

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

BK10A0401 Kandidaatintyö ja seminaari

MODULAARINEN ARKKITEHTUURI TUOTEPERHEEN KEHITTÄMISESSÄ
MODULAR ARCHITECTURE OF PRODUCT FAMILY DEVELOPMENT

Tero Koivisto 21.12.2015

Työn tarkastaja: Kimmo Kerkkänen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
LUT Kone

Tero Koivisto

Modulaarinen arkkitehtuuri tuoteperheen kehittämisessä

Kandidaatintyö

2015

36 sivua, 10 kuvaa, 1 taulukko

Tarkastaja: TkT Kimmo Kerkkänen

Hakusanat: Modulaarisuus, hitsausautomaatio, hitsausportaali, hitsaustorni
Keywords: Modularity, welding automation, welding portal, welding boom

Modulaarisen tuotteen kehittäminen tehostaa yrityksen kilpailukykyä ja helpottaa asiakkaiden tarpeiden tyydyttämistä. Tuoteperheen edut verrattaessa massatuotantoon ovat laajempi tuotevalikoima sekä parempi tuotettavuus massaräätälöintiin verrattuna. Eri tuotevaihtoehtoja ja moduuleja on mahdollista kehittää rinnakkain.

Moduloitava tuoteperhe helpottaa yrityksen eri vaiheita aina tuotteen suunnittelusta huoltotoimenpiteisiin ja lopulta tuotteen purkamiseen. Asiakkaille tärkeitä hyötyjä moduloinnin osalta ovat tuotteiden parempi laatu ja huollettavuus. Täysin uuden modulaarisen tuoteperheen kehittäminen vaatii runsaasti resursseja suunnitteluosastolla. Modulaarisessa tuotteessa suunnittelutyö voidaan kohdistaa vain tietyn moduulin kohdalle ja suunnitteluajoja saadaan täten lyhennettyä.

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin, miten hitsausautomaatiosovelluksissa modulaarisuus on toteutettu sekä pohditaan kehityskohteita, koska hitsausautomaatiosovelluksia tuotetaan runsaasti asiakasräätälöintinä. Tarkasteltavana tuoteperheenä oli robottihitsausportaalit ja hitsaustornit.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Tero Koivisto

Modular architecture of product family development

Bachelor thesis

2015

36 pages, 10 figures, 1 table

Examiners: D.Sc. (Tech.) Kimmo Kerkkänen

Keywords: Modularity, welding automation, welding portal, welding boom

Development of a modular product enhance the company's competitiveness and facilitate to satisfy customer needs. When comparing product family to the mass production the benefits of the product family are wider range of products, as well as higher productivity compared to mass customization. It is possible to develop different product options and modules side by side.

The modular product family facilitate the various stages of the product life cycle, from design stage to final dismantling. Major benefits for the customers are better quality and serviceability of products. Development of a completely new modular product family requires a lot of resources in the design department. The modular product design work may only target to a specific module, and thereby the design time can be shortened.

The aim of this bachelor thesis was to investigate how modularity is implemented in welding automation products and to find development targets, because the welding automation applications are usually custom designed. In this thesis, the study concentrates on robotic welding portals and welding towers.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	6
1.1	Tavoite ja rajaukset	7
1.2	Työn rakenne	7
2	TEORIAOSUUS	8
2.1	Tuoteperhe	8
2.2	Tuoteperheen kehitysprosessi	9
2.3	Tuoterakenne	10
2.3.1	Tuoterakenteen muutokset	11
2.4	Modulaarisuus.....	12
2.4.1	Modulaarinen rakenne	13
2.4.2	Modulaarisuuden tavoitteet.....	17
2.4.3	Modulaarisuuden edut ja haitat.....	17
2.4.4	Suunnitteluprosessi	19
3	MODULAARISUUS HITSAUSAUTOMAATIOSOVELLUKSISSA	24
3.1	Robottihitsausportaali	24
3.1.1	Modulaarisuus hitsausportaalissa	25
3.2	Hitsaustorni	27
3.2.1	Modulaarisuus hitsaustornissa	28
3.3	Modulaarisuuden toimivuus robotiikkatuoteperheessä	29
4	JOHTOPÄÄTÖKSET	31
5	YHTEENVETO	34
	LÄHTEET	35

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

DSM	Design Structure Matrix - työkalu, jolla määritetään keskenään vuorovaikutuksessa olevia rakenteita
MFD	Modular Function Deployment – Tuotekehitysmenetelmä modulaarisen tuoteperheen suunnittelussa
MIM	Module Indication Matrix – Matriisi, jolla punnitaan modulaarisuutta ohjaavien tekijöiden ja teknisten ratkaisujen välistä suhdetta.
QFD	Quality Function Deployment – Tuotekehitysmenetelmä, jolla selvitetään asiakastarpeet suunnitteluvaatimuksia varten

1 JOHDANTO

Yritysten välinen kilpailutilanne kiristyy jatkuvasti. Tuotannon on pyrittävä löytämään keinoja, joilla tuotantoa voidaan tehostaa ja säästää kustannuksissa. Kustannustehokkaan toiminnan kannalta yrityksen tuoterakenne toimii tärkeässä asemassa. Tuoterakenteen ja -perheiden tulisi olla moduloitavissa ja räätälöitävissä asiakkaan toiveiden mukaisesti. Täten yritys pystyy tarjoamaan omalle markkina-alueelleen mahdollisimman laajan muunneltavuuden tuotevalikoimassaan ja samalla asiakastarpeita pystytään paremmin täyttämään.

Moduloinnilla tarkoitetaan tuotteen jakamista itsenäisiin osarakenteisiin eli moduuleihin. Moduuleilla on määritetyt tarkat vakiona pidettävät rajapinnat, joiden kautta moduuleja voidaan yhdistää eri rakennelmiin. Modulaarisuus voidaan käsittää menetelmänä, jossa tuotteen ominaisuuksia pystytään muokkaamaan rajapintojen kohdalta. Modulaarisuus kuvastaa joustavuutta sekä vaihtokelpoisuutta ja sen tavoitteena on yrityksen kilpailukyvyyn parantaminen. Moduloitavaa tuotetta suunniteltaessa pyritään täten kehittämään rakenne, jossa tuotteen ominaisuuksia voidaan muunnella tiettyjen rajapintojen kohdalta. Moduulien vaihdolla tuotteen ominaisuuksiin pystytään myös vaikuttamaan suuresti. Esimerkiksi hitsausautomaatiosovelluksissa hitsaustornien puomien tai hitsausvarustuksen vaihdolla pystytään hitsaustornin ominaisuuksia muuttamaan. Moduulien rakentaminen ei tarvitse pohjautua vain erilaisiin toiminnallisuuden vaihteluihin, vaan moduulien käyttö voi perustua myös tuotteen käyttöään nostamiseen.

Tuoteperhe helpottaa yrityksen jokaista vaihetta aina tuotteen suunnittelusta huoltotoimenpiteisiin ja lopulta tuotteen purkamiseen. Asiakkaille tärkeitä hyötyjä moduloinnin osalta ovat tuotteiden parempi laatu ja huollettavuus. Yrityksen kannalta moduloitavat tuotteet mahdollistavat nopeamman kokoonpanon ja pienemmät valmistuskustannukset, koska moduuleja voidaan valmistaa tuotannon ja varastoinnin kannalta suotuissa erissä. Lisäksi modulaarisuus helpottaa tuotesuunnittelua ja tuotehallintaa, koska tuotteiden väliset muutokset vähenevät ja tuotesuunnittelu näin yksinkertaistuu.

1.1 Tavoite ja rajaukset

Tässä työssä tutkitaan moduloitavan tuoteperheen kehittämistä suunnittelun, valmistuksen ja kustannustehokkuuden kannalta. Tarkastelukohteena ovat robotiikkatuoteperheet, jossa valmistettavia työkappaleita hitsataan automatisoidusti hitsausportaaleilla sekä hitsaustorneilla. Työssä tutkitaan, miten näissä sovelluksissa modulaarisuus on toteutettu sekä pohditaan kehityskohteita, koska hitsausautomaatiosovelluksia tuotetaan runsaasti asiakasräätälöintinä. Työssä rajataan ulkopuolelle uusien modulaaristen rakenteiden kehittäminen, josta kävisi ilmi uusien moduulien sijainti tai lukumäärä, vaan aihetta lähestytään moduloitavaksi soveltuvien osien ja rakenteiden tunnistamisella.

1.2 Työn rakenne

Työn teoriaosassa esitellään miten modulaarinen rakenne muodostuu ja mitkä asiat johtavat modulaarisen rakenteen luomiseen. Lisäksi käydään läpi modulaarisuuden hyötyjä ja rajoituksia yrityksen ja asiakkaan näkökulmasta. Lopuksi käydään läpi modulaarisen tuotteen suunnittelun vaiheita ja periaatteita. Tutkimusosassa esitellään robotiikkatuoteperheitä hitsausportaalien ja hitsaustornien avulla ja määritetään modulaariset rakenneosat ja ongelmakohdat. Lisäksi käydään läpi kehityskohteita tuoteperheiden joustavuuden kehittämiseksi.

2 TEORIAOSUUS

Modulaarinen tuotearkkitehtuuri perustuu tuotteiden hallintaan, jossa tuotteiden ominaisuuksia voidaan muokata lisäämällä, poistamalla tai korvaamalla moduuleja. Tuotteen modulaarinen muunneltavuus voidaan täten käsittää erilaisten ominaisuuksien tarjoamisella samanaikaisesti ilman, että niillä on vaikutusta muuhun kokoonpanoon.

2.1 Tuoteperhe

Jokainen valmistettava tuote on yleensä osa isompaa tuotevalikoimaa tai tuoteperhettä. Tuoteperhe on joukko samankaltaisia tuotteita, jonka jokaisella jäsenellä on jotain yhteistä. Yhtenevyys voi olla esimerkiksi tuotteiden välinen samanlainen perusrunko, valmistuksellinen lähtökohta tai suunnittelunäkökulma. (Pulkkinen, 2007, s. 53.) Jokaisella tuoteperheen jäsenellä, eli tuotevariantilla, on oma yksilöllinen arkkitehtuuri.

Tuoteperheiden avulla kaupallinen valikoima parantuu ja selkiytyy. Yritykset luovat oman kaupallisen tuoteluettelonsa, jonka perusteella he houkuttelevat asiakkaita. Tuoteperheiden suunnittelu ja kehittäminen tehostaa myös yritysten kustannustehokkuutta, koska yrityksen kilpailukyky riippuu sen kyvystä valmistaa kannattavia tuotteita. Kustannustehokkuuden kannalta ei ole välttämättä järkevää suunnitella ja valmistaa jokaiselle asiakkaalle omaa tuotetta, vaan olisi tärkeää, että tuotteet olisivat modulaarisesti muunneltavissa mahdollisimman hyvin, jotta asiakastarpeita pystytään paremmin täyttämään ja asiakkaat ovat paremmin lähestyttävissä.

Tuoteperheet voidaan jakaa neljään ryhmään.

- 1) Versioperhe: Tuoteperheen jokainen jäsen on tehty samaa käyttötarkoitusta ajatellen. Versioperhe rakentuu, kun jokaista asiakasta ei voida tyydyttää yhdellä ja samalla tuotteella. Versioperheen jäsenillä on yleensä paljon samantyyllisiä ominaisuuksia ja rakenneosia vaikka visuaalisesti ne voivat poiketa toisistaan hyvinkin paljon.
- 2) Sukupolviperhe: Tuoteperhe muodostuu ajan kuluessa ja päivityksiä tuotettaessa. Alkuperäinen tuote toimii lähtökohtana ja teknologian kehittyessä sitä voidaan

päivittää tehokkaammaksi. Tällöin muodostuu tuoteperheeseen uudemman sukupolven tuote.

- 3) Laitteperhe: Tuoteperheen jäsenet ovat eri tuotteita, mutta yhdessä ne muodostavat tuoteperhekokonaisuuden. Esimerkiksi tuoteperhe voi pohjautua brandiin eli yksi tuotemerkki sisältää laitteiston.
- 4) Teknologiaperhe: Tuoteperheen lähtökohtana on käytettävän teknologian hyödyntäminen alkuperäisen käyttötarkoituksen sijaan.

(Soininen, 1997, s. 41-42.)

2.2 Tuoteperheen kehitysprosessi

Perinteisessä tuotekehitysprosessissa tuotteesta kehitetään kompromissi vaatimuksista, jolla yritetään täyttää mahdollisimman suuren asiakasmäärän tarpeet. Tällöin tuotteessa voi olla ominaisuuksia, joita asiakas ei välttämättä edes tarvitse. Tuoteperhettä suunniteltaessa ja kehitettäessä tuotteet rakennetaan tietyn asiakassektorin ympärille. Nämä tuotteet eroavat toisistaan lähinnä erilaisten asiakastarpeiden osalta. (Soininen, 1997, s. 43) Tuotannollisesti paras kustannustehokkuus saavutetaan, kun tuoteperheen jäsenillä on mahdollisimman paljon samanlaisia osia ja moduuleja.

Tuoteperhettä suunniteltaessa on otettava huomioon koko yrityksen toimintatapa ja asiakaskunnan toiveet. Kuvassa 1 on esitetty tuoteperheen suunnittelun vaiheistus, joka lähtee liikkeelle yrityksen liiketoiminnan määrittelystä ja päättyy valmiin tuoteperheen markkinointiin.



Kuva 1. Tuoteperheen kehityksen eri vaiheet (Soininen 1997, s. 48).

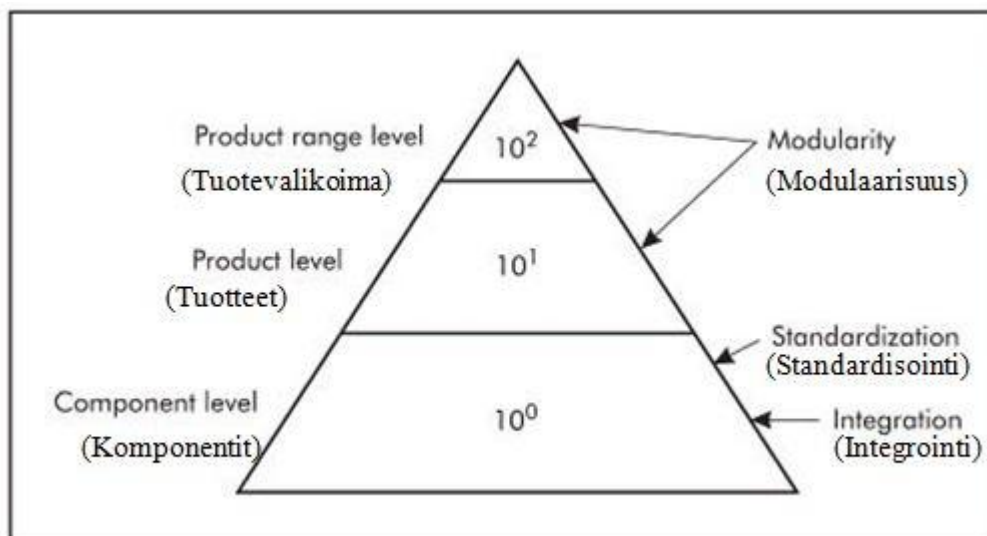
Yrityksen liiketoiminnan määrittelyllä saadaan aikaan reunaehdot tuotekehitykselle, kohdistetaan asiakaskunta ja tunnistetaan heidän tarpeensa. Tuoteperheen rakenteen määrittelyssä luodaan kuvaus siitä, mitkä tuotteet kuuluvat tietyn tuoteperheen alle. Määrittelyä ohjaa asiakassektori ja heidän tarpeensa. Tuoteversion määrittelyssä jaetaan suunnitteluvaihe pienempiin osiin. Aluksi muodostetaan ydintuote, jonka ympärille kehitellään uusia tuoteversioita. Suunnittelu- ja toteutusvaiheessa luodaan puitteet markkinoinnin onnistumiselle ja asiakastyytyvyyden ylläpidolle. Ydintuotteen ympärille suunnitellaan modulaarisia ratkaisuja, jotka mahdollistavat joustavamman tuotannon. (Soininen, 1997, s. 47-48.)

Tuotekehityksen tehostamiseen voidaan jakaa kolmeen pääkohtaan. Ensimmäiseksi suunnittelua tulisi nopeuttaa esimerkiksi rinnakkaissuunnittelulla. Päätöksiä tulisi pystyä tekemään nopeammin ja tarvittaessa ottaa harkittuja riskejä. Toinen vaihtoehto on käyttää enemmän suunnitteluautomaatiota, joka säästää huomattavasti suunnitteluresursseja. Viimeisenä vaihtoehtona on osien uudelleenkäyttö, jolloin osia voidaan käyttää modulaarisesti uudelleen toisessa osakokoonpanossa. (Soininen, 1997, s. 30.)

2.3 Tuoterakenne

Tuoterakenteen tarkoituksena on toimia tuotteen valmistusohjeena, joka kertoo mitä kokoonpanoja, komponentteja tai työvaiheita se sisältää. Yritysten tuoterakenne muodostuu sen mukaan, miten paljon se kykenee valmistamaan osia itse sekä mitä osia on standardoitu. Itse valmistettavien osien määrä leventää rakennetta, kun taas päinvastoin osien standardointi ja ostettavien osien määrä kaventaa tuoterakennetta.

Tuoterakenne voidaan jakaa kolmeen alatasoon: tuotevalikoima, tuotteet ja komponentit. Tuoterakenteen monimutkaisuutta voidaan vähentää kuvan 2 mukaisesti. Huomataan, että modulaarisuuden avulla monimutkaisuus vähenee siirryttäessä komponenttitaloselta ylöspäin tuote- ja tuotevalikoimatasoille. (Ericsson & Erixon, 1999, s. 17.)



Kuva2. Modulaarisuuden vaikutus tuoterakenteeseen (mukaiillen Ericsson & Erixon, 1999, s. 18).

Modulaarisen tuoterakenteen aikaan saamiseksi on yrityksen eri osastojen toimittava hyvin yhteen. Pahimmassa tapauksessa osastojen väliset tietokatkokset voivat johtaa toimitusaikojen pidentymiseen, kun tuotantolinjalla joudutaan muokkaamaan rakenteita yhteensopivuuden aikaansaamiseksi. Modulaarinen tuotearkkitehtuuri tarjoaa perustan kustannussäästöille ja asiakasläheisyyden kasvulle. Vaihdeettavia moduuleja voidaan uudelleen käyttää sekä moduulien testauksesta saatavan datan avulla voidaan vähentää tuotekehitysrisiä ja parantaa tuotteiden laatua. Modulaarinen tuoteperhe mahdollistaa yrityksen tuotannon joustavuuden sekä tarjoaa kehityskohteita ja uusia innovaatioita.

2.3.1 Tuoterakenteen muutokset

Tuotearkkitehtuuri määrää, miten tuotetta voidaan muuttaa. Moduuleilla tuotteen ominaisuuksia voidaan muuttaa tiettyjen rajapintojen osalta ilman, että se vielä muuttaisi tuotteen perusrunkoa. Ulrich & Eppinger (2008, s. 167-168) kokoavat syitä, mitkä johtavat rakenteen muutoksiin käyttöiän aikana.

1. Päivitys (Upgrade): Teknologian kehittyessä asiakastarpeet voivat muuttua. Asiakkaille voidaan tarjota esimerkiksi tehokkaampia versioita aikaisempiin tuotteisiin verrattuna.
2. Lisäykset (Add-ons): Yritykset myyvät tuotteitaan vain perusversioina, jolloin asiakkaat voivat halutessaan lisätä ja tehostaa tuotteen ominaisuuksia erikseen asennettavilla varusteluilla.

3. Sopivuus (Adaptation): Pitkän käyttöiän omaavien tuotteiden käyttö erilaisissa ympäristöissä ja olosuhteissa. Esimerkiksi koneita voidaan muuttaa 220V-järjestelmästä 440V – järjestelmään.
4. Kulutus (Consumption): Tuotteet kuluttavat materiaalia, joita pitää pystyä korvamaan käytön aikana. Esimerkiksi tulostimien värikasetit voidaan uusia vanhan loppuessa.
5. Kuluminen (Wear): Tuotteen materiaali kuluu käytön aikana. Kuluneita osia voidaan vaihtaa, jotta tuotteen käyttöikä pystytään kasvattamaan.
6. Käytettävyys (Flexibility in use): Käyttäjä pystyy itse muokkaamaan tuotettaan omien vaatimustensa mukaisesti. Esimerkiksi käyttäjä voi vaihtaa tietokoneeseensa käyttöjärjestelmän tai lisätä muistia.

Edellä mainittujen tapausten mukaan tuotemuutokset voidaan jakaa kahteen pääryhmään: tarkoituksen mukaiset muutokset, jotka pohjautuvat asiakastarpeiden vaatimuksiin sekä pakollisiin muutoksiin. Pakolliset muutokset kuvastavat muutoksia tuotteen suunnittelussa tai ennalta arvaamattomissa sivuvaikutuksissa, kuten osien kulumista arveltua nopeammin tai valmistuksellisia virheitä. (Eckert et. al., 2001, s. 577-578.)

2.4 Modulaarisuus

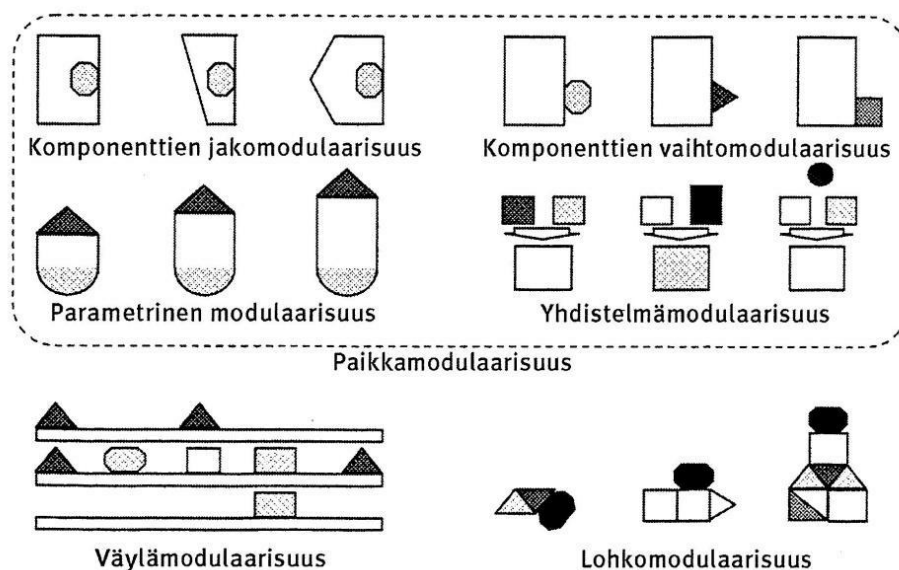
Modulaarisuutta voidaan pitää enemmän kuin pelkkänä suunnittelutekniikkana. Se vaikuttaa tuotteen koko elinkaareen, vaikka pääpaino suuntautuuakin suunnittelun alkuvaiheille. (Marshall, 1998, s. 84.)

Modulaarisuudelle ja moduulille on olemassa useita eri määritelmiä kirjallisuudessa, koska monet tutkijat käsittävät modulaarisuuden omalla tavallaan. He voivat määritellä modulaarisuuden esimerkiksi tuotteen valmistettavuuden, toiminnallisuuden tai elinkaaren mukaan. Österholmin ja Tuokon (2001, s. 8-9) mukaan modulointi voidaan kuvastaa olevan tuotteen jakamista itsenäisiin osarakenteisiin eli moduuleihin. Näillä moduuleilla on omat määritetyt ja vakiona pidettävät rajapinnat, joiden kautta moduuleja voidaan koota eri yhdistelmiin. Miller ja Elgård (1998) määrittävät moduulin tärkeäksi yksiköksi, joka on samalla toiminnallinen osa tuotetta. Modulaarisuus on ominaisuus, joka liittyy toiminnallisuuteen ja rakenteeseen. Modulaarinen tuote rakentuu toiminnallisista yksiköistä eli moduuleista, joilla on standardoidut rajapinnat.

Modulaarisuus voidaan edellä mainittujen määritelmien mukaan käsittää menetelmänä, jossa tuotteen tai tuoteperheen ominaisuuksia voidaan vaihdella tiettyjen rajapintojen kohdalta. Modulaarisuuden avulla tuotekehityksessä voidaan saavuttaa päämääriä valmistettavuuden, toiminnallisuuden ja elinkaaren osalta. Esimerkiksi monimutkaisia tuotteita pystytään hallitsemaan tehokkaasti ja moduuleja pystytään rakentamaan erillään lopullisesta tuotteesta.

2.4.1 Modulaarinen rakenne

Modulaarisen tuotekehityksen tavoitteena on luoda malli, joka toimii pohjarakenteena eri moduuleille ja ominaisuuksille. Österholmin ja Tuokon mukaan modulaarisen tuoterakenteen kehittämisen perustana on jaoteltava itsenäiset moduulit. Jokaisella moduulilla tulee olla yksi yhteinen kiinnityskohta. Tätä kiinnityskohtaa kutsutaan rajapinnaksi, jonka kautta jokainen moduuli on vaihdettavissa uuteen vastaavaan tai toisenlaisia ominaisuuksia omaavaan moduuliin. Tällä tavalla pystytään maksimoimaan vakiokomponenttien lukumäärät ja parantamaan tuotekirjon hallittavuutta (Österholm & Tuokko, 2001, s. 8-9). Kuvassa 3 on havainnollistettu modulaarisuuden periaatetta ja eri rakennetyyppejä. Kuvasta 3 voidaan huomata, että moduulit toimivat erillisinä rakennuspaloina, joita yhdistelemällä saadaan aikaan erilaisia kokoonpanoja ja toiminnallisuuden vaihteluita.

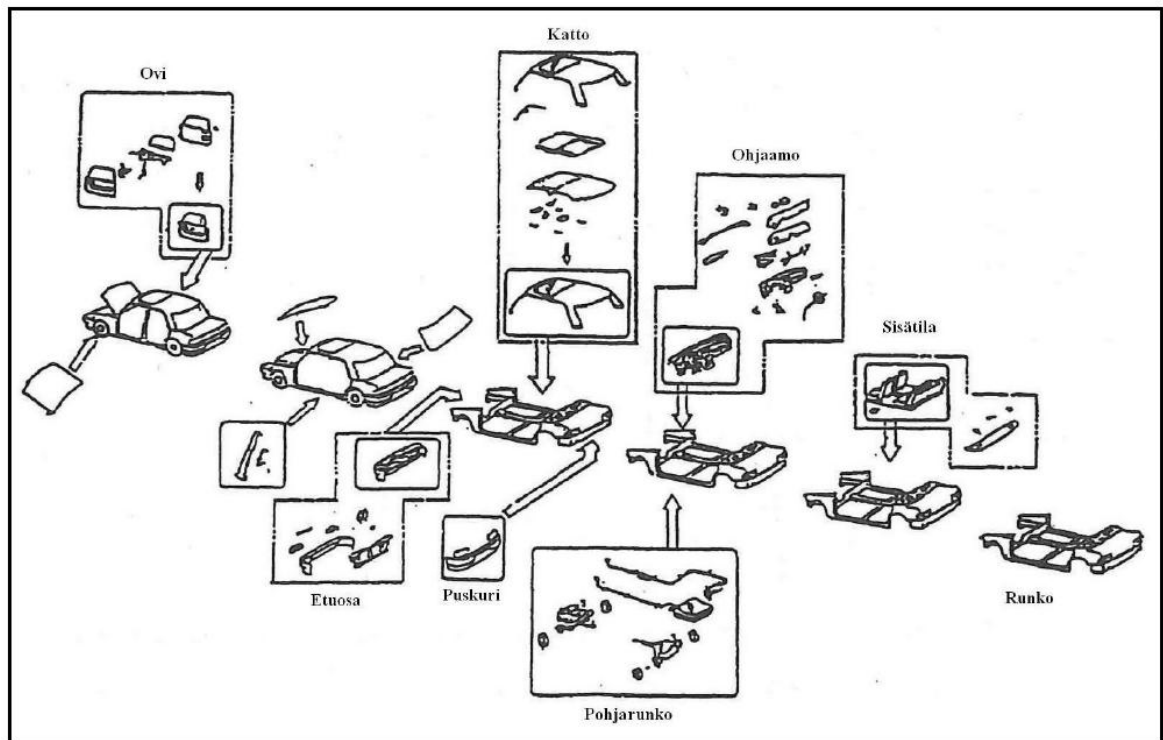


Kuva 3. Moduulirakennetyypit.(Österholm & Tuokko, 2001, s.11).

Kuvan 3 mukaan erilaisia modulaarisuuden rakennetyyppejä ovat:

1. Komponenttien jakomodulaarisuus tarkoittaa saman vaihtokelpoisen komponentin käyttöä eri tuotteissa. Tässä ratkaisussa vakiokomponentin ympärille lisätään erilaisia komponentteja ja näin ollen vakiokomponentin käyttöastetta saadaan myös parannettua.
2. Komponenttien vaihtomodulaarisuus perustuu komponenttien vaihdettavuuteen samassa päärungossa. Pääkomponentin tiettyyn rajapintaan voidaan liittää erilaisia komponentteja, jolloin tuotteen ominaisuuksia voidaan muokata.
3. Parametrinen modulaarisuus eli parametrien muuntelua elementeissä. Yhtä tai useampaa komponenttia muutetaan muiden pysyessä vakioina.
4. Yhdistelmä modulaarisuus kuvaa tilannetta, jossa eri komponentit sekoitetaan keskenään ja tällöin saadaan koottua täysin uusi tuote.
5. Väylämodulaarisuus perustuu tilanteeseen, jossa komponenttien sijoittelu päärunkoon on vapaampaa ja näin voidaan koota helpommin erilaisia tuoteyhdistelmiä.
6. Lohkomodulaarisuus kuvastaa tilannetta, jossa tuotteen rajapinnalle voidaan kiinnittää erilaisia yhdistelmiä. Komponenttien rajapinnat on oltava samanlaisia. Tämä ratkaisu tarjoaa kaikista suurimman määrän mahdollisuuksia tuotteiden muunteluun.

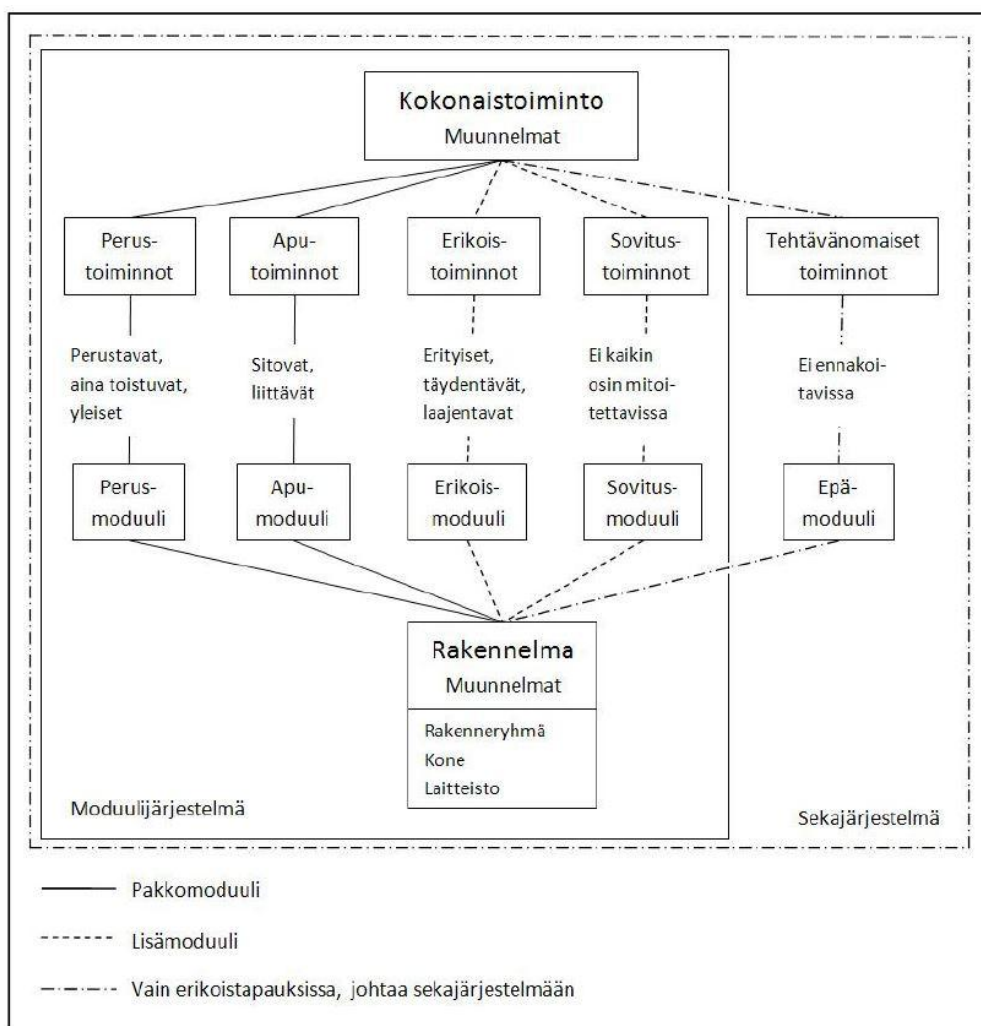
Tuotteen modulaarisuutta ja moduulien avulla rakennettavaa kokonaisuutta on havainnollistettu kuvassa 4, jossa auton osat on jaettu omiksi pienemmiksi osakokoonpanoiksi.



Kuva 4. Modulaarisuus autokokoonpanon linjastossa (Erixon, 1998, s. 129).

Autojen kokoonpano on esimerkki väylämodulaarisuudesta. Auton rakenne voidaan jakaa useampaan pienempään osakokoonpanoon, jotka toimivat kukin omana moduulina. Auton runko toimii perustana, johon tuotantolinjalla lisätään moduuleita eri työpisteissä. Moduuleita voivat olla muun muassa auton sisätila, pohja, voimansiirto, ovet, katto ja ohjaamo. Tällaisella moduulijaolla ja valmistuslinjalla mahdollistetaan työtehtävien jakaminen eri työpisteille ja moduulien valmistus voidaan suorittaa erillään pääkokoonpanosta.

Moduulit voidaan jakaa toimintonsa perusteella perusmoduuleihin, apumoduuleihin, erikoismoduuleihin ja sovitusmoduuleihin (Pahl & Beitz, 1990, s. 438). Kuvassa 5 on esitetty periaate moduulien jaosta.



Kuva 5. Moduulien lajit moduuli- ja sekajärjestelmässä (Pahl & Beitz, 1990, s. 438).

Perusmoduulit toistuvat aina ja ne ovat tuotteen rakenteen ja toiminnallisuuden kannalta välttämättömiä. Perusmoduuli voi toimia runkona, johon liitetään toisia moduuleja, jotta halutut toiminnot toteutuvat. Apumoduulien avulla saadaan liitettyä toimintoja yhteen. Erikoismoduulit toimivat täydentävinä elementteinä perusmoduuleille. Erikoismoduulien avulla saadaan tarpeen vaatiessa lisättyä tai muunneltua kokonaistoimintoja. Sovitusmoduulit toimivat rakenteenosana, jossa rakennelma sovitetaan toiseen kokoonpanoon. Sovitusmoduulit mitoitetaan usein tapauskohtaisesti, koska niitä voi olla hyvin hankala suunnitella etukäteen, jos moduulien välisissä rajapinnoissa esiintyy ristiriitaisuuksia. Epämoduulit ovat moduuleita, joita ei ole suunniteltu alkuperäiseen rakenteeseen. Epämoduulien avulla voidaan toteuttaa toimintoja, jotka eivät kuulu moduulijärjestelmään ja ne tulee suunnitella erikseen vaadittua toimintoa varten.

Moduulien ja epämoduulien samanaikaisella käytöllä saadaan aikaan sekajärjestelmä. (Pahl & Beitz, 1990, s. 438.)

2.4.2 Modulaarisuuden tavoitteet

Modulaarisen rakenteen halutaan olevan joustava ja vaihtokelpoinen, jotta tuotteen suunnittelu sekä valmistus on tehokasta sekä elinkaaresta tulisi mahdollisimman pitkä. Tuotteiden modulaarisuudella voidaan saavuttaa lisää valinnanvaraa, jolla asiakkaiden tarpeita pystytään paremmin täyttämään. Suunnittelutyötä pystytään vähentämään, jos samankaltaisuuksia pystytään samalla hyödyntämään. Näin ollen tuotetta ei välttämättä tarvitse suunnitella alusta alkaen uusiksi. Modulaarisuus myös mahdollistaa työn jakamisen itsenäisiin työpisteisiin, jolloin rinnakkaisvalmistuksella saavutetaan etua toimitusajoissa. (Miller & Elgård, 1998.)

2.4.3 Modulaarisuuden edut ja haitat

Modulaarisella rakenteella saavutetaan lukuisia etuja yritykselle. Edut voivat jakautua yrityksen tuotantostrategiasta aina tuotteen elinkaaren loppuun. Seuraavaksi on listattu etuja suunnittelun ja valmistuksen näkökulmasta.

- Voidaan usein hyödyntää aikaisempaa suunnittelumateriaalia ja asiakirjoja.
- Modulaarinen tuote mahdollistaa rinnakkaisvalmistuksen, jolloin toimitusajat lyhenevät.
- Helpottaa tuotesuunnittelua ja tuotehallintaa. Tuotesuunnittelua saadaan yksinkertaistettua, jolloin voidaan käyttää standardimoduuleja ja tuotteiden väliset muutokset vähenevät. Suunnittelu-aika voi lyhentyä huomattavasti ja suunnitteluprosessi voidaan kohdistaa vain yksittäisiin moduuleihin kokonaisen tuotteen sijasta.
- Valmistuskustannusten aleneminen, koska moduuleja voidaan valmistaa tuotannon ja varastoinnin kannalta suotuisissa erissä. Tuotteissa tulisi karsia mahdollisuuksien mukaan eri materiaalien käyttöä, jotta elinkaaren lopussa tuote on helposti purettavissa ja kierrätettävissä. Modulaariset tuotteet mahdollistavat myös suurempia tuotantoerien valmistuksen.
- Tuotteiden joustavuus. Suurempi kapasiteetti tuotteiden muunneltavuudelle ja mahdollistaa epämoduulien käytön samanaikaisesti. Lisäksi moduuleita voidaan korvata toisilla moduuleilla.

- Laadun kasvu sekä tuotteiden tasainen laatu, sillä moduuleja voidaan testata erikseen ja havaita mahdolliset laatueroavaisuudet ennen kokoonpanoa.
- Kokoonpano helpottuu ja nopeutuu, kun moduulit ovat rajapinnoiltaan yksinkertaisia eikä loppukokoonpanon aikana tarvitse tehdä ylimääräisiä muutoksia.
- Huollon ja kunnossapidon helpottaminen, koska vianmääritys saadaan kohdistettua aina tietyn moduulin kohdalle
- Purkamisen helpottaminen.
- Alihankkijoiden käytettävyys. Standardoidut moduulit voidaan valmistuttaa alihankkijoilla, jotka myös testaavat tuotteen laadun ja moduulit ovat samalla kokoonpanovalmiita.
- Varaosien saanti ja tuotteen päivitys on mahdollista ennalta määrättyjen rajapintojen kautta.

(Aarnio 2003, s. 41-42; Pahl & Beitz, 1990, s. 448; Hellström, 2005, s. 31-32.)

Modulaarisen tuotteen suunnittelusta ja valmistuksesta voi olla myös haittaa yritykselle ja asiakkaille.

- Huolimaton suunnittelu ja modulointi voi aiheuttaa tuotteelle rajoituksia toiminnallisuuden kanssa. Rajapinnat tulee olla tarkasti määritetty ennalta, jotta moduulien kokoonpano eri rakennelmiin on mahdollista.
- Tuotteen uudelleensuunnittelu on kannattavaa tehdä vain pidemmällä aikavälillä, koska suunnittelusta aiheutuvat kustannukset voivat olla korkeita.
- Liiallinen modulointi voi aiheuttaa vaikeuksia tuotteen kehittämisen ja päivitysten kanssa.
- Asiakkaan erityistoiveiden ja modulaarisen tuotteen yhteensovitus voi tuottaa hankaluuksia ja menetyksiä markkina-alueella mikäli sopivaa kompromissia ei saavuteta.
- Tuotteen paino ja koko ovat tavallisesti suurempia kuin tapauskohtaisesti suunnitellut tuotteet.
- Innovatiivisuus voi laskea liiallisen moduloinnin seurauksena.
- Toimintoja ja kokoonpanoja on helppo kopioida kilpailijoiden toimesta.
- Kustannukset ja työmäärä painottuvat tuotantoprosessin alkupuolelle.

- Laadunvalmistuksen kustannukset voivat nousta, koska jokainen moduuli ja niiden rajapinnat on testattava kokonaisuudessaan valmistuksen jälkeen. Esimerkiksi tuotteiden uudelleenkonstruktio voi olla mahdotonta, jos laatueroja ilmenee.

(Aarnio, 2003, s. 42-43; Hellström, 2005, s. 33-34; Marshall, 1998, s. 80-82.)

2.4.4 Suunnitteluprosessi

Modulaarisen tuotteen suunnitteluprosessiin on luotu erilaisia aputyökaluja. Näistä Pohjoismaissa tunnetuimmat menetelmät ovat MFD (Modular Function Deployment) ja DSM (Design Structure Management). DSM- menetelmä eroaa MFD- menetelmästä siten, että se ei määrittele, että millainen kokonaisuus olisi paras asiakkaan tarpeiden täyttämiseksi. DSM- menetelmä on enemmänkin työkalu, jolla voidaan määrittää rakenteita, jotka vaikuttavat toisiinsa ja yhdessä nämä muodostavat moduulin. (Aarnio, 2003, s. 44.)

MFD- menetelmän tavoitteena on vuorostaan löytää tuotteelle paras mahdollinen moduloitu tuoterakenne ja sitä on etenkin Pohjoismaissa sovellettu onnistuneesti työvälineenä eri tuotekehitysprojekteissa. MFD- menetelmä ottaa huomioon valmistettavuuden sekä kokoonpanon ja se perustuu QFD (Quality Function Deployment) – menetelmään, jolla selvitetään asiakastarpeet. (Aarnio, 2003, s. 44-45.)

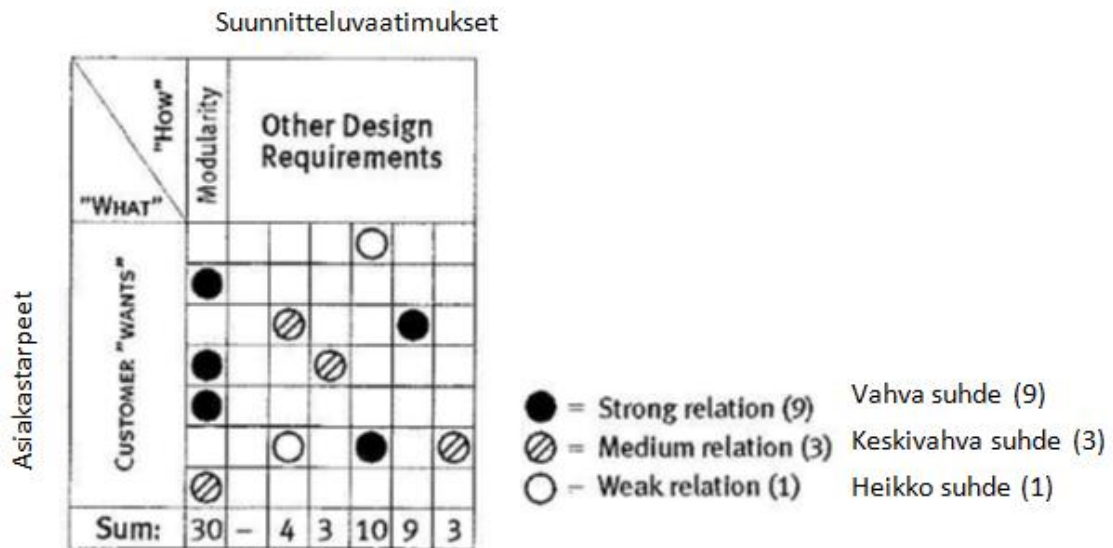
Österholm & Tuokko (2001, s. 12) listaavat MFD- menetelmän viiteen päävaiheeseen: ”

- 1) Asiakastarpeiden selvitys
- 2) Teknisten ratkaisujen selvitys
- 3) Muodostetaan modulaarinen konsepti
- 4) Modulaarisen konseptin arviointi
- 5) Moduulikohtainen suunnittelu. ”

Listauksen mukaan MFD- menetelmässä on selkeät päävaiheet, joiden mukaan edetä järjestyksessä. Kuitenkin välillä tulee tapauksia, että suunnittelutyössä voidaan tapauskohtaisesti jättää joitakin vaiheita läpikäymättä. Suunnittelu ei siis tällöin ala ensimmäisestä vaiheesta ja päätty viimeiseen vaiheeseen. Tämä on mahdollista, jos vaiheet sisältävät päällekkäisyyksiä tai jos suunniteltava tuote on jo olemassa ja siihen tehdään

vain päivityksiä. Tällöin jokaisen vaiheen läpikäyminen on vain resurssien tuhlaamista ja kustannustehokkuus heikkenee. (Österholm & Tuokko, 2001, s. 19.)

Ensimmäisessä päävaiheessa on tarkoitus selvittää asiakastarpeet QFD- menetelmän avulla. Menetelmässä asiakastarpeista ja tuoteominaisuuksista muodostetaan matriisi. Tarpeiden ja ominaisuuksien välinen suhde voidaan arvioida painotusten avulla. (Österholm & Tuokko, 2001, s. 19-20) Kuvassa 6 on esitetty malli QFD- matriisista. Matriisissa musta pallo kuvastaa vahvaa yhteyttä asiakastarpeiden ja tuoteominaisuuksien välillä. Keskivahvaa yhteyttä on merkitty raidallisella pallolla ja heikkoa yhteyttä merkitään valkoisella pallolla.

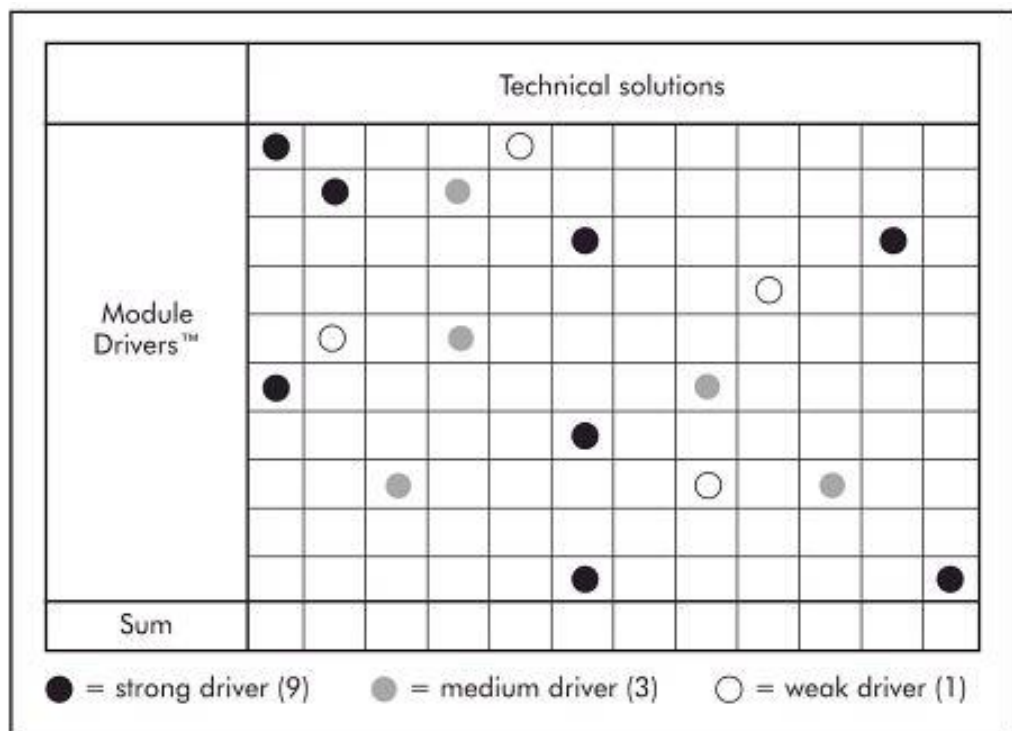


Kuva 6. QFD- menetelmällä muodostettu matriisi, jossa pystyakselille on muodostettu asiakastarpeet ja vaaka-akselille suunnitteluvaatimukset (mukaihen Österholm & Tuokko, 2001, s. 21).

Toisessa vaiheessa tarkoituksena on valita parhaat tekniset ratkaisut eri toiminnoille. Tuotteen toiminnalliset osat eritellään ja osien toiminnallisuus ja käyttötarkoitus analysoidaan, jotta suunnitteluryhmä sisäistää jokaisen osan merkityksen rakenteessa. Toisen vaiheen tuloksena saadaan toimintorakenne ja eri toiminnoille soveltuvat parhaat tekniset ratkaisut. (Österholm & Tuokko, 2001, s. 22-24.)

Kolmannessa vaiheessa luodaan MIM- matriisi (Module Indication Matrix), jossa teknisiä ratkaisuja verrataan modulaarisuutta ohjaaviin tekijöihin. Matriisin avulla punnitaan modulaarisuutta ohjaavien tekijöiden, eli moduulijureiden (driver), ja teknisten ratkaisujen välistä suhdetta. Matriisiin on mahdollista asettaa painokertoimia, joiden avulla saadaan paremmin eroja eri ratkaisujen välille ja löydetäänärkevimmät ratkaisut. (Ericsson & Erixon, 1999, s. 35.)

Kuvassa 7 on esitetty periaatekuva MIM- matriisista. Modulaarisuutta ohjaavien tekijöiden ja teknisten ratkaisujen suhteen vahvuutta merkitään kolmella erivärisellä pallolla. Musta pallo kuvastaa vahvaa yhteyttä, harmaa pallo keskivahvaa ja valkoinen pallo heikkoa suhdetta. Österholm ja Tuokko (2001 s. 14) listaavat tuotteen modulaarisuutta ohjaavia tekijöitä yrityksen kannalta taulukon 1 mukaisesti.



Kuva 7. MIM-matriisi, jossa pystyakselille listataan modulaarisuutta ohjaavat tekijät (module drivers) ja vaaka-akselille tekniset ratkaisut (technical solutions) (Ericsson & Erixon, 1999, s. 36).

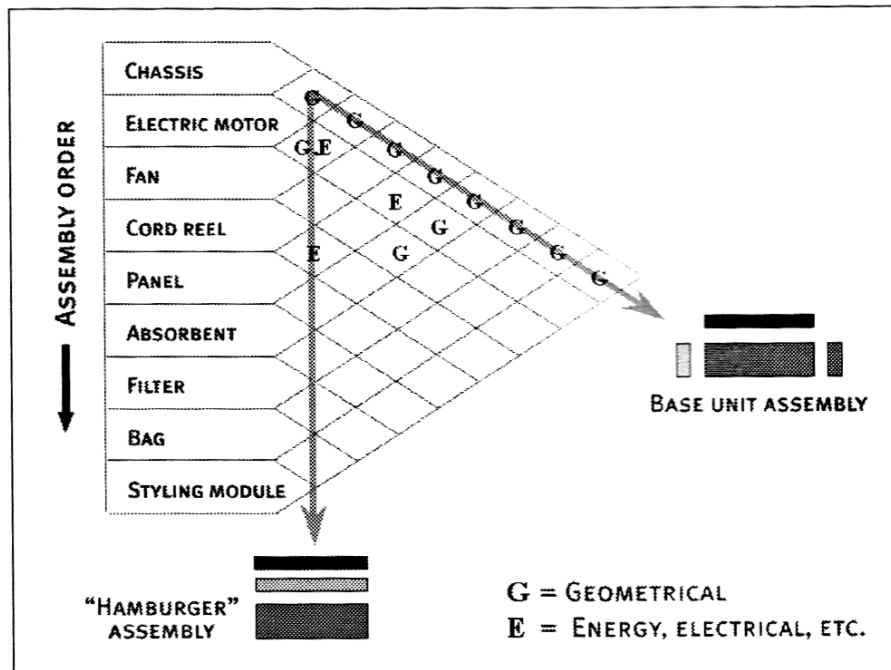
Taulukko 1. Tuotteen modulaarisuutta ohjaavia tekijöitä (Österholm & Tuokko 2001, s.14).

Yrityksen toiminto	Modulaarisuutta ohjaava tekijä
Suunnittelu ja tuotekehitys	Tuoteominaisuuksien siirto seuraavaan sukupolveen
	Tekninen kehitys
	Tuotteeseen suunnitellut muutokset
Muunneltavuus	Tekninen muunneltavuus
	Visuaalinen muunneltavuus
Valmistus	Yhteinen yksikkö
	Tuotantoprosessi/ organisaatio
Laatu	Erillinen testaus
Alihankinta	Soveltuvien toimittajien saatavuus
Myynnin jälkeinen palvelu	Huolto ja kunnossapito
	Parannus/ päivitettävyys
	Kierrätys

Neljännessä vaiheessa suoritetaan kolmannessa vaiheessa muodostettujen modulaaristen konseptien arviointi. Tarkasteltavia kohteita ovat muun muassa konseptien vaikutus tuotekehitykseen ja rajapintojen vaikutus tuotteen joustavuuteen sekä lopputulokseen. Erityisesti rajapinnoilla on merkittävä vaikutus lopputuotteeseen ja tuotteen jatkokehitysmahdollisuuksiin, koska niiden avulla määritetään, että onko moduuli käytettävissä uudelleen myös muissa sovelluksissa. Moduulien uudelleenkäytöllä tuotteiden elinikää pystytään pidentämään. (Österholm & Tuokko, 2001, s. 30-31.)

Modulaariset konseptit voidaan arvioida rajapintamatriisin avulla. Kuvassa 8 on esitetty periaate rajapintamatriisista, jossa moduulit on listattu päällekkäin oletetussa asennusjärjestyksessä. Moduulien välisiä vuorovaikutuksia merkitään kirjaimilla G ja E. G- kirjain kuvastaa geometristä rajapintaa ja E- kirjaimella tarkoitetaan energiaa välittävää rajapintaa. Kuvan 8 perusteella voidaan huomata, että rajapintamatriisissa voidaan muodostaa kaksi arviointimenetelmää, Base unit assembly ja Hamburger assembly. Perusyksikkökokoonpanossa (Base unit assembly) perusmoduulin ympärille kootaan muut moduulit ja vastaavasti hampurilaiskokoonpanossa (Hamburger assembly) moduulit pinotaan kuvan 8 mukaisesti aina edellisen päälle. Rajapintamatriisissa näkyy myös rajapintoja, jotka sijoittuvat pystysuoran ja alaviistoon kulkevan nuolen ulkopuolelle.

Nämä rajapinnat eivät ole toivottuja ja niitä tulee välttää mahdollisuuksien mukaan. (Österholm & Tuokko, 2001, s. 30-32.)



Kuva 8. Rajapintamatriisi (Österholm & Tuokko, 2001, s. 32).

Viimeisessä vaiheessa suoritetaan moduulikohtainen suunnittelu. Kolmannen vaiheen MIM-matriisin modulaarisuutta ohjaavat tekijät toimivat perusvaatimuksina suunnittelussa. Esimerkiksi huollon ja kunnossapidon kannalta moduulit tulee suunnitella siten, että ne ovat helposti käsiteltävissä ja purettavissa irti. (Österholm & Tuokko, 2001, s. 37-38) Viimeisessä vaiheessa määrätään tuotteen tekniset ominaisuudet, rakenne, kustannustavoitteet sekä tuotekehitysmahdollisuudet.

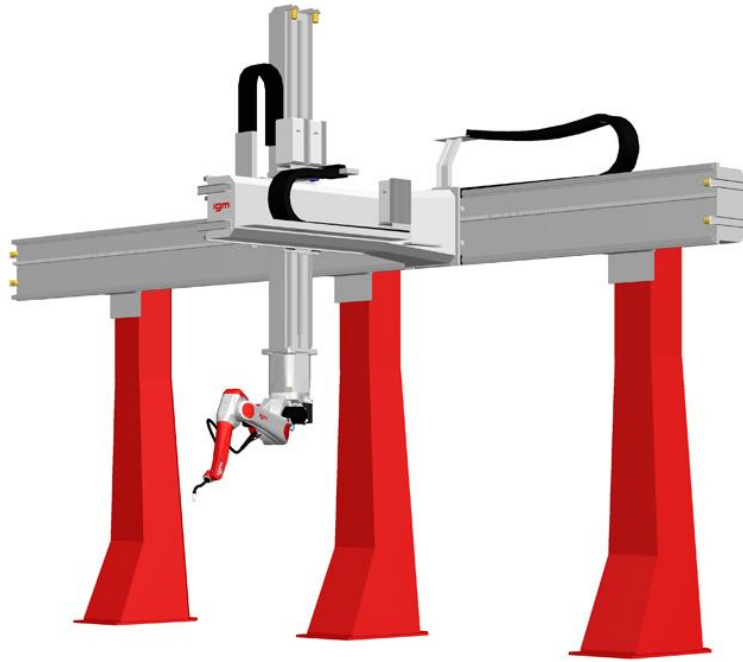
Viidennen vaiheen päämääränä on myös optimoida moduulit ja vähentää tuotteen tai tuoteperheen osien lukumäärää. Osien lukumäärän karsimisen avulla tuotteet ovat yksinkertaisempia ja helpommin kokoonpantavissa. Yrityksillä on täten mahdollista parantaa tuotteiden huollettavuutta sekä säästää työvoima- ja materiaalikustannuksissa. Osien lukumäärää karsiessa on kuitenkin muistettava ottaa huomioon koko tuotevalikoima. Jos moduulin osat optimoidaan vain tietylle tuoteratkaisulle, se voi yksittäisen moduulin kohdalla vähentää osia, mutta vaikutus koko tuotevalikoiman osien lukumäärässä voi olla päinvastainen. (Österholm & Tuokko, 2001, s. 37-39.)

3 MODULAARISUUS HITSAUSAUTOMAATIOSOVELLUKSISSA

Erilaisissa hitsausautomaatiosovelluksissa moduloinnilla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä niin kustannustarkastelussa kuin suunnittelu-, valmistus - ja kokoonpanoajoissa. Tässä työssä keskitytään robotiikkatuoteperheeseen, jossa valmistettavia työkappaleita hitsataan automatisoidusti hitsaustornien ja – portaalien avulla. Modulaarisuus kuitenkin aiheuttaa hitsaustornien ja hitsausportaalien kohdalla haasteita. Esimerkiksi asiakkaiden tilat vaihtelevat, jolloin hitsausportaali ei välttämättä mahdu työskentelemään työkappaleen asettamien vaatimusten mukaisesti. Esimerkiksi asiakkaan tehdashalli voi olla liian matala, jolloin paras hitsausasento voi jäädä saavuttamatta ja hitsauksen tehokkuus sekä laatu heikkenevät. Lisäksi moduloitavat tuotteet ovat usein yksilöityjä ratkaisuja painavampia, jolloin muodonmuutokset voivat tulla kriittiseksi kohdaksi pitkällä ulottumilla. Jos puomien taipumaa suurilla ulottumilla ei oteta huomioon, voi muutaman millimetrin heitto hitsauspolttimen päässä pahimmassa tapauksessa estää kokonaan hitsin hitsaamisen.

3.1 Robottihitsausportaali

Kuvassa 9 on esitetty periaatekuva hitsausrobottiportaalista. Hitsausrobottiportaali voidaan jakaa useaan eri alikokoonpanoon. Näitä ovat muun muassa kannatinjalat, x- puomi, y – puomi ja z- puomi. X-puomi sijaitsee kannatinjalkojen päällä ja se määrää portaalin X-liikepituuden. Y- puomi toimii vaakapalkkina, joka liikkuu x-liikesuunnan mukaisesti. Z-puomi voi liikkua pystysuunnassa sekä vaakapuomin mukaisesti y- suunnassa. Hitsausvarustelu sijaitsee Z- puomin alapäässä. Tällaisella ratkaisulla hitsausportaalilla voidaan hitsata hyvin 3-ulotteisia työkappaleita.



Kuva 9. Robottihitsausportaali (Img Robot periphery, 2015).

Kuvan 9 robottiportaali on gantry-tyyppinen portaali eli liikkeet tapahtuvat suorakulmaisesti hammastankojen, lineaarikelkkojen ja – johteiden avulla. Robotin työalue on laaja juuri näiden lineaaristen siirtoakselien johdosta. Kannatinjalkojen korkeus voi ylittää viisi metriä ja sekä y- ja z- akselien, eli vaaka- ja pysty akselien, liikepituudet voivat olla jopa 3-4 metriä. Tämä mahdollistaa hyvin suurten työkappaleiden kuten kuljetuskonttien ja – lavojen hitsaamisen robottiasemassa.

Gantry-tyyppinen portaali on usein servotoiminen ja sitä voidaan ohjata erillisellä robottiohjaimella. X, Y, Z- koordinaatiston ja servotoiminnan avulla portaali on helpompi ohjelmoida ja opettaa liikeratoja. Portaalin ohjelmointi on mahdollista suorittaa myös etäohjelmointina, jossa robotin liikkeet simuloidaan työkappaleen, työympäristön ja portaalin 3D-mallien avulla. Lisäksi siihen on mahdollista lisätä asiakkaan toiveesta myös useampia robotteja.

3.1.1 Modulaarisuus hitsausportaalissa

Robottihitsausportaali voidaan jakaa muutamaankin selkeään moduulirakenteeseen. Kannatinjalat, X-,Y- ja Z- puomit ja hitsausvarustelu muodostavat osarakenteita, joita

vaihtelemalla portaalin ominaisuuksia saadaan muokattua. Helpoin tapa muokata ominaisuuksia on vaihtaa portaalin liikepituuksia.

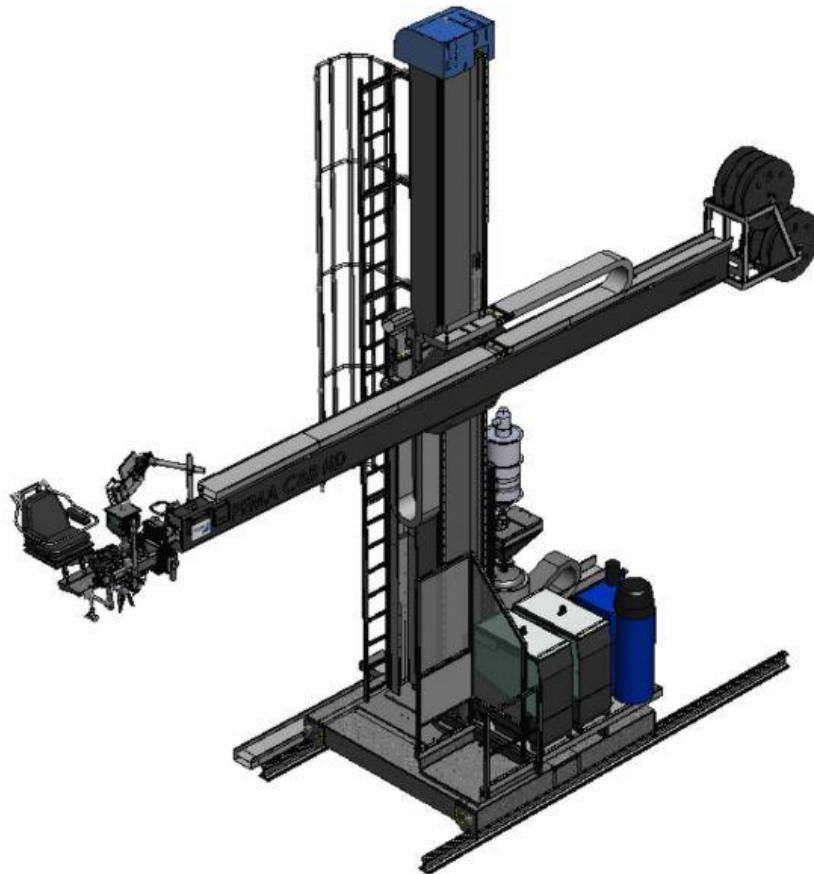
Mikäli esimerkiksi vaakapalkin eli y-akselin liikepituutta halutaan kasvattaa, tulee kotelopalkin sisään lisäillä tarpeen mukaan poikittaisjäykisteitä, jotta vaakapuomi ei menetä stabiiliuttaan. Lyhyemmillä vaakapalkeilla ja täten liikepituuksilla vaakapuomi taipuu vähemmän ja hallittavuus robottivarustelun polttimen on parempi kuin pitkillä liikepituuksilla. Portaalin kannatinjalat ja puomit on valmistettu koteloprofiileista, koska ne ovat valmistusteknisesti helppoja toteuttaa ja poikkileikkauksiltaan edullisia profiileja. Koteloprofiileilla on parempi vääntöjäykkyys ja kyky ottaa vastaan suurempia normaalivoimia kuin esimerkiksi I-profiileilla (Ongelin et al., 2010, s. 31).

Vaakapuomin liikepituutta muutettaessa tulee vaakapuomin ja X-suunnan runkopuomin väliset modulaariset rajapinnat säilyä entisellään. Vaikka profiilin poikkileikkaus muuttuisikin, on reunaehtojen mukaan vaakapuomin kelkassa olevien lineaarikelkkojen koko ja etäisyys toisistaan on oltava yhteneväisiä päärunгон lineaarijohteisiin. Pidemmillä liikepituuksilla tämä voi vaikuttaa moduulien rakenteeseen, kuten lisäjäykisteiden sijoitteluun, lujempien terästen käyttöön tai materiaalipaksuuksien muokkaamiseen.

Toinen moduloitavaksi soveltuva kohde robottihitsausportaaleissa on hitsausvarustelu. Erilaisiin hitsaussovelluksiin suunniteltuja robotteja löytyy runsaasti markkinoilta, jotta asiakkaan toiveet pystytään mahdollisuuksien mukaan toteuttamaan. Vaihtuvat työalueet, hitsaussovellukset, ulottumat, akselien lukumäärä ja asennustavat muodostavat modulaarisuutta ohjaavia tekijöitä, joiden avulla pystytään valitsemaan käyttökohteeseen parhaiten soveltuva hitsausvarustelu. Pystypuomin ja robottivarustelun välinen rajapinta on pidettävä vakiona tai oltava helposti erilaisilla väliläipillä muokattavissa, jotta hitsausvarustelun vaihto on jouhevaa. Väliläippojen käyttö perustuu siihen, että kaikkien robottien kiinnityspinnat eivät ole välttämättä yhdenmukaisia toistensa kanssa. Hitsausvarustusta on lisäksi mahdollista muokata esimerkiksi kameroiden, railon seurannan tai vaihtoehtoisten polttimien avulla.

3.2 Hitsaustorni

Hitsaustornin toiminnallisuus rakentuu pysty- ja vaakapuomi ympärille. Pystypuomi on kiinnitetty alustarunkoon kiinni siten, että se pystyy pyörimään kokonaan oman akselinsa ympäri. Näin hitsaustornilla työskentelyä pystytään suuntaamaan erilaisten työkappaleiden vaatimusten mukaisesti. Vaakapuomi on kiinnitetty pystypuomiin oman kelkan avulla. Pysty- ja vaakapuomin kyljissä sijaitsevat lineaarikelkat ja – johteet mahdollistavat vaakapuomin liikkumisen sekä pysty- että vaakasuunnassa. Vaakapuomiin ja alustarunkoon on mahdollista lisäillä erilaisia komponentteja toiminnallisten vaatimusten toteuttamiseksi. Näitä ovat muun muassa lankakelat, jauhetankkisäiliöt jauhekaarihitsausta varten, hitsausvirtalähteet ja hitsausvarustelut. Kuvassa 10 on esitetty periaatekuva hitsaustornista.



Kuva 10. Hitsaustorni HD 5x5 (Pemamek, 2015).

Kuvan 10 hitsaustornissa hitsausvarustelu on sijoitettu vaakapuomin toiseen päähän, jossa on tuolipaikka myös operaattorille. Lankakelat on sijoitettu vaakapuomin toiseen päähän,

mutta niiden paikkaa voidaan tilanteen mukaan vaihtaa puomin kylkeen, jos vaakapuomin toiseen päähän halutaan asiakkaan toiveesta asentaa toinenkin hitsauspoltin.

Hitsaustorneissa pyritään myös optimoimaan rakenteita profiilien poikkileikkausten suhteen. Tämä voi johtaa suurilla liikepituuksilla hitsauspolttimen hallittavuuden heikentymiseen. Vaakapuomi on valmistettu suorakaiteen muotoisesta rakenneputkipalkista ja siihen kohdistuu suurin taivutusmomentti, kun puomi on toisessa ääripäässä. Operaattorin, hitsausvarustelun ja puomin oma massa sekä muiden mahdollisten moduulien paino ja sijainti on otettava ennalta huomioon, jotta työskentelytarkkuus säilyy mahdollisimman hyvänä.

Hitsaustornit soveltuvat hyvin esimerkiksi putkimaisten työkappaleiden hitsaukseen. Tornilla on mahdollista hitsata pituus- ja poikittaissaumojä myös putkimaisen työkappaleen sisällä. Tämä edellyttää vain, että hitsausvarustelu ja vaakapuomi mahtuvat työntymään hitsattavan työkappaleen sisään.

3.2.1 Modulaarisuus hitsaustornissa

Hitsaustorneissa moduloitavia rakenneosia on helpommin tunnistettavissa ja vaihdettavissa kuin hitsausportaalissa. Selkeitä moduloitavia rakenteita ovat pysty- ja vaakapuomi, alustarunko sekä hitsausvarustelut. Alustarunkoon on mahdollista tehdä omia paikkoja erilaisille varusteluille kuten virtalähteille tai suojakopille, jotka toimivat omina moduuleina. Mikäli rungon alapuolella kulkevien lineaarijohteiden välinen etäisyys pidetään vakiona, voidaan koko torni käsittää omana tuotantolinjan moduulina ja vaihtaa se toiseen torniin, jos tuotantotarve muuttuu.

Hitsaustornin ulottuvuuksia ja liikepituuksia on helpoin moduloida vaihtamalla vain pysty- tai vaakapuomin pituuksia. Puomien pituuksien muutos ei vaikuta rajapintoihin, vaan lineaarijohteiden ja kelkkojen koot sekä niiden väliset etäisyydet ja kosketuspinnat pidetään vakioina.

Hitsausvarustelut on yhtäläillä helposti moduloitavissa niin hitsaustornien kohdalla kuin portaalissa. Vaakapuomin päähän suunnitellaan päätylevy, johon hitsausvarustelu on helppo kiinnittää. Hitsausvarustuksilla tulee siten olla ainakin yhteinen rungon

kiinnityslevy, jotta kiinnitys on jokaisella moduulivaihtoehdolla samanlainen. Hitsausvarustelu voidaan muuten toteuttaa vapaasti tilauskannan mukaisesti ja tarvittaessa lisätään erikoisvarusteluja kuten optisia railonseurantoja.

Vaakapuomin kylkeen tai alapintaan on lisäksi helppo lisätä varusteluja ja kiinnittää siihen esimerkiksi operaattorin tuoli, imureita tai useampia lankakeloja omina moduuleina. Rajoitteena toimii vaakapuomin päällä kulkeva kaapelikouru ja energiaketju, jotka sulkevat vaihtoehdon sijoittaa varusteluita myös suoraan vaakapuomin päälle. Hitsaustorneissa on mahdollista muodostaa omat moduulit pysty- ja vaakapuomille, jotka sisältävät valmiiksi tietyn varustelutason. Esimerkiksi vaakapuomin moduuli voi sisältää muun muassa puomin, johteet, voimansiirron, hammastangon, energiaketjun, lankakelat kiinnitystelineineen ja hitsausvarustelun.

3.3 Modulaarisuuden toimivuus robotiikkatuoteperheessä

Robottihitsausportaalin kehittäminen täysin moduloitavaan tuotearkkitehtuuriin on hankalaa. Eri komponenttien sijoittelu on melko tarkasti määrätty, jotta portaalin kokoonpano olisi jouhevaa ja samalla portaalin toimivuus olisi mahdollisimman tehokasta. Esimerkiksi X-liikkeen energiaketju tulee sijoittaa puomin päälle, jotta kaapelit eivät vaurioidu ylimääräisten mutkien takia. Rajapintojen yhteensopivuus hankaloituu myös, jos koteloprofiilipalkit ovat yli 10 metriä pitkiä, jolloin energiaketjut ovat samalla itse laskeutuvia. Portaalin suorakulmaisten liikkeiden takia lineaarijohteet sekä hammastangot tulee sijoittaa tasaisille koneistettujen pintojen päälle. Tämä asettaa myös omat haasteensa vaihtoehtoisten profiilimuotojen hyödyntämiselle.

Helpoin tapa kohti portaalin modulaarista tuotearkkitehtuuria olisi kehittää vain Y- ja Z-akselin toiminnallisuutta. Pitkillä liikepituuksilla vaakapuomi voi taipua liikaa, mutta rakennesuunnittelulla ja moduulisten rajapintojen määrittelyllä vaakapuomista pystytään muodostamaan toimiva vaihtokelpoinen moduuli. Vaakapuomiin voidaan vakioda paikat imukanaville, jäähdyttimille tai lankarullien telineille, jolloin esimerkiksi rullat kulkevat vaakapuomin mukana koko työskentelyprosessin ajan. Pystypuomiin pystytään suunnittelemaan optiopaikat lisähitsausvarusteluille kuten kameroille tai huuvalle, jolla haitalliset hitsauskaasut saadaan kerättyä paremmin talteen.

Modulointi antaa ohjenuoria robottiportaalin hinnoitteluun, myyntiin ja valmistukseen, mutta loppuun asti modulointi on hankalaa asiakaskohtaisen räätälöinnin takia. Koteloprofiileista voi olla yrityksen järjestelmissä pohjia, joita muokkaamalla räätälöidään portaalin liikkeiden pituudet ja rajapinnat vastaamaan asiakkaan toiveita. Tällä toimenpiteellä suunnittelu-aikaa saadaan hieman lyhennettyä. Valmiista moduuleista rakennettu portaali voi olla kooltaan sopimaton työkappaleen kokoa tai asiakkaan tiloja ajatellen.

Hitsaustornien kohdalla modulointi onnistuu helpommin hitsausportaaleihin verrattuna, koska pysty- ja vaakapuomit ovat helposti vaihdettavissa ja muunneltavissa. Tornin korkeutta voidaan muuttaa vaihtamalla pystypuomi toiseen ja vaakapuomin varustelut eivät ole sijainniltaan niin tarkasti määrättyjä. Kuten aikaisemmin todettua, hitsaustornin pysty- ja vaakapuomeista voidaan kehittää valmiita moduulirakenteita, jotka sisältävät tarvittavat komponentit johteineen ja voimansiirtoineen sekä vaaditut hitsausvarustelut.

Komponenttien vaihtomodulaarisuutta kuvastaa esimerkiksi pitkin vaakapuomia sijoiteltavissa olevat lankakelat tai jauhesäiliöt. Rajoitteena on vain, että vaakapuomin ollessa tornin ala-asennossa, varustelut eivät saa törmätä alustarungon varusteluihin. Tähän pystytään vaikuttamaan alustarungon suunnittelussa ja tarvittaessa jättämään vaakapuomin moduuleille sopiva tilavaraus, jotta tornilla pystytään työskentelemään ala-asennossa myös halkaisijoiltaan pienempien työkappaleiden parissa.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuoteperheen rakentaminen on suuri askel yritykselle ja tuoteperhettä kehitettäessä on tärkeää kyetä ennakoimaan käyttäjien odotuksia ja tarpeita. Tuoteperheen edut verrattaessa massatuotantoon ovat laajempi tuotevalikoima sekä parempi tuotettavuus massaräätälöintiin verrattuna. Eri tuotevaihtoehtoja ja moduuleja on mahdollista kehittää rinnakkain. Tämä edellyttää suuremman suunnittelukapasiteetin käyttöä ja panostusta etenkin suunnitteluprosessin alkuvaiheessa. Toisaalta on myös todettava, että erillisen tuoteperheen kehittäminen, valmistus ja markkinointi ovat haasteellisempia verrattuna yksittäisen tuotteen vaiheisiin. Tämä kasvattaa riskejä, joita yritysten on kyettävä harkitusti ottamaan.

Tuotteiden modulointimahdollisuus ja tuotekehityksen nopeuttaminen tarjoavat mahdollisuuksia laajemman asiakaskunnan tarpeiden tyydyttämiseen. Parhaimmassa tapauksessa tehokkaasti suunniteltu ja moduloitavissa oleva tuoteperhe tarjoaa mahdollisuuden tuotevalikoiman massatuotantoon ja –räätälöintiin.

Robottiikkatuoteperhe sisältää runsaasti muuttuvia rakenteita, joita räätälöidään asiakkaan ja työkappaleiden mukaan. Tuotekirjo ja lisävarusteluiden määrä on laaja. Hitsausportaalin suuret rakenneosat soveltuvat paremmin uniikkiin ja asiakaskohtaiseen räätälöintiin, koska liian suuren portaalin valmistus ei ole kustannustehokasta ja liian pienillä X-, Y- ja Z-akselien liikepituuksilla voi hitsattava työkappale jäädä laadullisesti liian huonoksi, koska kaikkia hitsejä ei välttämättä pystytä hitsaamaan tai väärä hitsausasento heikentää hitsien laatua. Vastaavasti hitsaustorneissa kaikki tornin rakenneosat voivat tarvittaessa toimia moduulisina rakenteina ja moduulien sijoittelu on vapaampaa, koska moduulien väliset rajapinnat ovat helpommin määritettävissä.

Teknologian kehitys rajoittaa kuin myös samalla antaa mahdollisuuden tuotteiden modulaariselle arkkitehtuurille. Rajoitus perustuu uusien rakenteiden suunnittelun ja mahdollisten innovaatioiden valmistuksellisiin haasteisiin. Tällöin arkkitehtuurista räätälöintiä tulisi hallita vain pienillä muutoksilla ja vähäisillä vaihtoehtojen määrällä. Modulaarinen arkkitehtuuri on kannattavaa, jos tuotteen käytettävyys, moduulien

vaihtomahdollisuus ja ominaisuudet ovat tarpeeksi hyviä asiakastyytyvyyden ylläpitämiseksi. Toisaalta, jos tuote on ominaisuuksiltaan parempi kuin asiakkaan tarve, eivät asiakkaat ole enää valmiita maksamaan ylimääräistä paremmasta suorituskyvystä.

Asiakastarpeisiin pystytään reagoimaan nopeammin, kun modulaarista tuotetta ei tarvitse suunnitella alusta alkaen uusiksi, vaan suunnittelu voidaan kohdistaa tietyn moduulin kohdalle. Parhaimmassa tapauksessa yhdelle asiakkaalle suunniteltua moduulia voidaan jatkossa käyttää tuoteperheen muissakin sovelluksissa. Esimerkiksi uudelleen suunniteltu hitsausvarustelu voi olla edellistä kokoonpanoa kompaktimmassa koossa, jolloin sillä päästään hitsaamaan sisähitsejä työkappaleille, joilla on pienempi sisähalkaisija. Tämä kehitetty moduuli mahdollistaa paremman joustavuuden ja sitä voidaan hyödyntää tämän jälkeen yhtä hyvin myös suurempien työkappaleiden valmistuksessa.

Hitsausautomaatiosovelluksissa modulointi on järkevä vaihtoehto erityisesti hitsaustornien kohdalla. Robottiportaaleissa tulee yrityksen kohdalla miettiä, että onko modulointi se paras ratkaisu. Modulointiaste jää vähäisemmälle, kun järkevin moduloitava kohde on kannatinjalkojen korkeus sekä y-akseli eli vaakapuomi ja sen pituuden eri vaihtelut. Robottihitsausportaalit ovat usein kooltaan niin isoja, että niissä lujuustekninen tarkastelu tulee ottaa tarkasti huomioon, koska pelkästään portaalin omasta massasta aiheutuvat kuormitukset voivat olla suuria. Tämä voi aiheuttaa suunnitteluvaiheessa rakenteellisia muutoksia, jotta myös lisävarusteluista aiheutuvat kuormitukset eivät asetu kriittisiksi. Lisäksi portaaliin ja työkappaleisiin kohdistuvat tilavaatimukset ja asiakastarpeet muokkaavat portaaleista useimmiten asiakasräätälöidyn ratkaisun eikä portaaleiden kokonaisvaltainen modulointi ole näin ollen järkevää.

Nykyisten rakenteiden toiminnallisuus on suunniteltu tehokkaaksi. Robottiportaalin liikeratojen ja helpon ohjelmoimisen ansioista sillä pystytään helposti hitsaamaan suuriakin työkappaleita. Kehityskohteenä voisi robottihitsausportaaleissa tutkia vaihtoehtoisten profiilimuotojen käyttöä koteloprofiilien tilalla. Koteloprofiilien käyttöä puoltaa kylläkin se, että niiden sisään voidaan valmistusvaiheessa helposti lisätä jäykistelevyjä, jos rakenteeseen kohdistuvien kuormitusten takia stabiiliuden menetys ilman jäykisteitä olisi vaarassa.

Hitsaustorneissa rakenne on kehitetty joustavaksi. Tämä helpottaa suunnittelutyötä, kun suunnittelutyö voidaan kohdistaa vain tietyn moduulin kohdalle ja suunnitteluajoja saadaan lyhennettyä. Asiakaskohtainen tuotteen muuntelu ei täten ole niin työlästä. Moduulivarusteluiden vaihto ja huoltotoimenpiteet on helppo suorittaa, kun esimerkiksi vaakapuomi voidaan laskea ala-asentoon ja suorittaa huoltotoimenpiteet lattiatasolta.

5 YHTEENVETO

Tässä työssä keskityttiin tuoteperheen määrittelyyn ja rakenteen modulaarisuuden tutkimiseen hitsausautomaatiosovelluksissa. Tavoitteena oli tuoda esille, miten robottihitsausportaaleissa ja hitsaustorneissa modulaarisuutta on hyödynnetty tai voitaisiin mahdollisesti hyödyntää ja millaisia vaikutuksia sillä on yrityksen tuotekehityksessä.

Työn teoriaosuudessa on käsitelty tuoteperheen muodostamista ja modulaarisuutta yleisellä tasolla sekä käyty läpi modulaarisen tuotesuunnittelun eri vaiheet. Lisäksi teoriaosuudessa listattiin modulaarisuutta puoltavia sekä vastustavia asiakohtia, joita hyödynnettiin työn tutkimusosiossa.

Työn tutkimusosiossa keskityttiin hitsausautomaatiosovelluksiin, joissa työkappaleiden hitsaus tapahtuu täysin automatisoidusti. Kohderyhmäksi valittiin robottihitsausportaalit ja hitsaustornit, jotka soveltuvat hyvin raskaaseen konepajatuotantoon. Tavoitteena oli selvittää rakenteiden soveltuvuus modulaariselle arkkitehtuurille ja löytää jatkokehityskohteita.

Modulaarinen tuoteperhe mahdollistaa yritykselle asiakaskunnan laajenemisen ja samalla tuoteperheen jäsenten muunneltavuus yksinkertaistaa suunnitteluprosessia ja valmistusta. Modulaarisen rakenteen myötä tuotteiden joustavuus, huollettavuus ja elinkaari pitenee, kun moduuleja voidaan vaihtaa uusiin sekä uudelleen käyttää vanhaa moduulia toisessa sovelluksessa.

Modulaarisuus on mahdollista toteuttaa niin robottihitsausportaaleissa kuin hitsaustorneissa. Modulointiaste näillä on erilainen, koska robottihitsausportaalien loppuun asti modulointi ei ole asiakasräätelöinnin seurauksena aina mahdollista tai kustannustehokasta. Hitsaustorneissa rakenne on suunniteltu yksinkertaiseksi ja pyritty samalla mahdollisimman pieneen osamäärään. Yksinkertaisissa rakenteissa moduulien muodostus ja rajapintojen määrittäminen on helpompaa. Tällöin modulointi on jouhevaa suorittaa.

LÄHTEET

Aarnio, J. 2003. Modularization by Integration: Creating Modular Concepts for Mechatronic Products. Tohtorin väitöskirja. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. 157s.

Eckert, C.M., Zanker, W. & Clarkson, P.J. 2001. Aspect of Better Understanding of Changes. Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design: Design Applications in Industry and Education. UK: Professional Engineering Publishing, Glasgow. s. 577-578.

Ericsson, A. & Erixon, G. 1999. Controlling Design Variants – Modular Product Platforms. Dearborn, Michigan, USA: Society of Manufacturing Engineers. 145 s.

Erixon, G. 1998. Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation. Tohtorin väitöskirja. Tukholma, Ruotsi: Royal Institute of Technology. 178 s.

Hellström, M. 2005. Business concepts based on modularity: a clinical inquiry into the business of delivering projects. Tohtorin väitöskirja. Turku: Åbo Akademi University Press. 189 s.

Igm Robot periphery. 2015. [igm:n www-sivuilla]. [viitattu 1.11.2015]. saatavissa: <http://www.igm-group.com/en/products/intern:85/periphery/articlearchivshow-robot-periphery>

Marshall, R. 1998. Design Modularisation: A system Engineering Based Methodology For Enhanced Product Realisation. Väitöskirja. Department of Manufacturing Engineering. Loughborough University. 250s.

Miller, T. D. & Elgård, P. 1998. Defining Modules, Modularity and Modularization – Evolution of the Concept in a Historical Perspective. Design for Integration in Manufacturing. Proceedings of the 13th IPS Research Seminar, Fuglsoe 1998.

Ongelin P. & Valkonen I. 2010. Hitsatut profiilit EN 1993- Käsikirja. Hämeenlinna: Rautaruukki Oyj. 608 s.

Pahl, G. & Beitz, W.1990 Koneensuunnitteluoppi. 608 s. 2. painos Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset.

Pemamek Oy. Hitsaustorni HD 5x5. 2015. [Pemamek Oy:n www-sivuilla]. [viitattu 1.11.2015]. Saatavissa:

<http://www.pemamek.com/welding-solutions/heavy-fabrication/welding-column-and-booms/hd-series/hd-5x5>

Pulkkinen, A. 2007. Product Configuration in Projecting Company: The Meeting of Configurable Product Families and Sales-Delivery Process. Väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto. 184 s.

Soininen, J-P.1997. Asiakastarvelähtöisyys elektronisen tuoteperheen suunnittelussa, VTT Julkaisuja 822. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 129 s.

Ulrich, K.T. & Eppinger, S.D. 2008. Product Design and Development. 4. painos. New York: The McGraw-Hill Companies Inc. 368 s.

Österholm, J. & Tuokko, R. 2001. Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin – Modular Function Deployment. MET-julkaisuja nro 21/2001. Vantaa: Metalliteollisuuden kustannus Oy. 64 s.