

Marko Erkkilä

KEINOT SUUNNITTELUN TEHOKKUU- DEN KASVATTAMISEKSI

Kuljettimen modulaarisen jakotavan suunnittelu

Diplomityö
Johtamisen ja talouden tiedekunta
Tarkastajat: Tenure Track -professori Tero Juuti
Yliopistonlehtori Rainer Breite
Marraskuu 2022

TIIVISTELMÄ

Marko Erkkilä: Keinot suunnittelun tehokkuuden kasvattamiseksi
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Johtamisen ja tietotekniikan DI-tutkinto-ohjelma
Marraskuu 2022

Modulaarisuus ja konfigurointi räätälöitävien tuotteiden suunnittelussa ovat nousseet entistä enemmän esiin, kun yritykset pyrkivät säilyttämään kilpailukykyä kiristyvässä kilpailutilanteessa. Tässä diplomityössä tehdään laitesuunnittelun toiminnan nykytilan analysointi systemaattisella tavalla, jotta suunnittelun pullonkaulat sekä riippuvuussuhteet muihin liiketoiminnan prosesseihin pystyttäisiin tunnistamaan. Työssä on tutkittu projektiliiketoiminnan suunnittelun kehittämisen keinoja, joita sovelletaan valitulla tuotekokonaisuudella. Työssä keskitytään modulaarisuuteen ja konfigurointiin sekä niiden vaikutuksiin asiakasräätälöitävissä tuotteissa, ja hahmotellaan moduulijärjestelmän jakotapa hihnakuuljetin tuoteperheelle sekä arvioidaan sen liiketoimintavaikutuksia. Lopussa tehdään lyhyt katsaus yrityksen tuotetiedonhallinnan tapoihin, missä tarkoituksena on tutkia, miten tuotetietoa voitaisiin käsitellä nykyisillä järjestelmillä.

Työ toteutettiin tapaustutkimuksena kohdeyrityksen suunnittelutoiminnossa. Tutkimus alkoi kirjallisuuskatsauksella, jonka avulla luotiin perusta tutkimuksen suorittamiselle. Teoriaosuus koostuu projektituotteiden sekä niiden kehittämiseen liittyvistä teorioista, joita ovat standardointi, kokoluokat, suunnitteluautomaatio, modulaarisuus, tuoteperhe ja konfigurointi. Nykytilan tarkastelun apukeinoja käsitellään teoriaosuuden lopussa.

Tutkimuksen tuloksena syntyi ymmärrys laitesuunnitteluun vaikuttavista tekijöistä sekä riippuvuussuhteista. Tuotetiedon sekä -portfolioiden hallinnan tärkeyttä korostetaan tämän tutkimuksen tuloksiin pohjautuen. Suunnittelun tehostamiseksi löydettiin joukko keinoja, joita hyödynnettiin moduulijärjestelmän jakotavan hahmottelemiseen sekä liiketoimintavaikutuksien arvioimiseen. Tuotetiedonhallinnan keinoja kuvattiin lyhyesti.

Avainsanat: Engineer to order, konfigurointi, läpimenoaika, massaräätälöinti, modulaarisuus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Marko Erkkilä: Ways to increase designing efficiency
Master's thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Management and Information Technology
November 2022

Modularity and configuration in the design of customizable products have intrigued companies as they strive to maintain the competitiveness in an increasingly competitive environment. In this thesis, an analysis of the current status of equipment design operations is carried out using systems thinking, in order to identify bottlenecks and dependencies in the design process on other business' processes. The means of developing design activities in the projects have been studied and later implemented with the selected product family. The thesis focuses on modularity and configuration and on their effects in mass customized products. It defines ways to implement modularity in industrial belt conveyor product family and evaluates the business impacts. At the end, a brief overview of the company's product information management methods is given to solve how product information could be processed with current systems.

The thesis was carried out as a case study in the design function of the target company. The research started with a literature review which was used to create a basis for conducting the research. The theory part consists of theories related to project products and their development methods such as standardization, size range, design automation, modularity, product family and configuration. Aids for examining the current situation have also been discussed at the end of the theory section.

As a result of the research, an understanding of the factors influencing equipment design activities and the interdependencies between other business processes was born. The importance of product managing product information and product portfolios is emphasized based on findings of this study. Several improvement methods for improving design efficiency were found. Those were used to design the module system and to evaluate the business effects. The methods of product information management in the company were described briefly.

Keywords: Engineer to order, configuration, lead time, mass customization, modularity

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

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty BMH Technology Oy:lle suunnittelun pullonkaulojen ja haasteiden tunnistamiseksi sekä suunnittelun tehostamiskeinojen löytämiseksi. Työn sisältö muodostui jonkin verran erilaiseksi kuin alkuperäiset ajatukset työtä kohtaan olivat, mutta toivon silti työn sisällön avustavan ongelmakohtien kehittämisessä sekä mahdollisen moduulijärjestelmän suunnittelussa.

Tämän diplomityön tekeminen pitkittyi harmillisen paljon, mutta vihdoin on tullut se aika, kun saan tuoda päätökseen opintoni Tampereen yliopistossa. Haluan kiittää yritystä sekä sen henkilökuntaa mahdollisuudesta toteuttaa diplomityö. Kiitän Tero Juutia työn ohjauksesta ja hyvistä neuvoista aiheen määrittelyssä sekä muussa työn sisällön suunnittelussa. Erityisesti haluan kiittää perhettäni saamastani tuesta ja kannustuksesta, jota tarvittiin tämän diplomityöprosessin aikana.

Porissa 22.11.2022

Marko Erkkilä

“The important thing is not to stop questioning. Curiosity has its own reason for existing. One cannot help but be in awe when he contemplates the mysteries of eternity, of life, of the marvelous structure of reality. It is enough if one tries merely to comprehend a little of this mystery every day. Never lose a holy curiosity.”

Albert Einstein

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TUTKIMUKSEN KUVAUS.....	3
2.1 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset	3
2.2 Tutkimusstrategia ja -menetelmät	4
2.3 Työn rajaus ja rakenne.....	11
3. SUUNNITTELUTOIMINTA.....	12
3.1 Tuotantomuodot.....	13
3.2 Projektiliiketoiminta	15
3.2.1 Ennustaminen ja kustannukset	18
3.2.2 Projektituotteet.....	18
3.2.3 Muunneltavan projektituotteen suunnittelu	20
4. SUUNNITTELUN KEHITTÄMISEN KEINOT	23
4.1 Standardointi.....	23
4.2 Kokoluokka-ajattelu.....	24
4.3 Suunnitteluautomaatio	25
4.4 Modulaarisuus.....	26
4.4.1 Modulointimenetelmiä	27
4.4.2 Modulaarisuustyypit	28
4.4.3 M-modulaarisuus	31
4.4.4 Brownfield prosessi.....	31
4.5 Tuoteperhe, -alusta, -variantit	32
4.6 Rääätälöinnistä kohti konfiguroituvuutta	33
4.7 Konfigurointi.....	36
4.7.1 Konfigurointi ja syyt sen tavoitteluun	39
4.7.2 Konfigurointitavat	40
4.7.3 Myyntikonfiguraattori	42
4.7.4 Tuotantokonfigurointi	42
4.7.5 Konfiguroinnin kehitysprosessi ja strategiset näkökulmat.....	43
4.7.6 Konfigurointistrategiat	44
4.8 Moduulijärjestelmän ja konfiguraattorin ylläpito	47
4.9 Moduloinnin sekä konfigurointiprojektien ongelmat	48
5. NYKYTILAN TARKASTELUN KEINOT	51
5.1 Systemiajattelu.....	51
5.2 Soft Systems Methodology.....	52
6. KIRJALLISUUSKATSAUKSEN YHTEENVETO	56
7. SUUNNITTELUN KEHITTÄMINEN	58
7.1 Kohdeyritys	58
7.2 Suunnitteluprosessin nykytila	59
7.3 Projektisuunnittelun ja tuotehallinnan haasteet.....	66

7.4	Suunnittelun kehittämisen vaiheet.....	67
7.4.1	Tuoteportfolio.....	68
7.4.2	Ketjukuljettimen modulointi	69
7.4.3	Ruuvipurkaimen suunnitteluautomaatio	72
8.	HIHNAKULJETTIMEN MODUULIJÄRJESTELMÄN JAKOTAPA	73
8.1	Hihnakuljetin	74
8.2	Hihnakuljettimen moduulijärjestelmän jakotapa BfP:n avulla	76
8.2.1	Liiketoimintaympäristö	77
8.2.2	Geneeriset elementit.....	81
8.2.3	Arkkitehtuuri.....	83
8.2.4	Tavoitteen asettelu asiakasympäristöön perustuen.....	83
8.2.5	Alustava tuoteperheen kuvaus	85
8.2.6	Konfigurointitieto: geneeriset elementit ja asiakastarpeet.....	92
8.2.7	Modulaarinen arkkitehtuuri: moduulit ja rajapinnat	92
8.2.8	Konfigurointitieto: moduulivariantit ja asiakastarpeet.....	93
8.2.9	Tuoteperheen dokumentointi	93
8.2.10	Liiketoimintavaikutusten arviointi.....	95
8.3	Business Champion	99
9.	TIETOJÄRJESTELMÄARKKITEHTUURI.....	103
9.1.1	Integroitu vai irrallinen järjestelmä?	104
9.1.2	Parametrisen suunnittelun ja konfiguroinnin mahdollistaja	105
10.	HAVAINNOT	107
10.1	Tutkimustulokset.....	107
10.1.1	Uutuusarvo	110
10.1.2	Oikeellisuus	111
10.1.3	Ajankohtaisuus	112
11.	YHTEENVETO	113
	LÄHTEET	115
	LIITE A: BUSINESS CHAMPION	120

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Tutkimusstrategia</i>	6
Kuva 2.	<i>Suunnittelun tuotantostrategiat. Mukailien (Hvam, Mortensen ja Riis, 2008, s. 28; Johnsen ja Hvam, 2019, s. 6782)</i>	13
Kuva 3.	<i>Tilauksen kohdennuspisteen (OPP) sijoittuminen eri tuotantomuotojen välillä. (Haug, Hvam ja Mortensen, 2011, s. 201)</i>	15
Kuva 4.	<i>Massa-, projekti- ja konfiguroitavan tuotteen suhde hintaan ja muunneltavuuteen. Mukailien (Peltonen, Martio ja Sulonen, 2002).</i>	16
Kuva 5.	<i>Tuotantotyylin vaikutus tuotteisiin. (Hvam, Mortensen ja Riis, 2008, s. 25)</i>	17
Kuva 6.	<i>Tuotetyypit muunneltavuuden mukaan ja niiden vaatimat resurssit. Mukailien (Martio, 2015, s. 15).</i>	19
Kuva 7.	<i>Projekti- ja muunneltavan tuotteen suunnittelumenetelmiä. Mukailien (Martio, 2015, s. 258)</i>	21
Kuva 8.	<i>Vasemmalla DSM ja oikealla MFD. (Modular Function Deployment, 2022; The Design Structure Matrix, 2022)</i>	28
Kuva 9.	<i>Modulaarisuustyyppejä 1/2. (Pine, 1993)</i>	29
Kuva 10.	<i>Modulaarisuustyyppejä 2/2. (Lehtonen, 2007)</i>	30
Kuva 11.	<i>Elinkaarimodulaarisuus. (Lehtonen, 2007)</i>	30
Kuva 12.	<i>BfP (Pakkanen, 2015, s. 172)</i>	32
Kuva 13.	<i>Erytyppisten tuotteiden sijoittuminen uudelleenkäytön hyötyjen ja tuotantomäärän sekä asiakastarpeiden suhteen. (Juuti, Lehtonen ja Riitahuhta, 2007)</i>	34
Kuva 14.	<i>Suunnittelu- ja tilaus-toimitusprosessin määrittelemiseen ja sovittamiseen tarvittava työpanos konfiguroitavilla ja ainutkertaisilla tuotteilla. (Juuti, Lehtonen ja Riitahuhta, 2007)</i>	35
Kuva 15.	<i>Keskeisimmät elementit ja suhteet moduloinnissa ja konfiguroinnissa Juutin (2008, s. 37) mukaan.</i>	36
Kuva 16.	<i>Konfiguraattorin luomisprosessin päävaiheet. Muokattu (Haug, Shafiee ja Hvam, 2019, s. 474) malliin perustuen.</i>	43
Kuva 17.	<i>Konfiguroinnin pääkehitysstrategiat. (Haug, Hvam ja Mortensen, 2012)</i>	45
Kuva 18.	<i>Konfiguraatioprojektin sykli. (Haug, Shafiee ja Hvam, 2019)</i>	48
Kuva 19.	<i>Viisi toimintoa, jotka virtaavat SSM:n seitsemässä periaatteessa. (Checkland ja Poulter, 2010, s. 235)</i>	55
Kuva 20.	<i>Esimerkki yhdyskuntajätteen käsittelylinjasta. (BMH Technology - Solutions for Sustainable Fuels, 2022)</i>	58
Kuva 21.	<i>Suunnittelun tehokkuuteen ja läpimenoaikaan vaikuttavia tekijöitä</i>	61
Kuva 22.	<i>Yrityksen päätuotevalikoima. (BMH Technology - Solutions for Sustainable Fuels, 2022)</i>	68
Kuva 23.	<i>Modulaarisuuden tavoitteiden ja välitavoitteiden toteutuminen ketjukuljettimen tapauksessa (Mäki, 2018). Perustuu Juutin (2008) esittämään malliin samankaltaisuuden ja vaihdeltavuuden hyödyistä</i>	70
Kuva 24.	<i>Modulaarisen ketjukuljettimen tuoterakenne. (Mäki, 2018)</i>	74
Kuva 25.	<i>Havainnekuva hinnakuljettimen vetopäästä ja kuljetinsillan osuudesta. (BMH Technology - Solutions for Sustainable Fuels, 2022)</i>	75
Kuva 26.	<i>Esimerkki vetopään rakenteesta. (BMH Technology, 2016)</i>	75
Kuva 27.	<i>Umpinainen ja avoin kuljetinsilta. (BMH Technology, 2016)</i>	76

Kuva 28.	<i>Syy-seurausketju samankaltaisuuden ja vaihdeltavuuden hyödyistä. Tavoiteltuja asioita korostettu Juutin (2008, ss. 1–6) malliin perustuen.</i>	78
Kuva 29.	<i>Kouruhihnakuuljettimien toimitusmäärät suhteutettuna niiden pituuteen.</i>	80
Kuva 30.	<i>Kouruhihnakuuljettimen rajapintojen hahmotelma.</i>	83
Kuva 31.	<i>Vetopään rajapintojen ja elementtien sijaintien hahmotelma.</i>	90
Kuva 32.	<i>Esimerkki PSPB dokumentointitavasta. (Pakkanen, 2015, s. 212)</i>	94
Kuva 33.	<i>GEMS-työkaluun hahmoteltu kouruhihnakuuljettimen moduulijärjestelmän jakotapa sekä vetopäähän vaikuttavat jakoperiaatteet ja asiakaskysymykset.</i>	94
Kuva 34.	<i>BfP:n yhteenveto. (Pakkanen, 2015, s. 230)</i>	96
Kuva 35.	<i>Moduulijärjestelmän liiketoimintavaikutukset. (Pakkanen, 2015, s. 215)</i>	97
Kuva 36.	<i>Esimerkki kuuljettimien suunnittelutuntien erittelystä.</i>	101

TAULUKOT

<i>Taulukko 1.</i>	<i>Kirjallisuuskatsauksen valintakriteerit</i>	<i>7</i>
<i>Taulukko 2.</i>	<i>Keskeiset lähteet.....</i>	<i>9</i>
<i>Taulukko 3.</i>	<i>Konfigurointiprojektien strategioiden vertailu. (Haug, Hvam ja Mortensen, 2012, s. 478)</i>	<i>46</i>
<i>Taulukko 4.</i>	<i>Konfiguroinnilla tavoitellut hyödyt ketjukuljettimen tapauksessa. (Mäki, 2018, s. 53)</i>	<i>71</i>
<i>Taulukko 5.</i>	<i>Kouruhihnakuljettimien suunnittelutunnit.</i>	<i>81</i>
<i>Taulukko 6.</i>	<i>Arvio moduulijärjestelmän potentiaalisista liiketoimintahyödyistä.</i>	<i>102</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ATO	Assemble To Order, tilauksesta kokoonpano
BfP	Brownfield-prosessi
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CRM	Customer Relationship Management, asiakkuudenhallinta
CTO	Configure to Order, tilauksen mukaan konfigurointi
DSM	Design Structure Matrix
ERP	Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä
ETO	Engineer to order, tilauksesta suunnittelu
MFD	Modular Function Deployment
MIM	Module indication matrix
MTO	Make to order, tilauksesta valmistus
MTO	Modify to order, tilauksen mukaan muokkaus
MTS	Make to stock, varastoon valmistus
PDM	Product Data Management, tuotetiedon hallinta
PLM	Product Lifecycle Management, tuotteen elinkaaren hallinta
PSBP	Product Structuring Blue Print
SE	Systems Engineering, systeemien suunnittelu
SSM	Soft Systems Methodology, pehmeä systeemimetodologia

1. JOHDANTO

Globaalit markkinat sekä kilpailun jatkuva kiristyminen ajavat yrityksiä tutkimaan asioita, jotka mahdollistavat kilpailukyvyn ylläpitämisen tuotteita sekä palveluja kehittämällä. Valmistavassa teollisuudessa toimivien yritysten on jatkuvasti etsittävä uusia keinoja tehostaa prosessejaan sekä rakentaa tuotteita asiakkaiden vaatimusten mukaisiksi. Asiakäärätälöitävien tuotteiden suunnittelussa on alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota kustannuksiin sekä työn tehokkuuteen, koska tyypillisesti niiden suunnitteluun kuluu moninkertainen määrä resursseja verrattuna muihin suunnittelun tuotantotavoilla toteutettuihin tuotteisiin. Asiakaskohtaisesti räätälöitäviä tuotteita toimittavien yritysten toimitusprojektien kokonaisaikataulusta merkittävä osa voi muodostua toimituksen laitteiden suunnittelusta. Pitkät suunnitteluajat vaikuttavat resurssien saatavuuteen sekä projektien läpimenoaikoihin. Kun resurssit sitoutuvat pitkiksi ajoiksi eikä aikaa jää enää muuhun tekemiseen, se vaikuttaa yrityksen kilpailukykyyn, miksi on tärkeää etsiä tapoja suunnitteluun kuluvan ajan vähentämiseksi.

Tuoteportfolion sekä tuotetiedon hallinta ovat erittäin tärkeässä asemassa tuotteiden suunnittelussa. Jotta yritys voi tuottaa kilpailukykyisiä tuotteita, on sen osattava tunnistaa oikeat asiakasvaatimukset sekä kilpailukykyensä edistäjät jo tuotteiden suunnittelussa. Tuotteet on suunniteltava niin, että ne vastaavat kysyntään mahdollisimman hyvin, ovat toiminnaltaan sekä kustannuksiltaan kilpailukykyisiä, ja ovat yhteensopivia yrityksen omiin prosesseihin sekä tavoitteisiin. Oikeanlaisilla suunnitteluperiaatteilla sekä tuotteiden suunnitteluvalinnoilla on mahdollista vaikuttaa merkittävästi tuotteen läpimenoaikoihin sekä loppukustannuksiin. Kun samankaltaisuudet tuotteissa ja tuoteperheissä osataan tunnistaa niiden suunnitteluvaiheessa esimerkiksi vakioinnin, suunnittelutiedon uudelleenkäytön, modulaarisuuden ja konfiguroinnin tuomia hyötyjä pystytään realisoimaan tehokkaammin. Modulaarisuus on termi vuosikymmenien takaa, joka tarkoittaa tuotteen osittamista pienempiin liitännöiltään määriteltyihin rakennesosiin eli moduuleihin yrityksen asettamien tavoitteiden mukaisesti (Ulrich ja Tung, 1991). Moduuleista on mahdollista luoda useita erilaisia lopputuotteita eri osakombinaatioilla. Modulaarisuutta on hyödynnetty menestyksekkäästi sarjavalmistesteisten suuren volyymin tuotteilla, mutta sitä on alettu hyödyntämään myös entistä enemmän räätälöityjä tuotteita toimittavissa teollisuusyrityksissä. Suuri muunneltavuus aiheuttaa haasteita modulaaristen tuotteiden ja tuoteperheiden suunnittelussa, vaikka useiden räätälöitävien tuotteiden modulaarisuuden suunnittelussa olisi hyödyntämätöntä potentiaalia. Konfiguroinnilla tarkoitetaan prosessia, joka kykenee jalostamaan lähtötiedot, kuten asiakasvaatimukset tai tehdastilaus,

spesifikaatioiksi seuraavan osaprosessin vaatimaan muotoon esimerkiksi valmistusdokumentit tai luettelo vaadittavista toimenpiteistä (Martio, 2015). Modulaaristen tuotteiden, tehokkaiden suunnittelutyökalujen sekä konfiguroinnin avulla yritysten on mahdollista tuottaa täsmällisiä dokumentteja ja hyvin määriteltyjä tuotteita lyhyemmällä suunnittelun läpimenoajoilla kuin perinteisillä suunnittelumenetelmillä.

Tässä työssä tutkitaan suunnittelutoimintaan vaikuttavia tekijöitä liiketoiminnan prosessien välisiä riippuvuussuhteita havainnoimalla. Havaintojen pohjalta tehdään päätelmiä suunnittelun pullonkauloista ja valitaan tutkimuskohde suunnittelun tehokkuuden kasvattamiseksi. Valitulle kokonaisuudelle hahmotellaan moduulijärjestelmän jakotapa sekä tutkitaan sen liiketoimintavaikutuksia. Tuotetiedonhallintaan liittyviä asioita tutkitaan lyhyesti työn loppupuolella, mutta pääpaino tutkimuksessa on erilaisten tehostamiskeinojen kartoittamisessa, modulaarisen tuotteen suunnittelussa sekä suunnittelutoiminnan nykytilan analysoimisessa. Työn teoriasisältö muodostuu projektiliiketoiminnan ja projektituotteiden ominaispiirteistä, mistä edetään suunnittelun kehittämisen keinoihin kuten modulaarisuus ja konfigurointi. Teoriaosuuden viimeisessä osassa tutkitaan monimutkaisten prosessien havainnointia systeemiajattelun keinoin.

2. TUTKIMUKSEN KUVAUS

2.1 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen päätavoitteena on etsiä keinoja ja ratkaisuja laitesuunnittelun läpimenoaikojen lyhentämiseksi ja sen myötä laitesuunnittelun tehokkuuden parantamiseksi. Toisin sanoen, mitä keinoja on olemassa suunnittelun nopeuttamiseksi yritykselle, joka toimittaa kiinteiden polttoaineiden käsittelyjärjestelmiä energia- ja prosessiteollisuuteen laitoistoituksina. Toisena päätavoitteena on luoda valitulle tuoteperheelle moduulijärjestelmän jakotapa, ja selvittää moduulijärjestelmän tuomia potentiaalisia hyötyjä valitulla kokonaisuudella. Pääpaino työssä tulee olemaan suunnittelun toiminnan analysoinnissa ja tehostamiskeinojen etsinnässä sekä moduulijärjestelmän hahmottelussa. Työlle asetetaan myös alitavoitteet, missä halutaan selvittää tietojärjestelmäarkkitehtuurin kenttää ja pohtia, miten tuotetietoa voidaan käsitellä eri tietojärjestelmien välillä.

Työ tehdään yrityksen suunnitteluorganisaatiossa, jossa halutaan tutkia keinoja suunnittelun läpimenoaikojen nopeuttamiseksi. Tutkimuksen tarve syntyi suunnitteluosaston halusta tutkia mahdollisuuksia vähentää projektisuunnitteluun kuluvaan aikaan. Näiden tietojen pohjalta tutkimukselle luotiin tutkimuskysymykset. Jotta voidaan etsiä ratkaisuja suunnittelun tehostamiseksi, on ensin selvitettävä, mihin aikaan kuluu ja mitkä asiat ovat suurimmassa roolissa projektisuunnittelun kannalta. Tästä johdettiin seuraavanlaiset tutkimuskysymykset:

- 1) Miten voidaan selvittää suurimmat pullonkaulat projektisuunnittelun läpimenoajoissa?
- 2) Minkälaisia keinoja on olemassa suunnittelun läpimenoaikojen lyhentämiseksi ja tehokkuuden parantamiseksi?

Kirjallisuuskatsauksen avulla päästiin kiinni keinoihin, millä suunnittelua on mahdollista tehostaa. Kun halutaan selvittää jonkin keinon potentiaalisia hyötyjä, yrityksen laiteportfoliosta valittiin yksi kokonaisuus, jotta hyötyjä voidaan tarkastella paremmin. Tämän pohjalta luotiin seuraavat tutkimuskysymykset:

- 3) Minkälainen olisi hihnakuljettimen moduulijärjestelmän jakotapa?
- 4) Minkälaiset ovat potentiaaliset hyödyt, joita voidaan saavuttaa hihnakuljettimen moduulijärjestelmällä?

Yrityksen haluna on myös selvittää tietojärjestelmäarkkitehtuuria paremmin, jotta saataisiin muodostettua selkeämpi käsitys siitä, miten tuotetietoa pitäisi käsitellä, jotta data olisi paremmin saatavilla ja käsiteltävissä. Alitavoitteen mukaiset tutkimuskysymykset:

- 5) Millainen on nykyinen tietojärjestelmäarkkitehtuurin kenttä?
- 6) Miten tuotetietoa voidaan käsitellä eri tietojärjestelmien välillä?

2.2 Tutkimusstrategia ja -menetelmät

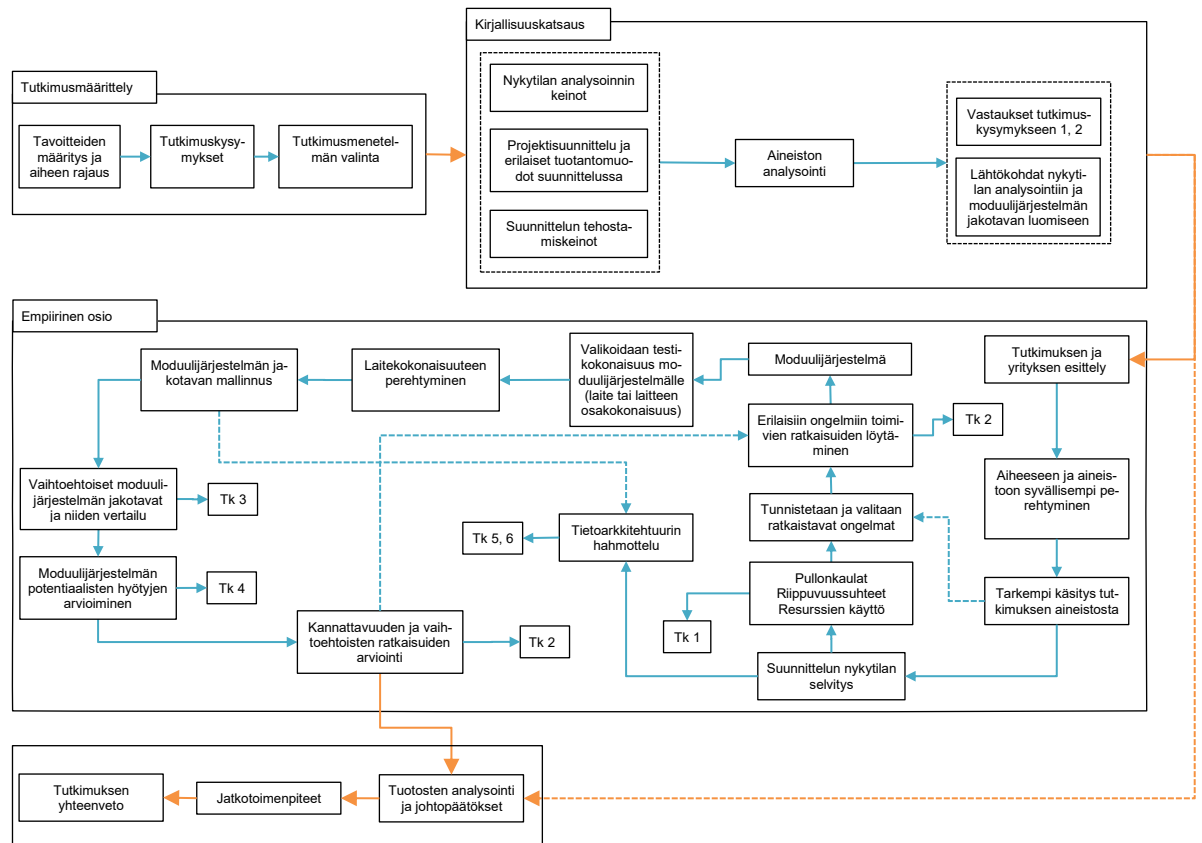
Tutkimusstrategia on tutkimuksen menetelmällisten ratkaisujen kokonaisuus, joka ohjaa tutkimuksen menetelmien valintaa ja käyttöä teoreettisella sekä käytännöllisellä tasolla (Jyväskylän Yliopisto, 2015). Tässä työssä yhdistellään empiirisen sekä teoreettisen tutkimuksen menetelmiä. Empiirinen tutkimus perustuu kokemukseen tutkimuskohteesta eli tutkimustulokset saadaan tekemällä konkreettisia havaintoja tutkimuskohteesta ja analysoimalla sekä mittaamalla sitä. Empiirisessä tutkimuksessa konkreettinen ja koottu tutkimusaineisto on tutkimuksen keskiössä ja toimii tutkimuksen tekemisen lähtökohtana (Jyväskylän Yliopisto, 2015). Teoreettinen tutkimus perustuu tutkimuskohteeseen perehtymiseen ajatusrakenteiden kautta. Kohdetta ei havainnoida suoraan, vaan kohteesta pyritään hahmottamaan käsitteellisiä malleja, rakenteita ja selityksiä aiemman tutkimuskirjallisuuden pohjalta (Jyväskylän Yliopisto, 2015).

Tämä työ toteutettiin pääosin ohjaavana tapaustutkimuksena, jonka pohjimmaisena tavoitteena on parantaa kohteen tilaa tai kehittää muita vastaavia kohteita tulevaisuudessa. Tapaustutkimus on väljästi määriteltävä, ja sitä voidaan toteuttaa monien eri analyysimenetelmien avulla. Kun kyseessä on jokin ilmiö tai tietty kohde, jota haluttaisiin parantaa, mutta ei osata sanoa vielä, miten se tehtäisiin, voidaan tutkimuksesta tällöin puhua ohjaavana tapaustutkimuksena. Ohjaavassa tutkimuksessa pyritään tiedon hankkimisen lisäksi osoittamaan millä tavalla kohdetta voidaan parantaa (Routio, 2005). Tapaustutkimuksen tarkoituksena on tutkia syvällisesti yhtä tai muutamaa kohdetta, tilannetta tai ilmiökokonaisuutta— tässä tapauksessa tavoitteena on tutkia keinoja suunnitelutoiminnan tehostamiseksi. Kiinnostuksen kohteena ovat usein prosessit. Tapaustutkimuksessa pyritään tuottamaan valitusta tapauksesta yksityiskohtaista ja intensiivistä tietoa hakemalla sitä ilmiöön liittyvän toiminnan dynamiikasta, mekanismeista, prosesseista ja sisäisistä lainalaisuuksista (Jyväskylän Yliopisto, 2015). Tapaustutkimuksella ei pyritä yleistettävyyteen, mutta syvällisen ymmärryksen ja tulkinnan kautta, se hakee tietoa muun muassa toiminnan dynamiikasta, mekanismeista ja prosesseista niin, että tutkimuksen tuloksilla voidaan kuitenkin osoittaa olevan jonkinlaista yleistettävyyttä.

Tutkimuksessa pyritään keräämään kirjallisuudesta ja työntekijöiltä tietoa erilaisista keinoista, joilla suunnittelun läpimenoaikoja voidaan lyhentää. Kirjallisuudesta kerättyjen ajatusmallien avulla tutkitaan, miten nykytila-analyysi voidaan tehdä suunnittelutoiminnolle. Nykytilan analyysillä pyritään löytämään suunnittelutoiminnan pullonkauloja ja heikkouksia. Analyysiin ja löydettyihin keinoihin perustuen valitaan yksi tai muutama suunnittelua kuormittava tekijä, jota pyritään ratkaisemaan valituilla keinoilla. Aineistoa ratkaisun mallintamiseen kerätään yrityksen dokumentaatiojärjestelmistä, työntekijöiltä ja kirjallisuudesta. Teoriasisältö rakentuu suurelta osin kirjallisuuskatsauksen avulla ja varsinainen tutkimusosuus rakentuu kirjallisuuden teorioiden, työntekijöiden tiedon, yrityksen järjestelmien datan sekä tutkimuksen havaintojen perusteella.

Kuva 1 esittää tämän tutkimuksen tutkimusstrategian. Se etenee järjestyksessä tutkimusmäärittelystä, kirjallisuuskatsaukseen, minkä jälkeen siirrytään empiiriseen osuuteen ja lopulta tutkimuksen tulosten arviointiin sekä yhteenvetoon. Yhtenäiset nuoliviivat kuvaavat kronologista siirtymää eri askeleiden välillä, ja katkonaiset nuoliviivat kuvaavat tiedonsiirtymistä ei-kronologisessa järjestyksessä. Tietoa, jota voidaan hyödyntää tutkimuskysymyksiin vastaamisessa ja työn pohdinnassa, kerääntyy koko tutkimuksen ajalta, siksi on käytetty kahdentyypisiä nuoliviivoja.

Tutkimuksen aluksi määritellään tutkimuksen tavoitteet ja tehdään aiheen rajausta sekä muodostetaan tutkimuskysymykset ja valitaan tutkimusmenetelmä. Prosessi jatkuu kirjallisuuskatsauksella, josta etsitään keinoja suunnittelun nykytilan analysointiin ja tehostamiseen. Kirjallisuuden ja yrityksen työntekijöiden tietotaidon avulla pyritään muodostamaan keinot ongelman ratkaisemiseksi. Tiettyä ratkaisuvaihtoehtoa mietitään valitulla tuotekokonaisuudella. Moduulijärjestelmän testauksesta päätettiin jo ennen varsinaista tutkimusta, kun työn lopullista sisältöä vielä pohdittiin. Tähän valintaan päädyttiin yrityksen aiemman kokemuksen, sen tuotteiden ja tarpeiden sekä työn ohjaajan avustuksella.



Kuva 1. Tutkimusstrategia

Nykyään kirjallisuuden tutkimisen ongelmaksi on syntynyt saatavilla olevien lähteiden valtava määrä. Viimeisten vuosikymmenien aikana tutkimusjulkaisuiden ja muiden julkaisuiden määrä on kasvanut räjähdysmäisesti internetin ja tiedon saatavuuden helpottumisen myötä. Tiedon löytäminen ei ole enää niin vaikeaa kuin ennen, mutta relevantin ja luotettavan tiedon löytäminen on. Perinteinen katsaus tähtää tutkimaan aiheensa pohjalta, mitä aiheesta jo tiedetään. Systemaattinen katsaus sopii paremmin tiettyihin kysymyksiin ja ongelmiin vastaamiseen sekä hypoteesien testaamiseen kuin perinteinen katsaus. Systemaattista katsausta voidaan käyttää tiivistämään, arvioimaan ja viestimään muutoin hallitsemattomien tutkimusmäärien tuloksia ja seurauksia (Petticrew ja Roberts, 2006).

Kirjallisuuskatsaus toteutettiin systemaattisena katsauksena. Systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa pyritään löytämään relevantit dokumentit aiheesta. Ne pyritään löytämään kartoittamalla ja seulomalla aineistoa, jotta tutkimuksen kannalta merkitykselliset ja mielenkiintoiset aineistot saadaan rajattua. Tiedonhankintaa ohjaa tarkka kriteeristö, ja tutkimusprosessin dokumentointi on tärkeässä asemassa tutkimuksessa. Tiedonhaussa saatetaan pyrkiä määrittelemään hakuehdot, jolla haetaan tietoa samoilla rajoilla eri tietokannoista (Jyväskylän Yliopisto, 2015). Tavoitteena on muodostaa tiivis-

telmä valitun aihepiirin tutkimusten olennaisesta sisällöstä, mikä toimii perustana tehtävälle tutkimukselle. Yksi systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tärkeä ulottuvuus on näyttöön perustuva päätöksenteko, eli tutkitun tiedon tuominen päätöksenteon tueksi (Salminen, 2011).

Tutkimuksen suorittamiseksi tarvittiin parempi käsitys suunnittelun kehittämisen keinoista ja tavoista toteuttaa niitä. Tavoitteena oli tutkia jo tunnettuja olemassa olevia keinoja suunnittelutoiminnan prosessien ymmärtämiseksi sekä kehittämiseksi. Jotta aineiston luetettavuudesta ja ajankohtaisuudesta voitiin varmistua, aineistoksi hyväksyttiin vertaisarvioituja akateemisia julkaisuja, diplomitoita, väitöskirjoja ja kirjallisuutta, mitä oli julkaistu suhteellisen hiljattain. Katsauksessa tehtiin tiedonhakuja useissa tietokannoissa relevanttien julkaisuiden löytämiseksi, mutta pääosa suoritettiin ANDOR ja Google Scholar -tietokannoissa. Valintakriteerit löytyvät alla olevasta taulukosta. Työn aikana tehtiin myös Google-hakukoneen etsintöjä etenkin suunnittelun eri tuotantomuotoihin ja muuhun peruskäsitteistöön liittyen.

Taulukko 1. *Kirjallisuuskatsauksen valintakriteerit*

Kirjallisuuskatsauksen määritelmät	Sisältö
Tietokannat	Andor, Elsevier, Emerald, Google-hakukone, Google Scholar, ProQuest Central, SpringerLink, Tampereen yliopiston julkaisuarkisto Trepo
Kieli:	Suomi, englanti
Julkaisuvuosi:	2007 ja sitä uudemmat julkaisut. Painotus viimeisen 10 vuoden ajanjaksolla.
Julkaisutyyppi:	Tieteelliset vertaisarvioidut julkaisut, diplomityöt, väitöskirjat, julkaistu kirjallisuus
Painotus:	Engineer to order, tuotteiden suunnittelun kehitys, modulaarisuus, konfigurointi, massaräätälöivät tuotteet
Muut perusteet:	Otsikkosisältö sekä julkaisun tutkimusala (teollisuus)

Ensimmäisinä kirjallisuuskatsauksen hakusanoina käytettiin muun muassa seuraavia englanninkielisiä ehtoja sekä niiden suomenkielisiä vastineita:

- current state analysis
- customization or customisation
- engineer to order
- engineer to order AND configuration
- modular
- modular and engineer to order
- modularity
- modularization OR modularisation
- product AND configuration
- product AND configurator
- product AND development
- product AND engineer to order
- product AND modular

Kattavan kirjallisuuskatsauksen avulla löydettiin aiemmin tehtyjä tutkimuksia ja pystyttiin tunnistamaan aihepiirin trendejä sekä avainsanoja. Tutkimuksen edetessä ja aihepiiriin tarkemman tarkastelun jälkeen hakuehtoja lisättiin:

- mass customization
- product AND architecture
- product AND management
- systems thinking
- soft systems

Työn ohjaajan avustuksella avulla päästiin käsiksi samankaltaisiin modulaarisuuteen ja konfigurointiin liittyviin tutkimuksiin sekä niiden kautta käsitteistöön, mitä hyödynnettiin keskeisten lähteiden etsinnässä. Valintakriteereinä olivat viimeisen 15 vuoden aikana tehdyt julkaisut, missä painotus oli viimeisen kymmenen vuoden ajalta. Valintakriteereissä painottui räätälöitävien tuotteiden kehittäminen Engineer to Order (ETO) liiketoiminnassa sekä räätälöitävien tuotteiden ja niiden suunnittelun kehittäminen. Hakuehto-

jen sekä julkaisun otsikkosisällön perusteella valittiin tutkimus- ja aihealueeltaan sopivalta vaikuttaneet lähteet, joihin perehdyttiin tarkemmin muun muassa johdantojen sekä tiivistelmien avulla. Tarkastelun tuloksena saatiin joukko lähteitä, joiden sisältöön perehdyttiin tarkemmin ja valikoitiin tutkimukseen soveltuvat. Muut lähteet kerättiin joko pääkirjallisuudesta lähteistä tai tutkimusta täydentävistä aihepiirien osuuksista uusilla tiedonhauilla. Keskeiset lähteet löytyvät alla olevasta taulukosta. Aihealueiden ja lähteiden tutkinnassa pyrittiin myös selvittämään alkuperäiset teokset, joihin tutkimuksissa viitattiin, ja täten kasvattaa ymmärrystä aihepiirin kirjallisuudesta ja teorioista.

Taulukko 2. Keskeiset lähteet

Lähde	Tekijät & vuosi	Valintaperuste
Product customization	(Hvam, Mortensen ja Riis, 2008)	Tuotteen räätälöinti, tuotantomuodot ja niiden vaikutukset. Modulaarisuus.
Brownfield Process: A Method for the Rationalisation of Existing Product Variety towards a Modular Product Family Designing Modular Product Architecture in the New Product Development	(Lehtonen, 2007; Pakkanen, 2015)	BfP, olemassa olevien tuotteiden kehittämisen keinot, modulaarisuus ja sen arvontuottomekanismit. Uudelleenkäyttö ja sen hyödyt. Tuoteperheet.
Design Management of Products with Variability and Commonality	(Juuti, 2008)	Samankaltaisuuden ja vaihdeltavuuden vaikutukset tuotteissa, modulaarisuus.
Advances in Product Family and Product Platform Design	(Simpson ym., 2014)	Tuoteperhe ja -alusta.
Tuotekonfigurointi ja tuotetiedonhallinta	(Martio, 2015)	Kokonaisvaltainen katsaus konfigurointiin, tuotetiedonhallintaan ja projektituotteisiin sekä niiden suunnitteluun. Modulaarisuus.
From engineer-to-order to mass customization	(Haug, Ladeby ja Edwards, 2009)	ETO:sta massaräätälöitymiseen siirtymisen vaikutukset.
Product configurators for engineer to order products	(Skjetne ja Johansson, 2020)	ETO, tuotekonfigurointi.
Implementing configurators to enable mass customization in the Engineer to Order industry: a multiple case study research	(Cannas ym., 2020)	Tuotekonfiguroinnin implementointi ETO ympäristössä, konfiguroinnin hyödyt ja haasteet.
Definition and evaluation of product configurator development strategies The main challenges for manufacturing companies in implementing and utilizing configurators The causes of product configuration project failure	(Haug, Hvam ja Mortensen, 2012; Kristjansdottir ym., 2018; Haug, Shafiee ja Hvam, 2019)	Konfigurointistrategiat ja konfiguroinnin haasteet. Konfigurointiprojektien epäonnistumisiin johtaneet ongelmat.

Systems Approaches to Managing Change: A Practical Guide	(Reynolds ja Holwell, 2010)	Systeemiajattelu, SSM.
Modulaarisen tuoterakenteen liiketoimintavaikutusten arviointi	(Mäki, 2018)	Kohdeyrityksen aiemmat kehitysprojektit ja niissä onnistuminen. Ajatuksia moduulijärjestelmän kehittämiseen.

Pakkasen (2015) väitöskirja olemassa olevien modulaaristen tuotteiden kehittämisestä toimi pohjana modulaarisuuteen liittyvissä asioissa sekä keskeisten lähteiden etsinnässä — Brownfield prosessia (BfP) hyödynnettiin moduulijärjestelmän suunnittelussa. Muun muassa Lehtosen ja Juutin (Juuti, Lehtonen ja Riitahuhta, 2007; Lehtonen, 2007; Juuti, 2008; Lehtonen *ym.*, 2011) tekemiin tutkimuksiin päädyttiin tätä kautta, mitkä ovat tämän työn keskeisiä lähteitä modulaarisuuteen, uudelleenkäyttöön sekä tehokkuuden lisäämiseen liittyvissä asioissa.

Konfiguroinnista tietoa etsittiin tuotekonfiguroinnin sekä ETO liiketoiminnan näkökulmasta, koska yrityksen liiketoiminta on pääosin laitosprojektien toimittamisessa, missä osa projektin sisällöstä on asiakasrätälöitäviä tuotteita. Hakuehtoina olivat sekä suomen että englanninkieliset julkaisut, jotka oli julkaistu viimeisen viidentoista vuoden aikana. Konfiguroinnin tiedonhaussa kiinnitettiin erityistä huomiota tuotekonfigurointiin ja julkaisuvuoteen, koska tutkimuksen aiheena oli suunnittelun tehostaminen, ja konfigurointijärjestelmät sekä -tietämys ovat kehittyneet viimeisten vuosien aikana. Tuotekonfiguroinnin hauista päädyttiin tämän työn kannalta keskeisiin lähteisiin (Hvam, Mortensen ja Riis, 2008; Haug, Ladeby ja Edwards, 2009; Haug, Hvam ja Mortensen, 2011; Martio, 2015; Haug, Shafiee ja Hvam, 2019; Shafiee *ym.*, 2021). Haug, Hvam, Shafiee ja Kristjansdottir ovat Tanskan teknillisen yliopiston tutkijoita, jotka ovat julkaisseet useita artikkeleita ja tutkimuksia tuotteiden konfigurointiin, kehittämiseen, massarätälöintiin ja ETO tuotteisiin liittyen.

Mäen (2018) tekemän tutkimuksen avulla päästiin käsiksi samassa kohdeyrityksessä toteutettuihin kehitysprojekteihin ja niiden onnistumisiin sekä ongelmiin, mihin pohjautuen moduulijärjestelmän suunnittelussa voitiin tehdä päätöksiä. Suunnittelutoiminnan tarkasteluun tartuttiin koko järjestelmää tutkimalla, eli systeemiajattelun keinoin, koska varsinaista selvää ratkaisua ei pullonkaulojen ja suunnittelun toimintojen tutkimiseen ollut kyseisellä työn aiheen rajauksella. Systeemiajattelua tutkimalla päästiin kiinni eri järjestelmätyyppeihin sekä Soft Systems Methodologyyn (SSM).

2.3 Työn rajaaminen ja rakenne

Tässä tutkimuksessa keskitytään laitesuunnittelutoiminnan pullonkaulojen ja prosessien toiminnan selvittämiseen, moduulijärjestelmän kehittämiseen sekä tietojärjestelmäarkkitehtuurin tutkimiseen. Työssä käsitellään modulaarisuutta ja keskitytään tuoteperheen modulaarisen jakotavan hahmotteluun, mutta sen lopullista toteutusta tai toimivuutta ei tässä työssä käsitellä. Työn alussa käydään läpi projektitoiminnalle tyypillisiä tuotanto- ja suunnittelumuotoja sekä esitellään projektiliiketoiminnassa tapahtuvan suunnittelun ominaispiirteitä. Seuraavaksi käydään läpi erilaisia keinoja laitesuunnittelutyön tehostamiseksi. Modulaarisen jakotavan mallintaminen vaatii tuekseen ymmärryksen modulaarisuudesta, jonka vuoksi työssä käydään läpi modulaarisuuden teoriaa. Modulaarisuuden teoriassa käsitellään muun muassa sen peruseräjänteitä, moduloitimenetelmiä sekä modulaarisuustyyppiejä. Modulaarisuuden avulla päästään lähestymään konfigurointia, minkä avulla on mahdollista lisätä muun muassa suunnittelun toistettavuutta, parantamaan laatua, vähentämään suunnittelutyön määrää ja paljon muuta. Modulaarisuuden yhteydessä esitellään olemassa olevien tuotteiden modulointiin liittyvää Brownfield-prosessia, jonka tarkoituksena on toimia myöhemmin apukeinona modulaarisen jakotavan määrittelyssä.

Kappaleessa 4.7 käsitellään konfiguroinnin teoriaa ja konfigurointiprojekteihin liittyviä elementtejä. Osiossa tutkitaan konfigurointia ja erilaisia strategisia toimintatapoja konfigurointiprojektien läpiviemiseksi. Selvitetään, mitkä ovat yleisimpiä virheitä ja kompastuskiviä konfiguroinnin implementoinnissa, jotta konfigurointitietämyksen jatkuvuus ja konfigurointiprojekteissa onnistuminen turvataan. Suunnittelutoiminnan tutkimisessa tukeudutaan systeemiajatteluun, minkä avulla pyritään selvittämään monimutkaisen ja laajan järjestelmän toimintaa sekä sen sidossuhteita eri asioiden välillä.

Empiirinen osuus alkaa kohdeyrityksen ja tutkimuksen kohteena olevien asioiden esittelyllä. Yrityksen taustat ja aiemmat kokeilut sekä suunnitteluprosessin nykytila käydään läpi, minkä jälkeen siirrytään kappaleeseen 8, joka käsittelee moduulijärjestelmän suunnittelua valitulla kokonaisuudella. Moduulijärjestelmän liiketoimintavaikutuksia arvioidaan sen jälkeen. Työn loppupuolella tehdään lyhyt katsaus tuotetiedonhallintaan yrityksen järjestelmillä, ja sen jälkeen tuotoksista koostetaan yhteenveto, vastataan tutkimuskysymyksiin, arvioidaan tutkimuksessa onnistumista ja työn tuotoksia.

3. SUUNNITTELUTOIMINTA

Laajan asiakaskunnan asettamat erilaiset vaatimukset projektiliiketoiminnassa muodostavat tarpeen tuotteiden muuntelulle asiakaskohtaisesti. Muuntelun myötä syntyy laaja joukko erilaisia tuotevariantteja, joiden hallinta kasvaa nopeasti vaikeaksi. Varianttien määrää ja hallittavuutta voidaan pyrkiä hallitsemaan modulaarisilla tuoterakenteilla ja kokuokka-ajattelulla, mitkä voivat auttaa vähentämään asiakaskohtaisen suunnittelun määrää, kun tuote voidaankin koota ennalta suunnitelluista moduuleista. Tämä auttaa suunnitteluaineiston uudelleen käytössä, mikä vähentää suunnitteluun tarvittavia resursseja ja laskee etenkin projektikohtaisia suunnittelukustannuksia. Modulaarisuuden ajatuksena on tarjota laaja valikoima erilaisia tuotevariaatioita laajalle asiakassegmentille, mutta samalla ylläpitää tuoteportfolio mahdollisimman yksinkertaisena yrityksen omasta näkökulmasta yhtenäistämisen ja vakioinnin avulla. Modulaarisuusajattelu linkittyy tuotteen konfigurointiin, jossa konfigurointijärjestelmällä tuote kootaan projektinmukaisesti valmiista komponenteista ja moduuleista. Massatuotantoa toteuttavat yritykset, jotka tuottavat suhteellisen pienen määrän erilaisia variantteja, mutta määrällisesti paljon tuotteita samoja tuotteita, pystyvät hyödyntämään omien tuotteiden suunnittelussa konfigurointia, joka tapahtuu asiakkaan toimesta jo tilauksen tekovaiheessa. Konfigurointi ohjaa asiakkaan valitsemaan itselleen sopivimman vaihtoehdon valmiiksi suunnitellusta tuoteportfolioista ilman vaativaa myynti-tilaus-prosessia. Asiakasrätälöitäviä tuotteita valmistaville yrityksille modulaarisuus ja konfigurointi voivat olla vielä outoja asioita, mutta joissakin tapauksissa modulaaristen tuotteiden avulla olisi mahdollista tehostaa toimintaa merkittävästi. Lähestymällä asiakasrajapinnassa tapahtuvaa konfigurointia, voidaan vapauttaa valtavasti resursseja määrittely- ja suunnittelutyöstä muuhun tärkeään tekemiseen kuten tuotekehitykseen, jolloin projektien läpimenoajat sekä tuotteet ovat parempia.

Asiakkaat painottavat tarpeissaan erilaisia asioita, joihin perinteisesti ETO tyyppiset yritykset pyrkivät vastaamaan mahdollisimman yksityiskohtaisesti. Vaativissa ja monimutkaisissa ympäristöissä toimivat yritykset kilpailevat muunneltavuudella ja räätälöidyillä tuotteilla. ETO yritykset tekevät yleensä projektitoimituksia, jotka ovat vaatineet ja tulevat edelleen vaatimaan paljon insinööriä ja kehitystä onnistuakseen. Olisi tärkeää, että sama yritys pystyisi vastaamaan mahdollisimman laajaan joukkoon asiakastarpeita, ja samalla tuottamaan laadukasta suunnitteluaineistoa sekä laitteita mahdollisimman lyhyillä läpimenoajoilla. Modulaarisuudella pyritään mahdollistamaan esimerkiksi ulkoisilta mitoiltaan, suoritusarvoiltaan tai ulkonäöltään erilaisten tuotteiden kokoamisen ennalta määrittelystä moduulijoukosta.

mukaisesti suoritusarvoiltaan oikeaksi ja asiakkaan tiloihin sopivaksi. Tällä tavalla järjestetyssä toimituksessa toimitusajat ovat yleensä pitkiä, mutta asiakkaille voidaan tarjota juuri heidän tarpeidensa mukaista tuotetta tai kokonaisuutta. Koska asiakkaalle tarjotaan hänelle sopivaa ratkaisua, tuotevarianttien määrä on käytännössä rajaton (Hvam, Mortensen ja Riis, 2008; *Tilauksesta suunnittelu (ETO)*, 2022). Suunnittelua tehdään usein jo myyntiprosessin aikana myynnin tueksi, joten resursseja sitoutuu tilausprosessin alusta asti, minkä vuoksi olisi tärkeää voittaa alkuvaiheen toimittajien välinen tarjouskilpailu, jotta tehtyä työpanosta ei menetettäisi.

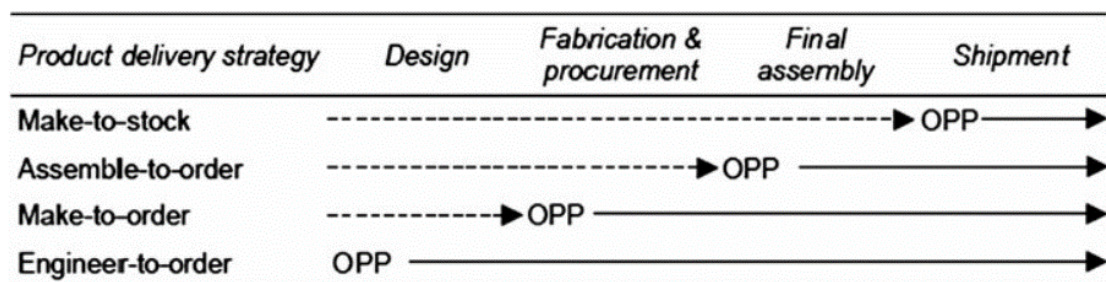
Modify to order (MTO) tarkoittaa tilauksen mukaan muokkausta, ja viittaa suunnittelun tuotantomuotoon. Tilaukseen tai sen osaan tehdään muutoksia tilauksen sisällön perusteella. Se on erittäin samankaltainen luova määrittelyprosessi kuin ETO prosessi on. Se on käytössä yrityksissä, jotka valmistavat räätälöityjä tuotteita. MTO eroaa ETO:sta siten, että tuotteet ovat vähemmän monimutkaisia ja tuotteen luominen tapahtuu usein ennalta määriteltyjen ja käytettyjen ratkaisuiden pohjalta, joiden luominen perustuu melko selkeisiin suunnittelusäännöstöihin (Hvam, Mortensen ja Riis, 2008).

Make to order (MTO) eli tilauksesta valmistus. Tuote valmistetaan lähes alusta asti asiakkaan tilauksen pohjalta. Tuotannon varastot ovat keskeneräistä tuotantoa sekä materiaaleja, komponentteja ja osia. MTO on tyypillinen ratkaisu tilanteissa, joissa tuotantomäärät ovat suhteellisen pieniä verrattuna lopputuotevaihtoehtojen määrään. Tilauksesta valmistus voidaan valita tuotantomuodoksi esimerkiksi tilanteissa, joissa tuote ei sovellu moduloitavaksi tai sitä ei ole moduloitu, tai mikäli tuotantomäärät ovat niin pienet, että moduulien varastointi ei olisi taloudellisesti järkevää. (*Tilauksesta valmistus (MTO)*, 2022)

MTO sopii laajasti kustomoitaville tai alhaisen volyymin tuotteille. Tilauksesta valmistus mahdollistaa hyvin laajan tuotevalikoiman ja varastoon sitoutuu suhteellisen vähän pääomaa, varaston ollessa lähinnä osia, komponentteja ja osavalmisteita. ETO:n ja MTO:n raja ei ole aina täysin yksiselitteinen, sillä tilauksesta valmistettaville tuotteille voidaan tehdä pienimuotoista suunnittelutyötä. Jos pääosa osista tai materiaaleista ostetaan asiakkaan tilauksen laukaisemana, voidaan puhua myös tilauksesta ostosta (Purchase to order tai Buy to order).” (*Tilauksesta valmistus (MTO)*, 2022). MTO:n avulla päästään eroon suurista varastosaldoista, jota normaalisti käytetään Make to Stock tyylisissä ratkaisuissa, mutta samalla menetetään mittakaavaedut ja ketteruus, joita varastojen ylläpitämisellä saavutettaisiin. **Make to stock (MTS)** viittaa toimintatapaan, jossa tuotteita on valmistettu varastoon ennakoiden tilauksia, ja asiakkaiden tilaukset toimitetaan lopputuotevarastosta.

Configure to Order (CTO) eli tilauksen mukaan konfigurointi on tuotantoprosessi, jossa tuotteet kokoonpannaan ja konfiguroidaan asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Lopulliset suunnitteluvalinnat tehdään tilauksen vastaanottamisen jälkeen. CTO käyttää määrittelyä asiakkaan vaatimuksia, jotka perustuvat tiettyihin tuoteominaisuuksiin ja ennalta määriteltyihin arvoihin. Lähtöarvojen perusteella tehdään konfigurointijärjestelmällä valinta tietyistä osien ja kokoonpanojen yhdistelmästä, mistä syntyy ennalta määritelty variaatio tuotteesta. CTO tuotteet ovat yksinkertaisempia ja ne saadaan määriteltyä konfigurointijärjestelmällä usein lähes automaattisesti asiakkaan toimesta. CTO on käytännössä MTS:n ja Make to Order:n yhdistelmä. CTO hyödyntää standardiosien sekä moduulien käyttöä, jotka voidaan koota ennalta määriteltyjen sääntöjen mukaisesti (Hvam, Mortensen ja Riis, 2008). Peruskomponentit voivat olla varastossa valmiina ja lopputuote kootaan niistä, kun tilaus saadaan. CTO:n avulla nopeutetaan läpimenoaikoja ja nopeutetaan tilausten käsittelyä. Perustuotteeseen voidaan lisätä erilaisia varusteita asiakkaan tarpeiden mukaan, esimerkiksi jäätelökioskin perusjäätelö, johon voidaan lisätä erilaisia kastikkeita, koristeita ja makeisia, tai henkilöauto ja sen lisävarusteet.

Assemble To Order tarkoittaa toimintatapaa, jossa tilaus käynnistää kokoonpanon välivarastossa olevista puolivalmisteista.



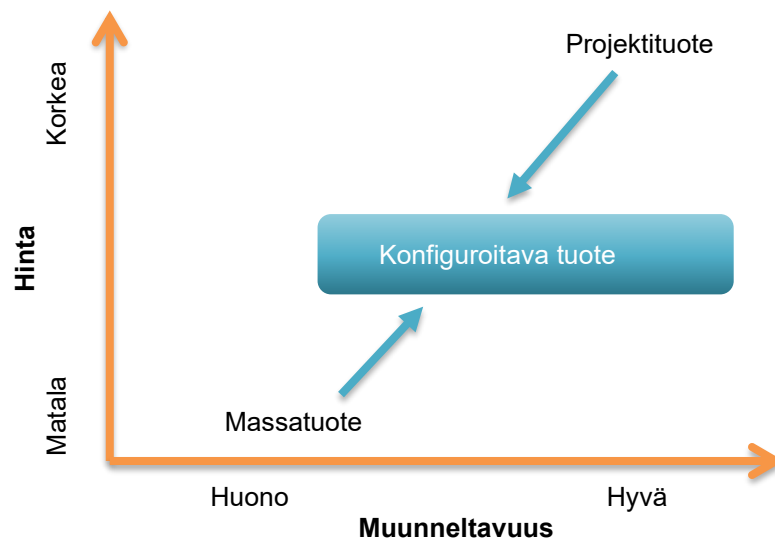
Kuva 3. Tilauksen kohdennuspisteen (OPP) sijoittuminen eri tuotantomuotojen välillä. (Haug, Hvam ja Mortensen, 2011, s. 201)

3.2 Projektiliiketoiminta

Suunnittelu, kilpailuttaminen ja sopimusten hallinta ovat kolme ETO yrityksen ydinosaamisalueita. Yrityksille tyypillistä on kysynnän vaihtelevuus ja epävarmuus sekä asiakkaiden korkea osallistuminen tuotesuunnitteluun ja tuotteiden räätälöintiin. ETO yritys ei välttämättä toimi pelkästään yhdessä suunnittelu-uloittuvuudessa (CTO, MTO, ETO), vaan pikemminkin näiden kaikkien alueella. Useita näistä voi tapahtua jopa saman ETO projektin tai tuotteen sisällä. Esimerkiksi sementtilaitoksia toimittava yritys voi koota laitoksen standardimoduuleista, jotka täyttävät tarvittavat suoritusarvot (CTO), se sisältää osia tai moduuleita, joita pitää muokata sopimaan asiakkaan tiloihin (MTO) ja se voi vaa-

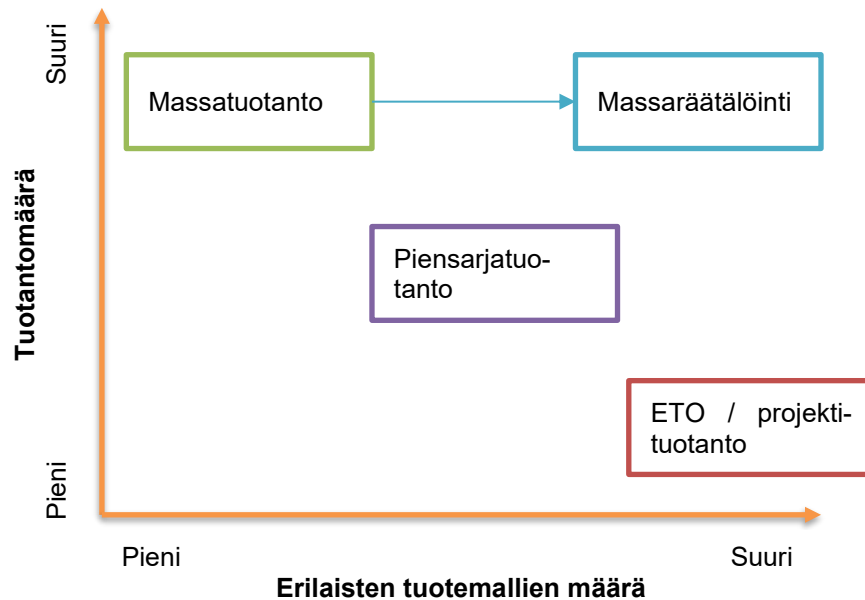
tia kokonaan uusien ratkaisuiden suunnittelemista, jotta asiakastarpeet täytetään. Massaräätälöintiä, tuotealustoja ja tuotteiden modulointia käyttävät ETO tyypiset yritykset voivat hyödyntää tuotteen joidenkin osien suunnittelussa suunnitteluaineiston uudelleenkäyttöä, joka voi perustua esimerkiksi standardimoduulien tai osien uudelleenkäyttöön tai aiemmin toteutettuihin ratkaisuihin uusia tuotteita luodessa (Johnsen ja Hvam, 2019). Haasteena on, että designit ja osalistat eivät ole valmiita versioita, joten ne muuttuvat ajan kuluessa. Nämä epätäydellisyydet tuotekokoonpanoissa, joita voidaan muuttaa tai vaativat suunnittelua ennen tuotantoa, ovat tyypillisiä projekti- ja ETO yrityksille.

Perinteisesti asiakasräätälöityviä tuotteita valmistavan yrityksen tavoitellessa lyhempiä läpimenoaikoja ja vähentynyttä resurssien sitoutumista, vastaan tulee usein käsitteet modulaarisuus ja konfigurointi. Yrityksen siirtyessä kohti konfiguroitavia tuotteita, voi se lähestyä asiaa kahdesta suunnasta, riippuen yrityksen taustoista. Vaihtoehto yksi on, että yritys on myynyt aiemmin projektikohtaisesti räätälöityjä tuotteita, mikä on vaatinut paljon suunnittelutunteja. Suunnittelutyön vähentämiseksi yritys rajaa aiemmin suunniteltujen laitteiden kirjoa niin, että uusiksi laitevaihtoehdoiksi valitaan riittävän kattava valikoima erilaisia tuotevariaatioita. Tuoterakenteita voidaan joutua muuttamaan modulaarisiksi, jotta konfiguroitava tuote voitaisiin koota sopivista moduuleista.



Kuva 4. Massa-, projekti- ja konfiguroitavan tuotteen suhde hintaan ja muunneltavuuteen. Mukailten (Peltonen, Martio ja Sulonen, 2002).

Toinen vaihtoehto lähestyä asiaa, on luoda vakioituihin tuotteisiin muunneltavuutta, jotta yritys pystyisi vastaamaan paremmin erilaisiin asiakastarpeisiin. Esimerkiksi massatuotteissa tuoteportfoliota laajennetaan niin, että yritys toimittaakin useammalla erilaisella käyttölaitteella tai eri teholuokissa tuotteen, josta aiemmin on ollut asiakkaan saatavilla vain tietty vakiotuote. Tuotantotyylin vaikutuksia tuotemallien määrään hahmotetaan alla olevassa kuvassa.



Kuva 5. Tuotantotyylin vaikutus tuotteisiin. (Hvam, Mortensen ja Riis, 2008, s. 25)

ETO tuotteille uniikkeja ominaisuuksia ovat korkea kustomoinnin aste, tilaukseen perustuva suunnittelu, monimutkaisuus ja resurssi-intensiivisyys. Monet ETO tuotteista voivat koostua osittain konfiguroituvista osuuksista, vakiokokonaisuuksista ja täysin manuaalisesti suunniteltavista osuuksista — tätä kutsutaan osittain konfiguroitavaksi tuotteeksi. Tuotteiden räätälöintiaste voi vaihdella täysin tilauskohtaisesti suunnitelluista tuotteista enemmän standardi tuotteisiin, jotka vaativat vain vähän tilauskohtaista suunnittelua (Johnsen ja Hvam, 2019).

ETO projektiliiketoiminnan tuotanto on usein projektiperusteista, syklistä ja tuotteiden läpimenoajat ovat pitkiä, viikoista kuukausiin tai jopa useisiin vuosiin. Kussakin projektissa toteutettavat toiminnot voivat vaihdella tuotteen mukaan. Toiminnot voidaan jakaa ei-fyysisiin ja fyysisiin toimintoihin. Ei-fyysisiä toimintoja ovat tarjouskilpailut, suunnittelu ja prosessisuunnittelu. Fyysisiä toimintoja ovat tuotanto, kokoonpano ja asennus.

3.2.1 Ennustaminen ja kustannukset

Projektin valmistelun vaikeita tehtäviä on aikataulun laatiminen sekä työmäärien arviointi. Projektin ennustaminen ja kustannuslaskenta on haastavaa, koska tuotteiden tarkkoja yksityiskohtia ei aina tiedetä suunnitteluvaiheessa, ja valmistukseen tarvittavat ajat sekä resurssit ovat usein tuntemattomia. Useasti aikataulu- ja resurssiennusteet perustuvat niitä tekevien henkilöiden ”hyviin” arvauksiin kokemuksen ja referenssien pohjalta, joten resurssoinnissa voi syntyä helposti suuriakin virhearvioita. Asiat konkretisoituvat vasta projektin käynnistyttyä ja sen edetessä. Projektin aikataulu toimii kuitenkin kivijalkana, johon resurssi- ja kustannusohjaus perustuvat. Projektien päällekkäisyys ja prosessien yhdenaikaisuus tuo omat haasteensa toimintaan, koska projektien resurssit, esimerkiksi suunnittelijat, voivat tehdä useaa projektia samanaikaisesti. Jos suunnittelutunteja kuluu enemmän yhteen projektiin, vaikuttaa se suoraan toisen projektin resurssien saatavuuteen. Resurssien saatavuus voi johtaa aikataulujen venymiseen ja kustannusten nousuun, ja pahimmassa tapauksessa tappiolliseen tai epäonnistuneeseen projektiin sekä tyytymättömään asiakkaaseen. Projektibudjetin ylitykset johtuvat usein siitä, että aikataulua on jouduttu ottamaan kiinni ylitöillä tai lisäresursoinnilla. Tämän vuoksi räätälöitäviä tuotteita valmistavien yritysten on oltava joustavia ja reagoivia muuttuviin tarpeisiin ja yksityiskohtiin selviytyäkseen liiketoimintaprosessien ja markkinoiden epävarmuuksista. Aikataulusuunnittelun riskejä ovat muun muassa: liian karkeat tehtäväerittelyt, kaikkia tehtäviä ei ole sisällytetty suunnitelmaan, tehtävien välisiä riippuvuuksia ei huomioida tai niitä ei ymmärretä, käytettävissä olevia varmuusmarginaaleja ei tunneta, todelliset resurssit eivät ole tiedossa, aikataulut sanellaan tai johtamisessa on ongelmia.

3.2.2 Projektituotteet

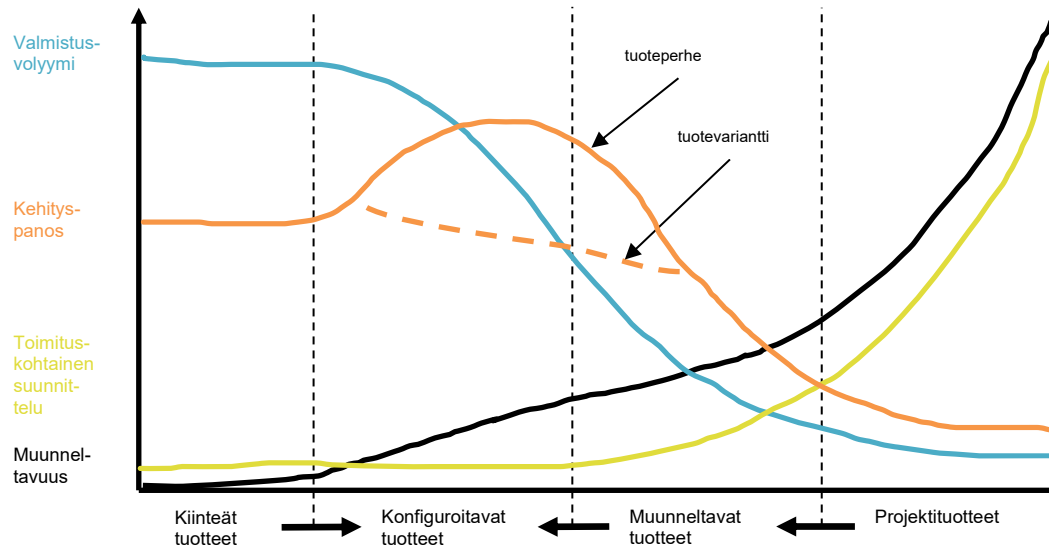
Tuotteet voidaan jakaa muunneltavuuden perusteella ryhmiin, ja käsitteiden selkeyttämisen vuoksi, niistä listataan oleellimmat:

Kiinteät tuotteet tai **vakiotuotteet**: Tuotteen spesifikaatiot ovat lukittuja ja sen mukaan valmistetut yksilöt ovat keskenään identtisiä. Toimitukseen ei sisälly tilauskohtaista suunnittelua.

Konfiguroitavat tuotteet: Konfiguroitavista tuotteista voidaan valmistaa erilaisia asiakastarpeet täyttäviä variantteja ennalta suunniteltujen sääntöjen mukaisesti. Asiakaskohtainen suunnittelu on konfiguraattorin avulla automatisoitu, joten manuaalista suunnittelua ei tarvita.

Muunneltavat tuotteet: Toimitukseen sisältyy asiakkaan tarpeiden mukaista suunnittelua, vaikka toimitusten perusrakenteet ovat aiemmin määritellyt ja ne sisältävät standarisoituja komponentteja. Variointimahdollisuuksia on enemmän kuin konfiguroitavilla tuotteilla, mutta tuotantovolyymi on pienempi.

Projektituotteet: Tyypillisesti yksittäiskappaleita, jotka ovat kokonaan tai lähes kokonaan suunniteltu asiakastarpeiden mukaisesti. Variointimahdollisuuksia on rajaton määrä ja suunnittelua vaaditaan paljon. Tuotantovolyymi on usein pieni.



Nuolet kuvaavat tuotetyyppien välisiä kehitystrendejä.

Kuva 6. Tuotetyypit muunneltavuuden mukaan ja niiden vaatimat resurssit. Mukailten (Martio, 2015, s. 15).

Projektituotteet ovat räätälöityjä tuotteita kuten konfiguroitavat tuotteet, mutta ne suunnitellaan myös asiakaskohtaisten tarpeiden mukaisiksi. Konfiguroitavien tuotteiden variointimahdollisuudet ovat esisuunniteltuja ja -määriteltyjä eivätkä ne tarvitse asiakaskohtaista suunnittelua (Martio, 2015). Projekteihin tarjotaan aiemmin tehtyjä laitteita, joihin voidaan joutua kuitenkin tekemään joitakin asiakaskohtaisia muutoksia johtuen ympäristökijöistä, asiakkaan tarpeista ja käytännöistä, kohdemaan lainsäädännön ja standardien asettamista vaatimuksista jne.

Projektin tarjousvaiheen määrittelytyössä tukeudutaan usein edellisistä projekteista kertyneeseen tietotaitoon, dokumentteihin ja tuotemalleihin. Martio (2015) listaa tyypillisiä asioita, joita projektin määrittelytyöhön liittyy:

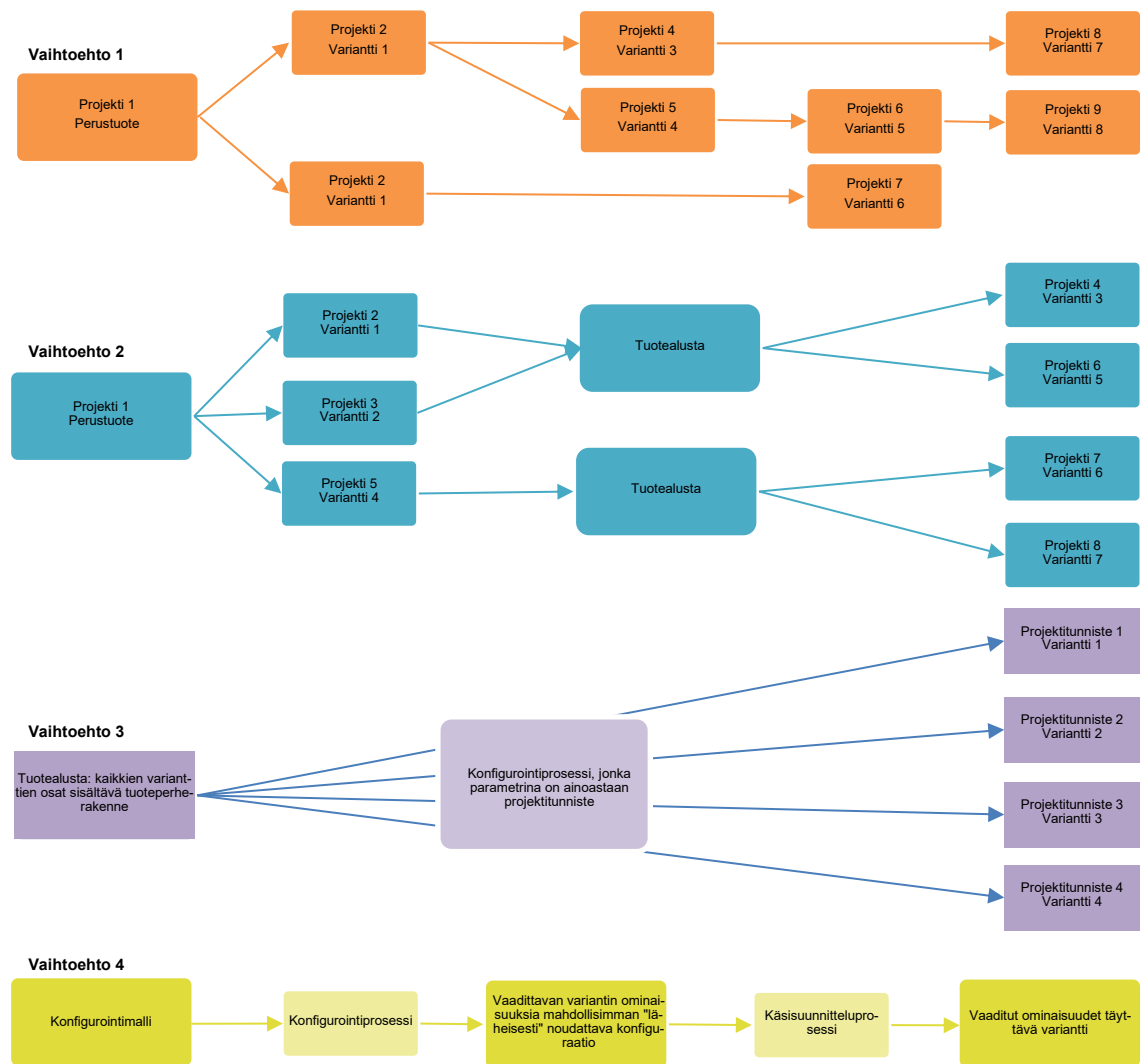
- Sovelluskohtaiset kysymyslistat asiakkaan tarpeiden määrittelemiseksi
- Tarjotaan edellisen lisäksi koeteltuja konstruktioita

- Tarjotaan valmiita tuotearkkitehtuuriltaan hyväksi todettuja ratkaisuja, joista perusdokumentaation ja mahdollisesti liittymämäärittelyt muihin järjestelmiin on jo olemassa
- Tarjotaan aikaisemmin toteutetusta projektista muunneltua ratkaisua. Tässä piilee se vaara, että tapa voi levittää vanhentuneita ja virheellisiä suunnitelmia seuraavaan projektiin, jos toimitetun projektin myöhemmin tehtyjä muutoksia ei ole esimerkiksi päivitetty dokumentaatioon.
- Tarjotaan aiemmin kehitettyyn tuotealustaan perustuvaa ratkaisua. Kehitystyön tuloksena saatu sovelluskohtainen ja räätälöitävä rakenne. Suurin osa esimerkitapauksista on käytössä volyymiteollisuudessa kuten autoteollisuudessa.
- Tarjotaan konfiguroitavaa tuotetta varioituvuusalueen ulkopuolelta, eli esimerkiksi vaihdetaan murskaimen käyttövoima sähköisestä hydrauliseksi.

Tuotteet on toisinaan mahdollista rakentaa olemassa olevien osaratkaisuiden pohjalta, kuten tuotteiden vakioidut rakenteet, moduulit tai osat, mutta jostakin tuotteen osasta pitää tehdä täysin uudet suunnitelmat, jotta asiakkaan tarpeet saadaan täytettyä. ETO yrityksille ei ole aina selvää, mitkä ovat asiakaskohtaiseen räätälöintiin liittyvät kustannukset, tai mitkä ovat tuotteen tai projektin ominaisuudet, jotka ohjaavat kustannuksia kussakin liiketoimintaprosessissa (Johnsen ja Hvam, 2019). Yrityksien käsitys todellisista kustannuksista hämärtyy, jolloin ajaudutaan tilanteeseen, jossa ei ole tietoa räätälöinnin todellisesta kannattavuudesta verrattuna esimerkiksi vakiotuotteisiin.

3.2.3 Muunneltavan projektituotteen suunnittelu

Projektituotteiden ollessa yksilöllisesti suunniteltuja ei niitä varten kannata kehittää moduulijärjestelmiä saatikka konfigurointimalleja. Vaikka projektituotteet ovat projektikohtaisia, on niissä usein toistuvia rakenteita, jotka on havaittu hyviksi, ja täten niitä kannattaa yrittää hyödyntää (Martio, 2015). Tapoja toteuttaa vanhan tiedon hyödyntäminen on useampi erilainen, ja ne näytetään alla olevassa:



Kuva 7. Projekti- ja muunneltavan tuotteen suunnittelumenetelmiä. Mukailten (Martio, 2015, s. 258)

Ensimmäinen vaihtoehto: projektien variantit perustuvat aikaisempaan työhön, eli uuden projektin pohjaksi valitaan mahdollisimman paljon uutta projektia muistuttava toimitus. Tällä toimintatavalla on kuitenkin havaittu olevan useita haittoja:

- Virheet siirtyvät aiemmista projekteista uusiin. Virheet on voitu korjata asennuksen yhteydessä, mutta muutoksia ei ole jostain syystä korjattu dokumentaatioon.
- Uusimpiin tuotekonstruktioihin tehdyt parannukset eivät siirry välttämättä uuteen projektiin, jos pohjana käytetään vanhempien projektien malleja.
- Jos uuden projektituotteen pohjaksi valitaan liian vanha malli, uuteen toimitukseen saattaa siirtyä komponentteja, joita ei valmisteta enää tai ratkaisuja, joita ei haluta enää jostain syystä käyttää, tai ne on korvattu paremmilla ratkaisuilla.

Tällainen toimintatapa altistaa suunnittelijan helposti virheille, jos suunnittelussa ei muisteta huomioida uusia aikaisempiin tuotoksiin tehtyjä muutoksia. Tuotetiedon hallinta on

myös haastavaa, koska se ei välttämättä ole keskitetysti tietyssä paikassa kaikkien saatavilla vaan tuotteista vastaavilla henkilöillä voi olla erilaisia omatekoisia taulukoita yms. Joissakin yrityksissä vanhojen mallien käyttöä on rajoitettu siten, että yrityksessä on määrätty käytettäväksi vain tiettyjä valikoituja projekteja referensseinä uusille projekteille.

Toinen vaihtoehto: uusien projektien pohjana voidaan käyttää vain kyseiseen tarkoitukseen suunniteltuja konstruktioita, joita voidaan kutsua tuotealustoiksi (Martio, 2015). Tuotealustat ovat ennalta suunniteltuja, tarkastettuja sekä riittävän kattavia tulevaisuuden tarpeiden varalta, ja ne vaativat jatkuvaa ylläpitoa.

Vaihtoehto kolme sisältää yhden tuotemallin, josta konfiguroidaan kaikki tuotevariantit. Tämän vaihtoehdon etuna on tuotetiedon hallittavuus, koska käytetyt ratkaisut löytyvät yhdestä ”komponenttikirjastosta”. Tuoteperherakennetta laajennetaan, kun tarvitaan uuden ominaisuuden omaava variantti. Jos konfigurointimallia ei haluta laajentaa uutta varianttia tarvittaessa, silloin tukeudutaan neljanteen vaihtoehtoon. Neljäs vaihtoehto soveltuu vain konfigurointimallin omaaville muunneltaville tuotteille, muttei projektituotteille (Martio, 2015, ss. 258–259).

4. SUUNNITTELUN KEHITTÄMISEN KEINOT

4.1 Standardointi

Standardointi eli vakiointi tarkoittaa tuotteista puhuttaessa useiden erilaisten ratkaisuiden tai komponenttien muuttamista yhdeksi ratkaisuksi tai komponentiksi, joka pystyy täyttämään kaikkien niiden toiminnot. Tämä tilanne tunnetaan myös komponenttien yhtenevyytenä (Perera, Nagarur ja Tabucanon, 1999). Perera ym. (1999) mukaan komponenttien standardoinnissa on olemassa kolme mahdollista tilannetta:

1. Tuotteen komponenttien standardointi: useat uniikit komponentit korvataan yhteisellä komponentilla.
2. Komponenttien standardointi tuotteiden välillä: useat uniikit komponentit eri tuotteissa korvataan yhteisellä komponentilla.
3. Komponenttien standardointi tuotesukupolvien välillä: yhteisiä komponentteja käytetään eri tuotteissa tai päivitettyissä tuotteissa ajanjakson yli.

Vakiointia tarvitaan, kun yritys haluaa siirtyä lähemmäs massatuotantoa. Tavoitteena on vähentää teknisen järjestelmän ominaisuuksien turhaa ja ei-toivottua vaihtelua tai poikkeamia. Standardointi voi tapahtua monella tasolla, jopa toimialatasolla esimerkiksi ISO-standardien muodossa (Juuti, 2008). Suunnittelijoiden tulisi pyrkiä käyttämään komponentteja, joita ei tarvitse valmistaa erikseen, vaan komponentteja, jotka ovat helposti saatavilla vakio-, toistuvina- tai ostettuina osina (Pakkanen, 2015). Tähän on hyvä pyrkiä jo pelkästään siitä syystä, että vakiokomponentit ovat usein halvempia ja kaikin puolin helpommin hallittavia. Ulrich & Eppinger (2008) määrittelevät komponenttien standardoinnin: saman komponentin tai palan käyttö monissa tuotteissa. Pala voidaan standardisoida, jos se koostuu yhdestä tai muutamasta toiminnallisesta elementistä, joita käytetään laajasti useissa eri tuotteissa.

Kun ETO yritys harkitsee lisäävänsä vakiointia tuotteisiinsa, olisi yrityksen hyvä miettiä kannattavuuteen ja markkinoihin liittyviä kompromissi tilanteita. Standardisointi voi vähentää liikkumavaraa markkinoilla, eli kaikille asiakkaille ei välttämättä voida tarjota sopivaa standardi tuotetta. Yrityksen joustavuus ja kyky vastata asiakkaiden tarpeisiin voi heiketä, mikä johtaisi uusien myyntien laskuun. Mikä on oikea balanssi resurssivaativien ei standardoitujen räätälöityvien tuotteiden ja standardisoitujen tuotteiden välillä? Tuoko räätälöityjen tuotteiden takia kasvanut myynti oikeasti yritykselle arvoa, vai tuottavatko

kompleksiset tuotteet kuitenkin lopulta vähemmän kassavirtaa kuin standardisoidut vaihtoehdot? (Johnsen ja Hvam, 2019).

4.2 Kokoluokka-ajattelu

Kokoluokat tuotteiden suunnittelussa mahdollistavat suunnittelun ja tuotannon rationalisoinnin. Kokoluokilla tai kokoalueilla tarkoitetaan teknisiä laitteita ja niiden osia, jotka täyttävät saman tehtävän, perustuvat samaan ratkaisuperiaatteeseen, valmistetaan eri kokoisina tai sisältävät samanlaisia tuotantoprosesseja (Pahl *ym.*, 2013, s. 465). Kokoluokista voidaan puhua esimerkiksi tuotteen käyttövoiman teholuokkien valinnassa, kun tuotteelta halutaan saada tietty kapasiteettimäärä. Pohdittavana on silloin, millaisella koelmalla eri teholuokan moottoreita saavutetaan tarvittavat kapasiteettivaatimukset. Eli kuinka monta eri tehoista laitetta oikeasti tarvitaan kattamaan asiakkaiden ja muiden sidosryhmien vaatimukset ilman, että kokoluokkien välillä syntyy paljon päällekkäisyyksiä esimerkiksi suoritusarvoissa.

Kun yritetään järkeistää tuotevalikoimaa kokoluokkien avulla, suunnittelijat joutuvat valitsemaan ja samalla lukitsemaan luokkien välisten kasvuaskeleiden koon, esimerkiksi tehon ja vääntömomentin suhteen. Luokkien valintaan vaikuttaa hyvin usein monta eri tekijää, joiden pohjalta lopulliset valinnat tehdään. Markkinatilanne ja asiakkaat vaativat pääsääntöisesti pieniä lisäyksiä luokkien välillä, jotta kaikkien asiakkaiden erilaiset vaatimukset voitaisiin täyttää, jolloin tuotemalleja tarvittaisiin suuri määrä. Toinen näkökulma on suunnittelun ja tuotannon tehokkuus, mikä vaatii riittävän pienet kokoluokkien vaihdokset, jotta tuote täyttää tekniset vaatimukset, mutta silti kokoluokkien välisten askeleiden pitäisi olla riittävän isoja, jotta mahdollistetaan yksinkertaistetun valikoiman suurieräinen tuotanto (Pahl *ym.*, 2013, s. 473).

Kokoluokkien kehitys voi alkaa jo tuotteen kehitysvaiheessa tai sitä voidaan käyttää olemassa oleviin tuotteisiin. Kummassakin tapauksessa on tärkeää tehdä luokittelu huolellisesti ja järkevästi. Kokoluokkien avulla voidaan saavuttaa Pahl *ym.* (2013) mukaan muun muassa seuraavanlaisia etuja tai haittoja:

Valmistajan saamat hyödyt:

- Suunnittelutyö voidaan tehdä kerralla kuntoon ja niitä voidaan käyttää useisiin sovelluksiin
- Valittujen kokojen valmistus voidaan toistaa erissä, jolloin se on kustannustehokkaampaa
- Tuotteiden laatu on parempi

Käyttäjän saamat hyödyt:

- Kilpailukykyiset ja laadukkaat tuotteet
- Lyhyemmät toimitusajat
- Helppo varaosien ja tarvikkeiden hankinta

Valmistajan ja käyttäjän kokemat huonot puolet:

- Rajoitettu laitevalikoima, joka ei aina ole välttämättä optimaalisin tilanteen kannalta.

Kuten huomataan, pitää kokoluokkien valinnassa huomioida markkinoiden odotukset, markkinoiden käyttäytyminen yksinkertaistettujen luokkien vaihteluvälien ja niistä aiheutuvien aukkojen osalta, eri luokkien askelkokojen tuotantokustannukset ja -ajat sekä vaikutukset kokonaistuotantokustannuksiin. Koska vaikuttavia tekijöitä on useita, ei ole aina mahdollista valita vakion suuruisia kokoluokkien välejä (Pahl *ym.*, 2013).

4.3 Suunnitteluautomaatio

Suunnitteluosastojen haasteena on tuottaa 3D malleja ja 2D piirustuksia kiihtyvällä tahdilla. Kiristynyt tahti vaatii väistämättä enemmän suunnitteluresursseja, jos asioita tehdään edelleen manuaalisesti, mikä lisää kustannuksia ja virheitä syntyy helposti enemmän. Projektien ja asiakkaiden tarpeiden muuttuessa, suunnittelijat joutuvat tekemään jatkuvasti muutoksia tai päivittämään dokumentaatiota, jotta ne pysyvät ajantasaisina. Suunnitteludokumentteja voidaan tuottaa konfiguroinnin ja parametrisen suunnittelun avulla. Valmistuspiirustukset ovat mahdollistaa toteuttaa niin, että eri varianttien mitat on parametrisoitu ja merkitty piirustukseen, jolloin voidaan käyttää piirustusta, joka näyttää kaikki mahdolliset variantit kyseisestä kokonaisuudesta. Tämä ei korjaa asioiden kompleksisuutta vaan siinä siirretään kompleksisuus tuoterakenteesta tuotehallinnan puolelle.

Parametristen suunnittelumallien suunnittelu voi olla työlästä ja niiden toimintaperiaatteet jäävät monesti vain suunnittelumallien rakentaneiden henkilöiden tietoon. Tämä vaikeuttaa mallien päivittämistä ja ylläpitoa. Parametrisuunnittelulla voidaan automatisoida sekä tehostaa suunnittelutehtäviä kertaluontoisesti tai toistuvien tehtävien kohdalla. Algoritmit parantavat suunnitelmien laatua, vähentävät virheitä ja nopeuttavat hankkeiden läpimenoaikaa. Parametrisuunnittelua voidaan hyödyntää esimerkiksi talonrakennus-, infra- ja teollisuuskohteiden suunnittelussa kuten kuljetinsiltojen ristikkorakenteet, kattorakenteet tai hallien suunnittelu. Parametrinen suunnittelu sopii erityisen hyvin uniikkien yksityiskohtien ja vaativien geometrinen muotojen ja toistuvien rakenteiden suunnitteluun.

4.4 Modulaarisuus

Modulaarisuus on tuotteen osittamista pienempiin liitännöiltään määriteltäviin rakennesosiin eli moduuleihin yrityksen asettamien tavoitteiden sekä modulointiperiaatteiden mukaisesti. Itsenäiset rakennuspalikat eli moduulit tai lohkot ovat tuotteen osia, millä on jokin tietty määritelty toiminto ja sille ominaiset rajapinnat tuotteessa. Modulointi on suunnittelurakenteen kehittämisen tärkeimpiä alueita, kun halutaan siirtyä konfiguroitaviin tuotteisiin ja kasvattaa asiakassegmentin kokoa. Martion (2015) mukaan modulointi helpottaa konfigurointimallin laadintaa, mutta se ei ole konfiguroitavuuden edellytys.

Ulrich & Tung (1991) mukaan moduloidulla tuotteella on kaksi ominaisuutta:

1. Tuotteen fyysisen ja toiminnallisen arkkitehtuurin samankaltaisuus
2. Fyysisten komponenttien välisten vuorovaikutusten minimointi

Moduuleista on mahdollista luoda useita erilaisia lopputuotteita eri osakombinaatioilla, joista jokaisella on erillinen funktio ja kyky toimia itsenäisesti. Moduuli voi yksinkertaisimmillaan olla jokin koneen rakenneosa, jolle on määritelty tietyt liityntäpinnat (Martio, 2015). Moduloinnin avulla on mahdollista pitää tuoterakenteet ja tuotevalikoima yksinkertaisena, kun tuotteissa on paljon samankaltaisuuksia ja yhtenäisiä elementtejä. Standardisointi mahdollistaa moduloinnin, oli kyse sitten yksittäisten komponenttien tai isompien osakokonaisuuksien standardoimisesta. Valmiiksi suunnitellut moduulit laskevat merkittävästi suunnitteluun tarvittuja resursseja, mikä mahdollistaa hyödyt muun muassa esivalmistuksessa, varastoinnissa, läpimenoajoissa ja projektien toteutuksessa. Modulaarisuus vaikuttaa tuotteen valmistusprosesseihin, mikä voi vaatia yhteistyökumppaneilta ja yritykseltä tiivistä yhteistyötä. Olemassa olevien tuotteiden modulointi voi synnyttää muutostarpeita tuotantotavoissa ja resurssoinnissa. Yhteisten osien ja samankaltaisten rakenteiden lisääminen tehostaa tuotantoa. Modulaariset yhteensopivat rakenteet mahdollistavat tuotteiden kokoonpanojen tai osien valmistamisen varastoon, millä voidaan vaikuttaa tuotteiden läpimenoaikaan positiivisesti. Yhteiset eri tuotteiden alikokoonpanot mahdollistavat suuremmat tuotantomäärät, mikä auttaa laskemaan kappalemääräisiä valmistushintoja. Moduloinnilla on vaikutuksia myös muihin tuotteen elinkaaritoimintoihin ja ominaisuuksiin kuten tuotteen laatuun, ostoprosesseihin ja jälkimarkkinointiin. Modulaarisuuden avulla saavutetaan myös suunnittelun toistettavuutta (Juuti, 2008). Modulaarisuuden linkittyessä läheisesti massaräätälöintiin, konfiguraattoreiden käyttö linkittyy puolestaan vahvasti moduulirakenteiden kehittämiseen ja hyödyntämiseen. Moduuleilla pyritään luomaan räätälöityjä tuotteita asiakkaille ja samalla niillä rajoitetaan tuotevarianttien määrää, mikä vähentää tuotteiden kompleksisuutta, helpottaa

niiden hallintaa ja laskee kustannuksia (Hvam, Mortensen ja Riis, 2008). Modulaarisuudessa ajatuksena on luoda hallittava tuoteportfolio, joka koostuu esimerkiksi suorituskyvyltään, ulkonäöltään tai kooltaan erilaisista tuotteista, jotka kootaan valmiiksi suunnitelluista moduuleista. Modulaarinen tuote ei toimi pelkästään sillä, että sille määritellään rajapinnat. Ilman määriteltyä tuotearkkitehtuuria rajapinnat voivat olla toistensa ulottumattomissa, jolloin moduulit eivät todellisuudessa ole yhteensopivia rakenteen kanssa. Tuotteelle on suunniteltava oikeanlainen tuotearkkitehtuuri, jotta moduulit ovat asennettavissa. Moduuleilla voi olla yksi tai useampi rajapinta, joilla se liitetään tuoterakenteeseen. Rajapinnat mahdollistavat moduulivarianttien vaihtamisen niin, että se ei vaikuta tuotteen toiminnallisuuteen (Pakkanen, 2015).

Voidaan sanoa, että moduuli on tuotteen rajattu osa, jolla on hyvin määritellyt funktiot ja rajapinnat, ja sille on määritelty tietyt säännöt, joilla sitä voidaan yhdistellä muiden yhteensopivien moduulien kanssa. Moduloinnin yksi haasteista on luoda tuotteiden osille sellaiset moduulit, joiden rajapinnat pysyvät mahdollisimman kauan muuttumattomina (Hvam, Mortensen ja Riis, 2008). Parhaiten moduloitava arkkitehtuuri olisi sellainen, missä jokaisella tuotteen funktionaalilla elementillä olisi vain yksi fyysinen moduuli, ja että moduulien välillä olisi muutamia hyvin määriteltyjä rajapintoja (Pakkanen, 2015).

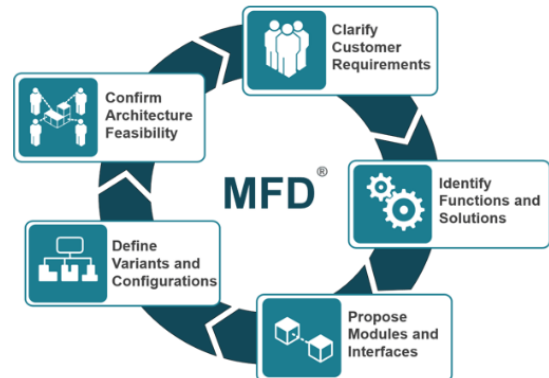
Tuotteen modulointia voidaan kuvata moduulijärjestelmällä, jossa kuvataan arkkitehtuuri, moduulit, rajapinnat, sekä konfigurointitiedot, joka sisältää jakologiikat eli tiedot vaihdettavuussäännöistä ja rajoitteista. Jakologiikka sisältää myös perusteet sille, miksi on päädytty tietynlaiseen moduulijakoon (Juuti, 2008; Lehtonen *ym.*, 2011; Pakkanen, 2015). Konfigurointitieto näyttää millaiset moduuliyhdistelmät ja osayhdistelmät ovat mahdollisia sekä kuinka ne täyttävät asiakkaiden vaatimukset. Arkkitehtuuri kuvastaa, missä ja miten eri moduulit kytkeytyvät toisiinsa tuotteessa. Vaihtelevuutta voidaan vähentää osatasolla modularisaatiolla, parametroidinnalla, vakioinnilla ja käyttämällä ryhmäteknologiaperiaatteita. Ryhmäteknologiaperiaatteessa osien samankaltaisuutta analysoidaan perustuen valmistuskoneiden yhtäläisyyteen. Osaperheet määritellään samankaltaisilla osilla ja jokainen perhe valmistetaan tietystä valmistussolussa (Pakkanen, 2015).

4.4.1 Modulointimenetelmiä

Tuotemodulointia varten on kehitetty monia menetelmiä, jotka tuotteen toimintoja analysoidaan etsivätkin optimaalisia tapoja jakaa tuote moduuleihin. Design Structure Matrix (DSM) on visuaalinen taulukkoesitystapa, millä analysoidaan esimerkiksi komponenttien välisiä vuorovaikutuksia mahdollisten moduulien tunnistamiseksi (Martio, 2015).

DSM on NxN matriisi, jossa tutkittaville elementeille asetetaan riippuvuussuhteet toistensa suhteen (Eppinger ja Browning, 2012).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Radiator		X														
Engine Fan	X				X											
Heater Core			X													X
Heater Hoses				X												
Condenser					X		X									
Compressor						X	X	X								
Evaporator Case								X								X
Evaporator Core					X	X			X							X
Accumulator						X		X								
Refrigeration Controls										X						
Air Controls											X					
Sensors												X				
Command Distribution													X			
Actuators														X		
Blower Controls																X
Blower Monitor			X				X	X								X

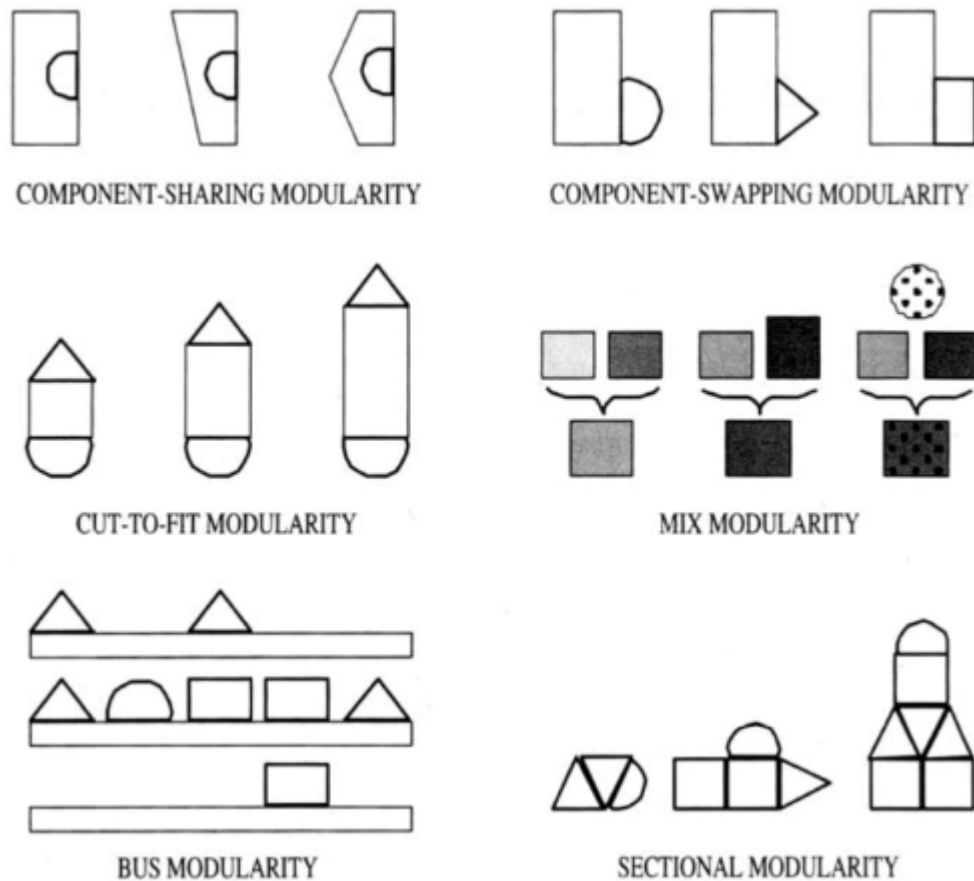


Kuva 8. Vasemmalla DSM ja oikealla MFD. (Modular Function Deployment, 2022; The Design Structure Matrix, 2022)

Modular Function Deployment (MFD) on viisivaiheinen menetelmä, joka alkaa asiakkaan vaatimusten analysoinnilla, jonka jälkeen valitaan tuotteen mahdolliset tekniset toteutukset. Seuraavaksi etsitään moduulit moduulien määritystaulukon Module Indication Matrix (MIM) avulla huomioiden moduulien ja modulointiin vaikuttavien tekijöiden väliset vuorovaikutukset. Vaihtoehtoisten modulointitapojen analyysin jälkeen valitaan toteutus ja optimoidaan yksittäiset moduulit. Menetelmät tarjoavat teoreettisen pohjan tuotteen modulointiin, mutta ne voivat olla työläitä käyttää etenkin silloin, jos tuote sisältää paljon toimintoja ja potentiaalisia ratkaisuvaihtoehtoja on lukuisia (Martio, 2015, ss. 196–197).

4.4.2 Modulaarisuustyypit

On olemassa useita erilaisia modulaarisuustyyppejä, joiden toimintaa käydään seuraavaksi lyhyesti läpi. Moduuleiden vaihdeltavuus on tärkeää modulaarisuudessa, kun tavoitellaan konfigurointia. Ensimmäiset kuusi modulaarisuustyyppeä kuvastavat modulaarisuutta vaihdeltavuuden näkökulmasta (Pine, 1993; Lehtonen, 2007; Ulrich ja Eppinger, 2008; Pakkanen, 2015).



Kuva 9. Modulaarisuustyyppjä 1/2. (Pine, 1993)

Component-sharing modularity – Yhteinen komponentti -modulaarisuus: sama komponentti on käytössä useissa tuotteissa.

Component-swapping modularity – Vaihtoehtoinen komponentti -modulaarisuus: Vakiotuotetta voidaan varioida lisäämällä siihen erilaisia toimintoja tuottavia moduuleja. Esimerkiksi tietokone, jonka emolevyyn ja USB-porttiin voidaan lisätä lisämuistia tai muita komponentteja moduuleina.

Cut-to-fit modularity – Leikkausmodulaarisuus: Tuotteen mittoja voidaan varioida yhtä moduulia säätämällä ja säilyttämällä rajapinta muihin moduuleihin. Ottaa huomioon yhden tai useamman jatkuvasti muuttuvan komponentin ennalta asetettujen tai käytännön rajojen sisällä. Esimerkiksi eri tilavuuden omaavat säiliöt.

Mix modularity – Sekoitusmodulaarisuus: Komponenttien sekoittamista yhteen tavalla, joka luo jotain erilaista. Muistuttaa vaihtoehtoinen komponentti -modulaarisuutta. Esimerkiksi eri värisiä maaleja sekoitetaan yhteen, jolloin syntyy uusi väri.

Bus modularity – Väylämodulaarisuus: Mahdollistaa erilaisten moduulien lisäämisen vakioituun perusrakenteeseen (tuoterunkoon). Esimerkiksi kiskovalaistusjärjestelmä.

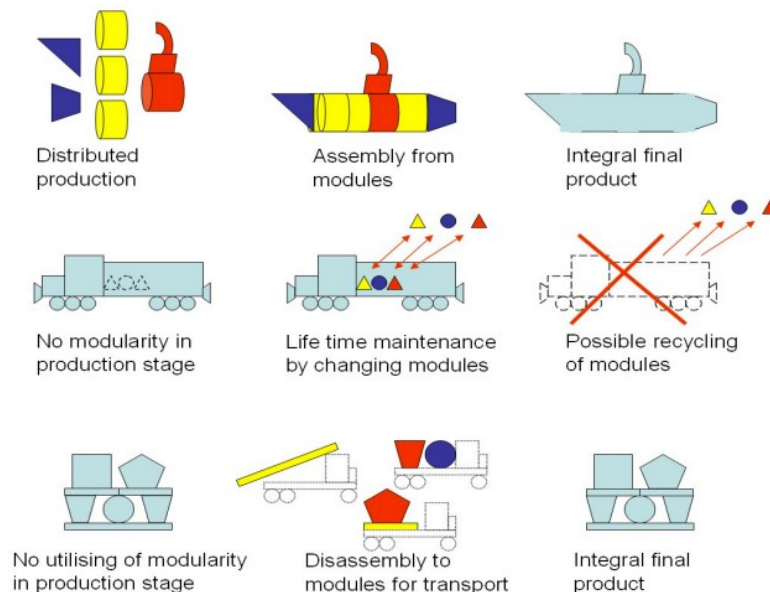
Sectional modularity – Palapelimodulaarisuus: Mahdollistaa komponenttityyppien konfiguroinnin, joilla on standardiliitännät, mielivaltaisilla tavoilla. Eli kuten vaihtoehtoinen komponentti -modulaarisuus, mutta variointi saadaan aikaan koostamalla tuote vakio-moduuleista. Tämän tyyppinen vaihdettavuus mahdollistaa suurimman valikoiman ja räätälöinnin sekä mahdollistaa uudelleenkonfiguroitavuuden, mutta se on kaikista vaikein saavuttaa. Esimerkiksi legopalikoista koottu rakennelma.

Näiden jakotapojen lisäksi on esitetty kaksi lisätapausta, jotka ovat **stack**-modulaarisuus ja **on-off**-modulaarisuus. On-off kuvastaa tilannetta, jossa moduuli joko valitaan osaksi kokoonpanoa tai se jätetään kokonaan tyhjäksi. Stack-modulaarisuus viittaa tilanteeseen, jossa samoja moduuleja kasaamalla lisätään esimerkiksi tuotteen pituutta. (Lehtonen, 2007)



Kuva 10. Modulaarisuustyyppiä 2/2. (Lehtonen, 2007)

Elinkaarimodulaarisuus liittyy tuotteen elinkaaren aikana tapahtuviin toimintoihin. Tuote voidaan jakaa osiin esimerkiksi pohjautuen hajautettuun valmistukseen, logististen päätösten helpottamiseksi tai tuotteen kulutusosien mukaan. Elinkaarimodulaarisuus ei huomioi tuotteen varioituvuutta. Moduulijako tehdään perustuen mahdollisiin positiivisiin hyötyihin, joita voidaan saavuttaa eri elinkaaren vaiheissa.



Kuva 11. Elinkaarimodulaarisuus. (Lehtonen, 2007)

4.4.3 M-modulaarisuus

Modulaarisuuden tyyppi, jossa moduulit mahdollistavat muuntelun ja ominaisuuksien lisäämisen tuotteeseen. M-modulaarisuus tähtää konfigurointiin ja mahdollistaa tuotteiden varioinnin. Moduuleita voi vaihtaa toisiin moduuleihin, jotta tuotteen ominaisuuksista saadaan erilaisia. M-modulaarisuudessa moduuli on lohko, mikä tahansa tuotteen tai järjestelmän osa, jolle on määritelty rajapinta ja se on osa moduulijärjestelmää. Rajapintojen olemassaolo mahdollistaa moduulien riippumattomuuden ja vaihtokelpoisuuden samassa paikassa, yhden moduulin käytön useissa tuotevariaatioissa ja väylätyyppisen rakenteen tai vapaan asettelun käyttämisen (Lehtonen, 2007; Pakkanen, 2015).

4.4.4 Brownfield prosessi

Modulaarisen tuotteen kehittämistä varten on luotu menetelmä, jota kutsutaan Brownfield-prosessiksi (Lehtonen *ym.*, 2011; Pakkanen, 2015). BfP auttaa ensisijaisesti olemassa olevien tuotteiden moduulijärjestelmän kehittämisessä. Prosessi alkaa ja päättyy huomioiden liiketoimintaan liittyvät asiat, koska tulosten pitää soveltua yrityksen toimintaympäristöön tukeakseen kilpailukykyä ja kannattavuutta. Suunnittelun näkökulmasta prosessi keskittyy modulaarisen arkkitehtuurin suunnitteluun tuoteperheelle. BfP:ssä huomioidaan myös konfigurointitietämykseen liittyviä asioita uudelleenkäytön helpottamiseksi myynti-toimitusprosesseissa. Konfigurointiin liittyvä tietämys sisältää suunnitteluperusteiden dokumentointia, mikä voi olla hyödyllistä myöhemmin tehtävässä tuoteperheen päivityksessä (Pakkanen, 2015). Suunnitteluperusteet viittaavat niiden asioiden ja päätösten dokumentointiin, miksi tietynlaisiin valintoihin on päädytty moduulijärjestelmää luotaessa. Konfigurointia ja siihen liittyviä asioita käydään tarkemmin läpi tämän työn kappaleessa 4.7.

BfP on 10-vaiheinen prosessi, missä määritellään moduulijärjestelmän tiettyihin elementteihin liittyvät suunnittelutiedot. Pakkanen (2015) ehdottaa tutkielmassaan aiempaan kirjallisuuteen perustuen, että moduulijärjestelmän tärkeimmät elementit ovat jakologiikka, moduulijako, rajapinnat, arkkitehtuuri sekä konfigurointitietämys. Nämä tekijät ovat kirjattu BfP:n yläosaan kuva 12. Siniset viivat kunkin vaiheen kohdalla osoittavat niitä pääelementtejä, joita käsitellään kyseisessä vaiheessa. Esimerkiksi konfiguraatitietämystä käsitellään vaiheissa 5,6 ja 8.

tyihin tuotteisiin tehokkuuden ja reagoitakyvykkyyden saavuttamiseksi. Asiakaskohtaisen kustomoinnin kasvaessa tuotealustan hyödyt pienenevät. Tuotealustojen suunnittelun haasteina ovat muun muassa suunnittelupyrkimykset lisätä yhdenmukaisuutta samalla säilyttäen optimaalisen erottuvuuden sekä minimoimalla eri varianttien ylisuunnittelun (Kristianto, Helo ja Jiao, 2015).

Alustaa voidaan myös skaalata tai venyttää yhteen tai useampaan suuntaan, jolloin realisoidaan skaalaperusteinen tuoteperhe (Simpson *ym.*, 2014). Tuoteperhe ajattelu vaatii yritykseltä aivan erilaisen lähestymis- ja ajattelutavan kuin yksittäisiä tuotteita tehdessä. ”Tuoteperheistäminen” vaatii yritykseltä pitkäjänteistä ajattelua useiden sukupolvien tuotteille ja tuotelinjoille, ja se tulee vaatimaan paljon aikaa ja resursseja. Onnistunut alusta koostuu oikeanlaisista teknisistä ratkaisuista, taloudellisista eduista sekä organisatorisesta etenemissuunnitelmasta (Simpson *ym.*, 2014).

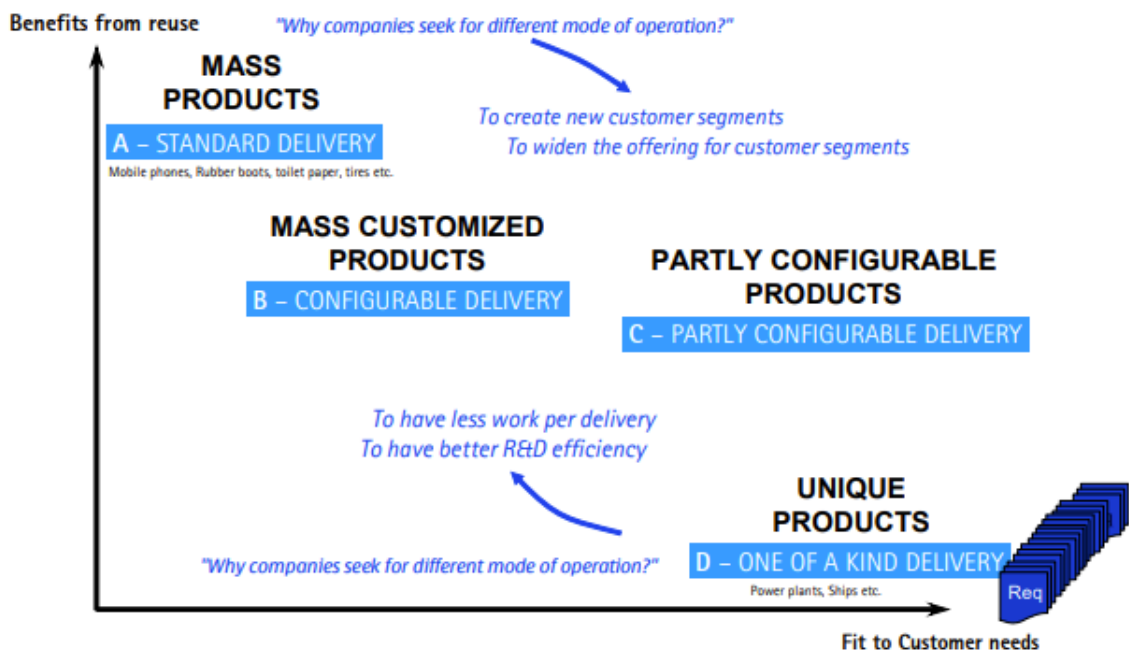
Tuotealustan hyödyt liittyvät olemassa olevien elementtien uudelleenkäytön ja varianttien tarjoamiseen markkinoille (Pakkanen, 2015). Useiden tuotevarianttien tarjoaminen voi auttaa kattamaan isomman markkinasegmentin ja kasvavat asiakastarpeet, jolloin on myös mahdollista tavoittaa isompi markkinaosuus. Toisaalta suuri varianttien määrä voi kasvattaa suunnittelu- ja tuotantokustannuksia sekä pidentää tuotteiden läpimenoaikoja. Tällöin voi syntyä tilanne, jossa käydään vaihtokauppaa kustannustehokkuuden ja asiakastarpeiden täyttämisen välillä. Liiallinen vakiointi voi vähentää tuotteiden markkinaosuutta elleivät ne ole riittävän erilaisia muuhun markkinaan verrattuna. Massaräätälöinnillä pyritään taklaamaan tätä ristiriitaa, koska se mahdollistaa mittakaavaedut ja monipuolisten vaatimusten täyttämisen samanaikaisesti (Simpson *ym.*, 2014).

4.6 Räättelöinnistä kohti konfiguroituvuutta

Vakiointi ja modulaarisuus mahdollistavat yhteneväisyyden tuotteissa, ja sen myötä olemassa olevien komponenttien uudelleenkäytön sekä toistettavuuden. Mahdollisuus käyttää olemassa olevia elementtejä uudelleen ja mahdollisuus mukauttaa tuote erityistarpeisiin voivat tuottaa monia etuja toimitusketjussa (Pakkanen, 2015). Uudelleenkäyttö vähentää suunnittelutyötä, mikä vaikuttaa tutkimus- ja tuotekehitystoimintaan positiivisesti, kun resursseja vapautuu uusien tuotteiden ja varianttien kehittämiseen ja suunnitteluun. Markkinaosuuden kasvun ohella myynti ja tuotot voivat myös kasvaa. Yhdenmukaisilla ratkaisuilla, joko yksittäisen tuotteen sisällä tai laajemmassa mittakaavassa, pyritään yleensä massatuotannon etuihin eli kustannussäästöihin ja toistettavuuden myötä saataviin laatueroihin vähenemiseen. Konfiguroitaviin tai osittain konfiguroitaviin tuotteisiin siirtymisen taustalla voi olla useita tavoitteita. Näitä ovat Lehtosen (2007) ja

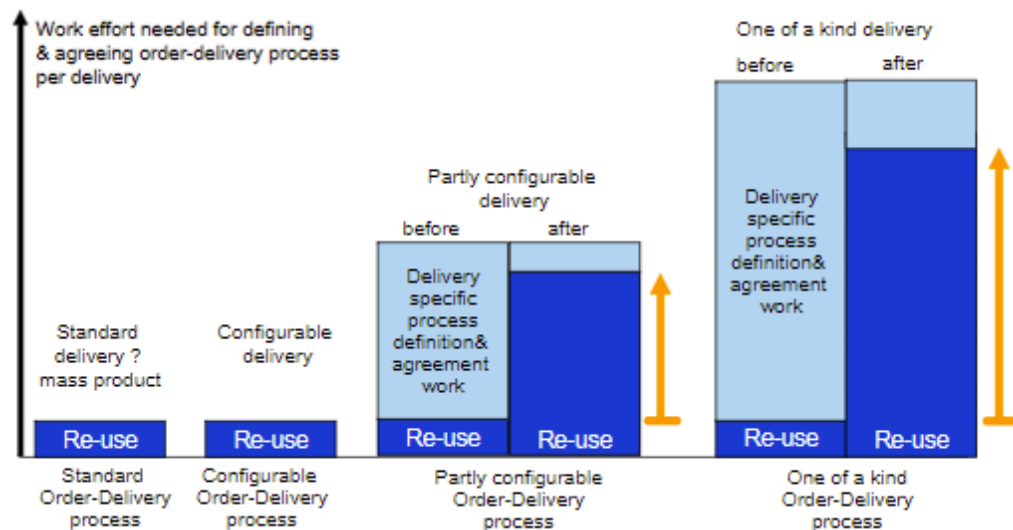
Pakkasen (2015) mukaan muun muassa: kohonnut laatu, tuotteiden hallinnan helpottuminen ja selkeytyminen, toimitusajan lyheneminen, asiakaskohtaisen suunnittelun väheneminen, suunnitteluratkaisuiden uusiokäyttö, tilauspisteen siirtäminen toimitusketjun myöhempisiin vaiheisiin, tuotannonohjauksen selkeytyminen, vakioinnin lisääminen, modulaaristen rakenteiden kehittyminen, toimitusketjun parannus ja markkinaosuuden kasvu.

Kuva 13 esittää, miten massa-, massaräätälöidyt-, uniikit- ja osittain konfiguroitavat tuotteet sijoittuvat toistensa suhteen pystysuunnassa tuotantomääriin ja uudelleenkäytön tuomiin hyötyihin sekä vaakasuunnassa tuotteen soveltuvuuteen asiakastarpeisiin. Juuti ym. (2007) lisäävät osittain konfiguroitavat tuotteet osaksi tuotetyyppejä tutkimuksensa pohjalta. Osittain konfiguroitavat tuotteet sijoittuvat lähes samaan kuin uniikit tuotteet, koska ne vastaavat asiakkaan tarpeisiin lähes yhtä hyvin. Osittain konfiguroitava tuote jää kuitenkin hieman jälkeen massaräätälöidyille tuotteille, koska osittain konfiguroitavan tuotteen uniikit osuudet eivät tuota täysin samaa hyötyä kuin massaräätälöidyt tuotteet (Juuti, Lehtonen ja Riitahuhta, 2007).



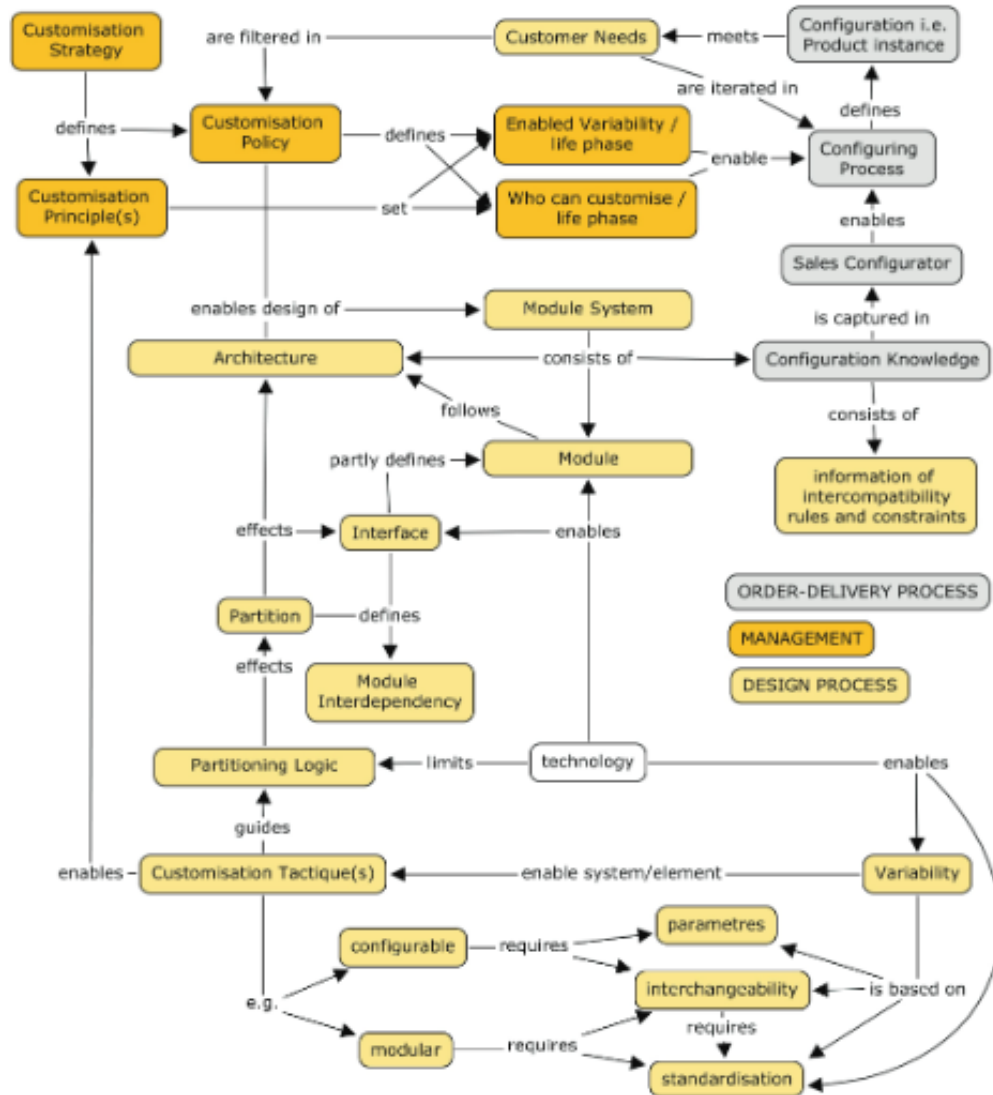
Kuva 13. Erityyppisten tuotteiden sijoittuminen uudelleenkäytön hyötyjen ja tuotantomäärän sekä asiakastarpeiden suhteen. (Juuti, Lehtonen ja Riitahuhta, 2007)

Konfiguroituvilla ja osittain konfiguroituvilla tuotteilla on mahdollista vähentää toimitusprosessissa tarvittavaa työmäärää, kun ratkaisuihin on lisääntynyt uudelleenkäytön mahdollisuus. Räätelöidyt ja vakioimattomat ratkaisut vaativat myynti- ja suunnitteluvaiheessa enemmän hallinnollista- ja määrittelytyötä. Hallittu uudelleenkäyttö lisää ketteryyttä tuotteiden ja kehitysprosessien mukauttamiseen sekä vähentää hallinnollista työtä (Juuti, Lehtonen ja Riitahuhta, 2007). Täysin konfiguroituvilla tuotteilla suunnittelun uudelleenkäyttö on niin suuressa osassa, että tilauskohtaista suunnittelua ei vaadita ollenkaan, vaan tilauksen sisältö voidaan muodostaa konfiguraattorilla asiakkaan tai myyntiorganisaation toimesta.



Kuva 14. Suunnittelu- ja tilaus-toimitusprosessin määrittelemiseen ja sovittamiseen tarvittava työpanos konfiguroitavilla ja ainutkertaisilla tuotteilla. (Juuti, Lehtonen ja Riitahuhta, 2007)

Juuti (2008) on koostanut yhteenvedon modulaarisuudesta ja konfiguroitavista tuotteista korostaen suunnitteluprosessin, tilaus-toimitusprosessin ja hallintaelementtien erottelua, mikä perustuu aiempiin tutkimuksiin, joita ovat muun muassa (Tiihonen *ym.*, 1998; Lehtonen, 2007) tutkimukset aiheesta. Kuva 15 nähdään, miten räätälöintistrategia ottaa huomioon räätälöinnin periaatteet ja linjauksen siltä osin, kuka voi tehdä räätälöintiä tiettyssä tuotteen elämänvaiheessa, ja millainen vaihtelu on mahdollista kussakin vaiheessa (Pakkanen, 2015, s. 66). Osa-alueet, jotka koskevat tuotesuunnittelua, yrityksen johtamistoimintoja ja myynti-toimitusprosessia on värikoodattu keltaisella, oranssilla, ja harmaalla värillä. Suunnittelu mahdollistaa erilaiset muunteluperiaatteet, joita yrityksen johto ajaa eteenpäin. Modulaarisuus, konfiguroitavuus, vakiointi yms. syntyvät suunnitelmalla tuoterakenteet oikein, mutta konfigurointiprosessin toteutuminen vaatii kaikkien osa-alueiden panoksen.



Kuva 15. Keskeisimmät elementit ja suhteet moduloinnissa ja konfiguroinnissa Juutin (2008, s. 37) mukaan.

4.7 Konfigurointi

Yritykset pyrkivät parantamaan kilpailukykyään tarjoamalla järjestelmälliseen asiakasräätälöintiin perustuvia tuotteita, joita kutsutaan konfiguroitaviksi tuotteiksi. ”Konfiguroinnilla tarkoitetaan prosessia, joka kykenee jalostamaan lähtötiedot (esim. asiakasvaatimukset tai tehdastilaus) spesifikaatioiksi seuraavan osaprosessin vaatimaan muotoon esimerkiksi valmistusdokumentit tai luettelo vaadittavista toimenpiteistä. Konfigurointiprosessi voi olla automaattinen tai manuaalinen.” (Martio, 2015, s. 13) Järjestelmä, jossa varsinainen konfigurointi suoritetaan, kutsutaan konfiguraattoriksi. Konfiguroitavalla tuotteella on oltava tuotemalli, eli konfigurointimalli, joka sisältää konfiguroinnin tarvitsemat säännöt ja periaatteet.

Konfiguroitavalla tuotteella voi olla muun muassa seuraavanlaisia ominaisuuksia:

- Tuote suunnitellaan etukäteen täyttämään tietyn joukon samankaltaisia asiakastarpeita
- Tuotteet perustuvat valmiiksi suunniteltuihin rakenteisiin
- Tuote valmistetaan yhdistelemällä valmiiksi suunniteltuja komponentteja
- Tuoteyksilöt tuotetaan tilauskohtaisesti asiakasvaatimusten mukaisesti

Tuotekonfiguroinnilla tarkoitetaan tuoterakenteiden kokoonpanojen hallintaa, eli vaihtoehtoisten konfiguraatioiden tai variaatioiden hallintaa. Konfiguraattorit jaetaan myynti- ja tuotekonfiguraattoreihin, tuotekonfiguroinnista käytetään myös termiä tuotantokonfigurointi (Haug, Hvam ja Mortensen, 2011; Martio, 2015). Tuotekonfiguroinnista ja tuotteista puhuttaessa, tuotekäsité ymmärretään tässä työssä fyysisenä hyödykkeenä esimerkiksi kuljettimena eikä esimerkiksi palveluna, dokumenttina tai ohjelmistona. Konfiguraattorit ovat vahvasti sidoksissa tuotetietoon, jota useissa yrityksissä hallitsee erillinen tuotetiedon hallintajärjestelmä (PDM tai PLM). Monet näistä järjestelmistä eivät tue varsinaista konfigurointiprosessia, mitä tarvitaan konfigurointimallien määrittelyyn ja ylläpitoon. Varsinaisen konfiguraattorin ja tietovarastojen välille on luotava yhteys, jonka avulla konfiguraattori pääsee käsiksi yrityksen nimikkeisiin ja malleihin (Martio, 2015).

Konfiguroinnin käyttöön on kaksi tärkeää syytä (Martio, 2015):

- Automatisoitu konfigurointi nopeuttaa normaalisti käsin tehtävää suunnitteluprosessia. Tyypillinen tuottavuuden nousu voi olla jopa 1000-kertainen. Tuottavuuden muutossuuruuteen vaikuttaa toki, millaisia apuvälineitä käsin suunnittelussa on saatavilla, ja toisaalta miten hyvin konfiguraattori on rakennettu, ja kuinka laaja-alaisesti sillä voidaan tehdä konfigurointia.
- Toinen syy piilee konfiguroinnin tuloksessa. Konfigurointimalli on aina määritellyn mukainen eli samoilla lähtöarvoilla saadaan aina sama tulos. Inhimillisistä virheistä päästään eroon konfigurointiosuudessa ja näin toimitusten laatua saadaan parannettua.

Tuoterakenne voi koostua vakioiduista-, konfiguroitavista-, räätälöitävistä ja osittain konfiguroitavista tuoterakenteista. Vakioidut rakenteet koostuvat vakio-osista, minkä avulla pyritään toistettavuuteen. Mitä enemmän tuotteen osia vakioidaan, sitä vähemmän tuote on muunneltavissa. Räätälöidyt tuoterakenteet sisältävät vakio-osien avulla luotuja kiinteitä rakenteita, minkä lisäksi tuoterakenteeseen tehdään asiakaskohtaisia ratkaisuja ja suunnittelutyötä. Räätälöidyt rakenteet mahdollistavat varioituvuuden asiakastarpeiden

mukaisesti. Konfiguroitavat tai osittain konfiguroitavat tuoterakenteet, muodostuvat vakioituista sekä konfiguroitavista osista, ja niistä puhutaan tuotantomuodon termillä CTO, mistä kerrottiin kappaleessa 3.1.

Konfiguraattorit voivat automatisoida suunnitteluprosesseja tai myyntiprosessien toimintoja tai kokonaan implementoituna automatisoida suunnittelu- sekä myyntiprosessit. Konfiguroinnin avulla voidaan saada esimerkiksi seuraavanlaisia hyötyjä konfigurointivasta riippuen (Willner *ym.*, 2012; Haug, Shafiee ja Hvam, 2019): lyhentynyt tarjousten laatimisaika, vähemmän virheitä tuotespesifikaatioissa, vähemmän resurssien käyttöä tuotemäärittelyyn, tarkemmat tarjoukset, myytyjen tuotteiden kasvanut samankaltaisuus, parempi toimittajaviestintä, lyhyemmät läpimenoajat, vähentyneet suunnitteluvirheet, kasvanut myynti ja paljon muuta.

Nykypäivän liiketoimintaympäristössä, jossa kilpailu jatkuvasti kovenee, tavoitellaan lyhyitä toimitusaikoja ja uusia teknologioita. ETO tuotteita toimittavat yritykset ovat entistä enemmän kiinnostuneita (tuote)konfiguroinnista, jotta suunnitteluun ja myyntiin käytettyä aikaa sekä resursseja voitaisiin vähentää (Willner *ym.*, 2012). Myyntiprosessit ETO ympäristössä ovat usein edestakaisin tapahtuvaa kommunikointia potentiaalisen asiakkaan kanssa, minkä aikana esitetään ylätasoin suunnittelumalleja, tehdään jo osittaista suunnittelua myynnin tueksi, esitellään hinnoitteluun liittyviä asioita ja muita sopimuksellisia yksityiskohtia. Tämä kaikki tapahtuu ennen varsinaista sopimusta, eli jos asiakas valitseekin jonkun toisen toimittajan, kaikki työ menetetään, joka on tehty sopimuksen syntymistä varten (Haug, Hvam ja Mortensen, 2011).

Tuotekonfiguraattorit kehitettiin alun perin massaräätälöinnin ympäristöihin erilaistumisen ja kilpailukykyyn saavuttamiseksi lisäämällä tuotevalikoimaa, mikä on lähellä massa-tuotantoa. Tuotekonfiguraattoria voidaan ajatella tuotetietokantana, joka sisältää tietoa tuotteen ominaisuuksista, rakenteesta, tuotantoprosesseista, kustannuksista ja hinnoista, mikä mahdollistaa konfigurointityön sellaisillekin henkilöille, joilla ei ole niin spesifiä teknistä ymmärrystä kyseisestä tuotteesta, kuten myyjät ja muut henkilöt (Haug, Shafiee ja Hvam, 2019).

Konfiguroitavan tuotteen toimitusaikaa on mahdollista lyhentää tekemällä asiakaskohtaisia muutoksia mahdollisimman vähän ja myöhään valmistusprosessissa. Parhain tilanne syntyy silloin, kun asiakaskohtaiset vaatimukset voidaan täyttää viimeisissä kokoonpanovaiheissa kokoamalla tuote ennalta valmistetuista ja imuohjatuista vakio osista (Martio, 2015). Imuohjauksella tarkoitetaan tuotannon ohjaustapaa, jossa tuotannon ohjaussignaalit tulevat asiakkaalta tai seuraavista prosessivaiheista, ja tuotteita valmistetaan vain silloin, kun niitä tilataan.

4.7.1 Konfigurointi ja syyt sen tavoitteluun

ETO, MTO ja CTO tyyppisten yritysten toimintaan sisältyy tyypillisesti monimutkaisia tuotteita, joiden komponenttien toimitusajat ovat pitkiä, ja tuotteet on suunniteltu pitkälle asiakkaiden vaatimusten mukaisiksi. Arviot projektin kustannuksista, aikatauluista jne. ovat epävarmoja, liiketoiminta perustuu tarjouskilpailuiden voittamiseen ja projektiin kuuluu jatkuvaa muutosten seuranta. Materiaalit ostetaan projektikohtaisesti ja kustannuslaskennan ennusteet toteutuvat vasta projektin kuluessa ja sen loputtua. Projektitoiminnassa suunnittelutyötä tehdään jo myyntivaiheessa, jolloin asiakas ja ratkaisutoimittajan myyntitiimi ja suunnittelutiimi tekevät tiivistä yhteistyötä (Kristianto, Helo ja Jiao, 2015).

ETO yrityksissä tuotekonfiguraattorien hyödyntämisellä on saavutettu todistetusti useita hyötyjä kuten lyhyempiä läpimenoaikoja, tuotteen ja tuotespesifikaatioiden laadun parantuminen, tiedon säilyminen, optimoidummat tuotteet, vähemmän toistuvaa rutiinityötä, tuotteiden määrittelyyn käytettyjen resurssien väheneminen, kohonnut toimitusvarmuus ja vähentynyt koulutuksen tarve uusille työntekijöille (Haug, Hvam ja Mortensen, 2011, s. 197; Cannas *ym.*, 2020). Lisäksi tuottavuus kasvaa ja tuotehallinta helpottuu. Tietämyksen hallinta paranee, tuotevarianttien hallinta helpottuu, tuotteen elinkaarikustannukset pienenevät, asiakassuhteet paranevat ja saadaan tyytyväisempiä asiakkaita (Myrodia, Kristjansdottir ja Hvam, 2017).

Tuotekonfiguraattoreita käytetään monella toimialalla, koska niiden tuomat hyödyt voivat olla todella merkittäviä (Trentin, Perin ja Forza, 2012; Hvam *ym.*, 2013; Martio, 2015; Haug, Shafiee ja Hvam, 2019). Valmistusyritykset ovat menestyksekkäästi hyödyntäneet tuotekonfigurointia, jolla on tarjottu räätälöityjä tuotteita, jotka ovat täyttäneet asiakkaiden tarpeet, ilman tarvetta manuaaliselle suunnittelulle. Toimiva ja perusteltu konfiguraattori sisältää tietoa tuotteiden ominaisuuksista, rakenteista, tuotantoprosesseista, kustannuksista ja hinnoista. Jotta olisi mahdollista saavuttaa konfiguroinnin hyödyt, oikeanlainen informaatio täytyy kerätä varsinaiseen konfiguraattoriin. Relevantit tiedot ovat saatavilla tuotteiden asiantuntijoilla, eli niillä, jotka tuntevat tuotteen suunnittelun, designin, valmistuksen ja myynnin jne. Haug *ym.* (2012, s. 472) puhuvat tietoinsinööreistä (Knowledge Engineer), joiden tarkoituksena on kerätä kaikki relevantti informaatio yhteen, mikä luo perustan konfiguraattorin luomiselle. Tietoinsinöörit ovat vastuussa informaation keruusta ja tiedon muotoilemisesta käsitteellisiksi malleiksi. He muuttavat tuoteosaajien hiltajaisen tiedon selkeään kirjoitettuun muotoon, ja tekevät johtopäätökset informaatiosta, päättelyprosesseista ja riippuvuussuhteista. Tietoinsinöörien luoman mallin tai mallien mukaan luodaan implementointimalli konfigurointiin.

Jotta ETO tuotteet olisivat konfiguroitavissa, on niihin asetettava tiettyjä rajoitteita. Kaikki tuotteet eivät sovellu modularisoitaviksi ja sen myötä konfiguroitavaksi, koska tuoteperheen tuotteista voi puuttua riittävä määrä samankaltaisuutta, jota tarvitaan moduulien tekemiseen. Kaikkia konfigurointiin käytettäviä rajoitteita ei voida pitää täysin mielivaltaisesti valittavina, koska silloin voi syntyä toteutuskelvottomia ratkaisuja ja konfiguraattorin toiminta voi kärsiä. Yrityksen täytyy valita tarkkaan, mitkä tuotteet tai tuotteiden osat halutaan toteuttaa konfiguraattorilla, koska se rajoittaa yrityksen kykyä tarjota räätälöityjä ratkaisuja siltä osin.

Konfiguroinnin kohteen valinta on erittäin haastavaa, koska päätökset pitää tehdä asiakkaiden tulevaisuuden odotuksiin perustuen. Massaräätälöintiin siirtymisen kannustimena on saavuttaa tasapaino sisäisten prosessien tehokkuudessa ja mahdollisuuden tarjota asiakkaille riittävän laaja valikoima. Kirjallisuus (Juuti, Lehtonen ja Riitahuhta, 2007; Haug, Ladeby ja Edwards, 2009; Cannas *ym.*, 2020) tukee ajatusta, että siirryttäessä tilauskohtaisesta suunnittelusta kohti massaräätälöintiä hyödynnettäisiin osakonfigurointia. Osittain konfiguroitavissa tuoterakenteissa yhdistyy vakio-osat, räätälöinti ja konfigurointi. Se voi myös itsessään sisältää osittain konfiguroituja tuoterakenteita. Tällä saavutetaan muuntelu ja toistettavuus kuten konfiguroitavilla tuoterakenteilla, mutta räätälöinnillä lisätään edelleen tuotteen mukautumiskykyä asiakkaiden vaatimuksiin. Osakonfiguroinnilla pyritään taklaamaan räätälöintiä vahvasti rajoittavia tekijöitä, eli osakonfiguroinnissa valitaankin vain tuotteen tietty osa, joka toteutetaan konfiguraattorilla, jolloin edelleen saavutetaan konfiguraattorin tuomat hyödyt ilman, että se rajoittaa liikaa yrityksen tarjoamaa. Loput tuotteesta suunnitellaan manuaalisesti loppuun, jotta joustavuus pystytään säilyttämään (Johnsen ja Hvam, 2019).

4.7.2 Konfigurointitavat

Konfigurointiteorian mukaan konfiguraattorit voidaan jakaa kolmeen pääryhmään päätelytavan mukaisesti:

1. Sääntöihin perustuva päättely (Rule based reasoning). Ohjelmoinnilla rakennettuihin sääntöihin perustuva konfiguraattori. Kaikkien Computer Aided Design (CAD) -järjestelmien yhteyteen on saatavissa makropohjainen ohjelmointikieli, mutta ylläpidettävyys on usein haasteellista, koska sääntöjen määrä kasvaa liian suureksi ja niiden vaihtuvuus on usein liian suuri.
2. Tapauksiin perustuva päättely (Case based reasoning). Konfiguraattorien päätely perustuu aikaisemmin todettuihin tapauksiin tai toimituksiin. Tarvitaan paljon vastaavia tapauksia koko tuotteen määrittämällä käyttöalueella. Uutta tuotetta luodessa tapauksien määrä on nolla, joten se on tämän tavan yksi ongelmista.

Toinen järjestelmän heikkous on epävarmuus tuloksen oikeellisuudessa. Sääntöjen puuttuessa, uudesta lähtötietokombinaation tuottamasta konfiguraatituloksen oikeellisuudesta ei voida olla varmoja. Tämä järjestelmä soveltuu huonosti tuotteiden tai palvelujen konfigurointiin, jota tässä työssä käsitellään.

3. Malliin perustuva päättely (Model based reasoning). Tämä perustuu malliin, joka sisältää elementtirakenteen ja eri elementtien väliset riippuvuussuhteet. Tämän kategorian alakategorioihin kuuluu useantyyppisiä järjestelmiä.
 - a. Logiikkapohjainen päättely (Logic based reasoning). Perustuu oliopohjaisen tiedon esittämistapaan. Konfiguraation luo konfigurointiohjelma, joka tulkitsee ohjelman määrittelemällä tavalla tuotteen mallin sisältämiä sääntöjä.
 - b. Rajoitepohjainen päättely (Constraint based reasoning). Järjestelmät perustuvat rajoitteisiin, jotka määrittelevät, miten mallin oliot voivat liittyä toisiinsa. Rajoitepohjaista päättelyä voidaan kutsua myös ilmoitusmuotoiseksi tai toteavaksi päättelyksi. Rajoitteet määrittelevät mallille sääntöt, joiden on oltava aina voimassa, joten konfigurointijärjestyksellä ei sinänsä ole merkitystä tässä tapauksessa.
 - c. Resurssipohjainen päättely (Resource based reasoning). Mallin elementteihin on liitetty tieto sen kuluttamasta tai tuottamasta resurssista. Esimerkiksi tuote voi sisältää vaihtelevan määrän moduuleja, joista jotkut tuottavat ja jotkut kuluttavat energiaa, joten moduulien keskinäinen suhde täytyy olla oikeiden ehtojen sisällä (Martio, 2015).

Konfiguraattorit voidaan jakaa myös tuotanto- ja myyntikonfiguraattoreihin konfigurointisisällön perusteella. Konfiguroitavien tuotteiden hallinta tarjoaa yrityksille ylivoimaisen kilpailuedun, jota on toistaiseksi käytetty hyväksi varsin rajoitetusti (Martio, 2015). Monesti tuoteperheiden valikoima on liian laaja konfiguroitavaksi, joten on tarpeellista karsia osien vaihtoehtoja tuoteperheissä, ja pyrkiä saamaan asiakkaat valitsemaan samankaltaisia ratkaisuita. Ponnistelut tuoteperheiden vaihtoehtojen karsimiseksi voivat tuottaa vastineeksi pienentyneen tarpeen komponenttien hallinnalle ja vähentyneet yksikkökustannukset tuotteiden komponenteille, kun niiden tilausmäärät kasvavat (Haug, Hvam ja Mortensen, 2012; Haug, Shafiee ja Hvam, 2019).

4.7.3 Myyntikonfiguraattori

Myyntikonfiguraattorilla pyritään automatisoimaan myyntiä avustavien dokumentaatioiden luomista. Myyntikonfiguraattori pyrkii kokoamaan ja selkeyttämään asiakkaiden vaatimukset toiminnallisuuksista ja teknisistä ominaisuuksista tuoteratkaisuiksi. Yrityksen ratkaisuympäristö, jota voidaan kutsua myös tuotetilaksi tai tuotetarjoamaksi, on se tuotteiden joukko, mitä yritys on valmis tarjoamaan (Haug, Ladeby ja Edwards, 2009; Cannas *ym.*, 2020; Skjetne ja Johansson, 2020). Se tukee asiakasta tai yrityksen myyntiosastoa, riippuen siitä kenelle myyntikonfiguraattori on tarkoitettu. Se voi olla sisäisten tai ulkoisten sidosryhmien käyttöön. Koska ETO yritykset käyvät jatkuvaa tarjouskilpailua asiakkaiden voittamiseksi, tarjousten laatu ja soveltuvuus ovat erittäin tärkeässä asemassa. Monet tarjouksista hylätään asiakkaan toimesta, mikä tarkoittaa pelkkiä kustannuksia myyntivaiheessa, ilman tarjouksen lukkoon lyömistä. Myyntiprosessin aikana tuotettu tieto ohjaa suunnittelutoimintoja. Jos tiedon laatu on heikkoa heti alussa, riski virheille ja myöhästymisille kasvaa myöhemmissä toiminnoissa.

4.7.4 Tuotantokonfigurointi

Tuotantokonfiguroinnin tehtävänä on tuottaa tuoteparametreja vastaava tuoterakenne dokumentteineen, jotka siirretään sellaisenaan yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään (ERP) ja valmistukselle. Konfiguraattori tarvitsee toimiakseen konfigurointimallin, joka määrittelee tavat ja säännöt, joilla tuotevariantin rakenne ja muu tarvittava tieto generoidaan. Mallin komponenttien valinta tai mitoitus voi perustua esisuunniteltuihin ratkaisuihin tai käyttää hyväksi tunnettuja fysiikan perussääntöjä. Tuotantokonfigurointi voidaan toteuttaa rajoitteiden avulla tai tuoteperherakenteita hyödyntäen. Rajoitepohjaisissa konfigurointijärjestelmissä konfigurointi perustuu rajoitteiden automaattiseen ratkaisemiseen ja tuoteperherakenne kuvataan pelkästään rajoitteilla. Tuoteperherakenne kuvaa tuoteperheen kaikki variantit ja siitä generoidaan jokaista tapausta vastaava tuotevariantti. Tuoteperherakenne on tuoteperheen osarakenne, joka sisältää säännöt varianttien generointia varten. Se on konfiguroitavan tuotteen konfigurointimalli, josta saadaan tuotettua halutun tuotevariantin osarakenne valmistusta varten (Martio, 2015).

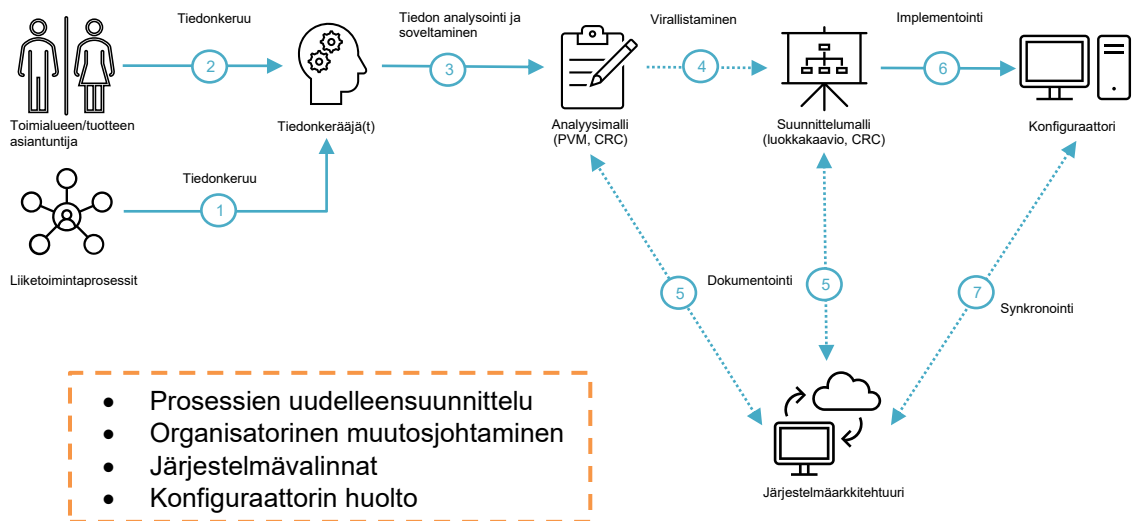
Tuotantokonfiguraattorin käyttöön voidaan siirtyä monesta syystä:

- Tuottavuuden nousu konfigurointiprosessissa. Hyvin rakennettu ja toimiva konfiguraattori voi tehdä minuuteissa työn, joka tavallisesti voisi viedä useamman työpäivän. On kuitenkin huomioitava, että konfiguraattorin rakentamiseen kuluu paljon resursseja ja siihen tarvitaan laajaa ymmärrystä muun muassa eri ohjelmistojen toiminnasta ja tuoterakenteista, joten on mietittävä tarkkaan, mitä tuotteita kannattaisi konfiguroida.

- Toimitusajan lyheneminen suunnitteluun tarvittavan ajan lyhentyessä, mikä voi johtaa markkinoilla kilpailuetuun.
- Laadun parantuminen. Konfiguraattori tarkistaa lähtötiedot ja se toimii ennalta määriteltyjen sääntöjen mukaisesti, jolloin puutteellisesta tai virheellisestä asiasta saadaan tieto. Inhimillisiä virheitä ei synny.
- Muutamat tuotantokonfiguraattorit kykenevät generoimaan suunnittelurakenteesta varaosalistoja ja yksilörakenteen dokumentteja jälkimarkkinointia varten, mikä nopeuttaa toimituksia ja helpottaa huoltoa.

4.7.5 Konfiguroinnin kehitysprosessi ja strategiset näkökulmat

Haug ym. (2012) ovat esittäneet konfigurointiprojektille tyypillisen kehitysprosessin, jossa on tunnistettu viisi vaihetta (kuva 16). Heidän esittämäänsä malliin sisältyy vaiheet 2–7, mutta malliin on sisällytetty tässä työssä myös liiketoimintaprosessien vaikutukset, koska sieltä saatavat tiedot toimivat osaltaan konfigurointiprojektin ajureina. Nämä vaiheet on merkattu selkeyden vuoksi eri numeroin (1 ja 2), mutta tiedonkeruuprosessi tapahtuu kuitenkin samanaikaisesti. Prosessimalliin on lisätty myös ruutu, jossa on listattu asioita, joilla on suoria tai epäsuoria vaikutuksia konfigurointiprojektiin. Osa ruudun listatuista asioista sisältyy prosessin eri vaiheisiin, mutta niitä on haluttu korostaa erityisesti. Ruudun tekijät ovat vain muutamia esimerkkejä elementeistä, joilla on vaikutusta konfigurointiprojektin elinkaareen, ja mitä kannattaa miettiä konfigurointiprojektin aikana.



Kuva 16. Konfiguraattorin luomisprosessin päävaiheet. Muokattu (Haug, Shafiee ja Hvam, 2019, s. 474) malliin perustuen.

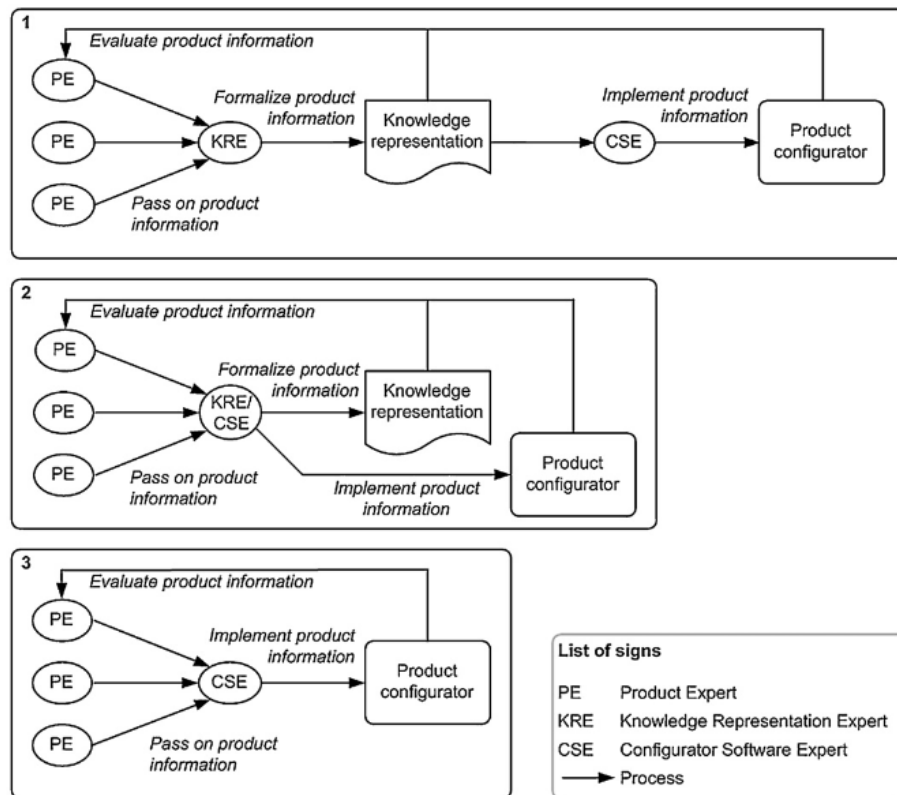
Vaiheiden sisältö on seuraavanlainen Haug ym. (2012) mukaillen:

1. Tiedonkeruu liiketoiminnan prosesseista ja asiakkaista.
2. Tiedonkeruuvaiheessa hankitaan kyseisiin tuotteisiin liittyvät tiedot asiaan liittyviltä henkilöiltä, dokumenteista ja tietojärjestelmistä.
3. Hankitut tiedot käännetään analyysimalleiksi, jotta niiden pohjalta voidaan käydä keskustelua, mitkä tuotetiedot sisällytetään konfiguraattoriin, ja tehdään päätökset pohjautuen niihin. Graafiset mallit voivat olla toimiva esitystapa, koska niitä on helpompi esittää ja tarkastella. Jos konfiguraattorin loppusisältöä ei sovi varsinaisten käyttäjien kanssa, implementointiprojektin riskit kasvavat. Tässä vaiheessa joudutaan ehkä luomaan uutta tietoa, koska kaikkia laitteen sääntöjä ei ole ehkä aiemmin tarkoin määritelty. Tämän vaiheen aikana voi tapahtua tuotteen optimointia, jos esimerkiksi harvoin käytettyjä komponentteja poistetaan tai korvataan tai ratkaisuperiaatteita muokataan. On kuitenkin varottava, että tuotetta ei muokata liikaa tämän vaiheen aikana, ettei prosessi mene liikaa tuotekehityksen puolelle.
4. Virallistamisvaiheessa analyysimallit muutetaan sopivampaan muotoon, jotta ne ovat implementoitavissa konfiguraattoriin. Saattaa olla myös tarpeellista määrittää muita konfiguraattorin näkökohtia, kuten integraatioita muihin järjestelmiin ja käyttöliittymiin.
5. Dokumentointivaiheessa on tärkeää kerätä analyysi- ja suunnittelumallien luomisen aikana syntyneet tiedot yhteen, jotta muut henkilöt voivat hyödyntää tietoa ja arvioida niiden sisältöä. Kaikilla konfigurointiin liittyvillä henkilöillä ei ole osaaamista konfiguraattoreiden mallinnyksessä, joten on tärkeää, että tieto on saatavilla muuallakin kuin konfiguraattorin sisällä.
6. Implementointivaiheessa suunnittelumallit siirretään valittuun konfiguraattoriin. Siirtoprosessin aikana voi syntyä muutoksia ja uutta tietoa, mikä pitää myös dokumentoida.
7. Synkronointivaiheessa päivitetään ulkoista tietoa, jos konfiguraattorin tietokannassa tapahtuu muutoksia.

4.7.6 Konfigurointistrategiat

Haug, Hvam ja Mortensen (2012) tunnistivat kolme konfiguraatioprojektien pääkehitystrategiaa pohjautuen yli 50 konfigurointiprojektiin, joita on tutkittu Tanskan teknillisen

yliopiston toimesta. Näitä strategioita voidaan hyödyntää konfigurointiprojektin läpiviemiseksi. Seuraavaksi esitellään kolmen päästrategian ajatusmallit toteuttaa konfigurointiprojekteja.



Kuva 17. Konfiguroinnin pääkehitysstrategiat. (Haug, Hvam ja Mortensen, 2012)

Strategia 1 (S1) on oppikirjamainen lähestymistapa, jossa jokaisella osa-alueella on oma henkilö, joka suorittaa kyseisen alueen tehtävät. Tuoteasiantuntijat (PE) arvioivat tuotteen malleja ja siirtävät relevantin datan tietoasiantuntijalle (KRE), joka kasaa datan kirjalliseen muotoon konfigurointijärjestelmän asiantuntijalle (CSE), joka lopulta toteuttaa konfiguraattorin.

Strategiassa 2 (S2) tietoasiantuntija toimii tiedon kerääjänä, esittäjänä ja konfigurointi-asiantuntijana. Hän koostaa tuoteasiantuntijoilta saadun datan pohjalta havainnemallin ja implementoi sen konfiguraattorin.

Strategiassa 3 (S3) tuoteasiantuntija antaa relevantin datan tuotteista suoraan konfigurointijärjestelmän asiantuntijalle, joka luo konfiguraattorin ilman, että dataa olisi kerätty havainnemalleiksi. Tämä strategia etenee kokeilun ja erehdyksen kautta, eli konfiguraattorin rakentaminen ja tiedon oikeellisuuden tarkastus tapahtuu konfiguraattorin luomisosiossin aikana. Taulukko 3 nähdään, miten konfigurointiprojektien eri strategiat vertautuvat keskenään.

Taulukko 3. *Konfigurointiprojektien strategioiden vertailu.* (Haug, Hvam ja Mortensen, 2012, s. 478)

Comparison of strategies.

	Relative advantages (+) and drawbacks (-)	S1	S2	S3
1	Evaluating gathered product information before implementation	+	+	-
2	Ease of altering implemented product information	+	+	-
3	Ease of changing configurator software	+	+	-
4	Facilitation of the communication between product experts and configurator software experts	+	-	-
5	Minimising use of resources on documentation work	-	-	+
6	Minimising handovers of information, i.e., less chance of misunderstandings and errors	-	+	+
7	Rapid implementation of gathered information, i.e., faster process	-	+	+

S1 ja S2:ssa luodaan havainnemallit, joita tehtäessä on mahdollista löytää virheitä. Sekä tuoteasiantuntijat että tietoasiantuntijat pystyvät tarkastelemaan datan perusteella luotuja havainnemalleja ennen kuin konfiguraattoria aletaan rakentamaan. Tämä toimintatapa vähentää väärinymmärryksiä tiedon välittämisessä henkilöiltä toisille, mikä lopulta vähentää virheitä, joita konfiguraattorin rakentamisen aikana syntyy. Suuri virheiden määrä konfiguraattorissa voi laskea sen käyttäjien motivaatiota jopa niin paljon, että projekti jätetään kesken, tai se valmistuu ja mielenkiinto sen käyttämiseen hiipuu hiljalleen tai loppuu heti konfiguraattorin valmistuttua. Oikeiden tietojen pohjalta luotujen havainnemallien avulla ymmärrys relevantista tiedosta ja riippuvuussuhteista säilyy paremmin ja dataa on myös helpompi tarkastella jälkeenpäin. Havainnemallien puuttuminen vaikeuttaa etenkin suurien ja monimutkaisten mallien ymmärtämistä ja hallittavuutta. Havainnemallit ja muu informaatio, jota kerätään ennen konfiguraattorin toteutusta S1 ja S2:ssa, auttavat tiedonsiirtämistä henkilöiltä toisille ja vähentävät kommunikaatiovirheitä. Konfiguraatiototeutuksen ymmärtäminen ja jälkeenpäin muokkaaminen helpottuu, etenkin silloin, kun muokkauksia tekevä henkilö ei ole kyseisen tuotteen asiantuntija tai konfigurointiasiantuntija. Jos tarvittavaa dokumentaatiota ei ole saatavissa, virheiden korjaaminen ja oikeiden asioiden löytäminen konfiguraattorin pohjana olevista asioista on vaikeaa. Hyvän pohjatyön tuloksena syntyneet mallit ja dokumentaatio mahdollistavat, tai ainakin helpottavat, konfigurointisovelluksen vaihtamista, jos sellainen tarve jostakin syystä syntyy. S3 häviää selkeästi S1 ja S2:lle kolmessa ensimmäisessä vertailukohdassa.

S1:ssä määritellään selkeät roolit tuoteasiantuntijalle, tiedonkerääjälle ja konfigurointi-asiantuntijalle, mikä mahdollistaa jokaisen roolin osaamisen maksimoimisen. Mitä monimutkaisemmasta tuotteesta on kyse, sitä enemmän tietoasiantuntijalta vaaditaan ymmärrystä tuotteista ja niiden optimointimahdollisuuksista konfiguraattoria varten, kykyä sovittaa tuoteasiantuntijan vaatimukset konfiguroitaviksi ja kykyä esittää tuotetietoa ymmärrettävällä tavalla. Yleensä konfigurointijärjestelmän asiantuntijalla, eli henkilöllä, joka rakentaa sen, ei välttämättä ole aina ymmärrystä tuotteen mekanismeista ja miten tuotetta olisi mahdollista muokata konfigurointia varten.

Datan kerääminen, tuotetiedon ymmärryksen rakentaminen ja havainnemallien dokumentointi voi viedä paljon aikaa, mitä S3:ssa ei kuluteta. Dokumentoinnin käytettävät resurssit on minimoitu, mutta toimintamallit ja kaikki tärkeä informaatio jää tekijöiden omaan tietoon, mitä on myöhemmin työstävä tai jopa mahdotonta saada selville. Pahimmassa tapauksessa konfiguraatio-osaajat poistuvat yrityksestä ja vievät merkitykselliset tiedot ja osaamisen mukanaan. Onnistuessaan S3 on nopea tapa toteuttaa konfiguraattori, mutta ongelmien ilmaantuessa resursseja joudutaan käyttämään ongelmien enemmän selvittämiseen, jolloin kokonaiskustannukset voivat lopulta kasvaa suuremmiksi kuin muilla strategioilla.

Tiedon siirtyminen on nopeinta S2 ja S3:ssa, koska tiedon implementoijat ovat samalla henkilöitä, jotka kommunikoivat tuoteasiantuntijoiden kanssa. Pienempi määrä välikäsiä vähentää kommunikaatiovirheitä sekä nopeuttaa toimintaa. S1:n edut ovat tuoteinformaation dokumentointi, kommunikaatio eri roolien välillä, maksimaalinen osaamistaso rooleissa ja selkeä työnjako. S2:n edut ovat tuoteinformaation dokumentointi, roolien minimaalisuus ja kehitysprosessin nopeus. Haasteellisena asiana voi olla sopivan tekijän löytäminen, joka hallitsee tuotteet riittävän hyvin, osaa kerätä ja esittää tärkeät tiedot oikein ja hallitsee myös konfiguraattorin rakentamisen. Tämä ei kuitenkaan ole mahdotonta. S3:n edut ovat sen nopeudessa ja resurssitarpeen minimoinnissa, mutta se soveltuu vain yksinkertaisiin konfigurointitoteutuksiin. Joissakin tapauksissa voidaan käyttää näiden päästrategioiden yhdistelmiä, esimerkiksi projekti aloitetaan strategialla 1 ja siirtyään strategiaan 2 tai 3, kun ensimmäiset havainnemallit on luotu. (Haug, Hvam ja Mortensen, 2012)

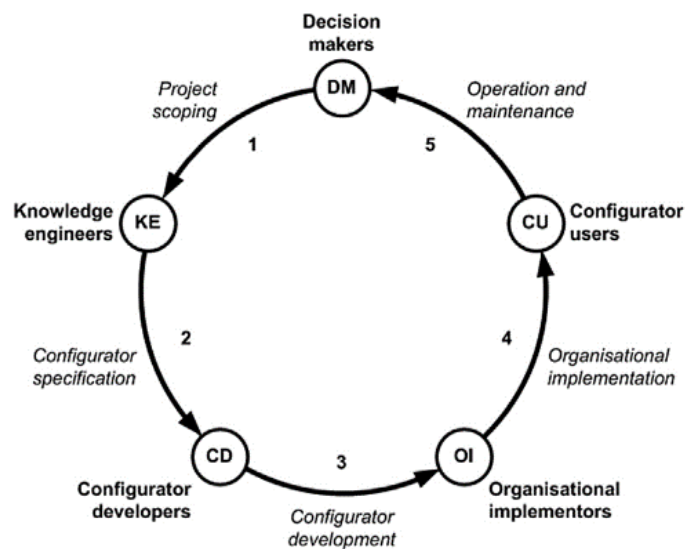
4.8 Moduulijärjestelmän ja konfiguraattorin ylläpito

Moduulijärjestelmän ja konfigurointimallien ylläpito voi olla yritykselle haastava prosessi, etenkin silloin, kun suunnittelua tekevissä työntekijöissä on suurta vaihtuvuutta ja jos tuotetiedonhallintaa ei ole ohjeistettu tai määritelty kunnolla. Moduulijärjestelmien johtajien valintaperusteiden sekä konfigurointimallien havainnollisuus ja ymmärrettävyys

on avaintekijä hyvin rakennetuissa malleissa. Ylläpidettävyys voi olla haastavaa huonon ymmärrettävyyden ja ohjelmointitaidon puutteen vuoksi. Vaikka konfiguraatiomalli on toiminut silloisella tuoteperherakenteella hyvin, ovat tuoterakenteeseen tulleet muutokset voineet hajottaa konfiguraattorin toiminnan, mikä voi vaatia konfiguraation toiminnan tuntevan henkilön päivittämään sen. Sama pätee moduulijärjestelmän hallintaan, jota on päivitettävä aika ajoin muuttuneiden asiakastarpeiden tai tuotekehityksen vuoksi. Tästä syystä on erityisen tärkeää, että yrityksellä olisi useampi työntekijä, jotka hallitsevat asiat modulaarisuuteen ja konfigurointiin liittyen. Jos hallinta jää vain yhden ihmisen varaan ja järjestelmien hallittavuus on haastavaa, voi sen ylläpito jäädä helposti kokonaan pois. Huonoimmassa tapauksessa osaajat poistuvat yrityksestä, ja ei ole enää henkilöä, joka osaisi ylläpitää järjestelmiä. Konfiguraattorit ovat yleensä toimivia silloin, kun ne ovat uusia, mutta tuoteperherakenteen muuttuessa rakenteesta on tehtävä uusi revisio, ja kuhunkin konfiguraatioon täytyy liittää tuoteperherakenteen tunnisteen lisäksi sen revisio-tunniste. Konfiguroitavat nimikkeet päivitetään revisioimalla kuten kiinteät nimikkeet.

4.9 Moduloinnin sekä konfigurointiprojektien ongelmat

Konfigurointiprojektien epäonnistumissyiden jäsentämiseksi, Haug ym. (2019) kokosivat kirjallisuuteen perustuen viisivaiheisen projektisyklimallin, mistä on nähtävissä projektin vaiheet ja niiden päävastuulliset toimijatyyppien mukaan. Konfiguraatioprojektit voivat periaatteessa epäonnistua jokaisessa projektin vaiheessa. Toteuttamiskelvottomat tai kannattamattomat projektit hylätään nopeasti, mihin on voinut johtaa huono päätöksenteko aiemmissa projektin vaiheissa.



Kuva 18. Konfiguraatioprojektin sykli. (Haug, Shafiee ja Hvam, 2019)

Kirjallisuudessa on useita esimerkkitapauksia, jotka osoittavat konfiguroinnin avulla saavutettuja hyötyjä, mutta todellisuus on kuitenkin paljon monimutkaisempi kokonaisuus.

On jopa väitetty (Haug, Hvam ja Mortensen, 2012; Haug, Shafiee ja Hvam, 2019), että monet hankkeet tai yritykset hyödyntää konfigurointia eivät saavuta tavoiteltuja etuja tai konfigurointiprojektit jopa hylätään ennen kuin ne viedään loppuun asti organisaatiossa. Haug ym. (2019) määrittävät konfigurointiprojektit ETO ympäristössä erittäin monimutkaisten IT-projektien kategoriaan. Samat ongelmat pätevät pitkälti myös tuotteiden modulaarisuuden kehittämisessä. Projekteille tyypillistä on:

- Epärealistinen projektin laajuus resurssien saatavuuden ja kokemuksen kannalta sekä epärealistiset projektin tavoitteet
- Menestyksen kannalta kriittisen uuden teknologian liiallinen käyttö (yrityksen tai teollisuuden kannalta)
- Hankkeeseen liittyvät liiketoimintakysymykset ovat yritykselle uusia tai niitä ei ymmärretä tarpeeksi hyvin
- Riittämätön tekninen asiantuntemus, ongelmallinen tai vääränlainen teknologia-pohja tai tuotteen infrastruktuuri
- Ohjelmistotoimittajat mainostavat sovelluspaketteja, jotka ylittävät yritysten kyvyn hallita niitä tehokkaasti
- Yrityksen epäasianmukainen projektin laajuuden hallinta sallimalla jatkuvan laajentumisen
- Huono projektiryhmän kokoonpano, projektinhallinta ja projektin valvontaongelmat. Riittämätön tuki tai sitoutuminen. Heikko sidosryhmien välinen kommunikatio.
- Muuttuvat vaatimukset. Pitkän aikavälin tuotehallinta ja variaatiot.
- Kustannusten ylitykset ja aikatauluvirheet
- Yhtymäkohdat muihin prosesseihin ja järjestelmiin
 - Myyntiprosessien uudelleenjärjestelyn merkitys
 - Tuotteiden suunnittelu konfiguroituviksi (modulaarisuus)
 - Varmistuminen yrityksen tarpeiden ja konfiguraattorin funktionaalisuuden kohtaamisesta
 - Prosessien soveltavuuden huomioiminen konfiguraattorien tukemiseen.

Epäonnistuneista modulaarisuuden ja konfiguroinnin implementointiyrityksistä on saatavilla paljon vähemmän tietoa kuin niiden hyödyistä sekä onnistuneista projekteista,

vaikka pieleen menneissä yrityksissä piilee koko prosessin tärkeimmät opit. Epäonnistuneista projekteista olisi mahdollista tutkia pieleen menneiden asioiden juurisyitä, jolloin muiden olisi mahdollista välttää samankaltaiset virheet. Onnistuneen konfigurointiprojektin taustalla ovat kaksi perustavanlaatuaista asiaa (Haug, Hvam ja Mortensen, 2012).

1. Projektin on pidettävä momenttumi siihen pisteeseen asti, että konfiguraattori on valmiina käytettäväksi.
2. Projektin tuloksena saavutetaan konfiguraattori, mutta sen hyväksyntä ja käyttöönotto organisaatiossa jää mitättömäksi. Konfiguraattorin on katettava riittävän laaja tuotejoukko, tuotettava tarpeeksi laajoja tuotoksia hyvällä tarkkuudella ja tehokkuudella.

Jos näitä ehtoja ei onnistuta täyttämään, konfiguraattorin käyttö voi jäädä vähäiseksi heti sen valmistuttua, tai kiinnostus sitä kohtaan vähenee asteittaisesti. Jotta konfiguraattori ja osaaminen pysyvät ajantasaisena, pitää järjestelmää ja sen käyttöä ylläpitää kouluttamalla henkilöstöä sekä päivittämällä konfiguraattorin tietokantoja, jotta ne heijastavat oikealla tavalla muuttuneita tuotevalikoimia (Haug, Hvam ja Mortensen, 2012). Konfiguraattorin luoman tiedon oikeellisuus on erittäin tärkeää, mutta suunnittelijoiden hiljaisen tiedon muuttaminen tulkittavaan muotoon on tyypillisesti haasteellista. Myös realististen ja selkeiden tavoitteiden ja tarpeiden asettaminen konfigurointiprojektille on koettu vaikeaksi (Kristjansdottir *ym.*, 2018; Cannas *ym.*, 2020; Skjetne ja Johansson, 2020). ETO tuotteille suunnattujen konfiguraattorien kehityskäytännöt ovat vielä kehittymättömiä, ja yrityksillä on siksi vaikeuksia kehittää ja toteuttaa konfiguraattoreita onnistuneesti (Kristjansdottir *ym.*, 2018; Cannas *ym.*, 2020). Kirjallisuudessa on melko niukasti saatavilla konkreettisia esimerkkejä tavoista, jolla konfigurointia olisi toteutettu ETO ympäristössä. Esimerkkejä sekä onnistuneista että epäonnistuneista projekteista on olemassa, mutta niiden haasteista ja toteutustavoista puhutaan monesti yleisellä tasolla, eikä niitä ole syvällisemmin määritelty, havainnollistettu tai kontekstualisoitu. Ammatinharjoittajille ja tutkijoille, olisi tärkeää tietää, mitkä haasteet vaikuttavat eniten konfiguroinnissa. Näin voitaisiin keskittyä tärkeimpiin haasteisiin ja tukemaan investointien strategista priorisointia (Kristjansdottir *ym.*, 2018). Etenkin silloin, kun kyseessä on ETO yritys ja sen tuotteet, mitkä sisältävät usein niin paljon tuoteosaamista, ja ammattitaitoa, että niihin sovelletuista konfiguraattoreista kerrotaan melko niukasti, koska ei haluta jakaa liiketoimintakriittistä tietotaitoa ulkopuolisille. Tällainen toiminta jarruttaa kunnollisten ja toimivien toimintatapojen luomista konfiguroitaville tuotteille ETO ympäristössä. Myös ohjelmistotoimittajien keskuudessa on havaittavissa tiedon niukkuutta, kun he eivät jaa kehitysmenetelmiään ja kunnollisia esimerkkejä, miten asioita on toteutettu kyseisillä ohjelmistoilla (Skjetne ja Johansson, 2020).

5. NYKYTILAN TARKASTELUN KEINOT

Tässä osiossa käsitellään nykytila-analyysia avustavaa teoriakirjallisuutta, jotta suunnittelutoiminnoista on mahdollista löytää suurimmat ongelmat, joita halutaan ratkaista. Nykytila-analyysi on menetelmä yrityksen liiketoimintaprosessien nykytilan tutkimiseen. Se on hyödyllistä tehdä silloin, kun nykyisessä tilassa on olemassa tunnettuja ongelmia tai, kun halutaan virtaviivaistaa tiettyä prosessia. Jotta voidaan ottaa kantaa järkevällä tavalla nykytilanteeseen, on ensin pystyttävä luomaan selkeä kuva siitä, mihin ollaan todella ottamassa kantaa (Checkland ja Poulter, 2010). Tämä tarkoittaa niiden asioiden ymmärtämistä, jotka toimivat ohjailevina tekijöinä tutkittavassa asiassa. Analyysissä dokumentoidaan prosessin nykyinen tila kaikkine puutteineen, ja sen tekemisessä auttaa, kun kaikki sidosryhmät asiaankuuluvista rooleista ovat mukana kattavan ymmärryksen muodostamiseksi. Nykytila-analyysi voi rakentua haastatteluista, yhteisistä ajatusriihistä, numeeristen tietojen tarkastelusta yms. asioista.

5.1 Systemiajattelu

Systemiajattelu voidaan kuvata lyhyesti Chuchmanin (1968, s. 231) sanoin: "A systems approach begins when first you see the world through the eyes of another" — Systemiajattelu alkaa, kun katsot ensimmäisen kerran maailmaa toisen silmin. Se on ajattelutapa, jonka tarkoituksena on tuottaa ymmärrys systeemistä kokonaisuutena. Tavoitteena on ymmärtää asioiden riippuvuussuhteita, jotta kokonaisuudesta ja sen toimintatavoista saadaan todenmukaisempi ymmärrys. Tarkastelemalla kokonaisuuden rakennetta, on mahdollista löytää paljon enemmän riippuvuussuhteita ja systeemiin vaikuttavia tekijöitä, kuin pelkästään yhtä tiettyä osaa tarkastelemalla. Pieniin osiin jakaminen hämärtää osien keskinäisiä suhteita koko systeemin toiminnan kannalta, mikä vaikeuttaa koko systeemin parantamista (Reynolds ja Holwell, 2010). Perinteisessä ajattelumallissa, kun tarkastellaan vain yhtä osaa, tehdään samalla oletus, että ongelman juurisyitä on olemassa vain yksi, joka löytyy tarkasteltavasta osasta. Ongelman juurisyynä voidaan olettaa olevan tietty yksilö sen sijaan, että yritettäisiin ymmärtää tapoja, jotka ovat johtaneet ongelmalliseen lopputulokseen. Ongelmat monimutkaisissa systeemeissä ovat hyvin usein monen tekijän summia. Perinteinen ajattelu voi johtaa siihen, että keskitytään liikaa tuloksiin, joita voidaan mitata, kuin prosesseihin, joilla hyödyllinen muutos voisi parhaiten tapahtua (Reynolds ja Holwell, 2010).

Reynolds & Holwell (2010, s. 15) määrittävät systeemiajattelun erilaisille lähestymistavoille kolme yhteistä motivaatiotekijää:

- Keskinäisten suhteiden ymmärtäminen
- Eri näkökulmien käsitteleminen
- Valtasuhteiden käsitteleminen.

Puhuttaessa järjestelmien kokonaisvaltaisista lähestymistavoista, ne voidaan jakaa perinteisesti kahteen eri tapaan, jotka ovat:

- Kovien järjestelmien lähestymistapa — Hard Systems approach
- Pehmeiden järjestelmien lähestymistapa — Soft systems approach

Koviin järjestelmiin on usein tarjolla yksiselitteisiä ratkaisuja, ja ne ratkaistaan tietyillä tekniikoilla ja menettelytavoilla hyvin määritellyn datan pohjalta, esimerkiksi matemaattisesti. Kovien ongelmien ratkaiseminen voi alkaa kysymyksillä, mikä järjestelmä tai ratkaisu vastaa tähän tarpeeseen tai mikä järjestelmä pitää suunnitella, jotta ongelma voidaan ratkaista? Tavoitteet ovat selkeästi määriteltävissä, ja tapauksista on löydettävissä syy-seuraussuhteita. Kovat järjestelmät olettavat, että ongelmiin on olemassa yksi optimaalinen ratkaisu, tieteellinen lähestymistapa ongelmanratkaisuun toimii hyvin ja tekniset tekijät ovat usein hallitsevia ongelman ratkaisussa. Pehmeisiin järjestelmiin ei ole olemassa tiettyä ratkaisutapaa, ja työkalut ongelman ratkaisuun ovat usein löyhät. Ongelmia on useita ja tuloksia on vaikeaa mitata. Pehmeät järjestelmät ovat usein monimutkaisempia, ja niiden syy-seuraussuhteet ovat vaikeammin löydettävissä.

5.2 Soft Systems Methodology

Peter Checklandin ja hänen kollegoidensa (Checkland ja Poulter, 2010) kehittämä Soft Systems Methodology (SSM), eli pehmeä systeemimetodologia, on ajattelumalli, jonka avulla voidaan tarkastella monimutkaisia tilanteita ja nähdä, mitkä systeemin rakenteet aiheuttavat havaitut tapahtumat. SSM:ää käytetään ensisijaisesti monimutkaisten tilanteiden analysoinnissa, joissa ongelman määrittelyyn on olemassa erilaisia näkemyksiä niin sanottuja ”pehmeitä ongelmia” — esimerkiksi miten parannetaan terveydenhuollon tarjontaa tai mitä tehdä nuorten kodittomuudelle? SSM soveltuu mihin tahansa inhimilliseen tilanteeseen, joissa pyritään toimimaan tarkoituksenmukaisesti, ja etenkin tilanteisiin, joissa halutaan oikeasti ymmärtää, mitkä mielipiteet ja asiat vaikuttavat jokapäiväisten asioiden taustalla ja miksi?

SSM pohjautuu Systems Engineering -käsitteeseen (SE), joka on poikkitieteellinen ja integroiva lähestymistapa, joka mahdollistaa suunniteltujen järjestelmien onnistuneen toteuttamisen, käytön ja käytöstä poistamisen hyödyntämällä järjestelmäajattelua ja -konsepteja sekä tieteellisiä-, teknologisia- ja johtamismenetelmiä (In cose, 2022). Systems Engineering, kuten monet muutkin kovat keinot, osoittautuivat liian ”tylipiksi” välineiksi tapauksissa, joissa käsitellään monimutkaisia tilanteita, joissa ihminen on osana sitä. Kovien järjestelmien lähestymistavat eivät huomioi henkilöiden ristiriitaisia maailmakatsomuksia, joten on välttämätöntä unohtaa ajatus maailmasta, jota kuvaa tietty järjestelmien joukko (Checkland ja Poulter, 2010). Monimutkaisuus ongelmiin ei ole olemassa välttämättä mitään tiettyä tieteellistä teoriaa, jonka avulla ongelma voitaisiin ratkaista, ja useimmiten ongelmaan ei ole olemassa optimaalista oikeaa ratkaisua. Usein todellisen ongelman määrittelykin voi olla jo haasteellista. Hiljaisen tiedon muuttaminen ymmärrettävään muotoon, on tärkeää, jotta asianomaiset saavat perusteellisen käsityksen tilanteesta ja koko järjestelmän riippuvuussuhteista. SSM on toimintalähtöinen ongelmatilanteiden tutkimusprosessi, jossa tilanteen oppiminen syntyy organisoidun prosessin kautta, jossa tilannetta tarkastellaan käyttämällä joukkoa määrätietoisen toiminnan malleja. Toisin sanoen se on organisoitu ja joustava prosessi haasteellisena pidettyjen ongelmien parantamiseksi, hyväksyttävyyden lisäämiseksi ja jännitteiden vähentämiseksi sekä vastaamattomien kysymysten täyttämiseksi. Toisin sanoen se on organisoitu ja joustava prosessi haasteellisena pidettyjen ongelmien parantamiseksi, hyväksyttävyyden lisäämiseksi ja jännitteiden vähentämiseksi sekä vastaamattomien kysymysten täyttämiseksi (Checkland ja Poulter, 2010).

Yritysmaailmassa on yleistä ratkaista ongelmia puuttamalla vain näkyviin oireisiin, mikä usein parantaa tilannetta vain lyhyellä aikavälillä. Pitkällä aikavälillä tällaiset paikalliset ratkaisut voivat jopa huonontaa tilannetta, joten on tärkeää etsiä taustalla olevat rakenteet asian takana. Systeemiajattelun mukaisesti, järjestelmän toiminta riippuu pikemminkin sen rakenteesta kuin yksittäisistä osista. Järjestelmän kestävä kehityksen kannalta olisikin parasta, kun tutkittaisiin koko kehityskohteen rakenteet (Senge, 2006). Tässä tutkimuksessa halutaan tutkia suunnittelun pullonkauloja, ja mihin suunnittelussa käytetty aika kuluu, mikä vaatii riippuvuussuhteiden ja koko systeemin syvällisempää ymmärtämistä, koska johtopäätöksiä pullonkauloista ei voida tehdä pelkästään tarkastelemalla tiettyyn laitetyyppiin käytettyä suunnittelutunteja. Tarkastelemalla suunnittelutunteja, päädyttäisiin melko varmasti vääristyneisiin tuloksiin, ja ymmärrys suunnittelutoiminnan luonteesta jäisi heikolle tasolle.

SSM:n perusideana on tuottaa parannustoimenpiteitä tilanteesta oppimisen kautta. Järjestelmän käsitteelliset mallit on rakennettu vangitsemaan ihmisten toimintaa ohjaavat

erilaiset maailmankuvat. Malleja käytetään keskusteluiden pohjana, jotta saadaan aikaan muutos, jonka kaikki osapuolet voivat hyväksyä. SSM on kehittynyt asteittain 1970-luvulta alkaen, muuttuen kehittyneemmäksi, vähemmän jäsennellyksi ja laajemmaksi soveltamisalaltaan. Sisällöllisesti ja ajatusmaailmaltaan eri versiot ovat kuitenkin pysyneet melko samanlaisina. Checklandin mukaan (1981) SSM:n koko oppimissykli koostuu seitsemästä vaiheesta:

1. Ongelmallisen tilanteen havaitseminen ja selvittäminen
2. Ongelmatilanteen havainnollistaminen
3. Relevanttien järjestelmien juurimääritelmät
4. Luo käsitteelliset mallit juurimääritelmissä kuvatuista relevanteista järjestelmistä
5. Vertaa luomiasi malleja todellisiin tilanteisiin
6. Määrittele mahdolliset muutokset, jotka ovat sekä mahdollisia että toteutettavissa
7. Ryhdy toimiin tilanteen parantamiseksi

Ensimmäisessä askeleessa todellisen maailman ongelmallinen tilanne on vielä jäsentämätön ja vaatii huomiota sekä toimintaa. Ongelmallista tilannetta tarkastellaan ja kerätään siitä tietoa. Tarkoituksena on löytää eri näkemyksiä ongelmista ja asioista, joissa voidaan kehittyä. Vaiheessa 2 tilanne jäsennetään havainnollistavien mallien ja kaavioiden avulla huomioiden ihmisten erilaiset maailmankuvat ja ajatukset. Tavoitteena on katsoa tilannetta mahdollisimman monesta näkökulmasta. Vaiheessa 3 todetaan järjestelmän merkitykselliset asiat ja todetaan pääongelmat. Juurimääritelmää käytetään ratkaisun saavuttamiseen. Vaihe 4, luodaan käsitteellisiä ja havainnollistavia malleja, joiden avulla dokumentoidaan määritelmät ja termistö kaikkien sidosryhmien saataville. Pyritään luomaan ”rikkaita kuvia” (Rich pictures), jotka havainnollistavat tilannetta mahdollisimman hyvin. Vaiheessa 5 tarkastellaan luotuja malleja ja verrataan niitä todellisiin tilanteisiin. Tarkoituksena on tilanteen kyseenalaistaminen mallien avulla halutun ja toteuttamiskelpoisen muutoksen löytämiseksi. Tarkoituksena on saada aikaan keskustelua siitä, mitkä muutokset voivat parantaa tilannetta. Vaihe 6 Toimenpiteiden määrittely tilanteen muuttamiseksi parempaan suuntaan. Ehdotukset toimenpiteistä aiempien kohtien ja saatavilla olevien resurssien yms. perusteella. Vaiheessa 7 muutokset on tunnistettu ja ne ovat toivotunlaisia sekä mahdollisia, ryhdytään toimiin niiden hyödyntämiseksi. (Checkland, 1981; Checkland ja Poulter, 2010)

Toimenpiteet johtavat tuloksiin, jotka muuttavat alkutilannetta, jolloin koko prosessi voidaan alkaa alusta ja oppiminen jatkuu edelleen. SSM:n prosessi on hyvin joustava, jotta

se voi mukautua todellisen maailman monimutkaisuuteen ja inhimillisten tilanteiden ainutlaatuisuuteen. Kaikkia vaiheita ei tarvitse toteuttaa joka sykissä eikä juuri siinä järjestyksessä kuin on esitetty. Askeleet luovat suuntaviivat organisoidulle prosessille, minkä avulla käyttäjä voi toteuttaa omaan tapaukseensa parhaiten sopivat osat. Monia vaiheita voidaan toteuttaa samanaikaisesti. Käänteisesti eteneminen ja iterointi ovat myös usein tarpeen. Ei ole epätavallista, että asioiden painopiste muuttuu prosessin aikana, mihin on alun perin otettu kantaa.



Kuva 19. Viisi toimintoa, jotka virtaavat SSM:n seitsemässä periaatteessa.
(Checkland ja Poulter, 2010, s. 235)

Seitsemän periaatetta toimivat niiden neljän toiminnan taustalla, jotka määrittelevät SSM:n klassisen esitysmuodon. Nämä neljä päätoimintoa ovat:

1. Ongelmatilanteen selvittäminen, myös kulttuurisesti ja poliittisesti
2. Muodosta relevantit toimintamallit
3. Tilanteesta keskusteleminen mallien avulla.
4. Ryhdy toimenpiteisiin tilanteen parantamiseksi

6. KIRJALLISUUSKATSAUKSEN YHTEENVETO

Kirjallisuuskatsauksen avulla perehdyttiin erilaisiin projektiliiketoiminnalle tyypillisiin tuotantomuotoihin sekä räätälöitäviin tuotteisiin, jotka tyypillisesti suunnitellaan ja toimitetaan projekteina asiakasvaatimusten mukaisesti. Kirjallisuudesta etsittiin vastauksia tutkimuskysymyksiin:

1. Miten voidaan selvittää suurimmat pullonkaulat projektisuunnittelun läpimenoajoissa?
2. Minkälaisia keinoja on olemassa suunnittelun läpimenoaikojen lyhentämiseksi ja tehokkuuden parantamiseksi?
3. Minkälainen olisi hihnakuuljettimen moduulijärjestelmän jakotapa?
4. Minkälaiset ovat potentiaaliset hyödyt, joita voidaan saavuttaa hihnakuuljettimen moduulijärjestelmällä?

Koska projektisuunnittelutoiminnan kehittämiseen ei ole olemassa tiettyä ratkaisua, päädyttiin sitä tutkimaan pehmeiden järjestelmien metodien avulla. Kuten aiemmin todettiin, pehmeisiin järjestelmiin ei ole olemassa tiettyä ratkaisutapaa, ja työkalut ongelman ratkaisuun ovat usein löyhät. Ongelmia on useita ja tuloksia on vaikeaa mitata. Pehmeät järjestelmät ovat usein monimutkaisempia, ja niiden syy-seuraussuhteet ovat vaikeammin löydettävissä. Suunnittelun toimintojen ja pullonkaulojen selvittämistyöhön otettiin apua SSM:n ajattelutavasta, jota hyödyntämällä pyrittiin ymmärtämään koko suunnittelutoimintaan vaikuttavia asioita, eikä pelkästään suunnittelijoiden työn tekoon liittyviä asioita. Tavoitteena oli ymmärtää asioiden laajalle ulottuvia riippuvuussuhteita, jotta pehmeän järjestelmän kokonaisuudesta saatiin todenmukaisempi käsitys. Tutkimalla kokonaisuuden rakennetta, on mahdollista löytää enemmän riippuvuussuhteita ja systeemiin vaikuttavia tekijöitä, kuin pelkästään yhtä tiettyä osaa tarkastelemalla (Checkland ja Poulter, 2010). Jos tarkastelu jaetaan liian pieneen osaan, se voi hämärtää osien keskinäisiä suhteita koko systeemin toiminnan kannalta, mikä vaikeuttaa koko systeemin parantamista — tässä tapauksessa suunnittelutoiminta. Sen avulla yritettiin luoda yleiskuva siitä, mitkä asiat vaikuttavat projektien ja laitteiden suunnitteluun, ja mitä asioita voitaisiin kehittää, jotta laitteiden suunnittelutoimintaa saataisiin toimivammaksi. Suunnittelun tehokkuuteen ja onnistumiseen vaikuttaa usein monet sidossuhteet muualta organisaatiosta, kuten tuotehallinta, tuotekehitys, myynti ja organisaation tavoitteet.

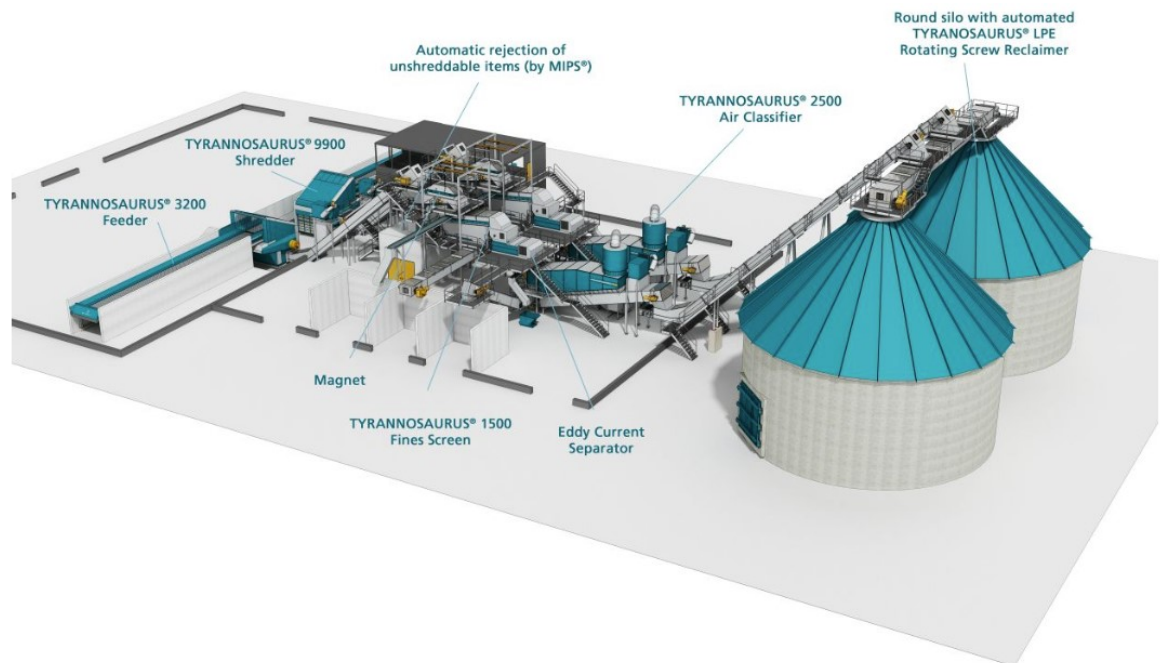
Tutkimuskysymykseen kaksi vastataan kappaleen 4 tietojen pohjalta. Suunnittelun kehittämisen keinoiksi löydettiin muun muassa standardointi, kokoluokka-ajattelu ja tuoteperheajattelu, joiden avulla päästään kiinni modulaaristen tuotteiden suunnitteluun. Modulaarisuuden avulla suunnittelun läpimenoaikoja on mahdollista nopeuttaa merkittävästi toteutuskohteen mukaan. Modulaarisuuden ja työn tavoitteiden myötä päädyttiin konfigurointiin, joka edelleen on yksi tehokas keino tehostaa tuotteiden suunnittelua, ja jonka avulla on mahdollista jopa poistaa kokonaan tilauskohtaisen suunnittelun tarve. Myös parametrasta suunnittelua esiteltiin lyhyesti, mikä voi olla hyvä apuväline esimerkiksi rakennusten ja ristikkorakenteiden suunnittelussa.

Tutkimuskysymyksiin 3 ja 4 saadaan osittaiset vastaukset modulaaristen tuotteiden kehittämiseen tähtäävän BfP:n avulla, johon perustuen tuoteperheelle kehitetään moduulijärjestelmä tämän tutkimuksen myöhemmissä vaiheissa. BfP auttaa moduulijärjestelmän jakotavan suunnittelussa, jolla vastataan lopullisesti tutkimuskysymykseen 3. BfP:n sekä kirjallisuudesta kerättyjen aineistojen perusteella, jotka löytyvät kappaleesta 4, pystytään arvioimaan moduulijärjestelmän tuomia hyötyjä sekä tapoja, joilla se tulee vaikuttamaan muihin prosesseihin sekä elinkaaren vaiheisiin.

7. SUUNNITTELUN KEHITTÄMINEN

7.1 Kohdeyritys

BMH Technology Oy on suomalainen teknologia yritys, joka toimittaa kiinteiden polttoainneiden käsittelyjärjestelmiä prosessi- ja energiateollisuuteen maailmanlaajuisesti. Yrityksen päätuotteita ovat muun muassa erilaiset kuljetinjärjestelmät, materiaalinlajittelulaitteistot sekä TYRANNOSAURUS® murskaimet. Älykkäiden materiaalien talteenotto- ja lajittelujärjestelmien avulla yritys pyrkii edistämään uusiutuvien polttoainneiden käyttöä, vähentämään hiilidioksidipäästöjä ja kaatopaikoille kulkeutuvan jätteen määrää sekä lisäämään materiaalien talteenottoa sekä kierrätystä. Yrityksen liikevaihto syntyy pääosin projektiluontoisista laitostoimituksista, joissa se voi suunnitella ja toimittaa esimerkiksi kokonaisen käsittelylinjaston laitteet, ja muu liikevaihto syntyy yksittäisistä laitemyynneistä sekä huolto- ja varaosatoiminnasta (*BMH Technology - Solutions for Sustainable Fuels, 2022*).



Kuva 20. Esimerkki yhdyskuntajätteen käsittelylinjasta. (*BMH Technology - Solutions for Sustainable Fuels, 2022*)

Yrityksen kyky toimittaa asiakasräätälöityjä tuotteita on yksi kilpailukyvyn ylläpitäjistä, mutta intressinä olisi tulevaisuudessa toimia myös laitetoimittajana valikoiduilla tuotteilla, minkä vuoksi olisi kannattavaa käyttää mahdollisimman paljon vakioituja ratkaisuja ja modulaarisuutta sekä kokoluokka-ajattelua. Laitetoimittajan roolissa toimivalle yritykselle

tuotteiden konfigurointityökalu tuottaisi melko varmasti lisäarvoa. Joustavuus tuo kilpailuvoimaa, mutta samalla se aiheuttaa lisäkustannuksia ja sitoo resursseja pitkiksi ajoiksi. Se aiheuttaa organisaatioon kompleksisuutta ja hankaloittaa tuotehallintaa sekä toimitusketjuja. Räättälöityjen ratkaisuiden toimittamisen tehokkuus on saatava kasvuun ja vakiointia on pyrittävä lisäämään perustellusti.

7.2 Suunnitteluprosessin nykytila

Yritys ei toimi pelkästään ETO ympäristössä, vaan se toimii enemmänkin monen eri tuotantomuodon yhdistelmässä. Yrityksen toimittama käsittelylinja muodostuu osittain standardimoduuleista, jotka valitaan sopivien suoritusparametrien (kapasiteetti, koko yms.) mukaan eli CTO tapaan. Tämän tyylistä prosessilinjan tasolla toimivaa modulaarisuutta on jonkin verran ajateltu, ja sitä kehitetään jatkuvasti yrityksessä. Linja sisältää osia tai moduuleita, jotka on muokattu soveltuviksi asiakkaan tarpeiden mukaan, jotta laitteistot sopivat asiakkaan tiloihin. Lähtökohtaisesti yritys toimittaa sen tuoteportfolioon kuuluvia laitteita, mutta toimitus voi sisältää myös joitakin täysin uusia ratkaisuja, jotta kaikki asiakkaan tarpeet saadaan täytettyä (Johnsen ja Hvam, 2019). Osa laitteista voi olla muiden valmistajien tuotteita, jotka suunnitellaan yhteensopiviksi yrityksen toimittamiin prosessilinjoihin.

Yrityksen toimitukset ovat suurimmalta osalta ETO, CTO & MTO tyyppisiä toimituksia, jossa uuden tilauksen saapuessa aloitetaan laitteiden suunnittelu, joko perustuen vakiointuneisiin ratkaisuihin tai aiempiin laitetoimituksiin. Osaa yrityksen tuotteista on pyritty moduloimaan, kuten kuljettimet ja osa murskaimista, jotta toimitus olisi enemmän MTO tai CTO tyyppinen tapaus, missä suurin osa komponenteista ja osakokonaisuuksista olisi valmiiksi suunniteltuna. Näin läpimeno- ja toimitusajat saataisiin lyhyemmiksi (Mäki, 2018, s. 40). Laitteet, joiden rajapinnat ovat vuorovaikutuksessa asiakkaan rajapinnoissa, joudutaan joka tapauksessa aina suunnittelemaan tapauskohtaisesti, koska ympäristö, joihin laitteet asennetaan, on aina asiakaskohtainen. Osakokonaisuuksia on suunniteltava tapauskohtaisesti, niin kauan kuin yritys pyrkii toimittamaan kokonaisratkaisuja asiakkailleen.

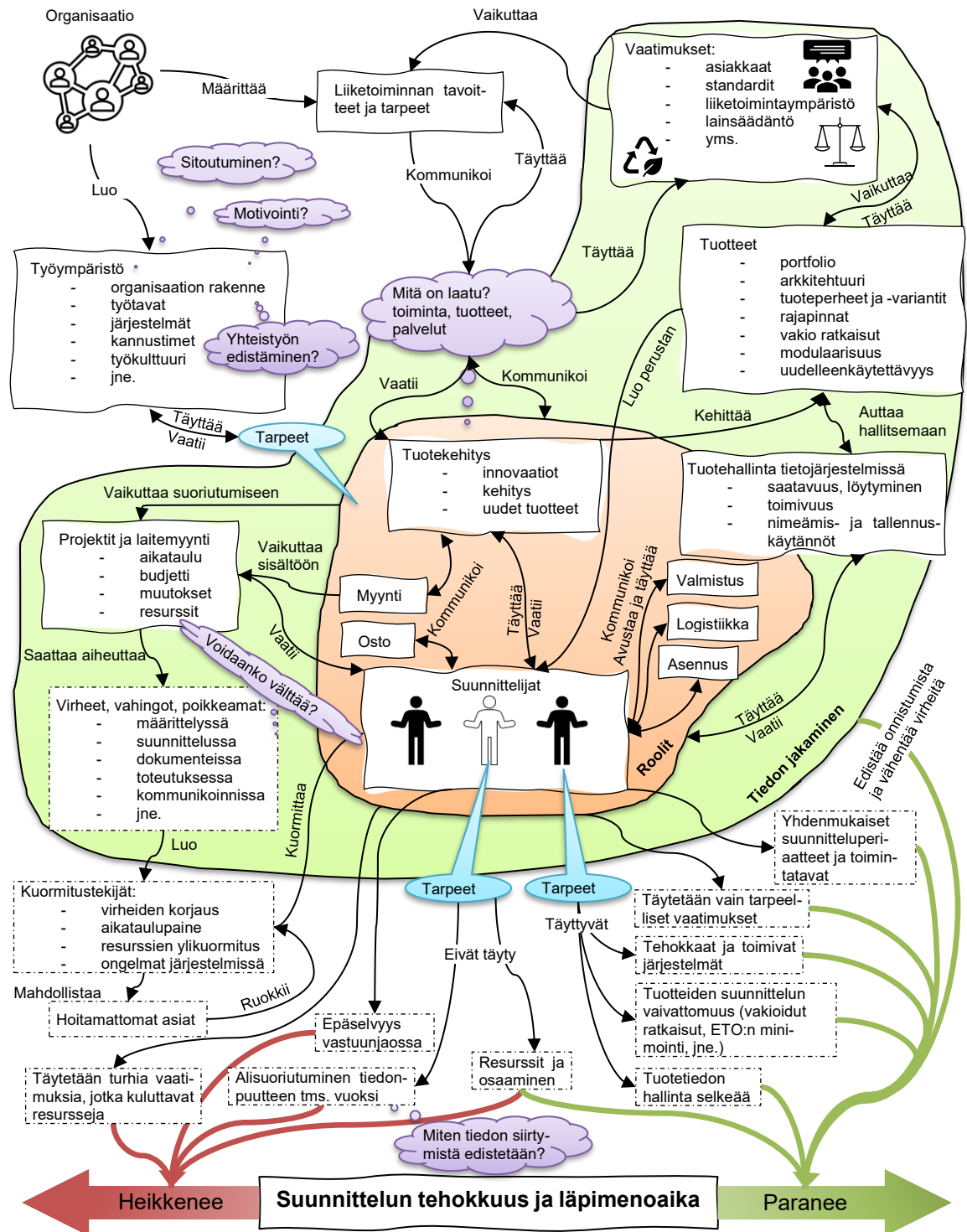
Yrityksen tuotteista osa on melko modulaarisia tai ainakin sisältää modulaarisia rakenteita tai lohkoja. Suuremmissa laitteissa lohkojaottelun taustalla voi olla logistiikkaan liittyvät näkökulmat, kuten esimerkiksi laitteen toimitus merikonteilla, mikä voisi asettaa kuljetettävien lohkojen äärimitoille rajoitteita. Tuotteisiin voidaan tehdä asiakaskohtaisia lisäyksiä tai muokkauksia, joten mallien tuoterakenteiden jatkuvuus on ajoittain rikko-naista ja ylläpito on vaikeaa. Tuoterakenteiden ylläpito on toistaiseksi ollut vain tuotteista vastaavien henkilöiden hallussa ja tiedossa, joten kokonaiskuvan tuoteportfolion hallinta

on ollut ajoittain puutteellista. Monia laitteita suunnitellaan perustuen vanhoihin projekti-toimituksiin, mikä luo samankaltaisen perustan laitteille, mutta niihin tehtävät projektikoh-taiset muutokset ovat suunnittelijoiden hallinnassa ja päätäntävällässä — toki nekin voi-vat pohjautua aiempiin ratkaisuihin, koska uudelleenkäyttö nopeuttaa usein suunnittelua.

Yrityksen suunnittelutoiminnoissa tehdään paljon toistuvia suunnittelutehtäviä ja käyte-tään samoja ratkaisuja eri projektien välillä. Projekteihin joudutaan tekemään vaihteleva määrä asiakaskohtaista räätälöintiä suunnittelussa. Laitetarjoama on laaja, ja kiinteiden sekä räätälöityjen osuuksien suhde vaihtelee jonkin verran riippuen tuotteesta. Mitä enemmän joudutaan tekemään asiakaskohtaista räätälöintiä, sitä pidempi on suunnitte-lun läpimenoaika, ja se taas heijastuu suunnittelun tehokkuuteen. Koska yritys kilpailee räätälöidyillä tuotteilla ja nopeilla toimituksilla, olisi tärkeää, että tuotteiden läpimenoajat saataisiin mahdollisimman lyhyiksi. Läpimenoajat vaikuttavat suoraan koko projektin ai-katauluun ja budjettiin. Laitesuunnittelu vie tapauksesta riippuen muutamista päivistä useisiin kuukausiin, ja se on usein suhteellisen merkittävä osuus koko projektista.

Yrityksellä on hieman aiempaa kokemusta tuotteiden moduloinnista, mutta onnistumiset ovat olleet vaihtelevia. Tuoterakenteita ei ole varta vasten rakennettu modulaarisiksi ja konfiguroitavuutta ajatellen, mutta laitteiden välillä on vaihtelua. Tuoterakenteita ja raja-pintoja ei ole täysin määritetty, joka johtaa ajoittain siihen, että esimerkiksi myyjät pysty-vät myymään vaihtelevia ratkaisuita tuoterakenteiden sisällä, mikä lisää projektisuunnit-telun määrää.

Kuva 21 esittää suunnittelun tehokkuuteen ja läpimenoaikaan vaikuttavia tekijöitä. Jotta suunnittelun läpimenoaikaa ja tehokkuutta voitaisiin parantaa, on tärkeää ymmärtää, mitkä asiat todella vaikuttavat suunnittelijoiden tekemään työhön. Kuvasta käy ilmi joita-kin suunnittelijoiden työhön vaikuttavia tekijöitä, mitkä heijastuvat suunnittelun läpime-noon ja sen myötä myös sen tehokkuuteen. Tämä nykytilanteen analysointi pohjautuu yrityksen yleiseen toimintaan ja muutamien suunnittelutoiminnossa työskentelevien hen-kilöiden ajatuksiin sekä tämän työn tekijän omiin kokemuksiin yrityksen sen hetkisestä tilanteesta. Ajatuksia ja näkemyksiä kerättiin keskusteluista, joissa esiteltiin alustavat ajatukset suunnittelun nykytilasta havainnollistavien kuvien ja tekstien avulla. Suunnitte-lun nykytilaa pohdittiin aluksi suunnittelijoiden näkökulmasta, ja ajatuksia laajennettiin kattamaan myös organisaation muut sidosryhmät, jotta kokonaiskuvasta ja asioiden riip-puvuussuhteista voitiin rakentaa parempi näkemys.



Kuva 21. Suunnittelun tehokkuuteen ja läpimenoaikaan vaikuttavia tekijöitä.

Suunnittelutoimintaan liittyvät asiat ovat sidoksissa aivan toiminnan alkujuuriin asti eli organisaation tekemiin päätöksiin liiketoiminnan tavoitteista ja tarpeista. Yritys määrittää liiketoiminnan tavoitteet ja tarpeet, joita ohjailee muun muassa laatutekijät sekä erityyppiset vaatimukset asiakkailta, lainsäädännöstä, liiketoimintaympäristöstä tuotteiden toi-

minnasta jne. Yritys pyrkii luomaan työympäristön, joka täyttää kaikenlaiset organisaation jäsenien ja sidosryhmien tarpeet. Roolien toimintaa ohjailee muun muassa yrityksen strategia ja tavoitteet, työympäristö, laatutekijät, tuoteportfolio ja projektit. Myynti vaikuttaa omalla toiminnallaan projektien sisältöön, kun se valikoi asiakkaan vaatimusten mukaiset laitteet toimitukseen muiden sidosryhmien avulla, jotta vaadittuihin tavoitteisiin on mahdollista päästä. Roolien toiminta vaikuttaa projekteissa suoriutumiseen, kun jokainen pyrkii omalla toiminnallaan pääsemään asetettuihin tavoitteisiin. Liiketoiminnan tavoitteet ja kehittämisen tavoitteet eivät välttämättä täysin kohtaa, mikä voi johtaa erimielisyyteen asioista.

Projekteissa voi syntyä virheitä ja muutostarpeita inhimillisten virheiden, aikatauluun vaikuttavien asioiden tai muuttuneiden tarpeiden vuoksi. Poikkeamat tai virheet voivat syntyä jo projektin myynti- tai määrittelyvaiheessa, kun myydään normaalista tuoteportfoliosta poikkeavia tuotteita, jotka näkyvät myöhemmin räätälöitävän suunnittelun kasvuna. Osasyynä tähän voi olla esimerkiksi asiakkaan poikkeavat vaatimukset tai kommunikoinnin puute tuotekehityksestä, tuotteista ja myynnistä. Virheitä voi syntyä dokumentteihin, ja toteutuksen aikana voidaan huomata jotain erikoista, jolloin syntyy tarve päivittää dokumentit oikeanlaisiksi, mikä taas hyvin usein vaikuttaa suunnittelijoihin suoraan, kun kyse on teknisistä laitteista. Virheet, vahingot ja poikkeamat toimivat kuormitustekijöinä suunnittelijoille, jotka voivat tehdä useakin projektia samanaikaisesti. Kun korjattavia dokumentteja, ylittyviä aikatauluja kasaantuu tarpeeksi alkaa syntymään hoitamattomia asioita, jos aika ei riitä kaikkien asioiden ratkaisemiseen. Voi syntyä tilanteita, että aletaan tahallaan jättämään asioita hoitamatta, kun ehditään keskittymään vain kaikista tärkeimpiin asioihin, jolloin muut vähemmän tärkeät asiat jäävät pyörimään esimerkiksi sähköposteihin pitkiksi aikaa, kun vastuu ei suoranaisesti kuulu kuin yhdelle sähköpostijakelun henkilöistä. Hoitamattomat asiat ruokkivat edelleen kuormitustekijöitä, jos resurssit ovat kovin niukat, ja syntyy noidankehä. Näihin ongelmiin ratkaisuna voi esimerkiksi olla resurssien lisäys, tarkempi vastuiden määrittely sekä tuoteportfolion parempi hallinta.

Suunnittelu saa informaatiota projektilta, kun kaupat ovat lyöty lukkoon, jolloin projekti vaatii tietyn määrän suunnittelijoiden resursseja. Suunnittelijat tekevät laitos- ja laite-suunnittelua myynnin määrittämisen sisällön mukaan ja tuoteportfolioon perustuen, ja he seuraavat projektille määritettyjä aikatauluja. Suunnitteludokumenttien valmistuessa ne siirtyvät ostoon laitevastuullisten kautta. Ostosta asiat etenevät valmistukseen, logistiikkaan ja lopulta asennukseen. Myynnistä asennukseen ulottuvat tekniset kysymykset ja asiat kiertävät usein suunnittelijoiden ja laitevastuullisten kautta, mikä edelleen lisää kuormitustekijöitä.

Tuotteet luovat perustan suunnittelulle ja vaatimukset asiakkailta, yritykseltä, suunnittelijoilta jne. ohjailevat, millaisia tuotteiden pitäisi olla. Tuotekehitys pyrkii täyttämään näitä tarpeita kehittämällä olemassa olevia tuotteita ja kehittämällä täysin uusia. Tuotekehitys kommunikoi esimerkiksi myynnille ja suunnittelijoille tuotteisiin tulleista muutoksista, ja sidosryhmät käyvät vuoropuhelua keskenään tuotteisiin kohdistuvista tarpeista ja muutoksista. Pientä tuotekehitystä tapahtuu myös projektien aikaisen suunnittelun aikana, kun ETO suunnittelu on mahdollista monessa laitteessa tietyssä määrin. Tietojärjestelmät tukevat datan tallentamista ja hyödyntämistä sekä helpottavat tuotetiedon ja muiden asioiden hallintaa.

Jos tuoteportfolio tai yrityksen periaatteet mahdollistavat poikkeavien ratkaisuiden myymisen, se lisää asiakaskohtaisten ratkaisuiden suunnittelun määrää ja samalla monimutkaistaa tuotehallintaa. Turhien vaatimusten täyttäminen, esimerkiksi pienten laiteteknistien asioiden kuten levyvahvuuksien muuntelu tarkoittaa suunnittelun resurssien kuormittamista, mikä lisää manuaalisen suunnittelun määrää, jos se poikkeaa normaalista. Onkin mietittävä, mitkä ovat niitä asioita, joihin esimerkiksi asiakas voi vaikuttaa, ja mitkä ovat sellaisia turhia vaatimuksia, joista pitäisi päästä eroon. Tuotteiden ja toimintatapojen vakioinnilla sekä saatavilla olevien ratkaisuiden, eli tuoteportfolion sisällön, kommunikoinnilla eri sidosryhmien välillä voidaan vähentää normaalista poikkeavien ratkaisuiden toimittamista. Myös asiakkaiden valitseminen on yksi mahdollinen keino, mutta monessa tapauksessa se ei ole mahdollista yrityksille, koska markkinat ovat rajalliset, ja liikevaihtoa on pidettävä yllä. Tuotteiden kehittämistä pitäisi toteuttaa erillään projektitoimituksista, jotta muun muassa laitteiden yhteensopivuus ja liityntäpinnat pystyttäisiin vakioimaan prosessilinjan tasolla asti. Tuotehallinnan ja tuotekehityksen ollessa hajallaan syntyy muun muassa kommunikointivirheitä ja erimielisyyksiä toteutustavoista, ja kokonaisvaltainen tuotehallinta jää heikoille kantimille. Tällöin ei syntyisi tapauksia, jossa laite-suunnittelussa joudutaan arvailemaan ja odottamaan suunniteltavan laitteen ympärillä olevien laitteiden suunnittelua, jotta laitteet saadaan keskenään yhteensopiviksi. Layoutin suunnittelu aiheuttaa toki rajoitteita laitteiden suunnitteluun etenkin silloin, kun prosessilinjaa ei rakenneta kokonaan uusiin tiloihin, jolloin esteitä vakioratkaisuiden käyttöön voi syntyä.

Modulaaristen ja vakioitujen tuotteiden avulla on mahdollista ”lukita” selkeämmin liiketoiminnan ja tuotteiden kannalta oleelliset asiat niin, että turhien vaatimusten täyttämiseltä vältytään. Moduulijärjestelmän dokumentoinnilla on mahdollista varmistaa muun muassa, että tuoteperheiden sekä tuoteyksilöiden säännöstelyperusteet eli jakotavat tallentuvat tulevien tuotesukupolvien ja työntekijöiden saataville. Tuotetiedon hallinta on tärkeää laitteiden kehittämisen kannalta. Kun tiedetään, miksi johonkin tiettyyn ratkaisuun

on päädytty aikoinaan, tai miksi joku muu ratkaisu on ollut parempi tai huonompi kuin ennen, on tulevaisuudessa paljon helpompaa tehdä valintoja tuotteisiin liittyvistä ratkaisuista pelkästään jo tuotekehitysmielessä. Ongelmana on tuotetiedon hallinnan heikkous ja tiedon puuttuminen, etenkin vuosikymmeniä vanhoista projekteista, koska asiat ovat aikoinaan pyörineet sähköpostien ja henkilökohtaisten muistiinpanojen varassa ennen tietoteknisiä laitteita. Tilanne on kehittynyt lähivuosien aikana, kun tuotetietoa esimerkiksi suunnitteludokumentteja on tallennettu PDM-järjestelmään ja projekteihin liittyvää dokumentaatiota on tallennettu kaikkien saataville.

Alisuoriutuminen tiedonpuutteen tai järjestelmien toimimattomuuden yms. vuoksi vaikuttavat suunnittelun nopeuteen ja tehdyn työn määrään. Tiedon siirtyminen liittyen projekti-kohtaisten asioiden käsittelyyn eri roolien välillä, ja siitä aina organisaation sisäiseen tiedon jakamisen kulttuuriin on yksi asia, mikä on monimutkainen kokonaisuus. Tiedon jakamiseen ja jakamatta jättämiseen voi vaikuttaa muun muassa ihmisten toimintatavat, työntekijöiden roolit tai tietämättömyys tuotteista, projekteista ja liiketoiminnasta, tai se voi olla riippuvainen tietojärjestelmien toimimattomuudesta. Alisuoriutuminen ja virheiden syntyminen johtavat myöhemmin korjaustoimenpiteisiin, mikä tarkoittaa dokumenttien revisiointia, eli version päivitystä, ja virheiden tai muuttuneiden asioiden korjausta, mikä kuormittaa suunnittelijoita, projektipäälliköitä, pääsuunnittelijoita sekä muita työntekijöitä. Muutoksen tyypistä riippuen, revisiointi voi viedä merkittävän määrän suunnittelutunteja, mikä heijastuu suunnittelijoiden kuormitukseen ja projektin loppukustannuksiin.

Resurssien ja osaamisen saatavuutta voidaan parantaa kouluttamalla, jakamalla tietoa ja lisäämällä resursseja, mutta projektiliiketoiminnan vaihtelevuutta on silti vaikeaa ennakoida, joten resurssien tarve pysyy ajoittain syklisenä. Kun suunnittelijoiden kuormitus on vaihtelevaa, se näkyy suunnittelun läpimenoajoissa joko parantavana tai heikentävänä tekijänä. Työntekijöiden kouluttamisella voidaan auttaa heitä käyttämään työkalujaan tehokkaammin ja tarkoituksen mukaisesti, mikä nopeuttaa suunnittelutyötä. Muun muassa standardeja ja muita alaa ohjaavia asioita kouluttamalla varmistetaan, että työntekijöillä on edellytykset suunnitella toimivia, kannattavia ja vaatimukset täyttäviä asioita, mikä tulee edistämään työssä onnistumista.

Yhdenmukaisilla suunnitteluperiaatteilla ja toimintatavoilla tarkoitetaan tapoja, joilla suunnittelijat toteuttavat työtään. Henkilöillä on heidän historiastansa, taidoista ja mielityksistä johtuen erilaisia tapoja toteuttaa esimerkiksi osien, kokoonpanojen, piirustusten suunnittelua. Etenkin 3D-suunnittelua tehtäessä, ei ole olemassa yhtä täysin oikeaa tapaa rakentaa malleja, vaan jokainen tekee parhaiten kokemallaan tavallaan töitä. Yhdenmukaistamalla ja ohjeistamalla suunnittelua varmistutaan, että suunnitteludokumen-

tit ovat kaikkien saatavilla, luettavissa, ymmärrettävissä ja yhdenmukaisia. Suunnittelu-
dokumenttien nimeämiskäytäntöihin ja tallennussijainteihin olisi hyvä antaa ohjeistusta,
jotta välttyttäisiin turhulta uudelleen tekemiseltä, kun jo aiemmin tehdyt dokumentit löyty-
vät oikeasta paikasta oikealla nimellään.

Epäselvyys vastuunjaossa ja asioista päättämisessä johtaa tilanteisiin, jossa asiat jäävät
pyörimään esimerkiksi sähköposteihin pitkiksi ajoiksi, kun selvää vastuullista henkilöä ei
osata tunnistaa. Vastuunjakokysymykset syntyvät osaltaan organisaation luoman raken-
teen pohjalta, mutta toisaalta epäselvyydet selittyvät harmittavan usein kommunikoinnin
puutteesta sidosryhmien välillä. Kun selvää vastuunottajaa ei tunnisteta, asiat jäävät rat-
kaisematta, mikä hidastaa muun muassa suunnittelun edistymistä.

Tehokkaat ja toimivat tietojärjestelmät sekä suunnittelutyökalut auttavat suunnittelijoita
saamaan tarpeelliset tiedot suunnittelua varten nopeasti ja tekemään varsinaista suun-
nittelutyötä tehokkaasti. Suunnittelu- ja dokumentit tallennetaan PDM-järjestelmään, joka
kokoaa tuotetiedon yhteen kaikkien saatavilla olevaan paikkaan. PDM-järjestelmä on te-
hokas ja kätevä järjestelmä toimiessaan, mutta ajoittain suunnitteluohjelmien sekä
PDM:n välillä on ongelmia, jotka hidastavat suunnittelua. PDM-järjestelmä hidastaa var-
sinaista suunnittelutyötä, kun asioiden aukeamisessa kestää muutamia sekunteja ker-
rallaan, ja päivän sekä viikkojen mittaan niistä kerääntyy melko iso määrä täysin turhaa
odotteluaikaa. Tiedon käsittely on ehkä marginaalisesti hitaampaa, mutta tiedon säilymi-
nen ja hyödyntäminen on moninkertaisesti parempaa kunnollisella PDM-järjestelmällä.

Tuotteiden suunnittelun vaivattomuudella mahdollistetaan nopea suunnittelun läpimeno-
aika, etenkin sellaisissa tapauksissa, kun laitteisiin ei tarvitse tehdä juurikaan muokkauk-
sia ja riittää, että laitteen pääpositiosta tehdään asiakkaalle kuvat valmiiksi. Vakioitujen
ratkaisuiden myötä päästään moduulijärjestelmien luomiseen, jos kyseessä on sellainen
tuoteperhe, jota kannattaa kehittää eteenpäin. Moduulijärjestelmät mahdollistavat vaki-
oitujen moduulien ja suunnittelu- ja dokumenttien uudelleenkäytön sekä helpottavat tuote-
tiedon hallintaa ja tuotekehitystä. Moduloinnin avulla päästään kohti osin tai täysin kon-
figuroitavia tuotteita, jotka vaativat jo todella vähän tai ei ollenkaan tuotesuunnittelua,
mikä näkyy suunnittelun tehokkuuden kasvussa. Moduloinnin ja sen myötä konfiguroin-
nin avulla tuotteiden määrittäminen siirtyy enemmän kohti myyntiprosessia, jossa tuotteisiin
liittyviä valintoja voidaan tehdä jo asiakkaan tai myyjän toimesta, eikä suunnittelijaa enää
tarvita laitedokumenttien tuottamiseen. Suunnittelijoiden aikaa vapautuu projektien
suunnittelusta muuhun tekemiseen kuten esimerkiksi tuotekehitykseen.

Kaiken taustalla on jokaista toimintoa ja roolia koskeva tiedon jakaminen, mikä vaikuttaa
kaikkeen tekemiseen. Vaatimuksista ja laatutekijöistä on kommunikoitava tuotteiden ja

roolien välillä, jotta jokaisen on mahdollista tunnistaa tekijät, jotka ohjailevat tuotteita ja tekemistä. Projektien on kerrottava tarpeistaan ja edistymisestä sekä vastaantulevista virheistä yms. asioista, jotta asiat voidaan ratkaista ajoissa ja oikein. Tietojärjestelmät edistävät projektien ja tuotteiden hallintaa sekä mahdollistavat tiedon siirtymisen sekä tallentumisen. Ilman tehokasta kommunikaatiota syntyy virheitä, turhaa toistamista ja kulutettuja resursseja sekä väärää valintoja, jotka hyvin usein heijastuvat suunnittelun tekemiseen tämän kaltaisessa yrityksessä. Tiedon jakaminen edistää onnistumista kaikessa tekemisessä ja vähentää virheitä.

Tuotteiden kehitystä tai yksittäisten ratkaisuiden valintaa, joilla pyritään tehostamaan suunnittelua, ohjailee taustalla todella moni tekijä, jotka on otettava huomioon. Kuva 21 mainitaan tämän työn kannalta oleellisimpia asioita ja riippuvuussuhteita kuvan selkeyden vuoksi, mitkä vaikuttavat suunnittelutoiminnan taustalla. Tämän työn tavoitteena on kehittää moduulijärjestelmän jakotapa valitulle tuoteperheelle, mikä helpottaisi toteutuksessaan tuotetiedon hallintaa ja auttaisi tuotteiden suunnittelua vähentämällä asiakaskohdattaisen suunnittelun määrää.

7.3 Projektisuunnittelun ja tuotehallinnan haasteet

Yrityksen pitkä projektitoimitusten historia näkyy suunnittelutoiminnassa. Projekteihin tulevia laitteita suunnitellaan melko usein vanhojen vastaavanlaisten laitetoimitusten pohjalta, tai jos sopivaa ei löydy valitaan pohjaksi samankaltaisin ja muokataan sitä, tai tehdään kokonaan uusi. Tämä tapa on joskus hyvä, koska vanhaa tuotetietoa voidaan hyödyntää uudelleen ja suunniteltavissa laitteissa saadaan hyödynnettyä hyväksi havaittuja ratkaisuja. Ongelmana on kuitenkin se, että projektitoimitukset ovat harvoin täysin samanlaisia keskenään, koska suunnittelussa pitää huomioida asiakkaiden tarpeet, ympäristötekijät, kohdemaan lainsäädäntö jne. — suunnittelun erilaisia toteuttamistapoja käsiteltiin tarkemmin kappaleessa 3.2.3. Laitostoimittajan roolissa yrityksen laitteisiin kohdistuu suurempi paine muunnella laitteita kuin pelkän laitetoimittajan roolissa, joka voi toimittaa vakiotuotteita. Laitteisiin joudutaan toisinaan tekemään projektikohtaisia muutoksia, mikä mahdollistaa sekaannuksien ja virheiden synnyn. Tarpeet muutoksille luodaan usein myyntivaiheessa tai viimeistään laitossuunnittelun aikana, kun asiakkaalle luvataan räätälöityjä laitos- ja laitekokonaisuuksia, jotka poikkeavat ”normaaleista” yhdistelmästä. Myynnin ja laitossuunnittelun aikana esiin tulee myös asioita, joita ei olla osattu huomioida tai jotka ovat jääneet huomioimatta. Myös asiakkaan tarpeet voivat muuttua projektin kuluessa pitkien aikataulujen vuoksi. Virheitä voi löytyä laitesuunnitteluvaiheessa, ja usein löytyykin, kun laitteita aletaan sovittamaan keskenään yhteen sekä

asiakkaan ympäristöön. Virheet realisoituvat viimeistään asennusvaiheessa, jolloin niiden kustannukset ovat huomattavasti suuremmat, kuin silloin, jos ne löydetään suunnittelun aikana. Tuotetiedon ylläpito vaikeutuu, kun toimintatapana on se, että jos sopivaa laitetta ei ole juuri viimeisimmässä projektissa tehty, niin käytetään muutamaa projektia vanhempaa laitedokumentaatiota hyväksi.

Laitteiden suunnittelu projekteihin vanhojen mallien pohjalta mahdollistaa suunnitteluvirheiden ja käytöstä poistuneiden ratkaisuiden siirtymisen uusiin tuotteisiin, ja päivitetty ratkaisut voivat jäädä siirtymättä kokonaan suunniteltavaan laitteeseen. Tämä toteutuu hyvin helposti tapauksissa, joissa uusi työntekijä tai henkilö, joka ei tunne tuotetta, suunnittelee kyseisen laitteen. Vaikka vastuu laitteiden suunnittelusta ja dokumenttien oikeellisuudesta olisikin suunnittelusta vastaavalla, ei aina ole mahdollista käyttää aikaa piirustusten tarkastukseen — pääkokoonpano- ja positiotasolla ehkä, muttei osatasolla. Tuotetiedot ja tietotaito voivat olla yrityksissä harmittavan usein suunnittelijoiden omilla kiintolevyillä, muistin ja referenssitaulukoiden varassa, mikä ei palvele tuotetiedon siirtymistä. Siihen voidaan vaikuttaa selkeämmällä ohjeistuksella muun muassa tiedon käsittelyn periaatteista ja toimintatavoista.

Projektisuunnittelu asettaa suunnitteluprosesseille haasteita, kun tuoteportfolio on laaja ja yksittäisistä tuotteista voidaan toimittaa lähes rajaton määrä erilaisia variaatioita. Asiakstarpeilla on merkittävä vaikutus tuotekokonaisuuteen, ja yritysten onkin pohdittava, missä tuotteissa on riittävästi kysyntää, ja minkä osuuksien suunnittelua kannattaisi kehittää. Yrityksen portfoliossa on myös paljon laitteita, jotka sopivat lähes mihin tahansa projektiin ilman projektikohtaista suunnittelua. Vaikka perustuote pysyykin samana, eli toimitetaan vaikka ketjukuljetin, niin esimerkiksi kuljettimen pituus, nousukulmat, käyttölaitteet, valmistusmateriaalit ja laiteluokitukset voivat muuttua projektikohtaisesti. Yksi tapa kiertää tämä ongelma olisi vakioitujen tuoteperheiden luominen tuotealustasta, josta voitaisiin konfiguroida haluttu ratkaisu tiettyjen rajaehtojen puitteissa. Kaikki ominaisuudet ja osa-alueet laitteissa eivät ole konfiguroitavissa, joten projektikohtaisesti joudutaan vielä tekemään suunnittelua ja komponenttien sovittamista rakenteeseen.

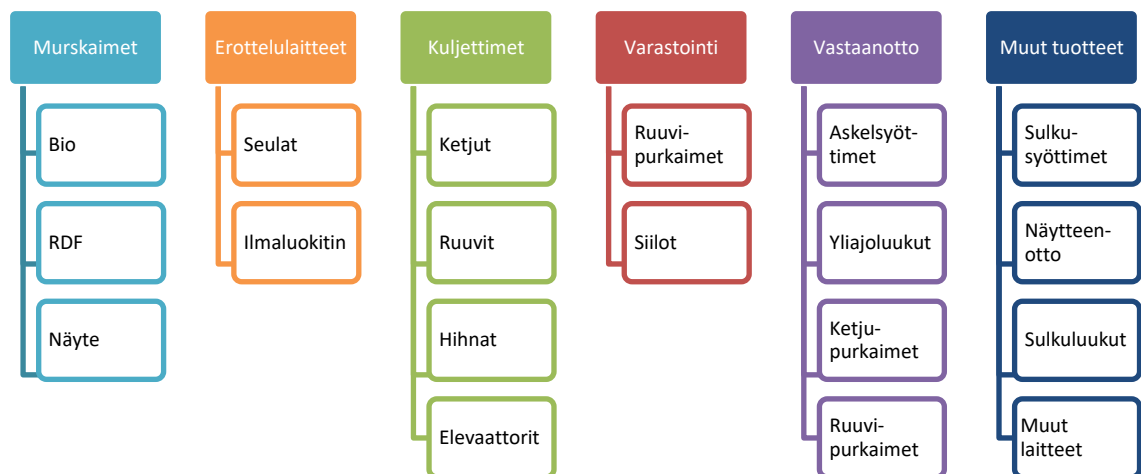
7.4 Suunnittelun kehittämisen vaiheet

Yritys on tehnyt 2010-luvulla kokeiluja konfiguraatiotyökaluihin ja modulointiin liittyen vaihtelevalla menestyksellä. Konfiguraatiotyökalut ovat kehittyneet ja monipuolistuneet viimeisen vuosikymmenen aikana, joten halu tarkastella suunnitteluautomaation, modulaarisuuden ja konfiguraatiotyökalujen mahdollisuuksia, etenkin laitesuunnittelua ajatellen, on kasvussa.

”Yrityksessä on yritetty saavuttaa tuotannollisia hyötyjä implementoimalla tuotteiden suunnitteluprosessiin modulaariset tuoteperheet. Prosessi on aloitettu vuonna 2010 ja ensimmäiset modulaarisiksi suunnitellut tuotteet on jo toimitettu asiakkaille. Yrityksen pitkän historian aikana on modulointiin tähtääviä projekteja toteutettu aikaisemminkin, ja yrityksen tuotevalikoimassa on ollut jo 1970-luvulla täysin konfiguroitavia tuotteita. Näissä tuotteissa asiakkaat ovat voineet määrittellä tilattavan tuotteen tarjottujen mitoitusohjeiden perusteella, jolloin tuote on voitu valmistaa ilman toimituskohtaista suunnittelutyötä.” (Mäki, 2018, s. 41) Modulaaristen tuoterakenteiden ja -perheiden luominen ja niiden myötä konfiguroinnin hyödyntäminen aiheuttaisivat väistämättä tuotteisiin kohdistuvien muutosten lisäksi myös muutoksia organisaation prosesseihin, tuotehallintaan, osaamiseen, suunnittelujärjestelmiin, projekteissa suoriutumiseen ja sen myötä myös taloudelliseen menestymiseen. Modulaarisuus mahdollistaa tuoteperheen yhtenäistämisen, jonka myötä saadaan kustannussäästöjä suunnitteluun, tuotantoon, ja parannetaan sekä tekemisen että tuotteiden laatua.

7.4.1 Tuoteportfolio

Tuoteportfolio tarkoittaa tuotesalkkua, johon kuuluu yrityksen tai sen osan myytävät tuotteet ja palvelut. Seuraavaksi esitellään lyhyesti yrityksen tuoteportfolio. On otettava huomioon, että tuoteryhmät jakautuvat edelleen erilaisiin laitetyppeihin käyttötarkoituksen mukaan, mistä on useasta olemassa monen kokoisia vaihtoehtoja erilaisilla käyttölaite-ratkaisuilla ja muilla varianteilla.



Kuva 22. Yrityksen päätuotevalikoima. (BMH Technology - Solutions for Sustainable Fuels, 2022)

Kuten voidaan huomata, yrityksen laiteportfolio kasvaa nopeasti todella suureksi ja sen hallinta on haasteellista. Tuotteita on voinut olla vaikeaa vakioita, kun laitteiden mitoi-

tukset ja ratkaisut vaihtelevat projektista toiseen johtuen asiakkaan tarpeista ja rajoitteista. Tämä selittyy osin sillä, ettei tuotteille ole aina määritelty selviä rajapintoja eikä niitä ole vakioitu välttämättä riittävän hyvin, mikä mahdollistaa sellaisten ratkaisuiden myynnin, joita ei ole aiemmin suunniteltu. Vakioitujen ratkaisuiden ja rajapintojen määrittelyn uupuminen kuormittaa suunnitteluosaston lisäksi myös layout-osastoa. Tämän vuoksi laitteiden vakiointi ja modulointi on tärkeää, ja sen myötä myös kiinnostus suunnittelun tehostamista kohtaan on yrityksessä kasvanut. Pyrkimyksenä on lisätä suunnittelun toistettavuutta, suunnittelun uusiokäytön tehokkuutta, parantaa tuotehallintaa ja nopeuttaa suunnittelun läpimenoaikoja sekä vapauttaa resursseja kehitystyöhön.

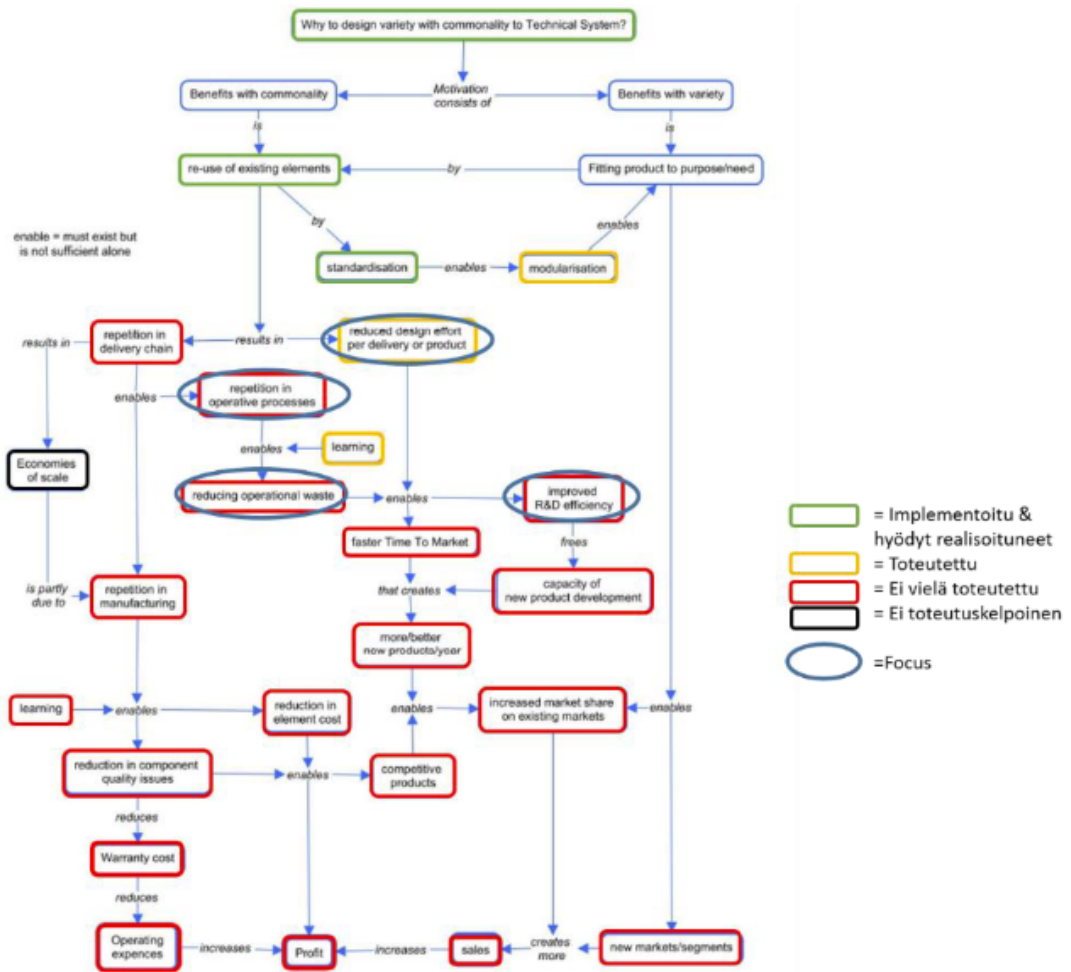
7.4.2 Ketjukuljettimen modulointi

Yrityksessä suoritettu ketjukuljettimen moduloitiprojekti pyrki muuttamaan osakokoonpanoperusteisen moduulijaon, joka oli ajateltu vain logistisesta näkökulmasta, vastaamaan paremmin asiakasvaatimuksia, jotta asiakaskohtaiset yksilötuotteet vähenisivät. Kuljettimien moduloinnin alkuperäisenä tavoitteena oli vähentää nimikkeiden määrää, parantaa konfiguroituvuutta, nopeuttaa toimituksia ja tuotekehitystä sekä pienentää varastoarvoa. Mäki (2018) käy läpi tutkimuksessaan, minkälaiset olisivat modulaarisen tuoterakenteen liiketoimintavaikutukset, ja miten modulaarisuutta voitaisiin hyödyntää kohdeyrityksessä. Yhtenä työn tavoitteena oli tutkia ketjukuljettimen modulaarisuuteen tähdännyttä tuotekehitysprojektia. Työssä päädyttiin johtopäätöksiin, että modulaarisuuden ketjukuljettimen kehittämisessä epäonnistuttiin, eikä tuote lopulta toiminut halutulla tavalla. Tuotekehitysprojektin lopputuloksena syntyi lähinnä kokovarianteista koostuva vakioitu tuote, jossa vakio-osia oli hyvin niukasti, eikä niinkään täysin modulaarinen tuote. Moduuleiden välille ei syntynyt vakioituja rajapintoja ja moduuleista tuli liian pieniä, joten niiden välinen yhteensopivuus jäi vajavaiseksi. Suunnittelun kannalta valikoitunut moduloitiratkaisu oli raskas ja sen hallittavuus oli haastavaa. Varsinainen konfiguraatiotoetus jäi uupumaan osittain sen vuoksi, että tuoterakenteesta ei saatu rakennettua riittävän modulaarista ja yksinkertaista konfiguraatiotyökalua varten. (Mäki, 2018)

Mäki (2018) ehdottaa työn lopputuloksissa parannusehdotuksia kolmesta näkökulmasta liittyen seuraaviin asioihin:

- Ketjukuljettimen moduloitiprojektin jatkomahdollisuudet
- Miten yrityksen kannattaisi jatkossa hyödyntää modulaarisuutta yksittäisissä tuotteissa?
- Modulaarisuus kohdeyrityksen toimittaman prosessilinjan mittakaavassa.

Tässä työssä tartutaan modulaarisuuteen yksittäisen tuotteen näkökulmasta.



Kuva 23. Modulaarisuuden tavoitteiden ja välitavoitteiden toteutuminen ketjukuljettimen tapauksessa (Mäki, 2018). Perustuu Juutin (2008) esittämään malliin samankaltaisuuden ja vaihdeltavuuden hyödyistä.

Kuva 23 esittää vaiheen, johon ketjukuljettimen modulointiprojekti on Mäen (2018) tutkimuksen aikana jäänyt. Voidaan huomata, että prosessi on jäänyt alkutekijöihinsä epäonnistuneen moduloinnin myötä, minkä vuoksi prosessin mahdollistamat hyödyt eivät ole koskaan realisoituneet. Taulukko 4 on nähtävissä tavoitellut hyödyt vielä tarkemmin ja niiden toteutuminen.

Mäen (2018) tutkimuksen aikana kävi ilmi, että kohdeyrityksessä on toteutettu erillään ketjukuljettimen modulointiprojektista määritelty myyntikonfiguraattori projektimyynnin käyttöön. Tämä myyntikonfiguraattori on kehitetty yhdessä ohjelmistotuotantoyrityksen kanssa, jolla on kokemusta erilaisten konfiguraattoreiden toimituksista vaihteleviin teollisuuden tarpeisiin. Kyseinen ohjelmisto määrittelee tarvittavaan tuotantolinjaan tarvittavat laitteet syöteinä annettujen prosessin vaatimusten perusteella. Syötteiden määrä on sovelluksessa kohtuullisen pieni ja ohjelman käyttämisen pitäisi olla yksinkertaista. Jostain syystä kyseisen konfiguraattorin käyttöä ei ole saatu implementoiduksi yrityksen toimintamalliin (Mäki, 2018, s. 54).

Taulukko 4. *Konfiguroinnilla tavoitellut hyödyt ketjukuljettimen tapauksessa.* (Mäki, 2018, s. 53)

Tavoite	Toteutunut?	Selite
Tuotepolitiikan selkeytyminen	Osittain	Kuljettimelle on määritelty suunnitteluparametrit, mutta tuotemallistossa on haluttu pitää yllä suuri määrä variantteja. Lisäksi täysin ETO kuljetin on säilytetty vielä mallistossa. Myyntistrategia on tärkeässä osassa.
Toimitusajan lyhentäminen	Osittain	Suunnittelussa käytettävä aika lyhentynyt. Muissa vaiheissa muutoksia on vielä mahdoton arvioida (tuotanto, asennus) tai realistista parannusta ei ole tiedossa (logistiikka, käyttöönotto). Tuotannon nopeuttaminen siirtymällä ennen tilausta tehtäviin puolivalmistisiin vaatisi strategista päätöstä.
Parempi laatu	Ei	Konfiguroitavan tuotteen laatu voi kasvaa toistuvien rakenteiden ansiosta. Kuljetinta ei ole valmistettu vielä niin montaa kappaletta, että tämä realisoituisi. Moduulivarianttien määrä on kuitenkin niin suuri, että on hankala nähdä, miten valittu moduulirakenne muuttaisi tilannetta verrattuna vanhaan.
Asiakaskohittaisen suunnittelun vähentäminen	Osittain	Läpimenoaika suunnittelussa on vähentynyt. Monimutkainen rakenne kuitenkin
Suunnitteluratkaisujen uusiokäyttö	Kyllä	Kuljettimen eri osille on määritelty rakenteet, joita käytetään läpi tuotemalliston
Tuotteen määrittelyn hajautus esim. myyntiorganisaatioille	Ei	Myyntiin ei ole konfiguraattoria, eikä se nykyisellä, raskaalla moduulirakenteella olisikaan käytännöllinen.
Tilauspisteen siirtäminen toimitusketjun myöhempään vaiheeseen	Ei	Tämä vaatisi strategisen päätöksen, sekä tietoa tulevista markkinoista. Suuri moduulivariaatioiden määrä tekee tästä haastavaa, lisäksi sitoutuvan pääoman määrää huomattavasti.
Tuotannonohjauksen selkeytys	Ei	Tuotannonohjauksen parantaminen perustuu yleensä pienempään määrään komponentteja, joiden toistuvuus on huomattavasti suurempaa kuin ETO-lyyppisissä tuotteissa. Suuri moduulivarianttien määrä ei lue lälä.
Vakiointi	Osittain	
Suunnittelutiedon parempi hallinta	Ei	Suurta osaa suunnittelutiedosta hallitaan yhä erillisillä tietojärjestelmillä, mikä vaatii resursseja ja saattaa olla epäluotettavaa. Jos suunnittelutietoa hallittaisiin samalla järjestelmällä kuin muitakin suunnitteludokumentteja, saataisiin automaatiosta kustannussäästöjä ja luotettavuutta.
Myyntiin täsmällistäminen	Ei	Myyntiin selkeyttäminen vaatisi joko yksinkertaisen konfiguraattorin tai selkeästi määritellyn tuotemalliston, jonka hinnat, tekniset ominaisuudet, suorituskyky ja toimitusajat olisivat tiedossa.
Toimitusketjun parantaminen	Ei	Toimitusketju käy yrityksen sisäisesti yhä saman prosessin, koska konfiguraatio tehdään edelleen suunnittelussa.
Markkinaosuuden kasvatus	Ei	Markkinaosuuden kasvatus ei ole toteutunut, koska tuotantokapasiteetti ei ole aikaisemminkaan ollut pullonkaula, eikä uudesta kuljettimesta ole realisoitunut kulusäästöjä.

Ketjukuljettimen moduloointiprojekti toteutettiin MFD-menetelmällä. Matriiseihin perustuvat menetelmät moduulirakenteen määrittelyyn ovat melko yksinkertaisia, mutta ongelmien ja riippuvuussuhteiden määrittely on haastavaa. Matriiseihin perustuvat menetelmät johtavat helposti suureen määrään pieniä moduuleita ja tilanteeseen, jossa motiivien väliset eroavaisuudet eivät johda toiminnalliseen tulokseen (Lehtonen, 2007, s. 57). Ketjukuljettimen moduloinnissa päädyttiin juuri tähän tulokseen. MFD ei myöskään huomioi tarpeeksi yrityksen liiketoimintaympäristön asettamia vaatimuksia. Projektin epäonnistumiseen johti osittain myös se, että moduulirakenteeseen siirtymisen yhteydessä toteutettiin moduloinnin kannalta turhaa tuotekehitystyötä, joka vaikutti toiminnallisten osien toimintaperiaatteisiin ja rakenteisiin, minkä vuoksi valmistetuissa kuljettimissa esiintyi rakenteellisia heikkouksia. Tämän tutkimuksen aikana kerättyjen tietojen ja Mäen (2018) tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että MFD ei ole ainoa menetelmä, ja esimerkiksi BfP olisi soveltunut ketjukuljettimen tapaukseen hyvin.

7.4.3 Ruuvipurkaimen suunnitteluautomaatio

Yrityksessä on toteutettu ruuvipurkaimen suunnittelua avustava parametrinen suunnitteluautomaatti, niin sanottu ruuvirobotti, hyödyntäen yrityksen käytössä olevia suunnittelu työkaluja eli Solidworks, Tacton ja PDM. Ruuvirobottiin on päädytty aikoinaan ruuvin haastavan geometrian vuoksi, minkä mallintaminen manuaalisesti suunniteltaessa vie paljon aikaa. Suunnittelun konfiguraattori luo ruuvipurkaimen ruuvin osuudelle uudet osat ja tekee osille osittain valmiit piirustukset. Käyttölaitteet, runko ja kaikki muut ruuvipurkaimen osat suunnitellaan vielä manuaalisesti suunnittelijan toimesta, eli tuotteen suunnittelu on osittain automatisoitu. Konfiguraattorissa valitaan osin rajattujen ja osin erikseen laskennallisesti tuotettujen arvojen joukosta sopivat arvot. Suunnittelija valitsee alas veto -valikoista esimääriteltyjä arvoja ja/tai tyyppejä ja syöttää laskennallisia arvoja osaan riveistä. Näiden perusteella ruuvirobotti luo ruuvista parametripohjaisesti 3D mallin ja piirustukset.

Ruuvirobotti toimii PDM-järjestelmän ulkopuolella, mikä tarkoittaa sitä, että konfiguroinnin valmistuttua aineisto tallentuu käyttäjän tietokoneelle, jossa suunnittelutyö tehdään, ja se pitää siirtää jälkeinpäin PDM-järjestelmään suunnittelijan toimesta. Suunnittelijalle jää konfiguroinnin ja aineiston siirtämisen jälkeen tehtäväksi osien mahdollinen virheiden korjaaminen ja piirustusten tarkastaminen. Ruuvirobotti ei ole aivan täydellinen nykyisellään, ja sen ylläpito on jäänyt toistaiseksi heikoille kantimille, koska tarvittava järjestelmäosaaminen on puutteellista yrityksessä. Konfigurointi, aineiston siirto PDM:ään, mahdolliset korjaustoimenpiteet ja piirustusten tarkistus vie kuitenkin merkittävästi vähemmän aikaa kuin manuaalinen suunnittelu, vaikka kaikki ei toimi täysin automaattisesti, joten kyseistä apuvälinettä on edelleen kannattavaa hyödyntää.

8. HIHNAKULJETTIMEN MODUULIJÄRJESTELMÄN JAKOTAPA

Luvussa 4 käsiteltiin aiheita, joiden avulla on mahdollista tehostaa suunnittelun tehokkuutta. Nykytilan tarkastelun ja eri tehostamiskeinojen pohjalta päädyttiin valitsemaan moduulijärjestelmän jakotavan suunnittelu hihnakuuljettimelle. Hihnakuuljettimen suunnittelun tehostamiselle luodaan edellytykset luomalla kuuljettimelle moduulijärjestelmän jakotapa, minkä myötä kuuljettimesta suunnittelun läpimenoa saataisiin lyhennettyä. Kyseiseen laitteeseen päättymiseen vaikutti myös kohdeyrityksen alkuperäinen halu tutkia, miten hihnakuuljettimen vetorummun suunnittelua voitaisiin automatisoida. Kun halutaan konfiguroida vetorummun osia, on hihnakuuljettimelle luotava koko kuuljettimen kattava moduulijärjestelmä, jossa huomioidaan moduulien keskinäinen yhteensopivuus rajapintojen, tuotearkkitehtuurin ja muiden moduulijärjestelmän kannalta tärkeiden asioiden kanssa. Pelkästään parametrisesti suunnittelemalla tai konfiguroimalla vetorummun kokonaisuus ja sen eri variantit, voidaan saavuttaa vain osittain ne hyödyt, joita koko hihnakuuljettimen modulaarisuudella on mahdollista saada. Varianttien yhteensopivuudesta ja toiminnallisuudesta ei voida olla varmoja, jos kunnollista jakologiikkaa ja konfigurointitietoa ei ole määritetty kunnolla.

Modulaarista jakotapaa kehitetään BfP:n avulla ja apua sen suunnitteluun haettiin ketjukuuljettimen modulointiprojektin tutkimuksesta (Mäki, 2018) sekä muista samankaltaisista tutkimuksista, joita kirjallisuudesta löydettiin. Moduulijärjestelmä hahmotellaan GEMStyökalun avulla, joka on Tampereen yliopiston kehittämä työkalu, minkä avulla voidaan ilmaista moduulien keskinäisiä riippuvuussuhteita ja tallentaa moduulijärjestelmän tietoa samaan paikkaan, missä jakotapa määritellään. GEMS muodostuu kolmesta osa-alueesta, joihin moduulijärjestelmän jakotapa suunnitellaan, ja ne ovat:

- Tuotteen jäsentämisen periaatteet
- Tuotteen geneeriset elementit
- Asiakkaiden vaatimukset kysymysten muodossa.

Mäen (2018, ss. 68–69) mukaan ketjukuuljettimen modulointiprojektissa käytetty osakokonaisuuksien ja lähes yksittäisten osien muuttaminen kuljetinlohkotyyppisiksi moduuleiksi olisi kannattavampaa ja toimivampaa. Kuva 24 nähdään, millaiseksi ketjukuuljettimen moduulikuuljettimen tuoterakenne on tehty tuotekehitysprojektissa osien tyyppejä ajatellen.



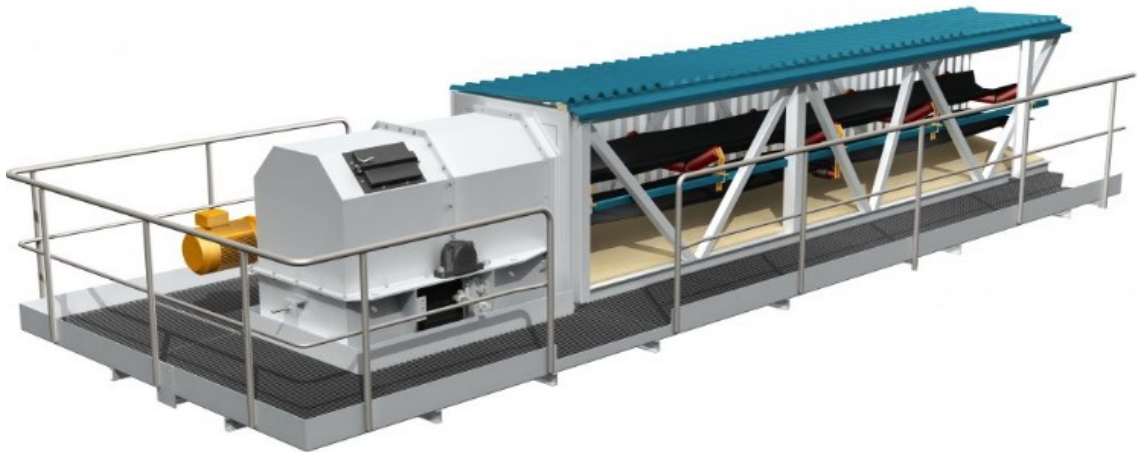
Kuva 24. Modulaarisen ketjukuljettimen tuoterakenne. (Mäki, 2018)

Moduloidun ketjukuljettimen moduulien välille syntyi vain harvoin vakioitu rajapinta, koska modulaarinen jakotapa tehtiin liian pienistä osakokonaisuuksista, jotta osien ja osakokonaisuuksien muunneltavuus olisi ollut mahdollista. Mäen (2018, s. 46) mukaan se tarkoittaa, että moduulivariantit ovat yhteensopivia vain tiettyjen moduulivarianttien kanssa, mikä johtaa siihen, että yhden moduulin muuttaminen johtaa usean muunkin moduulin muuttamiseen. Tämä taas vaikeuttaa tuotehallintaa, tuotekehitystä ja konfiguraatiosovellusten hyödyntämistä.

”Jos tuote olisi jaettu suurempiin moduuleihin, olisi mahdollista määritellä rajapinnat ja tilavaraukset. Näin esimerkiksi vetopään ollessa oma moduulinsa, olisi mahdollista muuttaa sen sisäistä rakennetta, kuten akselin laakerointia, ilman yhteensopivuuden tarkastelua.” (Mäki, 2018, s. 50). Modulaarisen ketjukuljettimen tuoterakenteen ja yksittäisten moduulien hallintaan sekä dokumentointiin käytettävä taulukkolaskentatyökalu Excelissä vaatii manuaalista päivitystä, mikä on haastavaa ja erittäin raskasta etenkin silloin, kun tuoterakenne on sellainen kuin moduuliketjukuljettimella Mäen (2018) tutkimuksen aikaan. Hänen tutkimuksensa jälkeen ketjukuljettimen modulointiprojektiin ei ole tehty nykyisten tietojen mukaan mitään, osaksi sen epäonnistumisen takia, muutostarpeiden vaatimien resurssien puuttumisen ja henkilöstön vaihtumisen myötä.

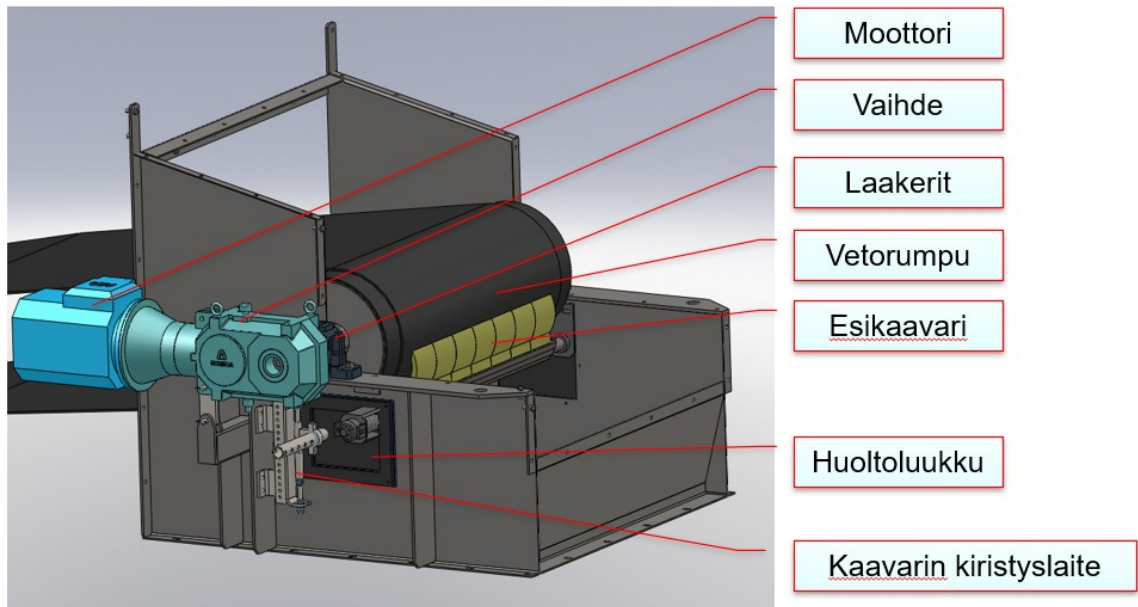
8.1 Hihnakuuljetin

Hihnakuuljetin on yksinkertaistettuna hihna, joka kulkee hihnarullien kannattamana kuljettimen taitto- ja vetopään välillä kuljettaen materiaalia paikasta toiseen. Tyypillisin hihnakuuljettimen tyyppi on kouruhihna, jossa hihna kulkee U:n mallisella mutkalla kuljettavalla osuudella pitäen materiaalin keskellä hihnaa. Tasohihnakuuljettimet kuljettavat materiaalia leveänä tasaisena patjana normaalisti melko lyhyitä matkoja esimerkiksi magneettierottimen hihna. Putkihihna, jossa hihna on rullien avulla käännetty putkeksi. Rakenne on tiivis, mikä auttaa pölyn ehkäisyssä, ja samalla se sallii käännökset pysty- ja vinosuunnissa.



Kuva 25. Havainnekuva hihnakujuettimen vetopäästä ja kuljetinsillan osuudesta. (BMH Technology - Solutions for Sustainable Fuels, 2022)

Taittopäässä sijaitsee laakeroitu taittorumpu, kaavarit ja lastauspisteelle tarpeelliset sup-pilot, pölyverhot, ohjauslaitat yms. Taittopää on kuljettimen pää, johon kuljetettava ma-teriaali lastataan ja viedään hihnalla kohti vetopäätä, mistä materiaali siirretään edelleen eteenpäin. Kaavarit pitävät hinnan sekä rummun puhtaana niihin tarttuvasta materiaa-lista kaavaamalla hinnan pintaa. Vetopäässä sijaitsee moottori, vaihde, laakeroitu veto-rumpu ja kaavarit sekä suoja pellit, jotka on varustettu huoltoluukuilla.



Kuva 26. Esimerkki vetopään rakenteesta. (BMH Technology, 2016)

Hihnakujuetin voi olla pituudeltaan muutamista metreistä useisiin satoihin metreihin. Kes-kipitkillä kuljettimilla (170–250 m) tarvitaan hihnakujuettimen kiristykseen vastapainokiris-tyslaite. Vastapaino on massiivinen painoelementti, joka on mekaanisesti kiinnitetty hih-nakujuettimen rakenteeseen niin, että se painollaan kiristää hinnan tavoiteltuun kireyteen.

Hihnan kiristys voidaan toteuttaa keskipitkillä kuljettimilla kytkemällä vastapaino taittorumpuun, jota vedetään, mikä kiristää hihnan. Pitkillä kuljettimilla kuljetinhihna kulkee usean rumpun kautta kuljettimen alapuolelta, missä yksi rumpu on kytketty painokelkkaan, jota vedetään vastapainon avulla. Keskipitkillä kuljettimilla vastapaino voi sijaita lähellä taittopäätä, mutta pitkillä, yli 250 m, kuljettimilla kiristyslaite on lähempänä vetopäätä. Hihnakuljettimen taitto- ja vetopään välille voidaan rakentaa avoin tai umpinainen siltarakenne, jossa hihnakuljetin kulkee.



Umpisilta joka eristetty Paroc elementeillä



Avosilta joka varustettu pressuseinällä

Kuva 27. Umpinainen ja avoin kuljetinsilta. (BMH Technology, 2016)

8.2 Hihnakuljettimen moduulijärjestelmän jakotapa BfP:n avulla

Tämän työn aiempiin kappaleisiin perustuen voidaan tehdä päätös, että menettelytapoihin, joita aiemmin käytettiin ketjukuljettimen modulointiin, on tehtävä muutoksia, kun ajatellaan hihnakuljettimen modulaarisen jakotavan luomista. Mäen (2018) tutkimuksesta saatiin paljon hyviä ajatuksia, miten hihnakuljettimen modulaarinen jakotapa voitaisiin toteuttaa. Hihna- ja ketjukuljettimet ovat ajatustasolla samankaltaisia laitteita, jotka vievät tavaraa paikasta toiseen, mutta eri menetelmään perustuen. Kirjallisuuden ja aiempien tapausten perusteella päätettiin, että jakotapaa aletaan suunnittelemaan hyödyntämällä BfP:tä ja GEMS-työkalua. BfP on tarkoitettu nimenomaan olemassa olevien tuotteiden modulaarisen jakotavan luomiseen, kuten kappaleessa 4.4.4 kerrottiin.

Moduulirakenne ja kuljettimen mekaaninen rakenne ymmärretään erillisinä kokonaisuuksina, jotta kuljettimeen tarvittavat muutokset voidaan ratkaista muuttamatta moduulirakennetta. Hihnakuljetin on modulaarisuutta ajatellen ketjukuljetinta parempi valinta, koska kuljetinpituuden kasvu ei johda suuriin rakenteellisiin muutoksiin. Pituuden myötä kasvava hihnavoima voidaan kompensoida vahvemmalla hihnalla ja tehokkaammalla moottorilla (Mäki, 2018, s. 35).

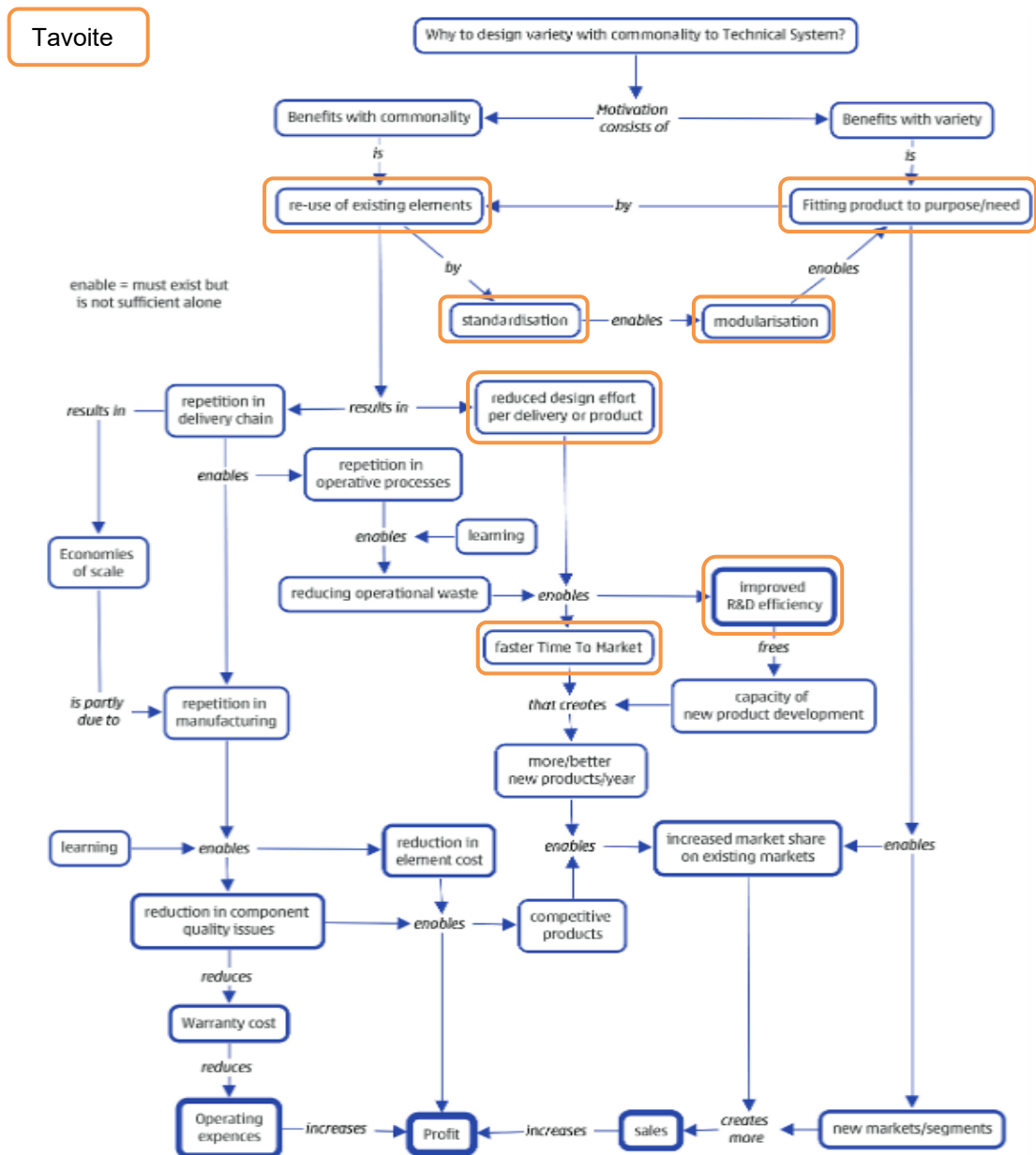
Hihnakuljettimen nousukulmaa rajoittaa hihnan tasaisuus, mikä ei pidättele materiaalia valumasta alaspäin, sekä kuljetettavan materiaalin ominaisuudet — poikkeuksena kuvioidut hihnakuljettimet ja muut erikoishihnat. Tarkkaa määritystä nousukulman jyrkkyydestä on mahdotonta lukita, mutta tyypillisesti voidaan ajatella, että nousukulma on alle 20 astetta.

8.2.1 Liiketoimintaympäristö

Ensimmäisen vaiheen tarkoituksena on määrittellä tavoitteet modulaarisen tuoteperheen kehittämiseksi liiketoimintalähtöisestä näkökulmasta. Tavoitteena on huomioida tärkeät liiketoimintaympäristön näkökulmat ja liittää ne tuotteen kehitykseen sekä auttaa modulaarisen jakotavan perustelujen löytämisessä. Pääongelma, jota BfP:llä yritetään ratkaista, on tuotevalikoiman monimutkaisuuden vähentäminen keskittymällä yhteisten piirteiden löytämiseen ja mahdollistamalla vaihdeltavuus (Pakkanen, 2015).

Modularisoinnin kohteen valinta on täysin yrityksen haluista ja sen tuotevalikoimasta riippuvainen. Jos tuotevalikoima on laaja ja kattaa monenlaisia erilaisia tyyppisiä tai luokkia, voi olla tarpeellista rajata modularisoinnin tavoitteita kapeammaksi valitsemalla vain jotkin tietyt tuotteet tarkastelun kohteeksi. Vähentämällä tuotteiden määrää, jotka huomioidaan modularisoinnissa, tuotekehityksen kompleksisuus vähenee, kun tuotteista saadaan vakioituja tai konfiguroitavia tuote-elementeiltään. Toisaalta valitsemalla liian pieni kokonaisuus modularisointiin, voidaan saavuttaa hyviä tuloksia vain paikallisesti, eli mitä suurempi on samankaltaisuus tuotevalikoimassa, sen paremmat ovat hyödyt, joita voidaan saavuttaa (Pakkanen, 2015).

Syy-seurausketjun (kuva 28) avulla nähdään samankaltaisuuden ja vaihdeltavuuden tuomia hyötyjä. Tämän BfP:n kannalta tärkeät tavoitteet on korostettu oransseilla laatikoilla. Tavoitteena on vähentää suunnitteluun kuluva aikaa tuotetta kohden lisäämällä vakioituja ratkaisuja ja modulaarisuutta, ja niiden myötä nopeuttaa tuotteiden läpimenoaikaa sekä markkinoille saattamista. Modulaarisen jakotavan suunnittelun edellytyksenä on tuoteryhmän tarkastelu useasta näkökulmasta, minkä myötä toivotaan syntyvän dokumentaatiota eri ratkaisuiden valintaperusteista ja keskinäisistä suhteista tuotetta suunniteltaessa. Tällainen hiljainen tieto on harmittavan usein tuotteista vastaavien omassa tiedossa, mikä vaikeuttaa myös tuotekehitystyötä.



Kuva 28. Syy-seurausketju samankaltaisuuden ja vaihdeltavuuden hyödyistä. Ta-
voiteltuja asioita korostettu Juutin (2008, ss. 1–6) malliin perustuen.

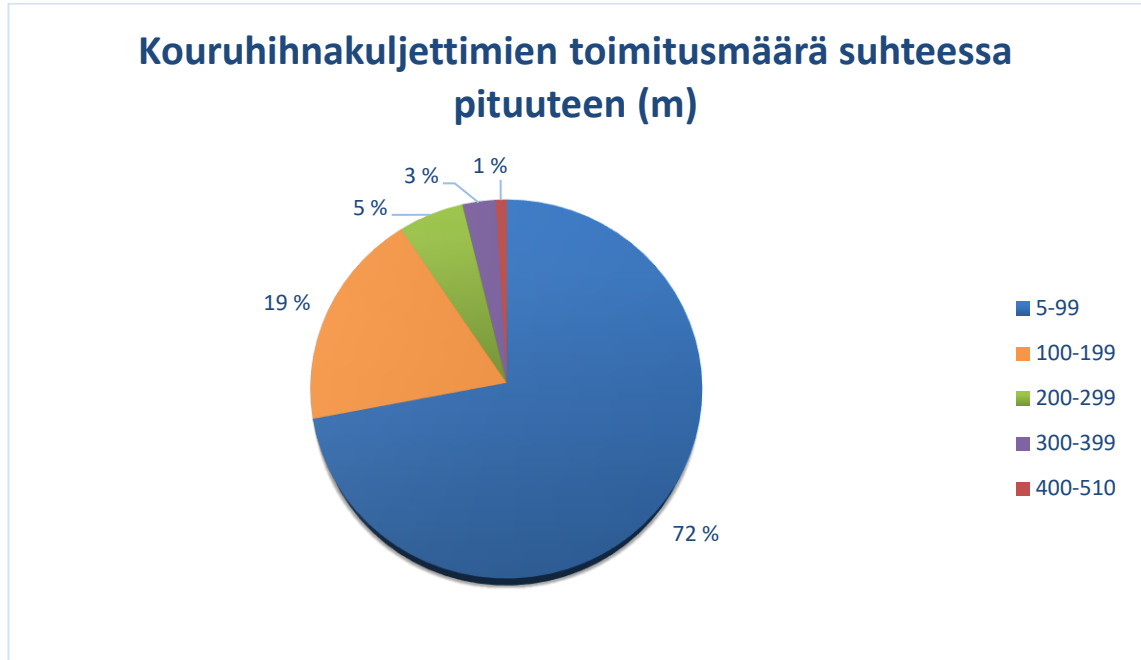
Asiakkaiden ja liiketoiminnan vaatimuksia peilaamalla saadaan rakennettua sellaisia tuotteita, jotka palvelevat todellisia tarpeita. Nopeampi markkinoille saaminen ei luultavasti tule vielä toteutumaan tämän työn aikana, koska tutkimuksen tavoitteena on suunnitella valikoidulle tuotekokonaisuudelle, millainen moduulijärjestelmän jakotapa voisi olla, joten tuotteita ei tulla saamaan vielä suunniteltua tai valmistettua varsinaiseen projektiin. Nopeampi läpimeno ja markkinoille saaminen toivottavasti realisoituvat tulevaisuudessa, jos moduulijärjestelmää todella aiotaan hyödyntää.

Kaikkia hihnakuuljettimia tarkasteltaessa, joita kohdeyrityksen valikoimassa on, tehtiin seuraavanlaisia päätelmiä BfP:n kohdetta valittaessa:

- Hihnaeleavaattoreita on toimitettu joitakin kappaleita vuodesta 2001 lähtien. Toimitusmäärät ovat liian pieniä, jotta modulaarisuutta kannattaisi alkaa miettimään.
- Tasohihnakuuljettimia menee määrällisesti paljon, koska niitä käytetään prosessilinjatoimituksissa siirtämään materiaalia lyhyitä matkoja, etenkin prosessilinjan seulomon osuudessa, jossa syötettävästä materiaalista erotellaan metallit yms. materiaaliin kuulumattomat jakeet sekä murskataan ylisuuri materiaali jae pienempään kokoon. Myös näytteenotto tapahtuu yleensä seulomon yhteydessä. Vuodesta 2004 lähtien on toimitettu useita eri levyisiä ja pituisia tasohihnakuuljettimia. Tasohihnakuuljettimet ovat rakenteeltaan vakioituneita, ja niihin kohdistuu vähemmän asiakkaan vaatimuksista johtuvaa muuntelua, joten aiempiin projekteihin toimitettuja vakioituneita malleja voidaankin käyttää lähes sellaisenaan uutta projektia toimitettaessa.
- Hihnapurkamia on toimitettu muutamia kappaleita 2000-luvulla, joten toimitusmäärä on liian pieni modularisointiin.
- Jakohihnakuuljettimia on toimitettu joitakin kappaleita vuodesta 2002 alkaen, mutta volyyymi ei ole riittävä modularisointiin.
- Putkihihnakuuljettimia on toimitettu liian vähän 2000-luvulla.
- Perinteisiä kouruhihnakuuljettimia on toimitettu vuodesta 2000 lähtien useita kappaleita. Tämän tyyppisissä kuuljettimissa löytyy melko paljon vakioituja ratkaisuja. Modulaarisuuden hyödyt voivat olla merkittäviä toimitusvolyymien ollessa useita kuuljettimia vuodessa. Myös kuuljettimien fyysinen koko voi lisätä modulaarisuudesta saavutettavia hyötyjä eri elinkaaren vaiheissa.

Toimitusmäärät perustuvat tämän tutkimuksen aikaiseen tietoon huomioiden vuoden 2023 varmistuneet laitekaupat. Selkeimpinä vaihtoehtoina hihnakuuljettintyypeistä olisivat tasohihnakuuljettimet sekä kouruhihnakuuljettimet, koska niissä nähdään olevan riittävän suuri volyyymi, jotta modulaarisuudesta saadut hyödyt voisivat realisoitua. Tasohihnakuuljettimet ovat niin hyvin vakioituneet, ja niistä on saatavilla hyviä referenssiprojekteja, että niiden laitekuvien suunnitteluun kuluu keskimäärin 40 h ±20 h. Rakenteeltaan tasohihnat ovat 400—1800 mm leveitä ja alle 20 m pitkiä, ja suurin osa alle 10 metrisiä.

Kouruhihnakuuljettimet ovat rakenteellisesti suurempia leveyden ollessa 650–1600 mm ja pituuden 5–500 m, joten niiden suunnitteluun sekä valmistukseen kuluu enemmän aikaa. 72 % kouruhihnoista on alle 100 metrisiä ja alle 200 metristen osuus on 91 % kokonaismäärästä.



Kuva 29. Kouruhihnakuuljettimien toimitusmäärät suhteutettuna niiden pituuteen.

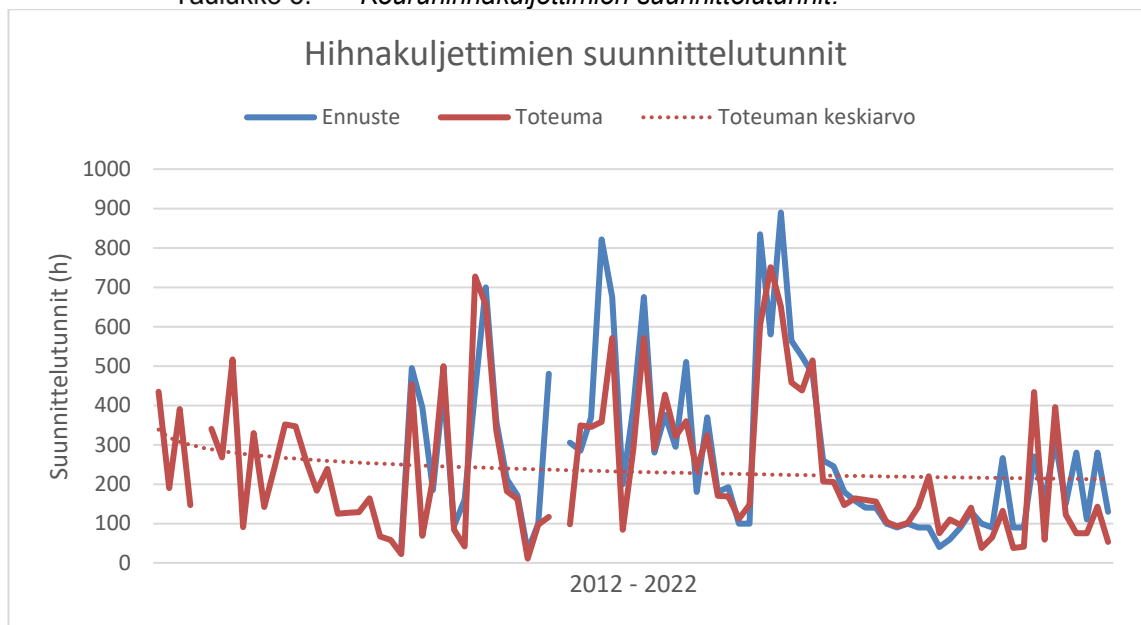
Suunnittelutunteja kuluu kuuljettimen pituudesta ja erityisvarusteluista riippuen 50–700 h, joten tämän tyyppiin kuuljettimiin kuuluva suunnittelu-aika on merkittävästi suurempi kuin muun tyyppisillä hihnakuuljettimilla. Kouruhihnakuuljettimissa esiintyy paljon enemmän vaihtelua kuin aiemmin esitellyillä. Varustelutaso, suunnittelun aikana esiintyvät ongelmat, virheet, selvitystyöt ja muut asiat lisäävät suunnittelutuntien lopullista toteumaa, mikä vaikeuttaa varsinaisen suunnittelutyöhön kuluvan ajan tarkastelua — arviot perustuvat laitepositioiden kokonaistuntitoteumaan ja ovat siten vain suuntaa antavia. Suuri suunnittelutuntien määrä voi tarkoittaa, että modulaarisuudella voidaan mahdollisesti saavuttaa suurempia säästöjä jo suunnitteluvaiheessa, ja modulaarisuuden tuomia hyötyjä ainakin kannattaisi tarkastella.

Taulukko 5 kuvaa suuntaa antavasti kouruhihnakuuljettimien suunnittelutuntien ennusteita ja toteumaa viimeisen kymmenen vuoden ajalta. Suunnittelutunteja on koko ajanjakson aikana kulunut keskimäärin 200–250 h kuuljettinta kohden, mutta tätä arvoa voidaan pitää vain suuntaa antavana, koska kuuljettimien varusteluun sekä suunnittelussa onnistumiseen vaikuttaa monta tekijää. Myös positiolle tehdyt tuntikirjaukset ovat suuntaa antavia, eivätkä ne kuvasta aina todellisuutta tarkasti. Joissakin tapauksissa lyhyeh-

köt kuljettimet, jotka on toimitettu ilman siltarakenteita tai muita lisäjärjestelmiä, on pystytty suunnittelemaan alle 100 tunnissa, kun taas pitkät kuljettimet, joihin on kuulunut eristettyjä siltarakenteita ja muita lisävaatimuksia ovat vaatineet paljon yli 300 suunnittelutuntia. Kuljettimia suunnitellaan arviolta kymmenkunta vuodessa, mutta vuositasolla kappalemäärässä voi olla vaihtelua, koska projektien aikataulut ovat useampia vuosia, ja eri projekteja voi toteutua useita vuosittain.

Suunnittelutuntien ennustaminen on osunut suhteellisen hyvin kohdalleen, mutta ennusteiden tekeminen on vaikeaa etenkin silloin, kun toimitukseen sisältyy paljon lisäjärjestelmiä ja normaalista poikkeavia ratkaisuja. Vakioinnilla ja moduulijärjestelmän avulla on mahdollista ennustaa tarkemmin suunnitteluun kuluva aikaa, kun voidaan käyttää valmiita ratkaisuja. Samalla on mahdollista lyhentää suunnittelu-aikaa ja kuormittaa resursseja ennustettavammin.

Taulukko 5. *Kouruhihnakuuljettimien suunnittelutunnit.*



8.2.2 Geneeriset elementit

Geneeriset elementit, tai yleiset elementit, määräytyvät sen mukaan, mistä kokonaisuudesta tapausyritys katsoo tuotteidensa koostuvan. Ne voivat olla esimerkiksi alijärjestelmiä, toiminnon kantavia osuuksia, kokoonpanoja tai jopa yksittäisiä osia. Tavoitteena on luoda alustava moduulijako, jota tarvitaan lähtöpisteenä modulaarisen tuoteperheen suunnittelussa. Luonnollinen tapa jakaa tuote geneerisiin elementteihin on perustaa se esimerkiksi toiminnallisuuteen tai rakenteellisiin tekijöihin, mutta myös muut jakotavat ovat sopivia. BfP:n edetessä geneeristen elementtien luonne tarkentuu. Tuloksena olevassa tuoteperheessä yksi geneerinen elementti voi koostua esimerkiksi useista vaihtoehtoisista moduuleista. (Pakkanen, 2015, s. 189)

Samankaltaisuus mahdollistaa useita etuja, kun yrityksen toiminnassa saavutetaan suuri määrä toistoja. Liiketoiminnan erityispiirteet rajoittavat joidenkin teollisuusyritysten tuotteita niin, että samankaltaisuuden etuja ei voida saavuttaa täysin samassa mittakaavassa kuin muissa yrityksissä (Pakkanen, 2015). Hihnakuuljettimen tapauksessa samankaltaisuuden uskotaan tuovan etuja, koska valmistusvolyymit ovat kymmeniä vuodessa. Vaikka hihnakuuljettimet olisivatkin erilaisia rakenteellisilta mitoiltaan ja kuljettavat erilaista materiaalia asiakkaasta johtuen, niin perusrakenteiden vakioiminen sekä jako- ja valintaperusteiden dokumentointi helpottavat tuotehallintaa ja tuotekehitystä tulevaisuudessa.

Alustavat geneeriset elementit, joista kuuljettimen koetaan muodostuvan perustuen rakenteellisiin tekijöihin:

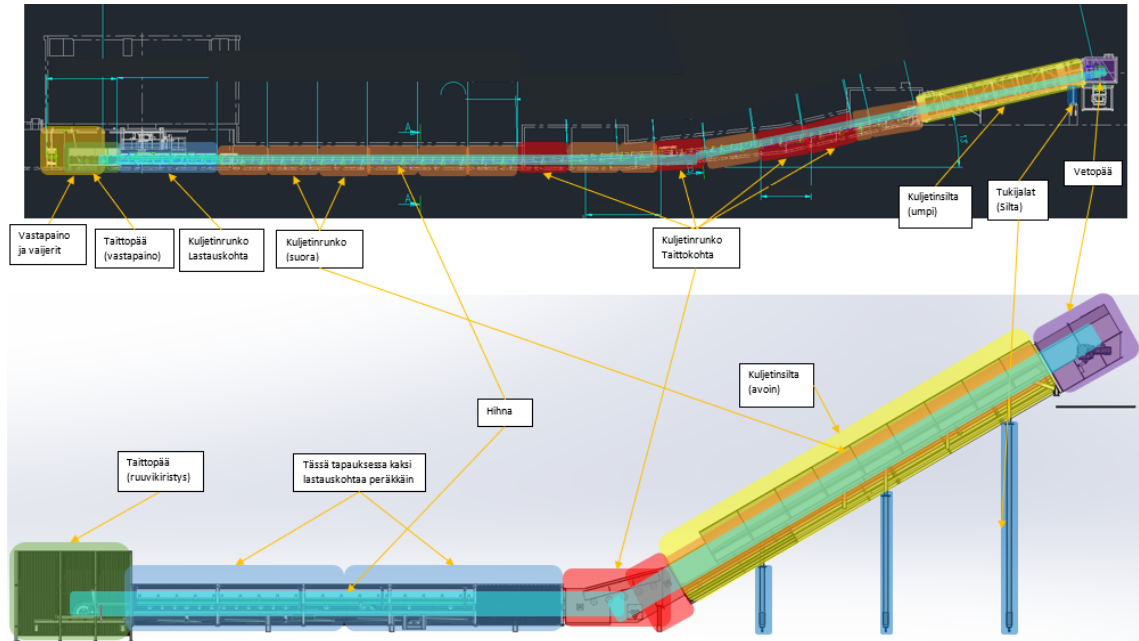
- Taittopää
- Kuljetinlohko — lastauskohta
- Kuljetinlohko — kuuljettimen runko-osuudet
- Kuljetinlohko – taittokohta
- Vetopää
- Hihna
- Kuljetinsilta
- Tukijalat – kuljetinsilta ja hoitotasot
- Sähkökomponentit

Hihnaleveydet 1800, 2000, 2200 mm jätetään moduulijärjestelmän tarkastelun ulkopuolelle, koska kyseisellä leveydellä toimitettuja kuuljettimia ei ole toimitettu tarpeeksi, jotta niiden sisällyttäminen nähtäisiin vielä kannattavaksi. Vain pääleveydet 650, 800, 1000, 1200, 1400 ja 1600 mm sisällytetään moduulijärjestelmään. Muita leveyksiä voidaan harkita sisällytettävän osaksi järjestelmää, koska leveyden muutos on suhteellisen yksinkertaista toteuttaa moduuleissa.

Kuljetinsillan, tukijalkojen ja hoitotasojen rakenteiden huomioiminen modulaarista kuljetinta hahmoteltaessa on liian monimutkainen kokonaisuus, jotta sitä voitaisiin tämän työn aikana käydä läpi. Kuljetinsilta, sillan ja hoitotasojen tukijalat sekä sähkökomponentit on mainittu alustaviksi geneerisiksi elementeiksi, mutta tässä työssä pyritään keskittymään vain lyhyesti koko kuuljettimen modulaarisen jakotavan hahmotteluun. Tarkoituksena on keskittyä hieman tarkemmin siihen millainen kuuljettimen vetopään modulaarinen jakotapa voisi olla, kun koko kuuljettimen alustava modulaarinen jakotapa on hahmoteltu.

8.2.3 Arkkitehtuuri

Vaiheessa 3 luonnostellaan arkkitehtuuri, jossa geneeriset elementit ja niiden rajapinnat määritellään. Arkkitehtuuri havainnollistaa alustavien hallittavien rajapintojen sijainnit, jotka geneeriset elementit luovat, eli missä kukin elementeistä sijaitsee laitteessa. Koko kuljettimen modulaarista jakotapaa hahmotellaan alla olevassa kuvassa.



Kuva 30. Kouruhihnakuljettimen rajapintojen hahmotelma.

8.2.4 Tavoitteen asettelu asiakasympäristöön perustuen

Asiakasympäristön tutkiminen on tärkeää, kun yritys haluaa muuttaa toimintatapojansa projektitoimituksista toimituskohtaisilla ratkaisuilla kohti konfiguroitavaa tuotetoimitusta ennalta määrätyillä ratkaisuilla. Konfigurointisääntöjen määrittelyyn tarvitaan virallisia asiakasvaatimuksia, jotka selittävät millainen tuote asiakkaalle toimitetaan kussakin tapauksessa (Pakkanen, 2015, s. 194). Kaikkia vaatimuksia ei välttämättä voida kuvata muodollisesti, jolloin ne voidaan jättää systemaattisen konfiguroinnin ulkopuolelle, jolloin kyseessä on osittain konfiguroitava tuote. Vaiheen tavoitteena on määrittää pätevät asiakasvaatimukset modulaarisen tuoteperheen suunnittelua varten.

Kouruhihnakuljettimiin vaikuttaa muun muassa seuraavanlaisia asiakasvaatimuksia:

- Kuljettimen nousukulma
- Nousukohdan sijainti
- Kuljettimelta vaadittava pituus
- Hihnaleveys
- Kapasiteettivaatimus

- Kuljettimen nopeus
- Millaiset ovat kuljetettavan materiaalin ominaisuudet?
- Millaiseen ympäristöön laite tulee?
- Kuljetinsillan tarve
- Erikoisvaatimukset

Asiakastarpeet ja tuotteiden jakotavat pitävät sisällään tekijöitä, jotka vaikuttavat modulaariseen kuljetinjärjestelmään, mutta vain osa niistä tulisi vaikuttamaan vetopäässä. Kuljettimen nousukulma ja nousukohdan sijainti ovat oleellisia tietoja kuljettimen reitityksen ja taittokohdan suunnittelussa sekä käyttövoiman ja hihnatyyppin laskennassa ja valinnassa. Nousukulma vaikuttaa hieman kuljetuskykyyn, moottoritehoon ja kiristysjärjestelmään. Kuljettimen pituus vaikuttaa valittavien kuljetinlohkojen määrään ja hihnan koovuusluokkaan sekä hihnan kiristystapaan. Hihnaleveys vaikuttaa kaikkiin kuljettimien osioiden leveyteen, kapasiteettiin jne. Vaikka laskennallisesti voitaisiin käyttää tietyn levyistä hihnaa, voi asiakas vaatia eri levyistä kuljetinta, jos esimerkiksi heidän laitoksellaan ei ole riittävästi tilaa leveämmälle kuljettimelle. Kapasiteettivaatimus, kuljettimen nopeus sekä kuljetettavan materiaalin ominaisuudet ovat eniten kuljettimen rakenteeseen vaikuttavia tekijöitä. Kapasiteettivaatimus perustuu laitostoimituksissa koko prosessilinjan kapasiteettiin, ja prosessilinjan mitoitus pohjautuu asiakkaan vaatimukseen. Yksittäisten kuljetintoimitusten tapauksessa asiakas antaa laitteelle kapasiteettivaatimuksen. Materiaalin tyyppi, partikkelikoko, tiheys, kosteus ja yleinen olemus vaikuttavat kuljettimen mitoitukseen paljon. Materiaalien ominaisuuksissa voi olla hyvin paljon vaihtelua, mitä pitää tarkastella aina tapauskohtaisesti. Kuljettimen nopeutta voidaan joutua rajoittamaan, jos materiaali pölyää paljon, tai jos asiakkaan tilat tai laitteet asettavat muunlaisen rajoitteen. Materiaalin yleisellä olemuksella tarkoitetaan tässä materiaalin käyttäytymistä kuten pölyämistä, valumista yms. Materiaalin ominaisuudet voivat vaikuttaa hihnatyyppin valintaan, jos tarvitaan esimerkiksi happamia tai öljyisiä materiaaleja kestävä hihna.

Asiakkaan ympäristö vaikuttaa paljon kuljettimen suunnitteluun. Jos kyseessä on täysin uusi laitos tai rakennus, johon kuljetin tai koko prosessilinja suunnitellaan, ympäristö voidaan suunnitella kaikille laitteille sopivaksi ja tuennat sekä perustukset voidaan suunnitella vakioituneilla ratkaisuilla. Kun kyseessä on jo olemassa oleva ympäristö, se voi aiheuttaa haasteita tai ainakin poikkeavia ratkaisuja muun muassa kuljettimen reitityksen ja tuennan suunnitteluun. Olemassa olevat rakennukset, laitteet, putkistot yms. vaikuttavat muun muassa kuljettimen ja kuljetinsillan jalkojen paikkoihin, kuljettimen nousukulmaan sekä sen sijaintiin ja taittopään vastapainokelkan sijaintiin. Asiakkaan erikoisvaa-

timuksia voi olla tietyn vaihdelaatikko-, komponentti- tai sähkömoottoritoimittajan tuotteiden käyttäminen, mikä vaikeuttaa moduulijärjestelmän luomista — yleensä kuitenkin puhutaan vain muutaman suuren laitevalmistajan tuotteista, joiden väliltä valitaan, ja joita kuljettimissa on jo käytetty aiemmin. Moni asiakasvaatimuksista vaikuttaa yhdessä kuljettimen rakenteeseen, joten vaatimusten pohjalta tehdään laskentaa ja suunnitteluvalintoja, minkä myötä määritetään sopivat kuljetinratkaisut kussakin tapauksessa. Esimerkiksi kapasiteettivaatimus, hihnan leveys, hihnan nopeus ja materiaalin ominaisuudet vaikuttavat kaikki toisiinsa, joten niiden avulla valitaan muun muassa hihnaleveys ja kuljettimeen soveltuvat vaihdelaatikat ja moottoritehot.

8.2.5 Alustava tuoteperheen kuvaus

Tavoitteena on jatkaa tuoteperheen perustelujen määrittelyä ja analysoida, millaisia mahdollisuuksia on olemassa geneeristen elementtien osien ja kokoonpanojen standardointiin. Tämä vaihe korostaa pohdintoja mahdollisuuksista lisätä yhteneväisyyttä olemassa oleviin tuotteisiin ja pohdintoja siitä, kuinka monta varianttia tarvitaan täyttämään kaikki asiakkaiden tarpeet, jotka aiheuttavat vaihtelua (Pakkanen, 2015, s. 199). Seuraavaksi käydään lyhyesti vaihtoehtoja kuljettimen modulaarisiin jakotapoihin ja avataan tarkemmin vetopään modulaariseen jakotapaan vaikuttavia asioita.

Hihna toimii omana moduulikomponenttina, ja siitä olisi valittavissa yleisimmin käytettyjä tyyppisiä sekä vakio leveydet, joita on tunnistettu olevan kuusi kappaletta. Hihnan kokonaispituus määräytyy kuljettimen pituuden mukaan.

Taittopään ratkaisut ovat jo nykyisissä rakenteissa melko hyvällä mallilla ja vakioituneet. Suunnitteluarvojen perusteella voitaisiin valita hihnan kiristykseen käytettävä moduulikonaisuus, joka kiinnittyy vakiorajapinnalla lastauskohdan moduulien runkoihin. Yli 250 metrisissä kuljettimissa kiristysjärjestelmän tarkastelu pitäisi edelleen tehdä tapauskohtaisesti ETO-suunnitteluna. Ruuvikiristyksellä toimiva lyhyehkön kuljettimen taittopää kiinnittyisi suoraan lastauskohdan runkoon, ja moduulin sisässä muuttuvia asioita olisi tällöin vain taittorummun halkaisija. Pidemmät kuljettimet, jotka vaativat vastapainon, käyttäisivät taittopään moduuleita, josta löytyy tilavaraus vastapainon kaapelin kiinnitykseen ja vaijeripyörille, ja nämä edelleen kiinnittyisivät samaan lastauskohdan rungon rajapintaan kuin ruuvikiristeinenkin ratkaisu. Vastapaino, vaijeri ja vaijeripyörät olisivat omana moduulinaan taittopäässä, mistä olisi valittavissa eri painoisia vastapainokokonaisuuksia. Toinen vaihtoehto on, että vastapainopakan rakenne olisi suunniteltu niin, että painoa voidaan lisätä kasaamalla valmiita painoja kokonaisuuteen. Vaihtoehtoisesti vastapaino, vaijerit ja vaijeripyörät voisivat olla ETO-suunniteltavia, jotta ne olisivat aina

kuhunkin tapaukseen parhaiten soveltuvia, koska niiden sijoitteluun voi vaikuttaa poikkeavat asiakkaan tilat. Vetopään suojaverkkoratkaisu olisi aiempien toimitusten perusteella vakiona lattiaan kiinnitettävä suojaverkkomalli, joka kiertää vetopään ympäri — eli verkkoaidat lattiassa, ja päätysuojien leveys muuttuu kuljettimen hihnaleveyden muuttuessa. Vaihtoehtoisesti verkot voisivat kiinnittyä vetopään runkoon esimerkiksi vakio rajapintoihin tai U-pulteilla runkoputkiin, jolloin turhat reiät runkoputkissa voitaisiin minimoida.

Lastauskohdan rakenne voisi perustua moduulijakoon, jossa valittavana olisi vakioimitaiset kuljetinkokonaisuudet yhdelle tai kahdelle lastauskohdalle eri hihnaleveyksille ja kahdella eri laidan korkeudella (normaali tai korotettu). Lastauskohdan aukon mitat ja aukkojen etäisyydet voidaan vakioida, koska syöttökohtiin liitytään suppiloilla. Vaihtoehtoisesti runko, mukaan lukien rullat, voisivat olla omana moduulina, lastauslaidat omaan ja suojaverkot omaan. Tai suojaverkot voisivat olla osana kuljetinrunгон moduuleja. Lastauskohdan rungot olisivat muiden kuljetinrunگوں kanssa yhteensopivia vakioitujen rajapintojen avulla, jolloin lastauskohta ja erilaiset kuljetinrungot olisi mahdollista liittää toisiinsa — lastauskohtaan kiinnittyvä kokonaisuus olisi joko perusrunkoinen X-mittainen kuljetinlohko, kuljettimen taittokohta tai jopa seuraava lastauskohta. Yksi vaihtoehto olisi, että lastauskohtien väliseen etäisyyteen voitaisiin vaikuttaa lisäämällä kahden lastauskohdan väliin välirunko vaikuttamatta varsinaisiin lastauskohdan lohkojen mittoihin. Näin saataisiin joustavuutta lastauskohtien sijoitteluun. Tässä muuttujina olisi edelleen eri hihnaleveydet ja kahdet eri laitakorkeudet. Eli moduuleina olisi päätymallinen kuljetinlohko, mikä sisältää rungon, rullat sekä lastauslaidan, jossa toinen pää on umpinainen. Toinen moduuli olisi välirunko, jossa olisi lastauslaatikossa avonaiset päättyt ja, johon liittyisi taas samanlainen päätymallinen moduuli. Suojaverkot on myös mahdollista sisällyttää lastauskohdan runگوں moduuleihin. Lastauskohdan rungot on eritelty erilleen muista kuljettimen perusrungoista, koska lastauskohdassa käytetään tiheämmin rullia siinä kohdassa, johon materiaali pudotetaan.

Taittokohtan rakenteeseen sisältyisi joko avoin tai umpinainen rakenne. Avoin rakenne sisältäisi pelkän kuljetinrunгон ja rullat. Runko olisi kaareva halutun nousukulman mukaan ja saatavilla olisi eri mittaisia vaihtoehtoja. Umpinaiseen rakenteeseen sisältyisi lisäksi suojakotelorakenne. Jalkojen sijainti ja nousukulman jyrkkyys aiheuttavat haasteita modularisoinnin kannalta, koska muuttujia on useita erilaisia astekulman ja nousukohdan pituuden muuttuessa. Taittokohtan suunnittelu onnistuisi ehkä helpommin parametripohjaisena suunnitteluna, jossa taittokohtan rakenne olisi esisuunniteltuna, ja mittoja muuttamalla saataisiin luotua halutunlainen kokonaisuus. Taittokohtan rakenne täytyisi

joka tapauksessa suunnitella niin, että se voisi yhdistyä muihin kuljetinlohkojen rajapintoihin, tai se voi liittyä kuljetinsillan rakenteisiin, kun kyseessä on avosilta.

Sähkökomponentit ovat omana elementtinään, ja niille olisi varattu paikat niihin moduuleihin, joihin ne kiinnittyvät. Pyörintävahdille paikka taittopään rummulle. Häätäseisvaihjerille kiinnityspisteet kuljetinrunkoihin tai häätäseis-vaijerijärjestelmän telineet sellaisiksi, että ne voidaan kiinnittää kuljettimen runkoon pannoilla tms., jolloin ”turhia” kiinnityskohtia ei tarvitse tehdä kuljettimen runkoon. Myös muille sähkökomponenteille kuten sivusiirtovahdeille on tehtävä tilavaraus. Vaihtoehtoisesti sähkökomponentit voitaisiin sisällyttää osaksi kuljettimen moduuleita, mutta silloin voidaan menettää joustavuus muokata anturityyppejä vaikuttamatta moduulien rakenteisiin. Kun sähkökomponenteille varattaisiin riittävät tilavaraukset ja päätettäisiin vakio kiinnitystavat, silloin anturityypin muuttuessa pitäisi vaihtaa anturi ja enintään anturien teline. Anturityypit ovat hyvin vakioituneet, mutta esimerkiksi eri maiden standardit ja lainsäädäntö voivat vaikuttaa anturityypin valintaan.

Kuljetinsilta on niin monimutkainen kokonaisuus, että tämän työn aikana ei ole resursseja miettiä kuljetinsillan modularisointia kovin tarkasti. Kuljetinsillan rakenteiden suunnittelu vaatii avukseen kuormituslaskentaa, jossa tarkastellaan muun muassa sillan oma paino, kuljettim(i)en paino, materiaali(e)n määrän kuormitus hihnalla, vesi- ja paineilmaputket, sähkökaapelit, hoitotasot, tuulikuormat, lämpötilakuormitukset ja lumikuormat. Vaihtoehtoina on avosilta, ja yhden tai kahden kuljettimen umpisilta eristyksillä tai pellietyksellä. Avosilta on yksinkertaisin, koska se sisältää vain kuljetinrunгон päälle tulevat kaarikatteet ja sivupellityksen kuljettimen sivuille sekä hoitotasot. Hoitotasojen kannatukset avosilloissa tehdään usein kuljettimen tai kuljetinsillan tukijaloista. Siltarakenteet ja muut niihin liittyvät ratkaisut ovat vakioituneet melko hyvin, ja avosillan rakenteet olisivat ehkä modularisoitavissakin, mutta umpisiltaa on kokonaisuutena vaikeampaa modularisoida. Ehkä jakamalla siltarakenteet pienempiin osiin, olisi mahdollista löytää vakioituja ja modularisoitavia kokonaisuuksia, mutta tähän työhön varatut resurssit rajoittavat tarkastelua. Siltarakenteet kuljetetaan usein pitkinä useiden kymmenien metrien mittaisina lohkoina, joten olisi tarkkaan mietittävä, miten kuljetinsillan moduulijako olisi järkevintä toteuttaa. Ainakin siltaristikoiden suunnittelussa apuna voitaisiin käyttää esimerkiksi parametripohjaista suunnittelua.

Kuljetinsiltojen tukijalat ovat perus suunnitteluratkaisuiltaan vakioituneet, eli rakenteet ja kiinnitystavat ovat melko samanlaisia eri toimitusten välillä, mutta jalkojen mitat ja paikoitus vaihtelevat asiakasympäristön vuoksi. Jalkojen mitoituksessa pitää huomioida muun muassa kuljetinsiltojen kuormitukset ja muut kuormitustekijät, mikä vaikuttaa jal-

kojen rakenteiden kokoon, mikä taas voi vaikeuttaa vakioitujen moduulien luomista. Jalokojen suunnittelun apuna voitaisiin mahdollisesti käyttää esisuunniteltuja parametripohjaisia malleja.

Kuljettimen rungon osuuksista voitaisiin tehdä joukko ennalta määritellyn mittaisia kuljetinmoduuleita niin, että yhdistelemällä eri mittaisia moduuleita, olisi mahdollista koota mahdollisimman kattava joukko kuljetinkokonaisuuksia. Vaihtoehtoina olisi kuljetinrunko jaloilla tai kattokannatuksella, jota käytetään kuljetinsilloissa joissakin tapauksissa. Myös kaarevat rungot, joita voidaan tarvita, olisivat omina moduuleinaan. Kuljetinmoduulit voisivat olla joko pelkkiä runkoja, joihin liitetään ”lisäjärjestelmät” tai ne voisivat sisältää rullapukit, alarullat ja jopa suojaverkot, ja niissä olisi tilavaraukset muille lisäjärjestelmille kuten hätäseis-vaijereille ja kaarikatteille sekä pellitykselle avosillan tapauksessa. Suojaverkkoja ei käytetä kaikilla kuljettimen osuuksilla, joten ne pitäisi eritellä omaksi valittavaksi moduuliksi. Kuljetinlohkoilla olisi vakioidut rajapinnat sekä tilavaraukset, mihin kaikki tarvittavat kokonaisuudet liitettäisiin. Rullapukkien ja muiden rullien eriyttäminen kuljettimen rungosta mahdollistaisi erilaisten rullavaihtoehtojen valitsemisen runkorakenteisiin, jolloin jokaiselle erilaiselle rullapukille ei tarvitse tehdä omia kuljetinmoduuleita. Mallistosta löytyy ainakin yleisimmin käytetty 45° rullapukki sekä säädettäviä rullapukkeja ja erikoismallisia 45° rullapukkeja. Olisi tarkasteltava, kuinka usein erikoisvaihtoehtoja käytetään, ja olisiko sellaisten moduulien tekeminen kannattavaa. Kuljetinrunkojen jalkojen paikkojen lukitseminen valmiilla kuljetinmoduuleilla voi olla haasteellista asiakkaiden vaihtelevien ympäristöjen vuoksi, jos esimerkiksi heidän tiloissaan ei ole mahdollista käyttää tiettyä jalkojen välistä jakoa, jota moduulit pyrkisivät käyttämään. Kun kyseessä on uusi rakennus ja ympäristö tällaista ongelmaa ei synny, kun tuentapisteet voidaan suunnitella kuljetinjärjestelmän moduuleiden mukaan. Jos tämä koetaan ongelmaksi, on kuljettimen tukijalat eroteltava omaksi moduuliksi, ja mahdollisesti muutettava jalkojen kiinnitystapa hitsatuista esimerkiksi pantakiinnitteiseksi tms., joka mahdollistaisi tukijalkojen pituussuuntaisen siirtelyn. Kuljettimen jalkojen ja samalla koko kuljettimen korkeuden säätö, olisi mahdollista toteuttaa korkeussäädettävillä jaloilla ennalta määriteltujen rajojen puitteissa. Vaihtoehtoisesti kuljettimen rungoissa voisi olla lyhyet jalat, joissa olisi valmiit kiinnityspinnat ”ylimääräisille” lisäjaloille, jotka pultattaisiin kuljetinrunkoihin, jolloin korkeuden muutosvaikutukset eivät vaikuttaisi kuljettimen rungon moduuleihin. Kuljetinrunkojen jalkojen pituudet voivat olla vakioitavissa, kun niihin suunnitellaan hieman säätövaraa, jolloin jalat voitaisiin sisällyttää osaksi kuljetinrunkojen moduuleita. Kuljettimen nousukulma vaikuttaa kuljetinlohkojen jalkoihin, koska jalat suunnitellaan vertikaaliksi nousukulma kompensoiden — eli jalkojen kiinnitys tulee vinoon kuljettimen nousevaan runkoon suhteutettuna. Nivelletyt vaihtoehdot eivät välttämättä ole hyviä

vaihtoehtoja, koska kuljettimen rungosta voisi tulla liian joustava, jos kaikki kantavat jalat ovat säädettäviä. Ne pitäisi pystyä lukitsemaan tukevasti tiettyyn asentoon nousukulman mukaan. Helpompi vaihtoehto lienee esi-suunnitella suorat pituussäädettävät jalat, jotka kiinnitetään pannoilla tai laipoilla kuljetinrunkoihin, ja suunnitella tapauskohtaisesti vinot tukijalat, koska nousukulman variaatioita on paljon.

Tarkoituksena on seuraavaksi syventyä vetopäähän, koska hahmoteltujen moduulijärjestelmien jakotapojen vuoksi ei ole väliä kummalla tavalla moduulijako toteutettaisiin — lohkoperusteisena tai kuljetinrunkoina ja lisäjärjestelminä — sillä veto- ja taittopään rakenne pysyisi edelleen tämän työn aikana hahmoteltujen moduulijärjestelmien kaltaisena.

Vetopään kotelorakenteen pituus vakioidaan tiettyyn mittaan, ja tarvittaessa koko rakenteen pituutta voidaan kasvattaa lisäämällä laippaan välikaulus, joka tehdään ETO-suunnitteluna. Vetopäästä tunnistettiin seuraavanlaisia geneerisiä moduuleja:

- Sähkömoottori
- Vaihdelaatikko ja momenttituki
- Vetorumpu
- Käyttöakseli ja laakerointi
- Akselin tiivistys
- Kotelorakenne, alapuolisko + esikaavari
- Kotelorakenne, yläosa 1
- Kotelorakenne, yläosa 2
- Kotelorakenne, säätöpelti
- Säätöpelti vaihtoehdon peitelevy
- Kaavari, U (harvinainen)
- Välikaulus

Sähkömoottoreiden tehoille ja niiden myötä vaihdelaatikoiden tyypeille olisi kannattavaa suunnitella tietyt kokoluokat, joita käytettäisiin moduulijärjestelmän mukaisissa valinnoissa. 2000-luvun aikana käytössä on ollut ainakin moottoreita 1.5—75 kW:n kokoluokista. Etenkin pienemmille esimerkiksi alle 30 kW moottoreille olisi olla kannattavaa tehdä kokoluokkatarkastelua, jotta variaatioiden määrää saataisiin pudotettua, mikä helpottaisi modulaarisuusajattelua ja myöhemmin konfigurointia. Kokoluokkia käsiteltiin tarkemmin kappaleessa 4.2. Vaihdevalmistaja ja -tyypit ovat melko hyvin rajautuneet muuttaman vaihdevalmistajan valikoimiin. Vaihdelaatikoiden kokoluokan valintaan vaikuttaa tarvittava moottoriteho ja muut mitoitusarvot, mutta käyttövoiman kokoluokka-tarkastelulla voitaisiin vähentää valittavissa olevien variaatioiden määrää. Tämä taas vähentäisi momenttitukien sekä vetorummun akselien variaatioiden määrää, mikä edelleen helpottaisi vetopään modularisoimista. Kokoluokat olisi valittava niin, että täytettäisiin riittävän kattavasti eri mitaisten ja levyisten kuljettimen vaihtoehdot kuitenkin ali- tai ylimitoittamatta kuljettimien käyttökoneistoja.

Vetorummun halkaisijat ja vaihtoehtoiset pintamateriaalit luovat melko suuren joukon erilaisia variaatioita. Rummun vetoakseli toteutetaan yhtenä akselina, joka lukitaan rumpuun kiinnityselementeillä. Kiinnityspinnan halkaisija, eli kiinnityselementin koko, muuttuu vetorummun halkaisijan muuttuessa, mikä luo lisää variaatiota vetorummun suunnitteluun. Vakioimalla kiinnityspinnan koko, olisi mahdollista vähentää vetorummun sekä akselivariaatioiden määrää. Eri kokoiset rummut sopisivat tällöin samoille akseleille samoilla kiinnityselementeillä, mikä olisi vaihdeltavuuden ja komponenttien vakioinnin kannalta hyvä asia, mutta toisaalta syntyisi riski, että liian iso rumpu sopisi liian pieneksi mitoitettuun akseliin — myös muita teknisiä asioita voi olla tämän asian taustalla. Asian tarkastelu vaatisi laskentaa ja pohdintaa, olisiko oikeasti tarpeellista vakioida tätä rajapintaa, koska se tarkoittaisi, että akseliahiot pitäisi mitoittaa suurimman akselikoon mukaan, joka lisäisi hieman raaka-ainekustannuksia. Rummun suunnittelu voidaan toteuttaa parametrisuunnittelumallien tai osakonfiguroinnin tms. avulla, joissa olisi mahdollista valita rummun pintamateriaali, leveys sekä muuttaa halkaisijaa yhdessä kiinnityspinnan halkaisijan kanssa, sen mukaan, miten osat on nykyäänkin suunniteltu. Nykyisellään akselit, laakeroinnit ja vetorummut toteutetaan parametrusten 2D-piirustuksien avulla, joista valitaan aina kuljettimessa käytettävä suoritustapa. Yrityksen tavoitteena olisi siirtyä yhä enemmän 3D-suunnitteluun kuljetinten osalta. Vetorummun, akselin ja laakeroinnin konfiguroiminen tai suunnittelun automatisoinnin tarkastelu oli tämän tutkimuksen ensimmäinen tavoite, jota muokattiin ja siitä johdettiin tutkimuksen lopulliset tavoitteet.

Laakeroinnin koko ja sijainti muuttuu akselin koon sekä hihnaleveyden muuttuessa, mutta komponenttivalinta on tyypiltään vakio. Eri kokoisille laakeripukeille pitäisi luoda

tilavaraus ja kiinnityspaikka kotelorakenteeseen, jotta valmiita kotelon alapuoliskon moduuleita voidaan käyttää.

Kotelorakenteen alapuoliskon valintaan vaikuttaisi ainoastaan hihnaleveys, kun laakereille ja momenttituelle olisi tehty oikeanlaiset tilavaraukset. Kotelorakenteeseen voidaan luoda tilavaraus säätöpellille, joka on valinnainen lisäkomponentti kotelon sisällä materiaalivirran tiputuskohdan ohjaamiseen. Jos säätöpeltiä ei jostain syystä valita, kotelora- kenteessa olevat kiinnityskohdat voidaan peittää esimerkiksi peitelevyllä, joka mainitaan vetopään moduuleissa. Alapuoliskon kotelorakenne sisältää esikaavarin sekä T-mallin kaavarin, joille on vakioitavissa kiinnitysrapiinat. Kotelon leveyden muuttuessa kaavareiden leveys muuttuu muun kotelorakenteen mukana. Kaavareiden sijoittelussa on huomioitava vetorummun halkaisijan eri vaihtoehdot, mikä on jo nykyisissä malleissa otettu huomioon kaavarin rakenteessa.

Kotelon yläosan ensimmäiseen puoliskoon eli vihreään osuuteen (kuva 31) ei vaikuta muut tekijät kuin kuljetinhihnan leveys. Akselin läpivienti on mitoitettava kotelorakenteeseen niin, että kaikki akselikoot mahtuvat samasta reiästä, koska aukko voitaisiin peittää esimerkiksi akselin tiivistykseen tarkoitetuilla peitelevyillä, jotka ruuvataan valmiisiin kiinnitysreikiin yläosien kotelorakenteissa. Toiseen yläosan kotelon puolikkaaseen vaikuttaa hihnan leveys sekä tarkistusluukkujen sijainti. Luukut voivat olla yhdellä, kummallakin sivulla ja/tai päädissä. Kotelorakenteen yläpuoli on jaettu kahteen lohkoksi akselin kohdalta, jotta vetorummun huollettavuus, vaihdettavuus sekä hihnan huolto onnistuisi ilman, että koko vetopään suojakotelo täytyisi irrottaa muusta kuljetinrakenteesta.

8.2.6 Konfigurointitieto: geneeriset elementit ja asiakastarpeet

Vaihe 6 keskittyy alustavan konfigurointitiedon määrittämiseen. Tarkoituksena on selkeyttää geneeristen elementtien ja asiakkaan tarpeiden välisiä suhteita, mitkä luovat vaihtelun tarpeen. Toisin sanoen, mitkä asiakkaan tarpeet tulee ottaa huomioon kussakin elementissä, kun määritellään geneeristen elementtien ratkaisuperiaatteet ja tuotteen strukturointistrategiat. Tavoitteena on tuottaa konfigurointitietoa korkeammalla tasolla, mitä syvennetään muissa BfP:n vaiheissa (Pakkanen, 2015, ss. 199–201). Vaiheen tuloksena saadaan käsitys siitä, mikä geneerinen elementti on yhteensopiva kunkin asiakastarpeen kanssa. Geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden väliset suhteet havainnollistettiin GEMS-työkalussa.

8.2.7 Modulaarinen arkkitehtuuri: moduulit ja rajapinnat

Modulaarinen arkkitehtuuri on tärkeä elementti modularisoinnissa, koska se mahdollistaa konfiguroinnin ja sen tuomat merkittävät hyödyt. Vaiheessa 7 keskitytään moduulien

ja rajapintojen tarkempaan määrittelyyn. Modularisoinnin perusteet on kerätty liiketoimintaympäristöstä ja asiakasympäristöstä aiemmissa BfP:n vaiheissa. Olemassa olevien tuotteiden rakenteita on tutkittu ja tuoteperheen alustavia pohdintoja on tehty (Pakkanen, 2015, s. 203).

Tuoteperheen tarkempaan määrittelyyn on tiedettävä, millaisia vaatimuksia ja rajoituksia tuoteperherakenteelle on olemassa, millaisia mahdollisuuksia on osien standardisointiin, millainen arkkitehtuuri tuoteperheellä voisi olla geneerisellä tasolla ja millä geneerisillä elementeillä olisi rajapintoja keskenään. Tavoitteena on selvittää geneeristen elementtien luonne tarkemmin eli, ovatko ne vakioita, konfiguroituvia, osittain konfiguroituvia vai täysin uniikkeja. Vakioelementit ovat samoja jokaisessa variantissa. Konfiguroitavat elementit sisältävät standardoituja varianttivaihtoehtoja. Uniikit elementit ovat kompromisseja, jos vakio- tai konfiguroitavia elementtejä ei voida määritellä jollekin tuoteperheen alueelle. Oli kyseessä sitten täysin konfiguroituva tuote tai ei, uudelleenkäytön näkökulmasta tavoitteena on luonnollisesti välttää toimituskohtaisia elementtejä, koska ne käytäytyvät eri tavalla myynti-toimitusprosessissa, sillä ne on suunniteltava erikseen jokaisessa tuotteen toimitustapauksessa (Pakkanen, 2015, s. 203).

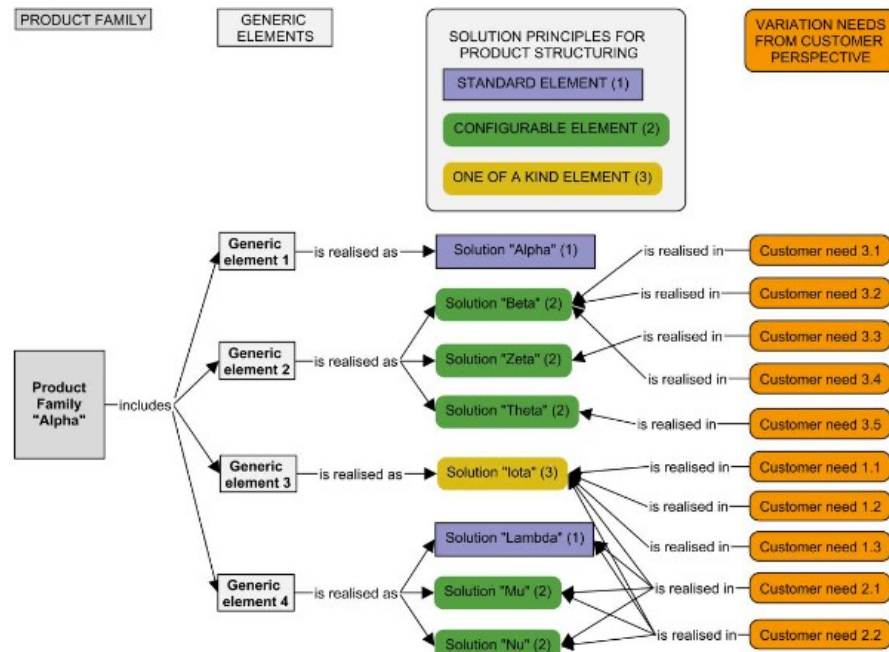
8.2.8 Konfigurointitieto: moduulivariantit ja asiakastarpeet

Vaiheessa 6 käsiteltiin konfigurointitietoa geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden kannalta, ja vaiheessa 8 käsitellään konfigurointitietoa perustuen oikeisiin geneeristen elementtien ratkaisuihin, jotka määritettiin aiemmassa vaiheessa 7. Tässä vaiheessa syntyviä tietoja voidaan hyödyntää varsinaista konfiguraatiojärjestelmää rakennettaessa, ja ne auttavat myös tuoteperheen säännösten dokumentoinnissa. Esitys, joka tehdään tässä vaiheessa, antaa yleiskuvan suunnitellusta tuoteperheestä ja voi olla hyödyllinen arvioitaessa sen liiketoimintavaikutuksia (Pakkanen, 2015, ss. 207–208). Syyt, miksi johonkin variantin valintaan ja asiakastarpeen suhteeseen on päädytty tässä vaiheessa, olisi tärkeää tallentaa, jotta säännösten luomisen perusteet eivät jää hiljaiseksi tiedoksi. Modulaarisen järjestelmän konfigurointitiedon tallentaminen on erittäin tärkeää, jotta tulevaisuudessa tehtävä kehitystyö olisi helpompaa, kun tiedetään, miksi kyseisiin valintoihin on päädytty.

8.2.9 Tuoteperheen dokumentointi

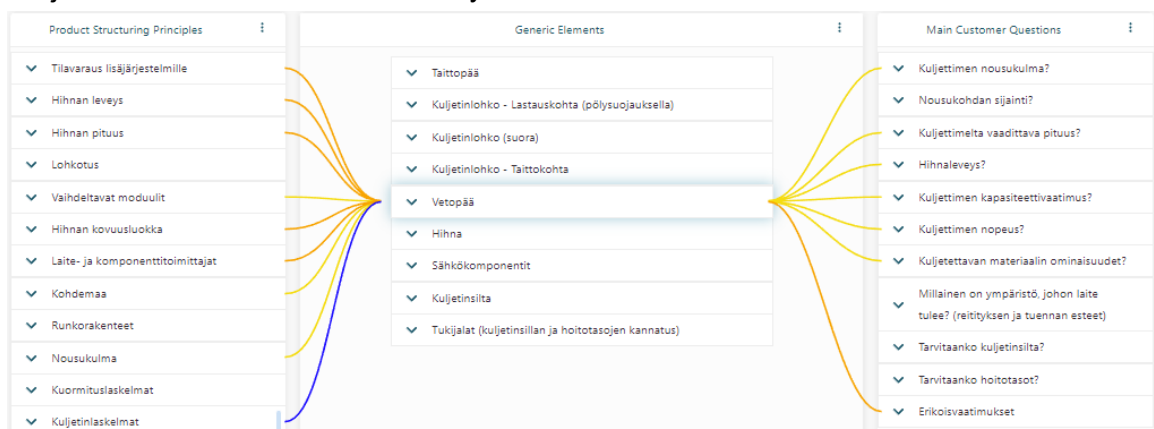
Aiempien vaiheiden avulla on saatu luotua moduulijärjestelmän jakotapa tuoteperheelle. Aiemmissa BfP:n vaiheissa dokumentoitiin modulaarisen tuoteperheen kehittämiseen liittyviä asioita, mutta BfP:n yhdeksännessä vaiheessa keskitytään kuvailemaan tuoteperheen sisältöä ja selittämään, mitä asiakkaan tarpeita kukin elementti ja ratkaisu vastaavat (Pakkanen, 2015). Dokumentoinnin apukeinoksi esitetään Product Structuring

Blue Print (PSBP) keinoa, missä on tarkoituksena esittää tuoteperheen jakotavat ja suunnittelun perusteet.



Kuva 32. Esimerkki PSPB dokumentointitavasta. (Pakkanen, 2015, s. 212)

Samankaltainen ajatus dokumentointitavasta on sisällytetty GEMS-työkaluun, jota tässä työssä käytetään hahmottelemaan hihnakuuljettimen jakotapaa. Tuoteperheen jakotavan ja sen perusteiden dokumentointi tukee suunnittelutyötä, etenkin muutosten ja kehitystarpeen tullessa, ja lisää suunnittelun uudelleenkäyttöä, koska se tekee tuoteperheen säännösten sisällön näkyväksi (Pakkanen, 2015). GEMS-työkalulla hahmoteltiin kuljettimen jakoperusteet, asiakasvaatimukset ja geneeriset elementit. Seuraavassa kuvassa (kuva 33) nähdään työkalun perusnäkyvä, johon tietoja moduulijakoon, rajapintoihin ja kuljettimen teknisiin ratkaisuihin liittyvistä asioista kerätään.

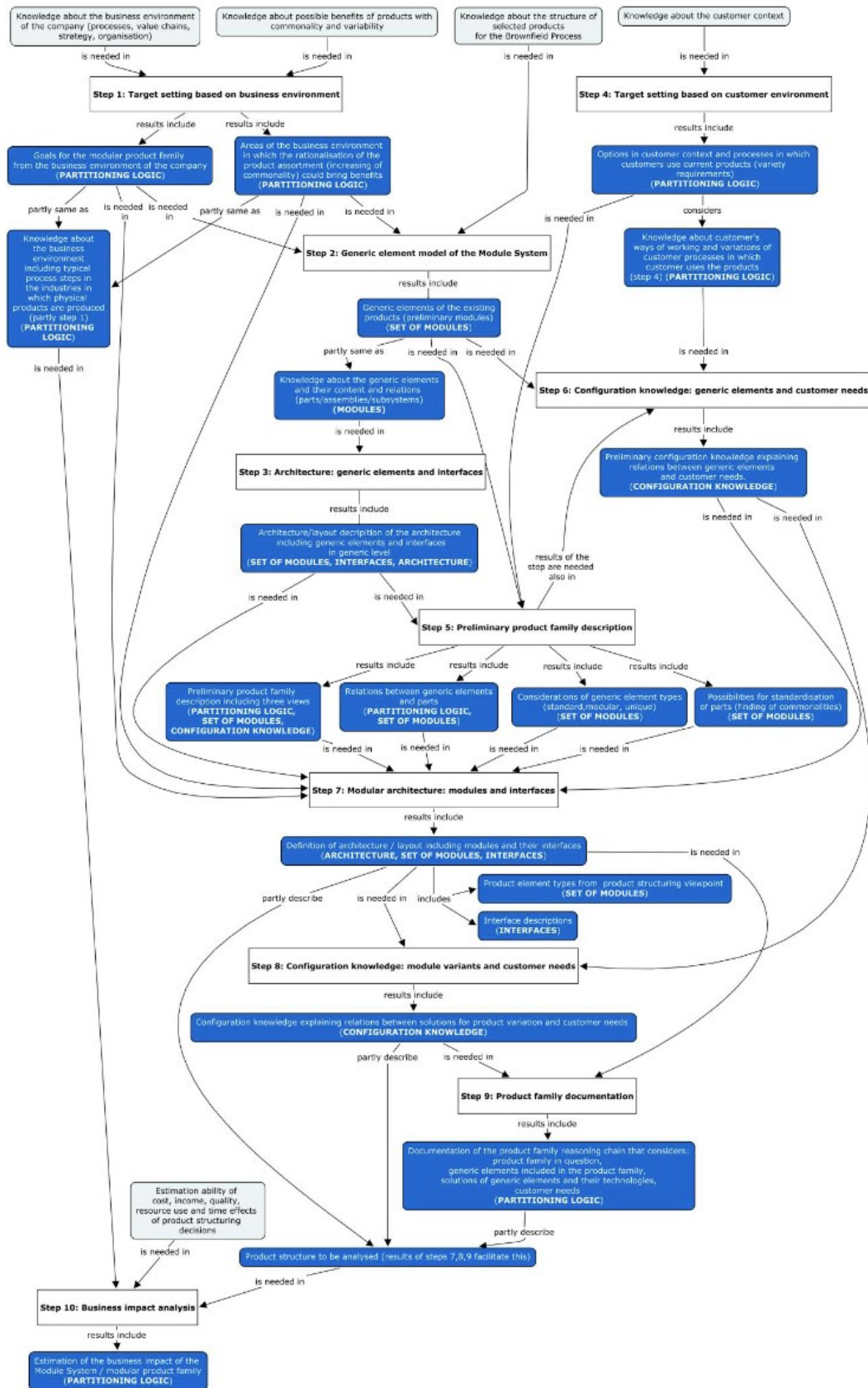


Kuva 33. GEMS-työkaluun hahmoteltu kouruhihnakuuljettimen moduulijärjestelmän jakotapa sekä vetopäähän vaikuttavat jakoperiaatteet ja asiakaskysymykset.

8.2.10 Liiketoimintavaikutusten arviointi

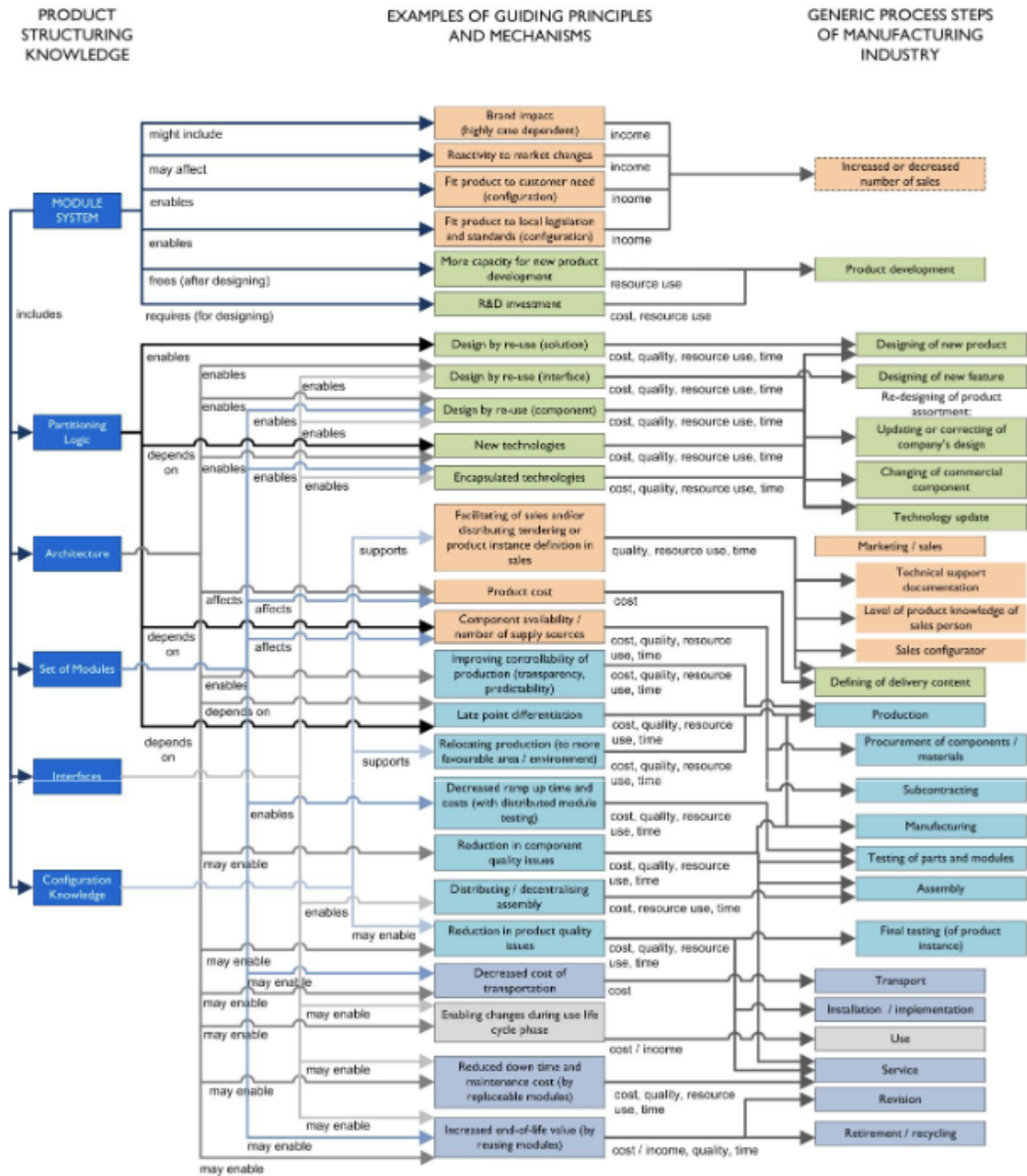
BfP:n kymmenennen vaiheen tarkoituksena on selvittää moduulijärjestelmän jakotapojen aiheuttamia hyötyjä ja selvittää niiden avulla moduulijärjestelmän kilpailukykyisyyttä. Ohjaavat periaatteet ja mekanismit käydään läpi ja arvioidaan niiden mahdollisia kustannuksia, tulovirtoja, laatua, resurssien käyttöä ja aikavaikutuksia rahalliseksi muutettuna suhteessa prosessin elinkaaren vaiheisiin. Muunneltavuuden luominen samankaltaisuudella tuotteissa nähdään keinona lisätä yrityksen kilpailukykyä, jos yritys pyrkii toimittamaan tuotteita erilaisiin asiakastarpeisiin. Tuotekehityksen tulosten analysointi on tärkeää, jotta voidaan ymmärtää, kuinka hyvin suunnitellun ratkaisun tavoitteet saavutetaan, ja voiko uusi tuoteperhe-ehdotus olla kilpailukykyinen vai ei (Juuti, 2008; Pakkanen, 2015).

BfP:n kokonaisuuden selkeyttämiseksi seuraavaksi on esitetty kuva 34, jossa näytetään prosessin vaiheiden yhteenveto. Kuvasta selviää BfP:n askeleet ja niihin linkittyvät suunnittelun informaatiot sekä moduulijärjestelmän pääelementit, joihin kukin tulos liittyy. Yhteenvedosta ei käy ilmi työkaluja tai lähestymistapoja, joita eri BfP:n vaiheissa voidaan käyttää, vaan sen tavoitteena on korostaa tarvittavaa ja tuloksena saatua suunnitteluinformaatiota.



Kuva 34. BfP:n yhteenvedo. (Pakkanen, 2015, s. 230)

Seuraava kuva 35 auttaa moduulijärjestelmän liiketoimintavaikutusten arvioinnissa. Vasen sarake esittää moduulijärjestelmän sekä sen suunnitteluun johtavat jakotavat. Keskimäinen sarake sisältää ohjaavat periaatteet ja mekanismit, joiden kautta ne vaikuttavat liiketoimintaan. Periaatteet kuvaavat mahdollisia tavoitteita, ilmiöitä ja ongelmia, joihin modularisaatio voi vaikuttaa. Oikeanpuoleisin sarake esittää yleiset valmistavateollisuuden prosessivaiheet, joita ovat tuotekehitys, myynti ja markkinointi, tuotanto, logistiikka, asennus tai toteutus, käyttö, huolto, muutokset sekä käytöstä poisto ja kierrätys.



Kuva 35. Moduulijärjestelmän liiketoimintavaikutukset. (Pakkanen, 2015, s. 215)

Liiketoimintavaikutusten analysoinnin tuloksena saadaan arvio onnistuneen modulaarisen tuoteperheen kehitysprojektin vaikutuksista. Arvio edustaa parasta mahdollista hyödyistä, jota moduulijärjestelmällä voidaan saavuttaa, mutta se ei kuitenkaan takaa, että se voidaan saavuttaa täysin. Analyysin lähtökohtana on, että modulaarisen tuoteperheen kehitysprojekti sekä operatiivisten asioiden kehittäminen onnistuvat (Pakkanen, 2015). Mitä pidempi on liiketoimintavaikutusten tarkastelujakson väli, sitä parempi käsitys saadaan elinkaaren eri vaiheiden aiheuttamien vaikutusten arvioinnista. Tämän tutkimuksen tarkastelujakso on hyvin lyhyt, koska syntynyt moduulijärjestelmän jakotapa on karkea hahmotelma, miten moduulijako voitaisiin toteuttaa. Moduulijärjestelmän hyödyt tai haitat eivät vielä pääse realisoitumaan, koska yhtään moduulijärjestelmää hyödyntävää kuljetinta ei tehdä tutkimuksen aikana. Moduulijärjestelmän rahalliset kehityskustannukset eivät myöskään pääse realisoitumaan tämän työn aikana.

Pakkasen (2015) mukaan arviointi on syytä tehdä tuhansissa, kymmenissä tuhansissa ja sadoissa tuhansissa, eli kertaluokissa, koska eri vaikutusten arviointi tarkasti voi olla vaikeaa. Täten suurimmat kymmenet ovat merkitseviä, kun arvioidaan saatuja tuloksia. Suurimpia kymmeniä voidaan tarkastella tarkemmin, jos se katsotaan tarpeelliseksi. Joidenkin periaatteiden ja mekanismien vaikutuksia voi olla mahdotonta arvioida, ja asioiden arvioimatta jättäminen on myös tulos. Jotkin modulaarisuuteen vaikuttavat tekijät eivät välttämättä ole tarpeeksi tunnettuja, jotta analyysi voitaisiin tehdä. Vaikutusten rahallisessa arvioinnissa auttaa Business Champion -työkalu, joka esitellään seuraavassa kappaleessa 8.3.

Moduulijärjestelmän avulla on mahdollista päästä käsiksi konfiguroitavien tuotteiden suunnitteluun, minkä avulla voidaan varmistaa asiakasvaatimukset täyttävien tuotteiden toimittamisen nopeasti. Kun tuotteet saadaan toimitettua nopeasti, se voi kasvattaa myyntimääriä ja reaktiivisuutta markkinoita kohtaan. Toisaalta konfigurointi voi johtaa tapauksiin, jossa tahallisesti tai vahingossa rajoitetaan asiakassegmenttiä tehdyillä tuotemäärittelyillä. Moduulijärjestelmän kehitys vaatii tuotekehityspanostusta, mutta toimiesaan se vapauttaa kapasiteettia projektisuunnittelusta muuhun tekemiseen, kuten tuotekehitykseen.

Moduulien, arkkitehtuurin ja jakotapojen tarkempi määrittely auttaa lisäämään suunnittelutiedon uudelleenkäyttämistä ja helpottaa tuotehallintaa sekä tulevaisuuden tuotekehitystä. Moduulijärjestelmän avulla mahdollistetaan muun muassa komponenttien vaihdeltavuus ja vakioitujen ratkaisuiden hyödyntäminen. Toimitussisällön määrittely helpottuu, kun tuote tai tuoteperhe on selkeästi määritelty, mikä vaikuttaa lopullisiin tuotantokustannuksiin positiivisesti. Myös laatuksustannukset voivat laskea, kun asiakaskohtaisen

räätälöinnin määrä vähentyy, jolloin virheitä suunnittelussa ei synny yhtä paljon — kunnan moduulijärjestelmän rakennukseen käytettävät komponentit ovat kunnossa. Kun samat moduulit käyvät useaan sovellukseen, on niitä mahdollista valmistaa osavalmisteina varastoon, mikä auttaa lyhentämään toimitusaikoja sekä mahdollistaa osakokonaisuuksien suuremman volyymin valmistuksessa, niiden testauksen ja paremman laaduntarkailun. Laitteen arkkitehtuurisilla ratkaisuilla voidaan vaikuttaa toimituskustannuksiin ja logistisiin päätöksiin sekä asennuksen aikaisiin toimintoihin. Vaihdeltavien moduulien avulla mahdollistetaan myös lyhyemmät seisokkiajat rikkoutumistilanteissa, kun esimerkiksi kokonaiset moduulit voidaan korvata vastaavanlaisilla uusilla. Vaihdeltavuuden mahdollistajana ovat rajapinnat, jotka auttavat uusien toimintojen ja laitteiden suunnittelussa sekä vanhojen kokonaisuuksien korvaamisessa. Tuotteen osien päivittäminen helpottuu, kun rajapinnat pysyvät vakioina moduulien välillä. Moduulivalmistus on mahdollista hajauttaa useammalle valmistajalle, kun rajapinnat ovat selkeästi määritetty. Konfigurointitietämys, joka on yksi moduulijärjestelmän kokonaisuus, tukee myöhemmin myyntikonfiguroinnin käyttöönottoa, mikä voi helpottaa myyntivaiheen toimintoja esimerkiksi tarjouskilpailujen tai tuotemäärittelyjen sisällön muodostamista.

8.3 Business Champion

Liiketoimintavaikutuksia arvioidessa modularisoinnin vaikutukset muutetaan rahallisiksi arvoiksi, jotta on mahdollista arvioida niiden vaikutusta kannattavuuteen. Lisäarvon tuoton pohjalta voidaan laskea takaisinmaksuaika kullekin projektille. Takaisinmaksuaikoihin nojaten voidaan esimerkiksi valita, missä järjestyksessä kokoelma konfigurointiprojekteja kannattaisi toteuttaa. Liiketoimintavaikutusten analyysin tulokset perustuvat onnistuneeseen konfigurointiprojektiin, joten se edustaa arviota suurimmasta saavutettavasta hyödystä, jota modulaarisuudella voidaan saavuttaa. Analyysin tulokset eivät ole tae sille, että ne voitaisiin täysin saavuttaa.

Räätälöityjen ja vakioitujen ratkaisuiden välistä todellista kustannuseroa voi olla vaikeaa erottaa toisistaan, kun kustannuslaskenta perustuu projektilaskentaan, missä huomioidaan esimerkiksi toteutuneet suunnittelutunnit, kokoonpanokustannukset, materiaalmäärät, asennuskustannukset yms. Osahinnat saadaan materiaali- ja hankintatietoina, mutta ratkaisutasoista hintaa on vaikeaa selvittää. Laskelmat perustuvat viimeisen kymmenen vuoden ajalta toteutuneisiin suunnittelutuntien määrään nykyisillä kuljetinmallilla. Suunnittelutuntien tarkemman erittelyn apuna käytetään pientä joukkoa toimitettujen kuljettimien todellisista toteutuneista suunnittelutunneista. Moduulijärjestelmän mukaisilla hihnakuljettimilla ennusteet perustuvat täysin arvioihin, minkälaisia säästöt voisi-

vat olla. Kuljettimiin kohdistuvien vaikutusten arvioiminen on haastavaa, koska kuljettimien suunnitteluun liittyy monen muun osakokonaisuuden suunnittelua kuin pelkästään hihnakuljettimen toiminnallisen osien suunnittelua. Tässä arviossa ei huomioida muiden elinkaaren aikaisten toimintojen vaikutuksia, vaan tavoitteena on tarkastella moduulijärjestelmän vaikutuksia suunnittelutoimintojen näkökulmasta. On kuitenkin huomioitava, että moduulijärjestelmän vaikutukset ulottuvat useaan asiaan tuotteen elinkaarella, ja jos moduulijärjestelmän kehitystä jatketaan, olisi syytä tarkastella myös muut vaikutukset tarkemmin, jotta moduulijärjestelmän todellisia hyötyjä voitaisiin mallintaa tarkemmin.

Tilausprosessin automatisoiminen konfiguroitavien tuotteiden avulla (myyntikonfigurointi) saataisiin lyhennettyä melko varmasti muutamia tunteja tilausprosessin käsittelyyn kuluvaa aikaa. Suunnittelussa tapahtuvalla konfiguroinnilla, moduulien uudelleenkäytöllä ja tuotteiden ratkaisuiden vakioinnilla olisi mahdollista lyhentää huomattavasti suunnittelutyöhön kuluvaa aikaa. Valmiiden moduulien hyödyntäminen ja moduulijärjestelmän tiedon saatavuus nopeuttaisivat suunnitteluprosessia — puhumattakaan suunnittelussa tapahtuvasta konfiguroinnista. Laitesuunnittelun kokonaan pois jättäminen olisi periaatteessa mahdollista, mutta yrityksen on edelleen säilytettävä asiakasräätelöitävyys sekä joustavuus laitesuunnittelussa, joten niin optimaaliseen tilanteeseen pääseminen, ainakin tällä hetkellä, tuntuu haastavalta.

Muutamien hihnakuljettimien toteutuneisiin suunnittelutuntien erittelyyn verrattaessa voidaan tehdä varovainen arvio, että suunnittelutunteja voitaisiin vähentää varsinaisen kuljettimen suunnittelun osalta 150–200 tunnista 80–100 tuntiin, mikä olisi jo todella merkittävä pudotus. Tämä arvio perustuu kuljettimen positiokuvan, vetopään, lohkojen ja kokoonpanojen suunnitteluun kuluneisiin tunteihin, kuten alla olevasta kuvassa on eritelty (kuva 36). Näiden osioiden tarkasteluun päädyttiin hahmotellun moduulijärjestelmän pohjalta, missä ei vielä riittävästi suunniteltu kuljetinsiltojen liittämistä osaksi moduulijärjestelmää, joten vaikutukset kuljetinsillan osuuksien osalta ovat vielä epäselviä. Eniten aikaa kului erittelyiden perusteella kuljetinlohkojen, positiokuvan eli uloslyöntien, kokoonpanojen, taitto- ja vetopään suunnitteluun sekä muuhun varusteluun. Erittelyssä olevien lohkot-rivien oletetaan sisältävän sekä kuljetinlohkojen että siltarakenteen lohkojen suunnittelun, ellei niitä erikseen ole eritelty. Niihin kuluneiden suunnittelutuntien suhdetta on vaikea arvioida, mikä vaikeuttaa moduulijärjestelmän tuomien etujen arvioimista lohkojen suunnittelussa, koska moduulijärjestelmässä kuljetinlohkot ja kuljetinsillan rakenlohkot on eritelty. Siltarakenteiden, jalkojen sekä lisäjärjestelmien kuten hoitotasot, kuljettimen lohkojen jalat, Parocit ja lattialevyät suunnittelu vie merkittävän osan koko kul-

jettimen suunnitteluajasta, mutta tutkimuksen tekohetkellä nämä jätettiin vielä myöhemmän tarkasteluun ja moduulijärjestelmän hahmottelussa vähäiselle huomiolle, koska ajatuksena oli keskittyä enemmän vetopäähän.

BLT B=1200 mm L=121 m		BLT B=1200 mm L=90 m		BLT B=1000 mm L=216.5 m		BLT B=1200 mm L=19 m	
Suunnittelun erittely	h	Suunnittelun erittely	h	Suunnittelun erittely	h	Suunnittelun erittely	h
Ulosyönti, taittop.	41.5	Ulosyönti	43	Ulosl. rullastot ja suoijat	16	Ulosl. rullastot ja suoijat	8
Vetopää	10	Vetopää	7	Vetopää	14.5	Vetopää	21.5
Taittopää	32	Lohkot	75	Silta ulosyönti	46	Pos.piiir. Kiinn.tarv. ym	32.5
Lohkot	80	Parocit	50	Jalat	110	Lohko ulosyönti	8
Parocit	22	Varustelut	84	Taittop.rungot ja varust.	27	Suoijat	20
Lattialevyt	45	Kokoonpanot	25.5	Lohkovarustelut	39	Jalat	31
Varustelut	57.5	Jalat	30.5	Lohkot	78	Hätävaijeri	7
Jalat	13	Suppilot	10	Ulosl.pohjapellit	6	Lohko	29.5
Kokoonpanot	35.5	Valotolppamuutokset	11.5	Pos.piiir., kiinn.tarv. ym.	39	Katteet	6
Tasot, Tikkaat	36.5	Profilipeltimuutokset	6	Hätävaijeri	3	Runko	7.5
Taittopään muutokset	6.5	Tarkastus	4	Askemat	4		
Peltimuutokset	6.5	Lisätyöt	49	Tasot	40		
Lohkomuutokset	7.5			Tasojen muutoksia	40.5		
Taso muutokset	15			Suojakatos	15		
Valotolppamuutokset	15			Kourujen muutokset	8		
Tarkastus	3			Tarkastus	3		
Lisätyöt	9						
	435.5		395.5		489		171
Kuljetinosausten toteuma (h)	199	Kuljetinosausten toteuma (h)	150.5	Kuljetinosausten toteuma (h)	96.5	Kuljetinosausten toteuma (h)	127

Kuva 36. Esimerkki kuljettimien suunnittelutuntien erittelystä.

Kymmenen vuoden keskiarvoon verrattaessa, joka oli noin 210–240 h/kuljetin, arvioidaan suunnittelutuntien laskevan 140 h tasolle, ja moduulijärjestelmää laajentamalla siltalohkoihin ja lisäjärjestelmiin, on mahdollista vähentää suunnittelu-aikaa vielä enemmän, jopa alle sataan tuntiin, ja yksinkertaisimmissa lyhyissä kuljettimissa noin 80 tunnista 40 tuntiin. Jälkeenpäin tehtäviin muutoksiin kuluisi myös oletettavasti vähemmän aikaa, koska suurin osa kuljettimesta olisi valmiista moduuleista koottu ja lisäjärjestelmille olisi paikkavaraukset moduulijärjestelmän piiriin kuuluvissa elementeissä, jolloin inhimillisiä virheitäkään ei pääsisi syntymään niin paljon. Moduulijärjestelmän kehittäminen vaatii suuren kehitysosan ja toimiakseen myös ylläpitoa, johon kuluu myös jonkin verran aikaa. Tuotetiedon hallintaan kuluu nykyisellä toimintatavalla aikaa, kun käytössä ei ole dokumentoitua moduulijärjestelmää. Ylläpidon roolia on vaikea arvioida, mutta voi hyvin olla niin, että moduulijärjestelmän ylläpito, sen valmistuttua, olisi jo lyhyelläkin aikavälillä kannattavampaa kuin tuotetiedonhallinta nykyisellään. Suunnitteluun käytettävien tuntien määrä arvioidaan näihin tietoihin perustuen olevan parhaassa tapauksessa 30–50 % vähemmän nykyisestä. Arviot potentiaalisista hyödyistä on koottu seuraavalla sivulla olevaan taulukko 6.

Taulukko 6. Arvio moduulijärjestelmän potentiaalisista liiketoimintahyödyistä.

Moduulijärjestelmän potentiaalinen hyöty	Parannus vaadittu tannus	Selitys
Toimituskohtainen suunnittelu (ETO)	-50 %	Suunnittelun määrää on mahdollista vähentää merkittävästi hyödyntämällä valmiita moduuleita, joka vähentää ETO suunnittelua.
Dokumentaation tuottaminen	-35 %	Laiteohjeistukset voidaan tehdä moduulijärjestelmän sisältöä mukailen. Projektien sisällön määrittely helpottuu myyntivaiheessa vakioitujen ratkaisuiden takia, mitä voitaisiin myöhemmin nopeuttaa myyntikonfiguraattorin käyttöönottolla, mutta siihen pisteeseen tämän tutkimuksen aikana ei vielä päästä.
Ylläpito	-60 %	Moduulijärjestelmän ylläpito sen valmistuttua ei vaatisi niin paljon ylläpitoa kuin nykyinen tuotehallinnan toimintatapa, joka toteutuu jokaisen kuljettimen kohdalla tapauskohtaisesti. Tuotehallinta siirtyisi koko moduulijärjestelmän hallintaan aiempien referenssiprojektien ja hiljaisen tiedon sijasta. Tuotetieto tallentuisi paremmin kaikkien saataville, jolloin ylläpito helpottuu.
Investoinnit	155 000 €	Moduulijärjestelmän käyttöönotto vaatii tuotetiedonhallinnan järjestelmiä sekä varsinaisen moduulijärjestelmän ja sen komponenttien suunnittelua, johon kuluu x määrä suunnittelutunteja x €/h kustannuksella.

Kustannuslaskelma perustuu suunnittelutuntien keskiarvoiseen määrään ja arvioon parhaasta (50 %) suunnittelutuntien säästöstä kymmenen kuljettimen vuosivolyymillä, sekä varovaisiin arvioihin dokumentaation tuottamisen, ylläpidon ja tarvittavien investointien määrästä. Laskelma löytyy tämän työn liitteistä.

9. TIETOJÄRJESTELMÄARKKITEHTUURI

ETO liiketoimintaprosessien tehokkaaseen hallintaan tarvitaan laaja joukko erilaisia ohjelmistoja, jotka tukevat toimintoja koko liiketoimintaprosessiketjun läpi. Customer Relationship Management (CRM), eli asiakkuudenhallinta, tukee myynnin ja jälkimyynnin aikaisia toimintoja, suunnittelua tukevat järjestelmät kuten CAD ohjelmistot, ERP, tuotetiedon hallintajärjestelmät PDM sekä tuotteen elinkaaren hallinta -järjestelmät PLM (Willner *ym.*, 2012). Järjestelmissä sijaitsee valtava määrä dataa, jota ei välttämättä pystytä aina hyödyntämään parhaalla mahdollisella tavalla. Järjestelmien omistajat ovat tietyillä osastoilla tai organisaation ulkopuolisia. Ongelmaksi voi tulla tietojen siiloutuminen irrallisiksi ”saarekkeiksi”. Samoja tietoja tallennetaan moniin järjestelmiin, ja kokonaiskuva organisaation tiedoista alkaa hämärtyä. Tietoarkkitehtuuri on eri järjestelmien kokonaiskuvan hallintaa, ja sen tavoitteena on kuvata organisaation tiedot eri tasoilla, sekä yleiskuvassa että tarkalla tasolla, yli organisaatio- ja tietojärjestelmärajojen. Tietojärjestelmäarkkitehtuuri tarkastelee asioita liiketoimintasovellusten ja sovelluskokonaisuuksien näkökulmasta. Se on kuvaus kohdealueensa rakenneosista, niiden ulospäin näkyvistä ominaisuuksista ja niiden välisistä yhteyksistä ja riippuvuuksista (*Tietojärjestelmäarkkitehtuuri*, 2018). Tarkastelun kohteena on tietojärjestelmien tarjoamat palvelut, liittymät, rajapinnat, roolit sekä tietoarkkitehtuurin kanssa tietojärjestelmien sisältämät tiedot ja niiden hallinta.

Yrityksen suunnittelijoiden käytössä on PDM-järjestelmä, johon tallennetaan kaikki suunnittelumallit, ostokomponentit sekä piirustukset omien nimikkeidensä alle, eli pääosin laitteiden mekaaniset dokumentaatiot, jotka tuotetaan suunnitteluohjelmilla. Järjestelmään tallennetaan myös joitakin laskelmia laitteisiin ja rakennelmiin liittyen. Suunnittelua tehdään 2D- ja 3D-suunnitteluohjelmilla, mutta tavoitteena on siirtyä asteittain enemmän 3D-suunnittelun puoleen, koska havainnollistaminen, asioiden ymmärtäminen ja käsittely on huomattavasti helpompaa, kun voidaan katsoa malleja kolmiulotteisesti pelkkien eri kuvannoissa olevien viivojen sijasta. 3D-mallit auttavat lisäksi myyntivaiheen työtä, kun asiakkaille voidaan esittää helpommin ymmärrettäviä 3D-malleja. 3D-suunnittelu tapahtuu Solidworks-ohjelmistolla, jossa PDM-järjestelmä on integroituna, eli dokumentteja voidaan hallita joko suoraan Solidworksin kautta tai PDM-järjestelmän kautta. Lähelläkohtaisesti tavoitteena on, että kaikki suunnitteludokumentit luodaan suunnittelua aloitettaessa heti PDM-järjestelmään, jotta ne tulevat muiden henkilöiden saataville ja tallentuvat yhteiseen tietokantaan. Omalla kiintolevyllä tapahtuvaa suunnittelua voi tapahtua edelleen, kun joitakin yksinkertaisia asioita on nopeampaa hahmotella ilman yhteyttä

PDM-järjestelmään. Tämä saattaa johtaa siihen, että tehdyt ratkaisut, päätökset, mallit yms. jäävät hiljaiseksi tiedoksi, jolloin ne hidastavat projektien ja laitteiden suunnittelua, tai ne unohtuvat ja tehty työpanos menetetään. Tämän vuoksi olisi tärkeää, että kaikki liiketoiminnan kannalta oleelliset dokumentit tallennettaisiin sidosryhmien saataville niin pian kuin mahdollista. Dokumentaationhallintaan on apuna myös erillinen pilvipohjainen palvelu, johon pyritään tallentamaan ohjeistuksia sekä projekteihin ja sopimuksiin liittyviä asioita. Sama ohjelma toimii CRM-järjestelmänä.

Kappaleissa 7.2 ja 7.4 puhuttiin suunnittelun kehittämiseen liittyneistä kokeiluista ja miten asioiden koetaan olevan tiettyihin osa-alueisiin liittyen. Konfigurointiohjelma Tacton on integroitu Solidworksiin kuten PDM-järjestelmäkin, minkä tarkoituksena olisi toimia suunnittelun konfigurointityökaluna ja parametrinen suunnittelun helpottajana. Tactonia on sovellettu sekä irrallisena että integroituna PDM-järjestelmään, eli suunnitteludokumentteja on käsitelty Tactonia hyödynnettäessä PDM-järjestelmässä, tai dokumentit on myöhemmin siirretty PDM-järjestelmään. PDM-järjestelmässä olevien dokumenttien käyttäminen mahdollistaa suunnittelun uudelleenkäytön, tuotekonfiguroinnin ja muutostenhallinnan, mutta se voi hidastaa hieman suunnitteludokumenttien käsittelyä — hitaus on kuitenkin pieni murhe suhteessa siitä saatuihin hyötyihin.

9.1.1 Integroitu vai irrallinen järjestelmä?

Tuotantokonfiguraattori voidaan rakentaa toimimaan joko irrallaan PDM-järjestelmästä, tai se voi olla osana PDM-järjestelmää. Konfigurointijärjestelmät voivat olla itsenäisiä sovelluksia, lisäosana esimerkiksi suunnitteluohjelmistossa, integroituja järjestelmiä tai itsenäisiä ydinjärjestelmiä. Konfiguraattorit tuottavat eniten lisäarvoa silloin, kun ne on integroitu IT-järjestelmiin, mikä mahdollistaa prosessien automatisoinnin ja tehokkaan datan hyödyntämisen ja vaihdannan eri sidosryhmien välillä (Willner *ym.*, 2012). Jos olemassa olevaa tuotetietoa — osat, kokoonpanot yms. — halutaan hyödyntää tuotteiden suunnittelussa, suunnittelu- ja tiedonhallinta järjestelmät on suunniteltava niin, että ne keskustelevat keskenään, jolloin tuotetiedon hallinta tapahtuu yhdessä paikassa ja päivittyy sitä mukaa, kun muutoksia tai uusia yhteyksiä syntyy. Parametripohjainen uusien osien suunnittelu voidaan toteuttaa PDM-järjestelmän ulkopuolella siihen asti, kunnes suunniteltu tuotos on valmis, ja sen jälkeen siirtää kaikki osat uusille nimikenumeroille PDM:ään. Esimerkiksi siltaristikoiden parametrinen suunnittelu voitaisiin toteuttaa tähän tapaan esisuunnitteleamalla parametrimalli, jonka mittoja muuttamalla saataisiin määritellyt tuotokset. Irrallisena toimiminen voi nopeuttaa suunnittelumallin käsittelyä, koska nimikkeitä ei tarvitse luoda ja varata tekijälle suunnitteluprosessin aikana eikä suunnittelu-

prosessia hidasta järjestelmäyhteys muihin järjestelmiin. Vaikka konfiguraattori olisi rakennettu toimimaan PDM-järjestelmän ulkopuolella, sen tuotokset siirretään hyvin todennäköisesti PDM-järjestelmään, jos yrityksellä sellainen on käytössä.

9.1.2 Parametrinen suunnittelun ja konfiguroinnin mahdollistaja

Tacton CPQ (configure, price, quote): on teollisuustuotannon konfigurointi-, hinta- ja tarjoustyökalu suunnittelusta myyntiautomaatioon. Kuten jo aiemmin todettiin, ilman selvää tuotemäärittelyä, myyntiosasto voi tarjota asiakkailleen tuotevariantteja, joita ei ole olemassa yrityksen tuoteportfoliossa, minkä vuoksi suunnittelu kuormittuu ja syntyy helpommin suunnitteluvirheitä. Tuoteportfolion ulkopuoliset ratkaisut voivat johtaa kalliisiin ratkaisuihin, jotka kuluttavat projektin katteita. Tieto toimitusketjun ongelmista tai tuotteisiin tulleista muutoksista ei välttämättä aina kulkeudu tarpeeksi nopeasti myyjille, jolloin heidän on mahdollista myydä vanhentuneita ratkaisuja vanhoilla hinnoilla, mikä heikentää kannattavuutta tai voi vaikuttaa negatiivisesti yrityksen kilpailukykyyn. Tämän asian taustalla voi vaikuttaa useita tekijöitä, mutta tuoteportfolion hallinta on yksi avaintekijöistä, mikä ei aina ole yrityksen täydessä hallinnassa, kun puhutaan yrityksistä, jotka toimivat massatuotannon ulkopuolella (*Tacton CPQ*, 2022). Tacton CPQ:n sisältää myynti- ja tuotantokonfiguroinnin työkalut parametriseista suunnittelusta tuotekonfigurointiin, ja sen yleisimmät hyödyt ovat:

- Auttaa hallitsemaan laajan valikoiman tuotevariantteja ilman kalliita ETO prosesseja
- Yhdenmukaistaa yrityksen eri toimintojen — tutkimus ja kehitys, myynti, suunnittelu ja tuotanto — näkemykset tuotevarianteista, kuluista ja hinnoista.
- Mahdollistaa jokaisen määrittää yrityksen tuotteet konfiguroinnin avulla nopeasti ja tarkasti, jotta kokonaismyyntiprosessi on sujuva
- Nopeammat ja virheettömämmät prosessit, joiden avulla saadaan tyytyväisempiä asiakkaita ja kasvatetaan liikevaihtoa
- Pienentää datan hallinnoin kustannuksia
- Vähentää tarjousten ja tilausten virheitä

Tactonilla saavutettuja hyötyjä tukee ainakin kirjallisuuden (Orsvärn ja Bennick, 2014) esimerkkitapaus vastaavanlaisessa liiketoimintaympäristössä toimivan suuren yrityksen kokeiluista hyödyntää kyseistä järjestelmää. Sen avulla yritys on onnistunut lyhentämään läpimenoaikoja, kasvattamaan tuottavuutta sekä lisäämään standardisointia, laatua ja markkinaosuutta.

Parametri- ja rajoitepohjaisen suunnittelun avulla on mahdollista automatisoida toistuvat, tehottomat operaatiot suunnittelussa, jotka vievät suunnittelijoiden aikaa. Sillä on mahdollista vähentää suunnitteluvirheitä, luoda automaattisesti konfiguraatiospesifejä piirustuksia ja malleja sekä tuottaa valmistusinformaatiota. Tämä on vain yksi monista saatavilla olevista työkaluista, jonka avulla on mahdollista helpottaa ja tehdä parametripohjaista suunnittelua sekä tuotteiden konfigurointia. Se ei välttämättä ole paras vaihtoehto, mutta sitä on kokeiltu hyödyntää joissakin tapauksissa yrityksen laitteiden suunnittelussa, katso luku 7.4. Tietyt kuljetinjärjestelmän moduulikonaisuudet, joita ei välttämättä voida helposti muuttaa valmiiksi moduuleiksi kuten siltarakenteet, voitaisiin toteuttaa esimerkiksi kyseisellä ohjelmalla samaan tapaan kuin parametripohjainen suunnittelutyökalu ruuvipurkaimen suunnitteluun on tehty.

Hihnakuljettimen moduulijärjestelmän osuuksien ja tiedon hallintaan tarvitaan erilaisia järjestelmiä kuten PDM, suunnitteluohjelmistot sekä konfigurointia avustavat järjestelmät kuten Tacton tai käyttöön tuleva uusi järjestelmä. Uusi järjestelmä kokoaa tuotteiden elinkaaren hallinnan yhteen paikkaan, mikä sisältää muun muassa laitedokumenttien, laiteohjeistuksien, myynnin aikaiset dokumentit ja konfiguroinnin, mutta sen toiminta ei ole vielä täysin selvää tämän tutkimuksen aikana, joten sen osuutta moduulijärjestelmän kannalta ei voida arvioida.

Yrityksen käytössä on monenlaisia järjestelmiä, mutta laitetietojen sekä ohjeiden saatavuus on siitä huolimatta ajoittain heikkoa. Dokumenteista olisi esimerkiksi hyvä luoda ”master”-tiedostot, joiden pohjalta eri projekteihin toimitetaan tarvittavat asiakirjat. Projektista toiseen siirtymällä ja dokumentteja kopioimalla syntyy helposti virheitä ja turhaa muutostyötä. Kaikki tuotetietoon ja laitteisiin liittyvät ”master”-dokumentit, kuten asennusohjeet, riskianalyysit, mallit, piirustukset, referenssidokumentit, yms. voitaisiin tallentaa PDM-järjestelmään, mikä tuntuu suunnittelua ajatellen järkevältä, koska silloin laitteisiin liittyvät asiat olisivat saatavilla yhdestä sijainnista. Jos modulaarisuutta, moduulijärjestelmiä tai konfigurointia aletaan hyödyntämään, on niiden kehittämiseen ja dokumentointiin määriteltävä selkeät ohjeistukset, järjestelmät sekä tallennussijainnit.

10. HAVAINNOT

10.1 Tutkimustulokset

Suunnittelun toimintoihin vaikuttavat monet siihen sidoksissa olevat asiat, ja pelkästään suunnittelun työkaluja parantamalla ei voida ratkaista kaikkia suunnittelutoiminnan vaikeuksia. Tuoteportfolion hallinta sekä kommunikointi kaikkien sidosryhmien välillä auttaa vähentämään virheitä projektien määrittelyssä, suunnittelussa ja toteutuksessa. Tuotehallinnan tärkeys korostuu, kun tuoteportfoliossa on useita laitteita monenlaisilla variaatioilla eri asiakkaiden tarpeisiin. Tuoteportfolion hallinta ilman toimivaa tuotehallintaa ja kommunikointia aiheuttaa turhaa työtä ja mahdollistaa virheiden syntymisen. Projektin sisällön määrittelyongelmat voivat olla seurausta heikosta tuoteportfolion ja datan hallinta sekä kommunikaation puutteesta, mikä kuormittaa useita sidosryhmiä projektin eri vaiheissa. Usein tuotteisiin liittyvät ongelmat ovat teknisiä joko määrittely- tai suunnitteluvirheitä, minkä vuoksi ne kiertävät jossain kohtaa suunnittelijoiden kautta, joskus jopa useaan kertaan, mikä kuormittaa suunnittelijoita paljon. Kun aikaa resursseja kuluu projektien sisällön suunnitteluun ja virheiden korjailuun, resursseja jää vähemmän tuotehallintaan ja -kehitykseen. Vakioimalla tuotteet ja prosessit voidaan vähentää vaihtoehtoisista ratkaisuksista ja toimintatavoista syntyviä kustannuksia. Esimerkiksi suppiloiden ja laitteiden liityntöjen määrittely auttaa suunnittelijoita välttämään kustannuksiltaan korkeita vaihtoehtoja ja tekemään valintoja nopeasti. Dokumenttien käsittelyn periaatteet auttavat sidosryhmiä löytämään tarvittavat tiedot nopeasti ja täsmällisesti. Erikoisratkaisut tuotteissa ovat perusteltuja silloin, kun ne tuottavat selkeää kilpailuetua muihin kilpailijoihin verrattuna. Tuotehallinta vaatii tuotekehityksen osalta selkeän suunnitelman tulevaisuuden muutoksien varalta.

Teknisen dokumentaation pelkkä olemassaolo ei riitä yrityksen tehokkaan liiketoiminnan pyörittämiseen, vaan tiedon tulisi olla dokumentoituna siten, että se on helposti saatavilla, löydettävissä ja hyödynnettävissä. Kerättävissä oleva data muun muassa toteutuneista valmistuskustannuksista, laitteiden toiminnasta ja teknisistä ominaisuuksista, toteutuneista suoritusarvoista, varaosamyynistä, tarjouskilpailuista ja tuotekehityksestä on erittäin tärkeää liiketoiminnan ja tuotteiden kehittämiskohteiden arvioinnissa. Laitteiden toiminnan tarkkailu ja niiden suoriutuminen asiakkaalla auttavat tulevaisuuden kehitystyössä. Saatavilla oleva data aiemmista tuotekehitysprojekteista ja perusteet, miksi johonkin valintoihin on päädytty, auttavat tekemään oikeita valintoja tuotteiden suunnittelussa, mikä näkyy toimivina tuotteina, tyytyväisinä asiakkaina ja rahavirtojen kasvuna.

Systeemiajattelua ja etenkin pehmeää systeemimetodologiaa mukaillen on mahdollista muuttaa ajattelutapaa niin, että ongelmia tutkitaan isommassa kuvassa. Kuten jo aiemmin todettiin, monimutkaisiin ongelmiin ei ole olemassa välttämättä mitään tiettyä tieteellistä teoriaa tai keinoa, jonka avulla ongelma voitaisiin ratkaista. Usein todellisen ongelman määrittelykin voi olla jo haasteellista. Hiljaisen tiedon muuttaminen ymmärrettävään muotoon, on tärkeää, jotta asianomaiset saavat perusteellisen käsityksen tilanteesta ja koko järjestelmän riippuvuussuhteista. Useimmiten ongelmaan ei ole olemassa optimaalista oikeaa ratkaisua, kuten tämän työn tapauksessa, missä suunnittelun tehokkuuden kasvattamiseen ei ole olemassa yhtä ja oikeaa ratkaisua, koska järjestelmän toiminnassa on niin paljon erilaisia riippuvuussuhteita, jotka yhdessä vaikuttavat tekemisen tehokkuuteen.

Moduulijärjestelmän suunnittelussa on tärkeää, että huomioidaan asiakkaan tarpeet, määrittellään geneeristen elementtien sekä moduulien rajapinnat ja tilavaraukset sekä varmistetaan vaihdeltavien moduulien yhteensopivuus. Rajapintamääritelmät on tehtävä moduulijärjestelmän tasolla, jotta rajapintojen hallittavuus pysyy erillään varsinaisista moduuleista. Tulevaisuuden muutostarpeet sekä mahdolliset uusille markkina-alueille siirtymiset on otettava huomioon moduulijärjestelmää suunniteltaessa. Moduulijärjestelmän suunnittelussa on tärkeää tunnistaa oikeat ja tarpeelliset muuntelua aiheuttavat tekijät, jotta moduulit voidaan rakentaa vastaamaan kaikkia tarpeita. Kun oikeat asiat tunnistetaan jo suunnitteluvaiheessa, muuntelun tarve ja määrä vähenee sekä vakioinnin ja suunnittelun uudelleenkäytön hyödyt voidaan realisoida. Vakioinnilla ja kokoluokkatarkastelulla, esimerkiksi käyttökoneiston tapauksessa, voidaan vähentää variaatioiden määrää, jolloin moduulijärjestelmästä voitaisiin melko varmasti saada hallittava kokonaisuus, joka tuottaisi selvää lisäarvoa suunnittelussa ja tuotekehityksessä. Modulaarisuuden suunnittelussa on myös vältettävä tekemästä liikaa rakenteellista tuotekehitystä kokonaisuuksille, jotta moduulijärjestelmän mukaiset tuotteet olisivat edelleen toiminnallisia ja koeteltuja.

Moduulijärjestelmän kehittäminen onnistuisi kouruhihnakuuljettimille Brownfield-prosessin avulla, ja sen kehittäminen voisi alkaa luomalla perusrakenteille tarkemmat moduulit, ja myöhemmin laajentaa se koskemaan myös siltarakenteita ja hoitotasoja. Moduulijärjestelmän jakotavan suunnittelu kouruhihnakuuljettimilla vaikuttaisi kannattavalta kehitykseltä, mutta se tulisi vaatimaan vielä jatkojalostusta, jotta siitä saataisiin toimiva kokonaisuus, joka tuottaisi mahdollisimman paljon hyötyä yritykselle. Asiakastarpeet voitaisiin täyttää edelleen hyvin, koska hihnakuuljettimiin ei kohdistu merkittäviä muutostarpeita, joita asiakkaalta voi tulla — ainakaan niitä ei tämän tutkimuksen aikana havaittu. Kuljet-

timen asennusympäristö ja reititys voivat aiheuttaa muuntelua kuljettimiin, mutta muu-
tostarpeet voidaan huomioida melko hyvin jo moduulien suunnittelussa, mikä mahdollis-
taa vakiomoduulien hyödyntämisen. Useat kuljettimen suoritusarvoihin liittyvät lasken-
nalliset tekijät vaikuttavat moduulien kehittämiseen, mikä on huomioitava moduuleja
suunniteltaessa. Mitoitukseen vaikuttavat laskelmat ja päättelytavat on dokumentoitava
moduulijärjestelmään, jotta ne ohjaavat moduulien suunnittelua. Tuotteiden välillä tois-
tuvat rakenteet ja kokonaisuudet lisäävät toistettavuutta.

Moduulijärjestelmän kehittäminen voi vaatia melko suuren kehityspanoksen aluksi,
mutta huomioiden nykyiset suunnittelutuntien määrät, voi sen takaisinmaksuaika olla
aika lyhyt. Moduulijärjestelmä tulee vaikuttamaan koko tuotteen elinkaaren aikaisiin toi-
mintoihin ja ne on huomioitava moduulijärjestelmää suunniteltaessa. Tuotekehityksessä,
moduulien suunnittelussa ja laitesuunnittelussa määritellyt tekniset ratkaisut määrittävät
tuotteen valmistukselle tietyn hintatason, minkä jälkeen kustannuksiin voidaan vaikuttaa
vain vähän myöhemmissä tuotteen elinkaaren vaiheissa. Moduulijärjestelmän vaikutuk-
sia voi olla vaikea arvioida etukäteen muiden toimintojen kohdalla, mutta suunnittelussa
se tuottaisi varmasti lisäarvoa, kun suunnitteluaikaa saataisiin lyhennettyä merkittävästi.
Moduulijärjestelmän kehittäminen auttaa määrittelemään tuoteportfolion sisällön parem-
min, jolloin myynnissä osataan tarjota sellaisia ratkaisuita, joita yritys haluaa toimittaa.
Moduulijärjestelmän ja vakioitujen komponenttien hyödyntäminen vaikuttaa muun mu-
assa seuraavanlaisesti:

- Vähentää uusien nimikkeiden luomistarvetta
- Nopeuttaa laitteiden kokoonpanoa valmistuksessa
- Moduulit voidaan kiinnittää toisiinsa helposti ja nopeasti ilman suunnitteluvirheitä
- Rikkoutuneet moduulit tai sen osat voidaan vaihtaa nopeasti uusiin, jolloin tuo-
tanto ei kärsi asiakkaalla
- Moduulijärjestelmä mahdollistaa vaihdeltavien moduulien ennenaikaisen osaval-
mistuksen, jolloin tuotteiden osia voidaan valmistaa varastoihin valmiiksi
- Helpottaa tarkastustoimenpiteitä, kun moduulit voidaan valmistaa ja tarkastaa hy-
vissä ajoin ennen toimitusta asiakkaalle
- Mahdollistaa suuremman volyymin tuotannon, jolloin voidaan saavuttaa mitta-
kaavaetuja
- Vakioituneet logistiset päätökset

- Mahdollistaa konfiguroinnin, mikä voi edelleen vähentää tarvittavan suunnittelun ja virheiden määrää

Moduulijärjestelmän myötä voidaan hyödyntää konfigurointia, ainakin osakonfigurointia, mikä edelleen parantaisi tuotteiden käsittelyä ja vähentäisi resurssitarvetta eri toiminnoissa.

Kuten todettiin, modulaarinen hihnakuljettimen jakotapa on toteutettavissa etenkin kuljettimen toiminnallisiin osiin liittyen, mutta osia kuljetinjärjestelmän kokonaistoimituksesta jouduttaisiin edelleen suunnittelemaan asiakaskohtaisesti, joko manuaalisesti tai parametristen mallien avulla. Modulaarisen jakotavan tutkimuksen jatkuessa on syytä arvioida tarkemmin järjestelmään ja modulaaristen komponenttien suunnitteluun kuluva aikaa sekä tuotteen elinkaaren aikaisia muutoksia, jotta moduulijärjestelmäkokonaisuuden takaisinmaksuajasta saataisiin mahdollisimman hyvä käsitys, ja voitaisiin tehdä siihen liittyvät toteutuspäätökset. Niiden tarkasteluun soveltuu hyvin muun muassa tässä työssä käytetyt tutkimusmenetelmät BfP ja Business Champion, jotka auttavat liiketoimintavaikutusten ja ansaintalogiikoiden selvittämisessä. BfP auttaa huomioimaan monipuolisesti tuotteeseen kohdistuvia asioita, jotka vaikuttavat olemassa olevan tuotteen moduulijärjestelmän suunnitteluun.

Tuotetiedon käsittelyyn liittyvistä asioista ei onnistuttu tekemään kattavaa tutkimusta työn resurssien rajallisuuden vuoksi, mutta tutkimuksen perusteella voidaan todeta tuotetiedon sekä tuoteportfolion hallinnan olevan erittäin tärkeässä asemassa tehokkaan ja toimivan projektitoiminnan pyörittämiseksi. Koska tutkimuksen tekoheikillä ei ole tietoa, miten uusi järjestelmä tulee vaikuttamaan tuotetiedon käsittelyyn, ei sen vuoksi pystytä tutkimaan, miten ja missä dataa pitäisi käsitellä. Tärkeintä on ymmärtää tehokkaan tiedonkäsittelyn tärkeys. Oli kyseessä sitten toiminnan, moduulijärjestelmän, työkalujen tms. kehittäminen, niin päätetyistä ja toteutetuista asioista sekä niihin johtaneista tekoista on kannattavaa kerätä dataa, jotta tulevaisuudessa samaisten asioiden päivittäminen tai ymmärtäminen olisi helpompaa.

10.1.1 Uutuusarvo

Modulaarisuudesta puhuttaessa on usein kyse valmistusmääriltään suurista tuotteista. Ne ovat tuotteita, joiden markkinat ovat globaalisti suuria, ja joiden rakenteet ovat selvästi eriteltävissä erilaisiin toiminnallisiin kokonaisuuksiin. Modulaarisuus on ollut yksi massatuotannon edistäjistä, mutta teollisuuden asiakasräätälöityjen tuotteiden suunnittelussa se ei välttämättä ole vielä päässyt niin suureen rooliin. Teollisuudesta on löydettävissä tuotteita, jotka ovat pitkälle räätälöityjä, missä haluttaisiin lisätä toistettavuutta, vaikka tuotantomäärät ovat pieniä. Modulaarisuus voi sopia tietyn tyyppisille tuotteille,

mutta kaikkiin tuotteisiin se ei tule soveltumaan, tai se ei ainakaan ole toimivin vaihtoehto. Kirjallisuuskatsauksen aikana ei löydetty selviä esimerkkejä tutkimuksen kohteena olleen teollisuusskaalan kuljettimen modularisoinnista, joten tämän tutkimuksen havainnot tuovat uutuusarvoa siihen, miten modulaarisia rakenteita voitaisiin vastaavanlaisella tuoteperheellä toteuttaa. FLSmidth:n kerrotaan hyödyntäneen konfigurointia esimerkiksi hihna- ja ruuvikuljettimien sekä muiden teollisuuslaitteiden suunnittelussa sementtiteollisuuteen, mutta varsinaisesta toteutustavasta ei ole tarkempaa tietoa saatavilla. Yritys toimittaa sementtilaitoksia ja niiden laitteita sekä muita teollisuuslaitteita mineraalien käsittelyyn (Felfernig *ym.*, 2014; Orsvärn ja Bennick, 2014). Lopullista ratkaisua moduulijärjestelmän suunnittelun tapoihin ja sen toimivuuteen tässä työssä ei voitu tuottaa. Työn sisältö on kattaus toiminnan kehittämiseen liittyvistä asioista tuotteiden kehittämisen kautta ajateltuna. Tutkimus tuottaa kootun otoksen räätälöitävien tuotteiden muuttamisesta kohti modulaarisia massaräätälöitäviä tuotteita, auttaa tekemään havaintoja suunnittelutoimintaa kuormittavista tekijöistä sekä niiden aiheuttajista ja miten ne linkittyvät tuotteiden suunnitteluun. Tutkimuksesta selviää, miten modulaarisuutta voidaan tuoda tuotteisiin, miten modulaariset tuotteet auttavat lähestymään konfiguroitavia tuotteita, mitä modulaarisuuteen ja konfigurointiin tähtäävissä projekteissa on huomioitava, miten niitä voidaan toteuttaa ja mitkä ovat niiden vaikutukset liiketoimintaan.

10.1.2 Oikeellisuus

Tutkimuksen pohjana käytetyt numeeriset tiedot perustuvat osaksi toteutuneisiin lukuihin ja niiden perusteella päätelyihin keskiarvoin, mutta osa etenkin kustannuslaskelmiin perustuvista tiedoista perustuvat täysin arvioihin. Moduulijärjestelmän ja sen avulla toteutettujen kuljettimien elinkaaren aikaiset kustannukset realisoituvat vasta sitten, kun moduulijärjestelmän osat suunniteltaisiin todellisiksi ja ensimmäiset moduulijärjestelmän mukaiset moduulikuljettimet toteutettaisiin. Moduulijärjestelmän toimivuutta tai kannattavuutta ei tämän työn aikajänteellä voida todentaa. Arviot tuovat aina epävarmuutta tutkimuksen aikaisiin päätelmiin, mutta ovat tällä hetkellä parasta käytettävissä olevaa tietoa. Moduulijärjestelmän vaikutuksia tuoteryhmän elinkaaren toiminnoissa on hyvin haastavaa arvioida tässä vaiheessa. Vertailukohtia elinkaaren muista toiminnoista ja niissä esiintyvistä kustannuksista ei ole saatavilla, joten laskelmissa keskityttiin siitä syystä vain suunnittelutyön vaikutuksiin. Toteutuneet suunnittelutunnit ovat viimeisen kymmenen vuoden ajalta suhteellisen hyvin dokumentoituna, joten niitä voitiin käyttää laskelman perustana.

Teoriaosuus koostuu lyhyistä otannoista projektiliiketoimintaan, modulaarisuuteen, konfigurointiin ja nykytilan analysointiin liittyen. Tässä työssä käytetyt keinot eivät takaa, että

aihealueiden, kuten moduulijärjestelmän suunnittelu tai suunnittelun nykytilan analysointi, tutkimiseen ei olisi saatavilla toimivampia lähestymistapoja. Tutkimukseen käytettyjen ajatusmallien todettiin kuitenkin soveltuvan hyvin kyseisten aiheiden tarkasteluun. Tutkimuksessa esitellään ehdotuksia moduulijärjestelmän toteutustavoista kyseisellä kokonaisuudella, eivätkä ehdotetut jakotavat takaa sitä, että kaikki erilaiset mahdollisuudet olisi tullut käsiteltyä. Suunnittelutoiminnasta tehdyt havainnot ja riippuvuussuhteiden linkittyminen perustuvat tutkijan omiin sekä muutamien suunnitteluosastolla työskentelevien henkilöiden näkemyksiin yrityksen tilanteesta, joten kaikki havainnot eivät ole yleistettävissä muualle. Prosessien tutkiminen pehmeiden järjestelmien keinoin ei ole uusi asia, mutta havainnot, joita tehtiin, voivat olla yleistettävissä tai sovellettavissa joihinkin samankaltaisten yritysten suunnittelutoimintaan.

10.1.3 Ajankohtaisuus

Modulaarisuus sekä konfigurointi ovat nykyaikaisia keinoja valmistavan teollisuuden laitteiden suunnittelussa. Hyödyt, joita niiden avulla on mahdollista saavuttaa ovat niin laajoja, että niiden rooli tulee kasvamaan kilpailun kiristyessä. Asiakkaiden muuttuvat tarpeet ja vaatimukset lyhyistä toimitusajoista ajavat yrityksiä etsimään keinoja toiminnan virtaviivaistamiseksi ja tehostamiseksi. Monipuolistuneet tuotantomenetelmät haastavat yrityksiä valitsemaan tuotteiden suunnittelussa sellaisia ratkaisuja, jotka ovat valmistuksen ja laitteen toiminnan kannalta parhaiten sopivia. Laitteiden nykyaikaisessa suunnittelussa korostuu entistä enemmän ajatusmaailma koko tuotteen elinkaaren huomioimisesta sekä ympäristövaikutuksien tarkastelusta. Kaikki toiminnan kehittämiseen tähtäävä on ajankohtaista aina, eikä yritysten pidä turvautua ajatukseen, että tehdään niin kuin aina ennenkin on tehty. Asioita voidaan tutkia monesta näkökulmasta, ja saatavilla on paljon teorioita sekä apuvälineitä, mitä voidaan hyödyntää, mutta kaiken sen tiedon joukosta on osattava tunnistaa oikeat välineet oikeisiin tarkoituksiin.

11. YHTEENVETO

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli etsiä vastauksia tutkimukselle määriteltyihin tutkimuskysymyksiin, jotka määriteltiin kappaleessa 2.1.

1. Miten voidaan selvittää suurimmat pullonkaulat projektisuunnittelun läpimenoajoissa?

Tutkimuskysymykseen yksi vastattiin kirjallisuuskatsauksen aikana löydettyjen apukeinojen kuten systeemiajattelu sekä toteutetun suunnittelun nykytila-analyysin avulla. Suunnittelutoimintaa analysoitiin pehmeiden järjestelmien metodein, koska tämän kaltaiisiin ongelmiin ei ole olemassa yhtä oikeaa ratkaisua, vaan järjestelmää piti tutkia laajemmin, jotta riippuvuussuhteet ja ongelmien todelliset aiheuttajat saataisiin paremmin selville. Muun muassa tuotehallinnassa sekä dokumentaation ylläpidossa havaittiin haasteita, jotka heijastuvat suunnittelijoiden tekemisen laatuun, kuormittavuuteen sekä tehokkuuteen.

2. Minkälaisia keinoja on olemassa suunnittelun läpimenoaikojen lyhentämiseksi ja tehokkuuden parantamiseksi?

Suunnittelun kehittämisen keinoja tutkittiin kirjallisuuskatsauksen avulla, ja katsauksen avulla löydettiin muun muassa standardointi eli vakiointi, kokoluokka-ajattelu ja tuoteperheajattelu, joiden avulla päästään kiinni modulaaristen tuotteiden suunnitteluun. Näiden keinojen avulla saadaan vähennettyä varianttien määrää ja tehostettua suunnittelun uudelleenkäyttöä, mikä auttaa vähentämään esimerkiksi samankaltaisten ratkaisuiden toistuvaa suunnittelua. Modulaarisuuden avulla suunnittelun läpimenoaikoja on mahdollista nopeuttaa merkittävästi toteutuskohteesta riippuen. Modulaarisuuden myötä voidaan päästä kiinni konfigurointiin, jonka avulla on edelleen mahdollista lyhentää projektikohtaiseen suunnitteluun kuluva aikaa. Myös suunnitteluautomaation sekä erilaisten algoritmipohjaisten suunnittelun apuvälineiden avulla on mahdollista toteuttaa suunnittelua, etenkin toistuvilla ja toistettavilla rakenteilla kuten ristikkorakenteet ja rakennukset.

3. Minkälainen olisi hihnakuljettimen moduulijärjestelmän jakotapa?

Kyseisen tuoteperheen laitevalintaan vaikutti kohdeyrityksen alkuperäinen halu tutkia, miten hihnakuljettimen vectorumpua voitaisiin konfiguroida. Työn tavoitteiden asettelussa huomattiin, että vectorummun konfigurointi ei soveltunut alkuperäisesti ajatellussa muodossaan tämän työn sisällöksi, joten työlle asetettiin uudet kaikkia osapuolia palvelevat tavoitteet, joista hihnakuljettimen jakotavan suunnittelu oli yksi kokonaisuus. Kun kuljet-

timelle luodaan moduulijärjestelmä, vetorummun konfigurointia voidaan ajatella paremmin, koska siitä saadut tuotokset ovat yhteensopivia koko moduulijärjestelmän kanssa, jolloin voidaan saavuttaa suurempia hyötyjä laitteiden suunnittelussa. Hihnakuuljetin soveltuu hyvin moduulijärjestelmän tarkastelun kohteeksi, koska valmistusvolyymit ovat riittäviä, se on rakenteellisesti melko yksinkertainen ja projektien välisissä toteutuksissa on vain vähän eroavaisuuksia — lähinnä kuljettimen suoritusarvoissa ja siltarakenteissa. Kuljettimen jakotavasta määriteltiin pääelementit sekä niitä ohjaavat asiakastarpeet ja suunnittelua ohjaavat periaatteet. Moduulijärjestelmän osuuksista muodostettiin yleisen tason käsitys ja esiteltiin muutamia erilaisia tapoja toteuttaa generisten pääelementtien moduuleita. Vetopään rakenteita ja moduuleita tarkasteltiin tarkemmin.

4. Minkälaiset ovat potentiaaliset hyödyt, joita voidaan saavuttaa hihnakuuljettimen moduulijärjestelmällä?

Moduulijärjestelmän potentiaalisia hyötyjä havaittiin olevan useita, ja ne ulottuvat koko kuljettimen elinkaaren ajalle. Pelkästään laitesuunnittelussa saavutetut hyödyt tekisivät järjestelmän kehittämistä kannattavan, ja se auttaisi myös tuotehallinnassa sekä tuotekehityksessä. Liiketoimintavaikutusten analyysi jätettiin tarkoituksella pintapuoliseksi ja perustuen varovaisiin arvioihin, koska moduulijärjestelmän rahallisia kokonaishyötyjä tai -haittoja on todella vaikea arvioida tämän työn puitteissa. Monet vaikutuksista realisoituvat vasta, kun moduulijärjestelmä olisi kokonaisuudessaan suunniteltu ja ensimmäiset moduulijärjestelmän mukaiset kuljettimet olisi valmistettu.

5. Millainen on nykyinen tietojärjestelmäarkkitehtuurin kenttä?
6. Miten tuotetietoa voidaan käsitellä eri tietojärjestelmien välillä?

Tietojärjestelmien arkkitehtuuria onnistuttiin tutkimaan vain yleisellä tasolla, koska työn päätavoitteet olivat suunnittelutoiminnan ja moduulijärjestelmän tutkimisessa. Tuotetiedon käsittelylle esiteltiin hyvin lyhyt kuvaus. Kappaleessa 9 esiteltiin lyhyesti tapoja toteuttaa parametripohjaista suunnittelua ja konfigurointia, jotka liittyvät suunnittelun tehostamiseen. Tietojärjestelmäarkkitehtuurin tutkiminen on niin laaja kokonaisuus, että se soveltuisi täysin omaksi tutkimukseksi.

Työn tavoitteet saavutettiin kohtalaisesti, eikä täysin valmista ratkaisua toimivan moduulijärjestelmän kehittämiseen saatu, vain tapoja toteuttaa sen kehittämistä. Suunnittelun toiminnasta ja haasteista onnistuttiin muodostamaan hyvä kuva, ja havainnoissa korostui etenkin tiedon saatavuuden, tuotetiedonhallinnan ja projektien sisällön määrittelyn aiheuttamat haasteet laitesuunnittelussa. Tämän työn havainnot ja kirjallisuus toimivat pohjana moduulijärjestelmän tai suunnittelun kehitystyölle, jos niitä päätetään tulevaisuudessa toteuttaa.

LÄHTEET

BMH Technology (2016) ”Hihnakuljettimet - Koulutusmateriaali”.

BMH Technology - Solutions for Sustainable Fuels (2022). Saatavissa: <https://www.bmh.fi/> (Viitattu: 18. tammikuuta 2022).

Cannas, V. G. *ym.* (2020) ”Implementing configurators to enable mass customization in the Engineer-to-Order industry: a multiple case study research”, *Production Planning & Control*. Informa UK Limited, ss. 1–21. doi: 10.1080/09537287.2020.1837941.

Checkland, P. (1981) *Systems thinking, systems practice*. Chichester: Wiley.

Checkland, P. ja Poulter, J. (2010) ”Soft systems methodology”, *Systems Approaches to Managing Change: A Practical Guide*. Springer London, ss. 191–242. doi: 10.1007/978-1-84882-809-4_5.

Churchman, C. W. (1968) *The systems approach*. 9. p. New York : Dell. Saatavissa: https://andor.tuni.fi/discovery/fulldisplay?docid=alma992210724205973&context=L&vid=358FIN_TAMPO:VU1&lang=fi&search_scope=My_inst_and_CI_extended_search&adaptor=Local_Search_Engine&tab=Everything&query=any,contains,The_Systems_Approach_1968&offset=0 (Viitattu: 10. heinäkuuta 2022).

Eppinger, S. D. ja Browning, T. R. (2012) *Design structure matrix methods and applications*. Cambridge: Massachusetts : MIT Press.

Felfernig, A. *ym.* (2014) *Knowledge-based configuration from research to business cases*. 1. p. Waltham, Massachusetts : Morgan Kaufmann. Saatavissa: https://learning.oreilly.com/library/view/knowledge-based-configuration/9780124158177/?sso_link=yes&sso_link_from=tampere-university#main (Viitattu: 22. marraskuuta 2022).

Haug, A., Hvam, L. ja Mortensen, N. H. (2011) ”The impact of product configurators on lead times in engineering-oriented companies”, *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, 25(2), ss. 197–206. doi: 10.1017/S0890060410000636.

Haug, A., Hvam, L. ja Mortensen, N. H. (2012) ”Definition and evaluation of product configurator development strategies”, *Computers in Industry*. Elsevier, 63(5), ss. 471–481. doi: 10.1016/J.COMPIND.2012.02.001.

Haug, A., Ladeby, K. ja Edwards, K. (2009) ”From engineer-to-order to mass

customization”, *Management Research News*. Emerald Group Publishing Limited, 32(7), ss. 633–644. doi: 10.1108/01409170910965233/FULL/PDF.

Haug, A., Shafiee, S. ja Hvam, L. (2019) ”The causes of product configuration project failure”, *Computers in Industry*. Elsevier, 108, ss. 121–131. doi: 10.1016/J.COMPIND.2019.03.002.

Hvam, L. ym. (2013) ”Observed benefits from product configuration systems”, *International Journal of Industrial Engineering*, 20(5–6), ss. 329–338. Saatavissa: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/145076066/OBSERVED_BENEFITS_FROM_PRODUCT_CONFIGURATION_SYSTEMS.pdf (Viitattu: 25. huhtikuuta 2022).

Hvam, L., Mortensen, N. H. ja Riis, J. (2008) *Product Customization*. 1. p. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg : Imprint: Springer.

IncoSE (2022) *Systems Engineering*. Saatavissa: <https://www.incoSE.org/systems-engineering> (Viitattu: 10. heinäkuuta 2022).

Johnsen, S. M. ja Hvam, L. (2019) ”Understanding the impact of non-standard customisations in an engineer-to-order context: A case study”, *International Journal of Production Research*. Taylor and Francis Ltd., 57(21), ss. 6780–6794. doi: 10.1080/00207543.2018.1471239/FORMAT/EPUB.

Juuti, T. (2008) *Design Management of Products with Variability and Commonality- Contribution to the Design Science by elaborating the fit needed between Product Structure, Design Process, Design Goals, and Design Organisation for Improved R&D Efficiency*. Tampere University of Technology.

Juuti, T., Lehtonen, T. ja Riitahuhta, A. (2007) ”Managing re-use for agile new product development”, *International conference on engineering design*. Saatavissa: <https://www.designsociety.org/download-publication/25670/Managing+Re-Use+for+Agile+New+Product+Development> (Viitattu: 26. heinäkuuta 2022).

Jyväskylän Yliopisto (2015) *Menetelmäpolku, Jyväskylän yliopisto - Koppa*. Saatavissa: <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku> (Viitattu: 7. heinäkuuta 2022).

Kristianto, Y., Helo, P. ja Jiao, R. J. (2015) ”A system level product configurator for engineer-to-order supply chains”, *Computer in Industry*, 72, ss. 82–91. doi: 10.1016/j.compind.2015.04.004.

Kristjansdottir, K. ym. (2018) ”The main challenges for manufacturing companies in implementing and utilizing configurators”, *Computers in Industry*. Elsevier, 100, ss. 196–211. doi: 10.1016/J.COMPIND.2018.05.001.

Lehtonen, T. (2007) *Designing Modular Product Architecture in the New Product Development*. Tampere University of Technology.

Lehtonen, T. ym. (2011) "Brownfield process for developing of product families", teoksessa *ICED 11 - 18th International Conference on Engineering Design - Impacting Society Through Engineering Design*, ss. 248–257.

Mäki, J. (2018) *Modulaarisen tuoterakenteen liiketoimintavaikutusten arviointi | Tampereen yliopisto | Finna.fi*. Saatavissa: <https://www.finna.fi/Record/tuni.992576205305973> (Viitattu: 12. huhtikuuta 2022).

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

Modular Function Deployment (2022). Saatavissa: <https://www.modularmanagement.com/fi/modular-function-deployment> (Viitattu: 8. marraskuuta 2022).

Myrodia, A., Kristjansdottir, K. ja Hvam, L. (2017) "Impact of product configuration systems on product profitability and costing accuracy", *Computers in Industry*. Elsevier, 88, ss. 12–18. doi: 10.1016/J.COMPIND.2017.03.001.

Orsvärn, K. ja Bennick, M. H. (2014) "Tacton: Use of Tacton Configurator at FLSmidth", teoksessa *Knowledge-Based Configuration: From Research to Business Cases*. 1. p. Elsevier Inc., ss. 211–218. doi: 10.1016/B978-0-12-415817-7.00017-7.

Pahl, G. ym. (2013) *Engineering Design A Systematic Approach*. 3. p. London: Springer.

Pakkanen, J. (2015) *Brownfield Process: A Method for the Rationalisation of Existing Product Variety towards a Modular Product Family - Trepo*. Tampere University of Technology. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/114943> (Viitattu: 5. toukokuuta 2022).

Peltonen, H., Martio, A. ja Sulonen, R. (2002) *PDM - Tuotetiedon hallinta*. 1st p. Helsinki, Finland: Edita Publishing Oy.

Perera, H. S. C., Nagarur, N. ja Tabucanon, M. T. (1999) "Component part standardization: A way to reduce the life-cycle costs of products", *International Journal of Production Economics*, 60–61, ss. 109–116. Saatavissa: www.sciencedirect.com/libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0925527398001790?via%3Dihub (Viitattu: 26. heinäkuuta 2022).

Petticrew, M. ja Roberts, H. (2006) *Systematic reviews in the social sciences: a*

practical guide. 1. p. Blackwell Publishing Ltd. Saatavissa: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/reader.action?docID=239885> (Viitattu: 7. toukokuuta 2022).

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

Reynolds, M. ja Holwell, S. (2010) *Systems approaches to managing change: A practical guide*. 1. p, *Systems Approaches to Managing Change: A Practical Guide*. 1. p. London: Springer London. doi: 10.1007/978-1-84882-809-4/COVER.

Routio, P. (2005) *Tapaustutkimus . Tuotetiede., Taideteollisen korkeakoulun virtuaaliyliopisto*. Saatavissa: http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/tuotetiede/html_files/14111_totea.html (Viitattu: 9. heinäkuuta 2022).

Salminen, A. (2011) *Mikä kirjallisuuskatsaus?: Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin*. Vaasa: Vaasan yliopisto. Saatavissa: <https://osuva.uwasa.fi/handle/10024/7961> (Viitattu: 19. marraskuuta 2022).

Senge, P. M. (2006) *The fifth discipline: the art and practice of the learning organization*. Lontoo: Random House Business.

Shafiee, S. ym. (2021) "Application of design thinking to product-configuration projects", *Journal of Manufacturing Technology Management*. Emerald Group Holdings Ltd., 32(1), ss. 219–241. doi: 10.1108/JMTM-04-2020-0137.

Simpson, T. W. ym. (2014) *Advances in Product Family and Product Platform Design*. 1. p. Toimittanut T. Simpson ym. New York: Springer, New York, NYr. doi: 10.1007/978-1-4614-7937-6.

Skjetne, J. B. ja Johansson, L. L. (2020) *Product configurators for engineer-to-order products*. Norwegian University of Science and Technology. Saatavissa: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2781753> (Viitattu: 24. huhtikuuta 2022).

Tacton CPQ (2022). Saatavissa: <https://www.tacton.com/> (Viitattu: 12. huhtikuuta 2022).

The Design Structure Matrix (2022). Saatavissa: <https://dsmweb.org/different-dsm-types/#Component-Based-DSM> (Viitattu: 8. marraskuuta 2022).

Tietojärjestelmäarkkitehtuuri (2018) *Tieteen termipankki*. Saatavissa: <https://www.tieteentermipankki.fi/wiki/Nimitys:tietojärjestelmäarkkitehtuuri> (Viitattu: 22.

marraskuuta 2022).

Tiihonen, J. ym. (1998) "CONFIGURABLE PRODUCTS – LESSONS LEARNED FROM THE FINNISH INDUSTRY", *Proceedings of 2nd International Conference on Engineering Design and Automation*, ss. 1–6. Saatavissa: https://www.researchgate.net/profile/Juha-Tiihonen-2/publication/244422070_Configurable_products-Lessons_learned_from_the_Finnish_Industry/links/0c96052b14166cf3a1000000/Configurable-products-Lessons-learned-from-the-Finnish-Industry.pdf (Viitattu: 13. huhtikuuta 2022).

Tilauksesta suunnittelu (ETO) (2022) *Logistiikan Maailma*. Saatavissa: <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/tilauksesta-suunnittelu-eto/> (Viitattu: 12. huhtikuuta 2022).

Tilauksesta valmistus (MTO) (2022) *Logistiikan Maailma*. Saatavissa: <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/tilauksesta-valmistus-mto/> (Viitattu: 12. huhtikuuta 2022).

Trentin, A., Perin, E. ja Forza, C. (2012) "Product configurator impact on product quality", *International Journal of Production Economics*. Elsevier, 135(2), ss. 850–859. doi: 10.1016/J.IJPE.2011.10.023.

Ulrich, K. T. ja Eppinger, S. D. (2008) *Product design and development*. 4. p. Boston: McGraw-Hil.

Ulrich, K. ja Tung, K. (1991) "Fundamentals of product modularity", *American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division (Publication) DE*. Publ by ASME, 39, ss. 73–79. doi: 10.1007/978-94-011-1390-8_12/COVER.

Willner, O. ym. (2012) "Development of a Business Process Matrix for Structuring the Implications of Using Configurators in an Engineer-To-Order Environment", *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. Springer, Berlin, Heidelberg, 397(PART 1), ss. 278–285. doi: 10.1007/978-3-642-40352-1_35.

LIITE A: BUSINESS CHAMPION

10 hihnakuljetinta / vuosi

Toimitusprojekti	Hihnakuljetin ngkis	Moduulihihnakulje
Hinta Mikä on vaikutus toimitussisällön omakustannushintaan kun toimitussisältö perustuu modulaariseen tuotteeseen?		
Myynti ml. Sales engineering Mikä on vaikutus myynnissä kun toimitussisältö ja hinta määritellään ja sovitaan konfiguroimalla?		
Projektin hallinta Mikä on vaikutus projektin suunnitteluun, hallintaan ja seurantaan kun toimitussisältö perustuu konfigurointiin?		
Sopimukset Mikä on vaikutus sopimuksiin kun toimitussisältö sovitaan konfiguroimalla?		
Toimituskohtainen suunnittelu Mikä on vaikutus toimituskohtaisessa suunnittelussa kun toimitussisältö perustuu modulaariseen tuotteeseen?	112 500	56 250
Dokumentaation tuottaminen Mikä on vaikutus toimitussisällön dokumenttien laatimiseen kun toimitussisältö perustuu modulaariseen tuotteeseen? (sopimusmäärittelyt, Käyttö&huolto-ohjeet, yms. varsinaisista laitesuunnittelun dokumenteista erillään olevat dokumentit.)	15 000	9 750
Hankinnat Mikä on vaikutus hankinnoissa kun toimitussisältö perustuu modulaariseen tuotteeseen?		
Valmistus Mikä on vaikutus valmistuksessa kun toimitussisältö perustuu modulaariseen tuotteeseen?		
Osakokoonpano Mikä on vaikutus osakokoonpanossa kun toimitussisältö perustuu modulaariseen tuotteeseen?		
Testaus Mikä on vaikutus testauksessa kun toimitussisältö perustuu modulaariseen tuotteeseen?		
Logistiikka Mikä on vaikutus logistiikassa kun toimitussisältö perustuu modulaariseen tuotteeseen?		
On site Mikä on vaikutus asennukseen ja käyttöönottoon kun toimitussisältö perustuu modulaariseen tuotteeseen?		
Huolto, ylläpito, jälkimarkkinat Mikä on vaikutus huollossa, ylläpidossa ja jälkimarkkinnoissa kun toimitussisältö perustuu modulaariseen tuotteeseen?		
Laadunvarmistus Mikä on vaikutus laadunvarmistuksessa kun toimitussisältö perustuu modulaariseen tuotteeseen?		
Arvontuotto ja kiinteät kulut		
Ylläpito (nykyinen tilanne vs ylläpitoon käytetty aika, kun moduulijärjestelmä on tehty.	10 000	4 000
Huolto		
Tilavuokrat		
TOTAL maximum yearly BENEFITS	137 500 	70 000
Investoinnit		
Laitehankinnat		155 000
(ohjelmistoinvestoinnit, koulutus, moduulijärjestelmän		
Ulosmyynti		
TOTAL Investment	0 	155 000
ROI	#JAKO!0!	0,451612903