

Nikke Virtanen

**MUUNNELTAVAN TUOTTEEN  
RAKENTEELLINEN JAKOTAPA**  
Nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmä

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Diplomityö  
Maaliskuu 2020

# TIIVISTELMÄ

Nikke Virtanen: Muunneltavan tuotteen rakenteellinen jakotapa – Nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmä  
Diplomityö  
Tampereen yliopisto  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Maaliskuu 2020

---

Nykypäivänä valmistavan teollisuuden tuotteet ovat monimutkaisia ja niiltä vaaditaan muuntelua soveltuakseen erilaisiin käyttötarkoituksiin. Yritykset, jotka pystyvät vastaamaan asiakkaiden ja eri markkinasegmenttien asettamiin vaatimuksiin kustannustehokkaasti, ovat kilpailullisesta näkökulmasta muiden toimijoiden edellä. Kustannustehokkaiden muunneltavien tuotteiden kehittämisessä on avainasemassa konfigurointi ja modulointi.

Työn toimeksiantoyritys etsii käytännön ratkaisuja ja toimintatapoja muunneltavien tuotteiden hallintaan varmistaakseen nykyisen asemansa alansa markkinajohtajana myös tulevaisuudessa. Tarkemmin yritys on kiinnostunut tuotteidensa optiotarjonnan järjeistämistä ja rakenteellisen jakotavan määrittämisestä. Tavoitteena on vähentää yrityksen omien prosessien monimutkaisuutta säilyttäen samalla monipuolinen tuotetarjonta. Tutkimus toteutetaan laadullisena konstruktivisena tapaustutkimuksena.

Työn teoreettinen osuus on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa käsitellään modulaaristen ja konfiguroitavien tuoterakenteiden aihealueella esiintyviä termejä ja käsitteitä. Toisessa osassa tutustutaan suunnitteluprosesseihin, jotka ovat muodostettu olemassa olevan tuotteen kehittämisen tueksi kohti modulaarista konfiguroitavaa tuoteperhettä.

Työn empiirisessä osuudessa tutkitaan nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän nykytilaa ja siinä esiintyviä ongelmia. Nykytila-analyysin avulla perustellaan tässä tapauksessa hyödynnettävän suunnitteluprosessin valinta. Lopuksi, valitun suunnitteluprosessin avulla uudelleen suunnitellaan nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmä.

Tutkimuksen tuloksena määritetty nostolavalaitteen hälytys- valaistusjärjestelmän rakenteellinen jakotapa on selkeä ja helposti hallittava kokonaisuus. Kaikki järjestelmään kohdistuvat muuntelutarpeet ovat tunnistettu ja perusteltu. Järjestelmän muuntelu toteutetaan mahdollisimman vähäisellä muuntelulla noudattaen teoreettisessa viitekehyksessä määritettyjä toimintatapoja ja käytännön ohjeita.

Avainsanat: muuntelu, konfigurointi, modulointi, jakotapa, vakiointi

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Nikke Virtanen: Product structuring of variable product – Emergency light and lighting system of aerial platform  
Master's Theses  
Tampere University  
Mechanical Engineering  
March 2020

---

Nowadays products of the manufacturing industry are complex and variability is required from them to fit on different use cases. Companies, that are able to answer cost-efficiently to requirements set by clients and different market segments, are ahead of the rival companies from a competitive point of view. Configuration and modularization play a key role in developing cost-efficient variable products.

Commission company of this thesis is seeking practical solutions and practices for managing of variable products to ensure its current position as market leader in its industry also in the future. More specifically, the company is interested in rationalizing the offer of options for its products and defining the means of product structuring. The aim is to reduce the complexity of the company's own processes while maintaining a wide-ranging product assortment. The thesis is carried out as a qualitative constructive case study.

Theoretical part of the thesis is divided into two parts. In the first part terms and concepts appearing in the field of modular and configurable product structures are discussed. In the second part design processes that are created as support to develop existing product towards modular configurable product family are introduced.

In the empirical part of the thesis current state and problems occurring in the emergency light and lighting system of aerial platform is studied. Choosing of the design process utilized in this case is justified by the current state analysis. Finally, the emergency light and lighting system of aerial platform is redesigned with the help of the chosen design process. Product structuring of the emergency light and lighting system of aerial platform defined as a result of the thesis is clear and easily manageable entity. All variety needs directed to the system are identified and justified. Variability of the system is carried out with minimum variation as possible while following the methods and practical guidelines defined in the theoretical frame of reference.

**Keywords:** variability, configuration, modularization, structuring, standardization

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

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on suoritettu Bronto Skylift Oy Ab:n suunnittelu ja tuotekehitysosastolle osana laajempaa optiorakenteiden kehitysprojektia. Työn suorituksen aikana on koettu erinäisiä haasteita. Etenkin työn alussa tarkempien suuntaviivojen ja rajauksen hahmottaminen aiheutti päänvaivaa. Päällimmäisenä ajatuksena työn suorittamisesta ja koko opiskeluajasta jää kuitenkin mieleen, että tahdonvoimalla ja sinnikkäällä työnteolla kaikki on mahdollista. Diplomityön suorittaminen on kehittänyt henkilökohtaista tietoutta ja työskentelytaitoja, joita tarvitsen tulevaisuudessa urani aikana.

Haluan osoittaa kiitokseni työn ohjaamisesta apulaisprofessori Tero Juutille. Etenkin työn alkuaikana saatu tuki suuntaviivojen ja rajauksen määrittämisessä auttoi työn läpivientiä oikeaan suuntaan.

Lisäksi haluan kiittää esimiestäni, Juho Lehtistä, luottamuksesta ja mahdollisuudesta suorittaa diplomityö joustavasti muiden töiden ohella. Tuomo Immoselle haluan osoittaa kiitokset työn ohjaamisesta yrityksen puolesta sekä yleisesti kaikesta tuesta ja neuvoista, joita olet antanut minulle viimeisen kahden vuoden aikana esimerkillisenä tiiminvetäjänä.

Lopuksi haluan kiittää perhettäni ja kavereitani tuesta, jota olen saanut koko opiskeluaikana aina kun olen sitä tarvinnut. Erityinen kiitos Rimma Jusmalle tarjoamastasi loputtomasta tuesta ja luottamuksesta koko opiskeluaikana ja etenkin diplomityön suorituksen aikana.

Tampereella, 16.3.2020

Nikke Virtanen

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO.....	1
2.	TUTKIMUKSEN KUVAUS.....	2
2.1	Tutkimuksen tavoitteet, raja- ja tutkimuskysymykset.....	2
2.2	Tutkimusasetelma.....	3
2.3	Tutkimuksen rakenne.....	6
3.	KIRJALLISUUSKATSAUS.....	7
3.1	Tuote ja tuotetyypit.....	7
3.1.1	Tuotteen määritelmä muuntelun näkökulmasta.....	8
3.1.2	Yleiskuva R&D paradigmoista.....	9
3.1.3	Käsityö.....	12
3.1.4	Massatuotanto.....	13
3.1.5	Prosessin kehitys.....	13
3.1.6	Joustava tuotanto.....	14
3.1.7	Massaräätälöinti.....	14
3.1.8	Elinkaarikonfigurointi.....	16
3.2	Muunneltavan tuotteen suunnittelun lähestymistavat.....	16
3.2.1	Vakiointi ja muuntelu.....	16
3.2.2	Vakiointi.....	19
3.2.3	Rajapinnat.....	21
3.3	Konfigurointi.....	24
3.3.1	Konfiguroitava tuote.....	24
3.3.2	Konfigurointiin liittyvät prosessit.....	26
3.3.3	Konfiguraatiotehtävä.....	28
3.4	Modulointi.....	29
3.4.1	Moduloinnin kehittyminen.....	29
3.4.2	Moduloinnin käsitteet ja määritelmät.....	31
3.4.3	Modulaarisuus.....	33
3.4.4	Moduulijärjestelmä.....	35
3.5	Muunneltavat tuoterakenteet.....	37
3.5.1	Tuoteperheet ja tuotealustat.....	37
3.5.2	Tuotearkkitehtuuri.....	40
3.5.3	Tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet.....	42
3.6	Työkalut modulaarisen tuotteen kehittämiseen.....	45
3.6.1	Tuoteperheen kokonaissuunnitelma.....	45
3.6.2	K- & V-Matriisit.....	47
4.	PROSESSIT MODULAARISEN TUOTTEEN SUUNNITTELUUN.....	50
4.1	Modular Function Deployment.....	50
4.1.1	Asiakastarpeiden määrittäminen.....	51
4.1.2	Teknisten ratkaisujen valinta.....	51
4.1.3	Konseptien luominen.....	52
4.1.4	Konseptien arvioiminen.....	53
4.1.5	Moduulien kehittäminen.....	54
4.2	Brownfield Process.....	55
4.2.1	Liiketoimintaympäristön asettamat tavoitteet.....	57
4.2.2	Moduulijärjestelmän geneerinen elementtimalli.....	58
4.2.3	Geneeristen elementtien ja rajapintojen arkkitehtuuri.....	58
4.2.4	Asiakasympäristön asettamat tavoitteet.....	59
4.2.5	Alustava tuoteperhemääritelmä.....	60
4.2.6	Geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden välinen konfigurointitieto.....	61

4.2.7	Moduulien ja rajapintojen modulaarinen arkkitehtuuri .....	62
4.2.8	Moduulivarianttien ja asiakastarpeiden välinen konfigurointitieto .....	65
4.2.9	Tuoteperheen jakotavan dokumentointi .....	66
4.2.10	Liiketoimintavaikutusanalyysi .....	67
4.3	Prosessien vertailu .....	68
5.	BRONTO SKYLIFT OY AB .....	70
5.1	Nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmä .....	71
5.2	Yrityksen tavoitteet projektille .....	73
5.3	Prosessin valinta modulaarisen tuotteen suunnitteluun .....	73
6.	TAPAUS: NOSTOLAVALAITTEEN HÄLYTYS- JA VALAISTUSJÄRJESTELMÄ .....	74
6.1	Tavoitteiden ja vaatimuksien määrittäminen .....	75
6.2	Alustava suunnittelu .....	77
6.3	Konseptisuunnittelu .....	81
6.4	Jatkosuunnittelu .....	83
6.5	Dokumentointi .....	86
7.	TULOKSET JA ANALYYSI .....	89
7.1	Tutkimuskysymyksien vastaukset .....	89
7.2	Tulokset ja jatkotoimenpiteet yrityksessä .....	91
7.3	Tavoitteiden saavuttaminen .....	92
8.	KESKUSTELU .....	93
9.	YHTEENVETO .....	97
	LÄHTEET .....	100

LIITE A: MUUNTELUTARPEET

LIITE B: RAJAPINTAMATRIISI

LIITE C: ALUSTAVA TUOTEPERHEMÄÄRITELMÄ

LIITE D: KONFIGUROINTIMATRIISI

LIITE E: YHTEENSOPIVUUSMATRIISI

LIITE F: PSBP

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Tämän tapaustutkimuksen tutkimuskartta</i> .....	5
<b>Kuva 2.</b>	<i>Kirjallisuuskatsauksen kirjallisuuskartta</i> .....	7
<b>Kuva 3.</b>	<i>R&amp;D paradigmojen ”oikea tie” (Victor &amp; Boynton 1998)</i> .....	10
<b>Kuva 4.</b>	<i>R&amp;D paradigmojen tieto ja evoluutio (Pakkanen 2015)</i> .....	10
<b>Kuva 5.</b>	<i>Tuotetyyppien vertailu volyymin ja muuntelun suhteena (Juuti &amp; Lehtonen 2006)</i> .....	11
<b>Kuva 6.</b>	<i>Vaihtoehtoinen näkemys R&amp;D paradigmojen evoluutiosta (Jovane et al. 2003)</i> .....	12
<b>Kuva 7.</b>	<i>Suunnittelun uudelleenkäytön viitekehys (Duffy et al. 1995)</i> .....	17
<b>Kuva 8.</b>	<i>Muuntelun ja vakioinnin syy-seurauskaavio (Juuti 2008)</i> .....	18
<b>Kuva 9.</b>	<i>Vakioinnin mahdolliset vaikutukset ja mahdollisuudet tuotteen elinkaaren vaiheisiin (Pakkanen 2015)</i> .....	20
<b>Kuva 10.</b>	<i>Rajapintojen suunnittelun vaikutus moduulien vaihtokelpoisuuteen (Miller &amp; Elgård 1998)</i> .....	22
<b>Kuva 11.</b>	<i>Esimerkki vakioitujen rajapintojen ja komponenttien kategorisoinnista henkilöautoteollisuudessa (Fujimoto 2007)</i> .....	23
<b>Kuva 12.</b>	<i>Siirtymä konfiguroitaviin tuotteisiin (Juuti &amp; Lehtonen 2006)</i> .....	25
<b>Kuva 13.</b>	<i>Konfiguroitavan tuotteen tuotekehitysprosessi (Tiihonen &amp; Soininen 1997)</i> .....	27
<b>Kuva 14.</b>	<i>Konfiguroitavan tuotteen tilaus-toimitusprosessi (Lehtonen 2007)</i> .....	28
<b>Kuva 15.</b>	<i>Konfiguraattorilla suoritettu konfiguraatiotehtävä (Soininen 2000)</i> .....	29
<b>Kuva 16.</b>	<i>Modulaarisuuskategorioiden erot (muokattu lähteestä Lehtonen et al. 2017)</i> .....	32
<b>Kuva 17.</b>	<i>Elinkaarimodulaarisuuden vaiheet (muokattu lähteestä Lehtonen 2007)</i> .....	32
<b>Kuva 18.</b>	<i>Modulaarisuuden kuusi tyyppiä. Alun perin Ulrich &amp; Tung (1991) esittivät viisi tyyppiä joihin Pine (1993) lisäsi kuudennen ”Mix Modularity” tyyppin (Erixon 1998)</i> .....	34
<b>Kuva 19.</b>	<i>Yhteenvedo konfiguroitavien modulaaristen tuotteiden avainkäsitteistä ja niiden välisistä suhteista (Juuti 2008)</i> .....	36
<b>Kuva 20.</b>	<i>Tuotealustan hyödyntämisstrategiat (muokattu lähteestä Meyer 1997)</i> .....	39
<b>Kuva 21.</b>	<i>Arkkitehtuuri voi olla integroitu/modulaarinen ja avoin/suljettu. (Fujimoto 2007)</i> .....	41
<b>Kuva 22.</b>	<i>Tuoterakenteen suunnitteluperiaatteiden sääntölista (Lehtonen et al. 2017)</i> .....	43
<b>Kuva 23.</b>	<i>PFMP sisältää asiakkaan, tekniikan ja osan näkökulman (Harlou 2006)</i> .....	46
<b>Kuva 24.</b>	<i>Esimerkki PFMP:n käytöstä kuvaa tuoteperhettä kolmesta eri näkökulmasta (Harlou 2006)</i> .....	47
<b>Kuva 25.</b>	<i>K- &amp; V-Matriisi -työkalun rakenne (Bongulielmi et al. 2002)</i> .....	48
<b>Kuva 26.</b>	<i>Modular Function Deployment (MFD) -menetelmän vaiheet (Erixon 1998)</i> .....	50
<b>Kuva 27.</b>	<i>Yksinkertaistettu QFD (Erixon 1998)</i> .....	51
<b>Kuva 28.</b>	<i>Module Indication Matrix (MIM) -työkalu arvioi teknisiä ratkaisuja moduulijureita vastaan (Erixon 1998)</i> .....	53
<b>Kuva 29.</b>	<i>Rajapintamatriisi havainnollistaa rajapintojen yhteyksiä (Erixon 1998)</i> .....	54
<b>Kuva 30.</b>	<i>Brownfield Process (BfP) -menetelmän vaiheet (Pakkanen 2015)</i> .....	56
<b>Kuva 31.</b>	<i>Esimerkki muokatusta K-matriisista BfP:ssa (Pakkanen 2015)</i> .....	62

<b>Kuva 32.</b>	<i>BfP vaihe 7: modulaarisen arkkitehtuurin määrittäminen prosessin aikaisemmissa vaiheissa kerätyn tiedon pohjalta (muokattu lähteestä Pakkanen 2015) .....</i>	<i>64</i>
<b>Kuva 33.</b>	<i>Modulaarisen tuoteperheen lopullinen konfigurointitieto muokatussa K-matriisissa (Pakkanen 2015) .....</i>	<i>65</i>
<b>Kuva 34.</b>	<i>Modulaarisen tuoteperheen jakotavan dokumentointi PSBP:n avulla visualisoi tuoteperheen jakologiikan ja suunnittelun päättelyketjun (Pakkanen 2015).....</i>	<i>66</i>
<b>Kuva 35.</b>	<i>Selainpohjaisella ohjelmalla muodostettu viimeisimmän näkemyksen mukainen PSBP (Nordic Element 2020).....</i>	<i>67</i>
<b>Kuva 36.</b>	<i>Liiketoimintavaikutusanalyysin (BIA) perusidea (Pakkanen et al. 2016) .....</i>	<i>68</i>
<b>Kuva 37.</b>	<i>Nostolavalaitteen perusrakenne .....</i>	<i>70</i>
<b>Kuva 38.</b>	<i>Geneerinen elementtimalli .....</i>	<i>79</i>
<b>Kuva 39.</b>	<i>Otos rajapintamatriisista.....</i>	<i>80</i>
<b>Kuva 40.</b>	<i>Geneeristen elementtien arkkitehtuuri, laitteen sivunäkymä.....</i>	<i>80</i>
<b>Kuva 41.</b>	<i>Otos alustavasta tuoteperhemääritelmästä .....</i>	<i>81</i>
<b>Kuva 42.</b>	<i>Otos geneeristen elementtien ja muunteluryhmien konfigurointimatriisista.....</i>	<i>82</i>
<b>Kuva 43.</b>	<i>Nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän modulaarinen arkkitehtuuri .....</i>	<i>84</i>
<b>Kuva 44.</b>	<i>Otos teknisten ratkaisujen ja muuntelutarpeiden konfigurointimatriisista.....</i>	<i>85</i>
<b>Kuva 45.</b>	<i>Otos teknisten ratkaisujen yhteensopivuusmatriisista.....</i>	<i>86</i>
<b>Kuva 46.</b>	<i>Otos PSBP:stä.....</i>	<i>87</i>
<b>Kuva 47.</b>	<i>Esimerkki konfiguraation määrityksestä .....</i>	<i>88</i>



## LYHENTEET JA MERKINNÄT

ATO	Assembled-to- order
BfP	Brownfield Process
BIA	Business Impact Analysis
CAD	Computer Aided Design
CSL	Company Strategic Landscape
CTO	Configured-to-order
DFX	Design for X
ETO	Engineered-to-order
MFD	Modular Function Deployment
MIM	Modular Indication Matrix
MTO	Made-to-order
MTS	Made-to-stock
PFMP	Product Family Master Plan
PSBP	Product Structure Blue Print
PSP	Product Structuring Principles
QFD	Quality Function Deployment
TK	Tutkimuskysymys

# 1. JOHDANTO

Tyypillisesti tuotteiden kehittäminen alkaa yksittäisen kiinteän tuotteen kehittämisellä, joka suunnitellaan vastaamaan tietyn asiakkaan tai markkinasegmentin asettamiin vaatimuksiin. Uusien asiakassuhteiden solmiminen, olemassa olevien asiakkaiden tyytyväisensä pitäminen ja uusien markkinasegmenttien valtaaminen vaatii erilaisten vaatimusten täyttämistä. Useiden erilaisten vaatimusten samanaikainen saavuttaminen kustannustehokkaasti vaatii tuotteelta muuntelukykä. Yleisesti tunnistettu toimintapa muunneltavien tuotteiden hallintaan on massaräätälöinti, jossa tavoitteena on täyttää asiakkaiden vaatimukset riittävän laajan tuotetarjonnan avulla. Laajan tuotetarjonnan ylläpitäminen kustannustehokkaasti on mahdollista muunneltavien ja konfiguroitavien tuotteiden avulla.

Muunneltavien ja konfiguroitavien tuotteiden kustannustehokkuus perustuu modulaarisuuteen, jonka avulla voidaan muodostaa erilaisia variaatioita tuotteesta yhdistelemällä ennalta määritettyjä tuoterakenteen elementtejä halutulla tavalla. Modulaarisuuden mahdollistajana toimii vakiointi ja ennalta määritettyjen elementtien uudelleenhyödyntäminen. Tuotteiden rakenteellisesta näkökulmasta muuntelun mahdollistajana toimii kaikille tuotevarianteille yhteinen tuotealusta ja sitä hyödyntävä tuoteperhe. Tuoteperheellä on modulaarinen arkkitehtuuri, jossa tuoterakenteen elementit ovat keskinäisessä vuorovaikutuksessa selkeästi määritettyjen rajapintojen kautta.

Modulaaristen konfiguroitavien tuoteperheiden kehittämisen tueksi on esitetty erilaisia suunnitteluprosesseja. Suunnitteluprosessit ohjaavat kustannustehokkaiden muunneltavien tuoterakenteiden suunnittelua huomioimalla tuotteisiin kohdistuvat muuntelutarpeet sekä yrityksen arvontuoton kannalta tärkeät osa-alueet ja linkittämällä niiden yhteydet tarvittaviin teknisiin ratkaisuihin. Suunnitteluprosessien avulla kehitetty muunneltavan tuotteen rakenteellinen jakotapa kerää modulaarisuuden avulla saavutettavat hyödyt tuotteen elinkaaren kaikissa vaiheissa.

Tämän diplomityön lähtökohtana oli sen toimeksiantoyrityksen, Bronto Skylift Oy Ab:n, päivittäisessä toiminnassa havaittujen ongelmien kautta ilmennyt tarve yrityksen tarjoamien tuotteiden optiotarjonnan järjeistämiseksi ja muunneltavien tuotteiden rakenteellisen jakotavan määrittämiseksi. Tässä diplomityössä tutkitaan muunneltavien tuotteiden rakenteellista suunnittelua ja tuoterakenteen jakotavan määrittämistä ja esitetään käytännön tasolla saavutettuja tuloksia ja toimintatapoja esimerkkitapauksen avulla. Esimerkkitapauksena käsitellään nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän uudelleensuunnittelua.

## 2. TUTKIMUKSEN KUVAUS

Tässä luvussa esitetään tutkimuksen suorittamiseen liittyviä osa-alueita. Aliluvussa 2.1 käsitellään tutkimuksen tavoitteet, rajaus ja muodostetut tutkimuskysymykset. Aliluvussa 2.2 esitetään tutkimusasetelma ja tutkimuksen kulkua havainnollistetaan tutkimuskartan avulla. Lopuksi aliluvussa 2.3 kuvataan tutkimuksen rakenne.

### 2.1 Tutkimuksen tavoitteet, rajaus ja tutkimuskysymykset

Tässä tutkimuksessa tutkitaan, miten ajan saatossa vaikeasti hallittavaksi kokonaisuudeksi paisunut nostolavalaitteiden hälytys- ja valaistusjärjestelmän tuotetarjonta, arkkitehtuuri ja tuoterakenne voidaan jaotella ja suunnitella uudelleen kohti modulaarista tuoteperhettä.

Tutkimuksen päätavoitteena on tutkia miten nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmään kohdistuvat globaalit vaatimukset ja asiakastarpeet hallitaan laajassa tuoteportfoliossa tehokkaasti huomioiden teknologian nopea kehitys. Kehityskohteeksi valittuun järjestelmään kohdistuu useita erilaisia vaatimuksia ja tarpeita, jolloin järjestelmällä tulee olla kyky mukautua. Muuntelun suunnitteluun liittyy läheisesti termit konfigurointi ja modulointi. Kohdeyrityksessä konfigurointi on hyvin pinnalla oleva puheenaihe, jonka laajempaa hyödyntämistä on hiljattain aloitettu suunnittelemaan. Kehityskohteena olevan hälytys- ja valaistusjärjestelmän nykyinen tekninen toteutustapa sisältää modulaarisia piirteitä, mutta sitä ei systemaattisesti hyödynnetä koko järjestelmässä. Tuotetarjonnan rationalisoimiseksi, modulaarisuusasteen nostamiseksi ja hallittavuuden parantamiseksi kehityskohteena olevan nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän määrittämiseen sovelletaan modulaarisen tuoteperheen suunnittelun tueksi kehitettyä ”Brownfield Process” -menetelmää (BfP). Sovellettavaksi menetelmäksi valittiin BfP, koska se käsittelee konfigurointiin liittyvää tietoa syvällisesti, joka on myös tutkimuksen kohdeyrityksessä keskiössä oleva puheenaihe. Muita BfP:n valintaperusteluita käsitellään luvussa 5.3. Tämän tutkimuksen näkökulmasta BfP:n päätuotos on yhdeksännen vaiheen visuaalinen esitys uudelleensuunnitellun tuoteperheen rakenteellisesta jakotavasta, jossa esitetään selkeästi tuoteperheeseen kohdistuvat muuntelutarpeet, generiset elementit ja tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet sekä niiden väliset yhteydet. Jakotavan kautta määritetään ja perustellaan tuoteperheen tuotetarjonta.

Tutkimuksen akateemisenä tavoitteena on tunnistaa uusia tuoterakenteen suunnitteluperiaatteita. Tähän mennessä kaikki tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet ovat tunnistettu empiiristen havaintojen kautta tutkimalla onnistuneissa kehityshankkeissa käytetyt rakenteellisia ratkaisuja. BfP:n soveltaminen nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmään on oivallinen mahdollisuus tunnistaa uusia tuoterakenteen suunnitteluperiaatteita. Toinen akateeminen tavoite on havainnollistaa BfP:n soveltuvuutta käytännön kehitysprojektissa, jossa kehityskohteena ei ole itsessään yrityksen tarjoama tuote, vaan tarkastelu kohdistetaan tuotteesta eriytettyyn järjestelmään, joka on varsinaisen tuotteen osakokonaisuus. Onnistunut kehitysprojekti vahvistaa BfP:n hyödyllisyyttä modulaarisen konfiguroitavan tuoteperheen suunnittelun tukena.

Tutkimuksen kohteena voisi olla myös koko nostolavalaitte, mutta modulaarisuuden ollessa kohdeyrityksessä suhteellisen tuntematon käsite, niin tässä tutkimuksessa rajautaan tutkimaan modulaarisuuden avulla saavutettavia hyötyjä nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän osalla. Kohteen rajaaminen pienempään osa-alueeseen mahdollistaa konkreettisimpien tuloksien saavuttamisen, koska tämän tutkimuksen resurssien puitteissa koko tuotteen moduulijärjestelmän tunnistaminen ja määrittäminen olisi ollut mahdotonta. Positiiviset ja konkreettiset tulokset moduulijärjestelmän luomisesta tuotteen pienemmän osa-alueen saralla toimivat erinomaisena esimerkkinä ja perusteluna ideologian hyödyntämiselle koko tuotteeseen.

Asetettujen tavoitteiden perusteella muodostetaan seuraavat tutkimuskysymykset:

**TK 1:** Mikä on tutkimuksen nykytaso muunneltavan tuotteen tuotekehityksen, moduloinnin ja konfiguroinnin saralla?

**TK 2:** Minkälainen on uudelleensuunnitellun nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän rakenteellinen jakotapa?

**TK 2.1:** Mitkä tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet ovat relevantteja nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmässä?

**TK 2.2:** Mihin geneeriseen elementtiin kukin tunnistettu tuoterakenteen suunnitteluperiaate on kohdistettu ja miksi?

**TK 2.3:** Mihin geneeriseen elementtiin muuntelutarpeet ovat kohdistettu ja miksi?

Tutkimuskysymyksien tarkoituksena on tarkentaa tutkimuksen lähtökohtia, ohjata tutkimuksen kulkua sekä auttaa tarkempien välitavoitteiden ja tutkimusstrategian määrittämisessä. TK 1 vastaamisen tavoitteena on selvittää tutkittavan aihealueen tutkimuksen nykytila, kartuttaa tutkijan tietämystä tutkimuksen aihealueeseen liittyen ja määrittää tutkimukselle teoreettinen tietopohja. TK 2 vastaaminen tukee tutkimuksen päätavoitteen saavuttamista. TK 2 on kysymyksenä hyvin laaja, jonka takia siihen vastaamisen tueksi määritettiin tarkentavat alikysymykset TK 2.1, TK 2.2 ja TK 2.3.

## 2.2 Tutkimusasetelma

Tutkimuksen alussa tutkijan tulee valita tutkimuksessa käytettävä lähestymistapa. Creswell (2014) tunnistaa kolme lähestymistapaa: laadullinen, määrällinen ja sekamenetelmällinen. Laadullinen lähestymistapa pyrkii ymmärtämään tutkittavaa kohdetta tai ilmiötä kokonaisvaltaisesti ja tulokset esitetään tyypillisesti sanallisten kuvauksien avulla. Määrällinen lähestymistapa pyrkii luokittelemaan tutkittavia kohteita tai ilmiöitä ja esittämään niiden välisiä syy-seuraussuhteita numeeristen tuloksien avulla. Sekamenetelmällinen lähestymistapa on laadullisen ja määrällisen lähestymistavan yhdistelmä, joka pyrkii tarjoamaan täydellisemmän käsityksen tutkimusongelmasta kuin kumpikaan lähestymistapa yksinään. (Creswell 2014)

Alun perin liiketaloustieteen alueella kehitetty konstrukttiivinen tutkimusote on nykyään saanut suosiota myös tekniikan tutkijoilta. Konstrukttiivisen tutkimusotteen tavoitteena on tuottaa innovatiivisia konstruktioita ratkaisemaan reaali maailman ongelmia. Ideaalitulanteessa uusi konstruktio ratkaisee käytännön ongelman ja tuottaa samalla teoreettista kontribuutiota. Luonteensa mukaisesti konstruktivistisista tutkimusotetta hyödynnetään

yleensä tutkimuksissa, joissa tutkimuksen tilaajana ja rahoittajana toimii tietty kohdeyritys. Tästä syystä konstruktivinen tutkimusote edellyttää yksityiskohtaista ymmärrystä kohdeyrityksen toimintatavoista, jotta kehitettävät konstruktiot ovat hyödyllisiä myös käytännössä. Tyypillisesti tutkija liittyy projektiryhmän osaksi, jonka muita jäseniä ovat kohdeyrityksen asiantuntijat ja tietyt avainhenkilöt. (Lukka 2000)

Tutkittaessa nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän rakenteellisen jakotavan uudelleensuunnittelua on tutkimuksen luonteen mukainen lähestymistapa laadullinen. Modulaarisuus on tutkimuksen kohdeyrityksessä suhteellisen tuntematon käsite, jonka takia laadullisen tutkimuksen tarjoamat tulokset riittävät tässä vaiheessa esittämään modulaarisuuden avulla saavutettavia hyötyjä kohdeyritykselle. Konstruktivinen tutkimusote on sopiva tähän tutkimukseen, koska tyypillisen kysely- tai kenttätutkimuksen akateemisen ja neutraalin kuvauksen sijasta, se tuottaa ratkaisun yrityksen käytännön ongelmaan. Tutkijalla on myös aiempaa kokemusta kohdeyrityksen kanssa toimimisesta. Ennen tutkimuksen aloitusta tutkija on toiminut asiantuntijatehtävissä kyseisessä yrityksessä. Tutkijan toimiminen asiantuntijatehtävissä kohdeyrityksessä ennen tutkimuksen aloitusta toimii tämän tutkimuksen empiirisenä pohjatyönä. Yrityksen toimintatavat ovat tutkijan tiedossa ja projektiryhmän jäsenet tuntevat toisensa, jolloin tutkijan ja yrityksen välinen yhteistyö on luonnollista.

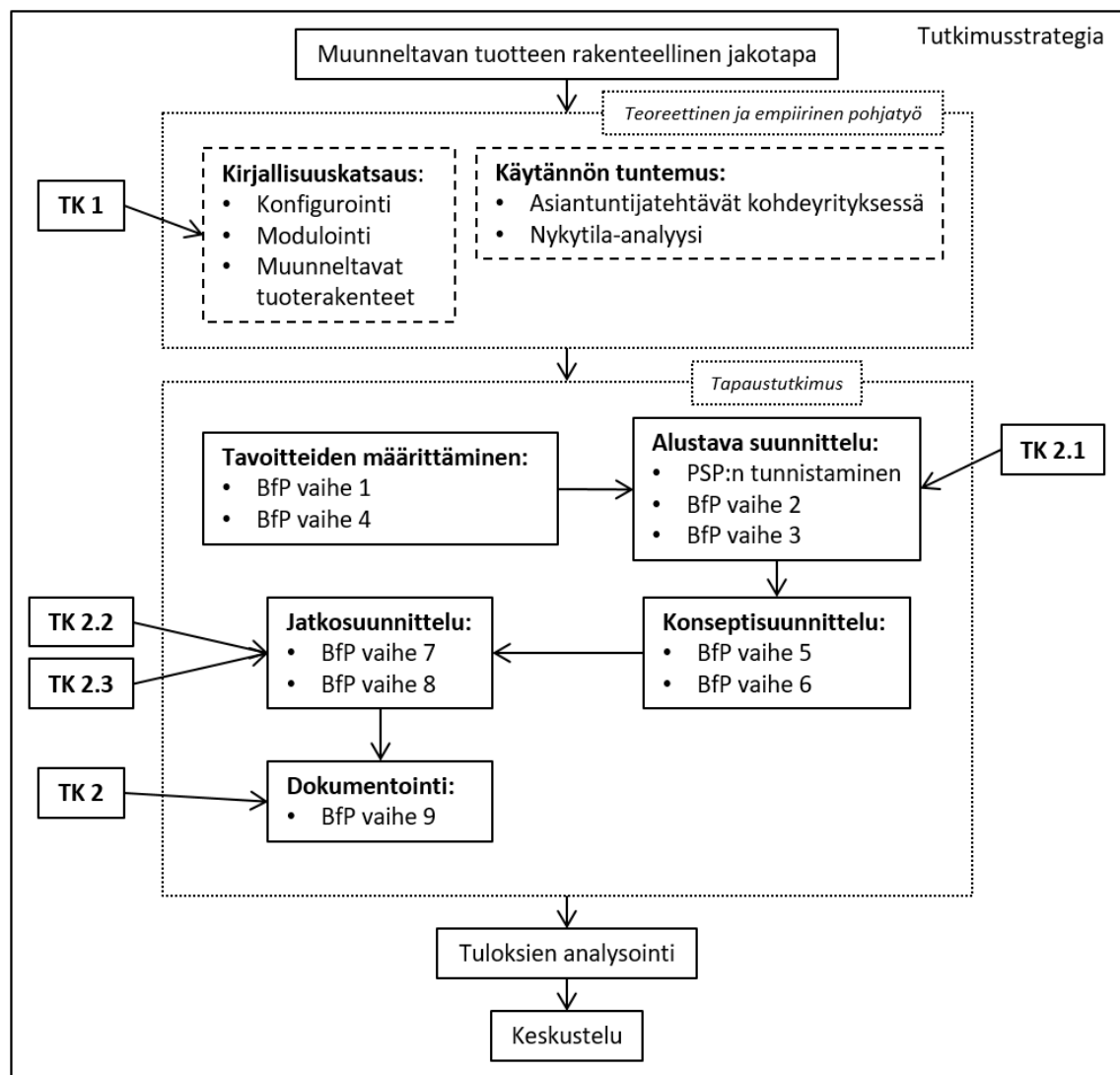
Tutkimussuunnitelma on yleinen suunnitelma tutkimuksen kulusta, jossa esitetään, miten ja missä vaiheessa kuhunkin tutkimuskysymykseen vastataan. Pelkkä lähestymistavan ja tutkimusotteen määrittäminen ei kuitenkaan riitä tutkimussuunnitelman muodostamiseen. Tutkimussuunnitelman avainasiat ovat tutkimusstrategia ja aineistonhankintamenetelmät. Tutkimuskysymyksiä muodostaminen ohjaa niitä tukevien tutkimusstrategioiden valintaan ja käytettävien aineistonhankintamenetelmien määrittämiseen. Tutkimussuunnitelma sisältää tutkimuskysymyksistä johdetut selkeät tavoitteet, määrittää lähteet kerättävälle aineistolle ja huomioi mahdolliset tutkimustyötä rajoittavat tekijät kuten tiedon saavutettavuuden ja resurssit. (Saunders et al. 2009)

Saunders et al. (2009) määrittävät tapaustutkimuksen olevan tutkimusstrategia, jossa tiettyä ilmiötä tutkitaan reaali maailman kontekstissa empiirisesti tietyllä ajanhetkellä. Tapaustutkimus on sopiva tutkimusstrategia, kun tavoitteena on saavuttaa syvällinen ymmärrys rajatusta ilmiöstä tai tapauksesta (Saunders et al. 2009). Tutkittava ilmiö tai tapaus voi olla monenlainen, mutta tyypillisesti tapaus rajataan omaksi kokonaisuudeksi tai yksiköksi. Tapaustutkimuksia kritisoidaan usein siitä, että niissä saavutettavia tuloksia ei voida yleistää laajempaan käyttöön. Flyvbjerg (2006) kuitenkin toteaa edellisen väitteen olevan yleinen väärinkäsitys. Flyvbjerg (2006) toteaa, että muodollista yleistämistä yliarvostetaan tieteellisen kehityksen lähteenä, kun taas esimerkkien voimaa aliarvioidaan. Tutkittava kohde rajataan hyvin tarkasti tutkittaessa nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän rakenteellisen jakotavan uudelleensuunnittelua, joten tämän tapauksen tutkimiseen soveltuva tutkimusstrategia on **laadullinen konstruktivinen tapaustutkimus**.

Konstruktivisen tutkimusprosessin yksi oleellinen vaihe on tutkimusaiheen teoreettisen tuntemuksen syvällinen hankkiminen kirjallisuuskatsauksen avulla. Kirjallisuuskatsauksen tarkoitus on esittää tutkimuksen aihealueeseen liittyvä keskeinen tieteellinen kirjallisuus ja aiemmat tutkimukset. Kirjallisuuskatsauksen avulla luodaan teoreettinen viitekehys, joka toimii tutkimuksen tietopohjana ja teoreettisena pohjatyönä. (Saunders et al. 2009)

Aineistonhankintamenetelmät ovat periaatteita ja tapoja, joita käytetään tutkimuksen empiirisen osuuden aineiston tuottamiseen. Laadulliselle tapaustutkimukselle tyypillisiä aineistonhankintamenetelmiä ovat havainnointi, haastattelut sekä valmiiden dokumenttien ja audiovisuaalisten materiaalien hyödyntäminen (Creswell 2014). Tässä tutkimuksessa aineistoa kerätään usean aineistonhankintamenetelmän avulla, eli aineistonhankinnan näkökulmasta tutkimus on **monimenetelmällinen**. Tutkimuksessa käytettävät aineistonhankintamenetelmät ovat osallistuva havainnointi, haastattelut, työpajat ja kohdeyrityksen sisäisen tietokannan valmiiden dokumenttien hyödyntäminen. Osallistuva havainnointi toteutetaan kenttätyönä, jossa tutkija toimii tutkittavan tilanteen ja yhteisön osallisena. Toteutettavat haastattelut ovat puolistrukturoituja täsmäryhmähaastatteluja.

Tämän luvun aiemmissa kappaleissa erikseen määritetyt tutkimussuunnitelman osa-alueet ovat yhdistetty ja havainnollistettu tutkimuskartan muodossa kuvassa 1. Tutkimuskartassa esitetään tutkimuksen eteneminen ja matkan varrella olevat tavoitteet, jotka vastaavat asetettuihin tutkimuskysymyksiin valitun tutkimusstrategian avulla.



**Kuva 1.** Tämän tapaustutkimuksen tutkimuskartta

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, niin tutkimus aloitetaan teoreettisella ja empiirisellä pohjatyöllä. Teoreettinen tietopohja luodaan kirjallisuuskatsauksen avulla. Nykytila-analyysin avulla analysoidaan yrityksen nykyistä toimintatapaa ja määritetään tavoiteltava

lopputilanne. Kun teoreettinen ja empiirinen pohjatyö on valmis, voidaan tutkimuksen empiirinen osuus aloittaa. Työn empiirinen osuus suoritetaan konstruktivisena tapaus-tutkimuksena, jossa BfP:ia sovelletaan nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän uudelleensuunnitteluun. Kun tapaus-tutkimus on suoritettu, niin saavutetut tulokset esitetään ja analysoidaan. Lopuksi pohditaan saavutettujen tuloksien merkitystä, mahdollisia tutkimukseen liittyviä riskejä sekä tulosten yleistettävyyttä.

## **2.3 Tutkimuksen rakenne**

Tutkimuksen rakenne koostuu yhdeksästä luvusta. Luvussa 1 on tutkimuksen johdanto. Luvussa 2 esitetään tutkimuksen suorittamiseen liittyvät ydinasiat kuten tavoitteet, rajaus, tutkimuskysymykset ja tutkimusasetelma.

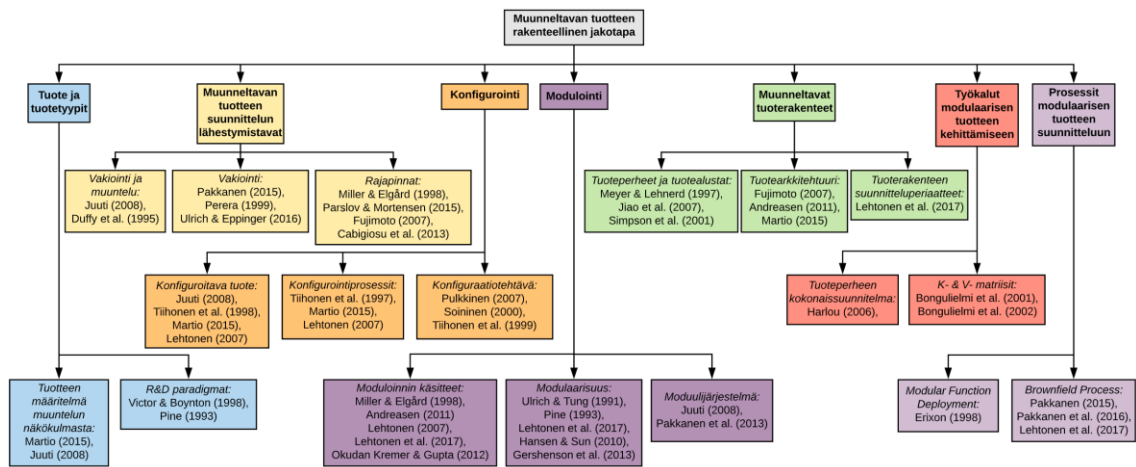
Luvut 3 ja 4 muodostavat tutkimuksen kirjallisuuskatsauksen. Luvussa 3 keskitytään konfigurointiin ja modulointiin sekä niiden taustalla olevan perusteorian esittämiseen. Luvussa 4 esitetään ja vertaillaan toisiinsa kahta suunnitteluprosessia, jotka ovat tarkoitettu modulaarisen konfiguroitavan tuoteperheen kehittämiseen.

Luvussa 5 esitellään tutkimuksen kohdeyritys, määritetään kehitysprojektin tavoitteet ja perustellaan BfP:n valinta sovellettavaksi menetelmäksi. Luvussa 6 raportoidaan BfP:n soveltaminen nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän uudelleensuunnitteluun.

Luvussa 7 esitetään saavutetut tulokset ja analysoidaan tavoitteiden saavuttamista. Luvussa 8 keskustellaan tutkimuksen suorittamisesta, pohditaan tutkimukseen liittyviä riskejä ja reflektoidaan käytännön tuloksien ja teorioiden välistä yhteyttä. Lopuksi luvussa 9 esitetään koko tutkimuksen yhteenveto.

### 3. KIRJALLISUUSKATSAUS

Luvuissa 3 ja 4 esitetään tämän tutkimuksen kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsauksen avulla selvitetään tutkimuksen aihealueeseen liittyvän tutkimustyön nykytaso. Kirjallisuuskatsaus esittää aihealueeseen liittyvien tutkimusten tuloksia. Samalla esitetään myös ne aihealueet, joihin tämän tutkimuksen tulokset reflektivat. Tutkimuksen aihealueen pääpaino on muunneltavan tuotteen suunnittelu rakenteellisesta näkökulmasta. Kuvassa 2 on tämän tutkimuksen kirjallisuuskatsauksen kirjallisuuskartta. Kirjallisuuskatsauksessa käsiteltävät pääaihealueet ovat kartan yläreunassa **lihavoituna**. Kartassa aihealueiden tarkemmat asiayhteydet ovat *kursivoitu* ja niiden pääasialliset lähteet esitetyt.



Kuva 2. Kirjallisuuskatsauksen kirjallisuuskartta

Kirjallisuuskartan perusteella määritettiin kirjallisuuskatsauksen rakenne. Johdantona tutkimuksen aihealueeseen luvussa 3.1 tarkastellaan eri tuotetyyppejä ja vallitsevia tuotantoparadigmoja tuotekehityksen näkökulmasta. Tämän jälkeen luvussa 3.2 perehdytään erilaisiin lähestymistapoihin, joita hyödynnetään muunneltavan tuotteen suunnittelussa. Seuraavaksi luvussa 3.3 tutustaan konfigurointiin ja luvussa 3.4 modulointiin. Luvussa 3.5 käsitellään muunneltavan tuotteen rakenteen jäsentämistapoja. Lopuksi luvussa 3.6 esitetään modulaarisen tuotteen kehittämisen tueksi tarkoitettuja työkaluja.

Kirjallisuuskatsauksen lopuksi luvussa 4 esitetään ja vertaillaan toisiinsa kahta modulaaristen konfiguroitavien tuoteperheiden kehittämiseen tarkoitettua suunnitteluprosessia. Luku 4 on eriytetty omaksi osa-alueeksi, koska suunnitteluprosessit ovat luonteeltaan erilaisia kuin luvussa 3 esitetty perusteoria. Suunnitteluprosessit pohjautuvat luvussa 3 esitettyyn perusteoriaan ja tarjoavat käyttäjille tukea ja ohjeita modulaaristen konfiguroitavien tuoteperheiden kehittämiseen.

Luvuissa 3 ja 4 esitetään tutkimuksen nykytaso tuotekehityksen, moduloinnin ja konfiguroinnin saralla. Täten lukujen 3 ja 4 sisältö toimii TK 1 vastauksena.

#### 3.1 Tuote ja tuotetyypit

Tuote on käsitteenä laajasti ymmärrettävä. Se voi tarkoittaa fyysistä hyödykettä, palvelua, dokumenttia tai ohjelmistoa. Tässä työssä puhuttaessa tuotteesta, sillä tarkoitetaan



fyysistä hyödykettä. Johdantona asiakaskohtaisesti muunneltavien tuotteiden maailmaan, tutustaan aluksi tuotteiden yleisiin määritelmiin sekä tuotteisiin ja niiden suunnitteluun liittyviin paradigmoihin.

### 3.1.1 Tuotteen määritelmä muuntelun näkökulmasta

Martion (2015) mukaan tuotteita voidaan ryhmitellä muuntelun näkökulmasta seuraaviin ryhmiin:

- Kiinteät tuotteet
- Konfiguroitavat tuotteet
- Muunneltavat tuotteet
- Projektituotteet.

Juuti (2008) esittää tuoterakenteelle seuraavan jaon:

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

Martion (2015) ja Juutin (2008) määritelmiä vertaillen havaitaan selkeitä yhtäläisyyksiä. Tuote ja sen rakenne voidaan jakaa muuntelun perusteella neljään kategoriaan.

**Kiinteä tuotteen** rakenne on täysin vakioitu ja kaikki sen mukaan valmistettavat tuotteet ovat identtisiä. Kiinteässä tuotteessa ei esiinny lainkaan muuntelua. Kiinteitä tuotteita valmistetaan yleensä massatuotantona, jolloin yksittäisen tuotteen valmistuskustannukset saadaan ajettua mahdollisimman alas (Martio 2015). Kiinteän tuotteen osien suunnittelussa keskitytään yleensä osan valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen. Yksittäisten osien suunnitteluun voidaan käyttää verrattain paljon resursseja, jotta osan valmistettavuus ja kokoonpantavuus saadaan riittävälle tasolle. Yksityiskohtaiseen suunnitteluun käytetty aika ja raha kompensoidaan moninkertaisesti osien suurella volyymillä.

**Konfiguroitava tuote** ja sen rakenne muodostetaan yhdistelemällä ennalta määritettyjä vaihtoehtoisia osia ja moduuleja erilaisiksi variaatioiksi tuotteesta. Osien ja moduulien valinta perustuu asiakkaan vaatimuksien ja konfigurointitiedon yhdistämiseen. Konfiguroitavassa tuotteessa kaikille asiakastarpeille on valmiiksi suunniteltu ratkaisu. Tuoterakenteen muodostaminen tapahtuu valitsemalla rakenteelle osat ja moduulit, jotka toteuttavat vaaditut asiakastarpeet. Konfiguroitavat tuotteet eivät vaadi tilauskohtaista suunnittelua, koska kaikki ratkaisut ovat jo valmiiksi suunniteltuja. Ratkaisujen valmis suunnittelu rajoittaa tuotteen muuntelua, mutta lyhentää tuotteen toimitusaikaa. (Tiihonen et al. 1999; Juuti 2008; Martio 2015) Konfiguroitavan tuotteen suunnittelussa keskitytään vaihtoehtoisten ratkaisujen yhteensopivuuteen ja samojen osien hyödyntämiseen ratkaisujen välillä. Luvussa 3.3 käsitellään konfigurointia yksityiskohtaisemmin.

**Muunneltavissa tuotteissa** tiettyjen asiakastarpeiden täyttäminen vaatii tilauskohtaista suunnittelua. Muunneltava tuote koostuu perusrakenteeltaan ennalta määritetyistä ja vakioiduista komponenteista, mutta tiettyjen asiakastarpeiden täyttäminen vaatii erillistä suunnittelutyötä vaativia ratkaisua. Tilauskohtaista suunnittelutyötä vaativat asiakastarpeet ovat yleensä joko niin yksityiskohtaisia tai harvinaisia vaatimuksia, että niille ei ole ollut järkevää suunnitella ratkaisua etukäteen tai niiden tarpeellisuutta ei olla aiemmin

tiedostettu. Muunneltavan tuotteen variointimahdollisuudet ovat konfiguroitavaan tuotteeseen verrattuna suuremmat, mutta tuotantovolyymit pienempiä. (Martio 2015)

Muunneltavan tuotteen tilauskohtaisessa suunnittelussa keskitytään ratkaisun toimivuuteen ja asiakastarpeiden täyttämiseen. Ratkaisun valmistuskustannusten ja kokoonpantavuuden optimointiin ei ole järkevää käyttää resursseja, koska tilauskohtaisten ratkaisujen tarve on yleisesti toimituskohtainen. Jos ratkaisua halutaan hyödyntää uudelleen toisessa käyttökohteessa, jonka volyyymi on suurempaa, niin ratkaisun ylläpitoon ja optimointiin on järkevää käyttää enemmän resursseja.

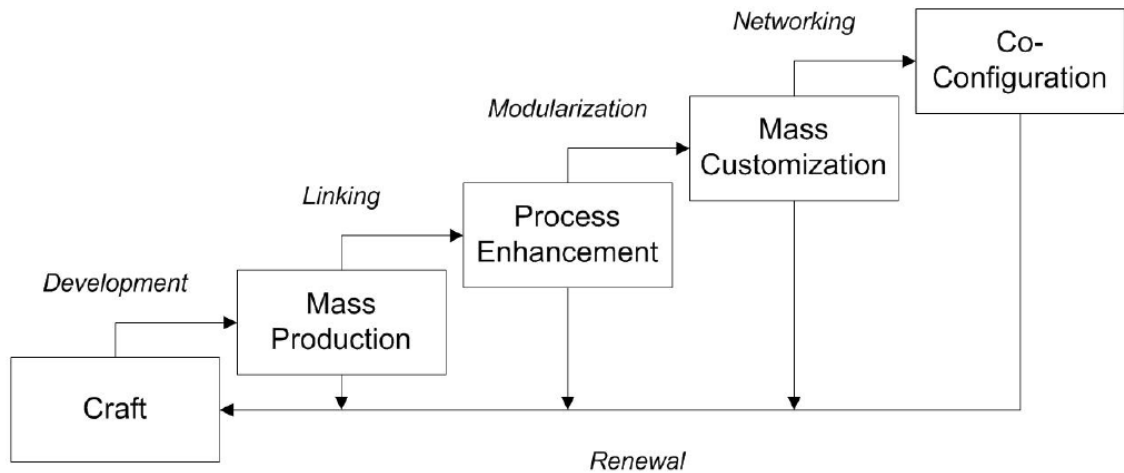
**Projektituotteet** ovat tyypillisesti ainutlaatuisia tuotteita, jotka ovat suunniteltu alusta alkaen tiettyjen asiakastarpeiden pohjalta. Projektituotteiden lähtötietona on tyypillisesti asiakkaan ainutlaatuiset vaatimukset, jotka muutetaan fyysiseksi tuotteeksi käyttäen viitetietona ainoastaan aikaisempaa teknologiatietämystä. Projektituotteiden variointimahdollisuudet ovat käytännössä rajattomat. (Martio 2015; Juuti 2008) Luonteensa mukaisesti projektituotteet vaativat suuren työmäärän suunnittelutyötä mutta tuotantovolyymi on erittäin pieni.

Konfiguroitavassa ja muunneltavassa tuotteessa sana tuote viittaa tuoteperheeseen. Tuoteperhe sisältää useita toisiaan muistuttavia variantteja, joita myös kutsutaan tuotteiksi. Sanan tuote merkitys riippuu siis asiayhteydestä ja sen erottaminen voi olla hankalaa tilanteesta riippuen. (Martio 2015) Tuoteperheitä käsitellään tarkemmin luvussa 3.5.1.

Vertaillen edellä esitettyjen tuoteryhmien vaatimaa tuotekehityspanosta, voidaan todeta, että projektituotteiden suunnitteluun ei sitoudu lainkaan tuotekehityspanosta, vaan kaikki siihen investoitava suunnittelutyö on tilauskohtaista suunnittelua. Vastaavasti kiinteiden, konfiguroitavien ja muunneltavien tuotteiden kohdalla investoitu suunnittelutyö kulminoituu lähes kokonaan tuotekehityksen etukäteen tekemään suunnittelutyöhön. Tilauskohtaista suunnittelua ilmenee vähän vain muunneltavien tuotteiden osalla, kiinteiden ja konfiguroitavien tuotteiden osalta ei lainkaan. (Martio 2015)

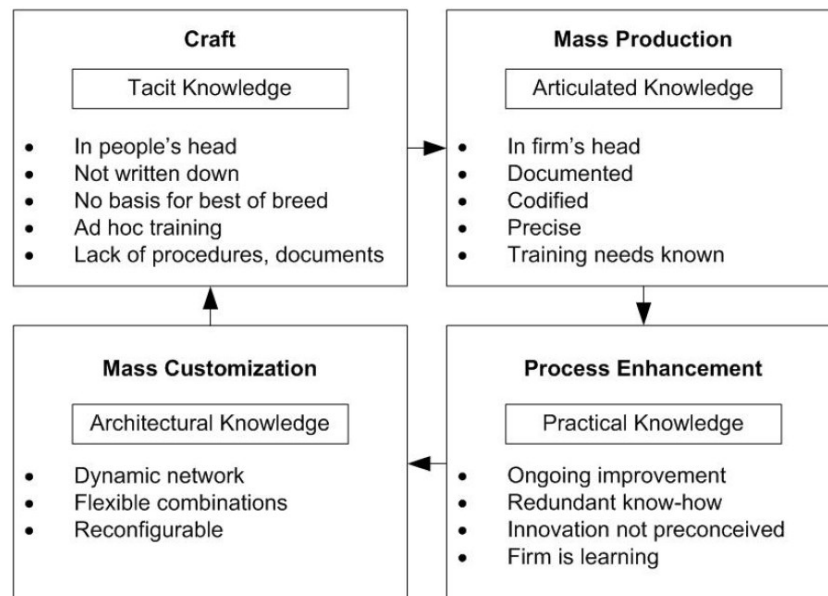
### 3.1.2 Yleiskuva R&D paradigmoista

Victor & Boynton (1998) tunnistavat viisi tuotteiden kehitykseen ja tuotantoon liittyvää paradigmaa, jotka kaikki kuvaavat omantyyppistä toimintatapaa. Tunnistetut R&D (engl. *Research & Development*) paradigmat ovat käsityö, massatuotanto, prosessin kehitys, massaräätälöinti ja elinkaarikonfigurointi. Victorin & Boyntonin (1998) mukaan paradigmojen joukko voidaan ymmärtää oppimisprosessina. He esittävät paradigmojen välisen riippuvuuden tasojen avulla ja väittävät, että jokaisella paradigmalla on omalaatuisia ominaisuuksia ja yrityksen on mahdotonta operoida seuraavalla tasolla ennen kuin se on kokenut nykyisen tason. Seuraavalle tasolle siirtyminen vaatii muutoksia toimintatapaan. Esimerkiksi modulointi on muutoksen mahdollistaja siirryttäessä prosessin kehityksestä massaräätälöintiin. Tasoajattelua ja riippuvuuksia havainnollistetaan kuvassa 3. He korostavat tiedon kehityksen tärkeyttä ja esittävät mallin kehityksen kululle, josta käytetään nimitystä ”oikea tie” (engl. *the right path*). (Victor & Boynton 1998)



**Kuva 3.** R&D paradigmojen "oikea tie" (Victor & Boynton 1998)

Pakkanen (2015) on tiivistänyt Victorin & Boyntonin (1998) esittämien R&D paradigmojen sisältämän tiedon kuvassa 4. Mallin ideana on, että yritys tuottaa uutta tietoa ajan saatossa ja seuraavalle tasolle voi nousta vain oppimisen kautta. Siksi on tärkeää, että yritykset seuraavat mallin mukaista polkua. (Victor & Boynton 1998)



**Kuva 4.** R&D paradigmojen tieto ja evoluutio (Pakkanen 2015)

Tässä kontekstissa prosessit käsittelevät tuotannon ja valmistuksen näkökulman lisäksi myös uustuotekehityksen, toimitusketjun hallinnan ja hallinnon näkökulmia. Tällä tasolla yrityksen operatiot ovat hyvin ketteriä, joten yrityksillä on mahdollisuus reagoida muuttuviin markkinavaatimuksiin nopeasti. (Juuti 2008)

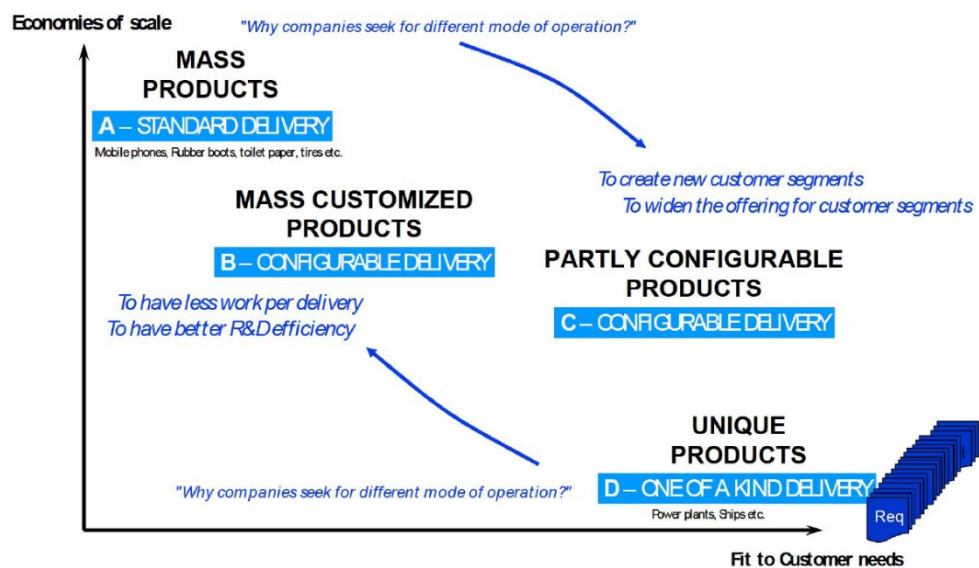
Kuvista 3 ja 4 nähdään, että paradigmamallin kehitys on iteroiva prosessi. Victorin & Boyntonin (1998) mukaan jossain vaiheessa tiedon ja kyvykkyyden kehittämisessä saavutetaan sen täysi potentiaali. Tällöin yritys ei pysty enää vastaamaan markkinavaatimuksiin, vaikka markkinatilanne on hyvin selkeästi nähtävissä. Ratkaisuna ongelmaan Victor & Boynton (1998) ehdottavat uusiutumista. Käytännössä uusiutuminen toteutetaan palaamalla ylemmältä tasolta syklin lähtöpisteeseen, eli käsityöhön. Uusiutumisen tarve johtaa juurensa kyvykkyyden saavutettuun maksimipotentialiin. Lähtöpisteeseen

palaamalla saavutetaan uusia mahdollisuuksia ja muutoksia toimintamalliin. Uusiutumiseen liittyen Victor & Boynton (1998) esittävät kolme tärkeää vaihetta:

1. Kyvykkyyden maksimipotentiaali täytyy kohdentaa tiettyyn asiakastarpeeseen.
2. Oppimista täytyy priorisoida.
3. Olemassa olevia kykyjä tulee verrata uusiin opittuihin asioihin.

Uusiutumisen saavutettujen kykyjen tulee tukea olemassa olevia kykyjä. Uusiutumista suositellaan toteuttamaan lisäyksien, muutoksien ja parannuksien kautta. On tärkeää ymmärtää muutoksien aiheuttamat vaikutukset verratessa vertailukohtaan. (Victor & Boynton 1998)

Juuti & Lehtonen (2006) ovat kuvanneet kiinteiden, konfiguroitavien, muunneltavien ja projektituotteiden välisiä suhteita valmistusvolyymin ja asiakaskohtaisen muuntelun näkökulmasta kuvassa 5.



**Kuva 5.** Tuotetyyppien vertailu volyymin ja muuntelun suhteena (Juuti & Lehtonen 2006)

Pakkanen (2015) toteaa Victorin & Boyntonin (1998) esittämien paradigmojen sekä edellä mainittujen tuotetyyppien välillä olevan selkeän yhteyden. Kiinteät tuotteet edustavat massatuotantoa, konfiguroitavat tuotteet edustavat massaräätälöintiä ja projektituotteet edustavat käsityötä. Muunneltaville tuotteille ei kuitenkaan löydy suoraa vertailukohtaa R&D paradigmoista (Pakkanen 2015). Juuti & Lehtonen (2006) ehdottavat perustuen empiiriseen tutkimukseen laivanrakennusteollisuuden saralla, että muunneltavat tuotteet sijoittuvat samaan maastoon kuin projektituotteet. Muunneltavat tuotteet tarjoavat asiakaskohtaista muuntelua lähes yhtä paljon kuin projektituotteet. Valmistusvolyymin määrä verrattaessa muunneltavat tuotteet eivät aivan yllä kiinteiden ja konfiguroitavien tuotteiden tasolle, koska niiden valmistukseen ja tuoterakenteeseen liittyy asiakaskohtaisia uniikkeja elementtejä. Kuitenkin projektituotteeseen verrattuna, muunneltavan tuotteen valmistusvolyymin on suurempi. (Juuti & Lehtonen 2006)

Kirjallisuudessa esitetään myös muita kuvauksia työskentelytavan muutoksesta ajan saatossa. Jovane et al. (2003) esittävät omat näkemyksensä tuotannon ja joustavan automaation näkökulman kautta kuvassa 6. Heidän mukaan joustavat valmistusjärjestel-

mät ovat toimineet suurimpana mahdollistajana massaräätälöinnille. Täten, heidän näkemyksen mukaan, joustava tuotanto paradigma korvaa Victorin & Boyntonin (1998) mallissa esitetyn prosessin kehitys paradigman. Jovane et al. (2003) myös ennustavat kestäväen tuotannon olevan seuraava askel massaräätälöinnin jälkeen.

Paradigm	Craft Production	Mass Production	Flexible Production	Mass Customization and Personalization	Sustainable Production
Paradigm started	~1850	1913	~1980	2000	2020?
Society Needs	Customized products	Low cost products	Variety of Products	Customized Products	Clean Products
Market	Very small volume per product	Demand > Supply Steady demand	Supply > Demand Smaller volume per product	Globalization Fluctuating demand	Environment
Business Model	Pull <i>self-design-make-assemble</i>	Push <i>design-make-assemble-sell</i>	Push-Pull <i>design-make-sell-assemble</i>	Pull <i>design-sell-make-assemble</i>	Pull <i>Design for environment-sell-make-assemble</i>
Technology Enabler	Electricity	Interchangeable parts	Computers	Information Technology	Nano/Bio/Material Technology
Process Enabler	Machine Tools	Moving Assembly Line & DML	FMS Robots	RMS	Increasing Manufacturing

**Kuva 6.** Vaihtoehtoinen näkemys R&D paradigmojen evoluutiosta (Jovane et al. 2003)

Seuraavissa aliluvuissa 3.1.3-3.1.8 perehdytään tarkemmin edellä mainittuihin R&D paradigmoihin. Aliluvuissa avataan jokaisen paradigman ideologiaa ja tarkastellaan tuotteen määrittelyä kussakin paradigmassa.

### 3.1.3 Käsiyö

Jovanen et al. (2003) mukaan käsityössä tuotteesta tehdään juuri sellainen kuin asiakas haluaa sen olevan. Valmistusvolyyymi on tyypillisesti vain yksi kappale. Victorin & Boyntonin (1998) mukaan käsityön kilpailuetu on uusien asioiden keksiminen. Käsiyöhön voidaan liittää myös hyvin vahvasti engineer-to-order (ETO) -toimitusketjustrategia. ETO prosessissa asiakas tekee tilauksen, jonka jälkeen tuotteen suunnittelu ja valmistus aloitetaan. (Kratochvíl & Carson 2005) Käsiyö on R&D paradigmoista kaikista asiakaslähteisoin ja joustavin tapa täyttää tarpeet ja vaatimukset tiukissa markkinaraoissa, joissa investoinnit massatuotantoon eivät ole perusteltuja.

Käsiyössä tuotteeseen liittyvä tieto on hiljaista tietoa. Hiljainen tieto on sidottu yksittäisen työntekijän mieleen ja se saavutetaan ammattitaidon, harkinnan ja intuition avulla. Hiljainen tieto on tehokas resurssi, mutta sen jakaminen on hankalaa. Käsiyölle on ominaista, että pienellä ryhmällä on ymmärrys siitä millä tavalla asiat tulisi tehdä, mutta tätä tietoa ei ole dokumentoitu mihinkään. Tämä tarkoittaa sitä, että henkilökohtaisella kokeumuksella on erittäin suuri arvo käsityössä ja yrityksen näkökulmasta on erittäin tärkeää pitää hiljaista tietoa omaavat henkilöt yrityksen palveluksessa. (Victor & Boynton 1998)

Käsiyöhön liittyy riskejä. Jos hiljaista tietoa omaava työntekijä päättää vaihtaa työnantajan, niin yritys menettää työntekijän mukana paljon arvokasta tietoa. Myös tuotteiden laatutaso on vaihtelevaa, jos työn suorittaja ei ole aina sama henkilö, koska dokumenttien puuttuessa suurin yksittäinen tekijä laadulle on työntekijän tietotaito ja hiljaisen tiedon määrä. Kolmas riski liittyy johtamiseen. Kun tieto on sidottu yksittäisten ihmisten

mieliin ja sen selittäminen on vaikeaa, johdolta puuttuu yksinkertaisesti selitetty ymmärrys tehdystä työstä. Tällöin on vaikeaa sisällyttää hiljaista tietoa uusien työntekijöiden koulutukseen. (Victor & Boynton 1998)

Käsityönä toteutettu tuote herättää toisinaan suurempaa kiinnostusta markkinoilla kuin mihin yritys pystyy vastaamaan. Tähän kysyntään vastatakseen yrityksen täytyy kasvat-  
taa valmistusvolyymia, lyhentää toimitusaikoja ja pienentää toimituskustannuksia. Saa-  
vuttaakseen tämän, yrityksen tulee kehittää ja hyödyntää käsityössä opittuja tietoja. Riit-  
tävän ajan ja toistojen kautta, oppiminen ohittaa intuition ja tieto muuttuu selkeäksi ja  
yksinkertaiseksi. Tällaista tietoa kutsutaan ilmaistuksi tiedoksi. (Victor & Boynton 1998)

### 3.1.4 Massatuotanto

Käsityö ei ole paras työskentelytapa, kun markkinatilanne kehittyy ja yrityksen tarjontaan  
kohdistuu enemmän kysyntää. Massatuotannossa tuotteet ovat kiinteitä, eli identtisiä,  
vakioituja ja niiden valmistusvolyymit ovat suuria. Massatuotannon tavoitteena on kehit-  
tää, tuottaa, markkinoida ja toimittaa tuotteita niin halvalla hinnalla, että lähes kenellä  
tahansa on varaa hankkia niitä (Pine 1993).

Massatuotannon mahdollistaja on käsityövaiheessa kehittyneen ilmaistun tiedon muut-  
taminen dokumentoinnin pohjalta vaiheperusteiseksi tuotantoprosessiksi. Käsityöstä  
voidaan siirtyä massatuotantoon valitsemalla tuotteen valmistukseen parhaiten sopiva  
prosessi ja kehittämällä toistettavia tehtäviä, hierarkkisia kontrollisysteemejä, vakioituja  
rutiineja, automaatiota ja työntekijöiden koulutusta. Massatuotannossa yksittäiselle työn-  
tekijälle asetetut vaatimukset ovat alhaisemmat verrattuna käsityöhön. Täten työntekijän  
vaikutus tuotteen laatuun on vähäisempi, eli tuotteen laatu on tasaisempaa. (Victor &  
Boynton 1998) Massatuotanto kuvaa vahvasti made-to-stock (MTS) toimitusketju -stra-  
tegiaa. MTS prosessissa yritys suunnittelee ja valmistaa tuotteita valmiiksi varastoon.  
Tilauksen tullessa tuotteella on lyhyt toimitusaika. (Olhager 2003)

Massatuotannon varjopuolena voidaan pitää korkeita investointikustannuksia. Tuotteelle  
on oltava riittävästi kysyntää, joka mahdollistaa investoinnit tuotantolinjaan. Tämän kal-  
tainen liiketoimintamalli on kannattava vain niin kauan kuin tuotteen kysyntä ylittää sen  
tarjonnan. Johdon vastuu on vahvasti läsnä massatuotannossa. Johdon pitää tehdä oi-  
keat päätökset tuotteen kysynnän mukaan, jotta toiminta pysyy kannattavana. Massa-  
tuotanto on myös joustavuudeltaan kankea. Tuotantolinja on suunniteltu useasti vain  
yhtä tuotetta varten ja sen muuttaminen usealle tuotteelle sopivaksi on hankalaa ja kal-  
lista. (Victor & Boynton 1998)

### 3.1.5 Prosessin kehitys

Victorin & Boyntonin (1998) mukaan asiakkaat oppivat vaatimaan tuotteelta korkeampaa  
laatua, kun he sisäistävät tuotteiden tärkeimpien toimintojen periaatteen. Tämä ajaa yri-  
tyksiä kehittämään ja käyttämään laadunparannussysteemejä ja kehittämään omia pro-  
sessejaan. Massatuotannossa valmistettaessa samaa tuotetta kerta toisensa jälkeen  
opitaan samalla valmistusprosessista käytännön tietoa. Käytännön tieto toimii mahdol-  
listajan prosessin kehitykselle. (Victor & Boynton 1998)

Prosessin kehityksessä pääideana on parantaa tuotteen laatua kehittämällä valmistus-  
prosesseja ja toimintatapoja. Tärkeänä ehtona kehitykselle voidaan pitää päämäärän ja

nykytilan selkeää erottamista. Päämäärä tulee olla selkeästi määritetty ja nykytila yksiselitteisesti dokumentoitu. Tällöin kehitettävällä asialla on selkeät tavoitteet ja kaikki osalliset tietävä yhteisen päämäärän. (Victor & Boynton 1998)

Prosessien kehityksessä on vahvasti mukana johdon ja tuotantoinsinöörien lisäksi myös tuotannon työntekijät, jotka yleensä omaavat kattavimman määrän käytännön tietoa. Prosessin kehittäminen tapahtuu toistamalla tiettyä tehtävää ja samalla miettien, miten tehtävän voisi suorittaa tehokkaammin. Oppiminen tapahtuu muokkaamalla jatkuvasti työtapoja, teknologioita ja tekniikoita ja ymmärtämällä miten asioiden muuttaminen vaikuttaa tuotteen arvonluomisprosessiin. Käytännössä työntekijöiden käyttöön luodaan erilaisia työkaluja ja tekniikoita, joiden avulla käytännön tietoa voidaan soveltaa työtehtävien ja prosessien kehittämiseen. (Victor & Boynton 1998)

### 3.1.6 Joustava tuotanto

Jovane et al. (2003) selittävät, että joustava tuotanto oli ratkaisu markkinoilta tulleeseen pyyntöön tuottaa massatuotantotuotteita monipuolisempia tuotteita. Joustava tuotanto sisältää elementtejä massatuotannosta. Tuotteiden komponentit valmistetaan massatuotannon periaatteiden mukaisesti, mutta tuotteet kootaan valmiiksi vasta kuin asiakas on valinnut tuotteeseen haluamansa optiot.

Joustava tuotanto kuvaa vahvasti made-to-order (MTO) toimitusketju -strategiaa. MTO prosessissa tuotteen suunnittelu on valmis jo ennen asiakkaan tilausta, mutta tuote valmistetaan vasta kun tilaus ja mahdollinen asiakaskohtainen optioerittely on varmistettu. Jos kaikki osat ovat jo valmistettu ja varastoitu ennen kuin asiakkaan tilaus on tullut, niin prosessi muistuttaa assemble-to-order (ATO) toimitusketju -strategiaa. ATO prosessi on kuin MTO prosessi, mutta ainoa erottava tekijä prosessien välillä on, onko tuotteen komponentit jo valmiina vai valmistetaanko komponentit vasta kun tuote tilataan. (Kratovich & Carson 2005)

### 3.1.7 Massaräätälöinti

Victorin & Boyntonin (1998) ja Jovanen et. al (2003) mukaan jossain vaiheessa tarjolla olevat laadukkaat tuotteet eivät riitä täyttämään asiakkaiden vaatimuksia. Nopeasti muuttuvat asiakastarpeet ja kasvavat valikoimatarpeet aiheuttavat tarpeen tuotteen räätälöinnille.

Prosessin kehitysvaiheessa yritykset tuottavat tietoa siitä, miten kompleksin prosessin elementit käyttäytyvät asteittaisissa muutoksissa. Prosessia kehitetään säätämällä ja muokkaamalla prosessin toimintoja jatkuvasti. Prosessia kehittäessä yritys oppii prosessin kausaliteetista ja ymmärtää miten ja mihin asioihin muutokset vaikuttavat. Prosessin kehityksen päätavoitteena on tukevoittaa yrityksen asemaa laadukkaana markkinatoimijana, mutta sivutuotteena se tuottaa myös arkkitehtuurista tietoa. Arkkitehtuurinen tieto sisältää ymmärrystä työprosessien rakenteista, niiden välisistä yhteyksistä ja mahdollisesta uudelleenjärjestämisestä. Arkkitehtuurinen tieto mahdollistaa systemaattisen lähestymistavan valmistaa tuotteita asiakkaan toiveiden mukaan. Tämän kaltaista toimintatapaa kutsutaan massaräätälöinniksi. Victor & Boynton (1998) esittävät massaräätälöinnin peruseriaatteiksi seuraavia ominaisuuksia ja toimintoja:

- Työntekijöiden henkilökohtainen sitoutuminen laadukkaaseen palveluun
- Systemien vakiointi
- Kyky kerätä ja välittää tärkeää tietoa jokaisesta asiakkaasta

- Visio tehokkaasta, yksilöllisestä ja nopeasta palvelusta
- Markkinoiden kuuntelu
- Tietojen ja taitojen uudelleen hyödyntäminen sisäisten prosessien ja ulkoisten tarpeiden suhteen
- Kyky järjestää uudelleen ihmiset, tiedot, tuotteet, palvelut ja prosessit tarvittaessa (Victor & Boynton 1998)

Massaräätälöinnin päätavoitteena on täyttää markkinoiden asettamat muuttuvat ja ennalta arvaamattomat tarpeet järjestämällä resursseja ja kykyjä uudelleen aiheuttamatta kuitenkaan lisäkustannuksia prosessiin (Victor & Boynton 1998). Pine (1993) määrittelee massaräätälöinnin päätavoitteeksi kehittää, tuottaa, markkinoida ja toimittaa edullisia tuotteita, joita voidaan muuttaa ja räätälöidä sillä tasolla, että lähes jokainen löytää itselleen sopivan tuotteen. Tsengin & Jiaon (1996) mukaan massaräätälöinnin tavoitteena on täyttää yksittäisen asiakkaan tarpeet tarjoamalla riittävän laajaa tuotevalikoimaa massatuotannon kaltaisella tehokkuudella ja kustannuksilla. Victor & Boynton (1998) esittävät kolme vaihetta muutostyöhön noustessa prosessin kehityksestä massaräätälöinnin tasolle. He kutsuvat tätä muutostyötä vakaaksi resurssien moduloinniksi. Kolme vaihetta ovat:

1. Moduulien tunnistaminen ja niiden muuttaminen käyttökelpoisiksi
2. Moduuliverkoston luominen
3. Konfiguraattorin kehittäminen

Victor & Boynton (1998) selostavat, että resurssien ja kykyjen tarvitsee olla toisistaan riippumattomia ja modulaarisia yksiköitä, jotta niiden uudelleen järjestäminen on tehokasta ja joustavaa. Arkkitehtuurisen tiedon avulla resurssit jaetaan pienempiin elementteihin, joita on helppo järjestää uudelleen. Modulaariset yksiköt voivat olla ihmisiä, ohjelmistojen osia, kokonaisia tuotantolaitoksia, toimitusketjun osallisia, erillisiä organisaatioita tai muita resursseja. Tässä kontekstissa (Kuva 3) modulointi tarkoittaa aktiivisten yksiköiden välisen verkoston perustamista. Moduuliverkoston avulla voidaan käyttää tai olla käyttämättä juuri niitä moduuleita, joita asiakkaan tarpeiden toteuttaminen vaatii. Jokainen moduuli toteuttaa vähintään yhden asiakastarpeen. (Victor & Boynton 1998)

Pakkanen (2015) vertaa tuotteen modulaarisuuden ja Victorin & Boyntonin (1998) esittämien resurssien modulaarisuuden samankaltaisuuksia. Resurssien moduloinnissa moduulien toisiinsa liittyminen voi tapahtua fyysisesti tai tietopohjaisesti, kun taas tuotteen moduloinnissa moduulit liitetään rajapintojen avulla. Vastaavasti uudelleen järjestettäessä kokonaista tuotantolaitosta, yksittäisten resurssien väliset rajapinnat tulee olla selkeästi määritettyjä. (Pakkanen 2015) Modulointia käsitellään tarkemmin luvussa 3.4, jossa modulaarisuutta tarkastellaan tuotteen näkökulmasta.

Massaräätälöinti kuvaa vahvasti configure-to-order (CTO) toimitusketju -strategiaa. CTO prosessissa tuotteen rakenne koostetaan valmiiksi suunniteltujen, vaihtoehtoisten moduulien avulla. Moduulien valinta suoritetaan tilausvaiheessa asiakkaan tekemien valintojen perusteella siten, että valitut moduulit muodostavat tuotteen, joka täyttää asiakkaan sille asettamat vaatimukset. (Kratochvíl & Carson 2005)

Globalisaatio on ajanut yritykset toimimaan massaräätälöinnin mukaisesti pysyäkseen kilpailukykyisinä. Massaräätälöinti on sopiva toimintatapa, kun markkinavaatimukset vaihtuvat nopeasti ja asiakkaat vaativat laadukasta tuotetta vastaamaan juuri heidän



asettamiin vaatimuksiin ilman ylimääräisiä kustannuksia tuotteissa ja palveluissa. Tuotteiden ja palveluiden modulointi on potentiaalinen ratkaisu tämänkaltaiseen yrityksen toimintatapaan. (Pine 1993; Victor & Boynton 1998; Jovane et al. 2003)

### 3.1.8 Elinkaarikonfigurointi

Victor & Boynton (1998) määrittävät elinkaarikonfiguroinnin toiminnaksi, jonka tuloksena tuotetaan yhtenäinen systeemi, joka aistii, reagoi ja mukautuu asiakkaan yksilöllisiin vaatimuksiin. Työskennellessään massaräätälöinnin parissa, yritys tuottaa tietoa siitä, miten tuotteen elementtien tai moduulien täytyy muuttua, kun asiakkaan vaatimukset ja tarpeet vaihtuvat. Victor & Boynton (1998) kutsuvat tätä tietoa konfigurointitiedoksi. Konfigurointitiedon avulla yritys voi kehittää älykkäitä tuotteita, jotka vastaavat asiakkaan tarpeisiin aktiivisesti ja jatkuvasti ilman asiakkaan tai yrityksen väliintuloa. Konfigurointitieto toimii elinkaarikonfiguroinnin mahdollistajana. Elinkaarikonfiguroinnissa on tärkeää muodostaa verkosto asiakkaan, tuotteen ja yrityksen välille. (Victor & Boynton 1998)

Elinkaarikonfiguroinnin implementointiin liittyy myös haasteita. Elinkaarikonfigurointi vaatii yritykseltä paljon kykyjä organisaatio-, teknologia ja tietotaitotasolla. Ja vaikka yrityksellä olisikin valmius elinkaarikonfigurointiin, niin se ei välttämättä ole kannattavaa. Markkinat eivät välttämättä ole valmiita sitä varten. Jotkut markkinat eivät arvosta tai saattavat jopa pelätä elinkaarikonfigurointia. Lisäksi elinkaarikonfigurointi vaatii läpinäkyvyyttä kaikilta osapuolilta, mutta tietyt asiakkaat haluavat yksityisyyttä, eivätkä ole valmiita avoimeen yhteistyöhön. (Victor & Boynton 1998)

## 3.2 Muunneltavan tuotteen suunnittelun lähestymistavat

Victor & Boynton (1998) mainitsevat muunneltavien tuotteiden tarpeen lisääntyneen yleisellä tasolla. Yrityksille tehokas toimintatapa muunneltavien tuotteiden valmistamiseen on massaräätälöinti. Tuotteiden elinkaarien vaiheet ovat lyhentyneet ja markkinat ovat oppineet vaatimaan muunneltavia tuotteita, jotka pystyvät mukautumaan käyttöalueen, käyttäjän ja käyttökohteen mukaan (Andreasen et al. 1996; Victor & Boynton 1998). Myös globalisaatio aiheuttaa omat vaatimuksensa tuotteen muuntelulle täyttääkseen eri kulttuurien ja maantieteellisten sijaintien yksilölliset vaatimukset (Victor & Boynton 1998). Jos yrityksen paras vaihtoehto kilpailullisesta näkökulmasta on toimia paradigmassa, jossa markkinat vaativat yksilöllisiä tuotteita, niin tuotteen muuntelulle on selkeä tarve (Pakkanen 2015).

Muunneltavan tuotteen suunnitteluun liittyy erilaisia lähestymistapoja ja taktiikoita. Seuraavaksi käsitellään vakiointia muuntelun suunnittelussa, vakiointia sekä rajapintojen hyödyntämistä.

### 3.2.1 Vakiointi ja muuntelu

Andreasen et al. (1996) mukaan muuntelu mielletään kustannustekijäksi ja massatuotannolla saavutettujen hyötyjen eliminoijaksi. Muuntelu voi aiheuttaa lisäkustannuksia tuotteelle usean elinkaarivaiheen aikana, jos vakiointia ei ole huomioitu tuotteen suunnittelussa. Juutin (2008) mukaan yrityksen haasteeksi muodostuu suunnitella tuote, joka huomioi muuntelutarpeet ja vakioinnilla saavutettavat hyödyt.

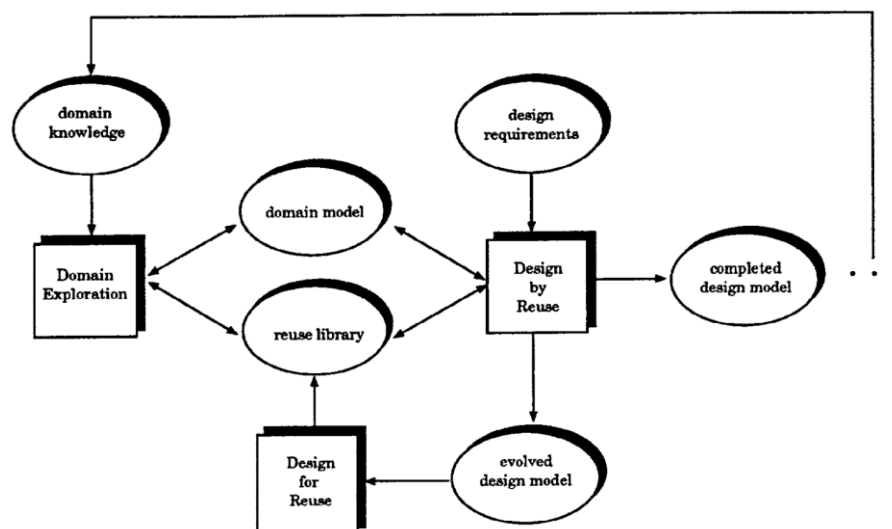
Duffy et al. (1995) esittävät viitekehysten suunnittelun uudelleenkäytölle kuvassa 7. Viitekehys koostuu kolmesta suunnitteluprosessista ja kuudesta tietoluokasta, joita hyödynnetään prosessien käytössä. Esitetyt uudelleensuunnittelun suunnitteluprosessit ovat:

- Suunnittelu uudelleenkäytön avulla (engl. *Design by Reuse*): olemassa olevien konseptien käyttäminen uusissa suunnittelutilanteissa.
- Aluetutkimus (engl. *Domain Exploration*): Suunnittelualueen analysointi tavoitteena tunnistaa asioita, joita voidaan hyödyntää uudelleen uusissa suunnittelutilanteissa.
- Suunnittelu uudelleenkäyttöä varten (engl. *Design for Reuse*): uudelleenkäytettävän tiedon tunnistaminen suunnittelun aikana. (Duffy et al. 1995)

Suunnitteluprosessien tueksi esitettävät tietoluokat ovat:

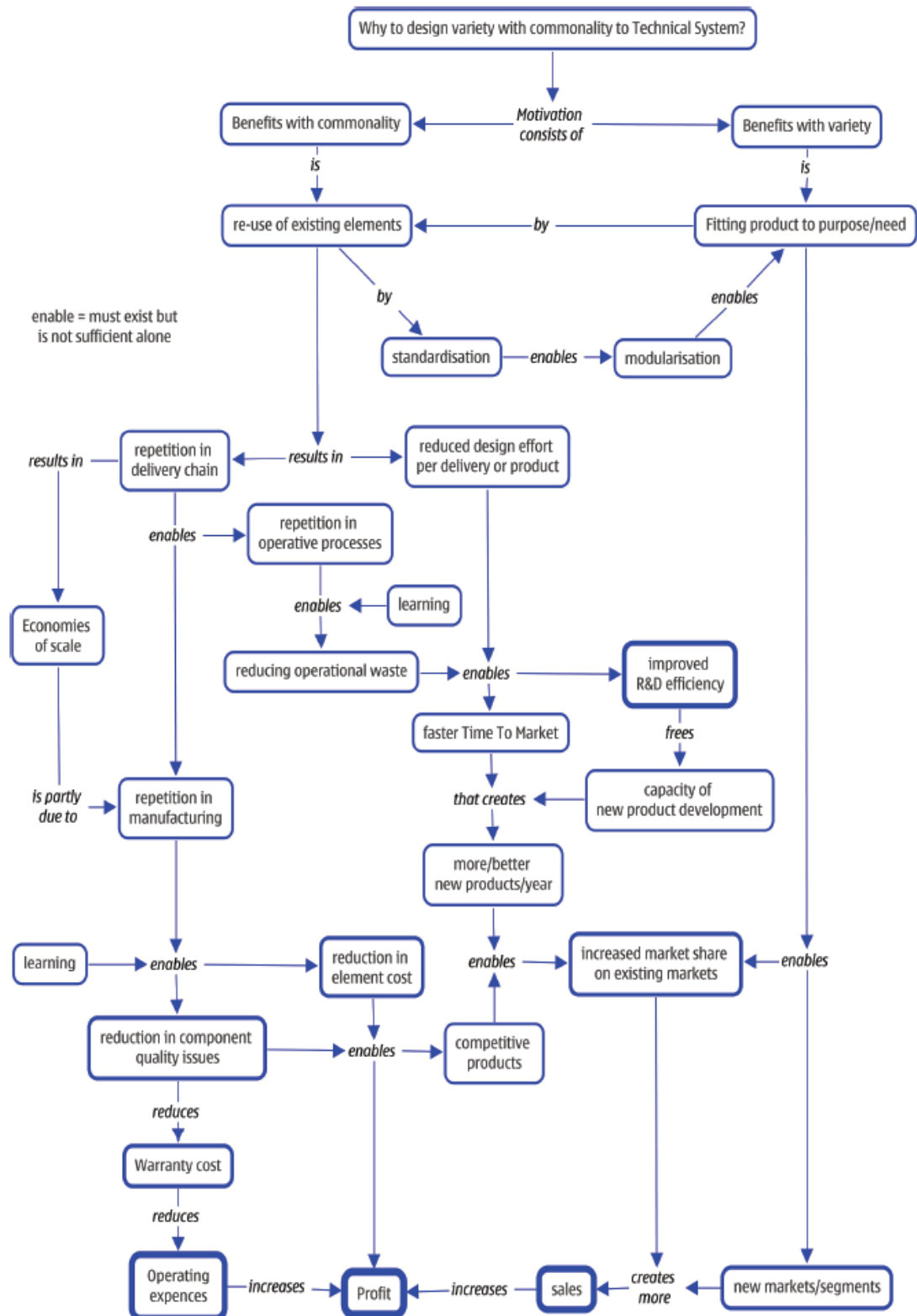
- Suunnitteluvaatimukset (engl. *design requirements*): Suunnittelutarpeiden yksityiskohtainen selvitys
- Aluetietämys (engl. *domain knowledge*): Aiemmin suunniteltujen asioiden tietolähde
- Uudelleenkäytön tietokanta (engl. *reuse library*): Ylläpidetty tietokanta uudelleenkäytettävälle tiedolle
- Aluemalli (engl. *domain model*): suunnittelijan käsitys suunnittelualueesta, jota voidaan hyödyntää ajankohtaisessa suunnittelutehtävässä
- Kehittynyt suunnittelumalli (engl. *evolved design model*): kuvaus keskeneräisestä, ehdotetusta tai täysin valmiista suunnitelmasta
- Valmis suunnittelumalli (engl. *completed design model*): Täydellinen kuvaus uudesta suunnitelmasta

Viitekehys korostaa sitä, että suunnittelu uudelleenkäytön avulla ja suunnittelu uudelleenkäyttöä varten ovat kaksi erilaista suunnitteluprosessia ja ne tulee erottaa toisistaan (Juuti 2008). Jotta uudelleenkäyttöä voidaan hyödyntää, tulee siihen käytettävä tietopohja määrittää. Suunnittelu uudelleenkäyttöä varten ja aluetutkimus ovat prosesseja, joita Duffy et al. (1995) ehdottavat vaaditun tietopohjan määrittämisen tueksi.



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

Väitöskirjansa yhtenä päätuotoksena Juuti (2008) esittää syy-seurauskaavion muuntelun ja vakioinnin avulla saavutettavista hyödyistä kuvassa 8. Kaavio perustelee yksityiskohtaisesti vakioinnin ja muuntelun tärkeyttä osana teknisen systeemin arvontuottoa ja tuotekehityksen tehokkuutta.



**Kuva 8.** Muuntelun ja vakioinnin syy-seurauskaavio (Juuti 2008)

Kuvasta 8 nähdään, että vakiointi ja modulointi toimivat teknisen systeemin olemassa olevien elementtien uudelleenhyödyntämisen mahdollistajina. Modulointi edistää tuotteen mukautumista muuttuviin markkinatarpeisiin. Mahdollisuus hyödyntää olemassa olevia elementtejä uudelleen yhdistettynä tuotteen kykyyn mukautua yksityiskohtaisiin vaatimuksiin avaa yritykselle monia hyödyllisiä mahdollisuuksia. Tuotannon ja toimitus-

ketjun näkökulmasta uudelleenhyödyntäminen mahdollistaa toistojen määrän kasvamisen, joka korreloi mittakaavaetujen tuomiin hyötyihin käytettäessä samoja osia ja prosesseja tuotteesta riippumatta. Mittakaavaetu edistää myös tuotteiden laatua, joka puolestaan vähentää takuukustannuksia. Tuotekehityksen näkökulmasta uudelleenhyödyntäminen vähentää tilaus- ja tuotekohtaisen suunnittelun kuormaa, joka johtaa tuotekehityksen tehokkuuden kasvamiseen. Tällöin uustuotekehitykselle vapautuu lisää resursseja kehittämään uusia tuotteita, joka voi johtaa markkinaosuuden, myynnin ja tuottavuuden kasvamiseen. (Juuti 2008)

Juutin (2008) mukaan vakiointi ja muuntelu johtavat tuotekehityksen tehokkuuden ja yrityksen liiketuloksen kasvamiseen. Ettlle & Kubarek (2008) tutkivat uudelleenhyödyntämisen avulla saavutettavia hyötyjä. Tutkimukseen osallistui 23 valmistavan teollisuuden alalla toimivaa yritystä, joista 74% havaitsi kustannusten vähentyneen ja tuotekehityksajan lyhentyneen.

Muunneltavaa tuotetta kehittäessä tulee tutkia mitkä tuotteen osat mahdollistavat muuntelun toteuttamisen ja missä osassa muuntelu on järkevintä toteuttaa ottaen huomioon teknisen ja taloudellisen näkökulman. Kaikki muut osat paitsi ne, joilla muuntelu toteutetaan, ovat lähtökohtaisesti mahdollisia osia, joita voidaan hyödyntää uudelleen myös muissa tuotteissa. Tässä luvussa keskityttiin vakioinnin ja muuntelun rooleihin tuotekehityksessä. Juuti (2008) esittää vakioinnin ja moduloinnin olevan sopivia lähestymistapoja vakioimiseen pohjautuvien muunneltavien tuotteiden kehittämiseen. Seuraavissa luvuissa käsitellään vakiointia ja modulointia.

### 3.2.2 Vakiointi

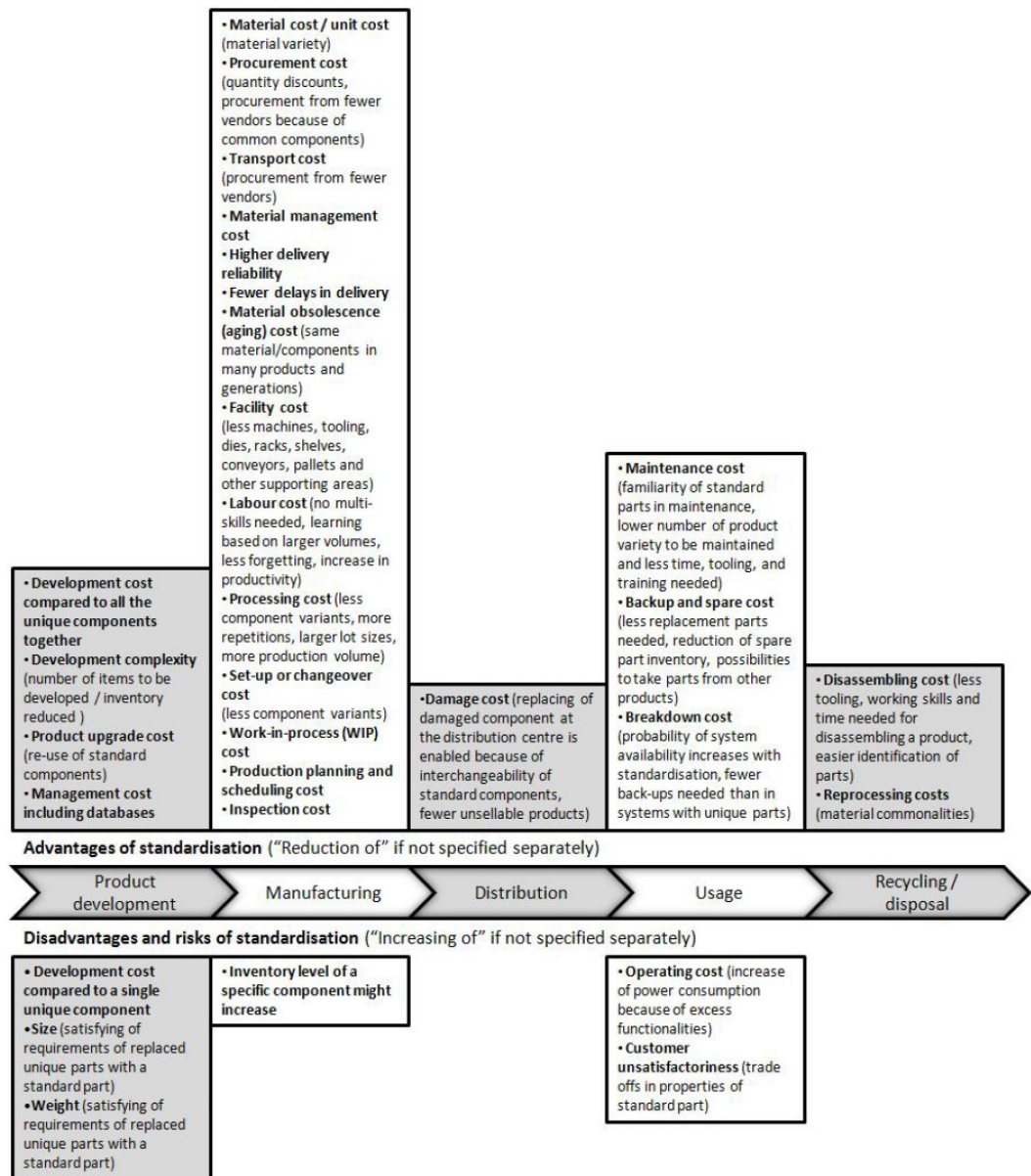
Vakiointi on suunnittelutaktiikka, jonka tarkoituksena on vähentää teknisessä systeemissä esiintyvää tarpeetonta ja epämieluisaa vaihtelua tai tietyn ominaisuuden poikkeamia (Juuti 2008). Ulrichin & Eppingerin (2016) mukaan vakioinnissa hyödynnetään samaa komponenttia tai osajoukkoa useassa eri tuotteessa, joissa osajoukko voidaan vakioida, jos se koostuu vain yhdestä tai muutamasta toiminnollisesta elementistä, joita käytetään laajasti useissa eri tuotteissa. Pahl et al. (2007) toteavat, että suunnittelijoiden tulisi aina yrittää käyttää komponentteja, joita ei tarvitse tuottaa erityisesti tiettyä käyttökohdetta varten, vaan ovat yleisesti saatavilla toistettavina, vakioituina tai ostettavina osina. Helposti saatavilla olevat ostettavat osat ovat yleensä aina edullisempia kuin itse tehtävät tai teetetävät osat.

Perera et al. (1999) määrittävät komponenttien vakioinnin viittaavan tilanteeseen, jossa usea komponentti korvataan yhdellä komponentilla, jonka funktionaalisuus kattaa kaikkien korvattavien komponenttien toiminnot. Perera et al. (1999) esittävät vakioinnin esiintyvän kolmessa eri tilanteessa:

1. Komponenttien vakiointi tuotteen sisällä: Usea ainutlaatuinen komponentti tuotteessa korvataan yleisellä komponentilla.
2. Komponenttien vakiointi tuotteiden välillä: Usea tuotekohtainen komponentti korvataan yleisellä komponentilla.
3. Komponenttien vakiointi tuotesukupolvien välillä: Yleisiä komponentteja käytetään eri aikakausien kaikissa tuotteissa.

Kuten aiemmin on todettu, esimerkiksi kuvassa 8, niin vakiointi mahdollistaa uudelleenhyödyntämisellä saavutettavat hyödyt. Perera et al. (1999) tutkivat vakioinnin avulla saavutettavia hyötyjä läpi tuotteen elinkaaren. Wacker & Treleven (1986) toteavat, että

vakiointiastetta tulisi mitata, jos päämääränä on hyödyntää vakiointia korkeammalla asteella. Pakkanen (2015) on koonnut vakioinnin vaikutuksia tuotteen elinkaaren eri vaiheisiin kuvassa 9.



**Kuva 9.** Vakioinnin mahdolliset vaikutukset ja mahdollisuudet tuotteen elinkaaren vaiheisiin (Pakkanen 2015)

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, niin vakioinnin käytöstä voidaan löytää hyötyjä sekä haittoja. Usean ainutlaatuisen osan korvaaminen yhdellä yleisellä osalla luo hyötyjä tuotteen elinkaaren useaan vaiheeseen:

- Tuotekehitys: Suunnittelukustannukset ja tuotteiden ylläpitokustannukset laskevat.
- Valmistus: Osa-, varastointi- ja työkustannukset laskevat.
- Huolto: Tuotteiden huolto on halvempaa ja erilaisten varaosien tarve vähentyy.
- Kierrätys: Tuotteiden purkaminen on nopeampaa ja materiaalien kierrättäminen halvempaa.

Kun usea ainutlaatuinen komponentti korvataan yhdellä yleisellä komponentilla, niin usein yleinen komponentti on teknisesti monimutkaisempi, suurempi ja painavampi kuin korvattavat ainutlaatuiset komponentit. Yleisen komponentin kehityskustannukset ovat myös korkeammat verrattuna yksittäiseen ainutlaatuiseen komponenttiin. Varastoinnin näkökulmasta yleisen komponentin varastotasot saattavat myös nousta vakioinnin seurauksena.

Vakioinnin avulla saavutettavat hyödyt ovat kuitenkin selvästi suuremmat kuin sen käytöstä aiheutuvat mahdolliset haitat. Suurimmat hyödyt saavutetaan tuotekehityksen ja valmistuksen osa-alueella, mutta hyötyjä havaitaan myös tuotteen elinkaaren myöhemmissä vaiheissa.

### 3.2.3 Rajapinnat

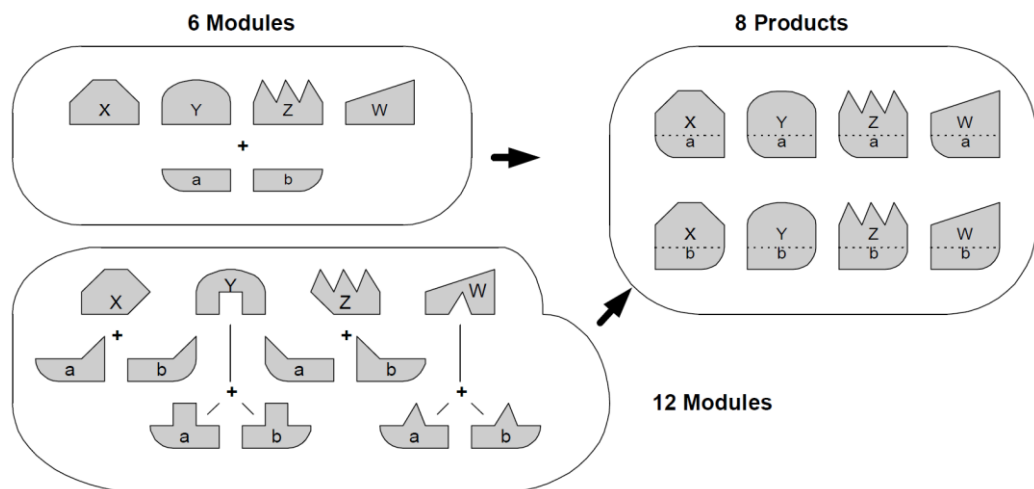
Yrityksille, jotka valmistavat ja suunnittelevat monimutkaisia tuotteita, on haasteellista kehittää laadukas tuote nopealla tuotekehityksen läpimenoajalla nykypäivän erittäin kilpailullisilla ja globaaleilla markkinoilla. Yksi juurisyy laaduttomille tuotteille on tuntemattomat tai suunnitteluvaiheessa huonosti määritellyt tuotteen rajapinnat, jotka johtavat tuotteen tahattomaan käyttäytymiseen. Yritykset voivat tavoitella tuotekehityksen läpimenoajan lyhentämistä ja tuotteen laadun nostamista modulaarisen tuoterakenteen avulla. Modulaarisen tuoterakenteen ja tuotteen suunnitteleminen vaatii kuitenkin ymmärryksen siitä, miten moduulit kiinnittyvät ja vaikuttavat toisiinsa. (Parslov & Mortensen 2015) Tämä viittaa siihen, että perimmäinen ymmärrys rajapintojen määrittämisestä ja käytöstä on erittäin tärkeä osa muunneltavan tuotteen suunnittelua.

Vakioidun rajapinnan määritetään useassa eri lähteessä olevan yksi olennainen osa modulaarisuutta (Pakkanen 2015). Kuitenkin siihen liittyvän tutkimuksen taso on heikkoa. Parslovin & Mortensenin (2015) tutkimus käsitteen ”rajapinta” määrittämisestä on yksi ainoista kirjallisuudesta löytyvistä lähteistä, joissa esitetään kootusti määritelmiä rajapinnoille. Parslov & Mortensen (2015) esittävät kirjallisuudesta löytyvän seuraavia määritelmiä käsitteelle ”rajapinta”:

- Rajapinta on vierekkäisten alueiden raja-alue, joka muodostaa pisteen, jossa monimuotoisten ryhmien itsenäiset järjestelmät vuorovaikuttavat. (Ullman 1992 lähteen Parslov & Mortensen (2015) mukaan)
- Määrittämisensä mukaan, vuorovaikutuksessa olevat komponentit ovat yhdistetty jonkinlaisella fyysisellä rajapinnalla, kuten akselilla oleva hammaspyörä, tai koskemattomalla vuorovaikutuksella, kuten kaukosäätimen ja television välinen infrapunayhteys. (Ulrich 1995 lähteen Parslov & Mortensen (2015) mukaan)
- Rajapinta on raja, jossa moduulit kohtaavat toisensa. Relevantteja rajapintatyyppejä ovat: 1) Toiminnolliset rajapinnat, jotka seuraavat toimintojen kohdentamista. 2) Mekaaniset rajapinnat, kuten liittimet, pistokkeet, pinnat, jne. 3) Sähköiset rajapinnat, kuten viestintä, signaalit tai virta. (Miller & Elgård 1998)

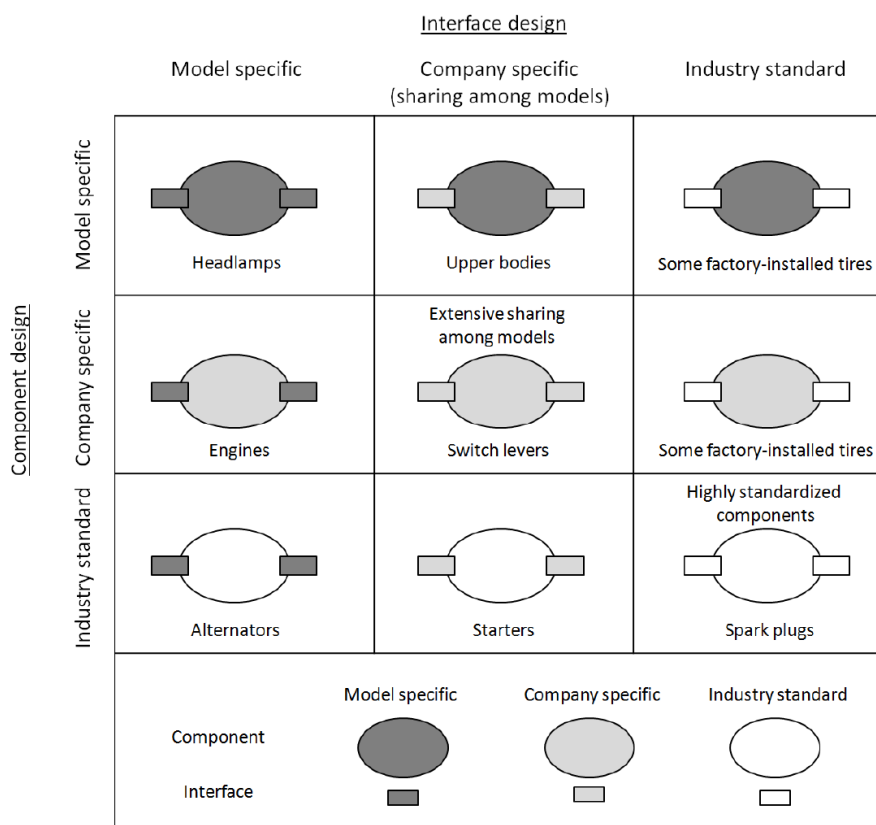
Konetekniikan saralla rajapinnoista puhuttaessa yleisesti vallitseva mielikuva on, että rajapinta on kahden osan tai osakokoonpanon välinen fyysinen rajakappale, jonka avulla osat kiinnittyvät toisiinsa. Määritelmien mukaan on kuitenkin olemassa muitakin kuin fyysiseen vuorovaikutukseen perustuvia rajapintoja. Pakkasen (2015) mukaan rajapinta voidaan näkökulmasta riippuen jakaa seuraavaan seitsemään olomuotoon: avaruudellinen, rakenteellinen, geometrinen, materiaallinen, energiallinen, viestillinen ja tiedollinen.

Määritelmiä tutkiessa huomataan myös, että vuorovaikutus on olennainen osa rajapintoja. Muunneltavan tuotteen vaatima komponenttien vaihtokelpoisuus edellyttää vakioituja rajapintoja ja komponenttien välisien vuorovaikutuksien ymmärrystä. Miller & Elgård (1998) toteavat, että rajapintojen ja vuorovaikutuksien hahmottaminen ja ymmärtäminen muuttuvat monimutkaisiksi, kun niitä tarkastellaan ylemmältä tasolta. Muunneltavan tuotteen rakenteellinen suunnittelu on monimutkainen prosessi ja käytännössä on usein vaikeaa kohdentaa toiminnollisuutta tiettyyn komponenttiin siten, että komponenttia voitaisi hyödyntää myös muissa käyttökohteissa. Miller & Elgård (1998) havainnollistavat vakioitujen rajapintojen merkitystä kuvassa 10, esittämällä miten tuoteperhe, joka koostuu kahdeksasta tuotevariantista, voidaan muodostaa joko kuuden tai kahdentoista moduulin avulla.



**Kuva 10.** Rajapintojen suunnittelun vaikutus moduulien vaihtokelpoisuuteen (Miller & Elgård 1998)

Kuvaan 10 nojautuen, Miller & Elgård (1998) toteavat, että rajapintojen hallinnan ja määrittämisen helpottamiseksi moduuleilla tulisi olla vakioidut rajapinnat ja vuorovaikutukset, jotka mahdollistavat tuotevarianttien yhtenäistämisen ja yhteensopivuuden. Fujimoto (2007) jakaa vakioidut rajapinnat (ja komponentit) kolmeen kategoriaan: mallikohtaisiin, yritysکوhtaisiin ja teollisuuskohtaisiin. Mallikohtaista rajapintaa hyödynnetään vain yksittäisessä kiinteässä tuotteessa. Yrityskohtaista rajapintaa hyödynnetään yrityksen sisällä useassa eri tuotteessa. Teollisuuskohtaista rajapintaa hyödyntää usea eri yritys omissa tuotteissaan. Lehtonen et al. (2017) mainitsevat esimerkkinä teollisuuskohtaisista rajapinnoista tietokoneiden erilaiset portit, kuten USB- tai Ethernet-portti. Kuvassa 11 on havainnollistettu vakioitujen rajapintojen kategorisointia esimerkillä henkilöautoteollisuudesta.



**Kuva 11.** Esimerkki vakioitujen rajapintojen ja komponenttien kategorisoinnista henkilöautoteollisuudessa (Fujimoto 2007)

Rajapintojen suunnittelusta löytyy valitettavan vähän tietoa kirjallisuudesta. Tämä selittyy osakseen sillä, että yritykset näkevät malli- ja yrityskohtaisten rajapintojen suunnittelun arkaluontoisena ja arvokkaana tietona, joka luo yritykselle kilpailuetua. Cabigiosu et al. (2013) paikkaavat tätä tutkimusaukkoa esittämällä, miten henkilöauton ilmastointijärjestelmän rajapintoja määritetään ja hallitaan. He kategorioivat rajapinnat yhteensä 12 luokkaan neljän olomuodon ja kolmen vakiointimäärityksen mukaan. Neljä olomuotoa ovat: a) avaruudellinen b) energiallinen c) materiaallinen ja d) informatiivinen. Käytetyt rajapintojen vakiointimääritykset ovat: avoin standardi (O-S), suljettu standardi (C-S) ja ei standardi (N-S). Cabigiosu et al. (2013) vertailivat kahta samoista lähtötiedoista aloitettua rajapintojen suunnitteluprosessia toisiinsa ja huomasivat, että lopputulokset eroavat huomattavasti toisistaan.

Rajapintojen määrittämistä tutkivan kirjallisuuden lisääntyminen olisi suotavaa. Tämänkaltaisen tieto olisi hyödyllistä etenkin yrityksille, jotka ovat kiinteiden tuotteiden ja muunneltavien tuotteiden siirtymävaiheessa. Kuten Cabigiosu et al. (2013) tutkimuksesta kuitenkin nähdään, niin universaalien määritysmenetelmien kehittäminen on haastavaa, koska käyttökohteet vaihtelevat yritysten välillä suuresti. Yritystasolla rajapintoja määrittäessä on kuitenkin erittäin tärkeää, että malli- ja yrityskohtaisten rajapintojen ja niiden vuorovaikutuksien määrittäminen dokumentoidaan edes yrityksen sisäiseen tietokantaan.



### 3.3 Konfigurointi

Monilla teollisuuden aloilla kilpailukykyisiltä yrityksiltä vaaditaan suunnittelun tehokkuutta ja kattavaa tuoteportfoliota. Projektituotteet tai kiinteiden tuotteiden suuri määrä johtaa yleensä suunnittelun ylikuormittumiseen, tilauskohtaisten suunnittelutehtävien määrän kasvamiseen tai ongelmiin tuotehallinnan saralla. (Tiihonen et al. 1999)

Tiihonen et al. (1999) ehdottavat kattavien tuoteportfolioiden hallintaan konfiguroitavia tuotteita. Konfiguroitavien tuotteiden hyödyntäminen vaatii systemaattista tilaus-toimitusprosessia ja sitä, että tuoteperhe on suunniteltu konfiguroitavana tuotteena. Kiinteiden tuotteiden joukon muodostamaan tuoteperheeseen verrattuna, konfiguroitavalla tuotteella on yksi konfigurointimalli, joka sisältää kaiken tiedon tuotteen kyvykkyydestä mukautua asiakkaiden tarpeisiin. Konfigurointimalli määrittää ennalta suunniteltujen komponenttien joukon, säännöt miten niitä voidaan yhdistellä toimiviksi tuotevarianteiksi ja keinot, miten asiakkaan vaatimat toiminnot toteutetaan. (Tiihonen et al. 1999)

Pakkasen (2015) mukaan konfigurointi on vakiointiin, modulointiin ja tuoteperheiden sekä tuotealustojen kehittämiseen liittyvä aihealue. Pulkkinen (2007) lisää, että konfigurointi on uudelleenhyödyntämisen työkalu. Tiihonen et al. (1998) toteavat, että konfiguroitavat tuotteet ovat tärkeitä yrityksille, jotka tarjoavat asiakkaiden tarpeisiin mukautuvia tuotteita. Juutin (2008) mukaan konfigurointi on osa massaräätälöintiä.

Lehtonen (2007) esittää, että konfiguroinnin yhtenä tavoitteena on erottaa tuotteen suunnittelu ja toimitus siten, että kaikki asiakastoimitukset toteutetaan konfigurointiprosessin kautta. Käytännössä tämä saavutetaan modulaarisen tuoteperheen avulla, jossa tuotevariantteja muodostetaan konfigurointisäännösten avulla.

Tämän luvun aliluvussa 3.3.1 perehdytään tarkemmin konfigurointiin liittyviin käsitteisiin ja konfiguroinnin avulla saavutettaviin hyötyihin. Luvussa 3.3.2 käsitellään konfigurointiin liittyviä prosesseja. Lopuksi luvussa 3.3.3 esitetään kuvaus tyypillisestä konfiguraatiotehtävästä.

#### 3.3.1 Konfiguroitava tuote

Kirjallisuudessa konfiguroinnille ja konfiguroitavalle tuotteelle löytyy useita määritelmiä. Pulkkinen (2007) esittää, että konfiguroinnilla on kaksi eri merkitystä, jotka viittaavat joko toimintaan tai päämäärään, joka on toiminnan tulos. Toimintaan viitattaessa puhutaan konfiguroinnista tai konfiguraatiotehtävästä, kun taas päämäärällä tarkoitetaan konfiguraatiota tai tuotevarianttia. Juutin (2008) määritelmän mukaan konfiguroitava tuote viittaa yleiseen kuvaukseen tuotteesta, josta voidaan muodostaa yksilöllisiä tuotevariantteja. Tuotevariantit muodostetaan konfigurointimallin määrittämässä rajoissa. Konfiguroitava tuote voidaan mieltää tuoteperheeksi, joka perustuu ennalta suunniteltuihin elementteihin, kuten moduuleihin (Juuti 2008). Tiihosen et al. (1999) mukaan konfiguroitavalla tuotteella on seuraavia perusominaisuuksia:

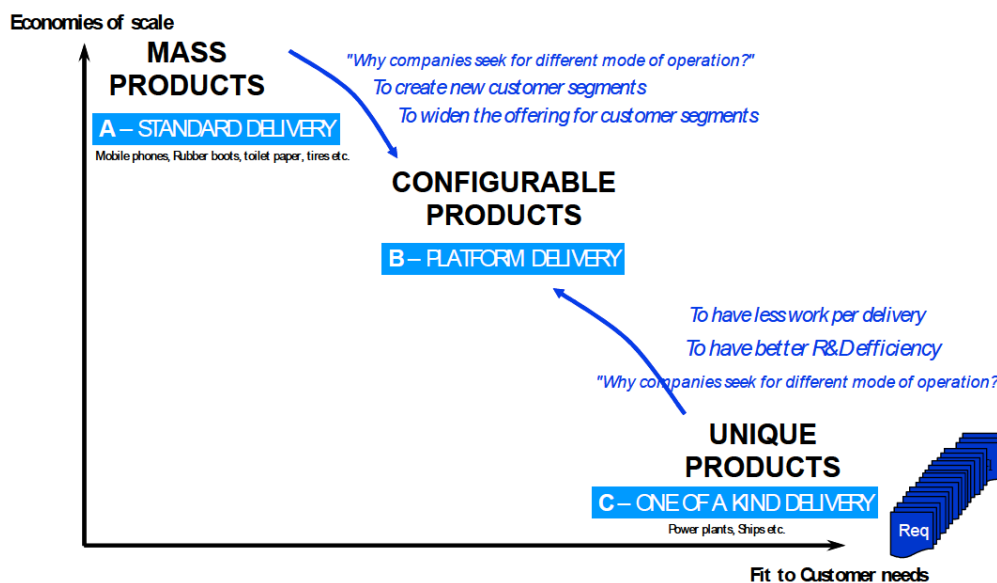
- Jokainen toimitettu tuote on yksilöity yksilöllisen asiakkaan yksilöllisten asiakastarpeiden mukaiseksi.
- Tuotteeseen on suunniteltu valmiiksi varauksia toteuttamaan ennalta määritetyt asiakastarpeet.
- Jokainen yksilöllinen tuote on määritetty valmiiksi suunniteltujen ratkaisujen yhdistelmänä. Tällöin tilaus-toimitusprosessin aikana ei ole tarvetta suunnittelutyölle.

- Tuotteella on ennalta määrätty yleinen tuoterakenne.
- Tilaus-toimitusprosessi vaatii vain systemaattista tuotevarianttisuunnittelua, eikä mukautuvaa tai alkuperäistä suunnittelua.

Konfiguroinnin päämääränä on muodostaa yritykselle kannattavia tuotteita, jotka täyttävät asiakaskohtaiset vaatimukset (Lehtonen 2007). Konfiguroitava tuote mahdollistaa vaihtelevien asiakastarpeiden hallinnan ilman asiakaskohtaista suunnittelua. Lehtonen (2007) esittää konfiguroinnin edistävän seuraavia asioita:

- Asiakastarpeiden täyttäminen ja hallinta.
- Toimitusaikojen lyhentäminen.
- Kustannuksien hallinta.
- Tasaisen laadun saavuttaminen.
- Tuotetarjonnan hallinta.
- Yrityksen brändin ja julkisuuskuvan edistäminen.

Martion (2015) mukaan konfiguroitavia tuotteita voidaan muodostaa muiden tuoteryhmien pohjalta. Kiinteä tuote voidaan muuttaa konfiguroitavaksi tuotteeksi suunnittelemalla ja tarjoamalla tuotteeseen asiakaskohtaisia optioita. Vastaavasti projektikohtaisista ja muuttuvista tuotteista saadaan konfiguroitavia tuotteita vakioimalla asiakaskohtaisia optioita. Lehtosen (2007) mukaan konfiguroitavan tuotteen avulla tavoiteltavat hyödyt riippuvat siitä, minkä tuoteryhmän pohjalta yritys on siirtymässä konfiguroitaviin tuotteisiin. Juuti & Lehtonen (2006) esittävät kuvassa 12 yrityksen siirtymisen kiinteistä tai projektituotteista konfiguroitaviin tuotteisiin.



**Kuva 12.** Siirtymä konfiguroitaviin tuotteisiin (Juuti & Lehtonen 2006)

Yllä olevassa kuvassa pystyakseli kuvaa tuotteen kustannustehokkuutta ja vaaka-akseli tuotteen muuntelukykyä. Kuten kuvasta nähdään, niin yritykset hakevat ensisijaisesti kustannustehokkuuden parantamista siirryttäessä projektituotteista konfiguroitaviin tuotteisiin. Yritykset, jotka siirtyvät kiinteistä tuotteista konfiguroitaviin tuotteisiin, hakevat konfiguroinnin avulla puolestaan parempaa mukautumiskykyä asiakkaiden vaatimuksiin. (Lehtonen 2007)

Selvityksessään Tiihonen et al. (1998) kysyivät teollisuusyrityksien edustajilta miksi he suunnittelevat ja valmistavat konfiguroitavia tuotteita. Kyselyyn osallistui 10 suomalaista yritystä. Kyselyn yleisimmät syyt olivat seuraavat:

- Kyky täyttää monenlaisia asiakastarpeita (7 yritystä).
- Lyhyempi läpimenoaika tilaus-toimitusprosessissa (5).
- Tehostettu tuotannon hallinta (4).
- Asiakaskohtaisen suunnittelun vähentäminen (4).
- Tehokas keino laajan tuoteportfolion tarjoamiselle (3).
- Laadun parantaminen (3).

Muita mainittuja syitä konfiguroinnin hyödyntämiselle oli myyntityön helpottaminen, keskeneräiseen työhön tai varastoon sitoutuneen pääoman vähentäminen ja yleisesti virheidä vähentäminen. Tiihosen et al. (1998) selvityksessä esiin tulleet käytännön hyödyt tukevat kirjallisuuden saralla esitettyjä konfiguroinnin hyötyjä. Ideaalilanteessa konfiguroitavassa tuotteessa yhdistyy kiinteiden ja projektituotteiden hyvät puolet ilman mitään huonoja puolia. Tällöin konfiguroitavalla tuotteella on kiinteän tuotteen kustannusrakenne ja projektituotteen joustavuus.

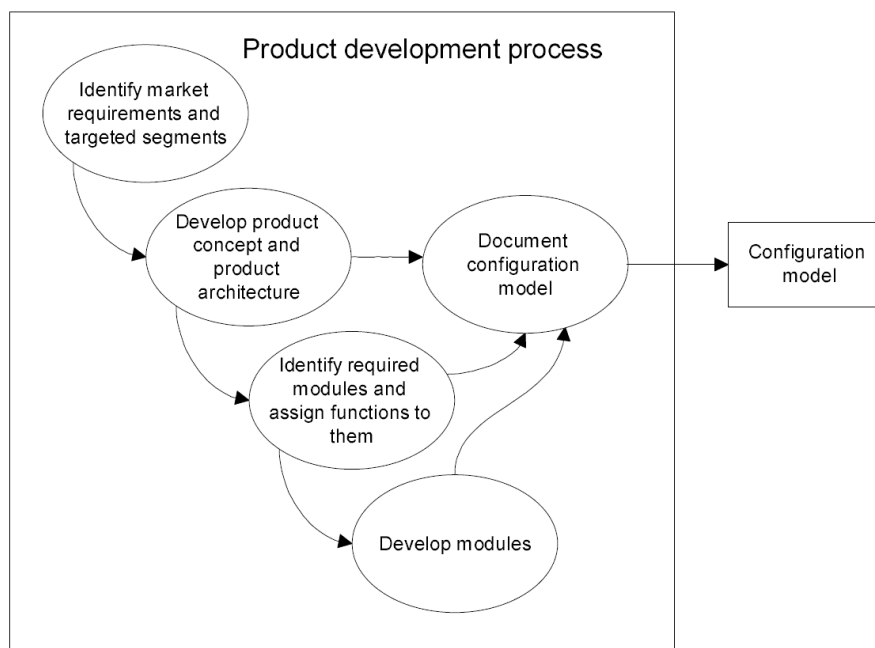
### 3.3.2 Konfigurointiin liittyvät prosessit

Konfiguroitavien tuotteiden ominainen piirre on, että tuotteen tuotekehitysprosessi on eriytetty tilaus-toimitusprosessista (Tiihonen et al. 1999; Juuti 2008). Konfiguroitavan tuotteen tuotekehitysprojektin päämääränä on tuottaa selkeä konfigurointimalli. Konfigurointimallia hyödynnetään toistuvasti konfigurointiprosessin aikana, joka on tilaus-toimitusprosessin osa, jossa määritetään toimitettava konfiguraatio (Tiihonen et al. 1999).

Martio (2015) toteaa, että konfiguroitavan tuotteen tuotekehitysprosessi omaa yhdistäviä piirteitä kiinteän tuotteen kehittämisen kanssa. Merkittävimpänä erona kiinteään tuotteeseen verrattuna, konfiguroitavan tuotteen tuotemalli kuvaa koko tuotevarianttijoukkoa, kun taas kiinteällä tuotteella tuotemalli kuvaa vain yhtä konfiguraatiota. Martio (2015) esittää konfiguroitavan tuotteen suunnittelulle seuraavat vaiheet:

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

Martio (2015) lisää, että edellä esitettyjä vaiheita ei pidä noudattaa ”vesiputousmallin” mukaisesti, jossa seuraavaan vaiheeseen siirrytään vasta, kun edellinen vaihe on saatu valmiiksi. Konfiguroitavaa tuotetta suunnitellessa voidaan sen sijaan hyödyntää ketterän kehityksen periaatteita, joissa vaiheita voidaan suorittaa samanaikaisesti sekä valmiisiin vaiheisiin voidaan palata, jos myöhemmässä vaiheessa törmätään ongelmiin tai löydetään uusia mahdollisuuksia. (Martio 2015) Konfiguroitavan tuotteen tuotekehitysprosessi on siis iteroivaa toimintaa. Tiihonen & Soinen (1997) esittävät kuvassa 13 oman näemyksensä konfiguroitavan tuotteen tuotekehitysprosessin kululle.

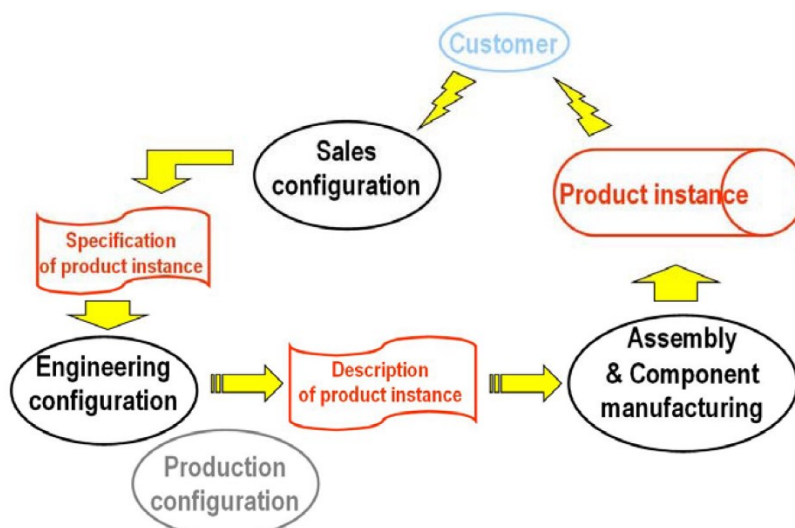


**Kuva 13.** Konfiguroitavan tuotteen tuotekehitysprosessi (Tiihonen & Soininen 1997)

Markkinasegmenttien ja niiden täsmällisten vaatimusten tunnistaminen tuotekehitysprosessin alkuvaiheessa on tärkeää, koska konfiguroitavalla tuotteella pyritään vastaamaan tehokkaasti asiakkaiden vaatimuksiin. Yrityksen pitää valita ne markkinasegmentit mihin tuote ja sen muuntelumahdollisuudet kohdistetaan. Jos tuotteen arkkitehtuurin ja muuntelumahdollisuuksien välillä on epäselvyyksiä, niin tuotteen myyminen on hankalaa, koska asiakkaan vaatimaa ratkaisua ei löydetä tuotetta konfiguroimalla. Tuotekehitysprosessin alkuvaiheessa tulee muodostaa alustava konfigurointimalli, jotta tuotteen alustavat muuntelumahdollisuudet on määritetty ennen varsinaista suunnittelutyötä. (Tiihonen et al. 1998)

Tuotteen pitää olla helposti konfiguroitava, koska monimutkaisen tuotteen myyminen voi helposti ylittää myyjän teknisen tietämyksen rajan, joka johtaa epäedulliseen tilanteeseen, jossa jokaisen myyntitilauksen tueksi vaaditaan tekninen asiantuntija. Vaikka konfiguraattorit pystyvätkin käsittelemään erittäin monimutkaisia moduulien vuorovaikutuksia, niin konfigurointimallien ylläpito saattaa muodostua rajoittavaksi tekijäksi. Positiivisia kokemuksia voidaan odottaa vain silloin, kun tuotteen suunnitteluprosessin lähtökohtana on tuotteen helppo konfigurointi. (Tiihonen & Soininen 1997)

Konfiguroitavan tuotteen tilaus-toimitusprosessi on monivaiheinen ja se vaatii useiden eri osapuolien yhteistyötä niin yrityksen sisällä, kuin myös asiakasrajapinnassa. Martion (2015) mukaan tilaus-toimitusprosessiin sisältyy kaksi konfigurointiprosessia, joissa konfigurointimallin avulla määritetään asiakkaan vaatimuksia täyttävää tuotevarianttia. Tiihosen (1999) ja Lehtosen (2007) näkemyksen mukaan tilaus-toimitusprosessin aikana tuotteen määritelmää voidaan muokata kolmessa eri vaiheessa. Kuvassa 14 on Lehtosen (2007) näkemys konfiguroitavan tuotteen tilaus-toimitusprosessista.



**Kuva 14.** Konfiguroitavan tuotteen tilaus-toimitusprosessi (Lehtonen 2007)

Konfiguroitavan tuotteen tilaus-toimitusprosessi alkaa asiakkaan ehdotuspyynnöstä tai tilauksen asettamisesta. Myyntikonfiguroinnin aikana asiakas tuo ilmi omat vaatimuksensa tuotteelle, joiden avulla myyjä määrittelee alustavan version tuotteen konfiguraatiosta. Myyntikonfiguroinnin konfiguraatio muutetaan tuoterakennekonfiguroinnin aikana tuotannon määritelmiksi. Toisinaan vasta tuotantovaiheen aikana määritetään mitä vaihtoehtoisia elementtejä tuotevariantissa käytetään. Tällöin toimituskohtainen tuotemääritelmä on valmis vasta kolmen konfigurointikierroksen jälkeen. (Lehtonen 2007)

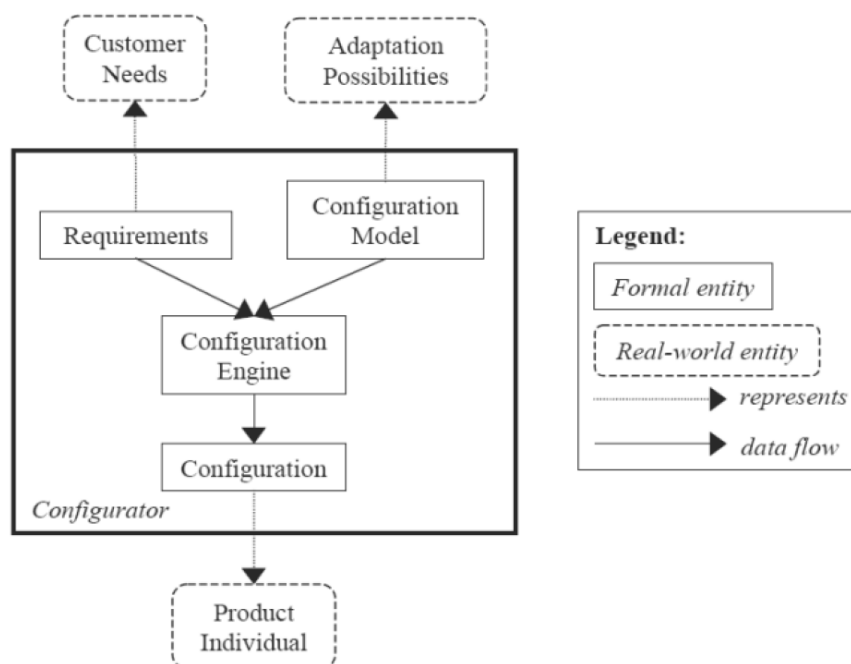
### 3.3.3 Konfiguraatiotehtävä

Konfiguraatiotehtävä on toimintaan viittaava konfiguroinnin muoto, jonka päämääränä on tuottaa kuvaus käytettävästä konfiguraatiosta. Konfiguroinnissa asiakkaan vaatimuksia käytetään syötteenä ja tuotoksena saadaan yksilöllinen tuotemääritelmä, joka on tuoteperheen jäsen (Pulkkinen 2007). Konfiguraattori on tietojärjestelmä, jossa tuotevariantteja konfiguroidaan sekä luodaan ja hallitaan tuotteiden konfigurointimalleja. Konfiguraattoreita on käytetty jo 80 –luvun alusta tilaus-toimitusprosessin tukena (Tiihonen & Soininen 1997). Konfiguraattoriin sisällytetään kaikki tuoteperheeseen ja sen konfigurointiin liittyvä tieto ja säännöstö. Konfiguraattorin sisältämää tuotetietoa ja säännöstöä kutsutaan yleisesti konfigurointitiedoksi (Juuti 2008). Tiihonen & Soininen (1997) esittävät neljä perustetta konfiguraattorin käytölle:

- Konfigurointiprosessissa esiintyvien virheiden vähentäminen.
- Tilaus-toimitusprosessin läpimenoajan lyhentäminen.
- Ajan tasalla olevan tuotetiedon tehokas jakaminen konfigurointiprosessin piirissä oleville henkilöille.
- Tarjouksien määrän lisääminen ilman myyntihenkilöstön tai insinöörien määrän lisäämistä.

Konfiguraattorin avulla myyjä pystyy konfiguroimaan monimutkaista tuotetta ilman insinöörin konsultointiapua. Tällöin myyjä pystyy yhdessä asiakkaan kanssa etsimään erilaisia mahdollisuuksia tuotteesta, jotka täyttävät asiakkaan vaatimukset. Myyjä pystyy siis keskittymään itse tuotteen myyntiin, eikä teknisten yksityiskohtien ymmärtämiseen.

(Tiihonen & Soininen 1997) Kuvassa 15 on Soinisen (2000) esittämä konfiguraattorin avulla suoritettu konfiguraatiotehtävä.



**Kuva 15.** Konfiguraattorilla suoritettu konfiguraatiotehtävä (Soininen 2000)

*Konfigurointimalli* pitää sisällään kaikki tuotteeseen suunnitellut ratkaisut. Konfigurointimalli ei siis ole valmiin tuotevariantin määritelmä, koska se sisältää useita suunnitteluratkaisuja, jotka ovat toistensa suhteen pois sulkevia vaihtoehtoja. Tilaus-toimitusprosessin vaihetta, jolloin konfigurointimallista valitaan useiden osien ja moduulien joukosta asiakastarpeiden perusteella oikeat ratkaisut, jotka muodostavat tuotteesta halutunlaisen variantin, kutsutaan *konfiguroinniksi*. Onnistuneen konfiguroinnin perustana on *konfigurointitieto*. Konfigurointitieto toimii linkkinä asiakastarpeiden ja tuotteen ominaisuuksien välillä. Se pitää sisällään myös säännösten eri ratkaisujen yhteensopivuudesta. Tietoteknisiä ratkaisuja, joissa määritetään tuotteen asiakaskohtainen *konfiguraatio*, kutsutaan *konfiguraattoreiksi*. (Tiihonen et al. 1999)

### 3.4 Modulointi

Modulointia on aihealueena tutkittu jo usean vuosikymmenen ajan ja sen määrittämiseen liittyy useita näkökulmia ja käsitteitä. Tämän luvun aliluvuissa kuvataan moduloinnin kehittymistä 1900-luvun alusta nykypäivään, esitetään määritelmät käsitteille ”moduuli”, ”modulaarisuus” ja ”modulointi”, tarkastellaan modulaarisuuden konseptia ja pohditaan sen avulla saavutettavia hyötyjä. Luvun lopussa tarkastellaan moduulijärjestelmän elementtijakoa modulaarisuuden ja konfiguroitavien tuotteiden avainkäsitteiden ja niiden välisten suhteiden avulla.

#### 3.4.1 Moduloinnin kehittyminen

Nykypäivänä käsite ”modulointi” ymmärretään teollisuudessa pinnalla olevana trendinä, jonka avulla haetaan yrityksen kilpailukyvyyn ja tehokkuuden nostamista. Modulointi pyrkii

nostamaan kilpailukykyä ja tehokkuutta yhdistämällä vakioinnin ja muuntelun avulla säästettävät hyödyt. Kuten kuvasta 8 nähdään, niin vakiointi mahdollistaa moduloinnin hyödyntämisen.

Konseptitasolla modulointi on kuitenkin aihealueena vanha käsite, sitä on vain käytetty tarkoittamaan eri asiaa kuin nykypäivänä. Käsitettä ”moduuli” on alkuperäisesti käytetty jo antiikin Roomassa kuvaamaan vakioitua mittaa (Lehtonen 2007). 1900-luvun alussa ymmärrys modulaarisuudesta laajentui, kun arkkitehtuurin saralla esitettiin teolliset rakennusosat (engl. *building blocks*). Bauhaus aikakaudella (1919-1933) saksalainen arkkitehti Walter Gropius yhdisti ensimmäistä kertaa idean vakioinnista, toiminnollisesta ajattelusta ja teollisesta valmistamisesta talonrakennusalalla. Rakennusosat olivat osa konseptia, jossa ne toimivat rakennuksen toiminnollisena osana, kuten keittiönä, olohuoneena tai makuuhuoneena. Tuolloin moduuli käsitettiin edelleen vakioituna mittana. (Miller & Elgård 1998)

1960-luvulla Saksassa rakennusosien konseptia jatkokehitettiin konetekniikan saralla. Karl-Heinz Borowski määritteli erilaisten rakennusosien luonteita ja ominaisuuksia kuten suuntaviivoja teknisen rakennusosajärjestelmän suunnitteluun (Miller & Elgård 1998). Rakennuselementtijärjestelmä (saks. *baukastensystem*) koostuu erilaisista mahdollisista rakennuselementtien kokoluokista eri ratkaisutasoilla. Rakennuselementti (saks. *baukasten*) on tarkastelutasolla oleva elementti, joka koostuu pienemmistä rakennusosista (saks. *baustein*). Nämä pienemmät rakennusosat voivat muodostaa uuden rakennuselementtijärjestelmän, jossa ne ovat rakennuselementtejä. Mahdollisista kokoluokista (saks. *rangstufen*) pitää määrittää rakennuselementtijärjestelmään mukaan otettavat tasot. Tätä rajausta kutsutaan ratkaisutaseksi (saks. *auflösungsgrad*). Esimerkiksi juna koostuu vetureista ja erilaisista vaunuista. Vaunu koostuu edelleen telipyörästöstä ja päällysrakenteesta. Telipyörästö koostuu taas pyöräkerroista, kannatuslaitteista ja jousista. (Lehtonen 2007)

Rakennuselementtijärjestelmä on vakioitujen rakennuselementtien kokoelma, jonka perusteella voidaan valmistaa rajattu tai rajoittamaton määrä erilaisia tuotteita valmistussuunnitelman (saks. *baumusteplan*) mukaisesti (Lehtonen 2007). Järjestelmän perusominaisuudeksi tunnistetaan kyky luoda muuntelua yhdistämällä tai vaihtamalla erilaisia rakennuselementtejä (Miller & Elgård 1998). 1960-luvulla elettiin kuitenkin ”massatuotannon paradigma” -aikaa, jonka takia Borowskin esittämä systemaattisesti muunneltava tuote ei ollut kilpailukyvyssä keskiössä, eikä näin ollen saanut ansaitsemaansa huomiota. Harloun (2006) mukaan Borowskin työn suurin vaikutus suunnittelutyön saralla on muunteluaste, joka yritysten tulee hallita. Muuntelutarpeen aiheuttaa räätälöintitarve, jota nykypäivän asiakkaat vaativat.

Viime aikoina alkuperäinen idea rakennuselementeistä sekä määritelmät käsitteestä ”moduuli” ovat kehittyneet edelleen. Vakioinnin ja muuntelun yhdistelmällä tavoiteltavat hyödyt johtavat massaräätelöintiin. Millerin & Elgårdin (1998) mukaan moduulin ja rakennuselementin ero on se, että moduulilla on oltava huomattava vaikutus lopputuotteen toiminnollisuuteen, toisin kuin rakennuselementillä. Esimerkiksi legopalikka ei ole moduuli, vaikka sillä onkin vakioitu rajapinta muihin palikkoihin liittämiseen, koska yksittäisellä palikalla ei ole suurta toiminnollista vaikutusta rakenteeseen, jonka osa se on. (Miller & Elgård 1998)

### 3.4.2 Moduloinnin käsitteet ja määritelmät

Modulointiin liittyville käsitteille on haastavaa löytää yksiselitteisiä määritelmiä. Aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta löydetään useita määritelmiä eri käsitteille. Moduuli on määritetty eri lähteissä seuraavasti:

- Moduuli on osakokonaisuus tuotteessa, jolla on selkeä toiminnollisuus ja ominaisuus sekä samalla sellaiset rajapinnat ja vuorovaikutukset muiden osakokonaisuuksien kanssa, että se voidaan nähdä tuotteen rakenteen rakennusosana. (Andreasen 2011)
- Moduuli on keskeinen ja itsenäinen toiminnollinen osa suhteessa tuotteeseen, johon se kuuluu. Moduulilla on vaikutus tuotteen määritelmään, vakiodut rajapinnat ja vuorovaikutukset, jotka yhdistelemällä sallivat tuotteiden määrittämisen. (Miller & Elgård 1998)
- Moduuli on isomman osakokoonpanon rakenteellisesti riippumaton osa, jolla on tarkasti määritellyt rajapinnat. (Okudan Kremer & Gupta 2012)

Miller & Elgård (1998) painottavat, että moduuli on keskeistä määrittää osaksi suurempaa systeemiä eikä yksinäisenä elementtinä. Edellä esitettyjä määritelmiä tutkimalla huomataan, että kaikki määritelmät tunnistavat moduulin olevan isomman systeemin toiminnollinen osa, jonka rajapinnat ovat määritetty selkeästi. Eri määritelmien perusteella moduuli nähdään tuotteen fyysisenä rakennuselementtinä tai tuotteen toiminnollisena näkökulmana.

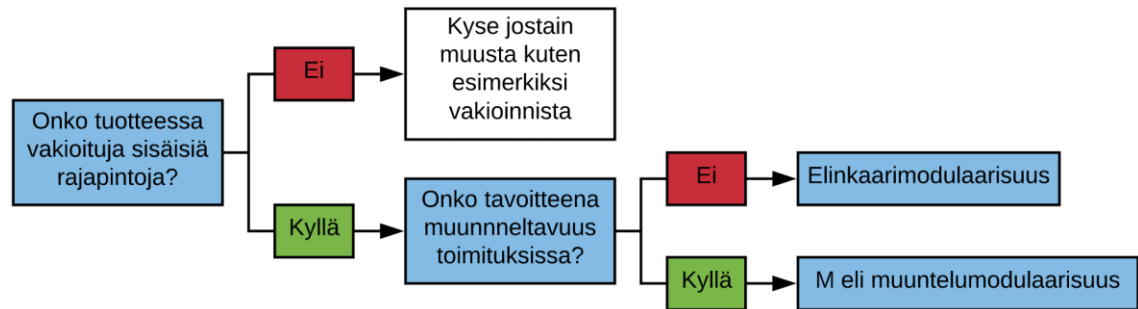
Lehtonen et al. (2003) toteavat, että modulaarisuudelle on olemassa useita näkökulmia riippuen tarkasteltavasta sidosryhmästä. Markkinointi näkee modulaarisuuden konfiguroitavana tuotteena. Tuotannolla on taas vahva yleiskäsitys modulaarisuudesta, mutta he haluavat nähdä moduulit vain kokoonpanoina. Modulaarisuudelle löytyy kirjallisuudesta seuraavat käsitteet:

- Modulaarisuus on suhteellinen ominaisuus; sillä ei ole tarkoitus analysoida ja kuvata tuotteen näennäisesti modulaarista rakennetta, ellei sen sopivuutta yrityksen tiettyyn alueeseen tunneta: miten moduloinnin hyödyt saavutetaan. (Andreasen 2011)
- Modulaarisuus on rakenteeseen ja toiminnollisuuteen liittyvän järjestelmän ominaisuus. Modulaarinen rakenne koostuu itsenäisistä toiminnollisista yksiköistä (moduuleista), joilla on vakiodut rajapinnat ja järjestelmän määritelmän mukaiset vuorovaikutukset. Moduulin korvaaminen toisella moduulilla luo uuden tuotevariantin. (Miller & Elgård 1998)
- Modulaarisuus antaa asiakkaille mahdollisuuden yhdistellä elementtejä löytääkseen tuotevariantin, joka sopii heidän tarpeisiinsa. (Okudan Kremer & Gupta 2012)

Määritelmien mukaan modulaarisuus liittyy vahvasti tuoterakennejärjestelmän toiminnollisuuteen. Modulaarisuus nähdään toiminnollisena aspektina, joka luo järjestelmään asiakkaiden vaatimaa muuntelua moduulien avulla. Modulaarisen järjestelmän toimivuuden kannalta on siis erittäin tärkeää, että moduulit määritellään systeemin osana eikä satunnaisena elementtinä.

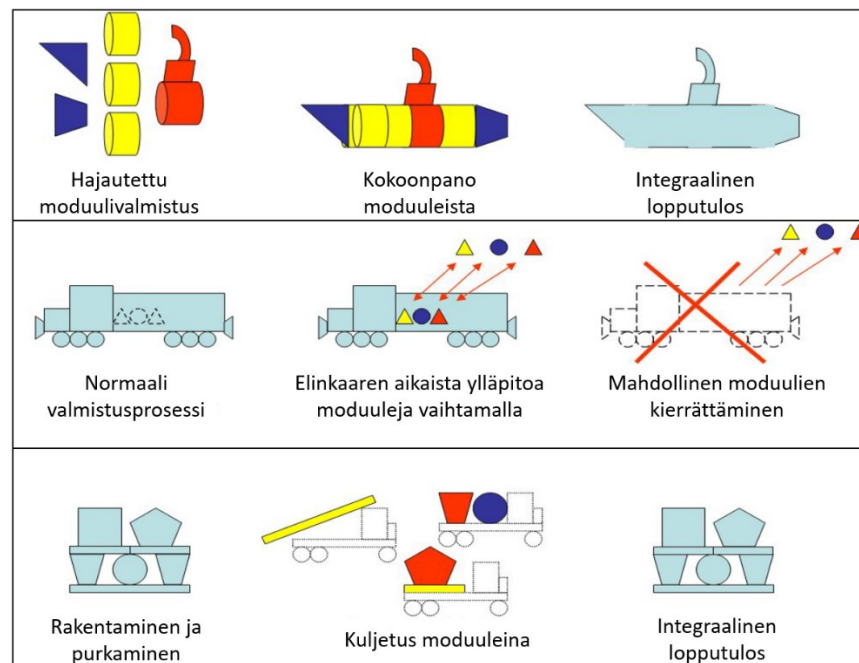
Lehtonen (2007) jakaa modulaarisuuden kahteen kategoriaan: M-modulaarisuuteen ja linkaarimodulaarisuuteen. Kirjain ”M” viittaa muunteluun. Edellä esitetyt määritelmät modulaarisuudesta kuvaavat Lehtosen esittämää M-modulaarisuutta. M-modulaarisuus perustuu modulaariseen järjestelmään, joka mahdollistaa tuotteen muuntelun. Linkaari-modulaarisuuden ja M-modulaarisuuden eroja on esitetty kuvassa 16.





**Kuva 16.** Modulaarisuuskategorioiden erot (muokattu lähteestä Lehtonen et al. 2017)

Lehtosen (2007) mukaan elinkaarimodulaarisuutta voidaan tunnistaa tuotteen elinkaaren kolmessa eri vaiheessa: valmistuksessa, ylläpidossa ja logistiikassa. Kuvassa 17 on esitetty elinkaarimodulaarisuuden kolme vaihetta esimerkkien avulla.



**Kuva 17.** Elinkaarimodulaarisuuden vaiheet (muokattu lähteestä Lehtonen 2007)

Valmistussyihin perustuvassa modulaarisuudessa modulaarisuutta hyödynnetään esimerkiksi sukellusveneen valmistuksessa. Telakka-altaassa voi varustella vain yhtä sukellusvenettä kerrallaan, joka rajoittaa valmistuksen tehokkuutta. Tehokkuutta nostetaan suunnittelemalla tuote koostumaan moduuleista, joiden valmistus voidaan hajauttaa. Sukellusvene kokoonpannaan telakka-altaassa nopeasti valmiiksi varustelluista moduuleista ja lopputuloksena tuote on kiinteä. (Lehtonen 2007; Lehtonen et al. 2017)

Ylläpitosyihin perustuvassa modulaarisuudessa modulaarisuutta hyödynnetään esimerkiksi dieselveturin ohjausjärjestelmän ylläpidossa. Ohjausjärjestelmän vianetsintä on hidasta, joka pidentää korjauksen vaatimaa aikaa. Huoltotyön nopeuttamiseksi ohjausjärjestelmä suunnitellaan koostumaan irrotettavista moduuleista, joita on nopea vaihtaa. Ohjausjärjestelmää lukuun ottamatta dieselveturi ei ole modulaarinen. Ylläpitosyihin perustuva modulaarisuus mahdollistaa myös moduulien kierrättämisen sen jälkeen, kun lopputuotteen käyttäminen lopetetaan. (Lehtonen 2007; Lehtonen et al. 2017)

Logistiikkasyihin perustuvassa modulaarisuudessa modulaarisuutta hyödynnetään esimerkiksi prosessilaitoksen toimitusketjussa. Prosessilaitoksen ylösajovaihe vaatii teollisen infrastruktuurin, mutta laitoksen sijoituspaikassa sitä ei ole saatavilla. Prosessilaitos suunnitellaan koostumaan moduuleista, jotka ovat laitoksen osakokonaisuuksia. Laitos valmistetaan, testataan ja puretaan optimaalisissa olosuhteissa ja kuljetetaan moduuleina lopulliseen sijoituspaikkaan. Loppukokoonpano sijoituspaikassa on tehokasta ja vaatii vähemmän asentajia verrattuna varsinaiseen ylösajovaiheeseen. (Lehtonen 2007; Lehtonen et al. 2017)

Elinkaarimodulaarisuudessa tavoitteena ei ole tuotteen muuntelu, vaan modulaarisuuden periaatteiden liittäminen tuotteen elinkaaren eri vaiheisiin. Elinkaarimodulaarisen tuotteen suunnittelutehtävä on täysin erilainen kuin muunneltavan tuoteperheen suunnittelu, koska elinkaarimodulaarisuudessa tuotteessa ei esiinny muuntelua, vaan tilanne on täysin staattinen. Elinkaarimodulaarisuudessa modulaarisuus toteutetaan määrittämällä ja hallitsemalla pelkkiä rajapintoja. (Lehtonen 2007)

Modulointia on tutkittu jo useiden vuosikymmenien ajan ja se on nykypäivänä valmistavan teollisuuden saralla pinnalla oleva trendi, mutta silti kirjallisuudesta sille ei löydy yksiselitteistä määritelmää. Kirjallisuudessa modulointi on määritetty seuraavasti:

- Modulointi tavoittelee asiakkaan näkökulmasta katsottuna muuntelua ja samaan aikaan vakioinnin hyödyntämistä moduulivarianttien välillä sekä sellaisia rakenteellisia ominaisuuksia, jotka vähentävät yrityksen prosessien monimutkaisuutta. Modulointiin sisältyy moduulien ja modulaaristen rakenteiden suunnittelu sekä hyötyjen saavuttaminen niissä osa-alueissa, joissa modulaarisuuden vaikutuksia nähdään. (Andreasen 2011)
- Modulointi on tuotteen jakamista yrityskohtaisista syistä rajapinnoilla määritettyihin rakennuselementteihin (moduuleihin). (Erixon 1998)
- Modulointi on aktiviteetti, jossa moduulien rakenteellinen jako toteutetaan. (Miller & Elgård 1998)

Toisinaan käsitettä ”modulointi” käytetään epävirallisesti kuvaamaan yleisiä tuoterakenneperiaatteita, jolloin yleistetään, että yritys voi hyötyä moduloinnista. Miller & Elgård (1998) korjaavat, että yritys ei voi hyötyä itsessään moduloinnista, vaan hyödyntämällä modulaarisuuden konseptia.

### 3.4.3 Modulaarisuus

Modulaarisuuden avulla valmistavan teollisuuden yritykset tavoittavat laajemman asiakaskunnan, koska tuotteita voidaan muuttaa globaalien vaatimuksien ja asiakaskohtaisten tarpeiden mukaan. Modulaarinen tuote edistää myös tuotteen ja sen osakokonaisuuksien uudelleenhyödyntämistä, kierrättämistä ja loppusijoitusta, kun komponentit ovat jaettu helposti hallittaviin ja irrotettaviin moduuleihin. Moduulien uudelleenhyödyntäminen myös vähentää tuotekehityskustannuksia. Modulaarisen tuotteen kehittäminen on myös helppoa ja ketterää, koska jokaisella moduulilla on selkeä toiminnollinen merkitys tuotteen ominaisuuksiin. (Okudan Kremer & Gupta 2012)

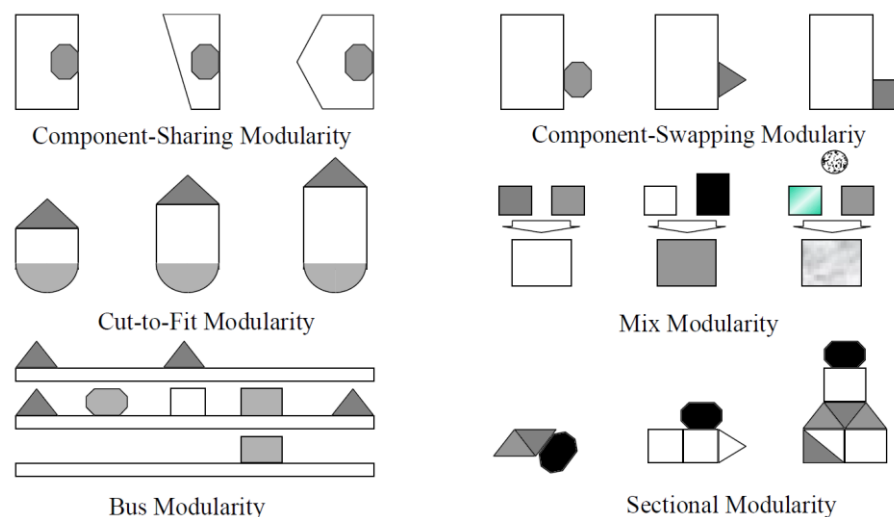
Kuten myös edellisessä luvussa määritelmiä käsitellessä mainittiin, modulaarisuutta ei pidä ajatella eristettynä asiana. Modulaarisuus tulee määrittää osaksi järjestelmää ja sen suunnittelussa tulee ottaa huomioon liiketoimintaympäristö. Lehtonen et al. (2017) esittävät kolme yleistä tuoterakenneperiaatetta modulaarisuuden implementoinnille teollisen yrityksen tuotteisiin:

1. Moduulilla on rikkomaton rajapinta, joka ei muutu.
2. Moduuli on olemassa vain moduulijärjestelmän osana.
3. Yhdessä moduulijärjestelmässä moduulit ovat järkevässä kokosuhteessa toisiinsa ja moduulit eivät koostu toisista moduuleista.

Ensimmäinen periaate on tärkeä, koska monet moduloinnin hyödyistä liittyvät siihen, että monimutkainen tuote jaetaan pienempiin osiin, joita on helpompi käsitellä. Hyötyjä ei saavuteta, jos rajapinnat ovat epämääräisiä tai ne muuttuvat. Rikkomaton rajapinta voi olla kuitenkin hankalaa toteuttaa, koska pelkkä mekaanisten rajapintojen hallinta ei riitä, vaan myös sähköiset ja hydrauliset komponentit vaativat rajapinnat. Toinen periaate on tärkeä, sillä mikään kokoonpano ei ole moduuli, ellei se kuulu moduulijärjestelmään, jossa sillä on käyttötarkoitus. Kolmas periaate on tärkeä, koska muunneltavan tuotteen konfigurointiprosessi on selkeä, kun konfigurointi on yksitasoinen, eli kerätään saman arvoisista moduuleista tarvittava joukko. Haasteena on, että usein etenkin monimutkainen tuote koostuu päällekkäisistä rakenteista. Tällaiset rakenteet tulisi toteuttaa sisäkkäisillä moduulijärjestelmillä. (Lehtonen et al. 2017)

Edellä mainitut periaatteet perustuvat Karl-Heinz Borowskin vuonna 1961 määrittämiin periaatteisiin. Ulrich & Tung (1991) määrittelevät, että modulaarisuus toteutuu tavasta, jolla tuote on jaettu komponentteihin, ja se riippuu kahdesta suunnitteluominaisuudesta: tuotteen fyysisen ja toiminnollisen arkkitehtuurin samankaltaisuudesta sekä fyysisten komponenttien keskinäisten vuorovaikutuksien minimoimisesta. Modulaarisuuden päämääränä on komponenttien vakiointi ja tuotemuuntelun luominen. (Ulrich & Tung 1991)

Kuten Lehtonen (2007) määrittää, moduulien vaihtokelpoisuus on tärkeä osa konfigurointiin perustuvassa modulaarisessa tuotteessa. Ulrich & Tung (1991) esittävät vaihtokelpoisuudelle viisi eri tyyppiä, joiden lisäksi Pine (1993) esittää lisäyksenä kuudennen tyyppin. Kun modulaarisuuden tuoterakenneperiaatteita hyödynnetään, niin muuntelu voidaan toteuttaa modulaariseen tuotteeseen kuudella eri tavalla, jotka ovat esitetty kuvassa 18.



**Kuva 18.** Modulaarisuuden kuusi tyyppiä. Alun perin Ulrich & Tung (1991) esittivät viisi tyyppiä joihin Pine (1993) lisäsi kuudennen "Mix Modularity" tyyppin (Erixon 1998)

Pakkanen (2015) esittää väitöskirjassaan modulaarisuuden tyypeille seuraavat määritelmät:

- **Komponenttien jakomodulaarisuudessa** (engl. Component-Sharing Modularity) samaa komponenttia käytetään useassa eri tuotteessa.
- **Komponenttien vaihtomodulaarisuudessa** (engl. Component-Swapping Modularity) eri komponentteja voidaan käyttää samassa perustuotteessa.
- **Parametrimodulaarisuudessa** (engl. Cut-to-Fit Modularity) komponentin mittoja muutetaan ennalta määritetyllä vaihteluvälillä tai toiminnollisien rajojen välillä.
- **Sekoitusmodulaarisuudessa** (engl. Mix Modularity) komponentteja yhdistellään toisiinsa siten, että luodaan jotain erilaista.
- **Väylämodulaarisuudessa** (engl. Bus Modularity) perusrakenteeseen voidaan kiinnittää useita erilaisia komponentteja.
- **Lohkomodulaarisuudessa** (engl. Sectional Modularity) joukko komponentteja voidaan konfiguroida ja liittää toisiinsa sattumanvaraiseen järjestykseen vakioitujen rajapintojen avulla.

Hansen & Sun (2010) tutkivat moduloinnin implementoinnista seuraavia hyötyjä. Tutkimuksen aineistona oli 40 erilaista tapausta 22 eri yrityksessä, joissa tuotemodulaarisuuden oppeja otettiin käytäntöön. Tutkimuksen tuloksena tuotemodulaarisuus

- vähentää kustannuksia tuotteen elinkaaren aikana mittakaavaedun kautta
- lyhentää toimitusaikaa toimitusketjun lykkäämismahdollisuuksien vuoksi
- lyhentää tuotekehitysaikaa suunnittelutehtävien jakelumahdollisuuden ansiosta
- lyhentää tuotekehitysaikaa ennalta tunnettujen rakennerratkaisujen ansiosta
- lyhentää uusien tuotevarianttien kehitysaikaa komponenttien ja tuoterakenteiden uudelleenhyödyntämisen ansiosta
- lisää muuntelua lopputuotteen konfigurointiprosessin joustavuuden ansiosta
- parantaa organisaation joustavuutta, koska kommunikointi tuoterakenteista on helppoa
- tehostaa organisaation oppimista, koska tuoterakenne kartuttaa tietoa luontaisesti

Hansen & Sun (2010) toteavat, että usein odotettavat hyödyt eivät vastaa toteutuneita hyötyjä. Usein yrityksen odotukset hyötyjen tyypeistä ja suuruusluokista ovat hataria. Odotettavia hyötyjä määrittäessä yrityksen tulisikin hyödyntää siihen tarkoitettuja työkaluja ja menetelmiä, jotta odotetut hyödyt olisivat tarkemmin määriteltyjä ja realistisempia. (Hansen & Sun 2010) Gershenson et al. (2013) ovat tiivistäneet kirjallisuuden saralla esitetyt modulaarisuudesta seuraavat hyödyt yhteen julkaisuun. Suurimpina hyötyinä mainitaan mittakaavaedun mahdollistama kustannusten alentaminen, tuotekehitysprosessin lyhentymisen ja joustavuus mukautua muuntelutarpeisiin. Vertailemalla empiirisesti todettuja hyötyjä (Hansen & Sun 2010) teoreettisiin odotettuihin hyötyihin (Gershenson et al. 2013) nähdään, että näkökulmasta riippumatta modulaarisuuden konseptin hyödyntämisestä seuraavat hyödyt vaikuttavat organisaatiotasolla useaan sidosryhmään ja tuotetasolla tuotteen elinkaaren jokaiseen vaiheeseen.

### 3.4.4 Moduulijärjestelmä

Väitöskirjassaan Juuti (2008) on muodostanut yhteenvedon konfiguroitavien modulaaristen tuotteiden avainkäsitteistä ja niiden välisistä suhteista kuvassa 19. Yhteenvedossa on selkeästi erotettu eri osa-alueisiin liittyvät käsitteet. Harmaalla pohjalla esitetyt käsitteet viittaavat tilaus-toimitusprosessiin, keltaisella pohjalla esitetyt käsitteet viittaavat suunnitteluprosessiin ja oranssilla pohjalla esitetyt käsitteet viittaavat hallinnointiin.



**Jakologiikka** sisältää perustelut tuotteen rakennetavalle ja sitä kautta myös moduulijaolle. Jakologiikan tehtävänä on paljastaa millä modulaarisen tuotteen elementeillä tai osa-alueilla esiintyy muuntelutarpeita ja miksi. (Pakkanen et al. 2013) Lehtonen et al. (2011) esittävät, että on tärkeää ymmärtää miten tuotteen muuntelutarpeet muodostuvat asiakkaiden prosessien kautta, koska tuotteen muuntelutarpeet määrittävät asiakkaiden käyttötarkoitusten mukaisesti.

**Moduulien** suunnittelu etenee alustavien tai yleisten moduulien määrittelystä lopullisten ja yksityiskohtaisten moduulien määrittelyyn. Aluksi moduulit voidaan ymmärtää kandidaateina ja kehitysprosessin myöhemmissä vaiheissa, kun muuntelutarpeet ovat tunnistettu ja ymmärretty paremmin, ne pitää määrittää yksityiskohtaisesti. Mahdollisen teknologian kehityksen varalta myös erilaisia moduuliversioita tulee harkita määrittelyn aikana. (Pakkanen et al. 2013)

Mekaanisten rakenteiden **rajapintoja** on käsitelty kirjallisuudessa hyvin rajallisesti ja niiden määrittelyyn liittyviä konkreettisia tutkimusesimerkkejä on vaikea löytää. Systeemitekniikan saralla on tunnistettu moduulien välisten rajapintojen yhteisymmärrys, joka ottaa huomioon moduulien ympäristön aiheuttamat vaatimukset, saavutettavuuden, liittimien tyypit ja lukumäärän, mekaaniset ominaisuudet ja energiaan liittyvät parametrit. (Pakkanen et al. 2013)

Moduulit sekä niiden väliset riippuvuudet ja rajapinnat määritetään tuotteen modulaarisessa **arkkitehtuurissa**. Modulaarista tuotearkkitehtuuria käsitellään tarkemmin luvussa 3.5.2.

**Konfigurointitieto** selittää moduulien ja vaatimuksien, kuten asiakastarpeiden, mahdolliset yhdistelmät. Konfigurointitiedon tuottamiseen ja hallintaan on olemassa erilaisia työkaluja, kuten matriisipohjaisia tai graafista mallinnuskieltä hyödyntäviä ratkaisuja. Useiden tapauksien mukaan konfigurointitiedon esittäminen erillisenä kuvauksena on kannattavaa, kunnes se implementoidaan konfiguraattoriin. (Pakkanen et al. 2013)

## 3.5 Muunneltavat tuoterakenteet

Tuotteeseen kohdistuvat muuntelutarpeet aiheuttavat erinäisiä haasteita tuotteen suunnittelulle ja tuotehallintaan. Aiemmissa luvuissa on käsitelty muunneltavan tuotteen suunnitteluun liittyviä näkökulmia ja taktiikoita. Kun yrityksen tuotevalikoima ei koostu vain yhdestä kiinteästä tuotteesta, vaan joukosta erilaisia tuotteita, liittyy tuotevalikoiman hallintaan erilaisia haasteita. Seuraavaksi tutustutaan muunneltavan tuotteen rakenteellisen jaottelun taktiikkoihin, joilla pyritään parantamaan tuotevalikoiman hallintaa.

Tämän luvun aliluvussa 3.5.1 perehdytään tuoteperheisiin ja tuotealustoihin. Luvussa 3.5.2 käsitellään tuotearkkitehtuuria ja sen eri muotoja. Lopuksi luvussa 3.5.3 tutustutaan empiirisesti tunnistettuihin tuoterakenteen suunnitteluperiaatteisiin.

### 3.5.1 Tuoteperheet ja tuotealustat

Tuoteperhe koostuu samankaltaisten tuotteiden joukosta, jotka jakavat keskenään yhteisen tuotealustan, mutta omaavat spesifisiä ominaisuuksia ja toimintoja vastaamaan

tiettyihin asiakkaiden asettamiin tuotevaatimuksiin (Meyer & Lehnerd 1997). Jokaista yksittäistä tuotetta tuoteperheen sisällä kutsutaan tuotevariantiksi. Kun tuoteperheen tehtävänä on vastata tietyn markkinasegmentin asettamiin vaatimuksiin, tuotevariantteja kehitetään täyttämään markkinasegmentin sisällä ilmeneviä erityistarpeita. Kaikki tuotevariantit jakavat keskenään tiettyjä yleisiä rakenteita ja teknologioita, jotka muodostavat tuoteperheelle tuotealustan (Erens & Verhulst 1997).

Simpson et al. (2001) esittävät kaksi menetelmää tuoteperheen suunnitteluun. Ensimmäinen tapa on niin kutsuttu proaktiivinen, eli ennalta suunniteltu tuotealusta, jonka menetelmää kutsutaan ylhäältä alas –menetelmäksi (engl. *top-down approach*). Tässä menetelmässä tuotealustan ajatustapa otetaan huomioon uuden tuoteperheen konseptisuunnitteluvaiheessa. Tällöin jo tuoteperheen ensimmäistä tuotevarianttia suunnitellaan määritetään koko tulevan tuoteperheen tuotealusta. Tuoteperheeseen on näin ollen tehokasta kehittää uusia tuotevariantteja, kun tuotearkkitehtuuri on ennakkoon selkeästi määritetty. Toinen tapa on niin kutsuttu reaktiivinen uudelleen suunnittelu, jonka menetelmää kutsutaan alhaalta ylös –menetelmäksi (engl. *bottom-up approach*). Tässä menetelmässä yritys suunnittelee uudelleen jo olemassa olevien yksittäisten tuotteiden rakenteita siten, että ne hyödyntävät keskenään mahdollisimman laajasti samoja vakioituja komponentteja ja ratkaisuja. Tämän menetelmän päämääränä on saavuttaa mitta-kaavaetua osien ja ratkaisujen valmistus- ja suunnittelukustannuksien kautta, kun uudelleen suunniteltujen tuotevarianttien välillä käytetään vakioituja osia ja ratkaisuja.

Molempien aiemmassa kappaleessa esitettyjen menetelmien toimivuuden avaintekijänä on toimiva ja tarkasti määritetty tuotealusta, jonka perusteella tuoteperhe muodostetaan (Simpson 2004). Kirjallisuudessa esiintyy useita määritelmiä tuotealustalle. Simpson (2004) esittää tuotealustalle seuraavat määritelmät:

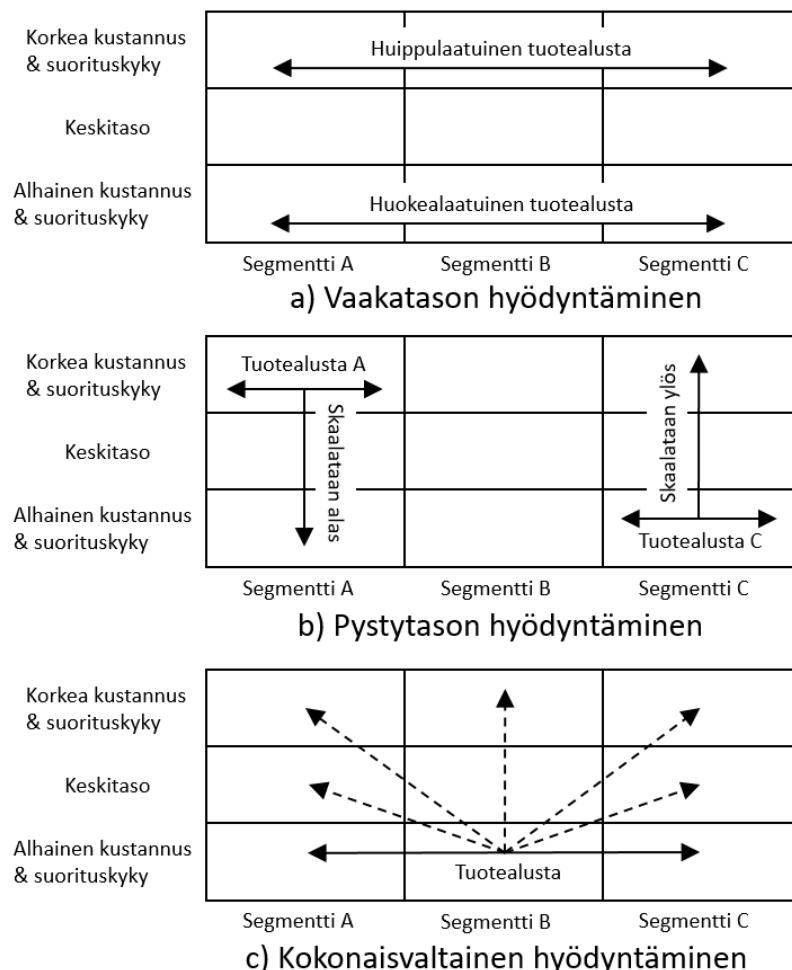
- Yleisten komponenttien, moduulien tai osien joukko, joiden pohjalta voidaan tehokkaasti kehittää erilaisia tuotevariantteja. (Meyer & Lehnerd, 1997)
- Kokoelma yleisiä elementtejä, etenkin taustalla oleva ydinosaaminen, toteutettuna koko laitetarjonnan läpi. (McGrath 1995)
- Varojen joukko (esim. komponentit, prosessit, tieto, ihmiset ja suhteet), joka on jaettu koko laitetarjonnan läpi. (Robertson & Ulrich 1998).

Tuotealustan tutkimuskentästä on tunnistettavissa selkeästi kaksi erilaista näkökulmaa (Jiao et al. 2007). Yhden näkökulman mukaan tuotealustoja kuvataan fyysisinä, elementtien kokoelmina, jotka toimivat usean eri tuotevariantin pohjana. Näin ollen pääongelmaksi muodostuu tunnistaa yhteiset tekijät tuoteperheen tuotevarianttien välillä (Wilhelm 1997; Ericsson & Erixon 1999). Tuotealustaa määrittäessä resurssit ohjataan yhteisten tekijöiden tunnistamiseen, erottamiseen ja vakiointiin, joiden avulla luodaan pohja lisäarvoa ja muuntelua tuottavien ratkaisujen kehittämiseen (Moore, Louviere & Verma 1999). Toista näkökulmaa tuotealustoista edustaa Meyerin ja Lehnerdin (1997) työ. Tässä näkökulmassa pääperiaatteena keskitytään yleisen perusrakenteen määrittämiseen vakioitujen komponenttien ja rajapintojen avulla. Pääongelmana on löytää tehokas ratkaisu, jonka avulla voidaan käyttää hyväksi yhteistä logiikkaa ja arkkitehtuuria tuotevarianttien välillä. (Jiao et al. 2007)

Kaikissa eri määritelmissä yhteisenä piirteenä tuotealusta muodostaa yhteisen teknisen perustan eri sovelluksille (Ratamäki 2004). Johtopäätöksenä voidaan todeta, että tuotealustan tavoitteena on muodostaa tuoteryhmälle yhteinen tuotearkkitehtuuri (Meyer & Lehnerd 1997).

Tuotealustan suunnittelulle ja tuotekehitykselle tunnistetaan kirjallisuudessa kaksi lähestymistapaa (Jiao et al. 2007; Simpson et al. 2014). Meyer ja Lehnerd (1997) esittävät lähestymistavaksi modulaarisen tuoteperheen, jossa erilaisia tuotevariantteja muodostetaan vaihtamalla, lisäämällä tai poistamalla toiminnollisia moduuleita tuotealustasta. Vaihtoehtoisesti Simpson et al. (2001) esittävät skaalautuvan tuoteperheen, jossa tuotevariantteja muodostetaan venyttämällä tai kutistamalla tuotealustaa skaalautuvien muuttujien avulla. Skaalautuvuus voidaan toteuttaa yhden komponentin ja muuttujan, komponenttiryhmän ja muuttujaryhmän tai jopa koko tuotealustan skaalautuvuutena (Simpson et al. 2014).

Riippumatta siitä minkä menetelmän, näkökulman tai lähestymistavan kautta tuotealustoja tarkastellaan, niin tuoteperheen peruskehitysstrategian tarkoituksena on hyödyntää tuotealustaa useissa markkinasegmenteissä ja -raoissa (Simpson 2004). Meyer (1997) esittää kuvassa 20 markkinasegmenttiruudukon, jossa tuotealustan hyödyntämisstrategiat ovat esitetty selkeästi. Ruudukossa markkinasegmentit ovat sijoitettu vaaka-akselille ja hinta/suorituskyky luokat pystyakselille.



**Kuva 20.** Tuotealustan hyödyntämisstrategiat (muokattu lähteestä Meyer 1997)

**Strategiassa a)** tuotealustaa, tai sen avainasioita, hyödynnetään useassa saman hinta- ja suorituskykyluokan markkinasegmentissä. Strategian etuna yritys voi tuoda markkinoille joukon saman tasoisia tuotteita, jotka vastaavat eri markkinoiden vaatimuksiin ilman, että jokaista tuotetta tarvitsee suunnitella alusta loppuun asti erikseen. Tuotekehi-



tyksessä suurin hyöty saavutetaan nopean uustuotekehityksen kautta. Lisäksi, jos yksittäinen toiminnollinen alikokoonpano tai ratkaisu voidaan suunnitella selkeästi paremmaksi kilpailijoihin verrattuna, niin saavutettu etu hyödynnetään koko laiteperheen saralla. Toimintatapaan liittyy myös riskejä. Kuten saavutetut edut, myös esiin tulevat epäkohdat esiintyvät pahimmassa tapauksessa koko laiteperheen laajuudessa. Myös tuotealustan kehittäminen tai uusiminen voi olla haasteellista, koska laaja edustus eri markkinasegmenteissä luo useita vaatimuksia, jotka tulee saavuttaa samanaikaisesti. (Meyer 1997)

**Strategiassa b)** yhtä yleistä tuotealustaa hyödyntämällä kehitetään uusia tuotevariantteja vastaamaan saman asiakassegmentin eri hinta- ja suorituskykyluokan vaatimuksiin. Strategiaa voidaan hyödyntää molempiin suuntiin. Yritys voi hyödyntää korkean suorituskyvyn omaavan tuotteen tuotealustaa alemmilla suorituskykytasolla skaalaamalla tuotealustaa alaspäin. Yksinkertaisimmillaan tuotealustan alaspäin skaalaaminen tarkoittaa jonkin toiminnon poistamista korkean suorituskyvyn tuotteesta, jolloin tuotetta voidaan tarjota huokeammalla hinnalla. Ylöspäin skaalatessa alhaisen suorituskykyluokan tuotteeseen lisätään uusia toimintoja tai vaihdetaan osien tilalle tehokkaampia osia, jolloin tuote täyttää korkeamman suorituskykyluokan asettamat vaatimukset. Strategian myötä yritys voi hyödyntää sisäistä tietoa tietyistä markkinasegmentistä ja kehittää tuotealustaa vastaamaan juuri tietyn markkinasegmentin tarpeisiin. Yhden tuotealustan kehittäminen kaikille suorituskykytasolle sopivaksi on tehokkaampaa ja halvempaa kuin oman tuotealustan suunnittelu jokaiselle tasolle. Toimintatapaan liittyy edelleen riski tuotealustassa piilevistä epäkohdista, jotka kertautuvat jaetun tuotealustan kautta koko laiteperheeseen. (Meyer 1997)

**Strategiassa c)** yhdistetään edellä kuvailut menetelmät, jolloin vaakatasoisesta tuotealustasta tehdään ylöspäin skaalautuva. Tällöin tuotealustan käytöstä seuraavat hyödyt saadaan entistä paremmin hyötykäyttöön. Ideana on, että yritys kehittää alhaisen suorituskykyluokan tiettyyn asiakassegmenttiin tehokkaan ja toimivan tuotealustan ja prosessit, jotka tukevat tuotealustan toimintaa. Tämän alkuperäisen markkinaraon kautta tuotekehitys skaalaa tuotealustan suorituskykyominaisuuksia tehokkaammiksi sekä lisää uusia toiminnollisuuksia, joilla vastataan muiden markkinasegmenttien asettamiin vaatimuksiin. Alkuperäiseen tuotealustaan tehdään lisäyksiä ja muutoksia, jotta tuotealusta tukee eri asiakassegmenttejä ja korkeampia hinta- ja suorituskykyluokkia. (Meyer 1997) Strategiaa voidaan kuvailla tuotealustan kokonaisvaltaiseksi hyödyntämiseksi. Yhden tuotealustan kautta pystytään tyydyttämään jokaisen markkinaraon yksilölliset vaatimukset.

### 3.5.2 Tuotearkkitehtuuri

Moduloinnista puhuttaessa törmätään useasti käsitteeseen ”arkkitehtuuri” (Pakkanen 2015) ja sitä tarkastellaan yleensä tuotteen näkökulmasta. Tuotearkkitehtuuri määritellään kirjallisuudessa seuraavasti:

- Tuotearkkitehtuuri määrittelee tavan, jolla tuote on jaettu fyysisiin komponentteihin. (Martio 2015)
- Tuotearkkitehtuuri on komponentteja käsittelevä suunnittelukonseptin näkökulma, joka kuvaa, miten osat kootaan yhteen. (Fujimoto 2007)

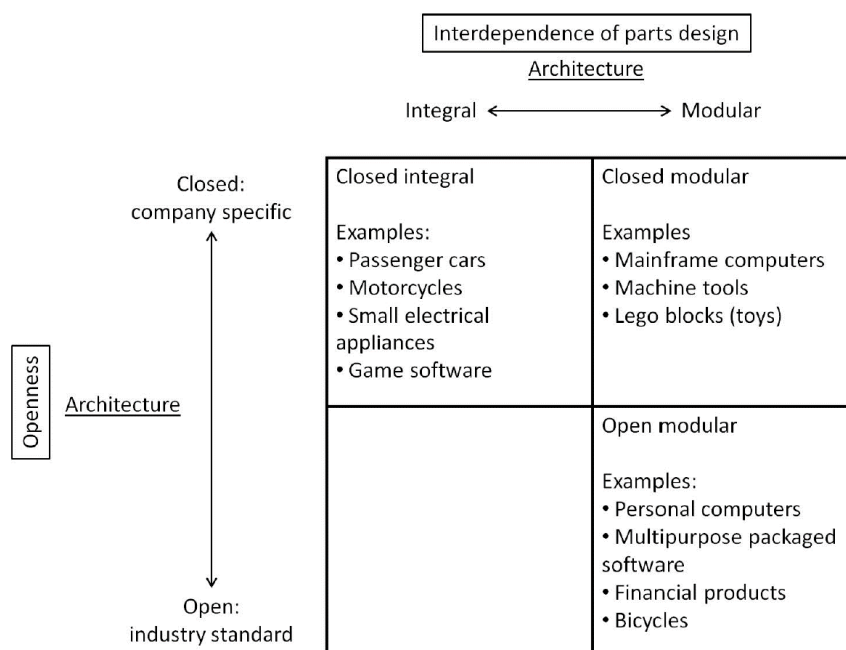
Fujimoto (2007) esittää kuvassa 21, että tuotearkkitehtuuri voi olla kiinteä tai modulaarinen. Modulaarinen arkkitehtuuri voidaan jakaa edelleen avoimeksi tai suljetuksi.

Kiinteä arkkitehtuuri yhdistää osia, joilla on monimutkaisia ja päällekkäisiä vuorovaikutuksia. Kiinteän arkkitehtuurin tuotteen toiminnollisuus ja suorituskyky riippuvat suunnittelun ja valmistuksen kyvykkyydestä tuottaa yhteensopivia ja harmonisessa vuorovaikutuksessa olevia osia. Kiinteä arkkitehtuuri on aina suljettu, koska se on monimutkainen systeemi, jonka osien vaihtokelpoisuus on usein mahdotonta ilman muutoksia. (Fujimoto 2007)

Pakkasen (2015) mukaan modulaarinen arkkitehtuuri on kiinteän arkkitehtuurin vastakohta. Kirjallisuudessa modulaarinen arkkitehtuuri määritellään seuraavasti:

- Modulaarinen arkkitehtuuri huomioi muuntelutarpeet, luo vakioituvuutta resurssien tehokkaalle käytölle ja vähentää monimutkaisuuden vaikutusta kaikissa toiminnoissa. (Andreasen 2011)
- Modulaarisessa arkkitehtuurissa elementtien väliset vuorovaikutukset ilmentyvät selkeästi määritettyjen rajapintojen kautta. (Fujimoto 2007)

Fujimoton (2007) mukaan modulaarisen arkkitehtuurin ajatuksena on, että moduulit toimivat tarkoituksen mukaisesti mahdollisimman vähäisillä resurssien panostuksilla. Modulaarisen arkkitehtuurin tavoitteena on helpottaa suunnittelijan työtehtäviä. Moduulien suunnittelu ei vaadi syvällistä tietoa, kun rajapinnat ovat selkeästi määritetty ja suunnittelijoiden tiedossa. Toisin kuin kiinteä arkkitehtuuri, niin modulaarinen arkkitehtuuri voi olla avoin tai suljettu. (Fujimoto 2007) Avoimessa modulaarisessa arkkitehtuurissa moduulien rajapinnat ovat teollisuuskohtaisesti vakioituja, kun taas suljetussa modulaarisessa arkkitehtuurissa rajapinnat ovat yrityskohtaisesti vakioituja.



**Kuva 21.** Arkkitehtuuri voi olla integroitu/modulaarinen ja avoin/suljettu. (Fujimoto 2007)

Martio (2015) havainnollistaa tuotearkkitehtuurimuotojen eroja köysivetoisen hissikoneiston avulla. Koneisto voidaan valmistaa kolmen erilaisen modulointitavan mukaisesti. Ensimmäisessä ratkaisussa jokaiselle toiminnolliselle elementille on yhdistetty oma moduuli, jolloin ratkaisussa voidaan vapaasti käyttää markkinoilla olevia standardikomponentteja ja moduuleja voidaan valita, vaihtaa ja yhdistellä helposti, jolloin ratkaisun konstruktio on modulaarinen ja muuntelu on joustavaa. Moduulien väliset rajapinnat ovat

teollisuuskohtaisesti vakioituja. Ensimmäisen ratkaisun heikkona puolena on osien suuri määrä, työläs loppukokoonpano ja kalleus verrattuna integroidumpaan ratkaisuun. Ensimmäinen ratkaisu koostuu seitsemästä moduulista ja on arkkitehtuuriltaan avoin modulaarinen. Toisessa ratkaisussa usea toiminnollinen elementti on integroitu yhteen moduuliin ja moduulien kokonaisuus on vähennetty viiteen. Ratkaisun muuntelukyky on yhtä joustava kuin ensimmäisessä ratkaisussa, mutta moduulien väliset rajapinnat ovat yritys­kohtaisesti vakioituja. Toisessa ratkaisussa kokoonpanotyöhön kuluva aika pienee huomattavasti ensimmäiseen ratkaisuun verrattuna, mutta arkkitehtuuri on suljettu modulaarinen. Kolmannessa ratkaisussa konstruktio on jarrua lukuun ottamatta täysin integroitu ja moduulien lukumäärä on vähennetty kahteen. Teknologian kehittymisen ansiosta ratkaisun muuntelukyky on kuitenkin riittävällä tasolla ja toiseen ratkaisuun verrattuna se on kokonaistaloudellisesti edullisempi. Kolmas ratkaisu voidaan määritelmistä riippuen luokitella arkkitehtuuriltaan suljetuksi modulaariseksi tai kiinteäksi. Konstruktio koostuu kahdesta moduulista, joiden välinen rajapinta on yritys­kohtaisesti vakioitu. Kuvatun hissikoneiston kehittymiseen on kulunut aikaa yli 100 vuotta, mutta kaikki konstruktio­tavat ovat edelleen käytössä. Moduloinnin näkökulmasta toisen ratkaisun mukainen konstruktio vaikuttaisi parhaalta vaihtoehdolta, mutta teknologian kehittymisen myötä kolmannen ratkaisun mukainen konstruktio tarjoaa riittävän joustavan muuntelukyvyn pienemmillä kustannuksilla. (Martio 2015)

Tuotteen moduloinnilla on vaikutus sen muunteluun ja yleensä kiinteän tuotteen muuntelukyky on heikompaa kuin modulaarisen tuotteen, mutta kiinteänkin tuotteen muuntelukyky voi toisinaan olla riittävä (Martio 2015). Parhaan tuote­arkkitehtuurin muoto vaihtelee tapauskohtaisesti, joten uuden tuotteen tai tuoteperheen suunnittelun aikana valittaessa käytettävää tuote­arkkitehtuurimuotoa, tulee ottaa huomioon kyseessä olevan tapauksen yksilölliset ominaisuudet. Kuten aiemmin on todettu, niin modulaarisen tuotteen tulee tukea yrityksen liiketoimintaa ja modulointi tulee kohdistaa niihin tuotteen osa­alueisiin tai elinkaaren vaiheisiin, joissa modulaarisuuden hyödyt ennustetaan olevan.

### 3.5.3 Tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet

Modulaarisen muunneltavan tuotteen suunnittelu on liiketoimintalähtöistä. Liiketoiminnan asettamat vaatimukset eivät kuitenkaan kuvaa riittävän abstraktisella tasolla niiden vaikutuksia teknisiin ratkaisuihin ja suunnittelutehtäviin. Lehtonen et al. (2017) ovat keränneet tuoterakenteen suunnitteluperiaatteita (engl. *Product Structuring Principles, PSP*) tukemaan liiketoiminnan asettamien vaatimuksien ja tuoterakennepäätösten väliin jäävää pitkää heuristista loikkaa. Periaatteet perustuvat onnistuneiden kehityshankkeiden empiirisiin havaintoihin, joista rajallisella määrällä tapauksia on yleisesti tunnistettu 12 periaatetta. Periaatteet ovat muodostettu tutkimalla kehityshankkeissa tehtyjä ratkaisuja, jotka ovat muotoiltu yleisiksi säännöiksi kuvassa 22. Sääntölistaa läpikäymällä voidaan pohtia tuottaisiko säännön mukaan toteutettu tuoterakenne halutun liiketoiminta­hyödyn. (Lehtonen et al. 2017)

- Apply Base Unit building principle (1)
- Partition the steel structure according to delivery concept (2)
- Apply full main component interchangeability (3)
- Standard positions and connections for accessories, wiring, piping... (4)
- Make space reservations for variant components (5)
- Take advantage of standardization (6)
- Create predefined standard configuration for known dominant designs (7)
- Using of change stop zones between variant elements (8)
- Target for factory tested "plug-and-play" site assembly elements (9)
- Design optional quality elements as interchangeable or add-on (10)
- Create capability for delivering customer specified finishing (11)
- One solution, that consists of "custom made" basic core structure and configured machinery & add-on-accessories (12)

**Kuva 22.** Tuoterakenteen suunnitteluperiaatteiden sääntölista (Lehtonen et al. 2017)

**Ensimmäisen** periaatteen mukaan tuotteella on perusrakenne, johon kaikki muut osakokonaisuudet kiinnitetään. Tällöin tuotteen muunteluun ja moduulien yhteensopivuuteen liittyy vähemmän odottamattomia seuraamuksia ja rajapintojen hallinta on yksinkertaista. Periaatetta on hyödynnetty käytännössä esimerkiksi maanalaisissa porakoneissa. (Lehtonen et al. 2017)

**Toisen** periaatteen mukaan jokaisella toimituskonseptilla on määrätty teräsrakennemalli ja mikään rakenne ei ole suurempi, kuin mitä toimituskonsepti sallii. Tällöin myyntiorganisaatio tietää tarkasti jokaisen logistisen konseptin rakenteiden kustannukset ja toimitusajat. Periaatetta on hyödynnetty käytännössä esimerkiksi prosessilaitoksien toimituksissa. (Lehtonen et al. 2017)

**Kolmannen** periaatteen mukaan tuotteen pääkomponentit tulee olla täysin vaihtokelpoisia. Käytännössä tämä tarkoittaa, että pääkomponenteilla pitää olla samat rajapinnat. Tällöin asiakkaat voivat valita minkä tahansa pääkomponenttien yhdistelmän tuotetta määritettäessä. Periaatetta on hyödynnetty käytännössä esimerkiksi Scaniaan kuorma-autoissa. (Lehtonen et al. 2017)

**Neljännän** periaatteen mukaan tuotteen lisävarusteille on suunniteltu vakioidut sijoituspaikat. Lisävarusteita hallitaan yhdellä tai usealla vakioidulla rajapinnalla. Sijoituspaikkoja on lukumäärällisesti enemmän kuin yksittäisessä tuotteessa tarvitaan, jolloin ei synny tarvetta vain yhtä tarkoitusta varten suunnitelluille "ad hoc" -ratkaisuille. Sijoituspaikoissa on varaukset myös lisävarusteiden mahdollisille johtosarjoille ja putkituksille. Tällöin tuotteen valmistaminen voidaan aloittaa jo ennen kuin tieto kaikista lisävarusteista on määritetty ja valmista tuotetta on mahdollisuus päivittää lisävarusteiden osalta helposti ja nopeasti. Periaatetta on hyödynnetty käytännössä esimerkiksi laivan hyttien ryhmäläpiviennissä. (Lehtonen et al. 2017)

**Viidennen** periaatteen mukaan tuotteessa tulee olla tilavaraukset kaikille vaihtoehtoisille pääkomponenteille. Käytännössä tilavaraukset suunnitellaan fyysisesti eniten tilaa vievän komponentin ehdoilla. Tämä mahdollistaa systemaattisen lähestymistavan muuntelun sääntöjen määrittämiselle. Periaatetta on hyödynnetty käytännössä esimerkiksi MAN kuorma-autoissa. (Lehtonen et al. 2017)

**Kuudennen** periaatteen mukaan vakiointia tulee hyödyntää kaikissa osa-alueissa, joissa asiakaskohtaista muuntelua ei vaadita. Muuntelua ei ole järkevää lisätä sellaisiin asioihin, jotka eivät tuota lisäarvoa asiakkaille, koska se aiheuttaa aina kustannuksia yritykselle. Vakioinnin lisääminen parantaa myös tuotannon hallintamahdollisuuksia. Periaatetta on hyödynnetty käytännössä esimerkiksi Volkswagen konsernin modulaarisessa auton pohjalevyssä. (Lehtonen et al. 2017)

**Seitsemännen** periaatteen mukaan tunnetuille vallitseville ratkaisuille tai tietyille merkittävillä asiakassegmenteille luodaan ennalta määritetty vakiokokoonpano. Tällöin yksi tuote on tarkoitettu tietyille markkinaraolle, jonka yksityiskohtaiset vaatimukset ovat huomioitu täsmällisesti. Periaate mahdollistaa tehokkaat toimitusprojektit tietyille markkinoille tai tärkeille asiakkaille. (Lehtonen et al. 2017)

**Kahdeksannen** periaatteen mukaan tuotteen muunneltavien elementtien välissä tulee olla vakioitu elementti, johon muunneltava elementti kiinnitetään. Vakioitua elementtiä ja sen rajapintoja kutsutaan vaihtoalueeksi. Kahden muunneltavan elementin välisiä rajapintoja tulee välttää ja muunneltavien elementtien tilavarauksissa ei saa olla päällekkäisyyksiä. Tällöin yhden elementin muuntelu ei vaikuta muiden elementtien toimintaan. Periaatteen mukainen tuoterakenne helpottaa muunneltavan tuotteen kokoonpanotyötä. Periaatetta on hyödynnetty käytännössä esimerkiksi Scanian kuorma-auton alustassa. (Lehtonen et al. 2017)

**Yhdeksännen** periaatteen mukaan työmailla käytettävät osakokoonpanot tulisi olla tehtaalla testattuja ”Plug and Play” elementtejä. Esimerkiksi kaapelit, johtosarjat ja sähköhytit testataan tehtaalla optimaalisissa olosuhteissa, ennen kuin ne kootaan lopullisessa sijoituspaikassa. Tällöin vältytään ikäviiltä toiminnollisilta yllätyksiltä itse työmaalla ja tuotteen käyttöönotto on huomattavasti nopeampaa. Periaatetta on hyödynnetty käytännössä esimerkiksi sähkö-, energia- ja kuljetusteollisuudessa. (Lehtonen et al. 2017)

**Kymmenennen** periaatteen mukaan tuotteeseen suunnitellaan vaihtokelpoisia tai lisätäviä laadullisia elementtejä. Perustuotetta täydentävien elementtien rajapinnat määritetään tuotteeseen jo toimitusvaiheessa, vaikka niitä ei hyödynnetä vielä sen aikana. Tällöin lisävarusteita on helppo hinnoitella, myydä ja asentaa, kun perustuotteessa on niille suunnitellut rajapinnat ja tilavaraukset. Periaatetta on hyödynnetty käytännössä esimerkiksi Feston lähestymisantureissa. (Lehtonen et al. 2017)

**Yhdennentoista** periaatteen mukaan asiakkaan tulee voida vaikuttaa tuotteen viimeistelyyn. Tuotteen toimitusketjussa pitää olla kyvykkyys erilaisille viimeistelyille kuten esimerkiksi eri värisille pintakäsittelyille. Periaatteen mukainen toimitusketjun kyvykkyys luo lisäarvoa niille asiakkaille, jotka ovat valmiita maksamaan siitä. Myös tuotteen hinnoittelurakenteen määrittäminen on selkeämpää. (Lehtonen et al. 2017)

**Kahdennentoista** periaatteen mukaan muunneltava tuoterakenne toteutetaan yhdellä tuoteratkaisulla, jossa on muunneltava perusrakenne ja konfiguroitavat laitteistot ja lisävarusteet. Tuotetarjonta ei siis koostu useista erilaisista tuotevarianteista, vaan yhdestä joustavasta ratkaisusta, jota räätälöidään asiakkaan tarpeiden mukaan. Periaatteen mukainen toiminta vahvistaa yrityksen brändikuvaa ratkaisukeskeisenä toimijana ja mahdollistaa uusia liiketoimintamahdollisuuksia kokonaisratkaisutoimittajana. Periaatetta on hyödynnetty käytännössä esimerkiksi Scanian kuorma-autoissa. (Lehtonen et al. 2017)

Tuoterakenteen suunnitteluperiaatteiden sääntölista ei ole täydellinen ja sen kattavuus voi olla puutteellinen erikoisempien tapauksien kohdalla, koska säännöt perustuvat empiirisiin havaintoihin. Sääntöjä on mahdollista tunnistaa lisää keräämällä yhteen indikaatioita, jotka eivät johda mihinkään olemassa olevaan sääntöön. Esimerkiksi eräässä tapauksessa huomattiin, että liiketoimintaympäristön arvoketjussa esiintyy samanaikaisesti hintaoptimisen tuotteen sekä suorituskyvyltään tehokkaamman tuotteen tavoittelua. Tapausta analysoidessa päädyttiin ratkaisuun, jossa kaikille pääkomponenteille on olemassa hintakilpailukykyinen ja suorituskyvyltään huippua edustava versio. Tapauksen ratkaisua tutkimalla tunnistetaan uusi tuoterakenteen suunnitteluperiaate, jonka mukaan kaikille pääkomponenteille on kaksi suorituskykytasoa. (Lehtonen et al. 2017)

Tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet on kirjallisuudessa vielä lähes tuntematon käsite. Tällä hetkellä kaikki periaatteet ovat tunnistettu empiirisesti analysoimalla teollisuudessa käytössä olevia käytännön ratkaisuja, joilla yritykset ovat ratkaisseet muunneltavien tuotteiden suunnitteluun ja hallintaan liittyviä ongelmia. Periaatteiden mukaisia ratkaisuja ja toimenpidesuosituksia on kuitenkin löydettävissä myös kirjallisuudesta. Suunnitteluperiaatteet ovat etenkin käytännön ongelmien kanssa painiville yrityksille erittäin hyödyllisiä, koska ne linkittävät teoreettiset havainnot käytännön ratkaisuihin helposti lähestyttävien esimerkkien avulla. Akateemisella tasolla tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet vaativat vielä kehitystyötä, jotta käsite tulisi tutummaksi globaalissa mittakaavassa, jolloin periaatteita voitaisiin hyödyntää laajemmin kuin tällä hetkellä. Aihealueena kiinnostava tutkimusaukko voisi olla, miten uusia tuoterakenteen suunnitteluperiaatteita tunnistetaan. Toinen mahdollinen tutkimusaukko voisi olla, että miten tunnistetaan tapauskohtaisesti relevantit suunnitteluperiaatteet. Tapauskohtaisesti relevanttien ja uusien suunnitteluperiaatteiden tunnistamisen avuksi olisi hyvä kehittää työkalu, joka ohjaa ja tukee sen käyttäjää visuaalisesti.

## 3.6 Työkalut modulaarisen tuotteen kehittämiseen

Modulaaristen tuotteiden suunnittelun avuksi on kehitetty useita erilaisia työkaluja ja lähestymistapoja. Erilaisia lähestymistapoja käsiteltiin luvussa 3.2. Seuraavaksi käsitellään erilaisia työkaluja, joista tarkemmin esitetään tuoteperheen kokonaissuunnitelma sekä K- & V-Matriisit.

### 3.6.1 Tuoteperheen kokonaissuunnitelma

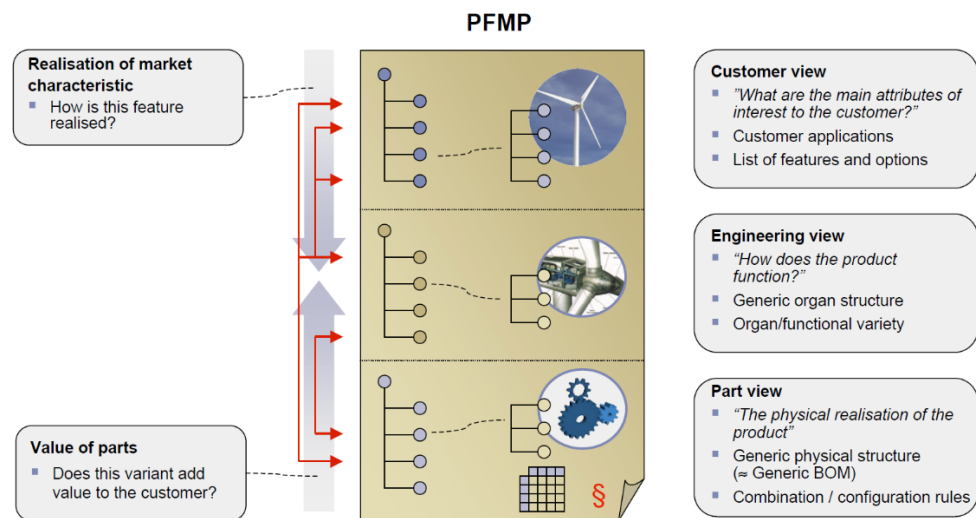
Harlou (2006) esittää ”Tuoteperheen kokonaissuunnitelma” -työkalun (engl. *Product Family Master Plan, PFMP*) muunneltavan tuoteperheen suunnitteluun. PFMP luo yleiskuvan tuoteperheestä ja sen muuntelusta.

Kun suunnitellaan uutta tuoteperhettä tai kehitetään jo olemassa olevaa tuoteperhettä, on tärkeää tarkastella tuoteperhettä muuntelun näkökulmasta. Tarkastelun tulisi kuvata tuoteperheen rakennetta ja siihen sisällytettyjä muuntelumahdollisuuksia. Harloun (2006) mukaan tuoteperhettä suunnitellessa kolme kiinnostavaa näkökulmaa ovat:

- **Asiakkaan näkökulma:** Asiakkaan näkökulma kuvaa tuoteperheen muuntelua markkinoiden näkökulmasta. Asiakkaan näkökulma vastaa kysymykseen ”Mitkä toiminnot ja käyttöominaisuudet tuovat asiakkaalle lisäarvoa?”
- **Tekninen näkökulma:** Tekninen näkökulma kuvaa tuoteperheen elimien rakennetta ja niiden muuntelua. Tekninen näkökulma vastaa kysymykseen ”Miten tuoteperhe toimii ja miten sitä voidaan muuttaa elimien näkökulmasta?”

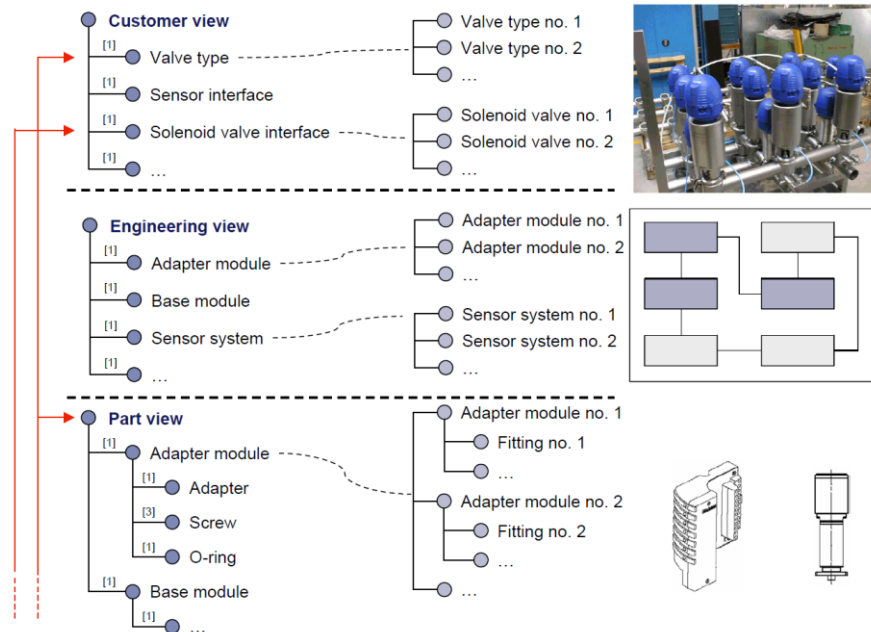
- **Osan näkökulma:** Osan näkökulma kuvaa tuoteperheen fyysisiä kokonaisuuksia ja vastaa kysymykseen ”Miten tuoteperhe rakentuu fyysisesti ja miten sitä voidaan muunnella osien näkökulmasta?”

Kolme näkökulmaa liittyvät toisiinsa siten, että tuoteperhe (tekninen näkökulma) näyttää muuntelun markkinoille (asiakkaan näkökulma) ja vakioinnin tuotantojärjestelmälle (osan näkökulma). Yleiskuva tuoteperheestä, joka sisältää kolme edellä mainittua näkökulmaa, mahdollistaa yrityksen tekemään parempia päätöksiä tuoteperheen ja sen muuntelun suhteen. Käytännössä paremmat päätökset pitävät sisällään esimerkiksi arvoa lisäämättömän muuntelun vähentämistä ja vakioitujen ratkaisujen tunnistamista. (Harlou 2006) Kuvassa 23 on PFMP:n yleiskuva.



**Kuva 23.** PFMP sisältää asiakkaan, tekniikan ja osan näkökulman (Harlou 2006)

Yllä olevaa kuvaa tutkimalla nähdään, että kolme näkökulmaa ovat syy-yhteydessä toisiinsa. Asiakasnäkymässä esitetyt toiminnot toteutetaan yhdellä tai useammalla teknisen näkymän elimellä. Teknisen näkymän elimet taas toteutetaan yhdellä tai useammalla osanäkymän osalla tai osakokoonpanolla. Syy-yhteydet ovat tärkeässä osassa, kun tehdään päätöksiä liittyen tuotevalikoimaan ja käytettävään arkkitehtuuriin. (Harlou 2006) Kuvassa 24 on esimerkki PFMP:n soveltamisesta teolliseen tapaukseen. Esimerkin tuote on mekatroninen laite venttiilien hallintaan.



**Kuva 24.** Esimerkki PFMP:n käytöstä kuvaa tuoteperhettä kolmesta eri näkökulmasta (Harlou 2006)

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, niin tuoteperhe on kuvattu kolmesta näkökulmasta, jotka ovat yhdistetty toisiinsa linkkien avulla, korostaen yhtenäisyyttä näkökulmien välillä. PFMP:iä on sovellettu useassa teollisessa projektissa päätöksenteon tukena liittyen tuotevalikoimaan ja arkkitehtuuriin. Eri projekteissa on löydetty seuraavia hyötyjä:

- Arvoa lisäävien ja arvoa lisäämättömien elementtien tunnistaminen
- Teknisten ratkaisujen monimutkaisuuden visualisointi
- Yhteisymmärryksen luominen myynnin, suunnittelun ja tuotannon välille
- Tuotealustan ja arkkitehtuurin dokumentointi

Pakkasen (2015) mukaan Harloun (2006) esittämä PFMP -työkalu sisältää useita tärkeitä näkökohtia, jotka tulee ottaa huomioon tuoteperhettä suunniteltaessa. Pakkanen (2015) jatkaa, että PFMP on merkityksellinen työkalu myös moduulijärjestelmän näkökulmasta.

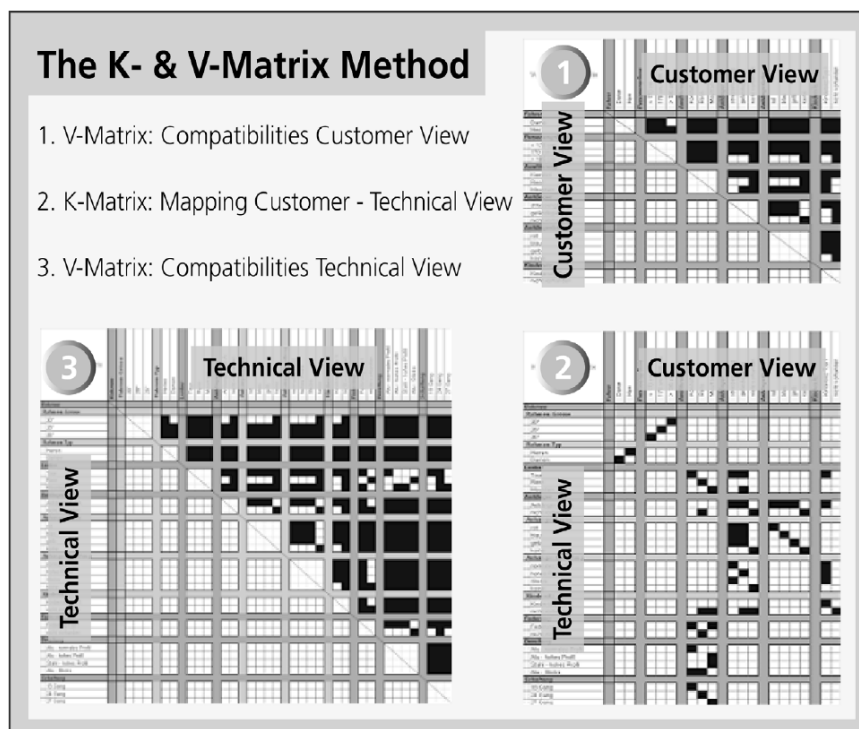
### 3.6.2 K- & V-Matriisit

Bongulielmi et al. (2001; 2002) ja Bongulielmi (2003) esittävät ”K- & V-Matriisi” -työkalun, joka esittää systemaattisesti tuotteen eri näkökulmien yhteensopivuudet ja konfigurointitiedon sekä luo yleiskuvan tuotevarianteista. Työkalun tarkoitus on analysoida ja jäsentää tuotteen muuntelua (Bongulielmi et al. 2001). Bongulielmin et al. (2002) mukaan K- & V-matriisi -työkalu perustuu kahden matriisin käyttöön:

- K-matriisi: konfigurointimatriisi (saks. *Konfigurationsmatrix*)
- V-matriisi: yhteensopivuusmatriisi (saks. *Verträglichkeitsmatrix*)

Työkalun avulla voidaan esittää ja hallita konfigurointitietoa, joka on tuotettu tuotteen suunnitteluprosessin aikana. Matriisipohjainen työkalu tukee tuotteen muuntelun analysointia ja jäsentelyä konfiguroinnin näkökulmasta. (Bongulielmi et al. 2002) Kuvassa 25 on työkalun yleiskuva ja rakenne.





**Kuva 25.** K- & V-Matriisi -työkalun rakenne (Bongulielmi et al. 2002)

K-matriisissa esitetään tyypillisesti tuotteen toiminnollinen ja tekninen näkökulma. Matriisiin sijoitetaan toiminnollisen näkökulman elementit vaakasarakkeisiin ja teknisen näkökulman elementit pystyriveille. Sarakkeiden ja rivien risteysalueet toimivat näkökulmien riippuvuussuhteiden esitysalueena. Jos risteysalue on täytetty mustaksi, niin kahden näkökulman elementtien välillä on yhteys. Toiminnollinen näkökulma kuvaa tuotteen ominaisuuksia, jotka ovat asiakkaan näkökulmasta oleellisia. Tekninen näkökulma sen sijaan kuvaa tuoterakenteen kaikkia moduuleja, joita yhdistelemällä muodostetaan tuotteesta erilaisia variantteja. (Bongulielmi et al. 2001)

Työkalussa näkökulmien käyttöä ei ole rajattu tiettyihin pareihin. Vaikka tyypillisesti työkalulla vertaillaan tuotteen *toiminnollista* ja *teknistä* näkökulmaa, niin niiden lisäksi voidaan tuotetta tarkastella myös esimerkiksi *tuotannon* tai *suunnittelumallien* näkökulmasta. Näin ollen jokainen yritys voi muodostaa oman tuotenäkökulman, joka noudattaa yrityksen omia vaatimuksia. (Bongulielmi et al. 2001)

K-matriisissa määritetään tuotteen toiminnollinen ja tekninen näkökulma sekä tarkastellaan niiden välisiä yhteyksiä. Tämän lisäksi on tarpeellista tarkastella jokaisen näkökulman elementtien keskinäisiä yhteensopivuuksia. Tätä tarkoitusta varten V-matriisissa määritellään näkökulmien elementtien välisiä riippuvuussuhteita. V-matriisi on neliön muotoinen matriisi, jossa sarakkeiden ja rivien määrä on yhtä suuri. Matriisin sarakkeisiin sekä riveihin sijoitetaan näkökulmaan liittyvät elementit samassa järjestyksessä. Jos elementit ovat yhteensopivia toistensa kanssa, niin niiden risteysalue täytetään matriisissa mustaksi. V-matriisissa elementtipareille on aina kaksi risteysaluetta, jonka takia on järkevää täyttää joko samojen elementtiparien muodostaman diagonaaliviivan ylä- tai alapuolta. V-matriisin avulla voidaan verrata jokaisen moduulin jokaista varianttia toisiinsa, jolloin kaikkien mahdollisten tuoteyhdistelmien määrittäminen on mahdollista. (Bongulielmi et al. 2001)

Koska K-matriisissa tarkastellaan kahta eri näkökulmaa, niin V-matriisi täytyy muodostaa molemmille K-matriisissa tarkastelussa olevalle näkökulmalle. Käytännössä kuitenkin riittää, että muodostetaan K-matriisi ja sen yhdelle näkökulmalle V-matriisi. Toisen näkökulman V-matriisi voidaan muodostaa automaattisesti jo luotujen K- & V-matriisien sisältämien tietojen perusteella. (Bongulielmi et al. 2001)

Tiivistettynä "K- & V-Matriisi" on työkalu, jonka avulla voidaan yleisellä tasolla esittää eri näkökulmien välisiä yhteensopivuuksia ja konfigurointitietoa. Tämänkaltaista tietoa tarvitaan tuotevariantteja määrittäessä. Matriisit ovat esitysmuotona graafisiin esitystapoihin verrattuna tiiviimpiä, selkeämpiä ja helpommin omaksuttavia riippumatta esitetyn tiedon määrästä. Matriiseissa elementtien väliset yhteydet ovat tyypiltään kyllä/ei vaihtoehtoja, joka yksinkertaistaa esitettyä tietoa niin paljon, että se on helppo ymmärtää ja sitä voi hyödyntää esimerkiksi myyntitilanteessa ilman laajempaa teknistä tietoa itse tuotteesta. (Bongulielmi et al. 2001) Pakkanen (2015) toteaa, että joissain tilanteissa matriisien tarjoama yksinkertaistettu tieto ei kuitenkaan tarjoa riittävää perustelua elementtien yhteensopivuuksista, jolloin syventävän tiedon esittämiseen joudutaan hyödyntämään muita työkaluja.

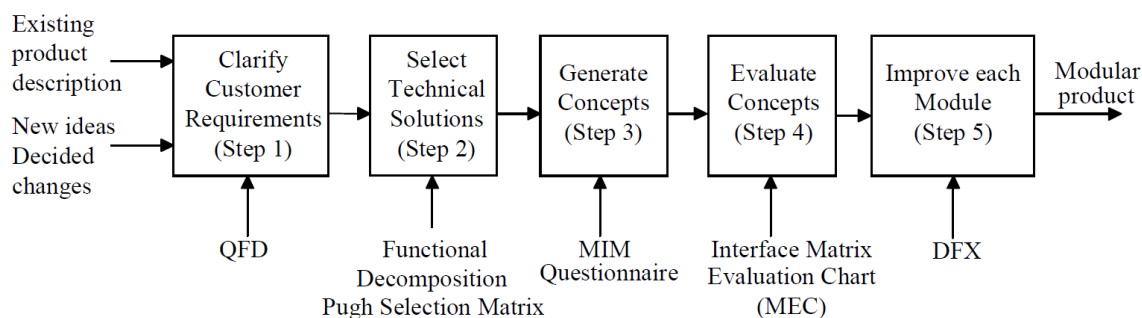
## 4. PROSESSIT MODULAARISEN TUOTTEEN SUUNNITTELUUN

Tuotekehitysprosessit keskittyvät useasti uusien tuotteiden kehittämiseen, kun taas jo olemassa olevien tuotteiden kehittämiseen tarkoitettuja prosesseja on rajallisesti. Olemassa olevien tuotteiden rakenne asettaa rajoitteita tuotteen kehittämislle suunnittelun ja uusien ratkaisujen näkökulmasta. Vanhat tuoteratkaisut, rakennettavat tai asiakastarpeet rajoittavat uusien ratkaisujen kehittämistä. Osa vanhojen tuotteiden ratkaisuista voivat olla turhia, jolloin niistä pitää päästä eroon, jotta kehitetyt ratkaisut ovat hyödyllisiä. Tuoteperheitä kehittäessä esimerkiksi osien lukumäärä saattaa olla tarpeettoman korkea tai tuoteratkaisut eivät enää vastaa asiakkaiden tarpeisiin. Toisaalta uustuotekehitykseen liittyy suurempia riskejä, kuin olemassa olevan tuotteen kehittämiseen. Täysin uutta tuotetta kehittäessä on olemassa riski, että asiakkaat eivät hyväksy sitä, koska markkinoita vallitsevat ratkaisut vaikuttavat asiakkaiden käyttäytymiseen. Yrityksen investoinnit infrastruktuuriin ja käytössä olevat resurssit vaikuttavat päätökseen siitä, kehitetäänkö olemassa olevaa tuotetta seuraavalle tasolle vai keskitytäänkö täysin uuden tuotteen kehittämiseen. Suunnittelun uudelleenkäyttö on tyypillisesti suurin motivaatio jo olemassa olevan tuotteen kehittämiseen. Uuden tuotteen kehittäminen tuo mukanaan uusia vaatimuksia myös valmistuksen, ylläpidon ja myynnin osa-alueille. (Lehtonen et al. 2011) Riskittämpi ja vähemmän resursseja vaativa toimenpide tuotteiden kehittämiseen on siis jo olemassa olevan tuotteen kehittäminen.

Seuraavaksi esitetään kaksi suunnitteluprosessia, jotka ovat muodostettu jo olemassa olevan tuotteen kehittämiseen kohti modulaarista tuoteperhettä. Luvussa 4.1 esitetään "Modular Function Deployment" -menetelmä (MFD) ja luvussa 4.2 esitetään "Brownfield Process" -menetelmä. Lopuksi luvussa 4.3, esitettyjä prosesseja vertaillaan toisiinsa.

### 4.1 Modular Function Deployment

Erixon (1998) esittää "Modular Function Deployment" -menetelmän tuotteen systemaattiseen modulointiin. MFD pyrkii menetelmänä tukemaan suunnittelijoita muodostamaan optimaalisen modulaarisen tuoterakenteen, mikä huomioi asiakkaan ja yrityksen tarpeet. MFD koostuu viidestä päävaiheesta, jotka ovat esitetty kuvassa 26.



**Kuva 26.** Modular Function Deployment (MFD) -menetelmän vaiheet (Erixon 1998)

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, niin MFD tarvitsee lähtötietona olemassa olevan tuotteen määritelmän, jonka takia menetelmää ei voida soveltaa uustuotekehityksessä.

Kuvasta nähdään myös, että jokaisen vaiheen suorittamiseen ehdotetaan sopivien työkalujen käyttöä. Vaikka kuvan mukaan MFD on prosessina suoraviivainen, niin todellisuudessa sen aloituspiste vaihtelee ja iterointia tarvitaan hyväksyttävään loppupisteseen päästäkseen. Lopputuloksen kannalta aloituspiste ja iterointien määrä ei ole oleellista, vaan tärkeämpää on se, että tarvittavat vaiheet ovat suoritettu ja hyväksyttävä ratkaisu löydetään. (Erixon 1998) Seuraavissa aliluuvissa 4.1.1-4.1.5 esitetään MFD:n vaiheiden sisältö tarkemmin.

#### 4.1.1 Asiakastarpeiden määrittäminen

Ensimmäisessä vaiheessa määritetään tuotteeseen kohdistuvat asiakastarpeet, joiden avulla muodostetaan tuotteen tekninen määritelmä. Erixon (1998) ehdottaa "Quality Function Deployment" -matriisityökalua (QFD) ensimmäisen vaiheen suorittamisen tueksi. QFD:n avulla visualisoidaan asiakastarpeiden ja suunnitteluvaatimusten välisiä yhteyksiä (Erixon 1998). Kuvassa 27 on yksinkertaistettu esimerkki QFD -matriisista.

"What"	"How"	Other Design Requirements						
		Modularity						
Customer "wants"					○			
	●							
			⊘				●	
	●			⊘				
	●							
			○		●		⊘	
	⊘							
Sum:		30	-	4	3	10	9	3

● = Strong relation (9)  
 ⊘ = Medium relation (3)  
 ○ = Weak relation (1)

Kuva 27. Yksinkertaistettu QFD (Erixon 1998)

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, niin Erixon (1998) ehdottaa lisäämään modulaarisuuden ensimmäiseksi suunnitteluvaatimukseksi muistuttamaan suunnitteluryhmää sen tärkeydestä. Modulaarisuuden vertaaminen asiakastarpeisiin tuottaa myös ensimmäisen tarkistuksen siitä, voidaanko asiakastarve tyydyttää modulaarisuuden avulla. QFD -matriisissa asiakastarpeiden ja suunnitteluvaatimusten välisiä yhteyksiä analysoidaan painotetulla asteikolla yhdestä yhdeksään. Ensimmäisen vaiheen tuotoksena tunnistetaan tuotteen tärkeimmät toiminnot. (Erixon 1998)

#### 4.1.2 Teknisten ratkaisujen valinta

Toisessa vaiheessa valitaan tekniset ratkaisut. Teknisten ratkaisujen tunnistaminen aloitetaan tutkimalla tuotetta toiminnollisesta näkökulmasta. Erixon (1998) ehdottaa toiminnollista hajauttamista teknisten ratkaisujen määrittämiseen. Toiminnollisessa hajauttamisessa tunnistetaan tuotteesta toimintoja, jotka toteuttavat asiakastarpeet ja määrittelevät tekniset ratkaisut, joilla nämä toiminnot toteutetaan. Toimintojen ja ratkaisujen tunnistaminen ei itsessään ole riittävä tavoite. Edellytys vakaalle modulaariselle suunnittelulle on toimintojen itsenäisyys. Toimintojen itsenäisyys tarkoittaa sitä, että toimintojen

välillä ei esiinny yhteyksiä. Tällöin toiminnollisia moduuleja voidaan korvata ja lisätä tuotteeseen vaikuttamatta koko tuotteen toimintaan. (Erixon 1998)

Erixon (1998) ehdottaa, että toimintoja tunnistaessa toiminnot jaetaan kahteen ryhmään sen mukaan, tarvitseeko jokainen asiakas kyseistä toimintoa vai ei. Toiminnot, joita kaikki asiakkaat tarvitsevat, ovat oivallisia kohteita vakioinnin hyödyntämiselle. Toimintojen integrointia ei suositella vielä tässä vaiheessa, koska sitä hyödynnetään laajemmin myöhemmissä vaiheissa. (Erixon 1998)

Joidenkin toimintojen kohdalla voidaan löytää useita teknisiä ratkaisuja, joilla toiminto voidaan toteuttaa. Valintamatriisin avulla teknisiä ratkaisuja voidaan verrata toisiinsa ja valita käytettäväksi ratkaisuksi se ratkaisu, joka on asiakkaiden ja yrityksen tarpeisiin parhaiten soveltuva. (Erixon 1998)

Kun toiminnot ovat tunnistettu ja niitä vastaavat tekniset ratkaisut määritetty, niin ne voidaan etenkin monimutkaisten tuotteen kohdalla järjestää oikeaan hierarkkiseen järjestykseen toimintopuun avulla. Toimintopuu esittää tuotteen toiminnot ja niitä vastaavat tekniset ratkaisut yksinkertaistetulla tavalla. Toimintopuu toimii myös toisen vaiheen visuaalisena tuotoksena. (Erixon 1998)

### 4.1.3 Konseptien luominen

Kolmannessa vaiheessa määritetään modulaariset konseptit. Erixon (1998) esittää löytäneensä tapaustutkimuksista kaksitoista modulaarisuuden taustalla vaikuttavaa voimaa, joita hän kutsuu moduulijureiksi (engl. *module-drivers*). Moduulijureita tunnustetaan tuotteen elinkaaren eri vaiheista seuraavasti:

Tuotekehitys ja suunnittelu

- Uudelleenhyödyntäminen
- Teknologian kehittyminen
- Suunnitellut muutokset

Muuntelu

- Tekninen määritelmä
- Muotoilu

Tuotanto

- Yleinen osa
- Prosessien ja/tai organisaation uudelleenhyödyntäminen

Laatu

- Toimintojen erillinen testaus

Osto

- Toimittaja tarjoaa valmiita vakioituja moduuleja (musta laatikko)

Ylläpito ja kierrätys

- Huolto ja ylläpito
- Päivittäminen
- Kierrättäminen

Moduulijureita hyödynnetään pohjana edellisessä vaiheessa valittujen teknisten ratkaisujen systemaattisessa analysoinnissa. Analyysin tarkoituksena on tutkia teknisten rat-

kaisujen soveltuvuutta moduuleiksi. Analyysin suorittamiseen ehdotetaan ”Modular Indication Matrix” -matriisityökalua (MIM). MIM:ssa jokainen tekninen ratkaisu arvioidaan moduulijureita vastaan. Teknisten ratkaisujen ja moduulijureiden välisiä yhteyksiä arvioidaan QFD -matriisista tutun painotetun asteikon mukaan. (Erixon 1998) Kuvassa 28 on esimerkki MIM työkalun käytöstä.

		Sub-function (techn. solution)		Module driver				
		Sub-function 1	Sub-function 2	Sub-function 3	Sub-function 4	Sub-function 5		
Company specific								
Development and Design	Carry-over					●		
	Technology push			●				
	Product plan							
Variance	Technical spec.				●			
	Styling							
Prod.	Common unit	●			⊗			
	Process/Org.			●	●			
Quality	Separate test	○		⊗				
Purchase	Black-box eng.	⊗						
After sales	Service/maint.	⊗		●				
	Upgrading							
	Recycling					○		

● = Strong driver (9)  
 ⊗ = Medium driver (3)  
 ○ = Some driver (1)

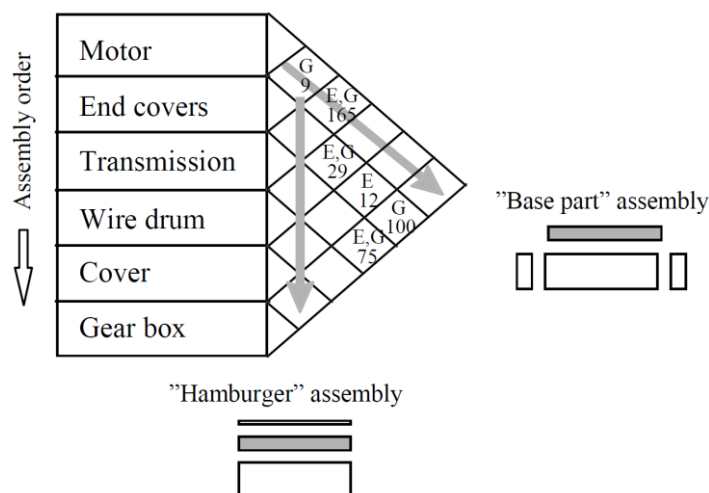
**Kuva 28.** Module Indication Matrix (MIM) -työkalu arvioi teknisiä ratkaisuja moduulijureita vastaan (Erixon 1998)

Tekniset ratkaisut, joihin kohdistuu vahvoja moduulijureita, sisältävät monimutkaisia vaatimuksia, jolloin ne muodostavat yksinään moduulin tai toimivat moduulin pohjana. Tekniset ratkaisut, joihin kohdistuu heikkoja moduulijureita, voidaan mahdollisesti integroida yhteen vastaavanlaisten teknisten ratkaisujen kanssa. Teknisiä ratkaisua integroidessa tulee kiinnittää huomiota yhdistettävien teknisten ratkaisujen moduulijureiden samankaltaisuuteen. Jos useaan tekniseen ratkaisuun kohdistuu samat moduulijurit, niin ne voidaan integroida. Niiden teknisten ratkaisujen, joihin kohdistuu toistensa suhteen ristiriitaisia moduulijureita, integrointia tulee välttää. (Erixon 1998)

MIM on MFD:n ydintuotos, jonka takia kolmas vaihe on myös MFD -menetelmän merkittävin yksittäinen vaihe. Vaiheen suorittaminen vaatii osallistujilta syvää tuntemusta yrityksestä ja sen tuotteista. (Erixon 1998)

#### 4.1.4 Konseptien arvioiminen

Neljännessä vaiheessa keskitytään modulaaristen konseptien arvioimiseen ja valintaan. Modulaarisessa suunnittelussa moduulien välisillä rajapinnoilla on keskeinen vaikutus lopulliseen tuotteeseen ja tuotetarjonnan joustavuuteen, jonka takia rajapinnan arvioinnilla on tärkeä vaikutus konseptin valintaan. Erixon (1998) ehdottaa rajapintamatriisin muodostamista konseptien rajapintojen yhteyksien havainnollistamiseksi. Kuvassa 29 on esimerkki rajapintamatriisista.



**Kuva 29.** Rajapintamatriisi havainnollistaa rajapintojen yhteyksiä (Erixon 1998)

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, niin matriisiin listataan konseptin sisältämät moduulit kokoonpanojärjestyksessä ylhäältä alaspäin. Moduulien väliset rajapinnat merkitään risteyskohtiin ja niiden tyyppi määritetään arvojen "G" ja "E" avulla, jossa "G" viittaa geometriseen ja "E" energialliseen rajapintaan. (Erixon 1998)

Erixon (1998) tunnistaa kaksi ideaalista kokoonpanotyyppiä rajapintojen näkökulmasta. Kokoonpanossa osat voidaan koota lineaarisesti päällekkäin tai yhden perusosana toimivan osan ympärille. Kokoonpanotyypit ovat havainnollistettu nuolina rajapintamatriisissa. Rajapintamatriisin avulla havaitaan ne rajapinnat, joita tarvitsee kehittää. Kaikki rajapinnat, jotka ovat kokoonpanotyyppiä havainnollistavien nuolien ulkopuolella, ovat epätoivottuja ja niiden käyttöä tulee välttää. (Erixon 1998)

Rajapintojen lisäksi myös taloudellista näkökulmaa tulee arvioida. Normaalit taloudelliset kirjanpitojärjestelmät eivät kuitenkaan arvosta modulaarisesta tuotetarjonnasta seuraavia erikoisia hyötyjä, jonka takia Erixon (1998) esittää tätä tarkoitusta varten kehitetyn arviointityökalun. Työkalun avulla voidaan arvioida karkealla tasolla taloudellisia osa-alueita laajalla alueella. (Erixon 1998)

#### 4.1.5 Moduulien kehittäminen

Viidennessä vaiheessa keskitytään moduulien kehittämiseen. MFD:n kolmannessa vaiheessa muodostettu MIM toimii tässä vaiheessa suunnannäyttäjänä moduulien kehittämiseksi. Esimerkiksi moduuli, joka on valittu huolto- ja ylläpitosyistä, tulee kehittää helposti purettavaksi. Moduulien kehittämiseen sovelletaan käyttökohteesta riippuen erinäisiä DFX menetelmiä. (Erixon 1998)

Menetelmän viimeisenä tehtävänä on tuottaa dokumentointi modulointityön lopulliselle tuotokselle, eli moduuleille. Moduulikohtainen dokumentti pitää sisällään vähintään moduulin nimen, vastuuhenkilön, kohderyhmän, tekniset ratkaisut, rajapinnat ja muut huomiot. Dokumentointi toimii perusteluna valitulle tuoterakenteelle. (Erixon 1998)

## 4.2 Brownfield Process

Modulointi, tuotealustat, tuoteperheet ja konfigurointi ovat tehokkaita tuotteen rakenteen jäsentämistaktiikoita massaräätälöinnin saralla. Yritykset tarvitsevat kuitenkin määritelmiä siitä, miten tässä kontekstissa tulee toimia. Pakkanen et al. (2016) ehdottavat, että suunnittelun avainkonseptit tällä saralla ovat:

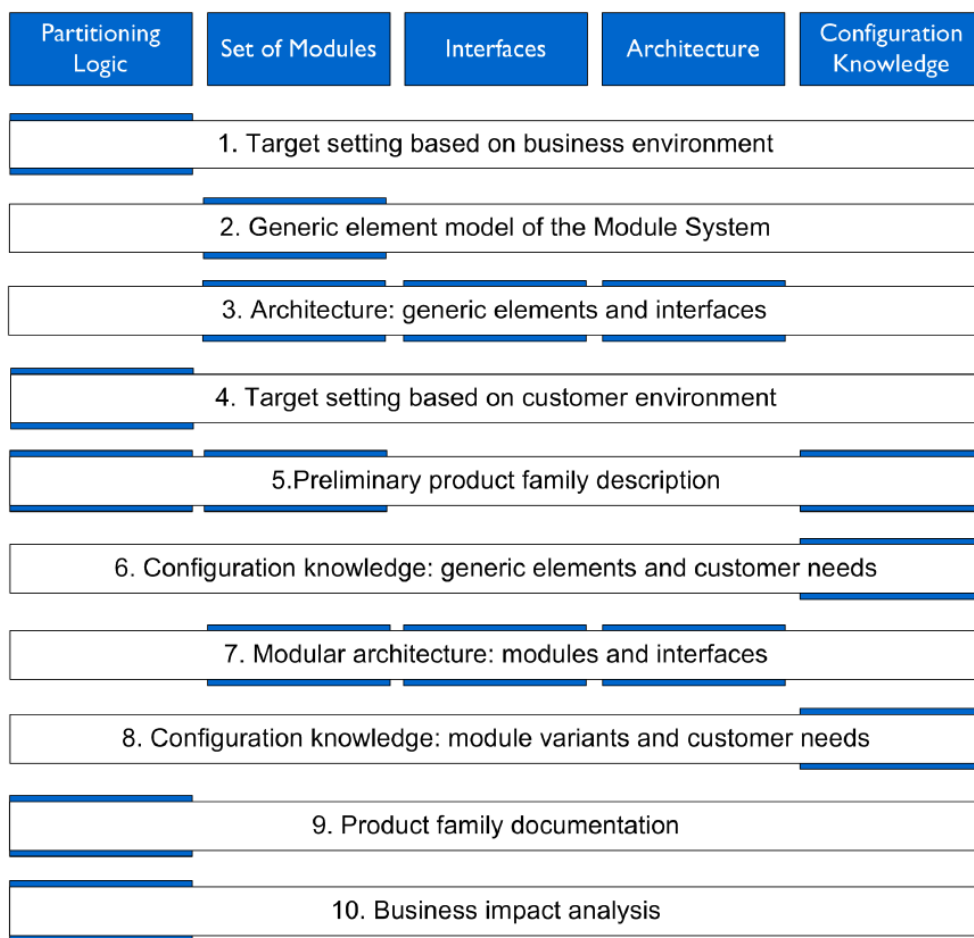
- Jakologiikka
- Moduulijoukko
- Rajapinnat
- Arkkitehtuuri
- Konfigurointitieto

Tunnistetut avainkonseptit ovat vastaavat kuin moduulijärjestelmän elementit, joita käsiteltiin tarkemmin luvussa 3.4.4. Kirjallisuudesta löytyy menetelmiä, jotka huomioivat osittain edellä esitettyjä elementtejä, mutta kaikkien huomioiminen yhdessä on harvinaista. Tämän tutkimusaukon paikkaamiseksi Pakkanen (2015) ja Pakkanen et al. (2016) esittävät ”Brownfield Process” -menetelmän. BfP on tarkoitettu olemassa olevan tuotteen muuntelun järjeistämiseksi kohti modulaarista tuoteperhettä, joka tukee konfigurointia. BfP:n ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 2011 artikkelissa Lehtonen et al. (2011), jolloin se perustui seuraavaan viiteen vaiheeseen:

1. Liiketoimintaympäristön asettamien tavoitteiden määrittäminen.
2. Hahmotelma ehdotetusta modulaarisesta arkkitehtuurista perustuen vanhoihin ratkaisuihin ja komponentteihin.
3. Markkina- ja asiakastarpeiden päivittäminen ja järjeistäminen.
4. Modulaarisen arkkitehtuurin luominen mahdollisimman vähäisellä muuntelulla. Tarvittavan uuden suunnittelun määrän määrittäminen.
5. Valitun arkkitehtuurin perusteluiden dokumentointi.

Vuonna 2015 Jarkko Pakkanen esitti BfP:n päivitetyn version väitöskirjassaan Pakkanen (2015) ja vuonna 2016 esitettiin lyhempi journal-julkaisu Pakkanen et al. (2016) vastaavasta päivitetystä versiosta. BfP:n päivitetty versio sisältää kymmenen vaihetta, jolloin osiot ovat helpommin hallittavia ja prosessin vaiheiden sisältö voidaan kuvata yksityiskohtaisemmin. Kuvassa 30 on Pakkanen (2015) esittämän päivitetyn BfP:n vaiheet. Kuvassa 30 on esitetty vaiheiden lisäksi myös moduulijärjestelmän viisi elementtiä ja niiden yhteys eri vaiheisiin. BfP:n jokaisessa vaiheessa on tarkoituksena määrittää moduulijärjestelmän elementteihin liittyvää suunnittelutietoa.





**Kuva 30.** Brownfield Process (BfP) -menetelmän vaiheet (Pakkanen 2015)

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, niin BfP sisältää kymmenen vaihetta. Prosessin ensimmäinen ja viimeinen vaihe käsittelevät liiketoiminnan osa-aluetta, koska suunnittelujen ratkaisujen tulee sopia yrityksen liiketoimintaympäristöön tukeakseen kilpailukyvykkyyttä ja kannattavuutta. Suunnittelun näkökulmasta menetelmä keskittyy tuoteperheen modulaarisen arkkitehtuurin määrittämiseen. Konfigurointitietoa käsitellään menetelmässä, koska se edesauttaa uudelleenkäyttöä tilaus-toimitusprosessissa ja tukee suunnittelutiedon dokumentointia, joka on tuoteperheen ylläpidon ja päivityksien saralla arvokasta tietoa. (Pakkanen 2015)

Yleensä ajan saatossa erilaisten tuotevarianttien määrä kasvaa markkinoiden kehittyessä ja asiakastarpeiden muuttuessa. Uusia varianteja kehitetään, mutta tuotehallinta ja tilaus-toimitusprosessi eivät pysy kehityksen mukana. Tällöin päädytään epäedulliseen tilanteeseen, jossa tuotevalikoima ei vastaa liiketoimintaympäristön tai asiakkaan asettamiin vaatimuksiin optimaalisesti. Tämänkaltainen tilanne on ajuri BfP:n soveltamiselle. BfP:n päämääränä ei ole täysin uuden tuotevalikoiman suunnittelu vaan menetelmä keskittyy uudelleensuunnitteluun, jossa vanhoja tai olemassa olevia ratkaisuja hyödynnetään lisäämällä vakiointia unohtamatta muuntelutarpeita. (Pakkanen 2015)

Prosessin edetessä jokaisessa vaiheessa tuotetaan kyseiseen vaiheeseen liittyvää tietoa suosittelujen lähestymistapojen ja työkalujen avulla. Vaiheiden tuotoksia tarvitaan seuraavien vaiheiden syötetietona tai lopputuotoksen osana. Vaikka kuvassa 30 menetelmä on kuvattu lineaarisena, niin se voi vaatia iterointia tai vaiheiden järjestyksen muuttamista. Menetelmän luonteen mukaisesti BfP ei pysty määrittämään parasta ratkaisua

tiettyyn yksityiskohtaiseen suunnittelutehtävään, vaan se pyrkii esittämään ehdotuksia ja ohjeita tuoteperheen suunnitteluun ja määrittelyyn. (Pakkanen 2015) Seuraavissa aliluissa 4.2.1-4.2.10 esitetään BfP:n vaiheiden sisältö tarkemmin.

#### 4.2.1 Liiketoimintaympäristön asettamat tavoitteet

Ensimmäisessä vaiheessa BfP pyrkii tarjoamaan puitteet tavoitteiden asettamiselle suunnittelutilanteissa, jossa valitut tuotteet suunnitellaan osittain uudelleen kohti modulaarista tuoteperhettä. Tavoitteiden asettamisen tarkoituksena on määrittää päämäärät modulaarisen tuoteperheen suunnittelulle, joka perustuu olemassa olevaan tuotevalikoimaan. (Pakkanen 2015)

Prosessin ensimmäisenä tehtävänä on laajuuden määrittäminen. Laajuus määritetään yrityskohtaisesti analysoimalla nykyistä tuotetarjontaa ja valitsemalla ne tuotteet, joita halutaan kehittää prosessin avulla. Jos yrityksen tuotetarjonta on laaja, niin modulointiprosessia voidaan supistaa valitsemalla vain tietyt tuotteet BfP:n tarkastelun kohteeksi. Suppea tarkasteluryhmä vähentää suunnittelutehtävien monimutkaisuutta, mutta samalla se rajoittaa saavutettavia hyötyjä. (Pakkanen 2015)

BfP ehdottaa ensimmäisen vaiheen suorittamiseen kahta vaihtoehtoista lähestymistapaa. Ensimmäinen lähestymistapa on hyödyntää Juutin (2008) esittämää muuntelun ja vakioinnin syy-seurauskaaviota, joka esitettiin aiemmin luvussa 3.2.1. Toinen lähestymistapa on Lehtosen (2007) esittämä ”Company Strategic Landscape” -työkalu (CSL). (Pakkanen 2015)

Syy-seurauskaaviota suositellaan käytettäväksi silloin, kun tavoiteltavat päämäärät ovat yritykselle ilmeiset ja yrityksen sisällä on yhteinen ymmärrys modulaarisuuden avulla tavoiteltavista hyödyistä. Tällöin syy-seurauskaavion avulla vahvistetaan oletukset päämääristä ja tavoiteltavista hyödyistä. Syy-seurauskaavio paljastaa myös eri ongelmien ja hyötyjen väliset yhteydet, joiden avulla voidaan tunnistaa alueita, missä suurimmat hyödyt voidaan saavuttaa. Syy-seurauskaavion avulla siis löydetään uusia päämääriä ja varmistetaan oletettujen päämäärien oikeellisuus. (Pakkanen 2015)

CSL on tarkoitettu kokonaisvaltaisempaan tavoitteiden määrittämiseen. Sen käyttöä suositellaan tilanteissa, missä tuotekehityksen päämäärät ovat jokseenkin epäselviä. CSL kuvaa liiketoimintaympäristön pääelementit tuoterakenteen näkökulmasta. Yleensä CSL toteutetaan työpajatyöskentelynä, missä yrityksen eri sidosryhmien kanssa keskustellaan CSL -viitekehityksen osa-alueista ja määritetään moduloinnin vaatimukset valmiiseen työpohjaan. Tavoitteiden määrittämisessä keskitytään niihin liiketoimintaympäristön vaatimuksiin ja päämääriin, jotka aiheuttavat muuntelutarpeen sekä niihin alueisiin, joissa vakioinnilla saavutetaan suuria hyötyjä. (Pakkanen 2015)

Yhteenvetona, ensimmäisessä vaiheessa määritetään tavoitteet modulaarisen tuoteperheen suunnittelulle liiketoimintaympäristön näkökulmasta. Tuotekehitysryhmä tarvitsee tiedon tavoitteista suunnittelutyön lähtökohdaksi. Ensimmäisen vaiheen tuotoksen tyyppi riippuu käytetystä lähestymistavasta ja määrittämisestä laajuudesta. Suositeltu lähestymistapa on CSL -työkalun soveltaminen, mutta myös syy-seurauskaavion käyttö on tietyissä tilanteissa perusteltua. Moduulijärjestelmän viiteen elementtiin viitaten ensimmäisessä vaiheessa tuotetaan tietoa jakologiikkaan liittyen, koska vaiheessa analysoidaan tuotevalikoiman jaottelun perusteluita. (Pakkanen 2015)

### 4.2.2 Moduulijärjestelmän geneerinen elementtimalli

Toisessa vaiheessa luodaan moduulijärjestelmän geneerinen elementtimalli. Modulaarisuuden tehokkuus syntyy sen kyvystä kiteyttää asiakasrajapinnan muuntelutarpeet tuotteen rakenteen tiettyyn alueeseen. Tehokkuuden saavuttamiseksi tuotteen modulaarisen arkkitehtuurin tulee olla jaettu tavoitetilaa tukevalla tavalla. Tavallisesti tekniset järjestelmät ovat jaettu toimintojen tai kokoonpanorakenteiden näkökulmasta, mutta tuotteen modulointi vaatii uudenlaisen jaotteluperiaatteen, jota ei ole aiemmin tunnistettu suunnittelutiedon saralla. (Lehtonen et al. 2017)

BfP:n esittämä työkalu jaotteluperiaatteen määrittämiseen on geneerinen elementti. Lehtosen et al. (2017) mukaan geneerinen elementti on rakennusosa, jolla on kaksi ominaisuutta:

- Se sisältää kaiken tarvittavan tiedon yhden muuntelutarpeen toteuttamiseen
- Se on mahdollista toteuttaa teknisenä osana tai osakokonaisuutena

Geneerisen elementin määrittäminen alkaa yleisen toiminnollisuus- ja vaatimuslistan muodostamisella. Listaan kirjataan kaikki mahdolliset asiat, jotka asiakas toivoo saavuttavansa tuotteen avulla. Seuraavaksi listatut asiat mielletään teknisiksi osiksi tai osakokonaisuuksiksi. Osien teknistä toteutustapaa ei tarvitse huomioida vielä tässä vaiheessa, koska geneeriset elementit ovat abstrakteja. Tämän jälkeen olemassa olevia tuoterakenteita analysoidaan ja ajatustasolla pyritään jaottelamaan nykyinen tuoterakenne siten, että rakenteen tekniset ratkaisut vastaavat aiemmin listattuja abstrakteja geneerisiä elementtejä. (Pakkanen et al. 2016)

Teknologian asettamien rajoitteiden vuoksi voidaan törmätä tilanteeseen, jossa geneeriselle elementille ei löydetä järkevää teknistä ratkaisua. Tällöin geneeriset elementit pitää määrittää eri tavalla. Iteroivien kierroksien jälkeen määritelty geneerinen elementtimalli toimii tuoteperheen modulaarisen rakenteen konseptina kuvaten tuoteperheen jakotapaa. Näin ollen jokainen geneerinen elementti toimii konseptina moduuleille tai useimmiten moduulijoukolle. (Pakkanen et al. 2016)

Geneerisiä elementtejä määrittäessä samankaltaisuus tulee ottaa huomioon. Jos kahden tai useamman geneerisen elementin välillä esiintyy samankaltaisuutta, niin voidaan harkita mahdollisuutta yhdistää ne yhdeksi geneeriseksi elementiksi. Tämä toimintatapa pienentää riskiä tarpeettoman muuntelun suunnittelusta. Geneerisen elementtimallin virheettömyys voidaan tarkastaa vastaamalla niin kutsuttuun 100% säännön kysymykseen: Edustaako ehdotettu geneerinen elementtimalli kaikkia BfP:n valittuja tuotteita vai löytyykö joiltain alueilta puutteita? (Pakkanen 2015)

Yhteenvedona, toisessa vaiheessa muodostetaan ehdotelma tuoteperheen moduulijaosta, joka toimii lähtökohtana tuotteen modulaarisen arkkitehtuurin määrittämiselle. Moduulijärjestelmän viiteen elementtiin viitaten toisessa vaiheessa tuotetaan tietoa moduulijoukkoon liittyen. (Pakkanen 2015)

### 4.2.3 Geneeristen elementtien ja rajapintojen arkkitehtuuri

Kolmannessa vaiheessa määritetään geneeristen elementtien ja niiden rajapintojen arkkitehtuuri. Arkkitehtuurin määrittäminen aloitetaan tunnistamalla geneeristen elementtien sijainti tyypillisessä tuotteessa. Yleinen hahmotelma arkkitehtuurista kuvaa alustavien rajapintojen sijaintia. Näin ollen geneeriset elementit, joiden välillä on rajapintoja,

tulee tunnistaa, koska tämä on aloituspiste moduulien välisten vakioitujen rajapintojen määrittämiselle. (Pakkanen 2015)

Arkkitehtuurin kuvaamiseen löytyy useita erilaisia lähestymistapoja. Geneeristen elementtien väliset yhteydet tulee tunnistaa, ennen kuin arkkitehtuuria voidaan visualisoida. Matriisipohjaiset työkalut ovat tehokkaita geneeristen elementtien välisten yhteyksien määrittämiseen rajapintojen näkökulmasta. Matriisissa geneeriset elementit sijoitetaan samassa järjestyksessä vaakasarakkeisiin ja pystyriveihin. Seuraavaksi geneeristen elementtien parit analysoidaan yksitellen ja niiden risteyskohta merkataan, jos elementtien välillä on rajapinta. Tuloksena saadaan taulukko, josta voidaan helposti nähdä kaikkien geneeristen elementtien väliset yhteydet. (Pakkanen 2015)

CAD työkalut ovat yleensä liian raskaita tuoteperheen arkkitehtuurin visualisointiin, eikä tässä vaiheessa prosessia yleensä ole saatavilla tarkasti suunniteltuja tuotteen osia, joita visualisoinnissa voitaisiin hyödyntää. Koska geneeriset elementit ovat abstrakteja, niin matriisityökalujen lisäksi arkkitehtuurin visualisointiin voidaan hyödyntää perinteisempiä toimisto-ohjelmia kuten *Microsoft Powerpointia*, *Visiota* tai *Exceliä*. Vaikka arkkitehtuurin visualisointia ei suoriteta perinteisessä suunnittelu-ympäristössä, niin sen pohjana voi kuitenkin olla hyödyllistä käyttää jonkinlaista ääriivamallia nykyisestä tuotteesta. Visualisoinnin päämääränä on esittää miten geneeriset elementit paikoittuvat tuotteessa ja millä elementeillä on rajapintoja toisiinsa. (Pakkanen 2015)

Yhteenvetona, kolmannessa vaiheessa hahmotellaan pohjapiirustus geneerisistä elementeistä ja niiden välisistä rajapinnoista. Vaiheen tuotoksia tarvitaan myöhemmin prosessin seitsemännen vaiheen syötetietona, kun moduuleja ja niiden rajapintoja määritellään tarkemmin. Moduulijärjestelmän viiteen elementtiin viitaten kolmannessa vaiheessa tuotetaan tietoa yleisesti moduulijoukkoon, rajapintoihin sekä arkkitehtuuriin liittyen. (Pakkanen 2015)

#### **4.2.4 Asiakasympäristön asettamat tavoitteet**

Neljännessä vaiheessa määritetään asiakasympäristön asettamat tavoitteet tuoteperheelle asiakastarpeisiin pohjautuen. Yrityksen muuttaessa toimintaansa projektituotteista kohti konfiguroitavia tai muunneltavia tuotteita, jotka hyödyntävät ennalta määritetyt ratkaisuja, on tarpeellista tutkia asiakasympäristöä. Asiakastarpeita tarvitaan konfigurointisääntöjen määrittämiseen, jotka perustelevat minkälainen tuote vastaa asiakkaiden tiettyihin tarpeisiin. (Pakkanen 2015)

Koska BfP:ssa keskitytään jo olemassa olevan tuotteen kehittämiseen, niin on mahdollista, että tuotteen ominaisuuksiin liittyvät vaatimukset saattavat olla nykyään epärelevanttejä. BfP suosittelee analysoimaan asiakasympäristöä varmistuakseen siitä, että tuotteeseen kohdistuvat vaatimukset ja tarpeet ovat todellisia ja ajan tasalla eikä vanhojen tuotteiden mukaisia. Näin ollen neljännen vaiheen tarkoituksena on määrittää voimassa olevat asiakastarpeet modulaarisen tuoteperheen suunnittelulle. (Pakkanen 2015)

BfP:n ehdottama työkalu asiakastarpeiden tunnistamiseen on ”Gripen” -menetelmä. Sen mukaan relevanttien asiakastarpeiden tunnistamisen lähtökohtana on ymmärtää asiakkaiden prosessit, joissa he käyttävät yrityksen tuotetta. Asiakastarpeita määrittäessä on tarkoitus keskittyä muuntelua vaativien tekijöiden tunnistamiseen. Näiden tekijöiden löytämistä helpottaa vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

- Minkälaisia prosesseja voidaan tunnistaa, missä asiakas käyttää yrityksen tuotetta?
- Minkälaisia yleisiä prosessin vaiheita ja jaotteluita tunnistetaan asiakkaan tavasta käyttää tuotetta?
- Minkälaisia tuotteen määrittämiseen vaikuttavia vaihtoehtoisia parametreja tai vaihtoehtoja liittyy prosessin kuhunkin vaiheeseen?
- Onko olemassa muita tekijöitä tai suositeltavia toimintatapoja, jotka aiheuttavat tarpeen erilaisille tuotteille tai tuoteoptioille? (Pakkanen 2015)

Gripen -menetelmän avulla teknisten ratkaisujen samankaltaisia muuntelutarpeita voidaan jaotella luokkiin. Luokkajakoa voidaan hyödyntää esimerkiksi kohdistamalla nimenomainen ratkaisu tiettyyn potentiaaliseen asiakasryhmään. Gripen -menetelmä ehdottaa, että yksittäisten komponenttien sijaan yrityksen tarjonta koostuu suuremmista osakokoonpanoista tai ratkaisuista, koska yrityksen näkökulmasta yhteensopivuuden varmistaminen on helpompaa rajatulla varianttimäärällä. (Pakkanen 2015)

Yhteenvetona, neljännessä vaiheessa analysoidaan asiakasympäristöstä periytyviä muuntelutarpeita. Analysointi suoritetaan tutkimalla asiakkaan prosesseja ja ymmärtämällä tavat, joilla he käyttävät yrityksen tuotetta. Analyysin tuloksena löydetään perustellut tarvittaville ratkaisuille, jotka täytyy huomioida modulaarisesta tuoteperheestä suunniteltaessa. Moduulijärjestelmän viiteen elementtiin viitaten neljännessä vaiheessa tuotetaan tietoa jakologiikkaan liittyen, koska asiakasympäristö tulee ottaa huomioon suunniteltaessa modulaarisen tuoteperheen rakennetta. Asiakkaan tarpeet ja vaatimukset vaikuttavat tuotevalikoiman rakenteen valitun jakotavan perusteluihin. (Pakkanen 2015)

#### **4.2.5 Alustava tuoteperhemäärittelmä**

Viidennessä vaiheessa luodaan alustava määrittelmä modulaarisesta tuoteperheestä ja tutkitaan mahdollisuuksia hyödyntää osien ja kokoonpanojen vakiointia. Alustavan tuoteperheen määrittelyssä hyödynnetään aiemmissa vaiheissa tuotettua tietoa. BfP:n ehdottama työkalu alustavan tuoteperheen määrittämiseen on muokattu versio PFMP -työkalusta, joka esitettiin aikaisemmin luvussa 3.6.1. (Pakkanen 2015)

Harloun (2006) esittämän alkuperäisen PFMP -työkalun mukaan asiakkaan näkökulma kuvaa tuoteperheen muuntelua markkinoiden näkökulmasta, kun taas BfP:ssa asiakkaan näkökulma sisältää ne pääasiakasryhmät, jotka aiheuttavat tuotteeseen muuntelutarpeita. Vastaavasti tekninen näkökulma keskittyy alkuperäisesti tuoteperheen elimiin, kun taas BfP:ssa teknisessä näkökulmassa tarkastellaan geneerisiä elementtejä. (Pakkanen 2015)

Alustavan tuoteperheen määrittäminen aloitetaan listaamalla työarkin vasempaan reunaan BfP:n neljännessä vaiheessa tunnistetut asiakastarpeet, jotka saattavat aiheuttaa tuoteperheelle muuntelutarpeita. Seuraavaksi työarkin keskelle listataan BfP:n toisessa vaiheessa määritetyt tuoteperheen geneeriset elementit. Lisäksi työarkin oikeaan reunaan listataan geneerisiin elementteihin liittyvät osat ja osakokoonpanot. Lopuksi näiden kolmen listatun näkökulman välisiä yhteyksiä analysoidaan yhdistämällä eri listojen sisältämät asiat toisiinsa, jos niiden välillä on yhteys. (Pakkanen 2015)

Asiakastarpeiden ja geneeristen elementtien välisiä yhteyksiä analysoidessa yhtenä tavoitteena on varmistaa, että jokaisella asiakastarpeella on yhteys vähintään yhteen geneeriseen elementtiin. Ne geneeriset elementit, joilla ei ole yhteyksiä asiakastarpeisiin,

ovat potentiaalisia kohteita vakioinnin hyödyntämiselle. Jos geneerinen elementti on yhdistetty useaan asiakastarpeeseen, niin sen modulointi on haastavaa. (Pakkanen 2015)

Geneeristen elementtien ja osien sekä osakokoonpanojen välisiä yhteyksiä analysoidessa tavoitteena on tutkia olemassa olevien tuotteiden osavaliokunnan laajuutta ja mahdollisuuksia vakioita käytettäviä osia ja osakokoonpanoja. Jokaisella muunneltavalla osalla tai moduulilla tulisi olla yhteys tiettyyn asiakastarpeeseen, joka perustelee osan tai moduulin muuntelutarpeen. Asiakastarpeiden lisäksi myös liiketoimintaympäristö voi aiheuttaa osalle tai moduulille muuntelutarpeen, jolloin se perustuu yrityksen sisäisiin prosesseihin. (Pakkanen 2015)

BfP:ssa geneerisille elementeille määritetään myös tyyppi. Geneerinen elementti voi olla tyypiltään vakioitu, konfiguroitava, ainutlaatuinen tai näiden yhdistelmä. Geneeristen elementtien tyyppeihin palataan BfP:n myöhemmissä vaiheissa, mutta niiden olemassaolo on tarpeellista tiedostaa jo alustavan tuoteperhemääritelmän aikana. (Pakkanen 2015)

Yhteenvedona, viidennessä vaiheessa tuodaan esiin mahdollisuuksia lisätä yhtenevyyttä olemassa oleviin tuotteisiin ja tutkitaan osien tai moduulien varianttien määrää, joka tarvitaan muuntelutarpeita aiheuttavien asiakastarpeiden täyttämiseen. Vaiheen tuotoksena muodostetaan alustava tuoteperhemääritelmä, joka esittää asiakkaan, geneeristen elementtien ja osien sekä kokoonpanojen näkökulmat ja niiden väliset yhteydet. Moduulijärjestelmän viiteen elementtiin viitaten viidennessä vaiheessa tuotetaan tietoa jakologiikkaan, moduulijoukkoon ja konfigurointitietoon liittyen. (Pakkanen 2015)

#### **4.2.6 Geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden välinen konfigurointitieto**

Kuudennessa vaiheessa keskitytään geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden välisen konfigurointitiedon määrittämiseen. Tässä vaiheessa konfigurointitieto koostuu geneeristen elementtien ja muuntelutarpeita aiheuttavien asiakastarpeiden välisistä yhteyksistä. Vaiheen päämääränä on selvittää, mitkä asiakastarpeet tulee ottaa huomioon minkäkin geneerisen elementin määrittämisen kohdalla. (Pakkanen 2015)

BfP:n ehdottama työkalu konfigurointitiedon määrittämiseen on muokattu versio K-matriisista. Alkuperäinen K-matriisi on osa Bongulielmin et al. (2001) esittämää K- & V-Matriisi -työkalua, joka esitettiin aikaisemmin luvussa 3.6.2. Alkuperäisessä K-matriisissa ehdotetaan tutkimaan asiakkaan ja teknisen näkökulman välisiä yhteyksiä yksinkertaisen kyllä/ei tyyppisten yhteyksien avulla. Koska tässä vaiheessa tuoteperheen suunnittelua teknistä näkökulmaa ei ole määritetty tarkemmalla tasolla, vaan ainoastaan geneeristen elementtien avulla, niin konfigurointitiedon esittämiseen voidaan käyttää monipuolisempia yhteyksiä. BfP:n ehdottamassa muokatussa K-matriisissa asiakkaan ja teknisen näkökulman välisiä yhteyksiä esitetään seuraavien yhteystyyppien avulla:

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

Kuvassa 31 on yleinen esimerkki muokatusta K-matriisista. Samaa matriisia on tarkoitus täydentää BfP:n kahdeksannessa vaiheessa, kun lopullista konfigurointitietoa esitetään

tarkemmin määritetyn teknisen näkökulman avulla. Tämän takia kuvan 31 matriisi sisältää tiettyjä alueita, joihin ei vielä tässä vaiheessa tarvitse kiinnittää huomiota. Tässä vaiheessa konfigurointitietoa tarkastellaan ylemmällä tasolla. (Pakkanen 2015)

**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 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
Generic element 1															
Generic element 2									1						
Generic element 3				1						1					
Generic element 4										1					

**Kuva 31.** Esimerkki muokatusta K-matriisista BfP:ssa (Pakkanen 2015)

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, niin matriisiin listataan vaakasarakkeisiin asiakastarpeet ja pystyriveihin generiset elementit. Niiden välisiin risteysalueisiin merkitään yhteystyyppi edellä esitettyjen neljän tyyppin mukaan.

Yhteenvetona, kuudennessa vaiheessa havainnollistetaan geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden välisiä yhteyksiä esittämällä niiden välinen konfigurointitieto selkeässä matriisimuodossa. Vaiheen tuotoksia tarvitaan BfP:n seitsemännessä ja kahdeksannessa vaiheessa, kun määritetään moduuleja ja rajapintoja sekä lopullista konfigurointitietoa. Moduulijärjestelmän viiteen elementtiin viitaten kuudennessa vaiheessa tuotetaan tietoa konfigurointitietoon liittyen. (Pakkanen 2015)

#### 4.2.7 Moduulien ja rajapintojen modulaarinen arkkitehtuuri

Seitsemännessä vaiheessa luodaan tuoteperheen modulaarinen arkkitehtuuri määrittelemällä käytettävät moduulit ja rajapinnat. BfP:n aikaisemmissa vaiheissa on määritetty modulaarisen tuoteperheen suunnitteluun tarvittavaa tietoa, jota käytetään tämän vaiheen lähtötietona. Geneeristen elementtien tyyppejä täytyy kuitenkin tarkastella ennen kuin moduuleja voidaan määrittellä tarkemmin. Tämä tarkoittaa sitä, että arkkitehtuurista tulee tunnistaa vakioituneet, konfiguroitavat, osittain konfiguroitavat ja ainutlaatuiset elementit. (Pakkanen 2015)

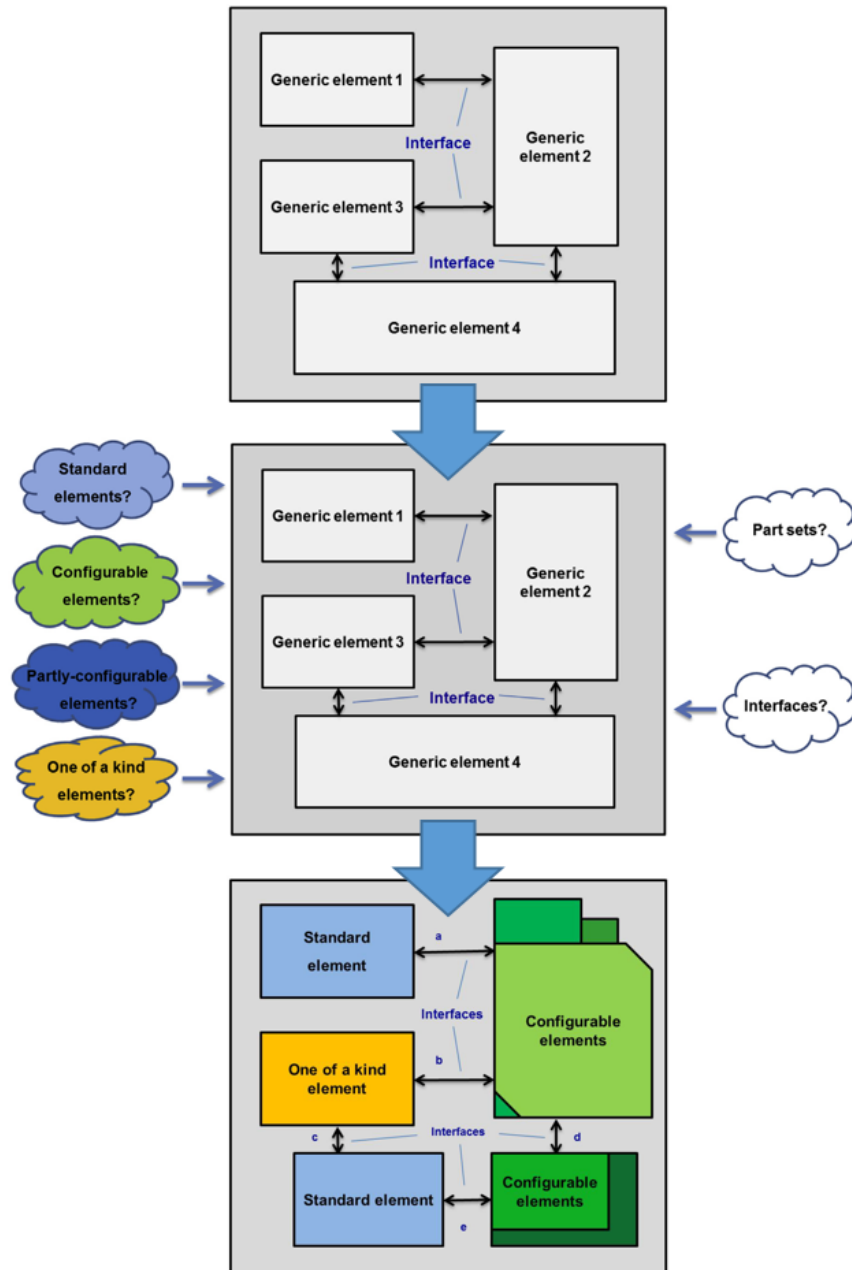
BfP:ssa **vakioitu elementti** on täysin samanlainen tuoteperheen kaikissa tuotevariantissa. Geneeriset elementit, joihin ei kohdistu muuntelutarvetta aiheuttavaa asiakastarvetta, ovat potentiaalisia ehdokkaita vakioituuksi elementeiksi. **Konfiguroitavat elementit** sisältävät yrityksen sisällä vakioituja vaihtoehtoisia moduuleja, joilla vastataan eri asiakastarpeisiin. Jos tuoteperheen joitain osa-alueita ei voida määrittää vakioitujen ja konfiguroitavien elementtien avulla, niin kompromissina joudutaan turvautumaan uniikkien elementtien käyttöön. Geneerinen elementti jaetaan pienempiin osiin tai jakotapaa muokataan, jos järkevä määrä vakioituja moduuleja ei riitä määrittämään geneeristä elementtiä. Tämä johtaa **osittain konfiguroitaviin elementteihin**, jotka sisältävät vakioitujen ja konfiguroitavien elementtien lisäksi myös **ainutlaatuisia elementtejä**. (Pakkanen 2015)

Muunneltavan tuotteen yleisperiaatteena on, että tuote sisältää mahdollisimman paljon vakioituja ratkaisuja ja mahdollisimman vähän vaihtokelpoisia vakioituja moduuleja, joilla muuntelutarpeisiin vastataan. Uniikkien ratkaisujen käyttöä pyritään välttämään kokonaan, koska ne eivät tue suunnittelun uudelleenkäyttöä. (Pakkanen 2015)

Kuvassa 32 on esitetty yleisesti modulaarisen arkkitehtuurin määrittäminen käyttäen tukena BfP:n aikaisemmissa vaiheissa tuotettua tietoa. Seitsemännen vaiheen tavoitteena on määrittää geneeristen elementtien sisältöä tarkemmalla tasolla keskittymällä seuraavien aiheiden tarkasteluun:

- Tuoteperheen vakioidun osuuden määrittämien.
- Tuoteperheen muunneltavan osuuden määrittäminen.
- Geneeristen elementtien osasarjojen määrittäminen.
- Rajapintojen määrittäminen.
- Modulaarisen tuoteperheen arkkitehtuurin kokonaisvaltainen tarkastelu. (Pakkanen et al. 2016)





**Kuva 32.** BfP vaihe 7: modulaarisen arkkitehtuurin määrittämisen prosessin aikaisemmissa vaiheissa kerätyn tiedon pohjalta (muokattu lähteestä Pakkanen 2015)

Elementtien tyyppien määrittämisen jälkeen voidaan aloittaa osasarjojen ja ratkaisujen määrittäminen, jotka toteuttavat BfP:n kuudennessa vaiheessa tunnistetut muuntelutarpeita aiheuttavat asiakastarpeet. Tuoteperhettä suunniteltaessa ainut tehtävä ei kuitenkaan ole etsiä soveltuvaa ratkaisua jokaiselle muuntelutarpeelle, vaan myös tuoteperheen arkkitehtuurin kokonaisvaltainen tarkastelu on tärkeää. Vakiodut rajapinnat ovat keskeisessä osassa modulaarisen tuoteperheen arkkitehtuurin suunnittelussa. Vakiodut rajapinnat mahdollistavat moduulien vaihtokelpoisuuden ja itsenäisen toiminnan. Tuotevariantin tai tuoteperheen arkkitehtuurin hahmottaminen auttaa tärkeiden rajapintojen tunnistamista sekä ratkaisujen tilavarauksien visualisointia. (Pakkanen 2015)

Yhteenvedona seitsemännessä vaiheessa määritetään tuoteperheen modulaarinen arkkitehtuuri. Arkkitehtuuri määrittää minkälaisista elementeistä ja rajapinnoista tuoteperhe

koostuu. Vaiheen tuotoksia tarvitaan BfP:n kaikissa jäljellä olevissa vaiheissa, kun määritetään lopullista konfigurointitietoa, dokumentoidaan tuoteperhettä ja ennustetaan liiketoiminnallisia vaikutuksia. Moduulijärjestelmän viiteen elementtiin viitaten seitsemännessä vaiheessa tuotetaan tietoa moduulijoukkoon, rajapintoihin ja arkkitehtuuriin liittyen. (Pakkanen 2015)

#### 4.2.8 Moduulivarianttien ja asiakastarpeiden välinen konfigurointitieto

Kahdeksannessa vaiheessa määritetään lopullinen konfigurointitieto. Konfigurointitiedon määrittäminen aloitettiin jo kuudennessa vaiheessa ja tässä vaiheessa sitä tarkennetaan hyödyntämällä edellisessä vaiheessa tarkemmin määritettyjä geneeristen elementtien ratkaisuja ja tyyppejä. (Pakkanen 2015)

Tämän vaiheen työkaluna käytetään kuudennessa vaiheessa luotua muokattua K-matriisia. Kuudennessa vaiheessa konfigurointitietoa tarkasteltiin ylemmällä tasolla, mutta nyt konfigurointitietoa tarkennetaan lisäämällä matriisiin edellisessä vaiheessa määritetyt geneeristen elementtien ratkaisut ja tyypit. Kuvassa 33 on kahdeksannen vaiheen mukainen muokattu K-matriisi, joka esittää modulaarisen tuoteperheen lopullisen konfigurointitiedon. (Pakkanen 2015)

**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

		CUSTOMER NEEDS													
		Customer need group 1			Customer need group 2			Customer need group 3			Customer need group 4			...	
		Customer need 1.1	Customer need 1.2	Customer need 1.3	Customer need 2.1	Customer need 2.2	Customer need 3.1	Customer need 3.2	Customer need 3.3	Customer need 3.4	Customer need 3.5	Customer need 4.1	Customer need 4.2	Customer need 4.3	...
GENERIC ELEMENTS	CONTENT AND TYPE OF GENERIC ELEMENTS														
Generic element 1	Solution "Alpha" (Standard element)														
Generic element 2	Solution "Beta" (Configurable element) Solution "Zeta" (Configurable element) Solution "Theta" (Configurable element)						1		1	1	1				
Generic element 3	Solution "Iota" (One of a kind element)	1			1									1	
Generic element 4			1	1	1		1	1							
...						1									

**Kuva 33.** Modulaarisen tuoteperheen lopullinen konfigurointitieto muokatussa K-matriisissa (Pakkanen 2015)

Tarvittaessa tässä vaiheessa voidaan myös visualisoida geneeristen elementtien ja niiden sisällön tai asiakastarpeiden keskinäisiä yhteensopivuuksia. Näkökulmien keskinäisen yhteensopivuuden tarkasteluun suositeltu työkalu on Bongulielmin et al. (2001) esittämä V-matriisi, joka esitettiin aikaisemmin luvussa 3.6.2. Tämänkaltainen tieto on tarpeellista etenkin silloin, jos konfiguraattoria aiotaan hyödyntää tuoteperheen tilaus-toimitusprosessissa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jos asiakas valitsee tietyn option, niin se voi sulkea pois toisen option samanaikaisen valitsemisen. Tällöin hyvin rakennettu konfiguraattori ohjaa asiakasta valitsemaan vain teknisesti toistensa kanssa yhteensopivia optioita. (Pakkanen 2015)

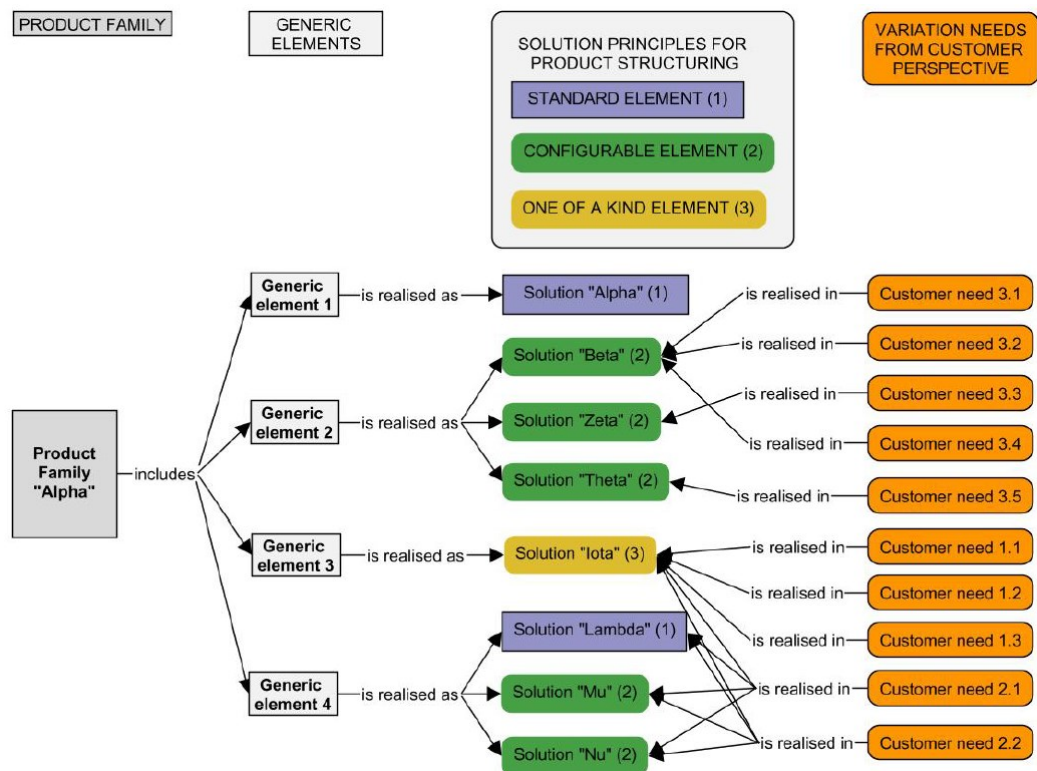
Yhteenvedon kahdeksannessa vaiheessa havainnollistetaan yhteensopivien ratkaisujen ja asiakastarpeiden muodostamia pareja. Vaiheen tuotos perustelee mitkä moduulivariantit täyttävät mitkäkin asiakasvaatimukset. Jos tässä vaiheessa ilmenee, että määritetyt asiakastarpeet eivät kata kaikkia yritykselle tärkeitä markkina-alueita, niin modu-

laarisen tuoteperheen arkkitehtuuria voidaan iteroida palaamalla BfP:n aikaisempiin vaiheisiin. Moduulijärjestelmän viiteen elementtiin viitaten kahdeksannessa vaiheessa tuotetaan tietoa konfigurointitietoon liittyen. (Pakkanen 2015)

#### 4.2.9 Tuoteperheen jakotavan dokumentointi

Aikaisemmissa vaiheissa on tuotettu ja dokumentoitu tietoa konfiguroitavan tuotteen modulaarisen tuoteperheen perusrakenteeseen liittyen. Yhdeksännessä vaiheessa yhdistetään aikaisemmissa vaiheissa tuotettu tieto ja tuoteperheen jakotapa dokumentoidaan suunnittelun päättelyketjun näkökulmasta. Dokumentoinnin tavoitteena on kuvata tuoteperheen sisältöä ja selittää asiakastarpeiden ja tuoteratkaisujen väliset yhteydet. (Pakkanen 2015) Kirjallisuudesta ei löydy selkeää määritelmää käsitteelle ”jakotapa”. Tässä työssä puhuttaessa jakotavasta, sillä tarkoitetaan moduulijärjestelmän sisältämiä teknisiä ratkaisuja ja niiden taustalla vaikuttavia tekijöitä, jotka perustelevat teknisten ratkaisujen tarpeen moduulijärjestelmän osana.

BfP:n esittämä työkalu tuoteperheen jakotavan dokumentointiin on ”Product Structuring Blue Print” -kaavio (PSBP). PSBP havainnollistaa tuoteperheen jakologiikkaa ja suunnittelun päättelyketjua. (Pakkanen 2015) Kuvassa 34 on esimerkki tuoteperheen jakotavan dokumentoinnista PSBP:n avulla.

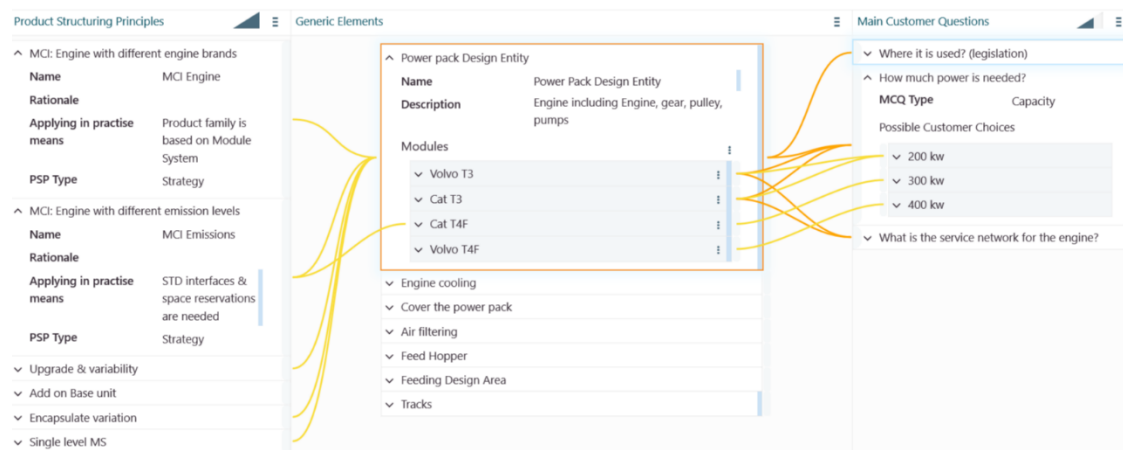


**Kuva 34.** Modulaarisen tuoteperheen jakotavan dokumentointi PSBP:n avulla visualisoi tuoteperheen jakologiikan ja suunnittelun päättelyketjun (Pakkanen 2015)

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, niin jokainen asiakasatarve on yhdistetty teknisiin ratkaisuihin, joiden avulla tarve toteutetaan. Lisäksi ratkaisujen tyypit ovat määritetty ja esitetty värikoodien avulla. (Pakkanen 2015)

Tampereen Teknillisen Yliopiston opintojaksolla MEI-46200 esitettiin viimeisintä näkemystä vastaava tapa muodostaa PSBP. Viimeisimmän näkemyksen mukaan, verrattuna

kuvan 34 esitystapaan, tuoteperheen jakotavan dokumentointiin lisätään tapauskohtaisesti relevantit tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet (PSP), joita käsiteltiin aiemmin luvussa 3.5.3. Tapauskohtaisesti relevanttien PSP:n tunnistaminen suoritetaan BfP:n ensimmäisessä vaiheessa määritettyjen liiketoiminnallisten tavoitteiden ja kuvassa 22 esitetyn sääntölistan avulla. Lisäksi PSBP:n muodostamisen avuksi on kehitetty selainpohjainen ohjelma, jonka avulla dokumentoinnin muodostaminen on tehokkaampaa verrattuna perinteisiin toimisto-ohjelmiin. (Lehtonen et al. 2017) Kuvassa 35 on esimerkki viimeisimmän näkemyksen mukaisesta PSBP:stä.



**Kuva 35.** Selainpohjaisella ohjelmalla muodostettu viimeisimmän näkemyksen mukainen PSBP (Nordic Element 2020)

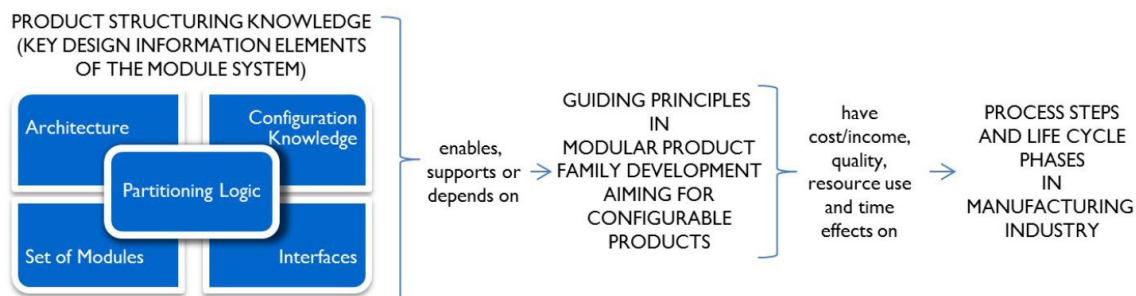
Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, niin tunnistetut PSP:t sijoitetaan vasempaan reunaan, generiset elementit ja niiden sisältämät tekniset ratkaisut keskelle sekä asiakastarpeet oikealle. Näiden kolmen näkökulman väliset yhteydet esitetään nuolien avulla, joihin sisällytetään lyhyt kuvaus yhteyden tyypistä.

Yhteenvedona yhdeksännessä vaiheessa luodaan tuoteperheen jakotavan dokumentointi, joka visualisoi tuoteperheen jakologiikan ja suunnittelun päättelyketjun. PSBP on hyödyllinen suunnittelutyön tukena ja se nostaa suunnittelun uudelleenkäyttöastetta. Dokumentoinnin avulla nähdään mihin osa-alueisiin mahdolliset tuoteperheen muutokset vaikuttavat, jos ja kun, tulevaisuudessa tuoteperheeseen tehdään muutoksia teknologian kehittyessä tai muuntelutarpeiden muututtua. Moduulijärjestelmän viiteen elementtiin viitaten yhdeksännessä vaiheessa tuotetaan tietoa jakologiikkaan liittyen. (Pakkanen 2015)

#### 4.2.10 Liiketoimintavaikutusanalyysi

Kymmenennessä vaiheessa tuoteperhettä analysoidaan liiketoiminnan näkökulmasta, arvioimalla minkälaisia liiketoiminnallisia vaikutuksia tuoteperheen elinkaaren kussakin vaiheessa voidaan odottaa. Saavutettujen tuloksien analysointi on tärkeää saadakseen ymmärrystä siitä, kuinka hyvin prosessin alussa asetetut tavoitteet ovat saavutettu ja onko suunniteltu tuoteperhe kilpailukykyinen. (Pakkanen 2015)

BfP:n ehdottama työkalu liiketoiminnallisten vaikutusten analysointiin on "Business Impact Analysis" (BIA). BIA on helppo ja nopea lähestymistapa arvioimaan saavutettavia hyötyjä karkealla tasolla. Tyypillisesti BIA suoritetaan työpajatyöskentelynä. Kuvassa 36 on BIA:n perusidea. (Pakkanen et al. 2016)



**Kuva 36.** Liiketoimintavaikutusanalyysin (BIA) perusidea (Pakkanen et al. 2016)

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, niin BIA koostuu kolmesta osa-alueesta: moduulijärjestelmän viisi elementtiä, ohjaavat periaatteet ja mekanismit tuotteen muuntelun rationalisointiin sekä valmistusprosessin ja tuotteen elinkaaren vaiheet. BIA:n ideana on analysoida osa-alueiden välisiä yhteyksiä vastaamalla kysymyksiin, jotka liittyvät modulaarisuuden mekanismien ja prosessin vaiheiden välisiin yhteyksiin. Yhteyksiä analysoidaan sen tyypin ja rahamääräisen hyödyn mukaan. Yhteyksien tyypit ovat: kustannus, laatu, resurssienkäyttö ja aika. Rahamääräisiä vaikutuksia tutkitaan rahan kymmenpotenssien avulla (tuhansia, kymmeniä tuhansia, satoja tuhansia jne.), koska tarkkojen määrien arviointi on haasteellista. Yhteyden rahamääräinen vaikutus voi olla joko positiivinen tai negatiivinen. (Pakkanen 2015)

Yhteenvedona, kymmenennessä vaiheessa analysoidaan modulaarisen tuoteperheen liiketoiminnallisia vaikutuksia BIA:n avulla. Vaiheen tuotoksena saadaan arvio onnistuneen modulaarisen tuoteperheen tuotekehitysprojektin vaikutuksista. Moduulijärjestelmän viiteen elementtiin viitaten yhdeksännessä vaiheessa tuotetaan tietoa jakologiikkaan liittyen. (Pakkanen 2015)

### 4.3 Prosessien vertailu

Edellä esitetyt modulaarisen tuotteen suunnitteluprosessit MFD ja BfP ovat suunnattu olemassa olevan tuotteen kehittämiseen kohti modulaarista tuoteperhettä. Vertaamalla prosesseja toisiinsa karkealla tasolla, niiden väliltä löydetään samankaltaisuuksia sisällyksen, työkalujen ja toimintatapojen näkökulmasta. Molemmat prosessit suosittelvat matriisipohjaisien työkalujen käyttöä useiden vaiheiden suorittamisen tukena. Erilaiset matriisit kokoavat ja esittävät monimutkaista tietoa visuaalisessa muodossa. Prosessit myös esitetään lineaarisessa muodossa, mutta molempien prosessien osalla mainitaan iteroinnin mahdollisuus.

Tarkemmin tarkasteltuna prosessien väliltä löytyy myös eroja. BfP on jaettu kymmeneen tarkasti rajattuun vaiheeseen, joissa käsitellään ja tuotetaan aihealueeseen liittyvää tietoa helposti hallittavassa muodossa. MFD sisältää viisi vaihetta, joiden sisältöä ei ole rajattu yhtä selkeästi, kuin BfP:n vaiheita. BfP:n soveltaminen käytännön kehitysprojekteissa on suoraviivaisempaa ja selkeämpää kuin MFD:n soveltaminen. MFD antaa sitä soveltavalle käyttäjälle vapaammat kädet vaiheiden suorittamiseen. Käyttäjän näkökulmasta käytettävän prosessin valinta on mielipidekysymys. Toiset tykkäävät seurata tarkasti määriteltyjä ohjeita ja vaiheita (BfP), kun taas toisille riittää kehitysprojektin suorittamisen tueksi karkeampien suuntaviivojen määrittäminen (MFD).

Tieteellisestä näkökulmasta tarkasteltuna BfP on kattavampi kuin MFD. BfP ottaa huomioon ja tuottaa tietoa kaikkiin moduulijärjestelmän elementteihin liittyen. MFD:n suurin

puute on, että se ei ota kantaa konfigurointitiedon määrittämiseen. Konfigurointitieto on yksi BfP:n oleellisimmista osa-alueista ja siihen liittyvää tietoa tuotetaan BfP:n viidennessä, kuudennessa ja kahdeksannessa vaiheessa. BfP:n tietyissä vaiheissa on sisäänrakennettu ”tuplasilmukka”, jossa asia määritetään ensin alustavasti, ja kun tavoiteltavat päämäärät ovat tarkentuneet, määritystä tarkennetaan (Pakkanen 2015). Tästä näkökulmasta tarkasteltuna BfP ottaa huomioon prosessin vaatiman iteroinnin ja ennaltaehkäisee varsinaisten iterointikierroksien lukumäärää, toisin kuin MFD.

Yhteenvetona, BfP on monipuolisempi prosessi kuin MFD. BfP sisältää kaikki MFD:n käsittelemät osa-alueet, mutta MFD ei sisällä kaikkia BfP:n käsittelemiä osa-alueita. BfP on myös ajallisesta näkökulmasta tarkasteltuna huomattavasti uudempi julkaisu kuin MFD. BfP edustaa modulaaristen konfiguroitavien tuoteperheiden tutkimuksen saralla alan viimeisintä tutkimustietoa.





tiota. Laajan laitevalikoiman, lähes rajoittamattomien alustavaihtoehtojen ja kattavan optiotarjonnan summana jokainen toimitettu tuote on aidosti uniikki yksilö, jossa asiakkaan tarpeet on huomioitu unohtamatta pienintäkään yksityiskohtaa.

Toimituskohtaisesti muunneltavien tuotteiden tarjoaminen tuo mukanaan haasteita tuotehallinnan saralla. Yksi ajan saatossa vaikeasti hallittavaksi osakokonaisuudeksi paisunut toiminto on laitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmä. Hälytys- ja valaistusjärjestelmä koostuu hyvin pitkälti yrityksen ulkopuolisten toimittajien tarjoamista valokomponenteista. Yrityksen omaa osaamista tällä saralla on virransyötön tuottaminen valoille ja valojen ohjaus. Olemassa olevaa järjestelmää ollaan päivittämässä nykyaikaisempaan versioon käytettävien valokomponenttien sekä ohjauksen osalta. Ennen uusien teknisten ratkaisujen suunnittelua on järkevää suunnitella mitä tuotetarjonta pitää sisällään ja tunnistaa minkälaisia muunteluvaatimuksia järjestelmään kohdistuu. Ennen uuden järjestelmän teknistä ja yksityiskohtaista suunnittelua, nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän määrittämisen tueksi olemassa olevaan järjestelmään sovelletaan BfP -menetelmää. BfP:n avulla varmistetaan tuotetarjonnan olevan ajan tasalla. Lisäksi BfP esittää teknisten ratkaisujen ja muuntelutarpeiden väliset yhteydet ja ehdottaa optimaalisia suunnitteluperiaatteita tuoteperheen tuoterakenteelle.

Tämän luvun aliluvussa 5.1 esitetään olemassa olevan hälytys- ja valaistusjärjestelmän nykytila ja aliluvussa 5.2 esitetään yrityksen asettamat tavoitteet kehitysprojektille. Lopuksi aliluvussa 5.3 esitetään perustelut BfP:n valinnalle kehitysprojektin sovellettavaksi menetelmäksi.

## 5.1 Nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmä

Nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän ratkaisut vaihtelevat tuotekohtaisesti yrityksen valmistaessa tuotteita erinäisiin sammutus- ja pelastustehtäviin sekä teollisuuden tehtäviin. Sammutus- ja pelastustehtäviin (F-laitteet) valmistettavat laitteet toimivat liikenteessä hälytysajoneuvoina ja niiden tulee täyttää kohdemaan asettamat vaatimukset hälytysajoneuvon valo- ja äänimerkinantojärjestelmälle. Teollisuustehtäviin (S-laitteet) valmistettavia laitteita käytetään toisinaan tiellä tai sen välittömässä läheisyydessä, jonka takia laitteissa tulee olla hälytysjärjestelmä, joka varoittaa muita tielläliikkuja pyssäytyneestä ajoneuvosta. Yrityksen toimittaessa laitteita maailmanlaajuisesti yli 120 maahan, sen tulee huomioida eri maiden lainsäädännöt ja vaatimukset.

Vaikka käytännössä jokainen toimitettu laite on uniikki yksilö, voidaan toimitettuja laitteita tutkimalla löytää samankaltaisuutta etenkin hälytys- ja valaistusjärjestelmän osalla. Tutkimalla toimitettujen laitteiden tilauserittelyjä ja valmistusrakenteita sekä haastatteleamalla yrityksen sähkösuunnittelijoita ja työnnumerovastaavia voidaan todeta, että nostolavalaitteen tyypillinen hälytys- ja valaistusjärjestelmä muodostuu seuraavista ratkaisuista:

- Sammutus- ja pelastuslaite (F-laite):
  - 4 hälytysvaloa ohjaamon etusäleikössä
  - 2 hälytysvalopaneelia ohjaamon katolla
  - 2 työvaloa ohjaamon takaseinässä
  - 3 hälytysvaloa laitteen molemmilla sivuilla
  - 4 työvaloa rungolla tukijalkojen kohdalla
  - 4 hälytysvaloa laitteen takana
  - Mikrofoni ohjaamon sisällä



- Sireeni-kaiutin ohjaamon etusäleikössä
- Valojen hallintapaneeli ohjaamossa
- Teollisuuslaite (S-laite):
  - 2 signaalivaloa ohjaamon etusäleikössä
  - 1 signaalimajakka ohjaamon katolla
  - 2 työvaloa ohjaamon takaseinässä
  - 2 signaalivaloa laitteen molemmilla sivuilla
  - 4 työvaloa rungolla tukijalkojen kohdalla
  - 1 signaalimajakka laitteen takana
  - Valojen hallintapaneeli ohjaamossa

Edellä mainittujen ratkaisujen lisäksi optiotarjonta sisältää useita erilaisia vaihtoehtoisia ratkaisuja, joita voidaan käyttää tyyppillisen ratkaisun sijaan. Esimerkiksi ohjaamon katon kaksi valopaneelia voidaan korvata kahdella vilkkumajakalla. Lisäksi hälytysvaloratkaisuille on tarjolla eri väri vaihtoehtoja. Tyyppillisten toimintojen lisäksi optiotarjonta käsittää myös useita erikoisratkaisuja, joilla vastataan eri asiakastarpeisiin. Erikoisratkaisuihin sisältyy esimerkiksi seuraavia ratkaisuja:

- Nuolivalot liikenteen ohjaukseen
- Spottivalot tukijalkojen tilavaraukselle
- Uravalot ohjaamon sivuille
- Valojen ja sireenien aktivointi yhdellä painikkeella
- Lisäpaneeli laitteen takana valojen hallintaan
- Työvalo laitteen takana

Yrityksen nykyinen hälytys- ja valaistusjärjestelmä on muunneltava, mutta erittäin vaikeasti hallittava kokonaisuus. Ajan saatossa erilaisten ratkaisujen määrä on kasvanut markkinoiden kehittyessä ja asiakastarpeiden muuttuessa. Uusia ratkaisuja ollaan kehitetty, mutta tuotehallinta ja tilaus-toimitusprosessi eivät ole pysyneet kehityksen mukana, jolloin tuotetarjonta ei vastaa asiakkaan vaatimuksiin optimaalisesti. Suunnitellut ratkaisut eivät myöskään vastaa myyntiprosessissa käytettäviä myyntioptioita. Tämä aiheuttaa ongelmia, koska laitteet myydään myyntioptioiden perusteella, mutta valmistetaan suunniteltujen ratkaisujen avulla. Myyntioptiot ovat myös määritetty epäselvästi, eikä niistä löydy kaikkea tarvittavaa tietoa, kuten valojen väriä tai sijoituspaikkaa. Lisäksi hälytys- ja valaistusjärjestelmälle ei ole olemassa ennalta määrättyä kokonaisuutta, vaan koko järjestelmä myydään optioita valitsemalla. Nykyisellään yrityksen työnumerovastaavat joutuvat määrittämään tilauskohtaisesti laitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän muokkamalla valmiiksi suunniteltujen ratkaisujen rakenteita siten, että ne vastaavat laitteeseen myytyjen myyntioptioiden sisältöä.

Yleisellä tasolla nykyisen järjestelmän suurin ongelma on selkeän ja yhtenäisen kokonaiskuvan puuttuminen eri osapuolien välillä. Koska myyjien käyttämä myyntimateriaali ei vastaa suunniteltuja ratkaisuja ja myyntimateriaali ei kuvaa myytävää optiota tarpeeksi tarkalla tasolla, niin asiakkaan ja yrityksen näkemys myydystä järjestelmästä saattaa poiketa toisistaan hyvinkin paljon. Epämääräisyys aiheuttaa ongelmia myös suunnittelun ja tuotannon toimintaan, koska millään osapuolella ei ole selkeää kokonaiskuvaa tarjonasta ja myydystä järjestelmästä.

## 5.2 Yrityksen tavoitteet projektille

Uudelleensuunnitellun hälytys- ja valaistusjärjestelmän päätavoitteena on, että asiakkaan näkökulmasta järjestelmä on muunneltava ja vastaa kaikkiin asiakkaan sekä kohdemaan lainsäädännön asettamiin vaatimuksiin, mutta yrityksen näkökulmasta muuntelu toteutetaan konfiguroimalla valmiiksi suunniteltuja ratkaisuja. Lisäksi järjestelmästä pyritään tunnistamaan eri ratkaisujen välillä olevia samankaltaisuuksia ja hyödyntämään komponenttien uudelleenkäyttöä eri ratkaisujen välillä. Myös käytettävien osien määrää ja järjestelmän asentamiseen kuluva aikaa pyritään vähentämään vakioinnin ja modulaarisuuden avulla. Uuden järjestelmän tuotetarjonnan tulee vastata myyntioptioiden tarjontaa ja myyntioptiot määritetään tunnistettujen muuntelutarpeiden perusteella. Tiivistettynä uudelta hälytys- ja valaistusjärjestelmältä odotetaan seuraavia ominaisuuksia:

- Mahdollistaa asiakkaan vaatimusten toteuttamisen tehokkaasti.
- Yksinkertainen ja yksiselitteinen myyntiprosessi.
- Muuntelu on helppo toteuttaa tilauskohtaisesti.
- Vähemmän käytettäviä nimikkeitä verrattuna nykyiseen järjestelmään.
- Asentaminen nopeampaa ja helpompaa verrattuna nykyiseen järjestelmään.
- Myyntioptio on kohdistettu vähintään yhteen muuntelutarpeeseen.
- Rakenteiden ylläpito on helppoa, kun käytettäviä valokomponentteja päivitetään.

Uuden hälytys- ja valaistusjärjestelmän hyödyt koskettavat useita osapuolia, mutta niiden saavuttaminen vaatii myös usean osa-alueen kehittymistä. Uuden järjestelmän hyödyt saavutetaan muokkaamalla järjestelmän myyntiprosessia, suunniteltuja ratkaisuja ja tuotehallintaa selkeäksi ja helposti hallittavaksi kokonaisuudeksi, jonka määrittäminen ja valmistaminen on tehokasta.

## 5.3 Prosessin valinta modulaarisen tuotteen suunnitteluun

Luvussa 4 esitettiin kaksi modulaarisen konfiguroitavan tuoteperheen suunnittelun tueksi kehitettyä suunnitteluprosessia ja aliluvussa 4.3 esitettyyn prosessien vertailuun perustuen tässä kehitysprojektissa sovelletaan BfP -menetelmää. Suurin syy BfP:n valinnalle on, että se ottaa huomioon ja tuottaa tietoa konfigurointiin liittyen. Lisäksi BfP:ssa vaiheiden sisältö on tarkasti selitetty ja usean vaiheen suorittamisen tueksi ehdotetaan nopeasti omaksuttavien työkalujen käyttöä. BfP on myös huomattavasti uudempi menetelmä kuin MFD.

Edellä mainittujen syiden lisäksi BfP:n valintaan vaikutti tutkijan akateemiset taustat. BfP on Tampereen Teknillisen Yliopiston (nykyään Tampereen Yliopisto) tutkijoiden ja professorien kehittämä menetelmä ja menetelmän kehittäjäjäsenet toimivat tämän tutkimuksen tarkastajina. Saatavilla olevan tuen ja tietotaidon myötä BfP on luontainen valinta sovellettavaksi menetelmäksi.

## 6. TAPAUKSEKSI: NOSTOLAVALAITTEEN HÄLYTYS- JA VALAISTUSJÄRJESTELMÄ

Kuten aiemmin luvussa 5.3 määritettiin, niin BfP valikoitui sovellettavaksi menetelmäksi tähän tapaustutkimukseen. Tapaustutkimuksessa rajaudutaan soveltamaan BfP:ia nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän uudelleensuunnitteluun. Vaikka hälytys- ja valaistusjärjestelmä on nostolavalaitteen yksi osakokonaisuus, niin tästä eteenpäin tässä tutkimuksessa puhuttaessa tuotteesta, sillä tarkoitetaan yksittäisen nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmää. Tuoteperheellä viitataan tästä lähtien nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän sisältämien osien joukkoon, joista yksittäiset tuotteet muodostetaan. Tässä luvussa raportoidaan BfP:n soveltamisesta kohdeyrityksen tapaukseen.

Pakkanen (2015) esittää erilaisia variaatioita BfP:n vaiheiden suorittamisjärjestykselle. Yksi vaihtoehtoinen järjestys verrattuna kuvassa 30 esitettyyn järjestykseen on suorittaa prosessin neljäs vaihe heti ensimmäisen vaiheen jälkeen. Tällöin prosessin kahden ensimmäisen vaiheen aikana määritetään sekä liiketoimintaympäristön että asiakasympäristön asettamat tavoitteet ja vaatimukset tuoteperheen määrittämiseksi. Neljäs vaihe voidaan suorittaa jo toisena vaiheena, koska sen suorittamiseen tarvitaan vain prosessin ulkoista syötetietoa. (Pakkanen 2015) Tässä tapauksessa suoritusjärjestykseksi valitaan edellä kuvattu järjestys, koska kehitettävä järjestelmä sisältää paljon lisävarusteina myytäviä toimintoja, joten asiakastarpeiden tunnistaminen mahdollisimman aikaisin on tärkeää tavoitteiden saavuttamiseksi. Tämän tapaustutkimuksen raportoinnissa BfP:n soveltaminen on selkeyden vuoksi jaettu viiteen vaiheeseen. Taulukossa 1 on esitetty läpikäytävät vaiheet ja niiden sisältö. Vaikka tutkimuksen raportoinnissa vaiheiden suorittaminen on esitetty lineaarisesti, niin todellisuudessa prosessin läpivienti sisälsi myös iteroitua.

Taulukko 1. *Tapaustutkimuksen vaiheet ja sisältö*

Vaihe	Sisältö
Tavoitteiden ja vaatimuksien määrittäminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BfP vaihe 1</li> <li>• BfP vaihe 4</li> </ul>
Alustava suunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PSP:n tunnistaminen</li> <li>• BfP vaihe 2</li> <li>• BfP vaihe 3</li> </ul>
Konseptisuunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BfP vaihe 5</li> <li>• BfP vaihe 6</li> </ul>
Jatkosuunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BfP vaihe 7</li> <li>• BfP vaihe 8</li> </ul>
Dokumentointi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BfP vaihe 9</li> </ul>

Kuten yllä olevasta taulukosta nähdään, niin BfP:n kymmenettä vaihetta ei suoriteta tämän tapauksen osalla. Kehitettävä tuote on toimitettavan laitteen näkökulmasta tarkasteltuna vain pieni osakokonaisuus, joka muodostaa laitteen kokonaiskustannuksista enimmillään vain muutaman prosentin osuuden. Tästä syystä tuotteen liiketoiminnalliset vaikutukset eivät ole niin merkityksellisiä, vaan tärkeämpää on rationalisoida tuotetarjontaa ja havainnollistaa tuoteperheen konfigurointitietoa.

## 6.1 Tavoitteiden ja vaatimuksien määrittäminen

Kehitysprojektin ensimmäisenä tehtävänä on määrittää tavoitteet. Kehitysryhmä tarvitsee suunnittelutyön lähtökohdaksi tiedon tavoiteltavista asioista. Luvussa 5.2 määritettiin yrityksen asettamat tavoitteet kehitysprojektille. Yrityksen asettamien tavoitteiden saavuttamisen tueksi ensimmäisessä vaiheessa määritettiin BfP:n mukaisesti tavoitteet tuoteperheen suunnittelulle liiketoimintaympäristön näkökulmasta.

Kuten aiemmin on mainittu, niin BfP:ssa on kaksi vaihtoehtoista lähestymistapaa ensimmäisen vaiheen suorittamiseen: syy-seurauskaavio tai CSL. Koska kehitysprojektille tavoiteltavat päämäärät olivat yritykselle ilmeiset ja yrityksellä oli sisäisesti yhteinen ymmärrys modulaarisuuden avulla tavoiteltavista hyödyistä, niin tässä tapauksessa päädyttiin syy-seurauskaavion hyödyntämiseen. Analysoimalla kuvaa 8 vahvistettiin olettamukset tavoiteltavista päämääristä ja hyödyistä. Tapauskohtaiset tavoitteet tuoteperheen rakenteen jäsentämiselle liiketoimintaympäristön näkökulmasta ovat:

1. Käytettävien nimikkeiden vähentäminen
2. Tuotteen valmistamisen nopeuttaminen
3. Tuoterakenteen ylläpidon työmäärän vähentäminen
4. Asiakastarpeiden 100% täyttäminen
5. Tuotetarjonnan ja suunniteltujen ratkaisujen 1:1 vastaavuus

Näiden tavoitteiden saavuttaminen vaatii tuoteperheen vakioitavuuden lisäämistä vakioinnin ja moduloinnin avulla, tapauskohtaisesti relevanttien tuoterakenteen suunnitteluperiaatteiden hyödyntämistä sekä muunteluvaatimuksien kokonaisvaltaista ymmärrystä. Sopiva lähestymistapa edellä mainittujen asioiden saavuttamiseksi on muodostaa tuoteperheelle yhteinen modulaarinen arkkitehtuuri, jossa samoja moduuleja hyödynnetään mahdollisimman laajasti eri tuotevarianteissa. Olemassa olevassa tuotteessa piilevät tarpeetonta muuntelua aiheuttavat elementit tulee tunnistaa ja poistaa. Määränpäiden saavuttaminen johtaa modulaariseen tuoteperheeseen, joka täyttää kaikki asiakastarpeet mahdollisimman vähäisellä muuntelulla ilman ylimääräistä laatua. Moduuleilla on luonnollisesti vakioidut rajapinnat, joiden määritelmät ja vuorovaikutukset ovat dokumentoitu.

Tavoitteiden määrittämisen lisäksi tuoteperheeseen kohdistuvat muuntelua aiheuttavat tarpeet pitää tunnistaa. BfP:n ehdottama työkalu neljännen vaiheen suorittamiseen on ”Gripen” -menetelmä, jossa neljän kysymyksen avulla keskitytään tunnistamaan asiakkaiden prosesseista muuntelua vaativia tekijöitä. Koska tässä tapauksessa BfP:ia sovelletaan varsinaisen toimitettavan laitteen osakokonaisuuteen, niin tarkasteltavaan tuotteeseen liittyvien asiakasprosessien tunnistaminen ja määrittäminen on hankalaa ilman kattavaa markkinatutkimusta, jonka suorittaminen tämän projektin rajoitteet huomioiden ei ole tarkoituksen mukaista. Sen sijaan tässä tapauksessa muuntelua vaativien tekijöi-

den tunnistamisessa käytettiin pohjana olemassa olevan tuotteen myyntioptioita ja ratkaisuja, joissa samalle toiminnolle on suunniteltu vaihtoehtoisia toteutustapoja. Olemassa olevan tuotteen pohjalta tunnistettuja muuntelutarpeita arvioitiin kriittisesti, pohtimalla onko muuntelutarve nykyään enää relevantti. Näin toimimalla varmistuttiin siitä, että tunnistetut muuntelutarpeet ovat todellisia ja ajan tasalla.

Koska tässä tapauksessa tarkastellaan varsinaisen toimitettavan laitteen osakokonaisuutta, niin asiakastarpeiden lisäksi laaja tuoteportfolio asettaa sisäisiä muunteluvaatimuksia. Suunniteltava järjestelmä on tarkoitus ottaa käyttöön kaikissa eri laitteissa, jonka takia sen tulee olla yhteensopiva jokaiseen laitemalliin. Muuntelua pyritään pitämään mahdollisimman vähäisenä vakioitujen rajapintojen ja tilavarausdokumentoinnin hyödyntämisellä mahdollisimman laajasti. Tästä huolimatta laiteportfolio asettaa rajoitteita tietyissä tapauksissa, joiden takia täysin sama toiminto täytyy toteuttaa eri laitteisiin eri tavoilla. Laiteportfolion aiheuttamia sisäisiä muuntelutarpeita tunnistettiin 10 kappaletta.

Myös järjestelmän myyntistrategia ja rakenteellinen jakotapa luovat sisäisiä muuntelutarpeita. Järjestelmän rakenteellisen jakotavan mukaan toiminnon rakenne on jaettu ”sähköistys” ja ”asennus” -nimikkeisiin. Sähköistysrakenne tilaa toiminnon virransyöttöön ja ohjaukseen tarvittavat johtosarjat sekä ohjeistaa tarvittavien kytkentöjen teon. Asennusrakenne tilaa toimintoon liittyvän valokomponentin ja sen asennukseen tarvittavat osat sekä ohjeistaa valon asennustavan ja -paikan. Useiden toimintojen osalta myyntitapana on optiomyynti, jossa toimintoja myydään laitteisiin lisävarusteena. Toimintojen vaatima johtosarja asennetaan laitteeseen vain siinä tapauksessa, kun toimintoon liittyvä optio on myyty kyseiseen laitteeseen. Tämänkaltainen toimintatapa aiheuttaa muuntelutarpeen jokaiselle optiona myytävän toiminnon johtosarjalle. Johtosarjat ovat itsessään vakioituja, mutta laitteeseen asennettavien johtosarjojen konfiguraatio määräytyy myytävien optioiden perusteella. Valitun myyntistrategian ja rakenteellisen jakotavan aiheuttamia sisäisiä muuntelutarpeita tunnistettiin 59 kappaletta.

Sisäisten muuntelutarpeiden lisäksi asiakasympäristöstä periytyviä muuntelutarpeita tunnistettiin 44 kappaletta. Yhteensä muuntelutarpeita tunnistettiin siis 113 kappaletta. Muuntelutarpeita analysoimalla niistä etsittiin yhdistäviä tekijöitä, joiden perusteella määritettiin 10 muunteluryhmää. Jokaiselle muuntelutarpeelle määritettiin muunteluryhmä, johon kyseinen tarve liittyy. Määritetyt muunteluryhmät ja niihin sisältyvien muuntelutarpeiden lukumäärät ovat seuraavat:

- Paikoitus (74 kpl)
- Laiteportfolio (10)
- Hälytysvalojen lukumäärä (4)
- Hälytysvalojen väri (3)
- Hälytysvalojen malli (3)
- Signaalivalojen malli (2)
- Työvalojen valokuvio (3)
- Työvalojen lukumäärä (2)
- Työvalojen valomäärä (2)
- Lainsäädäntö (10)

Paikoitukseen liittyviin muuntelutarpeisiin sisältyy edellä kuvatut myyntistrategiasta ja rakenteellisesta jakotavasta periytyvät sisäiset muuntelutarpeet. Tästä syystä kyseiseen muunteluryhmään liittyvien muuntelutarpeiden määrä eroaa huomattavasti muiden muunteluryhmien sisältämien muuntelutarpeiden määrästä.

Muuntelutarpeiden tunnistamisen lisäksi tässä vaiheessa pohdittiin alustavasti mihin toimintoon kyseinen muuntelutarve kohdistuu ja mitä modulaarisuuden tyyppiä toiminnon teknisen ratkaisun toteuttamiseen sovelletaan. Nämä tiedot kirjattiin taulukkoon, joka on esitetty liitteessä A.

## 6.2 Alustava suunnittelu

Tavoitteiden ja vaatimuksien määrittämisen jälkeen voidaan määrittää tapauskohtaisesti relevantit PSP:t, ennen alustavan suunnittelun aloittamista. Tämän tapauksen kohdalla relevantit PSP:t määritettiin käymällä läpi kuvan 22 sääntölistä yksi sääntö kerrallaan, pohtimalla tukeeko säännön toteuttaminen ensimmäisessä vaiheessa määritettyjen liiketoiminnallisten tavoitteiden saavuttamista. Sääntölistää läpikäymällä tapauskohtaisesti relevanteiksi PSP:ksi määritettiin periaatteet 1, 3, 4, 5, 6 ja 12.

**Ensimmäinen** periaate on tässä tapauksessa relevantti, koska suunniteltavalle järjestelmälle on tavoitteena määrittää perusjärjestelmä, joka toimii yhteisenä tuotealustana tuoteperheen kaikille tuotevarianteille. Erilaisia tuotevariantteja muodostetaan lisäämällä perusjärjestelmään toiminnollisia moduuleja. Toiminnollisten moduulien välillä ei ole rajapintoja, vaan kaikki moduulit ovat yhteydessä vain perusjärjestelmään.

**Kolmas** periaate on tässä tapauksessa relevantti, koska suunniteltava järjestelmä sisältää useita toimintoja, joihin tarvitaan vaihtoehtoisia ratkaisuja. Vaihtoehtoisten ratkaisujen tulee olla keskenään täysin vaihtokelpoisia, joka käytännössä tarkoittaa samojen rajapintojen käyttöä vaihtoehtoisten ratkaisujen välillä. Vaihtokelpoisuus edellyttää myös vaihtoehtoisten ratkaisujen tilavarauksien huomiointia suunnittelussa, jonka takia myös **viides** periaate on tässä tapauksessa relevantti.

**Neljäs** periaate on tässä tapauksessa relevantti, koska järjestelmä sisältää useita optioina myytäviä toiminnollisuuksia. Kaikille toimintoille pitää suunnitella oma sijoituspaikka, jotta vältetään perusjärjestelmään kuulumattomien toimintojen keskinäiseltä päällekkäisyydeltä.

**Kuudes** periaate on tässä tapauksessa relevantti, koska vakiointi on modulaarisuuden ja uudelleenhyödyntämisen avulla saavutettavien hyötyjen mahdollistaja. Käytännössä vakiointia hyödynnetään kaikissa osa-alueissa, jotka eivät suoranaisesti tuota lisäarvoa asiakkaille.

**Kahdestoista** periaate on tässä tapauksessa relevantti, koska suunniteltavalle järjestelmälle ei ole järkevää määrittää useita erilaisia tuotevariantteja. Sen sijaan järjestelmä koostuu perusjärjestelmästä, johon voidaan joustavasti lisätä erilaisia toimintoja optioiden avulla. Järjestelmän sisältö määritetään laitekohtaisesti vastaamaan asiakkaiden tarpeita.

Olemassa olevien periaatteiden lisäksi tunnistettiin kaksi uutta tuoterakenteen suunnitteluperiaatetta, jotka ovat tähän tapaukseen liittyen relevantteja. Kehitettävään järjestelmään liittyy vaatimus, jossa asiakas haluaa itse määrittää mitä valokomponentteja lait-

teeseen asennetaan. Ratkaisuna vaatimuksen toteuttamiseen järjestelmään suunnitellaan valmius kolmansien osapuolien toimittamien valokomponenttien käytölle. Tämän lisäksi käytettävät valokomponentit kehittyvät jatkuvasti ja toimittajat julkaisevat uusia malleja tiheään tahtiin. Käytettävän teknologian nopea kehitys aiheuttaa tarpeen suunniteltujen ratkaisujen tehokkaalle ylläpidolle, jonka takia tuoterakenne tulee jäsentää siten, että muuntelun aiheuttama komponentti on ylimmällä mahdollisella rakennetasolla. Tällöin tuoterakenne on helppo pitää ajan tasalla. Myöhäisen vaiheen muuntelu mahdollistaa myös vaihtoehtoisten ratkaisujen vakioinnin. Vaihtoehtoisten ratkaisujen alapuolinen tuoterakenne voidaan vakioida, kun niiden välisen muuntelun aiheuttama komponentti tilataan tuoterakenteen ylimmältä mahdolliselta rakennetasolta. Edellä esitetyt uudet tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet voidaan muotoilla kuvassa 22 esitettyjen olemassa olevien periaatteiden mukaisesti seuraaviksi yleisiksi säännöiksi:

- Valmius kolmansien osapuolien komponenteille (13)
- Myöhäisen vaiheen muuntelu (14)

Varsinainen suunnittelutyö voidaan aloittaa, kun tuoteperheeseen kohdistuvat tavoitteet ja vaatimukset ovat määritetty ja tapauskohtaisesti relevantit tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet tunnistettu. Alustava suunnittelu aloitetaan BfP:n toisen vaiheen mukaisesti geneerisen elementtimallin muodostamisella.

Geneerisen elementtimallin luominen aloitettiin listaamalla yleisiä järjestelmään liittyviä toimintoja ja vaatimuksia nykyisen tuotetarjonnan avulla. Seuraavaksi listatut asiat miellettiin geneerisiksi elementeiksi ja tarkasteltiin, voidaanko nykyinen tuoterakenne jakaa siten, että tekniset ratkaisut vastaavat geneerisiä elementtejä. Teknologian asettamien rajoitteiden vuoksi ja elementtien samankaltaisuuden välttämiseksi geneerisen elementtimallin muodostaminen vaati iteroivia kierroksia. Lopuksi kolmen iteroivan kierroksen jälkeen päädyttiin geneeriseen elementtimalliin, joka sisältää 44 geneeristä elementtiä. Geneerisen elementtimallin virheettömyys tarkastettiin 100% sääntöön vastaamalla.

BfP:n toisen vaiheen lopuksi geneeriset elementit jaettiin 10 kategoriaan. Kategorioille ja geneerisille elementeille määritettiin numero- ja värikoodi BfP:n kolmannen vaiheen arkkitehtuurin esittämisen selkeyttämiseksi. Lopullinen geneerinen elementtimalli on esitetty kuvassa 38.

Kategoria:	Yleiset toiminnollisuudet ja vaatimukset:	Geneeriset elementit:	Nro	Värikoodi
Ohjaus ja hallinta	Valojen ohjauskeskus	Ohjauskeskus	1.1	Pinkki
	Valojen ohjaus hytistä	Hallintapaneeli hytissä	1.2	
	Pysähtyneen ajoneuvon valojen ohjaus takaa	Hallintapaneeli takana, Mini DIN	1.3	
	Nostimen valojen ohjaus takaa	Hallintapaneeli tukijalkakeskuksessa	1.4	
	Ohjaus työkorista	Hallintapaneeli työkorissa	1.5	
	Ohjaus jalustalta	Hallintapaneeli ohjaustasossa	1.6	
	Päälle/pois yhdellä painalluksella	ON/OFF painike kojelaudassa	1.7	
Äänentuotto	Sireeniyksikkö	Sireeniyksikkö	2.1	Vihreä
	Äänimerkinantolaite	Sireeni-kaiutin	2.2	
	Äänikomentalaitte	Mikrofoni hytissä	2.3	
	Äänitorvi	Torvi katolla	2.4	
Virta- ja väyläjohtimet	Virransyöttö	Virtajohdinsarjat	3.1	Keltainen
	Ohjauskeskuksen input signaali	Väyläjohdinsarja tulo, ohjauskeskus	3.2	
	Ohjauskeskuksen output signaali	Väyläjohdinsarja lähtö, ohjauskeskus	3.3	
	Sireeniyksikön input signaali	Väyläjohdinsarja tulo, sireeniyksikkö	3.4	
	Sireeniyksikön output signaali	Väyläjohdinsarja lähtö, sireeniyksikkö	3.5	
Alustan/rungon hälytysvalot	Hälytysvalot hytin katolla	Kattohälytysvalot	4.1	Sininen
	Hälytysvalot eteenpäin	Etuhälytysvalot	4.2	
	Hälytysvalot sivuilla	Sivuhälytysvalot	4.3	
	Hälytysvalot taakse	Takahälytysvalot	4.4	
Alustan/rungon signaalivalot	Signaalivalot hytin katolla	Kattosignaali-valot	5.1	Keltainen
	Signaalivalot eteenpäin	Etusignaali-valot	5.2	
	Signaalivalot sivuilla	Sivusignaali-valot	5.3	
	Signaalivalot taakse	Takasignaali-valot	5.4	
Rungon valaistus	Tukijalkojen alueen valaistus	Tukijalkatyövalot	6.1	Ruskea
	Lavatason etuosan valaistus	Hytin takaseinän työvalo	6.2	
	Lavatason keskikohdan valaistus	Työvalo jalustassa	6.3	
	Peruutusvalo hytin taka-alue	Ura-valot hytin ala-osa	6.4	
	Peruutusvalo/ työvalo laitteen taakse	Työvalo takana	6.5	
Erikoisratkaisut	Tukijalkojen uloimman pisteen merkki- valo	Spottivalot tukijaloille	7.1	Vihreä
	Liikenteen ohjausvalo	Nuolivalot takana	7.2	
	Kauko-ohjattava langaton valo	Langaton RC hakuvalo	7.3	
	Signaalivalo jalustan leveysilytykselle	Jalustan signaalivalo	7.4	
	Peruutusvalot etutukijalan taakse	Ura-valot etutukijalan takana	7.5	
Varsiston valaistus	Varsiston valaistus	Varsiston työvalot	8.1	Red
Työkorin valaistus	Työkorin ulkopuolinen valaiseminen	Työkorin työvalot	9.1	Syaninen
	Työkorin alapuolen valaiseminen	Työkorin lähestymisvalot	9.2	
	Vesitykin valaiseminen	Vesitykin työvalo	9.3	
	Valonheitin	Työkorin valonheitin	9.4	
	Työkorin sisäpuolinen valaistus	Työkorin lattiavalot	9.5	
	Signaalivalo työkorin pohjassa	Työkorin signaalivalo	9.6	
Lakisääteiset	Sivuvalot	Sivuvalot	10.1	Violetti
	Liftn ääri-valot	Ääri-valot varsistossa	10.2	
	Tukijalkojen varoitusvilkut	Signaalivalot tukijalkoihin	10.3	

**Kuva 38. Geneerinen elementtimalli**

Geneerisen elementtimallin määrittämisen jälkeen alustavaa suunnittelua jatkettiin BfP:n kolmannen vaiheen mukaisesti geneeristen elementtien ja rajapintojen arkkitehtuurin määrittämisellä. Geneeristen elementtien välisiä yhteyksiä tunnistettiin rajapintamatriisin avulla ennen arkkitehtuurin visualisointia. Matriisiin listattiin edellisessä vaiheessa määritetyt geneeriset elementit samassa järjestyksessä vaakasarakeisiin ja pystyriveihin. Matriisin avulla voidaan tarkastella kahta eri yhteystyyppiä, koska matriisista löytyy jokaiselle yhteysparille kaksi yhtymäkohtaa. Matriisin diagonaaliviivan alapuolella oleviin yhtymäkohtiin merkattiin X -merkki, jos geneeristen elementtien välillä ilmeni välitön yhteys, eli fyysinen rajapinta. Diagonaaliviivan yläpuolella oleviin yhtymäkohtiin merkattiin Y -merkki, jos geneeristen elementtien välillä ilmeni välillinen yhteys, eli vuorovaikutus. Kuvassa 39 on esitetty otos muodostetusta rajapintamatriisista, jossa esitetään ”Ohjaus ja hallinta” sekä ”Äänentuotto” -kategorioiden sisältämien geneeristen elementtien väliset yhteydet. Täydellinen versio rajapintamatriisista, jossa esitetään kaikkien geneeristen elementtien väliset yhteydet, on esitetty liitteessä B.

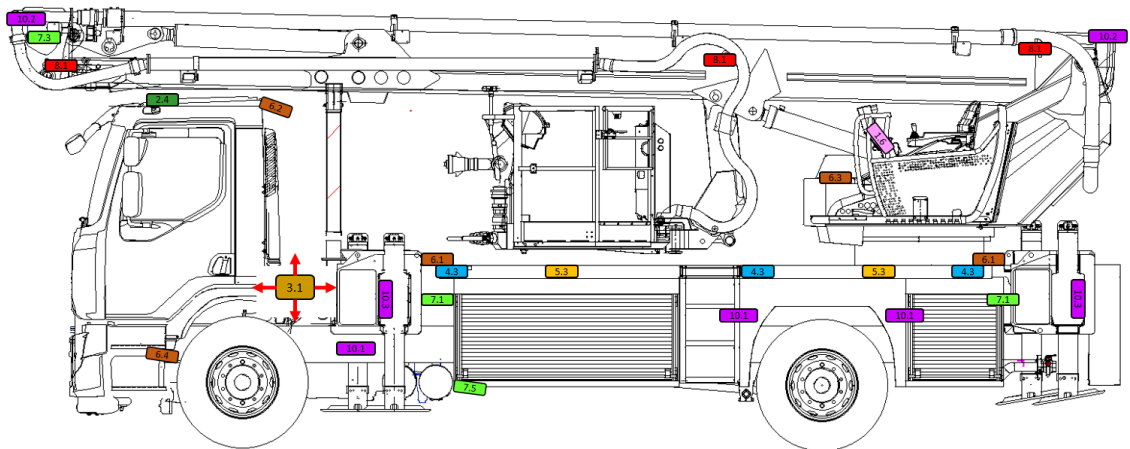


Rajapintamatriisi		OHA							Ä			
		Ohjauskeskus	Hallintapaneeli hytissä	Hallintapaneeli takana, Mini DIN	Hallintapaneeli tukijalkakeskuksessa	Hallintapaneeli työkorissa	Hallintapaneeli ohjaustasossa	ON/OFF painike kojelaudassa	Sireeniyksikkö	Sireeni-kaiutin	Mikrofoni hytissä	Torvi katolla
Ohjaus ja hallinta (OHA)	Ohjauskeskus	X										
	Hallintapaneeli hytissä		X							Y		Y
	Hallintapaneeli takana, Mini DIN			X								
	Hallintapaneeli tukijalkakeskuksessa				X							
	Hallintapaneeli työkorissa					X						
	Hallintapaneeli ohjaustasossa						X					
	ON/OFF painike kojelaudassa		X					X				
Äänentuotto (Ä)	Sireeniyksikkö							X				
	Sireeni-kaiutin								X		Y	
	Mikrofoni hytissä									X		
	Torvi katolla											X
		Rajapinta (välitön yhteys)										

Kuva 39. Otos rajapintamatriisista

Rajapintamatriisia analysoimalla huomattiin, että toiminnollisuutta kuvaavien geneeristen elementtien välillä ei esiinny yhteyksiä. Toiminnollisuutta kuvaavilla geneerisillä elementeillä on välitön yhteys vain virtajohdinsarjoihin ja välälajohdinsarjan lähtöväylään. Tämä huomio oli positiivinen, koska se tukee ensimmäisen PSP:n esittämää tavoitetta, jossa toiminnollisten moduulien välillä ei esiinny rajapintoja, vaan kaikki moduulit ovat yhteydessä vain perusjärjestelmään.

Yhteyksien tunnistamisen jälkeen arkkitehtuurin määrittämistä jatkettiin visualisoinnilla, jonka pohjana käytettiin kaksikulotteista ääriiviamallia tyypillisestä toimitettavasta laitteesta. Ääriiviamallin päälle sijoitettiin numero- ja värikoodillisia laatikoita, jotka kuvaavat geneerisiä elementtejä. Laitteen sivunäkymän päälle rakennettu geneeristen elementtien arkkitehtuuri on esitetty kuvassa 40.



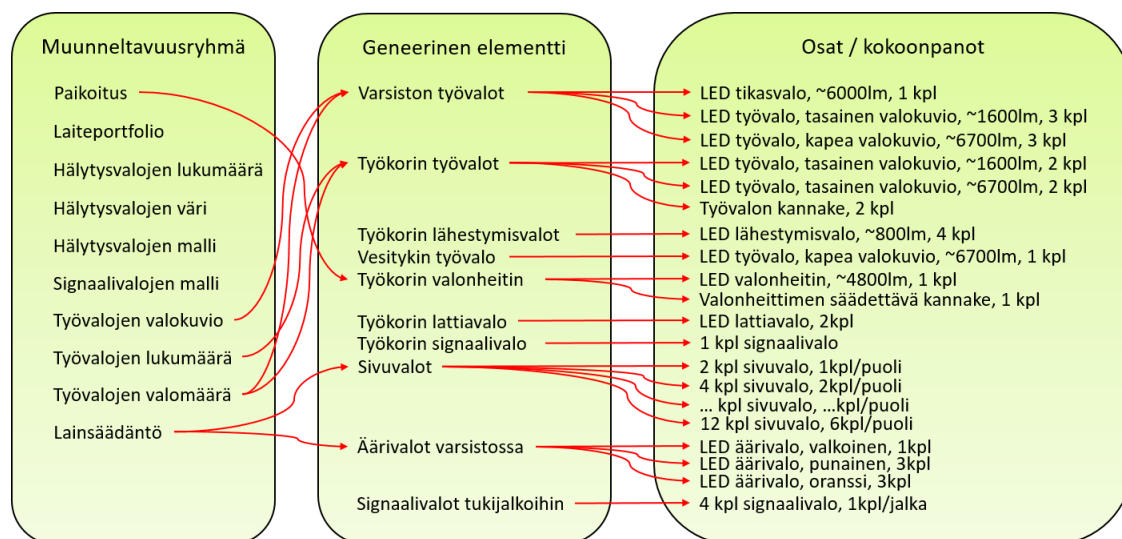
Kuva 40. Geneeristen elementtien arkkitehtuuri, laitteen sivunäkymä

Laitteen sivunäkymän lisäksi vastaavanlaiset näkymät muodostettiin laitteen edestä, takaa, hytin sisältä ja työkorista, jolloin kaikkien geneeristen elementtien arkkitehtuuri on esitetty visuaalisesti. Visuaalisen esitystavan tavoitteena on selventää geneeristen elementtien tyypillinen sijainti laitteessa. Geneeristen elementtien välisiä yhteyksiä ei tässä tapauksessa esitetä arkkitehtuurin visualisoinnissa, koska niiden esittäminen muuttaisi visualisoinnin hyvin epäselväksi kokonaisuudeksi. Geneeristen elementtien väliset yhteydet ovat sen sijaan esitetty selkeästi rajapintamatriisissa.

### 6.3 Konseptisuunnittelu

Alustavan suunnittelun jälkeen järjestelmän vaatima sisältö on kokonaisuudessaan tiedossa, kun kaikki toiminnollisuudet ja niihin liittyvät muuntelua aiheuttavat tarpeet ovat tunnistettu. Konseptisuunnittelu aloitetaan BfP:n viidennen vaiheen mukaisesti alustavalla tuoteperhemääritelmällä.

Alustavan tuoteperhemääritelmän toteuttaminen aloitettiin listaamalla BfP:n neljännessä vaiheessa määritetyt muunteluryhmät työarkin vasempaan reunaan ja BfP:n toisessa vaiheessa määritetyt geneeriset elementit työarkin keskelle. Seuraavaksi geneeriset elementit käytiin läpi yksi kerrallaan ja niihin liittyvät osat ja kokoonpanot listattiin työarkin oikeaan reunaan. Muodostetun listan pituuden takia se jaettiin tässä vaiheessa selkeyden vuoksi viiteen erilliseen listaan. Seuraavaksi määritettiin muunteluryhmien ja geneeristen elementtien väliset yhteydet punaisten nuolien avulla. Vastaavat nuolet määritettiin ilmaisemaan myös geneeristen elementtien sekä osien ja kokoonpanojen välistä yhteyttä. Kuvassa 41 on esitetty otos alustavasta tuoteperhemääritelmästä, jossa esitetään ”Varsiston valaistus”, ”Työkorin valaistus” sekä ”Lakisääteiset” -kategorioiden kolme näkökulmaa ja niiden väliset yhteydet. Täydellinen versio alustavasta tuoteperhemääritelmästä on esitetty liitteessä C.



**Kuva 41. Otos alustavasta tuoteperhemääritelmästä**

Alustavaa tuoteperhemääritelmää analysoitiin tarkastelemalla muodostettuja listoja ja niiden välisiä yhteyksiä. Ensimmäisenä varmistettiin, että jokaisella muunteluryhmällä on yhteys vähintään yhteen geneeriseen elementtiin, jolloin määritelmään ei sisälly turhia muuntelutarpeita. Seuraavaksi tarkasteltiin geneerisiin elementteihin liittyviä muuntelutarpeita. Geneeriset elementit, joihin ei liity muuntelutarpeita, voidaan mahdollisuuksien

mukaan vakioida. Kaikki generiset elementit, joihin ei liity muuntelutarpeita, merkattiin ylös BfP:n seitsemännen vaiheen moduulien määrittämistä varten. ”Osat / kokoonpano” -näkyvä muodostettiin listaamalla ylös kaikki olemassa olevissa ratkaisuisissa käytössä olevat komponentit. Komponenttijoukkoa analysoimalla etsittiin yhteisiä tekijöitä ja pohdittiin ratkaisuja, miten yhdellä osalla voisi korvata useamman osan. Esimerkiksi työkorin valonheittimen kannakkeelle oli suunniteltu neljä erilaista ratkaisua saman tarpeen täyttämiseen. Kannakkeeseen ei kuitenkaan liity muuntelutarpeita, joten uuden järjestelmään toteuttamiseen riittää yksi kannake, joka korvaa aiemmin käytetyt neljä kannaketta. Alkuperäistä komponenttijoukkoa muokattiin korvaamalla ja poistamalla alkuperäisiä ratkaisuja uusilla ratkaisuilla siten, että järjestelmään kohdistuvat muuntelutarpeet toteutetaan mahdollisimman vähäisellä varianttimäärällä ja hyödyntämällä vakioituja elementtejä mahdollisimman laajasti.

BfP:n viidennen vaiheen tuotoksena saatiin hahmotelma tarvittavista moduulivarianteista ja mahdollisista elementeistä, jotka voidaan vakioida. Lisäksi tuotos esittää muuntelun päättelyketjun muuntelutarpeiden ja vaihtoehtoisten ratkaisujen välillä.

BfP:n viidennen vaiheen jälkeen konseptisuunnittelua jatketaan alustavan konfigurointitiedon määrittämällä BfP:n kuudennen vaiheen mukaisesti. Konfigurointitiedon määrittämiseen ja esittämiseen käytettiin muokattua K-matriisia. Matriisiin vaakasarakkeisiin listattiin BfP:n neljännessä vaiheessa määritetyt muunteluryhmät sekä muuntelutarpeet ja pystyiveihin BfP:n toisessa vaiheessa määritetyt generiset elementit. Seuraavaksi muunteluryhmien ja generisten elementtien välisiin yhteyksiin merkattiin X -merkki, jos muunteluryhmällä on vaikutus generiseen elementtiin. Tässä tapauksessa yhteyksiä määritettiin yksinkertaisilla kyllä/ei tyypisillä yhteyksillä, koska BfP:n esittämiä muita yhteystyyppejä ei havaittu muunteluryhmien ja generisten elementtien välillä. Kuvassa 42 on esitetty otos muodostetusta konfigurointimatriisista, jossa esitetään ”Alustan/rungon hälytysvalot”, ”Alustan/rungon signaalivalot”, ”Rungon valaistus” sekä ”Erikoisratkaisu” -kategorioiden sisältämien generisten elementtien ja muunteluryhmien välinen konfigurointitieto.

Muokattu K-matriisi		Muunneltavuusryhmä vaikuttaa generiseen elementtiin (tyhjä) Muunneltavuusryhmä ei vaikuta generiseen elementtiin	
		Generiset elementit	Generisten elementtien tekninen ratkaisu ja tyyppi
<p>Kantohälytysvalot</p> <p>Euhälytysvalot</p> <p>Siivohälytysvalot</p> <p>Talohälytysvalot</p> <p>Katso-signaalivalot</p> <p>Eusignaalivalot</p> <p>Siivsignaalivalot</p> <p>Taluisignaalivalot</p> <p>Talokäyttövalot</p> <p>Hämäläksienäyttövalot</p> <p>Talokäytössä</p> <p>Ulkosivustolla</p> <p>Talokäytössä</p> <p>Sisätiloissa</p> <p>Siivotusväline</p> <p>Näyttövalot</p> <p>Langaton RFID-merkkivalot</p> <p>Alustan signaalivalot</p> <p>Ulkosivustolla</p>	<p>22</p> <p>23</p> <p>24</p> <p>25</p> <p>26</p> <p>27</p> <p>28</p> <p>29</p> <p>30</p> <p>31</p> <p>32</p> <p>33</p> <p>34</p> <p>35</p> <p>36</p> <p>37</p> <p>38</p> <p>39</p> <p>40</p> <p>41</p> <p>42</p> <p>43</p> <p>44</p> <p>45</p> <p>46</p> <p>47</p> <p>48</p> <p>49</p> <p>50</p> <p>51</p> <p>52</p> <p>53</p> <p>54</p> <p>55</p> <p>56</p> <p>57</p> <p>58</p> <p>59</p> <p>60</p> <p>61</p> <p>62</p> <p>63</p> <p>64</p> <p>65</p> <p>66</p> <p>67</p> <p>68</p> <p>69</p> <p>70</p> <p>71</p> <p>72</p> <p>73</p> <p>74</p> <p>75</p> <p>76</p> <p>77</p> <p>78</p> <p>79</p> <p>80</p> <p>81</p> <p>82</p> <p>83</p> <p>84</p> <p>85</p> <p>86</p> <p>87</p> <p>88</p> <p>89</p> <p>90</p> <p>91</p> <p>92</p> <p>93</p> <p>94</p> <p>95</p> <p>96</p> <p>97</p> <p>98</p> <p>99</p> <p>100</p>		

**Kuva 42.** Otsot generisten elementtien ja muunteluryhmien konfigurointimatriisista

Käytännössä BfP:n kuudennen vaiheen konfigurointimatriisissa esitetty tieto on vastaava kuin edellisen vaiheen alustavan tuotepöydän määrittelemä tieto. Tässä vaiheessa ei havaittu tämän tapauksen kohdalla merkittävää tiedon jalostumista, jonka takia tämän

vaiheen suorittaminen oli periaatteellisella tasolla turhaa työtä. Luotua konfigurointimatriisia hyödynnetään kuitenkin BfP:n kahdeksannessa vaiheessa, joten tämän vaiheen tuotos toimii pohjatyönä kahdeksannen vaiheen suorittamiselle.

## 6.4 Jatkosuunnittelu

Konseptisuunnitteluvaiheessa määritettiin alustavasti järjestelmän sisältämät toiminnot, käytettävät komponentit sekä geneeristen elementtien ja muunteluryhmien väliset yhteydet. Konseptisuunnitteluvaiheessa tuotettua tietoa jalostetaan ja tarkennetaan jatkosuunnitteluvaiheessa. Jatkosuunnitteluvaiheen päämääränä on muodostaa lopullinen määritelmä järjestelmän geneeristen elementtien tyypeistä, suunniteltavista teknisistä ratkaisuksista, muuntelutarpeiden ja teknisten ratkaisujen välisistä yhteyksistä sekä teknisten ratkaisujen keskinäisestä yhteensopivuudesta.

Jatkosuunnittelu aloitettiin BfP:n seitsemännen vaiheen mukaisesti modulaarisen arkkitehtuurin määrittämisellä. Modulaarisen arkkitehtuurin määrittäminen aloitettiin geneeristen elementtien tyyppien määrittämisellä. Ensimmäisenä määritettiin järjestelmän vakioitu osuus. Vakioituiksi määritettiin kaikki geneeriset elementit, joihin ei liity muuntelutarpeita. Tämän jälkeen tarkasteltiin jäljelle jääneitä geneerisiä elementtejä, joihin kohdistuu muuntelutarpeita. Muuntelun toteuttamiseen tunnistettiin tässä tapauksessa kolme ratkaisutyyppiä. Määritetyt ratkaisutyytit ja niitä hyödyntävien geneeristen elementtien lukumäärät ovat seuraavat:

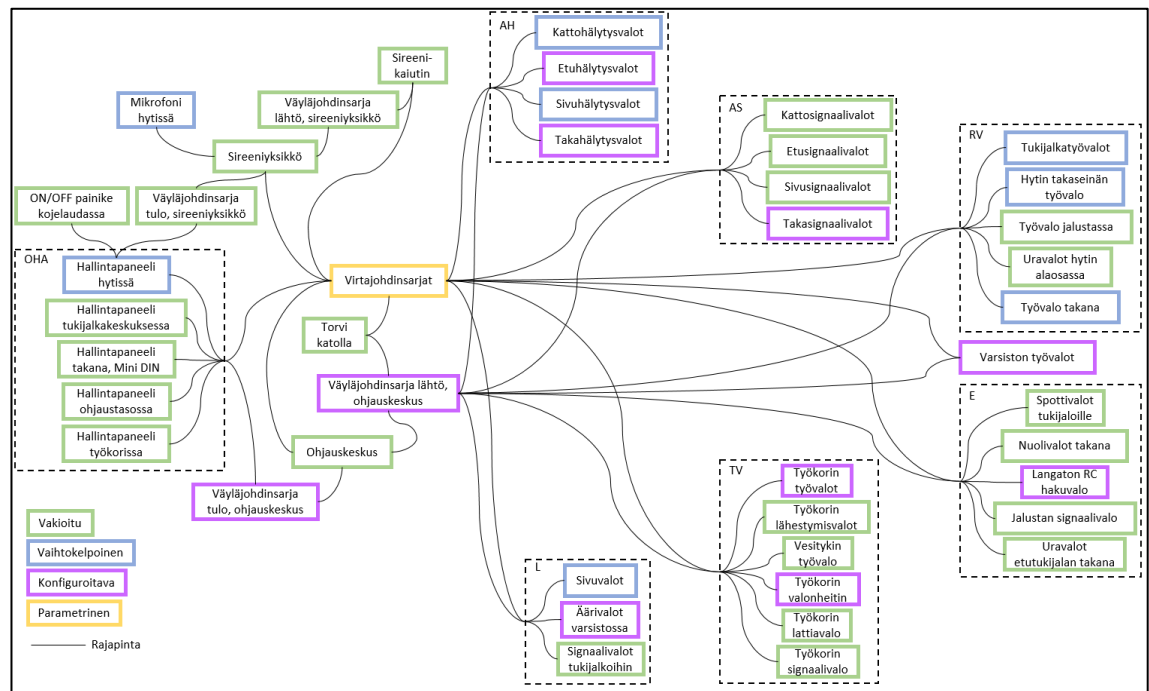
- **Vakioitu:** sama tekninen ratkaisu aina. (25kpl)
- **Vaihtokelpoinen:** useita vaihtoehtoisia teknisiä ratkaisuja, joista valitaan käytettäväksi maksimissaan yksi. (8)
- **Konfiguroitava:** useita teknisiä ratkaisuja, joita voidaan valita käytettäväksi yhdessä tai erikseen konfigurointisääntöjen mukaan. (10)
- **Parametrinen:** teknisen ratkaisu, jota muutetaan antamalla tietyille parametrille eri arvoja toiminnallisten rajojen välillä. (1)

Yllä esitetyt neljä ratkaisutyyppiä edustavat kuvassa 18 esitettyjä modulaarisuuden tyyppejä seuraavasti: vakioitu ratkaisu edustaa jakomodulaarisuutta, vaihtokelpoinen ratkaisu edustaa vaihtomodulaarisuutta, konfiguroitava ratkaisu edustaa lohkomodulaarisuutta ja parametrinen ratkaisu edustaa parametrimodulaarisuutta.

Koska tässä tapauksessa suunniteltava järjestelmä sisältää useita optioina myytäviä toiminnollisuuksia, niin vakioitu ratkaisu ei automaattisesti tarkoita sitä, että kyseinen ratkaisu löytyy jokaisesta yksittäisestä tuotteesta. Vakioitu ratkaisu tarkoittaa sitä, että kyseinen toiminnollisuusvaatimus pystytään toteuttamaan yhdellä vakioidulla ratkaisulla kaikkiin toimitettaviin laitteisiin.

Tässä tapauksessa valittu arkkitehtuuri on tyypiltään avoin modulaarinen arkkitehtuuri. Suurimman osan tuoteperheen komponenteista toimittavat ulkopuoliset toimittajat, jotka ovat alallaan markkinajohtajia ja käyttävät komponenttien rajapintoina teollisuuskohtaisesti vakioituja rajapintoja. Vaihtokelpoisuuden saavuttamiseksi geneeristen elementtien sisältämät vaihtoehtoiset tai konfiguroitavat ratkaisut jakavat saman rajapinnan ja geneeriselle elementille tuotetaan tilavarauksdokumentaatio eniten tilaa vievän komponentin mukaan. Kuvassa 43 on esitetty nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän

modulaarinen arkkitehtuuri. Generiset elementit ovat värikoodattu ratkaisutyyppien mukaan ja mustat viivat kuvaavat järjestelmän rajapintoja.



**Kuva 43.** Nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän modulaarinen arkkitehtuuri

Yllä olevassa kuvassa esitetty arkkitehtuuri ei kuvaa generisten elementtien fyysistä sijaintia laitteessa, vaan elementit ovat jaettu selkeyden vuoksi aiemmin määritettyjen kategorioiden mukaisesti. Kategoriat ovat esitetty kuvassa katkoviivoina. Arkkitehtuuria analysoimalla huomataan, että toiminnollisuutta kuvaavien generisten elementtien (Kuvan 43 oikea puolisko) välillä ei esiinny rajapintoja, joka tukee ensimmäisen PSP:n tavoittelemaa tilannetta.

Generisten elementtien tyyppien, modulaarisen arkkitehtuurin ja rajapintojen määrittämiseen jälkeen määritettiin tekniset ratkaisut, jotka toteuttavat järjestelmään kohdistuvat muuntelutarpeet tehokkaasti. Peruseriaatteena teknisiä ratkaisuja määrittäessä oli minimoida niiden määrä. Itoivien kierrosten jälkeen löydettiin lopullinen määritelmä järjestelmän teknisille ratkaisuille, jossa valittu rakenteellinen jakotapa ja järjestelmän myyntistrategia realisoidaan 145 teknisen ratkaisun avulla.

Lisäyksenä BfP:n tyypilliseen seitsemännen vaiheen sisältöön, tässä tapauksessa tekniset ratkaisut jaettiin kuulumaan joko perusjärjestelmään tai optioihin. Kohdeyhteyden laiteportfolion jakautuessa kahteen pääryhmään, joiden toiminnollisuusvaatimukset eivät ole identtiset, jouduttiin perusjärjestelmä ja optiojako määrittämään erikseen sekä F- ja S-laitteille. Molemmat järjestelmät hyödyntävät kuitenkin samoja teknisiä ratkaisuja, mutta käytännössä S-laitteen järjestelmä on karsittu versio F-laitteen järjestelmästä.

BfP:n seitsemäs vaihe oli koko projektin pitkäkestoisin vaihe. Seitsemännessä vaiheessa määritettäviä asioita oli kuitenkin alustavasti pohdittu jo BfP:n neljännen ja viidennen vaiheen suorituksen aikana, jonka takia tämän vaiheen suoritus-aika oli odotettua lyhyempi.

Kun generisten elementtien tyypit ja tekniset ratkaisut olivat määritetty, jatkosuunnittelun seuraavana vaiheena muodostettiin lopullinen konfigurointitieto BfP:n kahdeksannen vaiheen mukaisesti. BfP:n kuudennessa vaiheessa muodostettiin generisten elementtien ja muunteluryhmien välinen konfigurointitieto. Aiemmin muodostettua konfigurointimatriisia jalostettiin tässä vaiheessa lisäämällä generisten elementtien alle niitä vastaavat tekniset ratkaisut ja määrittämällä teknisten ratkaisujen ja muuntelutarpeiden väliset yhteydet. Teknisten ratkaisujen ratkaisutyyppejä havainnollistettiin aiemmin määritetyillä värikoodeilla. Teknisten ratkaisujen ja muuntelutarpeiden välisiä yhteyksiä havainnollistettiin luvussa 4.2.6 esitettyjen neljän yhteystyyppin avulla. Yhteystyypeille lisättiin tässä tapauksessa numerokoodin lisäksi väritunniste luettavuuden helpottamiseksi ja visuaalisuuden lisäämiseksi. Lisäksi matriisiin lisättiin sarakkeet ”Perusjärjestelmä” ja ”Optio”, joihin merkataan X -merkki sen mukaan, onko tekninen ratkaisu osa perusjärjestelmää vai myytävä optio. Kuvassa 44 on esitetty otos muodostetusta konfigurointimatriisista, jossa esitetään ”Alustan/rungon hälytysvalot” ja ”Alustan/rungon signaalivalot” -kategorioiden sisältämien generisten elementtien teknisten ratkaisujen ja muuntelutarpeiden välinen konfigurointitieto. Täydellinen versio lopullisesta konfigurointimatriisista on esitetty liitteessä D.

Muokattu K-matriisi		Perusjärjestelmä (P)	Optio (O)	...
[X] Muunneltavuusryhmä vaikuttaa generiseen elementtiin Muunneltavuusryhmä ei vaikuta generiseen elementtiin Muunneltavuustarve edellyttää teknisen ratkaisun Muunneltavuustarve poissulkee teknisen ratkaisun Muunneltavuustarve saattaa vaikuttaa tekniseen ratkaisuun Muunneltavuustarve ei vaikuta tekniseen ratkaisuun Vaihdoissa Vaihdoissa Vaihdoissa Vaihdoissa				
Generisten elementit	Generisten elementtien tekniset ratkaisut ja tyypit			
Kattohälytysvalot	Hälytysvalopaneeli (vaaleanvihreä/hyvin kirkka, sininen) Hälytysvalopaneeli (vaaleanvihreä/hyvin kirkka, punainen) Hälytysvalopaneeli (hymäläkirkka, 2 tulp. sininen) Hälytysvalopaneeli (hymäläkirkka, 2 tulp. punainen)	X	6	
Ei-hälytysvalot	Hälytysvalot (energian pakkaus 1, 2 tulp. sininen) Hälytysvalot (energian pakkaus 1, 2 tulp. punainen) Hälytysvalot (energian pakkaus 2, 2 tulp. sininen) Hälytysvalot (energian pakkaus 2, 2 tulp. punainen) Hälytysvalot (energian pakkaus 3, 2 tulp. sininen) Hälytysvalot (energian pakkaus 3, 2 tulp. punainen) Hälytysvalot (energian pakkaus 4, 2 tulp. sininen) Hälytysvalot (energian pakkaus 4, 2 tulp. punainen)	X	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	
Sisäkälytysvalot	Hälytysvalot (4 tulp. 3 tulp. sininen) Hälytysvalot (4 tulp. 3 tulp. punainen)	X	16, 17	
Talokälytysvalot	Hälytysvalot (4 tulp. sininen) Hälytysvalot (4 tulp. punainen) Hälytysvalot (4 tulp. sininen) Hälytysvalot (4 tulp. punainen)	X	18, 19, 20, 21	
Katsusignaalivalot	Signaalivalot (hymäläkirkka, 2 tulp.)	X	22	
Etusignaalivalot	Signaalivalot (energian, 2 tulp.)	X	23	
Sisäsignaalivalot	Signaalivalot (4 tulp. 2 tulp.)	X	24	
Talokälytysvalot	Signaalivalot (4 tulp. sininen) Signaalivalot (4 tulp. punainen)	X	25, 26	

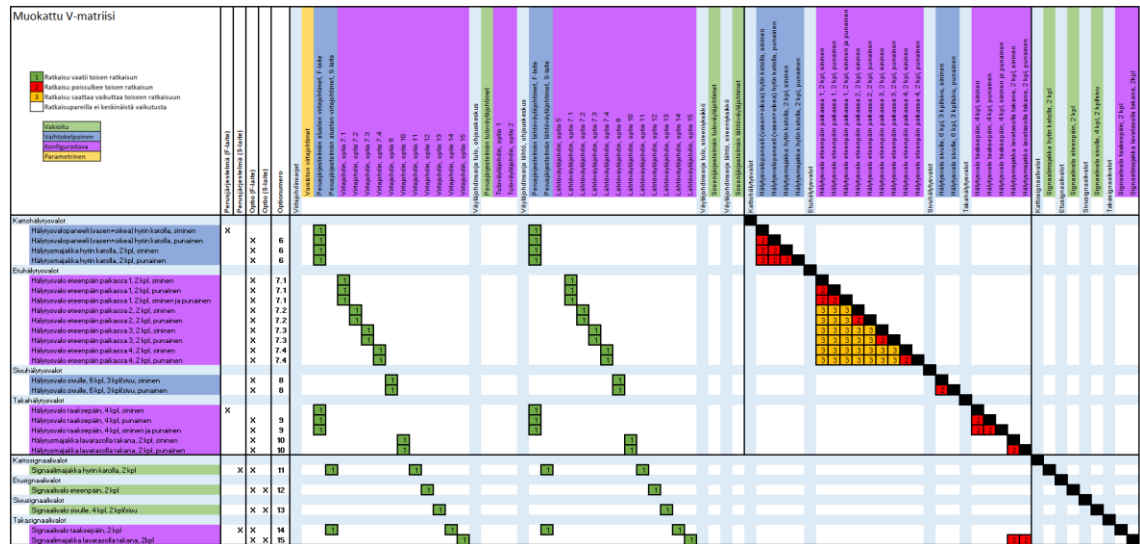
**Kuva 44.** Otos teknisten ratkaisujen ja muuntelutarpeiden konfigurointimatriisista

Konfigurointimatriisissa esitetään yksiselitteisesti mitkä tekniset ratkaisut vastaavat minkin muuntelutarpeisiin. Esimerkiksi kattohälytysvaloille tarvitaan neljä teknistä ratkaisua, koska siitä vaaditaan kaksi eri väri vaihtoehtoa (sininen tai punainen) ja kaksi eri mallia (valopaneeli tai majakka). Eri vaihtoehdot ovat keskenään vaihtokelpoisia, eli konfiguraatioon voidaan valita vain yksi vaihtoehto. Lisäksi matriisista nähdään, että sininen valopaneeliratkaisu kuuluu F-laitteiden perusjärjestelmään ja muut ratkaisut ovat vaihtoehtoisia optioita, joita myydään optionumerolla kuusi. Kattohälytysvalot ovat saatavilla vain F-laitteeseen.

Konfigurointimatriisi esittää teknisten ratkaisujen ja muuntelutarpeiden väliset yhteydet yksiselitteisesti, mutta sen esittämä tieto teknisten ratkaisujen keskinäisestä yhteensopivuudesta ei ole aukotonta, etenkin konfiguroitavien elementtien osalta. Teknisten ratkaisujen keskinäisen yhteensopivuuden määrittämiseen ja esittämiseen käytettiin muokattua V-matriisia BfP:n kahdeksannen vaiheen mukaisesti. Matriisiin listattiin generiset elementit ja niiden tekniset ratkaisut samassa järjestyksessä vaakasarakkeisiin ja pysty-riveihin. Teknisten ratkaisujen välistä yhteyttä ”ratkaisu vaatii toisen ratkaisun” kuvattiin



luvulla 1, ”ratkaisu poissulkee toisen ratkaisun” luvulla 2 ja ”ratkaisu saattaa vaikuttaa toiseen ratkaisuun” luvulla 3. Yhteyskohta jätettiin tyhjäksi, jos teknisten ratkaisujen välillä ei ole yhteyttä. Myös tässä matriisissa yhteystyypeille lisättiin numerokoodin lisäksi väritunniste luettavuuden helpottamiseksi ja visuaalisuuden lisäämiseksi. Kuvassa 45 on esitetty otos muodostetusta yhteensopivuusmatriisista, jossa esitetään ”Alustan/rungon hälytysvalot” ja ”Alustan/rungon signaalivalot” -kategorioiden sisältämien geneeristen elementtien teknisten ratkaisujen yhteensopivuustieto. Täydellinen versio yhteensopivuusmatriisista on esitetty liitteessä E.



Kuva 45. Otos teknisten ratkaisujen yhteensopivuusmatriisista

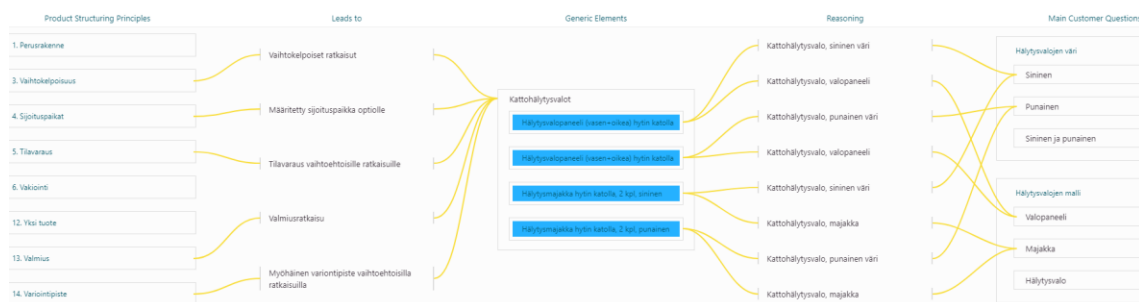
Yhteensopivuusmatriisissa esitetään yksiselitteisesti teknisten ratkaisujen keskinäinen yhteensopivuus. Esimerkiksi takahälytysvaloja tarkastelemalla huomataan, että konfiguroitavalla elementillä on viisi teknistä ratkaisua, jotka ovat jaettu kahteen eri option. Lisäksi optionumeron yhdeksän ratkaisut ovat vaihtoehtoisia optioita F-laitteen perusjärjestelmään kuuluvalla ratkaisulle. Yleisenä logiikkana voidaan määrittää, että samalle optionumerolle voi olla useita teknisiä ratkaisuja, mutta niistä voidaan valita samanaikaisesti käytettäväksi vain yksi vaihtoehto. Matriisia lukemalla nähdään, että optiot yhdeksän ja kymmenen voidaan valita konfiguraatioon samanaikaisesti, mutta option kymmenen valitseminen poissulkee option viisitoista käyttämisen.

BfP:n kahdeksannen vaiheen tulokset, konfigurointimatriisi ja yhteensopivuusmatriisi, esittävät yksiselitteisesti teknisten ratkaisujen ja muuntelutarpeiden väliset yhteydet sekä teknisten ratkaisujen keskinäisen yhteensopivuuden. Tässä tapauksessa näiden matriisien esittämä tieto on erittäin hyödyllistä, koska yrityksessä ei ole vielä käytössä erillistä konfiguraattoria, vaan laitteiden valmistusrakenne tuotetaan toistaiseksi tuoterakenteen manuaalisella konfiguroinnilla. Matriiseissa esitetty tieto on hyödyllistä myös konfiguraattorin sääntöjen luomisessa, kun konfiguraattorin käyttöönotto on yrityksessä ajankohtaista.

### 6.5 Dokumentointi

Aikaisemmissa vaiheissa on tuotettu ja dokumentoitu hyvin visuaalista tietoa suunnittelusta tuoteperheestä ja jatkosuunnitteluvaiheen jälkeen kaikki tuoteperheen varsinaisen

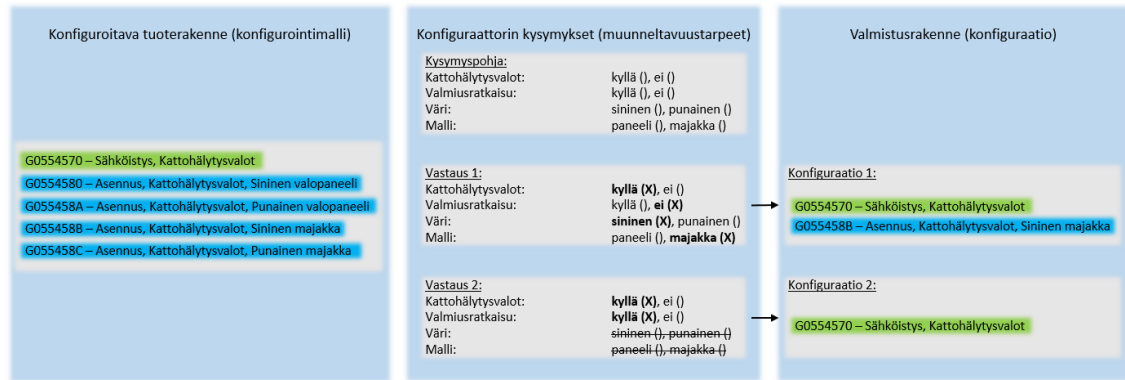
suunnitteluun tarvittava tieto on luotu. Aikaisemmissa vaiheissa tuotettu tieto on kuitenkin hyvin pirstoutunutta, jonka takia moduulijärjestelmään liittyvä tieto on järkevää dokumentoida tiiviiseen muotoon, varsinaisen suunnittelutyön tueksi. Dokumentointivaiheessa, suunniteltu tuoteperhe dokumentoidaan suunnittelun päättelyketjun näkökulmasta BfP:n yhdeksännen vaiheen mukaisesti, muodostamalla PSBP. Tässä tapauksessa PSBP muodostettiin selainpohjaisella ohjelmalla luvussa 4.2.9 mainitun viimeisimmän näkemyksen mukaisesti. Kuvassa 46 on esitetty otos muodostetusta PSBP:stä, jossa esitetään ”Kattohälytysvalot” geneerisen elementin ja sen sisältämien teknisten ratkaisujen yhteydet aiemmin tunnistettuihin muuntelutarpeisiin ja tässä tapauksessa relevantteihin tuoterakenteen suunnitteluperiaatteisiin. Täydellinen versio PSBP:stä on esitetty liitteessä F.



**Kuva 46. Otoks PSBP:stä**

PSBP visualisoi ja perustelee suunnitellun moduulijärjestelmän rakenteellisen jakotavan. Esimerkiksi yllä olevaa kuvaa tarkastelemalla nähdään, että kattohälytysvaloille täytyy suunnitella neljä erilaista teknistä ratkaisua, jotka ovat toistensa suhteen vaihtoeelisia ratkaisuja. Perustelut tarvittaville neljälle ratkaisulle esitetään muuntelutarpeiden ja teknisten ratkaisujen välisillä yhteyksillä. Kattohälytysvalojen väriin ja malliin liittyy molempiin kaksi muuntelutarvetta, joista voidaan muodostaa yhteensä neljä erilaista malli ja väriparia, näin ollen muuntelutarpeiden täyttämiseen vaaditaan neljä erilaista teknistä ratkaisua. Kuvaa 46 tarkastelemalla huomataan myös, että geneeriseen elementtiin ”Kattohälytysvalot” on linkitetty PSP:t 3, 4, 5, 13 ja 14. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseisen geneerisen elementin neljän teknisen ratkaisun suunnittelussa tulee ottaa huomioon edellä mainittujen PSP:n suunnittelua ohjaavat periaatteet ja säännöt. Esimerkkitapauksessa kattohälytysvalojen kaikilla neljällä ratkaisulla pitää olla sama rajapinta, valmiiksi määritetty sijoituspaikka ja tilavaraukset dokumentaatio. Lisäksi kattohälytysvaloihin liittyy valmiusvaatimus ja myöhäisen vaiheen muuntelu eli suunniteltavien ratkaisujen rakenne tulee jaotella siten, että muuntelun aiheuttama komponentti on ylimmällä mahdollisella rakennetasolla. Kuvassa 47 on havainnollistettu tuotteen kattohälytysvalojen konfiguraation määrättyminen muuntelutarpeiden perusteella.





**Kuva 47. Esimerkki konfiguraation määrittämisestä**

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, niin kaikki neljä teknistä ratkaisua hyödyntävät samaa sähköistysnimikettä, mutta jokaiselle ratkaisulle on oma asennusnimike. Sähköistysnimikkeen lisäksi konfiguraatioon realisoituva asennusnimike määräytyy sen mukaan mitä muuntelutarpeita kattohälytysvaloihin kussakin tapauksessa kohdistuu. Jos asiakkaalle ei kelpaa valmis ratkaisu vaan hän haluaa itse määrittää mitä valokomponenttia laitteessa käytetään, eli tuotteeseen kohdistuu valmiusvaatimus, niin konfiguraatioon realisoituu vain sähköistysnimike. Tässä raportoinnissa on esitetty yksityiskohtaisesti vain ”Kattohälytysvalot” toiminnon rakenteellinen jakotapa ja konfiguraation määrittämislogiikka, mutta vastaavaa ajatustapaa hyödynnetään järjestelmän kaikkien toimintojen kohdalla.

Yhteenvedona PSBP:ia tarkastelemalla suunnittelija näkee nopeasti tekniset ratkaisut, jotka täytyy suunnitella. Muuntelutarpeet ovat linkitetty teknisiin ratkaisuihin perustellen tarpeen erilaisille ratkaisuille. Lisäksi generiseen elementtiin linkitetty PSP:t ohjaavat teknisten ratkaisujen suunnittelua konkreettisilla periaatteilla ja säännöillä, joita noudattamalla suunniteltavasta tuoteperheestä muodostuu modulaarinen ja helposti konfiguroitava kokonaisuus.

Kuten myös aiemmin on todettu, niin tämän tapauksen kohdalla ei toteutettu BfP:n kymmenennen vaiheen mukaista liiketoimintavaikutusanalyysia, koska liiketoiminnalliset vaikutukset eivät ole niin merkityksellisiä tässä tapauksessa. Tämän tapauksen osalta tärkeintä antaa BfP:n läpiviennissä on modulaarisen tuoteperheen rakenteellisen jakotavan määrittäminen ja dokumentointi sekä konfigurointi- ja yhteensopivuusmatriisien sisältö.

## 7. TULOKSET JA ANALYYSI

Tämän luvun aliluvussa 7.1 esitetään vastaukset tutkimuskysymyksiin, jotka määritettiin luvussa 2.1. Lisäksi aliluvussa 7.2 tapaustutkimuksen tulokset tiivistetään yhteen ja niiden pohjalta esitetään suositellut jatkotoimenpiteet yritykselle. Lopuksi aliluvussa 7.3 tarkastellaan tutkimukselle asetettujen tavoitteiden saavuttamista.

### 7.1 Tutkimuskysymyksien vastaukset

Tutkimuskysymykset määritettiin luvussa 2.1 ja niihin vastattiin jo aiemmissa luvuissa epäsuorasti. Seuraavaksi tutkimuskysymykset kerrataan ja niihin esitetään suora vastaus tiivistetysti.

**TK 1:** Mikä on tutkimuksen nykytaso muunneltavan tuotteen tuotekehityksen, moduloinnin ja konfiguroinnin saralla?

Tutkimuksen kirjallisuuskatsaus on hyvin kattava läpileikkaus tutkimuksen aihealueeseen liittyvän tutkimuksen nykytasosta. Aihealueen viimeisintä tutkimustietoa edustaa tutkimuksen empiirisessäkin osuudessa sovellettu **BfP -menetelmä**. Sovellettu menetelmä kuitenkin pohjautuu jo olemassa olevaan tietoon moduulijärjestelmän viidestä pääelementistä, jotka ovat **jakologiikka, moduulit, rajapinnat, arkkitehtuuri ja konfigurointitieto**. Uutena asiana tutkimuksen aiheen teoreettisessa viitekehityksessä on moduulijärjestelmän viiden pääelementin kokonaisvaltainen hyödyntäminen modulaarisen konfiguroitavan tuoteperheen suunnittelutietoa tuottaessa. Kokonaisvaltaisena vastauksena ensimmäiseen tutkimuskysymykseen toimii kirjallisuuskatsaus, joka on esitetty luvuissa 3 ja 4.

**TK 2:** Minkälainen on uudelleensuunnitellun nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän rakenteellinen jakotapa?

Uudelleensuunniteltu nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmä voidaan jakaa toimintojen mukaan kolmeen kategoriaan: toiminnolliset elementit, ohjauslaitteet ja johtosarjat. **Toiminnolliset elementit** sisältävät järjestelmän valokomponentit kuten hälytysvalot ja työvalot. **Ohjauslaitteisiin** sisältyy eri puolilla nostolavalaitetta sijaitsevat hallintapaneelit ja ohjauskeskukset, joiden avulla järjestelmän käyttäjä lähettää valokomponenteille haluamansa ohjaustiedon. **Johtosarjoihin** sisältyy valokomponenttien virransyöttö ja valojen ohjaustiedon välittäminen hallintapaneelilta ohjauskeskuksen kautta valokomponenteille. Asiakkaan näkökulmasta toiminnolliset elementit ovat järjestelmän näkyvin osa-alue ja niistä asiakas on valmis maksamaan. Toiminnolliset elementit vaativat toimiakseen kuitenkin ohjauslaitteen ja johtosarjan, jotka ovat asiakkaan näkökulmasta järjestelmän piilossa olevia osa-alueita. Ohjauslaitteiden ja johtosarjojen rakenteellisen arkkitehtuurin toteuttaminen mahdollisimman yksinkertaisesti ja edullisesti on avainasemassa järjestelmän kilpailukykyyn varmistamisessa. Kun asiakkaan näkökulmasta järjestelmän piilossa olevat osa-alueet ovat toteutettu tehokkaasti, niin varsinaisia toimintoja voidaan tarjota asiakkaille kilpailukykyisillä hinnoilla.

Järjestelmän tuotearkkitehtuuri on tyypiltään avoin modulaarinen ja se rakentuu 145 teknisestä ratkaisusta, jotka voidaan jakaa ratkaisutyypin mukaan neljään kategoriaan: vakioitu, vaihtokelpoinen, konfiguroitava ja parametrinen. **Vakioidussa** ratkaisussa toimintoon liittyy vain yksi ratkaisu, joka on aina samanlainen. **Vaihtokelpoisessa** ratkaisussa toiminnolle on useita ratkaisuja, joista voidaan valita samanaikaisesti käytettäväksi maksimissaan yksi. **Konfiguroitavassa** ratkaisussa toiminnolle on useita vaihtoehtoisia ratkaisuja, joita voidaan käyttää samanaikaisesti yhdessä tai erikseen konfiguraatiosääntöjen mukaisesti. **Parametrisessa** ratkaisussa toimintoon liittyy vain yksi ratkaisu, jota muutetaan tapauskohtaisesti antamalla tietyille parametriselle arvolle eri arvoja toiminnallisten rajojen sisällä.

Järjestelmän tekniset ratkaisut ovat jaettu kuulumaan joko perusjärjestelmään tai optioihin. **Perusjärjestelmä** toimii modulaarisen tuoteperheen tuotealustana, eli siihen sisältyvät tekniset ratkaisut löytyvät jokaisesta tuoteperheen tuotevariantista. Kaikki perusjärjestelmään kuuluvat ratkaisut ovat vakioituja. Järjestelmän muuntelu toteutetaan **optioilla**, jotka ovat joko vakioituja tai vaihtoehtoisia ratkaisuja. Vakioidut optiot eivät vaadi tuotevarianttia konfiguroidessa muuta määrittelyä kuin sen, halutaanko option mukainen toiminto konfiguroitavaan laitteeseen vai ei. Vaihtoehtoiset optiot vaativat tämän lisäksi vielä määrittelyä käytettävästä vaihtoehdosta. Vaihtoehtoisia ratkaisuja voidaan valita toiminnosta riippuen samanaikaisesti käytettäväksi joko yksi tai useampi. Ratkaisujen keskinäinen yhteensopivuus on esitetty yhteensopivuusmatriisissa.

Edellä esitetyn järjestelmäkuvauksen lisäksi tiivistettynä ja visuaalisena vastauksena toiseen tutkimuskysymykseen toimii liitteiden D, E ja F sisältö. Liitteessä D on esitetty järjestelmän konfigurointimatriisi, liitteessä E yhteensopivuusmatriisi ja liitteessä F PSBP. Lisäksi alikysymyksien TK 2.1, TK 2.2 ja TK 2.3 vastaukset esittävät yksityiskohtaisemmin järjestelmän rakenteellisen jakotavan tärkeimpiä osa-alueita ja niiden välisiä riippuvuussuhteita.

**TK 2.1:** Mitkä tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet ovat relevantteja nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmässä?

Nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän kohdalla relevantit tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet ovat:

- Perusjärjestelmän määrittäminen (PSP 1)
- Vaihtokelpoiset pääkomponentit (PSP 3)
- Vakioidut sijoituspaikat optioille (PSP 4)
- Tilavaraukset pääkomponenteille (PSP 5)
- Asiakkaille lisäarvoa tuottamattomien osa-alueiden vakiointi (PSP 6)
- Ei valmiiksi määritettyjä konfiguraatioita vaan yksi joustava ratkaisu (PSP 12)
- Valmius kolmansien osapuolien komponenteille (PSP 13)
- Myöhäisen vaiheen muuntelu (PSP 14)

Luvussa 6.2 perustellaan miksi yllä listatut PSP:t ovat relevantteja nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän kohdalla.

**TK 2.2:** Mihin geneeriseen elementtiin kukin tunnistettu tuoterakenteen suunnitteluperiaate on kohdistettu ja miksi?

PSBP:ssa (Liite F) on esitetty tuoterakenteen suunnitteluperiaatteiden ja geneeristen elementtien väliset yhteydet. Yhteyksiin on lisätty myös lyhyt kuvaus yhteydestä. Lisäksi luvussa 6.5 käsitellään esimerkin omaisesti geneeriseen elementtiin ”*Kattohälytysvalot*” kohdistuvat tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet ja niiden tarkoitus yksityiskohtaisemmin.

**TK 2.3:** Mihin geneeriseen elementtiin muuntelutarpeet ovat kohdistettu ja miksi?

PSBP:ssa (Liite F) ja konfigurointimatriisissa (Liite D) on esitetty muuntelutarpeiden ja geneeristen elementtien väliset yhteydet. Liitteessä A esitettyyn taulukkoon on koottu perustelut muuntelutarpeiden kohdistumisesta tiettyyn geneeriseen elementtiin. Lisäksi luvussa 6.4 käsitellään esimerkin omaisesti geneeriseen elementtiin ”*Kattohälytysvalot*” kohdistuvat muuntelutarpeet ja niiden tarkoitus yksityiskohtaisemmin.

## 7.2 Tulokset ja jatkotoimenpiteet yrityksessä

Olemassa olevan hälytys- ja valaistusjärjestelmän suurin ongelma oli yleisellä tasolla tuotetarjonnan selkeän kokonaiskuvan puuttuminen suunnittelun, tuotehallinnan, myynnin ja tuotannon välillä. BfP:n tuloksena uudelleensuunniteltu järjestelmä on selkeästi määritetty kokonaisuus, jonka sisältö on jaettu perusjärjestelmään ja lisävarusteina myytäviin optioihin. Optiot ovat yksiselitteisiä (malli, väri, sijoituspaikka) ja niiden tarpeellisuus on perusteltu ja dokumentoitu. Järjestelmän sisältö vastaa kaikkiin muuntelutarpeisiin ja tuotetarjonta vastaa suunniteltuja ratkaisuja. Tarvittavien komponenttien määrää on pienennetty määrittämällä vakioituja osa-alueita ja hyödyntämällä myöhäisen vaiheen muuntelua tuoterakenteiden jäsentämisessä.

Uudelleensuunnitellun nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän rakenteellinen jakotapa on muodostettu järjestelmän vaatimien toimintojen pohjalta. Käytännön tasolla järjestelmän rakenteellinen jakotapa on hajautettu ”*sähköistys*” ja ”*asennus*” -nimikkeisiin. Sähköistysnimikkeet toimivat järjestelmän vakioidun osuuden perustana ja niiden suunnittelusta vastaa yrityksen sähkösuunnitteluosasto. Asennusnimikkeillä toteutetaan järjestelmän muuntelu ja niiden suunnittelusta vastaa yrityksen mekaniikkasuunnitteluosasto.

Yritys voi vähentää omien prosessien monimutkaisuutta ja lisätä tuotteiden kilpailukykyä jäsentelemällä tuoteperheen tuoterakenne BfP:n tuloksien mukaisella tavalla. BfP:n tulokset vastaavat uudelleensuunnitellun järjestelmän esisuunnittelua. Varsinainen yksityiskohtainen suunnittelutyö, jossa BfP:ssa määritetyt tekniset ratkaisut muutetaan tuotannossa käytettäväksi nimikkeiksi, voidaan aloittaa tämän tutkimuksen tulosten pohjalta. Tutkimuksessa tuotettu dokumentaatio tukee suunnittelutyötä esittämällä selkeästi mitä teknisiä ratkaisuja tarvitsee suunnitella.

Ennen varsinaisen suunnittelutyön aloittamista tutkimuksen tuloksille pitää hakea tuotehallinnan ja myyntiosaston hyväksyntä. PSBP:n analysoinnista muodostettu tuoterakenteen ehdotus perusjärjestelmän ja optioiden sisällöstä käydään läpi tuotepäälliköiden kanssa ja hyväksynnän jälkeen määritetään varsinaiset myyntioptiokoodit ja englannin-

kieliset optiokuvaukset. Tämän jälkeen tuotehallinta esittää uudelleensuunnitellun järjestelmän sisällön myyntiosastolle. Varsinainen suunnittelutyö voidaan aloittaa, kun myyntiosasto on antanut oman suostumuksena järjestelmälle.

Tämän tutkimuksen tuloksena saavutetut positiiviset kokemukset ja konkreettiset esimerkit moduulijärjestelmän luomisesta toimivat merkittävänä perusteena hyödyntää tutkimuksen aikana opittuja ja esitettyjä ideologioita myös koko nostolavalaitteeseen. Yrityksen nykyinen tuoteportfolio omaa vastaavia piirteitä ja ongelmia, kuin tämän tutkimuksen kohteena ollut hälytys- ja valaistusjärjestelmä. Moduulijärjestelmän laajentaminen kattamaan koko nostolavalaitte avaisi mahdollisuuksia tuottaa siitä seuraavia hyötyjä globaalilla tasolla.

### 7.3 Tavoitteiden saavuttaminen

Tutkimuksen päätavoitteena oli tutkia ”miten nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmään kohdistuvat globaalit vaatimukset ja asiakastarpeet hallitaan laajassa tuoteportfoliossa tehokkaasti huomioiden teknologian nopea kehitys”. Nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän rakenteellinen jakotapa määritettiin soveltamalla sen uudelleensuunnitteluun BfP:ia. Uusi jakotapa huomioi ja perustelee järjestelmään kohdistuvat globaalit vaatimukset ja asiakastarpeet tehokkaasti. Vakiointia on hyödynnetty järjestelmän teknisissä ratkaisuisissa siten, että samoja ratkaisuja voidaan käyttää mahdollisimman laajasti läpi tuoteportfolion. Jakotavan määrittämisessä on hyödynnetty myöhäisen vaiheen muuntelua, jolloin järjestelmä on tehokasta ylläpitää ja päivittää teknologian kehityksessä. Näin ollen tutkimuksen päätavoite saavutettiin.

Tutkimuksen akateemisenä tavoitteena oli ”tunnistaa uusia tuoterakenteen suunnitteluperiaatteita” ja ”havainnollistaa BfP:n soveltuvuutta käytännön kehitysprojektissa, jossa kehityskohteena ei ole itsessään yrityksen tarjoama tuote, vaan tarkastelu kohdistetaan tuotteesta eriytettyyn järjestelmään, joka on varsinaisen tuotteen osakokonaisuus”. Tutkimuksen empiirisessä osuudessa BfP:ia sovellettiin nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän uudelleensuunnitteluun onnistuneesti. Empiirisen osuuden aikana tunnistettiin ja määritettiin kaksi uutta tuoterakenteen suunnitteluperiaatetta. Näin ollen tutkimuksen akateemiset tavoitteet saavutettiin.

Tavoitteiden saavuttamisen lisäksi tutkija on kasvanut tutkimuksen aikana henkisesti. Tutkijan tietotaito konfiguroitavien modulaaristen tuoteperheiden kehittämisestä on noussut seuraavalle tasolle. Lisäksi tutkija on omaksunut tieteellisen tutkimuksen toimintatavat ja sisäistänyt tutkimuksen suorittamiseen liittyvät osa-alueet. Diplomityöprosessin aikana pidetyt palaverit, haastattelut ja työpajat ovat kehittäneet yhteistyötaitoja. Kaiken kaikkiaan diplomityöprosessi on kehittänyt tutkijaa ammatillisesti ja luonut tarvittavan pohjan työelämässä pärjäämiseen.

## 8. KESKUSTELU

Tutkimusta aloittaessa yrityksen kuvaus nostolavalaitteen olemassa olevan hälytys- ja valaistusjärjestelmän sisällöstä ja ongelmista oli hyvin selkeä. Toivottu tavoitetilä osattiin myös esittää selkeästi uudelta järjestelmältä odotettavien ominaisuuksien avulla. Tutkimuksen alussa harmaata aluetta oli varsinaiset keinot, joiden avulla nykytilanteesta päästään haluttuun tavoitetilään. Tästä syystä tutkimuksen alkuvaiheessa määritetyt tutkimuskysymykset TK 1 ja TK 2 ovat hyvin geneerisiä ja laajoja. Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastaaminen ja varsinaisten keinojen löytäminen vaativat perusteellista katsausta tutkimuksen aihealueen olemassa olevaan kirjallisuuteen. Perinpohjaisen kirjallisuuskatsauksen tuloksena löydettiin valmis menetelmä, jota voitiin soveltaa tarvittavana keinona halutun tavoitetilan saavuttamiseen. Sovellettavan menetelmän löytämisen jälkeen toiseen tutkimuskysymykseen vastaamisen tueksi määritettiin tarkentavat alikysymykset TK 2.1, TK 2.2 ja TK 2.3. Ensimmäinen tutkimuskysymys oltiin voitu määrittää yksityiskohtaisemmaksi, jos sovellettava menetelmä olisi ollut tiedossa jo tutkimuksen alkuvaiheessa. Tällöin kirjallisuuskatsaus olisi kuitenkin jäänyt suppeammaksi. Laaja kirjallisuuskatsaus toimii itsessään lyhyenä johdantona muunneltavien tuoterakenteiden suunnitteluun.

Konstruktiivinen tutkimusote oli sopiva lähestymistapa tähän tutkimukseen. Tutkimuksen tuloksena muodostettiin konstruktiio, joka toimii ratkaisuna yrityksen käytännön ongelmaan. Tämän tutkimuksen rajoissa ei kuitenkaan pystytty suorittamaan kaikkia konstruktivisen tutkimuksen vaiheita, sillä muodostetulle konstruktiolle ei toteutettu käytännön testausvaihetta. Yrityksellä oli kuitenkin jo alusta alkaen selkeä käsitys järjestelmään liittyvistä ongelmista. Näin ollen voidaan olettaa, että uusi konstruktiio toimii myös käytännössä, koska kaikkiin ongelmiin löydettiin ratkaisut.

Tapaus tutkimuksiin kohdistuu tyypillisesti kritiikkiä saavutettujen tulosten yleistettävyydestä ja tutkimuksen toistettavuudesta. Tämänkin tutkimuksen osalta esimerkeissä esitetyt yksityiskohtaiset teknisyydet eivät ole yleistettävissä muihin tapauksiin, mutta ylempältä tasolta tarkasteltuna empiirisen osuuden toimintatapa ja ideologiat ovat hyödynnettävissä myös muissa tapauksissa. Täten voidaan todeta tämän työn tulosten toimivan yleisellä tasolla referenssinä myös muille yrityksille, jotka kohtaavat vastaavanlaisia ongelmia omissa prosesseissaan. Toistettavuuden näkökulmasta konstruktiivinen tapaus tutkimus on haasteellinen. Tapauksen kertaluontoisuuden ja vapaamuotoisten aineistonhankintamenetelmien takia tutkimusta on mahdotonta toistaa uudelleen täsmälleen samalla tavalla.

Kirjallisuuskatsaus paisui tässä tapauksessa tyypillistä diplomityötä laajemmaksi. Osa syynä paisumiseen voidaan esittää tutkijan ja yrityksen tiedonpuute varsinaisista keinoista tai menetelmistä, joilla tapauksen ongelmaa lähdetäisiin ratkaisemaan. Toinen syy on tutkimusprosessin alussa tehty tietoinen päätös edistää sekä tutkijan että yrityksen yleistä tietoisuutta moduloinnin ja konfiguroinnin saralla. Toteutunut kirjallisuuskatsaus on varmasti tutkimuksen aiheen ja rajauksen näkökulmasta riittävä ja tietyiltä osin jopa liian kattava. Kirjallisuuskatsauksessa esiintyvien lähteiden etsiminen toteutettiin suorittamalla avainsanahakuja tieteellisiin tietokantoihin, ensisijaisesti Scopukseen

([www.scopus.com](http://www.scopus.com)). Lähdehaussa keskityttiin artikkeleihin, kirjoihin ja konferenssijulkaisuihin. Hakutermit rajattiin etsimään yhteyksiä lähteiden otsikosta, tiivistelmästä ja avainsanoista. Lähteiden etsimiseen käytetyt hakusanat olivat ”Configur\*”, ”Design”, ”Mass cust\*”, ”Modular\*”, ”Module”, ”Optio\*”, ”Product famil\*”, ”Product platfo\*”, ”Product structure” ja ”Varia\*”. Edellä esitetyillä hakusanoilla suoritettiin hakuja yksinään ja yhdistelmällä eri hakusanoja samaan hakuun ”AND” -konjunktioilla. Avainsanahauulla löydettiin kiitettävä määrä lähteitä ja lähdelistaa täydennettiin tunnistamalla uusia lähteitä löydettyjen lähteiden lähdeluetteloista. Lähteiden luotettavuutta ja merkittävyyttä arvioitiin selvittämällä lähteiden julkaisutaso, julkaisu-aika ja viittaussuure.

Nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän uudelleensuunnittelussa oltaisiin luultavasti päädytty samankaltaisiin tuloksiin, jos sovellettavaksi menetelmäksi olisi valittu BfP:n sijaan Erixonin (1998) esittämä MFD. MFD:ssa moduulijärjestelmän määrittämisen pääpaino on teknisten ratkaisujen arviointi moduulijäreita vastaan, kun taas BfP:ssa tutkitaan muuntelua aiheuttavien tarpeiden yhteyksiä tarvittaviin teknisiin ratkaisuihin. MFD:n moduulijurit omaavat yhtenäisiä piirteitä BfP:ssa käytettäviin tuoterakenteen suunnitteluperiaatteisiin. Moduulijurit ja tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet pyrkivät ohjaamaan tuoterakenteen suunnittelua siten, että muodostettu rakenteellinen jakotapa tukee liiketoiminnallisten tavoitteiden saavuttamista. Moduulijurit esittävät syitä modulaariselle tuoterakenteelle hyvin geneerisesti, kun taas tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet ovat muotoiltu säännöiksi, jotka ohjaavat tuoterakenteen suunnittelua. Tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet ovat yleistettäviä, mutta silti helposti omaksuttavia tapauskohtaisesti.

Tässä tapauksessa, sovellettaessa BfP:ia varsinaisen toimitettavan laitteen osakokonaisuuteen, se aiheutti tiettyjä muutoksia prosessin vaiheiden suorittamiseen. Ensinnäkin BfP:n neljännessä vaiheessa määritettävät asiakastarpeet eivät ole asiakkaan näkökulmasta yhtä tärkeitä kuin varsinaisen toimitettavan laitteen ominaisuudet. Tämän takia tässä tapauksessa BfP:n neljännettä vaihetta ei suoritettu ehdotetun ”Gripen” -menetelmän avulla, vaan muuntelua vaativien asiakastarpeiden tunnistamisen pohjana käytettiin olemassa olevan tuotteen myyntioptioita ja teknisiä ratkaisuja. Asiakastarpeiden lisäksi myös laaja laiteportfolio asettaa omat vaatimuksensa osakokonaisuudelle. Koska samaa järjestelmää on tarkoitus käyttää kaikissa laitemalleissa, niin kaikki eri laitteet miellettiin suunniteltavan järjestelmän asiakkaiksi, jotka aiheuttavat yrityksen sisäisiä muunteluvaatimuksia. Lisäyksenä BfP:n tyypilliseen seitsemännen vaiheen suorittamiseen, tässä tapauksessa tekniset ratkaisut jaettiin kuulumaan joko perusjärjestelmään tai optioihin.

BfP:n soveltaminen käytännön kehitysprojektiin luo itsessään uutuusarvoa modulaarisen konfiguroitavan tuoterakenteen suunnittelun viitekehukseen, koska BfP on menetelmänä verrattain tuore. Lisäksi tässä tutkimuksessa toteutettu BfP:n sovellustapa, jossa BfP:ia sovelletaan varsinaisen toimitettavan laitteen osakokonaisuuteen, luo uutuusarvoa edellisessä kappaleessa kuvatuilla tavoilla, vahvistaa BfP:n toimivuutta käytännön kehitysprojektien tukena ja todistaa BfP:n olevan menetelmänä joustava. Tapaustutkimuksen aikana tunnistetut kaksi uutta tuoterakenteen suunnitteluperiaatetta, jotka ovat esitetty luvussa 6.2, toimivat tutkimuksen akateemisena uutuusarvona.

Uudelleensuunnitellun nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän rakenteellisen jakotavan määrittämisessä oltaisiin voitu hyödyntää toimintopohjaisen jakotavan sijaan myös muita lähestymistapoja. Toimintoperusteisen jakotavan sijaan järjestelmän genee-

risiksi elementeiksi oltaisiin voitu määrittää esimerkiksi myös kuvassa 38 esitetyt kategoriat. Tällöin geneeristen elementtien määrä olisi vähentynyt huomattavasti, mutta tarvittavien teknisten ratkaisujen määrä olisi pysynyt ennallaan. Lisäksi geneeristen elementtien sisältämien teknisten ratkaisujen keskinäinen yhteneväisyys olisi vähentynyt ja konfigurointitiedon esittäminen olisi ollut monimutkaisempaa. Käytännön tasolla järjestelmän rakenteellinen jakotapa olisi voitu toteuttaa hajautetun järjestelmän sijaan myös integroituna järjestelmänä, jossa ”sähköistys” ja ”asennus” -nimikkeet olisivat yhdistetty samaan tekniseen ratkaisuun. Tällöin järjestelmään liittyvien muuntelutarpeiden määrä olisi vähentynyt, koska valitun jakotavan aiheuttamat sisäiset muuntelutarpeet olisivat jääneet kokonaan pois. Integroidun järjestelmän heikkoutena oli kuitenkin järjestelmän vakioitujen osuuden supistuminen hyvin pieneksi osa-alueeksi, järjestelmään liittyvän valmiusvaatimuksen toteuttamisen vaativuus ja järjestelmän suunnittelun vastuualueiden päällekkäisyys. Valitussa rakenteellisessa jakotavassa heikkoutena on muuntelutarpeiden suuri lukumäärä verrattuna muihin jakotapoihin. Muuntelutarpeiden lukumäärästä huolimatta käytettävien komponenttien lukumäärä on kuitenkin vastaava, kuin muissakin jakotavoissa. Valitun jakotavan merkittävimpinä etuina muihin jakotapoihin verrattuna havaittiin vakioitujen elementtien suuri osuus järjestelmästä, mahdollisuus varausvaatimuksen tehokkaaseen toteuttamiseen ja selkeästi määritettävät vastuualueet eri suunnitteluosastoille. Valittu jakotapa vaatii yhteistyötä yrityksen sähkösuunnitteluosaston ja mekaniikkasuunnitteluosaston välillä, mutta molemmilla osastoilla on selkeästi määritetyt vastuualueet toimintojen suunnittelusta.

Käytännön tasolla tutkimuksen empiirisen osuuden suorittamiseen liittyi joitain riskejä. Empiirisessä osuudessa tuotettu aineisto hankittiin vapaamuotoisesti osallistuvan havainnoinnin, puolistrukturoitujen täsmäryhmähaastattelujen, työpajojen ja yrityksen sisäisen tietokannan avulla. Käytetyissä aineistonhankintamenetelmissä piilee riski, että joitain tutkimuksen kannalta kriittisiä näkökulmia on jäänyt tarkastelun ulkopuolelle. Muodostetut tulokset pohjautuvat tutkijan ja projektiryhmän muodostamiin tulkintoihin kerätyistä aineistosta, jonka takia tuloksiin tulee suhtautua yleisellä tasolla subjektiivisesti. Lisäksi muuntelua vaativien tarpeiden tunnistamisen perustana käytetty olemassa olevan tuotteen myyntioptiolista aiheuttaa riskin mahdollisista turhista muuntelutarpeista. Kaikki tunnistetut muuntelutarpeet kuitenkin arvioitiin kriittisesti pyrkien todentamaan niiden ajantasaisuus. Jos suunnitellut ratkaisut eivät vastaakaan tunnistettuihin muuntelutarpeisiin tai muuntelutarpeet muuttuvat, niin uusien muuntelutarpeiden ja teknisten ratkaisujen lisääminen järjestelmään on dokumentoidun jakotavan ansiosta tehokasta ja helppoa. Viimeisenä riskinä tutkimuksen tuloksien käytettävyydelle on määritetyn jakotavan implementointi yrityksen omiin tietojärjestelmiin. Jakotavan rakenteellisen logiikan määrittämisessä on huomioitu yrityksen nykyinen toimintamalli, joten uudelleensuunnitellun järjestelmän käyttöönotossa ei pitäisi muodostua yrityksen tietojärjestelmistä johtuvia esteitä.

Yrityksen toimittavaan laitteeseen liittyvät myyntioptiot ovat luokiteltu joko standardeiksi tai epästandardeiksi. BfP:n avulla uudelleensuunniteltu hälytys- ja valaistusjärjestelmä täyttää 100% standardioptioihin liittyvät asiakasvaatimukset. Uudelleensuunniteltu järjestelmä on tuotetyypiltään konfiguroitava tuote, koska se täyttää kaikki asiakastarpeet valmiiksi suunnitelluilla ratkaisuilla. Yrityksen toimittamat laitteet ovat kuitenkin kokonaisuudessaan niin räätälöitäviä, että tulevaisuudessa törmätään mitä todennäköisimmin myös hälytys- ja valaistusjärjestelmän kohdalla niin yksilöllisiin asiakastarpeisiin, että nii-



hin ei löydy valmiiksi suunniteltua ratkaisua, jolloin järjestelmään täytyy lisätä tilauskohtaisesti määritettäviä elementtejä. Tällöin järjestelmä muuttuu tuotetyypiltään muunneltavaksi tuotteeksi. Tilauskohtaisesti määritettävien elementtien kanssa toimeentulo on yrityksessä tällä hetkellä osa jokapäiväistä toimintaa, joka on yleisesti tiedostettu ja hyväksytty asia. Epästandardeja optioita ei voida ennustaa ja niiden täyttämässä ei voida välttää tilauskohtaisesti määritettävien elementtien käyttöä, mutta standardioptiot pyritään tunnistamaan ajoissa ja uudelleensuunniteltua järjestelmää päivitetään siten, että se täyttää aina 100% standardioptioihin liittyvät asiakasvaatimukset. Tällöin laitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmä on tuotetyypiltään aina konfiguroitava tuote, jos laitteeseen myydyt optiot ovat standardioptioita.

Olemassa olevaan nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmään verrattuna uudelleensuunniteltu järjestelmä on useasta näkökulmasta tarkasteltuna yksinkertaisempi ja helpommin hallittava kokonaisuus. Järjestelmän toteuttamiseen käytettävien nimikkeiden lukumäärää on vähennetty etenkin ostettavien komponenttien osalta. Olemassa olevassa järjestelmässä saman toiminnon toteuttamiseen on useassa tapauksessa käytetty useita erilaisia valokomponentteja, vaikka kyseiseen toimintoon ei kohdistu mitään muuntelutarpeita. Uudelleensuunnitellussa järjestelmässä kaikkien komponenttien käytölle löytyy perusteltu tarve, joka periytyy todellisista ja ajantasaisista muuntelutarpeista. Uudelleensuunnitellun järjestelmän toteuttamiseen tarvittavien teknisten ratkaisujen lukumäärä sen sijaan kasvoi verrattuna olemassa olevaan järjestelmään. Tämä johtui siitä, että olemassa olevan järjestelmän tekniset ratkaisut olivat puutteellisia ja ne eivät täyttäneet kaikkia järjestelmään kohdistuvia vaatimuksia. Uudelleensuunnitellun järjestelmän tekniset ratkaisut täyttävät kaikki järjestelmään kohdistuvat vaatimukset ja tarpeet mahdollisimman vähäisellä muuntelulla. Lisäksi järjestelmän tuoterakenne on jäsenneilty myöhäisen vaiheen muuntelun avulla, jolloin teknisten ratkaisujen ylläpito on tehokasta teknologian kehittyessä. Myös järjestelmän myymiseen käytettävien myyntioptioiden lukumäärä lisääntyi lähtötilanteeseen verrattaessa. Tämä johtuu siitä, että aikaisemmin myyntioptioiden kuvaukset olivat hyvin epämääräisiä ja eivät kuvanneet myytävää toimintoa riittävän tarkasti, joka aiheutti erinäisiä ongelmia asiakkaan, myyjän, suunnittelun ja tuotannon välisessä tiedonkulussa. Nyt myyntioptioita on enemmän kuin aikaisemmin, mutta ne ovat yksiselitteisiä ja vastaavat täysin järjestelmän teknisiä ratkaisuja. Kaiken kaikkiaan järjestelmän kompleksisuus on pienentynyt uudelleensuunnittelun ja BfP:n soveltamisen avulla. Järjestelmän yksityiskohtainen suunnittelu, konfigurointi, myynti ja ylläpito on nopeaa ja suoraviivaista prosessissa tuotetun dokumentaation myötä.

Tutkimuksen tulosten mukaisten arvioitujen hyötyjen todentamiseksi olisi kiinnostavaa seurata varsinaisen yksityiskohtaisen suunnittelutyön prosessia tutkimalla, miten järjestelmä rakentuu käytännössä ja miten tämän tutkimuksen tuloksena määritetty jakotapa implementoidaan yrityksen sisäisiin tietojärjestelmiin. Suunnitteluprosessin seurannan lisäksi määrällisellä tutkimuksella voitaisiin tutkia uudelleensuunnitellun järjestelmän avulla saavutettuja etuja tarkemmalla tasolla.

## 9. YHTEENVETO

Tässä diplomityössä tutkittiin muunneltavien tuotteiden rakenteellista suunnittelua ja tuoterakenteen jakotavan määrittämistä esimerkkitapauksen avulla. Diplomityön toimeksiantajayrityksenä toimi Bronto Skylift Oy Ab. Esimerkkitapauksena käsiteltiin nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmää, joka on toimeksiantoyrityksen varsinaisen toimitettavan tuotteen osakokonaisuus.

Tutkimuksen suorittaminen alkoi tavoitteiden määrittämisellä, joiden perusteella muodostettiin tutkimuskysymykset. Tutkimuskysymyksien avulla määritettiin tutkimuksen suorittamista tukeva tutkimusote, tutkimusstrategia ja aineistonhankintamenetelmät. Tutkimusasetelman määrittämisen jälkeen varsinainen tutkimus aloitettiin kirjallisuuskatsauksella. Seuraavaksi nostolavalaitteen olemassa olevan hälytys- ja valaistusjärjestelmän nykytilaa analysoitiin ja määritettiin tutkimuksen empiirisen osuuden tavoitteet. Lopuksi nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmän uudelleensuunnitteluun sovellettiin modulaarisen konfiguroitavan tuoteperheen suunnittelun tueksi kehitettyä ”Brownfield Process” -menetelmää.

Kirjallisuuskatsaus edisti tutkijan tietämystä modulaaristen ja konfiguroitavien tuoterakenteiden saralla huomasti. Muunneltavien tuotteiden, konfiguroinnin, moduloinnin ja muunneltavien tuoterakenteiden aihealueella esiintyvien termien määrittäminen ja niihin liittyvän perusteorian ymmärtäminen auttoi hahmottamaan tutkimuksen aihealuetta ja siihen liittyvää kirjallisuutta kokonaisvaltaisesti. Perusteorian ja termistön ymmärtäminen mahdollisti niitä hyödyntävien työkalujen ja suunnitteluprosessien käyttämisen. Suunnitteluprosessien tutkiminen paljasti myös niiden soveltamisella saavutettavat mahdolliset hyödyt. Suunnitteluprosessien avulla saavutettavien hyötyjen tunnistaminen ohjasi sopivimman prosessin valintaan. ”Brownfield Process” -menetelmällä saavutettavat hyödyt vaikuttivat tuottavan ratkaisun kaikkiin yrityksen määrittämiin ongelmiin. Etenkin tuoteperheen jakotavan dokumentointi suunnittelun päättelyketjun näkökulmasta ja konfigurointitiedon esittäminen sinetöi tässä tapauksessa päätöksen sovellettavasta suunnitteluprosessista.

Diplomityön toimeksiantajayritys tarjoaa toimituskohtaisesti muunneltavia tuotteita, joissa muuntelu toteutetaan lisäämällä laitteiden perusrakenteille valmiiksi suunniteltuja optioratkaisuja ja toisinaan lisäämällä joukkoon myös toimituskohtaisesti suunniteltuja ratkaisuja. Muunneltavien tuotteiden tarjoaminen aiheuttaa erinäisiä haasteita tuotehallinnan saralla. Ajan saatossa vaikeasti hallittavaksi kokonaisuudeksi muodostunut osalualue oli laitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmä. Nykytila-analyysi paljasti, että uusia teknisiä ratkaisuja oli kehitetty markkinoiden ja asiakastarpeiden muuttuessa, mikä johti ajan myötä epäedulliseen tilanteeseen, jossa tuotehallinta ja laitteen tilaus-toimitusprosessi ei vastannut asiakkaiden tarpeisiin optimaalisesti ja tilaustoimitusprosessi ei pysynyt kehityksen mukana. Tämä toimi motivaationa hälytys- ja valaistusjärjestelmän uudelleensuunnittelulle, joka toteutettiin ”Brownfield Process” -menetelmän vaiheiden mukaisesti.

Uudelleensuunnittelu aloitettiin liiketoimintaympäristön asettamien tavoitteiden määrittämisellä. Koska olemassa olevaan järjestelmään liittyvät ongelmakohdat olivat yritykselle ilmeiset ja uudelleensuunnittelulla tavoiteltavista hyödyistä oli yrityksen sisällä yhteinen

ymmärrys, niin liiketoimintaympäristön asettamat tavoitteet varmistettiin yksinkertaisen syy-seurauskaavion avulla. Tavoitteiden määrittämisen lisäksi järjestelmään kohdistuvat muuntelutarpeet piti tunnistaa. Muuntelutarpeiden tunnistamisessa käytettiin pohjana olemassa olevan järjestelmän myyntioptioita ja suunniteltuja ratkaisuja. Muuntelutarpeita periytyi asiakasympäristön lisäksi yrityksen sisäisistä prosesseista. Muuntelutarpeita tunnistettiin yhteensä 113 kappaletta, jotka määritettiin liittymään muunteluryhmiin, joita määritettiin yhteensä 10 kappaletta. Sisäisistä prosesseista periytyvät muuntelutarpeet liittyivät laiteportfolioon ja paikoitukseen. Asiakasympäristöstä periytyvät muuntelutarpeet liittyivät sen sijaan valojen lukumäärään, väriin ja malliin.

Tavoitteiden ja muunteluvaatimuksien määrittämisen jälkeen tunnistettiin tapauskohtaisesti relevantit tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet, jotka ohjaavat tuoterakenteen suunnittelua siten, että muodostettu rakenteellinen jakotapa tukee liiketoiminnallisten tavoitteiden saavuttamista. Olemassa olevien periaatteiden joukosta tunnistettiin tässä tapauksessa relevanteiksi viisi periaatetta, joiden lisäksi tutkimuksen aikana tunnistettiin ja määritettiin kaksi uutta tuoterakenteen suunnitteluperiaatetta. Geneerinen elementtimalli luotiin listaamalla ylös kaikki järjestelmään liittyvät toiminnot, jonka jälkeen olemassa oleva tuoterakenne järjestettiin siten, että olemassa olevat tekniset ratkaisut vastaavat tiettyä toimintoa. Valmis geneerinen elementtimalli koostui 44 geneerisestä elementistä. Seuraavaksi muodostettiin alustava arkkitehtuuri, jossa visualisoitiin geneeristen elementtien sijainnit laitteessa ja esitettiin niiden väliset yhteydet, eli rajapinnat ja vuorovai-  
kutukset.

Alustava tuoteperhemääritelmä muodostettiin listaamalla muunteluryhmät, geneeriset elementit sekä tarvittavat osat ja kokoonpanot yhteen näkymään ja esittämällä listojen väliset yhteydet. Alustava konfigurointitieto määritettiin vastaavasti muodostamalla konfigurointimatriisi, jossa esitettiin muunteluryhmien ja geneeristen elementtien väliset yhteydet.

Lopullinen modulaarinen arkkitehtuuri muodostettiin määrittämällä geneeristen elementtien ratkaisutyypit, varsinaiset tekniset ratkaisut ja järjestelmän rajapinnat. Teknisiä ratkaisuja määrittäessä peruseriaatteena oli minimoida niiden kokonaislukumäärä ja maksimoida vakioitujen ratkaisujen osuus. Järjestelmän pitää olla asiakkaan näkökulmasta muunneltava, mutta samaan aikaan yrityksen omien prosessien hallinta täytyy pysyä yksinkertaisena. Lopullisen määritelmän mukaan järjestelmä koostuu 145 teknisestä ratkaisusta, joista 26 kappaletta on ratkaisutyypiltään vakioituja. Modulaarisen arkkitehtuurin muodostamisen jälkeen määritettiin lopullinen konfigurointitieto. Aiemmin luotua konfigurointimatriisia päivitettiin lisäämällä siihen varsinaiset tekniset ratkaisut ja määrittelemällä muuntelutarpeiden ja teknisten ratkaisujen väliset yhteydet. Konfigurointimatriisiin lisäksi muodostettiin myös yhteensopivuusmatriisi, jossa esitetään teknisten ratkaisujen keskinäinen yhteensopivuus. Konfigurointimatriisiin ja yhteensopivuusmatriisiin avulla kuvataan järjestelmän konfigurointitieto yksiselitteisesti, eli mitkä tekniset ratkaisut vastaavat mihinkin muuntelutarpeeseen ja miten teknisiä ratkaisuja voidaan käyttää samanlaisesti.

Viimeisenä vaiheena, uudelleensuunnitellun tuoteperheen varsinaiseen tekniseen suunnitteluun tarvittava tieto dokumentoitiin tiiviiseen muotoon suunnittelun päättelyketjun näkökulmasta. Visuaalinen dokumentaatio esittää tapauskohtaisesti relevantit tuoterakenteen suunnitteluperiaatteet, geneeriset elementit ja niiden tekniset ratkaisut ratkaisutyyppi-

peineen sekä muuntelutarpeet. Lisäksi edellä mainittujen kolmen näkökulman väliset yhteydet ovat esitetty ja perusteltu lyhyesti. Dokumentaatio visualisoi ja perustelee suunnitellun moduulijärjestelmän rakenteellisen jakotavan.

Yhteenvedona, vaikka tutkimuksen suorittamisen aikana törmättiin muutamiin haasteisiin, niin kaiken kaikkiaan tutkimus on onnistunut kokonaisuus. Kaikki tutkimukselle asetetut tavoitteet saavutettiin ja kaikkiin tutkimuskysymyksiin kyettiin vastaamaan. ”Brownfield Process” -menetelmän soveltamisella uudelleensuunniteltu nostolavalaitteen hälytys- ja valaistusjärjestelmä on selkeä ja helposti hallittava kokonaisuus, joka huomioi kaikki muuntelutarpeet mahdollisimman vähäisellä muuntelulla. Tutkija on tyytyväinen saavutettuihin tuloksiin ja kokee, että tuloksista on aidosti hyötyä sekä akateemisesta, kuin myös käytännön tasolla tutkimuksen toimeksiantoyrityksen näkökulmasta tarkasteltuna.

## LÄHTEET

- Andreasen, M.M. (2011), "45 Years with design methodology", *Journal of Engineering Design*, vol. 22, no. 5, s. 293-332.
- Andreasen, M.M., Hansen, C.T. & Mortensen, N.H. (1996), "The Structuring of Products and Product Programmes", *Proceedings of the 2nd WDK Workshop on Product Structuring*, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, June 3-4, 1996.
- 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", no. *Proceedings of NordDesign 2002*, NTNU, Trondheim, Norway, Aug 14-16, 8 s.
- Bongulielmi, L., Henseler, P., Puls, C. & Meier, M. (2001), "The K- & V-Matrix Method - an Approach in Analysis and Description of Variant Products", *ICED 01: International Conference on Engineering Design*, Glasgow, August 21-23, 8 s.
- Bongulielmi, L. (2003), „Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix als Beitrag zur Darstellung konfigurationsrelevanter Aspekte im Produktentstehungsprozess“, *Dissertation Nr. 14904*; Zentrum für Produktentwicklung; Zurich, ETH. 218 s.
- Bronto, (2020), "Bronto Skylift yritysesittely 2020", *Yrityksen sisäinen dokumentti*, Ei julkaista materiaalia.
- Cabigiosu, A., Zirpoli, F. & Camuffo, A. (2013), "Modularity, interfaces definition and the integration of external sources of innovation in the automotive industry", *Research Policy*, vol. 42, no. 3, s. 662-675.
- Creswell, J.W. (2014), "Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches", 4th edn., *SAGE Publications, Inc.*, Thousand Oaks, 273 s.
- Duffy, S.M., A.H.B. Duffy, K.J. MacCallum. (1995), "A Design Reuse Model", *International Conference On Engineering Design*, Praha, s. 490-495.
- Erens, F. & Verhulst, K. (1997), "Architectures for product families", *Computers in Industry*, vol. 33, no. 2-3, s. 165-178.
- Ericsson, A. & Erixon, G. (1999), "Controlling Design Variants: Modular Product Platforms", *ASME*, New York. 145 s.
- Erixon, G. (1998), "Modular function deployment - A Method for Product Modularisation", *Dissertation*, The Royal Institute of Technology, Stockholm. 178 s.
- Ettlie, J.E. & Kubarek, M. (2008), "Design reuse in manufacturing and services", *Journal of Product Innovation Management*, vol. 25, no. 5, s. 457-472.
- Flyvbjerg, B. (2006), "Five Misunderstandings About Case-Study Research", *Qualitative Inquiry*, vol. 12, no. 2, s. 219-245.
- Fujimoto, T. (2007), "Competing to Be Really, Really Good: the behind-the-scenes drama of capability-building competition in the automobile industry", *International House of Japan*, 156 s.

- Gershenson, J.K., Prasad, G.J. & Zhang, Y. (2003), "Product modularity: Definitions and benefits", *Journal of Engineering Design*, vol. 14, no. 3, s. 295-313.
- Hansen, P.K. & Sun, H. (2010), "A comprehensive view on benefits from product modularization", 11th International Design Conference, DESIGN 2010, s. 233.
- Harlou, U. (2006), "Developing product families based on architectures; Contribution to a theory of product families", Technical University of Denmark (DTU), Kgs. Lyngby. 173 s.
- Jiao, J., Simpson, T.W. & Siddique, Z. (2007), "Product family design and platform-based product development: A state-of-the-art review", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 18, no. 1, s. 5-29.
- Jovane, F., Koren, Y. & Boër, C.R. (2003), "Present and future of flexible automation: Towards new paradigms", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 52, no. 2, s. 543-560.
- Juuti, T. (2008), "Design management of product 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, Vol. 789 Tampere, 155 s.
- Juuti, T. & Lehtonen, T. (2006), "Using multiple modular structures in delivering complex products", *Proceedings of NordDesign 2006 Conference*, s. 266-276.
- Kratochvíl, M. & Carson, C. (2005), "Growing modular: Mass customization of complex products, services and software" in *Growing Modular: Mass Customization of Complex Products, Services and Software*, s. 1-172.
- Lehtonen, T. (2007), "Designing modular product architecture in the new product development", Tampere University of Technology. Publication, Vol. 713, Tampere, 220 s.
- Lehtonen, T., Juuti, T., Pulkkinen, A. & Riitahuhta, A. (2003), "Stakeholder view effects on modularity in configurable products", *Proceedings of the 6th Workshop on Product Structuring - application of product models*, Technical University of Denmark. s. 25-34.
- Lehtonen, T., Pakkanen, J., Järvenpää, J., Lanz, M. & Tuokko, R. (2011), "Brownfield process for developing of product families", *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design, ICED 11*, Technical University of Denmark, Copenhagen, s. 248-257.
- Lehtonen, T., Pakkanen, J. & Juuti, T. (2017), "MEI-46200 Tuotekehitys ja tuoteperheet -opintojakson luentokalvot", Tampereen Teknillinen Yliopisto.
- Lukka, K. (2000), "The key issues of applying the constructive approach to field research", in Reponen, T.(ed.), s. 113-128.
- Martio, A. (2015), "Tuotekonfigurointi ja tuotetiedon hallinta", Amartekno Oy, Espoo. 304 s.
- McGrath, M.E. (1995), "Product strategy for high-technology companies", Irwin Professional Publishing, New York.
- Meyer, M.H. (1997), "Revitalize your product lines through continuous platform renewal", *Research Technology Management*, vol. 40, no. 2, s. 17-28.

- Meyer, M.H. & Lehnerd, A.P. (1997), "The power of product platforms: building value and cost leadership", The Free Press, New York. 267 s.
- Miller, T.D. & Elgård, P. 1998, "Defining modules, modularity and modularization", In Proceedings of the 13th IPS research seminar, Fuglsoe. Aalborg University Fuglsoe.
- Moore, W.L., Louviere, J.J. & Verma, R. (1999), "Using conjoint analysis to help design product platforms", Journal of Product Innovation Management, vol. 16, no. 1, s. 27-39.
- Nordic Element. (2020), "Product DNA", Verkkolähde, saatavissa: <http://www.nordicelement.com/product-dna-management>, viitattu [15.01.2020].
- Okudan Kremer, G.E. & Gupta, S. (2012), "Analysis of modularity implementation methods from an assembly and variety viewpoints", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 66. s. 1959-1976.
- Olhager, J. (2003), "Strategic positioning of the order penetration point", International Journal of Production Economics, vol. 85, no. 3, s. 319-329.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K. (2007), "Engineering design: A systematic approach" in Engineering Design: A Systematic Approach, s. 1-617.
- 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.
- Pakkanen, J. (2015), "Brownfield Process: A Method for the Rationalisation of Existing Product Variety towards a Modular Product Family", Tampere University of Technology. Publication, Vol. 1299, Tampere, 283 s.
- Pakkanen, J., Lehtinen, J., Juuti, T. & Lehtonen, T. (2013), "The module system and its requirements for PDM/PLM systems", Proceedings of the the 1st PDM Forum for Finland-Russia Collaboration, Lappeenranta University of Technology, April 24-25. s. 91-96.
- Parslov, J.F. & Mortensen, N.H. (2015), "Interface definitions in literature: A reality check", Concurrent Engineering Research and Applications, vol. 23, no. 3, s. 183-198.
- 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 Production Economics, vol. 60, s. 109-116.
- Pine, B.J. (1993), "Mass customization : the new frontier in business competition", Harvard Business School Press. 333 s.
- Pulkinen, A. (2007), "Product configuration in projecting company: the meeting of configurable product families and sales-delivery process", Tampere University of Technology, Publication, Vol. 712, Tampere, 184 s.
- Ratamäki, K. (2004), "Product Platform Development from the Product Lines' Perspective: Case of Switching Platforms", Dissertation, Acta Universitatis Lappeenrantaensis 201, Lappeenranta, 220 s.
- Robertson, D. & Ulrich, K. (1998), "Planning for Product Platforms", Sloan Management Review, vol. 39, no. 4, s. 19-31.

Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A. (2009), "Research Methods for Business Students", 5th edn., 613 s.

Simpson, T.W. (2004), "Product platform design and customization: Status and promise", *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, vol. 18, no. 1, s. 3-20.

Simpson, T.W., Jiao, J.R., Siddique, Z. & Hölttä-Otto, K. (2014), "Advances in product family and product platform design: Methods & applications" in *Advances in Product Family and Product Platform Design: Methods and Applications*, s. 1-819.

Simpson, T.W., Maier, J.R. & Mistree, F. (2001), "Product platform design: method and application", *Research in Engineering Design*, vol. 13, no. 1, s. 2-22.

Soininen, T. (2000), "An approach to knowledge representation and reasoning for product configuration tasks", *Acta Polytechnica Scandinavica Mathematics and Computing Series*, no. 111, s. X-114.

Tiihonen, J., Lehtonen, T., Soininen, T., Pulkkinen, A., Sulonen, R. & Riitahuhta, A. (1999), "Modeling configurable product families", 12th international conference on engineering design, ICED '99, Munich, august 24-26, 1999, Garching, Germany, s. 1139-1142.

Tiihonen, J. & Soininen, T. (1997), "Product Configurations - Information System Support for Configurable Products", Helsinki University of Technology, Helsinki, 22 s.

Tiihonen, J., Soininen, T., Männistö, T. & Sulonen, R. (1998), "Configurable products - Lessons learned from the Finnish Industry", Helsinki University of Technology, Helsinki, 6 s.

Tseng, M.M., & Jiao, J. (1996), "Design for Mass Customization", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 45, no. 1, s. 153-156.

Ulrich, K.T. & Eppinger, S.D. (2016), "Product design and development", 6th edn., McGraw-Hill Education, New York,

Ulrich, K. & Tung, K. (1991), "Fundamentals of product modularity", American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division (Publication) DE, 73 s.

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

Wacker, J.G. & Treleven, M. (1986), "Component part standardization: An analysis of commonality sources and indices", *Journal of Operations Management*, vol. 6, no. 2, s. 219-244.

Wilhelm, B. (1997), "Platform and Modular Concepts at Volkswagen - Their Effects on the Assembly Process" in *Transforming Automobile Assembly: Experience in Automation and Work Organization*, Springer, Berlin, Heidelberg, s. 146-156.



## **LIITE A: MUUNTELUTARPEET**

Valitettavasti tämä materiaali on salaista, jonka takia sitä ei voida esittää tämän tutkimuksen julkisessa versiossa.

## **LIITE B: RAJAPINTAMATRIISI**

Valitettavasti tämä materiaali on salaista, jonka takia sitä ei voida esittää tämän tutkimuksen julkisessa versiossa.

## **LIITE C: ALUSTAVA TUOTEPERHEMÄÄRITELMÄ**

Valitettavasti tämä materiaali on salaista, jonka takia sitä ei voida esittää tämän tutkimuksen julkisessa versiossa.

## **LIITE D: KONFIGUROINTIMATRIISI**

Valitettavasti tämä materiaali on salaista, jonka takia sitä ei voida esittää tämän tutkimuksen julkisessa versiossa.

## **LIITE E: YHTEENSOPIVUUSMATRIISI**

Valitettavasti tämä materiaali on salaista, jonka takia sitä ei voida esittää tämän tutkimuksen julkisessa versiossa.

**LIITE F: PSBP**

Valitettavasti tämä materiaali on salaista, jonka takia sitä ei voida esittää tämän tutkimuksen julkisessa versiossa.