



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JARKKO LEKKALA

TYÖKONEEN RAKENTEEN MODULAARISEN ARKKITEHTUURIN JA TILAVARAUSTEN SUUNNITTELU

Diplomityö

Tarkastaja: Yliopistonlehtori
Timo Lehtonen

Tarkastaja ja aihe hyväksytty
28. marraskuuta 2018

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

LEKKALA, JARKKO: Työkoneen rakenteen modulaarisen arkkitehtuurin ja tilavarausten suunnittelu

Diplomityö, 70 sivua

Marraskuu 2018

Pääaine: Koneensuunnittelu – ja tuotekehitys

Tarkastaja: Yliopistonlehtori Timo Lehtonen

Avainsanat: Modulointi, tilavaraus, arkkitehtuuri, geneerinen elementti, rajapinta

Suomalaisen työkonevalmistajan kaksi eri tuoteperhettä on vuosien saatossa kehittynyt eri suuntiin johtuen tuotteiden hieman erilaista tavoista käsitellä ja liikuttaa siirrettäviä kohteita niiden toimintaympäristössä. Tämä erisuuntainen kehitys on aiheuttanut paljon eroavaisuuksia tuotteisiin rakenne-, toimilaitte-, ja komponenttitasolla, vaikka perustoimintaperiaate molemmissa tuotteissa on alun perin ollut suurin piirtein samanlainen. Nykyisten projektikohtaisten tuotteiden kokonaisuuksien toteuttamisessa, varsinkin toimilaitetason osalta, joudutaan tekemään paljon työtä suunnittelussa ja valmistuksessa räätälöitäessä ne kunkin asiakkaan tarpeisiin ja toimintaan.

Suurin osa työkoneen toimilaitteista sijaitsee sen toimilaitetasolla. On havaittu selvä tarve sellaiselle toimilaitetasolle, joka sopisi kaikkiin työkoneilleihin toimilaittevarustelun muuttuessa työkone-mallista ja toimintavaatimuksista riippuen. Tässä diplomityössä haetaan konseptitasolla ratkaisua siihen, miten toimilaitetason toimilaitte-arkkitehtuuri voidaan toteuttaa tukemaan modulaarista arkkitehtuuria samalla huomioiden moduulien vaatimat tilavaraukset. Modulaarisen arkkitehtuurin toteutuksen lopputuloksena tuoteperheitä voidaan moduloinnin kautta tuoda lähemmäksi toisiaan sekä vähentää muuttuvien tekijöiden määrä suunnittelussa ja valmistuksessa vakioinnin ansiosta.

Työssä selvitettiin liiketoimintaympäristöstä tulevien vaatimusten perusteella toimilaitetason tuoterakenteen osituslogiikkaa, joka pystyisi vastaamaan näihin vaatimuksiin samalla tavoitellen maksimaalista arvontuottoa. Tuoterakenteen selvityksen kautta luotiin geneeristen elementtien muodostama moduulijako, jonka sisältämien moduulien ja moduuliryhmien rajapinnat ja tilavaraukset työkoneen toimilaitetasolla varmistettiin toteutettavissa oleviksi tietokoneavusteista suunnittelua hyväksikäyttäen. Lopuksi suunnittelussa toteutettujen ratkaisujen vaikutuksia arvioitiin liiketoiminnan näkökulmasta.

Työn tuloksena saatiin tietoa toimilaitetason moduulien osituslogiikasta, havainnoista liittyen rajapintojen toteutukseen ja arkkitehtuurista oletetussa ympäristössä, minkä määrittää pitkälti toimilaitetason teräsrakenteen malli. Myös toimilaitetason teräsrakenteesta saatiin työssä paljon arvokasta tietoa.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master`s Degree Programme in Mechanical Engineering

LEKKALA, JARKKO: Designing of the modular architecture and space reservations for the structure of a mechanical machine

Master of Science Thesis, 70 pages

November 2018

Major: Machine Design and R&D

Examiner: University lecturer Timo Lehtonen

Keywords: modulation, space reservation, architecture, generic element, interface

Two product families of a Finnish machine manufacturer have developed in different directions over the years. This is because the products of two families are handling and moving objects in their operating environment in a slightly different way. This diversification has caused a lot of differences on product structures, operating devices and components although the basic operating function has been initially quite similar in both product families. When implementing current project-specific products and especially the operating device platforms, a lot of work has to be done in design and production phases when the products are tailored for the different customer requirements and operations.

The main part of the operating devices of the machine is located on the operating device platform. There is a clear need noticed for a such operating device platform which could be used in both product families regardless of what kind of machine model or operating functions are selected at the configuration phase. In this Master of Sciences thesis I try to find a solution on a conceptual level how the operating device platform architecture can be implemented to support a modular architecture and at the same time taken into account the needed space reservations for the modules. If the modular architecture can be implemented successfully, the product families can be brought towards to each other and reduce the number of variables in designing and manufacturing thanks to standardization.

In this MSc thesis, the requirements for the operating device platform product structure were investigated when the requirements came from the business environment. This information helped considerably when a new partitioning logic for the new product structure was produced. After that, a generic element model was produced which contains certain defined modules in their specific groups. The interfaces and space reservations of the modules and module groups were confirmed also by using computer aided designing tools. Finally, the impact of solutions obtained from the design was evaluated from the business viewpoint.

As a result of the work, information concerning operating device module partitioning logic, interface implementing methods and architecture in a specific environment was obtained. Also valuable information regarding the steel structure of the operating device platform was created.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty suomalaiselle työkonevalmistajalle syksyllä 2018 ja sen on rahoittanut Tampereen teknillisen yliopiston tukisäätiö.

Olen kiitollinen diplomityön aiheen tarjonneelle yritykselle mahdollisuudesta opinnäyte-työn tekemiseen mielenkiintoisesta ja haastavasta aiheesta. Haluan kiittää myös työni ohjaajia yrityksessä sekä suunnittelijoita, jotka auttoivat asiantuntevalla otteella työn eri vaiheissa. Oli ilo seurata laadukkaan suunnittelun toteutusta ja kuulla erilaisia näkökulmia kokeneemmilta suunnittelijoilta vaikeissa ongelmanratkaisutilanteissa.

Työssä valvojana Tampereen teknillisen yliopiston puolesta toimi yliopistonlehtori Timo Lehtonen, jota haluan kiittää työni valvonnasta ja ohjauksesta. Hän antoi paljon hyviä näkökulmia ja uskoa tekemiseen suunnittelun edetessä.

Tampereella, 21.11.2018

Jarkko Lekkala

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	8
1.1	Tutkimuksen taustaa	8
1.2	Tutkimusongelma ja rajaukset.....	8
1.3	Työn tavoitteet.....	9
1.4	Työn rakenne.....	10
2.	TEOREETTINEN VIITEKEHYS	11
2.1	Moduulin määrittely	11
2.2	Modulointi.....	13
2.3	Moduulijärjestelmä ja sen suunnitteluelementit.....	15
2.4	Modulaarisuus ja modulaarinen arkkitehtuuri.....	17
3.	BROWNFIELD PROSESSI.....	20
3.1	Brownfield-prosessi konfiguroituvan modulaarisen tuoteperheen suunnitteluun	20
3.2	Brownfield-prosessin kymmenen eri vaihetta.....	22
3.2.1	Vaihe 1: Liiketoimintaympäristön liittäminen ohjaavaksi tekijäksi 22	
3.2.2	Vaihe 2: Tuotteen geneeriset elementit moduulijärjestelmässä	24
3.2.3	Vaihe 3: Arkkitehtuuri: Geneeriset elementit ja rajapinnat.....	25
3.2.4	Vaihe 4: Asiakasympäristön luomat tarpeet tuoteperheelle	28
3.2.5	Vaihe 5: Tuoteperheen alustava kuvaus.....	29
3.2.6	Vaihe 6: Konfigurointitieto: Geneeriset elementit ja asiakastarpeet 31	
3.2.7	Vaihe 7: Modulaarinen arkkitehtuuri: moduulit ja rajapinnat	32
3.2.8	Vaihe 8: Konfigurointitieto: moduulivariantit ja asiakastarpeet ...	35
3.2.9	Vaihe 9: Tuoteperheen dokumentointi.....	36
3.2.10	Vaihe 10: Liiketoiminnallinen vaikutus.....	37
4.	TILAVARAUS-AJATTELU	40
4.1	Tilavaraus.....	40
4.1.1	Muutoksen pysäytysvyöhykkeet.....	41
4.2	MAN-tutkimus	41
4.2.1	Tutkimuksen taustaa	41
4.2.2	MAN-yhtiö	42
4.2.3	Ongelman kuvaus.....	43
4.2.4	Laajan modulaarisen kokonaisuuden hallinta.....	44
4.2.5	Arkkitehtuuriin liittyvä vakiointi.....	45
5.	MODULAARISEN ARKKITEHTUURIN JA TILAVARAUSTEN SUUNNITTELU TYÖKONEEN TOIMILAITETASOLLE.....	52
5.1	CSL-workshop.....	52
5.2	Asiakasvaatimukset ja omasta toiminnasta tulevat vaatimukset.....	55
5.3	Tuoterakennejako generisiin elementteihin (toimilaitetaso).....	56

5.3.1	Geneeristen elementtien väliset rajapinnat.....	57
5.4	Työkoneen toimilaitetason arkkitehtuuri ja tilavaraukset.....	59
5.4.1	Pohjapiirrossuunnittelu	59
5.4.2	Moduulien tilavaraukset ja rajapinnat.....	60
5.4.3	Toimilaitetason apurungon mekaaniset rajapinnat ja tilavaraukset.....	62
5.4.4	Voimantuotto- ja apulaitealueen rajapinnat ja tilavaraukset apurungon päällä	63
5.4.5	Muutoksen pysäytysvyöhykkeet apurungolla sijaitsevien toimilaitteiden tilavarausten välillä	64
5.4.6	Johtojen, letkujen ja putkien tilavaraukset	65
6.	TULOKSET.....	66
7.	YHTEENVETO.....	68
	LÄHTEET.....	69

MÄÄRITELMÄT JA LYHENTEET

Arkkitehtuuri	Ilmentää moduulikokonaisuuksien fyysistä sijoittelua ja luo tuoteyksilön kokonais- tai osarakenteen.
BOM	The bill of material. Osa- ja materiaaliluettelo.
Brownfield-prosessi	Olemassa olevan tuoteperheen modulointiin tähtäävä prosessi.
CPM-matriisi	Change Prediction Method. CPM-matriisin avulla voidaan kuvata kolmella eri tavalla uuden innovaation eri komponenteista koostuvaa kokonaisuutta ja niiden suhteita asiakasvaatimuksiin.
CSL	Company Strategic Landscape. Liiketoimintaympäristöstä tulevia vaatimuksia tuoterakenteelle kuvaava kartta.
DSM	Design Structure Matrix. DSM:n avulla generisten elementtien välisiä suhteita on mahdollista tarkastella ja selventää.
Geneerinen elementti	Yleensä useammasta eri moduulista muodostuva looginen suunnittelukokonaisuus.
Gripen	Lähestymistapa, jonka avulla voidaan selventää asiakasvaatimuksia.
K-matriisi	K-matriisissa kuvataan teknisten elementtien ja asiakasnäkökulman välisiä suhteita.
Konfigurointitieto	Määrittää ne valmiiksi suunnitellut moduulit, jotka valitaan mukaan moduulijärjestelmään.
Moduuli	Fyysinen elementti tai tuotteen ns. rakenneosia, jolla on tietty toiminnallisuus ja tarkasti määritetyt rajapinnat.
Modulointi	Tuotteen jakoa tai ositus tarkoituksellisesti itsenäisiin sekä toiminnallisiin kokonaisuuksiin eli moduuleihin.
Modulaarisuus	Tuotteessa oleva ominaisuus, jonka avulla tuote on mahdollista toteuttaa toimivaksi kokonaisuudeksi valmiiksi suunniteltujen moduulien avulla.
Moduulijärjestelmä	Koneiden, rakenneryhmien ja yksittäisosien kokoelma, jonka jäsenet (moduulit) toimivat ratkaisuja edustavina rakennuspaloina.
Muutoksen pysäytysvyöhyke	Muutoksen pysäytysvyöhykkeen ansiosta tietyssä alueessa tapahtuvaa muutosta ei päästetä leviämään muualle rakenteeseen.
Osituslogiikka	Se ratkaisuperiaate, johon moduulien jakaminen perustuu.

PFMP	Product Family Master Plan. PFMP:ssä liitetään yhteen tieto kolmesta eri konseptista, jotka ovat tieto vaihtelevista asiakastarpeista vallitsevilla markkinoilla, suunnittelutieto sekä tuotetieto.
Rajapinta	Ennalta määritetty mekaaninen, sähköinen tai hydraulinen kokonaisuus, jonka avulla moduuli liittyy osaksi moduulijärjestelmää.
Tilavaraus	Moduloinnissa etukäteen tunnistettuja, erilaisten moduulien vaatimia tiloja ja alueita, joita moduulit vaativat ympärilleen toimiessaan ja myös niiden asennuksen aikana
V-matriisi	V-matriisin avulla verrataan geneeristen elementtien sisältöä ja tyyppiä toisiinsa yhtäläisyyksien löytämiseksi.
PSPB	Product Structuring Blue Print. PSPB-kuvauksessa visualisoidaan tuoteperheen rakenteen sisältämiä ratkaisuja tunnistettuihin vaatimuksiin syy-seuraus -ketjun avulla.

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustaa

Suomalainen työkonevalmistaja suunnittelee erilaisia, eri kohteiden siirtämiseen tarkoitettuja sovellettuja ratkaisuja, joita toteutetaan eri tavoin riippuen siitä, millaisessa toimintaympäristössä laitteet toimivat. Yritys toimii laajalla markkina-alueella ja sen tuoteisto on erittäin laaja.

Yksi työkonevalmistajan tuotelinjoista sisältää kaksi eri tuoteperhettä, joita edustavat toisistaan hieman poikkeavat työkoneet. Toisen tuoteperheen pääasiallinen tehtävä on siirrellä ja käsitellä siirrettäviä kohteita vertikaalisessa suunnassa luoden pinta-alaa säästäviä kokonaisuuksia käsiteltävistä kohteista, mutta niiden monipuolisuuden ansiosta niillä voidaan myös kuljettaa käsiteltäviä kohteita horisontaalisessa suunnassa sekä lastata kohteita ajoneuvoihin. Perusrakenne koostuu neljästä pyörästä, yhdestä rungosta ja kahdesta puomista, joiden alla lepää suurimman osan toimilaitteista sisältävä toimilaitetaso. Käsiteltävien kohteiden siirtämiseen käytetään kiinnittyjää, jonka avulla kiinnitytään siirrettävään kohteeseen siirron ajaksi. Tämän työkoneen tuoteperheen tuotteet ovat työnkuvansa takia rakenteeltaan suhteellisen järeitä ja ne pystyvät nostamaan käsiteltäviä kohteita jopa kuusi päällekkäistä kohdetta sisältäväksi pinoiksi työkonemallin korkeudesta ja puomista riippuen.

Toisen tuoteperheen työkoneita puolestaan käytetään siirrettävien kohteiden horisontaalisessa suunnassa tapahtuvaan siirtämiseen, jonka takia niiden rakenne on kevyempi kuin kohteiden nostoon tarkoitetuissa työkoneissa. Näiden työkoneiden perusrakenne koostuu aikaisempaan esitetyn työkoneen rakenteesta poiketen kuudesta pyörästä ja matalammista puomeista, mutta muuten perusrakenne on samanlainen. Tämän tuoteperheen tuotteista on suurta hyötyä sellaisessa toimintaympäristössä, jossa käsiteltävien kohteiden siirtomatkat ovat pitkiä, jolloin työkoneisiin voidaan lastata siirrettäviä kohteita paljon kerralla.

1.2 Tutkimusongelma ja rajaukset

Teknologian nopea kehitys viime vuosikymmenien aikana on aiheuttanut kovaa kilpailua eri toimialoilla. Tämä näkyy vahvasti myös logistiikan alalla esimerkiksi juuri kyseessä olevien työkoneiden liiketoiminnassa, jolle ominaista on tuotteen projektiluonteinen toimintatapa. Jatkuvasti muuttuvassa ympäristössä täytyy pystyä vastaamaan asiakasvaatimuksiin ja asiakastilauksiin mahdollisimman kattavasti ja nopeasti tai muuten mahdollinen kauppa ja tästä seuraava taloudellinen tuotto menetetään kilpailijalle.

Näiden kahden tuoteperheen kehitys on vuosien saatossa kehittynyt eri suuntiin johtuen tuoteperheiden hieman erilaista tavoista käsitellä ja liikuttaa kohteita niiden toimintaym-

päristössä joko vertikaali- tai horisontaalisuunnassa. Tämä erisuuntainen kehitys on aiheuttanut paljon eroavaisuuksia tuotteisiin rakenne-, toimilaitte-, ja komponenttitasolla, vaikka peruskäyttöperiaate molemmissa tuotteissa on alun perin ollut lähes samanlainen. Nykyisten tuotteiden kokonaisuuksien suunnittelussa, sekä varsinkin niiden toimilaitetasojen suunnittelussa, joudutaan tekemään paljon työtä räätälöitäessä ne kunkin asiakkaan tarpeisiin ja toimintaan unohtamatta tuoteperheiden sisäisten mallivaihtoehtojen aiheuttamaa variointia rakenteissa ja toimilaitteissa. Tämä vie paljon aikaa, jonka takia nopea reagointi välillä erittäinkin lyhyisiin toimitusaikavaatimukseen on mahdotonta. Kahden hyvin samantapaisen, mutta silti erilaisen työkoneen tuotantoa joudutaan myyntiennusteisiin ja toteutuneisiin tilauksiin perustuen rytmittämään tilausohjautuvasti, jossa täytyy myös huomioida molempien työkoneiden ja niiden eri mallien eroavaisuudet. Joudutaan myös ylläpitämään paljon erilaisten rakenteiden ja komponenttien määriä sekä tuotannossa että työkoneiden rakenteissa. Nämä kaikki asiat yhdessä monimutkaistavat ja hidastavat toimintaa sekä kokonaisuudessaan aiheuttavat epäedullisen tilanteen taloudellisesta näkökulmasta ajateltuna.

Suurin osa työkoneen toimintaan vaadittavista toimilaitteista sijaitsee sen toimilaitetasolla. Työkoneiden rakenteita vertailemalla on havaittu, että suurimmat erot näiden kahden tuoteperheen toimilaitte- ja rakennetasolla, työkoneiden korkeuden ja pyörien lukumäärän muutoksen lisäksi, on löydettävissä toimilaitetaso toimilaittearkkitehtuurissa, toimilaitetaso teräsrakenteessa ja yksittäisissä toimilaittekomponenteissa. On havaittu selvä tarve sellaiselle toimilaitetaso kokonaisuudelle, joka sopisi molempien tuoteperheiden kaikkiin eri työkoneille. Toimilaitetasolla varustelu siis muuttuisi työkone-mallista ja toimintavaatimuksista riippuen. Tämä johtaa siihen, että ongelmaan haetaan ratkaisua toimilaitetaso toimilaittekokonaisuuksien moduloinnin ja tilavarauksajattelun kautta. Työkoneen toimilaitetaso kokonaisuuden modulointiin ja varsinkin tässä työssä toteutettavan toimilaitetaso toimilaitteiden modulointiin vaikuttaa suuresti toimilaitetaso teräsrakenne, jonka modulointiin ei tässä työssä oteta kantaa, mutta sen mahdolliseen rakenteelliseen toteutukseen otetaan kuitenkin kantaa työn eri vaiheissa.

1.3 Työn tavoitteet

Tässä diplomityössä haetaan konseptitasolla ratkaisua siihen, miten eri tuoteperheiden työkone-mallien toimilaitetasoilla tapahtuva nykyinen toimilaittearkkitehtuurin varioiminen asiakasvaatimuksista ja työkone-mallista riippuen voitaisiin sitoa tukemaan modulaarista arkkitehtuuria samalla huomioiden moduulien vaatimat tilavaraukset työkoneen toimilaitetasolla. Modulaarisen arkkitehtuurin toteutuksen lopputuloksena tuoteperheitä voidaan moduloinnin kautta tuoda lähemmäksi toisiaan toimilaitetaso osalta, mikä johtaisi muuttuvien tekijöiden määrän vähenemiseen suunnittelussa ja valmistuksessa erityisesti vakioinnin ansiosta. Kaikissa työkone-malleissa toteutettava samanlainen toimilaitte-taso toimilaittearkkitehtuuri veisi siis lähemmäs yksinkertaisempaa, helpompaa ja taloudellisempaa tuotehallintaa. Lisäksi sen avulla voitaisiin vähentää erilaisten rakenteiden ja

komponenttien lukumäärää. Toimilaitetason modulaarisella toimilaitetekonaisuudella tilavarauksineen olisi myös suuret taloudelliset vaikutukset työkoneiden valmistusprosessiin yksinkertaistaen sitä, mahdollistaen helpomman kapasiteettisuunnitelman tekemisen ennustuksineen, parantaen tuotannon laatua ja nopeuttaen sitä. Myös toimitusprosessiin liittyvät toimenpiteet kuten testaus, käyttöönotto ja koulutus vakiintuisivat samantapaisemmiksi ja niiden rakenne voisi myös muuttua modulaarisemmaksi.

1.4 Työn rakenne

Tämän työn alussa kerrotaan ensiksi teoreettisen viitekehyksen kautta kirjallisuudesta löytyvät määritelmät moduulille, moduloinnille sekä moduulijärjestelmälle suunnittelelementteineen. Myös modulaaristen järjestelmien eri rakennevaihtoehtoja esitellään sekä tarkastellaan, miten modulaarisuus voidaan nähdä tuotteessa usein eräänlaisena etua tuovana ominaisuutena, jonka laajuus tuotteessa riippuu paljon toimintaympäristöstä sekä itse tuotteen ominaisuuksista. Moduloinnin vaikutuksia toimintaan ja tuotteeseen tarkastellaan erityisesti valmistajan, mutta myös asiakkaan näkökulmasta.

Seuraavaksi työssä käydään läpi jo olemassa olevan tuoteperheen modulointiin tähtäävä Brownfield-prosessi. Se koostuu yhteensä kymmenestä erilaisesta askeleesta, joissa jokaisessa vaiheessa selvitetään modulointipäätöksiin liittyvää suunnittelutietoa, jota jalostetaan systemaattisesti eteenpäin, jotta saavutetaan paras mahdollinen modulaarinen lopputulos edellisen vaiheen aina luodessa perustan seuraavalle vaiheelle. Tämän jälkeen tarkastellaan tilavarausajattelun toteutusta ja otetaan esimerkiksi saksalaisen hyötyajoneuvoja valmistava MAN-yhtiö. MAN-yhtiössä suuren modulaarisen kokonaisuuden hallintaa toteutetaan tuotteen hajottamisella generisiksi komponenteiksi samalla tilavarausajattelua hyödyntäen.

Lopuksi käydään läpi työn kohteena olevan työkoneen modulaariseen arkkitehtuuriin tähtäävä suunnitteluprosessi hyödyntäen teoriaosuudessa esiteltyjä menetelmiä. Samalla myös perustellaan suunnittelun aikana tehtyjä suunnittelupäätöksiä kokonaisuuteen liittyen.

2. TEOREETTINEN VIITEKEHYS

Tässä kappaleessa tarkastellaan aiheen kirjallisuudesta löytyviä määritelmiä mm. moduulille, moduloinnille ja moduulijärjestelmälle sekä esitellään erilaisia olemassa olevia rakenneperiaatteita liittyen modulaarisiin järjestelmiin. Myös moduloinnin vaikutuksia tuotteen valmistajalle ja asiakkaalle käsitellään.

2.1 Moduulin määrittely

Moduulilla tarkoitetaan koneensuunnittelussa sellaista fyysistä elementtiä tai tuotteen ns. rakenneosaa, jolla on joku tietty toiminnallisuus sekä tarkasti määritetyt rajapinnat ja joka on kokonaisuutena strategisesti suunniteltu osaksi tuotteen kokonaistoimintoa. Koneensuunnittelussa käytettävään modulointiin tutustuttaessa voidaan huomata, että moduulille löytyy paljon erilaisia määritelmiä. Seuraavaksi esitetäänkin muutama toisistaan poikkeava määritelmä moduulille:

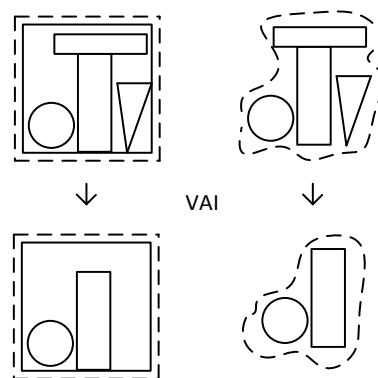
- ” *Moduuli määritellään kirjallisuudessa standardisoiduksi yksiköksi, joka on yhdistettävissä ja vaihdettavissa toisiin moduuleihin. Moduulien avulla tuote voidaan tilaus-toimitusprosessissa valmistaa ja toimittaa ilman tilauskohtaista räätälöintiä. Moduulien elinkaaret ovat mahdollisesti pitempiä, kuin itse tuotteen.* ” (Erixon 1998; Sarinko 1999)
- ” *Moduulit toimivat erilaisia ratkaisuja edustavina rakennuspaloina, joita yhdistelemällä voidaan toteuttaa erilaisia kokonaistoimintoja.* ” (Pahl & Beitz, 1986)
- ” *Moduuli on tuotekokonaisuus, jolla on toiminto tai jokin piste, jolla on erillinen toiminto ja tarvittava kokonaisuus. Samaan aikaan sillä on rajapinnat ja vuorovaikutukset muiden kokonaisuuksien kanssa, jotka voidaan nähdä tuoterakenteen rakennuspalikkana.* ” (Andersen 2011; Lahti 2016)

Jotta jotain tiettyä toimintoa suorittava rakennelman osa voidaan määritellä moduuliksi, tulisi siitä Borowskin (1961) mukaan pystyä tunnistamaan ja löytämään kolme erilaista ominaisuutta, jotka liittyvät suurilta osin moduulin fyysisiin ominaisuuksiin (Borowski 1961; Lehtonen 2007; Lahti 2016):

- **Moduulista on löydyttävä sellainen rajapinta, joka pysyy vakiona.** Ilman tämänlaista vakiona pysyvää rajapintaa arkkitehtuurissa moduuleja ei olisi mahdollista vaihtaa keskenään ja tätä kautta tuottaa erilaisia tuotevariaatioita olemassa olevalla määrällä moduuleita. Vakiorajapintaa määriteltäessä on otettava huomioon moduulin mekaaninen rajapinta, mutta myös sähköinen ja hydraulinen rajapinta, joiden käsitteleminen on usein mekaanista rajapintaa haastavampaa.
 - Rajapinnan määrittää suurelta osin seuraavat tekijät:
 - Miten moduulit kiinnittyvät?

- Miten mekaaninen voima välittyy?
- Miten pneumatiikka ja hydraulikka välittyy?
- Mikä tila moduulille on varattu?
- Mikä tila pitää jättää tyhjäksi?

Rajapintojen lukumäärä täytyy rakenteessa pitää mahdollisimman pienenä, että niitä voidaan vielä hallita ja ylläpitää tehokkaasti. Rajapinnan muodolla on merkitystä, erityisesti mekaanisessa rajapinnassa. Kuvassa 1 havainnollistetaan rajapinnan toimintaa, silloin kun se suunnitellaan helposti hallittavaksi rajapinnaksi (kuvassa katkoviivalla). Vasemmalla puolella kuvassa on määritetty vakiona pysyvä selkeä ei-monimutkainen rajapinta, joka pysyy muuttumattomana, vaikka kokonaisuuden sisällä tapahtuu muutoksia. Kokonaisuus voidaan hyvin vielä liittää toiseen kokonaisuuteen vakiona pysyneen rajapinnan ansiosta. Oikealla puolella kuvassa rajapinta on monimutkainen ja se kokee muutoksia kokonaisuuden sisällön muuttuessa. Tämä vaikeuttaa kokonaisuuden liitettävyyttä uudella muuttuneella rajapinnalla sille tarkoitettuun ympäristöön.



Kuva 1. Yksinkertaisempi rajapinta on helpompi hallita. (muokattu lähteestä Lehtonen & Juuti, MEI-46200-kurssin kalvot, 2018)

- **Moduuli on olemassa vain silloin, kun se toimii osana moduulijärjestelmää.** Tämä johtuu siitä, että jokaisella kokoonpanolla on oltava joku käyttötarkoitus moduulijärjestelmässä.
- **Useimmiten moduulijärjestelmään kuuluvien moduulien koon on oltava järkevässä suhteessa toisiinsa nähden, eivätkä moduulit saa koostua toisista moduuleista.** Moduulin koostuessa vielä omista erillisistä moduuleistaan, konfiguroinnin eli tuotevariantin koostaminen moduuleista menee monitasoiseksi ja monimutkaisemmaksi, verrattuna siihen, että tuote koostetaan samanarvoisista moduuleista yhdellä tasolla, jotka yhdessä toteuttavat tarvittavan kokonaistoiminnon.

2.2 Modulointi

Modulointi sanana viittaa tilanteeseen suunnitteluvaiheessa, jossa tuote jaetaan tarkoituksellisesti itsenäisiin sekä toiminnallisiin kokonaisuuksiin eli moduuleihin, jotka sisältävät tarkoin määritellyt ja muuttumattomana pidettävät rajapinnat mahdollistaen näin eri moduulien yhdistettävyyden ja vaihdettavuuden. Jaon pitää pystyä täyttämään yrityksen määrittelemät tuotestrategiset ehdot, jotka taas perustuvat yrityksen koko strategiaan. Modulointi mahdollistaa standardikomponenttien lukumäärän kasvamisen suuremmaksi ja tuotehallinnan läpinäkyvyyden paranemisen, koska tuotteen varioinnista aiheutuvat vaikutukset on mahdollista sitoa koskemaan vain tiettyä osaa tuotteesta, jolloin variointia voidaan kontrolloida hallitusti. Moduloinnin kautta myös tuoterakenne muuttuu modulaariseksi, mikä mahdollistaa moduulien suunnittelun ja vaihdettavuuden itsenäisesti tai rinnakkain erossa lopullisesta kokonaisuudesta. Tällöin moduulien väliset riippuvuudet on huomioitu ja minimoitu. (Österholm & Tuokko, 2001)

Modulointia toteutettaessa on erityisen tärkeään pystyä tunnistamaan eri asiakasryhmien tuotteille määrittelemät erityisvaatimukset, eli markkinoilla vallitsevat tarpeet tuotteelle ja näin ollen rajaamaan tuotteen variointi strategisesti tärkeisiin ominaisuuksiin huomioiden tämä moduulijaossa (Sarinko, 1999). Moduulijakoon vaikuttavat suuresti myös mm. markkinoinnin tarpeet, valmistettavan tuotteen perusominaisuudet, tuotteen kilpailukyky sekä tuotantomahdollisuudet ja tuotantokyky. (Toivonen, 1998)

Österholm & Tuokko tiivistävät, että moduloinnin pyrkimyksenä on tavoitella tuotteen fyysisen ja toiminnallisen rakenteen samankaltaisuutta. Moduulien väliset rajapintojen on pysyttävä kohtuullisena määrittäen sekä samalla mahdollisimman yksinkertaisina. Tällöin moduulien välillä tapahtuvat vuorovaikutukset voidaan saada mahdollisimman pieniksi (Österholm & Tuokko, 2001)

Moduloinnin avulla on mahdollisuus saavuttaa suurin hyöty tilanteessa silloin, kun yrityksen toiminnasta ja tuotteesta voidaan tunnistaa seuraavat asiat (Kaivos 85; Sarinko 1999; Hyörinen 2005):

- Tuotevalikoima on laaja ja monimuotoinen
- Nimike- ja komponenttimäärät ovat suuret ja ne eroavat paljon eri tuotteissa
- Tuotannon ja tuotekehityksen läpäisyajat ovat pitkät
- Reagointiaika äkillisiin tilauksiin koetaan liian pitkäksi
- On tarvetta suureen joustavuuteen
- Tuotteisto on asiakasohjautuva
- Tuotanto- ja tuotevarastojen kiertonopeus on hidasta ja varastoihin kerääntyy sitoutunutta pääomaa osittain turhaan
- Tuotteen volyyymi on riittävä
- Eri tuotteiden rakenteiden samankaltaisuus on riittävällä tasolla

- Tuotteen rakenneratkaisut eivät koostu sellaisesta tekniikasta, joka voidaan pian määritellä vanhentuneeksi
- Tuotteella katsotaan olevan vielä elinikää jäljellä.

Yrityksen toteutettaessa onnistunutta modulointia toimintastrategiaan ja asiakasvaatimuksiin perustuvan osituslogiikan kautta, se voi saavuttaa isoja etuja moduloinnin kautta, kuten Ericsson et al. esittävät tutkimuksessaan (Ericsson & Erixon, 1999):

- Tuotteen kokonaiskompleksisuutta saadaan pienennettyä huomattavasti
- Erilaisten nimike- ja komponenttien määrän sekä niiden aiheuttamien kustannusten väheneminen moduloinnin pyrkiessä tavoittelemaan lähellä toisiaan olevaa fyysistä ja toiminnallista rakennetta eri tuotteille
- Tuotetta on mahdollista käsitellä ja muokata pienemissä osissa vaikuttamatta kuitenkaan tuotteeseen laaja-alaisesti mahdollisen suunnitteluvirheen sattuessa
- Tuotteen hallittavuus sekä asiakkaiden vaatimusten hallittavuus paranevat
- Moduulien ja niihin liittyvän valmistuksen rinnakkainen suunnittelu
- Tuotekehityksen toiminnan nopeutuminen rinnakkaissuunnittelun luoman mahdollisuuden takia
- Laadun paraneminen samanlaisten moduulien valmistuksen kautta
- Tuotannon täsmällinen suunnittelu sidottuna kuitenkin paikkaansa pitäviin myyntiennusteisiin
- Moduulit on mahdollista testata ennen loppukokoonpanoa. Tällä on varsinkin joillakin toimialoilla suuri merkitys riippuen esimerkiksi loppukokoonpanoympäristöstä. Myös testauksen laatu paranee.
- Toimintaa voidaan esivalmistella jokaisessa eri toimitusketjun osassa.

Moduloinnista hyötyy myös yrityksen valmistamaa tuotetta ostava asiakas:

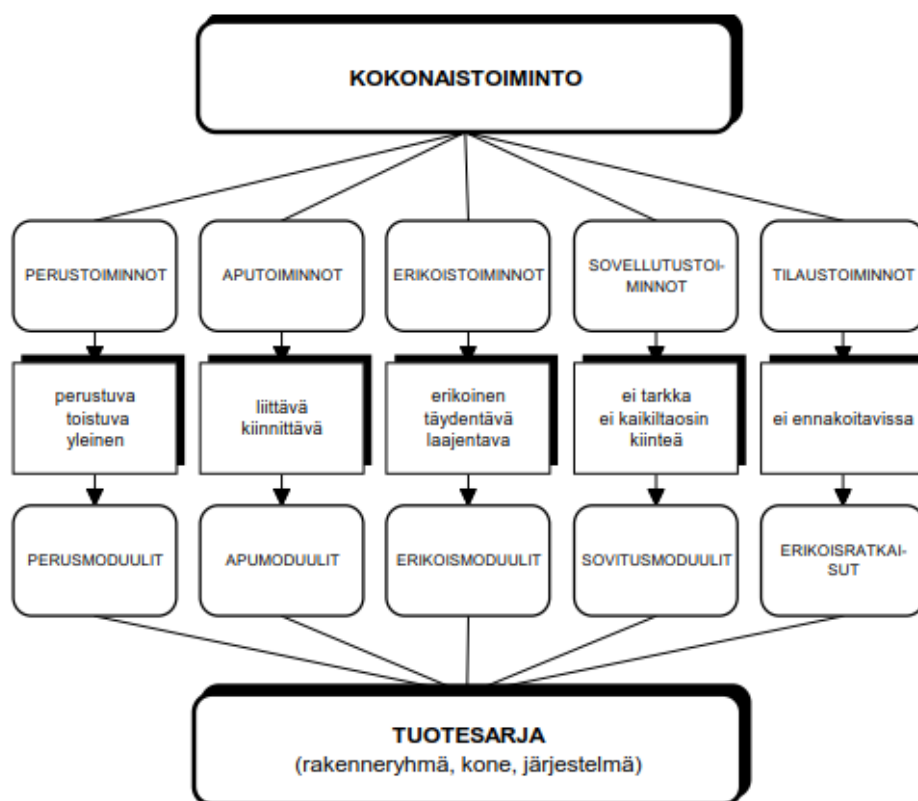
- Asiakkaan esittämään tilaukseen voidaan vasta erittäin nopeasti, mikä johtaa siihen, että asiakkaan oma liiketoiminta ei kärsi tai pahimmassa tapauksessa pysähdy kokonaan liian pitkän toimitusajan takia.
- Teknologian kehittyessä tuotetta on mahdollista päivittää, eli toteuttaa *Retro-fit* tuotteelle, joka tuo uusia tai päivitettyjä ominaisuuksia moduulien kautta vaikuttamatta tuotteen toimintaan sen koko laajuudessaan. Retro-fit-päivityksen ansiosta myös jotkut rakenteet tuotteessa voidaan uusiokäyttää, jos niissä nähdään vielä riittävää potentiaalia käytettäväksi, ja päivittää vain tarvittavat osat. Tämän ansiosta asiakas voi vanhan koneen päivittämisellä säästää huomasti verrattuna uuden koneen ostamiseen.
- Koneen yleisestä huollettavuudesta aiheutuvat komponenttien tai moduulien helpommat vaihto- sekä kunnostusmahdollisuudet
- Varaosapalvelun toimivuus ja tehokkuus.

2.3 Moduulijärjestelmä ja sen suunnitteluelementit

Moduulijärjestelmällä tarkoitetaan koneiden, rakenneryhmien ja yksittäisosien kokoelmaa, jonka jäsenet (moduulit) toimivat ratkaisuja edustavina rakennuspaloina. Erilaisista moduuleista, sisältäen määritellyt rajapinnat, voidaan sitten koota erilaisia moduulikokonaisuuksia tuotteen päätoimintofunktiosta (kokonaistoiminnosta) tai kulloisestakin tarpeesta riippuen eli toteutetaan moduulien avulla sellainen toiminto-muunnelma, joka pystyy toteuttamaan tuotteelta vaadittavan kokonaistoiminnon. (Pahl & Beitz, 1986)

Moduulijärjestelmä voi koostua toimintomoduleista tai valmistusmoduuleista. Toimintomodulit toteuttavat teknisiä toimintoja joko yksin tai yhdessä muiden moduulien kanssa, kun taas valmistusmoduulit määrittävät toteutuvasta toiminnosta riippumatta täysin valmistuksen näkökulmasta. (Pahl & Beitz 1990, 346-437)

Moduulijärjestelmässä ilmenevät toimintomodulit voidaan jakaa ja määritellä sellaisten moduulijärjestelmissä aina toistuvien toimintolajien mukaan, jotka yhdistettyinä osatoimintoina toteuttavat erilaisia kokonaistoimintoja (kokonaistoimintomuunnelmia), kuva 2. (Pahl & Beitz 1986, 437)



Kuva 2. Moduulijärjestelmän muodostavat eriarvoiset moduulit ja niiden toiminnot. (Sarinko, 1999)

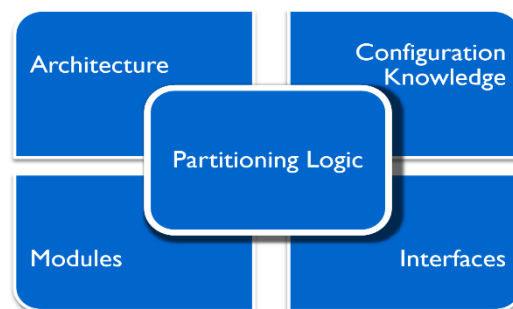
Pahl & Beitz määrittelevät, että moduulien lajit voidaan jakaa koostuvaksi perusmoduuleista tai apumoduuleista, jotka muodostavat yhdessä ns. pakkomodulit. Rakennelma voi

sisältää myös erikoismoduuleja ja sovitusmoduuleja, joita voidaan kuvata lisämoduuleiksi. Moduulin arvon rakenteessa määrittelee pitkälti se, että kumpaan ryhmään moduuli luokitellaan kuuluvaksi. Jos rakennelma sisältää epämoduulin, johtaa rakennelma väistämättä sekajärjestelmään. (Pahl & Beitz, 1990)

Kirjallisuudessa (Pahl & Beitz 1986; Toivonen 1998; Hyörinen 2005) esitetään, että moduulien avulla toteutettavat toiminnot voidaan moduulijärjestelmässä jakaa seuraavalla tavalla:

- **Perustoiminto**, joka luo kokonaisvaltaisen perustan järjestelmälle. Perustoiminto toistuu aina ja se pysyy muuttumattomana. Lopullinen kokonaistoiminto on mahdollista toteuttaa yksinään perustoiminnolla tai yhdessä muiden toimintojen kanssa. Perustoiminnon toteuttaa pakkomoduuilina tarvittava perusmoduuli.
- **Aputoiminnon** toteuttavat apumoduulit, jotka myös ovat pakkomoduuileja eli välttämättömiä. Apumoduulilla on monesti yhteys perusmoduulin ja sen toiminnot ovat sitovia ja liittäviä toimintoja.
- **Erikoistoiminnot** toteutetaan moduulijärjestelmässä erikoismoduuleilla, joiden avulla toteutetaan tukemaan perusmoduulia täydentäviä toimintoja ja osatoimintoja. Nämä toiminnot eivät yleensä toistu kaikissa tuotevarianteissa eli on olemassa sellaisia kokonaistoimintomuunnelmia, jotka eivät sisällä näitä toimintoja.
- **Sovitustoiminnot** mahdollistavat olemassa olevan moduulijärjestelmän sovittamisen muihin järjestelmiin sovitusmoduulien avulla.
- **Tehtävänomaiset toiminnot** aiheutuvat sellaista ratkaisusta, kun rakennelmaan joudutaan tilauskohtaisesti toteuttamaan sellaisia erityisratkaisuja, joiden toteutus joudutaan toteuttamaan moduulijärjestelmään kuulumattomilla epämoduuleilla. Epämoduulit pitää kehittää yksittäiskonstruktiona, mikä aiheuttaa kasvavaa monimutkaisuutta ja lisätyötä toimintaan. Tehtävänomaiset toiminnot johtavat epämoduulien kautta sekajärjestelmiin.

Kun moduulijärjestelmää lähdetään suunnittelemaan, on suunnittelun aikana käsiteltävä moduulijärjestelmäkokonaisuutta viidestä erilaisesta näkökulmasta, jotka ovat käytettävä moduulijoukko, moduulien arkkitehtuuri, rajapinnat, osituslogiikka sekä konfigurointitieto (kuva 3. Lehtonen & Juuti, MEI-46200 Tuotekehitys ja tuoteperheet 2018):



Kuva 3. Moduulijärjestelmän suunnittelulementit (Lehtonen & Juuti, MEI-46200, 2018)

- *Osituslogiikalla* eli tuotteen jakologiikalla tarkoitetaan sitä ratkaisuperiaatetta, joihin moduulien jakaminen perustuu. Ratkaisuperiaatetta selvitettyä tulee miettiä, että mitkä asiat täytyy ottaa huomioon, kun määritetään mitä eri moduuleihin kuuluu. Täytyy määrittellä erityisesti liiketoimintaympäristö ja asiakasymppäristö.
- *Moduulijoukkoa* määritettäessä täytyy koostaa sellainen minimimäärä tuoteyksilöiden ”rakennuspalikoita”, joka kuitenkin vielä mahdollistaa riittävän tuotevarianttien luomisen asiakkaille. Osittain konfiguroituvan tuoterakenteen kautta pystytään tarjoamaan kattavampi tuotemuuntelutarjonta asiakkaalle yksinkertaisemmin ja taloudellisemmin, kuin täysin kiinteän tuoterakenteen kautta.
- Moduulinen välillä on määritettävä *rajapinnat* ottaen huomioon kaikki mahdolliset tekijät (mekaaninen, sähköinen, hydraulinen). Tuoteperheen sisällä täytyy määrittää vakioidut rajapinnat, jotta voidaan luoda mahdollisuus moduulien vaihtokelpoisuudelle ja itsenäisyydelle.
- *Arkkitehtuurin*, joka ilmentää moduulikokonaisuuksien fyysistä sijoittelua luoden tuoteyksilön kokonais- tai osarakenteen, on varmistettava eri moduulinen vaatimat tilavaraukset ja otettava huomioon kaikki rajapinnat, toteutustavan, jäädytysvyöhykkeet sekä tuoterakenneperiaatteet.
- *Konfigurointitieto* määrittää ne valmiiksi suunnitellut moduulit, jotka valitaan mukaan moduulijärjestelmään toteuttamaan jotain tiettyä asiakkaan määrittämää kokonaistoimintoa. Tätä varten on selvittävä moduulivaihtoehtojen ja asiakkaiden määrittelemien muunteluvaatimusten yhteydet oikean tarjonnan ja myynnin tueksi.

2.4 Modulaarisuus ja modulaarinen arkkitehtuuri

Modulaarisuus voidaan käsittää siten, että tuote on mahdollista toteuttaa toimivaksi kokonaisuudeksi valmiiksi suunniteltujen moduulien avulla. Se voidaan nähdä tuotteessa tietynlaisena etua tuovana ominaisuutena tai valmiutena, joka tuotteella on olemassa ja jonka pyrkimys on tuoda fyysinen ja toiminnallinen rakenne tuotteessa samankaltaisemmaksi. Modulaarisuus ominaisuutena mahdollistaa sellaisen tuoterakenteen, joka voi varioitua. (Ulrich 1991; Lehtonen 2007)

Modulaarisella tuoterakenteella on kaksi ominaisuutta (Ulrich, 1991):

- Moduulit toteuttavat yhtä tai mahdollisesti useampaa toimintoa.
- Moduulien välillä tapahtuvat vuorovaikutukset on määritelty tarkasti ja ne ovat välttämättömiä tuotteen perustoiminnoille.

Modulaarisuuden määrää, laajuutta, ja toteutustapaa voidaan tarkastella, mutta ei kuitenkaan aivan tarkasti mitata. Kun tuote on täysin puhtaasti modulaarinen, jokainen moduuli toteuttaa vain yhden toiminnon ja kaikkien moduulijärjestelmässä olevien moduulien

vuorovaikutukset on tarkoin määritetty sekä ihanteellisimmassa tilanteessa myös mahdollisimman vähäiset. On kuitenkin harvinaista, että tuote olisi koskaan aivan täysin modulaarinen. (Ulrich & Eppinger, 1995)

Integroidulla tuotteella tarkoitetaan modulaarisen tuotteen vastakohtaa. Integroidussa tuotteessa yhdellä toiminnolla saattaa olla vaikutus erittäin moneen eri osaan tuotteessa. Tämänlaisessa tuotteessa toimintojen vuorovaikutuksia on hankalampi määritellä ja niitä on monesti myös paljon enemmän. Tämä johtaa usein siihen tilanteeseen, että integroitua tuotetta on aina käsiteltävä kokonaisuutena. Tuote ei myöskään koskaan ole aivan puhtaasti integroitu tuote. (Ulrich & Eppinger 1995; Hyörinen 2005)

Modulaariset järjestelmät voidaan luokitella viiteen erilaiseen tyyppiin moduulien ja niiden välisten rajapintojen mukaan (Taulukko 1. Tuokko & Österholm 2001, 13). Järjestelmien modulaarisuuden erilaisia tyyppisiä on esitetty kuvassa 4.

Taulukko 1. Modulaaristen järjestelmien viisi eri tyyppiä (Tuokko & Österholm 2001, 10).

Suljettu järjestelmä	Komponenttienvaihtomodulaarisuus	<i>Paikkamodulaarisuus</i>
	Komponenttienjakomodulaarisuus	
	Parametrinen modulaarisuus	
	Väylämodulaarisuus	<i>Väylämodulaarisuus</i>
Avoin järjestelmä	Lohkomodulaarisuus	<i>Lohkomodulaarisuus</i>

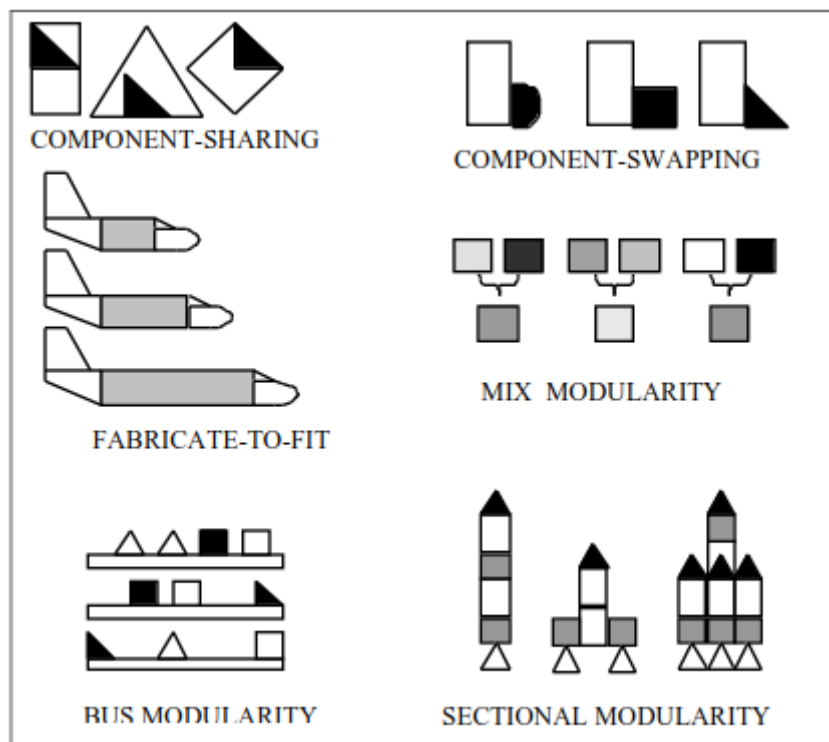
Suljetulla- ja avoimella järjestelmällä viitataan modulaarisuuden arkkitehtuuriin. Suljetussa järjestelmässä eri yhdistelmien lukumäärä on rajattu tietynlaiseksi eli tietyn yhdistelmän kokoonpano on täten määritettävissä, eikä uusia asiakastarpeita ole näkyvillä tuotteeseen. Suljettu järjestelmä koostuu seuraavista modulaarisuuden alalajeista (Lehtonen 2007; Kiuru 2010, 12):

- Komponenttienvaihtomodulaarisuus (Component-swapping modularity), jossa eri komponentteja, kuitenkin vähintään kaksi, voidaan yhdistää samaan perustuotteeseen.
- Komponenttienjakomodulaarisuus (Component-sharing modularity), missä voidaan käyttää samaa komponenttia useissa erilaisissa tuotteissa.
- Parametrinen modulaarisuus (Cut-to-fit modularity), eli moduulin muuttuvat parametrit voidaan määritellä halutunlaiseksi tilanteesta riippuen.
- Yhdistelmämodulaarisuus (Mix-modularity) koostuu komponenttienvaihto-, komponenttienjako- sekä parametrin modulaarisuuden yhdistelmästä.
- Väylämodulaarisuus (Bus modularity) mahdollistaa sen, että perusmoduuliin voidaan liittää erilaisia moduuleja standardirajapinnan ansioista erilaisissa asennossa.

Yllä olevat modulaarisuuden alalajit, lukuun ottamatta väylämodulaarisuutta, toteuttavat ns. paikkamodulaarisuutta, jossa käytettävät moduulityypit liittyvät standardirajapinnan avulla tarkasti määritettyyn asentoon tuotteessa.

Avoimessa järjestelmässä mahdollisten yhdistelmien lukumäärä ei ole rajattu, ja järjestelmään tullaan lisäämään uusia toimintoja moduulien avulla (Lehtonen 2007; Kiuru 2010):

- Lohkomodulaarisuus (Sectional modularity) sallii eri moduulien liittämisen ja koostamisen vapaa valintaisella tavalla standardoitujen rajapintojen avulla. Puhekielessä on myös käytetty termiä Lego-modulointi.



Kuva 4. Modulaarisuuden eri tyyppejä. (Walton, 1999)

On olemassa myös kaksi modulaarisuuden erikoistapausta, jotka ovat parametrinen modulaarisuuden ja komponenttienvaihtomodulaarisuuden lisämuunnelmia. Nämä ovat pinomodulaarisuus (Stack modularity) ja On-Off-modulaarisuus. Pinomodulaarisuudessa, joka liittyy parametriseen modulaarisuuteen, esimerkiksi parametrinen konfigurointi pituudelle toteutetaan tietyllä moduulien määrän kerrannaisella. On-Off-modulaarisuudessa moduulille on aina sille varattu paikka, myös tyhjä sellainen, riippumatta siitä otaanko moduulia konfigurointia muodostettaessa mukaan osaksi järjestelmää. (Lehtonen 2007; Kiuru 2010)

3. BROWNFIELD PROSESSI

Tässä osuudessa käydään läpi jo olemassa olevan tuoteperheen modulointiin tähtäävä *Brownfield-prosessi*. Brownfield-prosessi lähtee liikkeelle liiketoiminta- ja asiakasympäristön analysoinnilla, joista kerättyä tietoa käytetään suunnitteluperusteena osituslogiikalle luotaessa geneerisiä elementtejä. Tämän jälkeen tarkastellaan modulaarisen arkkitehtuurin suunnittelu- ja toteutustapoja Brownfield-prosessissa esiteltyjen menetelmien avulla. Lopuksi Brownfield-prosessi palaa takaisin tarkastelemaan aikaisempaa modulaarisemman tuoteperheen vaikutuksista liiketoimintaan.

3.1 Brownfield-prosessi konfiguroituvan modulaarisen tuoteperheen suunnitteluun

Yrityksen tuotetarjonnan ollessa laaja siihen kuuluvien tuotteiden ja niiden eri variaatioiden hallinta on yleensä vaikeaa, jolloin tuotehallintaan joudutaan kuluttamaan turhaan sellaisia resursseja, jotka voisivat olla hyödynnettävissä jossakin muualla. Apuna tilanteeseen voitaisiin harkita kokonaan yhteneväisemmän tuotelinjan suunnittelua, mutta tämä on yleensä toimintona erittäin iso, aikaa vievä ja kallis. Täysin uuden tuotelinjan suunnittelulla voidaan myös helposti niin sanotusti tarvella edellisen tuotelinjan tuotteiden tärkeitä ominaisuuksia, joita ei ehkä ole osattu tunnistaa niin merkittäviksi. (Lehtonen & Juuti, MEI-42600-kurssin kalvot, 2018)

Standardituotteet tuovat yksilöinä yksinkertaisuutta yrityksen tekemiseen tietyissä vaiheissa eri toimintoja, mutta poistaa samalla mahdollisuuden vastata eri asiakkaiden tarpeisiin kattavasti, eikä se missään nimessä ole suuressa osassa yrityksiä mahdollista. Standardituotteilla asiakkaisten tarpeisiin vastaamisen yrittäminen kasvattaa tuotehallinnan määrää, mikä ei loppua kohden ole järkevää ja kannattavaa tuotekirjon paisuessa eri tuotteiden suuresta määrästä johtuen.

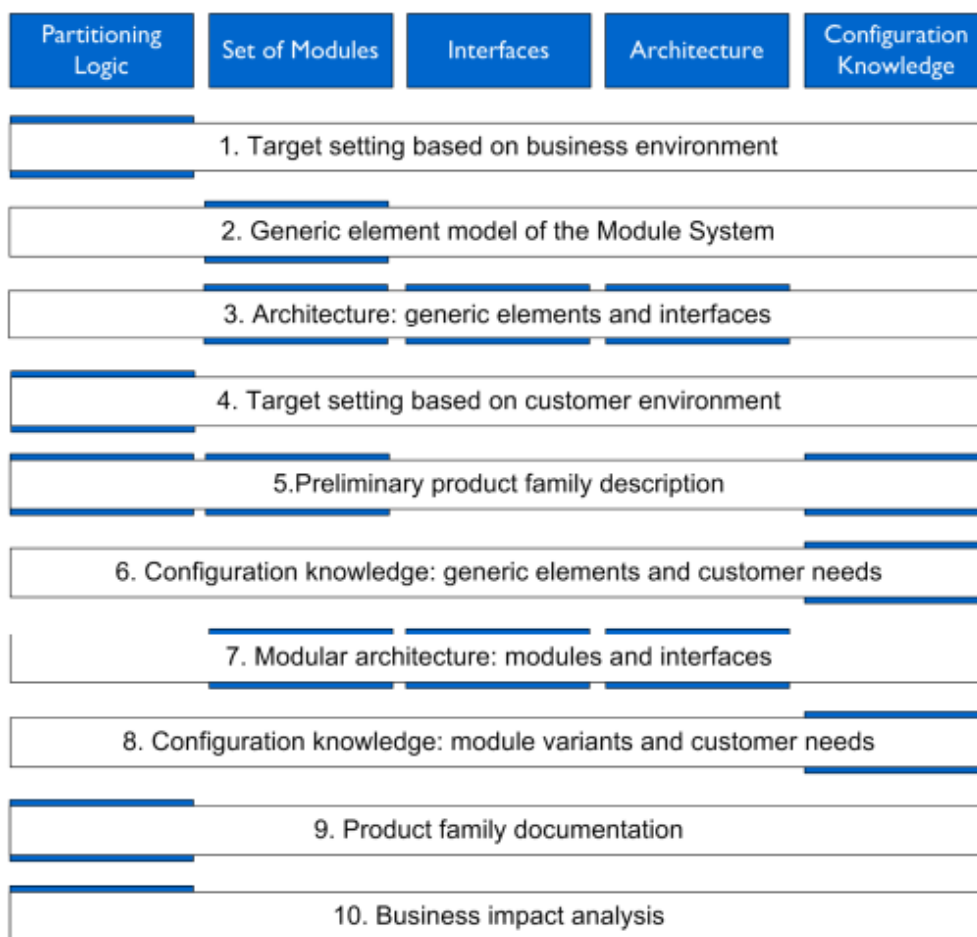
Joissakin tilanteissa yrityksen tuotteet voivat olla hyvin lähellä toisiaan, mutta ne ovat silti määritelty eri tuotteiksi. Nämä eri tuotteet muodostavat kokonaistoiminnot, jotka ovat myös hyvin lähellä toisiaan. Vaikka rakenteellinen ja toiminnallinen ero olisi aivan minimaalinen, voi tämä joissain tapauksissa näkyä esimerkiksi komponenttitasolla, tehden tuotteissa käytettävien komponenttien yhteislukumäärästä suuren ja epäkustannustehokkaan laajemmasta näkökulmasta katsottuna. (Lehtonen & Juuti, MEI-42600-kurssin kalvot, 2018)

Kun moduloinnista nähdään olevan selvää hyötyä yrityksen toiminnalle ja tuotteelle ja jo olemassa olevista eri tuotteista voidaan tunnistaa selvästi rakenteellista samankaltaisuutta, mutta tuotevalikoimaa ei voida tuoda lähemmäksi toisiaan systemaattisen suunnittelun avulla, voidaan apuna käyttää Brownfield-prosessia.

Jarkko Pakkanen on kehittänyt Brownfield-prosessin väitöskirjatyössään (Pakkanen, 2015). Pakkanen väitöskirjan Brownfield-prosessissa on käytetty hyväksi myös tutkimustietoa aikaisemmasta kirjallisuudesta, kuten (Lehtonen, 2007) sekä (Juuti, 2008).

Brownfield-prosessin päämäärä on pyrkiä luomaan liiketoimintalähtöisen tuotekehityksen avulla jo olemassa olevasta tuoteperheestä modulaarinen ja konfiguroitavissa oleva. Isona etuna Brownfield-prosessissa verrattuna muihin modulaarisen tuotekehitystä tavoitteleviin prosesseihin on se, että Brownfield prosessia voidaan toteuttaa olemassa olevaan tuotteistoon, eikä isoja ja mittavia kokonaan uuden tuotelinjan luovia menetelmiä tarvitse käyttää. (Lehtonen & Juuti, MEI-46200-kurssin kalvot, 2018)

Brownfield-prosessia voidaan käsitellä iteratiivisesti, eli edellisiin prosessin vaiheisiin on mahdollista palata. Myös sen muokkaaminen tilanteesta riippuen on mahdollista, jos esimerkiksi suunnitellun lopputuloksen vaikutukset liiketoimintaan olivat oletettua vähäisemmät. Peruslaajuudessaan se sisältää kymmenen erilaista pääaskelta, jotka on esitetty kuvassa 5. (Pakkanen, 2015)



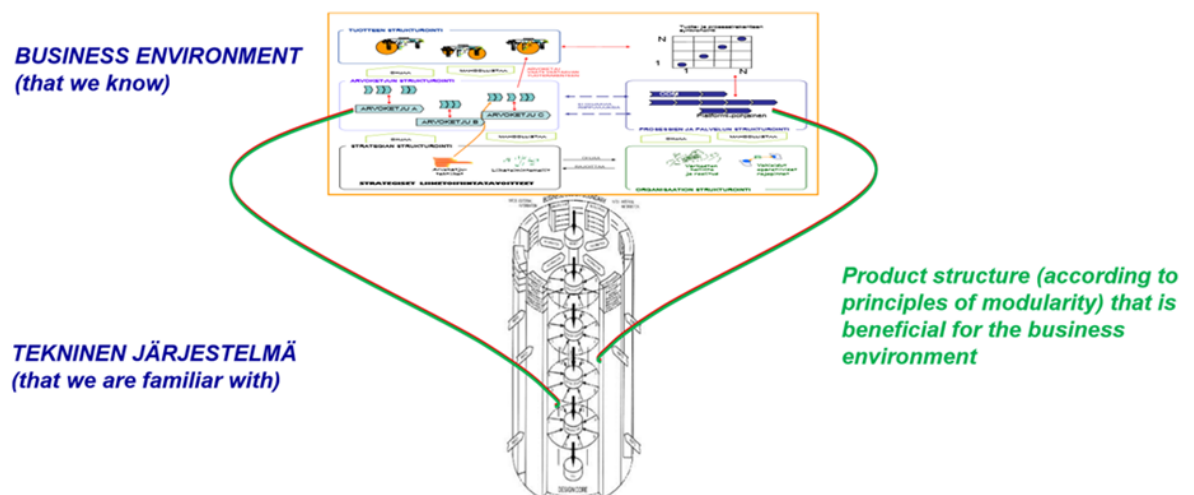
Kuva 5. Brownfield-prosessi, sen aikana tapahtuvat toiminnot ja yhteys niihin suunnittelulementteihin, joihin eri vaiheet prosessissa vaikuttavat. (Pakkanen, 2015)

Tässä työssä jo aikaisemmin määritellyt moduulijärjestelmän suunnittelulementit (s. 16), kuten osituslogiikka, moduulijoukko, rajapinnat, arkkitehtuuri ja konfigurointitieto ovat tarkasteltavana (ns. aktiivisia) eri vaiheissa Brownfield-prosessia ja ne voidaan tunnistaa kuvan 5 yläreunasta.

3.2 Brownfield-prosessin kymmenen eri vaihetta

3.2.1 Vaihe 1: Liiketoimintaympäristön liittäminen ohjaavaksi tekijäksi

Brownfield-prosessi alkaa yleensä tilanteesta, jossa pyritään kartoittamaan yrityksen liiketoimintaympäristöä, jossa sen hetkinen toiminta tapahtuu. Liiketoimintaympäristöstä yritetään tunnistaa yrityksen strategiarakenteesta, organisaatorakenteesta, arvoketjurakenteesta ja prosessirakenteesta tulevia tekijöitä, kuten kuva 6 esittää, joilla voisi olla merkittävää vaikutusta tuoterakenteen osituslogiikkaan ja tuotteen suunnitteluperiaatteisiin. (Lehtonen & Juuti, MEI-46200-kurssin kalvot, 2018)



Kuva 6. Liiketoimintaympäristön tarkka analysointi ohjaa teknistä tuotetta kohti parempaa arvon tuottoa. (Lehtonen & Juuti, MEI-46200-kurssin kalvot, 2018)

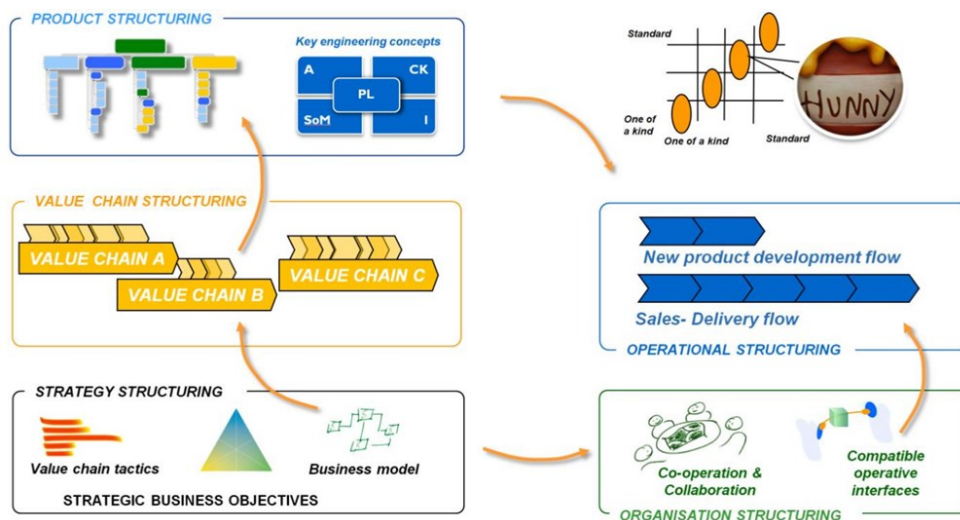
Avuksi tässä kartoituksessa käytetään työkaluna *CSL-workshopia* (Company Strategic Landscape-workshop), joka pyrkii antamaan ns. ylätasoa näkymän eri toimintojen välisistä yhteyksistä ja täten tuomaan informaatiota suunnittelun tueksi. Sen avulla on mahdollista tarkastella pieniä yksityiskohtia yhtä aikaa erikseen osana toiminnan suurta kuvaa. CSL-workshopissa laadittavaa liiketoimintaympäristön karttaa havainnollistetaan kuvassa 7. (Lehtonen & Juuti, MEI-46200-kurssin kalvot, 2018)

CSL-kartasta täytyy löytyä seuraavat lohkot, joiden sisään olemassa oleva informaatio koostetaan rakenne- ja arvoketjumuotoon (Lehtonen & Juuti, MEI-46200-kurssin kalvot, 2018):

- **Yrityksen arvoketjurakenne**, joka määrittelee arvoa tuottavat vaiheet, jotka tuovat lisäarvoa yrityksen toimintaan tai tuotteeseen
- **Yrityksen strategiarakenne**, jota yritys noudattaa ja jonka se näkee tärkeäksi käsillä olevan tilanteen kannalta sekä millä nähdään olevan vaikutusta tulevan tuoterakenteen muodostuksessa
- **Organisaatorakenne**, jossa täytyy huomioida yrityksen organisaation lisäksi mm. tärkeimmät sidosryhmät
- **Prosessirakenne**, josta selviää tuotteen eri elinkaarivaiheet kattavasti aina tuotteen myyntitapahtumasta hävitykseen
- **Tuoterakenne**, joka pidetään aluksi ns. mustana laatikkona ja joka hiljalleen kehitetty muista lohkoista tunnistettujen ominaisuuksien tai toimintojen takia.

CSL-workshop tilaisuudessa, jossa yhdessä yrityksen eri sidosryhmien kanssa pyritään tunnistamaan niitä tarpeita, joita tulevalle tuotteelle ja sen tuoterakenteella täytyy olla riippuen tunnistetusta liiketoimintaympäristöstä. Workshop-tilaisuudessa on hyvä olla ihmisiä eri puolilta yrityksen toimintoja, jotta mahdollisimman kattava ja tarkka kuva alustavasta tuoterakenteesta voidaan muodostaa. Sopiva lukumäärä tilaisuuteen osallistuvia henkilöitä on n. 5-10. CSL:n avulla ei saada empiiristä mittaustulosta vallitsevasta tilanteesta, vaan se on kuvaus yrityksessä toimivien ihmisten näkemyksistä, jota vahvistavat eri puolilta organisaatiota olevien ihmisten taustat. (Lehtonen & Juuti, MEI-46200-kurssin kalvot, 2018)

Kun eri lohkojen sisältämä informaatio (rakenne- tai arvoketjumuodossa) on jäsennelty oikeaksi olemassa olevan tahtotilan ja vallitsevien tosiasioiden perusteella, yhdistetään viivoin eri rakenteiden ja arvoketjujen toimintoja toisiinsa sekä tuoterakenteeseen, jolloin voidaan havaita olemassa olevat yhteydet ja riippuvuudet, jotka voivat merkittävästi vaikuttaa syntyvän tuoterakenteen muotoon.



Kuva 7. Company Strategic Landscape (CSL) – kartta (Lehtonen & Juuti, MEI-46200-kurssin kalvot, 2018)

3.2.2 Vaihe 2: Tuotteen geneeriset elementit moduulijärjestelmässä

Toisena vaiheena Brownfield-prosessissa selvitetään *geneerinen elementti*-malli, joka ohjaa alustavan moduulijaon toteuttamista. Geneerisellä elementillä on Pakkasen mukaan kaksi tunnistettavaa ominaisuutta (Pakkanen, 2015):

- Geneerinen elementti sisältää kaiken tarvittavan yhden muunteluvaatimuksen toteuttamiseen
- Geneerinen elementti on mahdollista toteuttaa teknisenä yksikkönä

Tuotteen geneerisillä elementeillä tarkoitetaan yleensä useammista eri moduuleista muodostuvia loogisia suunnittelukokonaisuuksia. Geneeristä elementtiä voidaan kuvailla siten, että jos esimerkiksi tietyn moduulin muuttuminen vaikuttaa jonkun toisen moduulin muuttumiseen tai jopa kokonaan sen olemassaoloon, olisi nämä molemmat moduulit hyvä sitoa kuuluvaksi yhteisen geneerisen elementin sisälle ja näin ollen mahdollistaa moduulien tai toiminnon muuttumisen vaikutukset pysymään hallitun alueen sisällä.

Geneerinen elementtijako perustuu jo olemassa olevaan tietoon siitä tuotelaajuudesta ja sen sisältävistä yksilöistä, jotka on otettu tarkasteltavaksi Brownfield-prosessiin sekä liiketoimintaympäristön kartoituksesta saatuun tietoon. Toteutettaessa geneeristä elementtimallia, Pakkasen (2015) mielestä täytyy ehdottomasti välttää samankaltaisuuksia eri geneeristen elementtien välillä, koska on olemassa riski, että tämä johtaa epätarpeelliseen tuoteperheen liialliseen variointiin. (Pakkanen 2015; Engbom 2016)

Geneerisen elementin ajatellaan usein tuottavaksi jonkin toiminnon tuotteessa, mutta sen ei välttämättä sitä tarvitse kokonaan tehdä ja se voidaan silti kuitenkin nähdä geneerisenä elementtinä. Tuotteen kokonaisrakenne ja eri tekijät, jotka sen muodostavat, vaihtelevat tuotteissa aina tapauskohtaisesti, joka määrittelee paljon sitä, minkälaisia itsenäisiä kokonaisuuksia geneerisistä elementeistä muodostetaan. Geneerinen elementti nähdään abstraktina elementtinä, joka voi toteuttaa toiminnon eri moduulien kautta, mutta se voi myös koostua alijärjestelmistä, kokoonpanoista tai jopa yksittäisistä osista. Tämä johtaa siihen, että myös käytetyllä teknologialla on tässä iso osuus. (Pakkanen 2015; Engbom 2016)

3.2.3 Vaihe 3: Arkkitehtuuri: Geneeriset elementit ja rajapinnat

Brownfield-prosessin kolmannessa vaiheessa luonnostellaan arkkitehtuuri, jossa geneeriset elementit ja niiden rajapinnat ovat tarkoin määritelty. Geneeristen elementtien arkkitehtuurissa tarkastelun kohteena on geneeristen elementtien fyysinen sijainti/sijoittuminen tuotteessa ja se on vaiheena tärkeä, koska arkkitehtuurin kautta saadaan alustavasti tietoa niistä rajapintojen sijainneista, joita täytyy pystyä ylläpitämään. Tämän takia geneeriset elementit, joilla on rajapintoja toistensa kanssa, täytyy myös pystyä tunnistamaan, koska ne ovat olennainen osa arkkitehtuuria. Brownfield-prosessissa on ilmeistä, että tavoitteena on suunnitella modulaarinen arkkitehtuuri, koska aikaisemmin on tehty jo perusoletus, että tuotevariointia on pystyttävä toteuttamaan. (Pakkanen, 2015)

Nykyaikana tuotteet kehittyvät kovaa vauhtia jatkuvan kilpailun takia ja markkinoille pitää pystyä tuomaan jatkuvalla tahdilla uusia ominaisuuksia. Nämä ominaisuudet tuotteessa vievät monesti myös fyysistä tilaa tuotteen rakenteessa (arkkitehtuurissa) ja tämä johtaa kysymykseen, että minkälainen arkkitehtuuri tuotteessa (esimerkiksi suljettu/avoin) palvelee parhaiten moduloinnin näkökulmasta.

Modulaarinen arkkitehtuuri voidaan jakaa tuotteissa avoimeen ja suljettuun arkkitehtuuriin, kuten modulaarisuutta käsittelevässä teoriaosuudessa tiivistetään (s.18). Arkkitehtuurin ollessa suljettu siihen ei voida enää tuoda uusia elementtejä, joka Pakkasen (2015) mukaan on eräänlainen negatiivinen ominaisuus, koska rakenteessa ei voida huomioida tulevaisuuden tarpeita. Kuitenkin hyvänä ominaisuutena on, että rajapintojen ja tilavarauksen määrä pysyy määritellyissä rajoissa ja hallittavuus on helpompaa. Pakkasen (2015) mielestä taas avoimessa arkkitehtuurissa hyvää on se, että tulevaisuuden tarpeet on mahdollista toteuttaa moduulijärjestelmässä, mutta silloin mahdollisille toteutuksille pitää olla jo määritetyt rajapinnat ja tilavaraukset, joita on huomioitava ja ylläpidettävä toiminnassa.

Myös se miten arkkitehtuuri rakennetaan, tai on mahdollista rakentaa, riippuu paljon geneeristen elementtien ja niiden rajapintojen lisäksi käytetystä teknologiasta ja valitusta rakennetavasta, jota kuva 8 esittää. Pakkanen (2015) tiivistää myös, että Brownfield-prosessi ei kata tulevaisuuden tarpeiden huomiointia arkkitehtuurissa, mutta tunnistetut rajapinnat tuotteissa täytyy määrittää.



Kuva 8. Käytettävissä olevalla teknologialla on myös vaikutusta arkkitehtuuriin generisten elementtien ja rajapintojen lisäksi. (Lehtonen & Juuti, MEI-46200-kurssin kalvot, 2018)

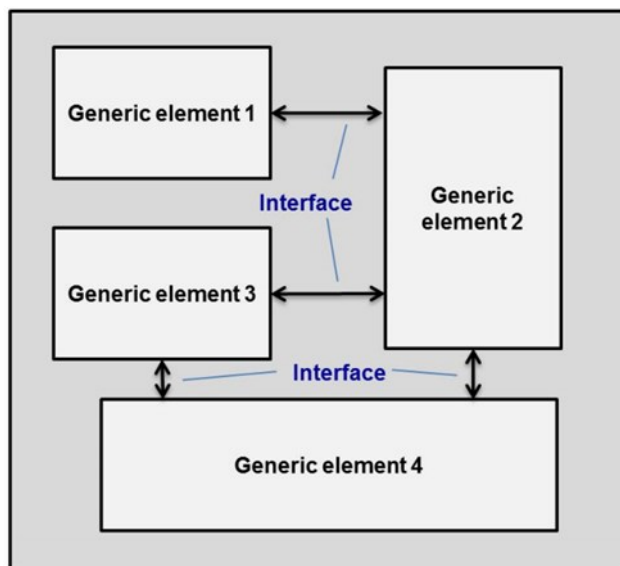
Pakkasen (2015) mukaan on muutamia mahdollisia lähestymistapoja, joita voitaisiin käyttää kuvattaessa alustavaa arkkitehtuuria, joka sisältää generiset elementit ja rajapinnat. Lähdettäessä toteuttamaan alustavaa generisten elementtien arkkitehtuuria, Pakkanen ehdottaa käytettäväksi työkalua nimeltä *Design Structure Matrix* (DSM) (Steward, 1981), joka on kuvattu kuvassa 9. Design Structure Matrixin avulla eri generisten elementtien välisiä suhteita on mahdollista tarkastella ja selventää.

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 9. Generisten elementtien välisiä suhteita kuvaava DSM-matriisi. (Pakkanen, 2015)

DSM-matriisissa geneeriset elementit listataan pysty- ja vaakasarakkeisiin, niin että molemmista sarakkeista löytyvät samat aikaisemmassa vaiheessa Brownfield-prosessia koostetut geneeriset elementit. Geneeristen elementtien välisiä suhteita voidaan nyt tarkastella ja analysoida matriisin avulla rajapintojen näkökulmista. Esimerkiksi DSM-matriisin geneerisellä elementillä numero 2 voi olla rajapinta geneeristen elementtien 1, 3, ja 4 kanssa. (Kuva 10.)

Arkkitehtuuria on hyvä tarkastella myös visuaalisesti. Pakkanen (2015) ehdottaa geneeristen elementtien arkkitehtuurin visuaalisessa tarkastelussa apuna yksinkertaisempaa lähestymistapaa, kuin tietokoneella toteuttava CAD-mallinnus elementeistä. Tämä johtuu siitä, että tarkasti mallinnettuja elementtejä, jotka kuvaavat tuoteperheen lopullista rakennetta ei tässä vaiheessa prosessia ole vielä saatavissa. Geneeriset elementit rajapintoinen voidaan piirtää esimerkiksi yksinkertaisella piirto-ohjelmalla tai jopa ihan käsin, koska sen hetkisenä tavoitteena on saada vain visuaalinen käsitys moduulijärjestelmässä olevien geneeristen elementtien sijainnista rajapintoinen. Kuvassa 10 näkyy esimerkki geneeristen elementtien arkkitehtuurista ja siellä vaikuttavista rajapinnoista. (Pakkanen 2015; Engbom 2016; Lahti 2017)



Kuva 10. Geneeristen elementtien arkkitehtuuri, johon kuuluvat myös tunnistetut rajapinnat (Fujimoto 2007 ; Pakkanen 2015)

3.2.4 Vaihe 4: Asiakasympäristön luomat tarpeet tuoteperheelle

Neljännessä vaiheessa Brownfield-prosessia selvitetään asiakasympäristöstä tulevia tarpeita, joita täytyy ottaa huomioon vietäessä jo olemassa olevia tuotteita kohti modulaarista tuoteperhettä. Asiakasympäristön tarkalla havainnoinnilla ja omaksumisella on erittäin tärkeä rooli joka kerta, kun uutta tuotetta suunnitellaan tai esimerkiksi kun vanhaa ns. ”päivitetään”, kuten Brownfield-prosessissa voitaisiin ajatella tehtävän. Erityisen tärkeä rooli sillä on silloin, kun yritys on viemässä toimintaansa erittäin asiakaskohtaisia toteutuksia sisältävistä projektitoimituksista suuntaan, jossa yrityksellä on tarjota asiakkailleen modulaarinen konfiguroitavissa oleva tuotetarjonta ennalta määritetyillä ratkaisuvaihtoehdoilla. Syy tähän Pakkanen (2015) mukaan on yksinkertainen, koska ne asiakastarpeet, jotka asiakaskentästä tuoteperheelle tulevat, määrittelevät ne lainalaisuudet tai pikemminkin säännöt, joiden mukaan tuotteen konfigurointi voidaan toteuttaa. Konfigurointisäännöt kertovat minkälainen tuote asiakkaalle täytyy toimittaa, joka ilmoittaa haluavansa tuotteeseensa kulloinkin tietyt ominaisuudet tai toiminnot. (Pakkanen 2015; Engbom 2016; Lahti 2017)

Brownfield-prosessiin on sisällytetty oletuksia perusvaatimuksista, joita tuotteen tulee täyttää. Perustarpeet ovat yrityksessä hyvin tunnettuja ja näihin tarpeisiin ja vaatimuksiin keskittyminen on monesti aika vähäistä prosessin aikana. (Pakkanen 2015; Lahti 2017)

Brownfield-prosessi suosittelee asiakastarpeiden analysointia, jotta varmistutaan siitä, että tuotteen vaatimukset ja tarpeet ovat jokaiseen tapaukseen sopivia ja oikeita, sekä että ne ovat ajan tasalla. Jos asiakasvaatimuksia ei ole analysoitu, konfiguroinnin kautta saatavia hyötyjä ei voida toteuttaa. Brownfield-prosessissa tämän asiakastarpeiden analysoinnin toteuttamiseen suositellaan ns. *Gripen-lähestymistapaa*, joka auttaa selventämään näitä asiakasvaatimuksia. Gripen lähestymistapaa on käytetty apuna esimerkiksi Scanian rekka-autojen neljännen sarjan tuoteperheen kehityksen aikana. (Pakkanen, 2015)

Gripenissä pääidea on tunnistaa yksinkertaisesti ne *pääasiakaskysymykset*, joiden perusteella voidaan selvittää, miten ja esimerkiksi minkälaisessa ympäristössä asiakas käyttää tuotetta. Yrityksen pitää pystyä ajattelemaan asiakkaan näkökulmasta ja tunnistamaan täten eri asiakkaiden tuotteen käyttöön liittyviä muuttuvia parametreja, jotka paljastavat tuotteen käyttötapoihin tai käyttömäärään liittyvää informaatiota. Näiden pääasiakaskysymysten kautta voidaan sitten luoda konfigurointitieto, jonka perusteella kootaan asiakkaan vaatimuksia vastaava yksilöllinen tuote. Oleellisinta tässä toimintamallissa on se, että pääasiakaskysymykset on tunnistettu yrityksen puolelta oikeiksi. Jos kysymykset ovat oikeita, ei niitä tarvitse olla edes paljon, että asiakkaalta saadaan tarpeeksi tietoa tuotteen pääosien koostamiseen. Gripen-lähestymistapaa on käsitelty erityisesti Lehtosen väitöskirjassa (Lehtonen 2007). (Pakkanen 2015; Engbom 2016)

Scania esimerkiksi kysyi asiakkailtaan uuden tuoteperheen tuotteiden konfiguroinnissa neljä kysymystä, jotka on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Scanian esittämät pääasiakaskysymykset asiakkaalle liittyen tuotteen konfigurointiin. (Lehtonen 2007, 117)

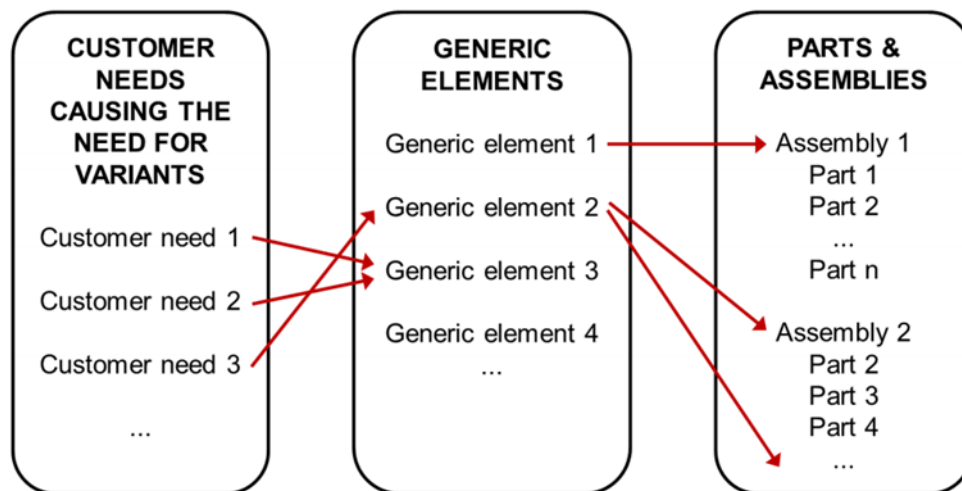
Näillä kysymyksillä ei tietenkään saada selville kaikkia asiakkaan puolelta tulevia vaatimuksia tuotteelle, mutta niillä saadaan koostettua jo päälinjat konfiguroinnille.

3.2.5 Vaihe 5: Tuoteperheen alustava kuvaus

Viidennessä vaiheessa Brownfield-prosessia tavoitteena on jatkaa niiden perusteluiden määrittelemistä, joiden perusteella lopullinen modulaarinen tuoteperhekuvaus toteutetaan. Samalla yritetään myös analysoida ja tunnistaa geneerisistä elementeistä sellaisia yksittäisiä osia tai laajempia kokoonpanoja, joita voisi olla mahdollista vakioida. Vakioinnilla tarkoitetaan niiden osien ja kokoonpanojen tunnistamista moduulijärjestelmäkokonaisuudesta, joihin ei kohdistu muuntelutarvetta. Tämän takia ne voidaan nähdä sellaisina osina tai kokoonpanoina rakennelmassa, jotka tarvitaan aina kokonaistoiminnon toteutuksessa sellaisenaan. (Pakkanen, 2015)

Pakkanen (2015) esittää Brownfield-prosessissa tähän vaiheeseen käytettäväksi toimintamallia, joka perustuu menetelmään nimeltä *PFMP* (Product Family Master Plan), jonka on esittänyt ensimmäisenä Harlou (2006). Harloun mukaan on tärkeää liittää yhteen tieto kolmesta eri konseptista, jotka ovat tieto vaihtelevista asiakastarpeista vallitsevilla markkinoilla, suunnittelutieto sekä tuotetieto. Näiden eri kokonaisuuksien sisältämän tiedon linkityksen ja yhdistämisen avulla voidaan tehdä alustava kuvaus tuoteperheestä. Brownfield-prosessissa tätä menetelmää on hieman muokattu prosessiin sopivammaksi

ja siinä tarkastellaan asiakastarpeiden, geneeristen elementtien sekä kokoonpanojen ja osien välisiä yhteyksiä, jota kuva 12 havainnollistaa. (Pakkanen, 2015)



Kuva 12. Brownfield-prosessia varten muokatussa PFMP-menetelmään perustuvassa mallissa listataan eri konseptien sisältämä tieto, tutkitaan niiden välisiä suhteita sekä yritetään löytää mahdollisuuksia standardisoinnille. (Pakkanen, 2015)

Asiakastarpeet, jotka aiheuttavat variointia tuotteeseen ja jotka tunnistettiin Brownfield-prosessin neljännessä vaiheessa, on listattu tässä Brownfield-prosessiin muokatussa PFMP:ssä vasemmalle. Geneeriset elementit, jotka tunnistettiin vaiheessa kaksi Brownfield-prosessia, on listattu keskelle. Ne on vielä erikseen avattu kokoonpano-, ja osatasolle, kuten kuvan 12 oikean puoleisesta laatikosta voidaan nähdä. Yhteyksiä näiden eri kokonaisuuksien välille aletaan selvittää kahdessa osassa, joista ensimmäisessä tutkitaan asiakastarpeiden ja geneeristen elementtien välisiä suhteita, ja joista toisessa osassa tutkitaan geneeristen elementtien ja niistä koostuvien kokoonpanojen ja yksittäisten osien suhteita. (Pakkanen 2015; Lahti 2017)

Asiakastarpeiden ja geneeristen elementtien välisiä suhteita tarkasteltaessa pitäisi jokaisesta tunnistetulle erilaiselle asiakastarpeelle löytää vähintään yksi geneerinen elementti. Jos jotain geneeristä elementtiä ei voida yhdistää mihinkään asiakastarpeeseen, voidaan kyseinen geneerinen elementti nähdä mahdollisena standardoitavana elementtinä, koska muuntelulle tunnistetusti ei ole tarvetta. Jos taas johonkin geneeriseen elementtiin voidaan kohdistaa useita eri asiakastarpeita, aiheuttaa se monimutkaisuutta tuotteen modulaarisuudessa ja tätä tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää. (Pakkanen 2015; Lahti 2017)

Geneeristen elementtien ja niistä koostuvien kokoonpanojen ja osien väliset yhteydet on myös selvitettävä. Kaikkien geneeristen elementtien sisältämät kokoonpanot ja osat on tämän vuoksi myös määriteltävä tarkoin. Jokaisella muuttuvalla osalla, kokoonpanolla tai moduulilla pitää olla selvä yhteys tiettyyn asiakastarpeeseen, joka luo perusteet varioinnin tarpeelle. Tämän tarkastelun kautta voidaan nähdä, pitääkö asiakasvaatimuksista johtuvien syiden takia jonkun geneerisen elementin sisältämien ratkaisuvaihtoehtojen, jotka

toteutetaan kokoonpanojen ja osien kautta, määrää lisätä tai vähentää. Lisäksi voidaan myös tunnistaa sellaisia kokoonpanoja tai osia, joihin ei kohdistu muuntelutarvetta ja jotka voidaan näin ollen standardoida. (Pakkanen, 2015)

Pakkasen (2015) mukaan ajuri muuntelutarpeelle on mahdollista tulla myös muista lähteistä, kuin vain asiakasvaatimuksista, kuten esimerkiksi yrityksen omien toimintojen kautta.

3.2.6 Vaihe 6: Konfigurointitieto: Geneeriset elementit ja asiakastarpeet

Seuraava vaihe Brownfield-prosessissa keskittyy alustavaan konfigurointitietoon ja sen tuottamiseen. Konfigurointitiedolla tässä vaiheessa tarkoitetaan niiden suhteiden selvittämistä, jotka vallitsevat asiakastarpeiden ja geneeristen elementtien välillä eli toisin sanoen selvennetään tarkasti mitkä geneeriset elementit vastaavat kutakin asiakastarvetta. Pakkanen (2016) mukaan konfigurointitiedon analysointiin ja selventämiseen on hyvät perustelut, koska sen avulla voidaan muodostaa oikea tarjonta sekä tuottaa arvokasta tietoa esimerkiksi myynnin tueksi. Selvennetystä konfigurointitietämyksestä on hyötyä myös silloin, kun ollaan toteuttamassa muokkauksia ja päivityksiä tai mahdollisesti kokonaan uusi tuoteperhe joskus tulevaisuudessa. (Pakkanen 2015; Engbom 2016)

Tämä vaihe Brownfield-prosessissa toimii alustavana toimintona Brownfield-prosessin vaiheelle 7, jossa moduulit suunnitellaan sekä prosessin vaiheelle 8, kun luodaan lopullinen konfigurointitieto. (Pakkanen 2015; Lahti 2017)

Avustavaksi työkaluksi tähän vaiheeseen Pakkanen (2015) suosittelee muokattua *K-matriisia*, jonka toimintaideaa on kuvassa 13 selvennetty. Alkuperäinen K-matriisi on osa *K- & V-matriisi* menetelmää, jonka kehittäjä on Bongulielmi (2003). Alkuperäinen Bongulielmin K-matriisi toimii myös konfigurointimatriisina, mutta siinä teknisten elementtien ja asiakasnäkökulman välistä suhdetta kuvataan hieman suppeammin, kuin mitä Brownfield-prosessi mahdollistaa. Suhteen kuvaus toteutetaan siinä informaatiolla, joka kuvailee suhdetta vain sillä tasolla, että joko se on olemassa tai sitten ei. Brownfield-prosessiin muokatussa K-matriisissa näitä suhteita voidaan kuvata monipuolisemmin, jopa neljällä eri tavalla, kuten:

- Asiakkaan tarpeet edellyttävät geneerisen elementin
- Asiakkaan tarpeet eivät liity geneeriseen elementtiin
- Asiakkaan tarpeet saattavat vaikuttaa geneeriseen elementtiin
- Asiakkaan tarpeet eivät vaikuta geneeriseen elementtiin.

Muokatussa K-matriisissa asiakastarpeiden ja generisen elementin välistä suhdetta kuvataan numerolla 1-3, riippuen tilanteesta, että mikä kolmesta ensimmäisestä aikaisemmin esitetyistä suhteista on kulloinkin voimassa. Jos matriisin solu jätetään tyhjäksi, tarkoittaa se silloin sitä, että asiakkaan tarpeet eivät vaikuta täten generiseen elementtiin. (Pakkanen, 2015)

Modified K-Matrix (configuration knowledge matrix)

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

GENERIC ELEMENTS	CONTENT AND TYPE OF GENERIC ELEMENTS	CUSTOMER NEEDS														
		Customer 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 13. Muokatussa K-matriisissa asiakastarpeiden ja generisten elementtien välillä vallitsevaa suhdetta voidaan kuvata neljälle eri tavalla. (Pakkanen, 2015)

3.2.7 Vaihe 7: Modulaarinen arkkitehtuuri: moduulit ja rajapinnat

Aikaisemmissa vaiheissa Brownfield-prosessia on modulaarisen rakenteen ohjaaviksi tekijöiksi haettu tietoa liiketoimintaympäristöstä sekä asiakasympäristöstä. Jo olemassa olevien tuotteiden rakennetta on myös tutkittu sekä alustavat hahmotelmat tuoteperheen rakenteesta on tehty. Tätä kaikkea hankittua tietoa tullaan seuraavassa vaiheessa konkretisoimaan. Brownfield- prosessin seitsemännessä askeleessa keskitytään modulaariseen arkkitehtuuriin, jossa määritetään moduulit ja niiden väliset rajapinnat sekä tarkennetaan modulaarisen tuoteperheen rakennetta.

Modulaarisen arkkitehtuurin suunnittelulla on tärkeä osuus modulaarisen kokonaisuuden kannalta, koska mahdollisuus konfigurointiin, joka tuo hyödyn toimintaan, toteutetaan moduulien kautta. Jotta moduulit olisi mahdollista määrittellä ja kuvata yksityiskohtaisella tasolla, generisten elementtien eri tyypit on oltava tämän perusteella selvennettyinä. Tämä selvitys voi paljastaa erilaisia olemassa olevia vaatimuksia ja rajoitteita tuoteperheen rakenteelle. Generiset elementit arkkitehtuurissa voivat olla tyyppiltään vakioituja, konfiguroitavia, osittain-konfiguroitavia tai vain kerran toteutettavia. Kerran toteutettavia elementtejä Pakkanen (2015) kuvailee synonyymeilla uniikki, toimituskohtainen tai projektikohtainen elementti.

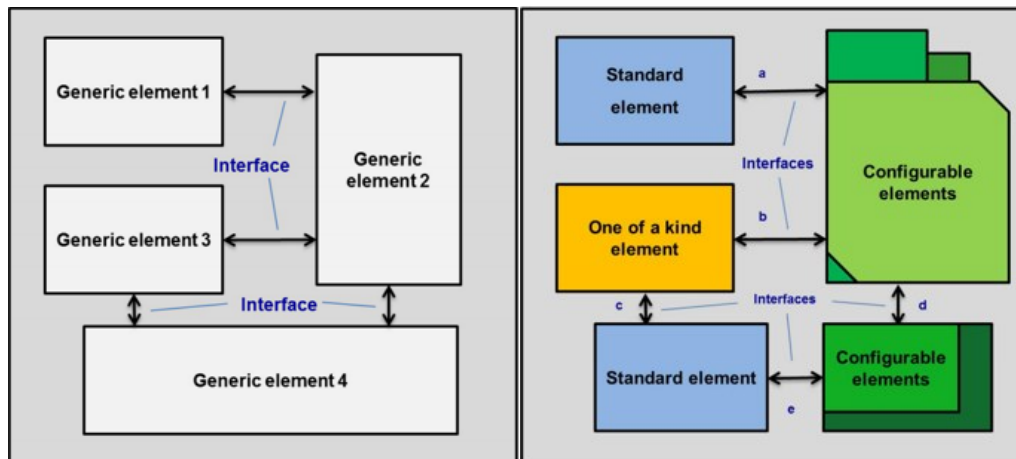
Brownfield-prosessin kautta rakennettavassa tuoterakenteessa vakioidulla eli standardoidulla elementillä tarkoitetaan sellaista elementtiä, johon ei kohdistu muuntelutarvetta, kuten aikaisemmin (s.30) todettiin. Tämä aiheuttaa rakenteessa sen, että nämä elementit ovat aina mukana sellaisinaan riippumatta siitä, minkälainen asiakkaan tarpeisiin perustuvalla

konfiguroinnilla toteutettava tuote on. Mitä enemmän elementtejä voidaan vakioida, johtaa se aina helpommin hallittavampaan tuoterakenteeseen. (Pakkanen, 2015)

Konfiguroidulla elementillä tarkoitetaan niitä erilaisia vaihdettavia moduuleja, joiden kautta konfigurointia hyväksi käyttäen pystytään vastaamaan asiakkaan tarpeisiin tarjoamalla kutakin asiakastarvetta vastaava moduuli, joka on määritelty etukäteen tuoterakenteessa tarjottavaksi vakiovaihtoehdoksi. Näiden tarjottavien moduulielementtien määrä olisi hyvä pitää mahdollisimman pienenä hallittavuuden kannalta, mutta kuitenkin sen suuruisena, että pystytään riittävän hyvin vastaamaan eri asiakkaiden vaatimuksiin. (Pakkanen, 2015)

On myös sellaisia tilanteita, joissa asiakkaan vaatimuksiin ei pystytä tuoterakenteen sisältämien vaihtoehtojen avulla vastaamaan. Jos näihin kuitenkin halutaan vastata, on mahdollista käyttää kerran toteutettavia elementtejä kyseiseen projektiin tai toimitukseen, jolloin ne voidaan nähdä ns. kompromissi-ratkaisuna. Tämä johtaa kuitenkin aina yksityiskohtaiseen suunnitteluun asiakkaasta riippuen, mikä ohjaa toimintaa kauemmaksi siitä mihin moduloinnilla ja modulaarisen tuotteen ominaisuuksilla alun perin pyritään. (Pakkanen 2015; Lahti 2017)

Engbom (2016) esittää diplomityössään hyvän ja selkeän vertauksen Brownfield-prosessin vaiheessa kolme toteutettavien geneeristen elementtien arkkitehtuurista, joka nähdään kuvassa 14 vasemmalla, ja vaiheen seitsemän lopputuloksesta, jossa elementit on jaettu eri elementtityyppeihin kuvassa 14 oikealla.

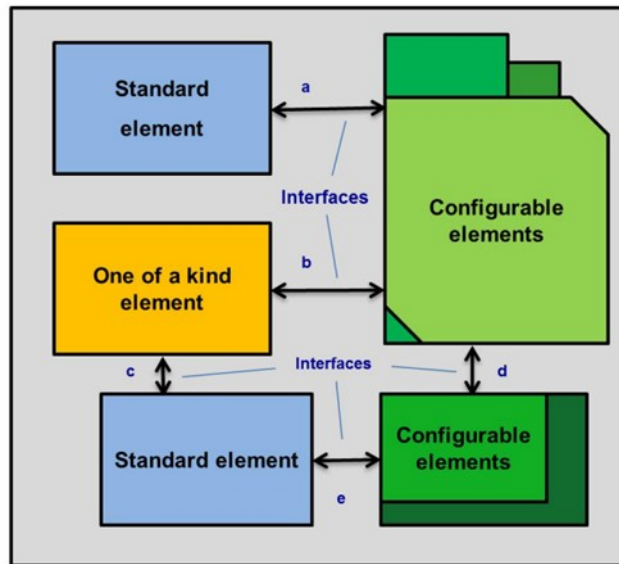


Kuva 14. Geneeriset elementit jaettuna eri elementtityyppeihin. (Lehtonen & al. 2013; Engbom 2016, 32)

Geneeriset elementit nähdään kokonaisuuksina, jotka sisältävät moduuleja, joiden vaihtelun avulla toteutetaan variaatiota geneerisen elementin sisällä palvelemaan asiakastarpeita yksityiskohtaisemmin. Kokonaisrakennelmassa sijaitsevien hallittavien rajapintojen määrä kasvaa, ellei standardoituja asiakkaalle tarjottavia vaihtoehtoisia moduuleja voida

liittää toisiin standardoituihin moduuleihin, joista yhdessä koostuu kokonaisuutena ulospäin standardi elementti. Tämä johtaa siihen, että elementtien välillä pitää olla toteutettuna muuttumattomana pysyvät rajapinnat, jotka pysyvät kiinteinä tekijöinä arkkitehtuurissa, vaikka sen kautta laajempaan elementtiin vaikuttava moduuli muuttuukin. Nämä rajapinnat täytyy määritellä tarkoin ja ne on myös dokumentoitava mahdollisimman kattavasti. (Pakkanen, 2015)

Kun modulaarista arkkitehtuuria koostetaan, lopputuloksesta olisi Pakkanen (2015) mukaan parhaassa mahdollisessa tilanteessa löydettävissä geneeristen elementtien eri tyypit tunnistettuina sekä rajapinnat näiden välillä. Siitä selviää mm. moduulien vaatimat tilavaraukset, rakenne, geometria, materiaali ja moduulien välillä vaikuttavat erilaiset energiat sekä signaalit, kuten kuvasta 15 voidaan nähdä. (Pakkanen 2015; Lahti 2017)



Kuva 15. Modulaarinen arkkitehtuuri, josta voidaan tunnistaa erilaisten geneeristen elementtien tyypit, rajapinnat ja tilavaraukset. (Pakkanen, 2015)

Tässä vaiheessa tuotettuja tuloksia, joista selviää tuoteperheen modulaarinen arkkitehtuuri, käytetään apuna seuraavassa Brownfield-prosessin vaiheessa, kun määritellään lopullinen konfiguraatitieto, mikä on välttämätöntä tuotevarianttien tehokkaassa määrittämisessä riippuen tapauskohtaisesti voimassa olevista asiakastarpeista. (Pakkanen, 2015)

3.2.8 Vaihe 8: Konfigurointitieto: moduulivariantit ja asiakastarpeet

Kuudennessa vaiheessa Brownfiel-prosessia luotiin konfigurointitietoa, mutta konfigurointitiedon määrittäminen siinä vaiheessa liittyi generisten elementtien ja tunnistettujen asiakastarpeiden välille. Tässä vaiheessa, joka on prosessissa järjestyksessään kahdeksas vaihe, luodaan myös konfigurointitietoa, mutta tällä kertaa tietoa luodaan niin, että edellisessä vaiheessa tuotettu tieto ratkaisuihin otetaan käsittelyyn samalla tavoin, kuin kuudennessa vaiheessa tehtiin asiakastarpeiden ja generisten elementtien välillä. (Pakkanen, 2015)

Asiakastarpeita ja tuotettuja ratkaisuja geneerisistä elementeistä verrataan keskenään ja selvitetään niiden yhteyksien luonnetta. Tämän avulla voidaan toteuttaa entistä tarkempaa konfigurointitietoa, koska se kertoo tarkalleen, että mitkä tekniset ratkaisut palvelevat mitään asiakastarvetta. Kahdeksannen vaiheen tuloksia käytetään apuna erityisesti myyntiprosesseissa. Tuotettu tieto myös tukee dokumentointia liittyen tuoteperhekokonaisuuteen ja sitä voidaan käyttää hyväksi myös, jos yritys suunnittelee toteutettavaksi erilaisia konfiguroinnin suorittavia ohjelmistoja eli ns. konfiguraattoreita (Pakkanen, 2015)

Pakkanen (2015) ehdottaa tähän vaiheeseen käytettäväksi samaa K-matriisia, kuin vaiheessa numero 6, mutta nyt matriisiin täydennetään tieto geneerisen elementin tyypistä ja sisällöstä, kuten kuvasta 16 voidaan nähdä. Suhteita voidaan jälleen arvioida neljällä eri tavalla, mutta tässä vaiheessa käytetyllä muokatulla K-matriisilla konfigurointitietoa voidaan tarkentaa paljon tarkemmilla asiakastarpeilla, jotka kohdistetaan tarkempiin elementteihin. (Pakkanen, 2015)

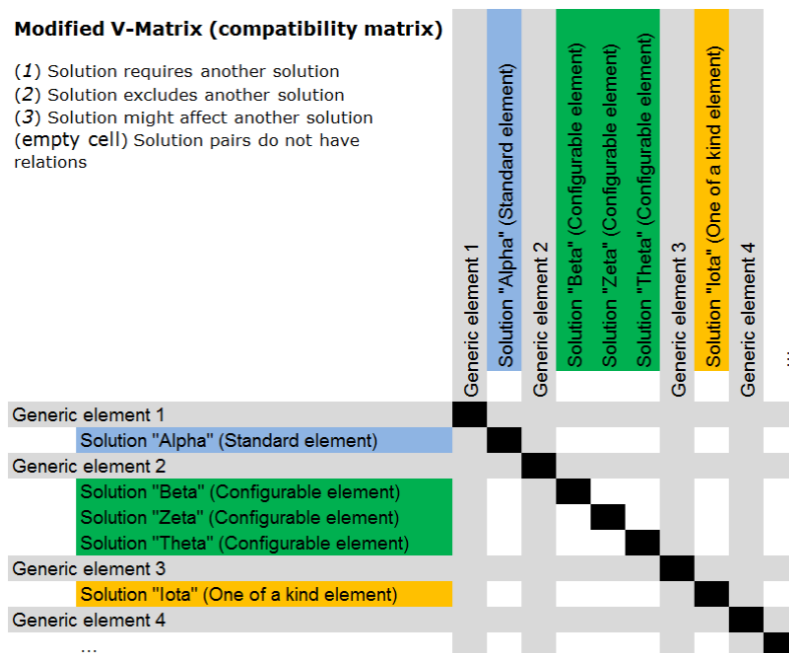
Modified K-Matrix (configuration knowledge matrix)

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

GENERIC ELEMENTS		CONTENT AND TYPE OF GENERIC ELEMENTS		CUSTOMER NEEDS															
				Customer need group 1			Customer need group 2			Customer need group 3			Customer need group 4			...			
				Customer need 1.1	Customer need 1.2	Customer need 1.3	Customer need 2.1	Customer need 2.2	Customer need 3.1	Customer need 3.2	Customer need 3.3	Customer need 3.4	Customer need 3.5	Customer need 4.1	Customer need 4.2	Customer need 4.3	Customer need 4.4	Customer need 4.5	...
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 16. K-matriisiin sijoitetaan tässä vaiheessa asiakastarpeista tulevan tiedon lisäksi myös tieto geneeristen elementtien tyypistä ja sisällöstä. (Pakkanen, 2015)

Pakkanen (2015) mukaan myös geneerisiä elementtejä ja niiden sisältöä voidaan tässä vaiheessa verrata yhtäläisyyksien löytämiseksi. Käytettäväksi työkaluksi hän ehdottaa *V-matriisia*, jonka on esittänyt ensimmäisenä Bongulielmi (2003). Siinä vaaka- ja pystysolut sisältävät listattuina geneeriset elementit ja niiden sisällöt. Tämän matriisin käyttäminen auttaa tunnistamaan niitä elementtejä, jotka voitaisiin yhdistää ja sitä on havainnollistettu kuvassa 17. (Pakkanen, 2015)



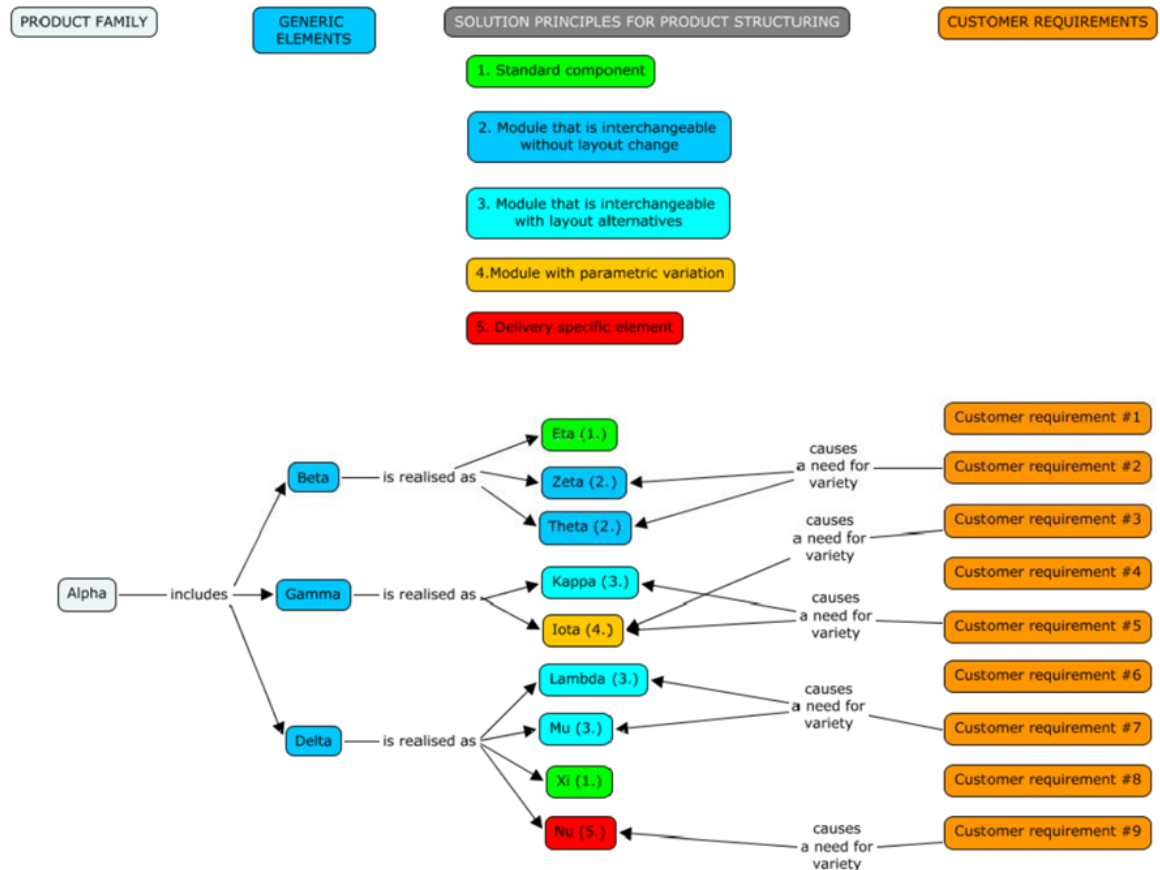
Kuva 17. V-matriin avulla verrataan geneeristen elementtien sisältöä ja tyyppiä toisiinsa yhtäläisyyksien löytämisen vuoksi. (Pakkanen, 2015)

3.2.9 Vaihe 9: Tuoteperheen dokumentointi

Brownfield-prosessi sisältää erillisen ja itsenäisen dokumentointivaiheen, jota tämä vaihe 9. käsittelee. Aikaisemmissa vaiheissa Brownfield-prosessia on koostettu perusrakenne modulaariselle tuoteperheelle, jonka avulla voidaan tuottaa erilaisia ratkaisuja asiakkaille konfiguroinnin kautta. Näissä vaiheissa on tuotettu paljon erilaista tietoa sekä myös dokumentoitu sitä samalla ja tämän vaiheen tarkoitus on tiivistää tämän tuotetun tiedon aikaansaamat suunnitteluperusteet selväksi dokumentaatioksi, joka kuvaa toteutettuja ratkaisuja eräänlaisen syy-seuraus-ketjun avulla. Dokumentaatio myös auttaa kuvaamaan tuoteperhettä selkeämmin siltä suunnalta, että mitkä asiakasvaatimukset kohdistuvat tiettyihin elementteihin, jotka toteuttavat ratkaisun vaatimukseen. (Pakkanen, 2015)

Brownfield-prosessi suosittelee tähän avuksi PSBP-kuvausta. Lyhenne menetelmälle tulee sanoista *Product Structuring Blue Print* (PSPB), ja se on esitetty kuvassa 18. PSPB:ssä vasemmalle sijoitettu tuoteperhe on avattu aikaisemmissa vaiheissa päätetyn

geneerisen elementti-jaon perusteella. Geneeriset elementit on avattu siten, että sieltä voidaan nähdä eri ratkaisut ja elementtien tyypit kutakin asiakastarvetta varten, jotka on esitetty kuvassa oikealla. (Pakkanen, 2015)

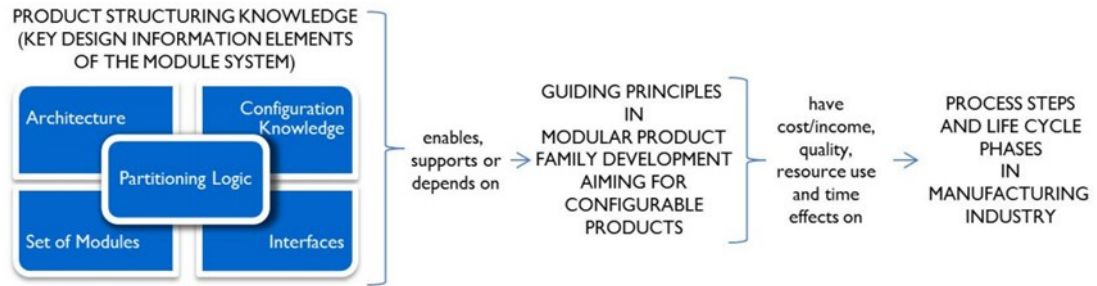


Kuva 18. PSPB-kuvauksessa visualisoidaan tuoteperheen rakenteen sisältämiä ratkaisuja tunnistettuihin vaatimuksiin syy-seuraus-ketjun avulla. (Lehtonen et al. 2013; Engbom 2016)

3.2.10 Vaihe 10: Liiketoiminnallinen vaikutus

Brownfield-prosessi alkaa liiketoimintalähtöisestä ajattelusta sekä liiketoimintaympäristön analysoinnin kautta asetettavista tavoitteista tuoterakenteelle ja se loppuu liiketoiminnallisen vaikutuksen analysointiin tuoteperheen eri elinvaiheissa, joka on Brownfield-prosessin kymmenes ja viimeinen vaihe. Jotta voimme luottaa, että ratkaisut, joita Brownfield-prosessin aikana on tuoteperheeseen liittyen tehty ovat oikeita, meidän täytyy peilata toteutettuja ratkaisuja niihin tavoitteisiin, joihin tuotteen kehittämällä modulaarisemmaksi pyrittiin ja saada ymmärrystä siitä, että onko uusi tuoteperhe kilpailukykyinen vallitsevilla markkinoilla (Pakkanen, 2015). Fujimoto (2007) esimerkiksi tiivistää kilpailukykyisyyden mittareiksi laadun, hinnan, toimitusnopeuden ja joustavuuden.

Lähestymistavaksi tähän tilanteeseen Pakkanen (2015) mainitsee tavan, jossa luodaan modulaarisuuden vaikutuksia liiketoimintaan kuvaava malli. Kyseisen mallin perusidea voidaan nähdä kuvassa 19.



Kuva 19. Perustoimintaidea Brownfield-prosessissa toteutettavasta liiketoiminnallisista vaikutuksista kuvaavasta mallista. (Pakkanen, 2015)

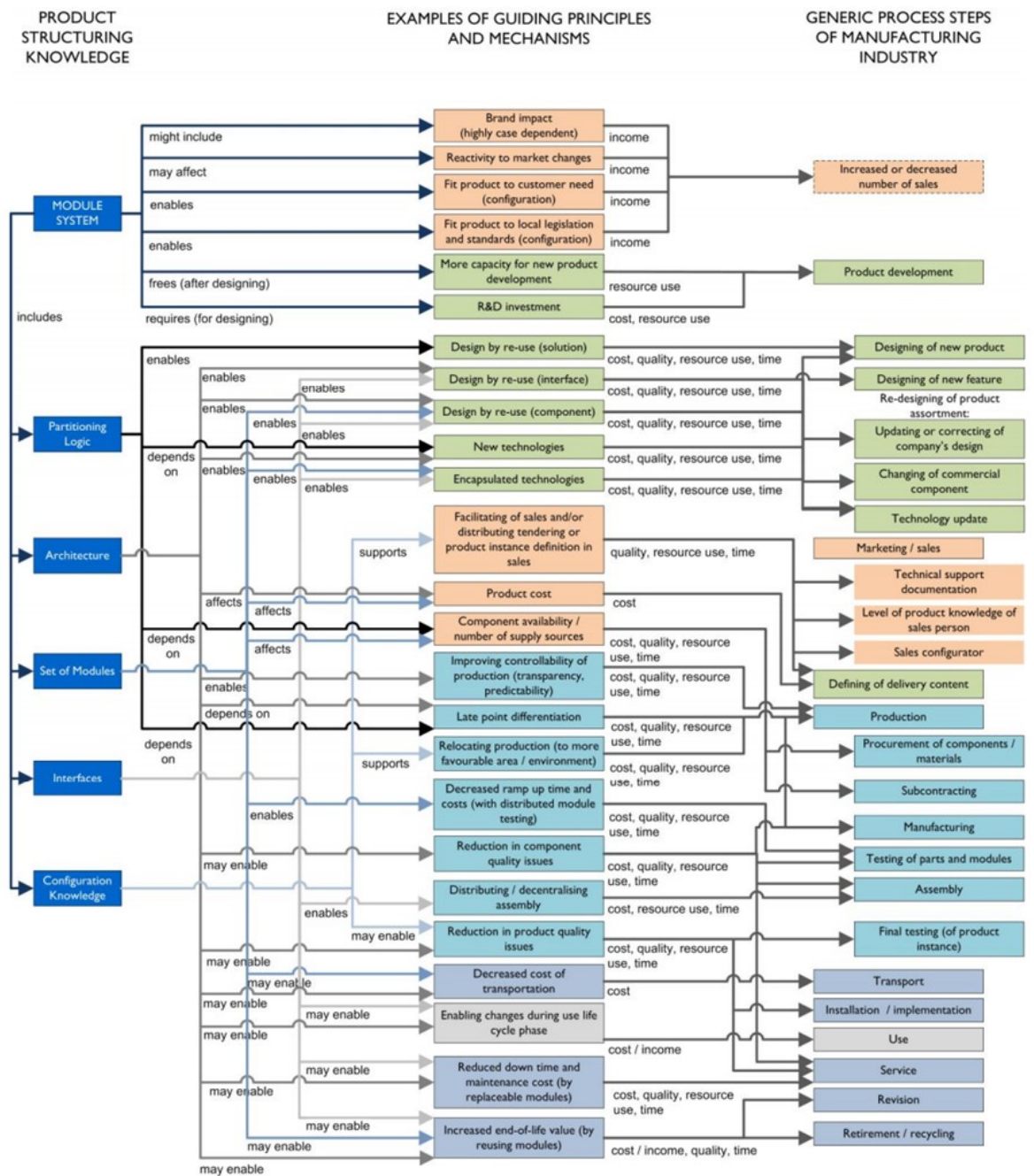
Vasemmalla puolella mallia löytyy tuotenäkymä, joka kattaa luodun moduulijärjestelmän. Brownfield-prosessissa moduulijärjestelmän suunnittelu-elementit nähdään viitenä erillisenä kokonaisuutena, jotka olivat osituslogiikka, arkkitehtuuri, moduulit, rajapinnat ja konfigurointitieto. Niihin liittyvä tietämys tuoteperheen kehitykselle selvitetään aikaisemmissa kohdissa Brownfield-prosessia. (Pakkanen, 2015)

Keskelle mallia on sijoitettu ns. ohjaavat periaatteet ja mekanismit, joissa kuvataan ne kaikki mahdolliset olemassa olevat mahdollisuudet, ilmiöt ja ongelmat, joihin modulaarisuudella voi olla vaikutusta. Liiketoimintaa edesauttavat ja toimintaa yksinkertaistavat asiat tässä keskimmaisessä listassa voidaan hyvin luokitella Pakkasen (2015) mukaan niiksi moduulijureiksi, jotka ovat vaikuttaneet päätökseen lähteenä viemään tuoteperhettä modulaarisempaan suuntaan. (Pakkanen, 2015)

Oikealle mallissa listataan prosessirakenne, jossa on näkyvissä tuotteen elinkaaren eri vaiheet eli myynti, tuotekehitys, suunnittelu, tuotanto, kokoonpano, kuljetus, käyttö, huolto, päivitys ja hävitys riippuen käsiteltävästä tilanteesta. (Pakkanen, 2015)

Kun näiden kolmen eri segmentin sisältö on saatu koostettua, suhteet ja vaikutukset kuvataan näkyviksi moduulijärjestelmän ja ohjaavien periaatteiden välille sen mukaan, millä moduulijärjestelmän osalla on yhteys mihinkäkin ohjaavaan periaatteeseen ja mekanismiin, joista taas puolestaan etsitään yhteys kokonaisprosessin yhteen tai useampaan vaiheeseen. Vaikutuksia pitää Pakkasen (2015) mukaan myös kuvata lisäinformaatiota tuovalla vaikutuksen tyyppikuvailulla, kuten liittykö vaikutus esimerkiksi hintaan, laatuun, resurssien käyttöön tai aikaan. Lopullista arviota liiketoiminnallisista vaikutuksista koostettaessa edellä mainitut mahdolliset vaikutustyyppit muutetaan vastaamaan rahallista arvoa. Joko ne lisäävät kannattavuutta, ja tätä kautta tuottoa, tai vähentävät kannattavuutta. Tarkempi malli liiketoiminnallisista vaikutuksista kuvaavasta mallista on esitetty kuvassa 20. (Pakkanen, 2015)

Lopputuloksena malli antaa laaja-alaisen kuvan siitä, millainen liiketoiminnallinen vaikutus Brownfield-prosessin kautta kehitetyllä tuoteperheellä on. Jos tarvetta mahdolliselle suunnittelun parantelulle ilmenee, niin voidaan iteratiivista Brownfield-prosessia palata muokkaamaan tarpeiden mukaan. (Pakkanen, 2015)



Kuva 20. Tarkka kuvaus Brownfield-prosessissa toteutettavasta liiketoiminnallisista vaikutuksista kuvaavasta mallista. (Pakkanen, 2015)

4. TILAVARAUS-AJATTELU

Tässä osuudessa teoriaa käsitellään *tilavarauksia* ja *muutoksen pysäytysvyöhykkeitä* eli ns. jäädytysvyöhykkeitä sekä tarkastellaan hyötyajoneuvoja valmistavan MAN-yhtiön toimintamallia liittyen tuotteen hajotukseen ja tilavarauksiin.

4.1 Tilavaraus

Tilavarauksilla tarkoitetaan moduloinnissa etukäteen tunnistettuja, erilaisten moduulien vaatimia tiloja ja alueita, joita moduulit vaativat ympärilleen toimiessaan ja esimerkiksi niiden asennuksen aikana. Yksi moduloinnin suurimmista hyödyistä on se, että samassa fyysisessä sijainnissa tuotteessa voidaan vakiorajapinnan ansiosta käyttää tuotteen kokonaistoimintaan halutulla tavalla muuttavia moduuleja. Tämä johtaa siihen, että samaa tilavarausta käyttää mahdollisesti monta erilaista moduulia. Tämän takia tilavaraus pitää suunnitella sellaiseksi, että se huomioi jokaisen moduulin vaatimat tilatarpeet eri konfiguraatiomäärittäyksillä. On myös tilanteita, joissa yhtä tilavarausta käyttää vain yksi moduuli. Kuten aiemmin (s.19) todettiin, modulaarinen järjestelmä voidaan toteuttaa myös On-Off-modulaarisuudella. On-Off-järjestelmässä moduulille on aina sille varattu paikka, myös tyhjä sellainen, riippumatta siitä otetaanko moduulia konfigurointia muodostettaessa mukaan osaksi järjestelmää. Sille varattu tilavaraus on kuitenkin olemassa.

Tilavaraustarkastelulla varmistutaan siitä, että moduulien liittäminen järjestelmään voidaan toteuttaa törmäysvapaasti ja turvallisesti. Eri osastot yrityksessä ovat usein vastuussa tuotteen eri kokonaisuuksista ja osista. Tarkasti määritetyt tilavaraukset helpottavat täten suunnittelua eri osastojen välillä. Myös laitevalmistajien tuotanto soljuu paremmin eteenpäin. Asennusongelmat vähentyvät etukäteen määritetyillä säännöillä ja tiedoilla siitä, paljonko mikäkin moduuli tarvitsee ympärilleen tilaa ja mitä kuhunkin tilavaraukseen voidaan tuoda.

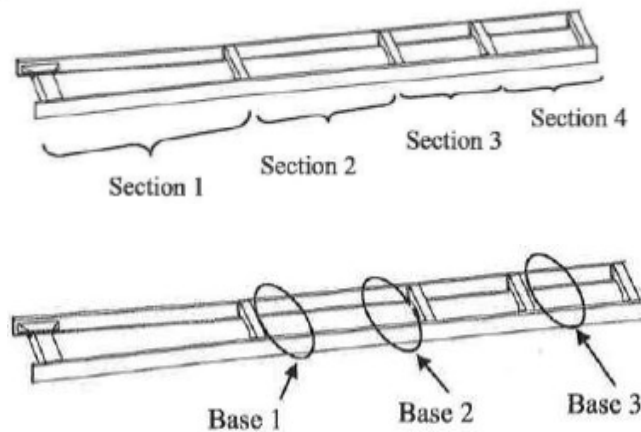
Riippuen siitä, mihin kohtaan moduulissa rajapinta määritetään, moduuleista lähtee usein muualle järjestelmään toiminnon toteuttamisen kannalta vaadittavia johtoja, letkuja tai putkia. Näiden kautta välittyy mm. sähköiset ja hydrauliset toiminnot. Tämä johtaa siihen, että näiden tekijöiden (johdot, letkut ja putket) vaatimat tilat on myös huomioitava, kun moduuleille tehdään tilavarauksia.

Tilavarauksia voidaan mallintaa kaksi- tai kolmiulotteisina. Kaksiulotteisessa tapauksessa tarkasteltavia suuntia on hyvä olla useampia. Kaksiulotteisia tilavarauksia tehdään usein hyvin aikaisessa vaiheessa suunnittelua sellaiselle tuotteelle, joka ei edes välttämättä vielä ole olemassa. 3D-mallinnukseen käytetyt tietokoneavusteiset suunnitteluoh-

jelmat (esimerkiksi Catia ja SolidWorks) ovat käteviä kolmiulotteisia tilavarauksia suunnittelussa, varsinkin sellaiseen tilanteeseen, kun tuote on jo olemassa ja kaikki siinä käytettävät osat ja komponentit on mallinnettu jo aikaisemmin tarkasti.

4.1.1 Muutoksen pysäytysvyöhykkeet

Muutoksen pysäytysvyöhykkeitä on käsitellyt esimerkiksi Tobias Holmqvist väitöskirjatyössään (2004). Työssään Holmqvist (2004) esittelee muutoksen pysäytysvyöhykkeiden käyttöä rekojen alustojen suunnittelun yhteydessä. Rekoissa käytettävä alusta on jaettu erillisiin alueisiin (kuva 21 ylhäällä) ja alustoissa toteutuva hyöty tulee siitä, että tietyssä alueessa tapahtuvaa muutosta ei päästetä leviämään muualle rakenteeseen muutoksen pysäytysvyöhykkeiden ansiosta, kuten kuvan 21 alaosassa esitetään. Tämä mahdollistaa sen, että yksi alue voidaan aina nähdä itsenäisenä ja varioitavissa olevana kokonaisuutena, jota rajaavat muutoksen pysäytysvyöhykkeet ja jonka sisällä voidaan turvallisissa rajoissa toteuttaa erilaisia ratkaisuja. Tämä johtaa siihen, että alueen muuttumisella ei ole vaikutusta ympäristöön ja näin ollen koko alustan rakennetta ei tarvitse muuttaa yhden alueen muutoksen takia. (Holmqvist, 2004)



Kuva 21. Rekan alusta muodostuu eri alueista, joita rajaavat muutoksen pysäytysvyöhykkeet. (muokattu lähteestä Lehtonen & Juuti, MEI-42600-kurssin kalvot, 2018)

4.2 MAN-tutkimus

4.2.1 Tutkimuksen taustaa

MAN-tutkimus keskittyy modulaarisen kokonaisuuden kehittämiseen höytyajoneuvoihin liittyvässä ympäristössä. Tutkimuksen ovat toteuttaneet Matthias Kreimeyer, Armin Förg ja Markus Lienkamp (2014) ja se on tehty yhdessä höytyajoneuvoja valmistavan MAN-yhtiön sekä Münchenin teknillisen yliopiston kanssa. (Kreimeyer, 2014)

Tutkimuksessa pyritään löytämään ratkaisuja siihen, kuinka historiallisesti kasvanut ja edelleen kovaa vauhtia kasvava, tuoteperheen modulaarinen rakenne ja laajuus voidaan

saada mahdollisimman stabiiliksi. Samalla myös selvitetään, kuinka se voidaan tehdä nykyistä helpommin ylläpidettäväksi esittelemällä aktiivisesti ylläpidettävä rajapintakuvaus, joka sisältää erityisen tärkeät arkkitehtuuriset vakioinnin periaatteet edesauttamaan stabilointia. Jotta nämä rajapinnat ja vakiointikohteet voidaan löytää, analysoida ja kehittää, otetaan tutkimuksessa avuksi simulointia hyödyntävä lähestymistapa sisältäen mm. Digital MockUp-työkalun. (Kreimeyer, 2014)

Komponenttiriippuvuudet uusien ja vanhojen osien välillä esitellään tutkimuksessa ns. muutoksen etenemismenetelmällä analysoitaessa arkkitehtuuria vakioivia standardeja. Lisäksi esitetään tila- ja layout-standardit generisen tilan hajottamisen kautta. Kun nämä edellä mainitut toiminnot yhdistetään jo olemassa olevaan modulaariseen kokonaisuuteen, toimintaa voidaan stabiloida ja samankaltaistaa huomattavasti. (Kreimeyer, 2014)

4.2.2 MAN-yhtiö

MAN Truck & Bus AG on yksi suurimmista saksalaisista hyötyajoneuvojen valmistajista, joka valmistaa mm. rekkoja, busseja, erilaisia ajoneuvoalustoja sekä erilaisia ajoneuvo-osia. Suhteellisen pienillä tuotantovolyyymeilla (n. 100 000 ajoneuvoa vuodessa) sekä laajan konfiguroitavissa olevan portfolion (jopa 10^{46} mahdollista variaatiota) takia, suunnittelun toteutuksen täytyy olla hyvin modulaarinen kattaakseen laajan portfolion tarjonnan näkyisillä suunnittelun ja tuotekehityksen resursseilla. (Kreimeyer, 2014)

Man-yhtiön pääasiallinen markkinarako on toimiminen liiketoimintaympäristössä, jossa se tuottaa ns. massaräätälöintiä laajalle markkinalle asiakasvaatimusten ollessa erityisen yksilöllisiä. Esimerkiksi rekat voidaan pääosin valmistaa jo etukäteen määritettyjen komponenttisarjojen avulla, jotka sellaisenaan pystyvät vastamaan tarvittavaan variointiin. Bussit sen sijaan tarvitsevat enemmän projektikohtaista suunnittelua. Näissä molemmissa tuoterakenteen (BOM, the bill of material) hallinnointi toteutetaan pääosin erikseen jälkikäteen. (Kreimeyer, 2014)

Kokonaisuudessaan tuoterakenne on monimutkainen IT-järjestelmä, joka hallinnoi lähes sataa tuhatta erilaista osaa ja niiden välisiä suhteita. Viime vuosien aikana on pyritty vielä kohdistetumpaan tuotearkkitehtuurin suunnitteluprosessiin, jonka tavoitteena on kehittää ja dokumentoida vain ne osat, joita tarvitaan asiakasnäkökulmasta. Tähän tarkoitukseen on esitelty uudet prosessit, kuten spesifiointi-vaihe, joka luo koosteen teknisistä tiedoista. On luotu myös tuotearkkitehtuurivaihe, joka kääntää toiminnalliset vaatimukset johdonmukaiseksi ajoneuvon arkkitehtuuriksi. Lopuksi on vielä kehitetty pakkaussuunnittelmaprosessi, jossa varmistettiin, että tuotearkkitehtuuri on törmäysvapaa kaikilla mahdollisilla varianteilla. (Kreimeyer, 2014)

4.2.3 Ongelman kuvaus

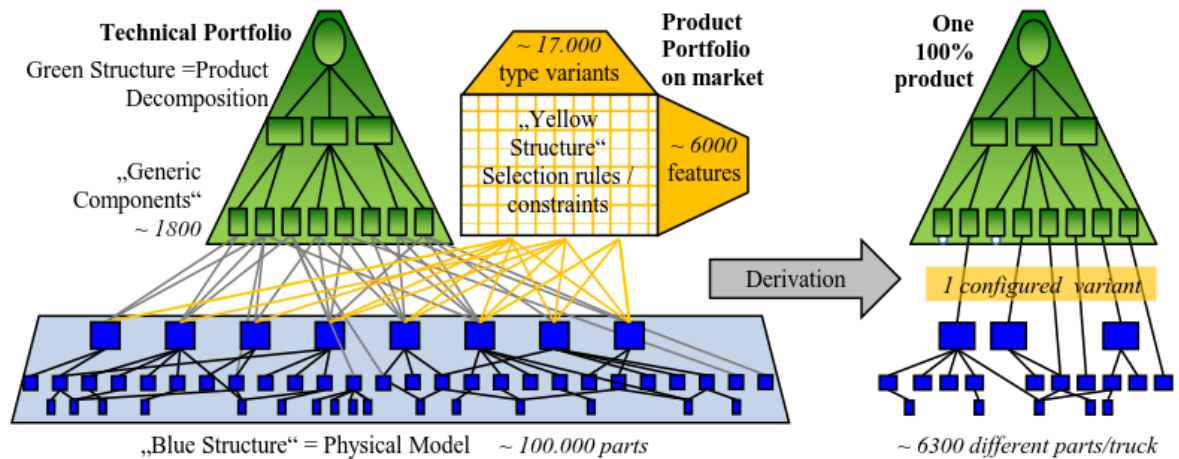
MAN-tutkimuksessa hyötyajoneuvojen suunnittelussa tunnistettiin neljä haastetta, jotka suoraan vaikuttavat suunnitteluprosessiin (Kreimeyer, 2014):

- Hyötyajoneuvojen varianttipektri on suhteellisen laaja. Tämä johtuu valmistajan strategisesta suuntautumisesta sekä eri asiakkaiden väistämättömästä tavasta hyödyntää ajoneuvoja toiminnassaan sekä erilaisissa kuljetustehtävissä.
- Komponenttien sijoittelu ja käytettävissä oleva asennustila on olennainen näkökulma asiakkaille
- Mahdollisuudet eri erikoisosien mukaan ottamiseen myöhemmin on huomioitava kaikkina sellaisina rajapintoina, jotka pystyvät vastaamaan vaihtoehtoisii asennuksiin
- Kaikki nämä tekijät näyttäytyvät eri yhdistelminä tuotteiden pitkien elinkaarien aikana, jotka voivat olla jopa 20-30 vuotta.

Nämä tunnistetut haasteet johtavat ylimääräiseen suunnitteluun panostamiseen sekä siihen, että varioinnin hallintaa joudutaan suorittamaan ilman läpinäkyvyyttä. Johtuen pienistä myyntimääristä, hyötyajoneuvoja yleensä suunnitellaan vuosikymmeniä ja itse tuoteportfoliot kehittyvät ja laajenevat ennemmin kuin itse yksittäiset tuotteet. Tämän takia modulaarinen kokonaisuus kasvaa kasvamistaan ajan kuluessa, koska uusia asiakasvaatimuksia ja ajoneuvokonfigurointeja tehdään mahdollisiksi. Erityisesti komponenttivarianitit sekä niiden välillä vaikuttavat riippuvuudet kasvavat tasaisesti ja MAN-yhtiö joutuu kin panostamaan merkittäväillä suunnitteluresursseilla siihen, että työntekijät selventävät erilaisia varianssiyhteyksiä. (Kreimeyer, 2014)

4.2.4 Laajan modulaarisen kokonaisuuden hallinta

Kuten todettiin jo aiemmin, MAN-yhtiön tuoteperhe muodostuu modulaarisesta kokonaisjärjestelmästä, jota hallitaan sääntöperusteisella muuttuvalla tuoterakennekokonaisuudella. Järjestelmä käyttää hyödykseen kolmea erilaista yksilöllistä ja itsenäisempää rakennetta. Nämä eri rakenteet luokitellaan keltaiseksi, siniseksi ja vihreäksi rakenteeksi, kuten kuvassa 22 esitetään. (Kreimeyer, 2014)



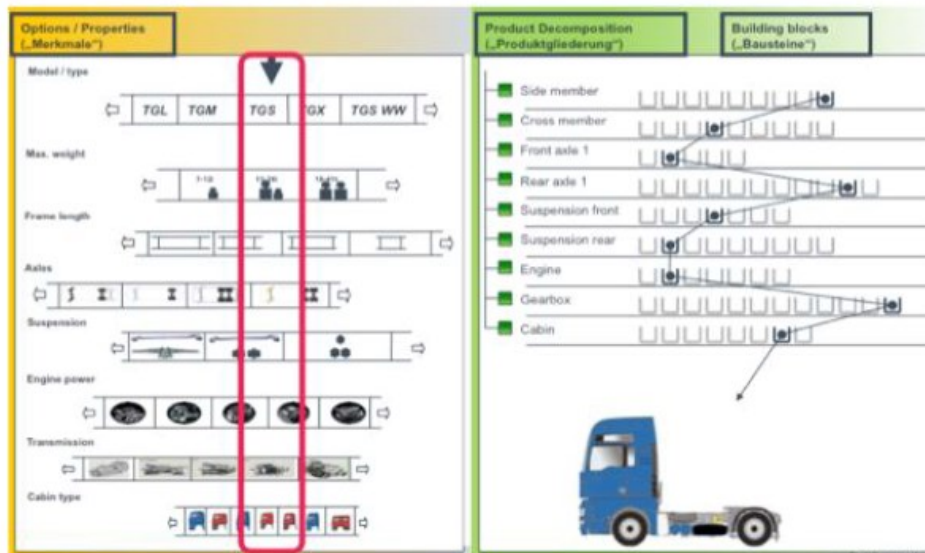
Kuva 22. Modulaarisen järjestelmän sisäisten osarakenteiden toteutus MAN-yhtiössä. (Kreimeyer, 2014)

Keltainen osarakenne sisältää ns. muunnosominaisuudet sekä yhdistämis- ja valintasääntöjä eli toisin sanoen eräänlaisen konfiguraattorin ylläpitämän koodin, jonka kautta asiakas voi konfiguroida tuotteensa laajasta valikoimasta. Sininen rakenne sisältää fyysisen mallin, johon kuuluvat kaikki osakokoonpanot ja yksittäiset osat kaikista eri tuotteista. Vihreässä osarakenteessa toteutetaan konfiguroidun tuotteen geneerinen hajottaminen komponentti- ja osatasolle geneerisiksi komponenteiksi. Sen alimmalla tasolla käytetään komponenttivarientteja, mistä koostetaan tarvittavat kokoonpanot ja osat tuotteeseen. Näiden tiettyjen kerättyjen komponenttien ja osien tarve on alun perin määritelty keltaisen osarakenteen kautta. (Kreimeyer, 2014)

MAN-yhtiön perustavanlaatuisen tuotedokumentointifilosofia perustuu sen modulaarisen koontijärjestelmän käsiteltävyyteen ajoneuvon kokoonpanotasolla, jossa tuote hajotetaan ns. geneerisiin komponentteihin. Kuvassa 23 on esitetty modulaarinen koontijärjestelmä, jossa vasemmalla sijaitsevat ajoneuvon ominaisuudet, joka kuvaavat tässä yhteydessä keltaista osarakennetta ja missä määritellään muunnosominaisuudet ja koontikoodi konfiguroinnilla. Oikealla kuvassa nähdään, kuinka tuote on hajotettu yhteensä yhdeksään erilaiseen geneeriseen komponenttiin, joista jokainen sisältää sen hetkisen konfigurointikoodin hyväksymät vaihtoehdot eli saatavissa olevat komponenttivarientit. (Kreimeyer, 2014)

Konfigurointia toteutettaessa on tärkeää, että jokainen komponenttivariantti on oikea kussakin tilanteessa, joten jokainen niistä on liitetty keltaisen rakenteen koodiin. Tämä johtaa loogisesti siihen, että jos joku ominaisuus on päätetty tuotteelle keltaisessa rakenteessa, niin siihen päätökseen soveltuvat komponenttivarientit pysyvät saatavissa olevina geneeristen komponenttien sisällä. Täten muut siihen konfigurointisyötteeseen epäsoivat komponenttivarientit putoavat pois. Mitä enemmän ominaisuuksia tuotteelle määritetään, sitä vähemmän komponenttivarientteja on saatavissa, kunnes lopulta jokainen geneerinen komponentti sisältää vain yhden komponenttivariantin. (Kreimeyer, 2014)

Olennaista on, että mikä tahansa ajoneuvo voidaan rikkoa komponenttivarienteiksi. Kun jokaiseen erilaiseen geneeriseen komponenttiryhmään on sijoittuneena joku vaihtoehtoisista varianteista, ajoneuvon valmistettavuus voidaan todeta mahdolliseksi. (Kreimeyer, 2014)



Kuva 23. Tuotteen rakenne hajotetaan kymmeneksi erilaiseksi geneeriseksi komponentiksi, joihin määritellään komponenttivarientit sen mukaan, miten konfigurointi toteutetaan. (Kreimeyer, 2014)

4.2.5 Arkkitehtuuriin liittyvä vakiointi

Tuotearkkitehtuurilla tarkoitetaan sitä, kuinka ratkaisuperiaate siirretään toiminnallisesta kuvauksesta fyysiseksi kokonaisuudeksi tuotteessa kokoonpano-, elementti- ja osatasolla. Fricke et al. (2000) mukaan helposti ylläpidettävän tuotteen arkkitehtuurin täytyy hallita kaksi päähaastetta. Ensinnäkin, sen täytyy olla nopeasti muutettavissa oleva ja toiseksi, sen pitää pystyä mukautumaan muuttuvassa ympäristössä. Yksi tärkeimmistä modulaariseen arkkitehtuuriin liittyvistä asioista on toteuttaa sellaiset rajapinnat, jotka eivät muutu. Tämä edesauttaa sitä, että komponentti- ja osatasolla modulointi tulee olemaan helpompi

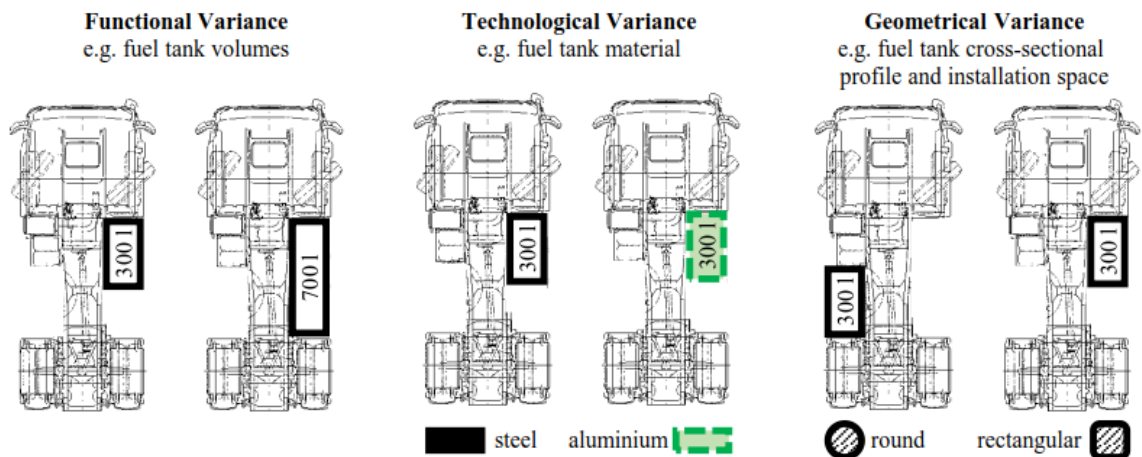
toteuttaa. Jos rajapintoja ei määritellä tarkoin ja muuttumattomiksi, paikallistettuja lähestymistapoja komponenttitasolla kussakin sijoituspaikassa ei voida toteuttaa kaikilla varianteilla, jolloin joudutaan käyttämään energiaa ja resursseja niitä suunniteltaessa ja hallinnoitaessa. (Kreimeyer, 2014)

Jotta muuttumattomina pysyviä rajapintoja voidaan luoda, on sitä avustavia suunnittelu-työkaluja luotava jo aikaisessa arkkitehtuurivaiheessa. Niiden avulla voidaan kehittää standardiratkaisuja, jotka ottavat huomioon tarvittavat komponenttirajat sekä -tilat toleransseineen mahdollistaen myös törmäysvapaan komponenttien lisäämisen. (Kreimeyer, 2014)

Arkkitehtuuriset vakiointiperiaatteet muodostavat tarvittavat säännöt ja ohjeet, kun suunnitellaan ajoneuvon arkkitehtuuria paljon varioivaan tuoteportfolioon. Nämä vakiointiperiaatteet pyrkivät liittämään yhteen geometrisen ja toiminnallisen rakenteen tuotteessa ja näin ollen tähtäävät samalla arkkitehtuurin yhdenmukaisuuteen ja läpinäkyvyyteen tuoterakenteessa. (Kreimeyer, 2014)

Variointi voidaan jakaa sisäiseen tai ulkoiseen variointiin. Ulkoinen variointi tuotteessa näkyy esimerkiksi asiakkaalle, kun taas sisäinen variointi ei näy asiakkaalle. Sisäinen variointi voi tapahtua esimerkiksi hydrauliputkien reitityksessä. Arkkitehtuuriset vakiointiperiaatteet voidaan luokitella sen mukaan minkälaiseen kokonaisuuteen variointi voi vaikuttaa. Kolmea niistä on kuvailtu kuvassa 24. MAN-yhtiö jakaa ne kokonaisuudessaan neljään erilaiseen ryhmään (Kreimeyer, 2014):

- **Toiminnallinen vakiointi:**
 - Rajoitetaan esimerkiksi suuruudeltaan erilaisten saatavissa olevien polttoainetankkien määrää
- **Teknologinen vakiointi:**
 - Esimerkiksi materiaalien vakiointi polttoainetankeissa
- **Geometrinen vakiointi:**
 - Osiin liittyvä standardi, joissa esimerkiksi vakioidaan polttoainesäiliöiden poikkileikkausprofiilit toisiinsa nähden yhtä tilavissa säiliöissä
 - Asentoihin liittyvä standardi, jossa esimerkiksi määritetään vakio asennustila polttoainesäiliöille
- **Rajapinta-vakiointi:**
 - Varmistetaan yhteensopivuus sekä se, että samoja komponentteja käytetään useissa eri paikoissa. Esimerkiksi käytetään samankokoista porattua reikää ja samoja ruuvikokoja komponenttien kiinnityksessä runkoon.



Kuva 24. Arkkitehtuurisilla vakiointiperiaatteilla pyritään vähentämään erilaisista variointityy-
peistä, kuten toiminnallisesta varioidinnasta, teknologisesta varioidinnasta ja geometrisesta varioidinnasta
johtuvaa tarpeetonta monimutkaisuuden kasvamista. (Kreimeyer, 2014)

Arkkitehtuuriset vakioinnit täytyy toteuttaa siten, että vakiointia toteutetaan, mutta pyri-
tään silti säilyttämään tarvittava joustavuus. MAN-yhtiössä huomattiin, että hyvin määri-
teltyihin vakiointiratkaisuihin päästäkseen, tarvitaan kolme olennaista osaa, jotka ovat
(Kreimeyer, 2014):

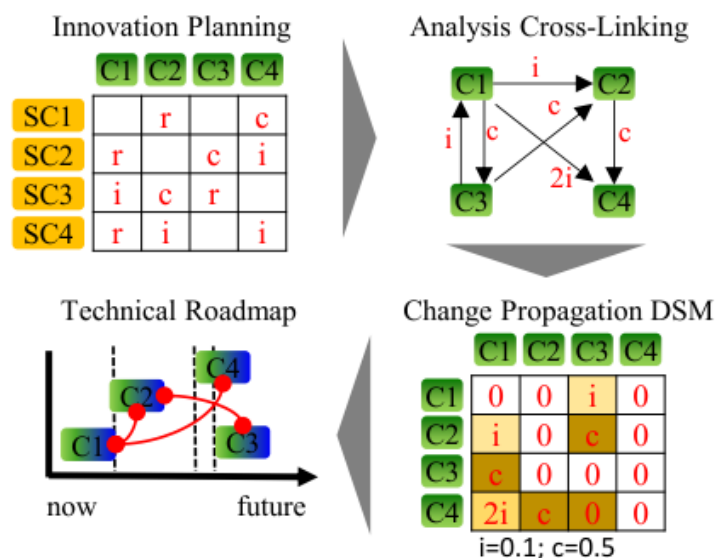
- Teknisen muutoksen etenemis-menetelmä (tekninen ennakkosuunnittelu)
- Geneeristen kokonaisuuksien tilan hajottaminen
- Konseptitason suunnittelutyökaluja ja tuotemalleja.

MAN-tutkimus perustelee ensimmäistä menetelmää siten, että ajan kuluessa käytettävä
teknologia muuttuu hiljalleen, jonka mukana muuttuvat myös asiakasvaatimukset ja käy-
tettävät osat. Tästä johtuen yritysten täytyy olla valmiina päivittämään tuotteitaan niin,
että ne vastaavat asiakkaiden vaatimuksiin myös tulevaisuudessa. Täten on olennaista tie-
tää mahdollisista tulevaisuudessa käytettävissä olevista komponenteista. Erityisesti pitää
arvioida niiden tuotannon aloituksen ajankohta sekä olla tietoisia myös siitä, minkälaisia
vaikutuksia tulevaisuuden vaatimuksilla on tuotteille ja miten tämä tulee vaikuttamaan
komponenttitasolla. Myös uusien ja vanhojen, vielä käytössä olevien komponenttien vä-
liset suhteet on varmistettava toimiviksi. (Kreimeyer, 2014)

MAN-tutkimuksen mukaan käytettäessä matriisimallinnusta hyödyntävää muutoksen
etenemis-menetelmää, kaikista lupaavin aloitus arkkitehtuuristen vakiointien määrittämi-
sessä voidaan löytää systemaattisesti. Muutoksen etenemis-menetelmä lähtee liikkeelle
siitä, että mahdollisia uusia innovaatioita vertaillaan tuleviin asiakasvaatimuksiin. Tässä
käytetään apuna *CPM-matriisia* (Change Prediction Method), jonka alun perin on esitel-
lyt Clarkson et al. (2004). Siinä uuden innovaation eri komponenteista koostuvaa koko-
naisuutta ja niiden suhteita asiakasvaatimuksiin, voidaan kuvata kolmella eri tavalla
(Kreimeyer, 2014):

- **r (responsible)**
 - Komponentti on pääosin kokonaan vastuussa vaatimuksesta, joka täten johtaa suuriin muutoksiin
- **c (contributing)**
 - Jotta tulevaisuuden vaatimus voidaan toteuttaa, on sillä keski-suuri vaikutus komponenttiin
- **i (informed)**
 - Komponentti kokee pieniä muutoksia tulevaisuuden vaatimuksen takia.

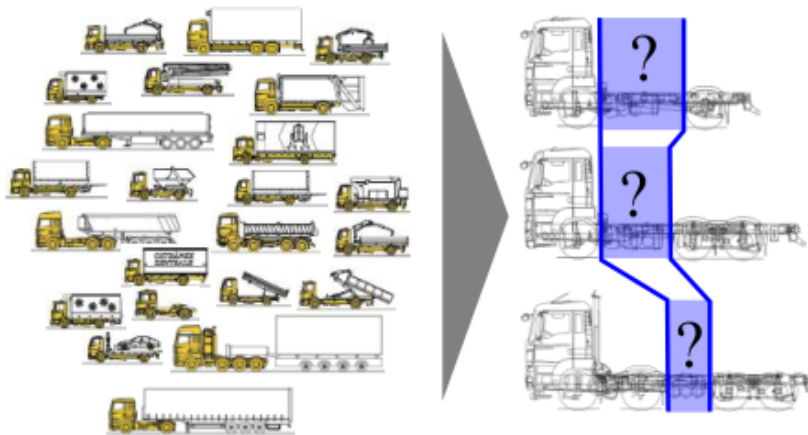
Kun CPM- matriisin avulla uusien innovaatioiden komponenttikokonaisuuksien ja tulevaisuuden asiakasvaatimuksen välille on pystytty määrittelemään vaikutussuhteet edellä mainitulla tavalla, niin sen jälkeen DSM-matriisin avulla voidaan tarkastella komponenttien välisiä riippuvuuksia eri osien ja rakenteiden välillä. DSM-matriisi sisältää myös painokertoimet, joilla riippuvuutta voidaan korostaa. Tällä tavoin syntyy hiljalleen osien teknistä riippuvuutta kuvaava kartta. Kuvassa 25 on esitetty CPM-, ja DSM-matriisien käyttöä liittyen teknisen muutoksen etenemisen tunnistamiseen. (Kreimeyer, 2014)



Kuva 25. CPM- ja DSM-matriiseja käytettä apuna tunnistettaessa erilaisten uusien ja vanhojen komponenttien ja osien välisiä riippuvuuksia. (Kreimeyer, 2014)

Johtuen asiakkaiden monista erilaisista tavoista toteuttaa omaa liiketoimintaansa MAN-yhtiön ajoneuvojen avulla, niihin lisätään asiakkaan tuotteen peruskonfiguroinnin lisäksi myös monesti erilaisia asiakkaan omaan toimintaan liittyviä erikoistoimintoja. Tämä aiheuttaa sen, että näille asiakkaasta riippuville erikoistoiminnoille on jätettävä oikean kokoiset tilavaraukset sisältäen sellaiset rajapinnat, jotka mahdollistavat toimintokokonaisuuden liittämisen ajoneuvoon. Tämän MAN-tutkimus määrittelee toiseksi rakennuspalikaksi. Yhteistyö asiakkaan kanssa on tässä avainasemassa, koska silloin voidaan suunnitella yleiseen ajoneuvomalliin perusta ja tilavaraukset tuleville toiminnoille niin, että ne

eivät vaikuta muuhun kokonaisrakenteeseen tai komponenttien konfigurointiin. Erisuuruisia tilavarauksia on esitetty kuvassa 26. (Kreimeyer, 2014)

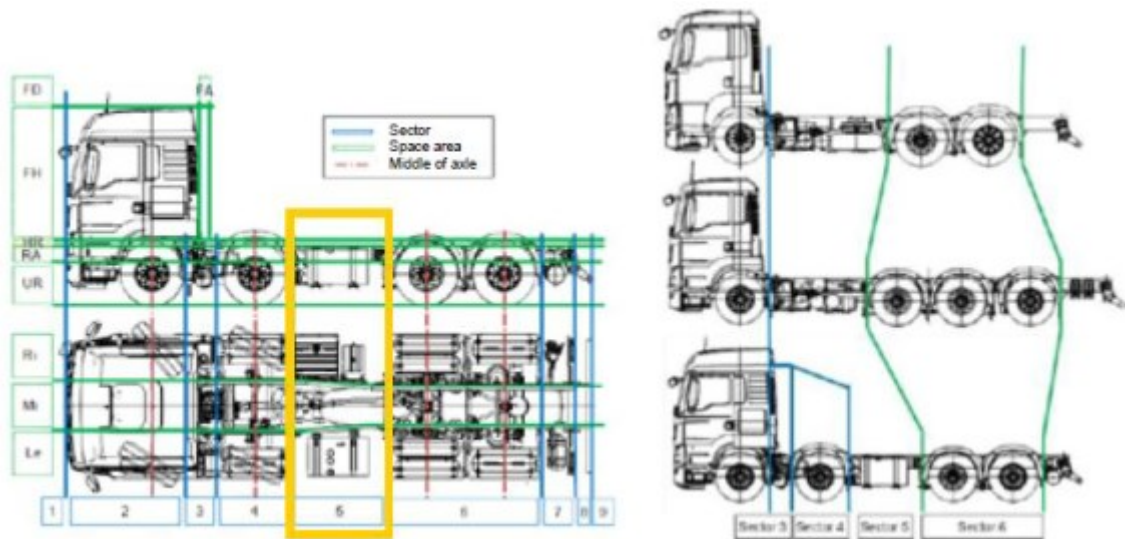


Kuva 26. Erisuuruiset ja asiakaskohtaiset tilavaraukset täytyy ottaa huomioon jo aikaisessa vaiheessa suunnittelua. (Kreimeyer, 2014)

Jotta asiakkaan konfiguroinnin ja erikoisosille varattujen tilojen aiheuttamasta varioinnista ja monimutkaisuudesta arkkitehtuuriin liittyen voidaan selvittää, MAN-yhtiön suunnitteluprosessissa toteutetaan ns. geneeristen kokonaisuuksien tilan hajottaminen, joka on olennainen osa MAN-yhtiön modulaarisen tuoteperheen hallintaa. Tässä mallissa ajoneuvo pilkotaan osiin ruudukkoja sisältävien tasojen avulla eri sektoreille kolmessa eri suunnassa (pituus, korkeus, leveys). Tämän perusteella nähdään eri elementtien vaatimat tilavaraukset ja käytettävissä olevat tilat. Tämän jaon ansiosta toimiva suunnittelu erilaisille arkkitehtuureille ajoneuvossa asiakkaan konfiguraatiosta riippuen voidaan tehdä jo alkuvaiheessa suunnittelua. (Förg 2014; Engbom 2016)

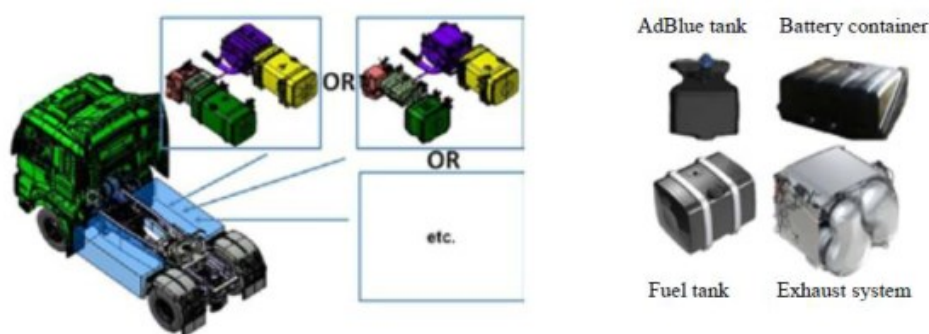
Ruudukossa sijaitsevat sektorit perustuvat aina olemassa oleviin elementteihin kuten esimerkiksi akseleihin, hyttiin ja sivurungon apulaitteisiin. Parametrisesti toteutetut ja rinnakkaisiksi mallinnetut tasot jakavat ajoneuvon pituuden yhdeksään eri sektoriin, joiden lukumäärä on riippuvainen käytettävän ajoneuvon perusmallista. Esimerkiksi akselimäärän pienentyessä myös käytössä olevien sektorien lukumäärä pienenee. Sektorijakoa on esitetty kuvassa 27. (Förg 2014; Engbom 2016)

Käytettävän tilanvarausmallin ansiosta kommunikointi yrityksen sisällä helpottuu ja yhdenmukaistuu, koska eri suunnitteluyksiköt yrityksen sisällä voivat luottaa pysyviin ja suojattuihin rajapintoihin, joka täten tehostaa modulaarisuudesta saatavaa hyötyä. (Kreimeyer 2014; Lahti 2017)



Kuva 27. Ajoneuvo jaetaan tuotteen hajotuksen kautta tilavarauksmallissa yhdeksään eri sektoriin. (Förg et al. 2014)

MAN-yhtiön ajoneuvoista yksi suurin variointiin liittyvä alue komponenttien määrässä ja järjestyksessä on löydettävissä etu- ja taka-akselien välisestä alueesta. Tämä alue voi sisältää konfigurointimäärityksistä riippuen erilaisia pakoputkijärjestelmään kuuluvia osia, akun, AbBlue-tankin, useamman polttoainetankin, vararenkaan sekä esimerkiksi ilmakompressorin. Kuvassa 28 näkyy ajoneuvon etuakselista taka-akselille lähtevät siniset läpinäkyvät laatikot eri puolilla ajoneuvoa. Niillä kuvataan sitä kokonaistilavarausta, jonka kyseinen tuotteen kohta vaatii ympärilleen, jotta jokainen siihen kohtaan toteutettavissa olevaksi määritelty erilaisesta komponenttikokonaisuudesta muodostuva variantti voidaan liittää tuotteeseen törmäysvapaasti varmuustoleranssit mukaan lukien. (Förg 2014; Engbom 2016; Lahti 2017)

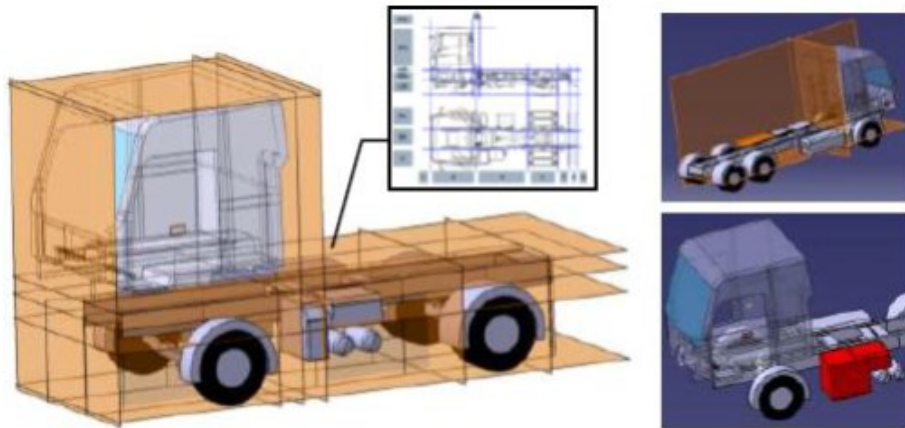


Kuva 28. Etu- ja taka-akselin välisessä tilassa voi toteutua runsaasti erilaisia, eri komponenteista koostuvia variaatioita, joiden kaikkien erilaisten komponenttimuunnelmien vaatima tila on huomioitu tilavarauksessa. (Förg 2014; Engbom 2016)

Toteutettaessa arkkitehtuuriin liittyvää suunnittelua, tarvitaan myös avustavia työkaluja ja malleja, mitkä mahdollistavat analyysien teon ja niiden arvioinnin mahdollisista vakiointimenetelmistä. MAN-tutkimus määrittelee nämä toiminnot kolmanneksi rakennesaksiksi. Vakiointien kautta haetaan pienempää variointia ajoneuvossa sekä itse sen

layoutissa. Tämän takia niiden kehitys ja suunnittelu pitää toteuttaa sen mukaan, että alun perin määritellyt ominaisuudet tuotteessa voidaan vielä toteuttaa vakiointien kanssa, mutta ottamalla samalla huomioon myös törmäysvapaan komponenttien liittämisen eri variantteihin tietyn vakiointimäärityksen ollessa voimassa. (Förg 2014; Engbom 2016)

Arkkitehtuurista vakiointimenetelmiä voidaan tutkia ja analysoida mm. Digital Mock-Up-työkalulla tietokoneavusteisesti, jota esitetään kuvassa 29 Siinä päätetyt vakioinnit liitetään tiettyyn haluttuun osaan tuotekokonaisuutta simulointia hyväksikäyttäen. Simuloinnin avulla voidaan nähdä, että ovatko kaikki mahdolliset variantit toteutettavissa kyseisen päätetyn vakiointitavan ollessa voimassa. Jos vakiointia ei voida kyseisellä tavalla toteuttaa, vakiointia on muutettava. Jos tämä ei ole mahdollista, selvityksen alla oleva kokonaisuus täytyy hyväksyä alueeksi, joka ei sisällä vakiointia. (Kreimeyer 2014; Engbom 2016)



Kuva 29. Digital Mock-Up-työkalu vakioinnin vaikutusten tarkasteluun (Kreimeyer, 2014)

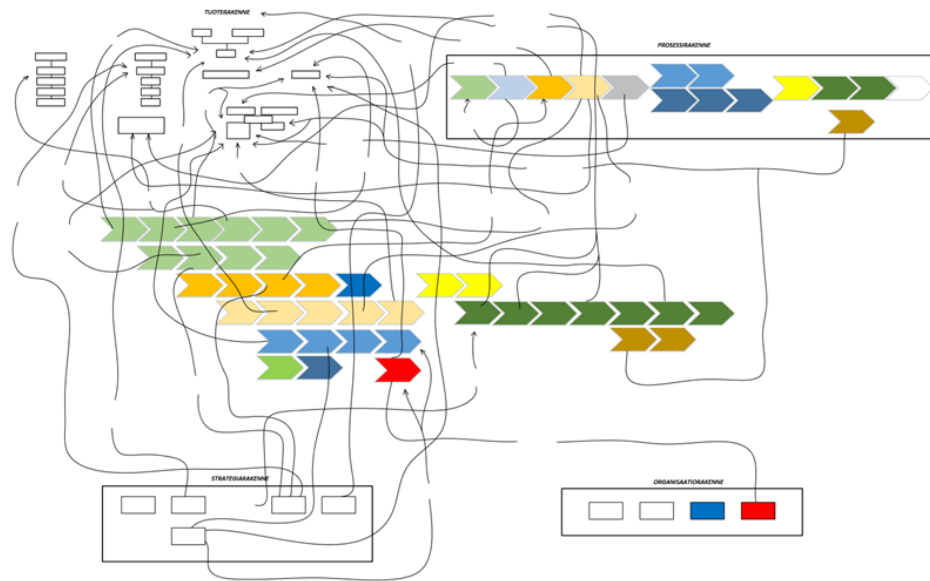
5. MODULAARISEN ARKKITEHTUURIN JA TILAVARAUSTEN SUUNNITTELU TYÖKONEEN TOIMILAITETASOLLE

Tässä osassa diplomityötä tarkastellaan suomalaiselle työkonevalmistajalle toteutettua modulaarisen arkkitehtuurin ja tilavarausten suunnittelua työkoneen toimilaitetasolle. Suunnittelussa käytetään Brownfield-prosessin vaiheita 1, 2, 3, 4 ja 7.

5.1 CSL-workshop

Modulaarisen arkkitehtuurin ja tilavarausten suunnittelun ensimmäisessä vaiheessa lähdettiin tarkastelemaan ympärillä vallitsevaa liiketoimintaympäristöä CSL-workshopin avulla. CSL-workshopin toteutus on ensimmäinen vaihe Brownfield-prosessia. CSL-workshopin kautta pystytään havainnoimaan samanaikaisesti useaa tuotteeseen eri elinkaaren vaiheissa vaikuttavaa asiaa. Tämän ansiosta tuoterakennejaosta pystytään tekemään sellainen, että se pystyy vastaamaan liiketoimintaympäristön vaatimuksiin. CSL-workshop-tilaisuutta lähdettiin järjestämään suomalaisessa työkoneita valmistavassa yrityksessä siten, että tilaisuuteen kutsuttiin kymmenen henkilöä eri puolilta yrityksen toimintoja (myynti, hankinta, suunnittelu, tuotanto, testaus ja toimitus), jotta saataisiin mahdollisimman tarkkaa ja luotettavaa informaatiota tuotteesta ja sen eri elinkaaren vaiheisiin liittyvistä toiminnoista. Tuotteeseen liittyvän informaation lisäksi CSL-workshopin tarkoitus on herättää myös keskustelua. Se voikin monesti johtaa sellaisen merkittävän hiltajaisen tiedon siirtymiseen eri osastojen välillä, mitä ei ehkä tietyssä osassa yritystä ole nähty merkitsevänä tietona toiselle osastolle.

CSL-workshop on hyvä järjestää sellaisessa tilassa, jossa liiketoimintaympäristöstä aiheutuvia vaatimuksia voidaan yhdessä tarkastella tilaisuuteen osallistuvien ihmisten kesken ja tätä kautta tuottaa tietoa tuoterakenteelle. Toimin itse tilaisuuden järjestäjänä ja kirjurina, mutta itse tilaisuuden veti läpi tohtoriopiskelija Janne Mämmelä TTY:ltä. Piirsimme Mämmelän kanssa ennen tilaisuuden alkua seinään kiinnitettyihin paperiarkkeihin etukäteen koostamani aihiot yrityksen strategiarakenteesta, organisaatorakenteesta, prosessirakenteesta ja arvoketjurakenteesta. Tuoterakennelaatikko jätettiin vielä tässä kohtaa tyhjäksi eli ns. mustaksi laatikoksi. Tämän jälkeen aloimme yhdessä paikalle kutsuttujen henkilöiden kanssa täydentämään rakenne- ja arvoketjurakenteita sen mukaan, mitä he näkivät tärkeiksi ottaa huomioon liittyen tuotteeseen ja sen eri elinkaaren vaiheissa toteuttaviin toimintoihin. Kun laatikot oli saatu täydennettyä kaikkia osapuolia tyydyttäväksi, aloimme yhdistää viivoja laatikoiden sisältämistä tekijöistä tuoterakenteeseen, luoden tuoterakennelaatikkoa kehittäviä yhteyksiä. CSL-workshopissa tuotettua karttaa on esitetty kuvassa 30.



Kuva 30. CSL-workshopin avulla toteutettu, liiketoimintaympäristön vaikutuksia tuoterakenteelle kuvaava kartta.

CSL-workshopin avulla saatiin paljon tietoa toimilaitetason tuoterakenteelle. Itse modulaarisen arkkitehtuuriin vaikuttavia asioita löytyi kohtalaisesti. Sen sijaan varsinkin toimilaitetason teräsrakenteeseen liittyviä ratkaisuja ja tuotteen eri elinvaiheissa toimintaa edesauttavia toimintamalleja tunnistettiin runsaasti. Toimilaitetaso haluttiin nähdä sellaisena työkoneen osarakenteena, jota voitaisiin kokonaisuutena käyttää sellaisenaan molemmissa työkoneille. Tämä oli täysin odotettavissa, koska toimilaitetason teräsrakenne on iso osa toimilaitetason kokonaisuutta, ja joka myös pitkälti osin määrittelee toteutettavissa olevaa toimilaitearkkitehtuuria.

Toteutetun CSL-workshopin avulla tunnistettiin paljon sellaisia tekijöitä, jotka toisivat hyötyä toimintaan, jos toimilaitetaso kokonaisuutena saataisiin modulaariseksi (sama rakenne eri malleihin). Nämä saadut hyödyt on myös yleisesti tunnistettu modulointia toteutettaessa kohteesta riippumatta:

- Kustannusmäärien väheneminen ja tuotehallittavuuden parantuminen, koska erilaiset rakenne-, toimilaitte-, komponentti- ja nimikemäärät vähenisivät
- Testirakenne toimilaitetasolle voitaisiin toteuttaa modulaarisesti toimilaitetason osalta. Voittaisiin valita vain käytössä olevat optiot ja koostaa testi niiden mukaan. Tämän ansiosta mahdollisia häiriötekijöitä testaukseen liittyen poistuisi. Myös testaukseen kuluva aikaa voitaisiin arvioida tarkemmin.
- Tuotteen koulutusrakenne voisi muuttua modulaariseksi
- Erilaisten päivityksien (retrofit) toteutus tuotteessa voitaisiin saada erittäin toimivaksi vakiorajapintojen avulla
- Tuotteen automatisointi voitaisiin toteuttaa nykyistä helpommin ja se voisi olla myös mahdollisesti modulaarinen

- Suunnittelulla olisi jo etukäteen tiedossa toimilaitetason eri toimilaitteiden vaati-
mat tilavaraukset
- Modulaarisen toimilaitetason ansioista toiminnan ennustettavuus eri vaiheissa
(mm. hankinta, tuotanto, ostot) paranisi ja esivalmistelu olisi mahdollista. Varsin-
kin kapasiteettisuunnitelman tekeminen helpottuisi.
- Moduloinnin kautta käytettävien kokonaisuuksien, toimilaitteiden ja komponent-
tien laatu paranisi, jos ne olisivat aina samoja. Myös samanlaisissa käytettävissä
komponenteissa epäkohdat voitaisiin tunnistaa helpommin.
- Tuotteen läpimenoaika paranisi. Toiminta vakiintuisi eri vaiheissa ja sitä olisi hel-
pompimpi esivalmistella.
- Modulaarisen rakenteen ansioista olisi mahdollisuus tulevaisuudessa vastata hy-
vällä reagoitakyvyllä äkkiäisiin toimituskyselyihin paljon paremmin kuin nyky-
ään. Lisäksi sitoutunut pääoma saataisiin nopeammin kiertämään.
- Erilaisten käytössä olevien rakenteiden, toimilaitteiden ja komponenttien määrä
vähentyisi
- Toimittajien määrä vähenisi. Toimittajat näkevät yhteistyön arvokkaampana,
koska samalta toimittajalta voidaan tilata enemmän samanlaisia osia hankintavo-
lyymien kasvaessa. Komponenttien ja osien toimitukseen liittyvät sopimukset
voisivat parantua.
- Varaston arvon pieneneminen ja sitoutuneen pääoman väheneminen (tätä kautta)
- Varaston kierto nopeus paranisi
- Projektikohtaisen suunnitteluun käytettävä aika vähenisi sekä muihin vaiheisiin
liittyviä resursseja voitaisiin minimoida
- Selvät konfigurointisäännöt parantaisivat myynnin ja suunnittelun välistä toimin-
taa
- Työkoneen valmistuksen ja huollettavuuden turvallisuuden paraneminen
- Dokumentaatio yhdenmukaistuisi toimilaitetason osalta
- Koneen käyttöaste asiakkaalla paranisi helpomman huollettavuuden ansiosta
- Tarkkojen konfigurointisääntöjen olemassaolo helpottaa myynnin toteutusta ja
päätökset on helpompia jalkauttaa suunnitteluun
- Mahdollistaa selkeiden modulaaristen kokonaisuuksien tuottamisen alihankki-
jalla.

Suoraan sellaisesta tuotteen rakenteesta, jolla huomattiin olevan etua tuova yhteys liike-
toimintaan, tuli ilmi seuraavat konkreettiset tekijät:

- Toimilaitetasolle pitäisi olla nykyistä helpompi päästä ja komponenttien huollet-
tavuutta pitäisi pystyä parantamaan uudessa rakenteessa
- Osittain konfiguroituva modulaarinen tuoterakenne
- Toimilaitetasoihin pitäisi saada mahdollisimman paljon samoja rakenteita ja toi-
milaitteita, jotka voitaisiin nähdä vakiokokoonpanoina tuotteessa tuoteperheestä
tai mallista riippumatta. Varsinkin toimilaitetason teräsrakenne on pullonkaula

valmistuksessa, koska tuoteperheiden teräsrakenteet eroavat toisistaan. Niihin joudutaan myös tekemään paljon erilaisia asiakaskohtaisia muuttuvia korvauksia, ne sisältävät paljon tarkkuutta vaativaa koneistusta sekä johdotuksille joudutaan toteuttamaan läpivientejä rakenteessa.

- Toleranssit teräsrakenteelle pitäisi varmistaa aikaisemmassa vaiheessa. Kun nykyään teräsrakenteelle määritetään toleranssit, niin se edellyttää koko rakenteen viemisen koneistuskeskukseen.
- Asiakaskohtainen räätälöinti pitäisi saada minimiin teräsrakenteessa, komponenteissa ja osissa
- Uudesta arkkitehtuurista pitäisi löytyä ennakoitu tilavaraus mahdollisille uusille toimilaitteille tai teknologialle.
- Toimilaitetason rakenteessa on otettava huomioon huoltotasot
- Toimilaitetason arkkitehtuurin pitäisi pystyä toteuttamaan kaikki erilaiset voimantuottovaihtoehdot.

5.2 Asiakasvaatimukset ja omasta toiminnasta tulevat vaatimukset

Tässä vaiheessa modulaarisen arkkitehtuurin ja tilavarausten suunnittelua työkoneen toimilaitetasolle on saatu hieman ääriarvoja modulaariselle toimilaitetason tuoterakenteelle. Ennen lopullista tuoterakennejakoa täytyy rakenne- ja osituspäätöstä tukea kuitenkin vielä asiakasrajapinnasta tulevilla vaatimuksilla tai oikeastaan havaituilla parannusehdotuksilla liittyen nykytuotteeseen. Johtuen siitä, että nykyiset tuoteperheet ovat jo olemassa, ei niinkään keskitytä asiakkailta tuleviin työkoneiden fyysiseen toimintaan liittyviin vaatimuksiin. Nämä vaatimukset on aiemmin jo tunnistettu ja toteutettu yrityksessä suunnittelun ja tuotekehityksen puolesta. Sen sijaan tämän työn yhteydessä tarkasteltiin asiakkaiden tuottamaa palautetta liittyen työkoneissa toteutettuihin rakenteellisiin ratkaisuihin, jotka on hyvä ottaa samalla huomioon, kun toimilaitetason arkkitehtuuria suunnitellaan. Asiakaspalautetta tutkimalla tunnistettiin mm. seuraavat muutosehdotukset:

- Nykyisissä työkoneissa eri kohdin toimilaitetasoa sähkökaapelit on vedetty sellaisia reittejä pitkin, että ne hierovat esillä olevia pultteja ja sähköjohdot kuluvat helposti rikki
- Tietyissä voimantuottototeutuksissa moottorien polttoaineletkut on reititetty menemään lähellä pakoputkea
- Johdotusreitit ovat liian lähellä generaattorin tuulettimen verkkoa. Johdot haurastuvat ajan kuluessa.

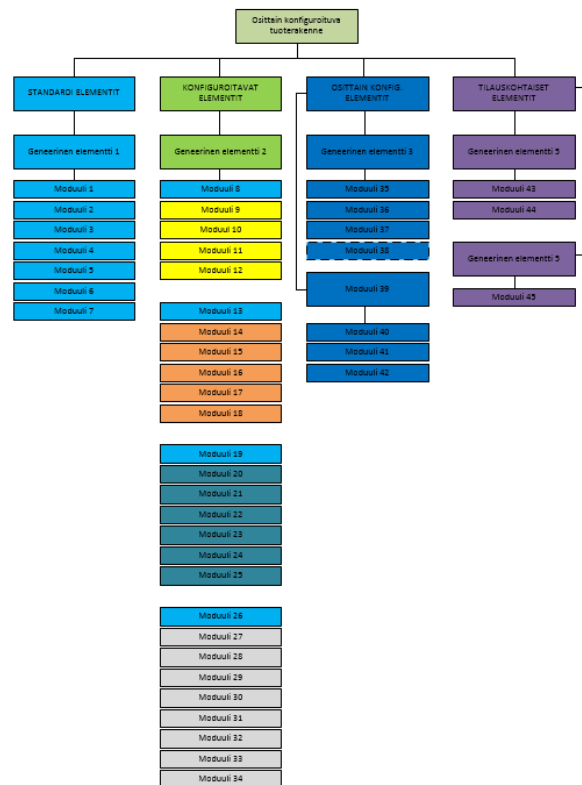
Omasta toiminnasta tulevat vaatimukset:

- Toimilaitetason kokoaminen toimilaitteineen pitää saada optimoitua paremmaksi, koska tuotannossa myös toimilaitetason kokoaminen on pullonkaula.

- Nykyisessä toimilaitetasossa sijaitsee ns. keskipalkit, joiden yli joudutaan toimilaitetasolla kulkemaan ja joita joudutaan koneistamaan erilaisten korvakkeiden ja johtojen läpivetojen takia. Nämä keskipalkit olisi hyvä saada sivuille toimilaitetasolla.
- Hydrauliikkakokonaisuus (hydrauliikkapumppu, hydrauliikkalohkot ja hydrauliikkasäiliö) olisi hyvä suunnitella pienempään tilaan mahtuvaksi.
- Toimilaitetasolla kulkevat johdotukset olisi hyvä saada kulkemaan lattiassa eräänlaisessa välitilassa. Toimilaitteelta lähtevät johdotukset lähtisivät aina toimilaitteen pohjasta välitilaan.

5.3 Tuoterakennejako generisiin elementteihin (toimilaitetaso)

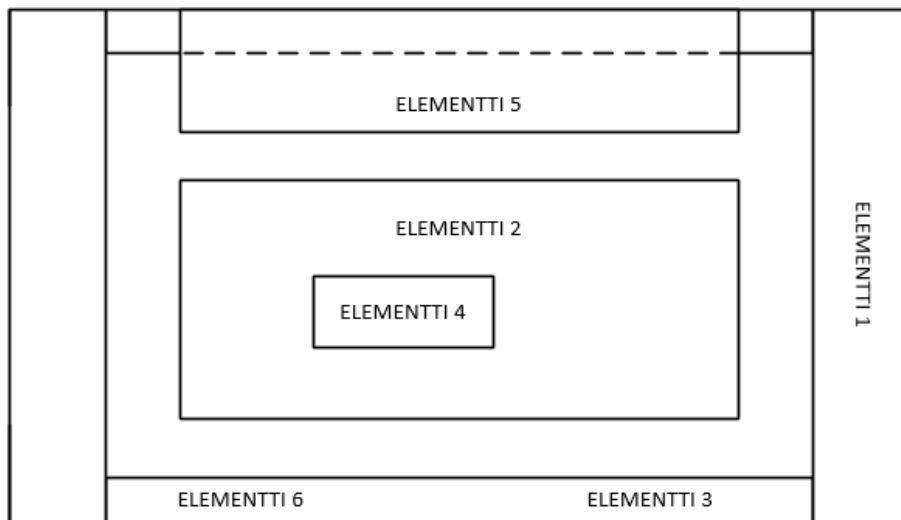
Suunnittelu työkoneen toimilaitetason modulaarisen arkkitehtuurin ja tilavarausten suhteen on edennyt tässä vaiheessa siihen pisteeseen, että tuoterakenteeseen vaikuttavat asiat on tunnistettu liiketoimintaympäristöstä tehdyllä analyysillä ja asiakkailta saaduilla parannusehdotuksilla. Lisäksi yrityksen omasta toiminnasta tulevat vaatimukset tuotteelle on selvitetty. Näiden tietojen perusteella toteutettiin geneerinen elementtijako, joka määritteli itsessään jo tuoterakennejakoa, kuva 31.



Kuva 31. Työkoneen toimilaitetason geneerinen elementtijako.

5.3.1 Geneeristen elementtien väliset rajapinnat

Ennen kuin toimilaitetason tarkempaa arkkitehtuuria lähdettiin toteuttamaan, luonnosteltiin karkea kuvaus tulevasta toimilaitetason arkkitehtuurista. Karkeasta arkkitehtuurista selviää geneeristen elementtien fyysinen sijainti toimilaitetasolla. Tämä on tärkeä, koska tämän avulla voidaan alustavasti tarkastella tulevassa toteutuksessa olemassa olevia rajapintoja ja niiden sijainteja, koska niitä täytyy pystyä ylläpitämään. Tämä aiheuttaa sen, että geneeriset elementit, joilla on rajapintoja toisiin generiisiin elementteihin, täytyy pystyä tunnistamaan myöhemmässä vaiheessa toteutettavan tarkemman arkkitehtuurin kannalta. Toimilaitetason arkkitehtuurin karkea kuvaus esitetään kuvassa 32.



Kuva 32. Geneeristen elementtien karkea arkkitehtuuri.

Geneeristen elementtien välillä olemassa olevia riippuvuuksia, ja tätä kautta olemassa olevia rajapintoja, tunnistettiin DSM-matriisien avulla. Matriiseissa tarkasteltiin mekaanisia-, sähköisiä- ja hydraulisia riippuvuussuhteita. Tarkastelu toi arvokasta tietoa arkkitehtuurin toteutukseen sekä tulevaan rajapintasunnitteluun. DSM- matriisit on esitetty kuvissa 33, 34 ja 35.

Mekaaninen riippuvuus	GENEERINEN ELEMENTTI 1	GENEERINEN ELEMENTTI 2	GENEERINEN ELEMENTTI 3	GENEERINEN ELEMENTTI 4	GENEERINEN ELEMENTTI 5	GENEERINEN ELEMENTTI 6
	GENEERINEN ELEMENTTI 1					
GENEERINEN ELEMENTTI 2	●					
GENEERINEN ELEMENTTI 3	●					
GENEERINEN ELEMENTTI 4		●				
GENEERINEN ELEMENTTI 5	●					
GENEERINEN ELEMENTTI 6	●		●			

Kuva 33. Geneeristen elementtien mekaaninen riippuvuus.

Sähköinen riippuvuus	GENEERINEN ELEMENTTI 1	GENEERINEN ELEMENTTI 2	GENEERINEN ELEMENTTI 3	GENEERINEN ELEMENTTI 4	GENEERINEN ELEMENTTI 5	GENEERINEN ELEMENTTI 6
	GENEERINEN ELEMENTTI 1					
GENEERINEN ELEMENTTI 2	●					
GENEERINEN ELEMENTTI 3		●				
GENEERINEN ELEMENTTI 4	●		●			
GENEERINEN ELEMENTTI 5	●	●	●	●		
GENEERINEN ELEMENTTI 6						

Kuva 34. Geneeristen elementtien sähköinen riippuvuus.

Hydraulinen riippuvuus	GENEERINEN ELEMENTTI 1	GENEERINEN ELEMENTTI 2	GENEERINEN ELEMENTTI 3	GENEERINEN ELEMENTTI 4	GENEERINEN ELEMENTTI 5	GENEERINEN ELEMENTTI 6
	GENEERINEN ELEMENTTI 1					
GENEERINEN ELEMENTTI 2	●					
GENEERINEN ELEMENTTI 3		●				
GENEERINEN ELEMENTTI 4						
GENEERINEN ELEMENTTI 5	●					
GENEERINEN ELEMENTTI 6						

Kuva 35. Geneeristen elementtien hydraulinen riippuvuus.

5.4 Työkoneen toimilaitetason arkkitehtuuri ja tilavaraukset

5.4.1 Pohjapiirrossuunnittelu

Seuraavassa vaiheessa lähdettiin toteuttamaan toimilaitetason tarkempaan arkkitehtuuriin liittyvää suunnittelua. Tähän vaiheeseen mennessä geneerinen elementtijako oli tehty vastaamaan liiketoimintaympäristöstä, asiakasympäristöstä sekä yrityksen omasta toiminnasta tuleviin vaatimuksiin. Näiden lisäksi myös geneeristen elementtien alustavaa arkkitehtuuria ja elementtien välillä vallitsevia rajapintoja oli saatu selvennettyä. Ensimmäinen tehtävä tarkemman arkkitehtuurin suunnittelussa oli toimilaitteiden layoutin eli tarikan pohjapiirroksen suunnitteleminen geneeristen elementtien sisältämille moduuleille (toimilaitteille). Toimilaitteille määritettiin vakiona pysyvät sijoituspaikat toimilaitetasolle, jotta tuotteen erilaisesta konfiguroinnista aiheutuva variointi toteutuu siellä missä sen on määrätty toteutua. Ennen kun toimilaitteiden pohjapiirrossuunnitelmaa alettiin tehdä, pitää toimilaitetason layouttiin liittyvät vaatimukset määritellä:

- Hydrauliikkapumppu pitää sijaita lähellä hydrauliikkasäiliötä
- Hydrauliikkakokonaisuus (hydrauliikkalohkot, -pumppu ja -säiliö) pitäisi siitä lähtevän melun takia sijoittaa toimilaitetason sivulle
- Dieselin apusäiliö toimilaitetasolla pitäisi sijaita samalla puolella toimilaitetasoa kuin polttoainesäiliö rungossa (oikealla)
- Voimantuottoyksikköä pitää siirtää kesemmälle ja eteenpäin toimilaitetasolla, jotta sen huollettavuus paranee
- Kun koneessa toteutetaan yleisimmän konfiguraation voimantuotto, niin huoltaminen täytyy pystyä tekemään molemmilta puolilta voimantuottoyksikköä
- 24 V käynnistysakustopakettin on hyvä sijaita lähellä voimantuotto- ja sähköyksikköä.
- Jäähdytyksen kannalta akkujäähdytin ja akut on hyvä sijaita lähekkäin
- Automaatioon liittyvät toimilaitteet pitäisi sijoittaa mahdollisimman keskelle toimilaitetasoa.

Edellä mainitut vaatimukset huomioon ottaen toimilaitetason arkkitehtuuria alettiin mallintaa Catia V5 3D -suunnitteluohjelmaa apuna käyttäen. Toimilaitetason uudenlaista teräsrakennetta, jossa tason keskeisten palkkien sijaintia oli muutettu, oli jo yrityksessä konseptitasolla mallinnettu. Tämä otettiin arkkitehtuurin mallinnuksen perustaksi, jonka päälle alettiin suunnitella parasta ja optimaalisinta toimilaitetason toimilaitteiden pohjapiirrosta. Toimilaitetason kaikissa mahdollisissa eri malleissa vaikuttavat toimilaitteet mallinnettiin erikseen hyvin karkealla tasolla ilman tarkempia yksityiskohtia. Tilavarauksia voitaisiin mallintaa vielä yksinkertaisemminkin, mutta tilavarauksista tehtiin tarkoituksella toimilaitteiden näköisiä, että ne olisivat nopeasti tunnistettavissa, kun ratkaisuja esiteltäisiin yrityksessä. Tämän jälkeen niitä alettiin lisätä kokoonpanokuvaan, jotta nähtäisiin millaisia tiloja toimilaitetasolla olisi käytössä eri pohjapiirrossvaihtoehdoissa sekä millaisia erilaisia tilavarauksia eri toimilaitteet vaativat. Toimilaitteiden mittoja otettiin

paikan päällä olevasta prototyypistä ja jo aiemmin yrityksessä tehdyistä eri työkonemallien tarkoista 3D-kuvista.

5.4.2 Moduulien tilavaraukset ja rajapinnat

Arkkitehtuuri oli nyt saatu määriteltyä sellaiseksi, että se täyttää parhain mahdollisin tavoin toimilaitetason arkkitehtuurille asetetut tavoitteet ja vaatimukset. Konseptitason suunnittelua päätettiin myös jatkaa tehdyillä päätöksillä toimilaitetason pohjapiirustukseen liittyen, vaikka mekaanisesta suunnittelusta vastaava ryhmä löysi paljon huomion arvoisia asioita sen toteutuksesta. Toimilaitetason teräsrakenne sisältäen tietyt toimilaitteet on määritelty tässä työssä ns. vakiona pysyväksi kokonaisuudeksi, johon liitetään jo olemassa olevilla rajapinnoilla esimerkiksi sähköyksikkö. Tästä johtuen niiden mekaanisia rajapintoja ei aleta tässä työssä tarkemmin tarkastelemaan. Mekaanisia rajapintoja ja tilavarauksia tarkastellaan tarkemmin liittyen kokonaisuuteen, joka sisältää voimantuottoyksikön ja voimantuottoyksiköstä aiheutuvat kaikki mahdolliset toimilaitteet. Rajapinnat (mekaaninen, sähköinen, hydraulinen) koko toimilaitetason osalta tunnistetaan kuitenkin olemassa olevaksi käyttäen apuna DSM- matriiseja. Olemassa olevat rajapinnat on parhain mahdollisin tavoin tunnistettava, koska ne voivat vielä vaikuttaa tulevaan arkkitehtuuriin.

Kokonaisuus, johon kuuluu voimantuottoyksikkö ja voimantuotosta riippuvat toimilaitteet, tuodaan erillisenä osakokoonpanona toimilaitetasolle. Suuren kokonaisuuden tuominen toimilaitetasolle vaatii sen, että kokonaisuuden muodostavat toimilaitteet tarvitsevat erillisen apurungon, johon toimilaitteille määritellään kullekin vakiona pysyvät asennuspaikat tilavarauksineen ja muutoksen pysäytysvyöhykkeineen. Tämä apurunko tuodaan toimilaitetasolle, kun se on ensin osakokoonpantu valmistettavan koneen konfiguraation mukaisesti. Apurunko pysyy ulospäin muuttumattomana vakiokokonaisuutena ja se yhdistyy vakiona pysyvien rajapintojen avulla muuhun rakenteeseen. Tässä työssä ei lähdetty suunnittelemaan sähköisten ja hydraulisten rajapintojen tarkkoja sijainteja ja toteutusta. Niitä kuitenkin tarkasteltiin sillä tasolla, että toimilaitetasolle tuotavan voimantuotto- ja apulaitekokonaisuuden sisältämien toimilaitteiden väliset sähköiset ja hydrauliset viennit toteutettaisiin jo sen osakokoonpanossa. Loput sähköiset ja hydrauliset viennit muun toimilaitetason toimilaitteilta tuotaisiin moduulikokonaisuuteen sitten, kun moduulikokonaisuus on mekaanisesti asennettu toimilaitetasolle.

Ennen kuin apurunkoa, sen rajapintoja ja sen sisälle määritettyjä tilavarauksia aletaan tarkastelemaan, selvitetään eri moduulien välillä vallitsevat rajapinnat (mekaaninen, sähköinen, ja hydraulinen) koko toimilaitetason osalta.

Mekaaniset, sähköiset, ja hydrauliset rajapinnat eri toimilaitteiden ja komponenttien välillä on esitetty kuvissa 36, 37 ja 38.

Hydraulinen	= Ei voi sisältää rajapintaa		= rajapinta on olemassa		= ei rajapintaa	
	Geneerinen elementti 1	Geneerinen elementti 2	Geneerinen elementti 3	Geneerinen elementti 4	Geneerinen elementti 5	Geneerinen elementti 6
	Moduuli 1	Moduuli 2	Moduuli 3	Moduuli 4	Moduuli 5	Moduuli 6
Geneerinen elementti 1	■					
Moduuli 1	■					
Moduuli 2	■	■				
Moduuli 3	■	■	■			
Moduuli 4	■	■	■	■		
Moduuli 5	■	■	■	■	■	
Moduuli 6	■	■	■	■	■	■
Moduuli 7	■	■	■	■	■	■
Geneerinen elementti 2						
Moduuli 8						
Moduuli 9			■	■	■	■
Moduuli 10			■	■	■	■
Moduuli 11			■	■	■	■
Moduuli 12			■	■	■	■
Moduuli 13			■	■	■	■
Moduuli 14			■	■	■	■
Moduuli 15			■	■	■	■
Moduuli 16			■	■	■	■
Moduuli 17			■	■	■	■
Moduuli 18			■	■	■	■
Moduuli 19			■	■	■	■
Moduuli 20			■	■	■	■
Moduuli 21			■	■	■	■
Geneerinen elementti 3						
Moduuli 22						
Moduuli 23						
Moduuli 24						
Moduuli 25						
Geneerinen elementti 4						
Moduuli 26						
Moduuli 27						
Moduuli 28						
Geneerinen elementti 5						
Moduuli 29						
Moduuli 30						
Geneerinen elementti 6						
Moduuli 31						

Kuva 38. Toimilaitetason hydrauliset rajapinnat DSM-matriisissa.

5.4.3 Toimilaitetason apurungon mekaaniset rajapinnat ja tilavaraukset

Apurungon mitoitusta ei suunnittelun aikana lähdetty laskemaan tarkasti lujuudeltaan ja kooltaan oikeaksi. Johtuen siitä, että työssä on jouduttu tekemään jo muutenkin paljon olettamuksia, tehtiin apurungosta arvio lähinnä sen vaatiman tilan kautta. Apurunko mitoitettiin mallinnuksessa kooltaan tarvittavaa järeämmäksi ja isommaksi, niin että se varmasti pystyisi kantamaan siihen tuotavan toimilaittekokonaisuuden. Apurungon vaatiman tilan ylimitoitus takaisi sen, että jos kooltaan ylimitoitettu apurunko voidaan tuoda osaksi toimilaitetason kokonaisuutta, voidaan samaan tilaan sijoittaa myös kevyempi apurunko. Tässä konseptitason mallissa apurunko koostuu teräspalkeista, joista on hitsattu kehikko.

Apurunko kiinnitetään toimilaitetasolle pultaamalla se kiinni vakiona pysyviin sijainteihin toimilaitetasossa, jossa sijaitsevat tilavaraukset apurungolle ja toimilaitetason teräsrakenteen ja apurungon välinen rajapinta.

Toimilaitetason apurunko kiinnittyy toimilaitetason etupäässä samoin kuin takapäässä, mutta apurungon kiinnitysalueet/tilavaraukset teräsrakenteessa sijaitsevat peilikuvana etupään päätypalkissa takapään päätypalkkiin nähden. Toimilaitetason teräsrakenteen päätypalkit pitää suunnitella sellaisiksi, että apurunko on mahdollista tuoda toimilaitetasolle jälkikäteen. Jos yritys ei tulevaisuudessa pysty toteuttamaan toimilaitetason teräsrakenteesta täysin vakiona pysyvää kokonaisuutta, niin apurunko voidaan saada helpommin ns. elämään samassa suhteessa toimilaitetason teräsrakenteen päätypalkkien etäisyyden vaihteluiden mukana, kuin järeät ja koneistettavat teräsrakennepalkit nykyisessä sijainnissaan. Toimilaitteille tarkoitettu apurungon keskialue pysyy vakiona aina, mutta apurungon pituutta voitaisiin säätää parametrinen modulaarisuuden avulla apurungon päädyistä, jotka kiinnittyvät päätypalkkeihin teräsrakenteessa. Jos toimilaitetasolle tulevaisuudessa suunnitellaan usea eri kokoinen teräsrakennemuoduli, niin silloin taas apurungosta olisi myös olemassa monia eri kokoisia moduuleja.

Keskeltä apurunko kiinnittyy toimilaitetason teräsrakenteessa sijaitseviin keskitukiin, joissa myös sijaitsevat niille etukäteen määritetyt tilavaraukset. Apurungon alapinnan ja teräsrakenteen keskitukien väliin jätettiin 150 mm korkea tila. Tämä tila toimii tässä konseptissa lattiassa sijaitsevana välitilana, jonka kautta erilaiset johdot, letkut ja putket voidaan kuljettaa hyvässä suojassa eri puolille toimilaitetasoa.

5.4.4 Voimantuotto- ja apulaitealueen rajapinnat ja tilavaraukset apurungon päällä

Voimantuottoyksikkö on upotettu apurungon sisään ja sen pohja tulee samalla tasolle, kun apurungon alaosa. Tämän ansiosta korkeahkoa toimilaitetta voidaan tuoda alemmas. Sähkö- ja hydraulikkajohdot lähtevät voimantuottoelementin alapuolelta suoraan alas johtojen reititykselle tarkoitettuun lattian välitilaan, jota pitkin ne kulkevat niille määritettyihin toimilaitteisiin toimilaitetasolla. Johdoille ja letkuille tarkoitettua tilavarausta käsitellään tässä työssä myöhemmin.

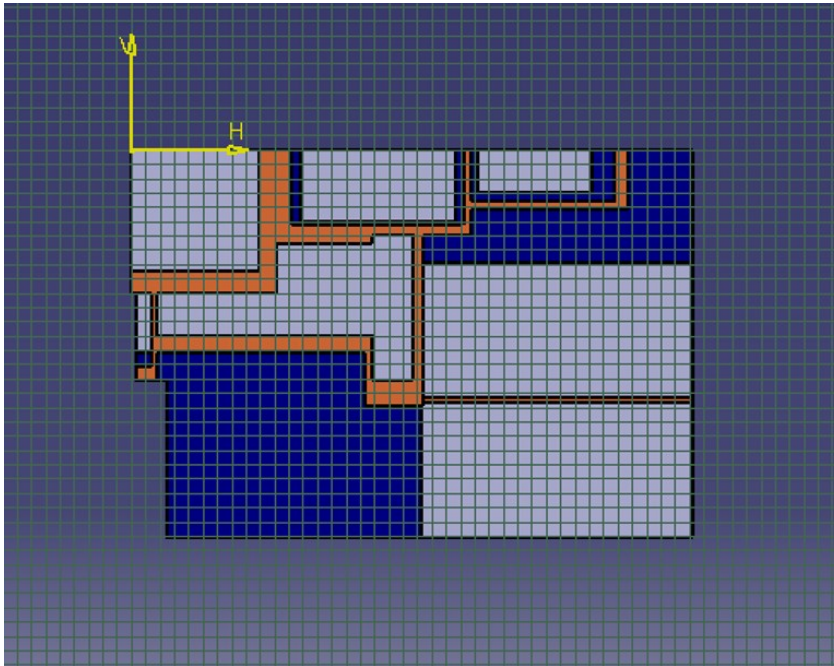
Lukuun ottamatta harvinaisina konfiguraatioina esiintyviä malleja, voimantuottoa on tietyissä rajoissa mahdollista tuoda keskemälle toimilaitetasolla. Tämä mahdollistaa paremman kulkutilan reunasta toimilaitetason takaosaan sekä paremman huollettavuuden voimantuotolle isomman huoltotilan ansiosta. Tietyissä harvoin toteutettavissa malleissa tämä ei ole mahdollista, koska ylimääräisen akun tilavaraus estää sen. Hydraulikkakokonaisuus sijoitetaan apurungolle siten, että alimmaisena on hydraulikkasäiliö, jonka päällä sijaitsevat hydraulikkalohkot ja hydraulikkapumppu. Jäähdytin ja pienempi sähkökaappi sijoitetaan apurungon päälle siten, että on mahdollista viedä niistä lähtevät sähkö- ja hydraulikkajohdot suoraan alapuolella sijaitsevaan johdotuksen välitilaan.

Tuotteissa toteuttavan automaation määrä vaihtelee paljon. Automaatiokokonaisuus kiinnitetään myös apurungon päälle ja automaation toimilaitteista lähtevät johdot viedään lattian välitilaan.

5.4.5 Muutoksen pysäytysvyöhykkeet apurungolla sijaitsevien toimilaitteiden tilavarausten välillä

Toimilaitetasolle sijoitettavan apurungon sisältämien toimilaitteiden mekaaninen sijoitus apurunkoon sekä niiden vaatimat tilavaraukset on nyt esitelty. Ennen kuin johdotuksiin, putkiin ja letkuihin liittyviä tilavarauksia esitellään, esitetään työssä apurungon sisältämien toimilaitteiden väleihin sijoitettuja muutoksen pysäytysvyöhykkeitä. Jokaiselle 3D-mallinnetulle toimilaitteelle apurungon sisällä on kuvattu kaksiulotteinen tilavaraus, jonka kyseinen toimilaite vaatii, jotta se voidaan sijoittaa apurungolle. Kaksiulotteisia tilavarauksia voidaan hyvin tässä tilanteessa käyttää, koska toimilaitteiden läpileikkaus ei muutu ylöspäin mentäessä missään kohtaa suuremmaksi, kun toimilaitteen pohjan läpileikkaus.

Nämä kaksiulotteiset tilavaraukset eivät koskaan kohtaa toisiaan ja tämän ansioista toimilaitteita voidaan ajatella täysin itsenäisinä kokonaisuuksina, koska vierekkäisen toimilaitteen mahdollinen muuttuminen ei yllä toiseen tilavaraukseen. Tämä muutoksen vaikutus estetään muutoksen pysäytysvyöhykkeillä, jotka erottavat tilavaraukset toisistaan. Toimilaitteiden kaksiulotteiset tilavaraukset ja muutoksen pysäytysvyöhykkeet esitetään kuvassa 39.



Kuva 39. Muutoksen pysäytysvyöhykkeet eri toimilaitteiden välillä sekä toimilaitteiden kaksiulotteiset tilavaraukset.

Muutoksen pysäytysvyöhykkeet on esitetty kuvassa 39 oranssilla ja toimilaitteiden vaatimat tilavaraukset harmaalla. Jos harmaan toimilaitteen tilavarausta kuvaavan alueen ja oranssin muutoksen pysäytysvyöhykkeen väliin jää sinistä aluetta, voidaan toimilaitteelle varattua harmaata aluetta liikuttaa tarvittaessa sinisen alueen määrittämässä rajoissa.

5.4.6 Johtojen, letkujen ja putkien tilavaraukset

Kuten aikaisemmin jo esitettiin, eri toimilaitteille viedyt sähköjohdot liittyvät toimilaitteeseen aina alapuolelta. Johdot kulkevat eri puolille toimilaitetasoa niille varatussa lattian välitilassa riippuen konfiguraation toteutuksesta.

Sähköjohdoista poiketen hydraulikkaletkut eivät lähde hydraulikkakokonaisuudesta kokonaisuuden alapuolelta johtuen siitä, että alimmaisena osana kokonaisuutta on hydraulisäiliö. Hydraulikkajohdot lähtevät säiliön päälle sijoitetusta pumpusta ja hydraulikkalohkosta pitkin hydraulikkakokonaisuuden vierustaa alas johdotuksen välitilaan. Muissa toimilaitteissa myös hydraulikan vienti tapahtuu kuten sähköissäkin eli alakautta.

Sähköjohdotuksiin liittyvä ahtain kohta on sijainnissa, jossa lattian välitilassa kulkevat johdot yhtyvät pienemmäksi kimpuksi, ja menevät sähkökytkentäkaapin sisään. Tila on kuitenkin läpileikkaukseltaan suurempi, kuin nykyisissä työkoneissalaitteissa, joissa toimilaitetason johdot kasaantuvat samalla tavoin eri puolilta toimilaitetasoa.

6. TULOKSET

Työn lopputuloksena saatiin suunniteltua ja toteutettua työkoneen vakiona pysyväksi oletettuun teräsrakenteeseen tuotava kokonaisuus, jonka sisällä voitaisiin toteuttaa eri työkonemallien vaatimat toimilaittekokonaisuudet. Toimilaitteiden varioinnilla kokonaisuuden sisällä ei ole mekaanista vaikutusta ympäristöön, jolloin toimilaitetasolle tuotava kokonaisuus voidaan mekaanisen kiinnityksen kautta myös olettaa vakiona pysyväksi kokonaisuudeksi. Eri toimilaitteille on kokonaisuuden sisällä määritetyt, vakiona pysyvät tilavaraukset, joita voidaan joidenkin toimilaitteiden kohdalla siirtää määritetyissä rajoissa. Tilavaraukset eri toimilaitteille eivät koskaan kohtaa toisiaan johtuen siitä, että ne on eristetty toisistaan muutoksen pysäytysvyöhykkeillä. Tämä estää mahdollisen toimilaitteen muutoksen vaikutuksen leviämistä toisiin tilavarauksiin ja tätä kautta myös muihin toimilaitteisiin. Toimilaitteet voidaan täten nähdä kokonaisuuden sisällä itsenäisinä yksikköinä, joita voidaan turvallisesti muuttaa, jos tarvetta siihen ilmenee.

Myös kokonaisuuden vaatimaa leveys- ja pituussuuntaista tilavarausta toimilaitetasolla tarkasteltiin mitoittamalla kokonaisuuden tarvitsema apurunko tarkoituksellisesti ylijäreäksi. Apurungon todettiin olevan koon puolesta mahdollista sijoittaa toimilaitetasolle, joten myös kokonaisuuden vaatimaa kevyempi tukirunko voitaisiin tuoda tasolle. Kokonaisuuden korkeussuuntaista tilavarausta pienennettiin upottamalla korkeimmat toimilaitteet mahdollisimman alas apurunkoon nähden. Toimilaitetasolle tuotavan kokonaisuuden alla sijaitsee johdotuksille, letkuille ja putkille varattu tilavaraus, jonka sisällä nämä voidaan viedä määränpäähän, siten että ne ovat hyvin suojassa. Myös tämä tilavaraus mitoitetiin tahallisesti tarpeettoman korkeaksi. Johtojen, letkujen ja putkien tilavarausten korkeudesta ja ylimitoitetusta tuesta johtuen lattian korkeus toimilaitetasolla nousee nykyisten työkoneiden lattioiden korkeuteen verrattuna. Tätä voitaisiin kuitenkin kompensoida nostamalla toimilaitetason teräskehän korkeutta ja madaltamalla muita tunnistettuja rakenteita, jolloin työkoneen kokonaiskorkeus ei muuttuisi.

Työkoneen toimilaitetason modulaarista arkkitehtuuria lähdettiin suunnittelemaan sen perusteella, millainen sen pitäisi olla tämän hetkisen liiketoimintaympäristöstä tulevien vaatimusten mukaan. Työn loogiseksi jatkumoksi olisi hyvä tarkastella saavutetun toteutuksen liiketoiminnallisia vaikutuksia taloudellisesti sekä tuotteen eri elinkaaren vaiheissa toteutuvia etuja. Taloudellisia vaikutuksia ei tässä työssä lähdetä arvioimaan johtuen siitä, että työssä on jouduttu tekemään monta isoa oletusta tuotteen mekaaniseen rakenteeseen liittyen. Niiden taloudellisia vaikutuksia toimintaan ei tiedetä, koska niitä ei ole vielä yrityksessä toteutettu. Nämä pitäisi ottaa huomioon tämän työn aikana suunnitellun toteutuksen taloudellisia vaikutuksia arvioidessa. Johtuen siitä, että olettamuksetkin ovat vielä konseptitason vaiheessa, aiheutuisi niistä suurta epätarkkuutta arvioon.

Liiketoimintaan tuotteen eri elinvaiheessa vaikuttavia asioita selvitettiin tuotteen konseptitason suunnittelun jälkeen toteuttamalla haastatteluja yrityksen sisällä. Suurin vaikutus toimintaan on toimilaitetason teräsrakenteella, joka oletettiin tässä työssä vakiona pysyväksi.

7. YHTEENVETO

Tässä työssä käsiteltiin aluksi suomalaisella työkonevalmistajalla ilmenneitä ongelmia liittyen tuotteiden hallintaan sekä ylimääräiseen työhön toimitusprosessin eri vaiheissa johtuen tuoteperheiden eri suuntaisesta kehityksestä. Tämän perusteella työssä esiteltiin modulointiin liittyviä määritelmiä sekä erilaisia tapoja toteuttaa modulaarisuutta tuotteissa. Samalla tuotiin esiin moduloinnin kautta saavutettavia hyötyjä liiketoiminnassa. Johtuen siitä, että kyseisen työkonevalmistajan tuotteisto on jo olemassa, päätettiin tuotelinjaa lähteä moduloimaan Brownfield-prosessin avulla. Työn teoriaosuudessa esiteltiin Brownfield-prosessi kattavasti, jotta myöhemmässä työkoneiden modulaarisen arkkitehtuurin ja tilavarausten suunnitteluvaiheessa voitaisiin perustellusti käyttää hyväksi havaittuja tekniikoita pyrittäessä toteuttamaan modulaarista tuoterakennetta ennalta määritettyihin kohteisiin tuotteessa. Myös moduuleihin liittyviä tilavarauksia ja muutoksen pysäytysvyöhykkeitä täytyi tarkastella kohteessa, johon modulointia toteutettiin ja tämän takia myös ne sisällytettiin työn teoriaosuuteen.

Lopuksi työssä esiteltiin työkoneen toimilaitetason modulaarisen arkkitehtuurin ja tilavarausten suunnitteluun tähtäävä prosessi. Tietoa tulevalle toimilaitetason tuoterakenteelle haettiin liiketoimintaympäristöstä, asiakasympäristöstä ja yrityksen omista vaatimuksista tuotteelle. Tuoterakenteen kokoamista moduloitavaan kohteeseen vaikeutti erityisesti se, että tuotteen teräsrakenteesta ja muista rakenteista jouduttiin tekemään paljon lopputulokseen vaikuttavia oletuksia, jotta työtä voitiin viedä diplomityön toteuttamiseen varatun ajan ja laajuuden puitteissa eteenpäin. Nämä oletukset vaikuttivat työssä tehtäviin päätöksiin koko sen toteuttamisen aikana ja aiheuttivat esimerkiksi tilanteita, joissa jouduttiin hyväksymään tietyn toimintamallin käyttäminen vain sen takia, että aikaisemmassa vaiheessa työtä oli jo tehty tietty oletus tai päätös. Diplomityö, joka yritykseen toteutettiin, liittyi suurelta osin edellä mainittuun tilanteeseen. Jotta diplomityöstä voitaisiin saada paras mahdollinen hyöty irti, pitäisi kokonaisuuden lopputulokseen laajasti vaikuttavat asiat selvittää tarkasti etukäteen.

Tehdyistä merkittävistä oletuksista huolimatta pystyttiin toteuttamaan ratkaisu, joka on toimiva silloin, kun tehdyt oletukset kokonaisuuden rakenteesta ovat voimassa. Työn lopullisessa tarkastelussa huomattiin myös, että joitakin työssä toteuttavia ratkaisuja voidaan käyttää myös tietyissä tilanteissa, joissa olettamuksiin liittyvät toteutukset on toteutettu eri tavoin kuin työssä.

LÄHTEET

Andersen M.M., “45 years with design methodology”, Engineering Design, 2011.

Bongulielmi L., “Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix als Beitrag zur Darstellung Konfigurationsrelevanter Aspekte im Produktentstehungsprozess, Zentrum für Produktentwicklung, väitöskirja, Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zurich, Sveitsi, 2003.

Borowski K.H., “Das Baukastensystem in der Technik”, Springer-Verlag, 1961.

Clarkson P.J., Simons C. ja Eckert C., “Predicting Change Propagation in Complex Design, Journal of Mechanical Design, 2004, 126(5) s. 788-797.

Engbom O., “Role of space reservations in configurable product design”, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2016.

Ericsson A. ja Erixon G., ”Controlling Design Variants: Modular Product Platforms, Society of manufacturing Engineers, Dearborn (US), 1999.

Erixon G., “Modular Function Deployment – A method for product modularization”, Väitöskirja, KTH Högskoletryckeriet, Tukholma, Ruotsi, 1998.

Fricke E., Gebhard B., Negele H. ja Igenbergs E., “Coping with changes: Causes, findings and strategies”, Systems Engineering, Vol. 3, No. 4, 2000.

Fujimoto T., “Competing to be really, really good – The behind-the-scenes drama of capability building competition in the automobile industry”, International House of Japan, Tokio, 2007.

Förg A., Stocker J., Kreimeyer M. ja Lienkamp M., “Enabling modularization potentials by standardized vehicle layouts”, Proceedings of NordDesign 2014, Espoo, 2014.

Harlou U., “Developing product families based on architecture – Contribution to a theory of product families”, väitöskirja, Technical University of Denmark, Tanska, 2006.

Holmqvist T., “Managing Product Variety through Product Architecture”, väitöskirja, Chalmers University of Technology, Göteborg, Ruotsi, 2004.

Hyörinen M., ”Kääntyvän potkurilaitteen hydrauliiikan modulointi”, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2005.

Juuti T., “Design Management of Products with Variability and Commonality” väitöskirja, Tampereen teknillinen yliopisto, 2008.

Kaivos P., ”Standardisointi ja modulointi yrityksen toiminnan selkeyttäjä: esimerkkejä, SMK, Helsinki, 1985.

Kiuru T., ”Korkea hygieniatason kuljettimien modulointi”, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2010.

Kreimeyer M., Förg A. ja Lienkamp M., ”Fostering modular kits in an industrial Brown-field environment” Proceedings of TMCE, 2014.

Lahti J., ”Laiturikonttinosurien telien modulointi”, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2016.

Lehtonen T., ”Designing Modular Product Architecture in the New Product Development”, väitöskirja, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 2007.

Lehtonen T. ja Juuti T., ”MEI-46200, Tuotekehitys ja tuoteperheet”, kurssin kalvot, Tampereen teknillinen yliopisto, 2018.

Pahl G. ja Beitz W., ”Konstruktionslehre, Handbuch für Studium in Praxis”, Springer, Berlin, 1986/1990.

Pakkanen J., ”Brownfield-process, a method for rationalization of existing product variety towards a modular product family”, väitöskirja, julkaisu 1299, Tampereen teknillinen yliopisto, 2015.

Sarinko K., ”Asiakaskohtaisesti muunneltavien tuotteiden massaräätälöinti, konfigurointi ja modulointi”, diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, 1999.

Steward D.V., ”The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems, IEEE Transaction on engineering management, vol EM-28, no. 3, 1981.

Taipale M., ”Laivan konetilojen modulointi”, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2008.

Toivonen J., ”Laiturikonttinosurien standardisointi ja modulointi”, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 1998.

Ulrich K. ja Eppinger S., ”Product Design and Development”, McGraw-Hill, Inc., 1995.

Ulrich K. ja Tung K., ”Fundamentals for product modularity”, Proceedings of the 1991 ASME Winter Annual Meeting Symposium on Issues in Design/Manufacturing Integration, Atlanta, USA, 1991.

Österholm J. ja Tuokko R., ”Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin, modular function deployment, Metalliteollisuuden keskusliitto MET, 2001.