



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JARNO LAHTI
LAITURIKONTTINOSTURIN TELIEN MODULOINTI
Diplomityö

Tarkastaja: professori Tero Juuti

Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Automaatio-, kone- ja materiaalitek-
niikan tiedekuntaneuvoston kokouk-
sessa 9. marraskuuta 2016

TIIVISTELMÄ

Jarno Lahti: Laiturikonttinosurin telien modulointi
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 75 sivua, 0 liitesivua
Joulukuu 2016
Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Tuotekehitys
Tarkastaja: Professori Tero Juuti

Avainsanat: modulointi, konfigurointi, tuotearkkitehtuuri, tuotekehitys

Tämän diplomityön pääelementit ovat kuinka tehdä jo olemassa olevasta tuoteperheestä modulaarinen, kuinka huomioida yleisimmät asiakastarpeet konfiguroidussa tuoterakenteessa ja kuinka hallita konfiguroitavan tuoterakenteen tilavaraustarpeet tuoteperheessä.

Teoriaosuudessa esitellään mikä on modulaarinen tuote ja menetelmä, jolla voidaan tehdä jo olemassa olevasta tuoteperheestä modulaarinen. Osuudessa esitellään myös mikä on konfiguroitava tuote ja erilaisia menetelmiä luoda konfigurointitietoa tuoteperheelle. Lopuksi teoriaosuudessa pohditaan tuotteen elementtien ja komponenttien tilavarauksia. Osuudessa esitellään MAN-tutkimus, jossa kerrotaan erilaisia menetelmiä hallita tilavarauksia konfiguroitavassa tuoteperheessä.

Tämä työ seuraa pääosin sääntöjä ja suosituksia, joita on esitetty Brownfield-prosessissa. Brownfield on suunniteltu jo olemassa oleville tuoteperheille ja sen päätavoite on tehdä tuoteperheestä modulaarinen huomioiden samalla yrityksen liiketoiminnan. Menetelmä esitellään tämän työn teoriaosuudessa ja sitä sovelletaan työn toteutusvaiheessa.

Diplomityön toteutusvaiheessa esitellään laiturikonttinosuri ja nosturin telien tuoterakenne. Vaiheessa pohditaan telien konfigurointitietoa ja tehdään K- & V-matriisit konfigurointitiedon luontia varten. Konfigurointitiedon luomisen jälkeen pohditaan telien elementtien ja komponenttien tilavarauksia tuotteessa. Tässä vaiheessa esitellään kuinka telien komponenttien erilaiset kombinaatiot toteuttavat telien eri layoutit. Vaiheessa luodaan myös tuoteperheen alustava dokumentaatio, joka näyttää mitä suunnitteluperiaatteita kussakin telien komponentissa käytetään. Sen jälkeen pohditaan vielä teleihin tulevia arkkitehtuurivakiointeja, jotka ovat esitelty MAN-tutkimuksessa. Vakioinnit minimoivat erilaisia osia tuotteessa säilyttäen kumminkin asiakkaiden vaatimien eri toimintojen määrän tuotteessa.

Työn lopussa esitellään tulokset ja toimenpide-ehdotukset tämän diplomityön havaintojen perusteella. Tässä vaiheessa työn tuloksien vaikutuksia yrityksen liiketoimintaan pohditaan tekemällä pääsääntömalli, joka on esitelty Brownfield-prosessissa.

ABSTRACT

Jarno Lahti: Modularization of Ship to Shore-crane bogies

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 75 pages, 0 Appendix pages

December 2016

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

Major: Product Development

Examiner: Professor Tero Juuti

Keywords: modularity, product architecture, configuration, product development

In this master thesis the key elements are how to make the product more modular, how to offer to a customer configurable product structure and how to handle configurable product structure's spatial needs.

In theory part there is presented what is product modularity and methods how to make already existing product family more modular. There is also presented what is configurable product and different methods to create the configuration knowledge to the product family. Finally in theory part is discussed product's elements and components spatial needs. There is presented MAN's research how to handle spatial needs of configurable product family.

This thesis follows mainly rules and suggestions of Brownfield Process method. Method is for already existing product families and its main goal is to make the product family more modular taking product's business environment account at the same time. The method is presented in the theory part of this thesis.

In the implementation phase the Ship-To-Shore-crane and bogie's product structure is presented. In the phase is discussed configuration knowledge of the bogies and used K- & V-method from the theory phase to create the knowledge. After the configuration knowledge is created it is discussed bogie's elements and components spatial needs. In this part it is presented how the bogie's layouts are assembled by different combinations of components. There is also created Product Structure Blueprint that shows which design principles bogie's components follow. In this phase is also discussed bogie's architectural standards which are presented in MAN research. Standards are for minimizing different parts in product structure without reducing functions for customer.

In the final phase of this thesis the results and targets for improvements are presented. In this phase the effects of modular product development process on business impact are analysed. For that there is done business impact analysis from the Brownfield Process.

ALKUSANAT

Tämä työ kirjoitettiin Konecranes Finland Oy:lle yrityksen satamanosturiorganisaatiossa. Työ liittyi osaltaan isompaan modulaariseen tuotekehitysprojektiin.

Haluan kiittää yritystä mahdollisuudesta tehdä diplomityöni liittyen pääaineeseeni opinnoissani. Haluan myös kiittää työtovereitani, jotka auttoivat, neuvoivat ja antoivat mielihiteensä työn aikana ilmenneisiin kysymyksiin ja ongelmiin.

Haluan kiittää myös työni ohjaajaa ja tarkastajaa Tero Juutia, joka neuvoi ja valmensi silloin kuin itselläni tuli ajatuskatkos mihin suuntaan työtä pitäisi viedä. Ison kiitoksen haluan myös antaa perheelleni, ystäväilleni ja erityisesti avovaimolleni riittävästä tuesta työn loppuun saattamiseksi.

Tampereella, 15.11.2016

Jarno Lahti

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Konecranes Oy	1
1.2	Työn taustaa	1
1.3	Työn rajausta ja tavoitteet	1
2.	TUTKIMUKSEN KUVAUS	2
2.1	Tutkimuksen kohde	2
2.2	Tutkimusmenetelmät	2
2.3	Tutkimuskysymykset	2
3.	TEOREETTINEN TAUSTA	3
3.1	Moduloitava tuote	3
3.2	Brownfield-Prosessi	9
3.2.1	Liiketoimintaympäristön huomioiminen.....	10
3.2.2	Tuotteen geneeriset elementit	12
3.2.3	Arkkitehtuuri: Geneeristen elementtien väliset rajapinnat.....	12
3.2.4	Asiakastarpeet	14
3.2.5	Tuoteperheen alustava kuvaus	15
3.2.6	Konfigurointitieto: Geneeriset elementit ja asiakastarpeet	16
3.2.7	Moduulien arkkitehtuuri: Moduulien väliset rajapinnat	17
3.2.8	Konfigurointitieto: Moduulit ja asiakastarpeet	19
3.2.9	Tuoteperheen dokumentaatio.....	19
3.2.10	Prosessin vaikutus liiketoimintaan.....	20
3.3	Konfiguroitava tuote	22
3.3.1	K- & V-Matriisi menetelmä.....	25
3.3.2	QFD-Matriisi.....	28
3.3.3	DfV-Matriisi.....	28
3.3.4	MFD-Matriisi	28
3.3.5	MPF-Matriisi.....	29
3.4	Tuotteen arkkitehtuuri ja elementtien tilavaraus	30
3.4.1	MAN-tutkimus	30
3.5	Menetelmien hyödyntäminen työssä.....	36
4.	STS-NOSTURI JA TELIT	37
4.1	STS-Nosturi.....	37
4.2	Telit	38
4.2.1	Telien rakenne.....	38
4.2.2	Vaa'at	38
4.2.3	Nivelet	41
4.2.4	Kantopyörät.....	41
4.2.5	Varustelu	41
4.3	Telien suunnitteluohjeistukset.....	42
4.3.1	COM-ohjeet	42

4.3.2	DIC-ohjeet.....	43
4.3.3	Laskentapohjat	43
5.	TELIEN KONFIGUROITAVUUS.....	44
5.1	Asiakastarpeet	44
5.1.1	Kaikki asiakastarpeet	45
5.1.2	Konecranesin muutosehdotukset asiakasvaatimuksiin	45
5.2	K- & V-Matriisit teleille.....	46
6.	TELIEN TILANVARAUKSET	50
6.1	Telien eri kombinaatiot ja layoutit	50
6.1.1	Telien kombinaatioiden ja layoutien suunnitteluperiaatteet	51
6.2	Kombinaatioiden tilanvaraukset ja rajapinnat.....	52
6.3	Varustelun tilanvaraukset ja rajapinnat	53
6.3.1	Telien varustelun komponenttien suunnitteluperiaatteet	54
6.4	Arkkitehtuurivakioinnit.....	62
7.	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	64
7.1	Toimenpide-ehdotukset.....	64
7.2	Pääsääntömalli.....	64
7.2.1	Jakologiikan vaikutus.....	66
7.2.2	Arkkitehtuurin vaikutus	66
7.2.3	Moduulien vaikutus.....	67
7.2.4	Rajapintojen vaikutus.....	68
7.2.5	Konfigurointitiedon vaikutus	69
7.3	Tutkimuskysymyksiin vastaus	71
8.	YHTEENVETO	72
	LÄHTEET.....	73

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Havainnollistava kuva moduulin rajapintojen määrittelystä Lehtonen [23].</i>	5
Kuva 2.	<i>Kuvassa Fujimoto [11] esittelee tuotteen osien jaon ja niiden väliset arkkitehtuurit autoteollisuudessa.</i>	6
Kuva 3.	<i>Elinkaarimodulaarisuuden käyttökohteet (Lehtonen 2016).</i>	7
Kuva 4.	<i>Plusmodulaarisuuden tuoterakenne (Lehtonen 2016).</i>	8
Kuva 5.	<i>Brownfield-prosessin askeleet ja niiden vaikutus moduulijärjestelmään [25].</i>	9
Kuva 6.	<i>Prosessin askelien toteutusjärjestys [26]</i>	10
Kuva 7.	<i>CSL-Yrityksenliiketoiminta kartta (Lehtonen 2007).</i>	11
Kuva 8.	<i>Esimerkki DSM-menetelmästä (Pakkanen 2015).</i>	13
Kuva 9.	<i>Esimerkki geneeristen elementtien arkkitehtuurista (Pakkanen 2015).</i>	13
Kuva 10.	<i>Esimerkki Gripen-menetelmän tuloksista (Lehtonen 2007).</i>	15
Kuva 11.	<i>Tuoteperheen alustava kuvaus tehdään vertailemalle kolmea eri näkymää (Pakkanen 2015).</i>	16
Kuva 12.	<i>Muokattu K-matriisi geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden yhtäläisyyksien muodostamiseksi (Pakkanen 2015).</i>	17
Kuva 13.	<i>Geneeriset elementit jaetaan tarkemmin vaiheessa 7 ja määritetään rajapinnat. (Pakkanen 2015).</i>	18
Kuva 14.	<i>Esimerkki tuotteen elementtien jakamisesta ja tilanvarauksista (Pakkanen 2015).</i>	18
Kuva 15.	<i>Vaiheen 8. K-matriisi, jossa geneerisien elementtien ratkaisut lisätty matriisiin. (Pakkanen 2015).</i>	19
Kuva 16.	<i>Esimerkki PSPB-kaavasta, jolla dokumentoidaan tuoteperheen ratkaisut. (Pakkanen 2015).</i>	20
Kuva 17.	<i>Esimerkki vaiheen 10 pääsääntömällistä, jossa kuvataan prosessin vaikutuksia liiketoimintaan. (Pakkanen 2015).</i>	21
Kuva 18.	<i>Konfiguraattorin toimintaperiaate (Soininen 2000)</i>	23
Kuva 19.	<i>K- & V-Matriisissa verrataan tuoterakennetta kolmesta näkökulmasta (Bongulielmi 2002).</i>	27
Kuva 20.	<i>Esimerkki QFD-matriisin ensimmäisestä vaiheesta [24].</i>	28
Kuva 21.	<i>Esimerkki MI-Matriisista [9].</i>	29
Kuva 22.	<i>Esimerkki MPF-Matriisista [3].</i>	29
Kuva 23.	<i>Esimerkki MAN:n tuotedokumentoinnista (Kreimeyer 2014).</i>	31
Kuva 24.	<i>Tuotteen arkkitehtuurin vakioinnin luokitukset (Kreimeyer 2014).</i>	33
Kuva 25.	<i>Esimerkkikuva jätetyistä tilanvarauksista asiakkaan eri variaatioihin (Kreimeyer 2014).</i>	33
Kuva 26.	<i>Esimerkki CPM ja DSM menetelmistä (Kreimeyer 2014).</i>	34

Kuva 27.	<i>Ruudukkopohjainen tilanvaraus malli, jossa tasot rajaavat tilat eri komponenteille (Förg 2014).</i>	35
Kuva 28.	<i>Ajoneuvon akselienvälissä on varattu tila eri komponenttivariaatioille (Förg 2014).</i>	35
Kuva 29.	<i>Konecranes STS-nosturi. (Konecranes.com)</i>	37
Kuva 30.	<i>STS-nosturin 12-pyöräinen teli</i>	38
Kuva 31.	<i>Ensiövaaka</i>	40
	40	
Kuva 32.	<i>Härkävaaka</i>	40
	40	
Kuva 33.	<i>Toisiovaaka</i>	40
Kuva 34.	<i>Esimerkki COM-ohjeissa löytyvästä tilausohjeesta</i>	42
Kuva 35.	<i>Telien komponenttien V-matriisi, jossa vertailtiin telien komponentteja toisiinsa.</i>	47
Kuva 36.	<i>Telien K-Matriisi, jossa vertailtiin asiakastarpeita ja tuoterakennetta.</i>	48
Kuva 37.	<i>V-Matriisi, jossa vertaillaan asiakastarpeita toisiinsa.</i>	49
Kuva 38.	<i>Telin kombinaatioiden ja layouttien välinen PSBP-kartta</i>	52
Kuva 39.	<i>Telivaunu, jossa varioituu esimerkiksi pyöräväli.</i>	53
Kuva 40.	<i>Momenttituki, joka on usein sijoitettu telivaunun päälle</i>	55
Kuva 41.	<i>Kuvassa on esitetty toinen momenttituki vaihteelle</i>	55
Kuva 42.	<i>Kuvassa on esitetty koneistosuojat</i>	56
Kuva 43.	<i>Telien kaapelitiet ongelma vinoissa seinämissä</i>	57
Kuva 44.	<i>Asiakasvaatimuksena tuleva hätästop-painike ja pistorasia</i>	57
Kuva 45.	<i>Kuvassa on nosturin siirron käyttövalo ja paikka myös summerille</i>	58
Kuva 46.	<i>Kiskojarra on sijoitettu telissä toisio- tai härkävaakaan riippuen layoutista.</i>	58
Kuva 47.	<i>Pyöräjarrulle varattu kiinnityspaikka telivaunussa.</i>	59
Kuva 48.	<i>Kuvassa on esitetty STS-nostureissa käytetty puskuri</i>	60
Kuva 49.	<i>Kuvassa PSBP-kartta, jossa kuvataan telin layoutit, kombinaatiot, ratkaisut ja asiakastarpeet ja niiden väliset riippuvuudet.</i>	61
Kuva 50.	<i>Telien pääsääntömalli liiketoimintavaikutusten arviointia varten</i>	65
Kuva 51.	<i>Kuvassa esitetty jakologiikan vaikutus liiketoimintaan</i>	66
Kuva 52.	<i>Kuvassa on esitetty arkkitehtuurin vaikutus tuotteen liiketoimintaan</i>	67
Kuva 53.	<i>Kuvassa on esitetty moduulien vaikutus liiketoimintaan pääsääntömallin avulla.</i>	68
Kuva 54.	<i>Kuvassa on esitetty rajapintojen vaikutus tuotteen liiketoimintaan</i>	69
	70	
Kuva 55.	<i>Kuvassa on esitetty konfigurointitiedon vaikutus tuotteen liiketoimintaan</i>	70

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Bfd	Brownfield Process
CSL	Company Strategic Landscape
CPM	Change Prediction Method
DfV	Design for Variety
DSM	Design Structure Matrix
IT	Information Technology
MFD	Modular Function Deployment
MPF	Modular Product Families
PDM	Product Data Management
PLM	Product Lifecycle Management
PSBP	Product Structuring Blue Print
QFD	Quality Function Deployment
STS	Ship to Shore
Konfiguraattori	Ohjelma, joka käyttää konfigurointitietoa luodakseen tuoterakenteen asiakasvaatimuksista
Moduuli	Tuotteen rakennuspalikka vakio rajapinnoilla, sisältäen jonkin toiminnon
Rajapinta	Kappeleiden välinen liitospinta

1. JOHDANTO

1.1 Konecranes Oy

Konecranes Oy on vuonna 1994 syntynyt yksi maailman johtavista nostolaitevalmistajista. Konecranesin tuotteisiin kuuluu teollisuusnostureita, satamanostureita, trukit ja näiden huoltotoiminnot. Konecranesin vuotuinen liikevaihto on noin 2 miljardia euroa ja työntekijöitä yrityksessä on maailmanlaajuisesti noin 12000. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Hyvinkäällä, jossa työskentelee noin 1000 henkilöä ja koko suomessa noin 2000 henkilöä.

1.2 Työn taustaa

Työ tehdään yrityksen satamanosturiorganisaatiossa. Työn aihe lähti liikkeelle telisuunnittelijan tarpeesta yksikössä ja luonnollisesti aiheeksi rajautuivat satamanosturin telit. Yksikössä oli tarvetta telien suunnitteluohjeistuksen ja tuoterakenteen ylläpitäjälle. Työn rajaus liittyy telien osalta STS-tuoteryhmän käynnissä olevaan modulaariseen tuotekehitysprojektiin. Oma pääaine, tuotekehitys, sopii myös hyvin työn aiheeseen.

1.3 Työn rajaus ja tavoitteet

Työn rajaus keskittyy STS-nosturien telien modulaarisuuteen ja varustelun arkkitehtuurin tutkimiseen. Työssä tavoitteena on kartoittaa asiakkaalta tulevat vaatimukset teleille ja luoda niille yhteys tuoterakenteen kanssa. Tällä konfigurointitiedolla saadaan tieto, mitä komponentteja telissä tarvitsee olla kaikkien asiakastarpeiden saavuttamiseksi.

Konfigurointitiedon avulla tavoitteena on saada telin varustelulle vakio tilavaraukset ja rajapinnat telien tuoterakenteessa. Tämä auttaisi ymmärtämään paremmin asiakasvaatimuksia ja myös omaa komponenttisuunnittelua. Monesti on vaikeaa suunnitella helposti asennettavia ratkaisuja ilman ennalta määritettyjä rajapintoja ja tilavarausta tuotteessa. STS-nosturin telien komponentit tulevat usein valmiina työmaalle, jossa nosturi kasataan. Telien teräsrakenteet tulevat valmiiksi kasattuina myös työmaalle, mutta varustelu usein asennetaan vasta paikanpäällä. Tällöin monesti projekteissa joudutaan tekemään muok-kausta ja lisätyötä varustelun kiinnittämiseksi.

2. TUTKIMUKSEN KUVAUS

2.1 Tutkimuksen kohde

Tutkimuksen kohteena ovat Konecranes yrityksen satamanosturiyksikön STS-nosturin telisarjat. Tutkimuksessa tutkitaan telien modulaarisuutta niiden konfiguroitavuuden ja varustelun tilavarauksien näkökulmasta.

2.2 Tutkimusmenetelmät

Tämä työ toteutettiin laadullisena tutkimuksena eli työssä käytetään kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Työssä tutkimusstrategiana tutkitaan ja esitellään eri menetelmiä tuotteen modulaarisen rakenteen kehittämiseksi. Näistä esitetyistä eri menetelmistä valitaan tuotteelle sopivimmat ja tutkitaan miten ne käytännössä toimivat tuotteelle. Konfigurointitietoa pyritään luomaan työssä valitun menetelmän perusteella ja konfigurointitiedolla määritetään tuotteen arkkitehtuuria komponenteille. Konfigurointitiedon pohjalta pystyttiin määrittämään mikä asiakastarve vaikuttaa mihinkin komponenttiin ja komponenttien väliset riippuvuudet. Arkkitehtuurin suunnittelussa tämä oli tarpeellista, jotta voitiin määrittää komponenteille oikeat tilanvaraukset ja rajapinnat asiakastarpeet huomioiden.

Tutkimuksessa käytetään myös hyödyksi yrityksessä jo ennalta löytyviä suunnitteluohjeistuksia. Suunnitteluohjeista löytyvät teleille tehdyt tuoterakenteet ja eri komponenttien valintaperusteet teräsrakenteen osalta. Erikseen telien varustelulle ei löydy ohjeistuksia. Sen takia tässä työssä painotetaan niiden luomiseen, jotta asennus ja suunnittelu helpottuisi.

Työssä käytetään myös paljon haastattelutietoa Konecranesin tuotteiden eri asiantuntijoilta. Haastatteluja ja palavereita pyritään käymään työhön liittyen mahdollisimman kirjavan joukon kanssa. Haastatteluita käydään muun muassa pääsuunnittelijoiden, tuotepäällikön, myyntimiehen, rakennesuunnittelijoiden kanssa.

2.3 Tutkimuskysymykset

Työssä vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mikä on asiakastarpeiden huomioimisen merkitys konfiguroitavassa tuotteessa?
- Mitä hyötyä konfigurointitiedon luomisella on tuotteen komponenttien ja asiakastarpeiden välille?
- Miten tuotteen arkkitehtuuri tulee huomioida konfigurointitietoa luodessa?
- Miten komponenttien tilanvaraukset tulee huomioida tuotteessa?
- Miksi kehitystyön vaikutusta yrityksen liiketoimintaan tulee arvioida?

3. TEOREETTINEN TAUSTA

Tässä kappaleessa esitellään työn toteutukseen ja tiedonhakuun käytettyjä tutkimustöitä ja teorioita.

3.1 Moduloitava tuote

Moduloinnista ja moduuleista on olemassa monia eri määritelmiä eri tutkimustöissä. Kaikista määritelmistä on kuitenkin ymmärrettävissä, että moduuli on rakennuspalikka tai lohko, jolla on jokin toiminto tuotteessa ja määritetyt rajapinnat.

Engbom (2016) esittelee diplomityössään muutaman määritelmän moduulille kirjallisuudesta:

- Andersen (2011): ”Moduuli on tuotekokonaisuus, jolla on toiminto tai jokin piste, jolla on erillinen toiminto ja tarvittava ominaisuus. Samaa aikaa sillä on rajapinnat ja vuorovaikutukset muiden kokonaisuuksien kanssa, jotka voidaan nähdä tuoterakenteen rakennuspalikkana”.
- Hölttä (2004): ”Moduuli on ison järjestelmän rakenteellisesti itsenäinen rakennuspalikka, jolla on hyvin määritellyt rajapinnat”.
- Lapinleimu (2000): ”Moduuli on lopullisen tuotteen rakenteellinen tuotekokonaisuus, jolla on huolellisesti määritellyt rajapinnat”.
- Erixon (1998): ”Modulointi on tuotteen hajottamista rakennuspalikoiksi määritellyillä rajapinnoilla, joilla on yhtiön erittelemät syyt”.

Lehtonen [23] esittelee kolme pääperiaatetta, jotka moduulien pitää toteuttaa. Periaatteet on kehittänyt saksalainen Karl-Heinz Borowski [3] ja niitä kutsutaankin ”Borowskin säännöiksi”:

1. Moduulilla on rikkomaton rajapinta, joka ei muutu.
 - a. Tämä on tärkeää, koska moduloitava tuote jaetaan moduulivariantteihin, jotka ovat vaihtokelpoisia keskenään vakiorajapintojen ansiosta.
 - b. Haasteena vakiorajapinnoissa on, että niiden tulee ulottua mekaniikan lisäksi myös sähkö- ja hydraulikkajärjestelmiin.
2. Moduuli on olemassa vain moduulijärjestelmän osana.
 - a. Tämä on tärkeää, koska jokaisella kokoonpanolla tulee olla jokin käyttötarkoitus moduulijärjestelmässä.
 - b. Haasteena on, että pelkästään vakiorajapintojen määrittämisen ajatellaan riittävän, mutta usein myös vaaditaan liiketoiminnan tuoma logiikka.

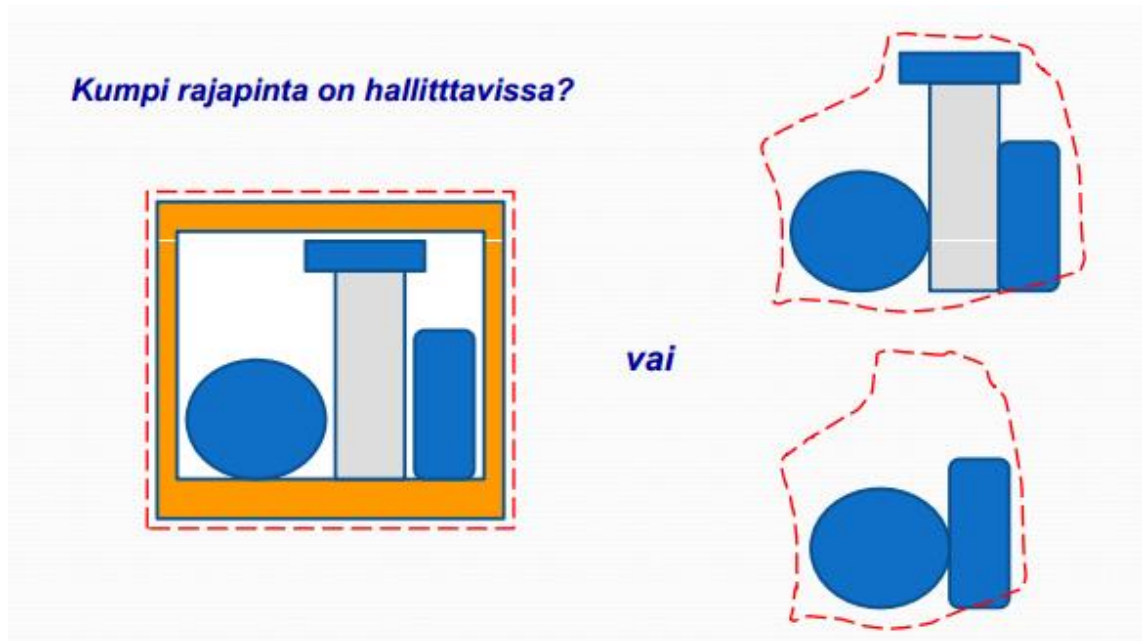
3. Yhdessä moduulijärjestelmässä moduulit ovat järkevässä kokosuhteessa toisiinsa ja moduulit eivät koostu toisista moduuleista.
 - a. Tämä on tärkeää, koska tuotteen kokoaminen on helppoa kun konfigurointi on yksitasoinen eli kerätään samanarvoisista moduuleista tarvittava joukko.
 - b. Haasteena on, että tuotteessa on usein päällekkäisiä rakenteita, jolloin ne tulisi toteuttaa sisäkkäisillä moduulijärjestelmillä.

Moduulijärjestelmä koostuu viidestä eri suunnitteluelementistä:

- Tuotteen jakologiikka
 - Määritettävä perusteet moduulijaolle. Mitä asioista on huomioitava kun määritellään, mitä kuhunkin moduuliin kuuluu. Pitää määritellä liiketoiminta- ja asiakasympäristö.
- Moduulijoukko
 - Määritettävä minimi määrä tuotteiden ”rakennuspalikoita”. Mitkä moduulit mahdollistavat riittävän tuotteen varioituvuuden asiakkaille?
- Rajapinnat
 - Moduulien välillä huomioiden eri disipliinit (mekaaninen, sähkö, ym.). Rajapinnat tulee olla vakiot moduulien välillä, jotta mahdollistetaan moduulien vaihtokelpoisuus ja itsenäisyys.
- Arkkitehtuuri
 - Vakioitava moduulien omat tilanvaraukset ja rajapinnat niiden välillä. Tilanvaraukseen ei saa suunnitella muita moduuleita.
- Konfigurointitieto
 - Moduulivaihtoehtojen ja asiakastarpeiden yhteydet tarjonnan ja myynnin tueksi. Moduulit, jotka ovat tuotteessa tietynlaisen asiakastarpeen ollessa voimassa.

Kuvassa 1 on esitetty havainnollisesti modulaarisen kokoonpanon eli moduulin rajapintojen määrittämisen tärkeys. Kuvassa vasemmalla havainnollistetaan rikkomaton rajapinta moduulille. Oikealla puolella huomataan, kun kokoonpanosta otetaan komponentti pois, niin rajapinta muuttuu. Jos rajapinta muuttuu komponentteja vaihdeltaessa, niin se vaikeuttaa niiden asentamista. Kun rajapinta on vakio, niin komponentin asentaminen onnistuu aina samalle rajapinnalle.

Moduuleita ja rajapintoja määrittäessä on erittäin tärkeää huomioida, ettei niitä dokumentoida yhdessä. Moduulit ja rajapinnat tulee hallinnoida ja dokumentoida aina erikseen toisistaan (Fujimoto 2007).



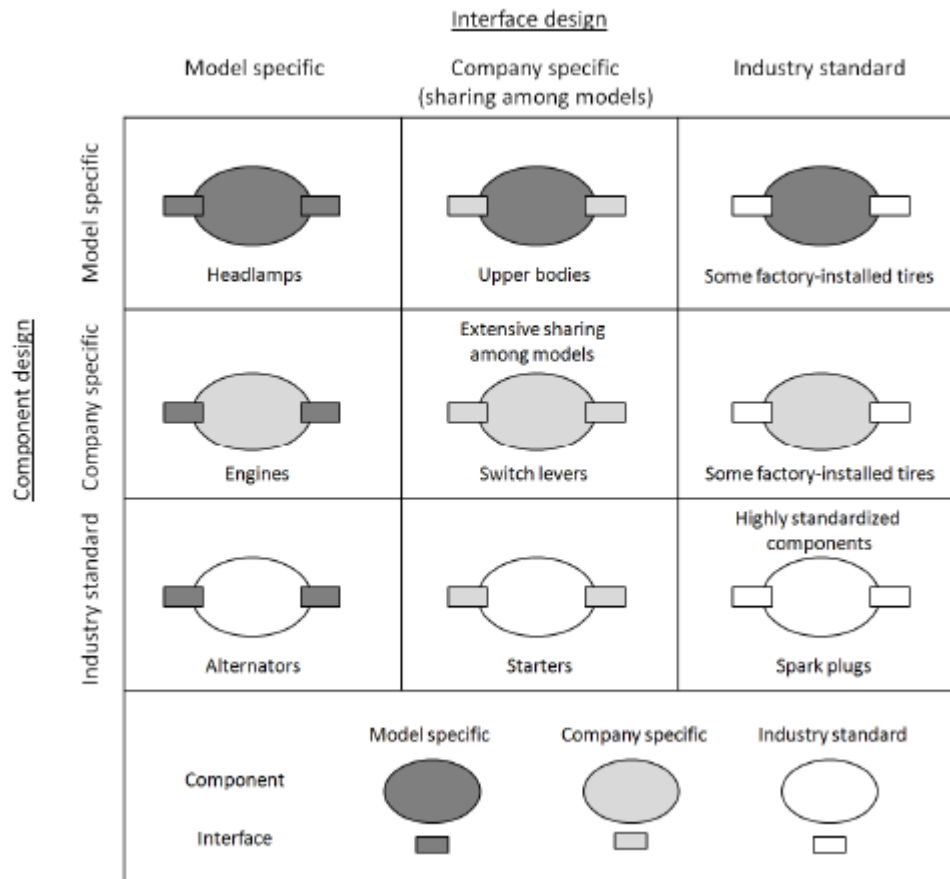
Kuva 1. Havainnollistava kuva moduulin rajapintojen määrittelystä Lehtonen [23].

Modulaarista tuotetta kehitettäessä ei pelkkä rajapintojen määrittäminen riitä hyötyjen saamiseen. Tuotteelle pitää suunnitella myös sen arkkitehtuuri. Ilman arkkitehtuuria moduuleilla voi olla rajapinnat, jotka sopivat keskenään paikoilleen. Jossain tapauksissa ilman määriteltyä arkkitehtuuria rajapinnat voivat olla toistensa ulottumattomissa, jolloin moduuleja on mahdoton asentaa paikalleen. Tähän tarvitaan suunniteltu tuotteen arkkitehtuuri.

Fujimoto [11] kuvailee tuotteen arkkitehtuuria, kuinka tuotteen osat on liitetty toisiinsa. Tuotteet ovat tehty layouteista, kombinaatioista, jotka toteuttavat layoutit ja kombinaatioiden osista. Tavoite on Fujimoton mukaan analysoiden jakaa tuotteen osat ja lokeroida ne seuraaviin lokeroihin:

- Mallikohtainen (Suunniteltu vain yhdelle malliperheelle)
- Yrityskohtainen (Suunniteltu käytettäväksi vain yrityksen sisäisesti kaikille tuoteperehen tuotteille)
- Teollisuuskohtainen (Teollisuuskohtainen standardi, jota voidaan käyttää erilaisissa tuotteissa)

Kuvassa 2 Fujimoto esittelee, kuinka komponentit ja niiden rajapinnat jaetaan teollisuudessa. Kuvasta huomaa, kuinka tärkeää on rajapintojen dokumentointi erillään moduulista. Näitä kaikkia tuoteversioita löytyy myös Konecranesin teleistä, jolloin on hyvin tärkeää huomioida ja dokumentoida eri osien rajapinnat erillään komponenteista.



Kuva 2. Kuvassa Fujimoto [11] esittelee tuotteen osien jaon ja niiden väliset arkkitehtuurit autoteollisuudessa.

Modulaarisuudessa voidaan tähdätä tuotteesta riippuen joko elinkaari modulaarisuuteen tai muuntelumodulaarisuuteen. Elinkaarimodulaarisuus on järkevää toteuttaa kun tuotteessa ei ole tavoitteena muuntelu toimituksissa. Kuvassa 3 on esitetty erilaisia elinkaari-modulaarisuuden käyttökohteita. Elinkaarimodulaarisuudesta voi olla hyötyä kolmen tyyppisissä tapauksissa:

1. Valmistussyihin perustuva modulaarisuus

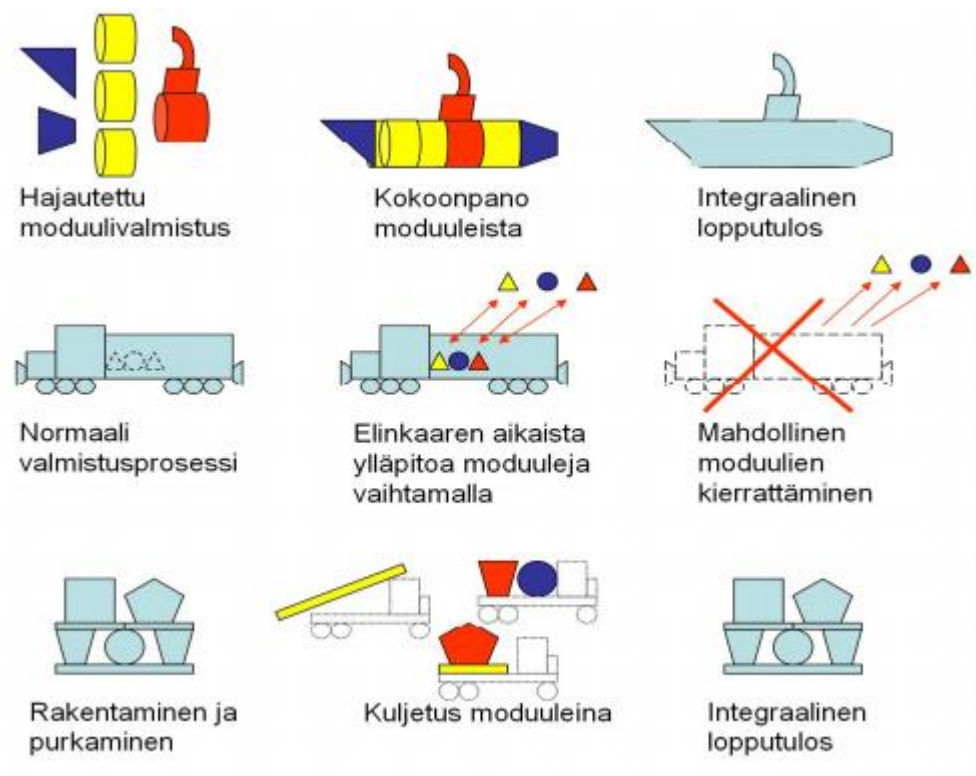
Modulaarisuudesta on hyötyä esimerkiksi isoissa tuotteissa, jotka on helpompi valmistaa lohkoista eri paikoissa ja kokoonpanna yhdessä paikassa. Esimerkiksi laivavateollisuus.

2. Ylläpitösyihin perustuva modulaarisuus

Modulaarisuudesta on hyötyä kun tuotteen jokin kokoonpano on rikkoutunut ja se joudutaan vaihtamaan. Tällöin on hyötyä kun kokoonpano moduulin pystyy ottamaan helposti irti ja asentamaan uuden moduulin tilalle samoilla rajapinnoilla.

3. Logistiikkasyihin perustuva modulaarisuus

Logistiikkaan perustuva modulaarisuus on silloin hyödyllistä kun tuote pitää kuljettaa asiakkaalle pitkiä matkoja. Tällöin tuote voidaan jakaa moduuleihin, kuljettaa ja kasata paikanpäällä nopeasti.

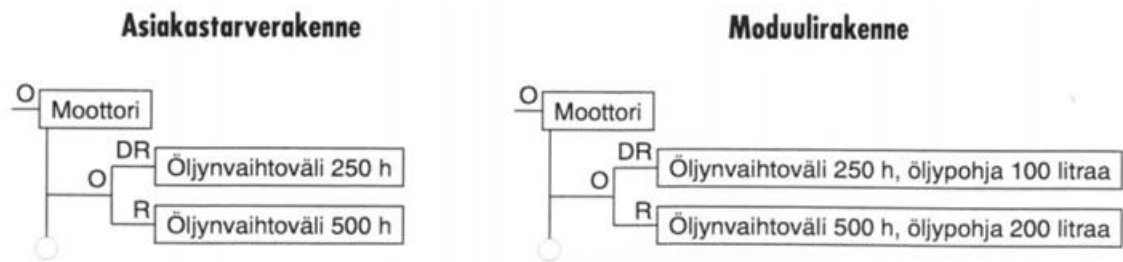


Kuva 3. Elinkaarimodulaarisuuden käyttökohteet (Lehtonen 2016).

Lehtonen (2007) määrittelee, että muuntelumodulaarisuudessa tuote koostuu kokoonpanoista eli moduuleista, joilla on määrätty rajapinta ja ne kuuluvat moduulijärjestelmään. Moduulijärjestelmä on lohkoista (moduuleista) koostuva järjestelmä, joka sisältää lohkojen vaihtokelpoisuutta. Muuntelumodulaarisessa tuotteessa pitää päättää myös sen arkkitehtuuri. Lehtonen (2007) määrittelee kolme erilaista arkkitehtuuria tuotteelle:

- Plusmodulaarisuus: Arkkitehtuuri pääosin vakio, moduulit lisätään mitään poistamatta.
- Suljettu arkkitehtuuri: Kaikki toimitusvariantit tunnetaan, järjestelmää käytetään tässä ja nyt.
- Avoin arkkitehtuuri: Järjestelmään tullaan lisäämään uusia asioita tulevaisuudessa.

Plusmodulaarisen suunnittelufilosofian ovat kehittäneet Jarmo Juhola ja Kalle Välimaa (1997). Tässä filosofiassa tuoterakenteen määrää asiakastarpeet. Tuoterakenne luodaan minimimäärästä moduuleja, jotka täyttävät kaikki asiakasvaatimukset. Filosofiassa kaikki asiakastarpeet otetaan huomioon eli vanhaa asiakastarvetta ei tarvitse poistaa kun uusi lisätään. Tuoterakenteella on siis muuttumaton perusosa, johon voidaan lisätä moduulivaihtoehtoja mitään pois ottamatta. Kuvassa 4 on esitetty plusmodulaarisuuden tuoterakenne.



Kuva 4. Plusmodulaarisuuden tuoterakenne (Lehtonen 2016).

Suljetussa arkkitehtuurissa kaikki toimitusvariantit tunnetaan eli esimerkiksi kaikki asiakkaiden haluamat runkojen vaihtoehdot tuotteelle, jolloin järjestelmään ei tarvitse lisätä uusia variantteja.

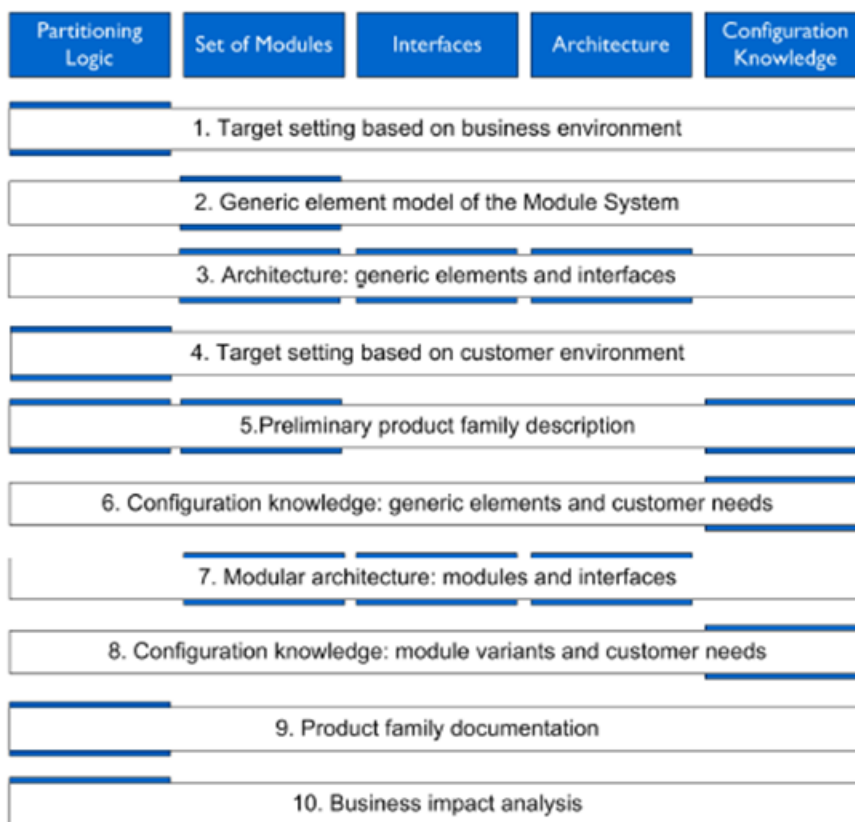
Avoimessa arkkitehtuurissa tuotteeseen pitää jättää tilaa uusille tuleville varianteille. Arkkitehtuuri onnistuu, mikäli tuotteelle ei ole kriittisiä suorituskykyvaatimuksia, vaikeita tilarajoituksia tai painon optimoimisella ei tule suurta hyötyä.

3.2 Brownfield-Prosessi

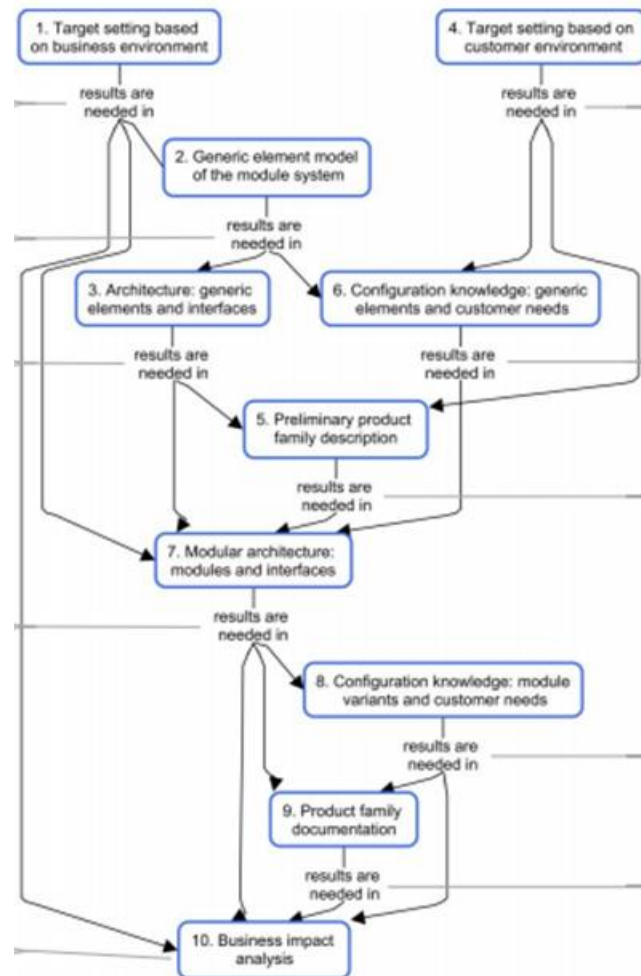
Brownfield-prosessi on kehitetty jo olemassa olevien tuoteperheiden liiketoimintalähtöiseen modulaariseen tuotekehitykseen. Ideana on, että tuotteita ei tarvitse lähteä suunnittelemaan tyhjältä alustalta, vaan huomioidaan jo olemassa oleva tuoteperhe ja aloitetaan suunnitteluprosessi sen pohjalta. Prosessi on kehitetty (Pakkasen 2015) väitöskirjassa ja aiheesta on tehty aiempia tutkimuksia (Lehtonen 2007) ja (Juuti 2008) teoksissa.

Pakkasen [26] mukaan on olemassa paljon yrityksiä, jonka tuotevalikoima on vuosien myötä kasvanut eli on olemassa paljon eri ratkaisuja samoihin tarpeisiin. Yritysten tuoteperheiden tuotteet sisältävät paljon samankaltaisuutta, mutta eivät mahdollista suunnittelun uudelleenkäyttöä siellä missä siitä olisi hyötyä.

Prosessissa on kymmenen askelta, jotka on esitetty kuvassa 5 ja selitetty alla. Pakkasen [25] työssä jokaiselle askelelle kuvataan ja esitellään menetelmiä, jolla tarvittava suunnittelutieto saadaan selville. Jokaista askelta ei ole pakko toteuttaa alla olevassa järjestyksessä vaan niitä voi myös soveltaa esimerkiksi kuvan 6 mukaisesti. Kuvassa 6 joitain prosessin askelia tehdään samanaikaisesti, esimerkiksi prosessin voi aloittaa kartoittamalla liiketoimintaa (vaihe 1) ja asiakastarpeita (vaihe 4), koska asiakastarpeita tarvitaan vasta vaiheessa 6.



Kuva 5. Brownfield-prosessin askeleet ja niiden vaikutus moduulijärjestelmään [25].



Kuva 6. Prosessin askelten toteutusjärjestys [26]

3.2.1 Liiketoimintaympäristön huomioiminen

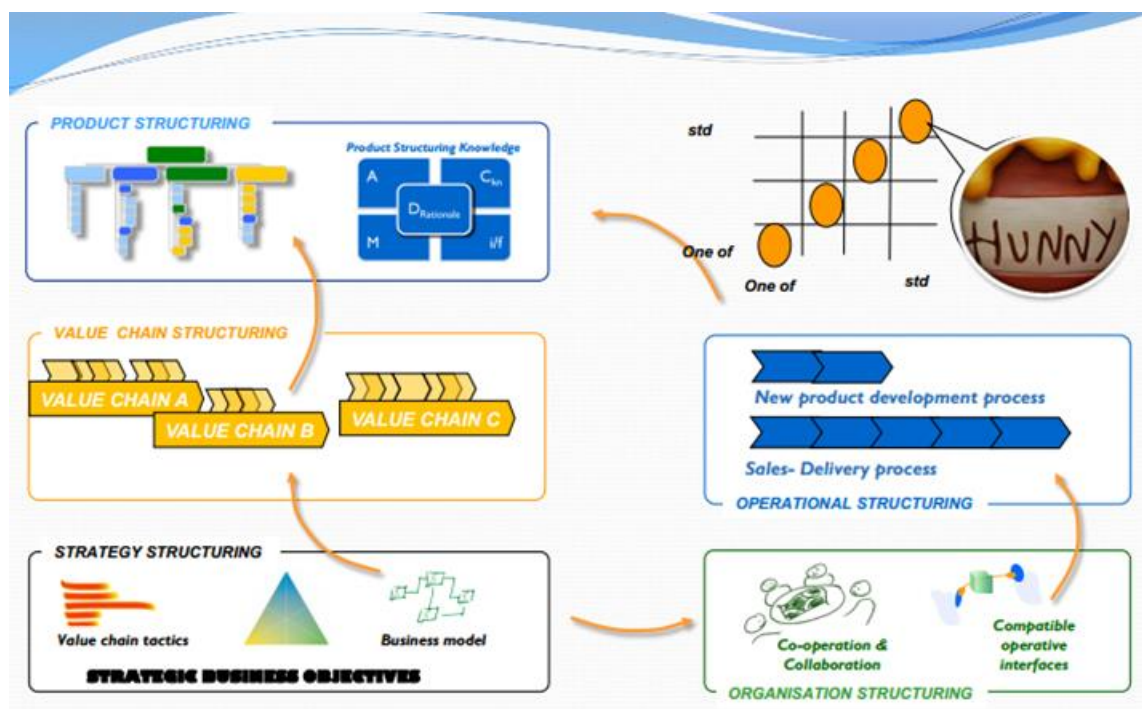
Ensimmäisessä Brownfieldin askeleessa määritetään tietoa modulaariselle tuoteperheelle liiketoiminnan näkökulmasta. Tämän askeleen luoma tieto auttaa löytämään syitä modulaariselle tuoteperheelle. Askelta suositellaan tehtäväksi ”workshop” hengessä, johon osallistuu mahdollisimman paljon eri osastoilta henkilöitä, jolloin saadaan kaikilta alueilta tärkeät tiedot huomioon.

Askeleessa tehdään myös CSL-kartta. Kartta ohjaa kehittämään tuoterakenteet niin, että ne vastaavat liiketoimintaympäristön luomiin vaatimuksiin. CSL-kartassa on viisi elementtiä, joihin kerätään tietoa:

- Tuoterakenne
 - Kuvataan onko tuoterakenne standardi, konfiguroitava, osittain konfiguroitava vai projektikohtainen.
- Arvoketju
 - Arvoketjussa kuvataan jokainen tuotteen vaihe joka tuottaa arvoa. Arvoketju tulisi perustua yrityksen mukaisesti.

- Yrityksen strategia
 - Kuvataan mikä on yrityksen strategia: standardi, konfiguroitava vai projektikohtainen.
- Tuotteen elinkaari
 - Kuvataan elinkaari: suunnittelu, tuotanto, myynti- ja toimitusketju.
- Yrityksen organisaatioketju
 - Kuvataan yrityksen resursseja ja verkostoa: alihankkijat, toimittajat, ym.

Elementteihin vedetään määrittämisen jälkeen yhteydet, mikä elementin vaihe vaikuttaa mihinkin toiseen elementtiin. Tällöin nähdään esimerkiksi tuoterakenteen ja myyntiketjun välillä mitä myydään. Eli, jos on suunniteltu standardituote niin myyjä osaa myydä sitä myös standardina. Myyjä ei lupaa ylimääräisiä toimintoja, jos niitä ei ole suunniteltu tuoterakenteeseen. CSL-työkalan elementeistä on keskusteltu myös Juutin [15] väitöskirjassa. Kuvassa 7 on kuvattu CSL-kartan toimintaprosessi.



Kuva 7. CSL-Yrityksenliiketoiminta kartta (Lehtonen 2007).

3.2.2 Tuotteen geneeriset elementit

Tuotteen geneeriset elementit ovat tuotteen rakennuspalikoita. Eli voidaan kuvitella, että tuote voidaan jakaa geneerisiin elementteihin ja jokainen elementti toteuttaa yhden toiminnon tuotteessa. Pakkanen [26] määrittää geneerisen elementin kahteen ominaisuuteen:

- GE sisältää kaiken tarvittavan yhden muunteluvaatimuksen toteuttamisen.
- GE on mahdollista toteuttaa teknisenä yksikkönä.

Geneerisen elementin tarkoitus on aikaansaada jokin muunnos. Elementtien määrittely alkaa tunnistamalla tuotteesta toiminnollisuudet ja vaatimukset, eli transformaatiot, joita asiakas haluaa saavuttaa tuotteella. Tämä voi olla esimerkiksi nosturissa kuorman nostaminen ja toisen elementin toiminto voi olla taas kuorman siirtäminen.

Tunnistamisen jälkeen voidaan ajatella transformaatioita teknisinä yksikköinä, mutta ei vielä ajatella teknisiä toteutuksia. Näillä on nimitys abstraktit geneeriset elementit. Seuraavaksi tarkastellaan voidaanko tuote jakaa niin, että tekniset yksiköt vastaavat abstrakteja geneerisiä elementtejä. Tästä voi aiheutua, että tekniset rajoitteet estävät joidenkin abstraktien geneeristen elementtien toteutettavuuden. Jos tällaisia tapauksia tulee niin pitää tehdä iterointikierrros ja pohtia geneeristen elementtien määrittely siltä osin uudestaan.

Geneeriset elementit ovat moduulikonsepteja eli moduulien niin sanottuja ylätasoja, joihin ei liity muuntelua. Geneerisillä elementeillä voi olla siis moduulivariantteja. Esimerkiksi, jos ajatellaan kuorma-autoa, jossa kuorman tarrain on yksi geneerinen elementti. Kuorman tarraimella voi olla moduulivariantteja eli erilaisia tarraimia. Toisessa tarraimessa voi olla pihdit ja toisessa koukku tarttujana. Geneerisille elementeille on myös tärkeää määrittää omat vakioidut rajapinnat.

3.2.3 Arkkitehtuuri: Geneeristen elementtien väliset rajapinnat

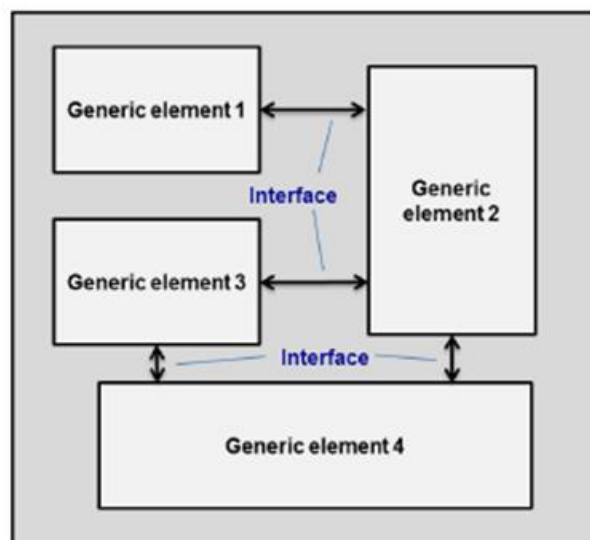
Kolmannessa askeleessa määritetään geneeristen elementtien rajapinnat ja niiden paikat tuotteessa eli minkä geneeristen elementtien välillä on rajapintoja. Brownfield-prosessissa on oleellista suunnitella modulaarinen arkkitehtuuri geneerisille elementeille ja koko tuotteelle, koska prosessissa oletetaan varianttien tarpeellisuus asiakkaiden muunteluhaluudesta. Modulaarisuudessa puhutaan avoimesta ja suljetusta arkkitehtuurista. Suljetussa arkkitehtuurissa kaikki toimitusvariantit tunnetaan, eli uusia asiakastarpeita ei ole odotettavissa tuotteeseen. Avoimessa arkkitehtuurissa tullaan lisäämään uusia asioita järjestelmään. Kummassakin järjestelmässä on Pakkasen (2015) mukaan hyvät ja huonot puolet. Suljettu rakenne ei huomioi tulevaisuuden tarpeita, kun taas avoimessa rakenteessa tulee huomioida mahdollisten uusien asioiden rajapintoja ja tilavarauksia. BfP ei huomioi tulevaisuuden tarpeita tuotteelle, mutta suosittelee rajapintojen olevan määritelty huolella tuoteperheessä.

Geneeristen elementtien väliset riippuvuudet on määritettävä tässä askeleessa. Siihen Pakkanen (2015) suosittelee Stewardin (1981) matriisi työkalua DSM. Matriisissa listataan geneeriset elementit pysty- ja vaakariviin. Listauksen jälkeen elementtien väliset suhteen voidaan analysoida rajapinnat huomioiden. Esimerkki DSM-menetelmästä on esitetty kuvassa 8. Kuvasta 8 voidaan huomata, että esimerkiksi 1. Geneerinen elementin välillä voi olla rajapinta 2. ja 4. kanssa.

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 8. Esimerkki DSM-menetelmästä (Pakkanen 2015).

Geneeristen elementtien välisten rajapintojen määrittämisen jälkeen on prosessin mukaan hyvä vielä kuvata ne selkeästi. CAD-ohjelmilla rajapintojen piirtäminen on tarpeetonta, koska lopullista tuoteperheen rakennetta ei ole tässä vaiheessa vielä määritetty. Joten tässä askeleessa BfP ehdottaa yksinkertaista kuvausta, kuinka elementit ovat sijoitettu tuotteeseen ja minkä elementtien välillä on rajapinta. Esimerkki kuvatusta tavasta on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Esimerkki geneeristen elementtien arkkitehtuurista (Pakkanen 2015)

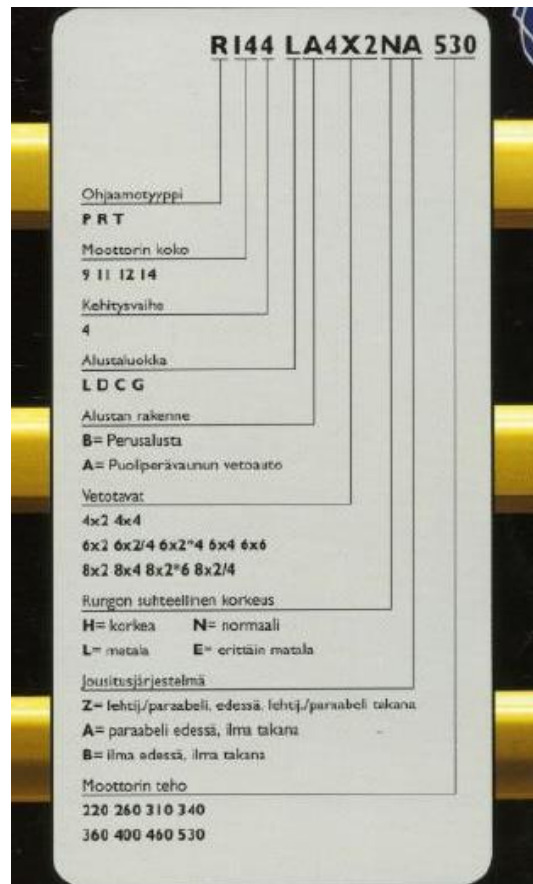
3.2.4 Asiakastarpeet

BfP on olemassa olevaa tuoteperhettä varten oleva prosessi. Olemassa olevat tuotteet on tuotettu ja toimitettu joidenkin asiakastarpeiden mukaan. Asiakastarpeita tutkiessa on Pakkasen (2015) mukaan tärkeää päättää haluaako yritys muuttaa projektikohtaista suunnitteluaan konfiguroivaan tuotesuunnitteluun, jossa on asiakastarpeille valmiiksi suunnitellut ratkaisut. Tämä valinta on tehtävä sen takia, että asiakastarpeet määrittävät konfiguraatiosäännöt tuotteelle. Konfiguraatiosäännöt kertovat minkälainen tuote toimitetaan asiakkaalle minkäkin asiakastarpeen ollessa voimassa.

BfP sisältää oletuksia niin sanottuihin perusasiakastarpeisiin tuotteessa, jotka ovat hyvin tunnettuja yrityksessä ja niihin keskittyminen on hyvin vähäistä prosessin aikana. Erityisemmät tarpeet voivat sisältää tietoa, joka ei ole enää merkityksellistä olemassa olevien teknologisissa toteutuksissa. BfP suosittelee analysoimaan asiakastarpeet, jotta voidaan varmistua siitä, että tarpeet ovat ajan tasalla olevia eikä vanhoista tuotteista jääneitä (Pakkanen 2015).

BfP suosittelee asiakastarpeiden läpikäymiseen Gripen-menetelmää, joka perustuu väitöskirjan esimerkkiin (Lehtonen 2007). Lehtosen (2007) väitöskirjassa on esimerkki menetelmästä, jossa rekka on konfiguroitu kysymyslistan pohjalta. Tyypillisimmät asiakastarpeet tulee olla kartoitettuna, tämä helpottaa Gripen-menetelmän konfigurointikysymyslistan luontia. Listan idea on, että vastaamalla kysymyksiin saadaan tuotevariantti määriteltä melko tarkasti jo asiakkaalle. Esimerkiksi tuotteen myyntitilanteessa on mahdollista antaa melko tarkka tarjous, kun asiakas vastaa valmiiksi valittuihin kysymyksiin.

Kysymyslistan jokaisessa osiossa valitaan tietty komponentti tuotteeseen, esimerkiksi listassa kysytään vuotuinen ajomatka, kokonaisyhdistelmäpaino, tien laatu ja tehoalue. Kysymyksien pohjalta saadaan valittua rekan oikea runkokoko valmiiksi määritellyistä konfigurointitiedoista. Kysymyslista jatkuu mm. akselien lukumäärän, moottorin, vaihteiston ja ohjaamon valintaan. Kysymyslistan pohjalta saadaan tuotekoodi, jolloin voidaan konfigurointitiedon pohjalta valita oikeat komponentit ajoneuvoon. Esimerkki kysymyslistan tuloksesta on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Esimerkki Gripen-menetelmän tuloksista (Lehtonen 2007).

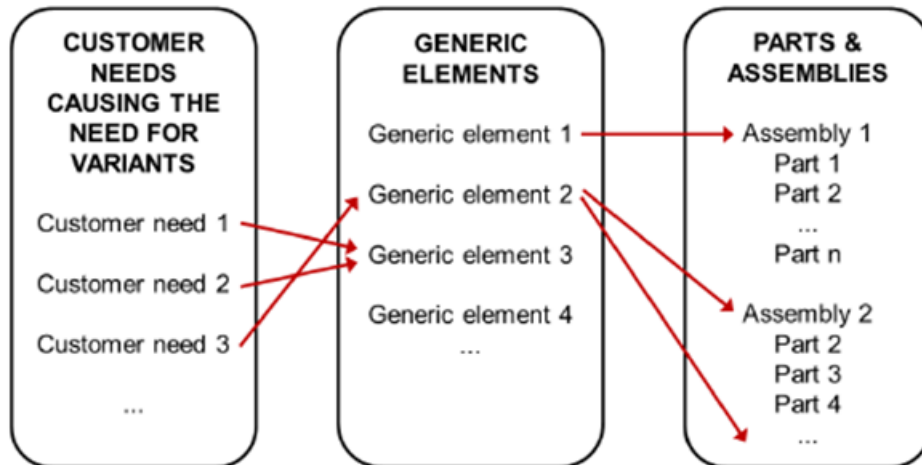
3.2.5 Tuoteperheen alustava kuvaus

Tässä prosessin vaiheessa luodaan alustavaa kuvausta tuoteperheelle vertailemalla asiakkaan, suunnittelun ja tuotteen osien välisiä suhteita. Nämä kolme eri tuotteen näkymää Pakkanen (2015) esittelee Harloun (2006) väitöstyöstä. Kolmea eri näkymää vertailemalla on tarkoitus saada selville mitä jokainen näkymä sisältää, suhteet näkymien välillä ja minkälaisia mahdollisuuksia olisi osien standardisointiin varianttien välillä. Kuvassa 11 esitellään kolme eri näkymää, joita tässä vaiheessa vertaillaan tuoteperheen kuvauksen saamiseksi.

Kuvassa 11 eri vaiheiden sisällöt on määritetty jo aikaisemmissa vaiheissa. Ensimmäiseen laatikkoon listataan asiakkaalta tulevat vaatimukset, jotka olivat määritetty vaiheessa 4. Toiseen laatikkoon listataan tuotteen päätetyt geneeriset elementit, jotka oli määritetty 2. Vaiheessa. Kolmanteen laatikkoon listataan tuotteen kokoonpanot ja osat, tavoitteena on löytää yhteydet aina asiakastarpeesta tuotteen osaan. Ensin vertaillaan asiakastarpeita ja geneerisiä elementtejä, sen jälkeen geneerisiä elementtejä ja kokoonpanoja. Laatikoiden väliset suhteet määritellään kyllä tai ei.

Vaiheen yhtenä tavoitteena on löytää jokaiselle geneeriselle elementille edes yksi asiakastarve. Jos tässä vaiheessa löytyy sellainen elementti, jolle ei löydy vastaavaa asiakastarvetta, niin silloin on mahdollisuus elementin vakioinnille, koska asiakasvaatimukset

eivät vaadi muuntelua. Elementtien ja kokoonpanojen välisten suhteiden avulla saadaan määritettyä myös mahdolliset vakioidut kokoonpanot tai osat tuotteessa. Eli jokaisella tuotteen osalla, kokoonpanolla ja elementillä on oltava yhteys johonkin asiakasvaatimukseen, muulloin osa voidaan vakioida, koska sille ei löydy muuntelutarvetta. Pakkanen (2015) mukaan on toki mahdollista, että yrityksen sisältä tulee variointitarve kokoonpanolle. Tämä voi esimerkiksi johtua tuotannosta, joka ei mahdollista samanlaisten osien tekemistä, jolloin joudutaan varioimaan vaikka kokoonpanolle ei tulisi muuntelua asiakkaalta.



Kuva 11. Tuoteperheen alustava kuvaus tehdään vertailemalle kolmea eri näkymää (Pakkanen 2015).

3.2.6 Konfigurointitieto: Geneeriset elementit ja asiakastarpeet

Kuudennessa vaiheessa luodaan konfigurointitietoa tuotteen geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden välille. Vaiheen tavoitteena on selvittää elementtien ja asiakastarpeiden väliset suhteet eli mitä asiakastarvetta kukin geneerinen elementti edustaa.

Pakkanen (2015) suosittelee tähän vaiheeseen käytettäväksi muokattua K-Matriisia, jonka avulla voidaan luoda konfigurointitietoa geneeristen elementtien ja asiakastarpeiden välille. K-Matriisi kuuluu K- & V-Matriisi menetelmiin, joita käydään tässä työssä tarkemmin läpi kappaleessa 3.3.1. Alkuperäisessä K-matriisissa kuvattiin yhtäläisyydet kyllä tai ei merkinnällä. Tässä muokatussa matriisissa on neljä eri vaihtoehtoa yhtäläisyyksien kertomiseksi. Neljä eri vaihtoehtoa merkitään matriisiin numeroin. Kuvassa 12 on esitetty esitystapa matriisille, jossa geneeriset elementit listattu vaakasuoruihin ja asiakastarpeet pystysuoruihin.

Tämän vaiheen tietoja tarvitaan seuraavissa 7. ja 8. vaiheessa, jolloin moduulien rajapinnat ja lopullinen konfigurointitieto määritetään. 7. Vaiheessa, kun mietitään ratkaisuja geneerisille elementeille, tulee huomioida miten elementit ja moduulit täyttävät asiakasvaatimukset. 8. Vaiheessa, kun moduulit on määritetty, ne lisätään matriisiin muiden komponenttien ohella.

Modified K-Matrix (configuration knowledge matrix)

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

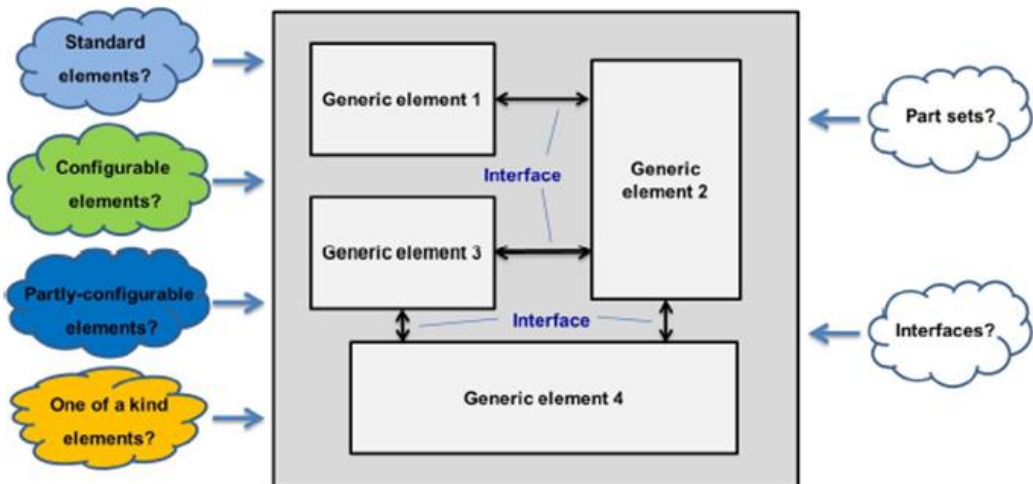
GENERIC ELEMENTS	CONTENT AND TYPE OF GENERIC ELEMENTS	CUSTOMER NEEDS														
		Customer need group 1	Customer need 1.1	Customer need 1.2	Customer need 1.3	Customer need group 2	Customer need 2.1	Customer need 2.2	Customer need group 3	Customer need 3.1	Customer need 3.2	Customer need 3.3	Customer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

Kuva 12. Muokattu K-matriisi generisten elementtien ja asiakastarpeiden yhtäläisyyksien muodostamiseksi (Pakkanen 2015).

3.2.7 Moduulien arkkitehtuuri: Moduulien väliset rajapinnat

Tämän vaiheen tarkoituksena on määrittää elementtien sisältävät moduulit ja niiden väliset rajapinnat. Vaiheessa tuoteperheen elementit ja moduulit kuvataan yksityiskohtaisesti. Ennen moduulien kuvausta generiset elementit pitää jakaa vakioituihin, konfiguroituihin, osittain konfiguroituihin ja projektikohtaisiin elementteihin.

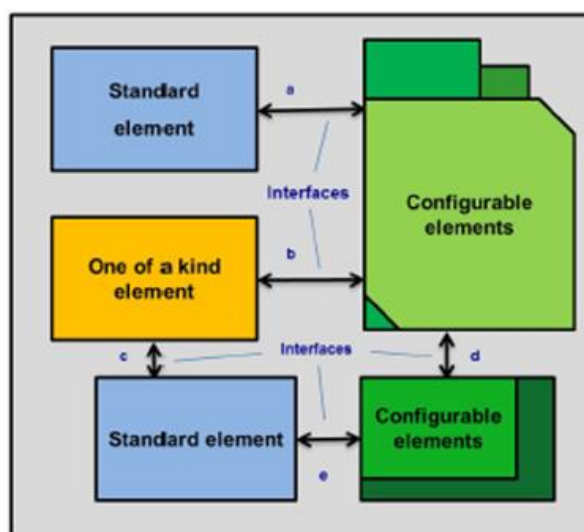
Bfb:ssa vakioelementti on sama jokaisessa variantissa koko tuoteperheessä. Vakioelementille ei tule asiakkaan puolelta variointitarvetta. Kun asiakkaalta tulee eri vaatimuksia samalle elementille voi olla vaikeaa suunnitella vakioitua elementtiä, joka täyttäisi kaikki tarpeet. Silloin BfB suosittelee suunnittelemaan vaihtokelpoisia moduuleita, jotka ovat vakioituja yrityksen ja tuoteperheen sisällä. Tällaista vaihtokelpoisia moduuleita sisältävää elementtiä kutsutaan konfiguroiduksi elementiksi. On myös mahdollista, että kaikki vakioelementit eivät täytä kaikkia asiakastarpeita. Silloin on mahdollista käyttää elementtiä, joka sisältää myös projektikohtaisen moduulin. Tällaista elementtiä kutsutaan osittain-konfiguroituvaksi elementiksi. Projektikohtaisia elementtejä BfB suosittelee välttämään, koska ne käyttäytyvät erilalla jokaisessa projektissa ja vaativat paljon suunnittelutyötä. Kuvassa 13 on esitelty generisten elementtien jakotapa.



Kuva 13. Geneeriset elementit jaetaan tarkemmin vaiheessa 7 ja määritetään rajapinnat. (Pakkanen 2015).

Elementtien välille on tärkeää suunnitella vakiorajapinnat, jotta elementtien vaihtokelpoisuus olisi mahdollisimman vaivatonta. Kun asiakastarpeen takia elementti vaihdetaan toiseen, on myös toisen sovittava samalle paikalle kuin edellisen elementin. Tavoite on hallita mahdollisimman montaa asiakastarvetta mahdollisimman vähäisellä elementti määrällä.

BP:ssa pitää myös vakiorajapintojen lisäksi suunnitella arkkitehtuuri tuotteelle. Rajapinta tulisi olla vakio kahden tai useamman elementin välillä tuoteperheessä, vaikkakin eri elementit voisivat sisältää vaihtoehtoisia moduuleita tai ainutlaatuisia elementtejä erilaisilla tilanvarauksilla (Pakkanen 2015). Ihannetilanteessa Pakkanen (2015) mukaan kaikki rajapinnat ja tilanvaraukset elementeille on tunnistettu ja määritetty tuotteen arkkitehtuurissa. Kuvassa 14 on havainnollistettu kuinka elementtien jako, tilanvaraukset ja rajapinnat ovat määritetty tuotteen sisällä.



Kuva 14. Esimerkki tuotteen elementtien jakamisesta ja tilanvarauksista (Pakkanen 2015).

3.2.8 Konfigurointitieto: Moduulit ja asiakastarpeet

Tässä BfP:n vaiheessa luodaan tuotteelle lisää konfigurointitietoa. Edellisessä vaiheessa luotuja ratkaisuja generisille elementeille käytetään tässä vaiheessa määrittämään konfigurointitietoa suhteessa asiakasvaatimukseen. Nyt pyritään luomaan tietoa vielä tarkemmin kuin edellisessä konfigurointivaiheessa, eli mikä asiakastarve vaikuttaa mihinkin elementin komponenttiin. Tätä tietoa voi hyödyntää esimerkiksi yrityksen sisäisiin konfiguraattoreihin, jossa syöttämällä tarvittavat asiakastarpeet ohjelma osaa valita oikean tuoterakenteen. Myyntitilanteessa konfigurointitietoa voi myös käyttää alustavan tarjouksen tai tuotemallin tekemiseen.

Tämän vaiheen toteutukseen Pakkanen (2015) suosittelee samaa menetelmää, jolla luotiin vaiheen 6 konfigurointitieto. Tässä vaiheessa lisätään matriisiin mukaan generisten elementtien sisältämät ratkaisut ja toteutukset. Geneerisiä elementtejä verrataan myös toisiinsa tässä vaiheessa yhtäläisyyksien löytämiseksi. Tähän Pakkanen (2015) suosittelee Bongulielmin (2003) V-Matriisia, joka on esitetty tarkemmin luvussa 3.3.1. Menetelmä on esitetty kuvassa 15.

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

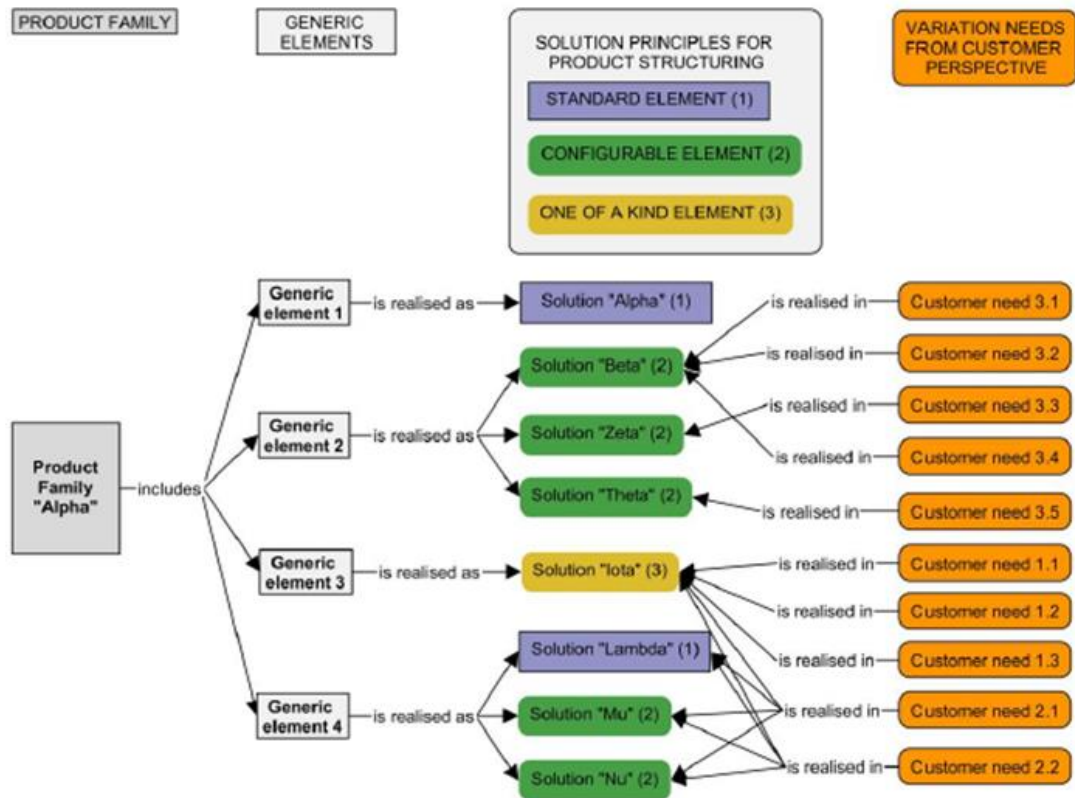
GENERIC ELEMENTS		CONTENT AND TYPE OF GENERIC ELEMENTS		CUSTOMER NEEDS												
				Customer need group 1			Customer need group 2			Customer need group 3			Customer need group 4			...
				Customer need 1.1	Customer need 1.2	Customer need 1.3	Customer need 2.1	Customer need 2.2	Customer need 3.1	Customer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

Kuva 15. Vaiheen 8. K-matriisi, jossa generisten elementtien ratkaisut lisätty matriisiin. (Pakkanen 2015).

3.2.9 Tuoteperheen dokumentaatio

Tuoteperheen dokumentointi tehdään 9. askeleessa. Dokumentoinnissa kuvataan tuoteperhe ja selitetään minkä elementin ja ratkaisun asiakastarve tarvitsee. Dokumentoinnissa käy helposti ilmi tuotteen elementtien syy- ja seuraussuhteet. BfP suosittelee tämän vaiheen läpikäyntiin PSBP-menetelmää. Menetelmä kuvaa tuoteperheen jakologiikan ja suunnitteluperiaatteet. Kaavaan syötetään tiedot tuoteperheestä, generisistä elementeistä, generisten elementtien ratkaisuperiaatteet eli onko elementti vakio, konfiguroi-

tuva, osittain konfiguroituva vai projektikohtainen. Jos kaikki vaihtoehdot sisältyvät tuotteeseen niin sen voidaan ajatella olevan osittain konfiguroituva. Sen jälkeen kaavaan lisätään vielä kaikki variaointitarpeet asiakkaalta. Kaavan tietojen välille piirretään viivat eli mikä toteutus vaikuttaa mihinkin ratkaisuun. Esimerkki PSPB-kaavamenetelmästä on esitetty kuvassa 16.



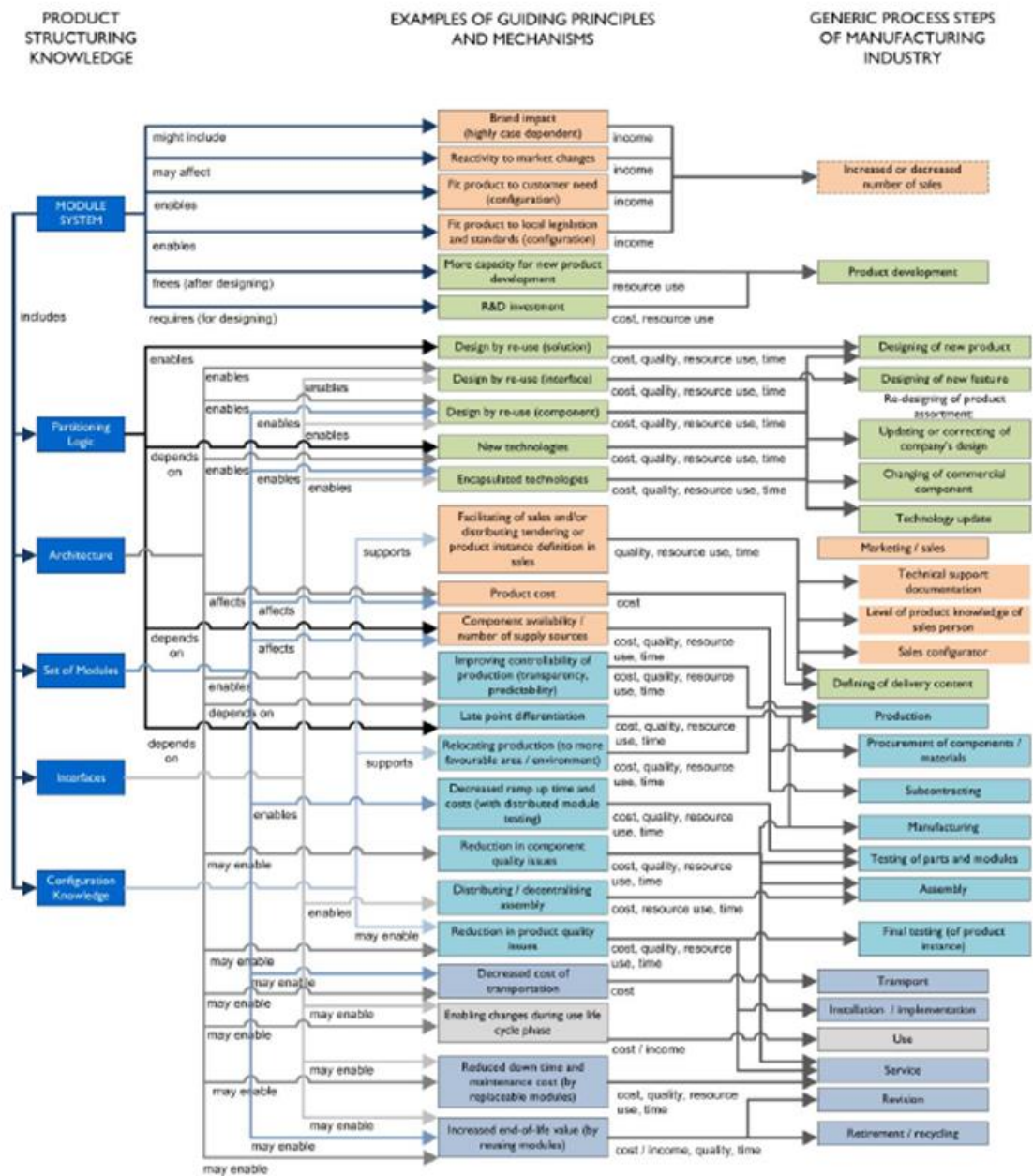
Kuva 16. Esimerkki PSPB-kaavasta, jolla dokumentoidaan tuoteperheen ratkaisut. (Pakkanen 2015).

3.2.10 Prosessin vaikutus liiketoimintaan

Viimeisessä vaiheessa arvioidaan kehitetyn tuoteperhekonseptin vaikutukset liiketoimintaan. BfP lähti liikenteeseen asettamalla liiketoimintalähtöiset tavoitteet ja viimeisessä vaiheessa arvioidaan miten tavoitteet on saavutettu ja miten ne vaikuttavat lopulta liiketoimintaan.

Vaikutuksia arvioidaan BfP:ssa pääsääntömallin avulla. Pääsääntömallissa on ajatus käydä koko tuoteperheen rakenne sisältäen moduulit, jakologiikan, arkkitehtuurin, rajapinnat ja konfigurointitiedon. Tämän jälkeen mallissa lisätään vaikutukset eli mihin tuotteen elinkaaren vaiheeseen tuoteperheen rakenne vaikuttaa ja millä tavalla. Vaikutusmääreitä voi olla erilaisia, esimerkiksi vaikutusta voi verrata tulokseen, kustannuksiin, laatuun, resurssien käyttöön ja aikaan. Vaikutukset analysoidaan käyttämällä erisuuruusluokkia rahassa, esimerkiksi 10000€, 100000€ tai 1M€. Tuloksena saadaan, minkälainen vaikutus tuoteperheellä on yritykselle. Malliin laitetaan lisäksi mihin tuotteen elinkaaren

vaiheeseen vaikutus kohdistuu eli esimerkiksi tuotekehitykseen, markkinointiin, myyntiin, tuotantoon, toimitukseen tai käyttöön. Esimerkki pääsääntömallista on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Esimerkki vaiheen 10 pääsääntömallista, jossa kuvataan prosessin vaikutuksia liiketoimintaan. (Pakkanen 2015).

3.3 Konfiguroitava tuote

Konfigurointi on joukko komponentteja noudattamassa asiakastarpeen järjestystä. Projektikohtaisessa suunnittelussa konfiguroinnista on paljon apua tuotteelle. Konecranesin satamanosturiyksikössä tuotteet ovat pääosin asiakkaalle tehtäviä suuria projekteja. Konecranes pyrkii siis räätälöimään tuotteensa asiakastarpeiden mukaisesti. Tuote on varioitavissa asiakastarpeiden mukaisesti, mutta tuotteen suunnitteluun käytetty aika on huomattavasti lyhempi kuin ilman konfiguroitavaa tuoterakennetta. Konfiguroitava tuoterakenne ehkäisee myös virheitä, jos ajatellaan suunnittelijaa joka unohtaa komponentin tuoterakenteesta. Konfiguroitavassa rakenteessa kaikki komponentit on paikallaan valmiiksi, jolloin suunnittelijalle jää tehtäväksi enää tarkastus.

Jos tuote on monimutkainen, niin konfigurointisäännöt ja -rajoitukset täytyy olla myynnin saatavilla. Tätä tietoa kutsutaan konfigurointitiedoksi (Tiihonen 1999). Konfigurointitieto on se, joka mahdollistaa variantin luonnin moduulijärjestelmästä ilman suunnittelutyötä (Hvam 2006).

Tuotteen konfigurointi on johdettu suunnitelluista komponenteista, kuten osista, moduuleista tai kokoonpanoista. Konfiguroinnissa komponenttien väliset riippuvuudet ovat ennalta määritettyjä. Manuaalisessa konfiguroinnissa henkilö tekee itse konfiguroinnin, häntä voidaan nimittää konfiguroijaksi. Työ tehdään yleensä automaattisesti tietokoneella tietynlaisella ohjelmalla, konfiguraattorilla. Vain ennalta määritettyä ja dokumentoitua tietoa käytetään konfiguroinnissa. (Pulkkinen 2007, Mitta 1989, Tiihonen 1999, Soininen 2000).

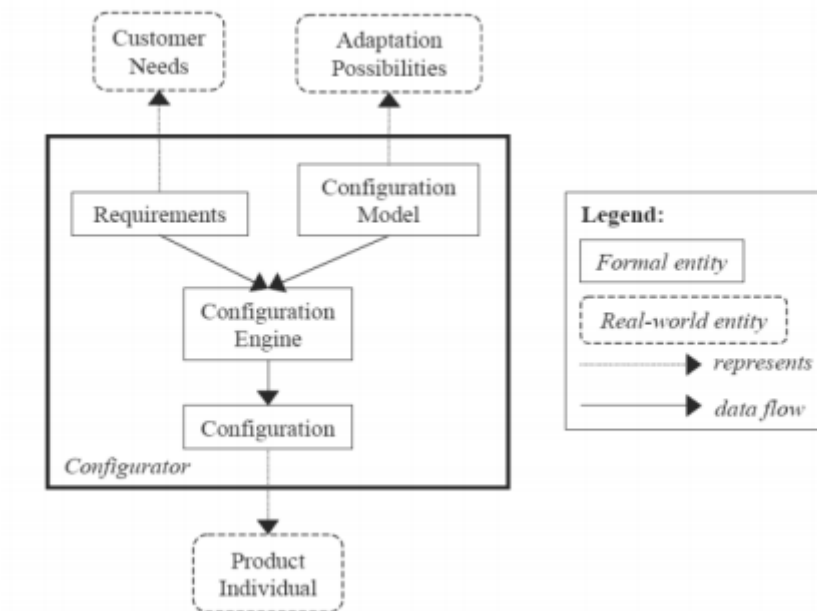
Tuotteen osat ja komponentit täytyy olla suunnittelujärjestelmässä kun tuotetta konfiguroidaan. Tällaisia järjestelmiä ovat PDM- ja PLM-järjestelmät. Järjestelmät sisältävät kaiken tarvittavan suunnittelutiedon tuotteesta, kuten piirustukset, materiaalit, ohjeet ja osat. Osien tulee olla hyväksytyssä tilassa suunnittelussa ja niiden välille täytyy olla luotuna riippuvuudet toistensa välillä. Osien riippuvuudet määrittelevät mitkä osat konfiguraattori valitsee minkäkin tuotteen vaatimuksen mukaan. Konfiguroitava tuote sisältää kaikki mahdolliset osat mitä tuotteeseen voi varioitua. Varioituva osa on vaihtuva osa tuotteessa, joka valikoituu tuotteen rakenteeseen oikean vaatimuksen täytyessä. Tämä sama vaatimus voi myös estää toisien varioituvien osien pääsyn lopulliseen tuoterakenteeseen.

Nämä vaatimukset ovat asiakastarpeita tai tulevat asiakasvaatimuksista. Tuotteen konfiguraattori käyttää vaatimuksia lähtöarvoinaan, kuten Pulkkinen (2007) ja Brown (1998) toteavat. Konfiguraattori tulostaa uuden tuoterakenteen ulos lähtöarvojen mukaan, johon valikoituvat lähtöarvojen mukaiset komponentit. Konfiguraatiossa asiakasvaatimukset

erotellaan vastaamaan jokainen omaa komponenttiaan ja valituista komponenteista syntyy konfiguraatio (Pulkkinen 2007, Brown 1998).

”From given set of elements, to create an arrangement by defining a set of relationships between selected elements that satisfies the design requirements and constrains” (Yu 1996, s.23). Tässä lainauksessa tiivistyy hyvin konfiguraattorin vaatimusten ja komponenttien välinen suhde konfiguraatioksi.

Kuvassa 18 (Soininen 2000) on näytetty konfiguroinnin toimintaperiaate. Se sisältää lähtöarvot eli asiakastarpeet, joita on myös tässä työssä kutsuttu vaatimuksiksi. Se sisältää mahdolliset komponentit, jotka konfiguroitu tuote sisältää. Nämä riittävät konfiguraattorille konfiguroinnin tekemiseen. Tuloksena on kuvan alhaalla näkyvä yksilöllinen tuoterakenne.



Kuva 18. Konfiguraattorin toimintaperiaate (Soininen 2000)

Pulkkisen (2007) väitöstyössä esitellään viisi tärkeää sääntöä konfiguroitavalle tuoteperheelle, jotka on määritellyt tutkimusryhmä Design for Gonfiguration-projektille (Tiihonen 1996,1998, Pulkkinen 1999, Tiihonen 1999):

1. Jokaisella toimitetulla tuotteella on omat erityiset asiakastarpeet.
2. Jokaisella tuotteella on ennalta suunniteltuja komponentteja tai moduuleja. Niin, että ei uusia osia ole suunniteltu toimitusta varten.
3. Tuotteelle on olemassa ennalta suunniteltu tuoterakenne ja se on ennalta suunniteltu kaikille mahdollisille asiakastarpeille.
4. Toimitusprosessi vaatii vain systemaattista varianttisuunnittelua, ei mukautuvaa tai alkuperäistä suunnittelua.

5. Tuotteiden eri kombinaatioita pidetään tuoteperheenä, koska toimitetut tuotteet perustuvat yleiselle ja yhteiselle tuoterakenteelle.

Konfiguroinnin eri määritelmiä Pulkkinen (2007):

- ”The arrangement of the parts of something” (Collins 2000)
- “The relative disposition of the parts or elements of a thing” (Webster 1989)
- “A group of machines interconnected and programmed to operate as a system” (Parker 1984)

Pulkkinen toteaa, että eri aloilla on sama merkitys, mutta eri määritelmä konfiguroinnissa. Tietotekniikassa ymmärretään konfigurointi miten tietokone kokoonpannaan, eli komponentit ja ohjelmistot. Kemiassa ja fysiikassa sen voi määritellä kolmiulotteisesti, miten atomit järjestäytyvät molekyylien mukaan. Konfiguraatio voi olla atomeiden ja molekyylien rakenne, jonka järjestystä muokkaa elektronit ja nukleonit. Sähköinsinööri ymmärtää konfiguraation Parkerin (1984) sanoin: ”a group of components interconnected to perform a desired circuit function” kun taas mekaaninen suunnittelija ymmärtää: ”the position of all the particles in a system”.

Konfiguroinnin suhteita eri elinkaaren vaiheisiin on esitelty Pulkkinen väitöstyössä [28]. Hän vertaa suhteita esimerkiksi suunnitteluun, kokoonpanoon ja oikean elämän olosuhteisiin.

Tuotesuunnittelu ja konfigurointi on samankaltaista työtä, koska se on ohjattua ja etenevää tiedonvaihtoa samoilla tavoitteilla. Konfigurointi on kylläkin yleensä hyvin määriteltä, eikä satunnainen tai iteroitu. Tilaratkaisut ja -ongelmat ovat ennalta suunniteltu. Tiedon kasvu heijastuu yleensä suunnitteluun, mutta ei itse konfiguraatioon. Lisäyksenä vielä, että tuotteen konfigurointi saattaa muistuttaa tuotesuunnittelua, mutta näissä kahdessa on perusteellisia eroja.

Tuotteen kokoonpanoon ja konfigurointiin liittyy myös paljon yhtäläisyyksiä. Esimerkiksi kummatkin tuo komponentteja yhteen ennalta määritettyjen ehtojen mukaan. Myös kokoonpanon alitehtävät ovat samankaltaisia, kuten osien kiinnitykset ja suhteet toisiinsa. Myös kummassakin tapauksessa on arvioitava miten ne kohtaavat asiakastarpeet. Konkreettisesti taas konfiguraatioissa esiintyy pelkästään tietoa olemassa olevista komponenteista, kun kokoonpanossa kamppaillaan oikeiden osien kanssa. Konfiguraatioon syötetään enemmän geneeristä tietoa osiin ja käyttöjärjestelmään. Kokoonpanon tieto perustuu tarkempiin yksityiskohtiin kuten toleransseihin, mittoihin ja pinnanlaatuihin.

3.3.1 K- & V-Matriisi menetelmä

K- & V-Matriisi menetelmä on kehitetty tuotekehitysyksikössä Zurichin ETH:ssa. Menetelmä on luotu markkinoiden muuttuvia tarpeita varten. Bongulielmin mukaan kansainvälinen kilpailu, tuotetoimintojen parantuminen, nopeammat innovaatiot, ympäristövaatimukset ovat haasteita yrityksille [1]. Yritykset yrittävät vastata muuttuviin vaatimuksiin tarjoamalla kasvavassa määrin eri variaatioita nykyisistä tuotteistaan. Usein sisäisiä monimutkaisia tuotteita on täydennetty erityisillä moduuleilla ilman oikeaa hyötyä tuotteiden varioituvuudelle. Tämä yleensä luo korkeita kustannuksia pienellä tuotolla. Monimutkaiset tuotteet lisäävät riippuvuuksia moduulien välille, jolloin myös tuotteen konfigurointitieto monimutkaistuu myyjille ja asiakkaille, sekä sitä on vaikeaa ylläpitää yrityksen IT-tuessa.

Räätälöityjen projektikohtaisten moduulien sijasta kannattaisi keskittyä suunnittelemaan moduuleista yleisimpiä asiakastarpeista huomioivia jo suunnittelun alkuvaiheessa. Aikaisella asiakastarpeiden kartoituksella on vaikutus tuotteen ominaisuuksiin ja arkkitehtuuriin, jolloin olisi mahdollista suunnitella riittävä tuoteperhe, joka muuntautuisi yleisimpiin asiakastarpeisiin.

Bongulielmi [1] määrittelee, että menetelmässä eri näkökulmilla saataisiin kokonaisvaltainen kuva tuotteen varianteista ja konfigurointitiedosta. Tämä auttaisi tuotteen uudelleen suunnittelussa esimerkiksi uudelle projektille. Menetelmästä nähtäisiin mitkä asiakasvaatimukset vaikuttaa mihinkin tuotteen komponentteihin ja variantteihin.

K- & V-matriiseissa verrataan teknistä näkymää asiakastarpeisiin, teknistä näkymää tekniseen näkymään ja asiakasvaatimuksia asiakasvaatimuksiin. Esimerkki matriisimenetelmästä on esitetty kuvassa 19. Matriisin tekemisen eri näkökulmien mukaan ideana on se, että nähdään mitkä asiakasvaatimukset aiheuttavat mihinkin komponenttiin muuntelua. Matriiseista myös nähdään mitkä asiakastarpeet tarvitsevat minkäkin komponentin. Matriisista huomataan, jos komponentti ei kohtaa yhtään asiakastarvetta, niin tarvitaanko kyseistä komponenttia tuotteessa ollenkaan ja voidaanko se pudottaa pois.

Menetelmä sisältää kolme erilaista matriisia, joissa vertaillaan tuotteen rakennetta erilaisista näkökulmista ja tarpeista. Bongulielmin (2002) mukaan menetelmä perustuu kahteen erilaiseen matriisiin:

- K-Matriisi: Joka on konfiguraatiomatriisi
- V-Matriisi: Joka on yhteensopivuusmatriisi

V-matriisia voidaan käyttää esimerkiksi havaitsemaan mitkä komponentit voitaisiin yhdistää, se kuvaa näkökulmien yhtäläisyyksiä. Matriisissa listataan pystyyn ja vaakaan tarvittavat määritteet, esimerkiksi asiakastarpeet. Tämän jälkeen matriisikentällä on mahdollista vertailla määritteiden yhtäläisyyksiä. Bongulielmin (2002) mukaan tuotteen konfigurointitietoa luotaessa voidaan käyttää kahta erilaista V-matriisia. Ensimmäinen näistä

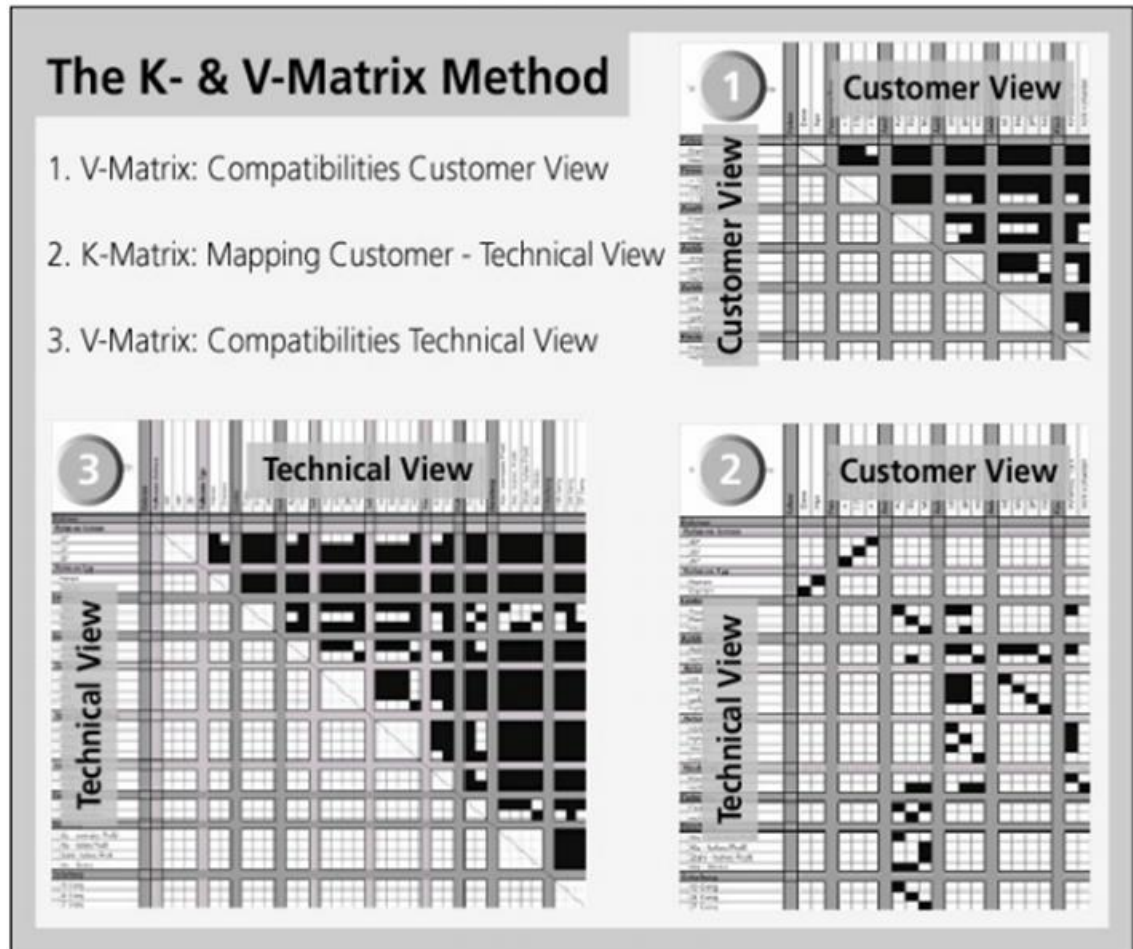
on V-matriisi, jossa vertaillaan asiakkaan näkökulmia toisiinsa. Toisessa V-matriisissa verrataan tuotteen teknisiä näkökulmia toisiinsa, josta nähdään mitkä tuotevariaatiot toteuttavat mitkään tuotevaatimukset. Esimerkiksi mikä tuotteen kombinaatio toteuttaa tietynlaisen mittaehdon tai kuormitustapauksen.

Kolmas matriisi on K-matriisi, jossa vertaillaan asiakkaan näkökulmaan yrityksen sisäiseen tekniseen näkökulmaan. Asiakkaan näkökulmaan listataan kaikki mahdolliset asiakastarpeet ja tekniseen näkökulmaan kaikki tuoterakenteen varioituvat moduulit. Matriisin tuloksena nähdään mitkä asiakasvaatimukset vaikuttavat mihinkin tuotteen variaatioihin. Tuoterakenne sisältää kaikki vaihtokelpoiset komponentit tuotteessa. Matriisin tarkoitus on auttaa valitsemaan oikea komponentti oikeaan asiakastarpeeseen.

Pakkasen (2015) mukaan matriisit ovat siis havainnollistava menetelmä konfigurointien ja yhteensopivuuksien löytämiseksi eri näkökulmien avulla. Menetelmällä saadaan helposti näkyville mitkä komponentit täyttävät asiakasvaatimukset ja ne komponentit mille ei löydy asiakastarvetta. Tällaiset komponentit saattavat olla jääneet historian painolasteina tuotteeseen. Konfigurointitietoa luotaessa matriiseilla huomataan mitkä asiakastarpeet luovat muuntelutarvetta tuotteeseen ja mitkä ovat tarvittavat komponenttivariaatiot. Matriisit ovat muotoa kyllä tai ei, eli merkitään yhteensopivuus vaatimusten välille tai jätetään tyhjäksi, niin kuin kuva 19 osoittaa. Bongulielmin (2002) mukaan tämä tekee menetelmästä helposti ymmärrettävän, mutta joissakin tapauksissa yhtenevyyksien välille voitaisiin tarvita lisää informaatiota. Matriisit ovat helppoja ymmärtää esimerkiksi henkilöille, joilla ei ole niin paljoa teknistä tietotaitoa. Tuotteen myyntiprosessissa matriisit ovat yksi keino luotaessa siltaa suunnittelun ja myynnin välille.

K- & V-Matriisi tarjoaa suunnitteluryhmälle siis tuotteen konfigurointitiedon:

- K-Matriisissa kaikki tarpeelliset asiakastarpeet yhdistettynä moduulien komponentteihin.
- V-Matriisissa säännöt ja rajoitukset tuotteelle, eli poikkeukset ja optimoinnit tuoteperheelle.



Kuva 19. K- & V-Matriisissa verrataan tuoterakennetta kolmesta näkökulmasta (Bongulielmi 2002).

3.3.2 QFD-Matriisi

QFD-Matriisi on yksi suosituimmista matriisimenetelmistä ja on usein aloitus muille menetelmille, esimerkiksi alapuolella oleville DfV- ja MFD-Menetelmälle. QFD-Menetelmä perustuu neljään eri matriisiin, joissa verrataan asiakastarpeita, toiminnallisia tarpeita, tuotteen suunnittelua ja prosessin ominaisuuksia. Päähyödyt menetelmästä tulevat kun voidaan vertailla yrityksen ulkopuolisia ja sisältä tulevia tarpeita. Tarpeita ovat esimerkiksi asiakkailta, toimittajilta, valmistuksesta ja suunnittelusta tulevia. Menetelmä ohjaa suunnittelua huomioimaan eri suunnista tulevat vaatimukset. [1],[24]. Esimerkki QFD-matriisista on esitetty kuvassa 20.

Customer Requirements	Engineering Metrics (EM)					
	Pages per minute (PPM)	Dots per inch (DPI)	Decibels (dB)	Footprint (sq in)	MTBF (hrs)	Unit cost (\$)
Prints fast	X					
Good image quality		X				
Low noise			X			
Compact				X		
Reliable					X	
Low cost						X

Kuva 20. Esimerkki QFD-matriisin ensimmäisestä vaiheesta [24].

3.3.3 DfV-Matriisi

DfV-menetelmän ideana on tuoda esiin komponenttien väliset korrelaatiot. Komponentit listataan matriisiin pysty- ja vaakariveille. Tuloksena matriisista syntyy komponenttien vaatimusten summia, jotka ovat kuvattu matriisikentässä. Matriisin arviointi auttaa suunnittelutiimiä päättämään komponenttien uudelleenjärjestelyistä ja päättämään rajapintoja kokoonpanoihin komponenttien välille. Tällä menetelmällä on mahdollista suunnitella irrallinen arkkitehtuuri tuotannosta, joka vaatii vähemmän suunnittelutyötä tuotteille. [1],[24].

3.3.4 MFD-Matriisi

MFD-Menetelmä tähtää modulaariseen tuoterakenteeseen saavuttaen yrityksen odottamat uudistukset sekä ympäristön ponnahduskivet tuotteelle. Menetelmän sisältönä toimii MI-Matriisi. Matriisin yläriville on listattu tulevan tuoteperheen tekniset vaatimukset, ali-tehtävät. Kuvassa 21 näkyy ylärivillä tuotteen osat ja komponentit. Vaakariville taas lisätään niin kutsutut ponnahduskivet. Ponnahduskivet listataan tuotteen koko elinkaaren






ajalta. Ponnahduskivet tulevat esimerkiksi suunnittelun luomista vaatimuksista, tuotannosta ja laadusta tulevista tarpeista, sekä oston ja huollon tarpeista. Esimerkkinä voisi olla kierrätettävyys, eli kuin hyvin tuotteen osa on kierrätyskelpoinen. MI-Matriisi näyttää korrelaatiot ja pisteyttää ne ponnahduskivien ja alitehtävien välillä. Pisteistä voidaan arvioida ja luoda uutta vaihtoehtoista tuoteperheen arkkitehtuuria. [1], [9].

Function carrier		Module driver																							
		fan	Noise absorbent, fan	Electric motor	Damper	Noise absorbent, motor	Chassis	Bag	Filer	Trigger+knob	Switch+knob	Housing	Wire+contact	Grip	Rear wheel	Front wheel	Accessories	Bumper	Cover	Indicator	Seal, cover	O-ring	Wire collector	Bag lock	Brake+knob
Design and Development	Carry-over	●	●						●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Technology push																								
	Product Planning																								
Vendor	Diff. specification	○	○	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Styling																								
Mfg.	Common unit	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	Process/Org.																								
Quality	Separate testing																								
Purchase	Black-box engineer.																								
Mx. Mts	Service/maint.		○	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	Upgrading																								
	Recycling																								
●=9 Weight of Driver vertically summarised		22	4	43	9	9	27	27	32	34	18	27	16	9	4	18	10	9	9	18	9	9	19	9	15
○=1 Module candidates		√	√			√	√	√	√		√												√		

Kuva 21. Esimerkki MI-Matriisista [9].

3.3.5 MPF-Matriisi

MPF-Matriisissa kaikki yksittäiset toiminnot tuoteperheessä listataan vaakariveihin modulaarisessa matriisissa. Pystyriiville rakennetaan ja listataan jokainen tuote tuoteperheestä. Matriisi mahdollistaa suunnitteluryhmien tunnistaa tuotteen ja tuoteryhmän huolia. Matriisi mahdollistaa tuoteryhmien myös miettiä erilaisia jakoteemoja jokaiselle tuotteen ja tuoteperheen arkkitehtuurille [3]. Esimerkki MPF-matriisista on esitetty kuvassa 22.

					
Function	Cordless Screwdriver	Multipurpose Saw	ScumDuster™ Scrubber	2-Speed Drill	Wizard™ Rotary Tool
Register / Unregister Battery	1 battery	2 batteries	1 battery	2 batteries	1 battery
Transmit Electricity	1 battery	2 batteries	1 battery	2 batteries	1 battery
Seal / Unseal Battery	-	-	yes	-	-
Input Signal	thumb	finger	finger	finger	thumb
Switch Power	forward/reverse/off	on/off/lock	on/off	forward/reverse/off/lock	low speed/high speed/off
Convert Electricity to Motion	motor A	motor B	motor C	motor D	motor E
Transform (T, ω)	transmission A	transmission B	transmission C	transmission D	-
Transmit Power	rotating shaft	translational blade	rotating shaft	rotating shaft	rotating shaft
Prevent Back Rotation	yes	-	-	-	-
Input Hand Torque	yes	-	-	-	-
Transform Motion	-	yes	-	-	-
Register / Release Tooling	hexagonal hole	blade carriage	triangular hole	three-prong chuck	collet
Secure / Unlock Tooling	retaining clip	set screw	snap fit	chuck housing	collet nut
Permit Tool Positioning	product shape	handle	handle	trigger handle	trigger handle
Act on Object	rotate	cut	scrub	drill/rotate	grind

Kuva 22. Esimerkki MPF-Matriisista [3]

3.4 Tuotteen arkkitehtuuri ja elementtien tilavaraus

Tilavarausten suunnittelu on tärkeä osa modulaarisen tuoteperheen suunnittelua. Arkkitehtuuri ja tilavaraukset kuvaavat elementtien sijoittelua ja rajapintoja tuotteessa. Ulrichin (1995) mukaan arkkitehtuuri määrittelee kuinka hyvin tuote pystytään vaihtamaan. Määrittämällä elementeille ja moduuleille vakio tilavaraukset mahdollistetaan niiden vaihtokelpoisuus toisiin variaatioihin ilman suunnittelutyötä. Kun elementille on määritetty vakioitu tila, on elementin suunnittelutyötä helpompi hallita ja se myös mahdollistaa elementin asennuksen myös käyttöönoton jälkeen mikäli asiakas niin haluaa. Fricke (2000) määrittelee, että kestävän tuotteen arkkitehtuurin on hallittava kaksi avainasiaa:

1. Elementtien on oltava helppo ja nopea vaihtaa.
2. Elementtien on oltava tunteettomia tai mukautuvia vaihteleviin olosuhteisiin nähden.

Kun elementille tehdään kehitystyötä, tiedetään sen rajapinnat ja mitat johon sen kuuluu mahtua. Tämä helpottaa koko tuotteen suunnittelutyötä, koska se pystytään jakamaan osiin ja elementtejä voidaan kehittää yksi kerrallaan tai jakaa tuote elementtien kehitysryhmiin. Kun tuotteeseen on käyttöönoton jälkeen jätetty tila elementille, voidaan se asentaa siihen jälkikäteen. Modernisaatiotyö on myös mahdollista asiakkaalle, kun elementtiä voidaan kehittää vuosien aikana kehitysryhmissä. Jos asiakas haluaa päivittää tuotettaan uudella elementillä, niin se mahtuu samoihin tiloihin kuin vanha vastaava.

Tässä kappaleessa kerrotaan erilaisista tilanvarausmenetelmistä, joilla voidaan suunnitella tilanvarauksia tuotteen elementeille ja moduuleille.

3.4.1 MAN-tutkimus

MAN on saksalainen hyötyajoneuvojen valmistaja. MAN valmistaa ajoneuvoja laajalle asiakaskunnalle suhteellisen pienellä tuotantovolyymilla, arviolta 100 000 ajoneuvoa. MAN valmistaa tuotteensa modulaarisella periaatteella eri käyttökohteisiin niin kuin haku-, jäte- ja sotilasautot, joten tuotteissa on paljon eri variaatiota. Varianttien hallinta on toteutettu yrityksessä jälkikäteen erikseen jokaisessa osastossa. Eri variaatioita hallitaan IT-järjestelmässä, jossa on arviolta 100 000 erilaista osaa ja niiden väliset suhteet. Yrityksen tavoite on kehittää ja dokumentoida tuotteisiinsa vain ne osat joita tarvitaan asiakkaan näkökulmasta. Tuotteen arkkitehtuurin on oltava törmäysvapaa tarvittavien varianttien osalta. (Kreimeyer 2014).

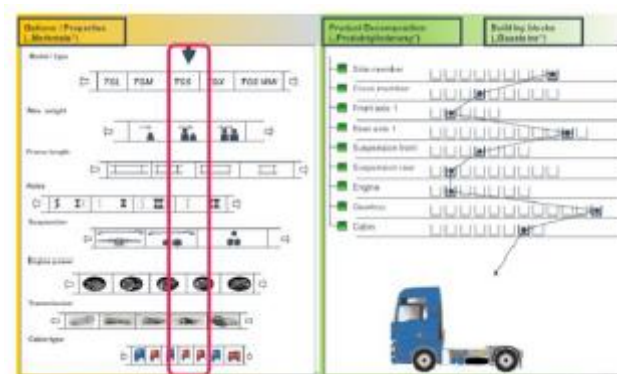
MAN-tutkimuksessa keskitytään tasapainottamaan koko ajan kasvavaa tuoterakennetta, miten siitä voitaisiin tehdä kestävämpää luomalla hallinnan rajapintojen ja ajoneuvon arkkitehtuurin vakioinnin avulla. Arkkitehtuurin vakiontiin käytetään tutkimuksessa muutostenemä-menetelmää. Tilanvarauksien ja layoutsuunnittelun vakioinnit määritellään yleisellä tilan hajottamismenetelmällä [19]. Menetelmä on esitetty myös kuvassa 27.

Tutkimuksen alussa olemassa olevat ongelmat käytiin läpi. Asiakkaille avainasemassa ovat komponenttien jälkikäteen asennus ja olemassa oleva asennustila. Alkuperäisen valmistajan on siis huolehdittava vapaana olevien rajapintojen tekemisestä myöhemmin asennettaville komponenteille. Uudet asiakasvaatimukset ja tuotekonfiguraatiot ovat mahdollisia, joten komponenttivarიაatiot ja niiden riippuvuudet kasvavat tasaisesti. Ennen yrityksessä arkkitehtuurin hallinta keskitettiin suunnittelun aikaiseen, eikä moduloiminen hyödyt päässeet esiin, koska tuotteen rajapinnat eivät olleet määritettyjä. Tähän tutkimus esittää ratkaisuna arkkitehtuurin vakioiteja. Komponentit hallitaan yrityksessä osastoittain, tämän takia tarkka suunnittelu ja niiden hallinta on mahdollista. Arkkitehtuurin vakioiteihin on luotava suunnittelutyökalu aikaisessa vaiheessa arkkitehtuurin suunnitteluprosessia. Työkalulla varmistetaan tuotteen rajapinnat ja komponenttien törmäysvapaa suunnittelu.

Tuotteen arkkitehtuuri kuvaa kuinka jokin tuotteen toiminto on käännetty siten, että jokin komponentti fyysisesti toteuttaa sen. Eli kartoitetaan tuotteen ominaisuudet vastamaan niitä komponenttitasolla. Samalla kartoitetaan elementit tuotteessa ja niiden väliset rajapinnat. Tutkimuksessa [19] kuvataan myös, että mitä vähemmällä hallittavien moduulien määrällä pystytään hallitsemaan asiakastarpeet sen parempi. Moduuleilla on oltava myös määritellyt vakiorajapinnat, jotta niiden vaihtokelpoisuus keskenään säilyy, silloin voidaan luoda myös erilaisia variaatioita tuotteeseen hallitusti.

Yrityksen nykyinen modulaarinen tuoterakenne sisältää kolme päärakennetta. Konfigurointisäännöt, tuotteen osat ja tuotteen hajottamisen pienempiin osiin.

MAN hajottaa modulaarisen tuotteensa siis elementteihin ja dokumentointi tapahtuu taulukon avulla. Taulukkoon listataan tuotteen ominaisuudet ja ominaisuuksia vastaavat moduulivariaatiot. Moduulivarianttien sisältämät osat ja niiden väliset suhteet määritellään konfigurointitiedoissa. Eli esimerkiksi milloin moduulin varianttiosa on voimassa ja muut variantit eivät. Tuote on valmis, kun jokaisen ominaisuudet kohdalta on valittu variantti tuotteeseen. Toimintaperiaate on, että varianteilla on vakioidut rajapinnat, jolloin ne sopivat paikalleen ilman lisäsuunnittelua. Esimerkki dokumentoinnista on esitetty kuvassa 23.



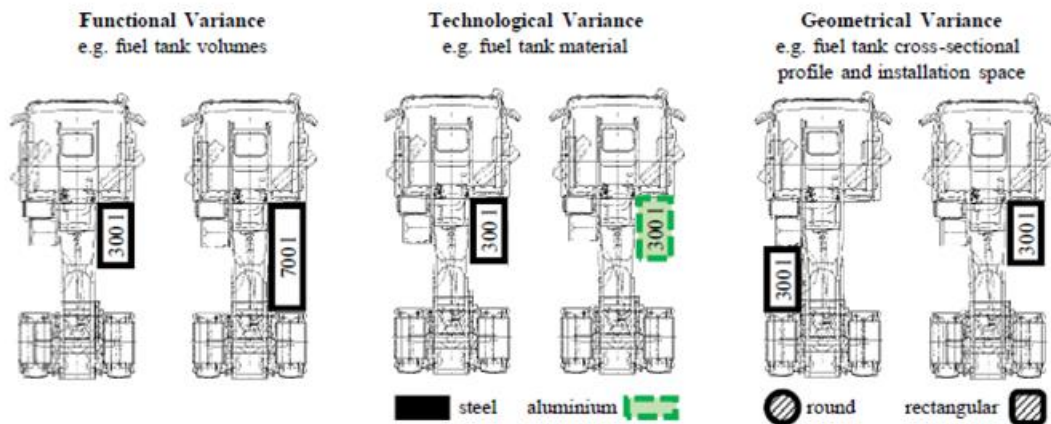
Kuva 23. Esimerkki MAN:n tuotedokumentoinnista (Kreimeyer 2014).

Modulaarisen tuotteen filosofia yrityksessä on, että vaihdettavilla moduulivarianteilla olisi suuri yhtäläisyys. Tämä toteuttaisi sen, että yrityksen sisällä olisi mahdollisimman pieni variaatioiden ja osien määrä. Eli moduulivarianteilla olisi mahdollisimman paljon samoja osia toistensa kanssa. Näin säästettäisiin osien suunnittelu- ja hallintakustannuksilta, mutta silti vastattaisiin mahdollisimman suureen määrään asiakasvariaatioita.

Tutkimuksen arkkitehtuurin vakiointisäännöt koostuvat pakollisista säännöistä ja ohjeista tuotteen korkeavarianttisessa tuoterakenteessa. Yrityksessä on tuotteen sisällä sisäistä ja ulkoista varianssia. Ulkoiset varianssit ovat esimerkiksi asiakasvaatimuksia, muutoksia markkinoissa ja kilpailijoissa sekä lait, määräykset ja uudet innovaatiot [11]. Sisäiset voivat olla esimerkiksi putkiston erilaiset sijoituspaikat ja asennustavat, joilla esimerkiksi asennetaan asiakkaan vaatima komponentti. Yleensä ulkoiset varianssit tuovat asiakkaalle enemmän arvoa, kun taas sisäiset eivät näy asiakkaalle. Usein korkeat ulkoiset varianssit kasvattavat myös sisäisten varianssien määrää, joita pyritään minimoimaan. Sisäistä varianssia täytyy minimoida samalla, kun ulkoista varianssia tarjotaan vähentämättä, jos halutaan kasvattaa tuottoa [11]. Tämän MAN ratkaisee arkkitehtuurin vakioinnin avulla (Kreimeyer 2014). Tutkimuksessa [19] arkkitehtuurin vakioinnit luokitellaan seuraavasti:

1. Toiminnalliset vakioinnit (Rajallinen määrä erilaisia polttoainetankkeja tuotteessa)
2. Teknologiset vakioinnit (Materiaalin vakioinnit tuotteessa, esim. Polttoainetankin valmistus)
3. Geometriset vakioinnit
 - a. Osiin liittyvät (Polttoainetankin profiilin vakiointi).
 - b. Paikkaan liittyvät (Asennustilan vakiointi polttoainetankille).
4. Rajapintojen vakiointi (Sekoitus kolmesta ensimmäisestä, esim. Komponenttivaraintien yhteensopivuuksien varmistus eri varianteille. Yhtäläiset komponenttien liittymispinnat)

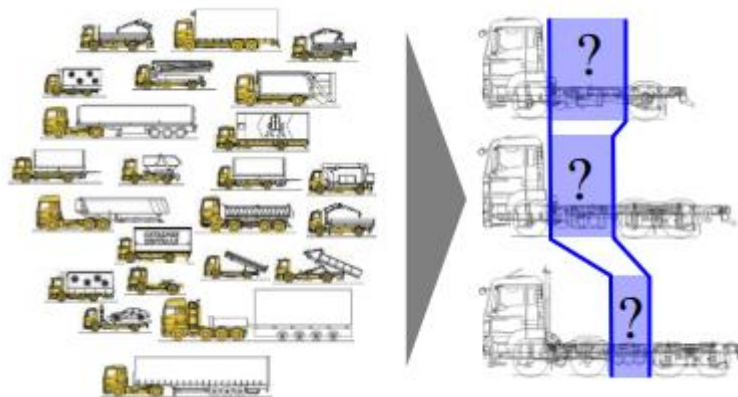
Kuvassa 24 on esitetty eri luokitukset tuotteen arkkitehtuurin vakioinnille.



Kuva 24. Tuotteen arkkitehtuurin vakioinnin luokitukset (Kreimeyer 2014).

MAN-tutkimuksessa havaittiin välttämättömät rakennuspalikat hyvin määritellyn vakioinnin saavuttamiseksi. Ensimmäinen näistä liittyy teknisten riippuvuuksien määrittämiseen uusien ja vanhojen komponenttien välille. Tuotteeseen tulee varata vapaita rajapintoja tulevien komponenttien yhteensopivuuksia varten.

Toinen rakennuspalikka on tuotteen komponenttien tilanvarauksia varten. Asiakkaat arvostavat paljon, jos ajoneuvossa on jätetty tilanvarauksia myös jälkikäteen asennettaville variaatiolle, esimerkiksi sora- ja sementtirekat. Nämä asiakasvaatimukset täytyy ottaa huomioon aikaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia ja ne eivät saa vaikuttaa tuotteen muuhun rakenteeseen, esimerkiksi konfiguroituihin komponentteihin polttoainetankkeihin, hyttiin tai akseleihin. Havainnollistava esimerkki tilanvarauksista on esitetty kuvassa 25.



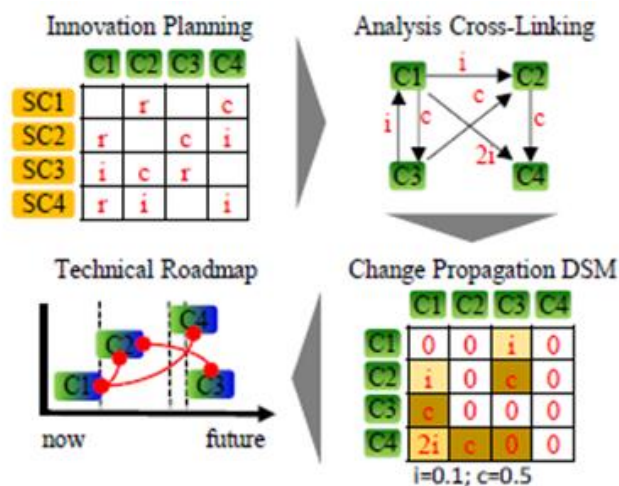
Kuva 25. Esimerkkikuva jätetyistä tilanvarauksista asiakkaan eri variaatioihin (Kreimeyer 2014).

Kolmantena arkkitehtuurin suunnitteluun tarvitaan myös muokattavat työkalut ja mallit, joilla pystytään luomaan mahdolliset vakioinnit. Vakioinnit pitää luoda rajoitetuilla ajo-neuvo- ja layoutvariaatioilla, ottaen huomioon myös komponenttien törmäysvapaan integroinnin.

Uusien ja vanhojen komponenttien arkkitehtuurivakiointeja seurataan tutkimuksessa matriisi- ja muutosetenemismenetelmällä. Menetelmässä verrataan komponenttien suhdetta vaatimuksiin. Vaiheeseen käytetään CPM (Clarkson 2001) ja DSM menetelmiä. Matriisiin listataan vaatimuksen ja uudet innovaatiot. Matriisikenttään merkitään, jos innovaatiolla on merkitystä vaatimukseen. DSM-Menetelmään listataan innovaatiot pysty- ja vaakariiveille, jolloin nähdään komponenttien väliset vaikutukset innovaatiosta. DSM-Menetelmässä suhteilla on myös painokertoimet, eli jos vaikutus on suuri komponenttien välillä, voidaan painokerrointa kasvattaa. Suhteiden merkitsemistapoja on kolmea erilaista:

1. Komponentti on vastuussa vaatimuksesta. (Isoja muutoksia odotettavissa)
2. Vaatimus vaikuttaa komponenttiin kohtalaisesti
3. Erittäin pieniä muutoksia odotettavissa komponenttiin

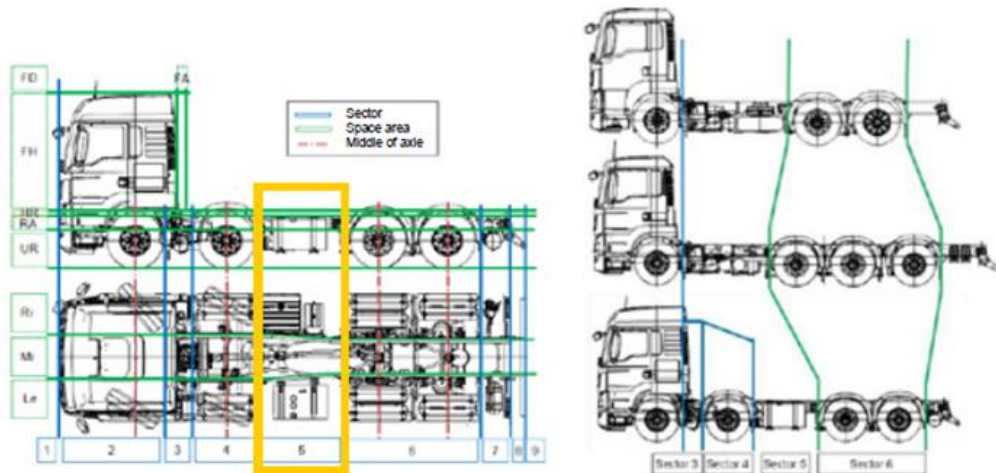
Tekninen kartta komponenttien suhteiden kartoittamiseksi luodaan generisten komponenttien eli innovaatioiden ja teknisten konseptien eli osien välillä. Niiden väliset riippuvuus-suhteet saadaan matriisimenetelmien tiedoista. Esimerkki menetelmistä on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Esimerkki CPM ja DSM menetelmistä (Kreimeyer 2014).

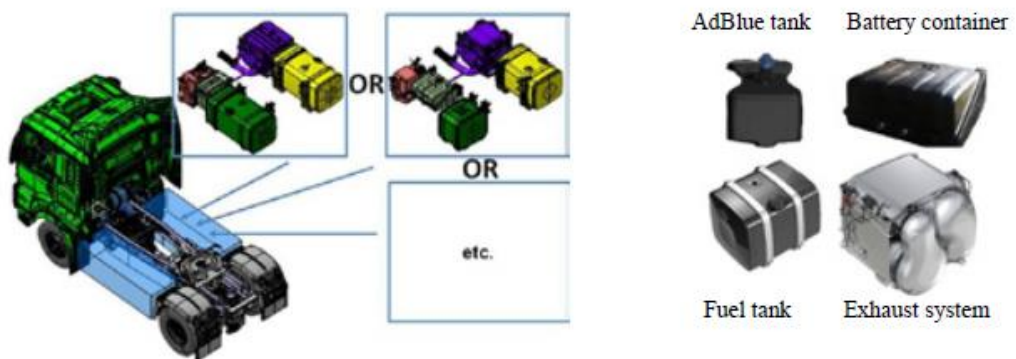
Arkkitehtuurin suunnittelussa on tärkeää määrittää myös tilanvaraukset komponenteille. MAN tilanvarausmallissa käytetään ruudukkopohjaista jaotteluperiaatetta tilojen jakamiseen, jossa tilat jaetaan tasoittain esim. pituus, leveys ja korkeus. Kaikki tasot on määritetty parametrisesti, jotta päästään kaikkiin asiakkaan jälkikäteen haluamiin variaatioihin.

Tilanvarauksien jakaminen eri elementeille helpottaa ja yhdenmukaistaa yrityksen sisäistä kommunikaatiota. Elementeille ennalta määritellyt sijoitusmahdollisuudet auttavat eri osastoja luottamaan suojattuihin rajapintoihin, jolloin se tehostaa modulaarista suunnittelutyötä. Osastot saavat rajattua yhden tai useamman elementin kerrallaan kehitystyön alle tietäen ennalta määritetyt rajapinnat ja tilanvaraukset sille tuotteessa. Kuvassa 27 on esitetty kuinka MAN-tutkimuksessa jaettiin ajoneuvo osiin jaotteluperiaatteiden mukaan.



Kuva 27. Ruudukkoperusteinen tilanvaraus malli, jossa tasot rajaavat tilat eri komponenteille (Förg 2014).

Esimerkki MAN:n tilanvarauksista komponenttivarიაatioille on esitetty kuvassa 28. Kuvassa on esitetty tila-ajoneuvon etuakselilta taka-akselille. Tilaan kuuluu eri variaatiot pakojärjestelmästä, akusta, AdBlue-tankista ja yhdestä tai kahdesta polttoainetankista. Tilaan kuuluu myös ilmakompressori ja vararengas. Kaikki komponentit on saatavilla erikokoisina ja niille on saatavilla eri sijoitusmahdollisuudet asiakastarpeesta riippuen. MAN on myös varannut niin sanotun ”tyhjän tilan”, jos asiakas haluaa sijoittaa esimerkiksi maitopumpun maitoajoneuvoon. Kaikkien näiden komponenttien eri variaatiot on huomioitu konfigurointitiedoissa ja niiden välille on määritetty konfigurointiehdot eli koodit konfiguraattoriin. Koodit määräävät konfiguroidessa mitkä komponenttivarიაatiot voivat olla samaan aikaan tuotteessa törmäyksien välttämiseksi. Konfigurointitiedoille pitää määrittää tätä varten vakiorajapinnat ja tilanvaraukset komponenteille.



Kuva 28. Ajoneuvon akselienvälissä on varattu tila eri komponenttivarიაatioille (Förg 2014).

3.5 Menetelmien hyödyntäminen työssä

Työn teoria osuudessa esiteltiin muutamia eri menetelmiä tuotteen konfigurointitiedon ja arkkitehtuurin tilavarauksien luomiseen. Tässä kappaleessa on tarkoitus esitellä työn tekemiseen valitut menetelmät ja perustelut sille miksi kyseinen menetelmä valittiin vaiheen toteuttamiseen.

Työn ensimmäiseen osuuteen eli konfigurointitiedon luomiseen käytetään Bogulielmin [2] K- & V-Matriiseja. Matriisit ovat yksinkertainen keino luoda konfigurointitietoa. Niitä on helppo lukea ja ymmärtää, myös sellaisen henkilön joka ei ole perehtynyt tutkittavaan menetelmään sen perusteellisemmin. Esimerkiksi tällainen tilanne voi olla tuotteen myyntitilanteessa, jossa matriisista nähdään helposti miten asiakkaan eri vaatimukset vaikuttavat mihinkin tuotteen eri komponenttiin tai onko kyseinen vaatimus edes mahdollinen olemassa olevan modulaarisen tuotteen toteuttamiseksi. Asiakasvaatimuksen ollessa matriisin ulottumattomissa, toisin sanoen vaatisi projektikohtaista suunnittelua, se voitaisiin huomioida myös tuotteen hinnassa. Matriisi ehkäisisi virheiden määrää myyntitilanteessa, ettei asiakkaalle luvattaisi projektikohtaisia vaatimuksia vakioina.

Konfigurointitiedon tuloksena syntyvälle tuoterakenteelle tulee luoda arkkitehtuuri tuotteen layoutissa. Jokaisella tuotteen komponentilla tulisi siis olla valmiiksi suunniteltu paikka tuotteessa ja tieto miten komponentti tulee tuotteeseen kiinni. Tähän vaiheeseen työssä käytetään MAN-menetelmää, jossa tuote pilkotaan osiin ja luodaan arkkitehtuuri-vakiointeja. Kun tuote on pilkottu osiin, on selkeämpää määrittää jaetuille komponenteille rajapinnat ja tilavaraukset. Jaettuihin komponentteihin kiinni tulevien varusteiden arkkitehtuurin hallinta on myös paljon helpompaa kun on tiedossa mihin komponenttiin varuste tulee kiinni. Voidaan ajatella, että varusteen aiheuttama muutos pysähtyy jaettuun komponenttiin. Jaetut komponentit jaetaan myös suunnitteluperiaatteiden mukaan. Tähän vaiheeseen hyödynnetään PSBP-menetelmää, joka esiteltiin BfP:ssa.

Työssä myös ehdotetaan ja luodaan arkkitehtuurivakiointeja tuotteen osille. MAN:n arkkitehtuurivakioinneilla pystytään karsimaan yrityksen sisäistä varianssia säilyttämällä siltä asiakkaalle tärkeä ulkoinen variaatio. MAN-menetelmä sopii hyvin tämän työn tuotteeseen, koska siinä on esitelty monia hyviä keinoja konfiguroitavan tuotteen tilavarauksien toteuttamiseen.

Kehitettävän moduulijärjestelmän vaikutuksia liiketoimintaan selvitetään työssä Brownfield-prosessissa esitetyllä pääsääntömallilla. Pääsääntömalli auttaa tekemään päätöksen siitä kannattaako työssä havaitut kehityskohteet toteuttaa. Malli osoittaa onko kehityskohteen vaikutus positiivinen vai negatiivinen jo olemassa olevaan ratkaisuun.

4. STS-NOSTURI JA TELIT

4.1 STS-Nosturi

STS eli laiturikonttinosturin tehtävänä on nostaa kontteja laivaan ja laivasta pois. Nosturi liikkuu poikittain kiskoilla. Kiskonpyörät ovat kiinni teleissä, jotka jakavat nosturin kuorman tasaisesti laiturille. Monella asiakkaalla on kuormitusvaatimus, jonka laiturin maksimissaan kestää. Tätä varten teleillä on tärkeä tehtävä jakaa nosturin painoa ja kantaa nosturin paino liikkeessään. STS-nosturi on esitetty kuvassa 29.



Kuva 29. Konecranes STS-nosturi. (Konecranes.com)

4.2 Telit

Telien tehtävä nosturissa on kantaa kuormaa ja jakaa sitä tasaisesti vaakojen ja pyörien välityksellä maahan. Pyörät ovat kiinnitetty telivaunuihin, telivaunut ovat kiinnitetty vaakoihin nivelliitoksilla ja vaakojen väleissä on nivelliitokset. Telissä olevat koneistot ja pyörät liikuttavat nosturia kiskojen suuntaisesti. Telin rakenteeseen ja varusteluun vaikuttavat asiakkailta tulevat vaatimukset. STS-nosturin teli on esitetty kuvassa 30.



Kuva 30. STS-nosturin 12-pyöräinen teli.

4.2.1 Telien rakenne

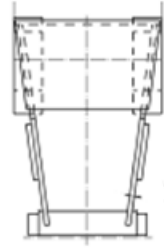
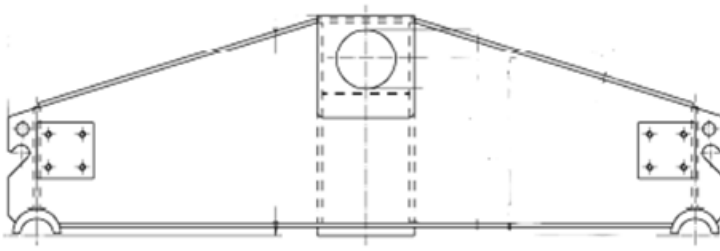
STS-nosturin telit koostuvat pyöristä, teräsrakenteesta ja varustelusta. Teräsrakenteeseen kuuluvat telien telivaunut, vaa'at ja nivelet. Telin varusteluun kuuluvat muun muassa kaapelit, koneistot, jarrut, rajakytkimet, kiskoaura, maadoitin, valot ja summerit. Pyörät ovat kiinni telivaunuissa, jotka kiinnittyvät vaakoihin. Vaa'at ja telivaunut kiinnittyvät toisiinsa nivelliitoksilla, joka antaa hieman liikkumavaraa teleihin nosturin liikkua, esim. nosturin maihin vedossa.

4.2.2 Vaa'at

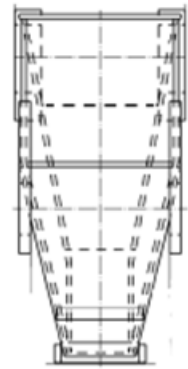
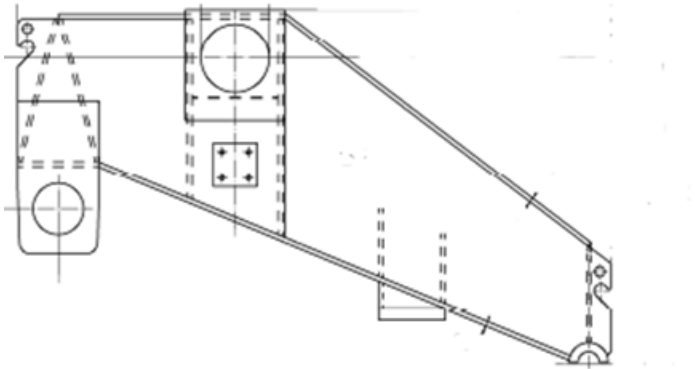
Telin vaa'at jakavat nosturin kuormitusta tasaisesti pyörille. Vaa'at, niin kuin koko teli-rakenne koostuvat varioituvista standardiosista. Varioituvia vaakoja on kolme eri tyyppiä, ensiövaaka (Kuva 31), härkävaaka (Kuva 32) ja toisiovaaka (Kuva 33). Vaa'issa varioituu nivelvälit ja levyjen paksuudet. Nivelvälit riippuvat halutusta pyörä- tai metrikuormasta. Levyjen paksuuden valikoituvat pyöräkoon ja nivelvälin mukaan teleissä.

Vaa'at kuuluvat konfiguroitavaan rakenteeseen, jossa lähtöarvoina ovat vaa'an tyyppi, pyörä koko ja nivelväli. Näiden tietojen perusteella on valmiiksi listattu oikea vaa'an teräsrakenne.

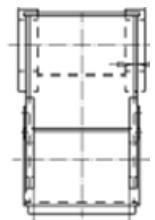
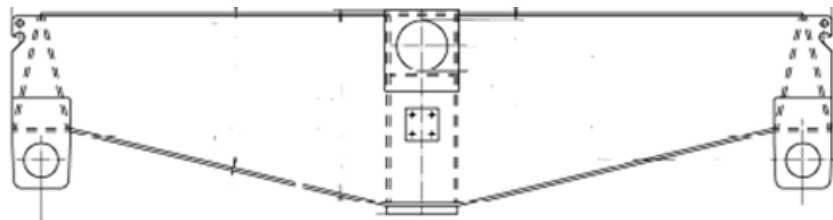
Ensiövaaka kiinnittyy alimpana telivaunuihin ja voi olla joko pelkästään 4-pyöräinen teli tai vaakaan voi kiinnittyä myös härkä- tai toisiovaaka. Härkä- tai toisiovaa'an valitseminen riippuu pyörien lukumäärästä. Härkä vaakaa käytetään 6-, 10- ja 12-pyöräisissä te-leissä. Härkävaaka kiinnittyy yhteen ensiövaakaan ja yhteen telivaunuun, jolloin se muodostaa yhteensä 6-pyöräisen layoutin. Toisiovaakaa käytetään taas 8-, 10- ja 12-pyöräisissä layouteissa. Toisiovaaka kiinnittyy kahteen ensiövaakaan, muodostaen 8-pyöräisen telin tai kahteen härkävaakaan, muodostaen 12-pyöräisen telin tai näiden kombinaatioon, muodostaen 10-pyöräisen telin.



Kuva 31. Ensiövaaka



Kuva 32. Härkävaaka



Kuva 33. Toisiovaaka

4.2.3 Nivelet

Niveliä telivaunujen ja vaakojen välissä on kahdenlaisia. Telivaunujen nivelet ovat erilaisia kuin vaakojen väleissä olevat nivelet. Tämä on se takia, että pyörä tai telivaunu olisi helppo irrottaa sen vaihtamiseksi. Vaakojen nivelet ovat korvakerakenteisia. Korvavalevyn ja koko vaa'an läpi tulee akseli, joka muodostaa nivelen. Vaakojen niveliä ei ole niin helppo vaihtaa, mutta ne kestävät suurempia kuormia. Nivelien tehtävä on kantaa kuormaa telissä ja mahdollistaa vaakojen ja pyörien välisen liikkuvuuden.

4.2.4 Kantopyörät

Kantopyörien tehtävä on kantaa nosturin kuorma ja liikuttaa nosturia. Kantopyörän halkaisija ja karkaisu valitaan pyöräkuorman mukaan. Mitoittava tekijä pyörien halkaisijoissa on yleensä laakerin kestävyys. Pienissä pyörissä pienemmät laakerit eivät kestä yhtä paljon kuin isommissa pyörissä olevat. Tällöin joudutaan vaihtamaan isompaan pyörään pyöräkuormien kasvaessa. Mitoittava tekijä voi myös olla pyörässä sen akselin väsyminen. Pyörät ovat yleisesti laipallisia eli niiden keskellä on ura kiskoja varten. Ura pitää nosturia raiteilla ja ehkäisee nosturin vinoon ajoa. Asiakkaalta saadaan myös vaatimus vetävien pyörien lukumäärästä eli kuinka moneen pyörään tulee koneisto kiinni. Usein vaatimuksena on, että vähintään puolet pyöristä tulisi olla vetäviä. Vetävien pyörien lukumäärä ehkäisee pyörien sutimista kiihdytyksissä. Pyörien lukumäärä määräytyy yleensä asiakkaan maaperän ja kiskon mukaan. Asiakas kertoo maaperän maksimi pyöräkuorman. Nosturista tulevaa kuormitusta pyritään jakamaan pyörien lukumäärän ja pyörävälillä avulla. Pyörävälillä kasvattaminen auttaa säätelemään metrikuormaa.

4.2.5 Varustelu

Varustelu telissä tulee asiakkaan vaatimusten mukaisesti. Telien varusteluun kuuluu koneistot, kaapelit, jarrut, puskurit, maadoitin, kiskoaura, koneistotuennat ja muita lisävarusteita. Tällä hetkellä teleissä ei ole vakioituja paikkoja varustelulle. Tämä aiheuttaa projektikohtaista suunnittelutyötä. Tässä työssä tutkitaan modulaarisuuden vaikutusta telien varusteluun. Voisiko varustelulle määritellä vakiopaikat ja tilavaraukset. Tämä mahdollisesti vähentäisi projektikohtaista suunnittelua.

4.3 Telien suunnitteluohjeistukset

Konecranesilla on käytössään eri tuotteille ja tuotteiden osille tehtyjä suunnitteluohjeita. Tässä kappaleessa esitellään lyhyesti käytössä olevia suunnitteluohjeita telien komponenteille ja rakenteille.

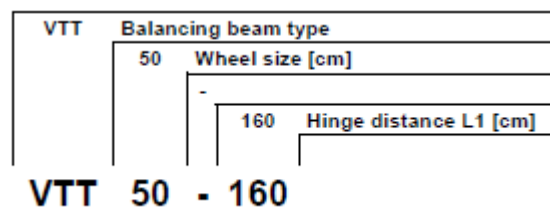
4.3.1 COM-ohjeet

Konecranesilla on tehty eri nosturin komponentteja ja toimintoja varten COM-ohjeita. COM-ohjeissa esitellään erilaiset komponenttinvaihtoehdot toimintoille ja ohjeistetaan niiden valinnassa ja suunnittelussa.

Telien COM-ohjeissa esitellään telien teräsrakenteeseen kuuluvia osia ja niiden variaatioita. COM-ohjeissa ei ohjeisteta varustelun komponenteissa. Ohjeeseen kuuluvat esimerkiksi erilaiset kantopyörät, telivaunut ja vaa'at. Konecranesilla on käytössään vakioituja pyöräkokoja ja vaakakokoja, joille esitellään eri kokojen mitoitus. Näiden mitoitus perustuvat asiakkailta tuleviin pyörä- ja metrikuorma vaatimuksiin, jolloin eri variaatioiden avulla pystytään säätämään haluttu pyörä- ja pyöräväli niin, että vaatimukset täyttyvät.

Kantopyörille esitellään valintaperusteet ja sallitut kuormitukset ja nopeudet. Esimerkiksi ohjeissa ohjeistetaan valintaperusteet pyörille, pyöräkuormat eri kiskoille ja pyöränlaakereille.

Ohjeissa esitellään vakioratkaisut telivaunuille ja telien vaa'oilta. Telivaunut ja vaa'at ovat varioituvia komponentteja ja ohjeissa on taulukoitu eri vakiovaihtoehdot ja esitelty valinta- ja tilausohjeet esimerkiksi eri pyöräkoon tai pyörävälin perusteella. Pyöräkoon perusteella valitaan myös nivelet vaunujen ja vaakojen väliin. Ohjeissa ohjeistetaan myös mitoittamaan laakerit ja puskurit teleihin. Kuvassa 34 on esimerkki vakioitujen telivaakojen konfiguroitavasta rakenteesta ja niiden tilausohjeesta.



Kuva 34. Esimerkki COM-ohjeissa löytyvästä tilausohjeesta

4.3.2 DIC-ohjeet

DIC-ohjeissa teleistä esitetään telisarjoihin kuuluvat komponentit. Ohjeissa esitetään mitoitusperusteet kriittisimmille tekijöille telissä, kuten pyöräkuormille, laakereille ja harvemmin käytetyille avovälitysteleille. Ohjeissa esitellään myös telien ja vaakojen rakenne lyhyesti, kerrotaan osien käyttötarkoituksia ja materiaaleja.

Ohjeisiin sisältyy teleille tarkoitettuja tarkastuspöytäkirjoja tehdas- ja vastaanottotarkastuksia varten. Näihin sisältyy hitsauksien, koneistuksen ja kantopyörien suuntaustarkastukset. Ohjeissa ohjeistetaan myös telien piirustusmerkintöjä telien eri komponenteille.

4.3.3 Laskentapohjat

Konecranesilla on käytössään omia laskentaohjelmia telien teräsrakenteen suunnittelua varten.

Telien vaakojen teräsrakenteille on olemassa Excel käyttöliittymällä oma laskentaohjelma. Ohjelmassa on erikseen välilehdet eri vaakatyypeille eli ensiö-, härkä- ja toisiovaaoille. Välilehdillä on jokaiselle vaakatyypille valmiiksi syötetty pudotusvalikkoon eri variaatioita, eri pyöräkoille ja nivelväleille. Valinnan mukaan ohjelma määrittää valmiiksi ehdotetut päämitat ja levynpaksuudet vaaoille. Laskentaan tulee itse määrittää pyöräkuormat ja standardin mukainen varmuusluokka.

Kantopyörille on olemassa oma laskentaohjelma, jolla mitoitetaan laakerit kantopyörille. Laakeri on usein mitoittava tekijä akselin ohella kantopyörän kokoa valittaessa.

5. TELIEN KONFIGUROITAVUUS

STS-nosturin telit koostuvat varioituvista teräsrakenteista. Telien teräsrakenne on suunniteltu pääosin konfiguroitavaksi asiakastarpeiden mukaan. Esimerkiksi telien erikokoiset kantopyörät ovat konfiguroitavia asiakkaan kiskon leveyden mukaan. Tosin projektikohtaisessa suunnittelussa telien teräsrakennetta joudutaan muokkaamaan asiakkaan vaatimusten mukaisesti. Kuormituksista johtuvaa muuntelua tapahtuu, kun optimoidaan telien teräsrakenteiden levynvahvuuksia ja nivelvälejä. Telien varustelulla ei ole selkeää määriteltyä arkkitehtuuria telin rakenteessa. Tässä osuudessa määritellään asiakastarpeet teleille, joista voidaan määrittää mitkä komponentit täyttävät asiakasvaatimukset.

5.1 Asiakastarpeet

Telien konfigurointitiedon tutkiminen lähti liikkeelle asiakastarpeiden selvittämisellä. Asiakkaalta tulee erilaisia muuntelutarpeita teleille, esimerkiksi:

- Maaperän kantavuus
- Nopeudet ja kiihtyvyydet
- Jarrujen tyypit
- Telien päämitat
- Vetävien pyörien lukumäärä
- Tunkkauspaikka
- Kiskoaurat
- Puskurit
- Varoitusrajat

Tärkeää varustelussa on tunnistaa ovatko ne asiakkaan muuntelutarpeista tulevia komponentteja vai vanhoista projekteista jääneitä tarpeettomia komponentteja. Komponentteja aloitettiin käymään läpi asiakkaan vaatimuslistoista. Kaikkia komponentteja ei jokaisessa STS-projektissa tarvitse, mutta modulaarisuutta ajatellen olisi jokaiselle komponentille hyvä olla olemassa tilavaraus telirakenteessa, jos kyseinen komponentti tarvittaisiin uuteen projektiin. Tämä vähentäisi projektikohtaista suunnittelua, koska komponentin paikkaa ja asennusta ei tarvitsisi enää suunnitella vaan asennukselle olisi jo olemassa oleva dokumentaatio.

5.1.1 Kaikki asiakastarpeet

Asiakkaalta tulee nosturiin tarjousvaiheessa vaatimuslista, jonka mukaan nosturia tulee tarjota asiakkaalle. Vaatimuslista sisältää kaikki nosturiin liittyvät tiedot, suunnittelusta käyttöönottoon. Vaatimuslista sisältää vaatimuksia liittyen:

- Tekniset vaatimukset
- Mekaaninen suunnittelu
- Mekaaniset komponentit
- Sähkövarusteet
- Materiaalit
- Ohjaamot ja huoneet
- Nosturin kulkutiet
- Valmistus
- Pintakäsittely
- Testaus
- Hyväksyttävät komponenttivalmistajat
- Optiot

Asiakkailla on tiukat vaatimukset halutusta nosturista. Asiakas haluaa suunnitella nosturin kaikkiin pahimpiin tapauksiin, mitä satamaolosuhteissa voi tapahtua. Tämä yli mitoittaa komponentteja ja varustelua todellisiin käyttöolosuhteisiin nähden. Jossain tapauksissa halutusta ratkaisusta tulee todella kallis, koska se on vaikea toteuttaa kun poiketaan normaalista.

5.1.2 Konecranesin muutosehdotukset asiakasvaatimukseen

Asiakkaan vaatimuslistasta Konecranes pyrkii karsimaan itsellensä ja asiakkaalleen edullisimmat tapaukset. Tämä tarkoittaa sitä, että asiakas pyytää nosturiin välillä erittäin kalliita tarpeettomia ratkaisuja. Konecranes pyrkii karsimaan kaikista asiakasvaatimuksista järkevimät ja räätälöimään asiakkaalle mahdollisimman edullisen, että nopeasti toimitettavan nosturin. Asiakasvaatimukset vaikuttavat nosturin hintaan ja toimitusnopeuteen, koska erikoisimmat vaatimukset vaativat paljon suunnittelutyötä toimiakseen. Tätä yritys pyrkii karsimaan asiakasvaatimuksista, sillä se on edullisempaa kummallekin osapuolelle.

Modulointi tuo monia hyötyjä vaatimusten toteuttamiseen. Ne pyrkivät vähentämään tarvittavaa suunnittelutyötä projektikohtaisesti, eli voitaisiin mahdollisimman pitkälle varioida erilaisia ratkaisuja asiakasvaatimukseen vakiokomponentteja käyttämällä. Pyritään siis suureen ulkoiseen varioitiin, mutta minimoidaan samalla yrityksen sisäinen varioinnin tarve.

Vaatimuksia voi tulla myös moduloinnin ylettymättömiin, jolloin komponenttivarიაატიot eivät riitä asiakkaan vaatimukseen. Tällöin pyritään taas karsimaan niitä vaatimuksia pois tai tehdään tapauksesta erikoistapaus, jolloin siihen suunnitellaan ratkaisu projektikohtaisesti.

5.2 K- & V-Matriisit teleille

Työssä toteutettiin konfigurointitiedon saamiseksi K- & V-matriisit telien tuoterakenteille ja asiakastarpeille. Matriiseja varten ensin kartoitettiin telien koko tuoterakenne eli kaikki komponentit mitä Konecranesin STS-teleihin kuuluu. Lisäksi tuli selvittää eri asiakastarpeet, joita liittyy STS-teleihin. Asiakastarpeita kartoitettiin Konecranesin asiakkailta tulleista spesifikaatiolistoista, tuotepäälliköltä, pääsuunnittelijoilta ja myyntimiehiltä. Näistä rajattiin pois Konecranesin sisäiset näkökulmat asiakasvaatimukseen eli koitettiin saada esille asiakkailta suoraan tulevat tarpeet ja miten yritys toteuttaa ne tuotteessaan.

Matriiseista toteutettiin kolme eri versiota, joissa vertailtiin tuoterakennetta ja asiakastarpeita, tuoterakenteita keskenään sekä asiakastarpeita keskenään. Ensimmäisessä tuoterakenteiden V-matriisissa saatiin selville tuotekomponenttien yhtenevyydet. Matriisista saatiin konfigurointitieto eli mitkä komponentit eivät voi olla samaan aikaan tuoterakenteissa. Matriisiin listattiin telien tuoterakenteet vaaka- ja pystysoluille. Komponenttien riippuvuussuhteet merkittiin 1 tai 0, jos komponentit eivät voineet olla yhdessä. Telien V-Matriisi on esitetty kuvassa 35.

STS-Teli		Tietokonekoodit										
		Tietokonekoodit			Tietokonekoodit			Tietokonekoodit			Tietokonekoodit	
Tuotetiedot		10000	10001	10002	10003	10004	10005	10006	10007	10008	10009	10010
Keskappari	UK100											
	UK101											
	UK102											
	UK103											
	UK104											
Teliteles	TEK101											
	TEK102											
	TEK103											
	TEK104											
	TEK105											
	TEK106											
	TEK107											
	TEK108											
	TEK109											
	TEK110											
Puhelkone	PH101											
	PH102											
	PH103											
	PH104											
Kirkkone	KIR101											
	KIR102											
	KIR103											
	KIR104											
Kirkkone	KIR105											
	KIR106											
	KIR107											
	KIR108											
Kirkkone	KIR109											
	KIR110											
	KIR111											
	KIR112											
Kirkkone	KIR113											
	KIR114											
	KIR115											
	KIR116											
Kirkkone	KIR117											
	KIR118											
	KIR119											
	KIR120											
Kirkkone	KIR121											
	KIR122											
	KIR123											
	KIR124											
Kirkkone	KIR125											
	KIR126											
	KIR127											
	KIR128											
Kirkkone	KIR129											
	KIR130											
	KIR131											
	KIR132											
Kirkkone	KIR133											
	KIR134											
	KIR135											
	KIR136											
Kirkkone	KIR137											
	KIR138											
	KIR139											
	KIR140											
Kirkkone	KIR141											
	KIR142											
	KIR143											
	KIR144											
Kirkkone	KIR145											
	KIR146											
	KIR147											
	KIR148											
Kirkkone	KIR149											
	KIR150											
	KIR151											
	KIR152											
Kirkkone	KIR153											
	KIR154											
	KIR155											
	KIR156											
Kirkkone	KIR157											
	KIR158											
	KIR159											
	KIR160											
Kirkkone	KIR161											
	KIR162											
	KIR163											
	KIR164											
Kirkkone	KIR165											
	KIR166											
	KIR167											
	KIR168											
Kirkkone	KIR169											
	KIR170											
	KIR171											
	KIR172											
Kirkkone	KIR173											
	KIR174											
	KIR175											
	KIR176											
Kirkkone	KIR177											
	KIR178											
	KIR179											
	KIR180											
Kirkkone	KIR181											
	KIR182											
	KIR183											
	KIR184											
Kirkkone	KIR185											
	KIR186											
	KIR187											
	KIR188											
Kirkkone	KIR189											
	KIR190											
	KIR191											
	KIR192											
Kirkkone	KIR193											
	KIR194											
	KIR195											
	KIR196											
Kirkkone	KIR197											
	KIR198											
	KIR199											
	KIR200											

Kuva 35. Teliä komponenttien V-matriisi, jossa vertailtiin teliä komponentteja toisiinsa.

K-Matriisissa vertailtiin asiakastarpeita ja teliä tuoterakennetta. Siinä ajatuksena ja tavoitteena oli saada asiakkaalta tuleville vaatimuksille yhteys teliä komponentteihin siten, että asiakkaalle voitaisiin myynti- tai tarjoustilanteessa esittää valmiiksi määritetyt kysymykset. Asiakkaan vastauksilla saadaan tarvittava konfigurointitieto tuoterakenteen luomiseen ja oikeiden komponenttien valitsemiseen.

Toinen tavoite K-matriisia luodessa oli saada selville asiakastarpeiden avulla oikeasti tarvittavat komponentit teleissä. Teliä rakenteita on suunniteltu yrityksessä 90-luvulta lähtien, joten teleissä saattaa olla nykyasiakkaille jotain tarpeetonta mitä ei ole huomioitu. K-Matriisi on esitetty kuvassa 36.

Tuotteet	Asiakastarpeet		V-Matriisi	
	Määrittäjä	Yksiköt	Määrittäjä	Yksiköt
Kantavuus	KA100	kg	1	
	KA105	kg	1	
	KA110	kg	1	
	KA115	kg	1	
	KA120	kg	1	
	KA125	kg	1	
	KA130	kg	1	
	KA135	kg	1	
	KA140	kg	1	
	KA145	kg	1	
Tallennus	TA100	mm		1
	TA105	mm		1
	TA110	mm		1
	TA115	mm		1
	TA120	mm		1
	TA125	mm		1
	TA130	mm		1
	TA135	mm		1
	TA140	mm		1
	TA145	mm		1
Pöytäkoru	PK100	mm		1
	PK105	mm		1
	PK110	mm		1
	PK115	mm		1
	PK120	mm		1
	PK125	mm		1
	PK130	mm		1
	PK135	mm		1
	PK140	mm		1
	PK145	mm		1
Käsitö	KA100	mm		1
	KA105	mm		1
	KA110	mm		1
	KA115	mm		1
	KA120	mm		1
	KA125	mm		1
	KA130	mm		1
	KA135	mm		1
	KA140	mm		1
	KA145	mm		1
Häätösuojus	HS100	mm		1
	HS105	mm		1
	HS110	mm		1
	HS115	mm		1
	HS120	mm		1
	HS125	mm		1
	HS130	mm		1
	HS135	mm		1
	HS140	mm		1
	HS145	mm		1
Eristys	ER100	mm		1
	ER105	mm		1
	ER110	mm		1
	ER115	mm		1
	ER120	mm		1
	ER125	mm		1
	ER130	mm		1
	ER135	mm		1
	ER140	mm		1
	ER145	mm		1

Kuva 36. Telien K-Matriisi, jossa vertailtiin asiakastarpeita ja tuoterakennetta.

K-Matriisissa merkittiin numero 1, kun asiakastarpeella ja komponentilla oli yhtäläisyys. Eli, kun asiakas valitsee asiakastarpeen, komponentti jonka kohdalla on merkitty 1, on mukana tuoterakenteessa. Muut komponentit, joilla ei ole merkintää kohdallaan, on automaattisesti ulkona tuoterakenteesta. Esimerkiksi telien tehtävänä on jakaa nosturin kuormaa tasaisesti maahan. Asiakastarve on tietty kuorma, jonka pyörä saa välittää maahan. Asiakas valitsee asiakastarvelistasta oikean arvon pyöräkuormalle, jolloin oikean pyörän kohdalla on numero 1 eli yhteys. Pyörä on mukana telin tuoterakenteessa.

Komponentit, joilla ei ole yhteyttä mihinkään asiakastarpeeseen ovat tarpeettomia. Ne voivat olla jääneet tuotteeseen ja tuoterakenteeseen mahdollisesti historian painolastina. Eli kun on saatu uusi tilaus nosturista, niin siihen on valittu komponentit, jotka olivat myös edellisessä tilauksessa. Silloin ei ole välttämättä huomioitu uuden asiakkaan vaatimuksia niin tarkasti, että tuoterakenteeseen on voinut jäädä komponentti jota asiakas ei vaadi tilauksessaan. Tässä työssä tehdyssä K-Matriisissa huomioitiin yksi tarpeeton komponentti telien rakenteessa, jolle ei löytynyt asiakastarvetta. Tämä komponentti oli telin koneistojen päälle tuleva avattava suojaipelti.

Asiakastarpeita vertailtiin toisiinsa V-Matriisilla. Matriisissa listattiin asiakastarpeet vaakaja- ja pystysoluihin, jonka jälkeen yhtenevyydet merkittiin numerolla 1, niin kuin aikaisemmissakin matriiseissa. Matriisin tarkoituksena oli tuoda esiin asiakastarpeiden yhtenevyydet eli milloin asiakastarpeet voivat olla samaan aikaan tuoterakenteessa. Jos taulukossa on merkitty numero 1, silloin asiakastarpeet ovat mahdollisia tuotteessa. Jos taas

tarpeilla ei ole merkintää, silloin tarpeet eivät voi olla tuotteessa samaan aikaan. Matriisissa luodaan asiakastarpeiden välinen konfigurointitieto. Asiakastarpeiden keskinäinen yhtenevysmatriisi on esitetty kuvassa 37.

Kuva 37. V-Matriisi, jossa vertaillaan asiakastarpeita toisiinsa.

Matriiseissa luodaan konfigurointitietoa tuotteen komponenteille ja asiakastarpeille. Hyötynä näistä saadaan tietoa milloin komponentit voivat olla tuotteessa ja milloin voidaan huomioida yksittäinen asiakastarve. Asiakastarpeet voidaan huomioida suoraan niiden tullessa, voidaanko ne toteuttaa samassa tuotteessa yhtä aikaa. Komponenttien osalta konfigurointitieto on tärkeää ajatellen tuotteen komponenttien tilanvarausta. Ennen komponenttien tilanvarauksien suunnittelua tulee tietää mitkä komponentit voivat olla samaan aikaan tuotteessa.

Matriisien tuloksena saatiin myös tieto, mikäli komponentteja tai asiakastarpeita pystyttäisiin vakioimaan tai karsimaan. Esimerkiksi matriiseista saatiin selville ja dokumentoitua mitkä komponentit ovat käytännössä aina teleissä eli kyllä-ei-vaihtoehto voitiin karsia konfigurointimatriiseista. Matriiseista huomattiin myös mitkä vaatimukset tai komponentit ovat yleisimmin käytössä teleissä. Eli vaikka variaatiota syntyy asiakkailta, niin tiedetään mitkä vaatimukset esiintyvät erittäin harvoin ja mitkä erittäin usein. Matriisien avulla myös pystyttiin karsimaan vaatimuksia ja olemassa olevia tuoterakenteita. Telien eri pyörävalit olivat hyvin tiedossa ja saatiin rajattua kaikista vaihtoehdoista eli millä pyörävalleillä STS-teleissä pärjätään ja pystytään vastaamaan asiakasvaatimuksiin. Myös pyörän halkaisijan vaatimus saatiin rajattua vaatimuksista pois, koska asiakas hyväksyy Konecranesin ehdottaman hyvin usein.

6. TELIEN TILANVARAUKSET

Konfigurointimatriiseista saatiin tieto miten telien komponentit käyttäytyvät asiakastarpeisiin nähden. Milloin komponentit pystyvät olemaan tuotteessa asiakastarpeen ollessa voimassa tai tiedetään milloin kaksi komponenttia ei voi olla samaan aikaan tuotteessa saman asiakastarpeen ollessa voimassa. Konfigurointitiedosta on hyötyä telien komponenttien tilanvarauksia suunnitellessa. Tiedetään valmiiksi mitä komponentteja yleisimmät asiakkaat haluavat teleihinsä ja voidaan suunnitella niille eri variaatiot.

6.1 Telien eri kombinaatiot ja layoutit

Telien komponenttien kombinaatiot ja layoutit määritetään pääosin teräsrakenteen mukaan. Esimerkiksi voidaan ajatella telivaunua yhdeksi kombinaatioksi, jonka rajapinta on telivaunun nivel. Se varioituu pyörän koon mukaan, jolloin rajapinnan korkeus vaihtelee. Seuraavat kombinaatiot voisivat olla vaa'at. Ensiö-, härkä- ja toisiovaaka, joiden rajapinta menee myös nivelissä. Näidenkin nivelien korkeudet vaihtelevat telivariaatioiden mukaan. Eri kombinaatiota eli moduuleita telissä ovat:

- Telivaunu
 - Kantopyörät
 - Koneisto
 - Momenttituki
 - Pyöräjarru
 - Kiskoaura
 - Maadoitin
- Ensiövaaka
 - Kaapelitiet
 - Koneistosuojat
 - Puskuri
 - Rajakatkaisin
 - Kaapelinohjain
- Härkävaaka
 - Kaapelitiet
 - Kiskojaru
 - Pystytystuentaipat
- Toisiovaaka
 - Kaapelitiet
 - Kiskojaru
 - Pystytystuentaipat

Telien layoutit menevät pyörien lukumäärän mukaan. Eri telilayoutit olisi 8-, 10- ja 12-pyöräiset telit, joita on tällä hetkellä käytetty STS-nostureissa. Layouttien erona ovat pyörien lukumäärän lisäksi vaakojen erilaiset geometriat, jolloin myös rajapinnat varustelulle muuttuvat. Varustelun rajapintoja ja tilavarauksia pyritään tutkimaan layout kohtaisesti eli saataisiin jokaiselle komponentille vakio tilanvaraus eri layouttiin.

6.1.1 Telien kombinaatioiden ja layouttien suunnitteluperiaatteet

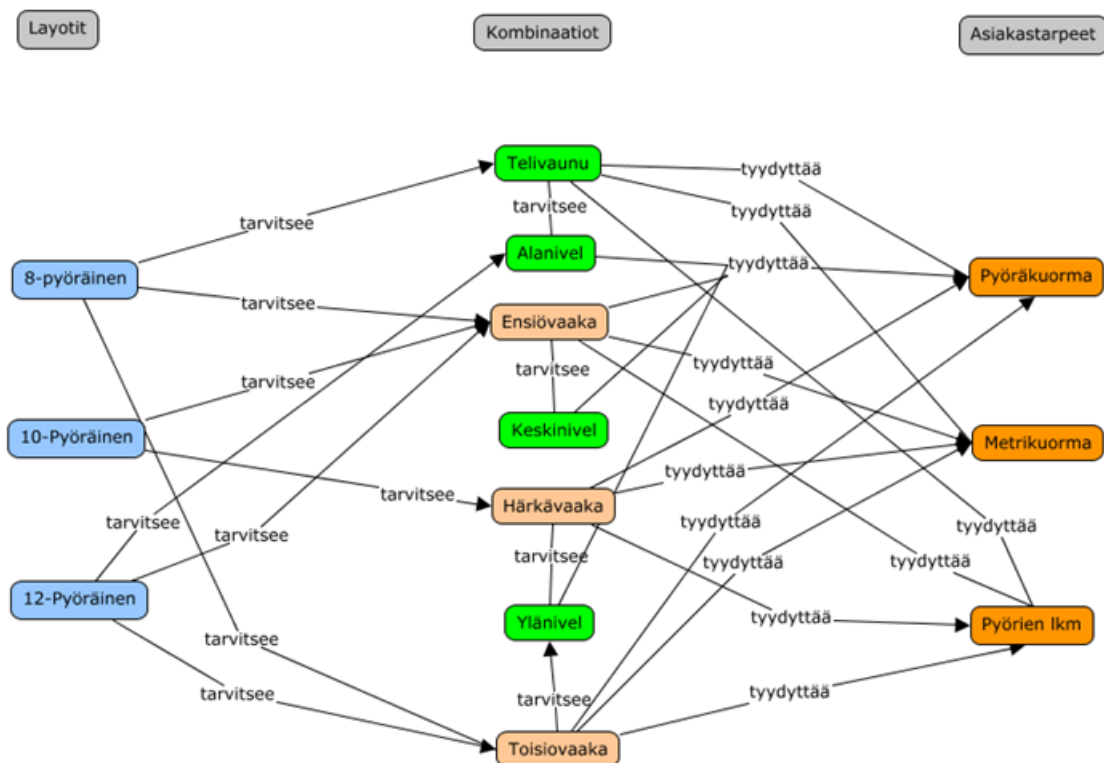
Tässä kappaleessa on tarkoitus käydä läpi ja jakaa telien eri kombinaatiot suunnitteluperiaatteiden mukaan vakioihin, konfiguroitaviin ja projektikohtaisiin. Pakkanen [25] suosittelee työssään tuotteen jakamista näihin kolmeen osaan, jolloin nähdään helposti suunnittelulementtien uudelleenkäyttö projekteissa. Pakkanen suosittelee tähän PSBP-kaavan käyttöä, jossa siis jaettujen kombinaatioiden lisäksi ne yhdistetään asiakastarpeisiin. Kaavasta nähdään helposti kombinaatioiden jako ja mikä kombinaation elementti toteuttaa minkäkin asiakastarpeen.

Yrityksen strategia suunnitteluperiaatteiden osalta on keskittyä konfiguroitavaan tuoterakenteeseen. Eli pyrkii toteuttamaan asiakasvaatimukset jo olemassa olevien vaihtokelpoisten elementtien avulla. Teleissä kumminkin on suunnittelutyötä vaativia elementtejä, koska asiakkailta tulee erityisvaatimuksia mihin konfiguroitava tuoterakenne ei yllä. Nämä projektikohtaiset tarpeet pyritään kumminkin suunnittelemaan jo olemassa olevien ratkaisujen kautta.

Kuvassa 38 on esitelty telin kombinaatioiden ja layouttien välinen suunnitteluperiaatekartta PSBP. Teli on jaettu siinä alla olevan mukaisesti vakio osiin, vaihtokelpoisiin ja vapaasti suunniteltaviin projektikohtaisiin elementteihin. Vasemmalta on lähdetty telin kolmesta eri layoutista, sen jälkeen on listattu layoutit toteuttavat kombinaatiot, jonka jälkeen ne on yhdistetty vielä niitä vaativiin asiakastarpeisiin.

- Vakio tuoterakenne
- Konfiguroitava tuoterakenne
 - Alanivel (toteuttaa eri pyöräkuormavaatimukset)
 - Keskinivel (toteuttaa eri pyöräkuormavaatimukset)
 - Ylänivel (toteuttaa eri pyöräkuormavaatimukset)
 - Telivaunu
 - Pyöräväli (toteuttaa eri metrikuormavaatimukset)
 - Pyörän koko
 - ➔ Vaikuttaa koko rakenteeseen

- Osittain konfiguroitava tuoterakenne
 - Ensiövaaka
 - Konfiguroitava nivelväli
 - Projektikohtaiset teräsvahvuudet
 - Härkävaaka
 - Konfiguroitava nivelväli
 - Projektikohtaiset teräsvahvuudet
 - Toisiovaaka
 - Konfiguroitava nivelväli
 - Projektikohtaiset teräsvahvuudet
- Projektikohtainen tuoterakenne
 - Spesiaalitelit
 - Käännyvä rakenne



Kuva 38. Telin kombinaatioiden ja layouttien välinen PSBP-kartta.

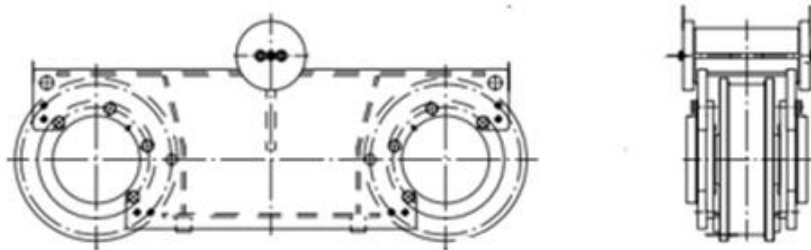
6.2 Kombinaatioiden tilanvaraukset ja rajapinnat

Rajapintojen vakiointi nivelien korkeuden osalta olisi moduloinnin hyötyjen kannalta erinomainen asia. Esimerkiksi telivaunut olisivat vaihtokelpoisia pyöränkoosta riippumatta. Myös telien vaakojen hallinta olisi helpompaa, jos niiden korkeus olisi vakioitu.

Vaakojen nivelvälin vakioiminen olisi hieman hankalampaa, koska sillä esimerkiksi säädellään sallittua metrikuormaa pyörille. Vakiointi tapahtuisi suunnittelemalla telit isoimman mukaan, jolloin pienimmissä nostureissa olisi erittäin paljon ylimitoitusta ja painoa tulisi telien teräsrakenteesta. STS:n vuotuinen myyntimäärä on alhainen ja telien kilohinta kasvaisi ylimitoituksesta, joka toisi enemmän kustannuksia kuin hyötyä rajapintojen vakioinnista. Tällä hetkellä ei ole mitään haittaa korkeuden vaihtelusta teleissä. Telien leveydessä puolestaan vaatimuksena asiakkaan puskurista puskuriin mitta vaatimus, joka on yleensä vakio asiakkaiden keskuudessa.

Telien korkeuden rajapintojen asettamista vakioksi ei ole oikeastaan STS-nosturien kannalta hyötyä, nosturi ei kärsi mikäli telin ja siihen kiinnittyvän palkin rajapinta vaihtelee korkeussuunnassa. Modulaarinen ajattelutapa suosisi rajapintojen vakiointia, se helpottaisi moduulien eli kombinaatioiden vakiointia ja vaihtokelpoisuutta. STS-nosturissa telien rajapintojen vakiointi toisi myös haittapuolen eli telien kilohinnan. Kilohinnalla tarkoitetaan telien painoa suhteessa teräksen hintaan, koska telien hinta koostuu suuremmilta osin teräksestä. Telien kilohinta nousee pienemmissä STS-nostureissa kun rajapinnat vakioitaisiin, koska myös pienemmissä nostureissa nivelten korkeudet tulisi olla samalla tasolla. Tämä nostaa nosturin hintaa enemmän kuin yritys siitä mahdollisesti hyötyisi vaihtokelpoisuuden osalta.

Telien konfigurointimatriiseista saadaan tieto mille eri telivariaatioille täytyy varata tila tuoterakenteessa. Matriisien avulla saatiin tiputettua pois tarpeettomia telien komponentteja, esimerkiksi turhia telivaunun variaatioita pyörävälisiä johtuen, jotka ovat käytössä STS-tuoteryhmässä. Kuvassa 39 on esitetty telivaunu.



Kuva 39. Telivaunu, jossa varioituu esimerkiksi pyöräväli.

6.3 Varustelun tilanvaraukset ja rajapinnat

Tässä työssä yhtenä tärkeimpänä vaiheena on kehittää telin varustelulle arkkitehtuuria eri telilayouteissa. Telin teräsrakenteelle on dokumentoitu hyvät variointiratkaisut eri pyöräkoille ja nivelväleille. Varustelulle ei ole dokumentoitu vakio tilanvarauksia ja rajapintoja telissä niiden kiinnittämiseksi. Nämä voivat aiheuttaa komponenttien rikkoutumisia ja ongelmia asennustöissä kokoonpanopaikalla.

Tässä kappaleessa on tarkoitus määrittää ja jakaa telien varustelun komponentit vakioihin, konfiguroitaviin ja projektikohtaisiin. Jaottelua helpottaa konfigurointimatriiseista tuleva tieto, josta nähdään mitkä komponentit ovat aina tuotteessa, mitkä komponentit vaihtuvat tuotteessa asiakasvaatimuksista ja mitkä komponentit tulevat asiakkaalta erityistoiveesta.

Varustelun komponenttien jako helpottaa tilavarausten hallintaa. Jaon avulla saadaan selville tilavaraus, joka on aina voimassa vakiokomponentille. Konfiguroitavalle vaihtokelpoiselle komponentille pitää varata tila huomioiden kaikki vaihtokelpoiset variaatiot. Myös rajapinta pitää suunnitella ja dokumentoida siten, että siihen saa kiinnitettyä kaikki variaatiot. Projektikohtaiset komponentit ovat spesiaalitapauksia, jolloin tilavaraus ja kiinnitysrajapinta suunnitellaan projektin aikana.

6.3.1 Telien varustelun komponenttien suunnitteluperiaatteet

Tässä vaiheessa on tarkoitus pohtia ja määrittää komponenttien jako vakioihin, konfiguroitaviin ja projektikohtaisiin asiakasvaatimusten ja suunnitteluperiaatteiden mukaan.

1. Vakiokomponentit

- **Momenttituki:**

Tällä hetkellä momenttituki suunnitellaan projektikohtaisena. Momenttituen malli riippuu vaihteesta, johon se kiinnitetään. Momenttituki tulee kiinni telivaunuun, jonka paikka on yleisesti vakioitu. Paikka kumminkin saattaa muuttua, jos samaan tilavaraukseen asennetaan toinen komponentti. Näistä tilanteista voi aiheutua ongelmia.

Momenttituen malli riippuu koneistoon tulevasta vaihteesta. Vaihteissa vaihtuvat olakkeen mitat, johon vaikuttavat kuinka pitkä akseli vaihteeseen tulee. Olakkeen etäisyyden voisi mahdollisesti vakioida, jos olisi mahdollista määrittää muutama eri etäisyys olakkeelle ja käytettäisiin mahdollisimman lyhyttä akselia. Momenttituki on esitetty kuvassa 40.



Kuva 40. Momenttituki, joka on usein sijoitettu telivaunun päälle.

Momenttitukia laitetaan myös erikoistapauksissa suoraan vaihteen toisioakselille kiinni, jolloin tuen kiinnityspaikkakin on eri kuin normaalisti. Tämän tuen voisi esimerkiksi säilyttää projektikohtaisena sen vähäisen tarpeen vuoksi. Momenttituki on esitetty kuvassa 41.



Kuva 41. Kuvassa on esitetty toinen momenttituki vaihteelle.

- Koneistosuojat:
Voisi vakioida suojien paikat eri telilayoutteihin. Ongelmana vakioinnissa tulee koneistojen vaihtuvuus eli eri tilavaraukset vaativat koneistot. Parametrisen vakiointi geometrialle voisi olla mahdollinen, jolloin suojaputken venyisivät tarvittavaan mittaan. Toinen suojien mallin vakiointi olisi sen suunnittelu-leminen isoimman tapauksen mukaan.



Kuva 42. Kuvassa on esitetty koneistosuojat

- **Kantopyörien laakerien kannet:**
Tällä hetkellä kannet sorvataan tankoaihiosta. Koneistuslastua tulee todella paljon. Materiaalihävikin voisi järkeistää tekemällä vakio valuaihiot D630 ja D710 pyöräkoille ja koneistaa vain tarvittavat pinnat. Pyörien D630 ja D710 kansissa vain 10mm ero. Valukappaleen hinta putoaa, mitä suuremmat sarjakappaleet tilataan.
- **Kaapelitiet:**
Kiinnityskohdat tulisi vakioida eri telilayoutteihin. Esimerkiksi, laippakiinnitys, joka olisi vakio rajapinta. Nykyisin ongelmana kaapeliteiden asennuksessa telien seinien vinous, johon kaapelitiet tulevat kiinni. Kaapelitiet menevät usein asennusvaiheessa ristiin, kun toiset kaapelitiet ovat vinossa ja toiset suorassa. Vakioidulla laippakiinnityksellä voitaisiin ratkaista kaapeliteiden vinous tuomalla laipasta putki, johon kaapelitie tulisi kiinni. Tämä mahdollistaisi sen, että kaapelitiet olisivat samalla tasolla toistensa kanssa. Kuvassa 43 on esitetty kaapeliteiden asennuskulmat teleissä.



Kuva 43. Telien kaapelitiet ongelma vinoissa seinämissä

- Hätästop-painike alusta.
Vakiopaikka alustalle löytyy toisio- ja härkävaa'asta. Asiakasvaatimuksena alusta täytyy sijoittaa joko toiselle tai molemmille puolelle vaakaa. Hätä-seis-painike on esitetty kuvassa 44.



Kuva 44. Asiakasvaatimuksena tuleva hätästop-painike ja pistorasia.

- Käyttösummeri ja käyttövalo.
Vakiopaikka käyttösummerin ja käyttövalon alustasta löytyy härkä- ja toisiovaan päästä. Alusta on esitetty kuvassa 45.



Kuva 45. Kuvassa on nosturin siirron käyttövalo ja paikka myös summerille.

2. Vaihtokelpoiset komponentit

- Kiskoaura:
Kolme erilaista vakiomallia, jotka ovat pelkkä aura, aura, jossa on muovitanko puhdistamassa kiskoa ja kolmannessa on muiden lisäksi maadoituslaahain sisällytettynä. Näille kolmelle vakiomallille mahdollista tehdä vakiorajapinta telivaunuun, joka mahdollistaa niiden vaihtokelpoisuuden keskenään.
- Kiskojaru
Kiskojarruja on kahta erilaista toiminnaltaan. Lisäksi jarruja tilataan eri toimittajilta, mutta samantapaisilla toiminnoilla. Kiskojarrun paikalla on vakioidu rajapinta sille. Kiskojarru on esitetty kuvassa 46.



Kuva 46. Kiskojarru on sijoitettu telissä toisio- tai härkävaakaan riippuen layoutista.

- Pyöräjarru

Pyöräjarruja tilataan eri toimittajilta, mutta kiinnitys pyritään säilyttämään samana. Pyöräjarru kiinnitetään telivaunuun laippaliitoksella, johon sille pitää varata vakiotila. Pyöräjarrun kiinnityspaikka on esitetty kuvassa 47.



Kuva 47. Pyöräjarrulle varattu kiinnityspaikka telivaunussa.

- Koneisto

Koneistoon kuuluu moottori ja vaihde. Koneistot varioituvat asiakasvaatimusten mukaan. Asiakas esimerkiksi määrittää kuinka moneen pyörään haluaa koneiston eli kuinka monta pyörää pitää olla vetäviä telissä. Tämä aiheuttaa tilanvaraus ongelmia, jos koneistoja vaaditaan joka pyörään. Tavallisimmin määrä on 50–75% ja 50 % on yleisin vaatimus.

Koneistoille vaatimuksena tulevat myös eri asennusasennot eli onko moottori pystyssä vai vaakasuorassa. Tilanvarausta suunnitellessa koneistolayoutit voitaisiin jakaa vetävyyden perusteella pystyyn ja vaakaan. Eli kun koneistoja on maksimissaan puolissa pyörissä, niin koneistojen asennus on vaakasuuntaan. Kun koneistoja vaaditaan enemmän kun puoliin pyöristä, koneistot asennetaan pystyyn tilanpuutteen vuoksi. Myös momenttituet määräytyisivät tämän mukaan kahdesta variaatiosta.

Koneistoissa vaihtuvat myös vaihde sekä moottori vaatimuksen mukaan. Tämä on vaikea hallita moduloinnin kannalta, sillä se aiheuttaa muutoksia muihin komponentteihin myös. Esimerkiksi vaihteen momenttitukeen tulee muutoksia kun koneistopaketti varioituu.

- Puskuri

Puskuri valitaan teliin projektin mukaan. Yleensä sen kiinnitysrajapinta on vakio, joten pituus ja valmistaja vaihtuvat. Kiinnitys rajapinta on vakioitu telin ensiövaakaan telivaunun yläpuolelle. Puskuri ja puskurin kiinnitys on esitetty kuvassa 48.



Kuva 48. Kuvassa on esitetty STS-nostureissa käytetty puskuri.

3. Projektikohtaiset komponentit

Projektikohtaisia komponentteja ei telien perustuoterakenteeseen sisällytetä, koska suunnitteluperiaatteiden mukaan pyritään konfiguroitavaan tuoterakenteeseen. Asiakkaalta tulevat erikoistarpeet huomioidaan ja silloin suunnitellaan teli projektikohtaisesti, jos perustuoterakenne ei siihen riitä. Tämä huomioidaan toki jo nosturin myyntivaiheessa.

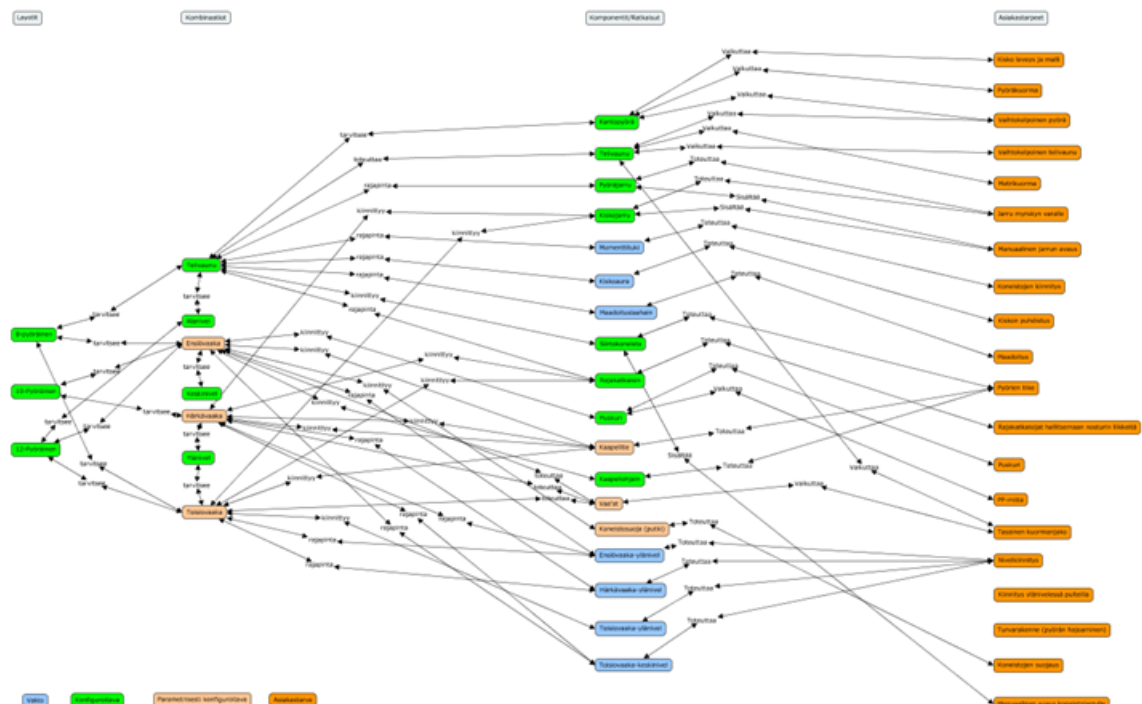
Tuotejaon ja suunnitteluperiaatteiden mukaan tuotteesta tehtiin PSBH-kartta, jossa kuvataan aiemman PSBP-kartan lisäksi kombinaatioiden ratkaisut ja komponentit, sekä niiden asiakastarpeet, jotka ne toteuttavat. Eli ensiksi kartassa kuvataan telien eri toteutettavat layoutit. Niiden jälkeen vasemmalta oikealle kuvataan kombinaatiot, jotka toteuttavat nämä layoutit. Kombinaatioiden jälkeen kuvataan komponentit ja ratkaisut, jotka toteuttavat tai sisältyvät kombinaatioihin. Tällaisia ovat esimerkiksi teliin tulevat varustelun komponentit, jotka on kuvattu ylempänä. Ratkaisujen jälkeen oikealla kuvataan asiakastarpeet, jotka kohdistuvat teleihin. PSBP-kartta on esitetty kuvassa 49.

Alla olevassa PSBP-kartassa on tuotteen toteuttavat elementit jaettu suunnitteluperiaatteiden mukaan vakioihin, konfiguroitaviin ja projektikohtaisiin elementteihin. Sinisellä merkityt tuotteen elementit ovat vakioelementtejä, jotka esiintyvät samoina jokaisessa tuotteen layoutissa. Vihreällä pohjalla olevat ovat konfiguroitavia elementtejä, jotka ovat siis vaihtokelpoisia asiakastarpeen mukaan. Kartassa on myös laitettu muutama vaaleammalla värillä oleva elementti. Nämä ovat parametrisesti muuttuvia konfiguroitavia elementtejä. Esimerkiksi vaa'at, jotka määrittävät asiakkaalle tärkeää metri- ja pyöräkuormaa, muuttuvat myös tarpeellisesti parametrisesti, jolloin niiden perusrakenne ei muutu.

Projektikohtaisia elementtejä ei telien perustuoterakenteeseen kuulu, vaan ne pyritään toteuttamaan konfiguroitavasti asiakkaiden yleisimpien vaatimusten mukaan. Erityistapauksissa, jolloin konfiguroitava tuoterakenne ei riitä joudutaan suunnittelemaan asiakkaalle projektikohtaisesti teli, mutta tämä voidaan huomioida jo tuotteen hinnoitteluvaiheessa. Myös projektikohtaiseen suunnitteluun pyritään käyttämään mahdollisimman paljon konfiguroitavaa tuoterakennetta. Vasemmassa laidassa on listattu tuotteelle tulevat asiakastarpeet. Telien perustuoterakenne on siis konfiguroitava tai osittain konfiguroitava, jolloin otetaan huomioon myös vaihtelevasti tulevat asiakkaiden erityisvaatimukset.

Kartassa tuotteen elementtien välit on kuvattu mikäli elementit tarvitsevat toista elementtiä, mikäli elementti kiinnittyy tai luo rajapinnan toisen kanssa ja mikäli elementti vaikuttaa tai toteuttaa asiakastarpeen.

PSBP-menetelmän avulla nähdään miten tuoterakenne toteuttaa asiakastarpeet. Menetelmästä nähdään myös seuraussuhteet asiakastarpeesta toteutukseen eli layouttiin. Eli nähdään mikä varustelun komponentti toteuttaa minkäkin asiakastarpeen ja nähdään samalla mihin kombinaatioon varustelun osa kiinnittyy. Menetelmästä nähdään myös tuotteen suunnitteluperiaate, eli mikä komponentti voi olla vakio ja mikä tarvitsee konfigurointia. Eli asiakastarpeesta nähdään jo milloin tuotteen elementin on oltava konfiguroitava asiakkaalle.



Kuva 49. Kuvassa PSBP-kartta, jossa kuvataan telin layoutit, kombinaatiot, ratkaisut ja asiakastarpeet ja niiden väliset riippuvuudet.

6.4 Arkkitehtuurivakioinnit

MAN-tutkimuksessa käytettiin erilaisia vakiointisääntöjä, jolla voitiin hallita tuotteen sisäistä variaatiota säilyttämällä asiakkaalle suuntautuva ulkoinen variaatio. Tässä kappaleessa esitellään millaisia ratkaisuja vakiointisäännöistä pitäisi luoda STS-telien komponenteille.

MAN-tutkimuksessa vakioinnit jaettiin neljään eri luokkaan:

1) Toiminnalliset vakioinnit:

Toiminnalliset vakioinnit rajoittavat erimittaisten varianttien määrää tuotteessa. Rajoitukset helpottavat rajapintojen ja tilavarausten hallintaa eri konfiguraatioissa. Toiminnallisia vakiointeja teleissä olisi:

- a) Pyörien koko
- b) Nivelvälit vaaissa

2) Teknologiset vakioinnit

Teknologiset vakioinnit koskisivat materiaaleja teleissä. Vakioinnit rajoittaisivat erilaisten materiaalien määrää osissa. Teknologisia vakiointeja teleissä olisi:

- a) Materiaali:
 - i) Vaa'at, telivaunut
 - ii) Nivelet
 - iii) Pyörät
 - iv) Kaapelitiet
 - v) Koneistosuojat

3) Geometriset vakioinnit

Geometriset vakioinnit liittyvät telien osiin ja komponenttien asennus asentoihin. Osiin liittyvät vakioinnit helpottavat rajoittamaan erilaisten geometrioiden määrää telien osissa. Esimerkiksi koneistosuojaputken poikkileikkaus olisi aina vakio teleissä. Asennusasentoon liittyvät vakioinnit auttavat ennakoimaan asennusten tilantarpeita. Esimerkiksi telien kaapeliteiden asennusasennot tulisi vakioida niiden asennuksen helpottamiseksi.

- a) Osiin liittyvät (Rajoittavat erilaisten geometrioiden määrää osissa)
 - i) Koneistosuojaputki geometria
 - ii) Momenttituki putki ja alusta
 - iii) Kaapeliteiden geometria
 - iv) Suojaputket letkuille

- b) Asennusasentoon liittyvät (Auttavat ennakoimaan asennusten tilatarpeita)
 - i) Kaapelitiet
 - ii) Kiskojarru
 - iii) Pyöräjarru
 - iv) Puskuri
 - v) Maadoitin
 - vi) Häätä seis-painikealusta
 - vii) Käyttövaloalusta
 - viii) Rajakatkaisijat
 - ix) Koneisto
 - (1) Eri layoutit, esim. 50 % vetävissä koneiston asento
 - (2) >50 % koneisto pystyssä
 - x) Momenttituki koneistolayoutin mukaan
 - (1) Pysty (Momenttituki 1.)
 - (2) Vaaka (Momenttituki 2.)

4) Rajapinta vakioinnit

Rajapintojen vakiointi tuotteessa helpottaa varmistamaan erilaisten osien yhteensopivuuden tuotteessa. Esimerkiksi teleissä pyöräjarrun vakiokiinnityspinta olisi aina vakio.

- a) Puskurille (Ensiövaaka)
- b) Kiskojarrulle (Toisiovaaka)
- c) Pyöräjarrulle (Telivaunu)
- d) Kaapelitiet (Vaa'at)
- e) Maadoitin-aura-paketti (Telivaunu)
- f) Koneistosuojat (Härkä- ja ensiövaaka)
- g) Momenttituet (Telivaunu)
- h) Kaapelinohjain/Lyyra (Ensiövaaka)

7. TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kappaleessa esitellään tämän työn liiketoiminnalliset vaikutukset STS-nosturiin telien modulointikehityksen osalta. Kappaleessa esitellään pääsääntömalli, jolla luodaan näkemys yrityksen liiketoiminnan vaikutukseen. Kappaleessa myös kerrotaan toimenpideehdotukset, jolla näihin vaikutuksiin päästään.

7.1 Toimenpide-ehdotukset

Tässä kappaleessa käydään läpi toimenpide-ehdotukset tämän tutkimustyön perusteella telivalmistuksen kehittämiseksi tehokkaammaksi.

- 1) Telien arkkitehtuurivakioinnit
Telien sisäisen variaation vähentämiseksi ja selkeämmän tuoterakenteen saamiseksi olisi tärkeää tehdä arkkitehtuurivakiointeja telin osille ja komponenteille.
- 2) Telien konfigurointitiedon jalostaminen myyntikonfiguraattoriksi
Myyntikonfiguraattori auttaisi myyntitilanteessa tekemään mahdollisen tarkan tarjouksen asiakkaalle. Asiakkaalle esitettäisiin yksinkertainen kysymyslista, josta saataisiin selville telien tarkka tuoterakenne.
- 3) Telin konfiguroitavan tuoterakenteen päivittäminen vastaamaan kaikkia asiakastarpeita
Tämä vähentäisi projektikohtaista suunnittelutyötä, kun telien tuoterakenteessa olisi yleisimmille asiakastarpeille valmiina suunniteltu ratkaisu.

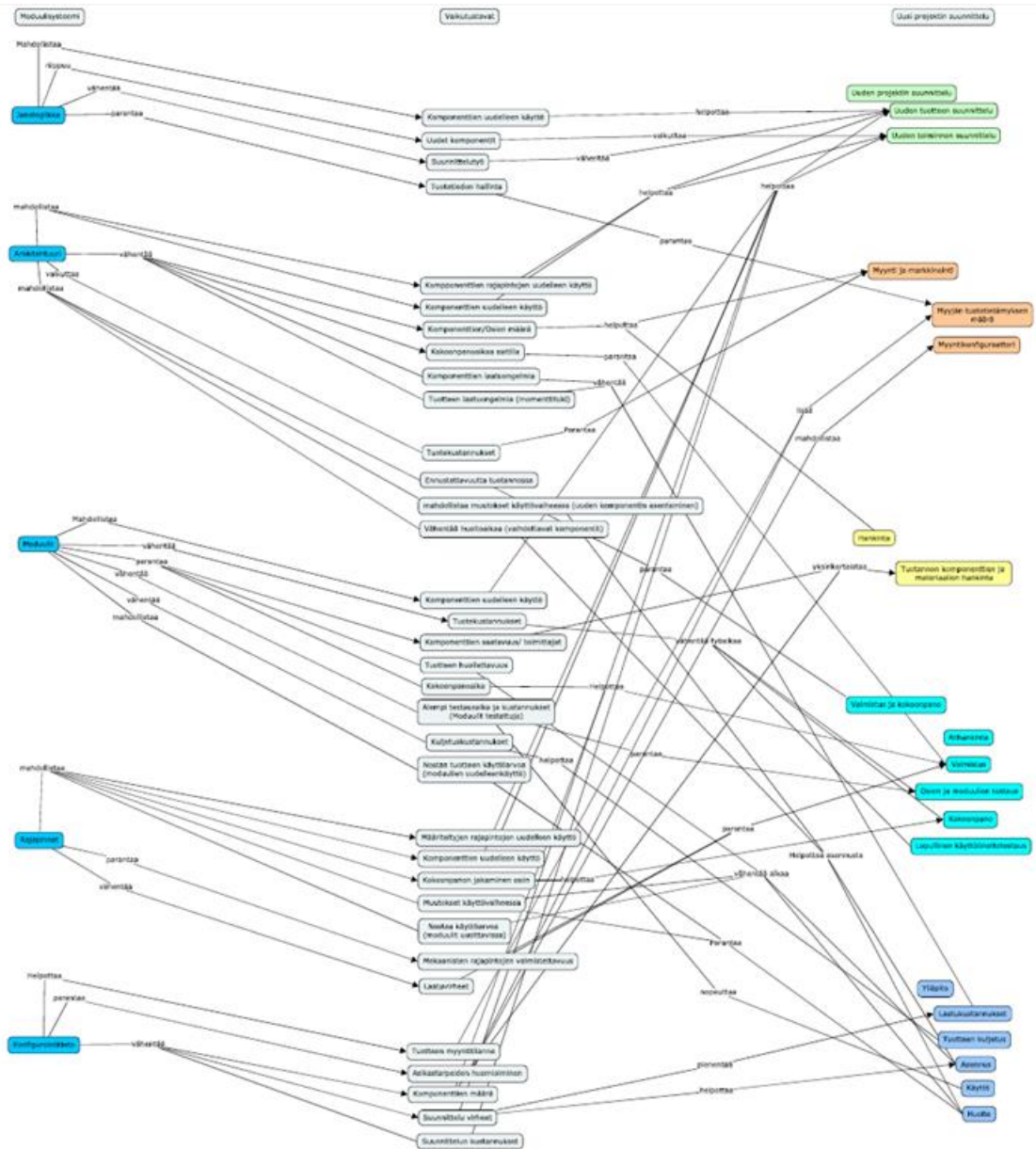
7.2 Pääsääntömalli

Tässä kappaleessa esitellään telien modulointityölle tehty pääsääntömalli tuotekehitysprojektin liiketoimintavaikutuksen arviointia varten.

Pääsääntömallin tarkoitus on analysoida tuotekehitysprosessin tuloksia ja vaikutuksia liiketoimintaan. Tavoite on saada tieto kuinka hyvin kehitysprosessin tavoitteet on saavutettu ja onko uusi kehitetty tuote tarpeeksi kilpailukykyinen. Tavoitteiden onnistuvuutta arvioidaan mallissa tuotteen elinkaaren eri vaiheissa, että saadaan mahdollisimman tarkka ja kattava kuvaus vaikutuksista. Onnistuvuutta mallissa arvioidaan tuotteen elinkaaren aikana mm. kustannusten, laadun, resurssien ja ajan suhteen.

Mallissa vasemmalta kuvataan moduulisysteemi eli se sisältää jakologiikan, arkkitehtuurin, moduulit, rajapinnat ja konfigurointitiedon. Jakamalla tuotteen tiedon tällä tavalla saadaan ymmärrys, minkälaista tietoa on otettava huomioon suunniteltaessa modulaarista

tuotetta. Mallissa keskellä esitellään mihin kehitetty modulaarinen tuote vaikuttaa, se voi olla joko positiivinen tai negatiivinen verrattuna vanhaan tuotteeseen. Oikealla mallissa on listattu askeleita yleisestä tuotekehitys- ja toimitusprosessista. Askelet sisältävät tuotteen tietoja myynnistä, markkinoinnista, tuotekehityksestä, tuotannosta, kuljetuksesta, kokoonpanosta, käytöstä, huollosta, modernisoinnista ja kierrätyksestä eli tuotteen koko elinkaaren vaiheet. Telien pääsääntömalli on esitetty kuvassa 50.

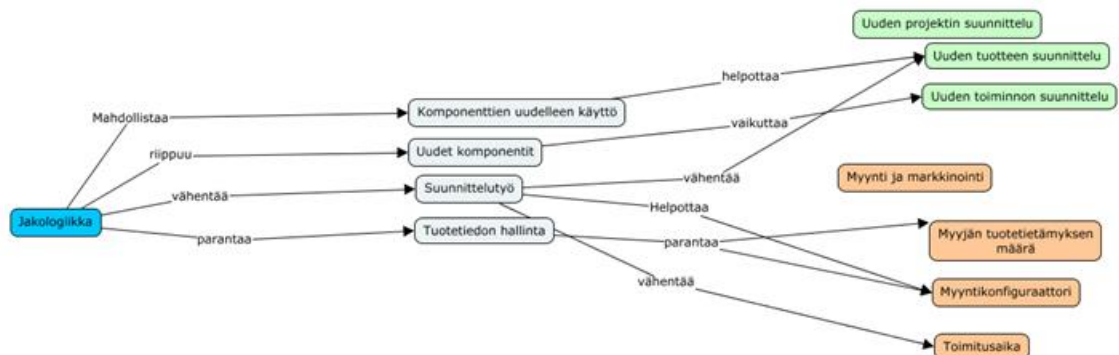


Kuva 50. Telien pääsääntömalli liiketoimintavaikutusten arviointia varten.

Yllä oleva kuva telien pääsääntömallista, josta nähdään modulaarisen tuotekehitysprojektin vaikutukset STS-nosturien liiketoimintaan telien osalta. Seuraavassa käydään läpi pääsääntömallin jokainen moduulisysteemin vaihe selkeämmin läpi yksitellen, jolloin saadaan selkeämpi näkemys vaiheiden vaikutuksista tuotteen liiketoimintaan.

7.2.1 Jakologiikan vaikutus

Tuotteen jakaminen ja tunnistaminen eri suunnitteluperiaatteiden mukaan vakioihin, konfiguroitaviin ja projektikohtaisiin elementteihin lisää tuotetiedon hallintaa. Kun tuotteeseen on määritetty esimerkiksi vakiokomponentit on uuden projektin suunnittelu helpompaa, kun sille on olemassa vakioipaikka ja vakioidut valmistuskuvat tuotteessa. Tuotteen suunnittelutyö vähenee uutta projektia suunniteltaessa. Vakioon tai konfiguroituun komponenttiin ei tarvitse tuhlata suunnittelutunteja ja parhaassa tapauksessa komponentista on olemassa valmiit vakioidut valmistuskuvat. Tämä myös nopeuttaa tuotteen toimitusaikaa asiakkaalle, joka voi olla hyvin tärkeä tekijä myyntitilanteessa. Tuotteen komponenttien jakaminen vaikuttaa myös tuotteen myyjän tuotetietämykseen ja tuotetiedon hallintaan. Myyjä osaa myydä oikeanlaista tuotetta eli ei esimerkiksi myy projektikohtaista tuotetta standardina, jolloin kustannusarvio tuotteesta voi mennä pahasti pieleen. Kuvassa 51 on esitetty jakologiikan osuus pääsääntömallista.



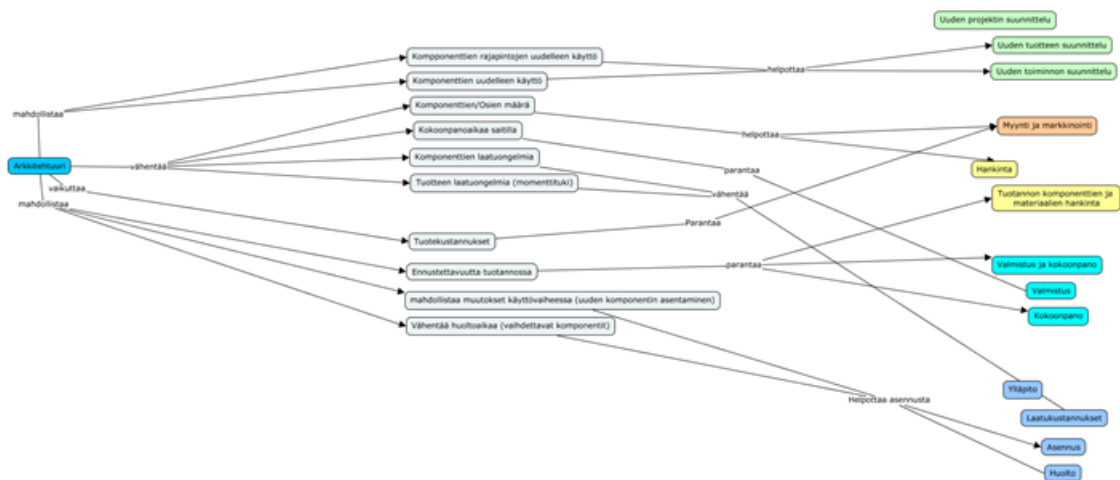
Kuva 51. Kuvassa esitetty jakologiikan vaikutus liiketoimintaan.

7.2.2 Arkkitehtuurin vaikutus

Arkkitehtuurin vaikutus eli miten moduulit muodostavat tuotteen, mitkä ovat niiden tilavaraukset ja rajapinnat. Moduuleille ja komponenteille määritetyt tilavaraukset ja rajapinnat mahdollistavat niiden uudelleen käytön uusissa projekteissa, joka helpottaa uuden projektin suunnittelutyötä. Suunnittelutyö helpottuu kun on tiedossa komponentin kiinnitysrajapinta ja asennustapa, sitä ei siis joka projektiin tarvitse erikseen suunnitella kun se on valmiiksi dokumentoitu.

Arkkitehtuurin dokumentointi vaikuttaa myös vähentävästi komponenttien ja osien määrään, kokoonpano-aikaan ja komponenttien laatuongelmiin. Työssä aiemmin määritellyt arkkitehtuurivakioinnit vaikuttavat vähentävästi yrityksen sisäisiin variaatioihin eli erilaisten osien määrään. Tämä vaikuttaa helpottavasti suunnittelijan työhön, hankintaan, kokoonpanoon ja asennukseen, koska se yksinkertaistaa työtä huomattavasti. Se myös vaikuttaa tuotteen laatuun, koska työntekijöillä on parempi ymmärrys asennettavasta osasta, jos se on mahdollisimman monta kertaa samanlainen kuin aiemmin. Laatuongelmat pienenevät komponenteissa kun niiden tilavaraukset ja rajapinnat on vakioitu, koska tällöin tiedetään, että komponentti kestää siinä paikassa mihin se on suunniteltu. Ei tule tilannetta, jolloin komponentin kiinnityspaikkaa joudutaan vaihtamaan tilapuutteen takia.

Arkkitehtuurin dokumentointi mahdollistaa ennustettavuutta tuotannossa. Tuotannossa on mahdollista tietää ennalta mitä komponentteja ja osia käytetään koottavassa tuotteessa. Myös komponenttien ja osien paikat ja asennustavat tiedetään ennalta, joka nopeuttaa ja helpottaa tuotteen valmistusta, sekä ehkäisee laaturvirheitä. Tuotteen huollettavuuden kannalta arkkitehtuuri helpottaa rikki menneen komponentin irtiottoa ja uudelleenasetusta, kun komponentilla on selkeä oma tila ja rajapinnat. Myös komponentin päivitys uudempaan tai eri malliin on helpompaa, kun on tiedossa kiinnitysrajapinta ja tila, johon komponentti asennetaan. Arkkitehtuurin vaikutus yrityksen liiketoimintaan pääsääntömallin avulla on esitetty kuvassa 52.

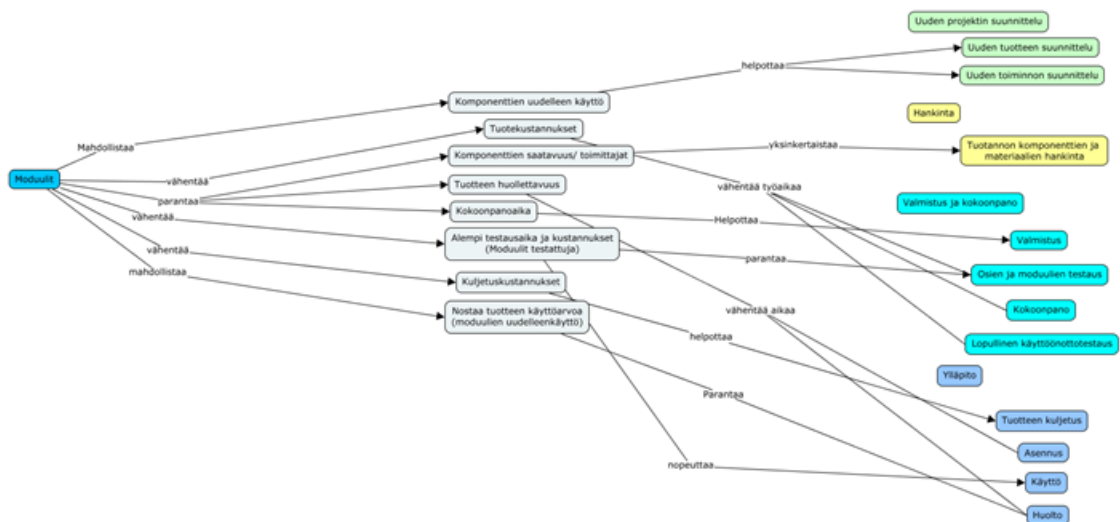


Kuva 52. Kuvassa on esitetty arkkitehtuurin vaikutus tuotteen liiketoimintaan

7.2.3 Moduulien vaikutus

Moduulien vaihtokelpoisuus mahdollistaa komponenttien uudelleenkäyttöä uusissa projekteissa, jolloin se helpottaa ja vähentää projektikohtaista suunnittelutyötä. Moduulit vähentävät tuotekustannuksia, kun moduulit ovat valmiiksi testattuja, jolloin kokoonpano-

paikalla työtunnit vähenevät eikä testausta tarvita. Valmiiksi testatut moduulit nopeuttavat tuotteen käyttöönottoa asiakkaan luona. Myös tuotteen kokoonpanoaika vähenee, kun moduulit kulkevat valmiiksi kokoonpantuina ja rajapinnat tunnetaan. Tuotteen huollettavuus paranee myös samalla, kun rikkoutunut moduuli pystytään vaihtamaan uuteen vähemmällä asennusajalla. Kuljetuskustannukset vähenevät kun moduulit ovat valmiiksi kokoonpantuja tehtaalla. Ne voidaan kuljettaa hallitummin pienemmässä tilassa ja kokoonpanna valmistuspaikalla, kun moduuleissa on selkeät rajapinnat asennustyötä varten. Moduulit nostavat tuotteen käyttöarvoa, koska on helpompaa tarjota asiakkaille päivitystä vanhaan tuotteeseen. Voidaan tarjota uutta päivitettyä moduulia vanhan tilalle, joka parantaa tuotteen toimintakykyä. Moduuli on valmiiksi suunniteltu ja kehitetty sille varattuun tilaan. Moduulien vaikutus liiketoimintaan pääsääntömallin avulla on esitetty kuvassa 53.

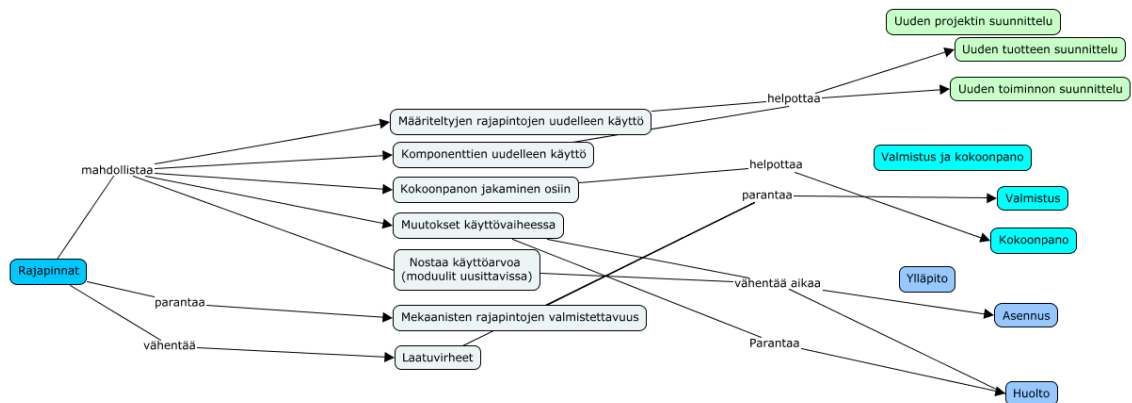


Kuva 53. Kuvassa on esitetty moduulien vaikutus liiketoimintaan pääsääntömallin avulla.

7.2.4 Rajapintojen vaikutus

Moduulijärjestelmän rajapintojen dokumentointi mahdollistaa uusissa projekteissa määriteltyjen rajapintojen uudelleenkäytön ja tällöin myös komponenttien uudelleenkäytön. Nämä helpottavat uuden projektin suunnittelutyötä ja laskevat niiden aiheuttamia kustannuksia ja ajankäyttöä. Tällöin myös suunnittelutyöstä tulevat suunnitteluvirheet minimoidaan ja laatu- ja kustannukset vähenevät. Tuotteen jakaminen osiin, esimerkiksi moduuleihin, mahdollista niiden kehityksen ja testaamisen erillään. Tämä mahdollistaa vakioitujen rajapintojen avulla helpomman ja yksinkertaisemmän tavan tuotteen kokoonpanolle. Voidaan koota siis valmiiksi isompia lohkoja kiinni toisiinsa, jolloin tuotteen loppukokoonpano helpottuu. Rajapinnat mahdollistavat myös tuotteen muutokset käyttövaiheessa, jolloin voidaan esimerkiksi vaihtaa tai päivittää rikki mennyt moduuli siten, että se ei vaikuta

muuhun tuotteen rakenteeseen. Toisin sanoen moduulin aiheuttama muutos pysähtyy rajapintaan. Rajapintojen vakiointi ja dokumentointi mahdollistaa myös, ainakin tämän työn tuotteessa, paremman valmistettavuuden ja laadun mekaanisessa rajapinnassa. Tuotannossa ei olisi erilaisia mekaanisia rajapintoja valmistuksessa, jolloin laatu paranisi valmistuksessa. Rajapintojen vaikutus liiketoimintaan pääsääntömallin avulla on esitetty kuvassa 54.



Kuva 54. Kuvassa on esitetty rajapintojen vaikutus tuotteen liiketoimintaan.

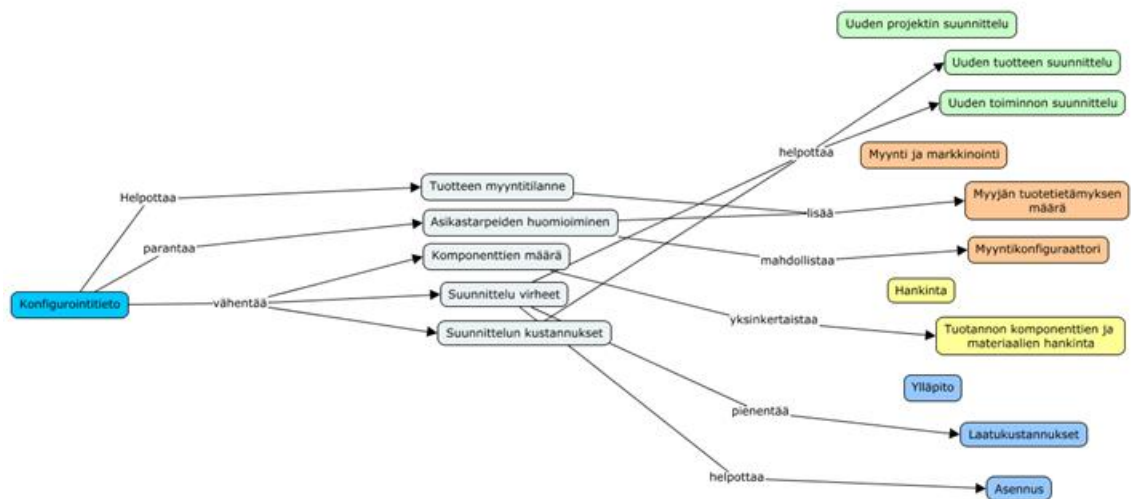
7.2.5 Konfigurointitiedon vaikutus

Konfigurointitiedolla ja sen ymmärtämisellä on suuri vaikutus asiakkaisiin, koska silloin myös ymmärretään asiakastarpeita ja saadaan asiakkaalle sellainen tuote mitä asiakas oikeasti haluaa. Asiakastarpeiden huomioiminen siis paranee ja tämä parantaa myyjän tuotetietämyksen määrää.

Konfigurointitieto helpottaa myyjää myyntitilanteessa, jolloin myyjä tietää jo myyntitilanteessa mikä asiakastarve vaikuttaa mihinkin tuotteen komponenttiin. Tämä mahdollistaa sen, että myyjä osaa hinnoitella tuotteen oikein ja lupaa sellaisia asioita, jotka on mahdollista toteuttaa tuotteen suunnitteluperiaatteiden mukaisella tavalla. Esimerkiksi myyjä osaa suoraan huomioida erikoisemmat asiakastarpeet ja myy tuotetta projektikohtaisena, sekä hinnoittelee sen myös sen mukaan.

Asiakastarpeiden kartoittamisen ja huomioimisen seurauksena on mahdollista myös myyntikonfiguraattori. Myyntikonfiguraattorilla on mahdollista luoda kysymyslista asiakkaalle, jonka perusteella voidaan selvittää tuotteen tuoterakenne. Tällöin mahdollistetaan tarkempi hinta tuotteelle ja se minkä suunnitteluperiaatteiden mukaan tuotetta myydään.

Konfigurointitieto vähentää komponenttien määrää, jolloin hankinta yksinkertaistuu ja tuotannossa on vähemmän komponentteja ja materiaaleja. Konfigurointitiedolla ehkäistään myös suunnitteluvirheitä. Konfiguraattoreilla, joilla saadaan lähtöarvojen perusteella tarkistettavaksi tarkka tuoterakenne kaikkine osineen. Tämä ehkäisee suunnittelijan virhettä unohtaa jokin osa tuotteesta tai valita väärä komponentti tuotteeseen. Tällöin se myös helpottaa uuden projektin suunnittelua. Konfigurointitiedon vaikutus liiketoimintaan pääsääntömallin avulla on esitetty kuvassa 55.



Kuva 55. Kuvassa on esitetty konfigurointitiedon vaikutus tuotteen liiketoimintaan.

7.3 Tutkimuskysymyksiin vastaus

- Mikä on asiakastarpeiden huomioimisen merkitys konfiguroitavassa tuotteessa?

Asiakkaalta tulevien tarpeiden merkitys konfiguroitavassa tuotteessa on oikean tuoterakenteen kannalta tärkeä. Siinä selviää oikeasti tarvittavat komponentit tuotteessa.

- Mitä hyötyä konfigurointitiedon luomisella on tuotteen komponenttien ja asiakastarpeiden välille?

Yhteyksien luomisen avulla voidaan asiakkaalta yksinkertaisen kysymyslistan perusteella saada erittäin tarkka kuvaus suunniteltavasta tuoterakenteesta.

- Miten tuotteen arkkitehtuuri tulee huomioida konfigurointitietoa luodessa?

Arkkitehtuurista tulee huomioida, että konfigurointitiedon pohjalta valitut komponentit sopivat tuotteeseen samaan aikaan.

- Miten komponenttien tilavaraukset tulee huomioida tuotteessa?

Jokaiselle komponentille ja niiden vaihtoehdolle on määritettävä tilavaraukset ja rajapinnat niiden asennettavuuden varmistamiseksi.

- Miksi kehitystyön vaikutusta yrityksen liiketoimintaan tulee arvioida?

Vaikutusta liiketoimintaan tulee arvioida, jotta nähtäisiin mihin ja millä tavalla kehitettävä asia vaikuttaa. Vaikutus saattaa olla hyvää tai huonoa vanhaan tuotteeseen verrattuna.

8. YHTEENVETO

Tämän työn teoriaosuudessa käytiin läpi tutkimustöitä ja menetelmiä liittyen moduloitavaan ja konfiguroitavaan tuotteeseen. Työn tavoitteena oli kehittää laiturikonttinsturinteliien moduloitavuutta asiakastarpeet huomioiden. Moduloitavuutta lähdettiin kehittämään vanhan tuotteen pohjalta, jolloin selkeäksi teoriaksi työssä osoittautui Brownfield-prosessi.

Prosessin perusteella työssä tutkittiin ja luotiin teleihin konfigurointitietoa. Konfigurointitietoa tutkittiin sen takia, että teleistä haluttiin mahdollisimman asiakastarpeet huomioivat. Konfigurointitiedon perusteella saatiin selville onko tuotteessa tarpeettomia elementtejä asiakkaille ja mitä elementtejä tarvitsisi lisätä, että asiakastarpeet täytyisivät.

Konfigurointitietoa varten työssä kartoitettiin asiakastarpeita aiempien projektien vaatimuslistoista, pääsuunnittelijoilta, rakennesuunnittelijoilta ja myyntihenkilöiltä. Kaikkien asiakastarpeiden joukosta valittiin yleisimmät, jotka konfiguroitava telin tuoterakenne voisi toteuttaa. Työssä selvitettiin konfigurointitietoa varten myös telien nykyinen tuoterakenne, eli kaikki osat ja komponentit telien eri variaatioissa.

Konfigurointitiedon saamiseksi teleille tehtiin K- & V-matriisit, joiden avulla nähtiin helposti mitkä asiakastarpeet vaikuttavat mihinkin komponenttiin. Samalla huomattiin, jos telien tuoterakenteessa oli tarpeettomia komponentteja vanhoista projekteista.

Konfigurointitiedon pohjalta työssä pohdittiin telien layouttien arkkitehtuuria. Telit jaettiin työssä osiin, kombinaatioihin ja layoutteihin. Jaettuun rakenteeseen oli helpompi määrittellä siihen kuuluvat komponentit. Telien layouttien kombinaatiot ja osat jaettiin myös suunnitteluperiaatteiden perusteella vakioihin, konfiguroitaviin ja projektikohtaisiin elementteihin. Näin voitiin hahmotella jo valmiiksi mitkä komponentit ovat telien rakenteessa aina, mitkä vaihtuvat asiakastarpeiden mukaan ja mitkä ovat erityisvaatimuksia asiakkailta.

Telien komponenttien ja osien sisäisen variaation hallintaan työssä pohditaan MAN-menetelmän arkkitehtuurivakiointeja. Vakioinneilla on tarkoitus vähentää ja minimoida samaan ratkaisuun tarkoitettut erilaiset osat. Tarkoitus on siis ratkaista toiminto esimerkiksi vain yhdenkokoisella osalla.

Lopuksi työssä pohditaan moduloinnin vaikutusta yrityksen liiketoimintaan. Tarkoitus on selvittää työssä tehtyjen toimenpide-ehdotusten vaikutus. Kehitystyössä syntyneiden ehdotusten vaikutukset voivat olla joko positiivisia tai negatiivisia verrattuna nykyiseen tuotteeseen. Ehdotukset voivat myös vaikuttaa eri yrityksen toimintoihin, niin kuin tuotteen kustannuksiin, laatuun, myyntiin, markkinointiin, ylläpitoon. Vaikutuksia liiketoimintaan selvitetään Brownfield-prosessissa esitetyllä pääsääntömallin avulla.

LÄHTEET

- [1] Andersen, M.M. 2011, “45 years with design methodology”, Engineering design, s. 293-332.
- [2] Bongulielmi, L., P. Henseler, Ch. Puls, M. Meier. The K- & V-Matrix-Method in Comparison with Matrix-Based Methods supporting Modular Product Family Architectures. NordDesign 2002, Norwegian University of Science and Technology, NTNU Trondheim, Norja. Saatavissa: <http://www.coma.imes.ethz.ch/pdf/PaperNordDesign02.pdf>
- [3] Borowski, K. H. 1961, “Das Baukastensystem in der Technik”, Springer.
- [4] Brown, D.C. 1998. ”Defining configuring. In Artificial Intelligence in Engineering Design, Analysis and Manufacturing”, Vol. 12, N. 4, Cambridge University Press.
- [5] Clarkson, J., Simons, C. & Eckert, C. 2001, “Predicting change propagation in complex design”, Proceedings of DETC’01, 2001, Pittsburgh, Pennsylvania, s.10.
- [6] Collings English Dictionary 2000, 5th Edition, first published in 2000 HarperCollins Publishers.
- [7] Dahmus, J. B., J. P. Gonzales-Zugasti and K. N. Otto (2000). Modular Product Architecture. ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Baltimore, USA, Syyskuu 10-13, ASME.
- [8] Engbom, O. 2016, “Role of space reservations in configurable product design”, Diplomityö, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Tampere, s.56
- [9] Erixon, G. (1998). “Modular Function Deployment (MFD) - A Method for Product Modularisation”, Tukholma, Väitöskirja.
- [10] Fricke, E. (2000), “Coping with changes: Causes, findings and strategies”, Technische Universität München, Germany
- [11] 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.
- [12] Förg, A. (2014). Enabling modularization potentials by standardized vehicle layouts, Espoo, Suomi.

- [13] Harlou, U. 2006, "*Developing product families based on architecture – Contribution to a theory of product families*", Väitöskirja, Teknillinen yliopisto, Lyngby, Tanska, 173 s.
- [14] Hvam, L. Mortensen, N.H., Riis, J., "Produkt konfigurering", Nyt Teknisk Forlag, 2006.
- [15] Hölttä, K. 2004, "Comparative analysis of product modularisation", Nord design, Tampere, s. 9.
- [16] Juhola, J., Välimaa, K. 1997. "Tuotevarioinnista kilpailukykyä: tarjouksesta toimintaan", Metalliteollisuuden kustannus, 1997, s.80
- [17] Juuti, T. (2008). "Design Management of Products with Variability and Commonality". Väitöskirja, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere. Saatavissa: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/167>
- [18] Konecranes, yhtiön kotisivut, saatavissa: www.konecranes.com
- [19] Kreimeyer, M., Förg, A. & Lienkamp, (2014). "Fostering modular kits in an industrial brownfield environment". Budabest. Saatavissa: <http://www.researchgate.net/publication/262563396>
- [20] Lapinleimu, I. 2000, "Ideaalitehdas: Tehtaan suunnittelun teorian kiteytys", Väitöskirja, Julkaisu 328, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, s. 197
- [21] Laukkarinen, E. 2014, "Design of a 3D configuration model for electric motors", Diplomityö, Aalto yliopisto, Espoo, s.116
- [22] Lehtonen, T. (2007). "Designing Modular Product Architecture in the New Product Development". Väitöskirja, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere. Saatavissa: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/70>
- [23] Lehtonen, T., Juuti, T. 2016, MEI-46200 Tuotekehitys ja tuoteperheet. Luentokalvot. Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.
- [24] Martin, M. V. and K. Ishii (2000). "Design for Variety: a Methodology for Developing Product Platform Architectures". 2000 ASME Engineering Technical Conferences, Syyskuu 10-13, Baltimore, USA, ASME.
- [25] Pakkanen, J. 2015, "Brownfield process, a method for the rationalisation of existing product variety towards a modular product family", Väitöskirja, julkaisu 1299, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 283 p.

- [26] Pakkanen, J. 2016, MEI-46200 Tuotekehitys ja tuoteperheet. Luentokalvot. Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.
- [27] Parker 1984, McGraw-Hill Dictionary of Science and Engineering. Editor in chief: Parker S.P., New York.
- [28] Pulkkinen, A. 2007, "Product configuration in projecting company: The meeting of configurable product families and sales-delivery process", Väitöskirja, Julkaisu 712, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 184 p.
- [29] Steward, D.V. 1981, "The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems", IEEE Transactions on Engineering Management, vol. EM-28, Elokuu 1981, s. 71-74.
- [30] Soininen, T. 2000, "An Approach to Knowledge Representation and Reasoning for Product Configuration Tasks", Väitöskirja, Helsingin Teknillinen Yliopisto.
- [31] Tiihonen, J., Lehtonen, T., Soininen, T., Pulkkinen, A., Sulonen, R., Riihihuhta, A., "Modelling Configurable Product Families", Technische Universität München, 1999.
- [32] Ulrich, K. 1995, "The role of product architecture in the manufacturing firm", Research Policy 24, s. 419–440.
- [33] Webster 1989, Webster's Encyclopedic Unabridged Dictionary of the English Language. Gramercy Books. New York, New Jersey.
- [34] Yu, B. 1996, "A virtual configuration workbench for product development. Ph.D. thesis. University of Strathclyde. Glasgow, Scotland.