitavien tuotteiden tuomista hyödyistä.

Tässä työssä selvitetään, mitä hyötyjä ja haittoja osittain konfiguroitaviin tuotteisiin liittyy. Tämän lisäksi työssä tutkitaan, mitä etuja ja haasteita osittain konfiguroitaviin tuotteisiin siirtyminen tuo yritykselle. Vastauksia tutkimuskysymyksiin etsittiin kirjallisuudesta, sekä kahdesta diplomityöstä, joissa Brownfield-prosessia sovellettiin kohdeyrityksiin. Brownfield-prosessilla pyrittiin ratkomaan kohdeyrityksen tuotteeseen liittyviä ongelmia, tai moduloinnin vaikutusta yrityksen liiketoimintaan.

Työssä havaittiin, että osittain konfiguroitavat tuotteet täyttävät asiakkaan tarpeet lähes yhtä hyvin, kuin projektituotteet, mutta osittain konfiguroitavien tuotteiden sisältämät ainutlaatuiset osat vaativat suunnittelua tilaus-toimitus prosessissa. Konfiguroitavien sekä vakio-osien hyötyjä ja haittoja tarkastellaan pääosin vakioinnin sekä modulaarisen arkkitehtuurin näkökulmasta. Modulaarisen arkkitehtuurin tuomia hyötyjä ovat esimerkiksi laaja tuotevalikoima, suunniteltavien moduulien uudelleenkäytettävyys sekä tuotteiden helpompi varioitavuus. Merkittäviä modulaarisen arkkitehtuurin haittoja olivat rajapintojen aiheuttamat ongelmat sekä moduulien optimointiin sekä tilan suunnitteluun liittyvät haasteet. Vakioinnin eduiksi osoittautuivat esimerkiksi tuotteessa käytettävien osien määrän väheneminen sekä mahdollisuus tuotteen modulointiin. Vakioinnin haasteisiksi osoittautuivat vakioinnin myötä tehdyt kompromissit, jotka eivät välttämättä ole asiakkaan eduksi.

Konfiguroitavaan tuotteeseen siirtymisen eduiksi selvisi esimerkiksi lyhyemmät läpimenoajat tilaus-toimitus prosessissa, sekä asiakaskohtaisen suunnittelun väheneminen. Case esimerkeistä selvisi, että moduloinnilla saatiin vähennettyä tuotteen sisältämien nimikkeiden määrää merkittävästi. Lisäksi ratkaisujen, rajapintojen sekä komponenttien suunnittelun uudelleenkäyttö oli moduloinnin myötä mahdollista, jotka puolestaan ovat yritykselle merkittäviä etuja. Konfiguroitavaan tuotteeseen siirtymisen haasteiksi osoittautuivat esimerkiksi konfiguroitavaan tuotantoon sopivien tuotteen osien valinta sekä modulaarisen tuotepäheen hallinta.

Avainsanat: Osittain konfiguroitava tuote, modulaarinen arkkitehtuuri, vakiointi, Brownfield-prosessi

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. OSITTAIN KONFIGUROITAVA TUOTE.....	3
2.1 Tilauksesta konfiguroitava tuotanto	3
2.2 Osittain konfiguroitava tuoterakenne	3
2.3 Modulaarinen tuote	5
2.3.1 Tuotearkkitehtuuri	5
2.3.2 Modulaarisuus	7
2.3.3 Modulointi	8
2.4 Vakiointi	9
2.5 Konfigurointi	10
2.6 Moduulijärjestelmä	12
2.7 Konfiguroitavan tuotteen kehitys Brownfield-prosessin avulla	12
3. OSITTAIN KONFIGUROITAVAN TUOTTEEN HYÖTYJÄ JA HAITTOJA.....	14
3.1 Modulaarisen arkkitehtuurin sekä tuoterakenteen hyödyt ja haitat.....	14
3.2 Vakioinnin hyödyt ja haitat.....	15
3.3 Tulosten analysointi konfiguroitavan tuotteen hyödyistä ja haitoista ...	17
4. ETUJA JA HAASTEITA SIIRRYTTÄESSÄ OSITTAIN KONFIGUROITAVAAN TUOTTEESEEN	19
4.1 Projektituotteesta tilauksesta osittain konfiguroitavaan tuotteeseen ...	19
4.2 Esimerkkitapaukset Brownfield-prosessista	20
4.2.1 Esimerkki 1	20
4.2.2 Esimerkki 2	21
4.3 Tulosten analysointi eduista ja haasteista siirryttäessä osittain konfiguroitavaan tuotteeseen.....	22
5. YHTEENVETO.....	24
6. LÄHTEET	26

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CTO	Configure-to-Order, tilauksesta konfiguroitava tuotanto
ETO	Engineer-to-order, projektituotanto
MTO	Make-to-Order, tilausohjautuva valmistus
MTS	Make-to-Stock, varastotuotanto

1. JOHDANTO

Globalisaation myötä yritysten välinen kilpailu sekä asiakkaiden tarpeet ovat kasvaneet sekä muuttaneet markkinoiden luonnetta. Nopeasti muuttuvilla sekä epävarmoilla markkinoilla yritysten on jatkuvasti kehitettävä uusia tuotevariantteja, jotka vastaavat asiakkaiden asettamia vaatimuksia. Asiakasvaatimusten lisäksi lyhyet läpimenoajat ovat merkittävä kilpailutekijä, joka puolestaan antaa tuotteelle paremmat edellytykset markkinoilla menestymiseen. (Österholm & Tuokko 2001, s. 6) Asiakkaiden vaatimuksiin voidaan vastata konfiguroitavilla tuotteilla, jotka mahdollistavat asiakaskohtaisten tuoteyksilöiden luomisen valitsemalla tuotteeseen asiakasvaatimuksia vastaavat moduulit. Asiakaskohtaisen muuntelun lisäksi konfiguroitavat tuotteet mahdollistaisivat lyhyemmät läpimenoajat tilaus-toimitusprosessissa, kuin esimerkiksi projekti tuotteet. (Tiihonen 1999)

Tuotteen konfiguroinnilla tarkoitetaan tuotteiden modifiointia asiakastarpeen mukaan tilaus-toimitus prosessissa (Juuti & Lehtonen 2006). Konfiguroitavilla tuotteilla tarkoitetaan tuotteita, jotka sisältävät vakio-osia sekä konfiguroitavia osia. Konfiguroitavan tuotteen sisältäessä ainutlaatuisia asiakaskohtaisia osia voidaan tuotteesta puhua osittain konfiguroitavana. (Juuti 2008) Toimintatapaa, jolla konfiguroitavia tuotteita valmistetaan, voidaan kutsua tilauksesta konfiguroitavaksi toiminnaksi (CTO), jota voidaan kuvailla varastotuotannon sekä tilausohjautuvan valmistuksen hybridinä, joka mahdollistaa erittäin joustavan tuotevalikoiman sekä nopean asiakkaiden tilauksiin vastaamisen (Cheng et al. 2002).

Konfiguroitavat tuotteet pohjautuvat usein modulaariseen arkkitehtuuriin, jossa tuotteen ominaisuuksia voidaan muuttaa moduuleja vaihtamalla (Tiihonen 1999). Tapahtumaa, jossa tuote jaetaan moduuleihin, kutsutaan moduloinniksi. Moduulilla tarkoitetaan tuotteen sisältämiä yksiköitä, jotka voivat olla yksittäiset osat, komponentit tai alikokoonpanot. (Österholm & Tuokko 2003, s. 2) Modulointia rinnakkaisena sekä tukevana ilmiönä voidaan pitää vakiointia (Tiihonen 1999). Vakioinnin tavoitteena on paikata usea komponentti yhdellä, joka toteuttaa paikattujen komponenttien toiminnallisuudet (Perera et al. 1999, Pakkasen 2015 mukaan).

Modulaaristen konfiguroitavien tuoteperheiden suunnitteluun voidaan käyttää Brownfield-prosessia, jonka keskiössä on yrityksen olemassa olevat uudelleenkäytettävät resurssit. Sen avulla yrityksellä on mahdollisuus muuttaa olemassa oleva tuoterakenne modulaariseksi. Toisin sanoen Brownfield-prosessi mahdollistaa tuotteen muuttamisen projektituotteesta tilauksesta konfiguroitavalle toimitustavalle sopivaksi. Brownfield-prosessi sisältää kymmenen vaihetta, ja sitä tulee soveltaa tapauskohtaisesti

yritykselle sopivimmalla tavalla. Prosessin eri vaiheissa luotu suunnittelutieto pohjautuu moduulijärjestelmän eri päätekijöiden mukaan, joita ovat arkkitehtuuri, moduulit, konfiguraatietietämys, rajapinnat sekä osiointilogiikka. (Pakkanen 2015)

Tässä työssä tavoitteena on tutkia hyötyjä ja haittoja, joita osittain konfiguroitavaan tuotteeseen liittyy. Hyötyjä sekä haittoja tarkastellaan enimmäkseen vakioinnin sekä modulaarisen arkkitehtuurin näkökulmasta. Työssä selvitetään myös etuja ja haasteita, joihin voidaan törmätä siirtyessä projektituotteista konfiguroitaviin tuotteisiin. Työssä vastauksia selvitetään seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitä hyötyjä ja haittoja osittain konfiguroitavaan tuotteeseen liittyy?
- Mitä etuja ja haasteita siirtymä projektituotteista osittain konfiguroitaviin tuotteisiin voi tuoda yritykselle?

Vastauksia tutkimuskysymyksiin etsitään kirjallisuudesta. Lisäksi työssä tutustutaan kahden diplomityön avulla käytännön esimerkkejä yrityksistä, joissa on pohdittu toiminnan muuttamista tilauksesta konfiguroitavaksi. Osittain konfiguroitavaan tuotteeseen liittyvien hyötyjen sekä haittojen tarkastelu on vakioinnin sekä modulaarisen arkkitehtuurin tuomiin hyötyihin sekä haittoihin. Lisäksi osittain konfiguroitavan tuotteen kehitys on rajattu Brownfield-prosessiin. Konfiguroitavaan tuotteeseen siirtymisen etuja ja ongelmia tarkastellaan, kun lähtötoimintana on projektituotteet. Tarkastelun ulkopuolelle on jätetty siirtyminen vakiotuotteesta konfiguroitavaan tuotteeseen.

Työn toinen luku johdattaa lukijan tilauksesta konfiguroitavan tuotteen toimitusprosessiin, sekä esittelee osittain konfiguroitavan tuoterakenteen. Lisäksi luvussa käydään läpi modulointiin, vakiointiin sekä konfigurointiin liittyvää teoriaa. Luvun lopussa esitellään pääpiirteittäin kymmenen eri vaihetta sisältävä Brownfield-prosessi. Kolmas luku tarkastelee osittain konfiguroitavaan tuotteeseen liittyviä hyötyjä sekä haittoja modulaarisen arkkitehtuurin sekä vakioinnin kannalta. Neljännessä luvussa tutkitaan kirjallisuudesta löydettyjä etuja sekä haasteita, mitä konfiguroitavaan tuotteeseen siirtyessä voidaan havaita. Tämän lisäksi luvussa tarkastellaan diplomitöitä, joissa kohdeyrityksiin sovellettiin Brownfield-prosessia.

2. OSITTAIN KONFIGUROITAVA TUOTE

2.1 Tilauksesta konfiguroitava tuotanto

Yrityksillä on useita eri mahdollisia toimintatapoja tuotteen toimittamiseen asiakkaalle. Stevensonin (2014, s. 671) mukaan projektituotannossa (ETO) tuotteen suunnittelu aloitetaan vasta asiakkaan tilauksen jälkeen, jota seuraa valmistus ja kokoonpano. Silven-toinen et al. (2014, s. 721) kuvailevat projektituotantoon sopivia tuotteita ainutlaatuisina, joiden tekniset määritelmät pohjautuvat asiakkaan tilaukseen. Projektituotteet ovat usein suuria hankkeita, joiden toimittaminen on ajallisesti pitkä prosessi.

Varastotuotannossa (MTS) tuotteet valmistetaan sekä varastoidaan perustuen ennustettuun kysyntään. Tällöin tilaus voidaan täyttää välittömästi, eli asiakas saa tuotteen heti tilauksesta. Tilausohjautuvassa valmistuksessa (MTO) tuotteesta on vakioitu malli, jota täydennetään asiakkaan tilauksesta saatujen teknisten tietojen perusteella. Tuotteen tilauksen täyttämiseen kuluu tilausohjautuvassa valmistuksessa vähemmän aikaa kuin tilausohjautuvassa suunnittelussa, mutta kuitenkin pitempään kuin kokoonpanotuotannossa. (Stevenson 2014, s. 671)

Cheng et al. (2002, s. 114) kuvailevat tilauksesta konfiguroitavaa tuotantoa (CTO) varastotuotannon sekä tilausohjautuvan valmistuksen hybridinä. Forzan ja Salvadorin (2007) mukaan tilauksesta konfiguroitavassa tuotannossa yritykset valmistavat tuotteita, jotka täyttävät asiakkaan tarpeet ennalta suunnitelluilla komponenteilla ja moduuleilla (Pulkkinen et al. 2017, s. 1644 mukaan). Tilauksesta konfiguroitava toimintatapa mahdollistaa erittäin joustavan tuotevalikoiman sekä nopean asiakkaiden tilauksiin vastaamisen (Cheng et al. 2002, s. 114).

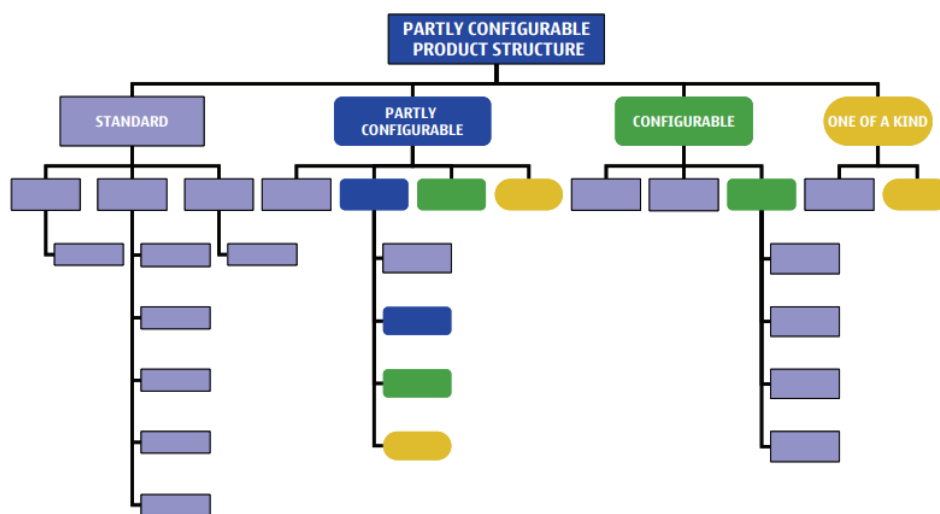
2.2 Osittain konfiguroitava tuoterakenne

Juuti (2008) esittelee väitöskirjassaan neljä erityyppistä tuoterakennetta. Vakio tuoterakenne sisältää vakio-osia, joiden tavoitteena on uudelleenkäyttö joko yhdessä tai useammassa tuotteessa. Uudelleenkäytöllä viitataan tuotteen merkittävien osien uudelleenkäyttöön, joka mahdollistaa suurempiin valmistusmääriin sekä valmistuskustannusten pienenemiseen (Juuti et al. 2007, s. 2). Vakio-osien vuoksi vakio tuoterakenne on yhteensopiva massatuotannon kanssa (Juuti 2008).

Konfiguroitava tuoterakenne koostuu vakio-osista sekä muista konfiguroitavista osista. Tuoterakenteen tavoitteena on luoda tuotteelle vaihtelevuutta moduloinnin tai konfiguroinnin avulla, sekä luoda tuotteeseen yhtenevyyttä osien uudelleenkäytettävyydellä,

kuitenkaan ilman tilaus-toimitusprosessissa vaadittavaa suunnittelua. Konfiguroitavia osia voidaan muunnella esimerkiksi uudelleenkäyttämällä vakio- tai modulaarisia osia, joista voidaan luoda tuotteelle eri konfiguraatioita. (Juuti 2008, s. 113)

Ainutlaatuiset osat ovat tapauskohtaisesti suunniteltuja osia, jotka koostuvat vakio-osista sekä ainutlaatuisista osista (Juuti 2008). Juutin ja Lehtosen (2006, s. 268) mukaan ainutlaatuisilla osilla voidaan täyttää asiakkaan vaatimukset, joita vakio- sekä konfiguroitavilla osilla ei voida täyttää. Tässä on huomioitava, että ainutlaatuiset osat vaativat suunnittelua tilaustoimitus prosessissa, eikä niitä ole suunniteltu uudelleenkäytettäväksi. (Juuti & Lehtonen 2006, s. 268).



Kuva 1: Osittain konfiguroitava tuoterakenne (Juuti 2008 s. 114).

Osittain konfiguroitava tuoterakenne (kuva 1) sisältää vakio-osia, konfiguroitavia osia, ainutlaatuisia osia sekä osittain konfiguroitavia osia. Osittain konfiguroitavat osat koostuvat vakio-osista, konfiguroitavista osista, ainutlaatuisista osista tai muita osittain konfiguroitavista osista. (Juuti & Lehtonen 2006, s. 269) Juuti et al. (2007, s. 2) mukaan osittain konfiguroitavat tuotteet täyttävät asiakkaan vaatimukset lähes yhtä hyvin kuin ainutlaatuiset projektituotteet. Osittain konfiguroitavan tuotteen kohdalla ainutlaatuiset osat usein eivät ole suoraan uudelleenkäytettäviä (Juuti & Lehtonen 2006, s. 268). Ainutlaatuisia osia käyttäessä on huomioitava, että tuote sisältää toimituskohtaisen elementin, jonka vuoksi tuote vaatii tilauksen jälkeistä suunnittelua jokaisen tilauksen kohdalla (Pakkanen 2015).

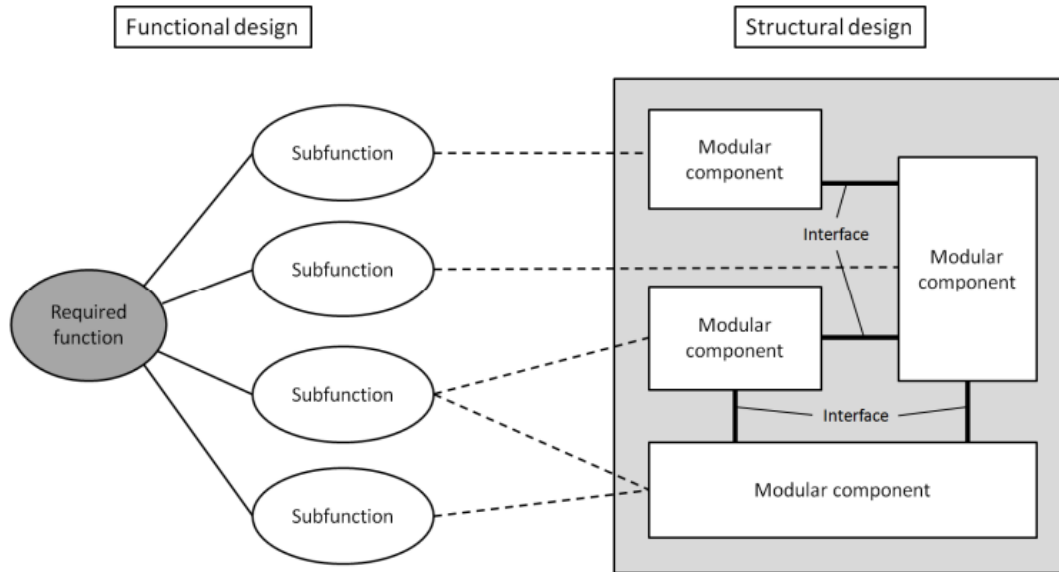
2.3 Modulaarinen tuote

Juutin (2008) mukaan tuotteen kustomointia voidaan toteuttaa esimerkiksi moduloinnin sekä konfiguroinnin avulla. Tiihonen (1999, s. 91) lisää, että modulointi on tärkein keino kehittää tuotteista konfiguroitavia ja luoda tuotevariaatioita. Mikäli yritys haluaa myydä konfiguroitavia tuotteita, on Forzan ja Salvadorin (2008, s. 820) mukaan tälle kaksi ehtoa. Yrityksellä on oltava selvillä, mitä tuotteita yritys kykenee ja ei kykene tarjoamaan asiakkailleen. Lisäksi yrityksen tulee laatia yhteys tuotteen kaupallisten sekä teknisten ominaisuuksien välille. (Forza & Salvador 2008, s. 820)

2.3.1 Tuotearkkitehtuuri

Ulrichin ja Eppingerin (2008, s. 164) mukaan tuotearkkitehtuuri jakaa tuotteen toiminnallisiin sekä fyysisiin osiin. Toiminnalliset osat sisältävät tuotteen toimintaan liittyvät osat ja niiden alitoiminnot. Fyysiset osat sisältävät tuotteen komponentit ja alikokoonpanot, joiden avulla tuotteen toiminnot toteutetaan. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 184) Tuotearkkitehtuuriin kuuluu myös toiminnallisten osien yhteyden luonti tuotteen fyysisiin osiin, sekä fyysisten osien sisältämät rajapinnat (engl. interface) (Ulrich 1995, Harloun 2006, s. 55 mukaan).

Tuotearkkitehtuuri voi olla modulaarinen tai integraalinen (Ulrich 1995, Tiihosen 1999, s. 90 mukaan). Modulaarisuus on suhteellinen tuotearkkitehtuurin ominaisuus, eikä tuotteet usein ole pelkästään modulaarisia tai integraalisia (Ulrich & Eppinger 2012, s. 186). Modulaariselle arkkitehtuurille on ominaista, että tuotteen moduulit toteuttavat yhden tai vain pienen osan tuotteen toiminnallisuuksista. Tämän lisäksi modulaarisessa arkkitehtuurissa fyysisten kokonaisuuksien väliset vuorovaikutukset on määritelty selkeästi, ja ne ovat merkittäviä tuotteen perustoimintojen kannalta. (Ulrich & Eppinger 2008, s. 165; Österholm & Tuokko 2001, s. 9) Ideaalitalanteessa modulaarisessa arkkitehtuurissa jokaista toiminnallista osaa vastaa yksi moduuli, sekä näiden osakokonaisuuksien väliset vähäiset relaatiot on tarkoin määritelty (Ulrich & Eppinger 2012, s. 185; Österholm & Tuokko 2001, s. 9). Fujimoton (2007, s. 86) mukaan modulaarinen arkkitehtuuri voi olla avoin tai suljettu. Avoimelle arkkitehtuurille tyypillistä on teollisuuden tasolla vakioidut rajapinnat, kun taas suljettu arkkitehtuuri sisältää vain yritykselle tuttuja rajapintoja. Modulaarinen arkkitehtuuri on havainnollistettu kuvassa 2.

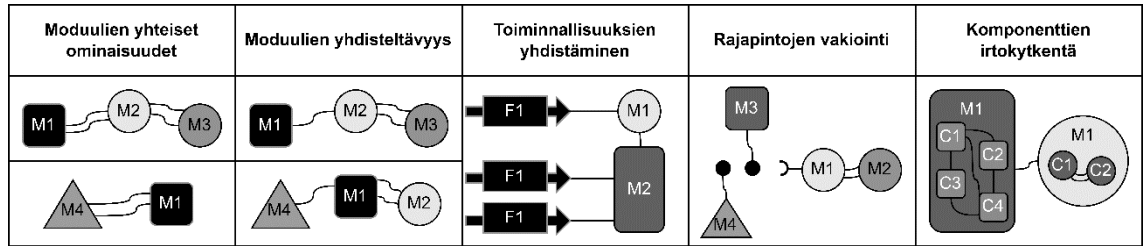


Kuva 2: Modulaarinen arkkitehtuuri jaettuna toiminnallisiin ja rakenteellisiin (fyysisiin) osiin (Fujimoto 2007, Pakkasen 2015, s. 60 mukaan).

Integraaliselle arkkitehtuurille ominaista on, että tuotteen toiminnalliset osat toteutetaan käyttäen enemmän kuin yhtä fyysistä tuotteen osaa, yksittäinen fyysinen osa toteuttaa usean toiminnallisuuden tai fyysisten osien väliset vuorovaikutukset on määritelty huolellisesti ja voivat olla satunnaisia tuotteen ensisijaisia toimintoja ajatellen (Ulrich & Eppinger 2008, s. 166). Integraalisessa arkkitehtuurissa fyysisten osien väliset rajat ovat vaikeasti tunnistettavissa, tai ne ovat olemattomat. Usean tuotteen toiminnon toteuttamista yhdellä fyysisellä osalla mahdollistaa tuotteen fyysisten osien tilankäytön sekä suorituskyvyn optimoinnin. Integraalisen tuotearkkitehtuuri vaikeuttaa fyysisten osien muuttamista jälkeenkäynnä, joka voi olla mahdotonta ilman tuotteen uudelleensuunnittelua. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 186)

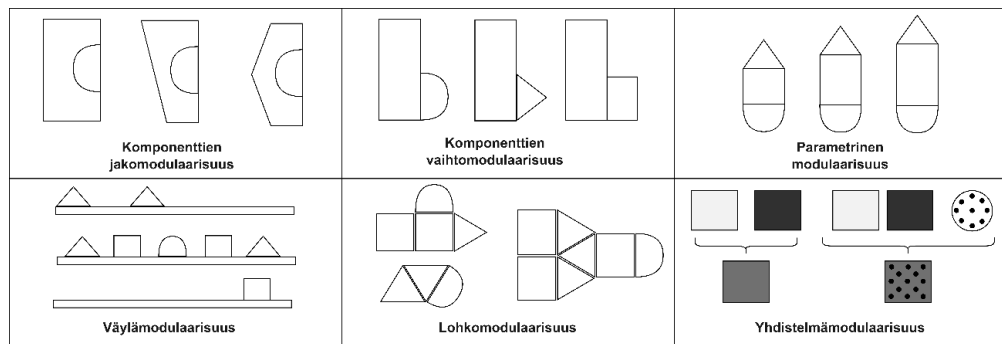
2.3.2 Modulaarisuus

Salvador (2007 s. 219) esittelee kirjallisuusuuskatsauksessaan modulaarisuuden viisi eri näkökulmaa. Birkhoferin (2011 s. 36) mukaan näkökulmat voivat esiintyä modulaarisissa tuotteissa eri tavoin. Näkökulmat on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3: Modulaarisuuden viisi näkökulmaa, *F* = toiminnallisuus, *C* = komponentti, *M* = moduuli (muokattu lähteestä Birkhofer 2011, s. 37).

Moduulien yhteisillä ominaisuuksilla viitataan siihen, että samoja komponentteja tai moduuleja voidaan käyttää tuotevalikoiman eri tuotteissa. Moduulien yhdisteltävyys, joka mahdollistaa tuotteiden konfiguroinnin komponenttien sekä moduulien yhdistelemisellä. Toiminnallisuksien yhdistämisessä tuotteessa olevien toimintojen sekä moduulien välillä on rajattu jako, eli tietty moduuli täyttää tietyn toiminnallisuuden. Rajapintojen vakiointi, eli moduulien väliset liitännät on vakioitu. Viimeisenä on komponenttien irtokytkeä, joka tarkoittaa sitä, että moduulin sisällä olevien komponenttien väliset vuorovaikutukset ovat suuremmat kuin eri moduulien välisten komponenttien vuorovaikutukset. (Salvador 2007 s. 221–225) Pine (1993) esittää komponenttien vaihdettavuudelle kuusi eri modulaarisuuden tyyppiä, jotka on esitelty kuvassa 4 (Lehtosen 2007, s. 48 mukaan).



Kuva 4: Modulaarisuuden eri tyypit (muokattu lähteestä Pine 1993, Lehtosen 2007, s. 48 mukaan).

Österholmin ja Tuokon (2001, s. 10) mukaan modulaarisuuden eri tyypit voidaan jakaa avoimiin sekä suljettuihin järjestelmiin. Avoimeen järjestelmään kuuluu lohkomodulaarisuus, jossa vakioitujen rajapintojen avulla moduuleista voidaan luoda tuotevariantteja. Suljettuihin järjestelmiin kuuluvat väylämodulaarisuus sekä paikkamodulaarisuus, joka sisältää komponenttien jako-, vaihtomodulaarisuuden sekä parametrin modulaarisuuden. Väylämodulaarisuus mahdollistaa erityyppisten moduulien kiinnittämisen vakioitujen rajapintojen avulla perusmoduuliin eri asennoissa. Paikkamodulaarisuus määrää tietyn moduulityypin asettumaan tiettyyn asentoon vakioitujen rajapinnan avulla. (Österholm & Tuokko 2001, s. 10)

2.3.3 Modulointi

Österholm ja Tuokko (2001, s. 8) kuvailevat modulointia tapahtumana, jossa tuote jaetaan moduuleihin. Moduulit ovat itsenäisiä yksiköitä, joille on määritelty vakiot rajapinnat, joiden ansiosta moduulit ovat yhdisteltäviä sekä vaihdettavia. Moduuleina voi toimia esimerkiksi yksittäiset osat, komponentit tai alikokoonpanot. (Österholm ja Tuokko 2001, s. 8–9) Lehtonen et al. (2003, s. 2) puolestaan kuvailevat moduulia osana tai alikokoonpanona, mikäli sillä on määritelty rajapinta, jonka avulla voidaan määritellä moduulin yhteys muihin moduuleihin. Toisena ehtona moduulille on, että se on osana modulaarisen järjestelmän muodostamaa kokonaisuutta (Lehtonen et al. 2003).

Moduulit voidaan jakaa kolmeen ryhmään, joista ensimmäisenä on yleiset moduulit, joiden tehtävänä on käyttää yhtä samaa komponenttia kaikissa tuotteen konfiguraatioissa. Toisessa ryhmässä on valikoivat moduulit, joita konfiguroidessa voidaan valita vaihtoehtoisista komponenteista halutunlaiset. Tämä mahdollistaa eri- ja samankaltaisuuksien luonnin eri tuotetyyppien välille. Kolmantena ainutlaatuiset moduulit, jotka sisältävät ainutlaatuisen komponentin, joka tekee tuotteesta ainutlaatuisen. (Hou et al. 2017; Liu et al. 2009, Ziaein et al. 2021 mukaan)

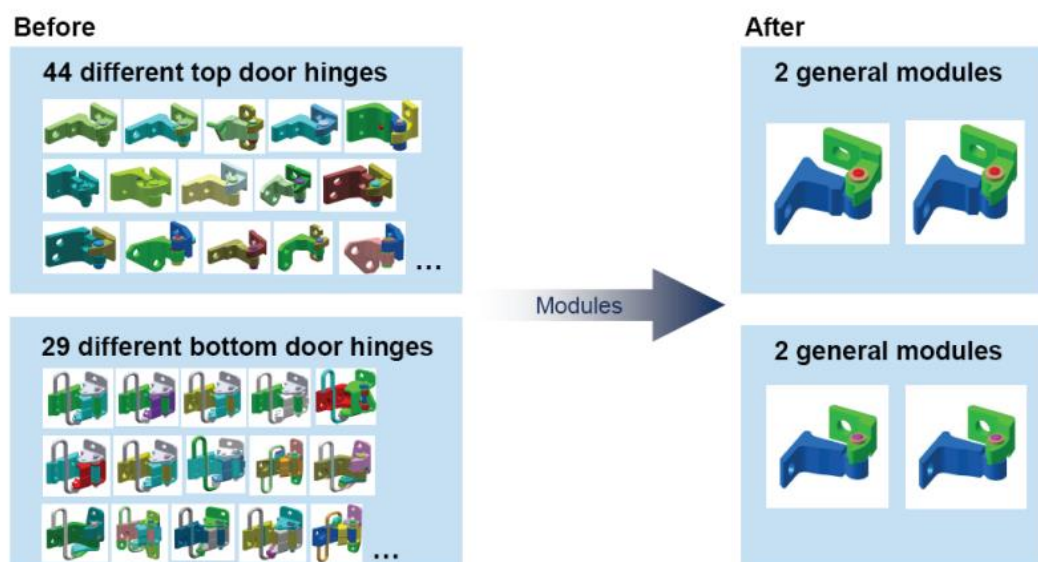
Gershenson et al. (2004) mukaan moduloinnin vaikutuksia tuotteen toiminnallisuuteen voidaan tutkia komponenttien keskeisillä vuorovaikutuksilla, kuten materiaalien, signaalien tai energian siirtymisenä. Modulaarisuuden vaikutuksia voidaan tarkastella myös moduulien sekä komponenttien tilantarpeen näkökulmasta, joissa huomioidaan komponentin kiinnityskohta, paikka tai liikkuvan komponentin vaatima tila. (Gershenson et al. 2004) Österholmin ja Tuokon (2001, s. 8) moduloinnilla pyritään tuotteen sisältävien fyysisten

sekä toiminnallisten osien samankaltaisuuteen, jonka avulla moduulien välisiä vuorovai-
kutuksia saadaan minimoitua sekä moduulien väliset rajapinnat mahdollisimman yksin-
kertaisiksi.

Tuotteen modulaarisuuden arviointi on tärkeää, mikäli tuotteeseen tehdään pieniä muu-
toksia, jotka voivat vaikuttaa modulaarisuuteen tai mikäli tuotteeseen tehtävät muutokset
voidaan toteuttaa modulaarisuuden avulla (Gershenson et al. 2004). Tuotteen modulaa-
risuutta voidaan arvioida eri mittareilla, kuten esimerkiksi arvioimalla tuotteen sisältämien
modulaaristen osien tai alikokoonpanojen osuutta ei-modulaarisiin osiin ja alikokoonpa-
noin (Gershenson et al. 1999).

2.4 Vakiointi

Tiihonen (1999) kuvailee vakioinnin olevan rinnakkainen sekä tukeva ilmiö moduloinnille,
jonka tavoitteena on tuotteen sisältämien osien vähentäminen sekä yhtenäistäminen.
Ulrich (1991) toteaa, että modulaarisen tuotteen jakautuminen fyysisiin itsenäisiin kom-
ponentteihin mahdollistaa komponenttien vakioinnin sekä osien vaihdeltavuuteen. (Leh-
tosen 2007 mukaan) Ulrich ja Eppinger (2012, s. 189) lisäävät, että komponenttien vaki-
ointi on mahdollista, mikäli komponentti toteuttaa vain yhden tai vain harvan tuotteen
toiminnallisuuksista. Esimerkiksi oven saranoita voidaan vakioda (kuva 5). (Pötsch
2008, Juutin 2008 mukaan)



Kuva 5: Vakioinnin avulla voidaan vähentää turhaa vaihtelevuutta (Pötsch 2008, Juutin
2008, s. 4 mukaan).

Perera et al. (1999) esittelevät kolme eri tilannetta, jossa komponentteja voitaisiin vakioida. Ensimmäisenä vakiointia voidaan harjoittaa tuotteen sisällä, jolloin yhdellä komponentilla korvataan tuotteen sisältämät useat komponentit. Vakiointia voidaan myös harjoittaa eri tuotteiden välillä, jolloin vakioitu komponentti on yhteensopiva eri tuotteiden välillä. Kolmannessa tilanteessa vakiointi tapahtuu eri tuotesukupolvien tuotteiden välillä, jolloin yleisiä komponentteja voidaan käyttää uusien tuotteiden sekä edellisen versioiden välillä. (Perera et al. 1999, Pakkasen 2015, s. 49 mukaan)

2.5 Konfigurointi

Pulkkisen (2007, s. 69) mukaan konfiguroinnilla voidaan viitata joko tapahtumaan tai tapahtuman lopputulokseen, jota voidaan kutsua tuotekonfiguraatioksi. Pulkkinen et al. (2000) toteavat, että konfiguroinnissa vastataan asiakkaan tarpeeseen modifioimalla tuotetta valikoiden useista eri vaihtoehtoista tilaus-toimitusprosessin aikana (Juutin & Lehtosen 2006 mukaan). Brown (1998) lisää, että tietoon perustuvassa suunnittelussa tuotekonfiguraatio voidaan luoda ennalta määrätystä suunnitteluyksiköistä, joihin kuuluu osat, moduulit tai kokoonpanot (Pulkkisen 2007, s. 71 mukaan). Konfiguroitavat tuotteet pohjautuvat usein modulaariseen arkkitehtuuriin, jossa vaihdettavilla moduuleilla voidaan muuttaa tuotteen toiminnallisuus vastaamaan asiakkaan vaatimuksia (Tiihonen 1999, s. 20).

Tuotetta voidaan modifioida konfigurointimallin määrittelemissä rajoissa. Konfigurointimallilla kuvataan kaikista mahdollisista konfiguraatioista koostuvaa joukkoa, jonka avulla voidaan määritellä tilaus-toimitusprosessin kannalta toimivia konfiguraatioita niin, että tehtävät konfiguraatiot ovat täydellisiä eli ristiriidattomia. Täydellisestä ristiriidattomasta konfiguraatiosta ei puutu yksikään konfiguraatiomallin mukainen määrittely eikä konfiguraatiomallitietämyksen asettamia rajoitteita rikota. (Tiihonen 1999)

Pahl ja Beitz (1986) ovat määritelleet konfiguroitaville tuotteille viisi ominaisuutta:

1. Jokainen tuoteyksilö on modifioitu tilauskohtaisesti mukautuen asiakkaan vaatimuksiin.
2. Tuotteen suunnittelussa on huomioitu samankaltaiset asiakastarpeet, jotka tuote täyttää.
3. Tuoteyksilö koostuu etukäteen suunnitelluista komponenteista.
4. Tuoteyksilön rakenne on etukäteen suunniteltu.

5. Rutiininomainen ja systemaattinen muunnelu suunnittelu on ainut vaatimus tuoteyksilön muunteluun. (Tiihosen 1999, s. 12 mukaan)

Tiihosen (1999) mukaan tuotteiden määrittely ja käyttö vaatii konfigurointitietämystä, joka tarkoittaa konfigurointimallien käytön vaatimaa tietämystä. Pakkanen (2015, s. 220) lisää, että konfigurointitietämys on myös myynnin ja jakelun tukena ohjaten tuotantoa suotuisampiin ympäristöihin.

Konfigurointitietämys voidaan jakaa vaatimustietämykseen, tuoteyksilötietämykseen sekä konfigurointimallitietämykseen. Vaatimustietämys sisältää vaatimukset, jotka asiakas on esittänyt tehtävälle konfiguraatiolle, tuoteyksilötietämys sisältää yksittäisen konfiguraation ja konfigurointimallitietämys sisältää konfigurointimallit. (Tiihonen 1999) Konfigurointitietämyksestä on hyötyä asiakastarpeisiin sopivien tuotevarianttien määrittelyssä tilaus-toimitusprosessissa, tai mikäli tuotetta päivitetään tai halutaan luoda täysin uusi versio tuotteesta tuoteperheeseen (Pakkanen 2015). Konfiguroitavalla tuoteperheellä tarkoitetaan yleiseen tuoterakenteeseen tai tuotealustaan perustuvaa tuotteiden joukkoa, joista jokaisella on tarkka moduuleista koostuva konfiguraatio ja joka on suunniteltu sopimaan tietyn asiakassegmentin tarpeisiin. (Ziaei et al. 2021)

Asiakas voi konfiguroida itselleen haluamansa tuotteen joko konfiguraattorin eli konfigurointia tukevan tietojärjestelmän avulla tai konfiguroijan eli tuotteita konfiguroivan henkilön avulla. (Tiihonen 1999) Pakkanen (2015) mukaan konfigurointitietämyksestä on hyötyä konfiguraattorin luonnissa. Parhaimmillaan konfiguraattori mahdollistaa tuoteyksilöiden luonnin ilman, että konfiguroijalla on syvällistä tietoa tuotteesta tai tuotteessa käytettävistä teknologioista (Juuti 2008, s. 35).

2.6 Moduulijärjestelmä

Moduloinnin yhteydessä usein puhutaan moduulijärjestelmistä. Lehtosen et al. (2003) mukaan järjestelmä on modulaarinen, mikäli yksi tai useampi edellisessä kappaleessa mainituista modulaarisuuden eri tyypeistä (kuva 4) toteutuu. Juutin (2008, s. 44) mukaan moduulijärjestelmän ansiosta on mahdollista käyttää samoja moduuleita eri tuotteissa tai korvata moduuli toiseen, jolla on eri ominaisuudet.

Moduulijärjestelmän päätekijät, jotka voivat helpottaa modulaarisen tuoteperheen suunnittelussa ovat:

1. Arkkitehtuuri
2. Moduulit
3. Konfigurointitietämys
4. Rajapinnat
5. Osiointilogiikka. (Pakkanen et al. 2013, s. 92; Pakkanen 2015)

Arkkitehtuuria voidaan kuvailla moduulijärjestelmän pohjapiirustuksena, joka sisältää tuotteen sisältämät moduulit sekä moduulien rajapinnat, sekä kuinka ne asettuvat tuotteeseen. Moduuleita voidaan kuvailla osiksi, joista moduulijärjestelmä koostuu. Konfigurointitietämyksen avulla tuoteperheen eri osat osataan yhdistää oikeisiin asiakastarpeisiin. Vakioidut moduulien rajapinnat mahdollistavat moduulien vaihdettavuuden. Osiointilogiikka sisältää perustelut tuotteen eri osatyypien valinnoista. (Pakkanen 2015, s. 67) Osatyypit viittaavat luvussa 2.2 käsiteltyihin osiin, kuten vakio- tai konfiguroitaviin osiin.

2.7 Konfiguroitavan tuotteen kehitys Brownfield-prosessin avulla

Brownfield-prosessi on konfiguroitavan modulaarisen tuoteperheen suunnitteluun käytettävä menetelmä, joka hyödyntää olemassa olevaa tuotevalikoimaa. Prosessin keskiössä on olemassa olevat uudelleen käytettävät resurssit, jotka tuovat rajoitteita suunnitteluun ja loppuratkaisuun. Yritys voi Brownfield-prosessin avulla muuttaa toimituskohdattaiset ratkaisut sisältävän projektitoimitus toimintatapsansa ennalta määritellyjä ratkaisuja sisältäväksi tilauksesta konfiguroitavan tuotteen toimitustavaksi. Brownfield-prosessissa tuoteperhe suunnitellaan modulaarisen arkkitehtuuriin pohjautuen. (Pakkanen 2015)

Brownfield-prosessi sisältää kymmenen eri vaihetta:

1. Määritellään viitekehys suunnittelun sekä suunniteltavan tuoteperheen tavoitteista.
2. Kerätään tietoa prosessiin valituista tuotteista, joiden pohjalta voidaan jakaa tuote geneerisiin elementteihin, eli tuotteen sisältämiin moduuleihin.
3. Luodaan luonnostelma modulaarisesta arkkitehtuurista, joka määrittelee geneeristen elementtien sijoittelun tuotteessa. Tässä vaiheessa voidaan myös pohtia avoimen ja suljetun arkkitehtuurin mahdollisuuksia sekä uhkia.
4. Määritellään konfigurointisäännöt asiakasympäristöstä kerätyn tiedon avulla. Konfigurointisääntöjen avulla yritys osaa kohdistaa oikeat tuotevariantit sopiviin asiakasvaatimuksiin.
5. Määritetään geneeristen elementtien sekä osien välisten yhteyksien, sekä selvitetään myös, voidaanko joitain osia vakioida. Tämän lisäksi määritellään geneeristen elementtien tyypit ja tehdään alustava kuvaus tuoteperheestä.
6. Luodaan konfigurointitietoa, joka sisältää yhteydet geneeristen elementtien sekä vaihtelevien asiakastarpeiden välille.
7. Tuoteperheen arkkitehtuuri, johon kuuluu tuotteeseen liittyvät moduulit & moduulien rajapinnat. Tämän lisäksi määritellään elementtien tyypit.
8. Luodaan konfigurointitietoa, jonka määrittelee tuotevarianttien ja teknisten ratkaisujen yhteydet eri asiakasvaatimuksiin.
9. Luodaan dokumentaatio tuoteperheestä, joka voi olla tehdyn suunnittelutyön tukena sekä suunnittelumallin uudelleenkäyttöä varten. Dokumentaatiosta on myös hyötyä tulevaisuudessa, mikäli tuoteperheettä halutaan muokata.
10. Arvioidaan modulaarisen tuoteperheen vaikutus yrityksen liiketoimintaan. (Pakkanen 2015)

Edellä mainittuja ei tarvitse suorittaa järjestyksessä ja prosessia voi joutua soveltamaan tapauskohtaisesti. Prosessi eri vaiheissa luotava suunnittelutietoa määritellään aikaisemmin esitetyn moduulijärjestelmän eri päätekijöiden mukaan. (Pakkanen 2015)

3. OSITTAIN KONFIGUROITAVAN TUOTTEEN HYÖTYJÄ JA HAITTOJA

3.1 Modulaarisen arkkitehtuurin sekä tuoterakenteen hyödyt ja haitat

Modulaarisesta arkkitehtuurista on hyötyä tuotteiden varioinnissa, joka mahdollistaa markkinoiden kysyntään laajalla tuotevalikoimalla. Lisäksi modulaariseen tuotearkkitehtuuriin perustuvia tuotteita voidaan varioida ilman valmistusjärjestelmien monimutkaistamista. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 188) Ideaalisen modulaarisen arkkitehtuurin tapauksessa moduuliin tehtävät muutokset eivät vaikuta muihin moduuleihin, eli moduuliin tehtäessä muutoksia muita moduuleja ei tarvitse muuttaa. (Ulrich & Eppinger 2012, s. 185; Österholm & Tuokko 2001, s. 9) Pakkasen (2015, s. 217) mukaan modulaarinen arkkitehtuuri mahdollistaisi tuotteen muokkaamisen jälkeenpäin asiakkaiden tarpeiden muuttuessa, mutta tällöin haasteina olisi moduulien viemän tilan suunnittelu sekä mahdollisten jatkossa kehitettävien moduulien ominaisuudet. Avoimen modulaarisen arkkitehtuurin etuna on, että tuotteisiin suunniteltuja komponentteja voidaan käyttää niin yrityksen sisäisten sekä eri yritysten tuotteiden välillä. Komponenttien yhdistely kuintenkin vaatii usein komponenttien rajapintojen vakioinnin. (Fujimoto 2007, s. 86)

Birkhofer (2011, s. 37) esittää modulaarisen tuoterakenteen tuomia etuja tuotteen eri elinkaaren vaiheissa. Tuotekehityksessä havaittavia etuja ovat esimerkiksi kehitettyjen moduulien uudelleenkäytettävyys. Lisäksi organisaation yksiköille tehtävien esittäminen on selkeämpää. Lisäksi yrityksen sisäinen koordinointi, kommunikointi sekä dokumentointi on vaivattomampaa. Merkittävänä etuna voidaan myös havaita mahdollisuus tuotteiden rinnakkaiseen kehitykseen. (Birkhofer 2011, s. 37)

Hankintavaiheessa tuotekehitysvaiheita voidaan ulkoistaa sekä hankinta keskittyä pääosin esikoottuihin sekä esitestattuihin moduuleihin. Tuotannossa hyödyt näkyvät muun muassa mittakaavaetuna sekä oppimiskäyrän tuomina vaikutuksina. Lisäksi modulaarinen tuoterakenne mahdollistaa tuotannon keskittymisen moduuleiden esikokoamiseen, sekä tuotteen laatuun ja toiminnallisuuksiin liittyvien kokeiden suorittamisen modulaarisella tasolla. Tuotteen käyttövaiheessa virheelliset moduulit ovat helposti vaihdettavissa. Viimeisenä kierrätys ja hävitysvaihe, jossa modulaarisen tuoterakenteen ansiosta moduulit ovat uudelleenkäytettäviä. (Birkhofer 2011, s. 37)

Modulaariseen arkkitehtuuriin liittyy myös haittoja. Tiihosen (1999, s. 90) mukaan modulaarisen arkkitehtuurin selkeät rajapinnat voivat aiheuttaa ongelmia, mikäli tuotteen komponenttia halutaan käyttää toteuttamaan useita toimintoja samanaikaisesti. Moduulirajapintojen yli komponenttien jakaminen tai yhdistäminen voi tuottaa myös haasteita. Tuotteiden fyysiset rajapinnat voivat nostaa kustannuksia tai heikentää tuotteen ominaisuuksia. (Tiihonen 1999, s. 90) Suljettu modulaarinen arkkitehtuuri asettaa tuotteelle rajoitteita tuotteelle. Tällöin tuotteessa voidaan käyttää vain määriteltäviä moduuleja ja rajapintoja. (Pakkanen 2015) Lisäksi suljettu arkkitehtuuri rajoittaa komponenttien yhdistelemisen yrityksen sisäiselle tasolle. Tämä johtuu siitä, että liitäntäpinnat ovat vain komponentin kehittäneelle yritykselle tuttuja tai liitäntäpinnat sijaitsevat tuotteen sisällä. (Fujimoto 2007, s. 86) Birkhoferin (2011, s. 37) mukaan joissain tapauksissa modulaarinen tuoterakenne rajoittaa jokaisen yksittäisen tuotevariantin tarjoaman toiminnallisuuden optimointia, joka voi johtaa moduloinnin riskeihin, kuten ylimitoitukseen, ylimääräisiin rajapintoihin sekä tuotevaihtelevuuden niukkuuteen asiakkaan näkökulmasta.

3.2 Vakioinnin hyödyt ja haitat

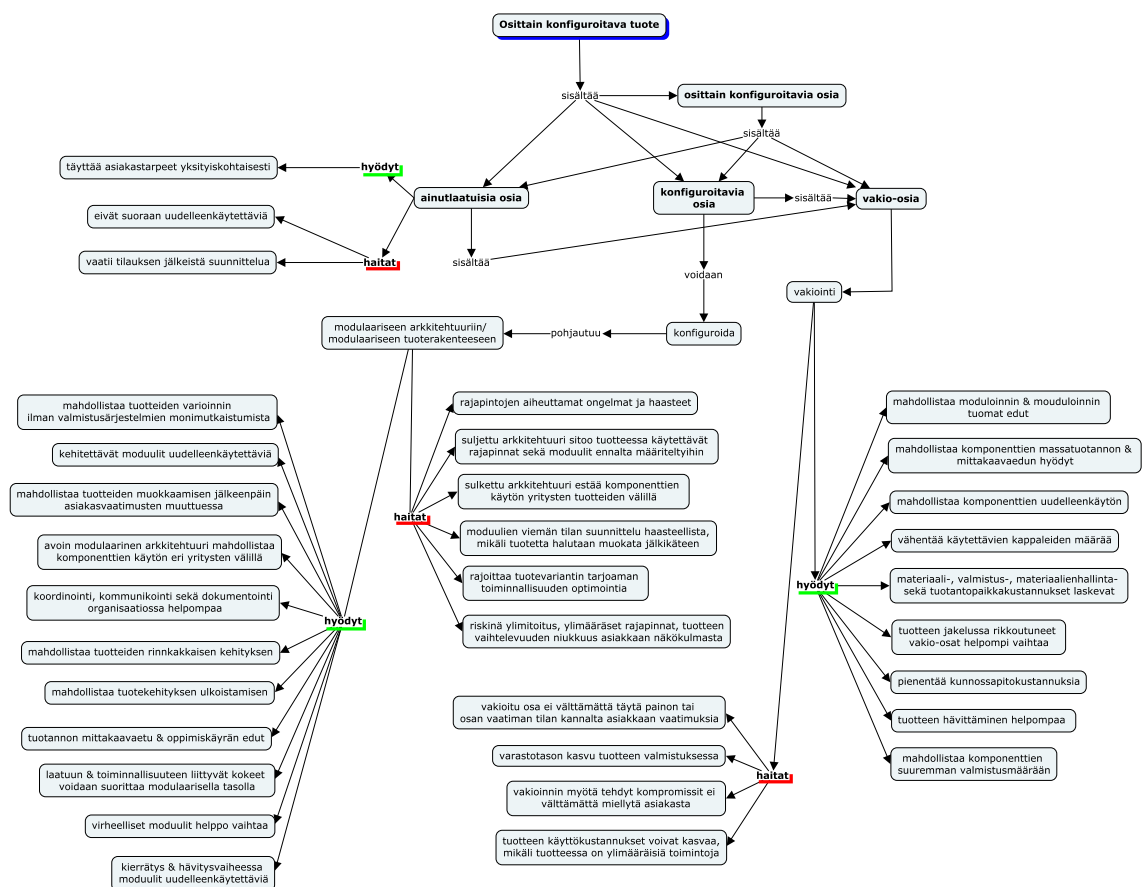
Juutin (2008, s. 4–6) mukaan vakiointi mahdollistaa moduloinnin, mikä puolestaan tarjoaa modulointiin liittyviä etuja, kuten mahdollisuuden muuttaa tuote asiakastarpeisiin sopivaksi ja kasvattaa täten yrityksen markkinaosuutta. Modulointi avaa myös ovet uusille markkinoille, jonka kautta yrityksellä on mahdollisuus kasvattaa myyntiään. Vakiointi mahdollistaa myös komponenttien massatuotannon ja sen myötä mahdollistaa mittakaavaedun tuomat hyödyt. Juuti (2008, s. 4–6) Ulrich ja Eppinger (2012, s. 189) lisäävät, että vakiointi mahdollistaa komponentin suuremman valmistusmäärän, joka puolestaan voi alentaa valmistuskustannuksia sekä parantaa laatua.

Perera et al. (1999) sekä Wacher ja Treleven (1986) esittävät vakiointiin liittyviä etuja tuotteen eri elinkaaren vaiheissa. Vakiointi mahdollistaa komponenttien uudelleenkäytön, mikä puolestaan tekee tuotteen päivittämisestä halvempaa. Vakiointi myös vähentää kehitettävien kappaleiden määrää, jolloin tuotekehitysvaihe yksinkertaistuu. Tuotannossa vakiointi laskee esimerkiksi materiaali-, valmistus-, materiaalihallinta- sekä tuotantopaikkakustannuksia. Tuotteen jakelussa tapahtunut rikkoutuminen on helpompi korjata, sillä vakio-osat on helpompi vaihtaa tuotteesta niiden rikkoutuessa. Tuotteen käyttöön liittyen vakiointi alentaa esimerkiksi tuotteen kunnossapitokustannuksia, sekä mahdollistaa varmemman järjestelmän käytettävyyden. Tuotteen hävitysvaiheessa voidaan havaita helpottumista vakioinnin avulla, sillä esimerkiksi tuotteen purkamiseen ei vaadita niin paljoa työkaluja ja taitoa. (Perera et al. 1999; Wacher & Treleven 1986, Pakkasen 2015 mukaan, s. 52)

Vakiointiin liittyy myös haittoja. Esimerkiksi osan vakioinnilla painon tai sen viemän tilan kannalta ei välttämättä voida tyydyttää asiakkaan vaatimuksia, kuin ainutlaatuisella osalla. Tuotteen valmistuksessa vakiointi voi aiheuttaa tietyn komponentin varastotason kasvun. Tuotteen käyttöön liittyy vakioinnin myötä tehdyt kompromissit komponentin ominaisuuksien suhteen, joka voi huonossa tapauksessa johtaa asiakkaan tyytymättömyyteen. Tämän lisäksi tuotteen käyttökustannukset voivat kasvaa virrankulutuksen myötä, mikäli tuotteessa on ylimääräisiä toimintoja. Jakelun sekä tuotteen hävittämisen kannalta vakioinnille ei ole esitetty haittoja tai riskejä. (Perera et al. 1999; Wachter & Treleven 1986, Pakkasen 2015 mukaan, s. 52)

3.3 Tulosten analysointi konfiguroitavan tuotteen hyödyistä ja haitoista

Tässä työssä selvitetty osittain konfiguroitavaan tuotteeseen yleisesti liittyvät hyödyt ja haitat on koostettu kuvaan 6. Hyödyt ja haitat on jaettu osittain konfiguroitavan tuoterakenteen eri osien mukaan. Työssä osittain konfiguroitavan tuotteen etujen sekä haittojen tarkastelu painottuu konfiguroitaviin sekä vakio-osiin. Ainutlaatuisten osien hyötyjä ja haittoja käsittely jää työn osalta suppeaksi.



Kuva 6: Osittain konfiguroitavaan tuotteeseen liittyviä hyötyjä ja haittoja.

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä haluttiin vastaus kysymykseen, mitä hyötyjä ja haittoja osittain konfiguroitavaan tuotteeseen liittyy. Kuten osittain konfiguroitava tuoterakenne -luvussa todettiin, osittain konfiguroitava tuote kykenee täyttämään asiakkaan tarpeet lähes yhtä hyvin, kuin projektituotteet. Tämä perustui osittain konfiguroitavien osien sisältämiin ainutlaatuisiin osiin. Näiden ainutlaatuisten osien kohdalla kuitenkin

huomionarvoista on, että ne usein vaativat suunnittelua tilaus-toimitusprosessissa, eivätkä ne ole suoraan uudelleenkäytettäviä, kuten esimerkiksi konfiguroitavat- tai vakio-osat. Ainutlaatuiset sekä konfiguroitavat osat sisältävät vakio-osia, jolloin vakiointi voi myös vaikuttaa niissä. Osittain konfiguroitavien osien sisältäessä ainutlaatuisia osia, konfiguroitavia osia sekä vakio-osia, voi edellä mainittujen osien hyödyt sekä haitat koskea myös osittain konfiguroitavaan osaa.

4. ETUJA JA HAASTEITA SIIRRYTTÄESSÄ OSITTAIN KONFIGUROITAVAAN TUOTTEESEEN

4.1 Projektituotteesta tilauksesta osittain konfiguroitavaan tuotteeseen

Tiihonen (1999) esittelee etuja ja ongelmia, mitä liittyy projektituotteesta siirryttäessä konfiguroitavaan tuotteeseen. Esimerkiksi asiakaskohtaisen suunnittelun väheneminen lyhentää tilaus-toimitusprosessin läpimenoaikoja sekä vähentää suunnittelussa vaadittavia resursseja. Myös virheellisiin tuoteyksilöihin kohdistuva uusintatyö vähenee konfiguroinnin sisältämän systemaattisen toiminnan vuoksi. (Tiihonen 1999)

Siirtymä prosessituotteesta konfiguroitavaan tuotteeseen vaikuttaa heikkenevästi asiakastarpeiden täyttämiseen. Tämän lisäksi on huomioitavaa, että konfigurointi vaikuttaa yrityksen tuotteiden myymiseen, sillä yrityksen myynnistä vastaava henkilöstön on otettava huomioon konfiguroitavan tuotteen muuntamiselle asetetut rajat, joita on noudatettava. Projektituotteesta konfiguroitavaan tuotteeseen siirryttäessä on myös huomioitava, että konfiguroitava tuote vaatii tuotekehityksen kannalta tehtäviä, kuten modulointia, tuotetiedon systematisointia sekä tuotteiden uudelleensuunnittelua. (Tiihonen 1999 s. 21–22)

Pakkasen et al. (2019, s. 55) mukaan siirryttäessä projektituotteista konfiguroitaviin tuotteisiin haasteiksi havaittiin sopivien tavoitteiden asettaminen sekä hankkeiden laajuus. Tähän sisältyy esimerkiksi määritelmä siitä, mitkä tuotteen osat kehitettäisiin tilauksesta konfiguroitavaan toimintaan sopivaksi. Edellä mainittujen lisäksi osittain konfiguroitavan tuotteen kohdalla voi olla epäselvää, mitkä osat kannattaa suunnitella ennen asiakkaan tilausta. Puhtaasti projektituotteen kehityksen sijaan yritykselle voi tulla tehokkaammaksi määritellä konfiguroitava tuoteperhe vain osittain ennen asiakkaan tilausta. Tällöin on suunniteltavien moduulivarianttien kannalta tärkeää määritellä selkeät linjat uudelleenkäytön sekä käytettävien prosessien kannalta, eli voidaan tehdä kiinnityksiä osiointilogiikan, rajapintojen, arkkitehtuurin sekä konfigurointisääntöjen kannalta, mutta moduuleihin voidaan tehdä myöhemmässä vaiheessa yksityiskohtaista suunnittelua. Moduulijärjestelmän ylläpitoon kannattaa myös kiinnittää huomiota, sillä se vaatii yritykseltä investointeja esimerkiksi henkilöstön kouluttamiseen, jotta heillä on ymmärrys modulaaristen järjestelmien tarkoituksesta. Ilman investointeja moduulijärjestelmiä uhkaa pahimmillaan rappeutuminen. (Pakkanen et al. 2019, s. 55)

4.2 Esimerkkitapaukset Brownfield-prosessista

Tähän työhön on valittu kaksi diplomityötä esimerkkitapauksiksi, joissa sovelletaan Brownfield-prosessia olemassa oleviin tuotteisiin. Tapauksessa 1 Siivonen (2015) tarkasteli prosessin vaiheita 1–5, 7, 9 sekä 10. Tapauksessa 2 Tikka (2021) oli rajannut työhönsä prosessin vaiheet 1–5 sekä vaiheen 10. Merkittävin vaihe tämän työn kannalta on vaihe 10, josta saadaan tietoa modulaarisen tuoteperheen vaikutuksesta yrityksen liiketoimintaan.

4.2.1 Esimerkki 1

Siivonen (2015) diplomityössään sovelsi Brownfield-prosessia yrityksen tuotteisiin, joiden suuri variaatio on johtanut asiakastarpeiden kasvaessa ylläpidettävien nimikkeiden huomattavaan kasvuun. Diplomityön esimerkkitapauksen modulointi osoittautui toimivaksi, jonka vuoksi tuotteiden nimikkeiden määrää saataisiin vähennettyä jopa 40 %, joka vaikuttaisi merkittävästi tuotteen kustannuksiin. Esimerkiksi tuotteen valmistus yksinkertaistuisi sen myötä, että valmistuksessa tarvittavien työkalujen määrä laskisi. Tämän lisäksi tuotannon ohjaus olisi helpompaa pienentyneen osamäärän vuoksi. Prosessin myötä yritys sai päivitettyä asiakasvaatimukset ajan tasalle, jonka vuoksi tuotteet saadaan asettumaan paremmin asiakkaan vaatimuksiin, mikä puolestaan vaikuttaisi positiivisesti myyntiin. Lisäksi suunnittelun uudelleenikäytön mahdollisuudet kasvoivat, jotka vaikuttaisivat tutkimuksen ja tuotekehityksen tehokkuuden paranemiseen yksinkertaisempien suunniteltavien komponenttien myötä. Modulaarisen tuoteperheen ennalta määritellyt periaatteet, rajapinnat sekä moduulirakenne mahdollistaisi myös resurssien vähentämisen tutkimuksesta ja tuotekehityksestä, tai resursseja voidaan ohjata esimerkiksi uusien teknologioiden kehittämiseen. Yrityksen tuotteeseen olisi myös jälkepäin helpompi suunnitella uusia tuotteita tai uusia ominaisuuksia, sekä tehdä muutoksia tuotteisiin tuotteen elinkaaren aikana. (Siivonen 2015)

Diplomityössä selviää, että Brownfield-prosessin läpivienti vaatii paljon tietoa esimerkiksi tuoterakenteista sekä asiakkaista, jonka vuoksi prosessiin olisi hyvä osallistua yrityksen eri osa-alueet, kuten markkinoinnista, myynnistä sekä suunnittelusta vastaavat ryhmät. On myös hyvä huomioida, ettei modulointi itsessään ei anna pitkäaikaisia hyötyjä. Esimerkiksi valmistukseen sekä komponenttien hankintaan tulisi kiinnittää huomiota, jotta modulaarisesta tuoterakenteesta saadaan mahdolliset hyödyt irti. Lisäksi yrityksen myyntihenkilöstö tulee kouluttaa, jotta modulaaristen tuotteiden myynti ei aiheuta ongelmia. Modulaarisen tuoterakenteen säilyminen tulevaisuutta ajatellen kannattaa myös

mieltä tarkkaan, esimerkiksi määrittelemällä yrityksestä henkilö tai ryhmä, joiden tehtävänä on hallinnoida tuotteen sisältämiä moduuleja ja rajapintoja sekä varmistaa, ettei tuotteen modulaarisuus mene rikki tuotteeseen tehtäessä muutoksia. (Siivonen 2015)

4.2.2 Esimerkki 2

Tikka (2021) selvitti diplomityössään, kannattaako kohdeyrityksen siirtyä projektiluontoisesta tuotteesta modulaariseen tuoteperheeseen. Kohdeyritys valmistaa erikoiskontteja ja tähän työhön oli tarkastelun kohteeksi valittu levitettävät kontit, joissa oli monimutkaisempi rakenne yrityksen kiinteäseinäisiin kontteihin verrattuna. Työssä pyrittiin myös selvittämään, kuinka modulaarinen tuotteisto vaikuttaisi yrityksen nykytilaan. (Tikka 2021)

Liiketoimintavaikutusanalyysi

Aika 10 v
Tuotantomäärä 30 kpl/v

Ohjaava periaate tai mekanismi	Vaikutus, €
Brändivaikutus	1 000
Reagointikyky markkinoiden muutoksiin	10 000
Tuotteen sovitus asiakkaan tarpeisiin (konfigurointi)	10 000
Tuotteen sovitus paikalliseen lainsäädäntöön ja standardeihin	1 000
Lisää kapasiteettia uuden tuotteen kehitykseen	100 000
Panokset tuotekehitykseen	100 000
Suunnittelu uudelleenkäyttöä hyödyntämällä (ratkaisu)	100 000
Suunnittelu uudelleenkäyttöä hyödyntämällä (rajapinta)	10 000
Suunnittelu uudelleenkäyttöä hyödyntämällä (komponentti)	100 000
Uudet teknologiat	10 000
Teknologioiden erottelu	10 000
Myynnin ja/tai kilpailuttamisen ja tuoteyksilön määrittelyn helpottaminen	100 000
Tuotekustannukset	10 000
Komponenttien saatavuus ja toimittajien lukumäärä	1 000
Tuotannon ohjattavuuden parantuminen (läpinäkyvyys, ennustettavuus)	10 000
Myöhäinen variointi	10 000
Tuotannon siirto (paremmalle alueelle tai ympäristöön)	0
Alentuneet tuotannon käynnistysajat ja kustannukset (moduulien testattavuus yksinään)	1 000
Vähentyneet komponenttien laatuongelmat	10 000
Kokoonpanon hajauttaminen / keskittäminen	0
Vähentyneet tuotannon laatuongelmat	10 000
Alentuneet kuljetuskustannukset	0
Mahdollisuus muutoksiin tuotteen elinkaaren aikana	10 000
Vähentyneet seisakit ja huoltokustannukset (vaihtokelpoisia moduuleja käyttämällä)	1 000
Korkeampi arvo elinkaaren päättyessä (moduulien kierrätys)	0
Yhteensä	515 000

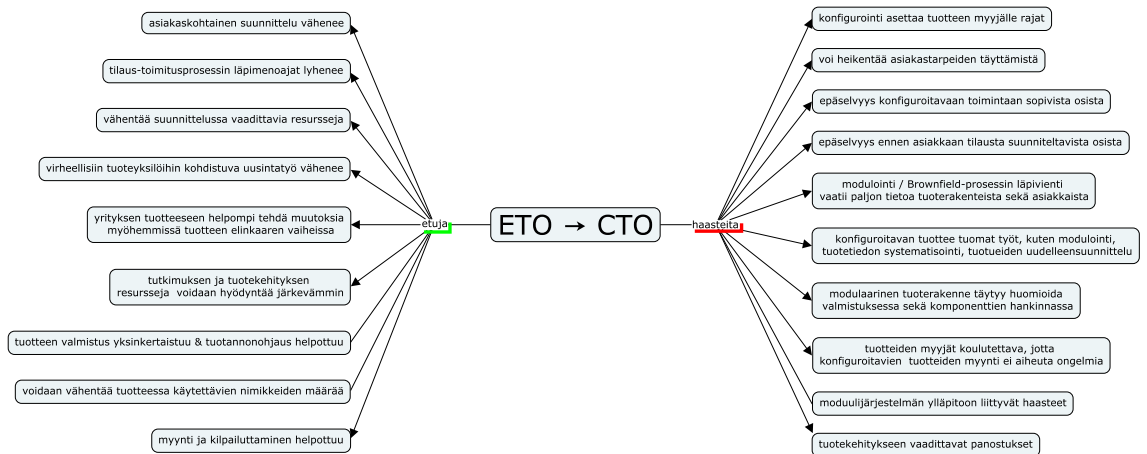
Kuva 7: Kooste liiketoimintavaikutusanalyysistä, vihreä = positiivinen vaikutus, punainen = negatiivinen vaikutus (Tikka 2021, s. 81).

Liiketoimintavaikutusanalyysissä (kuva 7) rahallisia vaikutuksia modulaariseen tuotteen siirryttäessä oli arvioitu asteikolla neutraali (0 €), vähäinen (1000 €), kohtuullinen (10 000 €) sekä merkittävä (100 000 €). Analyysistä selvisi muun muassa, että vaikutukset markkinoiden muutoksiin reagointikyky kasvasi kohtuullisesti. Markkinoiden kyvykkydet paranisivat vakioitujen ratkaisujen sekä toimituskohtaisen suunnittelun myötä. Tämän lisäksi tuotteen konfiguroitavuuden ansiosta tuote voidaan sovittaa paremmin asiakastarpeisiin. Moduloinnin ansiosta tuotteessa käytettävät teknologiat, kuten tietoliikenne ja viestijärjestelmät voitaisiin eristää muusta järjestelmästä hyvin määriteltyjen rajapintoja käyttämällä, millä olisi kohtuullinen vaikutus tuotteen kustannuksiin. Ainoana negatiivinen vaikutus olisi merkittävä panostuksen tarve modulaarisen tuoteperheen kehitykseen. Kulut viittaavat tarvittavaan työpanokseen, mitä tarvitaan tuoteperheen hallinnassa sekä mahdollisten asiakastarpeiden muuttuessa tuoteperheen päivittämisessä. (Tikka 2021)

4.3 Tulosten analysointi eduista ja haasteista siirryttäessä osittain konfiguroitavaan tuotteeseen

Merkittäväksi eduksi projektituotteesta konfiguroitavaan tuotteeseen siirtyessä havaittiin tarvittavan asiakaskohtaisen suunnittelun väheneminen tilaus-toimitus prosessissa. Kuitenkin tuotteen ollessa osittain konfiguroitava, ei asiakaskohtainen suunnittelu kuitenkaan häviä kokonaan, sillä ainutlaatuiset osien mukautuessa asiakkaan vaatimukseen tarkasti, vaatii ne suunnittelutyötä asiakkaan tekemän tilauksen jälkeen. Merkittäviin haittoihin konfiguroitavan tuotteen kohdalla havaittiin heikentyvä asiakastarpeiden täyttäminen. Osittain konfiguroitavien tuotteiden kohdalla tämä ei täysin pidä paikkansa, sillä tuotteen sisältämien ainutlaatuisten osien vuoksi tuote voi täyttää asiakkaan vaatimukset lähes yhtä hyvin, kuin projektituote.

Haasteena havaittiin myös tilauksesta konfiguroitavaan tuotantoon sopivien osien sekä ennen asiakasta suunniteltavien osien valinta. Tilaus-toimitus prosessissa suunnittelua vaativista ainutlaatuisista osista huolimatta on tilauksesta konfiguroitava tapa tehokkaampi kuin puhtaasti projektiluontoinen toimintatapa, jossa suunnittelu aloitetaan asiakkaan tilauksen jälkeen. Projektituotannon sijaan on mahdollista kehittää osittain konfiguroitavia tuotteita niin, ettei kaikkia tuoteperheen variantteja määriteltäisi ennen asiakkaan tilausta. Tämä mahdollistaisi asiakkaiden vaatimusten huomioimisen tuotteessa tilaus-toimitusprosessissa. Edut sekä haasteet on koottu kuvaan 8.



Kuva 8: Etuja sekä haasteita, joita voidaan havaita siirtyessä projektituotteesta osittain konfiguroitavaan tuotteeseen.

Modulaarisen tuoteperheen hallintaan liittyvät haasteet esiintyivät niin kirjallisuudessa kuin diplomitoissa. Modulaariset järjestelmät vaativat ylläpitoa investointien sekä koulutuksen puolesta, jotta ymmärrys järjestelmistä pysyy riittävällä tasolla. Myös modulaarisen tuoterakenteen säilyminen tulevaisuuden kannalle nousi esille, jolle ehdotettiin ratkaisuksi henkilöä tai ryhmää, jonka tehtävänä olisi esimerkiksi varmistaa, ettei tuotteen modulaarisuus rikkoutu tuoteeseen tehtäessä muutoksia.

Konfiguroitavaan tuotteeseen siirtymisen etuja sekä haittoja voidaan myös tarkastella edellisessä luvussa selvitettyjen osittain konfiguroitavien tuotteiden hyötyjen sekä haittojen puolesta. Edellinen luku sisältää vastausta ensimmäiseen tutkimuskysymykseen voidaan pitää osittaisena vastauksena tässä luvussa selvinneiden etujen sekä haasteiden rinnalla toiseen tutkimuskysymykseen, jossa haluttiin vastaus kysymykseen, mitä etuja ja haasteita osittain konfiguroitavaan tuotteeseen siirtyminen projektituotteesta voi tuoda yritykselle.

5. YHTEENVETO

Työn tavoitteisiin kuului selvittää, mitä hyötyjä sekä haittoja osittain konfiguroitaviin tuotteisiin liittyy sekä mitä etuja sekä haasteita konfiguroitavaan tuotteeseen siirtyminen projektituotteesta voi sisältää. Vastauksia tutkimuskysymyksiin lähdettiin etsimään kirjallisuusselvityksen avulla.

Osittain konfiguroitavien tuotteiden etujen sekä haittojen tarkastelu painottui modulaarisen arkkitehtuurin sekä vakioinnin tuomien etuihin sekä ongelmiin. Ainutlaatuisista osista selvisi, että niillä voidaan täyttää asiakasvaatimuksia, mitä konfiguroitavat- tai vakio-osat eivät kykene täyttämään. Haittoina havaittiin ainutlaatuisten osien vaatima suunnittelun tarve tilaus-toimitusprosessissa, sekä rajoitetut uudelleenkäyttömahdollisuudet.

Vakioinnin kannalta löydettiin etuja sekä haittoja eri tuotteen elinkaarien vaiheista. Etuina havaittiin esimerkiksi mahdollisuus tuotteen modulointiin, sekä vakio-osien massatuotettavuus. Tämän lisäksi vakiokomponenttien uudelleenkäytettävyys havaittiin merkittävänä etuna. Vakioinnin haittana havaittiin vakioinnin myötä tehdyt kompromissit, jotka eivät välttämättä miellytä asiakasta. Vakioitu osa ei myöskään välttämättä täytä asiakkaan vaatimuksia painon tai osan vaatiman tilan kannalta.

Konfiguroitavia osia tarkasteltiin modulaarisen arkkitehtuurin tuomien etujen sekä haittojen näkökulmasta. Merkittäviksi eduiksi havaittiin esimerkiksi modulaarisen arkkitehtuurin mahdollistama laaja tuotevalikoima, sekä tuotevarianttien konfigurointimahdollisuus. Modulaarisen arkkitehtuurin ansiosta myös moduulien uudelleenkäytettävyys niin suunnittelussa kuin tuotteen kierrätyksessä on merkittävä etu. Modulaarisen arkkitehtuurin haittoihin lukeutuu esimerkiksi rajapintojen aiheuttamat ongelmat, sekä rajalliset tuotevarianttien tarjoamien toiminnallisuuksien optimointimahdollisuudet. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen tulokset löytyvät koostettuna kuvasta 6.

Toisena tavoitteena oli selvittää, mitä etuja sekä haasteita osittain konfiguroitavaan tuoterakenteeseen siirtyminen esimerkiksi projektituotteesta sisältää. Selvityksessä etsittiin etuja ja haasteita kirjallisuudesta sekä hyödynnettiin kahta diplomityötä, joissa oli sovellettu Brownfield-prosessia kohdeyrityksien olemassa oleviin tuotteisiin. Brownfield-prosessilla pyrittiin ratkomaan ennalta määriteltyjä ongelmia, joita ilmeni yrityksen nykyisissä tuotteissa. Edut ja haasteet on koottu kuvaan 8.

Projektituotteesta siirryttäessä konfiguroitavaan tuotteeseen etuina havaittiin muun muassa asiakaskohtaisen suunnittelun väheneminen sekä tilaus-toimitusprosessin läpime-

noajat. Ensimmäisen diplomityön kohdeyrityksen tuotteen sisältämien nimikkeiden määrää saatiin laskettua merkittävästi. Tämän lisäksi Brownfield-prosessin vaatima asiakasvaatimusten selvityksen myötä yrityksellä oli selkeämpi kuva, mitä tuotteita asiakkaille kannattaa tarjota. Toisen diplomityön kohdeyrityksen kohdalla merkittäviä etuja havaittiin suunnittelutyön uudelleenkäyttö, joka olisi ratkaisujen sekä komponenttien kohdalla merkittävä etu yritykselle. Myös myynnin ja kilpailuttamisen helpottuminen osoittautui yritykselle mahdolliseksi eduksi tuotteen moduloinnin myötä.

Konfiguroitavaan tuotteeseen siirryttäessä mahdollisiksi ongelmiksi havaittiin esimerkiksi konfiguroitavien tuotteiden asettamat rajat tuotteiden myynnin kannalta verrattuna projektituotteisiin. Tämän lisäksi tuotekehityksessä konfiguroitavilta tuotteilta vaadittavat uudet tehtävät, kuten tuotetiedon systematisointi sekä tuotteiden uudelleensuunnittelu on hyvä tiedostaa. Osittain konfiguroitavan tuotteen kehityksessä voi esiintyä haasteita, kuten tilauksesta konfiguroitaviksi osiksi määriteltävien osien valinta sekä epävarmuus siitä, mitä osia kannattaa suunnitella ennen asiakkaan tilausta ja mitä asiakkaan tilauksen jälkeen.

Ensimmäisessä diplomityöesimerkissä havaittiin, että Brownfield-prosessin läpivientiin vaaditaan paljon tietoa esimerkiksi tuoterakenteista sekä asiakkaista. Tämän vuoksi prosessiin tulisi osallistua henkilöstöä tuotekehityksen ja suunnittelun lisäksi myös myyniistä ja markkinoinnista. Havaittiin myös, ettei modulointi itsessään anna pitkäaikaisia hyötyjä, vaan jouduttaisiin moduloinnin lisäksi esimerkiksi kouluttamaan myyntihenkilöstöä, jotta modulaaristen tuotteiden myynti onnistuisi. Toisessa diplomityössä ainoaksi haitaksi kustannuksen näkökulmasta havaittiin tarvittavat panokset tuotekehitykseen.

Ensimmäiseen sekä toiseen tutkimuskysymykseen löydettyjä vastauksia ei voida pitää koko totuutena. Työssä osittain konfiguroitavan tuotteen etuja sekä haittoja käsiteltiin enimmäkseen vakioinnin sekä modulaarisen arkkitehtuurin näkökulmasta. Esimerkiksi konfigurointi on itsessään oma ulottuvuutensa, joka sisältää etuja ja haasteita. Myöskään ainutlaatuisten osien etuja ja haittoja tässä työssä ei sen syvemmin tutkittu.

Toiseen tutkimuskysymykseen löydetty vastaukset ovat suuntaa antavia, eivätkä välttämättä päde aivan jokaisessa yrityksessä. Kuten diplomityöesimerkeistä huomattiin, kohdeyrityksessä moduloinnilla tavoiteltiin ratkaisuja erityyppisiin ratkaisuihin. Diplomitoiden sekä kirjallisuudesta löydetyn tiedon välillä oli samankaltaisuuksia, kuten konfiguroitavan tuotteen tuomat lisätyöt suunnitteluun. Myös havainnot moduloinnin vaikutuksesta tuotteiden myynnin haasteisiin viittasivat samaan suuntaan. Lisäksi modulaarisen järjestelmän ylläpitoon liittyvät haasteet nousivat esille niin kirjallisuudesta kuin diplomitoista.

6. LÄHTEET

- Alberto, J. & Tollenaere, M. (2005). Modular and platform methods for product family design: literature analysis. *Journal of intelligent manufacturing*. Vol.16(3), pp. 371–390.
- Birkhofer, H. (2011). *The Future of Design Methodology*. 1st ed. London: Springer London. 301 p.
- Cheng, F., Ettl, M., Lin, G. & Yao, D. D. (2002). Inventory-Service Optimization in Configure-to-Order Systems. *Manufacturing & service operations management*. Vol.4(2), pp. 114–132.
- Forza, C. & Salvador, F. (2008). Application support to product variety management. *International journal of production research*. Vol.46(3), pp. 817–836.
- Fujimoto, T. (2007). Architecture-Based Comparative Advantage A Design Information View of Manufacturing. *Evolutionary and institutional economics review*. Vol.4(1), pp. 55–112.
- Gershenson, J. K., Prasad, G. J. & Allameni, S. (1999). Modular product design: A life-cycle view. *Journal of integrated design & process science*. Vol.3(4), pp. 13–26.
- Gershenson, J. K., Prasad, G. J. & Zhang, Y. (2004). Product modularity: measures and design methods. *Journal of engineering design*. Vol.15(1), pp. 33–51.
- Harlou, U. (2006). *Developing product families based on architecture: Contribution to a theory of product families*. Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, 173 p.
- 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 Organisation for Improved R&D Efficiency*. Tampere University of Technology. 155 p.
- Juuti, T. & Lehtonen, T. (2006). Using multiple modular structures in delivering complex products. *Proceedings of NordDesign 2006 Conference*, pp. 266–276.
- Juuti, T., Lehtonen T. & Riitahuhta, A. (2007). Managing re-use for agile new product development: *Proceedings of ICED 2007, the 16th International Conference on Engineering Design*.
- Lehtonen, T., Juuti, T., Pulkkinen, A. & Riitahuhta, A. (2003). Dynamic Modularisation - A challenge for design process and product architecture. *DS 31: Proceedings of ICED*

03, the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm. Design Society. pp. 339-340.

Lehtonen, T. (2007). Designing modular product architecture in the new product development. Tampere University of Technology. 220 p.

Pakkanen, J., Lehtinen, J., Juuti, T. & Lehtonen, T. (2013). The module system and its requirements for PDM/PLM systems. M Huhtala & H Eskelinen, Proceedings of the PDM2013 conference, The 1st PDM Forum for Finland-Russia Collaboration, 24.-25.4.2013, Lappeenranta. LUT Scientific and Expertise Publications. Tutkimusraportit, vol.4, Lappeenranta University of Technology. pp 91-97.

Pakkanen, J. (2015). Brownfield Process. A Method for the Rationalisation of Existing Product Variety towards a Modular Product Family. Tampere University of Technology. 283 p.

Pakkanen, J., Juuti, T. & Lehtonen T. (2019). Identifying and addressing challenges in the engineering design of modular systems - case studies in the manufacturing industry. Journal of engineering design. Vol30(1), pp. 32–61.

Pulkkinen, A. (2007). Product configuration in projecting company: the meeting of configurable product families and sales-delivery process. Tampere: Tampere University of Technology. 184 p.

Pulkkinen, A., Leino, S.P. & Papinniemi, J. (2017). Transforming ETO Businesses with Enhanced PLM Capabilities. 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017. ScienceDirect. pp. 1642–1650.

Salvador, F. (2007). Toward a Product System Modularity Construct: Literature Review and Reconceptualization. IEEE transactions on engineering management. Vol.54(2), pp. 219–240.

Silventoinen, A., Denger, A., Lampela, H. & Papinniemi, J. (2014). Challenges of information reuse in customer-oriented engineering networks. International journal of information management. Vol.34(6), pp. 720–732.

Siivonen, P. (2015). Modularization of an Existing Product Family. Tampere University of Technology. 71 p.

Stevenson, W. J. (2014). Operations management. 12th ed., global ed. New York, NY: McGraw Hill/Irwin.

Tiihonen, J. (1999). Kansallinen konfigurointikartoitus - asiakaskohtainen muuntelu suomalaisessa teollisuudessa. Lisensiaatintyö. Teknillinen Korkeakoulu, Espoo. Saatavissa (viitattu 9.3.2022): <http://www.soberit.hut.fi/pdmg/papers/Tiih99Kan.pdf>

Tikka, J. (2021). Levitettävän konstituoitteen modulointi. Tampere University. 92 p.

Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. (2008). Product design and development. 4th ed. Boston: McGraw-Hil. 368 p.

Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. (2012). Product design and development. 5th ed. New York, NY: McGraw-Hill Irwin. 415 p.

Ziaei, M., Ketabi, S. & Ghandehari, M. (2021). Integrative design, production, and marketing policy for a configurable product family. International journal of management science and engineering management. Vol.16 (1), pp. 43–57.

Österholm, J. & Tuokko, R. (2001). Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin: Modular function deployment. Helsinki: Metalliteollisuuden keskusliitto. 64 p.