Tampereen yliopisto

Niko Ehto

PÄÄTAULUN MEKAANISEN RAKENTEEN VAKIOINTI

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Mikko Vanhatalo
Tarkastaja: Tero Juuti
Elokuu 2025

TIIVISTELMÄ

Niko Ehto: Päätaulun mekaanisen rakenteen vakiointi
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan DI tutkinto-ohjelma
Elokuu 2025

Valmistavan teollisuuden tuotteet ovat usein monimutkaisia ja asiakkaat vaativat entistä enemmän muunneltavuutta tuotteisiin, jotta ne vastaavat asiakkaiden käyttötarkoitusta. Asiakkaiden vaatimuksiin kustannustehokkaasti vastaavat yritykset ovat kilpailullisesta näkökulmasta sellaisia yrityksiä edellä, jotka eivät pysty vastaamaan asiakkaiden tarpeisiin, tai eivät pysty tekemään sitä kustannustehokkaasti. Vakiointi, konfigurointi ja modulointi ovat avainasemassa, kun yritys pyrkii saavuttamaan kilpailuetua kustannustehokkaasti muunneltavilla tuotteilla.

Laivojen sähköverkoissa käytettävien päätaulujen toiminnallisuuksille on kohteen mukaan useita erilaisia asiakasvaatimuksia. Vaikka päätaulujen toiminnallisuuksiin liittyvät asiakasvaatimukset vaihtelevat, niiden mekaaninen rakenne on usein samankaltainen ja niihin kohdistuu yleisesti samanlaisia vaatimuksia. Päätaulun mekaanisen rakenteen asiakaskohtainen suunnittelu ei ole kustannustehokasta, jos yleisimpiin asiakasvaatimuksiin pystytään vastaamaan sellaisella vakioidulla rakenteella, josta pystytään konfiguroimaan yleisimpiä asiakasvaatimuksia vastaava tuote. Tällainen tuoterakenne nostaa suunnittelun uudelleenkäyttöastetta ja siten uudet projektit kuormittavat vähemmän yrityksen mekaniikkasuunnittelua. Vakioitu tuoterakenne vähentää tuotevariaatioita päätaulujen mekaanisen rakenteen osalta, joka helpottaa tuotetiedon hallintaa.

Tutkimuksen teoreettinen osuus jakautuu kahteen osa-alueeseen. Ensimmäinen osuus on kirjallisuuskatsaus, jossa käsitellään kattavasti vakiointia, konfigurointia ja modulointia sekä niihin liittyvää käsitteistöä. Teoreettisen osuuden toisessa osassa tutustutaan Brownfield Process -nimiseen prosessiin, joka on konfiguroitavan olemassa olevan tuoteperheen kehitysprosessi.

Työn empiirisessä osuudessa tutustutaan päätaulujen mekaanisen rakenteen ja siihen liittyvien haasteiden nykytilaan toimeksiantoyrityksessä. Empiirisessä osuudessa kehitetään alustava vakioitu mekaaninen rakenne päätauluille. Vakioidun konfiguroitavan rakenteen kehitys suoritetaan noudattamalla työn teoreettisessa osassa esitellyn kehitysprosessin vaiheita. Empiirisessä osuudessa määritellään vakioidun rakenteen lisäksi myös kehitetylle rakenteelle konfigurointitieto asiakasvaatimusten ja teknisten ratkaisujen välille.

Päätaulujen mekaaniseen rakenteeseen kohdistuvat yleisimmät asiakasvaatimukset tunnistettiin tutkimuksen aikana. Tutkimuksen tuloksena päätauluille määritettiin vakioitu mekaaninen rakenne, joka on konfiguroitavissa yleisimpiä asiakasvaatimuksia vastaavaksi. Mekaanisen rakenteen muuntelu toteutettiin mahdollisimman vähäisellä ratkaisujen määrällä, jolloin myös käytettävien nimikkeiden määrä on vähäisempi, joka johtaa helpompaan tuotetiedon hallintaan.

Avainsanat: vakiointi, konfigurointi, modulointi

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

ABSTRACT

Niko Ehto: Standardization of the mechanical structure of the main switchboard
Master's Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering
August 2025

The products of the manufacturing industry are often complex, and customers demand greater variability to the products to match their intended use. From a competitive point of view, companies that respond cost-effectively to customer requirements are ahead of companies that are unable to meet customer needs or are unable to do so cost-effectively. Standardization, configuration and modularization play a key role in the company's efforts to gain competitive advantage with cost-effective products with variability.

Depending on the target, there are several different customer requirements for the functionalities of the main switchboards used in the power grids of ships. Although customer requirements for main switchboard functionality vary, their mechanical design is similar, and they are generally subject to similar requirements. The customer-specific design of the main switchboard's mechanical structure is not cost-effective if the most common customer requirements can be met with a standardized configurable structure. This type of product structure increases the re-use rate of the design and new projects put less stress on the company's mechanical engineering resources. The standardized product structure reduces product variations in terms of the mechanical structure of the main switchboards, which facilitates the management of product information.

The theoretical part of the thesis is divided into two parts. The first of these is a literature review. The literature review comprehensively discusses standardization, configuration, and modularization, as well as related concepts. The second part of the theoretical part introduces the Brownfield Process, which is the development process of an existing product family to be configured.

The empirical part of the thesis explores the current state of the mechanical structure of the main switchboards and the related challenges in the commission company. The empirical part develops a preliminary standardized mechanical structure for the main switchboards. The development of a standardized configurable structure is carried out by following the steps of the development process presented in the theoretical part of the thesis. The empirical part defined not only the standardized structure, but also the configuration knowledge for the developed structure between customer requirements and technical solutions.

The most common customer requirements for the mechanical structure of the main switchboards were identified during the study. As a result of the study, a standardized mechanical structure was determined for the main switchboards, which can be configured to meet the most common customer requirements. The modification of the mechanical structure was carried out with the minimum number of solutions, so that the number of items to be used is also less, which leads to easier product information management.

Keywords: standardization, configuration, modularization

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

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

☒ Ei
☐ Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmaprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia:

Tekoälysovellusten nimet ja versiot:

Käyttötarkoitus:

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty:

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Promeco Group Oy:lle. Diplomityön tekeminen päätaulujen mekaanisen rakenteen vakioinnin parissa on opettanut minulle paljon ja työn aikana olen päässyt syventymään paremmin tuotekehityksen aihepiiriin. Diplomityön suorittaminen ja suorittamisen aikana käydyt keskustelut ovat kehittäneet ja kasvattaneet minun ammatillista osaamistani.

Haluan kiittää Promeco Group Oy:tä mielenkiintoisesta diplomityön aiheesta, sekä mahdollisuudesta tehdä tämä diplomityö yritykselle. Kiitos yrityksen asiantuntijoille Tuukka Harjulalle ja Tero Toivolalle, jotka toimivat suurena apuna tutkimuksen empiirisessä osuudessa. Kiitos myös diplomityön ohjaajalle, Tampereen yliopiston yliopisto-opettajalle Mikko Vanhatalolle, joka etenkin tutkimuksen alkuvaiheessa ohjasi minut oikeaan suuntaan.

Suurimmat kiitokset haluan esittää läheisilleni, etenkin kihlatulleni Johannalle, heidän antamasta tuesta koko opintojeni ajan.

Tampereella, 21.8.2025

Niko Ehto

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. TUTKIMUKSEN KUVAUS 3
2.1 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset 3
2.2 Design Research Methodology 4
2.3 Tutkimusasetelma 6
3. KIRJALLISUUSKATSAUS 9
3.1 Tuotetyypit 9
3.2 R&D paradigmat 11
3.2.1 Tilauskohtainen suunnittelu 13
3.2.2 Massatuotanto 14
3.2.3 Prosessin kehittäminen 15
3.2.4 Massaräätälöinti 15
3.2.5 Elinkaarikonfigurointi 17
3.3 Muuntelu ja vakiointi 17
3.4 Konfigurointi 23
3.4.1 Konfiguroitava tuote 23
3.4.2 Konfiguroitavan tuotteen kehitysprosessit 25
3.4.3 Konfigurointitehtävä 27
3.5 Modulointi 29
3.5.1 Modulaarisuuden tyypit 32
3.5.2 Moduulijärjestelmä 34
3.6 Modulaarisen tuotteen kehityksen työkalut 37
3.6.1 Product Family Master Plan 37
3.6.2 K- & V-matriisi 40
4. BROWNFIELD PROCESS 43
4.1 Liiketoimintaympäristön asettamat tavoitteet 44
4.2 Moduulijärjestelmän geneerinen elementtimalli 46
4.3 Geneeristen elementtien ja rajapintojen arkkitehtuuri 46
4.4 Tavoitteiden asettaminen asiakasympäristön perusteella 48
4.5 Alustava tuoteperhemääritelmä 49
4.6 Geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden välinen konfigurointitieto 50
4.7 Moduulien ja rajapintojen modulaarinen arkkitehtuuri 52
4.8 Moduulivarianttien ja asiakastarpeiden välinen konfigurointitieto 54
4.9 Tuoteperhedokumentaatio 55
5. PROMECO GROUP OY 57
5.1 Päätaulujen mekaniikkasuunnittelun nykytilanne 57
5.2 Yrityksen tavoitteet tutkimukselle 57
6. TAPAUSTUTKIMUS 59
6.1 Tavoitteet ja vaatimukset 60

6.2 Alustava suunnittelu ... 62
6.3 Konseptisuunnittelu ... 64
6.4 Tarkempi suunnittelu ... 67
6.5 Dokumentointi ... 71
7. TULOKSET ... 73
7.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin ... 73
7.2 Tutkimuksen tulokset ... 74
7.3 Tavoitteiden saavuttaminen ... 75
8. KESKUSTELU ... 76
9. PÄÄTELMÄT ... 78
LÄHTEET ... 80
LIITE A: ASIAKASVAATIMUKSET JA MUUNTELUTARPEET ... 84
LIITE B: KONFIGUROINTIMATRIISI ... 85
LIITE C: YHTEENSOPIVUUSMATRIISI ... 86
LIITE D: PSBP ... 87

LYHENTEET JA MERKINNÄT

BfP	*Brownfield Process*
BIA	*Business Impact Analysis*
BOM	*Bill Of Materials*
CAD	*Computer-aided Design*
CSL	*Company Strategic Landscape*
CTO	*Configure to Order*
DSM	*Design Structure Matrix*
DRM	*Design Research Methodology*
ETO	*Engineer to Order*
PFMP	*Product Family Master Plan*
PSBP	*Product Structuring Blue Print*
TK	*Tutkimuskysymys*

1. JOHDANTO

Usein asiakkailla on toisistaan poikkeavia vaatimuksia tilatessaan tuotteita toimittajilta. Vaihtelevat asiakastarpeet eri asiakkaiden välillä aiheuttavat tarvetta muuntelulle toimitettavassa tuotteessa. Asiakaskohtaisella räätälöinnillä saavutetaan tuotteelle paras mahdollinen asiakkaan vaatimuksia vastaava kokonaisuus. Asiakaskohtainen räätälöinti ei ole kuitenkaan kustannustehokasta, sillä se vaatii paljon suunnittelutyötä jokaista toimitusta kohti. Tämän lisäksi tuotetiedon hallinta vaikeutuu jatkuvasti kasvavan variaatioiden määrän myötä.

Kustannustehokkaampi tilaus-toimitusprosessi on mahdollista saavuttaa modulaarisilla konfiguroitavilla tuoteperheillä. Tällaisen tuoteperheen kustannustehokkuus perustuu siihen, että asiakkaiden vaatimukset pystytään lähtökohtaisesti täyttämään yhdistelemällä valmiiksi suunniteltuja konfiguroitavia moduuleja. Modulaarisen tuoteperheen arkkitehtuuri sisältää vakioidut rajapinnat, joiden kautta tuoteperheen moduulit ovat keskenään vuorovaikutuksessa. Asiakaskohtaisesta suunnittelusta ei ole aina mahdollista päästä kokonaan eroon, mutta konfiguroitavuuden hyödyntäminen myös tällaisessa tilanteessa vähentää tilauskohtaisesti tarvittavaa suunnittelua. Suunnittelun uudelleenkäyttöastetta parantamalla yrityksen suunnitteluresursseja pystytään sitomaan enemmän myös muualle, kuten tuotekehitykseen.

Modulaarisuuteen, konfigurointiin ja vakiointiin liittyvää kirjallisuutta löytyy runsaasti etenkin 2000- ja 2010-vuosikymmeniltä. Näiden aihealueiden lisäksi olemassa olevan tuotteen moduloimiseen on esitetty kymmenen vaiheinen kehitysprosessi. Prosessin kymmenestä vaiheesta esitellään yhdeksän ensimmäistä vaihetta myöhemmin tämän tutkimuksen teoreettisessa osuudessa ja näitä vaiheita hyödynnetään tapaustutkimuksessa.

Tämän tutkimuksen toimeksiantoyrityksenä toimii Promeco Group Oy. Yrityksessä on tunnistettu tarve viedä tutkimuksen kohteena olevaa tuoteperhettä vakioidumpaan suuntaan. Tämä johtuu siitä, että kyseisen tuoteperheen suunnittelun uudelleenkäyttöaste on alhainen, vaikka usein tilauksissa olisi mahdollista hyödyntää aikaisempia ratkaisuja. Tässä tutkimuksessa keskitytään vain tuoteperheen mekaaniseen rakenteeseen, eli osajoukkoon toimitettavasta tuoteperheestä, sillä tutkimus on samalla yrityksen ensias-

keleita kohti modulaarisempia konfiguroitavia tuotteita. Tuoteperheen kustannustehokkuutta ja suunnittelun uudelleenkäyttöä pyritään tutkimuksessa kehittämään vakioimalla tuoteperheen mekaaninen rakenne, joka koostuu konfiguroitavista elementeistä.

2. TUTKIMUKSEN KUVAUS

Aliluvussa 2.1 käydään läpi tutkimuksen tavoitteet, sekä tutkimuskysymykset, joihin tutkimuksessa pyritään vastaamaan. Aliluvussa 2.2 esitellään ja käydään läpi tutkimuksessa käytettävän tutkimusstrategian vaiheet. Aliluvussa 2.3 käydään läpi tutkimuksen tutkimusasetelma sekä esitellään tutkimuskartta.

2.1 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen lähtökohtana on toimeksiantoyrityksessä havaittu tarve viedä päätaulujen mekaanista rakennetta vakioidumpaan suuntaan. Yrityksen nykytilanteessa päätaulujen mekaaninen rakenne on lähes kokonaan asiakaskohtaisesti suunniteltu. Asiakaskohtainen suunnittelu johtaa alhaiseen suunnittelun uudelleenkäyttöön ja kuormittaa siten yrityksen mekaniikkasuunnitteluresursseja. Nykyinen toimintatapa hidastaa tilaus-toimitusprosessia, sekä vaatii osaavia ja ammattitaitoisia asentajia projektien onnistumiseksi. Tutkimuksen tavoitteena on hyödyntää jo olemassa olevia päätauluissa käytettyjä mekaanisia ratkaisuja ja luoda yhtenäisempi ja vakioidumpi päätaulujen tuoteperhe. Vakioitu tuoterakenne helpottaa mekaniikkasuunnittelijoiden lisäksi myyjien työtä konfigurointitiedon avulla, sekä mahdollistaa nopeamman asentajien perehdyttämisen.

Tutkimuksen päätavoite on kehittää olemassa olevasta tuoteperheestä modulaarisempi konfiguroitava tuoteperhe, jolla pystytään vastaamaan yleisimpiin asiakasvaatimuksiin vakioitujen ratkaisujen avulla. Pyrkimyksenä on vähentää mahdollisimman paljon ainutlaatuisten osien käyttöä sekä asiakaskohtaisesti tarvittavaa mekaniikkasuunnittelua. Vakioidun rakenteen konfigurointitiedon avulla pystytään jo myyntivaiheessa määrittämään asiakkaan vaatimuksia vastaava mekaaninen rakenne ja tarvittavat komponentit päätaululle, joka parhaimmillaan poistaa kokonaan mekaniikkasuunnittelun tarpeen asiakaskohtaisesti. Tutkimuksen empiirinen osuus painottuu vahvasti Jarkko Pakkasen vuonna 2015 julkaistussa väitöskirjassa esitettyyn Brownfield Process (BfP) -nimiseen prosessiin, joka on täysin konfiguroitavan olemassa olevan tuoteperheen kehitysprosessi.

Ennen empiiristä osuutta tutkimus sisältää kirjallisuuskatsauksen. Kirjallisuuskatsauksessa perehdytään vakioinnin, konfiguroinnin ja moduloinnin käsitteisiin ja teoriaan. Tutkimuksen luvussa 4 käsitellään Brownfield Process ja sen yhdeksän ensimmäistä vaihetta. Kirjallisuuskatsauksella vastataan ensimmäiseen ja toiseen tutkimuskysymykseen (TK), jotka ovat:

- **TK1:** Mikä on tutkimustiedon nykytila vakioinnin, konfiguroinnin ja moduloinnin saralla?
- **TK2:** Miten jo olemassa olevaa tuoteperhettä voidaan hyödyntää päätaulujen mekaanisen rakenteen vakioinnissa?

Tutkimuksessa pyritään vakioimaan jo olemassa olevan päätaulujen tuoteperheen mekaaninen rakenne siten, että yleisimpiin asiakasvaatimuksiin pystytään vastaamaan vakioiduilla ratkaisuilla ilman tilauskohtaista mekaniikkasuunnittelua. Jotta tämä on mahdollista, päätaulujen tuoteperheen muunteluun liittyvä konfigurointitieto tulee selvittää. Konfigurointitieto määrittää rakenteeseen kohdistuvat asiakasvaatimukset, niistä aiheutuvat muuntelutarpeet sekä tarvittavat tekniset ratkaisut ja niiden kombinaatiot, joilla näihin asiakasvaatimuksista periytyviin muuntelutarpeisiin pystytään vastaamaan. Näihin ongelmiin vastataan seuraavilla tutkimuskysymyksillä:

- **TK3:** Mitä muuntelutarpeita asiakasvaatimukset aiheuttavat päätaulujen mekaaniseen rakenteeseen?
- **TK4:** Miten asiakasvaatimuksiin vastaava päätaulun mekaaninen rakenne määritetään?

Yllä määritetyt tutkimuskysymykset tarkentavat tutkimusstrategiaa ja ohjaavat tutkimuksen kulkua. Tutkimuskysymykset myös rajaavat aihealuetta kohti tutkimuksen tavoitteita. Kysymyksiin vastaaminen tukee tutkimuksen toteuttamista ja tavoitteiden saavuttamista.

2.2 Design Research Methodology

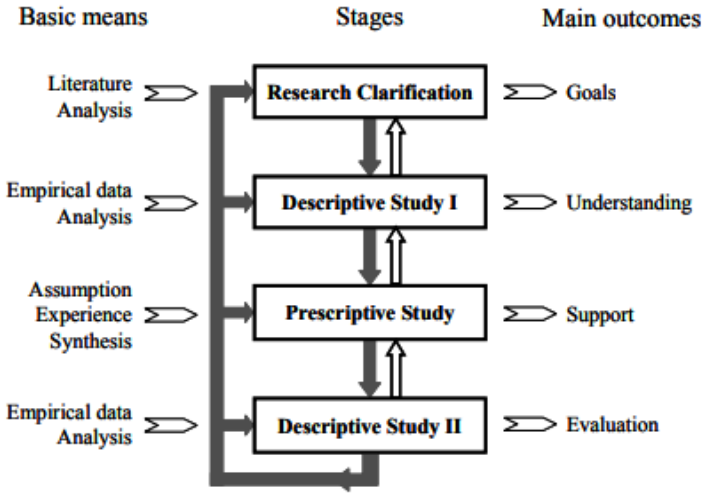
Tässä tutkimuksessa hyödynnetään Blessingin ja Chakrabartin (2009) kehittämää Design Research Methodology (DRM) -menetelmää. Blessingin ja Chakrabartin (2009) mukaan suunnittelututkimuksen nykytilassa on kolme ongelmaa, jotka ovat seuraavat:

- Yleiskatsauksen puute olemassa olevasta tutkimuksesta,
- Tulosten käyttämättömyys käytännössä,
- Tieteellisen kurinalaisuuden puute.

Nämä ongelmat, etenkin tieteellisen kurinalaisuuden puute, johti DRM:n kehittämiseen. DRM tukee kurinalaisempaa lähestymistapaa, jotta suunnittelututkimus olisi tehokkaampaa. DRM määritellään lähestymistapana ja joukkona metodeja, joita käytetään viitekehyksenä suunnittelututkimusta tehdessä. (Blessing & Chakrabarti, 2009)

DRM:n viitekehys koostuu neljästä vaiheesta. Nämä neljä eri vaihetta ovat Tutkimuksen selventäminen (englanniksi Research Clarification), Kuvaileva tutkimus 1 (englanniksi

Descriptive Study 1), Perspektiivinen tutkimus (englanniksi Prescriptive Study) ja Kuvaileva tutkimus 2 (englanniksi Descriptive Study 2). Kuvassa 1 esitetään DRM:n viitekehys, jossa näkyy vaiheiden väliset yhteydet, kussakin vaiheessa käytetyt keinot, sekä vaiheiden tärkeimmät tulokset. Kuvassa tummat nuolet kuvaavat prosessin päävirtausta ja vaaleat nuolet iteraatioita. (Blessing & Chakrabarti, 2009)



Kuva 1 *DRM:n viitekehys (Blessing & Chakrabarti, 2009)*

Tutkimuksen selventämisvaiheessa käsitellään lähestymistapaa, jolla tuetaan tutkimusprojektin alkuvaihetta. Tavoite on määrittää ja tarkentaa tutkimusongelma, joka on sekä akateemisesti, että käytännön tasolla kannattava ja realistinen. Kirjallisuuskatsaus tukee tätä vaihetta. Nykytilasta sekä halutusta tilanteesta luodaan alustava kuvaus. (Blessing & Chakrabarti, 2009) DRM:n ensimmäinen vaihe käydään läpi tässä tutkimuksessa luvussa 2.1. Kyseisessä luvussa määritellään alustavasti tutkimuksen tavoite, yrityksen nykytila ja haluttu tila tutkimuksen kohteeseen liittyen sekä tutkimuskysymykset.

Kuvaileva tutkimus 1 -vaiheen tarkoitus on lisätä ymmärrystä aiheesta tarkastelemalla kirjallisuutta tarkemmin. Tässä vaiheessa tarkoituksena on tehdä nykytilan kuvauksesta tarpeeksi yksityiskohtainen, jotta voidaan määrittää, mitkä tekijät tulisi ottaa huomioon tehtävän kuvauksen selkeyttämiseksi. (Blessing & Chakrabarti, 2009) Kuvaileva tutkimus 1 -vaihe tarkoittaa tässä tutkimuksessa kirjallisuuskatsausta. Kirjallisuuskatsaus sisältyy lukuihin 3–4 ja niissä käsitellään relevanttia teoriaa ja metodeja tutkimuksen aihepiirissä. Tämän vaiheen aikana myös tarkennetaan nykytilan kuvausta.

Perspektiivisen tutkimuksen vaiheessa hyödynnetään nykytilanteen tarkempaa ymmärrystä halutun tilanteen kuvauksen korjaamiseksi ja tarkentamiseksi. Kuvauksessa esitetään näkemys siitä, miten yhden tai useamman muuttujan käsitteleminen johtaa halutun tilanteen realisoitumiseen. (Blessing & Chakrabarti, 2009) Tässä tutkimuksessa per-

spektiivisen tutkimuksen vaiheessa hyödynnetään Kuvaileva tutkimus 1 -vaiheessa kerättyä ymmärrystä teoriasta ja nykytilasta, jonka pohjalta tarkennetaan ensimmäisessä vaiheessa tehtyä halutun tilanteen kuvausta. Nykytilanteesta tarkempaa ymmärrystä kertyi tutkimuksen aikana lisää, kun empiirinen osuus aloitettiin toimeksiantoyrityksen kanssa.

Kuvaileva tutkimus 2 -vaiheessa tutkitaan aiemmista vaiheista saadun tuen vaikutusta ja kykyä toteuttaa haluttu tilanne sen pohjalta (Blessing & Chakrabarti, 2009). DRM:n neljäs vaihe suoritetaan tämän tutkimuksen empiirisessä osuudessa hyödyntämällä olemassa olevia ratkaisuja päätaulun mekaanisen rakenteen vakioimiseksi. Empiirisen osuuden pohjana toimii aiemmissa vaiheissa kerätty tieto ja ymmärrys aihealueesta sekä käytettävistä menetelmistä.

2.3 Tutkimusasetelma

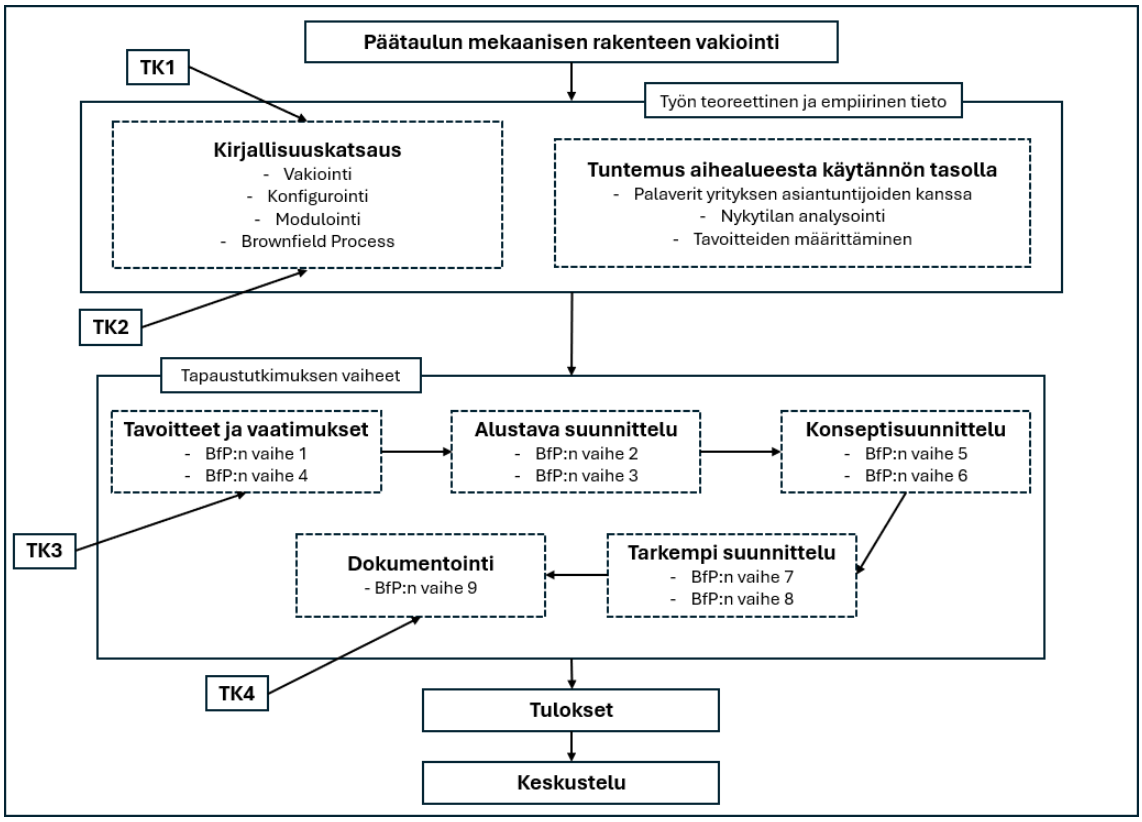
Laadullinen tutkimus perustuu erilaisiin aineistoihin ja niiden analyysiin, eli kyseinen tutkimus on empiiristä. Tämä ei kuitenkaan poissulje tutkimuksen teoreettisuutta, sillä laadullisessa tutkimuksessa on aina joitain teoreettisia kiinnekohtia. Laadullisessa tutkimuksessa teorialla tarkoitetaan aiheesta löytyvän aiemman tutkimuksen, tieteellisen kirjallisuuden, tutkimusmenetelmien ja analyysitapojen jäsenneltyä esittämistä. Laadullisessa tutkimuksessa teorioita on usein monia, jotka tukevat tutkimuksessa eri osa-alueita. Jäsennellyllä esittämisellä tarkoitetaan tutkimusta tukevien teorioiden etsimistä ja erittelyä, sekä niiden keskinäistä järjestämistä. (Kallinen & Kinnunen, 2021)

Tapaustutkimus on tutkimusstrategia, joka sisältää empiirisen tutkimuksen jostain tietystä ilmiöstä tietyllä ajanhetkellä reaalimaailman kontekstissa (Robson 2002, Saunders et al. 2009 mukaan). Jos tavoitteena on saavuttaa syvällinen tietämys tutkimuksen aihealueesta, tapaustutkimus on sopiva tutkimusstrategia (Morris & Wood 1991, Saunders et al. 2009 mukaan). Tapaustutkimus on hyvä tutkimusstrategia luomaan vastauksia kysymyksiin ’miksi?’, ’mitä?’ ja ’miten?’. Tästä syystä tapaustutkimus on yleisimmin käytetty selittävässä ja eksploratiivisessa tutkimuksessa. Käytetyt tiedonkeruumenetelmät voivat olla erilaisia ja todennäköisesti niitä käytetään yhdessä. Tiedonkeruumenetelmiä voivat olla esimerkiksi kyselyt, havainnointi, haastattelut tai dokumenttianalyysi. (Saunders et al., 2009) Tapaustutkimusta tutkimusstrategiana on kritisoitu esimerkiksi siitä syystä, että teoreettinen tieto on arvokkaampaa kuin käytännön tieto, tai että yksittäisen rajatun tapauksen tutkimus ei voi edistää tieteellistä kehitystä. Puhtaasti kuvaava tapaustutkimus on kuitenkin usein auttanut avaamaan tietä kohti tieteellistä innovaatiota. Yksittäisen tapauksen perusteella voidaan usein yleistää ja tapaustutkimus voi olla kes-

keisessä asemassa tieteellisessä kehityksessä yleistämisen kautta. Muodollinen yleistäminen on tieteellisen kehityksen lähteenä yliarvostettua, kun taas esimerkin voimaa aliarvostetaan. (Flyvbjerg, 2006)

Konstruktiivinen lähestymistapa on tutkimusote, jonka tarkoitus on tuottaa konstruktioita, jotka ratkaisevat eksplisiittisiä ongelmia (Kasanen et al., 1993). Lukkan (2001) mukaan konstruktiivisella tutkimusotteella pyritään tuottamaan kontribuutiota sovelletulla tieteenalalla tuottamalla reaalimaailman ongelmia ratkaisevia konstruktioita. Käsitteenä konstruktio on laaja, jolla on loputtomasti mahdollisia toteumia. Konstruktio voi tarkoittaa esimerkiksi organisaatiorakenteita, suunnitelmia, malleja, diagrammeja tai kaupallisia tuotteita. (Lukka, 2001) Esimerkiksi lääketieteessä konstruktiivista tutkimusta käytetään uusien lääkkeiden valmistuksessa ja uusien hoitomuotojen kehittämisessä (Kasanen et al., 1993). Ideaalinen tulos konstruktiiviselle tutkimukselle on se, että uusi konstruktio ratkaisee reaalimaailman ongelman ja että tämä prosessi tuottaa samalla kontribuutiota niin käytännön, kuin myös teorian näkökulmasta (Lukka, 2001).

Tutkittaessa olemassa olevan päätaulun mekaanisen rakenteen uudelleensuunnittelua vakioiduksi rakenteeksi on tutkimus luonteeltaan laadullista, sillä tutkimus on empiirinen ja se pohjautuu aiheesta löytyvään teoriaan ja aineistoon ja tutkimuksen tulokset esitetään sanallisten kuvausten ja kaavioiden avulla. Tutkimuksen tarkoituksena on vakioida päätaulujen mekaaninen rakenne konfiguroitavien ratkaisujen avulla siten, että yleisimmille asiakastarpeille löytyy päätaulujen tuoteperheestä niitä vastaava tuote, joka koostuu valmiiksi suunnitelluista konfiguroitavista moduuleista. Tutkimuksessa pyritään tuottamaan käytännön ongelmaan ratkaisu kohdeyrityksessä, eli reaalimaailman ongelman ratkaiseva konstruktio. Tutkimuksen kohde on rajattu vastaamaan yksittäiseen reaalimaailman ongelmaan ja sen tarkoitus ei ole luoda vain yleisesti pätevää teoreettista tietoa. Tämän tutkimuksen tutkimusasetelmana voidaan siis pitää laadullista tapaustutkimusta, jossa on konstruktiivinen lähestymistapa. Kuvassa 2 on esitetty tämän tutkimuksen tutkimuskartta.



Kuva 2 *Tapaustutkimuksen tutkimuskartta*

Tutkimuskartalla esitetään tutkimuksen eteneminen ja sen eri vaiheet. Yllä olevasta kuvasta nähdään, että tutkimus alkaa kirjallisuuskatsauksesta, jonka avulla saadaan vastaukset ensimmäiseen ja toiseen tutkimuskysymykseen. Tutkimuksen teoreettisen ja empiirisen tiedon keräämisvaiheessa käydään keskusteluja toimeksiantoyrityksen asiantuntijoiden kanssa tapaustutkimuksen suorittamista, nykytilan analysointia sekä tavoitteiden määrittämistä varten. Tämän jälkeen työssä siirrytään tapaustutkimuksen pariin, jossa päätaulujen tuoteperheen mekaanisen rakenteen vakiointi suoritetaan noudattamalla BfP:n vaiheita. Tapaustutkimuksen aikana saadaan vastaukset kolmanteen ja neljänteen tutkimuskysymykseen. Tapaustutkimuksen jälkeen käsitellään tutkimuksen tulokset ja pohditaan tuloksien merkitystä ja yleistettävyyttä sekä yrityksen tulevaisuuden mahdollisuuksia tutkimuksen tuloksia hyödyntämällä.

3. KIRJALLISUUSKATSAUS

Kirjallisuuskatsauksessa käytettyjen lähteiden etsimiseen on pääsääntöisesti käytetty Tampereen yliopiston käytössä olevia tietokantoja ja hakukoneita. Hakukoneissa ja tietokannoissa lähteiden etsimiseen on käytetty aiheeseen liittyviä termejä, kuten vakiointi, konfigurointi, modulointi, muuntelu, standardization, configuration, modularization ja variability. Edellä mainittuja hakusanoja on hyödynnetty myös yhdistelemällä niitä hakulausekkeiksi. Hakusanoja on käytetty ensisijaisesti Tampereen yliopiston Andor-hakukoneessa ja Tampereen yliopiston käytössä olevissa tietokannoissa.

Hakukone- ja tietokantahaun lisäksi tutkimuksen aiheeseen liittyviä relevantteja lähteitä ja hakutermejä on etsitty helmenkasvatusmenetelmällä. Tässä menetelmässä lähtökohtana on ollut tutkimukselle relevantti julkaisu, jonka avulla on etsitty lisää lähteitä esimerkiksi lähdeviittauksia hyödyntämällä. Helmenkasvatusmenetelmällä löydettyjen lähteiden hakemiseen on käytetty Tampereen yliopiston käytössä olevien hakukoneiden ja tietokantojen lisäksi Google Scholar -hakukonetta. Tutkimuksessa käytettyjen lähteiden merkittävyyttä ja luotettavuutta on arvioitu esimerkiksi viittausmäärien ja julkaisuvuoden avulla.

3.1 Tuotetyypit

Tuote voidaan käsitteenä ymmärtää laajasti. Käsitteenä tuote voi pitää sisällään fyysisen hyödykkeen, palvelun, dokumentin tai ohjelmiston. (Martio, 2015) Sekä Juuti (2008), että Martio (2015) jakavat tuotteet neljään eri kategoriaan muuntelun näkökulmasta. Heidän esittämät neljä kategoriaa ovat idealtaan yhtäläiset. Juutin (2008) mukaan muuntelun näkökulmasta tuotteen neljä kategoriaa ovat:

- Vakioitu tuoterakenne
- Konfiguroitava tuoterakenne
- Osittain konfiguroitava tuoterakenne
- Ainutlaatuinen tuoterakenne.

Martion (2015) mukaan nämä neljä kategoriaa ovat seuraavat:

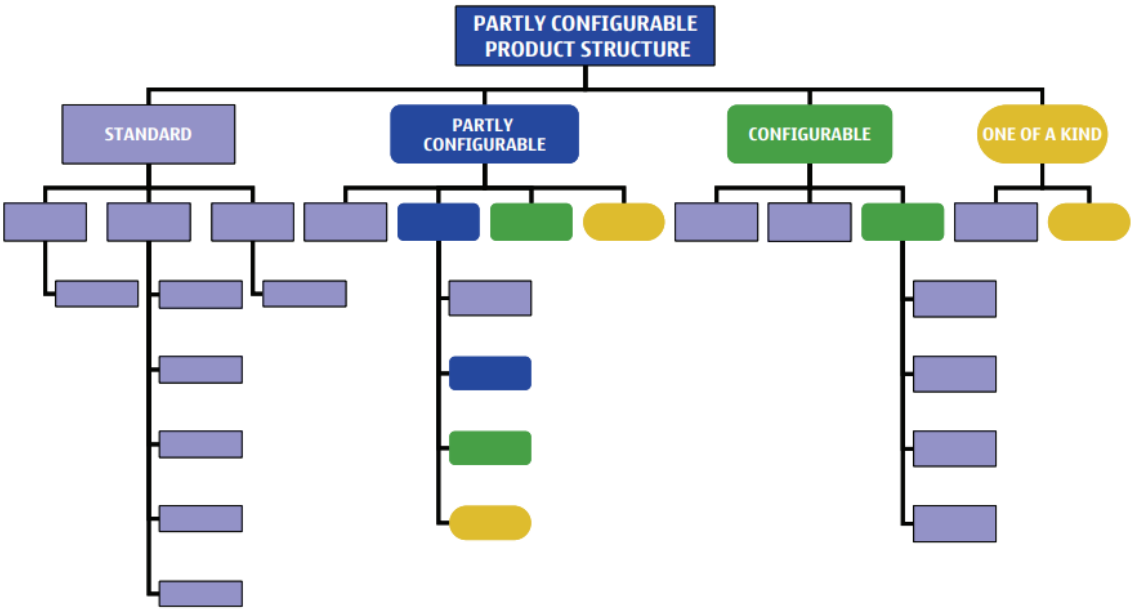
- Kiinteät tuotteet
- Konfiguroitavat tuotteet
- Muunneltavat tuotteet

- Projektituotteet.

Kiinteän tuotteen rakenne on vakio ja kaikki tuoteyksilöt ovat keskenään samanlaisia, eikä ne sisällä lainkaan muunneltavuutta. Kiinteiden tuotteiden potentiaali on siinä, että niitä pystytään valmistamaan suurina sarjoina ja niiden toimittamiseen ei kuulu tilauskohtaista suunnittelua. Vakioidun tuotteen suunnittelu tapahtuu tuotesuunnitteluvaiheessa, eikä tilaus-toimitusprosessin aikana. Vakioitua tuotetta voidaan hyödyntää esimerkiksi uudelleenkäyttämällä tuotteen sisällä, uudelleenkäyttämällä eri tuotteissa yrityksen sisällä tai uudelleenkäyttämällä useilla teollisuudenaloilla. (Juuti & Lehtonen, 2006; Juuti, 2008; Martio, 2015)

Konfiguroitavassa tuotteessa ei tarvita tilauskohtaista manuaalista suunnittelua. Konfiguroitava tuote koostuu ennalta määritellyistä vakioiduista ja konfiguroiduista osista, joista muodostuu asiakkaan vaatimuksia vastaavia tuotevariantteja. Konfiguroitavan tuotteen muuntelu perustuu valmiiksi suunniteltujen osien uudelleenkäyttöön. Asiakkaan vaatimuksia vastaava tuotevariantti yleensä määritellään automatisoidulla konfiguraattorilla. (Juuti, 2008; Martio, 2015)

Muunneltavan tuotteen perusrakenne sisältää konfiguroitavan tuotteen tavoin ennalta määritettyjä vakioituja ja konfiguroitavia ratkaisuja. Muunneltavassa tuotteessa joitain asiakasvaatimuksia voidaan kuitenkin toteuttaa tilauskohtaisella suunnittelulla. Muunneltava tuote voi sisältää vakioituja, konfiguroitavia, ainutlaatuisia tai osittain konfiguroitavia osia. Muunneltavan tuotteen etu konfiguroitavaan tuotteeseen on mahdollisuus asiakaskohtaiseen suunnitteluun, joka lisää tuotteen variointimahdollisuuksia. Tämä kuitenkin rajoittaa tuotteen tuotantovolyymia. (Juuti, 2008; Martio, 2015) Osittain konfiguroitava tuoterakenne on esitetty kuvassa 3.



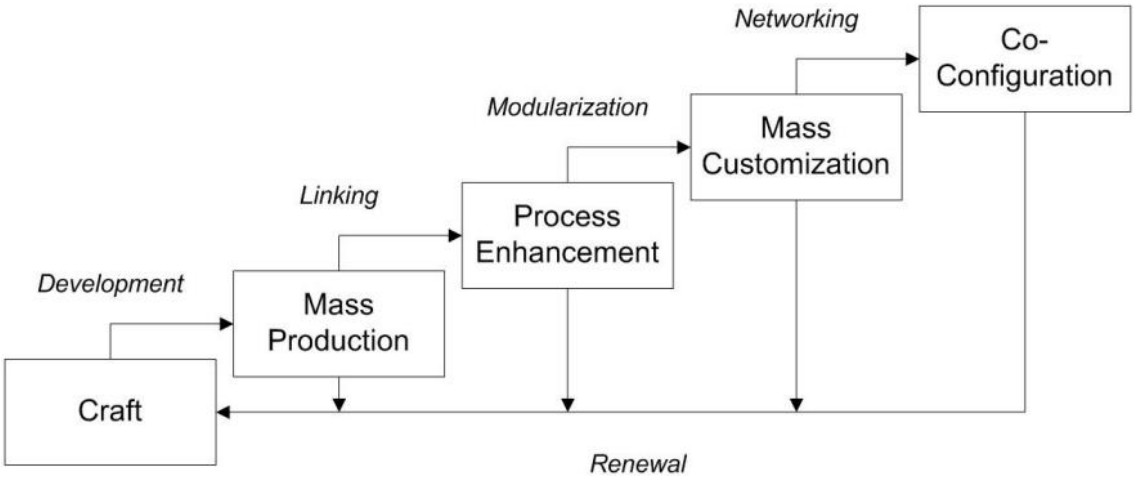
Kuva 3 *Osittain konfiguroitava tuoterakenne (Juuti, 2008)*

Projektituotteella on yksi tavoite ja se on asiakastarpeen täyttäminen. Projektituotteeseen suunnitellaan tiettyyn tarpeeseen vastaava tekninen ratkaisu. Tällaiset tuotteet ovat yleensä yksittäistoimituksia, jotka suunnitellaan asiakastarpeiden mukaan käyttäen aikaisempaa teknologiatietämystä hyväksi. Projektituotteiden tuotantovolyymi on pieni tilauskohtaisen suunnittelutyön määrän vuoksi. Tällä kuitenkin saavutetaan käytännössä rajattomat variointimahdollisuudet. (Juuti, 2008; Martio, 2015)

Näissä muuntelun näkökulmasta neljässä tuotekategoriassa kehityspanos ja suunnittelupanos jakautuvat eri tavalla eri tuotetyypeille. Projektituotteisiin ei sitoudu paljoa tuotekehityspanosta, sillä projektituotteiden suunnittelu alkaa vasta, kun asiakas on tilannut tuotteen. Kiinteillä, konfiguroitavilla ja muunneltavilla tuotteilla tilauskohtaista suunnittelupanosta esiintyy vain vähän tai ei lainkaan. Nämä tuotteet perustuvat jo ennen tilausta suoritettuun tuotekehitykseen. Konfiguroitaville ja muunneltaville tuoteperheille tulee kehittää konfiguraattorin vaatima tuotemalli, joten niihin sitoutuu vielä kiinteitä tuotteita enemmän kehityspanosta. (Martio, 2015)

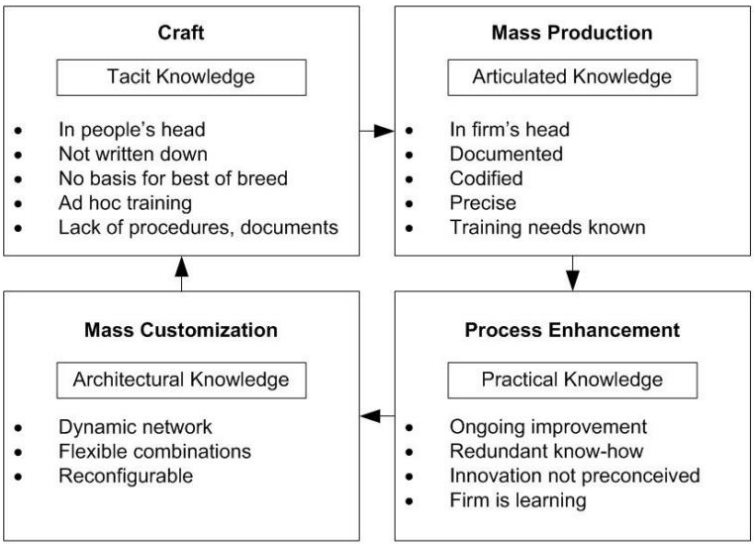
3.2 R&D paradigmat

”Oikea polku” (englanniksi the right path) on strateginen polku. Tämän polun tavoite on hyödyntää ja kehittää yrityksen sisällä olevaa osaamista. (Victor & Boynton, 1998) Victor ja Boynton (1998) tunnistavat viisi paradigmaa, joiden kautta ”oikea polku” kulkee. Nämä viisi paradigmaa ovat tilauskohtainen suunnittelu, massatuotanto, prosessin kehittäminen, massaräätälöinti ja elinkaarikonfigurointi. Tämä ”oikea polku” on esitetty kuvassa 4.



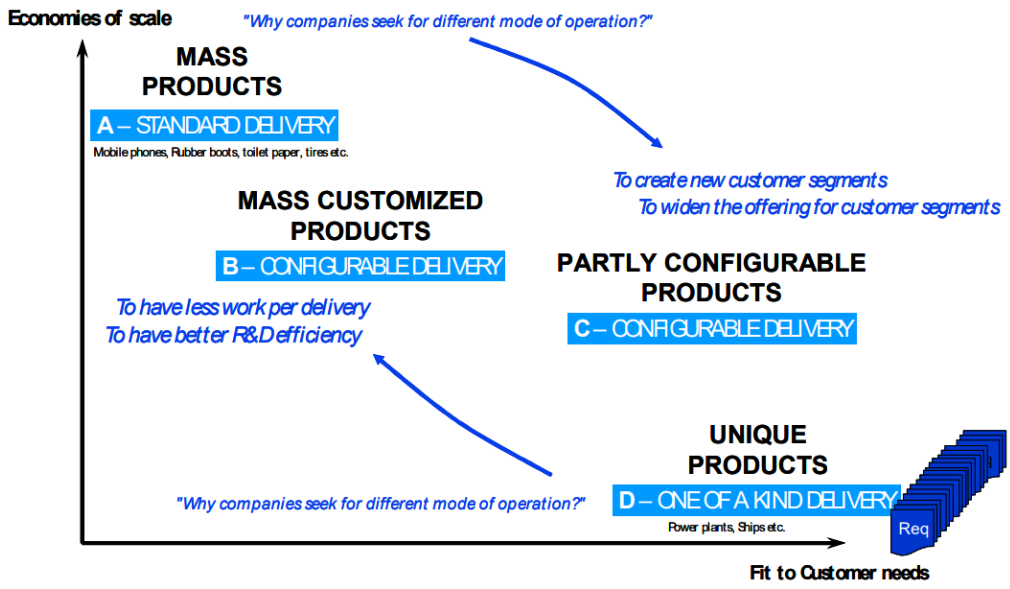
Kuva 4 *"Oikea polku", eli matka käsityöstä elinkaarikonfigurointiin (Victor & Boynton, 1998)*

Polun jokaisella vaiheella on omat vahvuutensa markkina-arvon luonnissa. Polun kaikki vaiheet liittyvät toisiinsa ja vaiheet voi ajatella päämäärinä. Jotta polulla voi siirtyä seuraavaan vaiheeseen, on edellinen vaihe pitänyt saavuttaa ja siitä on pitänyt oppia jotain. Seuraavalle vaiheelle siirtyminen vaatii myös muutoksia toimintatapaan. Polku on eräänlainen oppimisprosessi. (Victor & Boynton, 1998) Victor ja Boynton (1998) pitävät tiedon ja ymmärryksen kehittämistä tärkeässä roolissa. Kuvassa 5 on esitetty R&D paradigmojen tiedon kehittyminen.



Kuva 5 *R&D paradigmojen tiedon kehittyminen (Victor & Boynton, 1998)*

Juutin ja Lehtosen (2006) esittämä kuvaaja eri tuotekategorioiden tuotantovolyymien ja muunneltavuuden suhteesta on esitetty kuvassa 6. Kuvaajassa x-akselilla on tuotekategorian vastaavuus asiakastarpeisiin ja y-akselilla on tuotekategorian tuotantovolyymi.



Kuva 6 *Eri tuotekategorioiden vertailu tuotantovolyymin ja muunneltavuuden suhteen (Juuti & Lehtonen, 2006)*

Pakkanen (2015) havainnoi väitöskirjassaan, että kiinteät tuotteet edustavat massatuotannon paradigmaa, konfiguroitavat tuotteet edustavat massakustomoinnin paradigmaa ja projektituotteet edustavat tilauskohtaisen suunnittelun paradigmaa. Hänen mukaansa muunneltaville tuotteille ei löydy suoraan sitä vastaavaa R&D paradigmaa. Juutin ja Lehtosen (2006) mukaan muunneltavat tuotteet sijoittuvat lähes samalle alueelle kuin ainutlaatuiset tuotteet, sillä ne vastaavat asiakasvaatimuksiin lähes yhtä hyvin. Kuvassa 6 olevalla kuvaajalla muunneltavat tuotteet eivät kuitenkaan ole aivan yhtä korkealla kuin konfiguroitavat tuotteet, sillä ne sisältävät myös ainutlaatuisia osia (Juuti & Lehtonen, 2006).

3.2.1 Tilauskohtainen suunnittelu

Tilauskohtaisella suunnittelulla tarkoitetaan sellaista tuotantoa, jossa valmistetaan tuotteita, jotka vastaavat täysin asiakkaan tarpeita. Usein tilauskohtaisten tuotteiden tuotantovolyymi on yksi tuote kerrallaan. Tällaisessa tuotannossa liiketoimintamalli toimii siten, että ensin tuote myydään, sen jälkeen suunnitellaan, valmistetaan ja asennetaan. Tilauskohtainen tuotantomalli vaatii taitavia työntekijöitä ja joustavia menetelmiä tuotteiden valmistamiseen. (Jovane et al., 2003) Engineer to Order (ETO) -konsepti käyttää komponentteja, jotka ovat suunniteltu juuri tiettyä tilausta varten (Kratochvíl & Carson, 2005). ETO voidaan siis vahvasti yhdistää tilauskohtaiseen suunnitteluun. Hubkan ja Ederin (1988) mukaan yksittäin valmistettujen tuotteiden haasteena on se, että tuote voi toimia samaan aikaan prototyyppinä ja lopullisena tuotteena. Tämä tekee yksittäistuotannosta haastavan kategorian suunnittelijan näkökulmasta (Hubka & Eder, 1988).

Hiljainen tieto tulee suoraan tilauskohtaisesta tuotannosta. Hiljainen tieto on tietoa, joka on kokemuksen, harkinnan ja intuition yhdistelmä ja se on tallessa vain yksittäisten työntekijöiden mielissä. Se tekee tällaisesta tiedosta tehokkaan resurssin yksilölle, mutta sitä on vaikea jakaa muille. Tilauskohtaisia tuotteita tekevät työntekijät tietävät enemmän kuin he osaavat kertoa. (Victor & Boynton, 1998)

Koska tieto on vain yksittäisillä työntekijöillä, se asettaa yrityksen hankalaan tilanteeseen näiden työntekijöiden lähtiessä. Yrityksestä lähtevät hiljaista tietoa omaavat työntekijät vievät yrityksestä arvokasta tietoa ja kokemusta mukanaan, kun taas uudet työntekijät omaavat aluksi huomattavasti vähemmän yrityksen tietoa ja käytäntöjä. Ihmisillä on erilaista älykkyyttä, kokemusta ja intuitioita. Tämä voi suoraan vaikuttaa yrityksen tiedon laatuun ja siten arvontuottokykyyn. (Victor & Boynton, 1998)

3.2.2 Massatuotanto

Massatuotanto tarkoittaa identtisten tuotteiden valmistamista suurella volyymilla. Suurten tuotantomäärien seurauksena tuotteen valmistuskustannukset tippuvat, joka taas kasvattaa sellaisten ihmisten määrää, joilla on varallisuutta ostaa tuote. Massatuotannossa liiketoimintamallin järjestys on suunnittelu, valmistus, asennus ja myynti. Tämä liiketoimintamalli toimii niin kauan, kun kysyntä ylittää tarjonnan. (Jovane et al., 2003)

Massatuotantoon siirtymisen mahdollistaa tilauskohtaisen suunnittelun vaiheessa kerääntyneen tiedon kerääminen ja dokumentointi. Kerätyn tiedon pohjalta työ pystytään jakamaan pieniin yksinkertaisiin osiin, jotka kuka tahansa työntekijä pystyy tekemään. Työvaiheiden tulee olla toistettavia ilman vaihtelevuutta. Artikuloidun tiedon hyödyntäminen on massatuotannon keskiössä. (Victor & Boynton, 1998)

Massatuotannon tehokkuuteen on kolme syytä. Ensimmäinen syy on se, että sillä päästään eroon laadun vaihtelevuudesta, joka on tilauskohtaisessa tuotannossa johtunut työntekijöiden työskentelytapojen eroista. Massatuotannossa työvaiheet tehdään vaihe vaiheelta sääntöjä noudattaen, joka johtaa tuotteiden tasaiseen laatuun. Toisena syynä on se, että massatuotannon artikuloitu tieto varmistaa sen, että työntekijät noudattavat tuotesuunnittelua. Kolmas syy on se, että massatuotanto voi luoda vahvan tuote- tai palvelukuvan sellaisilla markkinoilla, joissa asiakkaat arvostavat johdonmukaisuutta. (Victor & Boynton, 1998)

Massatuotannon tuotantolinjoilla jokainen yksityiskohta on suunniteltu tiettyä tarvittavaa asiaa varten. Yritykset, joissa tuotteita valmistetaan massatuotannolla, eivät ole valmistautuneet epävarmuutta ja muutosta sisältäviin tilanteisiin. Massatuotantoa harjoittavat yritykset joutuvat usein kilpailemaan sellaisia yrityksiä vastaan, jotka pystyvät mukautu-

vaan muuttuviin asiakasvaatimuksiin nopeasti ja helposti. Muuttuvassa markkinatilanteessa on helppo ymmärtää, miksi massatuotanto jää usein kehitettyjen prosessien jalkoihin. (Victor & Boynton, 1998)

3.2.3 Prosessin kehittäminen

Kun asiakkaat alkavat vaatimaan luotettavampia ja parempia tuotteita, nousee laatu tärkeään rooliin. Massatuotannossa työntekijät noudattavat täysin työvaiheiden ohjeita. Työntekijät oppivat työtä tehdessään missä kohdissa työohjeet ovat tehokkaita ja missä taas eivät. Työtä tehdessä lisääntyvää tietoa kutsutaan käytännön tiedoksi. Käytännön tietoa hyödyntämällä yrityksen on mahdollista kehittää prosessiaan massatuotannosta. Prosessin kehittämiseen siirtyminen on mahdollista vasta, kun massatuotannosta on kertynyt riittävästi käytännön tietoa työntekijöille. (Victor & Boynton, 1998)

Prosessin kehittämisessä kaiken pitää edesauttaa asiakastyytyväisyyttä saavuttamalla jatkuvasti parempaa laatua. Prosessin kehittämisessä työntekijöille annetaan työkalut, jotka mahdollistavat käytännön tiedon hyödyntämisen tehtävien ja prosessin kehittämisessä. Prosessin kehittämisen perusideana on ensin tehdä ja kerryttää käytännön tietoa, sitten muuttaa prosessia ja luoda uutta artikuloitua tietoa, jatkaa tekemistä hyödyntäen uutta artikuloitua tietoa, oppia tekemällä ja luoda jälleen uutta käytännön tietoa. (Victor & Boynton, 1998)

Väärin ymmärrettynä prosessin kehittäminen saattaa aiheuttaa massatuotannon hyödyn menettämisen työtehtävien vapaamman toteuttamisen seurauksena. Se saattaa pahimmillaan aiheuttaa sekaannusta työvaiheisiin, eikä niinkään uusia innovaatioita. Jatkuvasti vaihtuvat asiakastarpeet aiheuttavat haasteita prosessin kehittämiseen. Prosessin kehittämisessä työntekijän tulee täysin ymmärtää tuotteen valmistusprosessi. Asiakastarpeiden muuttuessa muuttuvat myös tuotteet, joka aiheuttaa muutoksia prosessiin. Muutokset prosessissa johtaa siihen, että työntekijöiden aika kuluu prosessien opettelemisessa eikä niiden parantamisessa. (Victor & Boynton, 1998)

3.2.4 Massaräätälöinti

Massaräätälöinnin tarkoitus on valmistaa kustomoituja tuotteita massatuotannon hintatasossa. Tämä on asiakaslähtöinen paradigma, sillä asiakkaat haluavat laajempaa vaihtelua kuluttajatuotteilta. (Jovane et al., 2003) Noin 80% tuotteen valmistuskustannuksista aiheutuu tuotteen suunnittelusta (Clark & Fujimoto, 1991, Mikkola, 2007 mukaan). Asiakkaat haluavat laadukkaiden tuotteiden lisäksi juuri heidän tarpeitaan vastaavia tuotteita ilman suuria lisäkustannuksia. Tämä ajaa yritystä prosessin kehittämisestä kohti massaräätälöintiä. (Victor & Boynton, 1998) Massaräätälöinnissä liiketoimintamallin jär-

jestys on myynti, suunnittelu, valmistus ja asennus (Jovane et al., 2003). Tämä liiketoimintamallin järjestys on sama kuin tilauskohtaisessa suunnittelussa, mutta tuotteita pystytään valmistamaan suurempia määriä ja halvemmalla hinnalla.

Prosessin kehittämisen vaiheessa kerääntyy uutta tietoa, jota tarvitaan siirryttäessä prosessin kehittämisestä kohti massakustomointia. Tätä tietoa kutsutaan arkkitehtuuriseksi tiedoksi. Arkkitehtuurinen tieto kertoo yritykselle sen työvaiheiden rakenteet, niiden keskinäiset kytkennät ja mahdollisuudet niiden eri yhdistelmiin uusien yhdistelmien ja sekvenssien saavuttamiseksi. Työvaiheiden eri kombinaatiot ja sekvenssit mahdollistavat tehokaan ja nopean tavan uudelleen konfiguroida prosessin elementit vastaamaan asiakaskunnan vaatimuksia. (Victor & Boynton, 1998) Tätä kutsutaan massakustomoinniksi. Victor ja Boynton (1998) esittivät massakustomoinnille seitsemän peruselementtiä, jotka ovat seuraavat:

- Työntekijöiden sitoutuminen laadukkaaseen palveluun
- Vakioidut systeemit
- Tärkeän tiedon kerääminen ja jakaminen jokaisesta asiakkaasta
- Visio tehokkaaseen, persoonallisen ja oikea-aikaiseen palveluun
- Markkinoiden kuunteleminen
- Sisäisistä prosesseista sekä asiakkaan toiveista ja tarpeista kerääntyneen tiedon uudelleenhyödyntäminen
- Tarvittaessa kyky uudelleen järjestellä ihmiset, tieto ja prosessit.

Yritysten täytyy kyetä täyttämään tämänhetkisten asiakkaiden lisäksi myös tulevaisuuden asiakkaat. Tämä tarkoittaa sitä, että yrityksen tulee kehittää osaamistaan siitä, kuinka asiakkaiden muuttuviin ja ennalta arvaamattomiin tarpeisiin mukaudutaan. Massakustomointia tekevät yritykset pystyvät tarjoamaan asiakkaille korkeaa muunneltavuutta, tuotantovolyymiä sekä tehokkuutta kilpailukykyisellä hinnoittelulla. (Victor & Boynton, 1998)

Configure to Order (CTO) -konseptissa käytetään komponentteja, jotka ovat usein valmiiksi kasattu ja sisältävät variaatioita. Variantit ovat yleensä ennalta määritettyjä myyntikatalogissa. Asiakkaan tarpeita vastaavien konfiguraatioiden löytämisessä käytetään usein tietokoneohjelmia. (Kratochvíl & Carson, 2005) CTO voidaan vahvasti yhdistää massakustomointiin.

Massaräätälöinti ei kuitenkaan ole aina paras vaihtoehto. Joissain markkinatilanteissa uutuus-, hyödyke- ja laatumarkkina-asemat voivat tuottaa enemmän lisäarvoa kuin massaräätälöinnillä saavutettava tarkkuus. Massaräätälöintiin siirtymisen tulee olla markkinalähtöistä. Massaräätälöintiin kiirehtiminen ilman huolellista markkinatarpeiden ja ”oikean polun” analysointia ei ole kannattavaa. (Victor & Boynton, 1998)

3.2.5 Elinkaarikonfigurointi

Elinkaarikonfigurointi on sellaisen täysin integroidun systeemin rakentamista ja ylläpitämistä, joka pystyy aistimaan, reagoimaan ja mukautumaan yksittäisen kuluttajan kokemukseen. Elinkaarikonfigurointia tehdessä yritys luo tuotteen, joka oppii ja mukautuu, mutta myös rakentaa jatkuvaa suhdetta jokaisen kuluttaja–tuote parin ja yrityksen välille. Massakustomoinnissa yritys valmistaa tuotteen erikseen jokaista asiakasta varten. Elinkaarikonfiguroinnissa luodaan älykäs ja mukautuva tuote, joka mukautuu vastaamaan asiakkaan tarpeita. Näin räätälöinnistä tulee tuotteen elinkaaren aikainen jatkuva prosessi. Elinkaarikonfiguroinnin onnistuminen vaatii verkoston asiakkaan, tuotteen ja yrityksen välille. (Victor & Boynton, 1998)

Elinkaarikonfigurointi on haastavaa organisaation, tiedon ja teknologian näkökulmasta. Vaikka yrityksellä olisi edellytykset elinkaarikonfigurointiin, se ei välttämättä ole kannattavaa. Jotkut markkina-alueet eivät pidä elinkaarikonfigurointia arvokkaana tai saattavat jopa pelätä sitä. Osa asiakkaista saattaa pitää yrityksen keräämää tietoa enemmän yksityisyyden rikkomisena kuin arvoa tuottavana palveluna. Tästä syystä elinkaarikonfigurointi vaatii luottamusta asiakkaan, yrityksen ja tuotteen välillä. (Victor & Boynton, 1998)

3.3 Muuntelu ja vakiointi

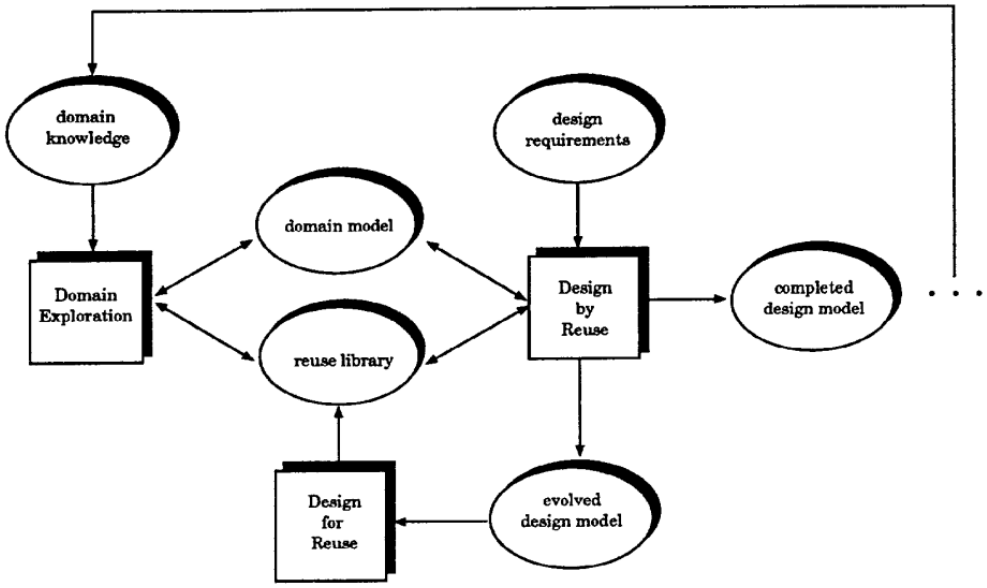
Andreasen et al. (1996) toteavat, että muuntelu voi olla hintaa nostava tekijä, koska silloin menetetään korkean tuotantovolyymin hyödyt. Muuntelu voi lisätä ylimääräisiä kuluja tuotteen elinkaaren useisiin vaiheisiin, jos tuotteiden vakiointia ei huomioida. Jos yrityksen on kilpailullisesta näkökulmasta kannattavaa toimia paradigmassa, jossa markkinat vaativat personoituja tuotteita, on tuotemuuntelulle tarvetta. (Pakkanen, 2015) Yritykset hyödyntävät muuntelua täyttääkseen laajemman alan markkinatarpeista. Muuntelusta aiheutuvia lisäkustannuksia aiheuttaa esimerkiksi monimutkaisuus, hitaampi oppimiskäyrä, korkeammat logistiikka- ja ostokustannukset, korkeampi suunnitteluvirheen riski sekä tuotannon korkeampi romutusaste. (Kristjansson, 2005) Yrityksille haasteena on suunnitella tuotteita, jotka ottavat huomioon sekä vakioinnin hyödyt, että muuntelun tarpeen (Juuti, 2008).

Duffy et al. (1995) esittävät suunnittelun uudelleenkäytölle viitekehyksen, joka koostuu kuudesta tietoluokasta ja kolmesta suunnittelun uudelleenkäytön prosessista. Suunnittelun uudelleenkäytön viitekehys on esitetty kuvassa 7. Tämän viitekehyksen kuusi tietoluokkaa ovat seuraavat:

- Aluetietämys: Suunnittelualueeseen liittyvä tieto, kuten vanhat suunnitelmat tai olemassa oleva tuotetieto
- Aluemalli: Malli, joka kuvaa suunnittelijan konseptointia suunnittelualueesta, joka sopii tämänhetkiseen suunnitteluongelmaan
- Uudelleenkäytön tietokanta: Tietokanta, joka sisältää uudelleenkäytettävää suunnittelutietoa, informaatiota ja dataa
- Suunnitteluvaatimukset: Suunnittelutarpeiden selvitys, jota suunnittelijat käyttävät perustana suunnittelussa
- Kehittynyt suunnittelumalli: Esitys keskeneräisestä tai valmiista mallista, joka voi olla myös abstrakti esitys
- Valmis suunnittelumalli: Esitys täysin määritellystä uudesta mallista, joka täyttää asiakasvaatimukset. (Duffy et al., 1995)

Nämä tietoluokat tukevat suunnitteluprosesseja. Nämä kolme Duffy et al. (1995) esittämää suunnittelun uudelleenkäytön prosessia ovat seuraavat:

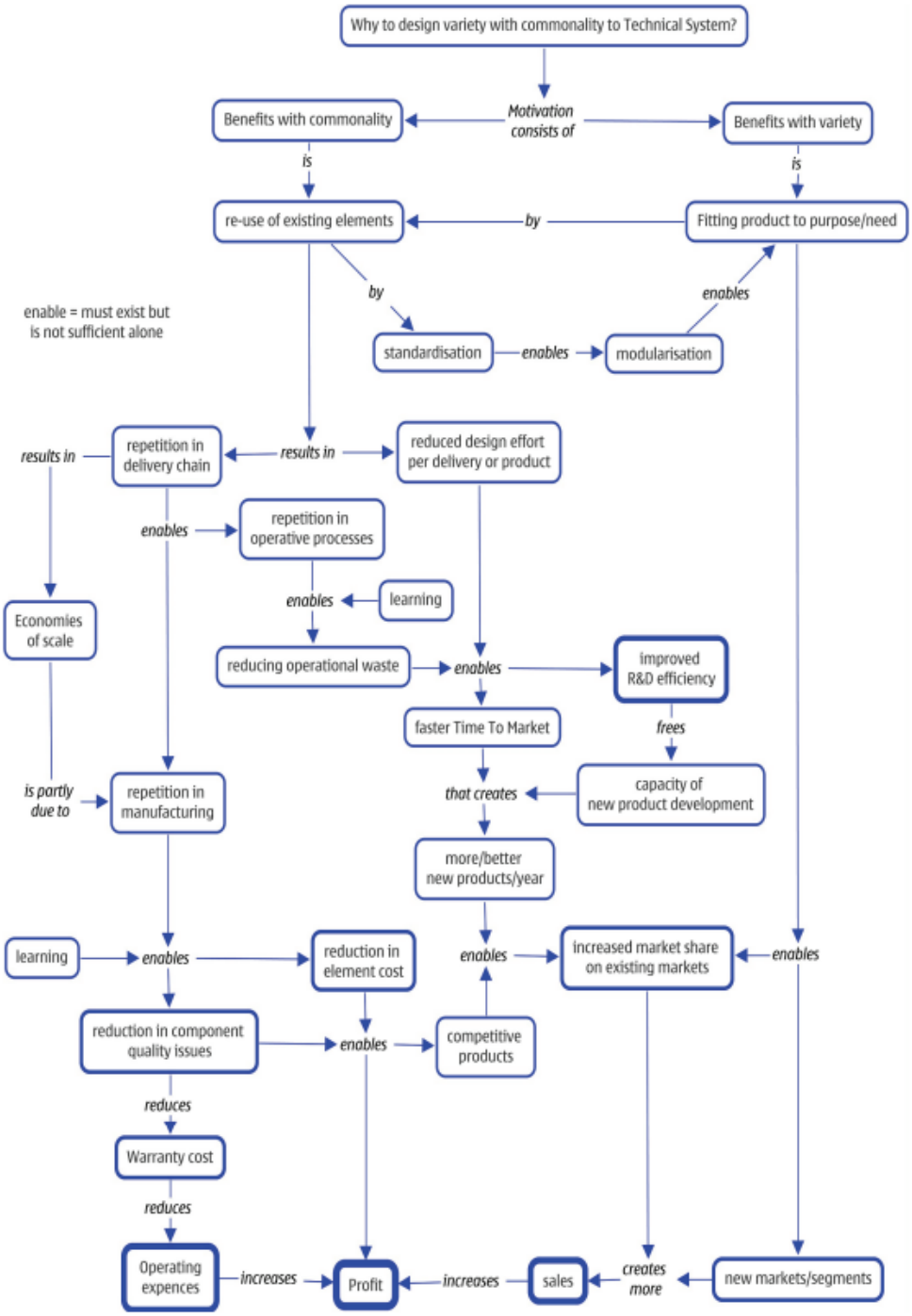
- Suunnittelu uudelleenkäytön avulla: Prosessi, jossa tietolähteitä tutkitaan, jotta hyödyllistä tietoa voidaan löytää, noutaa ja hyödyntää uudessa suunnitteluongelmassa
- Aluetutkimus: Prosessi, jossa tutkitaan suunnittelualuetta ja pyritään tunnistamaan uudelleenkäytettävää tietoa myöhempää suunnittelua varten
- Suunnittelu uudelleenkäyttöä varten: Prosessi, jossa suunnittelun aikana kerääntyvästä tiedosta pyritään tunnistamaan uudelleenkäytettävät asiat myöhempää suunnittelua varten.



Kuva 7 *Suunnittelun uudelleenkäytön viitekehys (Duffy et al., 1995)*

Vakiointi mahdollistaa massatuotannon hyödyt. Vakioitavuuden ja muunneltavuuden suunnittelu ovat olennaisia suunnittelustrategioita, jos yritys kohtaa kilpailua. (Juuti, 2008) Empiiriset tutkimukset ovat osoittaneet, että vakioinnilla ja muuntelulla on vaikutusta tuotteen kilpailukykyyn ja tuotekehitykseen (Harlou, 2006).

Väitöskirjassaan Juuti (2008) esittelee vakioinnilla ja muuntelulla saavutettavat hyödyt syy-seurauskaaviolla. Kaavio käsittelee vakioinnin ja muuntelun tärkeyttä teknisen järjestelmän ominaisuuksina arvontuoton ja tuotekehityksen kannalta (Juuti, 2008). Syy-seurauskaavio on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8 *Vakioinnin ja muuntelun syy-seurauskaavio (Juuti, 2008)*

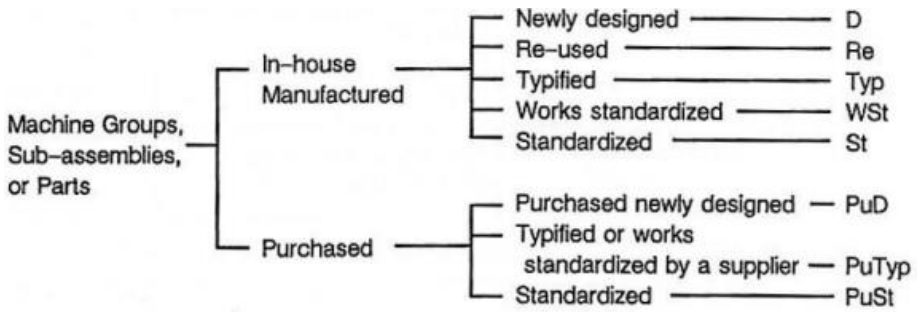
Kaaviota seuraamalla voidaan havaita, että vakiointia ja muuntelua hyödyntämällä voidaan saavuttaa parempaa arvontuottoa. Vakiointi mahdollistaa moduloinnin, joka puolestaan mahdollistaa paremman vastaamisen muuttuviin asiakastarpeisiin ja siten lopulta tekee tuotteesta tuottavamman. Toisaalta taas vakiointi mahdollistaa myös valmistusketjun vakioimisen, joka lopulta johtaa tuotteen parempaan arvontuottoon.

Suunnittelijan tulisi aina pyrkiä käyttämään osia, joita ei tarvitse valmistaa juuri tiettyä tarkoitusta varten. Tällaisten osien sijaan tulisi suosia helposti saatavia, toistettavia, vakioituja tai ostettavia osia. Helposti saatavilla olevat osto-osat ovat usein halvempia kuin itse valmistetut osat. (Pahl et al., 2007) Vakiointi on suunnittelutaktiikka, jonka tarkoitus on vähentää teknisestä systeemistä tarpeetonta variaatiota tai poikkeamia (Juuti, 2008).

Osien vakioinnissa samaa komponenttia tai komponenttijoukkoa hyödynnetään useissa eri tuotteissa. Jos komponenttijoukko toteuttaa vain yhden tai muutaman laajasti hyödyllisen toiminnallisuuden, se voidaan vakioida ja sitä voidaan käyttää useissa eri tuotteissa. (Ulrich et al., 2020) Perera et al. (1999) määrittelevät osien vakionnin tarkoittavan tilannetta, jossa useita osia korvataan yhdellä osalla, joka toteuttaa kaikkien korvattavien osien toiminnallisuuden. Osien vakioinnissa on kolme mahdollista tilannetta, jotka ovat seuraavat:

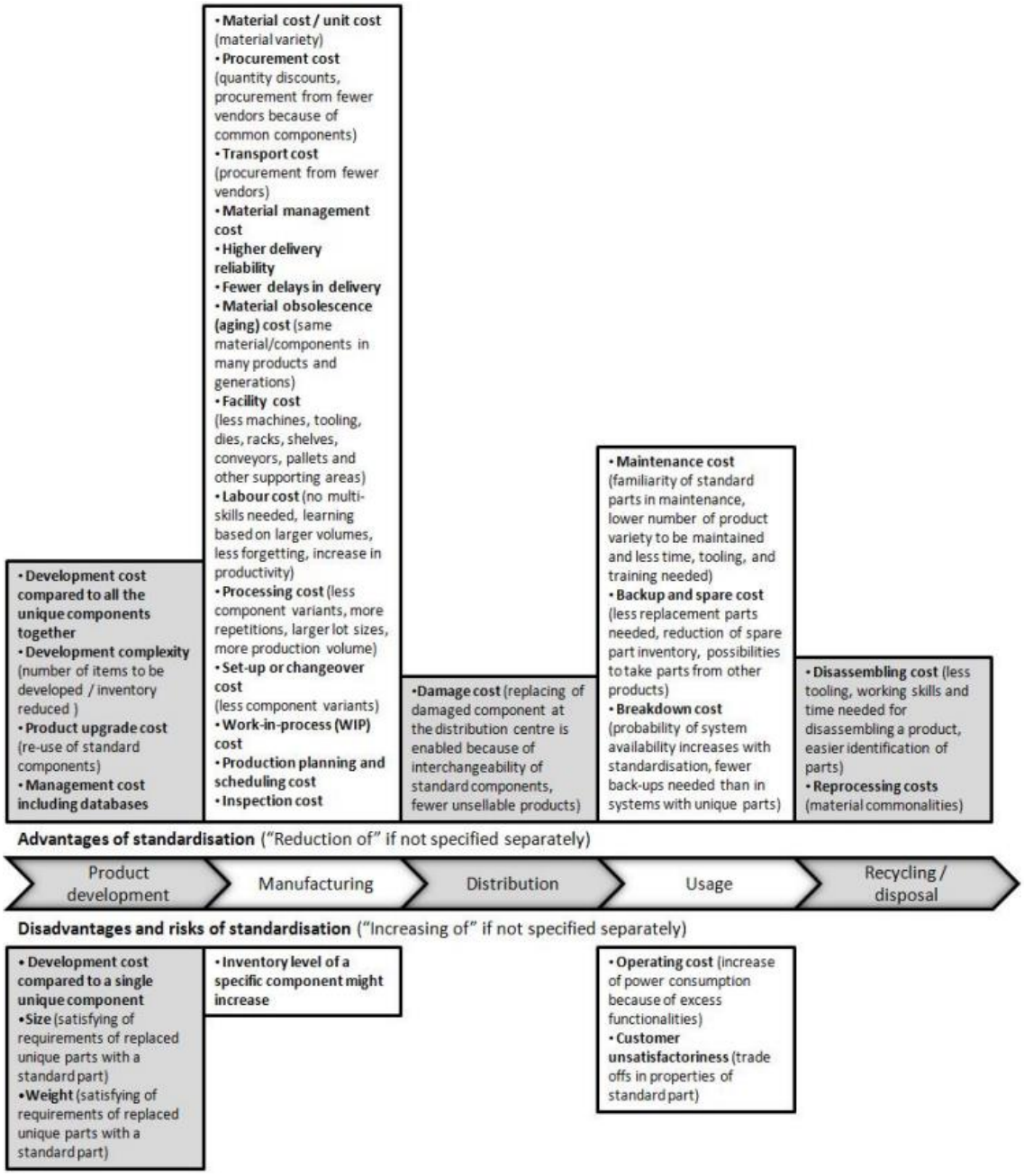
- Osan vakiointi tuotteen sisällä: Useita ainutlaatuisia osia tuotteen sisällä korvataan yhdellä vakioidulla osalla.
- Osan vakiointi tuotteiden kesken: Useita ainutlaatuisia osia eri tuotteista korvataan vakioidulla osalla.
- Osan vakiointi tuotesukupolvien kesken: Vakioituja osia käytetään eri tuotteissa tai päivitetyissä tuotteissa jatkuvasti. (Perera et al., 1999)

Hubkan ja Ederin (1988) mukaan teknisen systeemin voi kategorisoida vakioinnin asteen perusteella. He jakavat koneryhmät, alikokoonpanot ja osat kahteen pääryhmään, jotka jakautuvat yhteensä kahdeksaan eri ryhmään. Nämä vakioinnin asteet ovat esitetty kuvassa 9.



Kuva 9 *Vakioinnin kahdeksan astetta (Hubka & Eder, 1988)*

Kansainväliset sopimukset, kansalliset sopimukset, teollisuussopimus, yrityksen sisäinen sopimus tai markkinatrendi voi johtaa vakiointiin. Näistä kaksi ensimmäistä sitovia sopimuksia, jotka saattavat olla lain edellyttämiä. Yrityksen sisältä tuleva tarve vakioinnille johtuu yleensä halusta valmistaa tuotetta suurempia määriä. Tätä kutsutaan myös muuntelun vähentämiseksi. (Hubka & Eder, 1988)



Kuva 10 *Vakioinnista seuraavat mahdolliset vaikutukset ja mahdollisuudet tuotteen elinkaaren aikana (Pakkanen, 2015)*

Kuvassa 10 on esitetty Pakkasen (2015) kokoamat vakioinnin hyödyt ja haitat tuotteen elinkaaressa. Kuvasta nähdään, että vakioinnilla on saavutettavissa selvästi enemmän hyötyjä kuin haittoja. Suurimmat hyödyt vakioinnilla saavutetaan selvästi tuotteen valmistusvaiheessa, jossa mahdollisia haittoja on löytynyt vain yksi, joka on tuotteen varastosaldon mahdollinen kasvu. Etuja tässä kuitenkin on esimerkiksi valmistus-, materiaali- ja tarkastuskustannusten lasku sekä laadun ja toimitusvarmuuden paraneminen. Vakioinnilla on mahdollista saavuttaa myös alemmat korjaus- ja ylläpitokustannukset sekä helpompi kierrätettävyys tuotteen elinkaaren lopussa.

3.4 Konfigurointi

Monilla aloilla kilpailu vaatii suuria määriä tuotevariantteja sekä tehokasta suunnittelua. Projektituotteet tai suuri määrä kiinteitä tuotteita johtaa usein suunnittelun määrän ja asiakaskohtaisen suunnittelun liialliseen kasvuun. Se saattaa aiheuttaa haasteita tuotehallinnassa suuren tuotevarianttien määrän kanssa. Konfiguroitavat tuotteet auttavat suurten tuoteperheiden hallinnassa. Konfiguroitavien tuotteiden käyttäminen vaatii tuoteperheen suunnittelua konfiguroitavaksi tuotteeksi, sekä systemaattista tilaus-toimitusprosessia. Valmiiksi määrättyjen tuotevarianttien sijaan konfiguroitavalla tuotteella on konfigurointimalli, joka sisältää informaation tuotteen mukautuvuudesta asiakkaan tarpeisiin. Konfigurointimalli määrittää ennalta suunnitellut mallit, säännöt, miten ne yhdistetään kokonaiseksi tuotteeksi sekä säännöt siitä, miten asiakkaan vaatimat toiminnallisuudet saavutetaan. (Tiihonen, Lehtonen, et al., 1998)

Pakkasen (2015) mukaan konfigurointi on aiheena lähellä vakiointia, modulointia sekä tuoteperheiden ja -alustojen kehitystä. Pulkkisen (2007) mukaan konfigurointi sisältää kaksi tarkoitusta, jotka ovat toiminta ja päämäärä, joka on toiminnan tulos. Toiminnalla tarkoitetaan konfigurointia tai konfigurointitehtävää ja siihen tarvitaan lähtötietona asiakasvaatimuksia (Pulkkinen, 2007). Päämäärällä taas tarkoitetaan tuotevarianttia tai konfiguraatiota.

Aliluvussa 3.4.1 keskitytään tarkemmin konfiguroitavaan tuotteeseen ja sen hyötyihin ja haittoihin. Aliluvussa 3.4.2 käsitellään prosesseja konfiguroitaviin tuotteisiin liittyen. Viimeisessä aliluvussa 3.4.3 käydään läpi konfigurointitehtävä.

3.4.1 Konfiguroitava tuote

Konfiguroitavalla tuotteella viitataan sellaisen tuotteen yleiseen kuvaukseen, josta voidaan luoda yksittäisiä tuotevariantteja. Nämä konfiguroitavan tuotteen tuotevariantit luodaan konfigurointimallin rajoissa. Konfiguroitava tuote voidaan nähdä tuoteperheenä, joka perustuu ennalta suunniteltuihin elementteihin, kuten moduuleihin. (Juuti, 2008) Tiihosen, Lehtosen et al. (1998) määritelmän mukaan konfiguroitavalla tuotteella on seuraavat peruselementit:

- Jokainen toimitettava tuoteyksilö on räätälöity vastaamaan yksittäisen asiakkaan yksilöllisiin tarpeisiin
- Tuote on ennalta suunniteltu vastaamaan tiettyä asiakastarpeiden aluetta
- Jokainen tuoteyksilö on ennalta suunniteltujen komponenttien tai moduulien yhdistelmä, joten tilaus-toimitusprosessin aikana ei ole tarvetta komponenttien suunnittelulle.

- Tuotteella on ennalta määritelty yleinen rakenne
- Tilaus-toimitusprosessi vaatii vain systemaattista varianttisuunnittelua, eikä muokkaavaa tai uutta suunnittelua.

Konfiguroinnin idea on erottaa suunnitteluprosessi ja toimitusprosessi toisistaan systemaattisella konfiguroinnilla. Modulaarinen tuoterakenne sekä konfigurointisäännöt ja -rajoitteet mahdollistavat systemaattisen konfiguroinnin tilaus-toimitusprosessissa. (Juuti, 2008) Systemaattisen konfiguroinnin tavoite on luoda asiakaskohtaiset vaatimukset täyttäviä tuotteita liiketaloudellisesti kannattavalla tavalla. Konfiguroitava tuote auttaa hallitsemaan muuttuvia asiakasvaatimuksia ilman asiakaskohtaista suunnittelutyötä. (Lehtonen, 2007) Lehtosen (2007) mukaan konfigurointi auttaa seuraavien asioiden edistämisessä:

- Asiakastarpeisiin vastaaminen ja niiden hallinta
- Toimitusaikojen lyhentäminen
- Kustannusten hallinta
- Tasaisen laadun saavuttaminen
- Tuotetarjonnan hallinta
- Yrityksen brändin luonti.

Tiihonen, Soininen et al. (1998) selvittivät syitä konfiguroitavien tuotteiden käyttöön. He teettivät vuonna 1996 kyselyn kymmenelle yritykselle, jossa he pyysivät yrityksiä selittämään, miksi he suunnittelevat ja valmistavat konfiguroitavia tuotteita. Alla on lista eniten vastatuista syistä:

- Kyky vastata asiakastarpeisiin laajalla alueella (7 yritystä),
- Lyhyemmät läpimenoajat tilaus-toimitusprosessissa (5),
- Tuotannon parempi hallittavuus (4),
- Asiakaskohtaisen suunnittelun vähentäminen (4),
- Tehokas tapa tarjota laaja tuotevalikoima (3),
- Parempi laatu (3). (Tiihonen, Soininen, et al., 1998)

Kyselyssä esiintyi myös muita vastauksia. Näitä vastauksia olivat esimerkiksi myynnin helpottaminen, varastoon ja keskeneräiseen työhön sidotun pääoman vähentäminen sekä virheiden vähentäminen. Konfiguroitavien tuotteiden suunnittelun ja valmistamiseen suurin syy on kyky vastata laajalla alueella asiakastarpeisiin. (Tiihonen, Soininen, et al., 1998)

Konfigurointi ei ole vain suunnittelukysymys, sillä myös myynnin pitää sitoutua yrityksen linjaukseen tarjottavista tuotteista. Projektituotteisiin verrattaessa konfiguroitavien tuotteiden suurin haittapuoli on se, että ne eivät vastaa asiakkaan vaatimuksiin samalla tasolla. Konfiguroitavilla tuotteilla etuna on kuitenkin parempi laatu sekä lyhyemmät läpimenoajat. (Juuti, 2008) Martion (2015) mukaan konfiguroitavien tuotteiden varastointi on myös riskialtista niiden yksilöllisten asiakastarpeiden takia. Tästä syystä toimitusaikaan sisältyy tilauksen käsittely, valmistus, sekä toimituslogistiikka, joka kasvattaa tuotteen tilaus-toimitusprosessin läpimenoaikaa.

3.4.2 Konfiguroitavan tuotteen kehitysprosessit

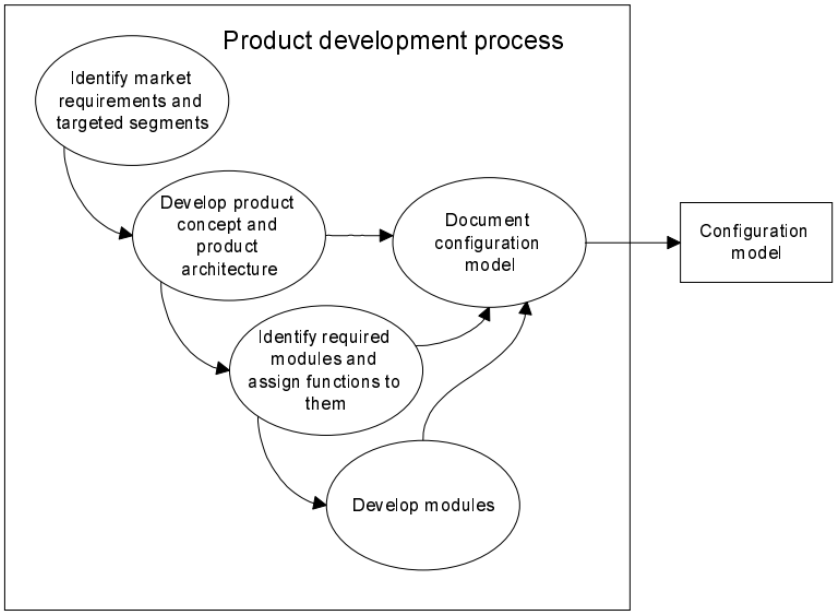
Konfiguroitavissa tuotteissa toimitusprosessi ja tuotekehitysprosessi on tarkoitus pitää erillään (Tiihonen, Lehtonen, et al., 1998; Juuti, 2008). Konfiguroitavan tuotteen tuotekehitysprosessi tuottaa selkeän konfigurointimallin. Konfigurointimallia käytetään tilaus-toimitusprosessiin sisältyvässä konfigurointiprosessissa konfiguraatioiden luomiseen. Toimitettavat tuoteyksilöt konfiguroidaan konfigurointimallin ja asiakasvaatimusten avulla. Tätä prosessia kutsutaan konfigurointitehtäväksi. (Tiihonen, Lehtonen, et al., 1998)

Tuotekehitysprosessi konfiguroitavan tuotteen ja kiinteän tuotteen välillä ovat melko lähellä toisiaan. Kiinteä tuote on ikään kuin yksi konfiguraatio, kun taas konfiguroitava tuoteperhe koostuu useista konfiguraatioista, joilla asiakastarpeet pystytään tyydyttämään. (Martio, 2015) Konfiguroitavan tuotteen tuotekehitysprosessi voidaan jakaa Martion (2015) mukaan seitsemään eri vaiheeseen, jotka ovat seuraavat:

- Tuoteperheen spesifikaation ja parametrien määritys
- Tuotearkkitehtuurin määritys
- Tuotemodulointi – alikokoonpanojen määritys
- Tuoteperherakenteen määritys
- Komponenttien valintasääntöjen määritys
- Myyntimallin määritys
- Tuotemallien verifiointi ja testaus.

Konfiguroitavan tuotteen suunnittelussa käytettäviä vaiheita ei tule suorittaa järjestyksessä siten, että edellinen vaihe tulisi olla valmis ennen seuraavaan siirtymistä. Tämä mahdollistaa sen, että myöhemmissä vaiheissa voidaan vielä muuttaa aiempia ratkaisuja ongelmien tai uusien mahdollisuuksien tullessa vastaan. Projekti noudattaa niin sanottua ketterän kehityksen periaatteita. (Martio, 2015)

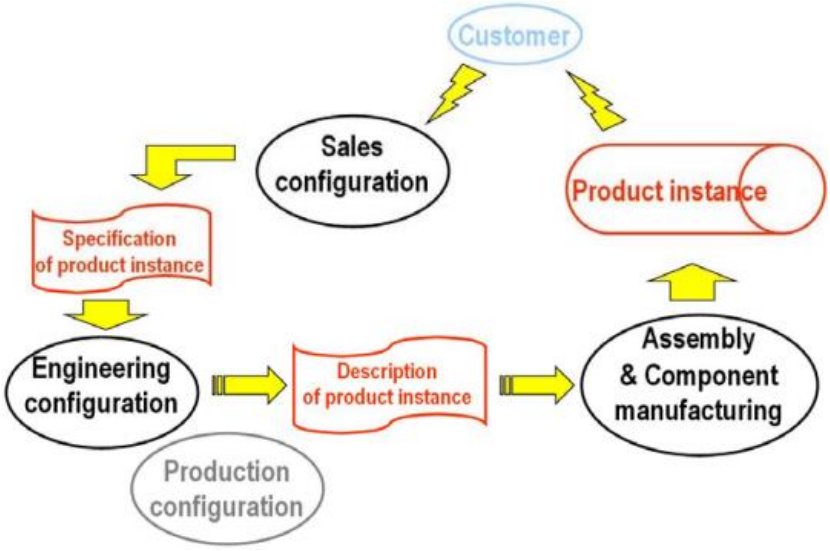
Markkinasegmentin ja sille ominaisten vaatimusten tunnistaminen on merkittävää konfiguroitavan tuotteen tuotekehitysprosessissa. Yrityksen tulee valita segmentit, joihin tuote ja variantit kohdennetaan. Tuotearkkitehtuurin on tärkeää sopia yhteen tyypillisten asiakasvaatimuksien mahdollisiin variaatioihin, sillä jos ne eivät sovi yhteen, konfiguroimalla ei saada aikaiseksi asiakasvaatimuksiin sopivia vaihtoehtoja. (Tiihonen, Soininen, et al., 1998) Kuvassa 11 on esitetty kuvaava esimerkki konfiguroitavan tuotteen tuotekehitysprosessista ja konfigurointimallin synnystä.



Kuva 11 *Konfiguroitavan tuotteen tuotekehitysprosessi (Tiihonen & Soininen, 1997)*

Konfiguroitavan tuotteen tulisi olla helposti konfiguroitava, jotta esimerkiksi myyjien tekninen osaaminen ei asetu rajoittavaksi tekijäksi tuotetta myydessä. Monimutkainen moduulirakenne asettaa myös haastetta konfigurointimallin ylläpitämisessä. Konfigurointimallin dokumentointi on työläs, mutta tärkeä tehtävä, jotta sekä manuaalinen konfigurointi, että konfiguraattorin käyttö on mahdollista. (Tiihonen & Soininen, 1997)

Asiakkaan tekemä tilaus käynnistää konfigurointiprosessin. Prosessin lähtötietoina tarvitaan konfigurointimallia sekä asiakasvaatimuksia, joita voidaan tarkentaa prosessin edetessä.(Tiihonen & Soininen, 1997) Lehtosen (2007) mukaan tuotteen määritelmää voidaan tarkentaa tilaus-toimitusprosessin aikana kolmesti. Kuvassa 12 on esitetty kuvaava esimerkki tilaus-toimitusprosessista.



Kuva 12 *Tilaus-toimitusprosessi konfiguroitavalle tuotteelle (Lehtonen, 2007)*

Myyntikonfiguroinnissa tuote pyritään rakentamaan vastaamaan asiakkaan tarpeita niin hyvin kuin mahdollista. Suunnittelukonfiguraatiossa myyntispesifikaatio muutetaan tuotantospesifikaatioksi. Joissain yrityksissä päätökset siitä, mitkä vaihtoehtoiset elementit muodostavat lopullisen asiakastoimituksen, tehdään vasta tuotantovaiheessa. (Lehtonen, 2007)

3.4.3 Konfigurointitehtävä

Konfigurointitehtävässä käytetään alkutietona asiakkaan vaatimuksia ja siitä saadaan tuotoksena yksittäinen tuote, joka kuuluu tuoteperheeseen. Konfigurointitehtävässä hyödynnetään olemassa olevaa tietoa. Tässä prosessissa konfigurointitieto ei kuitenkaan lisäänny, vaan pysyy ennallaan. (Pulkkinen, 2007) Konfigurointitehtävän tuloksena saadaan konfiguraatio ja tästä syystä voidaan sanoa, että konfigurointitehtävä määrittää tuotteen (Pakkanen, 2015). Konfigurointitehtävä voidaan määritellä tuotteen suunnittelemisena käyttämällä joukkoa ennalta määritettyjä komponentteja samalla huomioon ottaen rajoitteet komponenttien yhdistämisestä (Soininen et al., 1998). Haugin (2008) mukaan konfiguroinnilla tarkoitetaan ennalta määritettyjen fyysisten tai ei-fyysisten kokonaisuuksien yhdistämistä rajoitteet ja sallitut rajapinnat huomioiden, sekä niiden muuttuvien ominaisuuksien määrittämistä siten, että annetut vaatimukset täyttyvät.

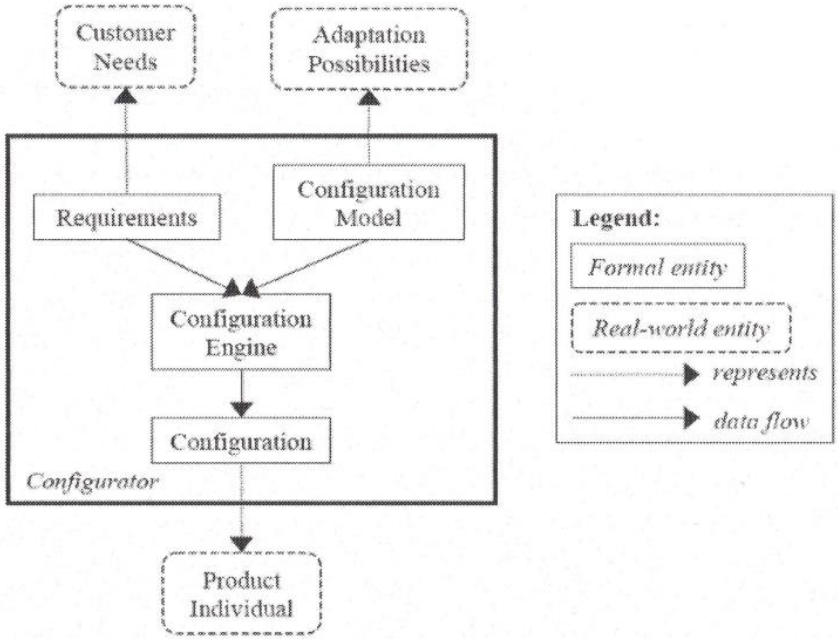
Tuotteiden konfigurointi voi olla liian monimutkaista myyjälle, jolla ei ole suunnitteluosaamista ja teknistä taustaa. Tällaisessa tilanteessa konfigurointitehtävä tehdään usein yhteistyössä myyjän ja suunnittelijan välillä. Tämä johtaa tarpeeseen iteroida tietoa myyjän, asiakkaan ja suunnittelijan välillä, jotta asiakastarpeisiin vastaava konfiguraatio pystytään määrittämään. Tällainen toimintamalli taas johtaa pidempiin tilaus-toimitusprosessin läpimenoaikoihin. (Tiihonen & Soininen, 1997)

Konfiguraattori on tietojärjestelmä, jota käytetään tuotteiden konfigurointiin sekä tuotteiden konfigurointimallien luomiseen ja ylläpitämiseen. Konfiguraattoreita on käytetty apuna tilaus-toimitusprosesseissa jo 1980-luvulta lähtien. (Tiihonen & Soininen, 1997) Konfiguraattoriin sisällytetään suunnittelun säännöstöt, jota analysoidaan ja muodostetaan säännöiksi tai rajoitteiksi konfiguraattoriin (Juuti, 2008).

Tiihosen ja Soinisen (1997) mukaan on olemassa useita syitä, joiden takia konfiguraattoria kannattaa käyttää tukena tilaus-toimitusprosessissa. Olennaisimmat syyt ovat tuotteen monimutkaisuus ja kyky suunnitella liiketoimintaprosessit uudelleen käyttämällä konfiguraattoria. Muita syitä konfiguraattorin käytölle ovat:

- Tarve pienentää virheiden määrää konfigurointiprosessissa
- Tarve lyhentää tilaus-toimitusprosessin läpimenoaikaa
- Tarve pystyä jakamaan tehokkaasti ajankohtaista tuotetietoa konfigurointiprosessiin liittyville ihmisille
- Tarve lisätä hintatarjousten määrää lisäämättä myyntihenkilöstön ja suunnittelijoiden määrää. (Tiihonen & Soininen, 1997)

Konfigurointitieto voidaan yhdistää ymmärrykseen asiakasvaatimusten ja tuoteominaisuuksien välillä. On tärkeää tuntea tuotteen elementtien väliset yhteydet, kuten mitkä elementtien yhdistelmät ovat mahdollista valmistaa. Nämä tiedot sisällytetään konfigurointimalliin. Konfigurointimalli on konfigurointityökalujen perusta, jotka ovat kehitetty konfigurointitehtävän tueksi. Tällainen konfigurointityökalu voi olla tietojärjestelmä tai pelkästään yksinkertainen valintalomake. (Juuti, 2008) Kuvassa 13 on esitetty konfiguraattorilla suoritettu konfigurointitehtävä.



Kuva 13 *Kuvaus konfigurointitehtävästä konfiguraattorilla suoritettuna (Soininen, 2000)*

Konfigurointimalli sisältää konfiguroitavasta tuotteesta kaiken tarvittavan tiedon mahdollisista tavoista, jolla tuote pystytään mukauttamaan vastaamaan asiakkaan tarpeisiin. Konfigurointimalli sisältää joukon valmiiksi suunniteltuja komponentteja, säännöstön, kuinka nämä komponentit voidaan yhdistää toimiviksi tuotevarianteiksi, sekä säännöstön, kuinka asiakkaan haluamat toiminnollisuudet saavutetaan. Jotta konfigurointimalli olisi hallittava kokonaisuus, konfiguroitava tuote tulisi suunnitella konfiguroitavaksi. (Tiihonen, Lehtonen, et al., 1998)

3.5 Modulointi

Modulointiin liittyy useita käsitteitä, kuten moduuli, modulointi ja modulaarisuus. Moduuli on tuotekokonaisuus, jolla on toiminnallisuuden tai yrityksen kannalta erillinen toiminnallisuus ja vaaditut ominaisuudet, mutta samalla sellaiset rajapinnat ja yhteydet muiden kokonaisuuksien kanssa, että se voidaan nähdä rakenteen rakennuspalikkana. Moduloinnilla pyritään luomaan variaatiota asiakkaan näkökulmasta ja samalla osoittamaan yhteneväisyyttä moduulivarianttien ja rakenteellisten ominaisuuksien välillä, jotta se vähentäisi yrityksen operaatioiden monimutkaisuutta. Modulaarisuus on suhteellinen käsite, jolla ei ole tarkoitus analysoida ja kuvata tuotteen näennäisesti modulaarista rakennetta, ellei sen sopivuutta tiettyyn yrityksen alueeseen tunneta. (Andreasen, 2011)

Modulaarisuuden lisäämistä tuotteisiin ei ole rajattu vain massakustomoituihin tuotteisiin. Modulaarisuuden tuomat edut kiinnostavat myös yrityksiä, joiden tuotteet sisältävät paljon tilauskohtaista suunnittelutyötä. Tällaisessa tilanteessa haasteena on löytää sopiva

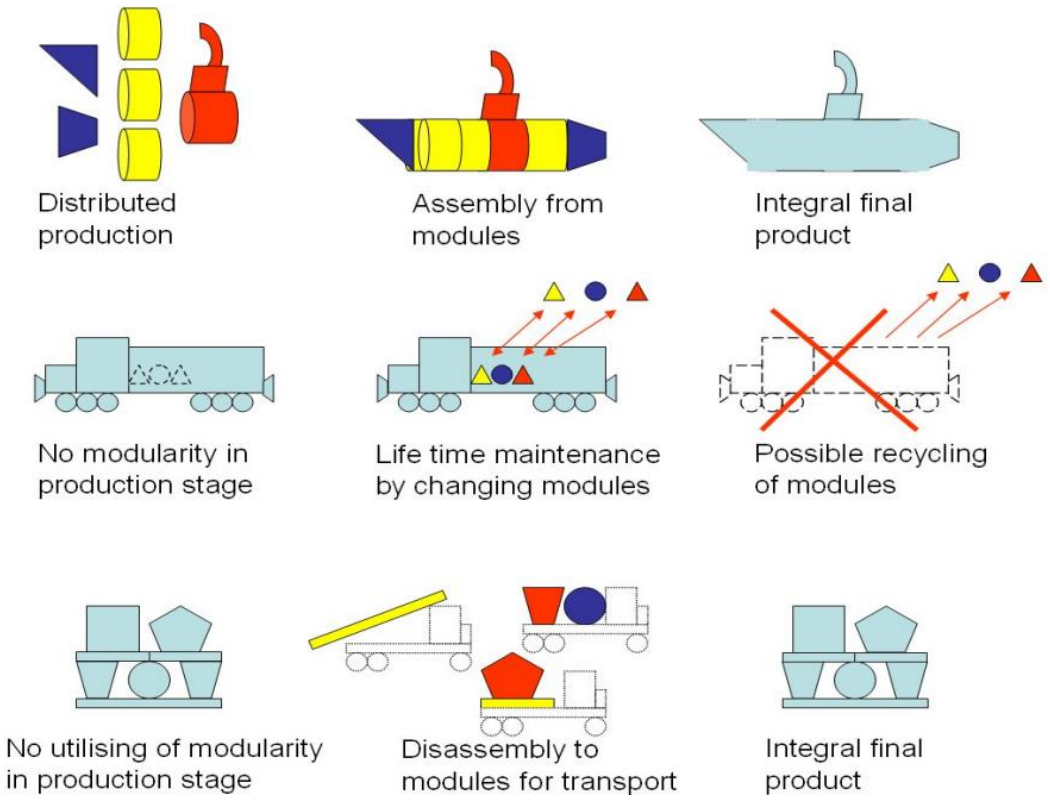
yhdistelmä siten, että tuotteiden yhtenäisyys lisääntyy ilman, että menetetään joustavuutta muokata tuotetta niiltä osin, jotka tuottavat asiakkaalle lisäarvoa. (Pakkanen et al., 2022)

Lehtonen (2007) jakaa modulaarisuuden kahteen eri kategoriaan. Nämä modulaarisuuden kaksi kategoriaa ovat hänen mukaansa M-modulaarisuus ja elinkaarimodulaarisuus. M-modulaarisuuden M kirjain viittaa muunteluun. M-modulaarisuus on systeemiin perustuva modulaarisuuden tyyppi, joka mahdollistaa tuotteen muuntelun. M-modulaarisuudessa moduuli määritellään lohkona (systeemiin kuuluva osa tai kokoonpano), jolla on määritetty rajapinta ja se on osa moduulijärjestelmää. M-modulaarisuudessa moduulijärjestelmä määritellään systeeminä, joka koostuu lohkoista, jotka ovat vaihdettavia. (Lehtonen, 2007)

Muunteluun pyrkivän M-modulaarisuuden lisäksi Lehtosen (2007) mukaan on olemassa elinkaarimodulaarisia tuotteita. Elinkaarimodulaarisuudessa tuotteen modulaarisuus liittyy tuotteen elinkaareen, eikä tuotetarjonnan konfiguraatioihin. Elinkaareen perustuva modulaarisuus voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan, jotka ovat:

- Valmistussyihin perustuva modulaarisuus
- Kunnossapitosyihin perustuva modulaarisuus
- Logistisiin syihin perustuva modulaarisuus. (Lehtonen, 2007)

Elinkaarimodulaarisessa tuotteessa tuotteen rakenne ei sisällä muuntelua. Tästä syystä moduulisysteemiä ei tarvita ja yleensä sitä ei edes ole olemassa. Tästä syystä elinkaarimodulaarisuuden suunnittelu on täysin erilainen tehtävä verrattuna muuntelua sisältävän, eli M-modulaarisen, tuoteperheen suunnittelu. (Lehtonen, 2007) Kuvassa 14 esitetään elinkaarimodulaarisuuden tyypit ja vaiheet.



Kuva 14 *Elinkaarimodulaarisuuden tyypit ja vaiheet (Lehtonen, 2007)*

Esimerkkinä valmistussyihin perustuvasta modulaarisuudesta toimii sukellusveneisiin liittyvä tapaus vuosilta 1943–1945. Tuohon aikaan saksalainen laivanrakennusala valmisti sukellusveneitä sarjatuotantona, mutta valmistusaltaan kapasiteetti oli ongelmana sukellusveneiden tuotannossa. Tuotannon tehostamiseksi kehitettiin modulaarinen sukellusvene, jossa sukellusveneen runko jaettiin pituussuuntaisiin moduuleihin. Nämä moduulit pystyttiin valmistamaan valmistusaltaan ulkopuolella, jolloin valmistusaltaassa tehtäväksi työvaiheeksi jäi enää moduulien yhdistämien. Valmistussyihin perustuvalla modulaarisuudella sukellusveneiden valmistusaikaa pystyttiin lyhentämään. (Lehtonen, 2007) Valmistussyihin perustuva modulaarisuus on esitetty kuvassa 14 ensimmäisellä rivillä.

Ylläpitosyihin perustuvasta modulaarisuudesta esimerkkinä toimii 1970-luvulta Dash 2 -sarjan veturit GP38-2 ja SD40-2. Dash 2 viittasi vetureiden sähköisen ohjaussysteemin uudistukseen. Uusi ohjaussysteemi koostui kokonaan erillisistä moduuleista. Tällaisella modulaarisuudella vetureiden käyttöastetta pystyttiin nostamaan, kun koko veturin ei tarvitse olla huollossa viallisen moduulin korjauksen aikana. Kyseiset veturit eivät olleet uudistuneen sähköisen ohjausjärjestelmän lisäksi lainkaan modulaarisia. (Lehtonen, 2007) Kuvassa 14 on esitetty ylläpitosyihin perustuva modulaarisuus toisella rivillä.

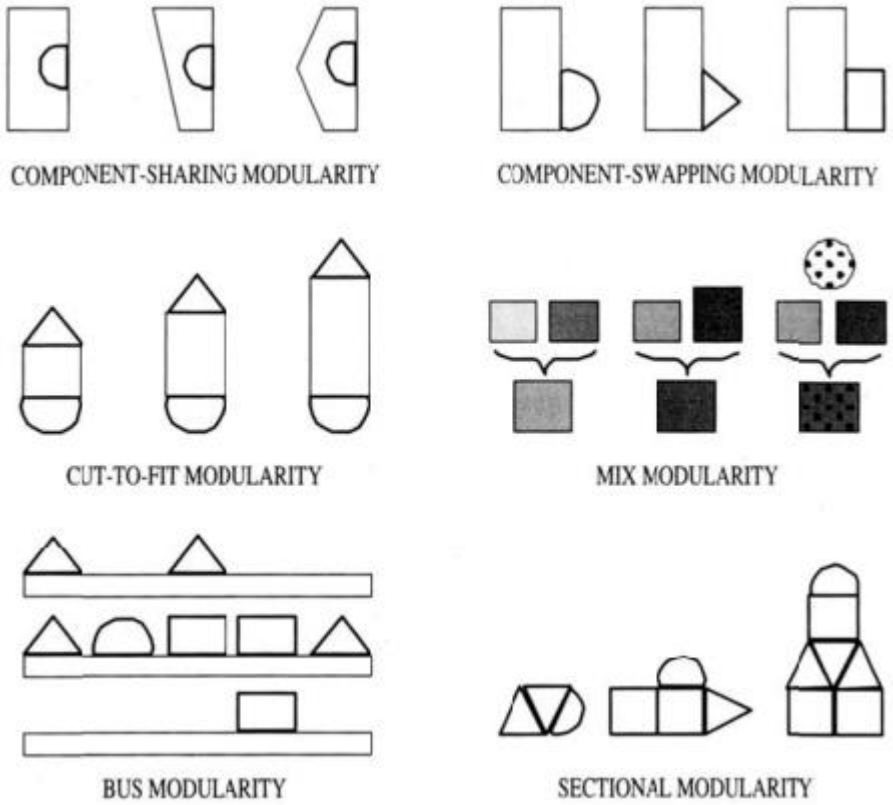
Logistisiin syihin perustuvasta modulaarisuudesta esimerkkinä toimii matkustajalaivojen rakennus. Lehtonen (2007) käyttää esimerkkinä laivan ravintolan sisustaa projektista,

jossa hän on ollut osallisena. Laivan ravintolan sisusta valmistettiin ja asennettiin yrityksen tuotantolaitoksella. Tämän jälkeen kyseinen kokonaisuus purettiin moduuleihin kuljetusta varten ja toimitettiin laivalle asennusohjeiden kanssa. Lopulta ravintola kasattiin paikalleen laivassa nopeasti vähällä työvoimalla verrattuna siihen, että ravintola olisi valmistettu kokonaan paikan päällä laivassa. Myös esimerkiksi laivojen putkistoja ja prosessilaitoksia valmistetaan vastaavalla tavalla. (Lehtonen, 2007) Kuvassa 14 on esitetty logistisiin syihin perustuva modulaarisuus kolmannella rivillä.

3.5.1 Modulaarisuuden tyypit

Kuten Lehtonen (2007) toteaa, moduulien vaihtokelpoisuus on tärkeä osa konfiguroitavuuteen tähtäävää modulaarisuutta, eli M-modulaarisuutta. Pine (1993) esittää kirjassaan kuusi tunnistettua modulaarisuuden tyyppiä. Nämä kuusi modulaarisuuden tyyppiä ovat esitetty kuvassa 15. Pakkanen (2015) määrittelee nämä kuusi modulaarisuuden tyyppiä väitöskirjassaan seuraavasti:

- Komponenttien jakomodulaarisuudessa käytetään samaa komponenttia useissa tuotteissa.
- Komponenttien vaihtomodulaarisuus täydentää komponenttien jakomodulaarisuutta. Komponentit yhdistetään samaan perustuotteeseen ja eri tuotteita voidaan luoda niin monta kuin on eri vaihtokelpoisia komponentteja.
- Parametrimodulaarisuus sisältää yhden tai useamman komponentin, jotka ovat muuttuvia ennalta asetettujen tai käytännön rajoitusten sisällä.
- Sekamodulaarisuudessa yhdistellään komponentteja yhteen niin, että luodaan jotain erilaista.
- Väylämodulaarisuudessa vakiorakenteeseen voidaan asentaa useita eri komponentteja.
- Lohkomodulaarisuus sallii mielivaltaisen konfiguroinnin sellaisilla komponenteilla, joilla on vakioidut rajapinnat. Tällainen vaihtokelpoisuus on haastavaa saavuttaa, mutta se mahdollistaa suurimman muuntelun ja räätälöinnin asteen, sekä uudelleenkonfiguroitavuuden.



Kuva 15 *Kuusi modulaarisuuden tyyppiä (Pine, 1993). Alkuperäiset viisi tyyppiä esittivät Ulrich & Tung (1991), johon Pine (1993) lisäsi kuudennen "Mix modularity".*

Komponenttien jakomodulaarisuudessa samaa komponenttia käytetään useissa tuotteissa edun luomiseksi. Tämä modulaarisuuden muoto on tärkein, kun asetetaan "massa" takaisin lisääntyvään tuotelinjaan, jonka kustannukset nousevat yhtä nopeasti tai jopa nopeammin kuin tuotteiden määrä. Pelkällä komponenttien jakomodulaarisuudella ei ikinä saavuteta täysin asiakaskohtaista kustomointia, mutta se mahdollistaa korkean tuotevarianttien tarjonnan alhaisemmat valmistuskustannukset. (Pine, 1993)

Komponenttien vaihtomodulaarisuudessa eri komponentit yhdistetään samaan perustuotteeseen. Useissa tapauksissa ero komponenttien jakomodulaarisuuden ja komponenttien vaihtomodulaarisuuden välillä on tulkintakysymys. Vakioitua tuotetta tarjoavan yrityksen avain komponenttien vaihtomodulaarisuuden hyödyntämiseen on löytää tuotteen muunneltavin osa ja erottaa se komponentiksi, joka voidaan helposti integroida uudelleen. (Pine, 1993)

Parametrimodulaarisuus on samankaltainen kahden edellä määritellyn tyypin kanssa, mutta parametrimodulaarisuudessa komponentit ovat muuttuvia määritettyjen tai käytännön rajojen sisällä. Parametrimodulaarisuus on hyödyllisin sellaisissa tuotteissa, joiden asiakkaalle tuotettu arvo perustuu komponenttiin, jota pystytään muuttamaan vastaa-

maan yksittäistä tarvetta. Jos tarjottava tuote muuttuu koossa porrastetusti, kuten hyllystä ostettavat puvut, kilpailuetu voidaan saavuttaa massaräätälöimällä tuote vastaamaan yksilöiden tarvetta. (Pine, 1993)

Sekamodulaarisuudessa voidaan hyödyntää kaikkia yllä määritettyjä modulaarisuuden tyyppejä sillä erotuksella, että komponentteja sekoitetaan niin paljon keskenään, että se itsessään luo jotain erilaista. Esimerkiksi eri värisiä maaleja sekoittaessa alkuperäiset maalit eivät ole enää havaittavissa lopullisessa tuotteessa. Myös ruoka-alalla hyödynnetään sekamodulaarisuutta sekoittamalla samoja peruskomponentteja keskenään niin, että tuloksena saadaan eri tuotteita vastaamaan esimerkiksi paikallista makuaistia. (Pine, 1993)

Väylämodulaarisuudessa käytetään perusrakennetta, johon voidaan kiinnittää useita eri komponentteja. Esimerkiksi tietokoneissa ja muissa elektronisissa laitteissa hyödynnetään väylämodulaarisuutta. Näissä laitteissa väylä muodostaa ensisijaisen tiedonsiirron reitin prosessointiyksiköiden, muistin, levyasemien ja muiden väylään kytkettävien komponenttien välille. (Pine, 1993)

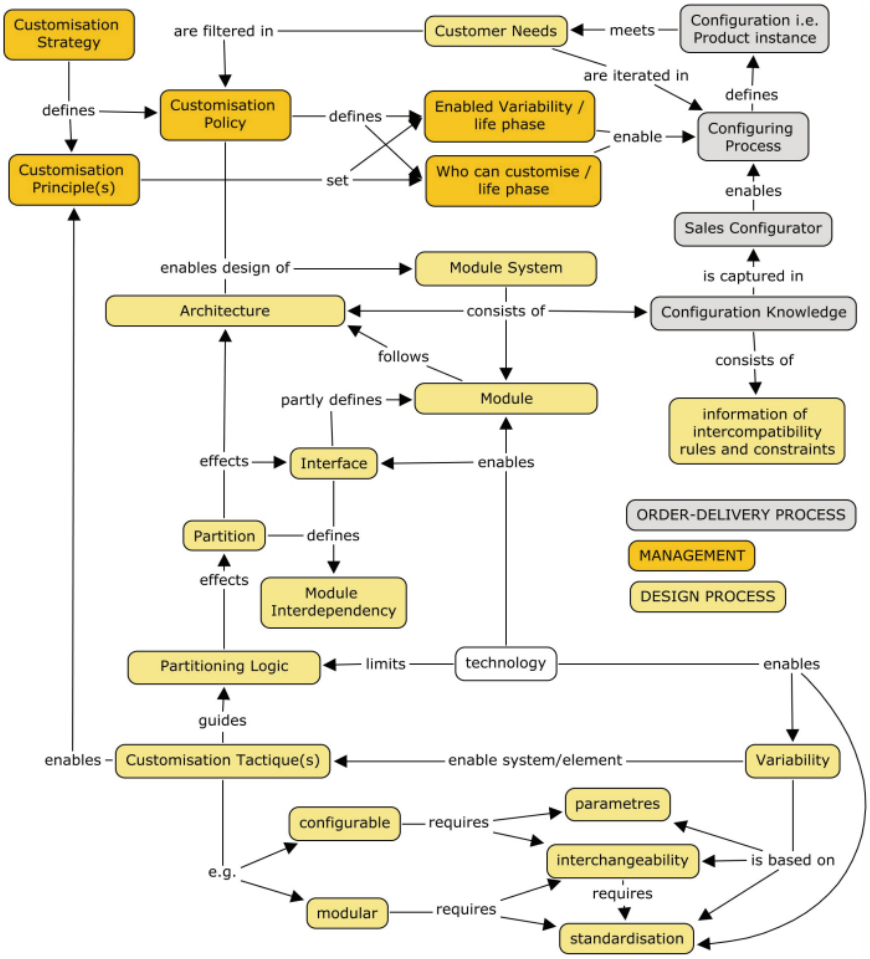
Lohkomodulaarisuus mahdollistaa suurimman muuntelun ja räätälöinnin asteen. Se mahdollistaa konfiguroinnin kuinka monelle eri komponenttityypille tahansa mielivaltaisella tavalla. Tämä modulaarisuuden tyyppi vaatii kuitenkin komponenteilta vakioituja rajapintoja. Klassinen esimerkki lohkomodulaarisuudesta on Lego-rakennuspalikat niiden sylinterimäisten kiinnitysrajapintojen ansiosta. Perinteisillä Lego-rakennuspalikoilla rakennettavien yhdistelmien määrä on käytännössä rajaton. (Pine, 1993)

3.5.2 Moduulijärjestelmä

Systemaattisella konfiguroinnilla pystytään minimoimaan tarvetta rutiinisuunnittelulle ja siten vapauttamaan resursseja tuotekehitykseen. Tuotekehitys ja toimitusprosessi pystytään samalla eriyttämään toisistaan, joka yksinkertaistaa toimituksen vaiheita ja vastuita. Toisaalta tämä kasvattaa dokumentaation vaatimuksia ja tuotekehityksestä tulee haastavampaa. Samalla myös vaatimus kurinalaisuuteen kasvaa, sillä mallien tulee olla uudelleenkäytettäviä ja niiden suunnittelijan lisäksi myös muiden tulee ymmärtää niitä. Modulaarinen arkkitehtuuri vähentää vaihtoehtojen määrää ja saattaa jäykistää tuoteperhettä. Tämä pitää erityisesti paikkansa suljettujen moduulijärjestelmien kohdalla. (Lehtonen, 2007)

Pakkasen (2015) mukaan modulointiin liittyy useita eri näkökulmia. Väitöskirjassaan Juuti (2008) jakaa modulaarisuuden ja konfiguroitavat tuotteet erottaen suunnitteluprosessin, tilaus-toimitusprosessin sekä hallinnolliset elementit toisistaan. Juutin (2008) tekemä yhteenveto konfiguroitavan tuotteen pääkonsepteista ja niiden välisistä yhteyksistä

perustuu Lehtosen, Pulkkisen ja Tiihosen et al. aiempiin teoksiin. Yhteenveto konfiguroitavan tuotteen pääkonsepteista ja niiden välisistä yhteyksistä on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16 *Yhteenveto konfiguroitavan tuotteen pääkonsepteista ja niiden välisistä yhteyksistä (Juuti, 2008)*

Kuva 16 avaa sitä, kuinka räätälöintistrategia huomioi räätälöintiperiaatteet ja toimintatavat siltä osin, kuka voi kustomoida ja millainen muuntelu on mahdollista missäkin elinkaaren vaiheessa. Tässä yhteenvedossa moduulijärjestelmän pääelementit ovat arkkitehtuuri, moduulit ja konfigurointitieto. Konfigurointitieto sisältää tietoa vaihdettavuuden säännöistä ja rajoitteista. Suunnitteluprosessin näkökulmasta nämä kolme pääelementtiä ovat tärkeitä moduulijärjestelmän suunnittelussa, mutta näitä näistä elementeistä pystytään johtamaan myös muita kriittisiä elementtejä moduulijärjestelmän suunnitteluun. (Juuti, 2008; Pakkanen, 2015)

Juutin (2008) tekemän yhteenvedon pohjalta Pakkanen et al. (2013) edistivät moduulijärjestelmän rakennetta jakamalla moduulijärjestelmän viiteen elementtiin. Moduulijärjestelmää suunnitellessa tarvittavan suunnittelutiedon jakaminen viitteen elementtiin voi olla hyödyllistä (Pakkanen, 2015). Nämä viisi moduulijärjestelmän elementtiä ovat:

- Jakologiikka: Tiettyyn moduulijakoon johtaneet perustelut
- Moduulit: Moduulijärjestelmän rakennuspalaset
- Rajapinnat: Moduulien vaihdettavuuden ja keskinäisten riippuvuuksien mahdollistaja
- Arkkitehtuuri: Moduulijärjestelmän asettelun määrittely, joka määrittelee, missä moduulit ja niiden rajapinnat sijaitsevat tuotteessa
- Konfigurointitieto: Asiakasvaatimusten ja moduulien väliset yhteensopivuudet ja rajoitteet. (Pakkanen et al., 2013)

Jakologiikan tarkoitus on tuottaa säännöstö tarvittavien elementtien valintaan asiakasvariantteihin. Jakologiikan tulee huomioida elementtien hankinta ja se, että elementit ovat tuotantoon sopivia. (Lehtonen et al., 2011) Jakologiikka sisältää perustelut tuotteen rakenteelle ja siten sisältää myös moduulijakoa koskevat perustelut. Tuote voi sisältää vakioituja, konfiguroitavia, osittain konfiguroitavia ja ainutlaatuisia elementtejä. Jakologiikan tulisi perustella, miksi elementit ovat tietyn tyyppisiä ja modulaaristen tuotteiden tapauksessa jakologiikan tulisi perustella mihin tuotteen elementteihin kohdistuu muuntelutarvetta ja miksi. (Pakkanen et al., 2013)

Aluksi moduulit voidaan ajatella moduulikandidaatteina, kunnes myöhemmin suunnitteluvaiheessa muuntelutarpeet ymmärretään paremmin ja ne voidaan suunnitella tarkemmin. Moduulille tulee harkita myös muita versioita mahdollisen teknologian kehityksen ja muiden tekijöiden seurauksena. (Pakkanen, 2015) Luvussa 3.5 on käyty läpi Andreasenin (2011) ja Lehtosen (2007) määritelmät moduulille.

Mekaanisten rakenteiden rajapinnoista keskustellaan modulaarisuuteen liittyvissä akateemisissa julkaisuissa tyypillisesti abstraktilla tasolla. Usein rajapintojen määritelmät liittyvät esimerkiksi sähkölaitteisiin. On olemassa vain rajallinen määrä sellaisia tutkimusaloja, joista löytyy tarkempia ehdotuksia koskien rajapintojen määritelmiä. Systeemitekniikassa on kuitenkin tehty sopimus koskien kahden tai useamman moduulin rajapintaa. Sopimusta kutsutaan yleisesti rajapintojen hallintapiirustukseksi tai rajapintojen hallintadokumentiksi, ja se koskee esimerkiksi moduulien ympäristön asettamia vaatimuksia, saavutettavuutta, liittimien tyyppiä ja määrää, mekaanisia ominaisuuksia tai esimerkiksi energiaan liittyviä parametrejä. (Pakkanen et al., 2013)

Modulaarisella arkkitehtuurilla kuvataan moduulit sekä niiden väliset yhteydet ja rajapinnat. Modulaarinen arkkitehtuuri voi olla suljettua tai avointa. Suljetussa arkkitehtuurissa kaikki mahdolliset moduulit ja niiden yhdistelmät ovat ennalta määritelty. Avoimessa ark-

kitehtuurissa tilanne on päinvastainen. Avoimessa arkkitehtuurissa rajapinnat ovat määritelty, mutta kaikista mahdollisista moduuleista ja niiden yhdistelmistä ei ole olemassa määritelmää. Tällaisessa tilanteessa arkkitehtuuri käsittää moduulien teknisen yhteensopivuuden sellaisella tasolla, jolla on myös rooli konfigurointitiedon määrittämisessä. (Pakkanen et al., 2013)

Konfigurointitiedon esittämiseen on olemassa useita erilaisia työkaluja, kuten matriiseja. Konfigurointitiedon esittäminen erillisenä kuvauksena ennen sen käyttöönottoa konfiguraattorissa on todettu olevan kannattavaa useissa tapauksissa. Konfigurointitiedon tarkoitus on selittää mahdolliset yhdistelmät vaatimusten, kuten asiakastarpeiden, ja moduulien välillä. (Pakkanen et al., 2013)

3.6 Modulaarisen tuotteen kehityksen työkalut

Tässä luvussa käydään läpi modulaarisen tuotteen kehittämisessä käytettäviä työkaluja, joita myöhemmin hyödynnetään BfP:n vaiheissa sekä tutkimuksen empiirisessä osuudessa. Aliluvussa 3.7.1 käsitellään Product Family Master Plan -työkalua, pääasiallisena lähteenä on Harlou (2006). Aliluvussa 3.7.2 käsitellään K- & V-matriisit, pääasiallisina lähteinä ovat Bongulielmi et al. (2001;2002).

3.6.1 Product Family Master Plan

Kun tuoteperhettä kehitetään tai suunnitellaan uudelleen, on tärkeää nähdä yleiskuva muuntelusta tuoteperheen sisällä. Tuoteperhe voi sisältää tuhansia tai jopa miljoonia tuotevariantteja. Jokaisen tuotevariantin yksittäinen kuvaaminen voi olla laaja tehtävä. Tästä syystä yleiskuva on tärkeä, koska jokaisen variantin olemassaoloa koskien on tehtävä päätöksiä. (Harlou, 2006)

Yleiskuvan tulisi Harloun (2006) mukaan kuvata tuoteperheen rakennetta sekä muuntelua tuoteperheen sisällä. Tuoteperhettä kuvatessa tarvitaan useita eri näkökulmia (Andreasen et al., 1996, Harlou, 2006 mukaan). Tuoteperhettä suunnitellessa kolme tärkeää näkökulmaa ovat:

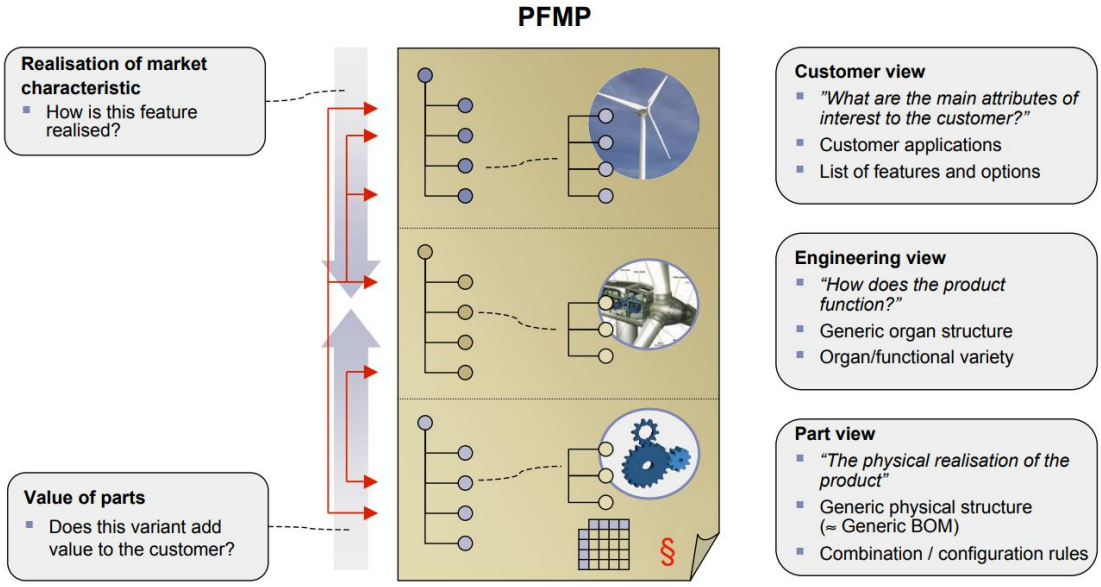
- Asiakkaan näkökulma – Asiakkaan näkökulman tulisi kuvata tuoteperhettä asiakkaan näkökulmasta. Tämä tarkoittaa, että sen tulisi osoittaa muunneltavuus markkinan näkökulmasta. Asiakasnäkökulma vastaa kysymykseen ”Mitkä ovat ne ominaisuudet ja käyttökohteet, jotka kiinnostavat asiakkaita?”
- Suunnittelun näkökulma – Suunnittelun näkökulman tulisi kuvata tuotetta suunnittelun näkökulmasta. Tämä tarkoittaa sitä, että sen tulisi kuvata tuoteperheen elinten rakennetta sekä näiden elinten muunneltavuutta. Suunnittelun näkökulma

vastaa kysymykseen ”Kuinka tuoteperhe toimii ja millaista muuntelua se sisältää elinten näkökulmasta?”

- Osan näkökulma – Osan näkökulman tulisi kuvata tuoteperheen fyysisiä kokonaisuuksia. Osan näkökulman tulisi siis vastata kysymykseen ”Kuinka tuoteperhe toteutetaan fyysisesti ja millaista muuntelua se sisältää fyysisestä näkökulmasta?” (Harlou, 2006)

Nämä kolme näkökulmaa liittyvät toisiinsa siten, että tuoteperheen tulisi osoittaa markkinoille muunneltavuutta sekä tuotantojärjestelmälle vakiointia. Nämä kolme näkökulmaa sisältävän yleiskuvan pitäisi mahdollistaa yritykselle parempien valintojen tekeminen tuoteperheeseen ja tuoteperheen muunteluun liittyen. Tällaiset päätökset liittyvät esimerkiksi arvoa tuottamattoman muuntelun vähentämiseen ja vakiomallien tunnistamiseen. (Harlou, 2006)

Harloun (2006) työssä pyritään edistämään korkean muunneltavuusasteen omaavien tuoteperheiden muodollisempaa mallintamista. Hän käyttää tälle muodollisemmalle mallintamistavalle nimitystä Product Family Master Plan (PFMP). Kuvassa 17 on esitetty PFMP:n pääsisältö.

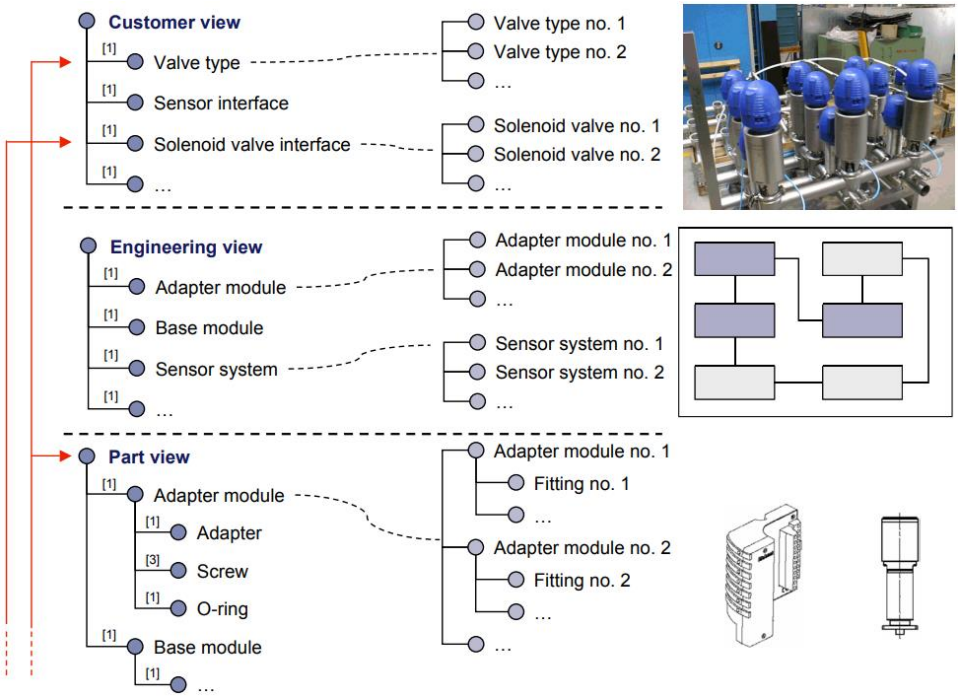


Kuva 17 *PFMP:n pääsisältö. PFMP sisältää asiakkaan, suunnittelun sekä osan näkökulman (Harlou, 2006)*

Kuvasta 17 nähdään, että yllä määritellyt kolme näkökulmaa liittyvät toisiinsa ja siten kuvaavat näkökulmien välistä yhtenäisyyttä. Yhtenäisyyden visualisointi näkökulmien kanssa mahdollistaa tuoteperhettä koskevat perustelut. (Harlou, 2006)

Harlou (2006) käyttää työssään esimerkkinä kahta teollisuuden sovellusta PFMP:stä. Näissä esimerkeissä PFMP:tä on hyödynnetty ruoka- ja lääketeollisuudessa käytettävien

venttiileiden mekatronisen ohjauslaitteen tuoteperheen kuvauksessa, sekä sen osoittamisessa, että PFMP:tä pystytään hyödyntämään BOM:in (Bill Of Materials) visualisoinnissa. (Harlou, 2006). Kuvassa 18 on esitetty ote mekatronisen ohjauslaitteen tuoteperheen PFMP:stä.



Kuva 18 *Ote mekatronisen ohjauslaitteen tuoteperheen PFMP:stä (Harlou, 2006)*

Kuvassa 18 osoitetaan punaisten nuolien avulla, kuinka kolme eri näkökulmaa ovat toisiinsa yhteydessä. PFMP:tä on hyödynnetty päätöksenteossa tuotevalikoimaan ja arkkitehtuuriin liittyen eri teollisuuden projekteissa. Alla on esitetty neljä huomiota näistä projekteista:

- Arvoa lisäävien ja arvoa lisäämättömien elementtien tunnistaminen – Kolmen näkökulman välisten yhteyksien ansiosta on mahdollista tunnistaa tuotteen elementtien, kuten osien tai kokoonpanojen, olemassaolon perusteet. Käytännössä arvoa lisäämättömän muuntelun poistaminen on usein haastavaa esimerkiksi olemassa olevan tuotevalikoiman varaosavelvoitteiden takia.
- Suunnittelun monimutkaisuuden tunnistaminen – Yhteydet asiakkaan ja suunnittelun näkökulman välillä antaa merkin monimutkaisuudesta, kun kehitetään asiakaskohtaisia variaatioita. Jos esimerkiksi jollain asiakkaan näkökulman piirteellä on yhteyksiä useisiin suunnittelun näkökulman elimiin, se viittaa siihen, että useita alisysteemeitä joudutaan uudelleensuunnittelemaan asiakkaan halutessa uutta varianttia.

- Konsensuksen luominen myynnin, suunnittelun ja tuotannon välille – Yleisesti myynnillä, suunnittelulla ja tuotannolla ovat omat systeeminsä heille relevanteille aspekteille. Yrityksissä harvoin kuitenkaan on olemassa linkkejä näiden näkökulmien välillä. PFMP luo työkalun myynnin, suunnittelun ja tuotannon välille.
- Alustan ja arkkitehtuurin dokumentaatio – Jos yrityksellä on esimerkiksi kehitystä useilla toimipisteillä, arkkitehtuurin dokumentointi on välttämätöntä. Se on tarpeellista sekä kehityksen aikana, että lopullisessa dokumentaatiossa. Jotkut yritykset hyödyntävät PFMP:tä kehitysvaiheen aikaisten päätösten dokumentointiin. PFMP:tä tulee päivittää tuotekehityksen edetessä, jotta tieto päätetyistä ja vielä harkinnan alla olevista elementeistä pysyy kaikille ajan tasaisena. (Harlou, 2006)

Harloun (2006) mukaan PFMP:tä voidaan käyttää kahdessa tilanteessa. Ensimmäisessä tilanteessa yritys aloittaa pohtimaan alustojen ja arkkitehtuurien soveltamista. Tässä tilanteessa olemassa olevilla tuoteperheillä ja valikoimalla on tärkeä rooli uusien vakioitujen ratkaisujen ja arkkitehtuurien tunnistamisessa. Tästä syystä olemassa olevan tuoteperheen kuvaaminen on tärkeässä roolissa. Toinen tilanne on, kun uusia vakioituja ratkaisuja ja arkkitehtuuria aletaan kehittämään. Tässä tilanteessa on tärkeää pystyä kuvaamaan, mitä vakioidulla ratkaisulla tai arkkitehtuurilla halutaan pystyä tekemään. (Harlou, 2006) Harloun kehittämä PFMP on merkittävä työkalu myös moduulijärjestelmän kannalta (Pakkanen, 2015).

3.6.2 K- & V-matriisi

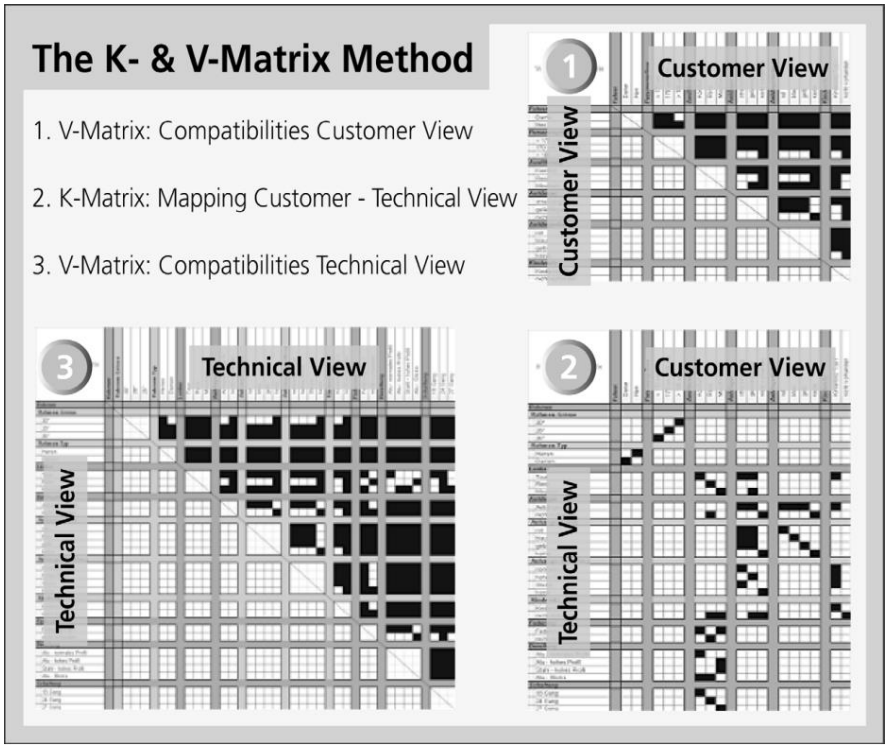
K- & V-matriisi on kuvauskieleksi kehitetty matriiseihin perustuva menetelmä. Matriisit ovat systeemin mallintamiseen hyödyllisiä työkaluja, sillä niillä pystytään esittämään systeemin elementtiparien välisten yhteyksien olemassaolo tai puuttuminen. (Bongulielmi et al., 2001) Matriisiesitys mahdollistaa kahden eri näkökulman vertailemisen tuotteessa. Systemaattinen kuvaus eri näkökulmista matriisin rivi- ja sarakeotsikoissa on helposti ymmärrettävissä ja antaa yleiskuvan näistä näkökohdista. (Bongulielmi et al., 2002)

Bongulielmin et al. (2002) mukaan K- & V-matriisi -työkalu perustuu kahteen eri matriisiin. Nämä kaksi matriisia ovat seuraavat:

- K-matriisi: Konfigurointimatriisi,
- V-matriisi: Yhteensopivuusmatriisi. (Bongulielmi et al., 2002)

K- & V-matriisi mahdollistaa esimerkiksi suunnitteluprosessin aikana kertyneen konfigurointitiedon esittämisen ja hallitsemisen. Matriiseihin perustuvan työkalun ja siihen liitty-

vät tietokoneohjelmistot tarjoavat tukea tuotevalikoiman analysointiin painottuen konfigurointiin liittyviin näkökulmiin. (Bongulielmi et al., 2002) Kuvassa 19 on esitetty K- & V-matriisi -työkalun rakenne.



Kuva 19 *K- & V-matriisi -työkalun rakenne (Bongulielmi et al., 2002)*

K-matriisi edustaa kahden korreloivan näkökulman välistä kartoitusta. Matriisissa asetettaan näiden näkökulmien elementit riveille ja sarakkeille, ja näiden elementtien yhtymäkohdissa esitetään niiden välinen yhteys. (Bongulielmi et al., 2001) K-matriisissa nämä kaksi näkökulmaa ovat tyypillisesti toiminnallinen ja tekninen kuvaus tuotteesta. Toiminnallinen näkökulma kuvailee tuotetta tuotekehitysprosessin aikaisemmissa vaiheissa määriteltyjen asiakkaalle relevanttien ominaisuuksien avulla. Tekninen näkökulma kuvaa kaikkia tuoterakenteen moduulivariantteja. (Bongulielmi et al., 2002)

Asiakkaan näkökulman ja teknisen näkökulman määrittämisen ja K-matriisilla niiden välisten yhteyksien tutkimisen lisäksi on tarpeellista tutkia myös näiden yksittäisten ominaisuuksien välisiä yhteensopivuuksia. V-matriisia käytetään näiden ominaisuuksien välisten riippuvuuksien määrittämiseen. (Bongulielmi et al., 2001) V-matriisi on neliön muotoinen ja siinä asetetaan näkökulmaa vastaavat elementit samassa järjestyksessä sekä rivien, että sarakkeiden otsikoihin (Bongulielmi et al., 2002). Bongulielmin et al. (2001) mukaan V-matriisin avulla on mahdollista vertailla tuoteperheen jokaisen moduulin jokaista varianttia keskenään ja siten määrittää niiden kaikki mahdolliset kombinaatiot.

K- & V-matriisi on siis geneerinen työkalu eri näkökulmien välisten yhteensopivuuksien ja konfigurointitiedon esittämiseen. Tällaista tietoa tarvitaan, kun tuotetta määritellään. Tämä työkalu tukee tuotetiedon varastointia koskien esimerkiksi modulaarisia rakenteita ja niiden yhdistämistä tiettyihin muuntelua aiheuttaviin asiakastarpeisiin. K- & V-matriisia voidaan käyttää esimerkiksi tukevana työkaluna myynnissä. Tällaista tuotetiedon esitystapaa pystytään hyödyntämään myös uudelleensuunnittelussa, sillä eri näkökulmien väliset ”kyllä” ja ”ei” tyyliset yhteydet olemassa olevasta tuotteesta pystytään tarkistamaan matriisin avulla. Joissain tilanteissa yhteensopivuuksien kuvaaminen vaatii tätä tarkempia määritelmiä. Tällaisissa tilanteissa voi olla tarpeellista hyödyntää muita työkaluja. (Pakkanen, 2015)

4. BROWNFIELD PROCESS

Lehtonen et al. (2011) esittävät artikkelissaan ensimmäistä kertaa BfP:n. Tässä Lehtosen et al. (2011) artikkelissa esitetty BfP:n ensimmäinen versio perustuu viiteen eri vaiheeseen, jotka ovat seuraavat:

1. Liiketoiminnan tavoitteiden määrittäminen.
2. Ehdotetun modulaarisen arkkitehtuurin määrittäminen pääasiassa vanhoja ratkaisuja ja komponentteja käyttäen.
3. Markkinoiden ja asiakkaiden vaatimusten järkeistäminen ja päivittäminen.
4. Modulaarisen arkkitehtuurin luominen mahdollisimman pienellä määrällä variaatioita. Tarvittavan uuden suunnittelun määrän määrittely.
5. Valitun modulaarisen arkkitehtuurin valintaperusteiden dokumentointi.

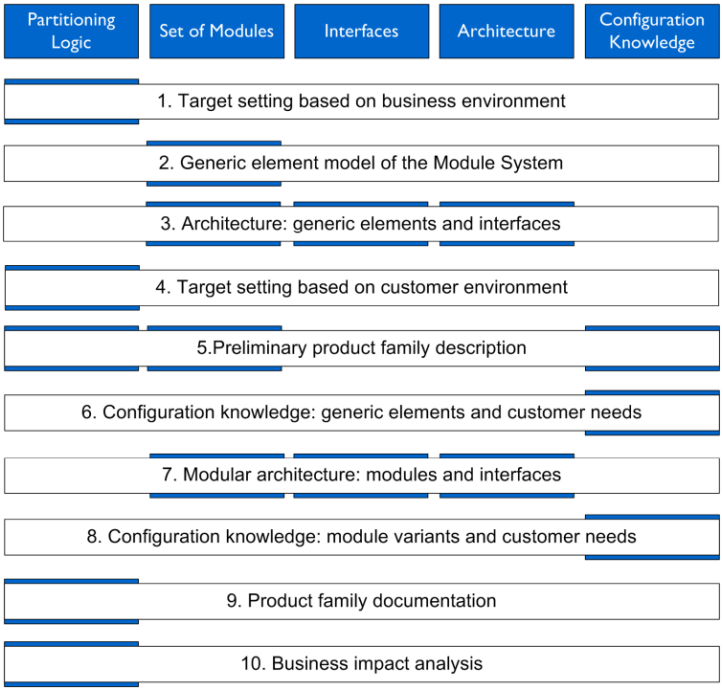
Tuotealustat, tuoteperheet, modulaarisuus ja tuotekonfiguraatiot ovat massakustomoinnissa tehokkaita tuotteen jäsentämistaktiikoita. Teollisuudessa tarvitaan kuvauksia siitä, miten suunnittelu tulisi tehdä tässä kontekstissa. (Pakkanen et al., 2016) Pakkanen et al. (2016) esittävät tällä alalla suunnittelun avainkonsepteiksi seuraavat:

- Jakologiikka
- Moduulijoukko
- Rajapinnat
- Arkkitehtuuri
- Konfigurointitieto.

Yllä esitetyt suunnittelun avainkonseptit vastaavat aiemmin luvussa 3.5.2 esitettyjä moduulijärjestelmän elementtejä. Suunnittelumetodia, joka ottaisi huomioon kaikki nämä elementit, ei ole vielä esitetty, vaikka näitä avainkonsepteja pidetäänkin tärkeinä (Pakkanen, 2015). Pakkanen et al. (2016) tekemän kirjallisuuskatsauksen perusteella on olemassa metodeja, jotka huomioivat osittain näitä avainkonsepteja, mutta kaikkien huomioiminen on harvinaista.

Pakkanen (2015) esittää väitöskirjassaan BfP:n päivitetyn version. Päivitetyssä versiossa BfP sisältää viiden vaiheen sijasta kymmenen vaihetta. Jokaisessa BfP:n vaiheessa tavoite on määrittää suunnittelutietoa liittyen tiettyyn moduulijärjestelmän elementtiin (Pakkanen, 2015). Kuvassa 20 on esitetty päivitetyn BfP:n kaikki kymmenen

vaihetta. Kuvassa 20 on korostettu jokaisen vaiheen yhteyttä moduulijärjestelmän elementteihin käyttämällä sinisiä nelikulmioita.



Kuva 20 *BfP:n kymmenen vaihetta ja niiden yhteydet moduulijärjestelmän elementteihin (Pakkanen, 2015)*

Vaikka BfP on kuvattu kuvassa 20 lineaarisena prosessina, se voi todellisuudessa olla iteroiva prosessi ja sen järjestystä voidaan muokata. BfP:n sisäänrakennettu iteraatio havaitaan yllä olevassa kuvassa. Esimerkiksi arkkitehtuuri määritellään ensin vaiheessa 3 geneeristen elementtien ja rajapintojen avulla ja myöhemmin vaiheessa 7 tarkemman suunnittelun jälkeen määritetään, koostuuko tuote vakioiduista, modulaarisesti vaihdettavista vai tilauskohtaisista elementeistä. (Pakkanen, 2015)

Moduulijärjestelmän elementtejä käsitellään eri BfP:n vaiheissa. Jakologiikkaa käsitellään vaiheissa 1, 4, 5, 9 ja 10. Moduulijoukkoa käsitellään vaiheissa 2, 3, 5 ja 7. Rajapintoja käsitellään vaiheissa 3 ja 7. Arkkitehtuuria käsitellään vaiheissa 3 ja 7. Konfigurointitietoa käsitellään vaiheissa 5, 6 ja 8. (Pakkanen, 2015) Seuraavissa aliluvuissa käydään yksityiskohtaisemmin läpi BfP:n yhdeksän ensimmäistä vaihetta. BfP:n kymmenes ja viimeinen vaihe sivuutetaan tässä katsauksessa, sillä se ei ole oleellinen osa tutkimuksen empiiristä osuutta.

4.1 Liiketoimintaympäristön asettamat tavoitteet

Ensimmäisessä vaiheessa BfP pyrkii tarjoamaan viitekehyksen tavoitteiden asettamiselle suunnittelutilanteessa, jossa tuotteita osittain uudelleen suunnitellaan kohti modulaarista tuoteperhettä. Tavoitteiden asettamisella pyritään määrittämään modulaarisen

tuoteperheen suunnittelun tavoitteet, joka perustuu olemassa olevaan tuotevalikoimaan. (Pakkanen, 2015)

Yksi ensimmäisistä tehtävistä BfP:ssä on määrittää laajuus. Laajuus määritetään tutkimalla olemassa olevaa tuotevalikoimaa ja valitsemalla tuotteita, joita tulisi analysoida ja jatkokehittää prosessin avulla. Modulointiprosessiin valittavien tuotteiden vähentäminen tekee prosessista yksinkertaisemman ja helpomman, mutta toisaalta prosessista saadaan sitä suurempi hyöty irti, mitä yhtenäisempi koko tuotevalikoima on. (Pakkanen, 2015)

Kun BfP:n laajuus on määritetty olemassa olevan tuotteen näkökulmasta, voidaan aloittaa tavoitteiden selkeyttäminen. BfP ehdottaa kahta lähestymistapaa suorittaa liiketoimintaympäristön tavoitteiden asettaminen. Ensimmäinen lähestymistapa on Juutin (2008) väitöskirjassa esitetty syy-seurauskaavio vakioinnin ja muuntelun hyödyistä (katso kuva 8). Toinen lähestymistapa on Lehtosen (2007) väitöskirjassa esitetty Company Strategic Landscape (CSL) -viitekehys. (Pakkanen, 2015)

BfP:n ensimmäistä vaihetta voidaan muokata suunnitteluvaatimuksien perusteella. Syy-seurauskaaviota suositellaan käyttämään tavoitteiden varmistamiseksi niissä tilanteissa, joissa yritys, tuotekehitystiimi mukaan lukien, pitää tavoitteita ilmeisinä. Tavoitteiden ilmeisyys tarkoittaa sitä, että yrityksellä on yleinen käsitys hyödyistä, joita tavoitellaan modulaarisilla rakenteilla. Syy-seurauskaaviota voidaan käyttää mahdollisten hyötyjen ja olettamusten vahvistamisessa, sillä se esittää eksplisiittisesti geneerisiä hyötyjä useista näkökulmista. Syy-seurauskaavio voi auttaa tunnistamaan alueet, joissa suurimmat hyödyt voidaan saavuttaa ja siten olla hyödyllinen BfP:n tavoitteiden määrittämisessä. (Pakkanen, 2015)

CSL:ää suositellaan kattavampaan tavoitteiden asettamiseen. Se voi olla hyödyllistä sellaisissa tilanteissa, joissa tuotekehityksen tavoitteet ovat epäselviä. CSL kuvaa tuotteen jäsentämisen näkökulmasta liiketoimintaympäristön pääelementit. Tavoitteena on, että työpajoissa, joissa keskustellaan CSL:n viitekehyksen osa-alueista, käydään läpi moduloinnin vaatimukset. CSL:n avulla liiketoimintaympäristö mallinnetaan prosessin, arvoketjun, strategian ja organisaation näkökulmasta. Näiden näkökulmien yhdessä analysointi voi olla hyödyksi modulaaristen tuotteiden kannalta relevanttien kohteiden löytämiseksi. (Pakkanen, 2015)

BfP:n ensimmäisen vaiheen tavoite on määrittää tavoitteet modulaarisen tuoteperheen kehittämiseen liiketoiminnan näkökulmasta. Ensimmäisen vaiheen tuloksia tarvitsee etenkin se ryhmä, joka hoitaa kehitystyön. Tämä ryhmä tarvitsee tiedon tavoitteista itse

suunnittelun aloittamiseksi. Moduulijärjestelmän viidestä elementistä tämä vaihe edesauttaa jakologiikkaa, sillä tuotevalikoiman jaottelun perusteluita analysoidaan tässä vaiheessa liiketoimintaympäristön näkökulmasta. (Pakkanen, 2015)

4.2 Moduulijärjestelmän geneerinen elementtimalli

Alustava moduulijako tehdään geneerisen elementtimallin avulla. Geneerinen elementti on tuotteen rakenteessa oleva abstrakti elementti. (Pakkanen, 2015) Tämän vaiheen tavoite on määrittää ideat geneerisistä elementeistä, jotka voisivat olla alustavia moduuleja tuoteperheelle. Viidestä moduulijärjestelmän elementistä tämä BfP:n vaihe keskittyy pääasiassa moduulijoukkoon. (Pakkanen et al., 2016)

Geneeristen elementtien määrittäminen alkaa luomalla lista toiminnallisuuksista ja vaatimuksista, joita asiakas toivoo saavuttavansa tuotteella. Seuraavaksi listan kaikkia kohtia mietitään teknisinä yksikköinä. Tässä vaiheessa teknisiä ratkaisuja ei kuitenkaan vielä pohdita, sillä geneeriset elementit ovat abstrakteja. Tämän jälkeen olemassa olevaa tuoterakennetta tarkastellaan käymällä läpi mahdollisuuksia jakaa se siten, että tekniset yksiköt vastaavat aiemmin määritettyjä geneerisiä elementtejä. (Pakkanen et al., 2016)

Joitain geneerisiä elementtejä ei välttämättä aina pystytä realisoimaan teknologian rajoitteiden seurauksena. Tällaisessa tilanteessa geneerinen elementti tulee määritellä uudestaan. Iterointien jälkeen määritelty geneerinen elementtimalli on tuoteperheen modulaarisen rakenteen konsepti, joka kuvaa tuotteen jakotapaa. (Pakkanen et al., 2016)

Geneerisiä elementtejä määriteltäessä niiden välisiä yhtäläisyyksiä tulee harkita. Jos geneeristen elementtien ehdotuksilla on paljon yhtäläisyyksiä, tulisi harkita mahdollisuutta määrittää vain yksi geneerinen elementti. Keskenään paljon yhtäläisyyksiä sisältävien geneeristen elementtien hyväksyminen sisältää riskin siitä, että tuoteperheeseen tulee tarpeetonta muuntelua. (Pakkanen et al., 2016) Tämä vähentää modulaarisella tuoteperheellä saavutettavia hyötyjä. Geneeristen elementtien oikeellisuutta voidaan tarkastella niin sanotulla 100% säännöllä, joka perustuu kysymykseen: Edustaako geneerinen elementtimalli kaikkia BfP:hen valittuja tuotteita, vai onko joillain alueilla puutteita? (Pakkanen, 2015)

4.3 Geneeristen elementtien ja rajapintojen arkkitehtuuri

BfP:n kolmas vaihe sisältää luonnoksen arkkitehtuurista, jossa määritellään geneeriset elementit ja niiden rajapinnat. Tässä vaiheessa keskitytään siihen, missä geneeriset elementit sijaitsevat tuotteessa. Kolmas vaihe on tärkeä, koska arkkitehtuuri havainnollistaa

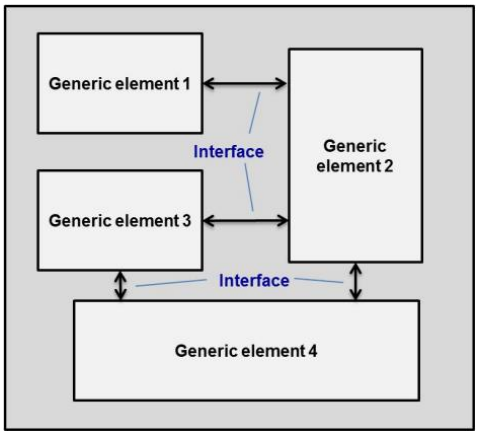
alustavien rajapintojen sijainnit. (Pakkanen, 2015) Ne geneeriset elementit, joilla on keskinäisiä rajapintoja, on tunnistettava, sillä tässä vaiheessa aloitetaan moduulien vakioitujen rajapintojen määrittäminen (Pakkanen et al., 2016).

BfP:n kolmanteen vaiheeseen löytyy useita mahdollisia lähestymistapoja, joita voidaan käyttää kuvaamaan alustavaa arkkitehtuuria geneerisillä elementeillä ja niiden rajapinnoilla. Yhteydet geneeristen elementtien välillä on selvennettävä. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää matriisityökaluja, kuten Design Structure Matrixia (DSM). Näiden matriisityökalujen avulla geneeristen elementtien välisiä riippuvuuksia voidaan analysoida rajapintojen näkökulmasta. (Pakkanen, 2015) Kuvassa 21 on esitetty esimerkki rajapintojen tunnistamiseen käytettävästä DSM-työkalusta.

DSM for interface recognition	Generic element 1	Generic element 2	Generic element 3	Generic element 4	Generic element 5
Generic element 1					
Generic element 2	x				
Generic element 3	x	x			
Generic element 4		x			
Generic element 5			x		

Kuva 21 *Rajapintojen tunnistamiseen käytettävä DSM-matriisi (Pakkanen, 2015)*

Vaikka olemassa olevista tuotteista voi löytyä piirustuksia, todennäköisesti tässä vaiheessa ei vielä ole saatavilla tarkkaa mallia lopullisesta tuoteperheen rakenteesta. Tästä syystä CAD työkalut voivat olla tässä vaiheessa liian raskaita tuoteperheen arkkitehtuurin visuallisointiin. Geneeriset elementit ovat abstrakteja, ja tästä syystä perinteisempiä alalla käytettäviä toimisto-ohjelmistoja voidaan käyttää matriisityökalujen tilalla tai niiden lisäksi. (Pakkanen, 2015) Kuvassa 22 on esitetty esimerkki arkkitehtuurin kuvauksesta.



Kuva 22 *Esimerkki arkkitehtuurin kuvauksesta (Pakkanen, 2015)*

Kolmannessa vaiheessa tarvitaan tietoa geneerisistä elementeistä ja niiden käytännön toteutuksista. Tämä vaihe toimii rajapintojen suunnittelun ensimmäisenä vaiheena ja saatua tietoa tarvitaan myöhemmin BfP:n seitsemännessä vaiheessa. Moduulijärjestelmän viidestä pääelementistä tämä vaihe käsittelee arkkitehtuuria, moduulijoukkoa sekä rajapintoja. (Pakkanen, 2015)

4.4 Tavoitteiden asettaminen asiakasympäristön perusteella

BfP:n neljäs vaihe keskittyy muuntelun tarpeiden analysointiin asiakkaan näkökulmasta (Pakkanen, 2015). Kun yritys haluaa muuttaa toimintatapaansa projektikohtaisista ratkaisuista konfiguroitaviin projektitoimituksiin valmiiksi määritetyillä modulaarisilla ratkaisuilla, on asiakasympäristön analysointi tärkeässä roolissa. Konfigurointitietoa määritettäessä tarvitaan muodollisia asiakasvaatimuksia, jotka määrittävät, millainen tuote toimitetaan tietyt vaatimukset omaavalle asiakkaalle. (Pakkanen et al., 2016) Kaikkia asiakasvaatimuksia ei aina pystytä kuvaamaan muodollisesti, jolloin asiakasvaatimukseen liittyvä osa voidaan jättää systemaattisen konfiguroinnin ulkopuolelle. Systemaattisen konfiguroinnin ulkopuolelle jätetty osa on osittain konfiguroitava. (Pakkanen, 2015)

BfP suosittelee käyttämään Gripen-menetelmää asiakastarpeiden varmistamiseksi. Gripen-menetelmän mukaan pätevien asiakasvaatimusten määrittelyn lähtökohta on ymmärtää asiakkaan prosessi, kun he käyttävät yrityksen tuotetta. Asiakkaan näkökulmasta vaatimuksia määritettäessä on tarkoitus keskittyä muuntelukysymyksiin. (Pakkanen, 2015) Pakkasen (2015) mukaan vastaukset alla esitettyihin neljään kysymykseen helpottavat muuntelutarpeiden löytämistä:

- Millaisia prosesseja tunnistetaan, joissa asiakas käyttää yrityksen tuotteita?
- Millaisia geneerisiä prosessin vaiheita ja jaotteluita tunnistetaan tavasta, jolla asiakas käyttää tuotteita?
- Millaisia vaihtoehtoisia parametrejä tai vaihtoehtoja, joilla on vaikutusta tuotteen määrittelyyn, liittyy eri prosessin vaiheisiin?
- Onko mitään muita tekijöitä tai suositeltavia toimintatapoja havaittavissa, jotka luovat tarvetta eri tuotteille tai tuotevaihtoehdoille?

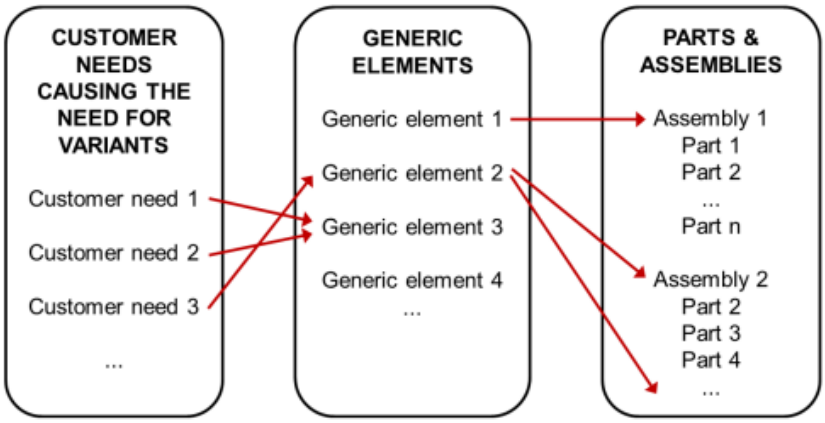
BfP:n neljäs vaihe keskittyy asiakasympäristöstä tulevien muuntelutarpeiden analysointiin. Analyysissä voidaan hyödyntää yllä esitettyjä kysymyksiä. Tässä vaiheessa pyritään selvittämään konteksti, jossa asiakas käyttää tuotetta ja löytämään asiakkaiden prosessista tarpeita mahdollisille optioille. Asiakkailta saatavaa tietoa tarvitaan tähän vaiheeseen, joten oletuksena on se, että yrityksellä on olemassa oleva tuote sekä asiakkaita,

jotka ovat ostaneet kyseisen tuotteen. Neljännen vaiheen tuotos on kuvaus asiakaskontekstista sekä siihen liittyvistä työskentelytavoista ja optioista. Moduulijärjestelmän viidestä elementistä neljännen vaiheen tuotos edistää jakologiikkaa. (Pakkanen, 2015)

4.5 Alustava tuoteperhemääritelmä

Viidennessä vaiheessa jatketaan tuoteperheen perusteiden määrittelyä ja analysoidaan geneerisiin elementteihin liittyvien osien ja kokoonpanojen vakioinnin mahdollisuuksia (Pakkanen, 2015). Vaiheen tavoitteena on luoda alustava kuvaus tuoteperheestä hyödyntämällä ohjaavana viitekehyksenä PFMP:tä (Pakkanen et al., 2016).

Tuoteperhemääritelmää tehdessä on kolme tärkeää näkökulmaa, jotka ovat asiakkaan näkökulma, suunnittelun näkökulma ja osan näkökulma (Harlou, 2006, Pakkanen, 2015 mukaan). Tässä BfP:n vaiheessa PFMP:n muunnellussa versiossa asiakkaan näkökulma sisältää sellaiset asiakastarveryhmät, jotka aiheuttavat muuntelutarvetta tuotteille ja suunnittelun näkökulma keskittyy geneerisiin elementteihin (Pakkanen, 2015). Kuvassa 23 on esitetty esimerkki muunnellusta PFMP:stä.



Kuva 23 *Geneerinen esimerkki Harloun (2006) esittämästä PFMP:stä (Pakkanen, 2015)*

Tämän vaiheen suorittamiseen tarvitaan ymmärrystä asiakkaan kontekstista sekä osista ja kokoonpanoista. BfP:n neljännessä vaiheessa tutkittiin asiakasympäristöstä tulevia ajureita muuntelulle. Tässä BfP:n vaiheessa listataan kuvassa 23 esitetyn pohjan vasempaan laitaan asiakastarpeita tai -vaatimuksia, jotka mahdollisesti aiheuttavat tarvetta tuotevarianteille asiakkaan näkökulmasta. Tämän jälkeen keskelle listataan geneeriset elementit, joita käytiin läpi BfP:n toisessa vaiheessa. Geneerisiin elementteihin liittyvät osat ja kokoonpanot listataan oikeaan laitaan, jonka jälkeen eri näkökulmien välisiä yhteyksiä analysoidaan. Tämän vaiheen yhteydet ovat ”kyllä” ja ”ei” -tyylisiä. (Pakkanen, 2015)

Asiakastarpeiden ja geneeristen elementtien välisiä yhteyksiä analysoidessa tavoitteena on varmistaa, että jokaista asiakastarvetta kohti on vähintään yksi geneerinen elementti. Analyysissä käydään läpi jokaista muuntelutarvetta vastaava tunnistettu asiakastarve ja yhdistetään nämä asiakastarpeet jokaiseen geneeriseen elementtiin, johon sillä on yhteys. Geneeriset elementit, joilla ei ole yhteyttä muunteluun liittyviin asiakastarpeisiin, voidaan mahdollisesti vakioida. Geneeriset elementit, joihin liittyy useita asiakastarpeita, ovat haastavia moduloinnin näkökulmasta. (Pakkanen, 2015)

Geneeristen elementtien sekä osien ja kokoonpanojen välisiä yhteyksiä analysoidessa tavoitteena on nostattaa keskustelua osavalikoiman laajuudesta ja osien ja kokoonpanojen vakioinnin mahdollisuuksista. Jokaiseen geneeriseen elementtiin yhdistyvät osat ja kokoonpanot tulee siis määrittää. Jokaisen muunneltavan osan tai moduulin muuntelutarve tulisi pystyä perustelemaan niihin liittyvällä asiakastarpeilla. Tämä ei kuitenkaan aina pidä paikkaansa, sillä myös yrityksen liiketoimintaympäristö saattaa aiheuttaa muuntelutarvetta. (Pakkanen, 2015)

BfP:n viides vaihe korostaa mahdollisuuksia lisätä yhtenäisyyttä olemassa oleviin tuotteisiin ja huomioi tarvittavien varianttien määrän, joilla pystytään vastaamaan muuntelutarpeita aiheuttaviin asiakastarpeisiin. Viidennen vaiheen tuotos esittää tuoteperhemääritelmän alustavan rakenteen sisältäen yhteydet asiakastarpeiden, geneeristen elementtien sekä osien ja kokoonpanojen välillä. Tämä BfP:n vaihe tuottaa tietoa moduulijärjestelmän viidestä elementistä jakologiikkaan, moduulijoukkoon ja konfigurointitietoon. (Pakkanen, 2015)

4.6 Geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden välinen konfigurointitieto

BfP:n kuudennessa vaiheessa keskitytään alustavaan konfigurointitietoon. Konfigurointitieto koostuu tässä vaiheessa geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden välisistä yhteyksistä, jotka aiheuttavat muuntelutarvetta. Tämä vaihe helpottaa seuraavassa vaiheessa tehtävää moduulien suunnittelua, sekä lopullisen konfigurointitiedon luomista vaiheessa 8. (Pakkanen, 2015) BfP:n vaiheissa 6 ja 8 konfigurointitietoa määritellään systemaattisemmin kuin edellisessä vaiheessa (Pakkanen et al., 2016).

Pakkasen (2015) mukaan konfigurointitiedon määrittämiselle on useita perusteluja. Konfigurointitiedon pääasiallinen tarkoitus on tukea myyntiä ja kuvata, mitkä moduulit valitaan vastaamaan tiettyihin asiakastarpeisiin (Pakkanen et al., 2016). Konfigurointitiedon selkeä esittäminen voi myös tulevaisuudessa olla hyödyllistä, kun tuoteperheeseen suunnitellaan muutoksia tai jopa uusia tuotteita (Pakkanen, 2015).

Pakkanen (2015) suosittelee kuudennen vaiheen työkaluksi muokattua K-matriisia. Alkuperäinen K-matriisi on osa luvussa 3.6.2 esitettyä K- & V-matriisi -työkalua. BfP:n ehdottamassa muokatussa K-matriisissa teknisen näkökulman ja asiakasnäkökulman välillä voi olla ainakin neljää erilaista yhteyttä. Nämä neljä yhteyttä ovat seuraavat:

- Asiakastarve vaatii geneerisen elementin.
- Asiakastarve poissulkee geneerisen elementin.
- Asiakastarve saattaa vaikuttaa geneeriseen elementtiin.
- Asiakastarve ei vaikuta geneeriseen elementtiin. (Pakkanen, 2015)

Kun tekninen näkökulma on myöhemmissä vaiheissa määritelty tarkemmin, muunneltua K-matriisia käytetään lopullisen konfigurointitiedon esittämisessä. Esimerkkimatriisi sisältää sellaisia alueita, joita ei vielä tässä BfP:n vaiheessa tarvitse huomioida, sillä konfigurointitietoa käsitellään yleisemmällä tasolla. (Pakkanen, 2015) Esimerkki muokatusta K-matriisista on esitetty kuvassa 24.

Modified K-Matrix (configuration knowledge matrix)

(*1*) Customer need requires generic element
(*2*) Customer need excludes generic element
(*3*) Customer need might affect generic element
(empty cell) Customer need does not affect generic element

GENERIC ELEMENTS	CONTENT AND TYPE OF GENERIC ELEMENTS	CUSTOMER NEEDS	Customer need group 1	Customer need 1.1	Customer need 1.2	Customer need 1.3	Customer need group 2	Customer need 2.1	Customer need 2.2	Customer need group 3	Customer need 3.1	Customer need 3.2	Customer need 3.3	Customer need 3.4	Customer need 3.5	Customer need group 4	...
Generic element 1																	
Generic element 2										*1*							
Generic element 3			*1*				*1*										
Generic element 4							*1*										

Kuva 24 *Esimerkki muokatusta K-matriisista (Pakkanen, 2015)*

Matriisin riveille listataan geneeriset elementit ja sarakkeille listataan asiakastarpeet. Tämän jälkeen rivien ja sarakkeiden risteyskohtiin merkitään geneerisen elementin ja asiakastarpeen välinen yhteys yllä määritetyn neljän yhteystyypin perusteella. (Pakkanen, 2015)

Kuudennen vaiheen tuotos selittää, mikä geneerinen elementti on yhteensopiva minkäkin asiakastarpeen kanssa. Tämän vaiheen tuotosta tarvitaan BfP:n vaiheissa 7 ja 8, joissa määritellään moduulit ja rajapinnat sekä lopullinen konfigurointitieto. BfP:n kuudes vaihe edistää moduulijärjestelmän viidestä elementistä konfigurointitietoa. (Pakkanen, 2015)

4.7 Moduulien ja rajapintojen modulaarinen arkkitehtuuri

Modulaarinen arkkitehtuuri on tärkeä elementti moduloinnissa, sillä se mahdollistaa konfiguroinnin suurimmat hyödyt. BfP:n seitsemäs vaihe keskittyy moduulien ja rajapintojen määrittämiseen ja modulaarisen tuoteperheen rakenteen tarkempaan määrittelyyn. Geneeristen elementtien tyypit tulee selventää, jotta moduulit voidaan määrittää tarkemmin. Tässä vaiheessa arkkitehtuurista tulee siis tunnistaa vakioitavat, konfiguroitavat, osittain konfiguroitavat, sekä ainutlaatuiset elementit. (Pakkanen, 2015)

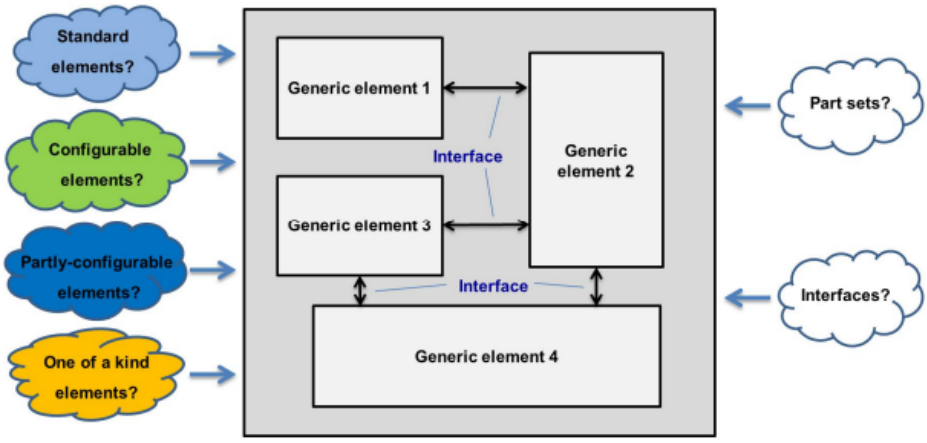
Yksityiskohtaisemman arkkitehtuurin suunnittelun alkupisteenä BfP ehdottaa tunnistamaan eri elementtityypit BfP:n kolmannessa vaiheessa käsitellystä geneerisestä arkkitehtuurista. BfP:n mukaan vakioitu elementti on jokaisessa tuoteperheen variantissa aina sama. Jos asiakasnäkökulmasta geneeriseen elementtiin ei kohdistu tarvetta variaatioille ja elementti voidaan toteuttaa yhdellä ratkaisulla, kyseessä on vakioitu elementti. Konfiguroidut elementit sisältävät vakioituja varianttioptioita. Kun variaation tarvetta ei pysty toteuttamaan vain yhdellä vakioidulla ratkaisulla, tulisi harkita vaihtokelpoisten moduulien joukkoa, jotka ovat vakioitu yrityksen ja tuoteperheen sisällä. Näitä kutsutaan konfiguroiduiksi elementeiksi. Jos jollekin tuoteperheen osa-alueelle ei pystytä määrittämään vakioituja tai konfiguroitavia elementtejä, uniikit elementit voivat toimia kompromissina. Geneerinen elementti tulee jakaa osiin tai vaihtaa geneeristen elementtien jakotapaa, jos geneeristä elementtiä ei pysty määrittämään kohtuullisella määrällä vakioituja moduuleja. Tämä voi johtaa osittain konfiguroitaviin elementteihin, jotka voivat sisältää ainutlaatuisia elementtejä. (Pakkanen, 2015)

Ainutlaatuiset elementit ovat kompromisseja ja niiden käyttöä tulisi pyrkiä välttämään moduloinnissa, sillä ne eivät tue suunnittelun uudelleenkäyttöä. Alhaisen myyntipotentiaalin omaaville liiketoiminta-alueille ei kuitenkaan aina ole kannattavaa suunnitella uudelleenkäytettäviä ja vaihtokelpoisia moduuleita. Tämä pätee sellaisissa tilanteissa, joissa uudelleenkäytettävien elementtien suunnittelu on monimutkaisempaa kuin ainutlaatuisten elementtien erikseen suunnittelu harvinaisille tapauksille. (Pakkanen, 2015)

Kuvassa 25 on kuvattu geneeristen elementtien jakamista eri elementtityyppeihin. Pakkanen et al., (2016) mukaan tässä BfP:n vaiheessa pyritään määrittämään geneeristen elementtien sisältö tarkemmin. Tässä määrittämisessä keskitytään seuraaviin aiheisiin:

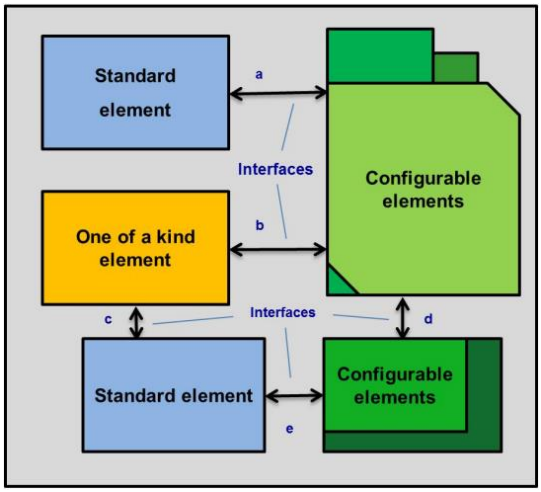
- Tuoteperheen vakioidun osuuden määrittäminen.
- Tuoteperheen muunneltavan osuuden määrittäminen.
- Osasarjojen määrittäminen geneerisille elementeille.
- Modulaarisen tuoteperheen kokonaisarkkitehtuurin selkeyttäminen.

- Rajapintojen määrittely. (Pakkanen et al., 2016)



Kuva 25 *Geneeristen elementtien ja niiden rajapintojen tarkempaa määrittelyä (Pakkanen, 2015)*

BfP:n ainoa tavoite ei ole vain löytää sopivia ratkaisuja jokaista muuntelutarvetta vastaaville osasarjoille, vaan myös ottaa huomioon modulaarisen tuoteperheen arkkitehtuuri. Kun tuoteperheelle suunnitellaan modulaarista arkkitehtuuria, vakioidut rajapinnat ovat keskeisessä roolissa. Vakioidut rajapinnat mahdollistavat vaihdettavuuden ja riippumattomuuden. Tuotteen tai tuoteperheen arkkitehtuurin hahmottelu helpottaa näiden tärkeiden rajapintojen löytämisessä. (Pakkanen, 2015) Kuvassa 26 on esimerkki siitä, kuinka tuoteperheen arkkitehtuuri voi muuttua suunnittelun edetessä.



Kuva 26 *Esimerkki tuoteperheen arkkitehtuurin kuvauksesta, kun geneeristen elementtien tyypit ja niiden rajapinnat ovat määritelty tarkemmin. (Pakkanen, 2015)*

BfP:n seitsemäs vaihe keskittyy siis tuoteperheen modulaarisen arkkitehtuurin määrittämiseen. Arkkitehtuuri määrittelee, millaisia elementtejä ja rajapintoja tuoteperhe sisältää. Tämän vaiheen tuotoksia tarvitaan tuoteperhedokumentaation luomiseen, sekä lopullisen konfigurointitiedon määrittämiseen, joka on oleellista, jotta tuotevariantit pystytään

määrittämään tehokkaasti asiakastarpeiden pohjalta. BfP:n seitsemäs vaihe keskittyy moduulijärjestelmän viidestä elementistä arkkitehtuuriin, moduulijoukkoon ja rajapintoihin. (Pakkanen, 2015)

4.8 Moduulivarianttien ja asiakastarpeiden välinen konfigurointitieto

BfP:n kahdeksas vaihe sisältää konfigurointitiedon määrittämistä, kuten kuudeskin vaihe. Erona vaiheiden välillä on kuitenkin se, että kuudennessa vaiheessa konfigurointitieto määritettiin geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden välille, kun taas kahdeksannessa vaiheessa konfigurointitieto määritetään käyttämällä geneeristen elementtien sijasta niiden todellisia ratkaisuja. Tämän vaiheen tuotos esittää selvästi sen, mitkä tekniset ratkaisut ja asiakastarpeet vastaavat toisiaan. Konfigurointitieto, joka sisältää lopulliset ratkaisut, helpottaa varianttien määrittelyä myöhemmin tilaus-toimitusprosessissa. (Pakkanen, 2015)

Pakkasen (2015) suosittelema työkalu tähän vaiheeseen on sama, kuin BfP:n kuudennessa vaiheessa, eli muokattu K-matriisi. Tässä vaiheessa muokattuun K-matriisiin lisätään geneeristen elementtien ratkaisut ja tyypit, sekä niiden yhteys asiakastarpeisiin. (Pakkanen, 2015) Kuvassa 27 on esitetty esimerkki tässä vaiheessa käytettävästä konfigurointimatriisista.

Modified K-Matrix (configuration knowledge matrix)

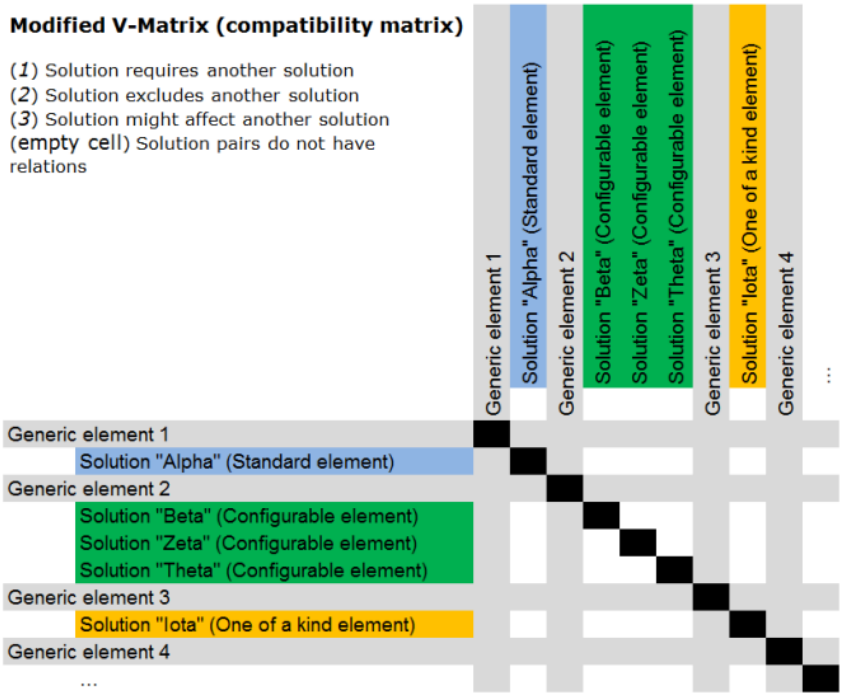
(*1*) Customer need requires generic element / solution
(*2*) Customer need excludes generic element / solution
(*3*) Customer need might affect generic element / solution
(empty cell) Customer need does not affect generic element / solution

GENERIC ELEMENTS	CONTENT AND TYPE OF GENERIC ELEMENTS	CUSTOMER NEEDS	Customer need group 1	Customer need 1.1	Customer need 1.2	Customer need 1.3	Customer need group 2	Customer need 2.1	Customer need 2.2	Customer need group 3	Customer need 3.1	Customer need 3.2	Customer need 3.3	Customer need 3.4	Customer need 3.5	Customer need group 4	...
Generic element 1																	
	Solution "Alpha" (Standard element)																
Generic element 2										1							
	Solution "Beta" (Configurable element)										1	1		1			
	Solution "Zeta" (Configurable element)												1				
	Solution "Theta" (Configurable element)														1		
Generic element 3			1				1										
	Solution "Iota" (One of a kind element)			1	1	1		1	1								
Generic element 4							1										
	...																

Kuva 27 *Lopullinen konfigurointitieto modulaarisesta tuoteperheestä esitettynä muokatussa K-matriisissa (Pakkanen, 2015)*

Tässä vaiheessa voidaan myös visualisoida geneeristen elementtien ja niiden ratkaisujen yhteensopivuutta. Myös tähän on olemassa matriisityökaluja, kuten luvussa 3.6.2 esitetty V-matriisi. Konfiguraattoria luodessa on oltava tieto yhteensopivista asiakastarpeista. Tämä tarkoittaa sitä, että tietyn option valitseminen saattaa rajata toisen option

pois, jolloin hyvin luotu konfiguraattori mahdollistaa vain yhteensopivien optioiden valinnan. (Pakkanen, 2015) Esimerkki muokatusta V-matriisista on esitetty kuvassa 28.



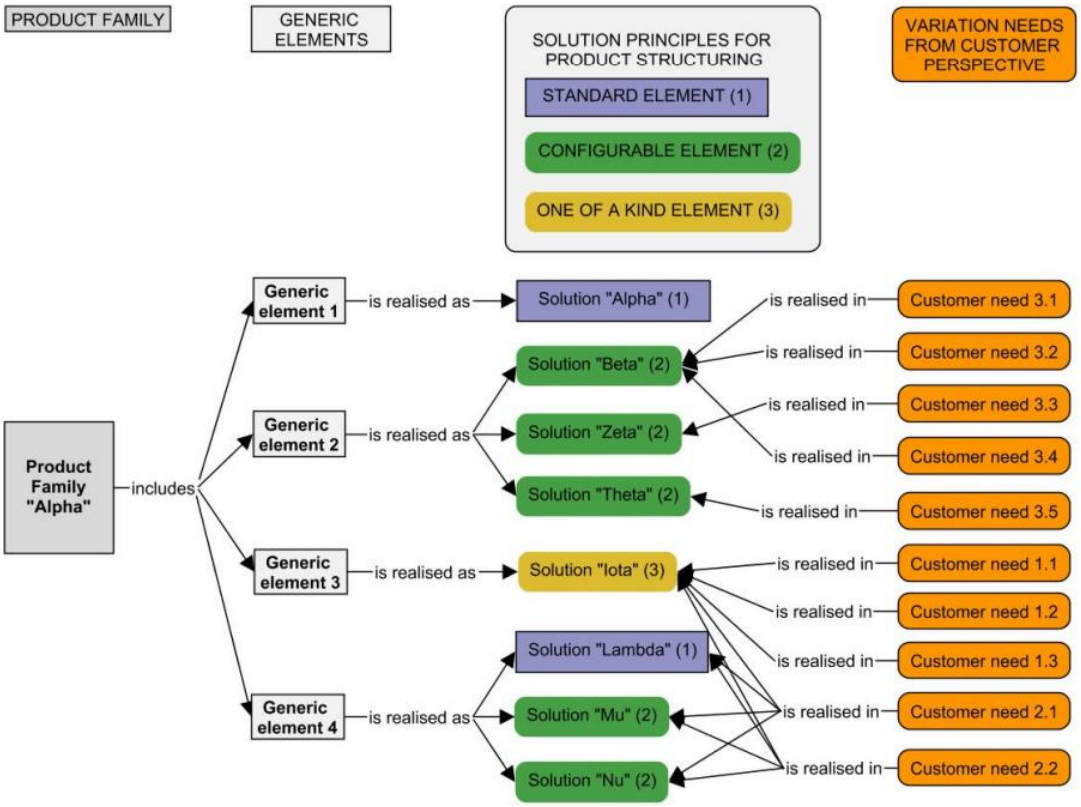
Kuva 28 *Esimerkki geneeristen elementtien ja niiden ratkaisujen yhteensopivuusmatriisista (Pakkanen, 2015)*

Kahdeksas vaihe havainnollistaa yhteensopivia ratkaisuja ja asiakastarpeita. Jos tässä vaiheessa huomataan, että määritellyt asiakastarpeet eivät kata yritykselle tärkeitä markkinoita, voidaan tarvita iteroivia kierroksia modulaarisen tuoteperheen arkkitehtuurin suunnittelussa ja tarvittaessa palata BfP:n aikaisempiin vaiheisiin. (Pakkanen, 2015) Moduulijärjestelmän viidestä elementistä BfP:n kahdeksas vaihe edistää konfigurointitietoa.

4.9 Tuoteperhedokumentaatio

Konfiguroitavan modulaarisen tuoteperheen perusrakenne on määritetty BfP:n aikaisemmissa vaiheissa. BfP suosittelee dokumentoimaan jokaisessa vaiheessa kyseisen vaiheen päätulokset. Tämän lisäksi BfP:n yhdeksännessä vaiheessa luodaan erillinen dokumentaatio, jossa käsitellään tuoteperheen dokumentaatiota suunnittelun päättelyketjun näkökulmasta. Tällä dokumentaatiolla pyritään kuvaamaan tuoteperheen sisältöä ja kertomaan, mihin asiakastarpeisiin mikäkin elementti ja ratkaisu vastaa. (Pakkanen, 2015)

Tämän vaiheen dokumentointiin suositellaan Product Structuring Blue Print (PSBP) -kaaviota. PSBP:lla pyritään esittämään tuoteperheen jakologiikkaa ja suunnittelun päättelyketjua. (Pakkanen, 2015) Kuvassa 29 on esitetty PSBP:n geneerinen esimerkki.



Kuva 29 *PSBP:n geneerinen esimerkki, jolla kuvataan päättelyketjua visuaalisesti (Pakkanen, 2015)*

Kaavion vasen reuna kertoo, minkä tuoteperheen dokumentaatiosta on kyse. Oikealle päin siirryttäessä seuraavana kaaviossa tulee tuoteperheen geneeriset elementit. Geneeristen elementtien jälkeen kuvataan ratkaisuperiaatteet, joilla geneeriset elementit toteutetaan. Geneeristen elementtien toteutukset voivat sisältää useita erilaisia ratkaisuperiaatteita. Esimerkkikuvan tuoteperhe sisältää vakioituja elementtejä, konfiguroitavia elementtejä ja ainutlaatuisia elementtejä. Esimerkkikuvan tuoteperhettä voidaan siis kuvailla osittain konfiguroitavaksi. Kaavion oikeassa reunassa on asiakastarpeista tulevat muuntelutarpeet, jotka ovat yhdistetty niihin geneeristen elementtien ratkaisuihin, jotka toteuttavat kyseisen muuntelutarpeen. (Pakkanen, 2015)

PSBP:n dokumentointi voi olla avuksi suunnittelutyössä ja suunnittelun uudelleenkäytön lisäämisessä, sillä se havainnollistaa visuaalisesti tuoteperheen sisällön perustelut. Jos tuoteperheeseen tehdään muutoksia esimerkiksi muuttuneiden muuntelutarpeiden tai teknologian kehityksen seurauksena, dokumentointi on tärkeässä roolissa. (Pakkanen, 2015) Moduulijärjestelmän viidestä elementistä BfP:n yhdeksäs vaihe tuottaa tietoa jakologiikkaan.

5. PROMECO GROUP OY

Promeco Group Oy valmistaa sähkömekaanisia järjestelmiä ja palveluita useille eri toimialoille. Toimialoja, joihin Promeco Group Oy toimittaa ratkaisujaan, ovat meri- ja offshoreteollisuus, raideliikenneteollisuus, voimalaitokset, sekä valmistava teollisuus. Yritys valmistaa asiakkailleen sekä sähkö-, että mekaniikkaratkaisuita. Yrityksellä on viisi tuotantoyksikköä, joista kolme sijaitsee Suomessa ja kaksi Puolassa. Yrityksen arvoihin kuuluvat asiakaskeskeisyys, vastuullisuus, jatkuva parantaminen sekä luottamus ja avoimuus. (Promeco Group Oy, 2025)

Tässä tutkimuksessa käsiteltävät päätaulut kuuluvat meriteollisuuden alaan. Päätaulut ovat osana laivojen sähköverkkoa ja niiden tarkoitus on jakaa yhdestä tai useammasta lähteestä tulevaa sähköä eteenpäin pienempiin kuormituspiireihin. Päätaulujen tärkein tehtävä liittyy sähkön jakamiseen laivojen sähköverkossa. Tutkimuksen toimeksiantoyritys valmistaa päätaulujen mekaanisen rakenteen, johon sähkönjakeluun liittyvät komponentit asennetaan. Tässä tutkimuksessa keskitytään päätaulujen mekaaniseen rakenteeseen.

5.1 Päätaulujen mekaniikkasuunnittelun nykytilanne

Toimeksiantoyrityksessä asiakkaalle toimitettavat kokonaisuudet toimitetaan projektiluontoisesti. Tämä on yrityksessä suunnittelun kannalta tarkoittanut sitä, että päätaulut suunnitellaan jokaisessa tilauksessa uudestaan vastaamaan asiakkaan tarpeita. Tällä toimintatavalla pystytään vastaamaan tarkasti asiakkaan tarpeisiin, mutta se kuormittaa yrityksen suunnitteluresursseja ja vaikeuttaa esimerkiksi myyntivaiheessa tuotteen hinnoittelua, kun valmiita ratkaisuja ei pystytä hyödyntämään.

Usein asiakkaiden tarpeet ja vaatimukset ovat lähellä toisiaan päätaulun mekaanisen rakenteen osalta, joka mahdollistaa sen, että samoja ratkaisuja pystytään hyödyntämään useissa eri projekteissa. Aiempien projektien ratkaisujen hyödyntämistä on kuitenkin osittain rajoittanut paikoitellen vajanainen dokumentointi. Yrityksessä suunnittelun uudelleenkäyttöasteen voidaan sanoa olevan alhaisella tasolla, sillä aiempien projektien ratkaisuja ei hyödynnetä tehokkaasti.

5.2 Yrityksen tavoitteet tutkimukselle

Toimeksiantoyrityksen tavoite tutkimukselle on vähentää päätaulujen asiakaskohtaista suunnittelua, jolloin yrityksen mekaniikkasuunnitteluresursseja pystytään hyödyntämään

muualla. Tämä on mahdollista vakioimalla päätaulujen mekaaninen rakenne siten, että vakioiduilla ratkaisuilla pystytään vastaamaan yleisimpiin asiakasvaatimuksiin. Tällöin suunnittelun uudelleenkäyttöastetta pystytään nostamaan ja asiakaskohtainen mekaniikkasuunnittelu vähenee. Vakioidulla rakenteella päätaulujen kasaamisen vaiheet pystytään vakioimaan, jolloin päätaulujen kasaamisessa pystyään hyödyntämään myös kokemattomampia työntekijöitä ilman pitkiä perehdytysjaksoja. Vakioitu rakenne helpottaa myyjien työtä, sillä he pystyvät jo tarjousvaiheessa hinnoittelemaan toimitettavan kokonaisuuden tarkemmin.

Tutkimuksen onnistumista on haastava mitata yrityksen säästöinä tai vähentyneinä suunnittelutunteina, sillä jatkossakin tiettyihin asiakastarpeisiin tarvitaan asiakaskohtaista suunnittelua. Päätaulujen mekaniikkasuunnittelun lisäksi suunnitteluaikaa kuluu sähkösuunnitteluun, joka ei kuulu tämän tutkimuksen aihepiiriin. Mekaniikkasuunnittelussa saavutettavan säästön lisäksi tämä työ tuottaa yritykselle arvokasta tietoa ja kokemusta olemassa olevan tuotteen viemisestä kohti modulaarisempaa tuoteperhettä. Yrityksellä onkin pyrkimys viedä tulevaisuudessa modulaarista ajattelua myös päätaulujen sähköpuolelle.

6. TAPAUSTUTKIMUS

Tapaustutkimuksen kohteena on olemassa olevan päätaulun mekaanisen rakenteen uudelleensuunnittelu vakioidumpaan suuntaan. Tapaustutkimus suoritetaan soveltamalla kirjallisuuskatsauksessa läpi käytyä Jarkko Pakkasen (2015) väitöskirjassaan esittämää Brownfield Process:ia. Koska tämä tapaustutkimus rajautuu päätaulujen mekaaniseen rakenteeseen, jatkossa päätaulujen rakenteesta tai päätauluista puhuttaessa viitataan nimenomaan päätaulujen mekaaniseen puoleen. Tämä luku käsittelee BfP:n soveltamista ja sen vaiheiden raportoimista tapaustutkimuksen kohteen tapauksessa.

Tässä tutkimuksessa BfP:n kymmenennen vaiheen suorittamista ei katsota tarpeelliseksi. Päätaulun mekaaninen rakenne on vain pieni osa asiakkaalle toimitettavasta tilauksesta ja siten muodostaa vain pienen osan toimitettavan tuotteen hinnasta, joten tutkimuksella saavutettavat taloudelliset hyödyt eivät ole merkittäviä. Lisäksi tutkimukseen käytettävissä oleva aika rajaa BfP:n kymmenennen vaiheen ulos, sillä tämä ajanjakso ei ole riittävän pitkä tuotteen elinkaaren myöhempien vaiheiden tarkasteluun.

Kuvassa 20 BfP:n vaiheet ovat esitetty lineaarisessa järjestyksessä. Pakkanen (2015) kuitenkin esittää väitöskirjassaan vaihtoehtoisia järjestyksiä prosessin vaiheiden läpikäymiseen. Prosessin ensimmäisen ja neljännen vaiheen toteuttamiseen ei tarvita muiden BfP:n vaiheiden tuottamaa tietoa. Nämä kaksi vaihetta pystytään suorittamaan prosessin ulkopuolisen tiedon avulla. Tästä syystä tapaustutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa käydään BfP:n vaiheet 1 ja 4. BfP:n jäljelle jäävät prosessin vaiheet suoritetaan lineaarisessa järjestyksessä. Tämä on Pakkasen (2015) väitöskirjassa esitetty vaihtoehtoinen suoritusjärjestys ”a”.

Vaihe	Sisältö
Tavoitteet ja vaatimukset	BfP:n vaihe 1 BfP:n vaihe 4
Alustava suunnittelu	BfP:n vaihe 2 BfP:n vaihe 3
Konseptisuunnittelu	BfP:n vaihe 5 BfP:n vaihe 6
Tarkempi suunnittelu	BfP:n vaihe 7 BfP:n vaihe 8
Dokumentointi	BfP:n vaihe 9

Kuva 30 *Tämän tapaustutkimuksen viisi vaihetta ja näiden vaiheiden sisältö*

Yllä olevassa kuvassa 30 on esitetty tapaustutkimuksen viisi eri vaihetta sekä niiden sisältö. Tapaustutkimuksen sisällöstä ilmenee tutkimuksessa käytettävät BfP:n vaiheet sekä se järjestys, jossa BfP:n vaiheet suoritetaan. Vaikka vaiheiden suorittaminen on taulukossa esitetty tietyssä järjestyksessä, saattaa silti prosessin aikana ilmetä tarvetta iteraatiolle.

6.1 Tavoitteet ja vaatimukset

Tässä luvussa käydään läpi BfP:n ensimmäinen ja neljäs vaihe. Kehitysprojektissa määritellään ensimmäisenä sen tavoitteet. Yrityksen tavoitteet työlle on käyty läpi aiemmin luvussa 5.2. BfP:n ensimmäisen vaiheen tavoite on määrittää modulaarisen tuoteperheen kehittämiselle tavoitteet liiketoiminnan näkökulmasta. Nämä BfP:n ensimmäisessä vaiheessa määriteltävät tavoitteet tukevat yrityksen asettamien tavoitteiden saavuttamista.

Luvussa 4.1 käsiteltiin BfP:n ensimmäistä vaihetta. BfP ehdottaa tavoitteiden määrittämiselle kahta lähestymistapaa, jotka ovat syy-seurauskaavio ja CSL. Tämän tutkimuksen tapauksessa suositeltava lähestymistapa on syy-seurauskaavio, sillä yrityksessä työn tavoitteet ovat ilmeiset. Yrityksessä on yleinen käsitys modulaarisella tuoterakenteella saavutettavista hyödyistä. Työn hyödyt ja olettamukset vahvistetaan analysoimalla syy-seurauskaaviota (katso kuva 8). Liiketoimintaympäristön näkökulmasta päätaulujen mekaanisen rakenteen vakioinnin tavoitteet ovat seuraavat:

- Vakioitu tuoterakenne ja ratkaisut päätaulujen mekaaniselle rakenteelle.
- Päätaulun mekaanisten osien asentamisprosessin helpottaminen.
- Myyntiprosessin helpottaminen konfigurointitiedon avulla.

Kun päätaulujen tuoteperheen mekaaninen rakenne vakioidaan vastaamaan yleisimpiin asiakasvaatimuksiin, se vähentää tilauskohtaista mekaniikkasuunnittelun tarvetta. Optimaalisessa tilanteessa myyntiprosessin aikana pystytään konfigurointitietoa hyödyntämällä määrittämään päätauluun tulevien mekaanisten komponenttien nimikkeet. Vakioidulle rakenteelle pystytään luomaan vakioidut asennusohjeet, joiden avulla päätaulu osataan rakentaa tuotevariantista riippumatta.

Jotta päätaulujen tuoteperheen rakenne saadaan muutettua projektikohtaisista ratkaisuista konfiguroitaviin tai osittain konfiguroitaviin projektitoimituksiin valmiiksi määritellyillä ratkaisuilla, tulee asiakasympäristöä analysoida tarkasti. Asiakasympäristöstä tulevat muuntelua aiheuttavat tarpeet ovat tärkeää tunnistaa. BfP:n suosittelema menetelmä

sen neljännessä vaiheessa on Gripen-menetelmä. Menetelmä perustuu luvussa 4.4 esitettyihin neljään kysymykseen, joiden vastaukset helpottavat muuntelutarpeiden löytämistä. Gripen-menetelmän soveltaminen toimitettavan tuotteen osakokonaisuuteen on haastavaa tämän tutkimuksen rajoissa. Suositellun menetelmän sijasta tässä tapaustutkimuksessa asiakasympäristöstä tulevien muunteluvaatimusten tunnistamisessa hyödynnetään suosituimpien tuotevarianttien aiempia ratkaisuja, sekä toimeksiantoyrityksen asiantuntijoiden tuntemusta näistä aiemmista toimituksista.

Päätaulun mekaaninen rakenne koostuu useista erilaisista kentistä, joiden leveys, korkeus ja käyttötarkoitus määräytyy asiakkaan tarpeiden mukaan. Näiden lisäksi esimerkiksi tarvittavat kiskostot määräytyvät asiakkaan tarpeiden pohjalta. Tässä vaiheessa listataan tunnistetut asiakasvaatimukset ja pohditaan niiden pohjalta, mitä muuntelutarpeita ne aiheuttavat päätaulun mekaanisessa rakenteessa. Päätaulun tunnistetut muuntelutarpeet ovat asiakasympäristöstä periytyviä, eivätkä esimerkiksi aiheudu yrityksen sisäisistä tekijöistä. Tunnistetut asiakasympäristöstä tulevat asiakasvaatimukset, sekä niistä aiheutuvien muuntelutarpeiden lukumäärät ovat listattu alle:

- Päätaulun korkeus (4)
- Katkaisijan virtamäärä (7)
- Ympäristön lämpötila (2)
- Pääkiskoston virrankesto (3)
- Kentän käyttötarkoitus (1)
- Laivan generaattorin virtamuuntajat (1)

Asiakasvaatimusten ja niiden sisältämien muuntelutarpeiden tunnistaminen toteutettiin työpajahenkisesti toimeksiantoyrityksen asiantuntijoiden kanssa. Työpajan alussa asiantuntijoiden kanssa käytiin läpi kaikki tilaus-toimitusprosessin alussa saatavat asiakkaan vaatimukset, jotka vaikuttavat päätaulun mekaaniseen rakenteeseen. Päätaulun mekaaniseen rakenteeseen muuntelua aiheuttavia asiakasvaatimuksia tunnistettiin yhteensä 6. Näiden asiakasvaatimuksien pohjalta tutkittiin, mitä muuntelutarpeita ne aiheuttavat. Asiakasvaatimuksista periytyviä muuntelutarpeita tunnistettiin yhteensä 18.

Tässä vaiheessa tunnistetut muuntelutarpeet eivät sisällä teknisiä ratkaisuja, eli yksittäinen muuntelutarve voi sisältää useita teknisiä ratkaisuja asiakkaan tarpeen täyttämiseksi. Työpajassa pohdittiin alustavasti eri muuntelutarpeiden teknisiin ratkaisuihin sovellettavia modulaarisuuden tyyppejä. BfP:n neljännessä vaiheessa tunnistettiin päätaulun mekaaniseen rakenteeseen vaikuttavat asiakasvaatimukset sekä niistä aiheutuvat

muuntelutarpeet. Liitteessä A on esitetty asiakasvaatimukset, sekä niistä aiheutuvat muuntelutarpeet.

6.2 Alustava suunnittelu

Tässä luvussa käydään läpi BfP:n vaiheet kaksi ja kolme. BfP:n toisessa vaiheessa tavoitteena on määrittää tuotteen rakenteen geneerinen elementtimalli. Geneeristä elementtimallia voidaan pitää tuoteperheen alustavana moduulijakona. Luvussa 6.1 määritettiin kehitysprojektin tavoitteet ja asiakasympäristöstä periytyvät vaatimukset tuotteelle. Asiakasvaatimusten perusteella määritettyjen muuntelutarpeiden pohjalta yrityksen asiantuntijoiden kanssa tutkitaan muuntelutarpeiden jaottelemista teknisiksi yksiköiksi. Teknisiä yksiköitä pidetään geneerisinä elementteinä. Tässä vaiheessa geneeriset elementit ovat abstrakteja, joille ei vielä ole määritelty teknisiä ratkaisuja. BfP:n toisessa vaiheessa luotiin geneerinen elementtimalli, joka sisältää 10 geneeristä elementtiä. Geneerisen elementtimallin oikeellisuus tarkastettiin 100% säännöllä. Geneerinen elementtimalli on esitetty kuvassa 31.

Geneerinen elementti:	Vaatimukset geneeriseltä elementiltä:
Asennuslevy	Leveyden ja korkeuden muutos
Asennuslevyn kiinnitys	Korkeuden muutos
Välilevy	Leveyden muutos
Väliseinä	Korkeuden muutos
Katkaisijan kiinnike	Leveyden muutos
Suojapleksi	Leveyden muutos
Pudotuskiskosto	Vaadittava virran kesto, korkeuden muutos
Pudotuskiskoston kiinnitys	Leveyden muutos
Lähtökiskosto	Vaadittava virran kesto, liitosten määrä
Virtamuuntaja	Kentän käyttötarkoituksesta ja virtamäärästä riippuva optio

Kuva 31 *Päätaulun mekaanisen rakenteen geneerinen elementtimalli*

Geneerisen elementtimallin luomisen jälkeen prosessissa siirrytään BfP:n vaiheeseen 3. BfP:n kolmannessa vaiheessa luodaan luonnos tuoteperheen arkkitehtuurista, joka sisältää geneeriset elementit ja niiden rajapinnat. Tässä vaiheessa keskitytään geneeristen elementtien ja alustavien rajapintojen sijaintiin. Jotta moduulien vakioitujen rajapintojen määrittäminen voidaan aloittaa, tulee geneeristen elementtien keskinäiset rajapinnat tunnistaa. Näiden rajapintojen tunnistamiseen käytetään DSM-rajapintamatriisia. Matriisissa geneeriset elementit listataan samassa järjestyksessä riveille ja sarakkeille, jonka jälkeen geneeristen elementtien risteyskohtiin merkataan X-merkki, jos niiden välillä esiintyy rajapinta. Geneeristen elementtien keskinäisten rajapintojen lisäksi ne voivat

sisältää rajapintoja muualla tuoterakenteessa perusjärjestelmän kanssa. Perusjärjestelmällä tarkoitettaan tästä eteenpäin esimerkiksi päätaulun runkorakennetta, sekä muita osia ja kokonaisuuksia, jotka eivät sisälly geneerisiin elementteihin. DSM-rajapintamatriisi on esitetty kuvassa 32.

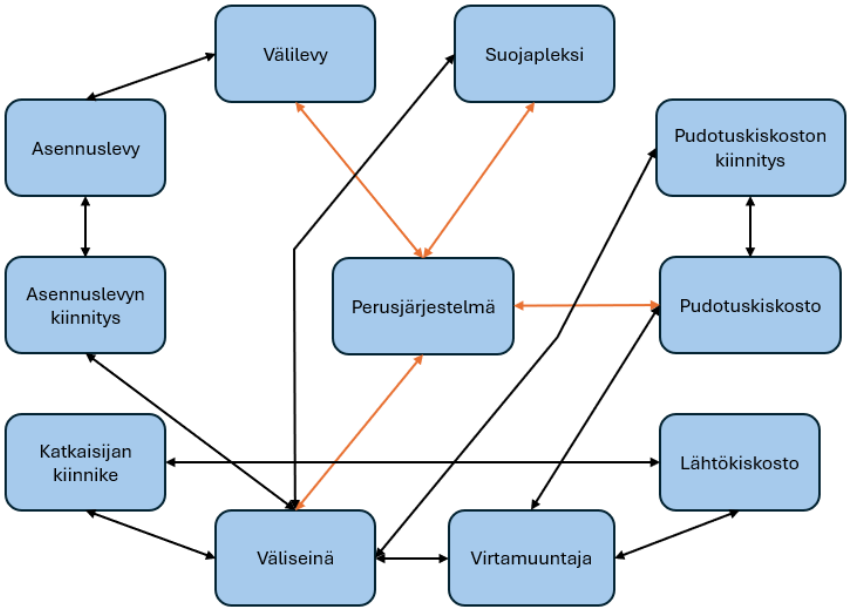
DSM Rajapintamatriisi X = rajapinta	Asennuslevy	Asennuslevyn kiinnitys	Välilevy	Väliseinä	Katkaisijan kiinnike	Suojapleksi	Pudotuskiskosto	Pudotuskiskoston kiinnitys	Lähtökiskosto	Virtamuuntaja
Asennuslevy										
Asennuslevyn kiinnitys	X									
Välilevy	X									
Väliseinä		X								
Katkaisijan kiinnike				X						
Suojapleksi				X						
Pudotuskiskosto										
Pudotuskiskoston kiinnitys				X			X			
Lähtökiskosto					X					
Virtamuuntaja				X			X		X	

Kuva 32 *DSM-rajapintamatriisi*

Matriisia analysoimalla havaitaan, että kaikilla geneerisillä elementeillä on keskinäisiä rajapintoja. Geneeristen elementtien väliset rajapinnat voivat aiheuttaa haasteita modulaarista rakennetta suunnitellessa. Vanhoja ratkaisuja tutkimalla havaittiin, että lähes kaikki geneeristen elementtien väliset rajapinnat ovat vakioitavissa ja tästä syystä geneeristen elementtien keskinäiset rajapinnat eivät aiheuta ongelmia modulaarisuuden näkökulmasta.

Geneeristen elementtien ja perusjärjestelmän rajapintoja tarkastellessa havaittiin kaksi rajapintaa, joihin ei vanhojen ratkaisujen perusteella löytynyt vakioituja rajapintoja. Vanhoissa ratkaisuissa kyseiset rajapinnat ovat muuttuneet siihen liitettävän teknisen ratkaisun muuttuessa. Tämä koettiin ongelmaksi modulaarisen tuotteen suunnittelussa, joten rajapinnoille pohdittiin mahdollisia vakioituja ratkaisuja yrityksen asiantuntijoiden kanssa. Myös näille rajapinnoille löytyivät toimivat, osittain vakioidut ratkaisut.

Pudotuskiskoston rajapintaa katkaisijan kanssa ei ole mahdollista täysin vakioida katkaisijan toimittajan rajallisen tarjonnan vuoksi. Tässä rajapinnassa päädyttiin ratkaisuun, jossa mahdollisia rajapintoja pudotuskiskoston ja katkaisijan välillä on kaksi. Tämä muuttuva rajapinta aiheuttaa pudotuskiskostolle lisää variantteja, mutta toimeksiantoyrityksen asiantuntijoiden päätöksellä päädyttiin tulokseen, että se on paras ja helpoin ratkaisu vakioitavuuden kannalta.



Kuva 33 *Geneeristen elementtien arkkitehtuurin ja rajapintojen kuvaus. Mustat nuolet kuvaavat geneeristen elementtien välisiä rajapintoja ja oranssit nuolet kuvaavat geneeristen elementtien ja perusjärjestelmän välisiä rajapintoja.*

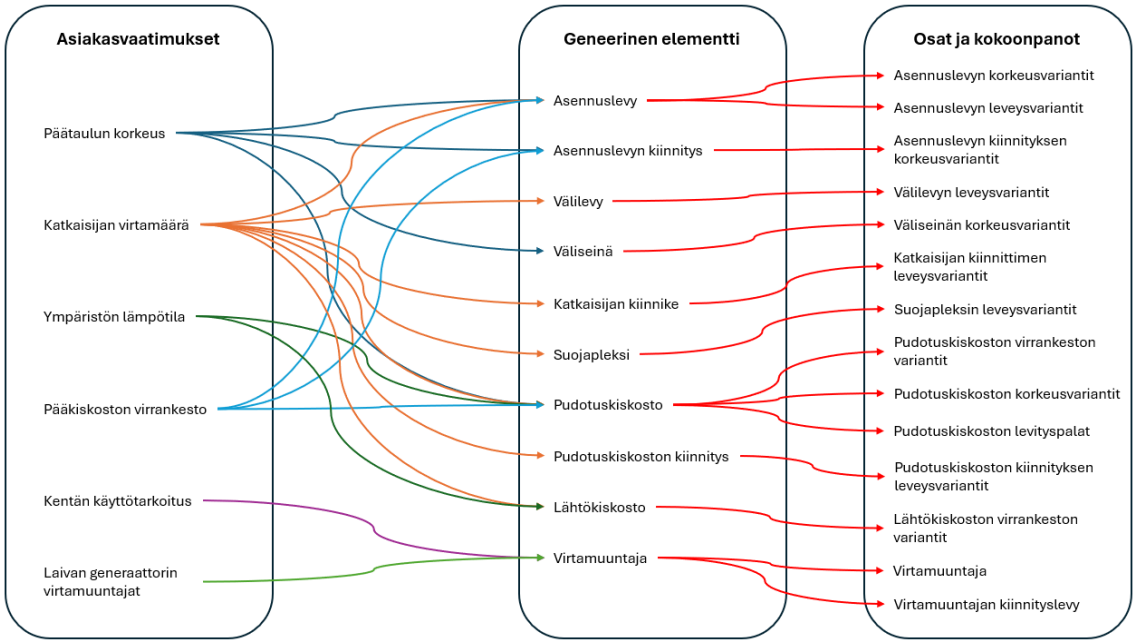
Tässä vaiheessa uudelleensuunnittelua ei ole vielä kannattavaa tehdä arkkitehtuurin hahmotelmaa CAD työkaluilla, sillä uudelleensuunnitellusta tuoterakenteesta ei ole vielä luotu malleja tai piirustuksia. Tästä syystä geneeristen elementtien arkkitehtuuria kuvataan kuvassa 33 laatikoilla ja nuolilla, joista käy ilmi geneeristen elementtien väliset rajapinnat sekä geneeristen elementtien ja perusjärjestelmän väliset rajapinnat. Tämä hieman visuaalisempi kuvaus arkkitehtuurista on luotu DSM-rajapintamatriisin tueksi ja siitä ilmenee myös rajapinnat perusjärjestelmän kanssa.

6.3 Konseptisuunnittelu

Tässä luvussa käydään läpi BfP:n viides ja kuudes vaihe. Alustavan suunnittelun vaiheessa määriteltiin päätaulun mekaanisen rakenteen geneeriset elementit ja niiden toiminnallisuudet, geneeristen elementtien väliset rajapinnat, sekä geneeristen elementtien ja perusjärjestelmän väliset rajapinnat. Edellisessä vaiheessa luotiin geneerinen elementtimalli sekä kuvaus päätaulun mekaanisesta arkkitehtuurista.

BfP:n viidennen vaiheen tavoitteena on luoda kuvaus tuoteperheestä muunneltua PFMP:tä hyödyntäen. Tässä vaiheessa pohditaan myös geneerisiin elementteihin liittyvien osien vakiointimahdollisuuksia. Alustava tuoteperhemääritelmä luodaan käyttämällä luvussa 4.5 esitettyä muunneltua PFMP:tä. Kaavion vasempaan reunaan listataan aiemmin BfP:n neljännessä vaiheessa tunnistetut muuntelutarvetta aiheuttavat asiakasvaatimukset. Kaavion keskelle listataan BfP:n toisessa vaiheessa luodussa geneeri-

sessä elementtimallissa esitetyt geneeriset elementit. Kaavion oikeaan reunaan tulisi listata geneerisiin elementteihin liittyvät osat ja kokoonpanot. Tässä vaiheessa geneeristen elementtien jokainen osa tai kokoonpano ei ole vielä tiedossa johtuen kehitysprojektin keskeneräisyydestä. Tästä syystä kaavion oikeaan reunaan listataan yleisemmällä tasolla osakokonaisuuksia, jotka sisältyvät geneerisiin elementteihin. Tuoteperhemääritelmää luodessa käytiin toimeksiantoyrityksen asiantuntijoiden kanssa läpi yleisen tason osakokonaisuuksia ja sitä, mitä yksittäisiä osia ne mahdollisesti sisältävät. Listojen luonnin jälkeen kaavioon yhdistettiin nuolilla asiakasvaatimusten ja geneeristen elementtien väliset yhteydet sekä geneeristen elementtien ja osien ja kokoonpanojen väliset yhteydet. Tässä vaiheessa yhteydet ovat ”kyllä” ja ”ei” -tyylisiä. BfP:n viidennessä vaiheessa luotu alustava tuoteperhemääritelmä on esitetty kuvassa 34.



Kuva 34 *Päätaulun alustava tuoteperhemääritelmä. Asiakasvaatimusten ja geneeristen elementtien väliset yhteysnuolet ovat piirretty eri väreillä kaavion analysoinnin helpottamiseksi.*

Alustavan tuoteperhemääritelmän valmistuttua sitä analysoidaan tarkastelemalla kaavion listoja ja niiden välisiä yhteyksiä. Ensimmäisenä varmistutaan siitä, että jokainen asiakasvaatimus yhdistyy vähintään yhteen geneeriseen elementtiin. Jos asiakasvaatimuksella ei ole yhteyttä geneerisen elementin kanssa, se aiheuttaa rakenteeseen turhaa muuntelua. Tämän jälkeen tarkastellaan geneerisiin elementteihin kohdistuvia muuntelua vaativia asiakasvaatimuksia. Jos geneeriseen elementtiin ei kohdistu yhtään asiakasvaatimusta, voidaan tutkia mahdollisuutta vakioituun geneeriseen elementtiin. Alustavan tuoteperhemääritelmän perusteella jokaiseen geneeriseen elementtiin kohdistuu vähintään yksi asiakasvaatimus, joten rakenteesta ei löydy vakioitavia geneerisiä elementtejä. Vaikka päätaulun mekaanisessa rakenteessa ei ole vakioelementtejä, saattaa

geneeristen elementtien tekniset ratkaisut sisältää vakio-osia. Viimeisenä tarkastetaan, että jokainen osa tai kokoonpano sisältyy johonkin geneeriseen elementtiin.

Alustavan tuoteperhemääritelmän ja sen analysoinnin jälkeen siirrytään BfP:n kuudenteen vaiheeseen. BfP:n kuudes vaihe pitää sisällään alustavan konfigurointitiedon määrittämisen geneeristen elementtien ja asiakasvaatimusten välille. Tässä vaiheessa konfigurointitiedon määrittämiseen hyödynnetään muokattua K-matriisia, eli konfigurointimatriisia, jossa esitetään teknisen näkökulman ja asiakasnäkökulman väliset yhteydet neljän eri yhteystyypin avulla. Tässä BfP:n vaiheessa teknisellä näkökulmalla tarkoitetaan geneerisiä elementtejä ja asiakasnäkökulmalla asiakasvaatimuksia. Tässä vaiheessa luotu K-matriisi geneeristen elementtien ja asiakasvaatimusten välille on esitetty kuvassa 35.

Muokattu K-matriisi
(1) Asiakasvaatimus vaatii geneerisen elementin
(2) Asiakasvaatimus rajaa geneerisen elementin pois
(3) Asiakasvaatimus vaikuttaa geneeriseen elementtiin
(Tyhjä) Asiakasvaatimus ei vaikuta geneeriseen elementtiin

Geneerinen elementti / Geneerisen elementin ratkaisut	Asiakasvaatimukset	Päätaulun korkeus	Katkaisijan virtamäärä	Pääkiskoston virrankesto	Kentän käyttötarkoitus	Laivan generaattorin virtamuuntajat
Asennuslevy		3	3	3		
Asennuslevyn kiinnitys			3	3		
Välilevy		3	3	3		
Väliseinä		3		3		
Katkaisijan kiinnike		3	3	3		
Suojapleksi		3	3	3		
Pudotuskiskosto			3	3		
Pudotuskiskoston kiinnitys		3	3	3		
Lähtökiskosto			3			
Virtamuuntaja			3		3	3

Kuva 35 *Muokattu K-matriisi geneeristen elementtien ja asiakasvaatimusten välillä*

K-matriisin riveille listataan päätaulun mekaanisen rakenteen geneeriset elementit ja sarakkeille listataan muuntelutarpeita aiheuttavat asiakasvaatimukset. Tässä vaiheessa konfigurointimatriisiin ei vielä listata geneeristen elementtien teknisiä ratkaisuja. Tässä vaiheessa myös asiakasvaatimukset listataan yleisemmällä tasolla. Tässä tutkimuksessa muokattuun K-matriisiin yhdistetään asiakasvaatimukset katkaisijan virtamäärästä ja ympäristön lämpötilasta toisiinsa, jotta konfigurointitiedon määrittäminen helpottuu. Nämä vaatimukset ovat asiakasnäkökulmasta erilliset vaatimukset, mutta teknisen ratkaisun kannalta nämä vaatimukset yhdistyvät vahvasti toisiinsa. Tästä syystä konfigurointimatriisia tehdessä näiden vaatimusten yhdistäminen ”Katkaisijan virrankesto” asia-

kasvaatimuksen alle koettiin parhaaksi ratkaisuksi. Geneeristen elementtien ja asiakasvaatimusten risteyskohtiin merkataan, millainen yhteys näiden välillä on. Eri yhteystyyppien merkintätavat ovat esitetty K-matriisin vasemmassa ylänurkassa.

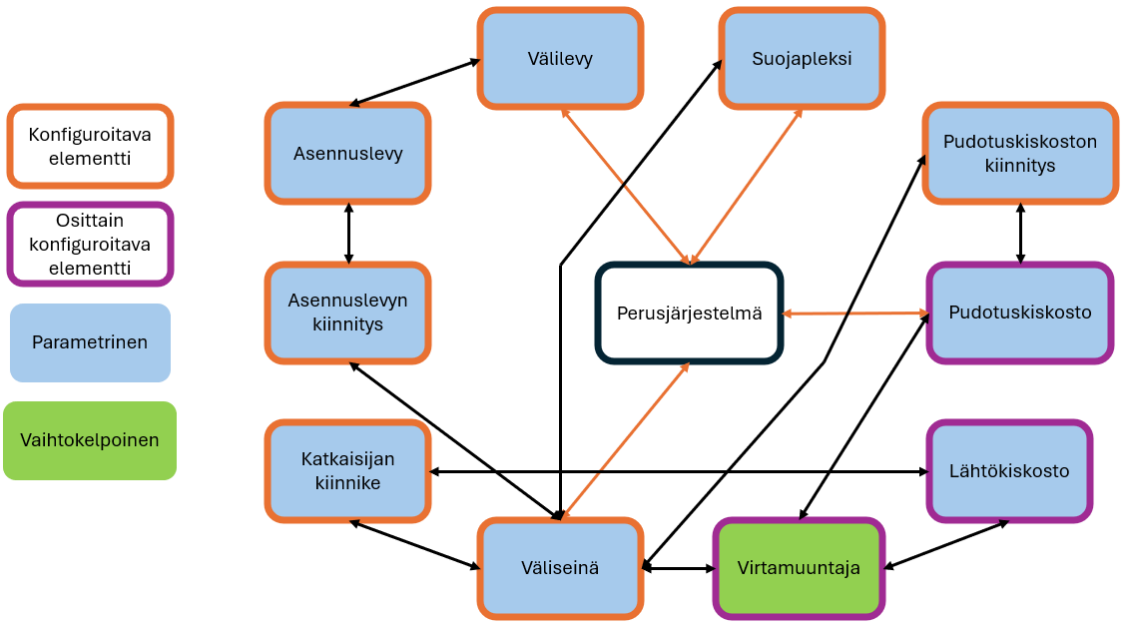
Alustavaa tuoteperhemääritelmää ja tämän vaiheen muokattua K-matriisia vertaillessa voidaan huomata, että luotu K-matriisi tuo lisäinformaatiota vain kertomalla, mikä yhteystyyppi on kyseessä geneerisen elementin ja asiakasvaatimuksen välillä. K-matriisi on kuitenkin edellisessä vaiheessa luotua PFMP:tä systemaattisempi tapa käsitellä konfigurointitietoa, joten sen käyttö myös tässä prosessin vaiheessa on perusteltua. Tässä vaiheessa luotu muokattu K-matriisi myös helpottaa seuraavia prosessin vaiheita ja sitä voidaan hyödyntää pohjana BfP:n kahdeksannessa vaiheessa tehtävään tarkempaan muokattuun K-matriisiin.

6.4 Tarkempi suunnittelu

Edellisessä luvussa määriteltiin päätaulun mekaanisen rakenteen alustava tuoteperhemääritelmä, jossa käsiteltiin asiakasvaatimuksia, geneerisiä elementtejä, osia ja kokoonpanoja, sekä näiden välisiä yhteyksiä. Tämän lisäksi BfP:n kuudennen vaiheen mukainen muokattu K-matriisi luotiin geneeristen elementtien ja asiakasvaatimusten välille. Tässä luvussa jatketaan BfP:n vaiheisiin seitsemän ja kahdeksan. Tarkemman suunnittelun vaiheessa keskitytään tuoteperheen rakenteen tarkempaan määrittelyyn ja moduulien ja rajapintojen määrittämiseen sekä moduulivarianttien ja asiakastarpeiden välisen konfigurointitiedon määrittämiseen.

BfP:n seitsemännen vaiheen tavoite on luoda yksityiskohtaisempi kuvaus tuoteperheen arkkitehtuurista. Tämä vaihe aloitetaan selvittämällä geneeristen elementtien eri elementtityypit BfP:n kolmannessa vaiheessa luodusta geneeristen elementtien arkkitehtuurista. Elementtien eri tyypit ovat vakioitavat, konfiguroitavat, osittain konfiguroitavat sekä ainutlaatuiset elementit. Kuten aiemmassa luvussa jo todettiin, tässä työssä tutkittava kokonaisuus päätaulujen mekaanisesta rakenteesta ei sisällä vakioelementtejä. Geneerisistä elementeistä tunnistettiin konfiguroitavia elementtejä, sekä kolme osittain konfiguroitavaa elementtiä.

Elementtityyppien lisäksi tässä vaiheessa pohditaan muuntelua vaativien elementtien ratkaisutyyppejä. Käytettäviksi ratkaisutyypeiksi valikoitui vaihtokelpoinen, jossa muuntelutarve toteutetaan käyttämällä korkeintaan yhtä vaihtoehtoista ratkaisua, sekä parametrinen, jossa teknisen ratkaisun parametrejä muutetaan tiettyjen rajojen sisällä. Geneeristen elementtien elementtityypit ja ratkaisutyypit ovat esitetty kuvassa 36.



Kuva 36 *Päätaulun mekaanisen rakenteen modulaarinen arkkitehtuuri. Elementtien värien merkitys on esitetty kuvan vasemmassa reunassa. Mustat nuolet kuvaavat rajapintoja elementtien välillä ja oranssit nuolet kuvaavat rajapintoja elementtien ja perusjärjestelmän välillä.*

Kuvasta 36 nähdään, että päätaulun mekaanisen rakenteen modulaarinen arkkitehtuuri koostuu lähes kokonaan parametrisesti konfiguroitavista elementeistä. Poikkeuksena näihin ovat virtamuuntaja, pudotuskiskosto ja lähtökiskosto. Virtamuuntaja on vaihtokelpoinen osittain konfiguroitava elementti. Virtamuuntaja on vaihtokelpoinen, koska sille on määritelty vakiorajapinta, johon sopiva variantti kiinnitetään, jos kentässä tarvitaan virtamuuntajia. Osittain konfiguroitavan elementin virtamuuntajasta tekee se, että pudotuskiskostoon tulevat virtamuuntajavariantit ovat yrityksen itse määritettävissä, mutta lähtökiskoston virtamuuntajat ovat aina asiakkaan määrittämät, joten tämä elementti ei ole täysin konfiguroitavissa. Pudotuskiskosto ja lähtökiskosto ovat parametrisesti osittain konfiguroitavia elementtejä siitä syystä, että 3Mod leveään kenttään on mahdollista määrittää konfiguroitavat perusratkaisut, kun taas 5Mod leveässä kentässä pudotus- ja lähtökiskostoon tarvitsee lähes aina tehdä asiakaskohtaista räätälöintiä. Pudotuskiskosto ja lähtökiskosto sisältävät sekä parametrisesti konfiguroitavia ratkaisuja että ainutlaatuisia ratkaisuja.

Modulaarisen arkkitehtuurin määrittämisen jälkeen geneerisille elementeille määritellään tekniset ratkaisut, joilla pystytään toteuttamaan asiakasvaatimuksista periytyvät muuntelutarpeet. Tuoteperheen hallinnan kannalta on sitä parempi, mitä vähemmällä teknisten ratkaisujen määrällä muuntelutarpeet pystytään toteuttamaan. Tässä vaiheessa toimeksiantoyrityksen asiantuntijoiden kanssa käytiin läpi modulaarista arkkitehtuuria ja

asiakasvaatimuksista periytyviä muuntelutarpeita ja pohdittiin, millaisilla teknisillä ratkaisuilla nämä muuntelutarpeet pystytään täyttämään. Eniten työtä aiheuttivat pudotuskiskoston, lähtökiskoston sekä virtamuuntajien ratkaisujen määrittäminen. Loput geneeriset elementit ovat melko yksinkertaisesti konfiguroitavissa muuttamalla korkeus- ja leveysparametrejä. Teknisten ratkaisujen läpi käymisen jälkeen päädyttiin ratkaisuun, jossa päätaulun mekaaninen vakioitu rakenne pystytään toteuttamaan 36 eri teknisen ratkaisun avulla.

BfP:n seitsemännen vaiheen jälkeen geneeristen elementtien tyypit ja tekniset ratkaisut ovat määritetty. Tämän jälkeen siirrytään kahdeksanteen BfP:n vaiheeseen, jossa luodaan päätaulun mekaanisen rakenteen lopullinen konfigurointitieto. Kuudennessa BfP:n vaiheessa määritettiin geneeristen elementtien ja asiakasvaatimusten välinen konfigurointitieto muokatun K-matriisin avulla (katso kuva 35). Tässä vaiheessa luodaan tarkempi konfigurointitieto teknisten ratkaisuiden ja asiakasvaatimusten välille. Tässä vaiheessa matriisiin listataan geneeristen elementtien lisäksi niitä vastaavat tekniset ratkaisut. Kuudennessa vaiheessa luotuun K-matriisiin listattiin asiakasvaatimukset vain yleisellä tasolla, mutta tässä vaiheessa matriisiin avataan myös asiakasvaatimukset tarkemmin, jotta lopullinen konfigurointitieto voidaan määrittää. Kuudennen vaiheen K-matriisiin lisäyksenä tässä vaiheessa merkintöihin lisättiin myös matriisin vasemmassa yläkulmassa ilmaistut värikoodit matriisin tulkinnan helpottamiseksi. Kuvassa 37 on esitetty otos luodusta konfigurointimatriisista. Koko versio teknisten ratkaisuiden ja asiakasvaatimusten välisestä konfigurointimatriisista on esitetty liitteessä B.

Muokattu K-matriisi **(1)** Asiakasvaatimus vaatii geneerisen elementin / teknisen ratkaisun (vihreä) **(2)** Asiakasvaatimus rajaa geneerisen elementin / teknisen ratkaisun pois (punainen) **(3)** Asiakasvaatimus vaikuttaa geneeriseen elementtiin / tekniseen ratkaisuun (keltainen) **(Tyhjä)** Asiakasvaatimus ei vaikuta geneeriseen elementtiin / tekniseen ratkaisuun		Asiakasvaatimukset	Päätaulun korkeus	11Mod	12Mod	Katkaisijan virtamäärä	Alle 1200 A	1200 A - 1800 A	1801 A - 2000 A	2001 A - 2500 A	2501 A - 2800 A; ympäristö 45 °C	2501 A - 2800 A; ympäristö 55 °C	2801 A - 3700 A; ympäristö 45 °C	2801 A - 3700 A; ympäristö 55 °C	3701 A - 4000 A; ympäristö 45 °C	3701 A - 4000 A; ympäristö 55 °C	Yli 4000 A
Geneerinen elementti	Geneerisen elementin ratkaisut																
Asennuslevy			3			3											
	Asennuslevy 3Mod leveä ja 5Mod korkea			3	3		3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
	Asennuslevy 3Mod leveä ja 4Mod korkea			3	2		3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
	Asennuslevy 5Mod leveä ja 4Mod korkea			2	3		2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
Asennuslevyn kiinnitys						3											
	Asennuslevyn kiinnikkeet 5Mod korkea															2	2
	Asennuslevyn kiinnikkeet 4Mod korkea															1	1
Välilevy			3			3											
	Välilevy 3Mod leveä			1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	Välilevy 5Mod leveä			2			2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
Väliseinä			3														
	Väliseinä 9Mod korkea			3	2												
	Väliseinä 10Mod korkea			3	1												

Kuva 37 *Otos teknisten ratkaisuiden ja asiakasvaatimusten välisestä konfigurointimatriisista*

Konfigurointimatriisi osoittaa, mitkä tekniset ratkaisut vastaavat ja liittyvät mihinkin asiakasvaatimukseen. Matriisista käy ilmi, mitkä asiakasvaatimukset rajaavat teknisen ratkaisun kokonaan pois. Esimerkiksi katkaisijan virtamäärän ollessa yli 4000 A, asiakasvaatimus rajaa 5Mod korkeat asennuslevyt ja asennuslevyjen kiinnikkeet pois, sillä 4000 A rajan ylittyessä kentästä tulee aina 5Mod leveä, jolloin käytössä on vain 4Mod korkea kontrollikenttä. Tästä syystä myös 4000 A rajan ylittyessä asiakasvaatimus vaatii asennuslevyltä ja välilevyltä 5Mod leveät tekniset ratkaisut.

Muokattu K-matriisi esittää yhteydet ja yhteyksien tyypin teknisten ratkaisujen ja asiakasvaatimusten välillä. Konfigurointimatriisista ei kuitenkaan suoraan pystytä päättelemään, mitkä tekniset ratkaisut sopivat tai eivät sovi keskenään yhteen. Yhteensopivuuden määrittämisen helpottamiseksi käytetään BfP:n kahdeksannen vaiheen ehdottamaa V-matriisia. Yhteensopivuusmatriisiin listataan geneeriset elementit ja niiden tekniset ratkaisut sekä matriisin riveille, että sarakkeille samassa järjestyksessä. Matriisissa teknisten ratkaisujen välisiä yhteyksiä kuvataan matriisin vasemmassa ylänurkassa esitetyillä merkinnöillä ja värikoodeilla. Otos luodusta muokatusta V-matriisista on esitetty kuvassa 38. Koko versio teknisten ratkaisuiden välisestä yhteensopivuusmatriisista on esitetty liitteessä C.

Muokattu V-matriisi
(1) Ratkaisu vaatii tämän ratkaisun (vihreä)
(2) Ratkaisu rajaa tämän ratkaisun pois (punainen)
(3) Ratkaisu voi vaikuttaa tähän ratkaisuun (keltainen)
(Tyhjä) Ratkaisupari ei vaikuta toisiinsa

Geneerinen elementti	Geneerisen elementin ratkaisut	Geneerinen elementti	Asennuslevy	Asennuslevy 3Mod leveä ja 5Mod korkea	Asennuslevy 3Mod leveä ja 4Mod korkea	Asennuslevy 5Mod leveä ja 4Mod korkea	Asennuslevyn kiinnitys	Asennuslevyn kiinnikkeet 5Mod korkea	Asennuslevyn kiinnikkeet 4Mod korkea	Välilevy	Välilevy 3Mod leveä	Välilevy 5Mod leveä	Väliseinä	Väliseinä 9Mod korkea	Väliseinä 10Mod korkea
Asennuslevy															
	Asennuslevy 3Mod leveä ja 5Mod korkea														
	Asennuslevy 3Mod leveä ja 4Mod korkea			2											
	Asennuslevy 5Mod leveä ja 4Mod korkea			2	2										
Asennuslevyn kiinnitys															
	Asennuslevyn kiinnikkeet 5Mod korkea			1	2	2									
	Asennuslevyn kiinnikkeet 4Mod korkea			2	3	3		2							
Välilevy															
	Välilevy 3Mod leveä			3	3	2									
	Välilevy 5Mod leveä			2	2	1		2	1		2				
Väliseinä															
	Väliseinä 9Mod korkea			2	1	2		2	1		1	2			
	Väliseinä 10Mod korkea			3	2	3								2	

Kuva 38 *Otos teknisten ratkaisujen välisestä yhteensopivuusmatriisista*

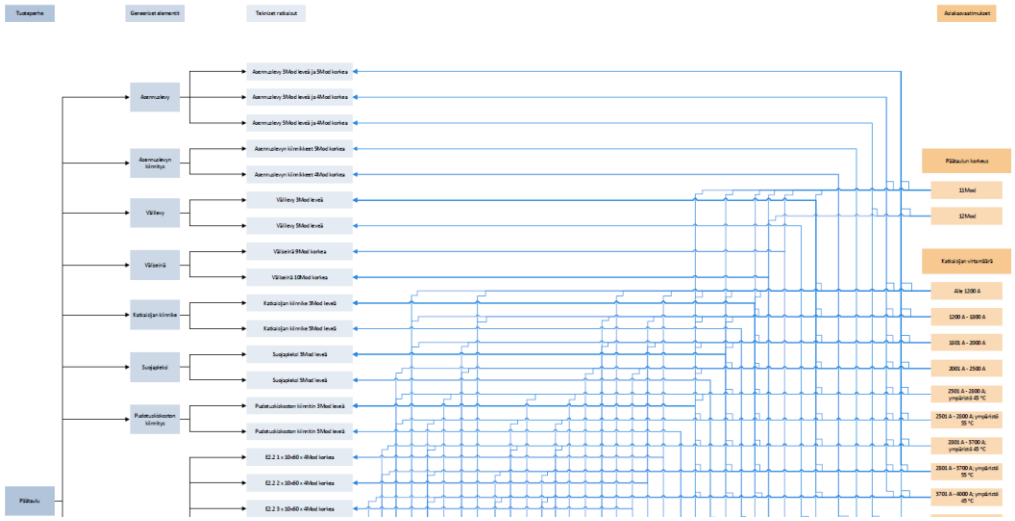
Yhteensopivuusmatriisi osoittaa, mitkä tekniset ratkaisuparit vaativat toisensa, rajaavat toisensa pois, saattavat vaikuttaa toisiinsa tai eivät vaikuta toisiinsa. Koska suurin osa geneeristen elementtien teknisistä ratkaisuista ovat parametrisesti konfiguroitavia, ne rajaavat toisensa pois. Esimerkiksi 3Mod leveää ja 5Mod korkeaa asennuslevyä käytettäessä muut asennuslevyn parametrikonfiguraatiot rajautuvat pois. Matriisista huomataan, että parametrisesti konfiguroitavat tekniset ratkaisut ja niiden yhteensopivuudet liittyvät

vahvasti asiakasvaatimusten määrittämiin päätaulun fyysisiin mittoihin. Tällöin esimerkiksi samat leveysparametrit sopivat yhteen eri teknisten ratkaisuiden välillä, kun taas esimerkiksi kontrollikentän 4Mod ja 5Mod korkeat konfiguraatiot rajaavat aina toisensa pois. Keltaisista merkinnöistä nähdään, että esimerkiksi 3Mod leveä välilevy ei vaadi jotain tiettyä teknistä ratkaisua parikseen, vaan sitä voidaan käyttää kahden eri 3Mod leveän asennuslevyn kanssa, mutta se rajaa 5Mod leveän asennuslevyn kokonaan pois.

BfP:n kahdeksannessa vaiheessa luotiin lopullinen konfigurointitieto päätaulun mekaaniselle rakenteelle. Muokattujen K-matriisin ja V-matriisin avulla tuloksena saatiin teknisten ratkaisujen ja asiakasvaatimusten väliset yhteydet, sekä ymmärrys teknisten ratkaisujen välisestä yhteensopivuudesta. Tässä vaiheessa luotu tieto on arvokasta, jotta yrityksessä voidaan luoda konfiguraattori päätaulun mekaaniselle rakenteelle. Luodut K-matriisi ja V-matriisi ovat hyödyllisiä apuvälineitä seuraavassa dokumentoinnin vaiheessa, kun konfigurointitiedon pohjalta luodaan PSBP, jossa on esitetty yhteydet tarkennettujen asiakasvaatimusten ja teknisten ratkaisujen välillä.

6.5 Dokumentointi

BfP:n yhdeksänteen vaiheeseen siirryttäessä konfiguroitavan tuotteen modulaarisen tuoteperheen perusrakenne on saatu määritettyä aikaisemmissa vaiheissa. Aikaisempien vaiheiden tulokset ovat dokumentoitu ja kahden edellisen vaiheen jälkeen kaikki tarvittava konfigurointitieto on määritetty. BfP:n yhdeksännessä vaiheessa luodaan edellisten vaiheiden tulosten pohjalta dokumentaatio, jossa käsitellään tuoteperheen dokumentaatiota suunnittelun päättelyketjun näkökulmasta. Tähän dokumentaatioon käytetään PSBP-kaaviota. PSBP:llä pyritään kuvaamaan tuoteperheen sisältöä, sekä osoittamaan, mitkä elementit ja tekniset ratkaisut vastaavat mihinkin asiakasvaatimukseen ja asiakasvaatimusten yhdistelmiin. Kuvassa 39 on esitetty otos luodusta PSBP-kaaviosta. Koko versio PSBP-kaaviosta on esitetty liitteessä D.



Kuva 39 *Otos PSBP-kaaviosta*

PSBP-kaavion vasemmassa reunassa näkyy, mistä tuoteperheestä kaaviossa on kyse. Tuoteperheestä seuraavana oikealla esitetään tuoteperheen geneeriset elementit, joiden jälkeen seuraavana oikealla esitetään geneeristen elementtien tekniset ratkaisut. Nuolet geneeristen elementtien ja teknisten ratkaisuiden välillä kertoo, mitkä tekniset ratkaisut kuuluvat kyseiseen geneeriseen elementtiin. Kaavion oikeassa reunassa on esitetty tuoteperheeseen muuntelutarvetta aiheuttavat asiakasvaatimukset. Asiakasvaatimuksista on vedetty nuoli niihin teknisiin ratkaisuihin, jotka vastaavat kyseiseen asiakasvaatimukseen.

PSBP-kaavion avulla suunnittelija pystyy selvittämään asiakasvaatimusten perusteella, mitkä tekniset ratkaisut toteuttavat nämä asiakasvaatimukset. Tämän tiedon pohjalta tiedetään, mitä mekaanisia komponentteja päätauluun tarvitaan. PSBP-kaaviota pystytään hyödyntämään myös myyntivaiheessa ikään kuin manuaalisena konfiguraattorina. Yrityksessä on kuitenkin aikomus tehdä PSBP-kaavion sisältämän konfigurointitiedon pohjalta automaattinen konfiguraattori päätaulujen rakennetta varten. Tällainen automaattinen konfiguraattori on helpompi käyttää ja selkeämmin luettavissa, kuin koko tuoteperheen konfigurointitiedon sisältävä PSBP-kaavio.

BfP:n yhdeksäs vaihe jää tutkimuksessa viimeiseksi vaiheeksi. Kuten luvun 6 alussa todettiin, BfP:n vaihetta 10 ei nähdä hyödylliseksi suorittaa tämän tutkimuksen rajoissa. Tämä johtuu siitä, että tutkimuksessa vakioitava päätaulun mekaaninen rakenne on vain osa toimitettavaa kokonaisuutta ja siten aiheuttaa haasteita liiketoimintavaikutusanalyysin suorittamiselle. Myös tutkimukselle asetettu aikataulu rajoittaa BfP:n kymmenennen vaiheen suorittamista.

7. TULOKSET

Tässä luvussa käsitellään tutkimuksen tutkimuskysymyksiä, tuloksia ja tavoitteita. Aliluvussa 7.1 vastataan tutkimuksen alussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin, aliluvussa 7.2 käsitellään tutkimuksen tulokset ja aliluvussa 7.3 tarkastellaan tutkimuksen tavoitteiden saavuttamista.

7.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Tässä luvussa vastataan luvussa 2.1 määritettyihin tutkimuskysymyksiin. Tutkimuksen tutkimuskysymyksiin on vastattu epäsuorasti jo aiemmin tämän tutkimuksen aikana, mutta tässä luvussa kerrataan tutkimuskysymykset ja kootaan niihin vastaukset.

TK1: Mikä on tutkimustiedon nykytila vakioinnin, konfiguroinnin ja moduloinnin saralla?

Tutkimuksen kirjallisuuskatsauksessa käsitellään kattavasti vakiointiin, konfigurointiin ja modulointiin liittyvää teoriaa aiempien julkaisujen pohjalta. Kirjallisuuskatsauksessa käsiteltiin näihin aiheisiin liittyviä tärkeitä käsitteitä, sekä niillä saavutettavia hyötyjä. Lisäksi kirjallisuuskatsauksessa esiteltiin moduloitavan tuotteen kehityksessä hyödynnettäviä työkaluja. Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaus löytyy kokonaisuudessaan tämän tutkimuksen luvusta 3.

TK2: Miten jo olemassa olevaa tuoteperhettä voidaan hyödyntää päätaulujen mekaanisen rakenteen vakioinnissa?

Tämän tutkimuksen luvussa 4 esitellään suunnitteluprosessi, joka on kehitetty olemassa olevan tuotteen kehittämiseen modulaariseksi tuotteeksi. Tässä tutkimuksessa esiteltiin ja hyödynnettiin Jarkko Pakkasen väitöskirjassaan esittämää Brownfield Process:ia, joka koostuu kymmenestä eri vaiheesta, joista jokaisen on tarkoitus tuottaa tietoa yhteen tai useampaan suunnittelun viidestä avainkonseptista. Myös muita vastaavia suunnitteluprosesseja on kehitetty, mutta harva huomioi kaikki viisi suunnittelun avainkonseptia. Tutkimuksen toiseen tutkimuskysymykseen vastataan kokonaisuudessaan tutkimuksen luvussa 4.

TK3: Mitä muuntelutarpeita asiakasvaatimukset aiheuttavat päätaulujen mekaaniseen rakenteeseen?

Tutkimuksen empiirisessä osuudessa päätaulun mekaaniseen rakenteeseen muuntelutarpeita aiheuttavia asiakasvaatimuksia tunnistettiin yhteensä 6 kappaletta. Tunnistetut

asiakasvaatimukset aiheuttavat yhteensä 18 erilaista muuntelutarvetta päätaulun mekaaniselle rakenteelle. Tutkimuksen luvussa 6.1 esitettiin tunnistetut asiakasvaatimukset ja niistä aiheutuvien muuntelutarpeiden lukumäärät. Kokonaisuudessaan asiakasvaatimukset ja niistä aiheutuvat muuntelutarpeet ovat esitetty liitteessä A.

TK4: Miten asiakasvaatimuksiin vastaava päätaulujen mekaaninen rakenne määritetään?

Asiakasvaatimuksiin vastaavan päätaulun mekaanisen rakenteen määrittämisessä konfigurointitieto on keskeisessä roolissa. BfP:n vaiheita seuraamalla tuoteperheestä kerätään ja määritetään paljon tuoteperheen sisältämää konfigurointitietoa. Tämä konfigurointitieto on dokumentoitu BfP:n suosimiin matriiseihin ja kaavioihin. Näiden dokumenttien pohjalta luotiin lopullisen konfigurointitiedon sisältävä PSBP-kaavio. Tämä luotu PSBP-kaavio sisältää tarvittavan tiedon, jotta asiakasvaatimuksiin vastaava päätaulun mekaaninen rakenne pystytään määrittämään. Tämän tutkimuksen luvuissa 6.3 ja 6.4 käsiteltiin tämän konfigurointitiedon määrittämistä ja luvussa 6.5 esiteltiin konfigurointitiedon pohjalta luotu PSBP-kaavio. Lopullinen K-matriisi on esitelty liitteessä B, lopullinen V-matriisi on esitelty liitteessä C ja lopullinen PSBP-kaavio on esitelty liitteessä D.

7.2 Tutkimuksen tulokset

Toimeksiantoyrityksessä päätaulujen suunnittelussa suurena ongelmana oli alhainen suunnittelun uudelleenkäyttöaste. Ennen tämän tutkimuksen toteuttamista päätaulut suunniteltiin projektikohtaisesti, vaikka usein olisi ollut mahdollista hyödyntää aikaisemmin käytettyjä ratkaisuja. Puutteellinen tuotetiedon hallinta on ollut osana alhaisen suunnittelun uudelleenkäytön ongelmaa. Tämän ongelman seurauksena toimeksiantoyrityksessä on haluttu luoda päätauluille vakioitu rakenne, jolla pystytään vastaamaan yleisimpiin asiakasvaatimuksiin. Tässä tutkimuksessa suunnittelu ja tuotekehitys kohdistui päätaulujen mekaaniseen rakenteeseen.

Tutkimuksessa toteutettiin BfP:n vaiheita päätaulun mekaanisen rakenteen vakioimiseksi. Vakioidun rakenteen seurauksena tulevaisuudessa päätaulun mekaanisten osien nimikkeitä on vähemmän, sillä projektikohtaisia nimikkeitä tarvitaan vain asiakaskohtaisesti räätälöitävien osien kohdalla. Tämä helpottaa tuotetiedon hallintaa ja sillä saavutettiin selkeät ratkaisut päätaulujen mekaaniselle rakenteelle. Tässä tutkimuksessa kehitetty vakioitu rakenne toimii pohjana yrityksen tulevissa projekteissa sekä mahdollisessa tuotekehityksessä. Tutkimuksessa luotu konfigurointitieto helpottaa sekä myyjien työtä tarjousvaiheessa, että suunnittelijoiden työtä suunnitteluvaiheessa.

Tutkimuksen seurauksena yrityksen suunnittelun uudelleenkäyttöastetta on mahdollista kasvattaa ja siten suunnitteluresursseja pystytään jatkossa sitomaan enemmän muihin projekteihin sekä tuotekehitykseen. Tätä tutkimusta pystytään toimeksiantoyrityksessä jatkossa hyödyntämään päätaulujen jatkokehityksessä, sekä esimerkkinä muiden tuoteperheiden tuotekehityksessä.

7.3 Tavoitteiden saavuttaminen

Yrityksen päätavoite tutkimukselle oli projektikohtaisen mekaniikkasuunnittelun vähentäminen. Tämä tavoite voidaan katsoa saavutetuksi, sillä päätaulujen vakioidun mekaanisen rakenteen avulla projektikohtainen mekaniikkasuunnittelun tarve vähenee jatkossa merkittävästi. Tutkimuksessa ei ollut mahdollista päästä täysin eroon projektikohtaisesta mekaniikkasuunnittelusta, sillä toimeksiantoyritys haluaa myös jatkossa pystyä täyttämään asiakkaan vaatimukset mahdollisimman hyvin. Joissain tilanteissa asiakasvaatimukset ovat niin harvinaisia, että projektikohtaisen suunnittelun käyttäminen on kannattavampaa, kuin kyseisen vaatimuksen täyttävän vakioratkaisun suunnittelu.

Päätavoitteen lisäksi tutkimuksen tavoitteina oli luoda ratkaisut vakioidulle tuoterakenteelle ja päätaulun asentamis- ja myyntiprosessin helpottaminen. Tutkimuksen aikana suunniteltiin ratkaisut, jotka vastaavat päätaulujen vakioitua tuoterakennetta. Vakioitu tuoterakenne helpottaa päätaulujen asentamisprosessia, sillä vakioidulle rakenteelle on helpompi luoda kattavat asennusohjeet, joita noudattamalla myös kokemattomat työntekijät pystyvät nopeasti oppimaan koko asennusprosessin. BfP:n vaiheita suorittamalla kertyi dokumentoitua konfigurointitietoa, joka helpottaa myös myyjien työtä. Konfigurointitieto lisää yhteyttä myynnin ja suunnittelun välille, sillä myyjillä on jatkossa tiedossa vakioratkaisut, joita he voivat myydä.

Kirjallisuuskatsauksessa onnistuttiin löytämään oleellista tietoa liittyen vakiointiin, konfigurointiin, modulointiin sekä olemassa olevan tuotteen kehittämiseksi kohti modulaarisempaa tuotetta. Tutkimuksessa sovellettiin BfP-suunnitteluprosessia päätaulun mekaanisen rakenteen vakioimiseksi. Tutkimuksessa onnistuttiin havainnollistamaan kyseisen prosessin soveltamista tuoteperheen osajoukolle, sillä päätaulujen mekaaninen rakenne on vain osa päätaulujen tuoteperheestä.

8. KESKUSTELU

Tutkimuksen alussa kuvaus päätaulujen mekaanisen rakenteen ongelmista oli selkeä. Toimeksiantoyritys pystyi kuvaamaan hyvin tavoitetilaa, johon tutkimuksen avulla pyritään. Tutkimuksen alussa määritellyistä tutkimuskysymyksistä kaksi ensimmäistä ovat melko laajoja, sillä niihin vastaamalla saadaan laajempi käsitys moduloinnin, konfiguroinnin ja vakioinnin aihepiiristä. Toisen tutkimuskysymyksen avulla löydettiin tutkimuksen empiirisessä osuudessa hyödynnettävä konfiguroitavan tuoteperheen kehitysprosessi. Näiden kahden laajan tutkimuskysymyksen seurauksena tutkimuksen kirjallisuuskatsauksesta tuli kattava ja se toimii myös johdantona tutkimuksen aihepiiriin tutkimuksen lukijalle. Tutkimuksen kirjallisuuskatsausta olisi ollut mahdollista rajata ja supistaa, mutta laaja katsaus tutkimusaiheen aiempiin julkaisuihin osoittaa tutkijan perehtyneisyyttä tutkimuksen aihealueeseen.

Tapaustutkimuksessa päädyttiin noudattamaan BfP:n yhdeksää ensimmäistä vaihetta, joiden avulla toimeksiantoyrityksen päätaulujen mekaanisesta rakenteesta suunniteltiin konfiguroitava vakioitu kokonaisuus. BfP auttoi tapaustutkimuksessa asiakasvaatimusten ja muuntelutarpeiden tunnistamisessa, elementtien ja niiden välisten rajapintojen tunnistamisessa, sekä muuntelutarpeet toteuttavien teknisten ratkaisuiden määrittämisessä. Lisäksi eri vaiheissa luotu dokumentaatio auttoi luomaan konfiguraatiotietoa tapaustutkimuksen loppupuolella. Vakioitujen konfiguroitavien kokonaisuuksien tunnistaminen ja määrittäminen vähentää tilauskohtaista mekaniikkasuunnittelun tarvetta, sillä tutkimuksessa suunniteltu vakioitu mekaaninen rakenne vastaa yleisimpiin asiakasvaatimuksiin ja niistä aiheutuviin muuntelutarpeisiin. Jatkossa mekaniikkasuunnittelua tarvitaan vain sellaisissa tilauksissa, joissa asiakkaalla on harvoin toteutuvia vaatimuksia, joille ei ole kannattavaa suunnitella valmiita vakioituja ratkaisuja.

Tutkimuksen empiirinen tapaustutkimus on pitkälti tutkijan itse suorittama toimeksiantoyrityksen asiantuntijoiden avustuksella. Tämä johtaa siihen, että työn empiirinen osuus on ainutlaatuinen ja toisen tutkijan suorittamana lopullisissa ratkaisuissa ja tuloksissa olisi todennäköisesti havaittavissa eroavaisuuksia. Empiirisen osuuden täydellinen toistettavuus on hieman haastavaa, mutta BfP:n vaiheita noudattamalla mahdollista suorittaa uudelleen. Tutkimuksen empiirisessä vaiheessa kerätty tieto ja dokumentaatio pohjautuu pitkälti yrityksen asiantuntijoilta kerättyyn tietoon, sekä yrityksen sisäisiin dokumentteihin. Tämä lisää riskitekijöitä sille, että joitain tutkimuksen kannalta tärkeitä näkökulmia on saattanut jäädä huomiotta.

BfP:n soveltaminen todelliseen tuotekehitysprojektiin tuo itsessään uutuusarvoa konfiguroitavan tuoteperheen suunnittelun viitekehykseen. Tutkimuksen empiirisessä osuudessa hyödynnetty BfP on kehitetty täysin konfiguroitavan tuoteperheen kehitysprosessiksi. Tutkimuksen tuloksilla ja päätaulujen mekaanisen rakenteen vakioinnin onnistumisella pystytään kuitenkin osoittamaan BfP:n toimivuus tuotteen rajatun osajoukon vakioinnissa konfiguroitavaksi kokonaisuudeksi. Muilta osin työn tulokset eivät tuo merkittävää akateemista uutuusarvoa.

Tutkimuksesta saadut tulokset ovat toimeksiantoyrityksen näkökulmasta merkittäviä. Tutkimuksen tuloksena saatu vakioitu konfiguroitava mekaaninen rakenne mahdollistaa sen, että yrityksen mekaniikkasuunnitteluresursseja pystytään resursoimaan tilauskohtaisen suunnittelun lisäksi myös muihin projekteihin sekä tuotekehitykseen. Vakioitu rakenne helpottaa myös päätaulujen tuotetiedon hallintaa. Yleisellä tasolla tulokset eivät ole yhtä merkittäviä, kuin toimeksiantoyrityksen saamat hyödyt. Merkittävin anti tutkimuksen tuloksista yleisellä tasolla on osoitus siitä, että BfP:tä pystytään hyödyntämään myös tuotteen osajoukon tuotekehityksessä konfiguroitavaksi kokonaisuudeksi.

Liiketoiminnan näkökulmasta tutkimuksen tuloksia on tässä vaiheessa haasteellista arvioida. Yrityksessä ei ole ennen myyty päätauluja konfiguroitavina tuotteina, joten tutkimuksen tuloksien hyödyntäminen vaatii jatkossa parempaa yhteistyötä myynnin ja tuotannon välillä. Liiketoiminnan näkökulmasta tuloksien merkittävyyttä pystytään arvioimaan vasta, kun vakioitua mekaanista rakennetta on hyödynnetty asiakastapauksissa ja siitä on kertynyt kokemusta sekä myynnin, että tuotannon työntekijöille.

9. PÄÄTELMÄT

Tämän tutkimuksen toimeksiantoyrityksenä toimi Promeco Group Oy. Tutkimuksen kohteena oli päätaulujen mekaanisen rakenteen vakiointi. Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää päätauluille sellainen vakioitu mekaaninen rakenne, jolla pystytään vastaamaan yleisimpiin asiakasvaatimuksiin, jotta yrityksen tilauskohtaista mekaniikkasuunnittelua saadaan vähennettyä ja suunnittelun uudelleenkäyttöastetta nostettua.

Tutkimus alkoi tutkimuksen tavoitteiden määrittämisellä, jonka pohjalta tutkimuksen alussa muodostettiin tutkimuksen kulkua ohjaavat tutkimuskysymykset. Tämän jälkeen määriteltiin tutkimusote ja tutkimusstrategia. Tutkimuksen alkuvaiheessa esitettiin tutkimuskartta, joka avaa tutkimuksen etenemistä ja sen eri vaiheita. Tutkimusasetelman määrittämisen jälkeen aloitettiin tutkimuksen kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsauksen alussa kuvattiin kirjallisuuskatsauksen aineistonhankintamenetelmiä.

Kirjallisuuskatsaukseen kerättiin kattava ote tutkimuksen aihealueen teoriatiedosta aiempien julkaisujen pohjalta. Tärkeimpinä aihealueina kirjallisuuskatsauksessa toimivat vakiointi, konfigurointi, modulointi sekä modulaarisen tuotteen kehitysprosessi. Vakioinnin, konfiguroinnin ja moduloinnin teoriatietoon tutustuminen avasi aihealueen tärkeimpiä teorioita ja käsitteistöä. Tämän laaja kirjallisuuskatsaus auttoi hahmottamaan modulaarisen tuoteperheen kehitysprosessin vaiheita sekä helpotti prosessin hyödyntämistä tutkimuksen empiirisessä osuudessa. Tutkimuksessa modulaarisen tuotteen kehitysprosessina käytettiin Brownfield Process:ia. Tämän prosessin avulla pystyttiin vastaamaan toimeksiantoyrityksen ongelmaan ja löytämään päätauluille vakioitu mekaaninen rakenne.

Tutkimuksen empiirisessä osuudessa noudatettiin BfB:n yhdeksää ensimmäistä vaihetta. Tutkimuksen empiirisen osuuden ensimmäinen vaihe oli vahvistaa yrityksessä ymmärrys modulaarisella tuoterakenteilla saavutettavista hyödyistä Juutin (2008) syy-seurauskaavion avulla. Tämän lisäksi empiirisen osuuden ensimmäisessä vaiheessa etsittiin ja tunnistettiin asiakasympäristöstä tulevia muuntelua aiheuttavia vaatimuksia ja tarpeita toimeksiantoyrityksen asiantuntijoiden kanssa työpajahenkisesti. Tutkimuksen empiirisen osuuden toisessa vaiheessa luotiin tuotteen rakenteen geneerinen elementtimalli. Jako geneerisiin elementteihin suoritettiin toimeksiantoyrityksen asiantuntijoiden kanssa edellisessä vaiheessa määritettyjen asiakasvaatimusten perusteella. Määritettyjen geneeristen elementtien välisiä rajapintoja tutkittiin DSM-rajapintamatriisin avulla.

DSM-matriisin tueksi luotiin myös kaavio kuvaamaan geneeristen elementtien arkkitehtuuria ja rajapintoja. Tässä kaaviossa esitettiin geneeristen elementtien välisten rajapintojen lisäksi geneeristen elementtien ja perusjärjestelmän väliset rajapinnat. Tapaustutkimuksen kolmannessa vaiheessa luotiin alustava tuoteperhemääritelmä hyödyntäen muunneltua PFMP:tä. PFMP:n avulla tutkittiin mahdollisuuksia vakioitaville geneerisille elementeille sekä varmistuttiin siitä, että tuoteperhemääritelmä ei sisällä riskejä turhalle muuntelulle. Seuraavaksi määriteltiin alustavaa konfigurointitietoa muokatun K-matriisin avulla. Tässä vaiheessa K-matriisi sisälsi geneeriset elementit ja aiemmin määritellyt asiakasvaatimukset. Tapaustutkimuksen neljäs vaihe aloitettiin luomalla yksityiskohtaisempi kuvaus tuoteperheen arkkitehtuurista. Tässä vaiheessa tunnistettiin geneeristen elementtien elementtityypit sekä muuntelua vaativien elementtien ratkaisutyypit. Tämän jälkeen päätaulun mekaaniselle rakenteelle luotiin lopullinen konfigurointitieto. Lopullinen konfigurointitieto määritettiin käyttämällä muokattuja K- ja V-matriiseja. Tässä vaiheessa K-matriisissa esitettiin geneeristen elementtien lisäksi niiden ratkaisut sekä tarkennetut asiakasvaatimukset. Tapaustutkimuksen viimeisessä vaiheessa päätaulun vakioidulle mekaaniselle rakenteelle luotiin PSBP-kaavio, joka sisältää tapaustutkimuksen aikana kerätyn lopullisen konfigurointitiedon. BfP:n kymmenes vaihe jätettiin tämän tapaustutkimuksen ulkopuolelle, sillä se ei käsittele tutkimuksen aiheen rajauksen sisällä olevia osa-alueita.

Tapaustutkimuksen tuloksena päätauluille määritettiin sellainen vakioitu mekaaninen rakenne, jolla pystytään teoriatasolla vastaamaan yleisimpiin asiakasvaatimuksiin. Geneeristen elementtien rajapinnat pystyttiin tutkimuksen aikana määrittämään siten, että ne pysyvät pääosin vakiona muuntelusta huolimatta. Tämä koettiin yrityksen sisällä tärkeäksi, jotta vakioidun mekaanisen rakenteen kehittäminen on kannattavaa. Tapaustutkimuksen aikana pystyttiin kehittämään valmistettavia osia myös siten, että päätaulujen asennusvaiheessa vältytään joiltain osin ylimääräiseltä käsityöltä. Tämä ei ollut tutkimuksen tavoitteissa, mutta se silti koettiin onnistumisena yrityksessä.

Tämä tutkimus luo toimeksiantoyrityksessä hyvän pohjan moduloinnin ja vakioinnin hyödyntämiselle. Tutkimuksessa vakioitua mekaanista rakennetta testataan yrityksessä, joka tuo yritykselle arvokasta tietoa rakenteen toimivuudesta, sekä mahdollistaa tämän työn tuloksena luodun vakioidun rakenteen jatkokehittämisen. Työn suorittamisen aikana myös kohdeyrityksen asiantuntijat kerryttivät aihealueeseen liittyvää teoriatietoa, jota he voivat jatkossa hyödyntää myös muiden tuotteiden parissa sekä päätaulujen sähköpuolen vakioinnissa.

LÄHTEET

Andreasen, M. M. (2011). 45 Years with design methodology. Journal of Engineering Design. vol. 22. no. 5. s. 293–332. Saatavilla: https://doi.org/10.1080/09544828.2010.538040

Andreasen, M. M., Hansen, C. T., & Mortensen, N. H. (1996). The structuring of products and product programmes. In Proceedings of the 2nd WDK Workshop on Product Structuring, s. 15–44. Delft University of Technology.

Blessing, L. T. M., & Chakrabarti, A. (2009). DRM, a Design Research Methodology. Springer London. Saatavilla: https://doi.org/10.1007/978-1-84882-587-1.

Bongulielmi, L., Henseler, P., Puls, C., & Meier, M. (2002). The K-& V-matrix-method in comparison with matrix-based methods supporting modular product family architectures. Proceedings of NordDesign 2002 Conference. Trondheim, Norway. August 14–16.

Bongulielmi, L., Henseler, P., Puls, C., & Meier, M. (2001). The K-& V-matrix method– An approach in analysis and description of variant products. International Conference on Engineering Design, ICED 01. Glasgow. August 21–23.

Duffy, S. M., Duffy, A. H. B., & MacCallum, K. J. (1995). A design reuse model. International Conference on Engineering Design, Praha. s. 490–495.

Flyvbjerg, B. (2006). Five Misunderstandings About Case-Study Research. Qualitative Inquiry, vol. 12, no. 2, s. 219–245. Saatavilla: https://doi.org/10.1177/1077800405284363.

Harlou, U. (2006). Developing product families based on architectures: Contribution to a theory of product families. Technical University of Denmark. 173 s.

Haug, A. (2008). Representation of Industrial Knowledge - as a Basis for Developing and Maintaning Product Configurators.

Hubka, V., & Eder, W. E. (1988). Theory of Technical Systems: A Total Concept Theory for Engineering Design. Springer-Verlag, Berlin. 275 s.

Jovane, F., Koren, Y., & Boër, C. R. (2003). Present and Future of Flexible Automation: Towards New Paradigms. CIRP Annals. vol. 52, no. 2. s. 543–560. Saatavilla: https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60203-0.

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. Publication 789. Saatavilla: https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-200903021019.

Juuti, T., & Lehtonen, T. (2006). Using multiple modular structures in delivering complex products. Proceedings of NordDesign 2006 Conference, s. 266–276.

Kallinen, T., & Kinnunen, T. (2021). Etnografia. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto [ylläpitäjä ja tuottaja]. Saatavilla (viitattu 28.3.2025): https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelma-opetus/>.

Kasanen, E., Lukka, K., & Siitonen, A. (1993). The Constructive Approach in Management Accounting Research. Journal of Management Accounting Research, vol. 5, s. 243–264.

Kratochvíl, M., Carson, C. (2005). Growing Modular: Mass Customization of Complex Products, Services and Software. First edition. Springer. https://doi.org/10.1007/b139063.

Kristjansson, A. H. (2005). Platform Assessment Matrix (PAMatrix): A Method to Support Decision Making on Product Platforms. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim. Saatavilla: http://hdl.handle.net/11250/231288

Lehtonen, T., Pakkanen, J., Lanz, M., Järvenpää, J., & Tuokko, R. (2011). Brownfield process for developing of product families. Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design, ICED 11. Copenhagen, Denmark, s. 248–257.

Lehtonen, T. (2007). Designing modular product architecture in the new product development. Tampere University of Technology. Publication 713. Saatavilla: https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-200810021062

Lukka, K. (2001). Konstruktiivinen tutkimusote. METODIX. Saatavilla (viitattu 13.3.2025): https://metodix.fi/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/.

Martio, A. (2015). Tuotekonfigurointi ja tuotetiedon hallinta (1. painos). Amartekno Oy, Espoo. 304 s.

Mikkola, J. H. (2007). Management of product architecture modularity for mass customization: modeling and theoretical considerations. IEEE Transactions on Engineering Management. vol. 54, no. 1. s. 57–69. Saatavilla: https://doi.org/10.1109/TEM.2006.889067

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K. H. (2007). Engineering Design: A Systematic Approach. Third edition. Springer Nature. 617 s. Saatavilla: https://doi.org/10.1007/978-1-84628-319-2.

Pakkanen, J., Juuti, T., Lehtonen, T., & Mämmelä, J. (2022). Why to design modular products?. Saatavilla: https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202208306812

Pakkanen, J., Juuti, T., & Lehtonen, T. (2016). Brownfield Process: A method for modular product family development aiming for product configuration. Design Studies, vol. 45. s. 210–241. Saatavilla: https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.04.004.

Pakkanen, J. (2015). Brownfield Process: A Method for the Rationalisation of Existing Product Variety towards a Modular Product Family. Tampere University of Technology. Publication 1299. Saatavilla: https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3537-6.

Pakkanen, J., Lehtinen, J., Juuti, T., & Lehtonen, T. (2013). The Module System and its requirements for PDM/PLM systems. Proceedings of the 1st PDM forum for Finland-Russia collaboration. Lappeenranta University of Technology. April 24–25. s. 91–96.

Perera, H. S. C., Nagarur, N., Tabucanon, M. T. (1999). Component part standardization: A way to reduce the life-cycle costs of products. International Journal of Product Economics. vol. 60. s. 109–116. Saatavilla: https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00179-0.

Pine, B. J. (1993). Mass customization: the new frontier in business competition. Harvard Business School Press. 333 s.

Promeco Group Oy. Nettisivu. Saatavilla (viitattu 30.4.2025): https://promeco.fi/fi/

Pulkkinen, A. (2007). Product configuration in projecting company: the meeting of configurable product families and sales-delivery process. Tampere University of Technology. Publication 712. Saatavilla: https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-200902201016

Saunders, M. N. K., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). Research Methods for Business Students. Fifth edition. 614 s.

Soininen, T. (2000). An approach to Knowledge Representation and Reasoning for Product Configuration Task. Helsinki University of Technology. Acta Polytechnical Scandinavia. no. 111.

Soininen, T., Tiihonen, J., Männistö, T., & Sulonen, R. (1998). Towards a general ontology of configuration. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing. vol. 12, no. 4. s. 357–372. Saatavilla: https://doi.org/10.1017/S0890060498124083

Tiihonen, J., Lehtonen, T., Soininen, T., Pulkkinen, A., Sulonen, R. & Riitahuhta, A. (1998). Modeling configurable product families. 4th WDK Workshop on Product Structuring. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

Tiihonen, J., Soininen, T., Männistö, T. & Sulonen, R. (1998). Configurable products - Lessons learned from the Finnish Industry. Helsinki University of Technology, Helsinki.

Tiihonen, J., & Soininen, T. (1997). Product Configurators – Information System Support for Configurable Products. Helsinki University of Technology, Helsinki.

Ulrich, K. T., Eppinger, S. D., & Yang, M. C. (2020). Product design and development. Seventh edition. McGraw-Hill Education, New York. 432 s.

Victor, B., & Boynton, A. C. (1998). Invented Here - Maximizing Your Organization's Internal Growth and Profitability. Harvard Business School Press. 255 s.

LIITE A: ASIAKASVAATIMUKSET JA MUUNTELUTARPEET

Tämä asiakirja on tarkoitettu vain toimeksiantoyrityksen käyttöön, eikä sitä tästä syystä voida esittää tutkimuksen julkisessa versiossa.

LIITE B: KONFIGUROINTIMATRIISI

Tämä asiakirja on tarkoitettu vain toimeksiantoyrityksen käyttöön, eikä sitä tästä syystä voida esittää tutkimuksen julkisessa versiossa.

LIITE C: YHTEENSOPIVUUSMATRIISI

Tämä asiakirja on tarkoitettu vain toimeksiantoyrityksen käyttöön, eikä sitä tästä syystä voida esittää tutkimuksen julkisessa versiossa.

LIITE D: PSBP

Tämä asiakirja on tarkoitettu vain toimeksiantoyrityksen käyttöön, eikä sitä tästä syystä voida esittää tutkimuksen julkisessa versiossa.