

Janne Mäntynen

TEOLLISUUDEN TYÖSKENTELYTASOJEN JA KULKUTEIDEN MODULAARISEN TUOTE- RAKENTEEN KEHITTÄMINEN

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta

Jarkko Pakkanen
Tero Juuti

04/2021

TIIVISTELMÄ

Janne Mäntynen: Teollisuuden työskentelytasojen ja kulkuteiden modulaarisen tuoterakenteen kehittäminen

Diplomityö

Tampereen yliopisto

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Huhtikuu 2021

Teollisuudessa esiintyy paljon erilaisia tasomaisia teräsrakenteita ja monet tehtaot sisältävät useita eri työskentelytasoja ja niiden välisiä kulkuteitä. Vaikka asiakasvaatimukset poikkeavat hie- man toisistaan eri tehdasympäristöissä, on tasoihin kohdistuvat vaatimukset usein samat. Tois- tuvissa rakenteissa ei ole yrityksen kannalta kannattavaa suunnitella jokaista tasoa uussuunnit- teluna, vaan kehittää mahdollisimman kustannustehokas ratkaisu, josta on helposti konfiguroita- vissa asiakkaan toivoma kokonaisuus. Modulaarisen tuotteen avulla on yrityksellä mahdollisuus säästää suunnitteluresursseja ja luoda kustannustehokastuote, joka on muunneltavissa asiakas- kohtaisesti. Modulaarinen tuoteperhe mahdollistaa kulkuteiden ja työtasojen ratkaisujen standar- doimisen ja vähentää yrityksen tuotteissa esiintyviä tuotevariaatioita. Tämä puolestaan vapauttaa suunnitteluresursseja tasojen suunnittelusta.

Tutkimuksen toimeksiantaja on kauan suunnitellut teollisuuteen teräsrakenteita. Toimek- siantoyritys haluaa kehittää toimintaansa kustannustehokkaampaan suuntaan ja yrityksessä on tunnistettu tarve modulaariselle tuoteperheelle, joka mahdollistaisi asiakastarpeiden täyttämisen konfiguroitavilla ratkaisuilla. Tuote voidaan konfiguroida asiakkaan toiveiden mukaiseksi sopivien moduulien avulla

Työn teoria osuus on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa käsitellään modulaa- risuuteen, konfiguroitaviin tuoterakenteisiin ja standardeihin liittyvää teoretietoa. Toisessa osassa perehdytään tarkemmin modulaarisen tuoteperheen kehittämisen tueksi kehitettyihin suunnitteluprosesseihin ja muihin tutkimuksessa käytettyihin menetelmiin.

Työn empiirisessä osuudessa tutkitaan yrityksen tilannetta ja kehitetään alustava modu- laarinen tuoteperhe hyödyntämällä valittua suunnitteluprosessia. Tutkimuksessa hyödynnetään eri suunnittelutyökaluja mahdollisten ratkaisujen kehittämiseksi ja yrityksen kannalta parhaimman ratkaisun löytämiseksi. Työssä huomioidaan vahvasti aiheeseen liittyvät standardit. Standardit määrittävät vähimmäisvaatimukset työtasoille ja kulkuteille.

Tutkimuksen tuloksena on alustava modulaarinen tuoteperhe, jonka jakotapa tukee tuot- teen käyttöä ja joka on helposti konfiguroitavissa asiakkaan tarpeiden mukaiseksi. Työn tavoit- teena on tarjota toimeksiantoyritykselle selkeä ja hallittava kokonaisuus, joka täyttää tutkimuk- sessa tunnistetut asiakastarpeet.

Avainsanat: modulointi, modulaarisuus, konfigurointi, vakiointi, muuntelu

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Janne Mäntynen: Modular product structure – Industrial plane structures
Master's Thesis
Tampere University
Mechanical Engineering
April 2021

In industry there are multiple solutions for working platforms and pathways. Now in the corporation that ordered this thesis work in their product family all the platforms and pathways are designed to a case and usage of older designs is inadequate and most of the design task for similar structures need to be done from the start. For the company this means that many work hours are consumed by design tasks that are similar to each other and are thus lost. For company to keep up their market share an improvement is needed in design and increase reuse of older designs. For this company wants to develop a modular product family for industry forking platforms and pathways. Also, the modular structure will help the company to standardize and manage variation in their product family.

The company behind this master thesis has a long history of designing platforms, pathways, and other steel structures. Now they want to improve their working ways and save design hours that are consumed designing similar products separately for each customer to make running of the business more cost-effective while saving design hours. The aim is to have a modular product family that have standardized solutions that full fills existing customer needs and requirements.

The theory part of the thesis is divided to two parts. First, we will go through theory of modularity and configurable product family with literature review and review standards that are affecting the design of industry grade working platforms and pathways. In the second part the theory of modular design process has been presented. These design processes are essential because they provide a described process overview to designing modular products that are based on existing product variants.

In the empirical part of the thesis, we study what modular design process could be used in the company case. And with chosen design process we design modular product family for the company use.

The aim of this study is to generate a modular product family for the company to use when designing industrial platforms and pathways structures. Also, the requirements for the modular product family are easy to use and fulfilling already existing customer requirements.

Keywords: modular, modularization, configurable product, standardization, variability

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

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Merius Oy:lle osana tasorakenteiden kehitysprojektia, jossa on kehitetty tuoterakenteita kannattavampaan suuntaan. Työn suoritus osana kehitysmuutosten organisaatiota on ollut antoisa kokemus ja työn aikana koetut haasteet ja keskustelut ovat kasvattaneet minua niin opiskelijana kuin suunnittelijana.

Kiitokset työnohjaajille Tampereen yliopiston tutkijatohtorille Jarkko Pakkaselle ja Meriuksen ohjaajalle Henri Riekille työn suorituksen aikana saaduista neuvoista, ohjeista ja tuesta. Kiitokset vielä Merius Oy:n toimitusjohtajalle Hannu Sarjalle mahdollisuudesta suorittaa diplomityö työn ohessa kuluneen vuoden aikana.

Viimeisenä haluan kiittää kihlattuani Emiliaa häneltä saamastani tuesta työn suorituksen aikana.

Tampereella, 18.4.2021

Janne Mäntynen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TUTKIMUKSEN KUVAUS JA MÄÄRITTELY	3
2.1 Tutkimuksen tavoitteet	3
2.2 Tutkimusasetelma	5
2.3 Tutkimuksen rakenne	6
2.4 Tiedonhankintakertomus	6
3. KIRJALLISUUSKATSAUS	8
3.1 Tuotteen suunnitteluprosessi yleisesti	8
3.2 Tuotemuuntelu	11
3.3 Massaräätälöinti	12
3.4 Tuotestandardisointi ja vakiointi	13
3.5 Konfiguroitava tuote	15
3.6 Modulaarisen tuotteen tuotekehityksen etuja	18
3.7 Modulaarisuus ja moduulit	20
3.8 Moduulijärjestelmä	28
3.8.1 Jakologiikka	28
3.8.2 Jakotyypit	29
3.8.3 Moduuli	30
3.8.4 Rajapinta	30
3.8.5 Moduuliarkkitehtuuri	33
3.8.6 Konfigurointitieto	34
3.9 Rajapintojen hallinta	34
3.10 Benchmark	38
3.11 Standardit	40
3.11.1 Pääsytien valinta ja yleiset vaatimukset	41
3.11.2 Työskentelytasot ja kulutiet	42
3.11.3 Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet	46
3.11.4 Kiinteät tikkaat	48
4. MODULAARISEN TUOTTEEN SUUNNITTELUPROSESSIT	52
4.1 Brownfield-prosessi (BfP)	53
4.1.1 Liiketoiminnan tavoitteet	55
4.1.2 Geneerinen elementtimalli	57
4.1.3 Elementti ja rajapinta-arkkitehtuuri	57
4.1.4 Asiakasvaatimukset ja toimintaympäristö	58
4.1.5 Alustava tuoteperhemääritelmä	59
4.1.6 Geneeriset elementit ja asiakastarpeiden väliset suhteet	61
4.1.7 Moduulien ja rajapintojen modulaarinen arkkitehtuuri	62
4.1.8 Konfigurointitieto	64
4.1.9 Tuoteperheen jakotavan dokumentointi	64
4.1.10 Liiketoiminta vaikutusanalyysi	65
4.2 Modular Function Deployment (MFD)	66

4.2.1 Asiakastarpeiden selventäminen.....	68
4.2.2 Teknisten ratkaisujen valinta.....	68
4.2.3 Alustava konseptisuunnittelu.....	69
4.2.4 Konseptien arviointi.....	71
4.2.5 Moduulien kehittäminen	73
5.MERIUS OY.....	75
5.1 Hoitotasojen ja kulkuteiden suunnittelun nykytilanne.....	76
5.2 Merius Oy:n tavoitteet projektille	76
6.TAPAUSTUTKIMUS	78
6.1 Valittu prosessi ja perustelut	78
6.2 Tuoteperheen tavoitteiden määrittely ja rajaukset	79
6.3 Yritysnäkökulman määrittely	80
6.4 Konseptisuunnittelu.....	81
6.5 Alustavat elementit.....	84
6.6 Detaljisuunnittelu.....	89
6.7 Dokumentointi.....	94
7.TULOKSET JA ANALYYSI	97
7.1 Tutkimuskysymyksien vastaukset	97
7.2 Projektin tulokset.....	98
7.3 Tavoitteiden saavuttaminen	99
8.KESKUSTELU	101
9.YHTEENVETO.....	103
LÄHTEET	105

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Tiedonhakuprosessi (Libguide 2021).</i>	7
Kuva 2.	<i>Suunnittelun vaikutus tuotteen valmistuskustannuksiin (Erixon 1998).</i>	9
Kuva 3.	<i>Suunnitteluprosessi Pahl & Beitz (1988) mukaan.</i>	10
Kuva 4.	<i>tuoterakenteen eri tasot (Erixon 1994)</i>	12
Kuva 5.	<i>Syy-seuraus-kaavio (Juuti 2008).</i>	15
Kuva 6.	<i>Osittain konfiguroitava tuoterakenne (Juuti 2008).</i>	16
Kuva 7.	<i>Sopivan tuoterakenteen valintakaavio. Juuti (2008)</i>	18
Kuva 8.	<i>Kustannukset standardisaation ja modulaarisuuden eri tasoilla. (Jose ja Tollenaere 2005)</i>	19
Kuva 9.	<i>Modulaarisuuden eri tyypit (Lehtonen 2007).</i>	22
Kuva 10.	<i>Modulaarisuuden eri tyypit (Ulrich & Tung 1991) viitattu (Pine 1993).</i>	24
Kuva 11.	<i>Järjestelmän jakaminen alijärjestelmiin, moduuleihin ja komponentteihin (Mikkola 1999)</i>	25
Kuva 12.	<i>Järjestelmän jakaminen alijärjestelmiin, moduuleihin ja komponentteihin (Mikkola 2007)</i>	25
Kuva 13.	<i>Järjestelmän jakaminen alijärjestelmiin, moduuleihin ja komponentteihin (Greve et al. 2020)</i>	26
Kuva 14.	<i>Moduulien optimimäärä tuotteessa tuotteen läpimenoajan suhteen (Erixon 1998)</i>	27
Kuva 15.	<i>Vaihtoehtoisia tapoja jakaa tuote moduuleihin (Pakkanen et al. 2020).</i>	30
Kuva 16.	<i>Parslov (2016) esittämä kaavio järjestelmän rajapintojen suunnitteluun.</i>	33
Kuva 17.	<i>Yksinkertaistettu moduuliarkkitehtuurimalli (Pakkanen 2015).</i>	34
Kuva 18.	<i>Standardikomponenttien eri tasot ja rajapinnat (Fujimoto 2007)</i>	36
Kuva 19.	<i>Moduulidokumentaatioarkki (Avak 2006).</i>	38
Kuva 20.	<i>Benchmark -prosessin eri vaiheet (Khurrun & Faizul 1999).</i>	40
Kuva 21.	<i>Kulutien valinta nousukulman mukaan. (SFS-EN ISO 14122-1)</i>	41
Kuva 22.	<i>Vapaan tilan vähimmäismitat (SFS-EN ISO 14122-2)</i>	43
Kuva 23.	<i>Esimerkki mahdollisesta jalkalistasta tason läpäisevälle putkistolle. (SFS-EN ISO 14122-2)</i>	45
Kuva 24.	<i>Portaiden ja porrastikkaiden eri osat (SFS-EN ISO 14122-3).</i>	46
Kuva 25.	<i>Suojakaiteiden mitoitus standardin mukaisesti (SFS-EN ISO 14122-3).</i>	48
Kuva 26.	<i>Tikasjakson mitoitus (EN ISO 14122-4)</i>	49
Kuva 27.	<i>Tikasjakson mitoitus (EN ISO 14122-4)</i>	49
Kuva 28.	<i>Tikkaisiin kiinnitettävän selkäsuojan mitoitus (EN ISO 14122-4 s.26).</i>	50
Kuva 29.	<i>Selkäsuojan kaaren tarkempi mitoitus (EN ISO 14122-4 s.27)</i>	50
Kuva 30.	<i>Tikkaiden lujuuden todentaminen (EN ISO 14122-4 s.17)</i>	51
Kuva 31.	<i>BfP:n vaiheet (Pakkanen 2015).</i>	55
Kuva 32.	<i>Company Strategic Landscape (CLS) viitekehys. (Lehtonen 2007)</i>	56
Kuva 33.	<i>DSM-matriisi (Pakkanen 2015)</i>	58
Kuva 34.	<i>Muokattu PFMP-kaavio BfP:n tarpeisiin. (Pakkanen 2015)</i>	60
Kuva 35.	<i>Muokattu K-matriisi. (Pakkanen 2015)</i>	62
Kuva 36.	<i>Geneeristen elementtien ja niiden rajapintojen tarkempi määrittely. (Pakkanen 2015).</i>	63
Kuva 37.	<i>Muokattu K-matriisi ja lopullinen konfigurointitieto. (Pakkanen 2015)</i>	64
Kuva 38.	<i>Product Structuring Blueprint-kaavio. (Pakkanen 2015)</i>	65

Kuva 39.	<i>Business Analysis Impact perusidea. (Pakkanen 2015)</i>	66
Kuva 40.	<i>MFD pääpiirteittäin (Erixon 1998)</i>	67
Kuva 41.	<i>Quality Function Deployment. (Erixon 1998)</i>	68
Kuva 42.	<i>Design matrix (Suh 90) Erixonin(1998) esittämänä.</i>	69
Kuva 43.	<i>Hierarkiakaavio. (Erixon 1998)</i>	69
Kuva 44.	<i>MIM-matriisi. (Erixon 1998)</i>	70
Kuva 45.	<i>Erixonin rajapintamatriisi. (Erixon 1998)</i>	72
Kuva 46.	<i>Hyvän modulaarisen suunnittelun sääntöjä. (Erixon 1998)</i>	73
Kuva 47.	<i>Moduulidokumentaatio arkki. (Erixon 1998)</i>	74
Kuva 48.	<i>Merius Oy:n tarjoamat palvelut kokonaisuudessaan (Merius 2020)</i>	75
Kuva 49.	<i>Modulaarisuuden tuomat hyödyt yrityksen toimintaan (E.Greve et al. 2020)</i>	81
Kuva 50.	<i>Frekvensianalyysin kaavio</i>	82
Kuva 51.	<i>R-tason tuoteperheen konfigurointikaavio.</i>	83
Kuva 52.	<i>Muodostettu DSM-matriisi.</i>	84
Kuva 53.	<i>Asiakasvaatimukset ja geneeriset elementit.</i>	86
Kuva 54.	<i>ISO 14122 standardin asettamat vaatimukset ja geneeriset elementit.</i>	86
Kuva 55.	<i>Käsivaraisluonnos kulkutien rakenteesta</i>	87
Kuva 56.	<i>Alustava tuotearkkitehtuuri ja rajapinnat</i>	88
Kuva 57.	<i>Ote palkkivaihtoehtojen vertailusta design matriisilla</i>	90
Kuva 58.	<i>Esimerkki palkin lujuustarkastelusta.</i>	91
Kuva 59.	<i>Moduuleista koottu porrastorni ilman ulkoista teräspalkkikehystä.</i>	92
Kuva 60.	<i>Rajapinnan vaikutus suunnitteluun (Avak 2006)</i>	93
Kuva 61.	<i>Kaiteen ja tason välinen rajapinta: hitsattu ja pulttiliitos.</i>	94
Kuva 62.	<i>Portaan ja tason välinen rajapinta.</i>	94
Kuva 63.	<i>Ote BfP:n mukaisesta konfigurointimatriisista.</i>	95
Kuva 64.	<i>Konfigurointikaavio yleinen</i>	96
Kuva 65.	<i>Esimerkki moduulien käyttämisestä tarjouslaskennassa.</i>	96

LYHENTEET JA MERKINNÄT

BfP	Brownfield Process
MFD	Modular Function Deployment
MIM	Modular Indication Matrix
PSP	Product Structuring Principles
PSBP	Product Structure Blueprint

1. JOHDANTO

Yritykset, joidenka tuotetarjonta sisältää toisistaan vähän poikkeavia tuotteita, ovat hyviä kohteilta modulaarisen tuotteen kehitykselle. Modulaarinen tuote mahdollistaa tuotevariaatioiden luomisen kustannustehokkaasti, kun uusien tuotevariaatioiden luominen ei tarkoita kokonaan uuden tuotteen suunnittelua ja toteuttamista. Monet yritykset hyötyisivät modulaarisesta tuoterakenteesta, mutta modulaarisuuden tarjoamiin etuihin ei ole herätty tai ne ovat yrityksille tuntemattomia, syitä tähän on monia. Monissa yrityksissä ei muun muassa ole resursseja kehittää modulaarista tuoterakennetta jo olemassa olevan tuotteen rinnalla. Usein asiakaskohtainen tuoteräätälöinti vie suurimman osan suunnittelun resursseista. Monet yritykset pyrkivät laajan tuotevariaatioiden avulla hankkimaan laajan asiakaskunnan, mutta usein tuotevariaatioiden puutteellinen hallinta muodostuu yrityksen toimintaa rajoittavaksi tekijäksi.

Laajan tuotevalikoiman ylläpitäminen niin, että se on liiketoiminnan näkökulmasta kannattavaa, on haastavaa. Modulaarinen konfiguroitavissa oleva tuote tarjoaa tähän ongelmaan mahdollisen ratkaisun. Räätälöity tuote on helposti konfiguroitavissa määritellyistä elementeistä asiakkaan toiveiden mukaiseksi. Konfiguroitavalle tuoteperheelle määritelty tuotearkkitehtuuri auttaa myös asiakasrajapinnassa toimivia myyjiä laatimaan asiakkaalle sopivan tuotteen nopeasti, koska mahdolliset tuotevariaatiot ovat ennalta määritellyjä ja tuotteeseen liittyvä konfigurointitieto helposti saatavilla.

Modulaarisella tuoterakenteella saavutettavat hyödyt ovat laajasti tunnistettu alan kirjallisuudessa. Aihetta on tutkittu paljon ja modulointi on ollut kuuma puheenaihe viime vuosikymmenenä. Valitettavasti monet aikaisemmista tutkimuksista keskittyvät kokonaan uuden modulaarisen tuotteen luomiseen sen sijasta, että modulaarinen tuote kehitettäisiin jo olemassa olevan tuotteen pohjalta. Työssä on esitetty merkittävimmät suunnitteluprosessit modulaarisen tuotteen kehityk-

selle olemassa olevan tuotteen pohjalta. Esiitettyjä suunnittelukuvauksia on sovellettu kohdeyrityksen omaan tuotevalikoimaan ja tavoitteena on ollut luoda alustava modulaarinen tuoteperhe yrityksen käyttöön.

Tämän työn kohdeyrityksenä ja tilaajana on Merius Oy. Meriuksella on tunnistettu tarve kehittää tuoteratkaisuja kustannustehokkaampaan suuntaan. Kustannustehokkuutta ja suunnittelun ajankäyttöä on lähdetty kehittämään konfiguroitavan, moduuleista koostuvan, tuoteperheen avulla.

2. TUTKIMUKSEN KUVAUS JA MÄÄRITTELY

Tämä luku käsittelee tutkimuksen suorittamiseen liittyviä osa-alueita. Luvussa on esitetty tutkimuksen tavoitteet, tutkimusta ohjaavat tutkimuskysymykset, tutkimuksen tarkempi rakenne ja lyhyt tiedonhankinta kertomus.

2.1 Tutkimuksen tavoitteet

Työn lähtökohtana oli tutkimuksen kohdeyrityksessä ilmennyt tarve kehittää suunnittelua kannattavampaan suuntaan ja nopeuttaa teollisuudessa esiintyvien yksinkertaisten kulkuteiden ja työskentelytasojen suunnittelua. Nykytilanteessa jokainen työskentely- ja kulkutaso on suunniteltu omana kokonaisuutena ja vanhojen suunnitelmien uudelleenkäyttöaste on ollut alhainen. Tämä on johtanut osaltaan eri tuotevariaatioiden kehittymiseen toistensa rinnalle. Työn tavoite on hyödyntää jo olemassa olevia ratkaisuja modulaarisen tuotteen kehittämisessä ja luoda yhtenäinen mahdollisimman kattava kulkutie ja työskentelytaso tuoteperhe yrityksen tarpeisiin.

Työn päätavoitteena on tutkia, mitenkä jo olemassa olevan tuotteen pohjalta voidaan kehittää modulaarinen tuoteperhe, joka vastaa yrityksen aikaisempaa tuotetarjontaa. Työssä on tutkittu kahta eri modulaarisen tuotteen suunnitteluprosessia, joissa suunnittelun lähtökohtana on jo olemassa oleva tuote. Työssä tutkittu modulaarisen tuotteen kehitysprosessit ovat Jarkko Pakkasen vuonna 2015 väitöskirjassaan *"Brownfiel Process – A Method for the Rationalisation of Existing Product Variety towards a Modular Product Family"* esittelemää Brownfield prosessia (BfP) ja Gunnar Erixonin vuonna 1998 julkaistussa väitöskirjassa *"Modular Function Deployment – A Method for Product Modularisation"* esittämä Modular Function Deployment (MFD) suunnitteluprosessi. Työn tapaustutkimuksessa on sovellettu Pakkasen BfP modulointiprosessia, mutta myös Erixonin MFD mallia on hyödynnetty suunnittelun alkuvaiheessa.

Työn kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on perehtyä modulaarisuuden peruskäsitteisiin, modulointiin ja moduuleihin, konfiguroitavan tuoterakenteen hallintaan ja moduloinnin hyötyihin ja haittoihin. Kirjallisuuskatsauksella pyritään vastaamaan ensimmäiseen tutkimuskysymykseen:

1. Mitä on modulaarisen tuotteen kehityksen nykytaso?

Kirjallisuuskatsauksen avulla perehdytään työn tavoitteena esiteltyyn modulaarisen tuotteen kehittämiseen liittyvää teoretietoon laajasti, koska ennen modulaarisen tuotteen suunnittelua tulee itse suunnittelijalla olla selkeä ymmärrys modulaarisuuteen liittyvistä peruskäsitteistä ja modulaarisen tuotteen suunnitteluun liittyvistä teorioista. Tällä varmistetaan, että työ on linjassa työhön liittyvän teoretieton kanssa.

Työssä käsitellään teollisuuden tasorakenteiden suunnitteluun laaditut standardit siltä osin, jotka liittyvät suoraan työssä suunniteltaviin kokonaisuuksiin. Standardi SFS-EN ISO 14122: *Koneturvallisuus* määrittelee teollisuuden tasorakenteiden suunnittelulle vähimmäisvaatimukset, jotka suunniteltavan tuotteen tulee täyttää. Standardit on huomioitu modulaarisen tuoteperheen suunnittelussa siten, että niistä on laadittu BfP:hen tuotevaatimuksia. Tästä on johdettu seuraava tutkimuskysymys:

2. Mitkä ovat vähimmäisvaatimukset teollisuudessa esiintyvien tasorakenteiden, työskentelytaso ja kulkuteiden, suunnittelussa?

Modulaarisen tuotekehityksen osalta työ pyrkii vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

3. Mitenkä voidaan hyödyntää yrityksen jo olemassa olevia tuotteita uuden modulaarisen tuoteperheen suunnittelussa?

4. Mitä suunnitteluperiaatteita on sovellettu tapaustudkimuksen kohteena olevien teollisuuden työskentely ja kulkutasojen modulaarisen rakenteen kehittämisessä?

Tutkimuskysymysten on tarkoitus ohjata tutkimuksen suorittamista ja tarkentaa tutkimuksen tutkimusstrategiaa. Tutkimuskysymyksiin vastaaminen tukee työn tavoitteiden saavuttamista ja ohjaa työn toteutusta.

Työ on rajattu kattamaan modulaarisen tuoteperheen tuotteiden konseptisuunnittelun. Yksityiskohtaisen suunnittelun toteuttaminen työn aikana ei ole diplomityöhön varatun ajan aikana mahdollista ja tarkempi suunnittelu tehdään yrityksessä asiakasprojektien yhteydessä. Työn tavoitteena on muodostaa BfP:n mukainen

tuoteperhekuvaus, josta käy ilmi eri moduulit ja niiden rajapinnat ja kuhunkin moduuliin kohdistuvat asiakasvaatimukset.

2.2 Tutkimusasetelma

Tutkimusasetelma laadullisessa tutkimuksessa muodostuu käsiteltävästä tutkimusongelmasta, käytetystä empiirisestä aineistosta ja käytetyistä analyysimenetelmistä. Tutkimusasetelmaa on hyvä miettiä viitekehyksenä, joka ohjaa tutkimuksen kulkua ja rajaa tutkimuksessa käsiteltävää aineistoa. (Kallinen & Kinnunen 2021)

Tutkimuksen tutkimusongelmana on modulaaristen rakenteiden kehittäminen jo olemassa oleville tuotteille/ rakenteille. Tutkimusongelma ohjaa tutkimusta ja kiittää tutkimuksen tutkimusaiheen.

Koska työssä tutkitaan tutkimuksen kohdeyrityksenä olevan yrityksen tuotteiden modulaarisuutta ja modulaarisuuden tuomia mahdollisuuksia on tutkimus luonteeltaan tapaustutkimus. Tapaustutkimuksella (case study) tarkoitetaan tutkimusasetelmaa, joka on rakennettu tutkittavaa ilmiötä edustavan tapauksen varaan. Tapaustutkimuksessa kohteena on yleensä yritys tai yksittäinen projekti. Tapaustutkimuksella luodaan ensiksi monipuolinen kuva tutustumalla siihen kokonaisvaltaisesti. Tapaustutkimuksessa tutkittava ongelma liittyy aina kiinteästi kontekstiinsa, johonka tapaus sijoittuu. (Kallinen & Kinnunen 2021)

Tässä työssä suoritettava tutkimus on empiirinen tutkimus eli tutkimus perustuu erilaisiin aineistoihin ja niiden analysointiin. Kirjallisuuskatsauksen avulla tutkija osoittaa perehtymisensä aiheesta saatavilla olevaan teoretietoon ja aikaisempiin tutkimuksiin. Kirjallisuuskatsauksessa tulee esille mitä aiheesta on aikaisemmin tiedetty ja siinä esitetään tutkimuksen kannalta oleelliset taustat ja teoriat. (Kallinen & Kinnunen 2021)

Teoreettinen ja empiirinen teoretieto toimii pohjana itse tapaustutkimukselle, jossa kerättyä ja käsiteltyä aineistoa sovelletaan esitetyn tutkimusongelman tutkimiseen ja ratkaisun kehittämiseen. Työn kannalta oleellinen teoretieto on esitetty kappaleessa 3 esitetyssä kirjallisuuskatsauksessa.

Työn suorituksen kannalta on tärkeää, että työn rajaukset muodostavat kokonaisuuden, joka on toteuttamiskelpoinen. Työ rajoittuu tutkimaan modulaarisen rakenteen kehittämistä jo olemassa oleville rakenteille. Teoria-osuudessa käydään laajasti läpi alan teorian tietoa aiheen monimuotoisuuden takia.

Kirjallisuuskatsauksen jälkeen on esitetty tapaustutkimuksen empiirinen osuus. Tutkimuksen empiirisessä osuudessa on sovellettu tutkittua aineistoa teollisuuden työskentelytasojen ja kulkuteiden modulaarisen tuoterakenteen kehityksessä. Tapaustutkimuksessa sovelletaan Pakkasen (2015) väitöskirjassaan esittämää BfP-prosessia.

Tutkimuksen lopuksi on pohdittu tutkimuksen aikana saavutettuja tuloksia ja tutkimuksen tavoitteiden toteutumista. Yhteenvedossa kootaan yhteen tapaustutkimuksessa esille nousseet asiat.

2.3 Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksessa on luotu ensimmäiseksi katsaus aiheesta saatavilla olevaan teoriaan. Tutkittu teoria-aineisto on esitetty kappaleessa 3. Kappaleessa 3 on sekä esitetty aiheeseen liittyvät kansainväliset standardit että modulaarisen tuoterakenteen suunnittelun apuna käytetyt suunnittelumenetelmät. Kirjallisuuskatsauksen jälkeen on kappaleessa 4. esitetty sekä Pakkasen (2015) esittämä Brownfield-prosessi (BfP) että Erixonin (1998) Modular function deployment (MFD). Esitetyt suunnitteluprosessit ovat aiheen kannalta oleellista teorian tietoa, koska aiheesta ei löytynyt kirjallisuustutkimuksessa muita yhtä kattavia kuvauksia modulaarisen tuotteen suunnittelusta jo olemassa olevan tuotteen pohjalta. Kappaleessa 6 on esitetty empiirinen tapaustutkimus kohdeyrityksen tuotteelle. Kappaleissa 7 ja 8 käydään läpi tutkimuksen tulokset ja analysoidaan tutkimuksen tavoitteiden saavuttamista. Lopuksi yhteenvedossa kootaan yhteen tärkeimmät esille nousseet asiat tutkimuksen suorittamisesta ja tutkimuksen lopputuloksista.

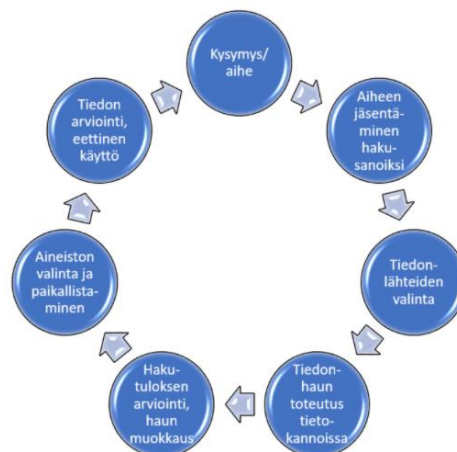
2.4 Tiedonhankintakertomus

Tutkimuksessa empiirinen aineisto on kerätty hyödyntämällä sekä Tampereen yliopiston käytössä olevia hakukoneita ja tietokantoja että Google Scholar-hakukonetta. Tutkimuksessa on pyritty ensisijaisesti käyttämään Tampereen yliopis-

ton tietokantoja niiden vertailukelpoisuuden vuoksi, googlen hakukoneilla on aineiston oikeellisuutta ei ole aina todennettu ja aineiston tarkastelussa tulee olla kriittisempi. Suurin osa aineistosta on kerätty käyttämällä Tampereen yliopiston Andor-hakukonetta ja yliopiston käytössä olevia tietokantoja. Tietokannoista etsimällä on löydetty alan uusimpia artikkeleita, jotka edustavat uusinta tutkimustietoa. Tutkimuksessa käytetyt tietokannat:

- ScienceDirect (kokotekstiartikkelit)
- Scopus (monitieteinen viittaus- ja tiivistelmätietokanta)
- SFS Online (standardit)
- SpringerLink (tekniikan alan lehdet)
- Knovel (tekniikan alan englanninkielinen e-kirjapalvelu)
- SAE Mobilus (Society of Automotive Engineers)
- ProQuest Central (monitieteinen tekstitietokanta)

Ennen aineiston hakua on määritetty käytettävät hakusanat, jotka kuvaavat ja rajaavat etsittävää aineistoa tutkimuksen kannalta oleelliseen tietoon. Tutkimuksen aineiston keräämisessä on käytetty muun muassa seuraavanlaisia hakusanoja: moduuli, modulaarisuus, design, design process, tuote, tuotekehitys, product, product design, tuoterakenne, standardisointi, standardization, vakiointi, muuntelu, muunneltavatuote, modularity, modular, modularization ja product family. Aineiston etsimisessä on noudatettu Tampereen yliopiston yleistä kuvausta tiedonhankintaprosessia, joka on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Tiedonhakuprosessi (Libguide 2021).

3. KIRJALLISUUSKATSAUS

Tässä kappaleessa on esitetty kerätty teoria-aineisto, joka tukee tutkimusasetelman mukaista tapaustutkimusta. Kirjallisuuskatsaus sisältää tutkimuksen kannalta relevantit teoriat ja esittelee aikaisempia tutkimuksia aihepiiristä. Kirjallisuuskatsauksen pääpainona on modulaarisuutta ja konfiguroitavia tuoterakenteita koskeva aineisto, mutta myös kohteena olevien tuotteiden suunnittelua ohjaavat standardit on huomioitu. Kirjallisuuskatsauksen tavoite on tuoda esille tutkimuksen lukijalle tutkimuksessa käytetty aineisto ja määrittää teoriat, mihin tutkimus pohjautuu. Aineistoon sisältyy yleisesti alalla hyväksytyjä perusteorioita, jotka ovat alalla yleisesti hyväksytyjä ja vielä opetuskäytössä yliopistoissa tutkimuksen aikana.

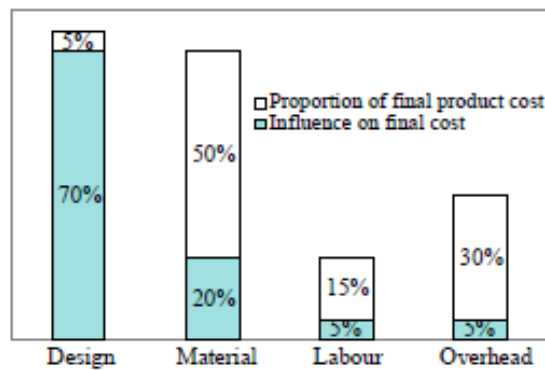
Kappaleessa neljä on esitetty tarkemmin modulaarisen tuotteen suunnittelulle kehitettyjä suunnitteluprosesseja. Koska esitetyt aineistot ovat tutkimuksen kannalta merkittäviä on ne nostettu omaksi kappaleeksi, vaikka ne sisältyvät tutkimuksen kirjallisuuskatsaukseen.

3.1 Tuotteen suunnitteluprosessi yleisesti

Nykypäivänä tuotekehitys projektit ovat kattavampia kuin aikaisemmin. Enää ei riitä, että tarkastellaan tuotteen toiminnallisuutta, käyttöä tai asiakasvaatimuksia. Tuotteen elinkaaren suunnittelusta on tullut yhä merkittävämpi osa tuotekehitystä ja tuotesuunnittelua. Elinkaarensa aikana tuotteeseen kohdistuu paljon vaihtelevia vaatimuksia, kuten vaatimukset tehokkuudesta, logistiikasta, kierrätyksestä ja myynnistä. Tuotekehitys-menetelmien täytyy huomioida koko elinkaari ajan heti projektin alusta lähtien. (Erixon 1998)

Erixon (1998) toteaa, että monet riippumattomat tutkimukset osoittavat, että suurin osa tuotteen tuotantokustannuksista riippuvat pitkälti tuotteen suunnittelu- ja kehitysvaiheista. Tuotekehityksen osuus on arvioitu olevan 70–90 prosenttia tuotteen tuotantokustannuksista. Tämä puoltaa aatetta suunnittelun uudelleenkäyttämistä ja jo olemassa olevien rakenteiden hyödyntämisestä mahdollisimman pitkälle uustuotesuunnittelussa kustannusten vähentämiseksi. Suunnittelun uu-

delleenkäyttämällä voidaan vähentää tuotekehityksen vaikutusta tuotteen valmistuskustannuksiin oleellisesti. Kuvassa 2 on esitetty suunnittelun vaikutus tuotteen kokonaiskustannuksista tuotteen eri vaiheissa. Suunnittelun osuus tuotteen kokonaiskustannuksesta on vähäinen, mutta sen vaikutus kustannuksiin puolestaan suuri.

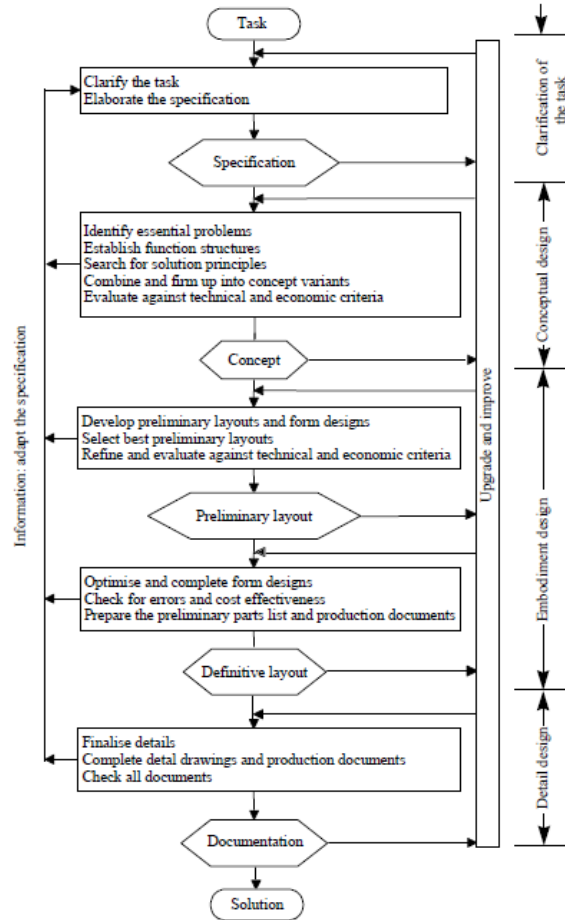


Kuva 2. Suunnittelun vaikutus tuotteen valmistuskustannuksiin (Erixon 1998).

Tuotekehitys ja -suunnittelu voidaan jakaa yleisesti eri kategorioihin riippuen, mihinkä vaiheeseen tuotteen elinkaarella suunnittelua ollaan toteuttamassa. Muun muassa Pahl & Beitz (1988) määrittelevät kolme eri teknisen suunnittelun lajia:

1. Alkuperäinen malli (Original design): uuden peruseräteen luominen systeemille (esim. tuote, kone, kokoonpano ja tuotantojärjestelmä).
2. Mukautettu malli (Adaptive design): jo olemassa olevien järjestelmien muuttaminen vastaamaan uutta tarkoitusta tai uuden ongelman ratkaisemiseksi.
3. Vaihtoehtoinen (Variant design): järjestelmän osien paikkojen ja toimintojen vaihtaminen siten, että tuotteen toiminto ja ratkaisuperiaatteet eivät muutu.

Suunnitteluprosessit poikkeavat hieman toisistaan riippuen suunnittelukohteesta. Alalla yleisesti hyväksytty tuotekehitysmalli on kuvassa 3 Pahl & Beitzin esittämä kuvaus.



Kuva 3. Suunnitteluprosessi Pahl & Beitz (1988) mukaan.

Pahl & Beitz (1988) esittämässä suunnitteluprosessi prosessi aloitetaan määrittelemällä suunnittelutehtävä. Suunnittelutehtävä on yksityiskohtainen kuvaus tuotteeseen kohdistuvista vaatimuksista ja rajoitteista. Tässä vaiheessa tulee myös nimetä ne ajurit uuden tuotteen suunnittelun takana; miksi uusi tuote tarvitaan? Seuraavissa vaiheissa määritellään tarkemmin suunnitteluun liittyvät ongelmat, luodaan alustava tuoterakenne ja arvotetaan eri ideoita tarkempaa suunnittelua varten. Konseptisuunnittelun tuloksena tuotteelle on valittu ratkaisuperiaate, joka vastaa tuotteen ongelmakuvausta.

Konseptivaiheen jälkeen valittua tuotekonseptia tarkennetaan. Konseptista muodostetaan alustava ratkaisu, jota iteroimalla muodostetaan lopullinen tuotemalli. Tuotteen *Embodiment design*-vaiheessa tuotteen tarkemmat rakenteet suunnitellaan ja muotoillaan vastaamaan tuotteen vaatimuksia. Tässä vaiheessa tuotteelle on määritelty alustava tuoterakenne ja osien tilavaraukset, myös mahdollisten materiaalien käyttöä on tarkasteltu. Pahl & Beitz (1988)

Viimeistelyvaiheessa (*detail design*) viimeistellään alustava tuotemalli ja tehdään tarvittava dokumentaatio. Pahl & Beitz (1988) Dokumentaation sisältää tuotteen tekniset kuvat, tuotteen käyttökertomuksen, käyttöohjeet, huolto-ohjeet ja muut valmistuksen dokumentit, esimerkiksi sertifikaatit.

Monet kirjallisuudessa kuvatut suunnitteluprosessit eivät keskity kokonaan uuden tuotteen luomiseen, vaan tuotekonseptien ja inkrementaalisen tuotekehityksen selittämiseen. Inkrementaalinen tuotekehitys pyrkii kehittämään olemassa olevaa tuotetta ja mukauttamaan tuotteen muuttuviin asiakasvaatimukseen yrityksen kilpailukyvyyn ylläpitämiseksi. Suunnitteluprosesseja, jotka keskittyvät muunneltavaan tuoterakenteen ja tuotevarianttien kehittämiseen on esitelty alan kirjallisuudessa suppeasti. Olemassa olevissa prosessikuvauksissa ei keskitytä suunnittelun alkuvaiheisiin yhtä laajasti kuin suunnitteluprosesseissa, jotka keskittyvät kokonaan uuden tuotteen luomiseen. (Pakkanen 2015)

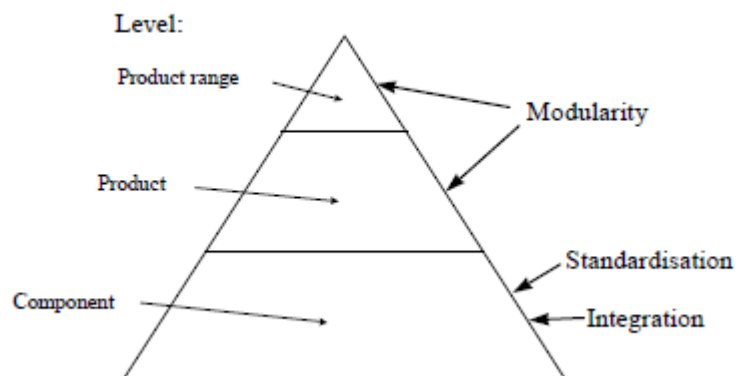
Pahl & Beitz kehittämä suunnitteluprosessi on esitetty lyhyesti tässä kappaleessa, koska se on hyvin tunnettu ja se on opetettu yliopistossa monelle. Suunnitteluprosessin kuvaamisella on haluttu muistuttaa lukijaa tuotteen suunnittelun eri vaiheista ja kertoa miten tuotesuunnittelu yleisesti etenee. Tässä työssä Pahl & Beitz:n esittämä tuotesuunnittelun prosessi on käyty lävitse vain yleisellä tasolla.

3.2 Tuotemuuntelu

Tuotteessa esiintyvä muuntelu on yleensä asiakaslähtöistä: yritys tarjoaa eri asiakkailleen eri tuotevariaatiota asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Tuotemuuntelu on laaja termi ja se yhdistetään usein konfiguroitavaan tuotteeseen. (Juuti 2008) Tuotemuuntelulla yritys pyrkii, joko kasvattamaan asiakassegmenttiään tai ylläpitämään kilpailuasetelmaansa markkinoilla. Tuotemuuntelua esiintyy monella eri tasolla, mutta tuotemuuntelu asettaa myös vaatimuksia muunneltavan tuotteen rakenteella ja sen toiminnoille. Muun muassa modulaariseen tuotteeseen kohdistuu tuotemuuntelua, kun määritellyistä moduuleista konfiguroidaan asiakastarvetta vastaava tuote. Muuntelun näkökulmasta suurin osa valmistavan yrityksen mahdollisesta kyvystä luoda muuntelua on riippuvainen itse tuotearkkitehtuurissa (Ulrich 1995).

Muuntelu ja sen tuottamien tuotevarianttien hallinta on merkittävässä roolissa yrityksen toiminnassa. Erixon (1998) toteaa, että tutkimuksissa jopa 60 % uusista tuotevariaatiosta oli jo olemassa aikaisimmissa tuotteissa, mutta puutteet tuotetiedon hallinnassa ja informaation kulussa ei mahdollistanut aikaisemman suunnittelun uudelleenkäyttöä. Muunneltavaa tuotetta suunniteltaessa tulee luoda riittävä tuotetieto tuotemuuntelun ylläpitämiseksi. Puutteellinen dokumentointi johtaa lopulta suunnitteluressurssien tahattomaan kuluttamiseen uussuunnittelussa.

Erixon (1994) esittää, että tuoterakennetta voidaan käsitellä kolmella eri tasolla. Kuvassa 4 on esitetty tuoterakenteen kolme eri tasoa: osat, tuote ja tuoteperhe Erixonin mukaan. Modulaarisuutta ja tuotemuuntelua ei esiinny alimmalla osatasolla, vaan ainoastaan tuote ja tuoteperhe tasolla. Standardisointi liittyy tuotteen komponenttien rakenteeseen ja komponenttien standardointi voidaan katsoa toimivan pohjana modulaariselle tuotteelle. (Erixon 1994) Standardoinnilla tarkoitetaan tuotteen osien ja komponenttien muodostamista vakioratkaisuista. Vakioratkaisut vähentävät tuotteessa tahatonta vaihtelua ja tuotekustannuksia.



Kuva 4. tuoterakenteen eri tasot (Erixon 1994)

3.3 Massaräätälöinti

Modulaarisuus nähdään yhtenä päätekijänä, joka mahdollistaa massaräätälöinnin. Massaräätälöinnillä tarkoitetaan suurella volyymillä valmistettavaa tuotevalikoimaa, joka koostuu useista eri tuotevariaatiosta, jotka vastaavat eri asiakassegmentteihin. Modulaarisuus on vahvasti sidoksissa massaräätälöintiin, koska syyt modulaaristen tuotteiden kehittämiseksi on toteuttaa tehokasta muuntelua tuotetarjonnassa uusien asiakassegmenttien hankkimiseksi ja sitä kautta nostaa

liiketoiminnan kannattavuutta. Modulaarisuuden tunnettuja hyötyjä on jo olemassa olevan suunnittelun parempi hyödyntäminen ja suunnittelutyötuntien vapautuminen. (Juuti 2008)

Massaräätälöinnin kannalta on oleellista, että yrityksellä on selkeä kuva tarjoamastaan tuotteesta ja sen tuotearkkitehtuurista. Mitä modulaarisempi yrityksen tuotearkkitehtuuri on, sitä helpompi massaräätelöinti on suorittaa yrityksessä. Modulaarinen arkkitehtuuri mahdollistaa tuotevariaatioiden luomisen haluttujen asiakkaiden mukaan. (Mikkola 2007)

Vaikka modulaarinen suunnittelu lisää tuotteen joustavuutta sallimalla tuotteen konfiguroimisen kokoonpanossa, lisää se tuotehallinnan vaatimuksia. Liian suuri tuotevariaatioiden tarjonta voi myös sekoittaa asiakkaan tilanteessa, jossa asiakas ei enää osaa valita eri tuotevariaatioiden välillä, ja laaja tuotevariaatio voi kostautua yritykselle. (Mikkola 2007)

3.4 Tuotestandardisointi ja vakiointi

Standardisointi ja vakiointi on suunnittelutaktiikka, joka pyrkii vähentämään tuotteessa esiintyvien rakenteiden ja ratkaisujen vaihtelua. Vakioinnin tavoitteena on vähentää tuotteessa olevien eri komponenttien tai osien konkreettista määrää ja poistaa tuotteesta toiminnallisia päällekkäisyyksiä teknisenjärjestelmän rajoissa. (Juuti 2008)

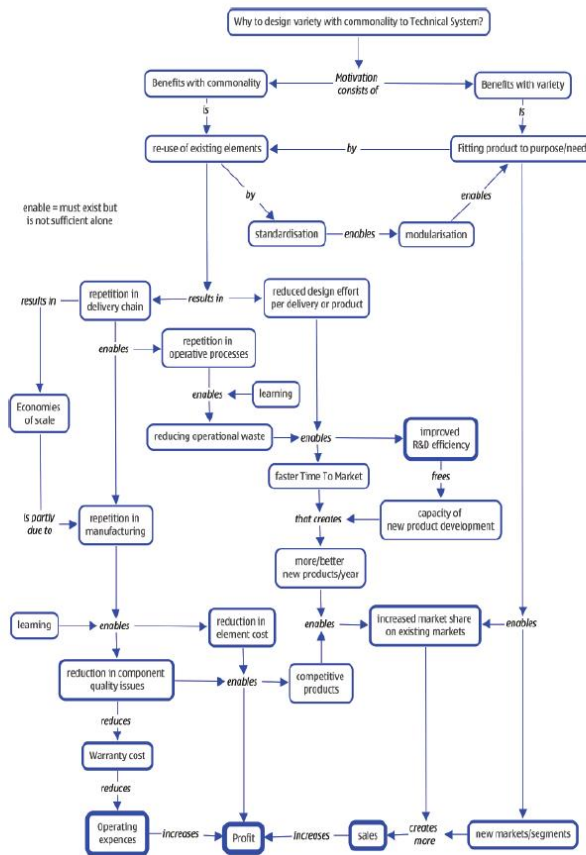
Suunnittelija tulee yrittää käyttää osia tai komponentteja, joita ei tarvitse valmistaa tilauksesta. Ostetut osat ovat yleensä halvempia kuin tilaustyönä valmistetut osat tai komponentit. (Pahl & Beitz 1996) Standardisoitaviksi osiksi sopivat tuotteissa toistuvat osat tai rakenteet, joihin liittyy vain yksi tai muutama toiminto ja niitä käytetään laajasti monissa eri tuotteissa (Ulrich & Eppinger 2008). Fujimoto (2007) lajittelee tuotteen toiminnalliset osat ja jakaa ne vielä seuraaviin kategorioihin:

- Mallikohtaiset: suunniteltu käytettäväksi vain yhdessä tuoteperheessä
- Yrityskohtaiset: suunniteltu käytettäväksi monissa malleissa yrityksen sisällä
- Alan standardi: käytetty monissa eri tuotteissa eri yhtiöissä.

Kategorisoituja osia voidaan käyttää muun muassa alan standardi osien osuuden laskentaan tuotteessa. Osien kategorisointi antaa yritykselle keinon mitata standardisaation vaikutusta yrityksen liiketoimintaan seuraamalla tuotteessa esiintyvien standardiosien määrää ja vakiointiastetta yrityksen tuotteissa. Standardiosilla yrityksellä on mahdollisuus kehittää liiketoimintaansa kannattavampaan suuntaan. Standardiosien käytön kannalta on oleellista tutkia standardiosien kustannusvaikutus tuotteen koko elinkaaren aikana, ennen standardiosien käyttöönottoa. (Pakkanen 2015)

Standardisointi myönnetään usein massavalmistuksen avaintekijäksi. Jos tuotteen rakenne tai toiminta voidaan toteuttaa standardiratkaisulla, on se yleensä liiketoiminnan näkökulmasta kannattavampi ratkaisu kuin ainutlaatuisen ratkaisun kehittäminen. Vakioinnilla ja muuntelulla on tuotesuunnittelustrategioina todettu olevan vaikutus tuotteen kilpailukykyyn ja suunnittelun tehokkuuteen. (Harlou 2006)

Juuti (2008) esittää väitöskirjassaan vakioinnin ja muuntelun vaikutuksia syy-seuraus-kaavion avulla. Juutin mukaan vakioinnilla voidaan kehittää yrityksen liiketoiminnan kannattavuutta tehostamalla tuotesuunnittelua ja tuotehallintaa vakioinnin avulla. Vakiointi vapauttaa yrityksen resursseja tuotesuunnitteluun, mikä puolestaan lisää mahdollistaa yrityksen kasvamisen uusien tuotteiden mukana. Kuvassa 5 on esitetty syy-seuraus-kaavio, josta käy ilmi vakioinnilla ja muuntelulla saavutettavat hyödyt, mutta myös vaatimukset näiden takana (Juuti 2008). Kaaviosta nähdään, että vakiointi mahdollistaa modulaarisuuden ja mahdollistaa sopivan tuotteen muuttuneeseen asiakastarpeeseen. Asiakastarvetta vastaava tuote mahdollistaa puolestaan uusien markkinoiden saavuttamisen ja myynnin kehittymisen.



Kuva 5. Syy-seuraus-kaavio (Juuti 2008)

3.5 Konfiguroitava tuote

Konfiguroitavalla tuotteella tarkoitetaan tuotetta, joka on kuvaus tuotteista tai kokoonpanoista, joista tuotevariaatio voidaan muodostaa. Konfiguroitavan tuotteen variaatiot muodostetaan konfigurointimallin rajoissa. Konfiguroitavatuote voidaan helpommin ymmärtää tuoteperheenä, joka koostuu ennalta määritellyistä elementeistä, esimerkiksi moduuleista. (Juuti 2008) Konfiguroitavalla tuotteella pyritään täyttämään asiakastarpeet ja pitämään yritystoiminta kannattavana. Konfiguraatio on yritykselle tapa hallita yrityksen tuotteeseen kohdistuvia asiakastarpeita ilman asiakaskohtaista tuotesuunnittelua. Tiihonen et al. (1999) esittää, että konfiguroitava tuote kontribuoi seuraaville osa-alueille:

- Asiakastarpeiden hallinta ja täyttäminen
- Toimitusaika
- Hallintakulut
- Laadun hallinta

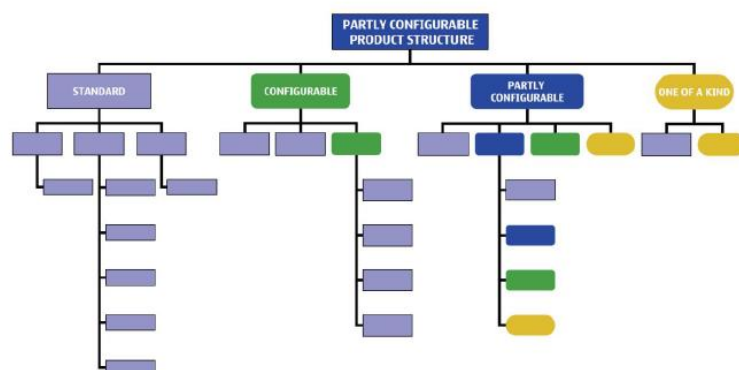
- Tuoteportfolion hallinta
- Brändin hallinta

Konfiguraatio on yritystason toimintastrategia, jonka ideana on erottaa suunnitteluprosessi ja tuotteen toimitusprosessi systemaattisella tuotekonfiguroinnilla. Toimivan tuotteen kannalta on tärkeä muistaa pitää tuotelupaukset konfiguroitavan tuotteen rajoissa (Tiihonen et al. 1999, Juuti 2008).

Konfiguroitavatuote ei aina vastaa asiakasspesifiä tuotetasoa ja konfiguroitavaa tuotetta suunniteltaessa tulee tutkia, voidaanko one-of-a-kind -tuotteesta tehdä konfiguroitava tuote, joka täyttää tuotteelle jo ennalta asetetut asiakasvaatimukset riittävällä tasolla (Tiihonen et al. 1999, Juuti 2008).

Systemaattinen konfigurointi minimoi tuotteen rutiinisunnittelun tarpeen ja vapauttaa resursseja muun muassa tuotekehitykselle. Toisaalta konfiguroitavan tuotteen osalta tuotekehitys ja tuotteen toimitusprosessit voidaan erotella, mikä puolestaan yksinkertaistaa etenkin operaatioita ja vastuualueita toimituksessa. Konfigurointi ja sen ylläpitäminen lisää tuotedokumentaation vaatimuksia ja vaikeuttaa osaltaan tuotekehitystä: kaikkien tulee ymmärtää suunnittelu kokonaisuudessaan, jotta suunnittelun uudelleen käyttö olisi mahdollisimman tehokasta.

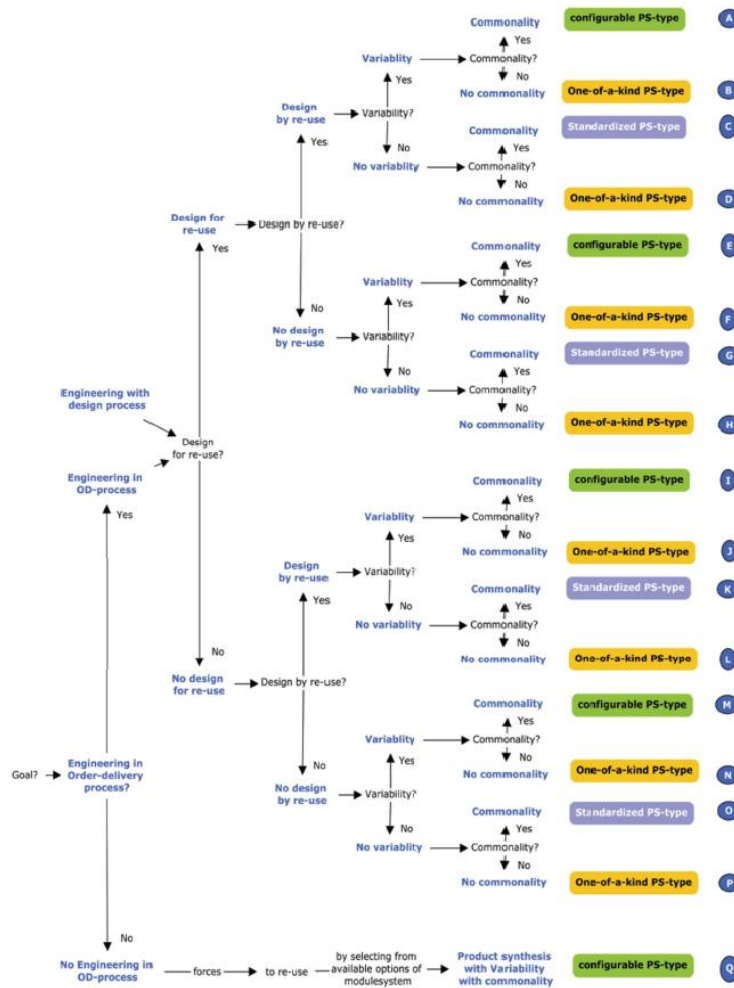
Juuti (2008) määrittelee konfiguroitavalle tuotteelle seuraavat tuoterakenteet/ elementit: standardi, konfiguroitava, osittain konfiguroitava ja yksilölliset. Kuvassa 6 on esitetty kaavio tuoterakenteiden rakenteesta ja niiden välisistä päällekkäisyyksistä ja suhteista.



Kuva 6. Osittain konfiguroitava tuoterakenne (Juuti 2008).

Juutin (2008) esittämä tuotemalli mahdollistaa uussuunnitteluasteen määrittämisen tuotteelle. Uussuunnitteluasteen avulla yritys voi tarkastella tuotearkkitehtuuriaan ja kehittää toimintaansa kannattavampaan suuntaan.

Juuti & Lehtonen (2006) toteavat, että konfiguroitava tuoterakenne on riippuvainen tuotteen toimitusprosessista ja valmistusstrategiasta. Muun muassa massa-tuotteissa standardiosien ja standardikokonaisuuksien käyttäminen on kannattavinta massaräätälöitävissä tuotteissa. Tuotevariaatiot vaativat eri standardiosat, jolloin konfiguroitava tuote muodostetaan tilauksen mukaan eri standardiosista tai -kokoonpanoista. Puolestaan tilaus-toimitus-prosesseissa, missä esiintyy räätälöityjä asiakaskohtaisia ratkaisuja, ilmenee usein tarve yksittäisille one-of-a-kind-osille. One-of-a-kind osat ovat asiakaskohtaisia ja ne on suunniteltava aina asiakkaan vaatimusten mukaan uussuunnitteluna. Jos tuote sisältää niin standardiosia, konfiguroitavissa olevia osia ja one-of-a-kind-osia puhutaan osittain konfiguroitavasta tuoterakenteesta. Juuti (2008) on esittänyt väitöskirjassaan valintakaavion, jonka avulla voidaan päätellä mikä tuoterakenne olisi sopivin yrityksen tarpeisiin. Konfiguroitavan tuoterakenteen valintakaavio on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Sopivan tuoterakenteen valintakaavio. Juuti (2008)

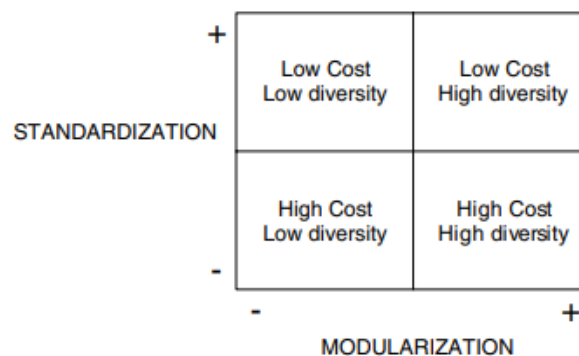
Kuvasta nähdään, että kokonaisuudet, jotka on suunniteltu uudelleen käytettäväksi ja ovat yhteneviä, mutta ei sisällä muuntelua, muiden kokonaisuuksien kanssa ovat hyviä vaihtoehtoja tuoterakenteeltaan standardikokonaisuuksiksi/-osiksi.

3.6 Modulaarisen tuotteen tuotekehityksen etuja

Modulaarisen tuoteperheen kehittäminen vaatii vähemmän aikaa kuin ei modulaarisen tuoteperheen kehittäminen, koska tuotevariaatioiden toteuttaminen moduulien avulla mahdollistaa tarvittavien tuotevariaatioiden luomisen moduulien avulla sen sijasta, että jokainen tuotevariaatio kehitettäisiin kokonaan omana kokonaisuutena. Jos tuotteesta esiintyviä tuotevariaatioita on puolestaan vähän kannattaa harkita, että uhrataanko aikaa ja resursseja sopien moduulien kehittämiseen eri tuotevariaatioiden realisoimiseksi. Tällöin optimoimalla jo olemassa

oleva tuote ja tuotteiden tuotekehityksen erottaminen toisistaan voi olla kannattavampi vaihtoehto kuin modulaarisen tuoterakenteen kehittäminen tuotteesta. Puolestaan, jos tuotevariaatioita on tuoteperheessä runsaasti, on moduulijoukon kehittäminen nopeampi ja kustannustehokkaampi ratkaisu. Moduulit sallivat myös moduulien kehittämisen samanaikaisesti, koska eri osien kehittäjät voivat työskennellä samanaikaisesti moduulien välillä. (Jose ja Tollenaere 2005)

Jose ja Tollenaere (2005) esittävät, että standardisaatiolla ja modulaarisella tuotteella on välillinen yhteys kuvan 8 mukaisesti. Tuote, jossa standardiosien määrä on alhainen tuotteessa, mutta moduulien määrä puolestaan korkea, on kuluiltaan korkein. Puolestaan tuote, jossa standardiosien ja moduulien määrä on korkea, on kustannuksiltaan matala ja tuotteena monimuotoisin. Aikaisemmin on jo todettu vakioinnin ja standardisoinnin mahdollistavan modulaarisen tuoterakenteen kehittämisen ja Jose ja Tollenaere tutkimus vahvistaa tämän väittämän.



Kuva 8. Kustannukset standardisaation ja modulaarisuuden eri tasoilla. (Jose ja Tollenaere 2005)

Jose ja Tollenaere (2005) vertailevat vielä modulaarisen ja vaiheittaisen (inkrementaalisen) tuotekehityksen eroja taulukossa 1. Modulaarisen tuotteen etuja on muun muassa joustavuus, tuotevariaatioiden lukumäärä ja lopputuotteen nopeampi läpimenoaika. Vaiheittaisen tuotesuunnittelun etuna on yksittäisten teknisten järjestelmien kehittäminen ja eri teknologioiden tehokas hyödyntäminen tuotteen suorituskyvyn nostamiseksi. (Jose ja Tollenaere 2005) Mikkola ja Gassmann (2003) mainitsevat modulaarisen tuotearkkitehtuurin nostavan kehitetyn teknisen järjestelmän luotettavuutta korkean tuotantovolyymien ja kokemuskäyrän kautta. Moduulien korkean valmistusmäärän takia mahdolliset tuote- ja valmistustekniset ongelmat tulee ratkaistua aikaisemmin tuotteen elinkaarella kuin perinteisessä tuotekehityksessä.

Taulukko 1. *modulaarisen ja vaiheittaisen tuotekehityksen vertailu (Jose ja Tollenaere 2005).*

<i>Benefits of Modular Designs</i>	<i>Benefits of Integral Designs</i>
<ul style="list-style-type: none"> ● Module task specialization ● Increased number of product variants ● Economies of scale in component commonality ● Costs savings in inventory and logistics ● Lower life cycle costs through easy maintenance ● Shorter product life cycle through incremental improvements such as upgrade, add-on and adaptations ● Flexibility in component reuse ● Outsourcing ● System reliability due to high production volume and experience curve ● Faster assembly and less production time ● Postponement of operations of differentiation for fast reaction of the market. ● Parallel manufacture of modules. ● Fast development of products ● Examples: PC, Lego toys, PDA, ink pens. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Interactive learning ● High levels of performance through special technologies ● Systematic innovations ● Superior access to information ● Protection of innovation from imitation ● High entry barriers for component and module suppliers ● Craftsmanship ● Examples: CD, satellites, Formula One cars.

Alan kirjallisuudelle on tyypillistä suositella modulaaristen tuoterakenteiden käyttämistä, koska sillä saavutettavat edut ovat hyvin konkreettiset. Monessa lähteessä ei kuitenkaan kuvata kuinka modulaarinen tuote tulisi kehittää, mikä on tuotekehitysprosessi modulaarisen tuotteen takana.

3.7 Modulaarisuus ja moduulit

Modulaarisuudelle on monta eri määritelmää alan kirjallisuudessa ja yhteydestä riippuen modulaarisuus voi tarkoittaa eri asioita. Juuti (2008) toteaa, että kirjallisuudessa modulaarisuus on sidottu näkökulmaan ja sille voidaan laatia monta eri merkitystä näkökulmasta riippuen. Ulrich et al. (1991) määrittelee modulaarisuuden puolestaan tuotteen ominaisuutena, jota voidaan mitata. Borowski (1961) Baukenssystem-määritelmässään kuvailee moduulit eräänlaisina rakennuspalloina, jotka yhdessä muodostavat tuotteen. Erixon (1994) taas näkee modulaarisuuden kokonaisuutena, joka toimii määriteltujen rajapintojen kautta ja jonka eri variaatiot on tunnettu. Modulaarisuus käsitteenä on hyvin pitkälle sidoksissa siihen, miten henkilö haluaa sen käsittää. Tähän käsitykseen vaikuttaa niin henkilön tausta kuin myös aikaisempia tuntemus aiheesta.

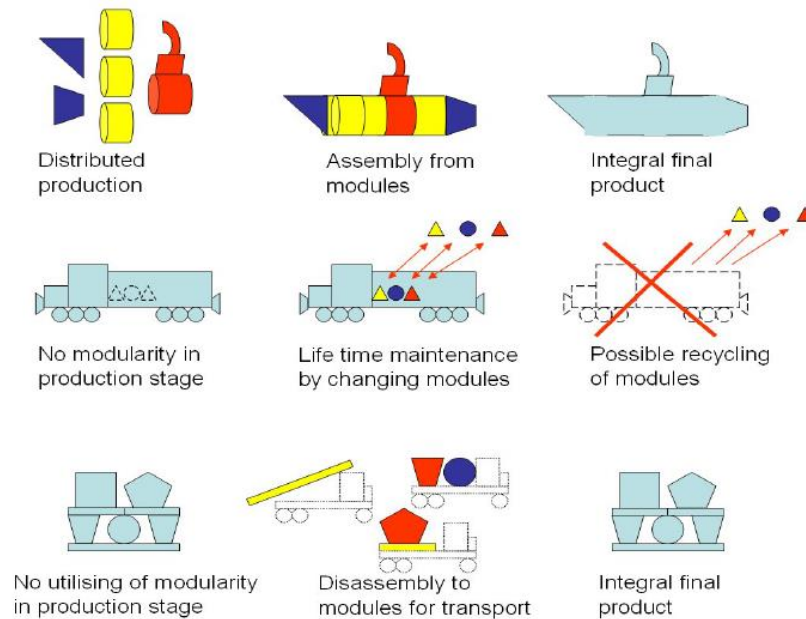
Pakkanen (2015) viitaten Andreassen (2011) määrittelee moduulin, modularisaation ja modulaarisuuden seuraavalla tavalla:

- Moduuli = tuotekokonaisuus, jolla on määritelty funktio ja vaatimukset, joka sisältää rajapinnan tai rajapinnat ja voidaan nähdä ”rakennuspalikkana” tuoterakenteessa.

- Modularisaatio = Muuntelun luominen asiakkaan näkökulmasta eri moduulivarianteilla, jotka ovat sisältävät vakiointia siten että se vähentää yrityksen toiminnan monimutkaisuutta. Modularisointiin kuuluu moduulien suunnittelu, moduulien arkkitehtuuri ja hyötyjen kerääminen alueilta, joilla vaikutukset voidaan nähdä luomalla optimaaliset olosuhteet näillä alueilla.
- Modulaarisuus = Suhteellinen ominaisuus, joka kuvaa tuotteen modulaarista rakennetta ainoastaan silloin kun tuotteen modulaarisuuden tuomat hyödyt on tunnettu yrityksen tietyllä osa-alueella.

Perusajatuksena modulaarisuudella pyritään saavuttamaan enemmän vähemmällä: se aika mikä käytettäisiin aina uuden tuotteen suunnitteluun asiakastarpeiden mukaan alusta alkaen, voidaan konfiguroitavalla tuotteella toimittaa asiakastarpeen täyttävä tuote nopeammin. Modulaarisuus voidaan nähdä eräänlaisen työkaluna tuotesuunnittelussa vähentää samankaltaisten suunnittelutöihin kuluva aikaa ja resursseja ja keinona luoda tuotevariaatioita nopeasti.

Modulaarisuus käsitteen laajuuden takia tuote voidaan jakaa monella eri tapaa moduuleihin, jotka noudattavat eri modulaarisuusjärjestelmiä. Lehtonen (2007) on esittänyt väitöskirjassaan, että moduulijärjestelmää noudattamattomat moduulijakojen takana voi olla kolme eri juurisyytä. Nämä syyt modulaariselle tuoterakenteelle ovat: valmistukseen pohjautuva modulaarisuus, huoltoon pohjautuva modulaarisuus ja logistiikkaan pohjautuva modulaarisuus. Esitellyt modulaarisuuden eri kategoriat on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Modulaarisuuden eri tyypit (Lehtonen 2007).

Edellä esitetyt elinkaari modulaarisuuden kategoriat eivät sisällä tuotteen konfigurointia, vaan tuotteen jako moduuleihin perustuu esitettyihin syihin modulaariselle tuoterakenteelle. Vaikka tuotteen voidaan sanoa olevan modulaarinen ei tuotteelle ole olemassa tuotevariaatioita. Lehtonen nostaa esille väitöskirjassaan, että modulaarista tuotetta suunniteltaessa tulee miettiä minkä tason modulaarisuutta lähetään toteuttamaan: moduulijärjestelmään perustuvaa M-modulaarisuutta, joka mahdollistaa tuotteen konfiguraation, vai tuotteen elinkaaren mukaista modulaarisuutta, joka tukee tuotteen elinkaaren hallintaa. (Lehtonen 2007)

Modulaaristen rakenteiden kehityksessä Lehtonen (2007) esittää olevan neljä eri tasoa. Lehtosen mukaan modulaarisuus pohjautuu standardisointiin. Standardisointi toimii pohjana, joka mahdollistaa modulaarisen rakenteen. Kokoonpanoon pohjautuvassa modulaarisuudessa modulaarinen tuote on jaettu moduuleihin valmistuksen ja huollon näkökulmasta. Valmiin tuotteen moduulit voidaan valmistaa saman aikaisesti ja kokoonpanoon kuluva aika on pyritty minimoimaan. Erixon (1998) myös toteaa, että moduulien valmistaminen erillisillä kokoonpanolinjoilla samanaikaisesti lyhentää tuotteen valmistusaikaa huomattavasti. Lyhyempi tuotteen läpäisy aika säästää yrityksen pääomaa, nostaa tuotteen laatua ja mahdollistaa nopeamman toimituksen.

Toiminnallisessa modulaarisuudessa tuote on jaettu moduuleihin sen eri toimintojen mukaan. Yhtä tuotteen toimintoa vastaa oma moduulinsa, joka täyttää toiminnon. Toiminnallinen modulaarisuus yhdistää tuotteen asiakasvaatimukset konkreettisesti moduuleihin, koska asiakkaalle tärkeät toiminnallisuudet kohdistuvat moduuleihin. Tämä tukee myös tuotekehitystä ja tuotteen konfigurointia. (Lehtonen 2007)

Tuotteen jakaminen moduuleihin sen toimintojen eli funktioiden mukaan on myös alan kirjallisuudessa hyvin tunnettu tapa kehittää modulaarista tuoterakennetta. Tällöin yksi moduuli vastaa yhtä tuotteen toimintoa. Pahl & Beitz (1988) esittivät tuotteen funktioiden jakamista seuraaviin kategorioihin: perusfunktio – apufunktio – special funktio – adaptive funktio – asiakaskohtainen funktio.

Käyttäjälähtöinen tuotejärjestelmään pohjautuva modulaarisuus pohjautuu variaatioiden ja standardiratkaisujen hallintaan asiakastarpeen mukaisesti. Asiakaslähtöisyys mahdollistaa moduulien ja tuotteiden kustannustehokkaan kehittämisen. Standardiratkaisut osaltaan vähentävät eri moduulien tarvetta, jolloin konfiguroitavien elementtien määrää voidaan vähentää. Standardielementit toimivat tuotteen pohjalla ja ovat vakioratkaisuja määriteltujen asiakastarpeiden mukaisesti. Tuotteen lopullinen räätälöinti asiakkaalle tapahtuu konfiguroitavien moduulien avulla. (Lehtonen 2007)

Modulaarisuudesta puhuttaessa mainitaan tuotearkkitehtuuri monesti. Tuotearkkitehtuuri määrittelee tuotteen eri komponentit ja niiden väliset suhteet. Tuotearkkitehtuuri kuvaa Fujimoton (2007) mukaan tuotteen kokoonpano-ohjetta. Andrasen (2011) määrittelee modulaarisen tuoterakenteen seuraavanlaisesti:

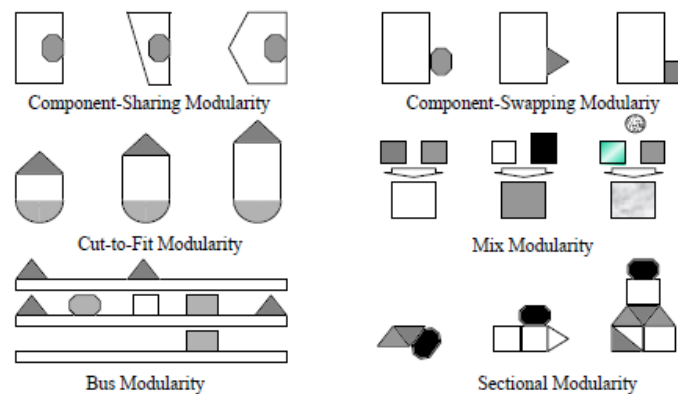
” Modular architecture respects the desired variety, creates commonality for efficient use of resources, and reduces effects of complexity in all actual operations. Modular architecture enables configuration of modular products. Modules, interactions and interfaces needs to be defined in modular architecture.”

Modulaarinen tuoterakenne poikkeaa sisäisestä tuoterakenteesta. Sisäinen tuoterakenne ei salli modulaarisuuden tuomaa muuntelua ja konfigurointia.

Ulrich & Tung (1991) selittävät, että modulaarisuus tulee esille tuotteen jakamisesta riippumattomiksi kokonaisuuksiksi/ komponenteiksi. Tämä mahdollistaa näiden komponenttien standardisoinnin ja luo tuote muuntelua yrityksissä. Erixon

(1994) käsittelee moduulien jakamista kahden piirteen mukaan. Nämä piirteet ovat: 1) Samankaltaisuuksien minimointi tuotteen fyysisten osien ja toiminnallisten funktioiden kesken, ja 2) fyysisten komponenttien välisten suhteiden minimointi. Ulrich & Tung (1991) luettelee kirjassaan viisi eri kategorialle modulaariselle rakenteelle niiden ominaisuuksien mukaan. Nämä modulaarisuuden kategoriat ovat:

- Component-swapping modularity. Vaihtoehtoisten komponenttien yhdistäminen samaan perustuotteeseen.
- Component-sharing modularity. Kun samaa komponenttia käytetään eri tuotteissa
- Fabricate-to-fit modularity. Kun yhtä tai useampaa standardikomponenttia käytetään yhdessä muunneltavien lisäkomponenttien kanssa
- Bus modularity. Kun tuote, jossa on enemmän kuin kaksi rajapintaa, voidaan liittää ennalta määrättyjen komponenttien kanssa.
- Sectional modularity. Sallii komponenttien yhdistämisen vapaasti komponenttien rajapintojen kautta.

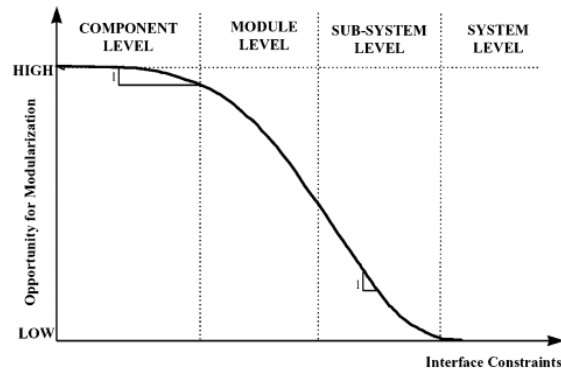


Kuva 10. Modulaarisuuden eri tyypit (Ulrich & Tung 1991) viitattu (Pine 1993).

Modulaarinen tuote voi puolestaan johtaa tuotteen "jäykistymiseen" ja vähentää tuotteen variaatioiden kehitystä tuotteen kehityksessä. Tämä on etenkin uhkana, kun kyseessä on suljettu modulaarinen järjestelmä. (Lehtonen 2007)

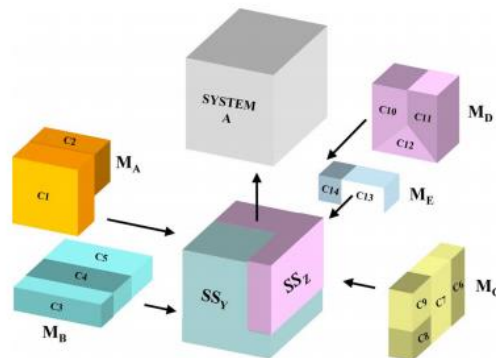
Rajapinnat rajoittavat modularisaatiota ja sen toteuttamisen mahdollisuuksia teknisen järjestelmän eri tasoilla kuvan 11 mukaisesti. Mitä ylemmällä järjestelmän

tasolla modularisaatiota pyritään hyödyntämään sitä enemmän järjestelmässä, on jo ennalta määritettyjä rajapintoja, jotka rajoittavat moduulien kehittämistä.



Kuva 11. Järjestelmän jakaminen alijärjestelmiin, moduuleihin ja komponentteihin (Mikkola 1999)

Komponentti- ja moduulitasolla järjestelmän rajapinnat määrittyvät osittain modularisaation mukaan ja mahdollisuudet modularisaatiolle ovat näin korkeammat. (Mikkola 1999)



Kuva 12. Järjestelmän jakaminen alijärjestelmiin, moduuleihin ja komponentteihin (Mikkola 2007)

Greve et al. (2020) yhdistää modulaariseen tuoterakenteeseen seuraavat ominaisuudet: liitettävyys (decoupling), yhteisyys (commonality), yhdistettävyys (combinability), rajapintojen standardisointi (interface standardization), toimintojen sitominen (function binding) ja ylisuurentaminen (oversizing). Luetellut tekijät/ominaisuudet asettuvat hierarkiassa siten, että yhteisyys/ yhtenäisyys ja yhdistettävyys ovat modulaarisuuden tavoitteita ja tavoitteiden saavuttamiseksi tarvittavia keinoja ovat, rajapintojen standardisointi, toimintojen sitominen ja ylisuurentaminen. Tuotteen jakamisen moduuleihin mahdollistaa taas liitettävyys. Hierarkia on visuaalisesti esitetty kuvan 13 ylälaidassa. (Greve et al. 2020)

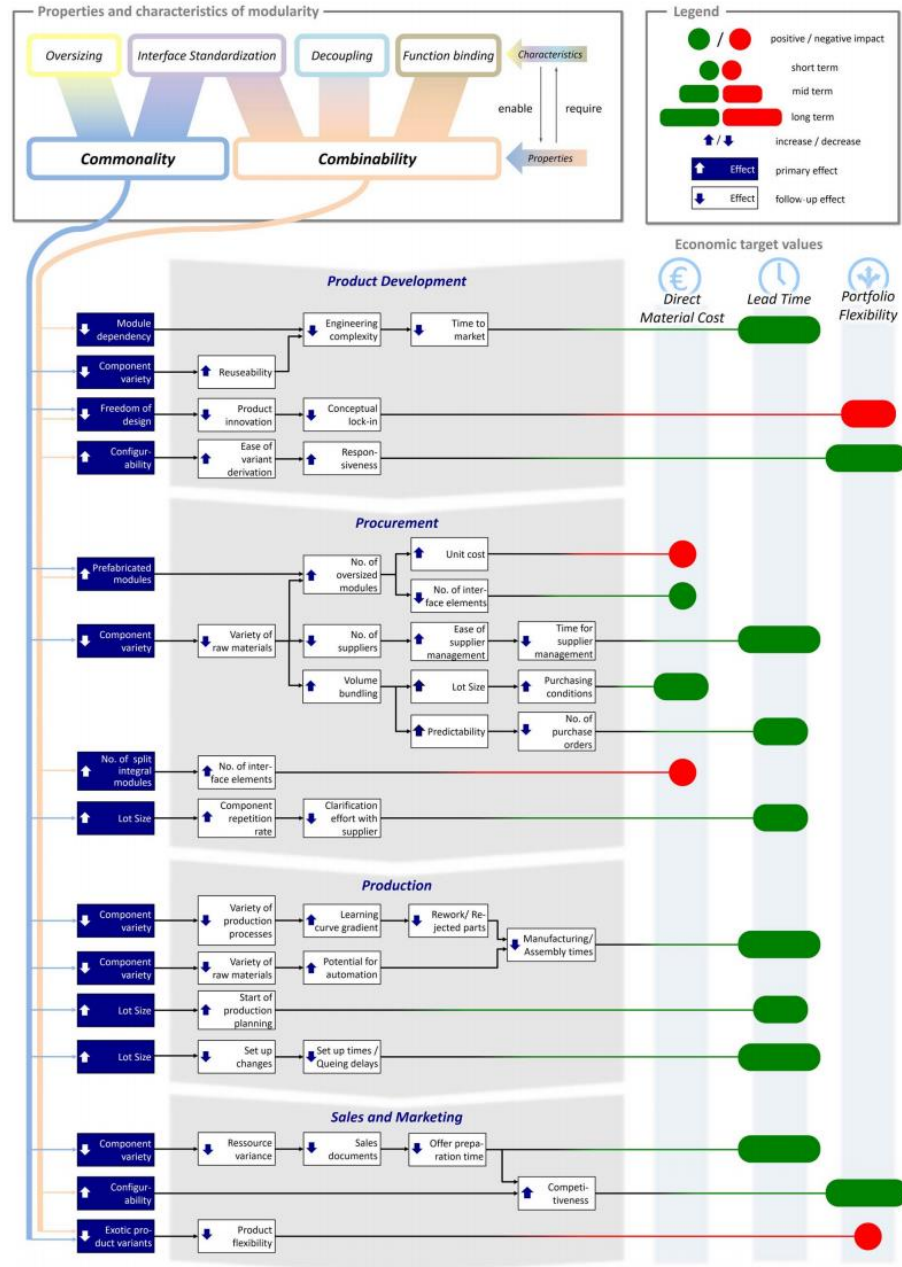


Fig. 2. Extended impact model of modular product structures including the effects identified in the interview study

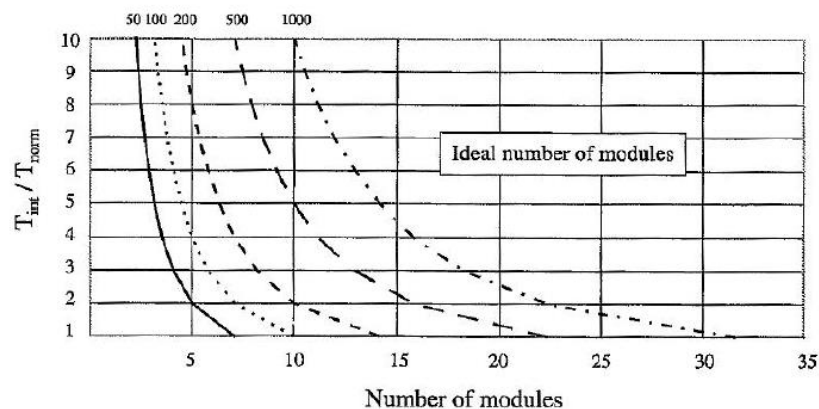
Kuva 13. Järjestelmän jakaminen alijärjestelmiin, moduuleihin ja komponentteihin (Greve et al. 2020)

Modulaarisuuden tavoitteena ei ole lisätä tuotteen modulaarisuutta vaan suunnitella tuote siten, että se on räätälöity vastaamaan tuotteen elinkaaren aikana saatutettavia etuja. (Greve et al. 2020) Lehtosen (2007) esittämä dynaaminen modulaarisuus yhdistää moduulit tuotteen elinkaareen, vaikka jokaisella moduulilla oma elinkaarensa, jonka kehitys on jatkuvaa. Dynaaminen modulaarisuus tähtää

suunnittelun uudelleenkäytön optimoimiseen kehitysprojekteissa sekä tuotekehityksen tuottavuuden kasvattamiseen tuotteen ja moduulien elinkaaren että siihen liittyvän tuotetiedon hallinnalla. (Lehtonen 2007)

Erixonin keskittyy MFD:ssä kehittämään tuotteen modulaarista rakennetta tuotteen läpimenoajan kautta. Erixon pohjaa väitteensä sopivasta moduulien lukumäärästä tuotteen monimutkaisuuden kasvamiseen moduulien määrän lisääntyessä tuotteessa. Jos tuote on jaettu liian moneen moduuliin, on tuotteen muutosten ja variaatioiden hallinta haasteellista. Myös monen eri moduulin valmistaminen tilausta varten kuluttaa enemmän aikaa valmistuksessa, mikä puolestaan johtaa osaltaan tuotteen läpimenoajan kasvamiseen.

Erixon (1998) on kuvannut valmistuksen näkökulmasta tuotteen moduulien lukumäärän vaikutusta tuotteen läpäisy aikaan; mitä useammasta moduulista tuote koostuu, sitä pidempi on tuotteen läpimeno aika. Erixonin esittämä näkemys moduulien lukumäärän vaikutuksesta tuotteen läpimeno aikaan esitetty kuvassa 15. Kuvassa on esitetty myös moduulien ideaalilukumäärät tuotteen osamäärän mukaan.



Kuva 14. Moduulien optimimäärä tuotteessa tuotteen läpimenoajan suhteen (Erixon 1998)

Erixonin esittämässä kuvaajassa tarkastellaan tuotteen eri osien lukumäärää verrattuna yksittäisen moduulin kokoamiseen kuluvan ajan (T_{norm}) ja moduulien liittämiseen valmiiksi tuotteeksi kuluvan ajan (T_{int}) suhteeseen. Esimerkiksi tuote, joka koostuu 200 eri osasta ja moduulien kokoamiseen ja tuotteen kokoamiseen kuluvan ajan suhde on 3 olisi moduulien sopiva määrä tuotteessa noin kahdeksan eri moduulia.

3.8 Moduulijärjestelmä

Lehtosen (2007) mukaan järjestelmää voidaan pitää moduulijärjestelmänä, jos se sisältää yhden tyypin modulaarisuutta Ulrich & Tung (1991) esittämästä viidestä eri modulaarisuuden tyypistä. Ulrich & Tung (1991) esittämät modulaarisuuden eri lajit on esitetty kuvassa 10. Moduulijärjestelmä mahdollistaa moduulien vaihdettavuuden ja yksittäinen moduuli voidaan korvata eri moduulilla, jolla on eri ominaisuudet. Toinen mahdollisuus on käyttää samaa moduulia eri tuotteissa (Juuti 2008).

Systemaattinen konfigurointi minimoi tuotteen rutiinisunnittelun tarpeen ja vapauttaa resursseja tuotekehitykselle. Samaan aikaan tuotekehitys ja tuotteen toimitusprosessit voidaan erotella, mikä puolestaan yksinkertaistaa operaatioita ja vastuualueita toimituksessa. Tämä puolestaan lisää dokumentaation vaatimuksia ja vaikeuttaa tuotekehitystä, koska kaikkien tulee ymmärtää suunnittelu kokonaisuudessaan, jotta suunnittelun uudelleen käyttö olisi mahdollisimman tehokasta. Modulaarinen tuote voi puolestaan johtaa tuotteen ”jäykistymiseen” ja vähentää tuotteen variaatioiden kehitystä tuotteen kehityksessä. Tämä on etenkin uhkana, kun kyseessä on suljettu modulaarinen järjestelmä (Lehtonen 2007).

Moduulijärjestelmän viisi eri elementtiä ovat Pakkasen (2015) mukaan:

- Jakologiikka = Syyt tietyn moduulijaon takana
- Moduulit = Moduulijärjestelmän rakennuspalikat
- Rajapinnat = Mahdollistavat moduulien riippumattomuuden ja keskinäisen vaihdettavuuden.
- Arkkitehtuuri = Kuvaus tuoterakenteesta ja siitä kuinka rajapinnat ja moduulit sijaitsevat tuotteessa.
- Konfigurointitieto = Kuvaus moduulien yhteensopivuudesta, rajoitteista tai vaatimuksista ja tuotteeseen kohdistuvista asiakastarpeista.

3.8.1 Jakologiikka

Jakologiikasta selviää syyt tuoterakenteen takana ja kuinka moduulijako on muodostettu tuotteelle. Se tuo esille myös ne tekijät, jotka aiheuttavat muuntelua tuotteessa ja mitkä ovat ne moduulit, johonka muuntelu kohdistuu. (Pakkanen 2015) Jakologiikka on modulaarisen tuotteen muuntelurakenne (Lehtonen et al. 2019).

Muuntelurakenne siis kuvaa kuinka tuote on jaettu erilaisiin geneerisiin elementteihin (GE) ja mitenkä ne asettuvat tuotteeseen. Eri jakologiikat johtavat eri geneerisiin elementteihin tuotteessa, jotka realisoituvat puolestaan eri moduulitoetuksina tuotteessa (Lehtonen et al. 2019).

Jakologiikan tuoksi on kehitetty tukevia tuoterakenneperiaatteita (Product structuring principles, PSP). PSP:tä tukevat jakologiikan toteutusta valitulla logiikalla ja toimivat täten suunnittelun tukena ohjaten suunnittelua halutun PSP:n mukaiseen tuoterakenteeseen. Esimerkiksi tuotteen jakamista toiminallisiin elementteihin (Function-based elements, FE) tukevia PSPs:tä on:

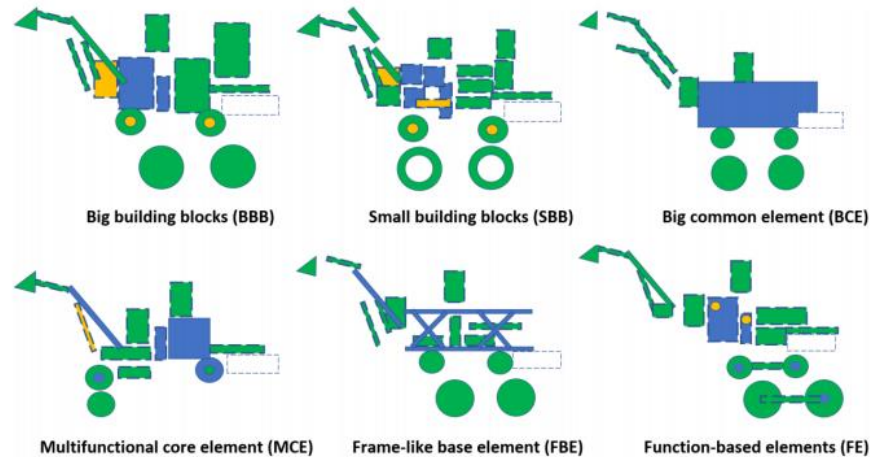
- Kehitä moduuleja, joilla on vain yksi toiminto.
- Lisää tarvittavat letkut, johdot ja putket yksittäiselle moduulille.
- Suunnittele/ käytä yksinkertaisia rajapintoja moduulien välillä.
- Uudelleen suunnittele tuotteen funktiot kokonaisuuksiksi, jotka on helppo asentaa tuotteeseen.
- Uudelleen suunnittele osiot, jotka voivat johtaa tuotteen myynnin laskuun.
- Suunnittele komponentteja/ kokoonpanoja/ moduuleja niin että ne voidaan testata tehtaalla ”plug-and-play”-elementteinä. (MEI-46201 2019)

3.8.2 Jakotyypit

Pakkanen et al. (2020) esittää konferenssi artikkelissaan tuotteen jakologiikasta johdettuja jakotyyppejä. Jakotyypit ovat jakologiikasta johdettuja luonteeltaan perustavia ja tutkittuja tapoja toteuttaa modulaarinen tuoterakenne tunnetulle tuotteelle. Pakkanen et al. (2020) listaavat yliopiston kurssilla käytettyjä jakotyyppejä, joita on sovellettu kurssilla Lego-kauhakuormaimen modulaarisen tuoterakenteen kehittämiseen. Artikkelissa esitetyt modulaarisen tuotteen jakotyypit ovat seuraavat:

1. Big and small building blocks (Baukastensystem)
2. Universal Chassis
3. Product platform
4. Frames of machine and plant units
5. Function based elements.

Artikkelissa. Artikkelin tekijöiden tunnistamat eri jakologiikat on esitetty kuvassa myös kuvassa 14. Kuvasta selviää jakotyyppien tuoterakenne, moduulien jakotapa ja eri moduulit Lego-kauhakuormaimelle.



Kuva 15. Vaihtoehtoisia tapoja jakaa tuote moduuleihin (Pakkanen et al. 2020).

Kuvassa sinisellä kuvatut osat ovat standardiratkaisuja ja vihreällä kuvatut kokonaisuudet vaihdettavia moduuleja. Standardiratkaisut pysyvät samoina kaikissa tuotteen eri konfiguraatioissa. (Pakkanen et. al. 2020)

3.8.3 Moduuli

Moduulin tulee sisältää ja sillä tulee olla määriteltynä moduulijärjestelmän viisi elementtiä ennen kuin sen voidaan sanoa olevan moduuli ja kuuluvan modulaariseen tuotteeseen. (Pakkanen 2015) Lehtonen (2007) määrittelee moduulin kahden vaatimuksen avulla: sillä on määritellyt rajapinnat, jotka määrittävät kuinka se liittyy muihin moduuleihin ja se on osa joukkoa, jotka yhdessä muodostavat moduulijärjestelmän. Moduuli on käsitteenä määritelty kappaleessa 3.7 Modulaarisuus ja moduulit.

3.8.4 Rajapinta

Moduulijärjestelmän rajapinnat kuvaavat tapaa, jolla tuotteen moduulit liittyvät ja vaikuttavat toisiinsa. Rajapinta voi olla yhteinen, kaikki moduulit käyttävät samaa rajapintaa liitännässä, tai rajattu, jolloin rajapinta on käytössä ainoastaan tietyille moduuleille. Rajapinnan tulee olla selkeästi määritelty ja dokumentoitu, jotta sitä voidaan käyttää tehokkaasti moduulien rakenteen suunnittelussa. (Erixon 1998 & Pakkanen 2015) Yleisesti koneensuunnittelussa rajapinnalla käsitetään joko

toiminnallinen tai fyysinen suhde kahden eri liitäntäpinnan välillä, jonka kautta erilliset järjestelmät ovat vuorovaikutuksessa keskenään. (Parslov & Mortensen 2015)

ISO (International Organization for Standardization) määrittelee rajapinnan seuraavanlaisesti:

” A Shared boundary between two functional units, defined by various characteristics pertaining to the functions, physical signal exchanges, and other characteristics.” (ISO 2382-1:1993)

ISO 2382-1: 1993 mukainen määritelmä käsittää rajapinnan kahden toiminnallisen (functional) elementin jaettuna rajana, jonka kautta elementit liittyvät toisiinsa. ISO rajapinta kuvaus antaa ymmärtää, että yhteinen rajapinta on suunnittelukohteeseen siinä missä yksittäinen elementti tai toiminto.

Baldvin ja Clark (2000) määrittelee kirjassaan *Design rules, Volume 1. The Power of Modularity*, että rajapinta on tarkka kuvaus eri moduulien keskinäisestä vuorovaikutuksesta. Rajapintakuvaus sisältää kuvauksen moduulien yhteensopivuudesta, moduulien yhdistämisestä toisiinsa, moduulien välisestä kommunikoinnista ja jne.

Yksi pääsyistä tuotteen huonolle laadulle on tuotteen tunnistamattomat rajapinnat tai huonosti suunnitellut tai määritellyt tuoterajapinnat. Vaikka rajapinnoilla on todettu olevan merkittävä rooli tuotteen suunnittelussa, ei rajapintoja ole paremmin tutkittu suunnittelun näkökulmasta. Rajapintojen sekalaisesta määrittelystä eri alojen välillä voi aiheutua tehottomuutta ja kommunikaatiovirheitä, mitkä heijastuvat tuotteen puutteellisena laatuna tai puutteellisena suorituskykyinä. (Parslov & Mortensen 2015)

Suunnitteluprojektin laatuun vaikuttaa huomattavasti, kuinka hyvin rajapinnat on määritetty. Projektin loppuvaiheessa rajapintojen epämääräinen suunnittelu on yleisin syy koko projektin laadun laskemiselle tai sen kokonaan epäonnistumiselle. Suunnitteluprosessi, missä suunnittelu on osittain päällekkäistä, vaikeuttaa rajapintojen tarkkaa määrittelyä, mikä puolestaan osaltaan kontribuoi projektin laatuun ja onnistumiseen. (Parslov & Mortensen 2015) Projektin onnistumisen kannalta on oleellista tunnistaa tuotteessa esiintyvät rajapinnat mahdollisimman

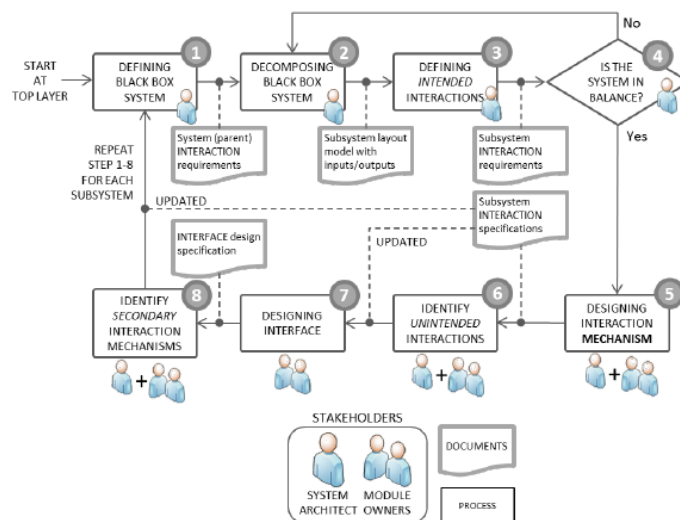
aikaisessa vaiheessa ja laatia riittävä dokumentaatio niistä rajapinnoista, jotka ovat tuotteen toiminnan kannalta oleelliset.

Ullman (1992) toteaa, että suurin osa suunnittelun resursseista toteutuu rajapintojen suunnittelussa kahden komponentin välillä. Rajapinnat ja niiden kautta kulkeva energia tai kuormitus ovat tärkeä osa tuotekehitystä. Ulrich (1995) puolestaan toteaa, että rajapintojen määrittely on tärkeä osa tuotteen arkkitehtuuria ja modulaarista rakennetta.

Erixonin (1998) MFD tukee Ulrichin näkemystä rajapintojen tärkeydestä tuotearkkitehtuurin ja tuotemuuntelun kannalta. Erixon toteaa, että rajapintamäärittelyllä on merkittävä vaikutus lopulliseen tuotteeseen. Erixon suosittelee käyttämään standardirajapintoja tuotteen rajapintojen määrittelyssä. Standardirajapinnat mahdollistavat rajapintojen selkeän rakenteen ja helpottaa niiden hallintaa suunnitteluprosessissa.

Parslov (2016) ehdottaa, että rajapinnat olisivat jo suunnittelun ajureita, jotka ohjaisivat muiden järjestelmän osien ja rakenteiden suunnittelua. Parslovin (2016) esittämä malli rajapintojen suunnitteluun osien ja alikokoonpanojen välillä on esitetty kuvassa 16. Parslov (2016) lähtee liikkeelle rajapintojen suunnittelussa black box-tason määrittelystä kehittämään elementtien välisiä vuorovaikutuksia ja tarkemmin määrittelemään järjestelmän osien välisiä suhteita.

The 8-step approach describes a 'loop' of 8 tasks for one level of decomposition. When having performed the 8 steps, one may decompose each subsystem to the next level and repeat the 8 steps. This is done until a satisfactory level have been reached. See Figure 35.



Kuva 16. Parslov (2016) esittämä kaavio järjestelmän rajapintojen suunnitteluun.

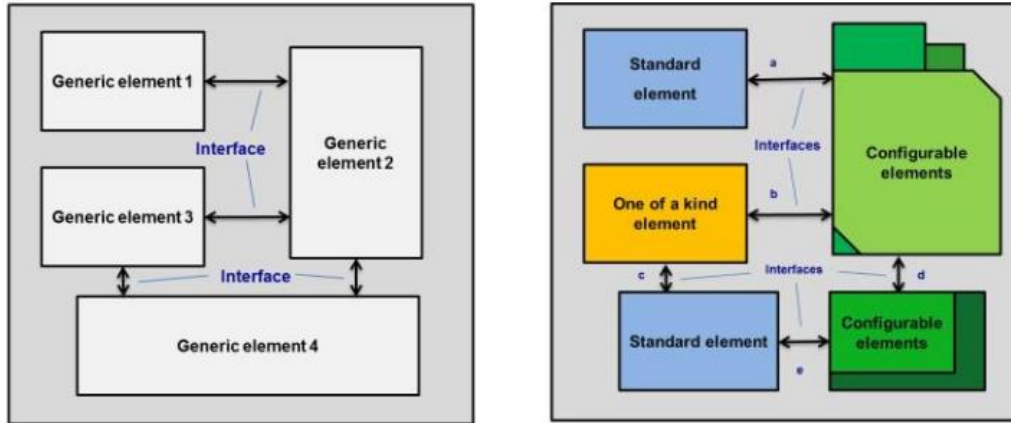
Se kuinka suunnittelija käsittää rajapinnan riippuu suunnittelijan omasta kokemuksesta, käsitteellisestä ja koulutus pohjasta. Eri aloilla rajapinta määritelmät poikkeavat toisistaan ja tämä voi osaltaan aiheuttaa sekaannusta eri alojen edustajien keskuudessa. Tässä työssä rajapinnalla tarkoitetaan kahden moduulin välistä määriteltyä pintaa, jonka kautta moduulit ovat liittyneenä toisiinsa ja vuorovaikutuksessa toistensa kanssa.

3.8.5 Moduuliarkkitehtuuri

Moduuliarkkitehtuuri on kuvaus moduuleista, niiden välisistä vuorovaikutuksista ja rajapinnoista. Moduuliarkkitehtuuri voi olla joko avoin tai suljettu. Avoimessa arkkitehtuurissa tuotteen kaikki rajapinnat on määritelty, mutta kaikkia moduuleja ja niiden kombinaatioita ei tunneta. Puolestaan suljetussa arkkitehtuurissa tunnetaan kaikki moduulit ja moduulien niiden eri kombinaatiot. (Lehtonen 2007 & Pakkanen 2015).

Moduuliarkkitehtuurissa on kuvaus siitä kuinka tuotteen eri elementit sijaitsevat tuotteessa ja mitenkä elementit ovat vuorovaikutuksessa toistensa kanssa. (Lehtonen et al. 2019))

Pakkanen (2015) esittää väitöskirjassaan BfP:n kuvauksessa yksinkertaistetun mallin tuotteen moduuliarkkitehtuurin esittämiseen kuvan 17 mukaisella kaaviolla. Kuvassa tuotteeseen kuuluvat eri elementit on nimetty ja niiden luonnetta kuvattu väreillä. Myös elementtien väliset rajapinnat on merkitty ja nimetty kaaviossa. Kuvasta nähdään selkeästi, mitkä elementit jakavat rajapinnan ja mitenkä elementit sijaitsevat toisiinsa nähden.



Kuva 17. Yksinkertaistettu moduuliarkkitehtuurimalli (Pakkanen 2015).

3.8.6 Konfigurointitieto

Konfiguraatitieto määrittelee moduulien kaikki mahdolliset moduuliyhdistelmät ja moduuleihin kohdistuvat vaatimukset, kuten tuotteessa muuntelua aiheuttavat asiakasvaatimukset. (Pakkanen 2015) Konfigurointitieto on kuvaus siitä, kuinka eri tuotevariaatiot voidaan rakentaa yksittäisistä moduuleista, se on eräänlainen kokoonpano-ohje tuotteelle.

Tuotteen konfigurointitehtävässä asiakkaalle valmistettavan tuotteen moduulit valitaan asiakkaan vaatimusten mukaisesti siten, että moduulikompinaatio täyttää todetun asiakastarpeen. Konfigurointitieto sisältää myös tiedon siitä, mitä moduulikombinaatiot ovat mahdollisia tuoteyksikössä. (Lehtonen et al. 2019)

Konfigurointitiedon esittäminen ymmärrettävässä muodossa voi olla hankalaa kompleksissa tuotejärjestelmissä. Konfigurointitiedon esittämiseen voidaan käyttää muokattua K-matriisia, joka on esitetty BfP:ssä. K-matriisi sisältää tuotteen kaikki mahdolliset elementit ja kohdistaa tunnistetut asiakasvaatimukset elementteihin ennalta määrätyillä merkinnöillä. (Pakkanen 2015). Katso kappale 4.1.7 *STEP 8 – Konfigurointitieto* osana BfP:tä.

3.9 Rajapintojen hallinta

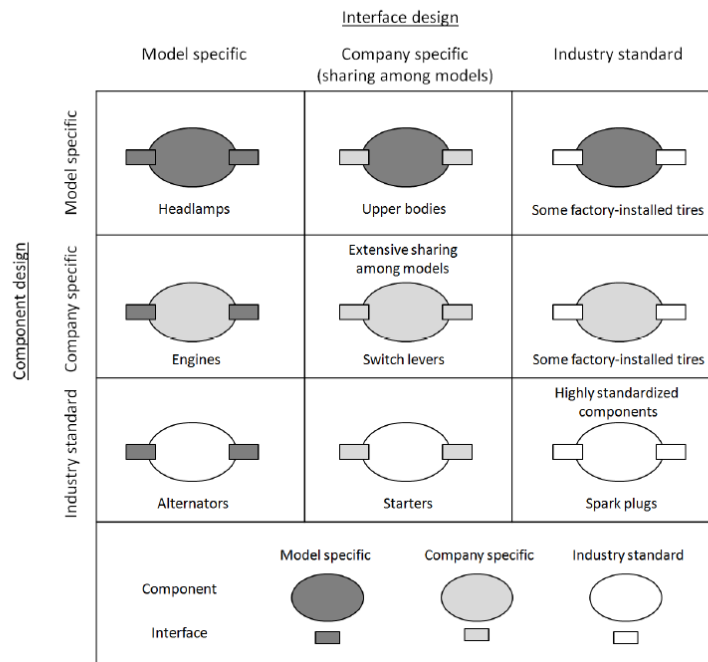
Rajapintojen hallinnalle ei ole varsinaista teoriatietoa saatavilla ja alan kirjallisuudessa rajoitetaan usein määrittelemään rajapinta käsitteenä ilman tarkempaa kuvausta rajapintojen suunnittelusta tai niiden mahdollisesta hallinnasta. Kirjallisuudessa kuvataan, että rajapinnoilla on suuri vaikutus tuotteen suunnittelussa ja

niiden tärkeyttä on korostettu monessa teoksessa, mutta kuitenkin niiden suunnittelusta löytyy vähän aineistoa.

Modulaarisessa tuoteperheessä moduulien väliset rajapinnat vaikuttavat oleellisesti lopulliseen tuotteeseen. Rajapinnat määrittävät lopputuotteen mahdolliset konfiguraatiot: moduulit, jossa on yhteinen määritelty rajapinta, jonka kautta moduulit ovat vaikutuksessa toisiinsa, voidaan liittää yhteen. Rajapintasuunnittelulla on siis merkittävä rooli tuotteen muuntelun ja rakenteen kannalta.

Pakkanen (2015) toteaa väitöskirjassaan, että rajapintojen selkeällä määrittelyllä tuetaan muutoksien tekemistä tuotteeseen tulevaisuudessa asiakastarpeiden täyttämiseksi. Selkeät liitännäraipinnat helpottavat muutosten tekemistä ja uusien moduulien kehittämistä tulevaisuudessa. Pakkanen ehdottaa olemassa olevien elementtien välisten rajapintojen realisoimiseksi design structure-matriisia (DSM), joka sisältää kaikki tuotteessa esiintyvät elementit ja mistä selviää eri elementtien väliset vuorovaikutussuhteet eli rajapinnat. DSM on esitetty tarkemmin BfP:n yhteydessä. DSM liittyy BfP:n kolmanteen vaiheeseen (step 3) – *Geneeriset elementit ja rajapinnat*. Tarkempi rajapintojen määrittely ja dokumentointi on esitetty prosessin vaiheessa 7 (step 7) – *Moduulit ja rajapinnat*.

Työssä on aikaisemmin keskusteltu standardisoinnin tuomista eduista muunneltavissa tuotteissa. Rajapintojen standardisointi on järkevää niissä tuotteissa, missä samoja moduuleja käytetään pitkään ja tuote noudattaa avointa modulaarista arkkitehtuuria.



Kuva 18. Standardikomponenttien eri tasot ja rajapinnat (Fujimoto 2007)

Rajapintoja voidaan standardisoida eri tasoilla. On olemassa kansainvälisiä standardeja, jotka määrittävät eri komponenttien väliset liitännät (Industry standard). Monet sähkölaitteiden ja tiedonsiirtoon käytettävien osien liitännät ovat standardisoituja rajapintoja, esim. USB-portti on sellainen. Rajapintojen standardisoinnilla pyritään työssä aikaisemmin esitettyihin hyötyihin.

Tampereen yliopistolla (vanha Tampereen teknillinen yliopisto) on Moodle-materiaalissa (Lehtonen et al. 2019) esitetty rajapintojen hallinnalle seuraavat perusperiaatteet:

1. Tilanvarausmallit: mallinnetaan tunnetuille moduuleille tilat, jotka kuvaavat moduulin viemää tilaa tuotteessa. Tilanvarausmallit auttavat erityisesti hahmottamaan moduulien dimensiot ja ymmärtämään rajapintojen sijainnin moduulissa.
2. Muutoksen jäädytysvyöhykkeet: Tuotteessa vaihtuvien/ muuttuvien moduulien välillä ei ole yhteistä rajapintaa. Tällöin muuttuvat moduulit eivät ole vuorovaikutuksessa toistensa kanssa ja niiden välistä rajapintaa ei tarvitse suunnitella tai hallita.

3. Dokumentoitu standardisoitu liitäntäpinta: Yleisin rajapintojen hallintatapa, jossa rajapinta on ennalta määritelty vakioratkaisu. Jos tuotteessa on paljon vakioituja rajapintoja voi tuotteen rajapintojen hallinta olla työlästä. Vakioidut rajapinnat lisäävät myös tuotteen ”jäykkyyttä”: Uuden moduulin tulee käyttää samoja rajapintoja tuotteessa.
4. Maxi-malli: Kaikkien vaihtoehtoisten elementtien 3D-mallit sijoitetaan päällekkäin elementtien tilavarauksien ja rajapintojen havainnoimiseksi. Vaatii toimiakseen kokeneen suunnittelijan, joka pystyy huomioimaan kaikki elementtien asettamat rajoitukset tuotteessa. Mallissa ei pystytä huomioimaan tulevia versioita/ elementtejä ja tarkastelu rajoittuu jo olemassa oleviin elementteihin.

Rajapintojen dokumentointi on keskeisessä osassa rajapintojen hallinnassa. Rajapintadokumentoinnissa kirjataan ylös rajapinnalle tyypilliset arvot ja ominaisuudet sekä tarkka kuvaus rajapinnan toiminnasta. Dokumentaatiosta käy ilmi moduulit, jotka liittyvät toisiinsa määritellyn rajapinnan kanssa, ja rajapinnan tyyppi tai luonne. B. Avak (2006) on esittänyt artikkelissaan *Module Sheets For Adapting Modular Product Families*, että moduulien hallinnan kannalta on tärkeää toteuttaa riittävä dokumentaatio, joka määrittelee moduulin tärkeimmät ominaisuudet: moduulin määrittelyn, moduulin rajapinnat, moduulin mahdolliset konfiguraatiot.

B. Avakin (2006) esittämässä dokumentaatiomallissa painottaa Avak rajapintaa tärkeimpänä osana koko dokumentaatiosta. Avak tuo esille, että vaikka rajapinnat ovat tarkkaan määritelty yrityksen teknisissä piirustuksissa ja niistä ei ole saatavilla ”lähtötason”-tietoa.

” The problem is that information on interfaces between modules is hidden and not given explicitly” – B. Avak, Module sheets for adapting modular product families, (2006)

Alla kuvassa 19 on esitetty Avakin laatima esimerkki riittävästä moduulidokumentaatiosta. Avakin mallissa kaikki oleellinen tieto on sisälletty A4-kokoiselle arkille. Oleellista on huomioida se, että dokumentti ei pyri yksityiskohtaisesti määrittelemään moduulia vaan se sisältää moduulin kannalta oleelliset lähtötiedot, joilla

henkilö, joka ei ole aikaisemmin ollut kyseisen moduulin kanssa tekemisessä ymmärtää yksittäisen moduulin pääpiirteet ja kuinka se sijoittuu tuoteperheessä/ moduulijärjestelmässä. (Avak 2006)

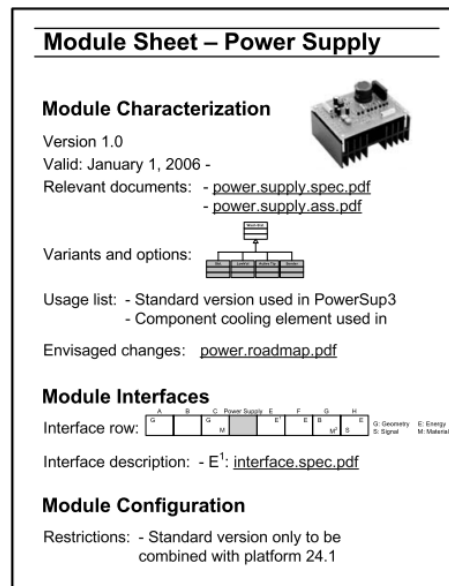


Figure 6. Example of module sheet

Kuva 19. Moduulidokumentaatioarkki (Avak 2006)

Selkeästi toteutettu dokumentaatio takaa moduuleille hyvän jäljitettävyyden, ja auttaa konkretisoimaan moduulin vaatimukset yhdelle arkille. Tämä turvaa rajapintoihin liittyvän tiedon säilyvyyden yrityksessä. Muita etuja, jotka voidaan saavuttaa selkeällä dokumentaatiolla ovat:

- estetään moduulien uudestaan suunnittelu: suunnittelijan on helppo nähdä dokumentaatiosta, mitkä asiat on jo suunniteltu ja onko jo olemassa tarpeen täyttävää moduulia.
- muuntelun hallinta: moduuleja voidaan käyttää eri tuotteiden välillä ja muunnoksien hallinta voi osoittautua hankalaksi, jos moduulikohtaista dokumentaatiota ei ole olemassa. Muunneltavuuden hallinta moduulidokumentaation avulla tuotteen koko elinkaaren aikana turvaa tuotehallinnan toimivuuden. (Avak 2006)

3.10 Benchmark

Benchmarking peruseriaate on prosessi, jonka avulla tunnistetaan yrityksen toimialalla esiintyvät parhaat käytännöt, prosessit, palvelut tai tuotteet, joiden avulla

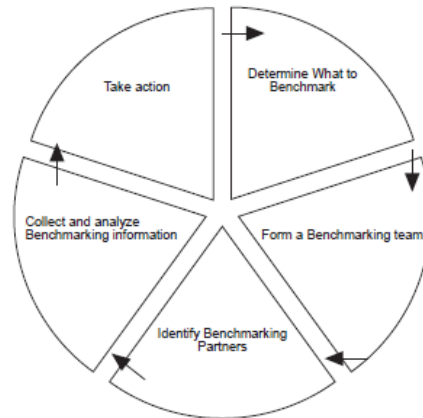
yrittäjien oma tarjonta tai toiminta nostetaan vastaamaan alan parhaimpia (Khurrun & Faizul 1999). Watson (1993) puolestaan esittää benchmarking olevan prosessi, joka vertailee yrityksen yritystoiminnan osaa eri toimijoita kohtaan ilman sidosta alaan. Watsonin kuvaamassa prosessissa benchmark liitetään yrityksen liiketoiminnan eri aloihin, kun puolestaan Khurrun & Faizul keskittyvät tuotteen benchmarkkaukseen.

Benchmarking voidaan yleisellä tasolla jakaa eri luokkiin sen tavoitteiden mukaisesti. Taulukossa 2 on esitetty Khurrun & Faizulin tekemä jako Benchmarking -tyyppien välillä.

Taulukko 2. *Benchmarking ja sen alalajit (Khurrun & Faizul 1999).*

Types	Definitions
Performance benchmarking	It is the comparison of performance measures for the purpose of determining how good our company is as compared to others
Process benchmarking	Methods and processes are compared in an effort to improve the processes in our own company
Strategic benchmarking	The study is undertaken when an attempt is being made to change the strategic direction of the company and the comparison with one's competition in terms of strategy is made
Internal benchmarking	When comparisons are made between departments/divisions of the same company or organization
Competitive benchmarking	Is performed against "best" competition to compare performance and results
Functional benchmarking	A benchmarking study to compare the technology/process in one's own industry or technological area. The purpose of this type of benchmarking to become the best in that technology/process
Generic benchmarking	Comparison of processes against best process operators regardless of industry

Molemmissa itse benchmarking -prosessi noudattaa samaa peruseriaatetta, joka koostuu viidestä eri vaiheesta. Benchmarking prosessina alkaa aina määrittämällä kohde benchmarkkausta varten. Yksityiskohtainen kuvaus kohteesta auttaa tunnistamaan oleelliset osa-alueet ja toimii pohjustuksena tutkimukselle. Benchmarking -tutkimuksen tuloksena on käsitys alan parhaista toimijoista ja heidän käytänteistään. Benchmarking -prosessina päättyy kerätyn tutkimusaineiston soveltamiseen tutkitun ominaisuuden nostamiseksi alan parhaimpien toimijoiden tasolle. (Khurrun & Faizul 1999). Kuvassa 20 on esitetty benchmarking -prosessin eri vaiheet yleisesti.



Kuva 20. Benchmark -prosessin eri vaiheet (Khurrun & Faizul 1999).

Khurrun & Faizul (1999) esittävät benchmarkingin olevan jatkuva prosessi, joka noudattavan PDCA (plan, do, check, act) -mallia. Malli on esitetty kuvassa 20.

Benchmarking -tutkimuksen onnistumisen kannalta on oleellista tunnistaa parhaiten suoriutuva tuote tai prosessi ja ymmärtää, mikä takia tuote on toiminnoiltaan kilpailukykyisin ja suoriutuu paremmin kuin sen kilpailijat. (Renee et al. 2007)

Tuotebenchmarking (eng. functional benchmark) on yrityksen tuotteen vertaamista alan huipputuotteisiin ja niiden attribuuttien ja parametrien tutkimista. Tuotebenchmarking kannalta on oleellista tunnistaa ne tekijät, mitkä tekevät kilpailijan tuotteesta paremman ja soveltaa tutkimuksella saatua tietoa yrityksen oman tuotteen kehittämiseen vastaamaan. Tuotebenchmarkkausta on pitkään harjoitettu mekaniikanalalla uusien tuotteiden kehityksessä ja niiden käyttö suunnittelussa on hyvin vakiintunutta.

3.11 Standardit

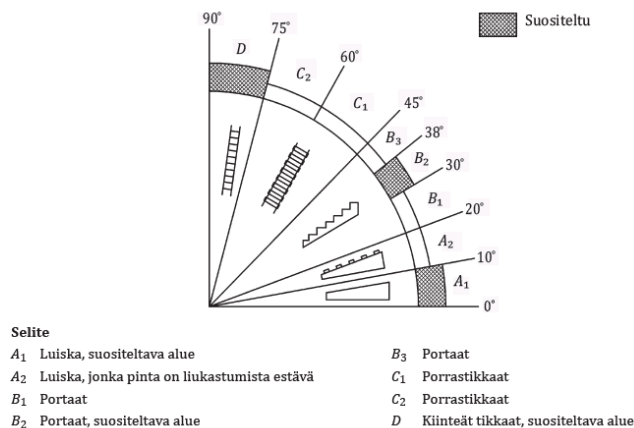
Hoitotasoa ja kiinteille kulkuteille asetetut vaatimukset esitellään yleisellä tasolla konedirektiivissä 2006/42/EY. Konedirektiivissä on kerrottu yleisellä tasolla teollisuudessa esiintyville tasorakenteille oleelliset turvallisuusvaatimukset. (Directive 2006) Tarkemmat vaatimukset tasojen ja kulkuteiden suunnittelulle on kerrottu standardissa SFS-EN ISO 14122. Standardissa SFS-EN ISO 14122 määrittellään koneiden kiinteitä kulkuteitä koskevat vähittäisvaatimukset ja yleiset suunnitteluperiaatteet, joita tulee noudattaa kiinteitä kulkuteitä suunnitellessa. Standardilla varmistetaan, että teollisuudessa esiintyvät kiinteät kulkutiet ja hoitotasot ovat turvallisia käyttäjilleen.

Standardi EN ISO 14122 koostuu seuraavista osista:

- Osa 1: Pääsytien valinta ja yleiset vaatimukset
- Osa 2: Työskentelytasot ja kulkutasot
- Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet
- Osa 4: Kiinteät tikkaat. (SFS-EN ISO 14122 1-4 2016)

3.11.1 Pääsytien valinta ja yleiset vaatimukset

Standardin SFS-EN ISO 14122 osa 1 käsittelee koneiden kiinteiden kulkuteiden valintaan ja rakenteisiin liittyviä vaatimuksia. Standardin 14122 ensimmäisessä osassa on kerrottu yleisesti, mitä yksityiskohtia tulee huomioida kiinteitä kulkuteitä suunnitellessa ja mitä kulkutievaihtoehtoja voidaan käyttää eri ympäristöissä. (SFS-EN ISO 14122-1) Kuvassa 21 on esitetty standardin mukaiset kulkutievaihtoehdot eri nousukulmille.



Kuva 21. Kulkutien valinta nousukulman mukaan. (SFS-EN ISO 14122-1)

Kuvassa on eritelty eri kulkutievaihtoehdoille suositellut nousukulmat kuin myös mini- ja maksimi nousukulmat. Esimerkiksi jos portaiden nousukulma ylittää 45° astetta tulee portaiden sijasta valita nousutieksi portaiden sijasta porrastikkaat.

Standardissa kiinteiden kulkuteiden merkittävimmiksi vaaroiksi on lueteltu: putoaminen, liukastuminen, kaatuminen, käytön fyysinen rasittavuus ja tavaroiden ja esineiden tippuminen. (SFS-EN ISO 14122-1)

Standardissa on määritelty, että tasorakenteiden tulee kestää ennakoitavissa olevat käyttöolosuhteet ja kuormitukset. Standardissa SFS-EN ISO 14122-2 (2016)

on tarkemmin määritelty vähittäiskuormitukset, jotka on huomioitava työskentely- ja kulkutasojen suunnittelussa.

Standardin 14122–1 (2016) mukaan kävelyreittien ja työtasojen mittojen on oltava käytettävissä olevien ihmisten mukaisten mittojen mukaisia ja käyttäjän kanssa kosketuksissa olevat osat ovat suunniteltava niin, ettei niistä aiheudu käyttäjälle vahinkoa tai haittaa. Esimerkiksi tasossa oleva terävä kulma voi aiheuttaa käyttäjälle vaaran, joka voi pahimmillaan aiheuttaa tapaturman.

Ensisijaiseksi kulkutievaihtoehdoksi, aina kuin mahdollista, on valittava kulku maan tasolta tai lattialla, jotta vältetään putoamisen aiheuttamalta riskiltä. Kulkuteiden ja työtasojen käyttäjiä tulee myös varoittaa rakenteiden kestävydestä ja sallituista maksimikuormituksista ja ne tulee merkitä kohtiin, joista on pääsy kulkutielle tai työtasolle. (SFS-EN ISO 14122-1)

3.11.2 Työskentelytasot ja kulkutiet

Standardin 14122 (2016) toisessa osassa on esitetty vähittäisvaatimukset työskentely- ja kulkutasoille, joiden päätarkoitus on saada aikaan kulkutie koneelle. Standardissa määritetään tarkemmin tasojen rakenteen ja materiaalien vaatimukset, sekä käytettävät vähittäissuunnittelukuormat tasorakenteille ja niiden käytettävyyden todentamiselle (SFS-EN ISO 14122-2).

Materiaalien ja rakenteiden suunnittelussa ainakin seuraavat yksityiskohdat tulee huomioida:

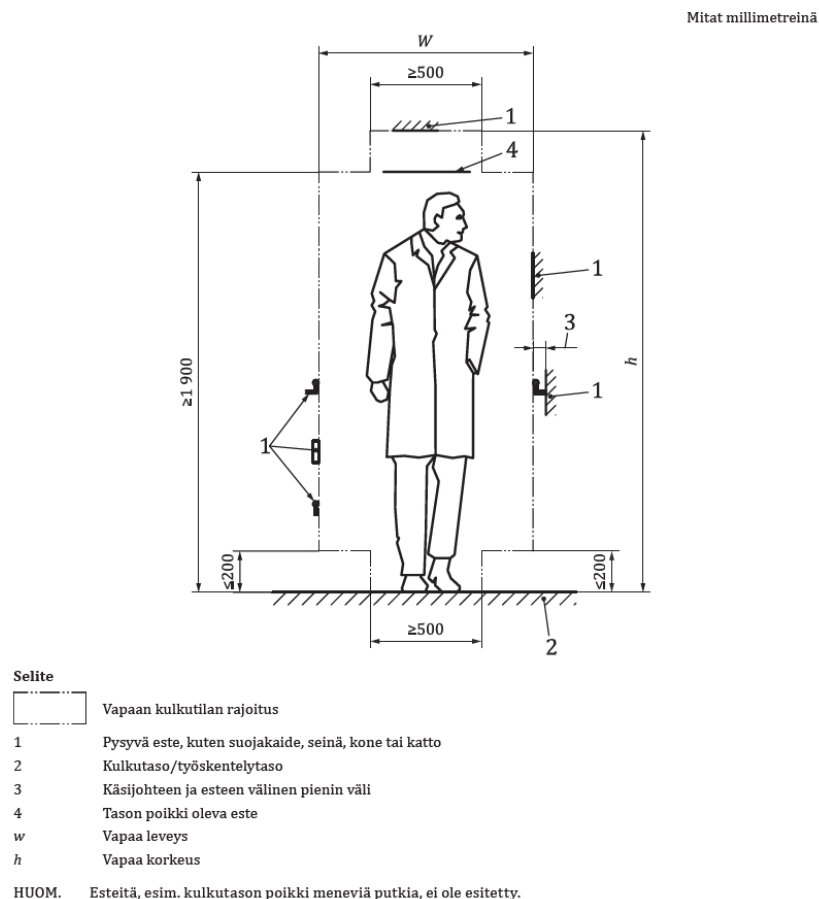
- Työskentely- ja kulkutasot on suunniteltu ja rakennettu estämään putoavista esineistä aiheutuvat vaarat. Jos kulku- tai työskentelytasolta on mahdollista pudota yli 500 mm matka tulee tasot varustaa standardin 14122–3 mukaisilla suojakaiteilla
- Mikä tahansa koneen osa on voitava ottaa pois aina kuin se on käytännössä mahdollista poistamatta suojakaiteita, lattiaelementtejä tai muita pysyviä suojarakenteita (SFS-EN ISO 14122-2)

Puolestaan käyttäjän turvallisen kulkemisen takaamiseksi tulee seuraavat yksityiskohdat huomioida kulkuteiden ja työtasojen suunnittelussa:

- Kävelypinnat ovat pysyviltä ominaisuuksiltaan liukastumista estävät

- Osat, joidenka päällä käyttäjän on käveltävä tai seistävä, on suunniteltava ja varustettava estämään henkilön putoaminen niiltä
- Kulkuteiden ja työtasoilla kulkeminen on suunniteltava siten, että vaaratilanteessa käyttäjä voi nopeasti poistua paikalta tai heitä voidaan tarvittaessa auttaa nopeasti ja evakuoida nopeasti
- Kulkuteihin ja työtasoihin liitetyiden tukirakenteiden käyttäminen on välttämätöntä. (SFS-EN ISO 14122-2)

Standardissa 14122–2 (20016) esitetään vähimmäismitat kulkutielle ja työtasoille. Vähimmäismitoilla taataan käyttäjän turvallinen kulku niin kulkutiellä kuin työtasolla. Standardissa määritelty vapaa leveys tarkoittaa täysin esteetöntä kulkutilaa, joka käyttäjällä tulee olla tasoilla ja kulkuteillä liikuttaessa. Vähimmäisvapaa tilan mitat on esitetty kuvassa 21.



Kuva 22. Vapaan tilan vähimmäismitat (SFS-EN ISO 14122-2)

Käyttäjälle aiheutuvien vahinkojen minimoimiseksi on käyttäjän vapaata tilaa rajoittavat esteet asennettava siten, että ne muodostavat sileän pinnan ilman ulok-

keita. Tarpeelliset suojatoimenpiteet tulee arvioida tapauskohtaisesti ja esimerkiksi käyttäjälle vaaralliset ulokkeet pehmustettava niistä aiheutuva haitan minimoimiseksi. Standardissa suositellaan myös varoituskilpien asentamista tarvittaessa. (SFS-EN ISO 14122-2)

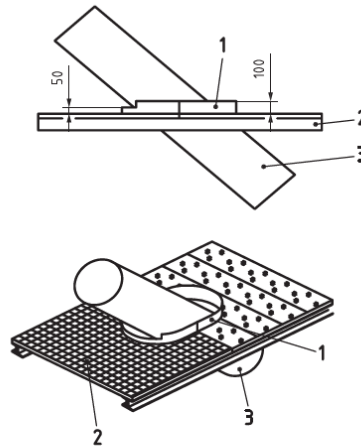
Standardissa 14122–2 (2016) on määritelty kulkutason vapaan leveyden vähimmäismitta seuraavanlaisesti:

- Jos kulkutasoa käyttää tavallisesti useita henkilöitä yhtäaikaisesti, vapaan leveyden on oltava vähintään 1000 mm
- Jos kulkutasoa käyttää tavallisesti yksi henkilö, vapaan leveyden on oltava 800 mm
- Jos kulkutason käyttö on satunnaista, esimerkiksi alle 30 päivää vuodessa tai alle kaksi tuntia päivässä, voidaan vapaa leveys pienentää arvoon 600 mm
- Poikkeuksellisesti vapaa leveys voidaan pienentää arvoon 500 mm 2000 mm matkalla, jos mikään muu vaihtoehto ei ole mahdollinen.

Standardissa 14122–2 (2016) määritellään myös tasojen lattiapinnalle seuraavat vaatimukset, joilla estetään tasolta tippuvan esineen tai työkalun aiheuttama vaara tasopinnan alapuolella työskenteleville henkilöille. Kulkutaso tai työtaso ei saa sisältää aukkoja, joiden läpi pääsee putoamaan halkaisijaltaan 20 mm kuula ja aukon suurin sallittu pituus on 20 mm. Tasoissa, joiden alapuolella ei ole kulkemiseen käytettyä kulkutietä tai työskentely tasoa riittää, ettei taso sisällä suuruudeltaan sellaisia aukkoja, joidenka läpi halkaisijaltaan 35 mm kuula pääsee tippumaan alemmille tasoille.

Tasojen reunoilla oleville aukoille on standardissa 14122–2 määritelty seuraavat vaatimukset estämään tavaroiden tippuminen tasolta: Tason reunalle on asennettava vähintään 100 mm korkea jalkalista tai aukko on pienennettävä täytelevyllä pienempään arvoon kuin 20 mm, jos aukon leveys on enemmän kuin 20 mm. Aukko, joka on kooltaan välillä 20–100 mm tulee asentaa vähintään 100 mm korkea jalkalista. Suuremmille aukoille tulee jalkalistan lisäksi asennettava standardin 14122–3 mukainen suojakaide. (SFS-EN ISO 14122-2)

Mitat millimetrejä



Selite

- 1 Jalkalista
- 2 Työskentelytason tai kulkutason pidennyksen yksityiskohta
- 3 Putki

Kuva 23. Esimerkki mahdollisesta jalkalista tason läpäisevälle putkistolle. (SFS-EN ISO 14122-2)

Kulkutasoille ja työtasolle on standardissa 14122–2 (2016) esitetty vähimmäis-suunnittelukuormat. Tasorakenteen tulee kestää standardin mukaiset vähimmäiskuormitukset sekä ennakoitavissa olevat kuormitukset. Tasoihin kohdistuvia kuormituksia ovat muun muassa seuraavat: tasolla työskentelevien henkilöiden lukumäärä, tasolla työskentelyssä tarvittavien tarvikkeiden, varaosien ja työkalujen massa, rakenteeseen putoamisesta aiheutuvat kuormitukset ja mahdolliset muut pistekuormat, joita työskentely tasolla voi aiheuttaa.

Tasojen mitoitukselle on standardissa määritelty seuraavat kuormitukset, jotka tason tulee kestää ilman liiallista taipumista. Tasolle suurin sallittu taipuma on 1/200 osa tason jännevälstä, kun siihen kohdistuu seuraavat ennakoitavissa olevat kuormitukset:

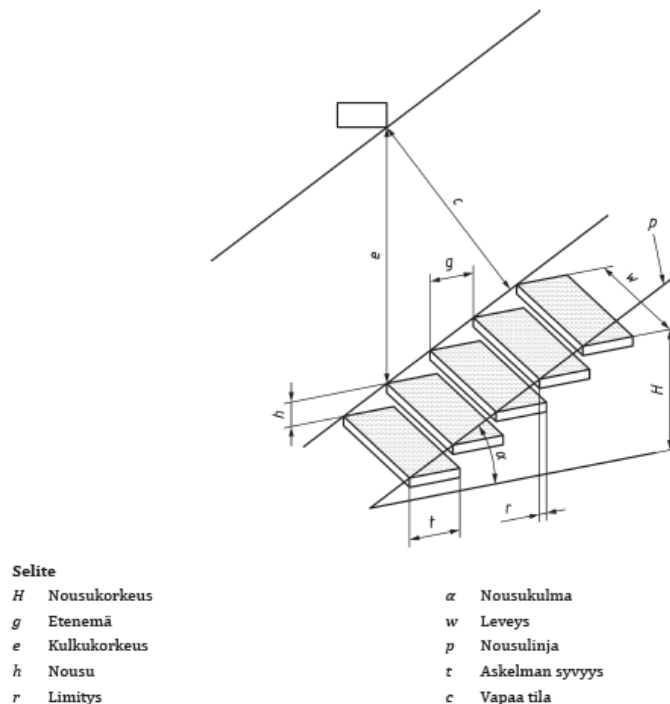
- Rakenteeseen tasaisesti kohdistuva kuormitus 2 kN/m^2
- Tason lattiarakenteelle epäedullisimpaan kohtaan kohdistuva $1,5 \text{ kN}$ suuruinen pistekuorma, joka kohdistuu $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ suuruiselle alueelle.
- Kuormitetun ja sille viereisen kuormittamattoman tason yläpintojen välinen korkeusero ei saa ylittää arvoa 4 mm (SFS-EN ISO 14122-2)

Kulkutasojen ja työtasojen rakeenteellinen lujuus ja jäykkyys on todennettava tarvittavilla laskelmilla ja testeillä (SFS-EN ISO 14122-2).

3.11.3 Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet

Standardissa 14122–3 määritellään portaiden, porrastikkaiden ja suojakaiteiden suunnittelulle vähittäisvaatimukset ja esitetään suunnittelulle tärkeitä yksityiskohtia portaiden, porrastikkaiden ja suojakaiteiden turvallisuuden takaamiseksi. (SFS-EN ISO 14122-3)

Standardissa 14122–3 käsitellään osaltaan jo aikaisemmissa standardin 14122 osissa esiteltyjä yksityiskohtia ja suunnitteluperiaatteita, ja tähän kappaleeseen on koottu vain mainitsematta jääneet yksityiskohdat tai erityistä huomiota kaipaavat asiat. Tekijä luottaa lukijan kykyyn johtaa jo esitetyt asiat myös portaiden, porrastikkaiden ja suojakaiteiden osalta.



Kuva 1 Portaiden ja porrastikkaiden osat

Kuva 24. Portaiden ja porrastikkaiden eri osat (SFS-EN ISO 14122-3).

Portaille on standardissa määritelty erityisvaatimukset, jotka koskevat portaiden nousua, etenemää ja vapaata leveyttä. Portaiden tulee olla standardin 14122–3 mukaiset. Portaille on standardissa 14122–3 annettu portaiden enimmäisnousukorkeus, joka ei saa ylittää arvoa 4000 mm, jos kyseessä on yksisyöksyinen porraskakso. Useammalla syöksyllä oleville porraskaksoille yhden porraskakson nousukorkeus ei saa ylittää arvoa 3000 mm. Portaiden askelmien etenemän tulee olla välillä 210 mm – 310 mm. Portaiden askelmien nousun ja etenemän on täytettävä kaavan 1 mukainen ehto:

$$600 \leq g + 2h \leq 660, \quad (1)$$

missä esiintyvät muuttujat g ja h on esitetty kuvassa 24. Askelmien välisen limityksen on oltava vähintään 10 mm. Sama vaatimus koskee myös portaiden yhteydessä olevia tasanteita ja lattiapintoja. Myös portaiden nousukulman tulee olla vakio ja portaiden nouse ei saa muuttua kesken porraskäytävän. Portaiden vapaa korkeus tulee olla vähintään 2300 mm. Huomiona, että vastaavalle vapaalle korkeudelle tasolla riittää arvo 2100 mm (SFS-EN ISO 14122-3) Portaiden vapaan leveyden vaatimukset vastaavat standardissa 14122–2 esitettyjä vaatimuksia ja niitä ei ole tässä kappaleessa avattu erikseen toiston välttämiseksi.

Portaille standardissa 14122–3 määritetään seuraavat vähimmäiskuormitusvaatimukset portaiden rakenteille, jotka portaikon tulee kestää siten ettei yksittäisen askelman taipuma ylitä arvoa 6 mm tai 1/300 osaa jännevälillä:

- Ilman kuormaa tapahtuvaa jalankulkua kuvaa 1,5 kN/m² suuruinen voima
- Kuorman kanssa tapahtuvaa tai jatkuvaa jalankulkua kuvataan 5 kN/m² suuruinen voima
- Askelman vapaan leveyden ollessa arvoltaan pienempi kuin 1200 mm kuormiteetaan askelmaa 1,5kN suuruisella voimalla 100 mm x 100 mm alueelle siten, että alueen yksi sivu on askelman etureuna
- Askelman vapaan leveyden ollessa arvoltaan suurempi kuin 1200 mm kuormiteetaan askelmaa kahdella 1,5 kN suuruisella voimalla kahdelle 100 mm x 100 mm alueelle, jotka ovat 600 mm etäisyydellä toisistaan. (SFS-EN ISO 14122-3)

Porrastikkaille standardissa 14122–3 noudatetaan osittain samoja periaatteita kuin portaille. Porrastikkailla etenemän on oltava vähintään 80 mm ja askelmien välisen limityksen oltava suurempaa kuin 0 mm. Porrastikkaan nousujen tulee olla taulukon 3 mukaisia. (SFS-EN ISO 14122-3).

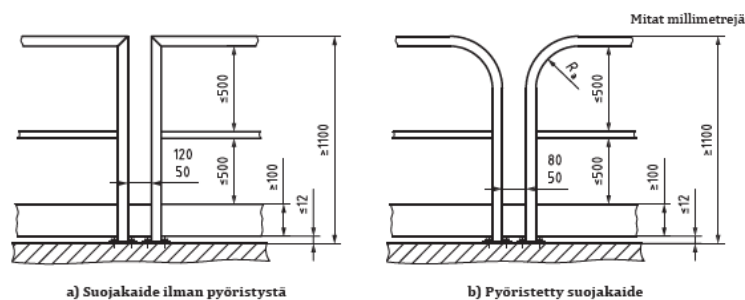
Taulukko 3. *Porrastikkaiden nousun vaatimukset (SFS-EN ISO 14122-3).*

	45° < α ≤ 60°		60° ≤ α ≤ 75°	
	h_1	h_2	h_1	h_2
Vähintään	$0,5 \times h_2$	150	$0,5 \times h_2$	230
Enintään	$h_2 + 15$	200	$h_2 + 40$	300

Toisin kuin portaiden porrastikkaiden vapaan leveyden tulee olla välillä 500–800 mm. Standardissa suositellaan käytettäväksi arvoa 600 mm. Useammalle por-

rasjaksolle tulee harkita mahdollisia lisäturvallisuustoimenpiteitä käyttäjän turvallisuuden takaamiseksi, jotka arvioidaan tapauskohtaisesti. (SFS-EN ISO 14122-3)

Suojakaiteen ensisijainen tehtävä on estää käyttäjän putoaminen yli 500 mm korkeudesta ja sen tulee kestää sille määritelty standardin mukaiset ennakoitavat ja vähittäiskuormitukset. (SFS-EN ISO 14122-3) Kaiteiden käytön tulee olla vaisto- maista ja kaiteen käsijohteen yläpinnan tulee olla korkeudella 1100 mm tai korkeammalla. Käsijohteen ja välijohteen välinen etäisyys ei saa ylittää arvoa 500 mm. Välijohteen ja jalkalistan välinen tila ei saa ylittää arvoa 500 mm. Suojakaiteen pystysuuntaisten kaidetolppien välijohteiden välinen etäisyys ei saa ylittää arvoa 1500 mm (SFS-EN ISO 14122-3) Kuvassa 24 on esitetty kaiteiden vähimmäismitat eri profiileille.



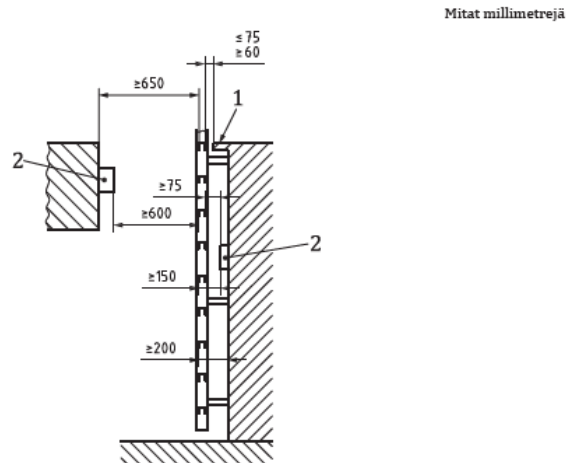
Kuva 25. Suojakaiteiden mitoitus standardin mukaisesti (SFS-EN ISO 14122-3).

Suojakaiteiden kestävyuden todentaminen tapahtuu testaamalla ja tarkempi testausprotokola on esitetty standardin EN ISO 14122-3 kappaleessa 8.2.2 Testaus. Koska standardissa EN ISO 14122-3 ei esitetä suunnittelukuormia, jotka voitaisiin huomioida jo muun muassa suojakaide-elementin suunnittelussa, on työssä jätetty selittämättä suojakaiteiden tarkempi testausprotokola.

3.11.4 Kiinteät tikkaat

Standardissa EN ISO 14122-4 (2016) käsitellään kulkuteinä käytettäviä kiinteitä tikkaita ja niiden suunnittelun vähimmäisvaatimuksia. Standardissa on listattuna yleisimmät suunnittelussa huomioitavat yksityiskohdat niin kaksijohteisille tikkaille kuin yksijohteisille tikkaille. Tässä työssä rajoitumme tarkastelemaan vain kaksijohteisia tikkaita, koska yksijohteisille tikkaille ei ole nähty Merius Oy:ssä tarvetta ja täten ne on rajattu työn ulkopuolelle. Standardissa EN ISO 14122-4

(2016) suositellaan myös ensisijaisesti käyttämään kaksijohteisia tikkaita. Kuvassa 26 on esitetty kaksijohteisen tikkaan perusrakenne ja vähimmäismittoja tikasjakson suunnitteluun.



Selite

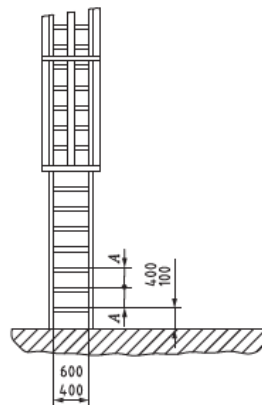
- 1 Saapumisalue
2 Putki, kaapelihylly tai vastaava este

Kuva 26. Tikasjakson mitoitus (EN ISO 14122-4)

5.2.2.2 Puolajako (EN)

Lukuun ottamatta puolajakoa koskevia vaatimuksia lähtöalueella (ks. kohta 5.4.2 ja kuva 8), peräkkäisten puolien välisen etäisyyden, *A*, on oltava vakio ja välillä 225 mm ... 300 mm.

Mitat millimetreinä



Selite

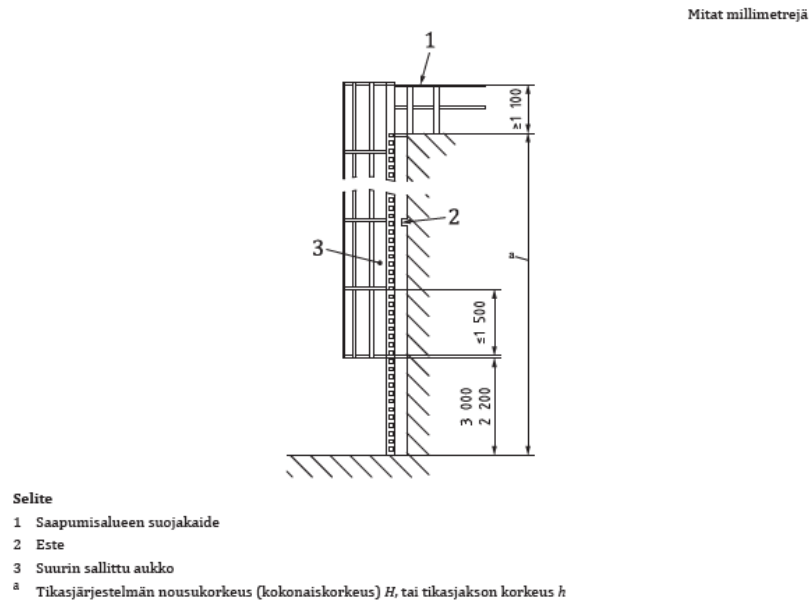
- A* Puolajako

Kuva 27. Tikasjakson mitoitus (EN ISO 14122-4)

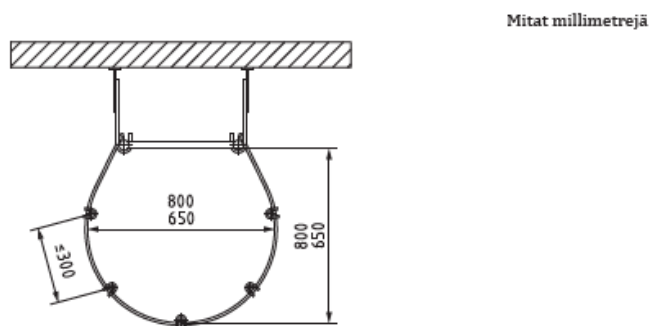
Kuvassa 27 on esitetty standardin mukaisen kaksijohteisen tikkaan puolajaon mitoitus. Tikasjakson ensimmäinen puola tulee olla korkeintaan etäisyydellä, joka on 100–400 mm välillä lähtötasosta. Puolien välinen etäisyys tulee olla vakio ja sen arvon välillä 225–300 mm. Tikasjakson pystyjohteiden välinen etäisyys on oltava välillä 400–600 mm, mutta leveys välillä 300–400 mm on sallittu, jos tikasjakson välittömään ympäristöön ei mahdu 400 mm leveä tikkaat. (EN ISO 14122-

4) Puolien tarkempi muoto on kuvattu standardissa EN ISO 14122-3 sivulla 21: puolan poikkileikkauksen piiri ei saa ylittää arvoa 140 mm ja puolan askelpinnan tulee olla tasainen 20 mm matkalta. (EN ISO 14122-4)

Tikkaisiin asennettava selkäsuojan tulee olla kuvan 28 mukainen. Selkäsuojan tulee alkaa korkeudella, joka on välillä 2200–3000 mm lähtötasosta (EN ISO 14122-4). Selkäsuojan tarkempimitoitus on esitetty kuvassa 29.



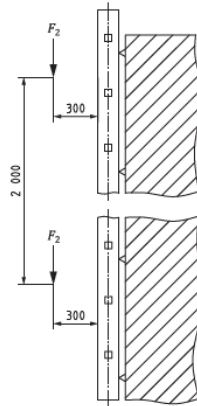
Kuva 28. Tikkaisiin kiinnitettävän selkäsuojan mitoitus (EN ISO 14122-4 s.26)



Kuva 15 Selkäsuojan sisäpuoliset vapaat etäisyydet

Kuva 29. Selkäsuojan kaaren tarkempi mitoitus (EN ISO 14122-4 s.27)

Tikkaiden lujuuden ja jäykkyyden todentamiseksi on tikasjaksolle määritetty seuraavat henkilökuormitusta kuvaavat voimat F_1 ja F_2 , jotka ovat suuruudeltaan 1,5 kN. Kuvassa 30 on esitetty tikasjaksion pystyjohteiden ja puolien lujuuden todentamiseen käytettävä laskentamenetelmä.



c) Pystyjohteisiin kohdistuvat kuormat (kaavamainen esitys)

Selite

F_1 Henkilökuormitusta puolille kuvaava kuorma

F_2 Henkilökuormitusta johteille kuvaava kuorma

Kuva 30. Tikkaiden lujuuden todentaminen (EN ISO 14122-4 s.17)

Tikkaiden lujuuden ja jäyhyyden todentamista testaamalla käsitellään standardin EN ISO 14122-4 kappaleessa 6.2 kaksijohteisten kiinteiden tikkaiden testit. Standardi antaa selkeät ohjeet tikkaiden kestävyys todentamiseksi määritetyllä testausmenetelmällä. Tarkempi testausmenetelmä on esitetty standardissa EN ISO 14122-4 sivuilla 35–37. Tikkaiden tarkempaa testausmenetelmää ei ole tarkemmin käsitelty työssä, koska se voidaan todentaa vasta, kun tikkaat on valmistettu. Tämän takia testausmenetelmän huomioiminen ja vähimmäisvaatimusten todentaminen suunnittelussa on hankalaa.

4. MODULAARISEN TUOTTEEN SUUNNITTELU-PROSESSIT

Jo olemassa olevan tuotteen kehittäminen on yrityksille kannattavampaa silloin kun tiedetään, että tuotteelle on jatkossakin kysyntää, eikä tuote ole tullut elinkaarensa päähän. Modulaarisen tuotteen tuotekehitys sitoo vähemmän resursseja kuin kokonaan uuden tuotteen kehittäminen. Koska modulaarisen rakenteen suunnittelussa voidaan hyödyntää pitkälle jo olemassa olevia rakenteita ja ratkaisuja uudestaan, mikä tehostaa moduulien suunnittelua ja vähentää tarvittavia resursseja.

Modulaariset tuoterakenteet ja niiden kehittäminen tarjoavat yrityksille mahdollisuuden vähentää tuotteessa esiintyviä variaatioita ja vakinaistaa ratkaisuja. Tämä puolestaan korreloi vähentyneinä valmistuskustannuksina. Tämä puolestaan lisää liiketoiminnan kannattavuutta, vaikka yrityksen markkina-alue ei vaihdu.

Kirjallisuudessa on esitetty muutamia eri prosesseja, jotka pyrkivät selittämään modulaarisen tuotteen suunnitteluprosessia ja luomaan viitekehyksen modulaaristen tuotteiden kehittämiseksi. Gunnar Erixon (1998) esittää oman näkemyksensä teoksessa *Modular Function Deployment – A Method for Product Modularization*. Erixonin esittämässä prosessimallissa suunnitteluprosessi koostuu viidestä eri vaiheesta. Erixonin MFD koostuu viidestä vaiheesta:

1. Asiakasvaatimusten määrittely
2. Teknistenratkaisujen valitseminen
3. Konseptien luominen
4. Konseptien arviointi
5. Moduulien kehittäminen.

Pakkanen esittää väitöskirjassaan *Brownfiel Process – A method for the Rationalisation of Existing Product Variety Towards a Modular Product Family* (2015) modulaariselle tuotteelle suunnitteluprosessin, joka koostuu kymmenestä eri vaiheesta. Pakkanen määrittelemä menetelmä noudattaa osittain samoja suunnitteluprosessin vaiheita kuin Erixonin MFD-prosessi. Pakkasen esittelemä BfP täh-

tää jo olemassa olevan tuotteen modulaarisen rakenteen kehittämiseen. BfP käsittelee laajemmin moduulien kehittämistä valitulla jakologiikalla toisin kuin Erixonin esittämä malli, joka rajoittuu jakamaan tuotteen moduuleihin toiminnallisten omaisuuksien mukaan. Molemmille prosessille yhteistä on modulaarisen tuotteen kehittämien jo olemassa oleville tuotteille. MFD keskittyy moduulien luomiseen toiminnallisin perustein toisin kuin BfP, jossa moduulijako pohjautuu enemmän jo olemassa olevien rakenteiden jakamiseen järkeviin kokonaisuuksiin ja moduulijakotapa vaihtelee tapauskohtaisesti. Suunnitteluprosessien peruseriaate on sama: jo olemassa olevan tuotteen jakaminen moduuleihin, jotka ovat vakioitavissa ja täyttävät jo tuotteelle tunnistetut asiakastarpeet.

Seuraavaksi on esitetty jo edellä mainitut modulaarisen tuotteen suunnitteluprosessit jo olemassa oleville tuotteille. Lopuksi esitettyjä suunnitteluprosesseja on vertailtu keskenään ja listattu niiden hyvät ja huonot puolet.

4.1 Brownfield-prosessi (BfP)

Brownfield nimitys johtaa juurensa rakennuslalle uudisrakentamisen saralle, missä Brownfield-nimityksellä tarkoitetaan jo olemassa olevien rakenteiden ja materiaalien uudelleen käyttämistä ja vanhojen rakenteiden vaikutuksen huomioimista uuden suunnittelussa (Pakkanen 2015). Brownfield-suunnitteluprosessi modulaarisille tuoterakenteille esiteltiin ensimmäisen kerran Lehtosen et. al. (2011) artikkelissa ”Brownfield process for developing of product families”. Artikkelissa Lehtonen perustaa BfP-prosessin viiteen eri vaiheeseen seuraavanlaisesti:

6. Liiketoimintaympäristön asettamat tavoitteiden määrittäminen
7. Hahmotelma ehdotetusta modulaarisesta arkkitehtuurista perustuen vanhoihin ratkaisuihin ja komponentteihin.
8. Markkina- ja asiakastarpeiden määrittäminen
9. Modulaarisen arkkitehtuurin luominen mahdollisimman vähäisellä muuntelulla.
10. Valitun arkkitehtuurin perusteiden dokumentointi.

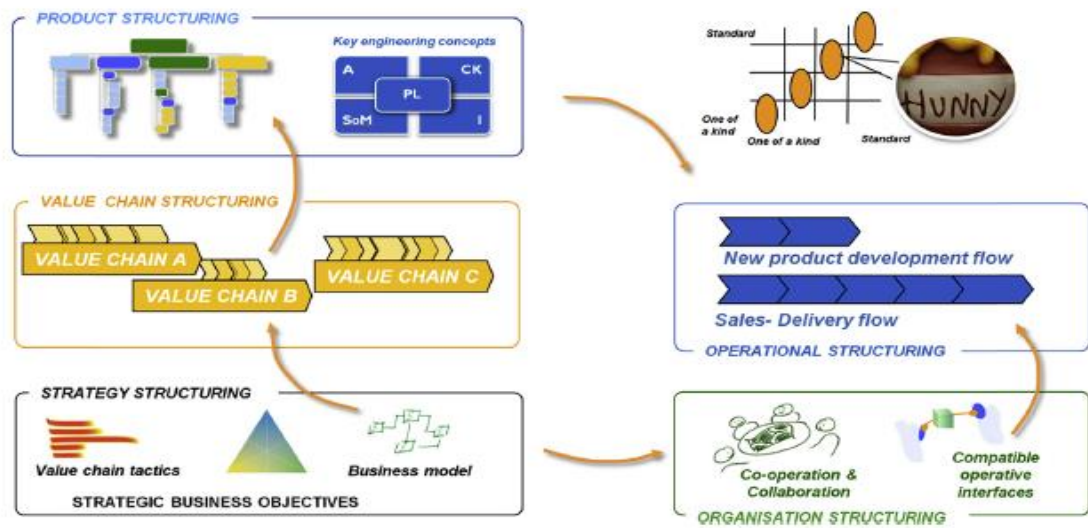
Pakkanen on kehittänyt BfP-prosessia edelleen väitöskirjassaan (2015). Pakkanen esittämässä mallissa suunnitteluprosessi koostuu kymmenestä eri vaiheesta Lehtosen esittämän viiden sijasta. Pakkanen (2015) toteaa uuden jaon perustuvan yksityiskohtaisempaan jakoon prosessin vaiheiden välillä ja hallittavamman

kokonaisuuden aikaansaamiseksi. Vuonna 2016 Pakkanen et. al. julkaisi artikkelin, jossa esitettiin päivitetty BfP-prosessi.

BfP-prosessi on metodi nykyisen tuotevalikoiman rationalisointiin kohti modulaarista tuoteperhettä, joka tukee konfiguroitavaa tuoterakennetta. BfP on suunnattu ensisijaisesti yrityksille, jotka toimivat projektilähtöisesti ja joidenka tuotteet ovat räätälöity asiakkaille ja joidenka suunnittelun uudelleenkäyttöaste on matala. (Pakkanen et. al. 2016 & Pakkanen 2015). Pakkanen sanoja mukailleen on yrityksissä, joissa esiintyy paljon tuotteen asiakaskohtaista räätälöintiä, voidaan jo olemassa olevia tuotteita uudelleenkäyttämällä muodostaa konfiguroitava tuoteperhe, joka mahdollistaa muun muassa nopeamman toimituksen, alhaisemmat valmistuskustannukset, matalamman suunnitteluasteen ja vapauttaa suunnittelu-työtunteja muuhun käyttöön yrityksessä.

BfP koostuu kymmenestä eri vaiheesta, jotka on liitetty modulaarisen rakenteen viiteen eri elementtiin/ suunnittelukonseptiin. Ensimmäisenä vaiheessa (Step1) BfP määritetään liiketoiminnan asettamat vaatimukset ja rajoitteet suunnittelulle, jotka on huomioitava suunnittelussa. Koska BfP pohjautuu jo olemassa olevaa tuotteeseen, on oleellista ymmärtää jo tuotteeseen kohdistuvat liiketoiminnan näkökulmat. Ensimmäisessä vaiheessa pyritään realisoimaan yrityksen syyt modulaarisen tuotteen kehittämiseksi ja tuodaan tieto osaksi suunnittelua. Toisessa vaiheessa (Step 2) luodaan alustava moduulijako, joka koostuu geneerisistä elementeistä. Kolmannessa vaiheessa (step 3) luodaan alustava tuotearkkitehtuuri ja todennetaan geneeristen elementtien välillä olevat rajapinnat. Näiden jälkeen määritellään tuotteen asiakasvaatimukset (step 4). Kun asiakasvaatimukset on määritetty, luodaan alustava tuoteperhe (step 5). Vaiheessa kuusi (step 6) laaditaan alustava konfigurointi tieto: mikä geneerisistä elementeistä tai niiden kombinaatioista täyttää vaiheessa 5 määritellyn asiakastarpeen. Vaiheet 7 ja 8 määrittävät lopullisen moduuliarkkitehtuurin ja viimeisen konfigurointikaavion, joka sisältää itse moduulit ja vaihtelutarpeen (step 7 & 8). Kun lopullinen moduulijako, moduulit ja niiden väliset rajapinnat on suunniteltu, dokumentoidaan luotu aineisto. Dokumentaatio sisältää moduulien kuvaukset, tarkan rajapintamäärittelyn ja tuoteperheen konfigurointiedon. Lopuksi (step 10) todennetaan suunnitellun modulaarisen tuoteperheen vaikutus liiketoimintaan liiketoiminta-analyysillä, business impact analysis. (Pakkanen 2015)

selvät ja yrityksellä ei ole selkeää kuvaa modulaarisuuden tuomista hyödyistä yritykselle. CSL auttaa edelleen määrittelemään tarkemmat tavoitteet modulaarisen tuotteen kehittämiseksi. (Pakkanen 2015)



Kuva 32. Company Strategic Landscape (CLS) viitekehys. (Lehtonen 2007)

Syy-seuraus kaaviota voidaan Pakkanen mukaan käyttää, kun yrityksen tavoitteet modulaarisen tuotteen kehittämiseksi ovat alustavasti selvillä. Syy-seurauskaaviolla voidaan vahvistaa jo alustavasti tiedossa olevat modulaarisen tuoterakenteen tuomat edut yritykselle. Syy-seurauskaavio perustuu kirjallisuustutkimukseen ja kokoaa yhteen yleisesti modulaarisuuden ja konfiguroitavan tuoterakenteen edut yrityksen näkökulmasta. Syy-seurauskaavio tuo esille ongelmien ja hyötyjen välisiä suhteita ja tuo esille alueita, missä voidaan saavuttaa suurimmat hyödyt (Pakkanen 2015, Juuti 2008). Syy-seurauskaavio tuo esille uusia päämääriä ja todentaa jo tiedostetut modulaarisen tuotteen kehityksen päämäärät. Syy-seurauskaavio on esitetty kuvassa 5.

BfP-prosessin ensimmäisessä vaiheessa tuodaan esille moduulijärjestelmän jakologiikka. Ensimmäisen vaiheen tuotokset auttavat määrittelemään kehitettävän tuotteen jakologiikkaa, koska siinä määritellään liiketoiminnan näkökulmasta kehitettävä tuote ja asetetaan sille määritelty tavoite. (Pakkanen 2015)

4.1.2 Geneerinen elementtimalli

BfP:n toisessa vaiheessa määritellään olemassa olevan tuotteen pohjalta alustava moduulijako ja nimetään tuotteelle geneeriset elementit. Jako geneerisiin elementteihin tapahtuu tutkimalla jo olemassa olevan tuotteen rakennetta ja jakamalla tuote sopiviksi elementeiksi. Oleellista on tunnistaa ne osat ja kokonaisuudet, jotka muodostavat valmiin tuotteen. Tuotteen geneerisiin elementteihin jakaminen voidaan tehdä tuotteen funktionaalisten ominaisuuksien mukaan tai tuotteen rakenteen mukaan. Myös muita moduulijakoperiaatteita voidaan käyttää tuotteen jakamisessa geneerisiksi elementeiksi. moduulijakologiikka tulee olla linjassa yrityksen tavoitteiden kanssa. On hyvä huomioida, että geneerinen elementti voi koostua useammasta moduulista. (Pakkanen 2015)

Geneerinen elementtijako on hyvä suorittaa siten, että eri elementtien välillä on mahdollisimman vähän yhteisiä tekijöitä. Geneerinen elementti sisältää sen ratkaisun, mikä täyttää yhden variaation vaatimukset ja se voidaan määrittää yhtenä yksikkönä. Tavoitteena on, että geneeriset elementit jakavat tuotteen osiksi, jotka vastaavat kokonaisuutena asiakaskohtaiseen tuotevaihteluun. (Pakkanen et al. 2016) Vaiheessa määriteltävät elementit ovat abstrakteja ja niitä käsitellään blackbox-tasolla.

Geneeristen elementtien määrittelyyn vaikuttaa myös saatavilla olevat teknologiat. Esimerkiksi, geneerinen elementti voi vaatia toimiakseen teknologiaa, mikä ei ole yrityksen käytössä, tällöin elementtijako täytyy toteuttaa siten, että se on mahdollista toteuttaa jo olemassa olevilla teknologioilla. (Pakkanen et al. 2016) Geneerisen elementin voidaan katsoa olevan moduulin tai moduulien konsepti. (Pakkanen et al. 2016) Vaiheen jälkeen suunnittelijalla on alustava ajatus mahdollisesta moduulijaosta ja siihen liittyvistä geneerisistä elementeistä.

4.1.3 Elementti ja rajapinta-arkkitehtuuri

BfP-prosessin kolmannessa vaiheessa tarkastellaan vaiheessa kaksi määriteltujen geneeristen elementtien välisiä suhteita ja luodaan kuva alustavasta tuoterakenteesta. Vaiheen tavoitteena on tunnistaa elementtien väliset riippuvuussuhteet ja tunnistaa elementtien väliset rajapinnat ja luoda kuva siitä mitenkä elementit sijaitsevat tuotteessa tosiinsa nähden. Rajapintamäärittely on tasoa: on

olemassa tai ei ole olemassa. Vaiheen jälkeen suunnittelijalla on käsitys elementtien välisistä rajapinnoista. Vaiheessa määritelty alustava tuotearkkitehtuuri toimii pohjana lopulliselle moduuliarkkitehtuurille. (Pakkanen 2015)

Pakkanen (2015) suosittelee väitöskirjassaan vaiheessa käytettäväksi Design Structure Matriisia (DSM), jossa on listattuna elementit ja merkattu elementtien väliset riippuvuussuhteet/ rajapinnat. DSM tarjoaa visuaalisemman esitystavan elementtien välisten suhteiden ilmaisemiseksi. Matriisissa elementit on listattu kuvan 33 mukaisesti ja niiden väliset suhteet on ilmaistu ruksilla tai muulla vastaavalla merkillä.

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

Kuva 33. DSM-matriisi (Pakkanen 2015)

Vaiheen tuotoksena suunnittelijalla on tiedossa elementtien väliset suhteet eli rajapinnat ja suunnittelija tunnistaa näiden rajapintojen olemassaolon. Vaiheen tuotokset toimivat pohjana rajapintojen yksityiskohtaisemmalle suunnittelulle. (Pakkanen 2015)

4.1.4 Asiakasvaatimukset ja toimintaympäristö

Prosessin neljännessä vaiheessa tarkastellaan tuotteen käyttäjävaatimuksia ja käyttöolosuhteita. Vaihe määrittelee käyttäjän tuotteelle asettamat vaatimukset ja se sisältää kuvauksen asiakkaan ongelmasta, jonka tuote ratkaisee. Asiakasvaatimusten avulla voidaan määrittää tuotteelle eri konfiguraatiot eri asiakastarpeiden täyttämiseksi. Kun suunnitellaan modulaarista tuoteperhettä jo olevasta tuotteesta, oletetaan, että asiakasvaatimukset tunnetaan jo entuudestaan aikaisemman tuotteen takia. Vaiheen päätavoite on generoida validit asiakasvaatimukset suunnittelua varten (Pakkanen 2015)

Jos asiakasvaatimuksia ei analysoida on konfiguroitavan tuotteen hyödyt vaikea todentaa ja suunnittelussa voi ilmetä puutteita, koska asiakastarpeet ja vaatimukset vaikuttavat osaltaan tuotteen rakenteeseen ja jakologiikkaan. (Pakkanen 2015) Ilman asiakastarpeiden riittävää analysointia voi kehitettävä konfiguroitavan tuotteen variaatiot pois sulkea nämä asiakastarpeet, jolloin tuote ei enää ratkaise asiakkaan ongelmaa.

Pakkanen et al. (2016) ehdottaa tuotevaihtoehtojen tarkastelua asiakkaan näkökulmasta; mitä asiakas haluaa tehdä tuotteella. Ideana on, että vastaamalla asiakaslähtöisiin tuotekonfigurointia koskeviin kysymyksiin, määritellä asiakkaan kannalta sopivin tuotevariaatio.

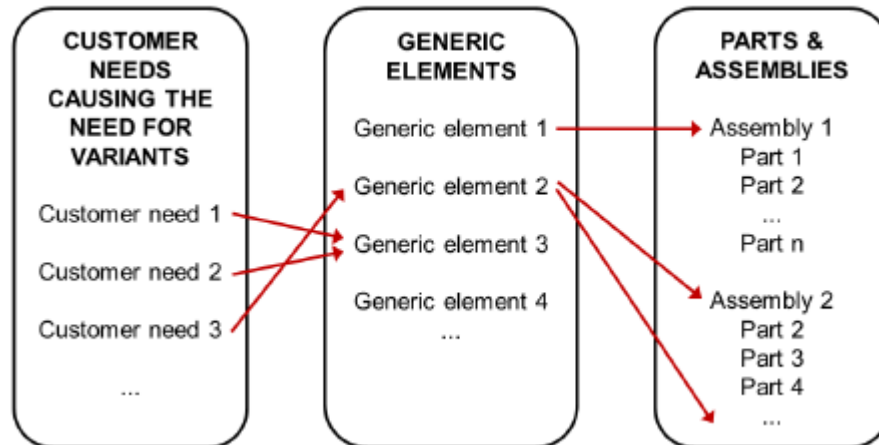
Vaihe edistää lähinnä modulaarisen tuoteperheen jakologiikkaa, koska sen tulokset ovat välttämättömiä moduulien rakennetta koskevassa päätöksenteossa ja vaiheen tarkoituksena on nimetä vähimmäismäärä moduuleja, jotka täyttävät tuotteen variointitarpeet BfP-prosessin myöhemmissä vaiheissa. (Pakkanen 2015)

4.1.5 Alustava tuoteperhemääritelmä

BfP:n viides vaiheessa jatketaan kehitettävän tuoteperheen rakenteen kehittämistä myöhempiä vaiheita varten. Alustava tuoteperhekuvaus listaa ja tuo esille asiakastarpeet, jotka aiheuttavat tuotevariaatioita, generisten elementtien ja generisten elementtien osien ja kokoonpanojen väliset suhteet. Viidennessä BfP prosessivaiheessa analysoidaan standardisoitavien osien ja kokoonpanojen mahdollisuuksia geneerisissä elementeissä. Vaiheen asiakasnäkökulma sisältää ne asiakasvaatimusluokat, jotka aiheuttavat tuotteen variointitarpeet. Asiakastarpeet määritettiin BfP:n vaiheessa neljä (step 4). Geneeriset elementit on määritetty BfP:n vaiheessa kaksi (step 2). (Pakkanen 2015)

Pakkanen kertoo Harloun (2006) esittämän *Product Family Master Plan* (PFMP) –kaavion sopivan BfP vaiheen työkaluksi pienillä muutoksilla. Pakkanen esittämä PFMP kaavio on esitetty kuvassa 34. Kaaviossa on esitetty vasemmalla puolella tuotevariaatiota aiheuttavat asiakastarpeet, keskellä modulaarisen tuoteperheen alustavat geneeriset elementit ja oikeassa laidassa osat ja kokoonpanot, jotka sisältyvät geneerisiin elementteihin. Näiden välisiä suhteita on kuvattu punaisilla nuolilla. Esimerkiksi Kuvasta 34 voidaan todeta, että asiakastarpeeseen kolme

vastaava geneerinen elementti on numero kaksi (Generic element 2) ja tämä geneerinen elementti koostuu muun muassa kokoonpanosta numero 2 (Assembly 2). (Pakkanen 2015 & Pakkanen et al. 2016)



Kuva 34. Muokattu PFMP-kaavio BfP:n tarpeisiin. (Pakkanen 2015)

PFMP-kaavio auttaa suunnittelijaa realisoimaan asiakkaan, geneeristen elementtien ja osien ja kokoonpanojen välisiä suhteita. Pakkanen et al. (2016) kertovat geneeristen elementtien, joihin ei liity yhtään asiakastarvetta olevan potentiaalisia vaihtoehtoja standardisointia varten. Kun toisaalta elementtien, joihin liittyy monta eri asiakastarvetta, olevan haaste moduloinnille. Toisaalta ne geneeriset elementit, jotka koostuvat lähes standardiosista ovat hyvä vaihtoehtoja moduuleiksi. Moduloinnin kannalta voidaan BfP tässä vaiheessa tehdä alustavaa jakoa eri elementtityyppien välille, joita ovat: standardi-, konfiguroitava-, one of a kind- ja osittain konfiguroitavaelementti. (Pakkanen et al. 2016)

Pakkanen (2015) huomauttaa, että monimuotoisuuden hallinta korostuu tässä vaiheessa, koska voidaan katsoa, että järjestelmän monimutkaisuus on suoraan verrannollinen geneeristen elementtien ja niiden välisten suhteiden lukumäärään. On helpompi hallita ja kehittää modulaarista järjestelmää, jossa geneeristen elementtien lukumäärä on kohtuullinen. (Pakkanen 2015)

BfP:n viides vaihe kontribuoi tuoteperheen alustavaan rakenteeseen kuin myös moduulijärjestelmän suunnitteluelementteihin; jakologiikka, joukkoon moduuleja ja konfigurointitietoon. (Pakkanen 2015)

Kuva 35. Muokattu K-matriisi. (Pakkanen 2015)

BfP-vaiheen jälkeen on tiedossa mikä geneerinen elementti täyttää minkäkin asiakasvaatimusten. BfP vaiheessa kuusi (step 6) määriteltyä tietoa tarvitaan vaiheessa seitsemän (step 7), jossa määritellään lopulliset moduulit ja niiden väliset rajapinnat geneeristen elementtien pohjalta. (Pakkanen 2015)

4.1.7 Moduulien ja rajapintojen modulaarinen arkkitehtuuri

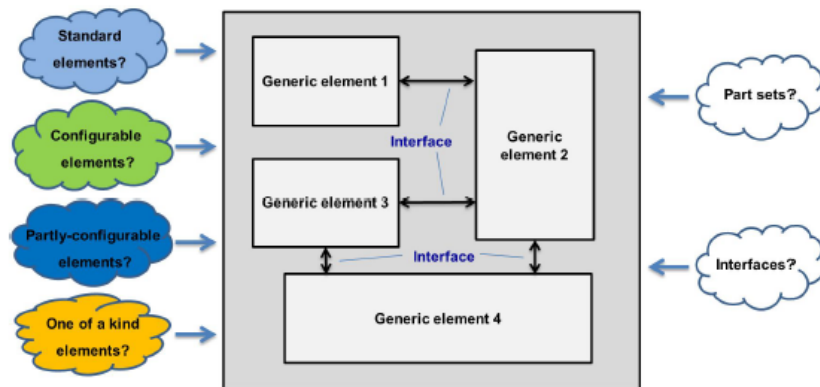
BfP seitsemännessä vaiheessa määritellään modulaarisen tuoteperheen arkkitehtuuri määrittelemällä käytettävät moduulit ja niiden rajapinnat. Aikaisemmissa vaiheissa määriteltyä tietoa käytetään tarkemman moduulien ja rajapintojen tarkemmassa määrittelyssä. Vaihe seitsemän aloitetaan jo tunnistettujen geneeristen elementtien kategorisoimisella seuraaviin luokkiin elementin perusrakenteen mukaisesti:

1. Vakio elementti: elementti pysyy samana kaikissa tuoteperheen vaihtoehdoissa
2. Konfiguroitava elementti: yrityksen sisällä vakioidut vaihtoehdot moduulit eri asiakasvaatimusten täyttämiseksi
3. Osittain konfiguroitavat elementit: elementti, joka sisältää niin vakio ja konfiguroitavien elementtien lisäksi one of a kind-tyyppisiä ratkaisuja.
4. One of a kind elementti: räätälöity ratkaisu yksittäisen asiakastarpeen täyttämiseksi. Pakkanen (2015)

Elementtien luonteen määrittelyssä on hyvä pyrkiä käyttämään vakio tai konfiguroitavia elementtejä, koska ne tukevat modulaarista tuoterakennetta. Tapauksissa, missä asiakasvaatimuksen täyttävää elementtiä ei voida toteuttaa joko vakio tai konfiguroitavien elementtien avulla, tulee miettiä toista mahdollista elementtijakoa, joka täyttää asiakastarpeen. Vaihtoehtoinen elementtijako voidaan muun muassa luoda jakamalla geneerinen elementti pienemmiksi kokonaisuuksiksi, jotka voidaan jakaa vakio tai konfiguroitavia elementteihin. One of a kind tyyppisten elementtien lukumäärä ja käyttö tulee minimoida, koska ne ei tue suunnittelun uudelleen käyttöä. (Pakkanen 2015)

BfP seitsemännessä vaiheessa tavoitteena on määrittellä elementit tarkemmin moduuleiksi seuraavien vaiheiden avulla: tuoteperheen vakioitu osuus, tuoteperheen muunneltava osuus, Geneeristen elementtien osien ja modulaarisen tuoteperheen arkkitehtuurin tarkasteleminen. (Pakkanen et al. 2016)

Kuvassa 36 on esitetty BfP seitsemännän vaiheen alun avonaiset kysymykset, joihin vastataan vaiheessa. Kuvassa esitetty myös vaihtoehtoinen tapa moduulirakenteen ja moduulien tyyppien esittämiseen.



Kuva 36. Geneeristen elementtien ja niiden rajapintojen tarkempi määrittely. (Pakkanen 2015)

Oleellista BfP:n seitsemännelle vaiheelle on kokonaisuuden tarkastelu, onko suunniteltu moduuli arkkitehtuuri järkevä ja tukeeko se tuotteen modulaarista rakennetta. Moduuli arkkitehtuuri on tärkeä tekijä modularisaatiossa, koska se mahdollistaa konfiguroitavan kokoonpanon edut. Vakioitujen rajapintojen ovat myös keskeisessä roolissa modulaarisen arkkitehtuurin suunnittelussa. Vakio rajapinnat mahdollistavat moduulien vaihtamisen ja vähentää moduulien välisiä riippuvuussuhteita. Tuoteperheen arkkitehtuurin hahmottaminen ja ymmärtäminen auttaa suunnittelun kannalta oleellisten rajapintojen tunnistamista sekä eri ratkaisujen tilavarausten ymmärtämisessä. Tämän takia BfP seitsemäs vaihe keskittyy moduulien ja niiden välisten rajapintojen määrittelyyn. (Pakkanen 2015)

Vaiheen seitsemän tuotoksia tarvitaan BfP-prosessin loppuissa vaiheissa, joissa määritellään viimeinen konfigurointitieto, dokumentoidaan tuoteperhe ja todennetaan modulaarisuudella saavutetut liiketoiminnalliset hyödyt. (Pakkanen 2015)

4.1.8 Konfigurointitieto

BfP-prosessin kahdeksannessa vaiheessa luodaan lopullinen konfigurointitieto tuoteperheestä. Lopullisen konfiguraatitiedon pohjana toimii prosessin aikaisemmissa vaiheissa määritelty suunnittelutieto, BfP:n vaihe kuusi, johonka lisätään vaiheessa seitsemän tarkemmin määritellyt geneeriset elementit/ moduuliratkaisut. (Pakkanen 2015)

Pakanen (2015) ehdottaa väitöskirjassaan BfP aikaisemmassa vaiheessa alustavasti määritellyn muokatun K-matriisin täydentämistä seitsemännen vaiheen moduuliratkaisuilla/ elementeillä. K-matriisiin täydennetään kunkin elementin tyyppi ja merkataan minkä asiakastarpeen kyseinen elementti täyttää. Kuvassa 37 on esitetty muokattu K-matriisi (Pakkanen 2015)

Modified K-Matrix (configuration knowledge matrix)

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

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

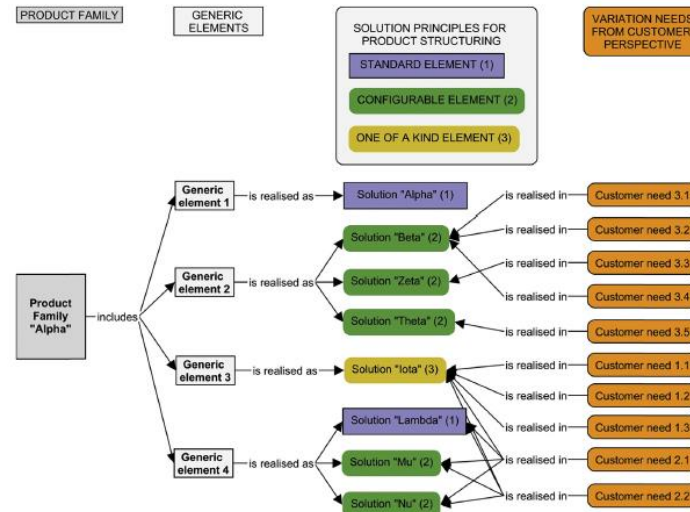
Kuva 37. Muokattu K-matriisi ja lopullinen konfigurointitieto. (Pakkanen 2015)

Yhteen vetona BfP:n kahdeksannesta vaiheesta: kahdeksannes vaihe yhdistää vaiheissa kuusi määritellyn alustavan konfiguraatitiedon ja vaiheessa seitsemän tarkemmin geneerisistä elementeistä määritellyt moduuliratkaisut. Lopputuloksena on kaavio, josta ilmenee kaikki moduuliratkaisut ja ne asiakastarpeet, jotka tuoteperheen tulee täyttää. BfP:n kahdeksasvaihe kontribuoi moduulijärjestelmän elementeistä konfigurointitietoon. (Pakkanen 2015)

4.1.9 Tuoteperheen jakotavan dokumentointi

Moduulien suunnittelun ja viimeisimmän konfigurointitiedon määrittämisen jälkeen BfP: yhdeksännessä vaiheessa tuodaan esille suunnitteluketju, joka sisältää modulaarisen tuoteperheen elementti, elementtien tyypit ja ratkaisuperiaatteet niiden takana. Tätä ketjua voidaan mallintaa Product Structuring Blue Print-kaaviolla (PSBP). Vaiheessa yhdeksän keskitytään konfiguroinnin sijasta visuaalisesti tuotehierarkia ja ratkaisut eri moduuleille. (Pakkanen et al. 2016) Kuvassa

38 esitetty PSBP kaavio, jossa on nimettynä tuoteperhe, tuoteperheen eri elementit, eri elementtien ratkaisuperiaatteet tuoterakenteen näkökulmasta ja eri variaatiot asiakasnäkökulmasta. (Pakkanen 2015)



Kuva 38. Product Structuring Blueprint-kaavio. (Pakkanen 2015)

Kuvasta 38 nähdään, kuinka asiakastarpeet on yhdistetty teknisiin ratkaisuihin ja mitkä tekniset ratkaisut toteutuvat missäkin geneerisessä elementissä. BfP:n esittämässä PSBP-kaaviossa on esitetty kunkin ratkaisun tyyppi värikoodilla, elementtien eri ratkaisutyypit esitettiin BfP:n vaiheessa seitsemän. (Pakkanen 2015)

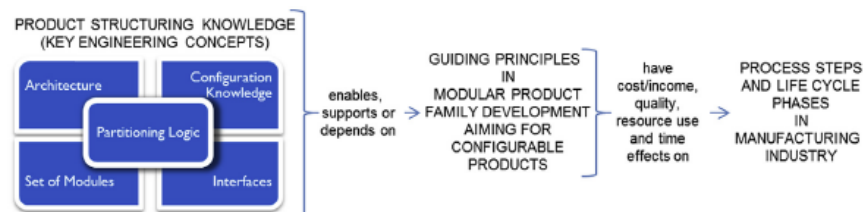
BfP:n yhdeksäs vaihe kontribuoi moduulijärjestelmän viidestä elementistä jakotapaan ja siinä luodaan tuoteperheen jakotavan dokumentointi, joka esittää visuaalisesti suunnittelun päättelyketjun ja tuoteperheen jakologiikan. (Pakkanen 2015). Pakkanen (2015) toteaa myös PSBP-kaavion tukevan suunnittelutyötä ja kasvattavan suunnittelun uudelleenkäyttöastetta, koska se tuo esille päättelyketjun suunnittelun taustalla. Tuoteperheen dokumentaatio on myös tärkeä osa tuoteperheen hallintaa, esimerkiksi teknologioiden kehitys voi johtaa jo olemassa olevan teknologian korvaamiseen tuoteperheessä, dokumentaation avulla voidaan nopeasti tunnistaa ne elementit ja variaatiotarpeet, joihin teknologian vaihtaminen vaikuttaa tuoteperheessä. (Pakkanen 2015)

4.1.10 Liiketoiminta vaikutusanalyysi

BfP:n kymmenennessä vaiheessa analysoidaan modulaarisen tuoteperheen liiketoiminnallisia vaikutuksia. Tuoteperheen tarkastelulla liiketoiminnan näkökulmasta pyritään todentamaan modulaarisudella tuoterakenteella saavutetut edut

ja määrittämään lopullisen tuoteperheen kilpailukykyisyys. Liiketoiminnan kannalta on oleellista myös tarkastella; saavutettiin modulaariselle tuoteperheelle asetetut tavoitteet BfP prosessin alkuvaiheessa. (Pakkanen 2015)

Liiketoiminta-analyysi suorittamiseksi on BfP:ssä ehdotettu Business Impact Analysis (BIA) työkalua. BIA:n tarkoitus on toimia nopeana ja helppona lähestymistapana karkean arvion tuottamiseksi saavutetuista voitoista. Kuvassa 39 on esitetty BfP:ssä määritelty BIA viitekehys pääpiirteittäin. (Pakkanen et al. 2016)



Kuva 39. Business Analysis Impact perusidea. (Pakkanen 2015)

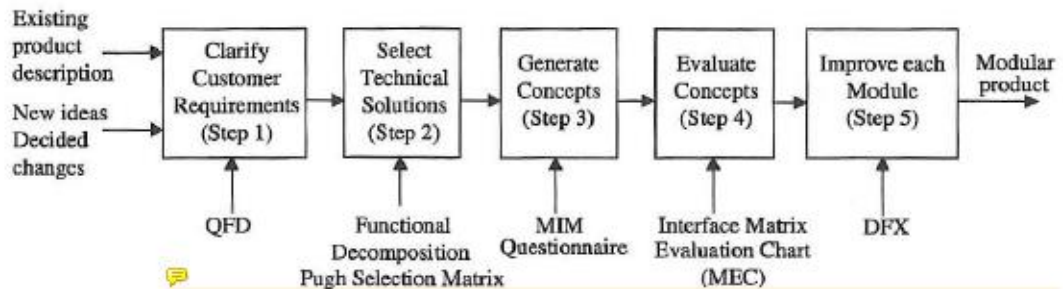
Kuvasta nähdään, että BIA koostuu kolmesta eri osa-alueesta: moduulijärjestelmän elementit, modulaarisen tuoteperheen suunnittelun pääperiaatteet ja tuotteen elinkaaren vaiheet valmistavassa teollisuudessa. BIA:n analyysi pohjautuu kysymyksiin, jotka liittyvät modulaarisuuden ja prosessin eri vaiheisiin. Tarkoituksena on kysymysten avulla analysoida eri osa-alueiden välisiä yhteyksiä ja luokitella tunnistetut yhteydet niiden tyyppiin ja saavutetun hyödyn mukaan. BfP:ssä yhteyksien tyypeiksi on annettu: kustanne, laatu, resurssien käyttö ja aika. Koska BIA on tarkoitettu helpoksi ja nopeaksi työkaluksi tuoteperheen liiketoiminnallisen vaikutuksen analysoimiseksi käsitellään BIA työkalussa rahamääriä kymmenpotenssien tarkkuudella. (Pakkala et al. 2016 & Pakkanen 2015)

BfP:n kymmenennen vaiheen tuloksena on BIA-analyysi, joka arvio karkeasti onnistuneen modulaarisen tuoteperheen kehitysprojektin vaikutuksia kohde yrityksen liiketoimintaan. On hyvä muistaa, että analyysin tekemisen lähtökohtana on oletus, että molemmat sekä modulaarisen tuoteperheen kehitysprojekti että toiminnallisten ongelmien ratkaiseminen onnistuvat. (Pakkanen 2015)

4.2 Modular Function Deployment (MFD)

Ericson kehittämä Modular Function Deployment -modulaarisen tuotteen suunnitteluprosessi on suoraviivainen prosessikuvaus modulaarisen tuotteen luomisesta jo olemassa olevan tuotteen pohjalta. Ericson avaa prosessia väitöskirjassaan:”

Modular Function Deployment – A method for Product Modularization (1998). Erixonin modulaarisen tuotteen kehitysprosessin vaiheet, lähtötiedot ja eri vaiheissa suositellut työkalut on esitetty Kuvassa 40, MFD pääpiirteittäin. (Erixon 1998)



Kuva 40. MFD pääpiirteittäin (Erixon 1998)

Erixon (1998) esittää modulaarisen rakenteen lyhentävän tuotteen läpimenoaika ja tuo esille ajan säästön vaikutukset. Erixon korostaa, että modulaarisella tuoterakenteella voidaan pienentää tarvittavia tuotantoresursseja, parantaa laatua ja taata lyhyempi toimitusaika. Erixon määrittelee modulaarisuuden olevan jo olemassa tuotteen jakamista rakennuspalikoihin (moduuleihin), joilla on määritelty rajapinta ja joidenka jako perustuu yrityksen tarpeisiin.

Erixonin esittämä systemaattinen menetelmä MFD sisältää viisi vaihetta, vaiheet on esitetty kuvassa 40. Kuvasta nähdään, että MFD:n lähtötietona toimii aikaisempi tuotetieto/-kuvaus ja MFD:n tarkoituksena on kehittää modulaarinen tuote jo olemassa olevan tuotteen pohjalta. MFD alkaa prosessina asiakasvaatimusten määrittelyllä. Asiakkaan tunnistamisen jälkeen valitaan ne tekniset ratkaisut, jotka toteuttavat alussa tunnistetut asiakastarpeet. Teknologioiden jälkeen MFD:ssä määritellään alustavat konseptit, jonka jälkeen vaiheessa neljä arvioidaan vaiheessa kolme luodut konseptit viimeistä vaihetta varten. MFD viidennessä vaiheessa jatkokehitetään edellisestä vaiheesta jatkoon valitut konseptit valmiiksi moduuleiksi. MFD mukaiseen suunnitteluun kuuluu, että prosessissa iteroidaan eri vaihtoehtoja ja prosessissa voidaan pala edelliseen vaiheeseen sopivan ratkaisun kehittämiseksi. (Erixon 1998) Seuraavaksi on määritelty tarkemmin Erixon esittämän Modular Function Deployment-prosessin eri vaiheet.

4.2.1 Asiakastarpeiden selventäminen

MFD:n ensimmäisessä vaiheessa tuodaan esille jo yrityksen moduloitavalle tuotteelle asetetut asiakasvaatimukset. Ericson on esittänyt käytettäväksi asiakasvaatimusten ja muiden suunnitteluperiaatteiden rationalisoimiseksi käytettävän Quality Function Deployment (QFD) -matriisia. QFD-matriisi on esitetty kuvassa 41, Quality Function Deployment.

		"How"						
		Modularity						
"What"	Customer "wants"					○		
		●						
			⊗				●	
		●		⊗				
		●						
		⊗		○		●		⊗
Sum:		30	-	4	3	10	9	3

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

Figure 5.2 QFD with "modularity" as the first design requirement.

Kuva 41. Quality Function Deployment. (Ericson 1998)

Matriisissa on kuvattu riveillä mitä asiakas haluaa ja sarakkeissa on kuvattu mitä muita suunnitteluvaatimuksia tuotteeseen kohdistuu. Ericson on ehdottanut näiden välisten suhteiden luokittelua seuraavanlaisesti: heikko, kohtalainen vahva. QFD auttaa ymmärtämään mitkä asiakasvaatimukset liittyvät muihin suunnitteluvaatimukseen ja se tuo myös esille mitkä vaatimuksista olisi hyviä vaihtoehtoja moduuleiksi. (Ericson 1998)

4.2.2 Teknisten ratkaisujen valinta

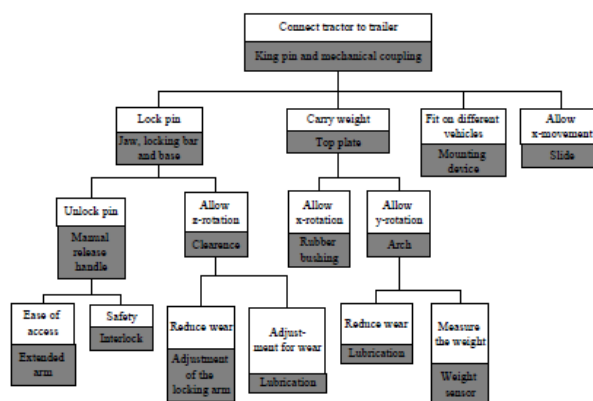
MFD:n toisessa vaiheessa haetaan ne tekniset ratkaisut, jotka täyttävät tuotteen funktionaaliset vaatimukset. Ericson ehdottaa tuotteen jakamista eri elementeiksi tuotteen funktioiden eli toimintojen mukaan. Ericsonin (1998) mukaan tuotteen jakaminen sen funktioiden mukaan tukee tuotteen moduulijakoa. Ericson tukee väitteittensä viittaamalla Suh:in (1990) esittämään matriisiin. Kuvassa 42 on esitetty yksinkertaistettu suunnittelumatriisi, josta käy ilmi tuotteen toiminta ja toiminnon toteuttamiseen käytetty tekninen ratkaisu.

Function	Technical solution					
	Hub assembly	Spindel assembly	Brake assembly	Spring assembly	Shock absorber	Axle beam
Steer vehicle	X	X				
Allow rotation	X					
Brake vehicle	X	X	X			
Provide isolation				X	X	
Carry vehicle load	X	X	X			X

Kuva 42. Design matrix (Suh 90) Erixonin(1998) esittämänä.

Erixon (1998) jakaa myös tunnistetut funktiot asiakastarpeen mukaan. Ne toiminnot, jotka realisoituvat asiakastarpeessa muodostavat oman ryhmänsä ja ne toiminnot, jotka eivät liity asiakastarpeisiin muodostavat puolestaan toisen ryhmän. Erixonin (1998) mukaan ne toiminnot, jotka realisoituvat monessa eri asiakastarpeessa ovat hyvä kohteita vakioinnille.

Kompleksisissa tuotteissa tai teknisissä järjestelmissä on hyvä järjestää tuotteessa esiintyvät toiminnot ja sopivat tekniset ratkaisut hierarkian mukaan. Hierarkiakaavioista selviää sekä tuotteen osien ja teknisen ratkaisun väliset riippuvuus-suhteet että niiden välinen tuotehierarkia. Hierarkiakaaviolla suunnittelija saa paremman kokonaiskuvan suunnittelukohteesta. Mahdollinen kaaviorakenne hierarkian, toimintojen ja teknisten ratkaisujen esittämiseksi on esitetty kuvassa 43.



Kuva 43. Hierarkiakaavio. (Erixon 1998)

4.2.3 Alustava konseptisuunnittelu

MFD:n kolmannessa vaiheessa kehitetään alustavia moduulikonsepteja aikaisempien vaiheiden pohjalta. Erixon listaa kolmannessa vaiheessa moduloinnin

taustasyitä eli miksi yritys haluaa kehittää modulaarista tuoterakennetta ja mitkä ovat yrityksen tavoitteet, joihinka pyritään modulaarisuuden avulla. Erixon esittelee väitöskirjassaan 12 eri modulaarisuuden ajuria, jotka liittyvät kuuteen eri pääaiheeseen. Pääaiheet ovat: Tuotekehitys ja tuotesuunnittelu, variaatiot, tuotanto, laatu, osto ja myynti. (Erixon 1998). Konseptisuunnittelussa tuodaan esille ne syyt modulaarisen tuoterakenteen kehittämisen takana ja kohdennetaan tavoitteet modulaariselle tuotteelle.

Erixon (1998) käyttää moduuliajureita tuotteen funktioiden modulaarisuuden vaikutuksen arviointiin. Moduuliajurit toimivat systemaattisen arvioinnin pohjana, jolla tarkastellaan tuotteen funktioita ja sen osien alifunktioita. Kolmannen vaiheen tuoksi Erixon ehdottaa käytettävän Modular Indication Matrix (MIM) – matriisia. MIM-matriisi on esitetty kuvassa 44.

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

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

Kuva 44. MIM-matriisi. (Erixon 1998)

MIM-matriisissa tuotteen jokainen funktio ja alifunktiot on arvioita moduuliajurien avulla. Jos tuotteen funktio korreloi vahvasti moduuliajuria, on se hyvä vaihtoehto moduuliksi. Jos puolestaan funktioon ei liity ajuria, on se huono vaihtoehto moduuliksi ja se voidaan todennäköisesti yhdistää toiseen funktioon. Ennen kuin funktioita liitetään toisiinsa, on tärkeä todeta ettei niiden moduuliajurit ole keskenään ristiriidassa. Tällaisten funktioiden integroimista toisiinsa tulee välttää. MIM:in tarkoitus on olla systemaattinen työkalu mahdollisten moduulien realisointiseksi tunnetuista tuotteen funktioista. MFD:n kolmanteen vaiheeseen vaikuttaa etenkin suunnittelutiimin kokemus ja tiimityöskentely. Suunnittelutiimi tekee pää-

tökset eri teknisten ratkaisujen liittämistä ja moduulien muodostamisesta. Kokematon suunnittelutiimi voi muodostaa moduulikokonaisuuksia, jotka eivät ole mahdollisia toteuttaa tai eivät ole muuten järkeviä kokonaisuuksia. (Erixon 1998)

Erixon (1998) toteaa myös, että on olemassa ideaaliluku moduulien lukumäärälle, jolloin moduulien valmistusaika ja moduuleista koostuvan tuotteen kokoamiseen kuluva aika ovat tasapainossa. Ideaali lukumäärä moduuleja saadaan, kun moduulien lukumäärä vastaa kokoonpanon eri vaiheiden neliöjuurta. (Erixon 1998)

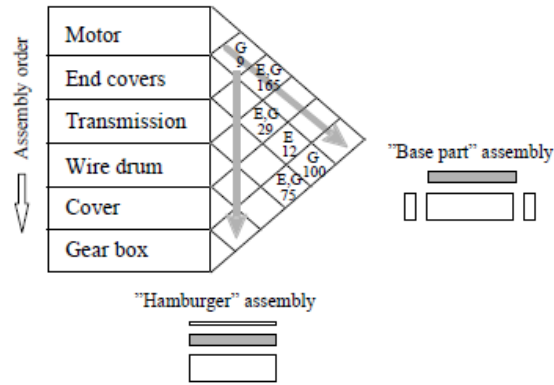
MFD kolmas vaihe kontribuoi eniten lopullisiin moduuleihin ja tulee täten tehdä huolella. Kolmannessa vaiheessa luodaan pohja moduulien tarkemmalle suunnittelulle MFD:n neljännessä vaiheessa.

4.2.4 Konseptien arviointi

MFD:n neljäs vaihe pyrkii arvioimaan edellisessä vaiheessa kehitettyjen konseptien vaikutusta niin tuotteeseen kuin tuotantoon. (Erixon 1998) MFD:n neljännen vaiheen tavoite on vastata seuraaviin kysymyksiin, jotka tarkentavat konsepteja ja auttavat valitsemaan tuotteen kannalta sopivimmat konseptit niiden jatkokehitystä varten.

- Mitkä ovat ne konseptit, jotka täyttävät määritetyt funktiot?
- Mikä on valitun konseptin vaikutus lopputuotteeseen ja tuotantoon?
- Onko konsepti parempi kuin jo olemassa oleva ei modulaarinen ratkaisu?

Neljännen vaiheen moduulikonseptien arviointi tulee aloittaa tarkastelemalla moduulien välisiä rajapintoja. Erixon toteaa, että moduulien välisillä rajapinnoilla on merkittävä vaikutus lopulliseen tuotteeseen ja tuotevalikoiman joustavuuteen. Suunniteltujen rajapintojen tulee olla sellaisia, että ne voidaan helposti määrittellä ja niiden tulee pysyä samoina tiukavälin ajan. (Erixon 1998) Kuvassa 45, on esitetty Erixonin ehdottama matriisi rajapintojen määrittelyyn kokoonpanojärjestyksen mukaisesti. Kuvassa kirjaimella G merkataan geometrista-rajapintaa ja kirjaimella E energistä-rajapintaa.



Kuva 45. Erixonin rajapintamatriisi. (Erixon 1998)

Kuvaan on myös merkitty kokoonpanoperiaate sen mukaan, kuinka tuote kootaan. Kokoonpanon etenemisjärjestys on kuvassa ylhäältä alaspäin. Hampurilaismallia noudatetaan, kun rajapinnat asettuvat vertikaalisti päällekkäin ja perusosan-periaatetta puolestaan silloin, kun rajapinnat asettuvat matriisissa viistosti toisiinsa nähden. Niitä rajapintoja, jotka eivät asetu kuvan osoittamalla tavalla kokoonpanoperiaatteiden kanssa linjaan, tulee välttää mahdollisuuksien mukaan. (Erixon 1998)

Rajapintojen arviointi toimi lähtökohtana moduulikonseptien arvioinnissa. Pelkkä rajapintaan perustuva arviointi ei anna kokonaiskuvaa moduulien vaikutuksesta liiketoimintaan ja tuotantoon. Moduulikonseptien laajempaa arviota varten Erixon (1988) tuo esille hyvän modulaarisen suunnittelun tekijöitä, joita ovat muun muassa tuotteen läpimenoaika ja variaatioiden joustavuus. (Erixon 1998) Kuvassa 46 on esitetty hyvän modulaarisen tuotteen ominaisuuksia.

Effects (life phases)	Product characteristics	Metrics/rules
Development		
1. Lead time in development	Interface complexity	Metric
2. Development costs	Share of carry over	Rule
3. Development capacity	Share of purchased modules	Rule
Assembly		
4. Product costs	Assortment complexity	Metric
5. System costs	Share of purchased modules	Rule
6. Lead time	Number of modules in product	Metric
7. Quality	Share of separately tested modules	Metric
Sales/After sales		
8. Variant flexibility	Multiple-use	Metric
9. Service/Upgrading	Functional purity in modules	Rule
10. Recyclability	Material purity in modules	Rule

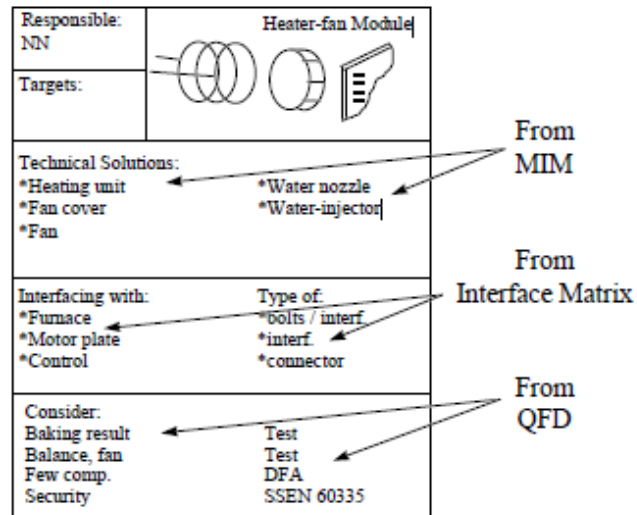
Kuva 46. Hyvän modulaarisen suunnittelun sääntöjä. (Erixon 1998)

Yhteenvedona MFD:n toiseksi viimeisessä vaiheessa pyritään arvioimaan aikaisemmassa vaiheessa tuotettujen moduulikonseptien mahdollista potentiaalia lopullisina moduulivaihtoehtoina ja valitsemaan potentiaalisimmat konseptit lisäkehitystä varten. (Erixon 1998)

4.2.5 Moduulien kehittäminen

Modular Function Deployment -prosessin viidennessä ja viimeisessä vaiheessa keskitytään aikaisemmissa vaiheissa määriteltyjen moduulikonseptien viimeistelyyn ja kehittämiseen. MFD:n viides vaihe hyödyntää erityisesti vaiheessa kolme tehtyä MIM-matriisia. MIM-matriisista nähdään moduulille kohdistuvat suunnittelun moduuliajurit, jotka toimivat viidennessä vaiheessa suunnitteluperiaatteina. Oleellista on hyödyntää aikaisemmissa vaiheissa tuotettua materiaalia moduulien lopullisessa suunnittelussa. Erixon (1998) esittää MIM-matriisin kontribuoivan suunnitteluperiaatteisiin. Rajapintamatriisin avulla nähdään yksittäiseen moduuliin liittyvät kokonaisuudet ja niihin liitetyt vaatimukset.

MFD:n viidennessä vaiheen osana toteutetaan tarvittava dokumentaatio. Erixon (1998) esittää dokumentoinnin tapahtuvan moduulikohtaisesti siten, että jokaiselle moduulille annetaan nimi, moduulin vastuuhenkilöt, sen kohderyhmän, moduulissa käytetyt tekniset ratkaisut, moduulin rajapinnat ja mahdolliset muut huomiot. Kuvassa 47 on Erixonin (1998) esittämä yksinkertaistettu moduulidokumentaatio. Kuvassa on esitetty myös, mistä MFD:n vaiheesta kyseinen tieto on saatu dokumentointia varten.



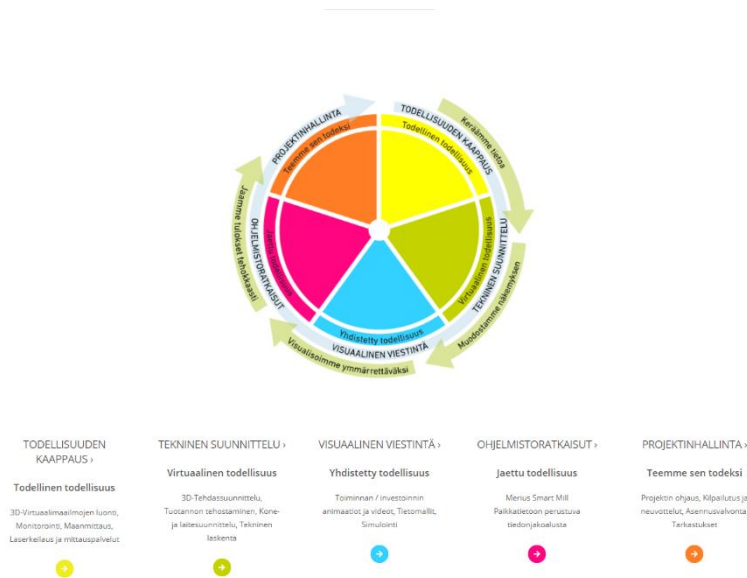
Kuva 47. Moduulidokumentaatio arkki. (Erixon 1998)

5. MERIUS OY

Merius Oy on vuonna 2003 perustettu asiantuntijaorganisaatio, joka toimii nykyään neljällä eri paikkakunnalla. Meriuksen päätoimipaikka sijaitsee Kokkolassa, Keski-Pohjanmaalla. Merius Oy tuottaa asiantuntijaorganisaationa laajasti palveluita teollisuuden erilaisiin suunnittelutehtäviin kuin myös todellisuuden kaappauksen palveluihin. (Merius 2020) Meriuksen ydinosasta on erilaisten 3D-virtuaalisointitekniikoiden avulla tapahtuva todellisuuden kaappaus ja kaapatun aineiston hyödyntäminen suunnittelussa. Meriuksen arvoja on asiakkaan ilahduttaminen ja asiakaslähtöisyys, uteliaisuus ja innostuminen ja oppiminen ja yhdessä onnistuminen (Merius 2020).

Merius on aina toimittanut teräsrakenneratkaisuja teollisuuteen ja yrityksen sisällä on tunnustettu tarve kehittää yrityksen teräsrakenteiden suunnittelua, etenkin työskentelytasojen ja kulkuteiden osalta. Merius pyrkii tämän tutkimuksen avulla tehostamaan suunnittelua modulaaristen rakenteiden avulla.

Teemme ison kuvan ymmärrettäväksi



Kuva 48. Merius Oy:n tarjoamat palvelut kokonaisuudessaan (Merius 2020)

5.1 Hoitotasojen ja kulkuteiden suunnittelun nykytilanne

Nykytilanteessa yrityksessä suunnitellut teräsrakenteet ja niihin liittyvien tasorakenteiden suunnittelu on melkein aina ollut asiakaskohtaista ja aikaisempia ratkaisuja ei ole juurikaan hyödynnetty suunnittelussa. Uuden tasorakenteen suunnittelu aloitetaan aina alusta, vaikka suunniteltavat työtasot ja kulkutiet ovat rakenteeltaan hyvin samanlaisia eri asiakkaiden kesken ja toteutetut ratkaisut eivät poikkea huomattavasti toisistaan. Toteutettuihin ratkaisuihin kohdistuu asiakkaiden kesken yleisesti samat asiakasvaatimukset ja standardit. Koska teollisuuden tasorakenteille on määrätty standardissa ISO-EN 14112:2016 vähittäisvaatimukset työskentelytasojen ja kulkuteiden suunnittelulle, on suunniteltavat tasot senkin osalta hyvin samankaltaisia. Ainoastaan poikkeukselliset asiakastoiveet eli one-of-kind-ratkaisut ovat poikkeavia toteutuksia, jotka vaativat aina uusien ratkaisujen kehittämistä myös tulevaisuudessa.

Yrityksessä voidaan todeta suunnittelun uudelleenkäyttöasteen olevan alhainen ja suunnittelun uudelleenkäyttöastetta nostamalla halutaan kehittää yrityksen suunnittelutoimintaa liiketoiminnan näkökulmasta kannattavampaan suuntaan.

5.2 Merius Oy:n tavoitteet projektille

Yrityksen tavoite projektille on vähentää teollisuuden tasorakenteisiin, työskentelytasot ja kulkutiet, kuluvia suunnitteluresursseja. Modulaarisen rakenteen avulla pyritään täyttämään tunnistetut asiakastarpeet ja tarjoamaan yhtenäisiä ratkaisuja, joiden elinkaarta voidaan hallita entistä paremmin. Moduuliajattelun takana on myös tavoite tarjota tuotteelle pidempi elinikä moduulien vaihtomahdollisuuden avulla. Moduulien vaihtamisen halutaan olevan mahdollisimman yksinkertaista, joka tukee ajatusta, että kokonaan uuden tasorakenteen sijaan voidaan korvata huonokuntoinen moduuli uudella moduulilla tarvittaessa. Modulaarisella tuoterakenteella pyritään lisäämään myös rakenteiden yhdistettävyyttä. Yhdistettävyydellä tavoitellaan uusien ja jo olemassa olevien rakenteiden helppoa liitettävyyttä. Ilman vakioituja rajapintoja ei uuden ja vanhan yhdistäminen ole mahdollista

Onnistuessaan projektilla halutaan vähintään saavuttaa 10 prosenttiyksikön säästö tasoihin kuluvista suunnittelutunneista ja luoda selkeä kokonaisuus, joka tukee tasorakenteiden suunnittelua ja käyttöä.

6. TAPAUSTUTKIMUS

Seuraavissa kappaleissa on esitetty tapaustutkimuksen kokeellinen osa , jossa kohdeyrityksen tuotteelle kehitetään alustava modulaarinen tuoterakenne käyttäen valittua suunnitteluprosessia. Ensimmäisessä kappaleessa käydään läpi perusteluita valitun suunnitteluprosessin takana ja määritellään modulaarisen tuotteen kehitykselle selkeät tavoitteet. Seuraavaksi on esitetty modulaarisen tuotteen kehitysprosessia tuotteelle. Tutkimuksen lopuksi on tuotu esille tutkimuksen aikana esille nousseita huomioita.

6.1 Valittu prosessi ja perustelut

Tutkimuksen teoriaosuudessa esiteltiin kaksi suunnitteluprosessia modulaariselle rakenteelle: Pakkasen kehittämä BfP ja Erixon kehittämä MFD. Molemmissa prosesseissa modulaarista tuoterakennetta lähetään kehittämään jo olemassa olevan tuotteen pohjalta. Erixon (1998) määrittelee MFD-mallissa moduulien luomisen olevan vain tuotteen jakamista moduuleihin eri moduuliajuriin avulla. BfP puolestaan jakaa tuotteen generisiin elementteihin siten, että tuotteelle asetetut asiakaslähtöiset muuntelutarpeet toteutuvat. Tuotteen jako generisiin elementteihin noudattaa valittua jakologiikkaa.

Vaikka molempien suunnittelumallien lähtökohdat ovat samankaltaiset on mal-leissa huomattavia eroja. MFD pyrkii nopealla prosessilla realisoimaan mahdolliset moduulit ja niiden väliset rajapinnat ja suurin osa työstä mene lopullisten moduulien muodostamiseen iteroinnin avulla. BfP:ssä puolestaan perehdytään tarkemmin syihin modulaarisen tuoterakenteen kehittämisen takana ja luodaan pohja, jonka avulla geneerisistä elementeistä muodostetaan valmiita moduuleja. BfP -mallissa huomioidaan myös tuotteen konfigurointi laajemmin ja tuotteelle muodostetaan huomattava määrä monen tasoista konfigurointitietoa, Konfigurointitieto auttaa niin suunnittelijaa kuin markkinointia muodostamaan mahdollisia tuoterakenteita olemassa olevista moduuleista. BfP:n ja MFD:n mallien vertaillessa on helppo muodostaa johtopäätös, että BfP-malli tarjoaa laajemman katsauksen syihin modulaarisen rakenteen kehittämisen takana, kun MFD puoles-

taan tarjoaa hyvin suoraviivaisen tavan jakaa jo olemassa oleva tuote moduuleihin. Molemmassa malleissa yhteistä puolestaan on rajapintojen tutkiminen. Rajapinnat ovat oleellinen osa moduulia ja ilman riittävää rajapintasuunnittelua ei modulaarisuudella tavoiteltua massaräätälöintiä ole mahdollista toteuttaa.

Kaiken kaikkiaan BfP-prosessin selkeämmät vaiheet ja kattavampi rakenne tuntuvat paremmin määritellyiltä ja Pakkasen et al. (2016) artikkelissa esittämä tapaututkimus vakuuttaa BfP-mallin toimivuudesta. Konfiguroinnilla on myös merkittävä osa BfP-mallin valikoitumisella tämän tutkimuksen modulaarisen tuoterakenteen kehitysmalliksi. Laaja määrä yksityiskohtaista konfigurointitietoa auttaa tutkimuksen kohdeyritystä muodostamaan selkeän kuvan moduulien käytöstä ja mahdollista tuotevariaatioista. Tämä on kohdeyrityksen kannalta merkittävää, koska tutkimuksen osatavoitteena on yhdenmukaistaa teollisuuden työskentelytasojen ja hoitotasojen rakennetta rajojen sallimissa määrissä.

BfP on myös esitetyistä suunnitteluprosesseista uudempi. BfP:tä on kehitetty Tampereen Yliopiston tutkijoiden ja professorien yhteistyössä aina vuodesta 2011 lähtien. Lehtonen et al. (2011b) esitti ensimmäisen version artikkelissaan, joka on toiminut pohjana Pakkasen väitöskirjalle, joka julkaistiin vuonna 2015. Viimeisin versio BfP:stä on julkaistu vuonna 2016 artikkelissa: *“Brownfield Process: A method for modular product family development aiming for product configuration”* (Pakkanen et al. 2016).

Tutkimuksen kannalta on hyvä muistuttaa niin tutkijaa kuin lukijaa siitä, että BfP ja MFD ovat vain kuvauksia modulaarisen tuotteen kehityksestä ja vaikka ne antavat laajasti neuvoja ja työkaluja suunnitteluprosessin etenemiseen, jää viimeinen vastuu itse suunnittelijalle. BfP ei ole tarkka ja rajattu kuvaus, eikä se poista tarvetta yrityksille ja erehdyksille. (Pakkanen et al. 2016).

6.2 Tuoteperheen tavoitteiden määrittely ja rajaukset

Aikaisemmassa kappaleessa 5.2 *Meriuksen tavoitteet projektille* on määritelty yrityksen tavoitteet tutkimukselle. Tutkimuksen kannalta oleellista on määritellä myös tavoitteet tarkemmin tutkittavan tuotteen mukaan. Tässä kappaleessa määritetyt tavoitteet koskevat enemmän tutkittavaa tuotetta eikä kohdeyrityksen intressejä. Tavoitteiden tulee olla kuitenkin linjassa yrityksen näkemyksen kanssa.

Modulaarinen tuote noudattaa perusteltua jakologiikka ja se tukee tuotteen modulaarista rakennetta. Tutkimuksessa riittää, että siitä käy ilmi eri moduulit ja niiden perusrakenne. Moduulin komponentit tulee olla määritelty ja niihin liittyvät rajapinnat on esitetty pääpiirteittäin. Yksityiskohtaisempaa moduulien suunnittelua ei ole tässä työssä vaadittu, koska käytettävissä oleva aika ja resurssit ovat rajalliset. Moduulien lopullinen suunnittelu tapahtuu kohdeyrityksen sisällä asiakasprojektien yhteydessä. Kaikille suunniteltaville teräsrakenteille tulee suorittaa eurokoodin mukainen lujoustarkastelu, jolla todennetaan tuotteen riittävän kestävyys ennakoitavia kuormituksia ja olosuhteita vastaan. Työssä rajoitutaan tutki- maan rakenteiden kestävyyttä vain EN ISO 14122 - Koneturvallisuus (2016) stan- dardin mukaisille vähimmäissuunnittelukuormituksille.

6.3 Yritysnäkökulman määrittely

BfP:ssä moduulien kehittämisen lähtökohtana on, että yrityksellä on oikea tarve kehittää modulaarisia tuoterakenteita. BfP ensimmäisessä vaiheessa kirjataan ylös ne liiketoiminnalliset tavoitteet, jotka ovat modulaarisen tuotteen kehityksen takana. Jos modulaarisen tuotteen kehitykselle ei löydy tai realisoidu liiketoimin- nan kannalta oleellisia etuja tulee harkita tuotekehityksen kannattavuutta eritoten. Kohdeyrityksessä on asetettu selkeät tavoitteet modulaariselle tuoterakenteelle ja sillä pyrittäviin hyötyihin. Modulaarisuuden tuomat hyödyt voidaan nähdä Juu- tin (2008) esittämässä syy-seuraus-kaaviossa, katso kuva 5. Kaaviosta nähdään suoraan, että modulaarisuus mahdollistaa liiketoiminnalle uusia segmenttejä tuo- tevariaatioiden kautta ja modulaarisuus ja vakiointi vähentävät osaltaan laadun ongelmia ja vapauttaa suunnitteluresursseja muuhun tuotekehitykseen.

E.Greve et al. (2020) esittämässä kaaviossa on käsitelty tarkemmin modulaari- suuden tuomia etuja ja vaikutuksia yrityksen toiminnan kannalta eri näkökulmista. Kohdeyrityksen kannalta kaaviosta voidaan todentaa, että yrityksen tavoitteisiin, vähentää samankaltaisiin rakenteisiin kuluvia suunnittelutunteja, päästään mo- dulaarisen tuotteen avulla ja täten modulaarisuuden kehittäminen kohdeyrityk- sessä on kannattavaa. Kaaviosta nähdään myös, että modulaarisuus vähentää tuotteiden läpimenoaikaa, mikä osaltaan vähentää tuotevariaatioiden mahdolli- suuksia myynnin näkökulmasta.

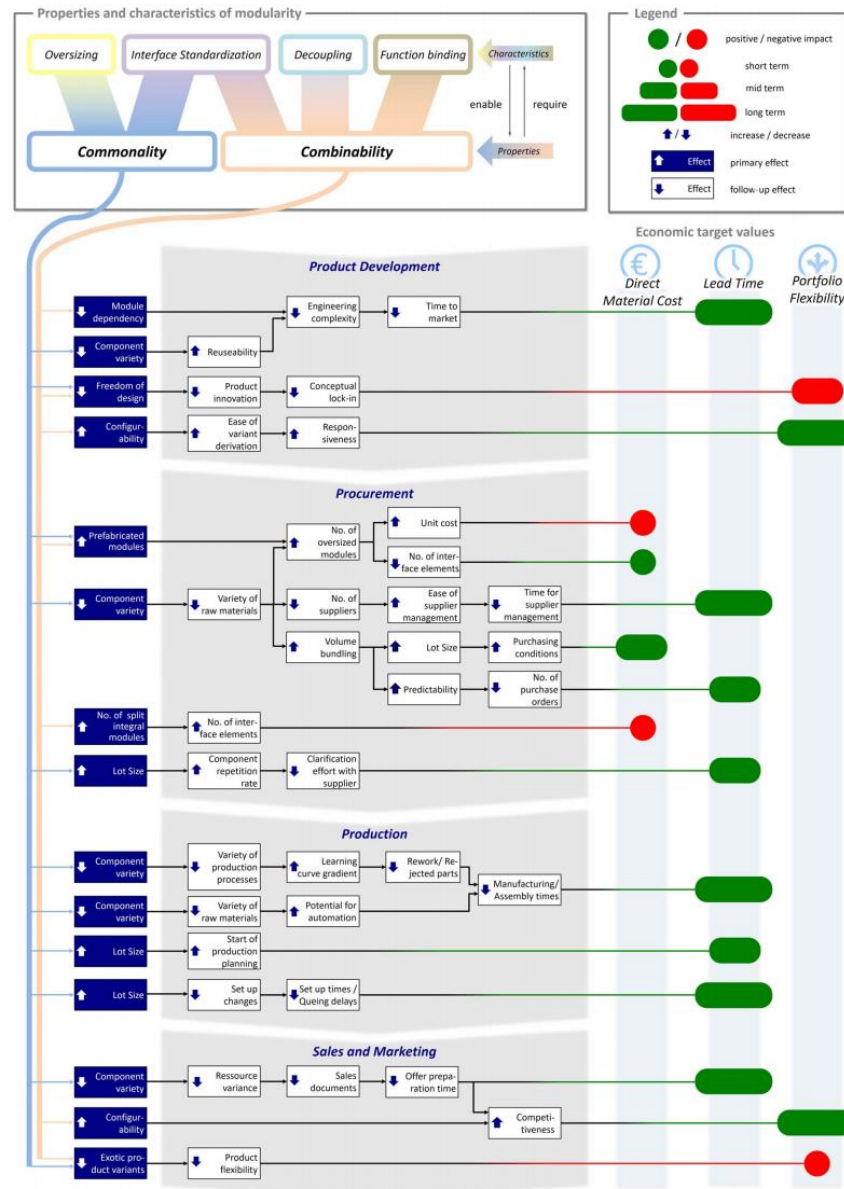


Fig. 2. Extended impact model of modular product structures including the effects identified in the interview study

Kuva 49. Modulaarisuuden tuomat hyödyt yrityksen toimintaan (E.Greve et al. 2020)

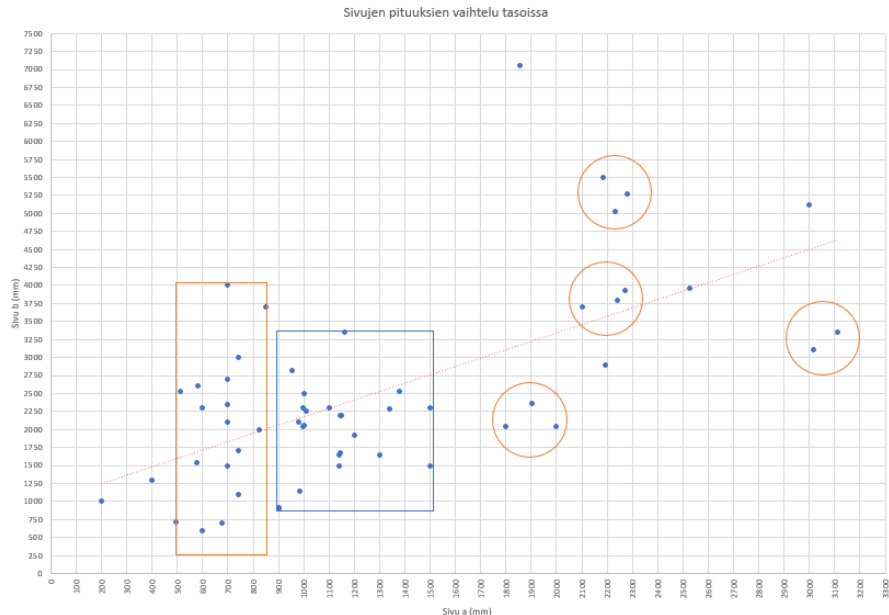
6.4 Konseptisuunnittelu

Moduulien konseptisuunnitteluvaiheessa noudatettiin pitkälti BfP prosessin mukaista geneeristen elementtien määrittelyä. BfP:n kuvauksessa geneeriset elementit voidaan muodostaa tutkimalla tuotteen rakennetta ja soveltaa mahdollisia PSP-periaatteita elementtijaon tekemiseksi.

Tutkimuksessa geneeristen elementtien (GE) pohjana toimi yrityksessä aikaisemmin suunnitellut työskentelytasot ja kulkutiet. GE muodostaminen alkoi tutkimaan jo olemassa olevissa tuotteissa esiintyviä rakenteita ja niiden liittymistä toisiinsa. Tunnistetut elementit listattiin Excel-taulukkoon.

GE jaossa noudatettiin kirjallisuudessa hyvin esitettyä funktionaalista moduulijakoa. Funktionaalinen jako perustuu tuotteen jakamiseen elementteihin tuotteen funktioiden mukaan. Funktionaalinen jako on mahdollinen, kun tuotteen toiminnot voidaan jakaa selkeästi tuotteen osien välillä. Tutkittavissa tasorakenteissa funktionaalisen jaon toteuttaminen todettiin toimivaksi, koska tarvittavat funktiot voitiin jakaa helposti eri elementtien kesken. Monimutkaisimmissa järjestelmissä funktionaalinen jako ei ole yleensä mahdollinen, koska yhden tuotefunktion toteuttamiseen liittyy paljon eri osia.

Tunnistetuissa mahdollisissa GE:sä esiintyi koon puolesta paljon vaihtelua ja GE:n muodostamisen tueksi suoritettiin frekvenssi-analyysi. Frekvenssi-analyysillä tavoiteltiin parempaa luokkajaon GE-elementtien osalta. Analyysi suoritettiin 57 tason otannalla ja sen pohjalta saatiin seuraava kuvassa 50 esitetty kaavio.



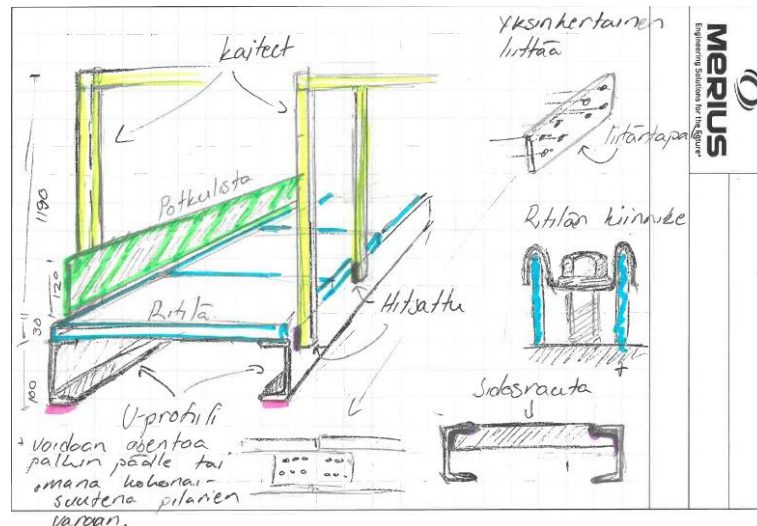
Kuva 50. Frekvenssi-analyysin kaavio.

Analyysin pohjalta voidaan todeta että suurin osa tutkituista tasojen dimensioista asettuu välille 600-1500 mm (sivu a/ leveys) ja välille 1000-3500 mm (sivu b/ pituus). Analyysin mukaan todetaan, että elementtien jako tulee toteuttaa siten, että se jakaa todennetut välit sopivalla jaolla.

BfP mukaisessa suunnitteluprosessissa asiakastarpeet määritellään vaiheessa neljä. Työssä on kuitenkin yhdistetty BfP prosessin vaiheet neljä ja kuusi. BfP kuudes vaihe yhdistää aikaisemmissa vaiheissa tuotetun asiakasvaatimus-määritelmät geneerisiin elementteihin. Tutkimuksessa on koettu hyödylliseksi kohdentaa asiakasvaatimukset ja suunnitteluvaatimukset suoraan geneerisiin elementteihin. Tutkimuksessa todettiin hyödylliseksi määrittää elementteihin kohdistuvat vaatimukset yksittäin. Tämä todettiin helpommaksi tavaksi miettiä mahdollisia vaatimuksia, jotka kohdistuvat elementille. Määritetyt vaatimukset olivat myös yksityiskohtaisempia, koska jokainen elementti käsiteltiin omana kokonaisuutena. Kuvissa on esitetty otteet BfP vaihe kuusi mukaiset K-matriisit niin asiakasvaatimusten ja standardin ISO 14122 osalta.

Työskentelytasoihin ja kulkuteiden eri elementteihin tunnistettiin liittyvän 21 eri asiakasvaatimusta. ISO 14122 Standardista tunnistettiin puolestaan 134 eri suunnitteluvaatimusta, jotka kohdistuvat geneeristen elementtien suunnitteluun. Suurin osa tunnistetuista vaatimuksista kohdistu koko elementtiin, mutta osa vaatimuksista pystyttiin kohdentamaan yksittäiseen osaan/ komponenttiin. Vaatimuksen koskiessa koko elementtiä on merkkauksella tehty vain elementin kohdalle sen sijasta, että kaikille elementin osille olisi tehty samat merkinnät.

Asiakasvaatimuksia muodostaessa hyödynnettiin myös benchmark-tutkimuksessa saatua tietoa R-tason tuotteeseen kohdistuvista asiakasvaatimuksista. Tunnistetut asiakasvaatimukset ja kohdennetut elementit on esitetty kuvassa 53. Kuvassa 54 on esitetty standardista johdetut vaatimukset geneerisille elementeille. Kuvien esittämät matriisit on esitetty tarkemmin liitteessä C.



Kuva 55. Käsivaraisluonnos kulkutien rakenteesta.

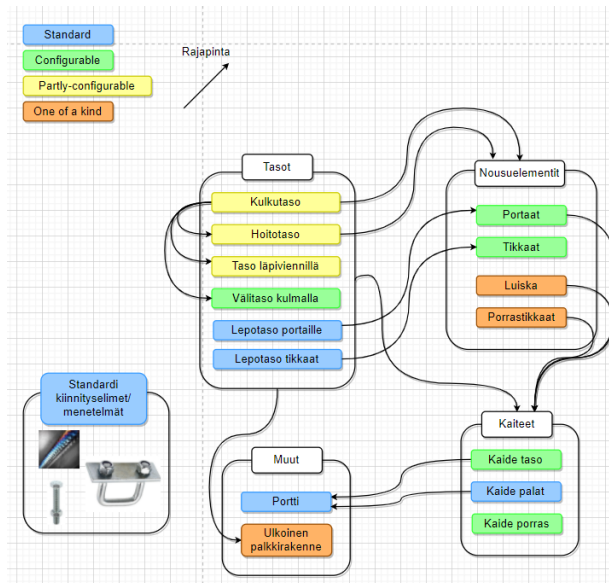
Generiset elementtien tunnistamisen jälkeen elementit ja niiden osat jaettiin konfigurointityypin mukaan seuraaviin kategorioihin:

- Standardi: sama kaikissa kokoonpanoissa
- Konfiguroitava: komponentti voidaan muodostaa eri standardiratkaisuista
- Osittain konfiguroitava: elementti muodostuu niin standardi- konfiguroitavista ja one-of-a-kind-komponenteista.
- One of a kind: tapauskohtaiset ratkaisut

Elementtien osien jakamisessa konfigurointityypin mukaan hyödynnettiin paljon ISO 14122 standardista tunnistettuja vaatimuksia elementtien osille. Standardissa muun muassa mainitaan kaiteelle minimi korkeus, joka tulee täyttää, että kaide on käyttäjälleen turvallinen. Standardivaatimukset huomioiden saadaan kaiteen korkeudelle vakiomitta, joka on kaikille tasokaiteille sama. Osaltaan myös kaiteissa käytettäville teräsprofiileille standardissa mainitaan vähimmäisvaatimukset. Kaiteiden teräsprofiilit päätettiin tutkimuksessa ottaa standardiosiksi, vaikka kaiteiden väli- ja pystyjohteiden pituudet vaihtelevatkin riippuen toteutettavasta kaiteesta. Myös tasojen palkkirakenteille on noudatettu suunnittelussa samaa logiikkaa. Standardielementeille, kuten porrastornin välitaso, on määritetty myös tarkemmat standardidimensiot.

BfP prosessin seitsemännessä vaiheessa on määritelty tarkemmin elementtien väliset rajapinnat ja määritelty tarkemmin tunnistetut elementit. Aikaisemmin on

kuvattu, kuinka tunnistettujen elementtien osille on määritetty osalle sopiva elementtityyppi. Tunnistetut elementit/ mahdolliset moduulit on esitetty kuvan 56 kaaviossa. Kuvan kaaviossa on värikoodein merkattuna osan/ elementin tyyppi. Kaavio tarjoaa visuaalisen tavan esittää tuoteperheen elementit ja osat jaettuina kategorioihin. Kaaviosta tulee esille myös elementtien väliset rajapinnat yleisellä tasolla. Elementtien väliset rajapinnat on myös esitetty DSM-matriisissa aikaisemmin.



Kuva 56. Alustava tuotearkkitehtuuri ja rajapinnat.

Kuvasta nähdään, että osittain konfiguroitavissa oleva kulkutaso jakaa rajapinnan tasorakenteissa hoitotason, tason läpiviennillä ja välitason kanssa. Kulkutaso jakaa myös rajapinnan kaikkien nousuelementtien kanssa, jotka on liitettävissä kulkutasaan. Kuvan kaaviosta tulee esille elementin tyyppi. Eri elementtityyppien värikoodit on esitetty kuvan vasemmassa yläosassa. Esimerkiksi standardiratkaisuja, jotka eivät muutu, ovat muun muassa porrastorneissa esiintyvät lepotasot. Lepotasojen standardisointi torneissa on järkevää, koska standardissa ISO 14122 luetaan nousujaksoissa sijaitseville tasoille tarkat dimensiovaatimukset. Muita standardelementtejä on muun muassa portti ja valmiit kaide kokonaisuudet (600–2000 mm). One of a kind -elementtejä tunnistettiin tuotteesta 3 kappaletta. Näistä tärkeimpänä teräspalkkirakenteet joihin elementit lopulta kiinnitetään. Tarvittavat palkitukset suunnitellaan aina tapauskohtaisesti, koska tehdasympäristöt vaihtelevat huomattavasti ja vaadittava kannakoinnin toteuttaminen vakioidulla rakenteella ei ole aina mahdollista.

Konseptisuunnitteluvaiheessa sovellettiin BfP tapauskohtaisesti. BfP:n avulla alustavien elementtien määrittäminen sujui systemaattisesti ja konseptisuunnittelussa saatiin luotua toimiva elementtijako, jota muuttamalla voidaan vastata jokaiseen asiakastarpeeseen. Tuotteen rakenteen johdosta en ole katsonut tarpeelliseksi suorittaa BfP: vaihetta kahdeksan tapaustutkimuksessa. Vaiheessa oltaisiin syvennetty tarkastelemaan tarkemmin, että toteutuuko määritetyt asiakasvaatimukset eri tuotevariaatioiden avulla. Tapauksen osalta voidaan todeta, että luoduilla elementeillä pystytään toteuttamaan yrityksen aikaisemmin suunnittelema tasorakenteita, jotka ovat täyttäneet asiakastarpeen. Koska suunniteltu tuoteperhe sisältää kokonaisuudessaan kaikki osat aikaisemmista vastaavista toteutuksista ei elementtien ja asiakastarpeiden lisätarkastelulle koettu tarvetta tapauksessa.

6.6 Detaljisuunnittelu

Detaljisuunnittelussa tarkasteltiin tarkemmin yksittäisen elementin rakennetta ja mahdollisia teknisiä ratkaisuja. Detaljisuunnittelu jatkaa siitä, mihinkä konseptisuunnittelussa jäätin. Tasojen yksityiskohtien suunnittelu noudattaa osittain Eri-xonin MFD-mallia, jossa alustavan konseptisuunnittelun jälkeen on valittu ne teknologiat, jotka liittyvät moduuliin ja joita on lähdetty kehittämään moduulien realisoimiseksi lopullisiksi moduuleiksi. BfP prosessi kontribuoi konseptisuunnitteluun eniten ja se auttoi elementtijaon ja elementtien realisoimisessa. Detaljisuunnittelussa on tarkemmin mietitty eniten rajapintojen toimivuutta ja luotu riittävä dokumentaatio rajapintojen määrittelemiseksi. Tavoitteena rajapintadokumentaatioissa on vakioida käytettävät rajapinnat, jotta osien yhdistäminen ja osien vaihtaminen uuden ja vanhan välillä on mahdollista. Rajapinta määrittely tukee myös tuotteen avointa moduuliarkkitehtuuria.

Detaljisuunnittelussa lähdettiin kehittämään elementtikonsepteja kohti lopullista tuotetta. Detaljisuunnittelussa standardissa ISO 14122 esitetyt vaatimukset todennettiin standardin vaatimalta osalta ja detaljisuunnittelussa käytettiin jo aikaisemmin määritettyä K-matriisia ISO 14122 asettamille vaatimuksille. Tällä varmistettiin, että kaikki elementin toiminnan kannalta oleelliset vaatimukset on huomioitu elementin rakenteessa.

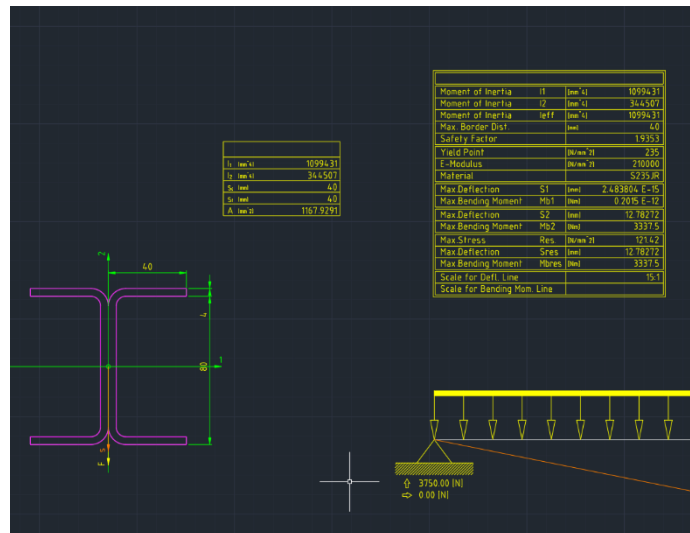
Tasojen suunnittelun osalta määriteltiin sopivat teräsprofiilit, jotka täyttävät asetetut vaatimukset. Tasojen osalta mahdollisia ratkaisuja löytyi useita ja eri vaihtoehtojen väliseen vertailuun sovellettiin design matriisia. Eri teräsprofiilivaihtoehtoja arvioitiin asteikolla yhdestä kolmeen. Arviointiperusteita oli hinta, profiilin massa (kg/m), arvio mahdollisen rajapinnan yksinkertaisuudesta ja arvio palkin tuennasta/ kiinnityksestä ulkoiseen palkkirunkoon. Design matriisi on esitetty kuvassa 57.

1 paras - 3 huonoin		Palkin profiili								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Suorakaide	U-profiili	L-profiili	T-profiili	C-profiili	Latta	UPE	IPE	UNP
Arvosteluperiaate										
	Hinta	3	2	1	2	3	1	3	1	2
	Massa	3	1	1	2	2	1	3	3	3
	Arvio rajapinnan yksinkertaisuudesta	2	1	1	3	2	1	1	2	2
	Arvio palkin tuennasta/ kiinnityksestä	1	1	2	3	2	3	1	1	1
	Summa	9	5	5	10	9	6	8	7	8

Kuva 57. Ote palkkivaihtoehtojen vertailusta design matriisilla

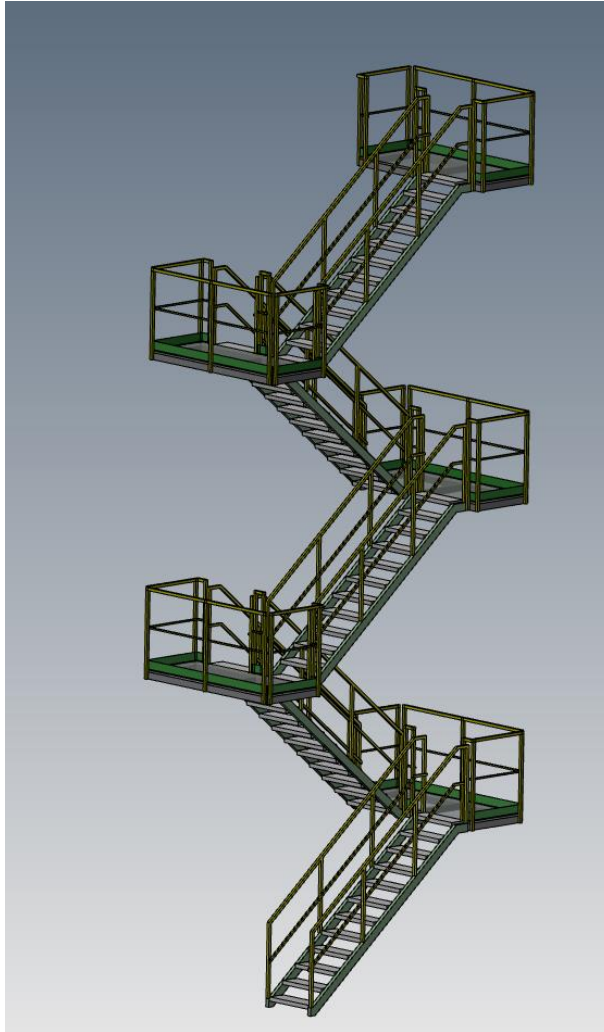
Vertailussa U- ja L-teräsprofiilit keräsivät eniten pisteitä ja ne valittiin tasojen rakenteen jatkosuunnitteluun.

Tasojen teräsprofiilin vertailun jälkeen tutkittiin lisää valittujen profiilien kestävyttä ja lopullista profiilin standardikokoa Autocad-ohjelmistolla suoritettulla yksinkertaisella lujuustarkastelulla. Tutkimuksessa kehitetyille moduuleille tulee kuitenkin suorittaa eurokoodin mukainen kestävyys- ja lujuustarkastelu ennen tuotteiden käyttämistä asiakasprojektissa. ISO 14122 standardin mukaan palkin taipuma ei saa olla suurempaa kuin $1/200$ osaa palkin jännevälistä 2kN/m^2 suunnittelukuormalla ja rakenteen epäedullisimpaan kohtaan $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ alueelle kohdistetulla $1,5\text{kN}$ kuormalla.



Kuva 58. Esimerkki palkin lujuustarkastelusta.

Tarkemman detaljisuunnittelun tuloksena muodostettiin mallit kaikille elementeille. Eri moduulien realisoimiseksi hyödynnettiin parametrissa mallia, joka mahdollisti nopeasti eri kokoisten tasojen muodostamisen. Tämä mahdollistaa osaltaan myös uusien elementtikokojen nopean toteutuksen tulevaisuudessa. Parametrisen mallin avulla pyrittiin varautumaan mahdollisiin elementtien iterointiin tulevaisuudessa. Koska tutkimuksessa kehitetyt moduulit ovat ensimmäisiä versioita yrityksessä, jotka noudattavat modulaarista tuoterakennetta, on hyvin oletettavaa, että moduulien yksityiskohtia tullaan muokkaamaan asiakasprojektien yhteydessä ja lopulliset moduulien ulottuvuudet tulevat poikkeamaan nyt suunnitelluista moduuleista. Parametriset mallit voidaan ajatella olevan konfiguroitavissa olevia kokonaisuuksia, jotka täydentävät luotua tuoteperhettä ja antaa yritykselle työkalun moduulien muokkaamiseen tehokkaasti tarvittaessa.

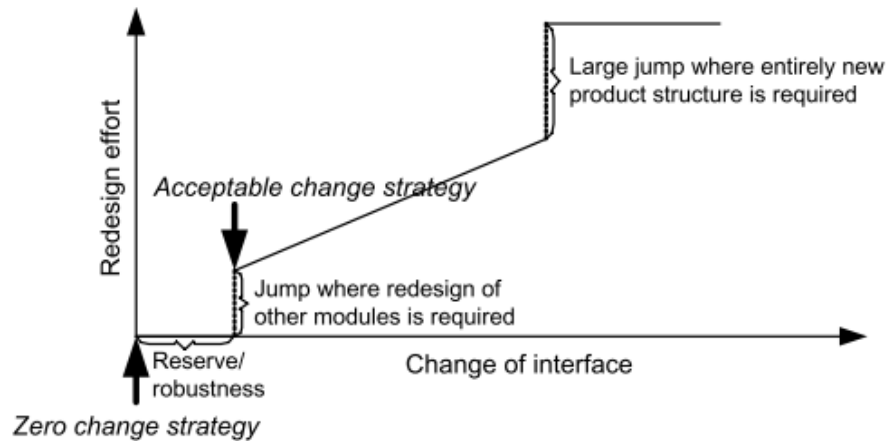


Kuva 59. Moduuleista koottu porrastorni ilman ulkoista teräspalkkikehystä.

Kuvan 59 esimerkki koostuu viidestä standardi lepotasomoduulista ja neljästä konfiguroitavasta porrasmoduulista. Kuvassa ei ole esitetty one of a kind -teräsrakennetta. Teräsrakenne liittyisi määritellyn rajapinnan kautta lepotasomoduuleihin.

Rajapintojen yksityiskohtaista suunnittelua ei voitu vielä toteuttaa moduuleille. Rajapintojen osalta tyydyttiin kuvaamaan tunnistettuja rajapintoja lyhyesti. Rajapintojen yksityiskohtainen suunnittelu vaatii eurokoodin mukaisen väsymis- ja lujuustarkastelun. Vaikka rajapintoja ei voitu määrittää yksityiskohtaisesti on niille kuitenkin laadittu riittävä rajapintadokumentaatio. Rajapintadokumentaatio edesauttaa modulaarisen rakenteen hallinnassa ja mahdollistaa uusien moduulien kehittämisen tunnistettujen rajapintojen avulla. Tunnistetut rajapinnat on esitetty aikaisemmin konseptisuunnitteluvaiheessa laaditussa matriisissa. Rajapintojen suunnittelulla on merkittävä osa moduulien uudelleen suunnittelun kannalta:

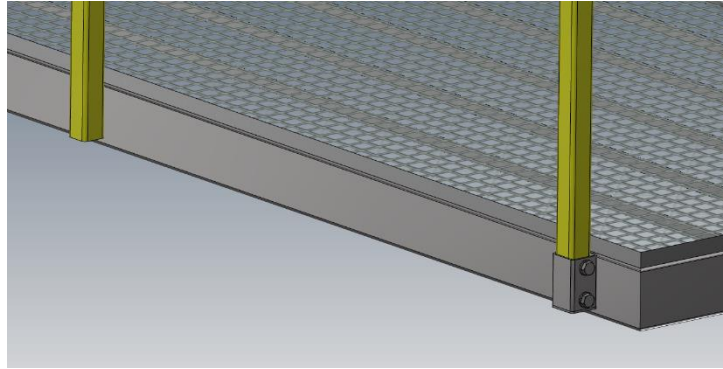
muutokset rajapinnoissa aiheuttavat moduulien uudelleen suunnittelua ja lisäävät tarvittavan suunnittelun määrää. Kuvassa 60 on esitetty rajapinnan muutosten vaikutus tarvittavaan moduulien uudelleen suunnitteluun (redesign) (Avak 2006). Rajapintojen dokumentointi on esitetty seuraavassa kappaleessa.



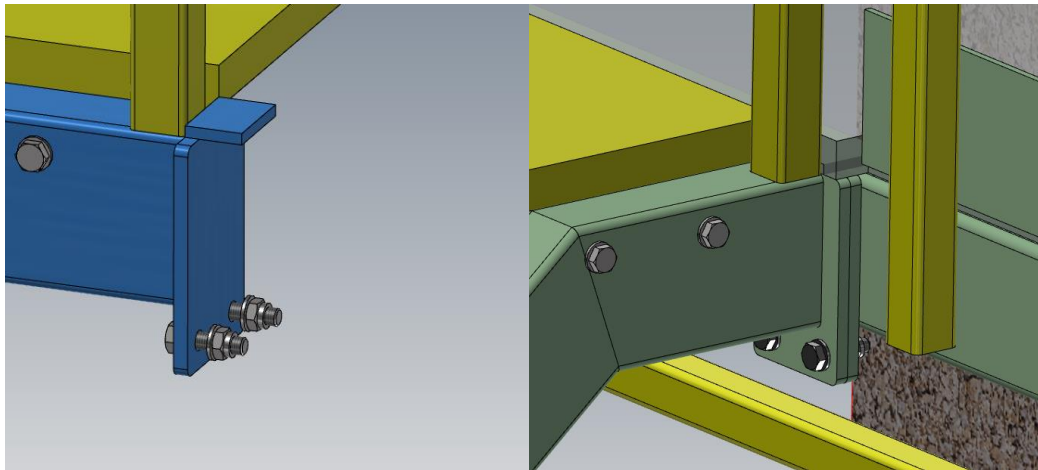
Kuva 60. Rajapinnan vaikutus suunnitteluun (Avak 2006).

Rajapintojen suunnittelun osalta tapaustutkimuksessa todettiin, että monessa rajapinnassa toteutuu, joko moduulien liittäminen toisiinsa hitsaamalla määritellyltä pinnalta tai pultiliitos. Pultiliitoksessa moduulien väliin on tarpeellista lisätä kiinnitysleikkeitä, jotka asennushitsataan tarvittaessa moduuleihin. Kiinnitysleikkeet on tapauksessa käsitelty rajapintana, mutta niiden nimeämisestä omaksi elementiksi voidaan perustella: kiinnitysleike on oma kokonaisuutensa, jolla on kaksi rajapintaa kahden eri moduulin välillä. Tarvittavien moduulien väliset kiinnitysleikkeiden lisääminen omaksi moduuliksi ei tuotteen rakenteen kannalta ole oleellista ja ne on päätetty sisällyttää moduulien väliseen rajapintaan omana kokonaisuutena. Asiakastarpeesta riippuen rajapinta realisoituu joko asennushitsaukseksi tai pultiliitokseksi moduulien välille.

BfP ja MDF eivät kuvaa suunnitteluprosesseina yksityiskohtaisesti moduulien suunnittelua, vaan ne ovat kuvauksia yleisellä tasolla itse suunnitteluprosessista, jota suunnittelija soveltaa suunniteltavan tuotteen osalta. Tapaustutkimuksen kannalta moduulien jatkokehittäminen on mainittu molemmissa niin BfP:ssä kuin MDF:ssä, mutta yksityiskohtien suunnittelu jätetään maininnan tasolle.



Kuva 61. Kaiteen ja tason välinen rajapinta: hitsattu ja pulttiliitos.



Kuva 62. Portaan ja tason välinen rajapinta.

6.7 Dokumentointi

Moduulien käytön kannalta ja suunnittelun edistämiseksi on oleellista luoda riittävä dokumentaatio, mikä toimii suunnittelun tukena ja listaa jo olemassa olevat moduulit ja mahdolliset variaatiot. BfP vaiheessa kahdeksan esitetty muokattu K-matriisi esittää oleellisen konfigurointitiedon, joka sisältää mahdolliset variaatiot ja asiakasvaatimusten mukaiset ratkaisut. Muokattu K-matriisi on esitetty kuvassa 63, asiakasvaatimukset ja geneeriset elementit. Laadittu matriisi on esitetty tarkemmin liitteessä D.

Modified K-Matrix (configuration knowledge matrix)
 (1) Customer need requires generic element
 (2) Customer need excludes generic element
 (3) Customer need might affect generic element
 empty cell: Customer need does not affect generic element

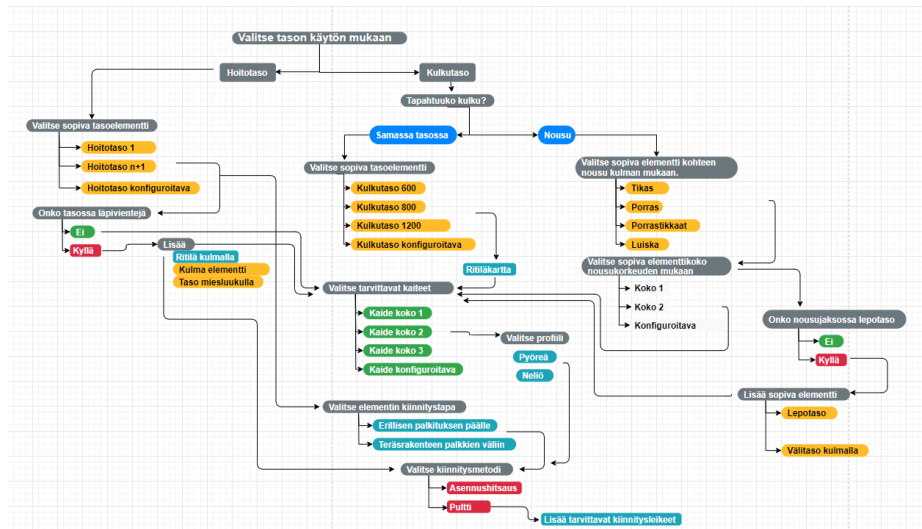
GENERIC ELEMENTS	CONTENT AND TYPE OF GENERIC ELEMENTS	CUSTOMER NEEDS																		
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2
1.1 Taso perusosa 1	Party-configurable																			
1.2 Riihiä 1	Configurable																			
1.2.1 Tavallinen riihiä	Configurable																			
1.2.2 Kyntelley	Configurable																			
1.2.3 Kiinnike	Standard																			
2.1 Taso perusosa 2	Party-configurable																			
2.2 Riihiä 2	Party-configurable																			
2.2.1 Tavallinen riihiä	Configurable																			
2.2.2 Kyntelley	Configurable																			
2.2.3 Kiinnike	Standard																			
3.1 Taso perusosa 3	Standard																			
3.2 Riihiä 3	Standard																			
3.2.1 Kiinnike	Standard																			
4.1 Taso perusosa 4	Standard																			

Kuva 63. Ote BfP:n mukaisesta konfigurointimatriisista.

Tuoteperheen dokumentoinnin osalta on oleellista taltioida tunnistetut rajapinnat. Rajapintadokumentaatio mahdollistaa avoimen modulaarisen tuotearkkitehtuurin ylläpitämisen vakioitujen rajapintojen avulla. Tapauksena oleellisille rajapinnoille annettu yksityiskohtainen kuvaus rajapinnan vaatimuksista tarkempaa suunnittelua varten. Tarkemmin suunniteltuja rajapintoja on esitetty kuvissa 61 ja 62. Osasta toissijaisia rajapintoja on tyydytty konseptivaiheen suunnittelussa esitettyyn DSM-matriisiin. DSM-matriisista käy ilmi elementtien väliset rajapinnat ilman yksityiskohtaista määritelmää. DSM-matriisi toimii suunnittelun tukena jatkossa, kun alustavaa suunnittelua kehitetään valmiin tuotteen suuntaan.

Tuoteperheen kehittämisen jatkon osalta arvioidaan Avak:n (2006) esittämää Module Sheet -dokumentaation käyttöönottoa rajapintojen ja moduulien hallinnan työkaluksi.

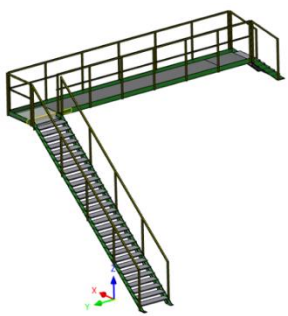
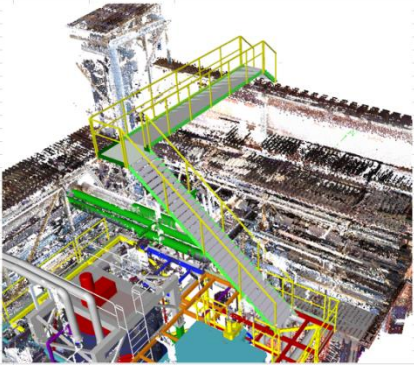
Moduulien käyttämisen tuoksi on luotu kuvan 64 kaavio. Kaaviosta käy ilmi vaiheet sopivan tason valinnasta aina sopivien kiinnitysleikkeiden lisäämiseen. Kaavio toimii suunnittelun apuna ja kaaviosta näkee helposti moduulien valinnan vaikutukset tuotteeseen. Kaaviossa ei ole esitetty kaikkia kehitettyjä moduuleja, koska kaavion on tarkoitettu suunnittelijan muistintueksi. Tarkempi suunnittelu-tieto on esitetty tutkimuksen aikana määritetyissä matriiseissa.



Kuva 64. Konfigurointikaavio yleinen

Tutkimuksen kohdeyrityksessä ei koettu tarvetta suorittaa BfP:n mukaista liike-toiminta-analyysiä, koska tapauksessa suunniteltiin vasta alustava moduulijako. Moduuleja tullaan kehittämään lisää asiakasprojektien yhteydessä kohti lopullisia moduuleja. Todettakoon, että kehitetyillä moduuleilla on nopeutettu jo työskentely- ja hoitotasojen konseptisuunnittelua. Alustavat moduulit on todettu myös hyödylliseksi tarjouslaskennassa: moduulien avulla on helppo arvioida tarvittavan teräksen määrä niin kiloissa kuin metreissä. Moduulien avulla on voitu jo tarjousvaiheessa esittää asiakastarpeisiin sopiva ratkaisu. Kuvassa 64 esitetty esimerkki moduulin käyttämisestä tarjouslaskennassa.

Vaihtoehto 2					
KUD-18-Materiaalista					
	profiili	Metri määrä (m)	Kilot (kg)	Neliöt (m ²)	Muut
Kaitteet	Putki 40x40x3 Teräs	72,4	299		
	Latta 40x3 Teräs	67	63		
	Tanko D10 Teräs	67	41		
Tasojen teräspalkit	L-profiili 150x75x10 Teräs	35	583		Vaihtoehtoinen teräsprofiili
Vastaava U-profiili	U-profiili 120x60x4 Teräs	35	245,64		Yhtenäinen jo olemassa olevan rakenteen kanssa
	Poikkituennin(arvio) Teräs	10	50		Korkea arvio/ tarkempi arvo vasti lujjuuslaskennan
	Tasojen kannakonti(100x100x5 Teräs)	20	284		Korkea arvio/ tarkempi arvo vasti lujjuuslaskennan
Ritilät	Teräs			8,5	
	YHT		547		laskettu U-profiililla

Kuva 65. Esimerkki moduulien käyttämisestä tarjouslaskennassa.

7. TULOKSET JA ANALYYSI

Tässä luvussa esitetään tiivistetyt vastaukset tutkimuskysymyksiin ja kootaan yhteen tapaustutkimuksen tulokset ja pohditaan tapaustutkimukselle määriteltyjen tavoitteiden saavuttamista.

7.1 Tutkimuskysymyksiä vastaukset

Tutkimuksen alussa määriteltiin tutkimuskysymykset luvussa 2. Tutkimuskysymyksiä tarkoitus on ollut ohjata tutkielman suorittamista ja niiden mukaan on muodostettu tutkimuksen teoriaosuus. Alla on kerrattu muodostetut tutkimuskysymykset ja esitetty niihin vastaukset.

TK 1 : Mitä on modulaarisen tuotteen kehityksen nykytaso?

Tutkimukseen on kerätty laajasti teoretietoa modulaarisuudesta ja se on esitetty luvussa 3: Kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsauksessa käsitellään laajasti moduuleihin ja modulaarisuuteen liittyviä teorioita ja tuodaan esille modulaarisella tuoterakenteella saavutettavia etuja, jotka ovat yleisesti hyväksytyjä alalla.

TK 2: Mitenkä voidaan hyödyntää yrityksen jo olemassa olevia ei modulaarisia tuotteita uuden modulaarisen tuoteperehen suunnittelussa?

Luvussa 4 on esitelty yksityiskohtaisesti kaksi eri modulaarisen tuotteen suunnitteluprosessia, joissa modulaarista tuoterakennetta lähetään kehittämään jo olemassa olevan tuotteen pohjalta. Esitetyt BfP ja MDF -prosessit ovat kuvauksia modulaarisen tuotteen suunnittelusta jo olemassa olevasta tuotteesta. Kirjallisuudessa on esitelty muitakin modulaariseen tuotteeseen tähtääviä suunnittelukuvauksia, mutta suurimmassa osassa modulaarisen tuotteen kehitys tapahtuu kokonaan uussuunnitteluna. Alan kirjallisuus keskittyy usein tutkimaan modulaarisuudella saatavia hyötyjä modulaarisen tuotteen suunnitteluprosessien sijasta.

TK 3: Mitkä ovat vähittäisvaatimukset teollisuudessa esiintyvien tasorakenteiden, työskentelytaso ja kulkuteiden, suunnittelussa?

Empiirisessä tapaustutkimuksessa modulaarisen rakenteen kehittämisessä on huomioitu teollisuuden työskentelytasoja ja kulkuteitä koskeva EN ISO 14122:

Koneturvallisuus standardi. Standardi on esitetty luvun 3 kappaleessa 3.12 standardit. Standardissa on määritelty muun muassa suurin sallittu nousukorkeus, tasojen vähimmäismittoja eri käyttöluokissa, kaiteiden rakenteen vaatimukset ja rakenteiden vähittäissuunnittelukuormitukset. Koska standardi on ollut keskeisessä osassa moduulien kehittämisessä, on sen asettamat suunnitteluvaatimukset koottu liitteeseen C.

TK 4: Mitä suunnitteluperiaatteita on sovellettu tapaustutkimuksen kohteena olevien teollisuuden työskentely ja kulkutasojen modulaarisen rakenteen kehittämisessä?

Johtuen tutkitun tuotteen rakenteesta on moduulien kehittämiseen sovellettu alan kirjallisuudessa laajasti esiteltyä ja tutkittua funktionaalista jakoa. Funktionaalinen moduulijako tarkoittaa tuotteen jakamista moduuleihin tuotteen toimintojen mukaisesti, jokainen moduuli vastaa yhtä tuotteen funktiota. Tutkimuksessa käsiteltyjen tasorakenteiden osalta funktionaalinen jako tuki myös tunnistettujen rajapintojen mukaan tehtyä alustavaa elementtijakoa. Esimerkiksi kaidemoduulin funktio on estää käyttäjän tippuminen tasolta. Puolestaan kaidemoduuliin liittyvä tasomoduulin tehtävä on mahdollistaa turvallinen kulku samassa tasossa. Luvussa 6 on tarkemmin esitetty syitä valitun moduulijaon takana.

7.2 Projektin tulokset

Kohdeyrityksen suurin ongelma oli suunnitteluresurssien hukkaaminen uussuunnitteluun tuotteissa, jotka ovat rakenteeltaan toistuvia tai samankaltaisia. Alkutilanteessa jokainen tasokokonaisuus on suunniteltu omana kokonaisuutena ja aikaisempaa suunnittelua ei ole juurikaan hyödynnetty. Tämän johdosta on haluttu pyrkiä nostamaan suunnittelun kannattavuutta kehittämällä modulaarinen tuote, jonka avulla voidaan hallita tuotteessa esiintyvää muuntelua tehokkaasti määriteltyjen ratkaisujen avulla. Osa ongelmaa on ollut tuotetiedonhallinta: yksinkertaisesti jo olemassa olevia ratkaisuja ei ole osattu hyödyntää uusissa suunnittelu-kohteissa, koska nykyinen tuotetiedon hallinta on puutteellista ja yrityksessä on koettu helpommaksi tehdä kaikki uussuunnitteluna sen sijaan, että olisi hyödynnetty vanhoja tuotteita uudestaan suunnittelussa.

Tutkimuksessa kehitetyllä modulaarisella tuoteperheellä on yhtenäistetty tarjottavia ratkaisuja ja vakioitu niitä komponentteja, jotka ovat olleet standardisoitavissa. Oleellisena saavutuksena on saatu yksinkertaistettua ja selkeytettyä mahdollisia työskentelytaso ja kulkutieratkaisuja. Tutkimuksen tuloksena on selkeä kokonaisuus, josta selviää käytettävät moduulit ja niiden väliset rajapinnat. Tässä tutkimuksessa kehitetyt rakenteet toimivat pohjana modulaarisen tuoteperheen lopullisessa kehityksessä. Tutkimuksessa laadittuja moduuleja on voitu hyödyntää muun muassa tarjouslaadinnassa.

Suoritetun tutkimuksen avulla yritys pystyy vähentämään uussuunnittelua yrityksessä, selkeyttämään tasojen tuoterakennetta ja kehittämään tasorakenteisiin liittyvää tuotetiedon hallintaa. Tehokkaammalla suunnitteluprosessilla yritys pystyy puolestaan lisäämään kilpailukykyään ja tehostamaan suunnitteluprosessia.

Tutkimuksen aikana on noussut hyvin esille, että vastaavanlaisilla moduulirakenteilla voitaisiin säästää resursseja myös yrityksen muissa suunnittelukohteissa.

7.3 Tavoitteiden saavuttaminen

Tavoitteiden saavuttamisen osalta voidaan tutkimusta pitää onnistuneena. Tutkimuksen aikana saavutettiin yrityksen työlle asettama päätavoite. Päätavoite oli suunnitella ja osittain toteuttaa modulaarinen tuoteperhe, jonka avulla voidaan vähentää tasorakenteiden suunnitteluun kuluvia suunnitteluresursseja ja yhtenäistää tasojen suunnittelua määriteltyjen moduulien avulla.

Kehitetty moduulijako noudattaa ISO 14122:2016 Koneturvallisuus standardia ja täyttää tuotteelle tunnistetut asiakasvaatimukset. Tuotteesta on konfiguroitavissa asiakastarpeen mukainen tuote hoitotasoista aina säiliöportaisiin asti. Kehitetty modulaarinen rakenne noudattaa myös avointa moduuliarkkitehtuuria, joka tukee uusien moduulien kehittämistä jo olemassa olevien vaihtoehtojen rinnalle tulevaisuudessa. Tämä mahdollistaa tuoteperheen laajentamisen tulevaisuudessa uusilla moduuleilla.

Tutkimuksen kirjallisuuskatsauksen osalta onnistuttiin löytämään tutkimuksen kannalta oleellinen teoriatieto ja soveltamaan BfP:ta tutkittuun ilmiöön. Tutkimuk-

sessä havainnollistettiin BfP prosessin soveltamista modulaarisen tuotteen kehityksessä ja tuotiin selkeästi esille modulaarisella tuoterakenteella mahdollisesti saavutettavia etuja niin liiketoiminnan kuin tuotehallinnan kannalta.

8. KESKUSTELU

Tutkimuksen alussa oli selvää, että modulaarinen tuoterakenne auttaisi vähentämään toistuvien rakenteiden suunnitteluresursseja hoitotasojen ja kulkuteiden osalta. Työn aikana nousi kuitenkin esille, että etenkin hoitotasojen suhteen moduulikoon järkevä määrittely olisi haasteellista, koska aikaisemmista tuotteista voitiin todeta hoitotasojen rakenteiden mittojen vaihtelun olevan erittäin suurta. Kulkutasoille puolestaan standardi EN ISO 14122 määrittää vähittäismitat ja niissä ei aikaisemmissa tuotteissa esiintynyt huomattavaa vaihtelua. Kulkuteiden osalta moduuleille annettiin standardin mukaiset vapaat leveydet (600, 800 ja 1000). Hoitotasojen suhteen samanlaista jakoa ei kuitenkaan pystytty toteuttamaan ja lopulta hoitotasojen suhteen päädyttiin konfiguroitavaan tasorakenteeseen, joka on valmistettu standardiprofiileista. Molemmille tasoille laadittiin parametrinen malli, joka on suunnittelijan vapaasti säädettävissä/ konfiguroitavissa, jos haluttua tasoa ei pysty konfiguroimaan jo määritellyistä malleista. Tutkimuksen osalta parametriset mallit noudattavat pitkälti konfiguroitavaa tuoterakennetta eli parametristen mallien voidaan sanoa olevan osittain konfiguroitavia kokonaisuuksia ja täten myös osa modulaarista tuoteperhettä. Osittain konfiguroitavien mallien käyttö kuluttaa enemmän suunnitteluresursseja, mutta mahdollistaa tuotteen soveltumisen myös muuttuneeseen asiakastarpeeseen.

Tapaustudkimuksen osalta todettiin BfP:n mukaisten vaiheiden toteuttaminen kannattavaksi modulaarisen tuotteen kehityksestä. BfP auttoi realisoimaan ja dokumentoimaan suunnittelun kohteena olevat elementit ja niiden väliset rajapinnat. BfP mukaisen konfigurointiedon luominen tuki ajatusta vakioitavien komponenttien osalta. Vakiotavien rakenteiden tunnistaminen mahdollisti konfiguroitavien rakenteiden yksinkertaistamisen ja vähensi osaltaan vaatimuksia, jotka kohdistuvat suunnittelijaan: suunnittelijan ei enää tarvitse muistaa kaikkia standardin vähimmäisvaatimuksia tasorakenteille vaan käytettävät moduulit noudattavat jo standardia, ja standardin vastaiset ratkaisut ovat vain mahdollisia tapauksissa, jossa ei käytetä kehitettyjä moduuleja tasojen suunnittelussa.

Tutkimuksen kirjallisuuskatsaus muodostui lopulta hyvin laajaksi kuvaukseksi alan viimeisemmästä teorian tiedosta. Kirjallisuuskatsauksen muodostumiseen

vaikutti osalta aiheen laajuus. Modulaarisuus on hyvin laaja käsite ja riippuen alasta se käsittää hieman eri asioita. Myös tapaustutkimuksen osalta kirjallisuuskatsaukseen haluttiin sisältää sekä tapaukseen liittyvä standardi EN ISO 14122 kokonaisuudessaan että tapaustutkimuksessa osaltaan sovellettu benchmarkmenetelmä. Kirjallisuuskatsausta olisi voitu supistaa ja rajata, mutta puolestaan kirjallisuuskatsauksesta käy ilmi tutkijan laaja perehtyminen alan kirjallisuuteen ja aiheeseen.

Itse empiirisen tapaustutkimuksen osalta on hyvä muistaa, että tapaustutkimus on laajalti vain tutkijan itse suorittama ja täten myös ainutlaatuinen. Toisen henkilön suorittamana olisi mahdollinen lopputulos voinut poiketa tässä työssä esitetyistä mallista. Tapaustutkimuksessa on huomioitu myös yrityksen muiden suunnittelijoiden näkökulma palaverien ja aivoriisien kautta. Moduulien rakenteen kehityksessä on laajasti haettu vertaistukea ja ajatuksia yrityksen muilta suunnittelijoilta.

Modulaarisen tuotteen käyttöönoton kannalta on noussut esille muutamia ongelmakohtia. Tällä hetkellä on yrityksessä totuttu myymään uussuunnittelua ja konfiguroitavan tuotteen myymisestä ja käyttämisestä ei ole juurikaan aikaisempaa kokemusta. Tulevaisuudessa, kun modulaarista rakennetta on sovellettu asiakastapauksissa, voidaan vasta kunnolla arvioida modulaarisen tuoterakenteen hyötyjä liiketoiminnan näkökulmasta. Myös moduulien käytön aloittaminen voi aiheuttaa ongelmia. Yrityksen sisällä on muodostunut hyvin vakiintunut tapa teräs-rakenteiden ja tasojen suunnitteluun. Uuden tavan opettelu/ implementointi voi aluksi vaikeuttaa moduulien käyttöönottoa suunnittelussa ja hidastaa osaltaan modulaarisuudella saatavien hyötyjen realisoitumista yrityksessä ja lopullisten moduulien kehittämistä eurokoodin mukaisiksi kokonaisuuksiksi.

9. YHTEENVETO

Tutkimuksen kohteena oli modulaarisen tuoterakenteen kehittäminen teollisuudessa esiintyville tasorakenteille ja niihin liittyville kokonaisuuksille. Tutkimuksen toimeksiantaja ja kohdeyritys oli Merius Oy. Kohdeyrityksen tavoitteet tutkimukselle oli vähentää työskentelytasojen ja kulkuteiden suunnitteluun kuluvia suunnitteluresursseja. Tutkimus toteutettiin empiirisenä tapaustutkimuksena, joka koostuu kahdesta osiosta: kirjallisuuskatsaus ja tapauksen/ ilmiön tutkiminen esitetyn teorian pohjalta.

Tutkimuksen alussa määriteltiin tutkimusstrategia ja tutkimuskysymykset. Tutkimuskysymykset ohjasivat ja rajasivat tutkimusta koskemaan tutkimustapauksen kannalta oleellisia aiheita. Tutkimusstrategiassa määriteltiin myös kuinka tietoa on haettu tiedonhakukertomuksessa.

Tutkimusta varten kerättiin aiheen kannalta oleellinen teorian tieto, joka tukee tuki tutkimuskohteena olevan modulaarisen tuoterakenteen kehittämistä. Oleellista teorian tietoa oli modulaarisuuteen liittyvät käsitteet, konfiguroitavatuote ja modulaarisen tuotekehityksen prosessikuvaukset. Laajan kirjallisuuskatsauksen avulla luotiin hyvä katsaus modulaarisuuteen ja modulaarisuuden avulla saavutettaviin hyötyihin. Kirjallisuuskatsauksessa löytyi kaksi tutkimuksen kannalta merkittävää modulaarisen tuotteen suunnittelukuvausta, Pakkasen (2015) esittämä Brownfield Process (BfP) ja Erixonin (1998) esittämä Modular Function deployment (MFD). Tutkimuksen kohteena olevien rakenteiden modulaarisuuden suunnittelu ja kehittäminen olisi ollut mahdollista molempien prosessikuvausten mukaan, ja lopputulema olisi ollut luultavasti hyvin samankaltainen myös MFD:n soveltamisella.

Tutkimuksen tapausta lähdettiin tutkimaan soveltamalla BfP:n eri vaiheita Pakkasen esittämässä järjestyksessä. Aluksi todennettiin Juutin (2018) syy-seurauskaaviolla ja E.Greve et al. (2020) esittämällä modulaarisuuden vaikutus -kaaviolla, että kohdeyrityksen tavoitteet projektille on saavutettavissa modulaarisen tuoterakenteen avulla. Kun oli todennettu, että kohdeyritys hyötyisi modulaarisen rakenteen kehityksestä alettiin jo olevista ratkaisuksista muodostamaan BfP:n mu-

kaisia alustavia elementtejä. Alustavien elementtien muodostamisessa hyödynnettiin myös benchmark-tutkimusta alan kilpailijan tuotteelle. Benchmarkin avulla saatiin arvokasta tietoa mahdollista elementeistä ja rajapintojen toteutuksista. Alustavan elementtijaon jälkeen muodostettiin DSM-suunnittelumatriisi rajapintojen esittämiseksi. Oleellista modulaariselle rakenteelle on, että se täyttää sille asetetut asiakasvaatimukset. Tapaustudkimuksessa muodostettiin K-matriisit, josta selviää sekä tuotteeseen kohdistuvat asiakasvaatimukset että kirjallisuuskatsauksessa esitetyn standardin EN ISO 14122 määrittämät vähimmäisvaatimukset. K-matriisien avulla todettiin, että tunnistettuja asiakastarpeita vastaa vähintään yksi geneerinen elementti. BfP:n mukaisesti suunnittelua jatkettiin määrittelemällä elementtien ja niiden osien konfigurointityypit. Jaon avulla tunnistettiin ne elementit ja osat, jotka ovat vakioitavissa ja mihinkä kohdistuu muuntelua. BfP:n mukaisella tarkastelulla muodostettiin 12 elementtiä, jotka koostuvat 42 eri osasta. BfP prosessin vaihetta kymmenen ei päätetty suorittaa, koska tarkemmalle liiketoiminta-analyysille ei koettu tarvetta kohdeyrityksessä.

Rajapintojen suunnittelun osalta jouduttiin tutkimuksessa rajoittumaan osittain black box -tasolle. DSM-matriisissa esitetyille rajapinnoille ei ollut aikaa suorittaa eurokoodin mukaista kestävyys- ja väsymistarkastelua. Tarkastelut suoritetaan kohdeyrityksessä asiakasprojektien yhteydessä.

Tutkimuksen tuloksena saatiin muodostettua järkevä moduuliarkkitehtuuri ja alustavat moduulit. Moduulien lisäksi pystyttiin tunnistamaan olemassa olevat moduulien rajapinnat ja laatimaan kuvaukset rajapintojen luonteista ja alustavista rakenteista. Moduulien käytön osalta saatiin laadittua riittävä BfP:n mukainen konfigurointitieto, mistä selviää moduulien rakenne, asiakastarpeet ja standardin vähimmäisvaatimukset. Tutkimuksen avulla pystyttiin myös standardisoimaan/vakioimaan moduulien osia ja rakenteita, mikä puolestaan auttaa vähentämään tuotteessa aikaisemmin esiintyneitä variaatioita.

Tutkimuksen avulla pystyttiin luomaan hyvä pohja modulaarisen tuoterakenteen kehittämiseksi kohdeyritykselle. Tutkimuksen aikana luotu materiaali ohjaa moduulien jatkokehitystä ja mahdollistaa tuoteperheen hallinnan kokonaisuudessaan kohdeyrityksessä. Tutkimus toi myös laajasti modulaarisuuteen liittyvää teoriatietoa yrityksen käytettäväksi ja yrityksessä nähtiin, että modulaarisia rakenteita voitaisiin soveltaa myös kohdeyrityksen muihin tuotteisiin.

LÄHTEET

- Andreasen, M.M. (2011). 45 years with design methodology. *Journal of engineering design*. Vol. 22, no. 5 pp. 193-332.
- Avak, B. (2006). Module sheets for adapting modular product families. 9th International Design Conference. DESIGN 2006, pp. 783-790.
- Baldwin C. Y. & Clark B. K. (2000). *Design rules: The power of modularity*. Massachusetts institute of Technology. ISBN 978-0-262-29185-9.
- Bongulielmi, L., Henseler, P., Puls, C. & Meier, M. (2001). The K- & V-Matrix Method -an Approach in Analysis and Description of Variant Products. ICED 01: International Conference on Engineering Design. Glasgow. August 21-23. 8 s.
- Borowski, K-H. (1961). *Das Baukastensystem in der Technik*. Springer-Verlag, 1961.
- Directive 2006/42/EC (2016). On machinery and amending Directive 95/16/EC (recast). European Parliament and of the Council 17.04.2006)
- Erixon, G. (1998). *Modular function deployment - A Method for Product Modularisation*. Dissertation. The Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden. 178 s.
- Erixon G, Erlandsson A, Yxkull A v, Östgren B. Mo (1994): *Modularise the Product*. In Swedish Industrilitteratur 1994.
- Erixon G (1994). *MFD - Modular Function Deployment*. In Swedish. Licentiate Thesis. The Royal Institute of Technology. Stockholm. ISSN 1104-2133.
- Fujimoto, T. (2007). *Competing to be really, really good – The behind-the-scenes drama of capability building competition in the automobile industry*. International-House of Japan, Tokyo, 156 p
- Greve, E., Fuchs, B., Hamraz, M., Windheim, L.-Schwede N. and Krause, D. (2020). Investigating the Effects of Modular Product Structures to Support Design Decisions in Modularization Projects. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. Singapore. pp. 295-299, doi: 10.1109/IEEM45057.2020.9309820.

- Harlou, U. (2006). Developing product families based on architecture – Contribution to a theory of product families. Dissertation. Technical University of Denmark. Lyngby. 173 p.
- ISO/IEC 2382-1:1993. Information technology – Vocabulary – Part 1: Fundamental terms.
- Jose, A. & Tollenaere, M (2005). Modular and platform methods for product family design: Literature analysis. *Journal of Intelligent manufacturing*. 16(3). pp. 371-390.
- 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. Publication 789 Tampere University of Technology, Tampere, 155 p.
- Juuti, T., Lehtonen, T. (2006). Using multiple modular structures in delivering complex products. *Proceedings of NordDesign 2006*, University of Iceland, Reykjavik.
- Kallinen, Timo & Kinnunen, Taina. Etnografia. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) *Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja*. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietotarkisto [ylläpitäjä ja tuottaja]. <<https://www.fsd.tuni.fi/palvelut/menetelmäopas/>>. [Viitattu 10.3.2021]
- Khurram S.B & Faizul H. (1999). Benchmarking – best practices. an integrated approach. *Benchmarking. An International Journal*, Vol. 6, No. 3, pp. 254-268.
- Lehtonen, T. (2007). Designing modular product architecture in the new product development. Tampere University of Technology. Publication, Vol. 713, Tampere, 220 s.
- Lehtonen, T., Pakkanen, J., Järvenpää, J., Lanz, M. & Tuokko, R. (2011). Brown-field process for developing of product families. *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design, ICED 11*, Technical University of Denmark, Copenhagen, s. 248-257.

- Lehtonen, T., Juuti, T., Pakkanen, J., (2019). MEI-46201 2019-01 Modulaaris-
ten tuotteiden suunnittelu – opintojakson luentokalvot. Tampereen yliopisto.
Saatavissa: <<https://moodle.tuni.fi/course/view.php?id=5962>>. [Viitattu 12/2020]
- Libguides. Nettisivu. <<https://libguides.tuni.fi/tiedonhaunopas/hakuprosessi>> [vii-
tattu 22.02.2021]
- Mikkola, J.H.& Gassmann, O (2003). Managing modularity of production archi-
tectures: Toward an integrated theory. IEEE Transactions on Engineering Man-
agement, 50 (2), pp. 204-218.
- Mikkola, J. H. (1999). Modularization in black-box design: implications for sup-
plier-buyer partnerships. DRUID Winter Conference, 7 – 9 January, Holte, Den-
mark.
- Mikkola, J. H (2007). Management of product architecture modularity for mass
customization: Modeling and theoretical considerations. IEEE Transactions on
Engineering Management, 54 (1). pp. 57-69.
- Merius Oy. Nettisivu. Saatavissa: < <https://www.merius.fi/>>. [Viitattu: 02/2021]
- Pakkanen, J., Juuti, T. & Lehtonen, T. (2016). Brownfield Process: A method for
modular product family development aiming for product configuration. Design
Studies, vol. 45, s. 210-241.
- Pakkanen, J., Juuti, T., Lehtonen, T. (2020). Partitioning types in product modu-
larisation. Konferenssiartikkeli. Tampereen yliopisto. Saatavissa: <
[https://moodle.tuni.fi/pluginfile.php/481094/mod_resource/content/1/Partitio-
ning%20Types%20in%20Product%20Modularisation%20-%20accep-
ted%20conference%20article%202020.pdf](https://moodle.tuni.fi/pluginfile.php/481094/mod_resource/content/1/Partitioning%20Types%20in%20Product%20Modularisation%20-%20accepted%20conference%20article%202020.pdf)>.
- Pahl, G., Beitz, W. (1988). Engineering design: A systematic approach. Design
Council/ Springer – Verlag. 418 p.
- Pahl, G. & Beitz, W. (1996), “Engineering Design - A Systematic Approach”, Ed-
ited by Wallace, K., Translated by Wallace, K., Blessing, L. & Bauert, F.,
Springer-Verlag, Great Britain, 544 p.
- Parslov, J. F. (2016). Defining Interactions and Interfaces in Engineering De-
sign. Technical University of Denmark. DCAMM Special Report, No. S200.

- Parslov, J. F. & Mortensen H. N (2015). Interface definitions in literature. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, Vol. 23(3) 183–198.
- Pine B. J. II (1993). *Mass Customization – The New Frontier in Business Competition*. Harvard Business School Press, Boston, 1993, ISBN 0-87584-372-7.
- Schuh, G. and Becker, T. (1989): *Variant Mode and Effect Analysis - A new Approach for Reducing the Number of Product Variants*. The Int. Forum on DFMA, 1989, Newport (RI).
- SFS-EN ISO 14122-1:2016, Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 1: Kahden tason välisen kiinteän kulkutien valinta. Suomen standardisoimisliitto SFS, 2016.
- SFS-EN ISO 14122-2:2016, Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 2: Työskentelytasot ja kulkutiet. Suomen standardisoimisliitto SFS, 2016
- SFS-EN ISO 14122-3:2016, Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet. Suomen standardisoimisliitto SFS, 2016
- SFS-EN ISO 14122-4:2016, Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 4: Kiinteät tikkaat. Suomen standardisoimisliitto SFS, 2016
- Tiihonen, J., Lehtonen, T., Soininen, T., Pulkkinen, A., Sulonen, R. & Riitahuhta, A. (1999). *Modelling Configurable Product Families*. Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design, ICED99, vol. 2, Munich, Germany, August 24-26.
- Ullman D G. (1992). *The Mechanical Design Process*. Mc Graw-Hill.
- Ulrich, K. & Tung, K. (1991). *Fundamentals of product modularity*. American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division (Publication) DE, 73 s.
- Ulrich, K. (1995). *The role of product architecture in the manufacturing firm*. *Research Policy*, vol. 24, no. 3, pp. 419-440.
- Ulrich, K. & Eppinger, S. (2008). *Product Design and Development*. McGraw-Hill, New York, Fourth edition, 368 p.
- Watson G.H (1993). *Strategic Benchmarking: How to Rate Your Company's Performance Against the World's Best*. Wiley. New York.

Wever, R., Boks, C., Marinelli T., Stevels A. (2007). increasing the benefits of product-level benchmarking for strategic eco-efficient decision making. *Benchmarking: An International Journal* Vol. 14, No. 6, pp. 711-727.

LIITE A: R-TASO KONFIGUROINTIKAAVIO

Tämä asiakirja on tarkoitettu ainoastaan yrityksen sisäiseen käyttöön, eikä se ole yleisesti saatavilla.

LIITE B: DSM-MATRIISI

Tämä asiakirja on tarkoitettu ainoastaan yrityksen sisäiseen käyttöön, eikä se ole yleisesti saatavilla.

LIITE C: ASIAKASVAATIMUKSET JA GENEERISET ELEMENTIT/ STANDARDIN MUKAISET VAATIMUKSETJ JA GENEERISET ELEMENTIT

Tämä asiakirja on tarkoitettu ainoastaan yrityksen sisäiseen käyttöön, eikä se ole yleisesti saatavilla.

LIITE D: MUOKATTU K-MATRIISI

Tämä asiakirja on tarkoitettu ainoastaan yrityksen sisäiseen käyttöön, eikä se ole yleisesti saatavilla.