



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

SIMO SUOLAHTI

VARIOITUVAN TUOTTEEN VALMISTUS LINJASSA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Seppo
Torvinen

Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Automaatio-, kone- ja
materiaalitekniikan tiedeneuvoston
kokouksessa 9. joulukuuta 2009

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

SUOLAHTI, SIMO: Varioituvan tuotteen valmistus linjassa

Diplomityö, 64 sivua

Maaliskuu 2010

Pääaine: Tuotantotekniikka

Tarkastaja: professori Seppo Torvinen

Avainsanat: rinnakkaissuunnittelu, linjamuotoinen kokoonpano, massaräätälöinti, DFMA, modulointi

Tässä työssä käsitellään asiakaskohtaisesti muunneltavien tuotteiden massaräätälöintiä, modulointiä ja kokoonpantavuutta. Tavoitteena on selvittää DFMA:n (Design for Manufacture and Assembly), massaräätälöinnin, moduloinnin ja rinnakkaissuunnittelun käsitteet ja keskeisimmät periaatteet aikaisemmin julkaistujen julkaisujen perusteella, sekä esittää niiden välinen yhteys. Lopuksi tutustutaan Metson liikkuvien kivenmurskainyksiköiden voimalaitemoduulien ominaisuuksiin ja tarkastellaan teorioiden soveltuvuutta niiden suunnitteluun.

DFMA, massaräätälöinti, modulointi ja rinnakkaissuunnittelu ovat keinoja suunnitella ja hallita asiakaskohtaisesti muunneltavia tuotteita kannattavasti. Massaräätälöinti on ylemmän tason filosofia, jonka avulla asiakaskohtaisia tuotteita voidaan lähteä suunnittelemaan. Rinnakkaissuunnittelu antaa tekniikan, jonka avulla voidaan tuottaa DFMA:n mukaan tehokkaasti valmistettava ja helposti kokoonpantava ja massaräätälöity tuote, jolla on modulaarinen tuoterakenne.

Asiakaslähtöisen räätälöidyn tuotteen suunnittelemisen ei pitäisi olla ainoastaan tuotesuunnittelun ja myynnin tehtävänä, vaan siihen pitäisi osallistua organisaatiotasolla. Muiden osastojen ottaminen mukaan tuotesuunnitteluun rikastuttaa koko tuotetta sekä organisaatiota.

Metson liikkuvien murskainlaitteiden valmistusyksikön tarkastelussa arvioidaan voimalaitemoduulin tulevaisuutta tuotannon kannalta. Moduulien valmistuksen haasteet kasvavat tulevaisuudessa uuden päästömääräysdirektiivin ja kasvavan kapasiteetin tarpeen takia. Työssä arvioidaan, miten näihin uusiin haasteisiin tulee suhtautua sekä tuotannon että suunnittelun näkökulmasta.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

SUOLAHTI, SIMO: Line assembly of varying products

Master of Science Thesis, 64 pages

March 2010

Major: Production Engineering

Examiner: Professor Seppo Torvinen

Keywords: Concurrent Engineering, Production Line, Mass Customization, DFMA, Modularity

This thesis concentrates on the mass customization, modularity and assembly of customer specific products. The target is to clarify the theories behind Design for Manufacture and Assembly, Mass Customization, Modularity and Concurrent Engineering based on previously released scientific publications. At the end, the thesis explores the power supply module of Metso Minerals' mobile crushing plants, its features and examines how theories apply in design.

DFMA, Mass Customization, Modularity and Concurrent Engineering are ways to design and control customer specific products in a profitable way. Mass Customization is a higher level philosophy which eases the design process. Concurrent Engineering offers a technique to achieve modular and customer customized products which are easy to produce and assemble.

Designing a customer specific product shouldn't be only a research and development problem. The design process should consist of co-operation of all levels of the organization. The inclusion of other departments to the process enriches not only the designing process but also the whole organization.

In the analysis part, the focus is on power supply modules from Metso Minerals mobile crushing plant. The thesis analyses the module from the production point of view. In the future, production faces problems caused by new emission standards and the continuously increasing volume of machines. The thesis evaluates how these new challenges should be encountered.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Metso Minerals Oyj:n Tampereen tehtaan ja Tampereen teknillisen yliopiston yhteishankkeena. Tarkastajana työssä toimi professori Seppo Torvinen ja Metson puolesta ohjaajana toimi Kimmo Ylälehto.

Haluan kiittää Kimmo Ylälehtoa ja Seppo Torvista sekä muita henkilöitä, jotka auttoivat ja kannustivat työn tekemisessä sen eri vaiheiden aikana.

Tampereella 12.2.2010

Simo Suolahti
simo.suolahti@iki.fi
040-7654 942

SISÄLLYS

Tiivistelmä.....	II
Abstract	III
Alkusanat.....	IV
LYHENTEET, Termit ja määritelmät.....	VII
1. Johdanto.....	1
1.1. Lähtökohdat työlle.....	1
1.2. Teoriaosan ja analysoinnin tavoitteet	1
1.3. Esimerkkiprojekti	1
1.3.1. Tavoitteet	1
1.3.2. Rajaus.....	2
1.4. Yritysesittely	2
1.4.1. Yrityshistoria.....	3
1.4.2. Arvot	3
1.4.3. Metso Tampereella (Lokomolla).....	4
1.5. Käytetyt tutkimusmenetelmät	5
2. Toiminnanohjaus.....	6
2.1. Tuotannon layout ja virtaus	6
2.1.1. Layoutin päätösprosessi	6
2.1.2. Kiinteän paikan layout	7
2.1.3. Funktionaalinen layout	7
2.1.4. Solulayout	8
2.1.5. Valmistuslinja.....	8
2.2. Design for Manufacture and Assembly	9
2.2.1. Aksiomat	10
2.2.2. Tekosyitä	11
2.2.3. DFMA:n hyödyt	14
2.3. Massaräätälöinti	14
2.3.1. Mahdollisuudet ja rajoitteet	14
2.3.2. Massaräätälöinnin neljä perusmuotoa.....	17
2.3.3. Design for Mass Customization	19
2.3.4. DFMC:n Tekniset haasteet.....	20
2.3.5. DFMC-metodiikka.....	21
2.3.6. Konfigurointi.....	22
2.3.7. Tuotteeseen ja konfigurointiin liittyvät yrityksen sisäiset näkökannat	
26	
2.4. Modulointi.....	27
2.4.1. Moduloinnin eri tyypit	27
2.4.2. Tuotettavuuden paraneminen	29
2.5. Rinnakkaissuunnittelu	30
2.5.1. Tuotekehitystiimin rakenne.....	31

2.5.2.	Toiminnan fokus.....	32
2.5.3.	Tuotesuunnittelun vaiheet.....	33
3.	DFMA:n, massaräätälöinnin, moduloinnin ja rinnakkaissuunnittelun analysointi.	37
3.1.	Teorioiden analysointi.....	37
3.1.1.	Design for manufacture and assembly.....	37
3.1.2.	Massaräätälöinti.....	38
3.1.3.	Modulointi.....	40
3.1.4.	Rinnakkaissuunnittelu.....	41
3.2.	Teorioiden yhteydet toisiinsa.....	42
3.2.1.	Rinnakkaissuunnittelu osana massaräätälöintiä.....	42
3.2.2.	Modulointi osana rinnakkaissuunnittelua ja massaräätälöintiä.....	43
3.2.3.	DFMA osana rinnakkaissuunnittelua.....	43
3.2.4.	Teorioiden soveltaminen.....	44
3.3.	Asiakkaan näkökulma.....	44
3.3.1.	Asiakaslähtöinen suunnittelu.....	44
3.3.2.	Asiakkaan kustannukset vs. omat kustannukset.....	45
3.4.	Päätelmät.....	48
4.	Case: Voimalaiteyksikön linjakoonti.....	49
4.1.	Projektin sisältö.....	49
4.1.1.	Nykytilanne.....	49
4.1.2.	Voimalaiteyksikön tulevaisuus.....	51
4.1.3.	Miksi kehitystä on tapahduttava.....	52
4.2.	Kokoonpantavuuden kehittäminen.....	53
4.2.1.	Keinot tavoitteiden saavuttamiseen.....	55
5.	Tulosten tarkastelu.....	58
6.	Päätelmät ja suositukset.....	61
	Lähteet.....	63

LYHENTEET, TERMIT JA MÄÄRITELMÄT

DFA	Design for Assembly on työkalu kokoonpantavuuden suunnitteluun.
DFMA	Design for Manufacture & Assembly on työkalu valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden suunnitteluun.
DFMC	Design for Mass Customization on työkalu massaräätälöinnin suunnitteluun.
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis eli FMEA tunnetaan myös nimellä vika- ja vaikutusanalyysi. Se on luotettavuustekniikan menetelmä, jonka avulla voidaan tunnistaa, arvioida ja eliminoida tuotteen, prosessin tai palvelun mahdolliset virheet ja niiden vaikutukset ennen kuin tuote saavuttaa asiakkaan.
FIFO	Materiaalin hallintaan liittyvä termi. Materiaali, joka tulee ensimmäisenä varastoon, myös poistuu ensimmäisenä varastosta. (First in first out)
Konfigurointi	Tuotteen parametointi esimerkiksi valmiiden konfigurointitaulujen mukaan (engl. configuration).
Kustomointi	Järjestelmän muokkaaminen kunkin asiakkaan tarpeita vastaavaksi. (engl. customization).
Lean	Lean on filosofia, jolla pyritään tuottamaan asiakkaalle aidon kysynnän mukaisesti oikea määrä oikeanlaisia tuotteita oikeaan aikaan ja ennakoituihin kustannuksiin.
Lokomo	Metso Minerals Tampereen vanha nimi. Sijaitsee Tampereen Hatanpäällä Lokomonkadulla.
Lokotrack	Metson tela-alustaisen murskainlaiteyksikön tuotenimi.
Make or Buy	”Make or Buy” -analyysin avulla selvitetään, kannattaako tuote valmistaa itse vai ostaa alihankkijalta.
PFA	Product Family Architecture, eli tuoteperheen yhteinen arkkitehtuuri tai tuoterungon arkkitehtuuri.
QFD	Quality Function Deployment on tekniikka, jolla varmistetaan, että asiakkaiden vaatimukset on otettu huomioon tuotesuunnittelun aikana.
SCARA	Tehokas teollisuusrobotti, jonka työliike on pelkästään ylhäältä alas. Robottimalli on suosittu automaattisessa kokoonpanossa. (engl. Selective Compliance Assembly Robot Arm)
Tekes	Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus rahoittaa haastavia tutkimus- ja kehitysprojekteja ja edistää yritysten kehittymistä.

TIER	EU:n alun perin määrittelemä vaiheittain voimaan tuleva päästömääräys. Eri maailman valtiot siirtyvät noudattamaan päästömääräyksiä eri vaiheissa.
Time to Market	”Time to Market” on aika, joka kuluu tuotteen suunnitteluvaiheesta siihen, kun se saadaan markkinoille.
VODC	VODC-konverttereita (Vacuum-Oxygen-Decarburization-Converter) käytetään sulatuksen jälkeen runsaasti seostettujen terästen käsittelyyn perinteisen mellotuksen (= happipuhallus, jolla sulan hiilipitoisuutta alennetaan), raffinoinnin (= poistuu haitallisia epäpuhtauksia) ja deoksidoinnin eli pelkistyksen eli tiivistämisen (= alentaa teräksen happipitoisuutta) asemesta.
WIP	Work in Progress, eli keskeneräinen tuotanto tai tuotannossa parhaillaan oleva materiaali.

1. JOHDANTO

1.1. Lähtökohdat työlle

Globaalin maailmantalouden kehittyessä myös maailmanlaajuiset päästömääräykset tiukentuvat. Tiukentuvia määräyksiä tuodaan julkiseen liikenteeseen ja teollisuuteen erilaisin askelin. Vuoden 2011 alusta voimaan astuva TIER IV päästömääräysdirektiivi vaikuttaa teollisuuskoneiden tuotantoon. Jatkuva tuotantomäärien ja kaupan kehittyminen muuttaa samalla tuotantomenetelmiä. Asiakkaat vaativat entistä enemmän asiakaskohtaisesti suunniteltuja tuotteita, joiden hankintakustannukset eivät kuitenkaan saa nousta joukkotuotettujen tuotteiden kustannuksia korkeammaksi.

1.2. Teoriaosan ja analysoinnin tavoitteet

Teoriaosuudessa keskitytään neljän teorian tarkasteluun: massaräätälöinti, rinnakkaissuunnittelu, modulointi, sekä DFMA (Design for Manufacture & Assembly). Teorioista pyritään selvittämään aikaisemmin julkaistujen teosten avulla niiden käsitteet ja keskeisimmät periaatteet. Pääpaino teoriaosuudessa on asiakaskohtaisesti muunneltujen tuotteiden ominaisuuksien ja suunnittelutekniikoiden selvittämisessä. Ominaisuuksia ja suunnittelutekniikoita tarkastellaan lähemmin kokoonpanon kannalta.

Analysointiosuudessa selvitetään tarkemmin eri teorioiden soveltuvuutta kokoonpanoteollisuuteen ja tarkastellaan samalla eri teoriaosuuksien välisiä yhteyksiä. Yhteyksien lisäksi keskitytään asiakaslähtöisen suunnittelun toteuttamiseen liittyviin haasteisiin ja mahdollisuuksiin. Lopuksi analysoidaan kustannuksien muodostumista asiakkaalle ja yritykselle.

1.3. Esimerkkiprojekti

1.3.1. Tavoitteet

Esimerkkiprojektissa tarkastellaan Metso Oyj:n kaivos- ja maanrakennusteknologian murskainlaiteyksiköiden voimalaitemoduulien valmistukseen liittyviä haasteita. Ensimmäisenä haasteena on murskainlaiteyksiköiden kasvavan kysynnän nostama voimalaitemoduulien kapasiteetin kasvun tarve. Toisena haasteena ovat tiukentuvat päästömääräykset, joiden seurauksena uusi TIER IV-päivitys tulee voimaan vuoden 2011 alussa. Jotta kapasiteetin kasvuun voitaisiin reagoida tulevaisuudessa, tulee moduulien läpimenoajan pienentyä vähintään 30 prosenttia. Tavoitteena on myös saavuttaa 100 prosentin toimitusvarmuus.

Projektin aluksi selvitetään voimalaitemoduuleita valmistavan osaston toiminnan nykytila ja tarkastellaan millaisia ongelmia ja haasteita kohdataan tämänhetkisessä työympäristössä. Tämän jälkeen analysoidaan paremmin tulevaa kapasiteetin tarvetta, sekä TIER IV:n tuomia uusia haasteita. Lopuksi arvioidaan teoriaosuudessa analysoitujen tekniikoiden soveltuvuutta voimalaitemoduulien suunnitteluprosessiin ja esitetään loppupäätelmät.

1.3.2. Rajaus

Projektista rajataan ulos osakokoonpanon tehdaspinta-alan lisääminen ja mahdollisuus lisätä kokoonpanopaikkoja. Työssä tullaan keskittymään kokoonpantavuuden parantamiseen ja linjamuotoisen kokoonpanon kehittämiseen. Teoriaosuudesta rajataan pois moduulien kokoonpanon siirtäminen alihankintaan ja sen taloudellinen kannattavuus. Sitä ei kuitenkaan lasketa kokonaan pois mahdollisista ratkaisuista itse projektissa.

1.4. Yritysesittely

Metso on kestävien teknologioiden ja palveluiden kansainvälinen toimittaja kaivos-, maarakennus-, energia-, metallinkierrätys- sekä massa- ja paperiteollisuudelle.

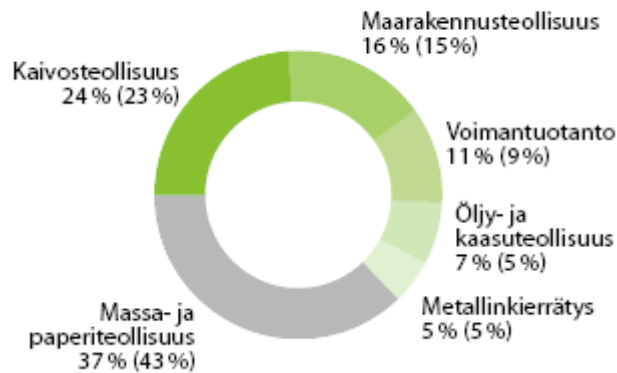
Vuonna 2008 Metso-konsernin liikevaihto oli 6 400 miljoonaa euroa. Suunnittelua, tuotantoa, hankintaa, palveluliiketoimintaa, myyntiä ja muuta toimintaa on yhteensä 50 maassa, joten se on aidosti globaali. Metso työllistää maailmanlaajuisesti noin 28 000 osaajaa, ja asiakkaita on yli 100 maassa.

Konserni on jaettu kahdeksaan eri liiketoimintalinjasta koostuvaan verkostoon, jotka on organisoitu kolmeen segmenttiin: Kaivos- ja maarakennusteknologia, Energia- ja ympäristöteknologia sekä Paperi- ja kuituteknologia.

Kuluneina vuosina kasvu on ollut merkittäväntä kaivos- ja maarakennusteollisuudessa sekä maantieteellisesti uusilla kehittyvillä markkinoilla. Metso ei ole riippuvainen yhden teollisuudenalan tai tietyn maantieteellisen alueen kehityksestä. Nykyisin jo yli kolmannes liikevaihdosta ja yli puolet tuloksesta muodostuu palveluliiketoiminnasta.

Pitkän aikavälin strategisena tavoitteena on kestävä ja kannattava kasvu. Lyhyellä aikavälillä keskitytään kilpailukyvyyn ja kassavirran parantamiseen sekä kannattavuuden turvaamiseen.

Liikevaihto asiakasteollisuuksittain



KUVA 1.1. *Metso-konsernin liikevaihto asiakasteollisuuksittain*

1.4.1. Yrityshistoria

Metson juuret ulottuvat 1800-luvulle tai jopa kauemmaksi, kun edeltäjäyritykset käynnistivät toimintansa konepaja-, saha- ja laivanrakennusteollisuuden parissa. 1750-luvulla Helsingin edustalla sijaitsevalla Viaporin (Suomenlinna) linnoituksella toimi pieni allastelakka, joka päättyi 1900-luvulla Suomen valtion omistukseen ja osaksi Valmetia. 1800-luvulla toimintansa aloitti ainakin neljä Metsoon tänä päivänä kuuluvaa yritystä: Karlstadin valimo Ruotsissa, Sunds Defibrator Industries Ab:n edeltäjä Sunds Bruk perustettiin Ruotsissa, Nordberg Manufacturing Company Yhdysvalloissa ja Ateliers Bergeaud Ranskassa. Yritysfuusioita ja kasvua tapahtui erityisesti toisen maailmansodan ja sotakorvausten aikana. Metso syntyi vuonna 1999 pitkän kansainvälistymiskauden, yritysfuusioiden ja -ostojen jälkeen.

1.4.2. Arvot

Metson toimintaa ohjaavat neljä arvoa määriteltiin jo vuonna 2001, mistä lähtien ne ovat olleet ohjenuorana liiketoiminnassa ja jokapäiväisessä työssä.

Asiakkaan menestyminen

Kannattava liiketoiminta on mahdollista vain asiakkaidemme menestyksen kautta. Kehittämämme ratkaisut ennakoivat asiakkaidemme tulevia tarpeita ja ottavat huomioon ympäristötekijät. Palvelemme asiakkaitamme sitoutuneesti ja ammattitaitoisesti.

Kannattava uusiutuminen

Tuotamme lisäarvoa asiakkaillemme ja omistajillemme uudistumisen kautta. Olemme valmiita kyseenalaistamaan nykyisen ja luopumaan vanhasta. Hyödynnämme ja yhdistämme koko organisaation laajaa ja erilaista osaamista. Kasvumme perustuu luovuuteen ja terveeseen riskinottoon ilmapiirissä, jossa tuemme ja palkitsemme innovatiivisuutta.

Yksilön sitoutuminen

Otamme vastuuta ja kannamme vastuamme, joten meihin voi aina luottaa – viemme asiat loppuun saakka. Sanomme asiat suoraan ja rehellisesti samalla kunnioittaen kulttuurien erilaisuutta. Vaikka ilmaisemme avoimesti kantamme ja perustelumme, sitoudumme yhteisesti sovittuihin tavoitteisiin.

Ammatillinen kehittyminen

Haluamme ja osaamme oppia myös toisiltamme, sillä ammatillinen kehittyminen on tärkeä osa työtämme. Olemme valmiita tarttumaan uusiin haasteisiin kykyjemme mukaan. Huolehdimme myös koko työyhteisömme hyvinvoinnista.

1.4.3. Metso Tampereella (Lokomolla)

Metso Minerals Tampereen tehtaiden päätuotteet ovat leuka- ja karamurskaimet, tela- ja pyöräalustaiset murskainyksiköt, kiinteät ja siirrettävät murskauslaitokset sekä syöttimet, seulat ja kuljettimet. Yrityksen aiempi nimi Nordberg on yhä käytössä keskeisenä tuotenimenä. Murskainten keskeiset valu- ja kulutusosat valmistaa teräsvalimo Lokomo Steel Foundry.

Murskaintehdas

Murskaintehdas valmistaa Nordberg-nimisiä leuka- ja karamurskaimia louheentuottajille ja kaivoksille. Tehtaalla on oma koneistamo, maalaamo, sekä erilliset kokoonpanolinjat leuka- ja karamurskaimille. Jokainen murskaintehdaassa valmistettu murskain testataan ja koekäytetään perusteellisesti ennen luovuttamista. Yksittäisen murskaimen käyttöikä voi olla useita vuosikymmeniä.

Mobilelaitetuotanto

Mobilelaitetehdas valmistaa tela-alustaisia, liikuteltavia Lokotrack-murskainyksiköitä. Tehdas on kapasiteetiltaan alansa johtavia kokoonpanoyksiköitä maailmassa. Nopean kokoonpanon SpeedLinelta valmistuu tela-alustainen murskainyksikkö neljässä työpäivässä. Metso aloitti tela-alustaisten murskainyksiköiden sarjavalmistuksen ensimmäisenä maailmassa 1985. Lokotrack on innovaatio, jossa on syötin, voimanlähde, murskain ja kuljettimia kompaktissa muodossa. Yhdistämällä 2–4 Lokotrackia saadaan täydellinen murskaus- ja seulontaprosessi. Lokotrack LT-sarja kattaa yli 20 mallia ja niiden murskauskapasiteetti vaihtelee välillä 150–2 000 tonnia tunnissa

Teräsvalimo Lokomo Steel Foundry

Tampereen Hatanpäällä toimii alallaan Euroopan suurimpiin kuuluva, vaativiin teräsvaluihin erikoistunut Metso Lokomo Steels Oy. Valimon kapasiteetti on 12 000 tonnia teräsvaluja vuodessa. Yrityksessä on noin 230 työntekijää.

Ruostumattomien terästen Duplex-tyyppinen tuotanto aloitettiin Tampereella jo 1926. Vuonna 1982 Lokomolla ryhdyttiin valmistamaan tyhjiöteräksisiä maailman ensimmäisellä VODC-konvertterilla (Vacuum-Oxygen-Decarburization-Converter), jolla saadaan valmistettua parempia teräksiä, kuin millään muulla teräksenvalmistusmenetelmällä. Metso Lokomo Steels tunnetaan kansainvälisesti Vaculok® -tyhjiöteräksistään.

1.5. Käytetyt tutkimusmenetelmät

Projektiin lähdettiin tutustumaan haastattelemalla voimalaitemoduulien pääsuunnittelijaa. Hänen sekä muiden suunnittelijoiden mielipiteiden ja ajatusten pohjalta arvioitiin yhdessä voimalaitteita valmistavan osaston linjapäällikön sekä työnjohtajan kanssa, että mitä erilaisia teorioita kannattaisi lähteä työn osalta tutkimaan. Työlle asetettavia rajoituksia ja tavoitteita arvioitiin tehdaspäällikön antamien vaatimusten perusteella. Näiden tietojen pohjalta hahmottelimme tuotannon tarpeisiin soveltuvan tuotteen ominaisuuksia. Tässä prosessissa keskustelimme myös voimalaitteita kokoavien asentajien kanssa. Kuuntelimme heidän mielipiteitä tuoterakenteen kehittämistä ja yleisistä ongelmista. Tämän jälkeen alkoi pitkä kirjallisuustutkimus, jossa keskityttiin valitsemaan ja rajaamaan työhön käytettävät teoriaosuudet. Teoriaosuuksien valinnan jälkeen tutustuminen teorioihin syveni. Teorioista saadun tiedon perusteella arvioitiin teorioiden soveltuvuutta voimalaitemoduulien suunnitteluprosessiin ja valmistukseen.

2. TOIMINNANOHJAUS

2.1. Tuotannon layout ja virtaus

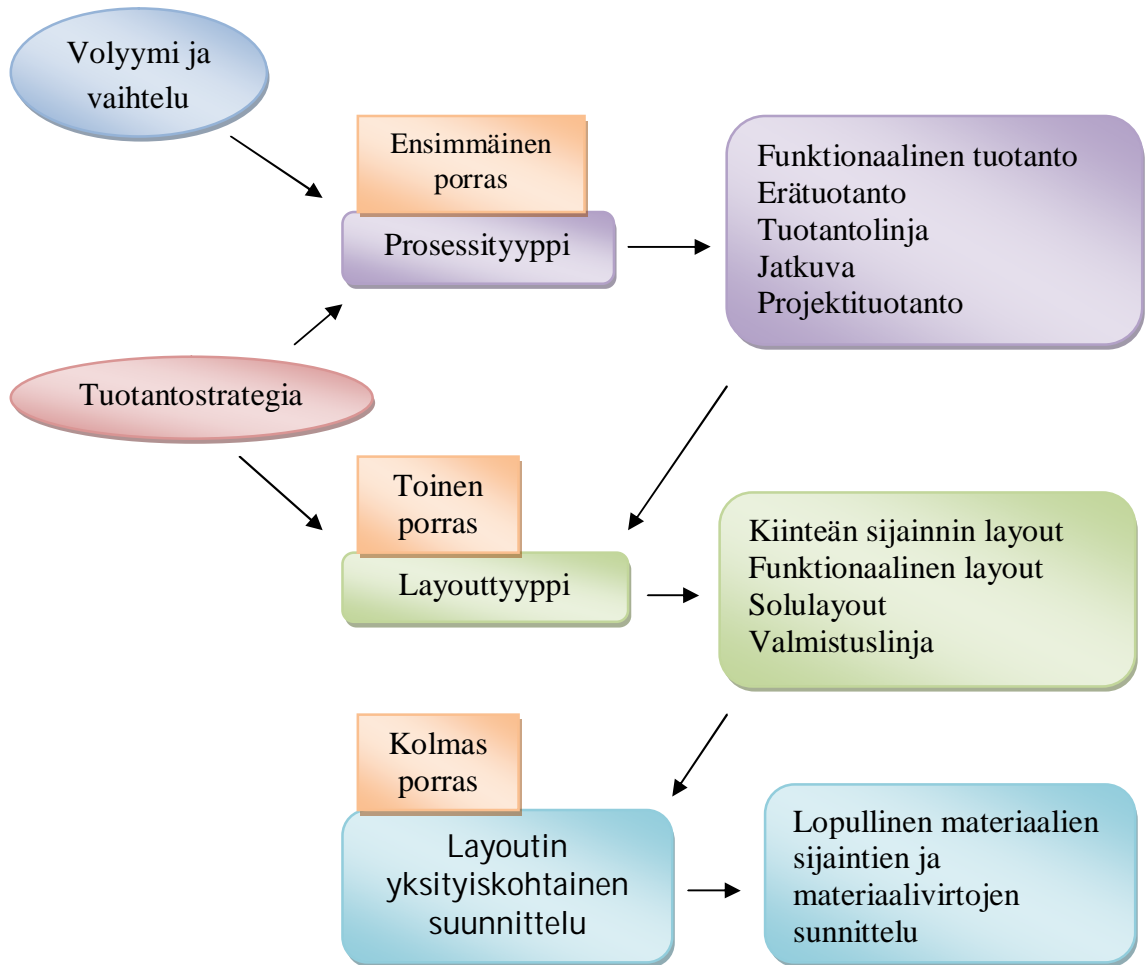
Tuotannon layout käsitetään paikaksi, jossa materiaalia jatkojalostetaan. Silloin päätetään, mihin sijoitetaan tuotantotilat, koneet, apuvälineet ja työvoima. Se myös määrittelee miten resurssit, materiaalit ja tieto liikkuvat operaatioissa. (Slack 2004, s.204)

Päätös layoutin mallista on tärkeä sen fyysisen koon takia. Valmiin tuotantojärjestelmän muuttaminen saattaa johtaa ongelmatilanteessa tuotannon pysähdyksiin, joka taas voi johtaa asiakkaan tyytymättömyyteen tai hukattuihin resursseihin. Lisäksi jos muutettu layout on huonosti suunniteltu tai väärä, voi tilanne johtaa pitkiin ja sekaviin materiaalien ja tuotannon virtauksiin, varaston vaikeaan hallittavuuteen, tuotantotilauksien kasautumiseen, pitkään läpimenoaikaan, joustamattomaan kapasiteetin hallintaan, vaikeasti ennustettavaan tuotannon virtaukseen ja korkeisiin kustannuksiin. (Slack 2004, s.205)

2.1.1. Layoutin päätösprosessi

Layoutin muuttamisen hankaluuden ja kustannuksien takia sitä ei tulisi tehdä liian usein. Askel kohti muutosta tulee tehdä strategisten tavoitteiden mukaan.

Päätösprosessi on kolmivaiheinen. Tuotteen volyymin, vaihtelun sekä tuotantostrategian perusteella päätetään prosessityypistä. Prosessityypin ja tuotantostrategian avulla valitaan oikea layouttyyppi. Näiden tietojen perusteella voidaan rakentaa tarkka suunnitelma layoutista. (Slack 2004, s.205–207)



KUVA 2.1. Slackin layoutin päätösprosessista mukailtu kaavio (Slack 2004, s206).

2.1.2. Kiinteän paikan layout

Tällaista tuotantomallia käytetään tilanteissa, joissa muutettavaa resurssia ei voida siirtää tuotantolaitoksen luokse, vaan tuotantolaitos on siirrettävä muutettavan resurssin luokse. Tämä saattaa johtua siitä, että tuote on liian suuri siirrettäväksi tai että tuote on liian herkkä siirrettäväksi. Esimerkiksi moottoritien rakentamisprojekti tai keskustietokoneen huoltotyöt ovat tällaisia projekteja. (Slack 2004, s.207–208)

2.1.3. Funktionaalinen layout

Funktionaalisisessa mallissa samanlaiset resurssit kerätään keskenään ryhmiksi. Erilaisia työvaiheita tarvitseva tuote ohjataan aina kyseisen ryhmään. Tällaisia ryhmiä voivat olla esimerkiksi hiomot, sorvaamot ja maalaamot.

Suuri tuotejoustavuus ja kapasiteetin käytön tehokkuus ovat funktionaalisen systeemin etuja. Systeemissä tuotteet jonottavat vuoroaan koneelle, jolloin koneen käyttöaste on mahdollista saada lähelle 100 prosenttia. Etu tulee parhaiten esille raskaiden työstökoneiden käytössä. Suurimpana negatiivisena piirteenä voidaan pitää

tuotannonohjausta. Ohjaus vaatii paljon työtä ja läpäisy on hidas, sillä erilaiset tuotteet pitää ohjata erilaisia reittejä pitkin tuotannon läpi. (Kauppinen et al. 1997, s.79–80)

2.1.4. Solulayout

Solu on itsenäinen valmistusyksikkö. Järjestelmässä tavoitellaan tilannetta, jossa määrätty resurssien osa tuotetaan yhdessä siihen erikoistuneessa yksikössä. Resurssit pyritään muokkaamaan solussa täysin valmiiksi. Tällöin solussa tehdään eri työvaiheita samalla impulssilla.

Koska solun sisällä on enemmän työtehtäviä kuin työntekijöitä, voidaan eri työvaiheiden kuormitusta tasata spontaaneilla työvaihdoilla. Tämä vaatii solussa työskenteleviltä henkilöiltä joustavuutta ja monitaitoisuutta.

Kokoonpanosolut muodostetaan yleensä tuoteperusteisesti. Tällöin solu kokoonpanee lopputuotteen tai moduulin. Sama moduuli esiintyy luonnollisesti useassa eri lopputuotteessa, joten on perusteltua valmistaa osakokoonpanoa yhdessä paikassa. Solu saa tällöin osatoimittajapartnerin luonteen.

Jotta solu voidaan käsittää itsenäisenä yksikkönään, pitää sillä olla ainakin oma tuoteisto, yhtenäinen alue, tuotantokalusto, siirto- ja nostolaitteensa, henkilöstö sekä vastuu kaikesta toiminnastaan. (Kauppinen et al. 1997, s.85–87)

2.1.5. Valmistuslinja

Valmistuslinjalla muutettavien tuotteiden tulee olla tuotantolinjan välittömässä läheisyydessä. Jokainen tuote virtaa ennalta määrättyä reittiä pitkin määrättyjen toimintojen läpi. Materiaalivirtaus on selkeä, ennustettavissa ja siksi myös helppo ohjata. (Slack 2004 s.212)

Valmistuslinjassa kaikkien tuotteiden virtaus on sama. Vaiheita, joita kaikki tuotteet eivät tarvitse, voi olla. Näissä tapauksissa työaika on nolla ja tuotteet vain läpäisevät aseman. Toimintatapa ja tekniikka pakottavat ohjaamaan linjaa fifo-periaatteella (First in first out). Ohjaustapa sitoo työjärjestyksen niin vahvasti, että joustavimmillaankin poikkeamat fifo:sta ovat merkityksettömän pieniä. Tämä pakkojärjestys ja tuotannon suoraviivaisuus johtaa erittäin varmaan ja lyhyeen läpäisy aikaan.

Linjan tuotejoustavuus on riippuvainen siinä valmistettavien tuotteiden ominaisuuksista. Joustavaa linjaa voidaan käyttää yhden kappaleen erän valmistuksessa, jos vain tarvittavat toiminnot ja rakenne sitä tukevat. Linjaa tulisikin suosia sen hyvien ominaisuuksien vuoksi aina kun sen käyttö on vain mahdollista. (Kauppinen et al. 1997, s.81–85)

Tahtilinja

Jos linjassa ei ole puskurivarastoja asemien välillä, on jokaisen linjan tuotteen siirryttävä yhtä aikaa tai viimeisestä vaiheesta yksi kerrallaan alkaen. Tällöin on kyseessä tahtilinja.

Kapasiteetin tahtilinjalla määrää pisimmän työvaiheen aika. Tämä aika on myös samalla jako, jolla linja tuottaa valmiita tuotteita. Tätä aikaa kutsutaankin tahtiajaksi (Kauppinen et al. 1997, s.81).

Epätahtilinja

Tuotevaihtelun ollessa liian suuri, joudutaan usein turvautumaan epätahtilinjaan. Tällöin menetetään linjan pakkotahtisuus ja – ohjaus. Vaihtelusta voidaan yrittää päästä eroon siirtämällä vaihtelevia työnosia alikokoonpanoihin pois linjalta tai muuttamalla konstruktioita niin, että vaihtelua ei esiinny. Epätahtilinja voidaan toteuttaa joko puskurivarastojen tai alimiehitetyn linjan avulla. (Niemi 2008, s.4)

Kokoonpanotehdas

Suurille tuotantomäärille ja tuotteille soveltuva kokoonpanotehdas koostuu usein osakokoonpanopaikoista ja – linjoista, sekä loppukokoonpanolinjasta (Kauppinen et al. 1997).

2.2. Design for Manufacture and Assembly

Perinteisesti asenne suunnittelijoiden kesken on, että: ”we design it, you build it” (me suunnittelemme, te toteutate). Tämä on sittemmin saanut termin ”over the wall approach”, missä suunnittelija istuu toisella puolella muuria ja heittää kuvat muurin toiselle puolelle tuotannon insinööreille. Heidän sitten täytyy taistella erilaisten ongelmien kanssa, koska eivät saaneet osallistua suunnitteluprosessiin. Tarkoitus olisi päästä tästä ongelmasta eroon konsultoimalla tuotannon insinöörejä jo suunnitteluvaiheessa. Aikaansaatu yhteistyö auttaa välttämään monia vastaantulevia ongelmia. Nykyään tätä kutsutaan simultaanisuunnitteluksi. Jotta simultaanisuunnittelu olisi tehokasta, suunnittelijat tarvitsevat työkaluja suunnittelun onnistumiseen. Näitä työkaluja kutsutaan DFMA-työkaluiksi (Boothroyd et al 1997, s.2-3).

Kokoonpantavuuden suunnittelu (Design for Assembly - DFA) tulisi ottaa huomioon suunnitteluprosessin kaikissa vaiheissa. Kun suunnitelmat alkavat siirtyä paperille uustuotesuunnittelun suunnitellessa uutta konseptia, tulisi suunnittelijoiden jo ottaa huomioon tuotteen tai alikokoonpanon kokoonpantavuus. Kokoonpantavuus tulisi olla yhtenä osana suunnittelua koko suunnitteluprosessin läpi, konseptista aina yksityiskohtien suunnitteluun asti.

Suunnittelijat tarvitsevat DFA-työkalua analysoidakseen tehokkaasti tuotteiden ja niiden alikokoonpanojen kokoonpanon helppouden. Suunnittelutyökalun tulisi tuottaa tuloksia nopeasti ja olla helppo ja yksinkertainen käyttää. Sen tulisi tuottaa johdonmukaista ja täydellistä tietoa arvioidessaan kokoonpantavuutta, eliminoida subjektiiviset tuomiot suunnittelusta, sallia vapaamuotoisia ideoita, mahdollistaa helpon vertailun erilaisten mallien välillä, vakuuttaa, että vaihtoehdot on arvioitu loogisesti, erottaa kokoonpanon ongelma-alueet ja ehdottaa vaihtoehtoista lähestymistapaa tuotteen kehittämiseksi valmistuksen ja kokoonpanon kannalta. (Boothroyd et al 1997, s.62)

2.2.1. Aksiomat

Aksiooma tarkoittaa sivistyssanakirjan mukaan selviötä, eli perusväitettä, jota ei tarvitse erikseen todistaa (Aikio 1999, s. 26). Aksiomat ovat siis itsestäänselvyyksiä.

Yksinkertaista liitosmenetelmiä

- Liitososat voivat muodostaa merkittävän osuuden koko tuotteen nimikkeistä
- Liitososien nimikkeiden kirjavuus sotkee rationaalista kokoonpanotyöpaikkaa, ja on siten potentiaalinen virhelähde
- Erilaisten liitostyökalujen käsittely hidastaa kokoonpanotyötä
- Työkalujen käsittely hidastaa kokoonpanotyötä
- Työkalut tarvitsevat konstruktiossa tilaa (reunaetäisyydet)
- Liitoksen testaus
 - o Näkö-, kuulo-, tai tuntoaisti
- Liitos esille konstruktiossa siten, että sen testaus onnistuu
- Ruuvaus (yleisin liitoksista)
 - o Ongelmallinen kantamuotojen, kokojen, aluslaattojen ja pituuksien suhteen
 - o Luokittelu automaatiota varten on oma ongelmakenttänsä

Vähennä osia

- Poistettua osaa ei tarvitse
 - o Suunnitella
 - o Valmistaa
 - o Testata prototyypinä
 - o Valmistaa tuotteen kokoonpanoa varten
 - o Testata kokoonpanossa
 - o Ostaa
 - o Kuljettaa
 - o Varastoida
 - o Poistaa epäkuranttina kirjanpidosta
 - o Kierrättää tai hävittää

Kokoonpanosuunnat minimiin

- Suoraviivaiset kokoonpanoliikkeet nopeimpia
- Vältä pujotuksia
- Ei monia samanaikaisia paikoituksia
- Näkymä paikoitukseen
- Helpoin kokoonpanosuunta on ylhäältä alas
- Vrt. SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm)
- Kaksi kättä pitää riittää yhdelle ihmiselle kokoonpanossa
- Jos kokoonpano hoituu yhdellä kädellä, voidaan alkaa pohtia sen automatisointia

Räätälöinti loppukoonpanossa

- Tuote kannattaa räätälöidä vasta kokoonpanon loppuvaiheeseen
- Koko perustuotteen valmistusaika on sillä aikaa hyödynnettävissä räätälöidyn moduulin toteutukseen
- Perustuotteen valmistusmääriä voidaan kohottaa, jolloin automaatioastetta voidaan nostaa ja kokoonpanon hinta halpenee
- Perustuotteen kokoonpanotyö ei häiriinny räätälöidyistä osista tai niiden puuttumisesta
- Kaikkien osien ei tarvitse olla yhtä aikaa kokoonpanopaikalla
- Räätälöinnin eriyttäminen antaa uusia vapauksia suunnitella kokoonpanopaikka peruslaitetta varten
- Räätälöityjen moduulien tuotanto ”Make or Buy” -analyysiin

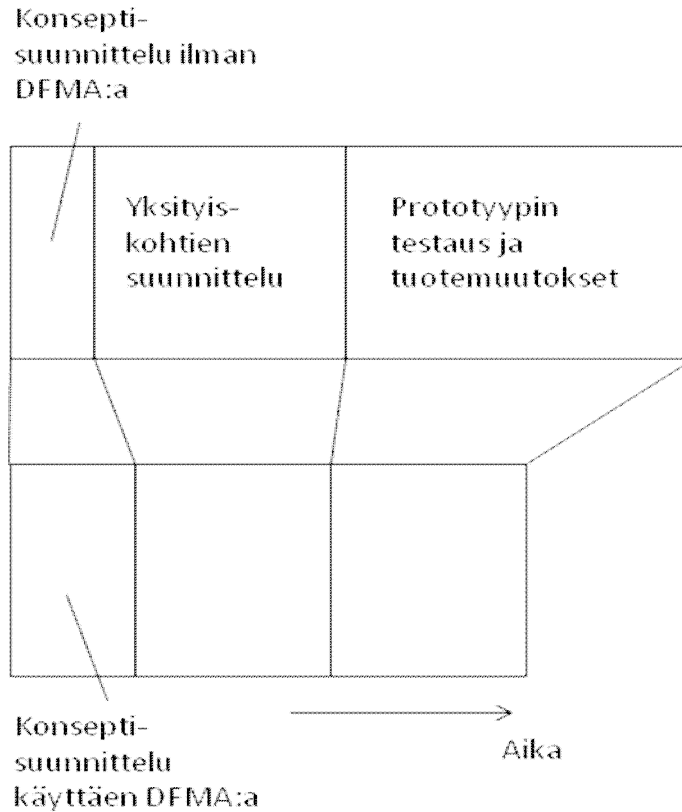
Testattavat kokonaisuudet

- Peruslaite on usein monimutkaisempi kuin räätälöidyt lisäosat -> kannattaa testata ennen räätälöintiä
- Kokoonpanoon ei irto-osia -> helpompi todeta visuaalisessa tarkastuksessa, jos jokin osa puuttuu
- Manuaalisessa kokoonpanossa kokoonpanijan motivaatio lisääntyy ja palaute nopeutuu, kun kokoonpano ja sen toiminnan testaus ovat samassa työpisteessä
- Kokoonpanon tarkastajan työstä pitäisi pyrkiä eroon
- Räätälöity moduuli kannattaa testata erillisenä (moduuli on toiminnallinen kokonaisuus, jolla on selkeät rajapinnat), mikäli mahdollista
- Tuotannon ohjattavuus paranee, kun voidaan varmistua jo osakokoonpanossa tuotteen toiminnasta (Lanz 2008)

2.2.2. Tekosyitä

Ei ole aikaa

Pidettäessä esitystä ja esiteltäessä DFMA:ta on huomattu, että yleisin kommentti suunnittelijoilta on, että heille ei anneta riittävästi aikaa suunnitteluun. Usein uustuotteella painotetaan mahdollisimman nopeaa suunnittelusta valmistukseen -aikaa. Valitettavasti mitä enemmän aikaa on käytetty suunnittelun alkuvaiheessa, voitetaan ajassa ja kustannuksissa tuotepäivitysten suhteen tuotteen ollessa jo valmistuksessa. Yrityksen johdon on ymmärrettävä, että suunnittelun aikainen vaihe määrittelee sekä valmistuskustannukset että ajan, joka kestää suunnittelusta valmistukseen.



KUVA 2.2. DFMA:n suunnittelu-aika verrattuna perinteiseen suunnitteluun (Boothroyd et al 1994).

Ei ole keksitty täällä

Suuri vastarinta saattaa ilmetä, kun tekniikkaa ehdotetaan suunnittelijoille. Idealisesti ehdotuksen DFMA:n käyttöön pitäisi tulla suoraan suunnittelijoilta. Usein kuitenkin yrityksen johto on kuullut menestyksekkäistä tapauksista, joissa on otettu uusi tekniikka käyttöön ja halutaan implementoida se myös omaan toimintaan. Tällaisissa tapauksissa tulisi suunnittelijat ottaa mukaan päätöksentekoon DFMA:n käyttöönotosta. Vain näin saavutetaan suunnittelijoiden täysi sitoutuminen asiaan.

Ruma lapsi -syndrooma

Vielä suurempia vaikeuksia voidaan kohdata, kun ulkopuolinen ryhmä yrityksen sisällä ottaa tehtäväkseen analysoida jotain tuotetta valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden helpottamiseksi. Usein tämä ryhmä huomaa, että merkittäviä muutoksia voitaisiin alkuperäiseen tuotteeseen tehdä. Kun nämä tiedot tuodaan suunnittelijoiden tietouteen, niin syntyy huomattavaa vastarintaa. Tilanne on samantyyppinen kuin, että äidille kertoisi hänen lapsensa olevan ruma.

Alhaiset asennuskustannukset

DFMA:n ensimmäinen askel on kokoonpantavuuden suunnittelu (DFA) loppukokoonpanolle tai alikokoonpanolle. Usein ehdotetaan, että koska

kokoonpanokustannukset ovat vain pieni osa koko tuotteen kustannuksista, voitaisiin se jättää kokonaan pois. DFA-analyysi voi joissain tapauksissa jopa ehdottaa koko kokoonpanon poistamista esimerkiksi koneistetulla valulla. Tällöin valmistuskustannuksiin saataisiin vähintään 50 prosentin säästöt.

Alhainen volyymi

Usein väitetään, että DFMA on hyödyllinen vain, kun valmistetaan suuria volyymejä. Asiasta voidaan olla eri mieltä, sillä pienien erien tuotannossa DFMA:sta tulee vielä tärkeämpi. Tämä johtuu siitä, että yleensä pienerätuotannossa ensimmäisestä prototyypistä muodostuu lopputuote, eikä muutoksia tuotteen myöhemmässä elinkaaren vaiheessa enää tehdä. Siksi pitäisi pyrkiä tekemään suunnittelu kerralla valmiiksi (do it right the first time).

Tietokanta ei sovellu meidän tuotteillemme

Usein luullaan, että oman yrityksen tuotteet ovat jotenkin yksilöllisiä ja tarvitsevat omanlaisensa tietokannan. Jos tuote on arvioitu paremmaksi DFA-työkalun avulla, niin se todennäköisesti arvioitaisiin paremmaksi myös yrityksen omalla järjestelmällä.

Olemme tehneet niin jo vuosia

Kun tällainen väite tehdään, niin yleensä se tarkoittaa valmistettavuuden suunnittelua (design for producibility). Tämä tarkoittaa kappaleiden yksityiskohtaista suunnittelua kokoonpanon parantamiseksi. Yksityiskohtainen suunnittelu ns. loppuhionta tulisi ilmetä vasta tuotteen eliniän loppuvaiheessa. Tässä vaiheessa päätökset tuotteen lopullisten kustannuksien osalta on tehty.

Se on vain arvoanalyysi

On totta, että DFMA:lla ja arvoanalyysillä on samat tavoitteet. On otettava huomioon, että DFMA-työkalua tulee käyttää jo suunnitteluprosessin aikaisessa vaiheessa, missä arvoanalyysi taas ei kunnolla ota huomioon tuotteen rakennetta ja sen mahdollista yksinkertaistamista. DFMA on systemaattinen askel askeleelta -prosessi, jota voidaan hyödyntää kaikissa suunnittelun vaiheissa. On todettu, että DFMA:n käyttö parantaa tuotetta huomattavasti, vaikka arvoanalyysi olisikin jo tehty.

DFMA johtaa tuotteisiin, joita on hankala huoltaa

Kokemukset ovat osoittaneet, että mitä helpompi tuote on kokoonpanna, sitä helpompi se on myös purkaa. Tuotteita, joita joudutaan purkamaan tasaisin väliajoin huollon takia, tulisi ehdottomasti toteuttaa DFMA:n mukaan. Mitä useammin huoltoluukun ruuvit joudutaan avaamaan, sitä helpommin huomataan, että se on kiinnitetty takaisin vain muutamalla ruuvilla.

Käytän mieluummin suunnitteluohjeita

On vaarana, että normaaleiden suunnitteluohjeiden mukaan suunniteltaessa suunnittelijaa ohjataan suunnittelemaan helposti valmistettavia yksinkertaisia kappaleita. On todistettu, että se voi johtaa monimutkaisempiin rakenteisiin, jotka johtavat nouseviin tuotekustannuksiin. (Boothroyd et al 1997, s.12–17)

2.2.3. DFMA:n hyödyt

1. DFMA tuottaa systemaattisen järjestelmän, jolla voidaan analysoida ehdotettua tuotemallia kokoonpanon ja valmistuksen näkökulmasta. Tämä järjestelmä aikaansaa yksinkertaisempia ja luotettavampia tuotteita, jotka ovat halvempia kokoonpanna sekä valmistaa. Lisäksi osien vähentäminen aiheuttaa lumipalloefektin tuotteen kustannuksissa vähentäessään piirustusten ja spesifikaatioiden, ostajien ja toimittajien, sekä inventaarioiden määrää. Nämä kaikki vaikuttavat tuotteen lopullisiin kustannuksiin.
2. DFMA-työkalut kannustavat jo varhaisessa tuotteen suunnitteluvaiheessa suunnittelun, tuotannon sekä kaikkien muiden tuotteen lopulliseen hintaan vaikuttavien yhteiseen kommunikaatioon. Tämä tarkoittaa, että yhteistyö paranee ja simultaanisuunnittelun edut on mahdollista saavuttaa.
3. Monet yritykset ovat päässeet mittaviin valmistuksen kustannussäästöihin implementoidessaan DFMA:n. Esimerkiksi Ford Motor Company on ilmoittanut säästäneensä miljardeja dollareita käyttäessään DFMA:ta Ford Tauruksen linjakehityksessä (Boothroyd et al 1997, s.17).

2.3. Massaräätälöinti

Yksi joustavuuden ulkoisista hyödyistä on kasvava kyky palvella erilaisia asiakkaita erilaisin tavoin. Korkea joustavuus antaa mahdollisuuden tuottaa mahdollisimman varioivan tuotekirjon. Normaalisti korkea tuotekirjo tarkoittaa korkeita kustannuksia, sillä suurta tuotekirjoa ei yleensä voida tuottaa joukkotuotantona. Joustavuutta on kehitetty siten, että tuotteiden varioituvuudesta riippumatta on pystytty kustomoimaan ja joukkotuottamaan jokaiselle asiakkaalle räätälöity tuote alhaisin kustannuksin. Tätä lähestymistapaa kutsutaan massaräätälöinniksi. (Slack 2004, s.52)

2.3.1. Mahdollisuudet ja rajoitteet

Massaräätälöinnin strategia on yksilöllinen jokaisessa sitä kehittävässä ja käyttöönottavassa yrityksessä. Siihen ei ole yksittäistä helppoa lähestymistapaa, vaan jokaisen on kehitettävä se omaan toimintaan sopivaksi ratkaisuksi.

Neljän kantavan rakenteen avulla voidaan arvioida omaa yritystä, miten se voisi toimia ja mitä pitäisi tehdä, jotta massaräätälöinti voitaisiin implementoida tuottoisasti. (Hart 1995, s.39)

Asiakkaan kustomointiherkkyys

Tämän hetken asiakkaat ovat entistä vaativampia tuotteidensa suhteen. Räättälöinnin suhteen tulee tehdä päätös siitä, ovatko asiakkaat kiinnostuneita, jos heille tarjotaan paremmin räätälöityjä tuotteita vai eivät. Jos asiakkaat eivät ole kiinnostuneita yksilöllisistä tuotteista, niin räätälöinti voi olla turhaa.

Ensin tulee selvittää, miten yksilöllisiä tarpeita asiakkailla on. Onko vaihtoehtoisista ominaisuuksista tai lisäominaisuuksista hyötyä asiakkaille. Seuraavaksi tulee selvittää asiakkaiden halukkuus tehdä uhrauksia räätälöinnin takia. Asiakkaat voivat olla valmiita kestämään erilaisia haittoja henkilökohtaisen räätälöinnin takia, kuten korkea hinta, pitkät odotusajat tai tilauksen vaikeutuminen.

Tuotteessa pitää olla ominaisuuksia, joista asiakas on valmis maksamaan. Näillä ominaisuuksien sektorilla tulee olla suurin varioitavuus henkilökohtaisen tuotteen takaamiseksi. (Hart 1995, s.40–41)

Prosessin kyvykkyys

Kyvykkyys on monivaiheinen alue. Se voidaan jakaa rajoitteiden kartoittamiseen, markkinointiin ja strategiaan, tuotesuunnitteluun, tuotantoon ja jakeluun (Hart 1995, s.41).

Rajoitteet jaetaan teknologia- ja organisaatiopohjaisiin. Teknologiarajoite saattaa olla este asiakkaan vaatimukselle. Jos vaadittavaa ominaisuutta ei ole mahdollista tuottaa joukkotuotannon tehokkuudella massaräättälöinnin keinoin, sen implementointi ei ole kannattavaa. Seuraavaksi pitää tutkia kuinka laaja muutostyö on tehtävä, jotta uusi teknologia voidaan ottaa käyttöön nykyisessä prosessissa. Myös implementoinnin kustannukset sekä suora vaikutus tuotteen kustannuksiin tulee selvittää. Kustannuksien kasvaessa myös muutoksen riskitekijät kasvavat. Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että uuden teknologian käyttöönotto ennen kilpailijoita voi olla suuri kilpailuvaltti (Hart 1995, s.41–42).

Tuotteiden muuttuessa ja kehittyessä on otettava huomioon brändin merkitys, erityisesti uustuotepuolella. Voiko määrätyn maineen saanut yritys tuoda aivan eri alueen tuotteita markkinoille, vai onko yritys tunnettu monen eri osa-alueen laadukkaista tuotteista ja voi näin tehdä aluevaltauksia samalla brändillä. Markkinoinnin kompetenssi tutkia asiakkaiden tarpeita massaräättälöinnin suhteen tulee myös hahmottaa. Ymmärretäänkö tieto, jota markkinoilta saadaan, oikein ja kuinka paljon markkinatilanteeseen vaikuttavia tekijöitä on yrityksen ja asiakkaiden välillä. Ainoa keino saavuttaa riittävä tietämys on tiivistää yhteistyötä asiakkaiden kanssa henkilökohtaiselle tasolle (Hart 1995, s.42).

Tuotesuunnittelun tulee ymmärtää asiakkaiden henkilökohtaiset tarpeet ja osata muuttaa ne toimiviksi ratkaisuuksi. Prosessin on oltava nopea ja joustava, jotta uusi ominaisuus saadaan mahdollisimman nopeasti tuotantoon (Hart 1995, s.43).

Tuotannon täytyy miettiä, että missä vaiheessa joukkotuote muuttuu räätälöinniksi ja siirtyy spesifille projektille, eli missä vaiheessa *Work in Progress* – *WIP* siirtyy projektille. Mitä myöhemässä vaiheessa tämä on, sitä raskaampi ja kalliimpi

järjestelmä voi olla muuttaa massaräätälöinnin suuntaan. Räättälöityjen tuoterakenteiden valmistaminen erikoisosien osalta pitää pystyä myös tuottamaan ajallaan. Rajojen etsiminen, eli missä vaiheessa siirrytään spesifin ominaisuuden perässä tavalliseen tilaus-valmistus -ketjuun, tulee myös päättää. (Hart 1995, s.43)

Kilpailuympäristö

Onko olemassa jotain kilpailutilanteeseen liittyvää, joka voisi heikentää tai vahvistaa yrityksen kilpailukykyä, jos massaräätälöinti implementoitaisiin yrityksen toimintaan?

Jos yrityksen toiminta on hyvin riippuvainen markkinatilanteesta eli muutokset aiheuttavat kysynnän muutosta samassa syklissä, tulisi pyrkiä siirtymään kohti massaräätälöintiä. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat markkinoiden epästabiilius ja heikko ennustettavuus. Tulee myös arvioida mahdollisuuksia siinä tilanteessa, että yritys onnistuu tulemaan ensimmäisenä markkinoilla massaräätälöidyllä asiakkaalle räätälöidyllä tuoteperheellä.

Markkinointiaiheisia haasteita on myös arvioida, miten kilpailijat reagoisivat tilanteeseen, jossa heillä ei ole vielä massaräätälöintiä käytössä. Kuinka nopeasti on mahdollista reagoida ja miten siihen reagoitaisiin? Kilpailijoihin ei kuitenkaan saa keskittyä liikaa, vaan on ajateltava kilpailutilanne asiakkaan näkökulmasta ja mietittävä, millä asiakkaan saisi pysymään elinikäisenä kumppanina. (Hart 1995, s.43–44)

Organisaation valmius

Viimeisenä haasteena on organisaation valmiuden varmentaminen. Yrityksen sisäiset asenteet, kulttuuri ja resurssit tulee kohdata. On löydettävä tasapaino massaräätälöinnistä saavutettavien etujen ja organisaation kyvyn tuottaa voittoa uuden toimintatavan suhteen välille.

Yrityksen johdon tulee olla valmis uusille ideoille. Heidän tulee pyrkiä aggressiivisesti kilpailukyvyn parantamiseen ja olla valmiita haasteille. Jotta uusi toimintatapa olisi mahdollista toteuttaa, tulee massaräätälöinnin strategia olla tiedossa ja ymmärretty kaikilla organisaation tasoilla.

Tietenkin on vielä tutkittava taloudelliset haasteet. Mitä kustannuksia uuden järjestelmän kehittämisestä ja implementoinnista syntyy. Onko yritys valmiina tukemaan muutosta ja missä määrin keskitytään taloudellisesti uuden järjestelmän ylösajoon ja missä määrin vanhan järjestelmän ja kassavirran ylläpitämiseen.

Myytäessä toimintatapaa organisaatiolle on otettava huomioon, että massaräätälöinti ei ole valmis konsepti, jonka voi vain ottaa yrityksen käyttöön, vaan se on räätälöitävä jokaista yritystä varten erikseen. Jos yritys kuitenkin onnistuu ottamaan sen käyttöön, niin seurauksena siitä syntyy pysyviä asiakkaita, markkinaosuuden kasvua, tuottavuuden parantumista ja voittojen kasvua. (Hart 1995, s.44–45)

2.3.2. Massaräätälöinnin neljä perusmuotoa

Kehitettäessä tuotetta, prosessia tai tuotantoyksikköä, yrityksen tulee tutkia neljää erilaista lähestymistapaa palvellakseen asiakkaitaan parhaalla mahdollisella tavalla. Usein lopputulos on eri lähestymistapojen yhdistelmä, jossa yhdistetään jopa kaikkia neljää erilaista tekniikkaa. Näitä tekniikoita kutsutaan nimillä yhteistyö, mukautuva, kosmeettinen ja läpinäkyvä (Gilmore & Pine II 1997, s.92).

Yhteistyö (collaborative)

Yhteistyöräätälöintitekniikka perustuu asiakkaan kanssa tehtyyn yksilölliseen keskusteluun, jonka avulla saadaan asiakailta tieto heidän tarpeistaan. Niiden avulla voidaan määritellä tarkat ominaisuudet, joilla asiakas on tyytyväinen ja tuottaa sellainen henkilökohtaisesti räätälöity tuote.

Tätä lähestymistapaa kutsutaan usein yleisesti massaräätälöinniksi. Yhteistyöräätälöinti on parhaillaan silloin, kun asiakas ei pysty helposti ilmaisemaan mitä haluaa ja turhautuu joutuessaan valitsemaan vain tarjolla olevista ominaisuuksista. (Gilmore & Pine II 1997, s.92)

Asiakkaat joutuvat valitsemaan tuotetta valitessaan erilaisten monitahoisten ominaisuuksien välillä. Halutessaan jotain ominaisuutta toinen ominaisuus heikkenee. Vaadittaessa pituutta leveydestä tulee väärä, mukavuutta haettaessa sopivuus huononee tai haettaessa monipuolisuutta käytettävyys huononee. Tällainen joko/tai uhrausten tekeminen ajaa asiakasta kohti henkilökohtaista räätälöintiä. Massaräätälöinnin keinoin voidaan kuitenkin tuottaa asiakkaalle henkilökohtainen tuote ilman ominaisuuksien heikkenemistä tai yksilöllistä tuoterakennetta ja yksittäisvalmistusta. (Gilmore & Pine II 1997, s.96)

Joukkotuotannossa tuottajat levittävät tuotteitaan markkinoille mahdollisimman monella eri variaatiolla ja toivovat, että riittävän moni asiakas riittävän monella alueella löytäisi tuotteet, jotta ne tuottaisivat voittoa. Varastot rakennetaan potentiaalisten markkinoiden ja ennusteiden mukaan. Ennusteet tulevat kriittiseksi osaksi tuotantoa, mutta paraskin ennuste voi olla yhtä väärässä kuin oikeassakin. Yritys voi onnistuneen ennusteen avulla valmistaa oikean määrän tuotteita, mutta mitä tuotteita, missä paikassa ja milloin, menevät enemmän arvaamiseksi.

Nyt yritys minimoi kustannuksia pitämällä varastossaan vain komponentteja valmiiden tuotteiden sijaan, valmistaa näistä yksilöllisiä tuotteita kysynnän mukaan ja lähettää tuotteet juuri oikeaan paikkaan juuri oikeaan aikaan. (Gilmore & Pine II 1997, s.97)

Mukautuva (adaptive)

Mukautuvalla räätälöintitekniikalla toimivassa systeemissä asiakkaalle tarjotaan yhtä standardituotetta, joka on suunniteltu niin, että asiakas voi räätälöidä sitä tarpeen mukaan.

Mukautuva lähestymistapa on sopiva sellaisille businessalueille, joilla asiakkaat haluavat tuotteen, joka suoriutuu erilaisissa tapauksissa erilaisella tavalla ja jonka käytettävissä oleva tekniikka tekee sen mahdolliseksi. Näin asiakas voi räätälöidä tuotetta oman tarpeensa mukaan. (Gilmore & Pine II 1997, s.93)

Mukautuvalla räätälöintitekniikalla ei valmisteta asiakkaille räätälöityjä tuotteita, vaan tarjotaan standardoituja tuotteita tai palveluita, jotka on helppo räätälöidä, muokata tai ohjelmoida uudelleen sopimaan jokaisen asiakkaan omiin tarpeisiin ilman suoraa vuorovaikutusta yrityksen kanssa. Jokainen asiakas määrittelee itse oman käyttötarkoituksensa ja haluamansa ominaisuudet tuotteelle, koska yritys on suunnitellut standardiin useita eri käyttömahdollisuuksia. Tällöin itse tuote, eikä yritys, on vuorovaikutuksessa asiakkaan kanssa (Gilmore & Pine II 1997, s.97).

Mukautuvan räätälöinnin avulla voidaan myös vähentää asiakkaiden tarvetta jatkuvaan tuotteen tai palvelun ominaisuuksien tutkimiseen. Tuote tai palvelu voi ensimmäisen käyttökerran jälkeen arvioida asiakkaan tarpeita ja karsia tarpeettomia ominaisuuksia erilaisten suodatusten avulla (Gilmore & Pine II 1997, s.98).

Kosmeettinen (cosmetic)

Kosmeettisessa räätälöinnissä esitellään standardi tuote eri tavoin erilaisille asiakkaille. Tällainen lähestymistapa on sopiva silloin, kun eri asiakkaat käyttävät tuotetta samalla tavoin, mutta haluavat vain sen esillepanon eroavan. Esimerkiksi tuotteen etiketti voidaan muokata erilaisia asiakkaita palvelevaksi. Siinä voidaan esitellä ja painottaa tuotteen eri ominaisuuksia. Tuote voidaan myös pakata asiakkaan haluamiin eräkokoihin ja nimetä tuotteet asiakkaan tarpeiden mukaan. (Gilmore & Pine II 1997, s.93)

Läpinäkyvä (transparent)

Läpinäkyvä räätälöinti tuottaa asiakkaille yksilöllisiä tuotteita tai palveluita ilman että asiakas edes välttämättä tietää saaneensa hänelle räätälöidyn tuotteen.

Tätä räätälöintitapaa on järkevä käyttää silloin kun asiakkaan tarpeet ovat helposti ennustettavissa. Erityisesti silloin on hyvä käyttää läpinäkyvää räätälöintiä, kun asiakas ei edes välttämättä halua kiinnittää huomiota tai käyttää aikaa vaatimuksiensa määrittelyyn. Räätälöinti tehdään siis automaattisesti tarkkailemalla asiakkaan tarpeita (Gilmore & Pine II 1997, s.94).

Räätälöinti tapahtuu hitaasti, sillä asiakkaiden tarpeiden havaitseminen ja niihin reagoiminen tapahtuu pitkällä aikavälillä. Tuotteen paketti tulee olla standardi, johon tuotteen räätälöidyt ominaisuudet tai komponentit voidaan sijoittaa. Tässä tuotetta muutetaan päinvastoin kuin kosmeettisessa räätälöinnissä. Nämä kaksi tekniikkaa ovatkin toistensa vastakohtia (Gilmore & Pine II 1997, s.99).

Tekniikoiden yhdistäminen

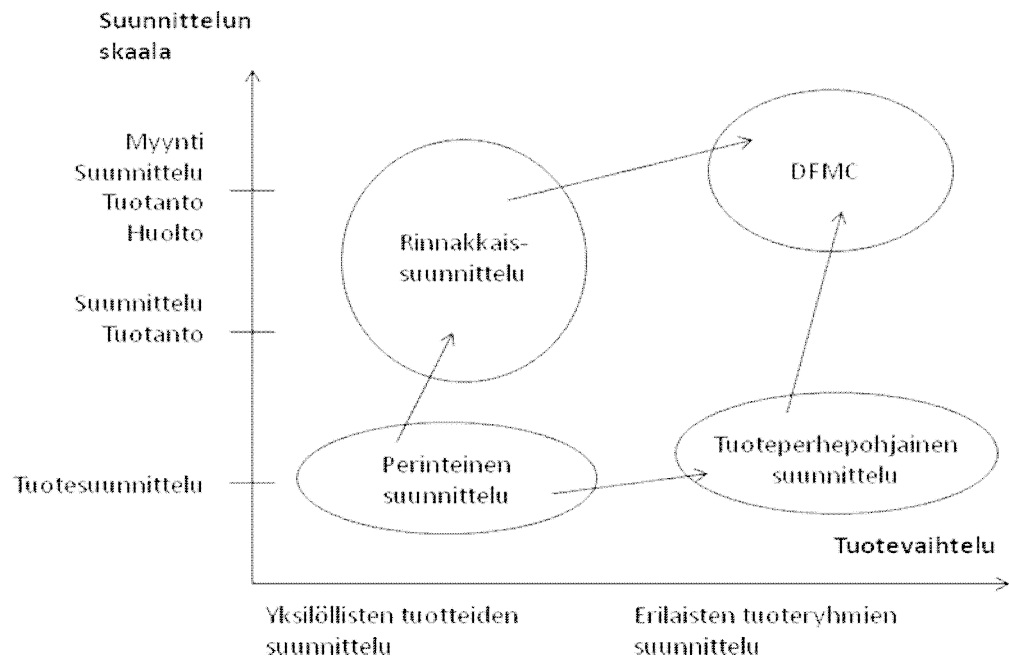
Jokainen neljästä eri räätälöinnin lähestymistavasta haastaa joukkotuotannon tavan tarjota standardituotteita tai -palveluita kaikille asiakkaille. Useimmat yritykset kuitenkin yhdistelevät kahta tai useampaa lähestymistapaa. (Gilmore & Pine II 1997, s.100)

Nämä neljä lähestymistapaa antavat yrityksille pohjan suunnitella räätälöityjä tuotteita ja niitä tukeva organisaatio. Ne osoittavat kuinka suoran vuorovaikutuksen yhteistyöräätälöinnillä, monien mahdollisuuksien mukautuvalla räätälöinnillä, suoran tietoisuuden kosmeettisella räätälöinnillä ja huolellisen tarkkailun läpinäkyvällä räätälöinnillä saadaan yksi kustannustehokas tarjottava tuote. Yrityksen on pystyttävä tuottamaan laaja räätälöintiin soveltuva tuotevalikoima, joka palvelee yksittäisiä asiakkaita. (Gilmore & Pine II 1997, s.101)

2.3.3. Design for Mass Customization

Tuotteen suunnittelua pidetään päättävänä tekijänä lopullisen tuotteen muodolle, hinnalle, luotettavuudelle ja markkinoiden hyväksynnälle. Tutkimusten mukaan 85 prosenttia komponenttien kustannuksista tuotteessa muodostuu suoraan ennen kuin tuotemalli on vapautettu tuotantoon. Koska lähestyminen massaräätälöintiin voidaan parhaiten tehdä vaikuttamalla suunnitteluun ja varsinkin alkuvaiheen suunnitteluun, on kehitetty teoria Design for Mass Customization – DFMC.

DFMC keskittyy kustannussäästöihin tuotteen varhaisessa suunnitteluvaiheessa simultaanisuunnittelun keinoin. Päättävänä tekijänä keskittyy etsimään ratkaisua tuotteen arkkitehtuurille. Tällöin suunnitellaan tuoteperhetyyppinen rakenne mieluummin kuin suunniteltaisiin vain yksittäistuotteita. Tehokas räätälöinti onkin mahdollista saavuttaa, jos asiakkaiden tarpeet saadaan kartoitettua. Suunnitteluprosessi tulee laajentaa perinteisestä suunnittelun ja tuotannon yhteistyöstä niin, että myös myynti ja huolto osallistuvat siihen. (Jiao & Tseng 1996, s.153)



KUVA 2.3. *Suunnittelun skaalaa tulee laajentaa suunnittelun, tuotannon, myynnin sekä huollon yhteistyöksi (Jiao & Tseng 1996 s. 154).*

2.3.4. DFMC:n Tekniset haasteet

Johdonmukaisen rakenteen kehittäminen DFMC:ssä vaatii kykyä tyydyttää samanaikaisesti seuraavat vaatimukset yhtenäisellä lähestymistavalla. Vaatimuksissa tarkastellaan uudelleen käytettävyyden ja yhtäläisyyksien optimointia, tuoteperheen arkkitehtuuria ja tuotekehityksen helpottamista. (Jiao & Tseng 1996, s.154)

Uudelleenkäytettävyyden ja yhtenäistämisen optimointi

Asiakkaan näkökulmasta räätälöinti tuottaa monipuolisia lopputuotteita, joista voivat nauttia eri käyttäjät. Toisaalta valmistajan näkökulmasta taloudellista tilannetta voidaan parantaa uudelleen käytettävien moduulien ja komponenttien avulla. Tämän vuoksi yksi avaintekijöistä massaräätälöinnissä on määrittellä kustannustehokkaimmat rakennuspalikat ja maksimoida niiden soveltuvuus. Uudelleen käyttämällä tuotemalleja, tuotannon kyvykkyyttä, koneistusta, alihankintaverkostoa ja prosessisuunnitelmia, voidaan joukkotuotannon tehokkuus saavuttaa suunnittelussa ja valmistuksessa. Tämä sisältää analysointia ja optimointia lopputuotteiden ratkaisuisissa ja valmistusmenetelmien valinnassa. Miten toteutetaan tuotteen modulaarisuus, muunneltavuus ja tuoteperhekonsepti, sekä miten tehdään karkea jako laajuuden ja ulottuvuuden välillä taloudellista hyötyä tavoitellen? (Jiao & Tseng 1996, s.154)

Yhtenäistetty tuoteperhe

Tukeakseen massaräätälöintiä on tuotteiden perusrunko muodostettava tuottamaan tarvittava tieto yhtenäisyydestä. Perusrunko määrittelee tuotteiden ominaisuudet ja rakenteet kertoen samalla niiden yhtäläisyydet eri tuotteiden välillä.

Tuoteperhepohjainen suunnittelu tuottaa perustan myyntiorganisaatiolle, jonka avulla he voivat määrittellä asiakkaiden tarpeet, joka voidaan sen jälkeen toteuttaa systemaattisella moduulien määrittelyllä. Tuoteperhe helpottaa myös joustavuutta tuotannon kapasiteetissa, koska se maksimoi toistuvuuden tuoterakenteissa. Suunnittelu perustuu kokonaisen tuoteperheen suunnitteluun yksittäisen tuotteen sijaan. (Jiao & Tseng 1996, s. 154)

Suunnittelun integraation toteuttaminen

Massaräätälöinti alkaa asiakkaiden yksilöllisten tarpeiden ymmärtämisestä ja loppuu onnistuneeseen prosessiin, joka kohdistuu ainutlaatuihin asiakkaaseen. Suunnitteluprosessi ulottuu aina asiakkaan tarpeista tuotteen toimitukseen. Näin ollen perinteinen simultaanisuunnittelu laajenee suunnittelusta ja valmistuksesta sisältämään myynnin, markkinoinnin ja logistiikan. Toisin sanoen, massaräätälöinnin ymmärtäminen vaatii integraatiota suunnitteluprosessissa organisaation perspektiivistä, sekä tuoterakenteen yhteneväisyydet sisältävän rungon ja tuotteen kehitystä varten suunnittelun rakenteen. (Jiao & Tseng 1996, s.154)

2.3.5. DFMC-metodiikka

Yhtenäisen rungon rakentaminen tähtää yksittäisen tuotteen suunnittelun sijasta suunnittelemaan tuoteperheen. Tuoteperheen rakenne ja ominaisuudet määrittelevät, kuinka hyvin asiakkaiden vaatimuksiin pystytään reagoimaan ja vastaamaan. (Jiao & Tseng 1996, s.154)

Tuoteperhepohjainen DFMC

Tärkeintä on määrittellä ja tutkia yhtäläisyydet suunnittelu- ja valmistusprosesseissa. Havaittujen yhtäläisyyksien perusteella rakennetaan spesifi tuoteperhe. Tämän avulla parannetaan suunnittelun rationaalisuutta ja valmistuksen tuottavuutta. Samalla laskevat suunnittelun ja valmistuksen kustannukset. Eräluontoisessa valmistuksessa tai joukkotuotannossa jokainen tuote käsitellään yksilöllisenä. Jokaisella tuotteella on oma suunnittelu, prosessin suunnittelu, tuotannosuunnittelu, tuotantolaitteet ja materiaalit. Tuotekirjoa on mahdollista kaventaa esimerkiksi ryhmittämällä samanlaisia tuotteita tuoteperheiksi joko niiden ominaisuuksien tai niiden vaatimien operaatioiden perusteella ja mahdollisuuksien mukaan muodostamalla koneryhmiä tai soluja, joissa määritellyt tuoteperheet valmistetaan. Samalla vähennetään suunnittelun vaihtelua ja parannetaan uudelleenkäytettävyyttä. Tällä tavalla suunnittelun ja tuotannon muutokset pidetään mahdollisimman vähäisinä, mikä mahdollistaa massatuotannon tehokkuuden ja alhaiset kustannukset räätälöinnin keinoin. (Jiao & Tseng 1996, s.154)

Tuoteperhearkkitehtuuri (Product Family Architecture - PFA)

Jotta voitaisiin havaita, miten tuotteen ominaisuuksista saadaan parhaat mahdolliset modulaarisuuden ja tuoteperheiden avulla, pitää tuoteperhearkkitehtuurin sisältää seuraavanlaiset ominaisuudet:

- Tuoteperhearkkitehtuurissa peruselementit ovat rakennuspalikat, joita voidaan muokata niin, että ne soveltuvat yksilöllisiin lopputuotteisiin, joita tarjotaan loppuasiakkaalle. Niiden perusominaisuuksiin kuuluu uudelleenkäytettävyys ja yhteinen piirre tuotteessa.
- Taloudellinen hyöty pitää pystyä laskemaan koko tuoteperhearkkitehtuurin läpi, eikä pelkästään yhden tuotteen tai tuoteryhmän perusteella.
- Tulee löytyä sellainen alusta, jonka perustalle voidaan kaikkien osastojen voimin rakentaa tuoteperhe. (Jiao & Tseng 1996, s.154–155)

2.3.6. Konfigurointi

Konfigurointi tai systemaattinen tuotteen variointi, on yksi massaräätälöinnin keinoista. Toisin kuin massaräätälöinnin, konfiguroinnin voi määritellä suhteellisen tarkasti. Konfigurointi on osa yrityksen toimintamallia ja tärkeä osa siitä on määritelty tilaus-toimitusprosessissa. Tähtäimenä on erotella suunnittelu ja toimitus niin, että kaikki asiakastoimitukset viedään konfiguroinnin läpi. Tämä saavutetaan tarjoamalla modulaarinen tuoteperhe ja rajoittamalla variointien määrää konfiguroinnin rajoissa. Rajojen perusteella voidaan toimitettavia tuotevariaatioita määritellä joko systemaattisen konfigurointiprosessin mukaan tai automaattisesti käyttämällä konfigurointiohjelmaa, konfiguraattoria. Tällä hetkellä tärkein yksittäinen syy moduloinnille on konfigurointi.

Tekesin rahoittaman KONSTA -projektin (*Konfiguroitavien tuotteiden tuki*) tutkimushankkeessa konfiguroitu tuotesuunnittelu on määritelty seuraavalla tavalla:

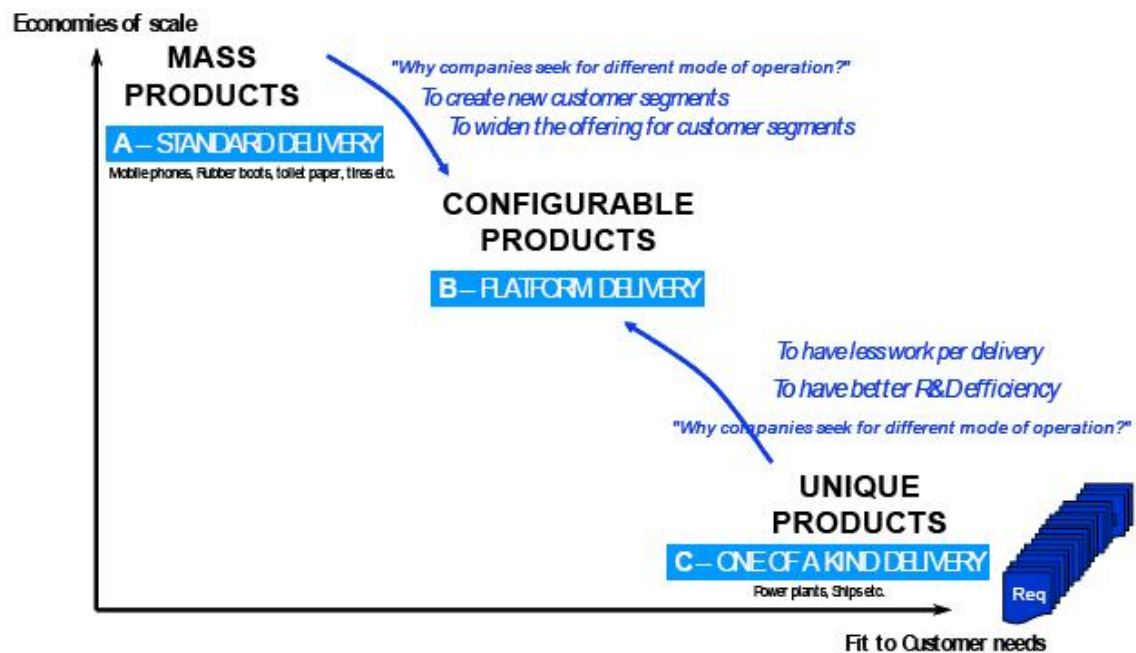
1. Jokainen toimitettu tuote on yksilö, joka on sovitettu asiakkaan tarpeita vastaavaksi.
2. Tuoteyksilö koostuu ainoastaan esisuunnitelluista elementeistä
3. Tilaus- ja toimitusprosessissa tarvitaan vain systemaattista rutiinisuunnittelua, kuten ennalta suunniteltujen elementtien valintaa ja yhteensopivuuden tarkistamista.
4. Toimitettavia tuoteyksilöitä vastaa ennalta suunniteltu yleinen tuoterakenne, jonka variaatiot on tehty arvioituja markkinoiden tarpeita silmällä pitäen. (Lehtonen 2007, s.69–71)

Kaksi lähestymissuuntaa

Systemaattisen konfiguroinnin tarkoitus on teettää tuotteita, jotka vastaavat asiakkaan yksilöllisiä tarpeisiin, tuottavalla tavalla. Konfigurointi on tapa, jolla voidaan hallita varioituvat asiakkaiden tarpeet ilman, että siirrytään tuotekohtaiseen suunnitteluun. Tekniikalla katsotaan voivan vaikuttaa seuraaviin asioihin:

1. Asiakastarpeiden tyydyttäminen ja hallinta
2. Toimitusaikojen nopeuttaminen
3. Kustannusten hallinta
4. Yhtäläisen laadun saavuttaminen
5. Tuotekirjon hallinta
6. Yrityksen brändin ja imagon rakentaminen

Asioiden tärkeys vaihtelee eri tapauksissa. Liiketoiminnan tuottavuuden kehittäminen perustuen konfigurointiin riippuu vahvasti siitä, mistä suunnasta konfigurointiin ollaan siirtymässä. Sillä, onko yritys siirtymässä konfigurointiin massatuotannosta vai asiakaskohtaisesta suunnittelusta, on suuri merkitys. Seuraavasta kuvasta (KUVA 2.4) voidaan nähdä kahden erilaisen siirtymisen vaiheet. Pystyakseli kuvaa kustannustehokkuutta ja vaaka-akseli kuvaa kykyä vastata asiakkaan yksilöllisiin tarpeisiin. Kuva osoittaa, että konfigurointi on kompromissi vakiotuotteiden toimittamisen ja projektitoimitusten välillä.



KUVA 2.4. Konfigurointiin siirtyminen massatuotteista tai projektituotteista (Lehtonen 2007, s.72).

Konfiguroinnin tavoitteet projektituotteista siirryttäessä

Tuotekirjon hallitseminen ja rajojen määrittäminen pitää tehdä, jotta voidaan määrittellä, minkä tyyppisiä tuotteita halutaan myydä ja ollaan valmiita myymään. Usein yritykset haluavat myydä kaikkea mahdollista asiakkailleen, mutta liian suuri tuotevalikoima ja laajat varioitavuusmahdollisuudet ja niistä johtuvat kustannukset eivät aina tuota tulevaisuudessa takaisin. Kaikkia asiakkaan tarpeita ei voida konfiguroinnin keinoin

täyttää, mutta jos tuotekirjo on oikein määritelty, voidaan suurinta osaa asiakkaan tarpeista tyydyttää.

Toimitusajan lyheneminen onnistuu, kun asiakasräätelöidyt ominaisuudet häviävät tuotannosta ja ainakin joitakin osakokonaisuuksia voidaan valmistaa valmiiksi varastoon tai rinnakkain lopputuotteen kanssa. Tuotanto saattaa muuttua tilauksesta valmistettavasta (Make to order) tilaukselle kokoonpantavaksi (Assemble to order). Tuotteilla on enemmän samanlaisia osakokonaisuuksia, jolloin tuotannon oppiminen helpottuu ja läpimenoajat paranevat.

Laatu parantuu, kun tuotteet siirtyvät lähemmäksi sarjavalmisteteista tuotetta prototyypisistä projektituotteista. Tuotteilla on perusrunko tai se muuttuu vain suunnittelun tai testauksen rajojen mukaan. Osat ja osakokonaisuudet ovat valmiiksi suunniteltu, jolloin niiden valmistus ja kokoonpantavuus on vakiintunutta ja laadukasta.

Asiakaskohtainen suunnittelu poistuu, koska tuotesuunnittelu on jo toteutettu tuoteperhesuunnittelussa komponenttien ja moduulien avulla. Tämä nopeuttaa tilaus-toimitusprosessia ja vähentää tai poistaa tuotekohtaisen suunnittelun. Samalla kun laatu paranee, voidaan keskittyä paremmin tuotekehitykseen yksittäisten tuotteiden suunnittelun sijaan.

Suunnittelutiedon uudelleenkäyttö paranee, sillä konfiguroitavan tuotteen tukiessa modulaarista tuoterakennetta, voidaan suunnittelutietoa paremmin käyttää uudelleen tuotteiden muuttuessa.

Tuoteyksilön määrittelyn hajauttaminen mahdollistaa tuoteyksilön määrittelyn siirtämisen keskitetystä yksiköstä (esimerkiksi tilauskeskus tms.) myyntikonttoreihin tai verkostoon. Tällöin asiakas saa tarvittavan konfiguraation tiedot ja hinnan nopeammin. Suoralla asiakaskontaktilla ei ole tarvetta ottaa yhteyttä keskuksen ja samalla virheiden mahdollisuus asiakkaan tarpeiden ymmärtämisen ja tilauksen välillä pienenee. Samalla tilaus-toimitusprosessi nopeutuu, ja jos käytössä on tietokonepohjainen konfiguraattori, voidaan lopputuote määritellä jo asiakaskäynnin yhteydessä.

Tilaus-toimitusprosessi siirtyy myöhemmäksi, kuten aikaisemmin on jo todettu, valmiit tai puolivalmiit komponentit voidaan valmistaa ilman suoraa tilausta. Tämä nopeuttaa toimitusta ja parantaa läpimenoaika. Tämä voi myös vähentää valmistuksen kustannuksia, kun mahdollisuus tehokkaampiin eräkokoihin paranee.

Tuotannon ohjattavuus paranee, kun siirrytään ohjaamaan pientä määrää moduuleita yksilöityjen komponenttien sijaan. Joissain tapauksissa voidaan päästä tuotannonsuunnittelusta kokonaan, kun jokaisesta tuoteyksilöstä ei tarvitse toimittaa erillisiä valmistusohjeita.

Standardointia syntyy automaattisesti tuoteperheen variaatioiden välille, sillä kokonainen tuoteperhe eli konfiguroitava tuote suunnitellaan kerralla. Projektituotteisiin verrattuna konfiguroiduilla tuotteilla on todennäköisesti enemmän yhteistä asiakaskohtaisten erikoisuuksien vähentyessä.

Tiedon kulun parantamisen ja hallitsemisen tarve kasvaa konfiguroinnissa. Konfigurointimallien pitkäaikaishallinta vaatii panostusta. Tämä aiheuttaa kustannuksia, eikä ole helppoa hallita. Toisaalta toimitettavien tuotteiden hallittavuus paranee, koska

niissä on vähemmän tai ei ollenkaan yksilökohtaisesti suunniteltuja ainutkertaisia ominaisuuksia. Erityisesti tästä on hyötyä huollon operaatioille. Vakuuttavasti hallittu tuotetieto ja parantunut laatu vaikuttavat positiivisesti myös yrityksen imagoon.

Myynti helpottuu konfiguroitujen tuotteiden kanssa, kun tuotteen kuvaaminen on helpompaa yksittäistuotteisiin verrattuna. Niiden hinnoittelu muuttuu yksinkertaisemmaksi, jolloin markkinoinnin työ helpottuu. Selkeästi esillä olevat vaihtoehdot ohjaavat asiakasta jo valmiisiin ratkaisuihin, joka voi hillitä räätälöinnin tarvetta.

Modulaarisuus paranee, kun markkinoiden ja muuntelun vaatimuksien myötä nähdään, vastaako tuotteen moduulijako tarpeita. Usein tuoterakenne on määritelty aikaisempien tuotteiden perusteella, eikä nykytilannetta tarkastelevan analyysin avulla.

Tilaus-toimitusprosessin uudelleensuunnittelu tulee vastaan, kun konfiguroituja tuotteita ei tarvitse asiakaskohtaisesti suunnitella. Prosessi yksinkertaistuu ja tilaus-toimitusprosessi jää usein pelkästään myynnin tehtäväksi asiakaskohtaisen suunnittelun joko vähetessä tai poistuessa kokonaan.

Markkinaosuuden kasvu saa hyvät mahdollisuudet yrityksen taloudellisen tehokkuuden ja tuotannon suorituskyvyn parantuessa konfiguroinnin seurauksena. Vaarana ovat kuitenkin konfiguroinnin aiheuttamat rajoitukset ja niistä aiheutuva asiakaskunnan rajaus.

Konfiguroinnin tavoitteet vakiotuotteista pois siirryttäessä

Asiakkaiden tarpeiden täyttäminen helpottuu, kun voidaan teettää huomattavan laaja tuotevalikoima tehokkaasti. Laajan valikoiman hallitseminen konfiguroituina tuotteina on helpompaa kuin laajan standardituotevalikoiman ylläpitäminen.

Nousevat kustannukset ja pidemmät toimitusajat ovat asiakkaan kannalta suurimmat menetykset. Tuote valmistetaan asiakastilauksen pohjalta, joten asiakkaan näkökulmasta se on tilaustuote. Myyntiprosessi muuttuu vaikeammaksi, sillä tilauksen yhteydessä pitää päättää lopullinen konfiguraatio standardituotteen valitsemisen sijaan. Toimitusajat kasvavat tuotteen valmistusajan verran ja usein valmiiden tuotteiden varastosta joudutaan luopumaan kokonaan. Loppukokoonpano on helppo toteuttaa ja joissain tapauksissa se voidaan jopa siirtää asiakkaalle. Tällaisissa tapauksissa toimitusaika ei välttämättä pitene.

Standardoinnin tärkeys ja toimivuus pätee myös siirryttäessä vakiotuotteista konfigurointiin. Tuotteisiin syntyy variaatioiden välille luonnollista tietä paljon yhteistä.

Imagon kohottaminen asiakkaiden silmissä voidaan aikaansaada painottamalla joustavuutta ja asiakkaan tarpeita hyvin kohtaavilla tuotteilla. Näillä seikoilla voidaan perustella mahdollista pidentynyttä toimitusaikaa ja korkeampia kustannuksia.

Hallittavuuteen liittyvä uusien konfiguroitavien tuotteiden konfigurointimallien hallinta on uusi ja vaativa tehtävä. Tämä tietää lisätöitä tuotekehitysprosessille. Konfigurointimallien pitäminen ajan tasalla ja myyntihenkilökunnan kouluttaminen ovat myös vaativia hallittavia. Toisaalta muuntelun kulttuurin puute on etu.

Myyntihenkilöt eivät ole tottuneet tarjoamaan asiakkaille voimakkaasti räätälöityjä tuotteita, kuten on tilanne projektituotteista pois siirryttäessä.

Sitoutuneen pääoman väheneminen seuraa, kun suuret valmiiden tuotteiden varastot joko pienentyvät huomattavasti tai häviävät kokonaan. Loppukokoonpano tehdään vasta tilaukselle, jolloin riittää, että varastoidaan valmiita moduuleita, joita asiakkaan tuotteisiin asennetaan. Moduuleita on tyypillisesti vähemmän kuin lopputuotevariaatioita ja yksittäiset moduulit ovat halvempia kuin lopputuotteet.

Kilpaillaan tuotteen ominaisuuksilla hinnan sijaan. Joillekin yrityksille se mahdollistaa erikoistumisen ja siirtymisen pois joukkotuotannon markkinoilta. Asiakkaan tarpeiden parempi tyydyttäminen ja sitä kautta erikoistuminen on suurin etu siirryttäessä vakiotuotteista konfiguroituihin tuotteisiin. (Lehtonen 2007, s.71–78)

2.3.7. Tuotteeseen ja konfigurointiin liittyvät yrityksen sisäiset näkökannat

Kuten hyvin tiedetään, yhtiön eri toimintojen kuten myynnin, tuotannon ja valmistuksen näkemykset tuotteesta eivät ole yhteneviä. Tämä tulee esille erityisesti valmistettaessa konfiguroitavia tuotteita. Tuotteen moduulijako ja tukijärjestelmät määräävät, mikä toiminto joutuu kantamaan suurimman osan muuntelusta aiheutuvasta rasituksesta.

Myynnin edut ja haitat

Myynti näkee luonnollisesti asiakaskohtaisuuden tärkeänä. Tämän vuoksi vaihtoehtojen tarjoaminen on hyvä ratkaisu, varsinkin siirryttäessä pois vakiotuotteista. Myynti ei kuitenkaan suosi systemaattista muuntelua, koska se sitoo vaihtoehtoja. Lisäarvoa systemaattisesta muuntelusta saadaan siirryttäessä pois vakioitoimitusprosessista. Toisissa tapauksissa lisäarvoa löydetään hinnasta, toimitusajasta, toimitusvarmuudesta tai helpottuneesta myyntiprosessista. Yhtiön on pystyttävä myös perustelevaan päätöksensä projektituotteista systemaattisuuteen siirryttäessä. Tuotteen jako halutaan nähdä asiakkaan haluamien toimintojen mukaisena toimintoperusteisena modulaarisuutena.

Suunnittelussa saavutettavat säästöt

Systemaattinen konfigurointi vähentää rutiinisuunnittelun tarvetta ja näin ollen vapauttaa resursseja tuotekehityksen puolelle. Samalla tuotekehitys ja toimitusprosessi voidaan eriyttää, mikä selkeyttää toimintaa ja vastuita toimituksessa. Tämä asettaa vaatimuksia dokumentoinnille ja tuotekehitys tulee haasteellisemmaksi. Samalla kurinalaisuuden vaatimus kasvaa, suunnitelmien tulee olla uudelleenkäytettäviä ja myös muiden kuin suunnittelijan ymmärrettävissä. Modulaarinen tuotesuunnittelu sitoo käsiä ja saattaa johtaa suunnittelun jäykistymiseen.

Tuotannon haasteet

Tuotanto joutuu usein paikkaamaan puuttuvaa joustavuutta, kun toimitetaan asiakasmuunneltavia tuotteita, jotka eivät ole kovin muunneltavia todellisuudessa. Tämä johtaa usein kielteiseen asenteeseen konfigurointia kohtaan. Toimintatapana konfigurointi voi myös johtaa virtaviivaisuuteen tuotannossa. Suurimmat vaikutukset voivat olla erilaisten komponenttien määrän rajoittaminen, rutiininomainen variaatioiden tuottaminen ja suunnittelutyön ja sovittamisen poistuminen lattiatasolta. Tuotanto toivoo kokoonpanoperusteista modulaarisuutta, mikä saattaa johtaa erimielisyyksiin myynnin kanssa. Lopuksi on muistettava, että variointi ei helpota tuotantoa, mutta variointi mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa on tuotannolle eduksi.

Jälkimarkkinoinnin ja huollon näkökulma

Jälkimarkkinoinnin ja huollon näkemyksen painoarvo vaihtelee liiketoiminnan luonteen mukaan. Perinteisesti tuottamisorientoituneessa toiminnassa se on pienemmässä roolissa. Merkittävyys määräytyy myynnin, uudistamisen ja käytetyn laitteen kunnossapidon mukaan. Joissakin tapauksissa myös saavutettava toimintavarmuus ja käytettävyyksivaatimukset voivat olla olennaisia.

Huollon kannalta jokainen komponentti voisi olla pinta-asennettu moduuli. Testattavuus ja diagnostiikkavaatimukset ohjaavat huollon tukemaan toimintopohjaista modulaarisuutta. Toisaalta korjattavuus ja vaihdettavuus vaativat myös kokoonpanopohjaista modulointia. (Lehtonen 2007, s.78–79)

2.4. Modulointi

Lapinleimu määrittelee kirjassaan, että: ”Moduulilla tarkoitetaan lopputuotteen rakenteellista kokonaisuudeksi katsottavaa, rajapinnoiltaan määritettyä osaa. Modulointi tarkoittaa tuotteen rakenteen kehittämistä moduuleista koostuvaksi (Lapinleimu 2000, s.34).”

2.4.1. Moduloinnin eri tyypit

Komponenttien käyttö useammassa tuotteessa

Komponenttien käyttöä useammassa tuotteessa (Component Sharing Modularity) käytetään kustannuksien alentamista varten. Tämän kaltainen modulaarisuus on tärkeää nopeasti kasvaville tuotantomäärille, joissa tuotantolinjan kustannukset kasvavat yhtä nopeasti tai jopa nopeammin kuin linjan tuotantomäärät.

Tämän tyyppinen modulaarisuus ei palvele yksilöllistä räätälöintiä parhaalla tavalla, mutta se mahdollistaa alhaiset kustannukset tuotannossa mahdollistaen laajan variaation tuotteissa ja palveluissa. Komponenttien käyttö useammassa tuotteessa toimii parhaiten, kun halutaan vähentää osien lukumäärää ja näin parantaa jo olemassa olevan korkean

vaihtelevuuden omaavan tuotantolinjan kustannustehokkuutta. (Pine II 1993, s.200–201)

Komponenttien vaihtokelpoisuus

Komponenttien vaihtokelpoisuus (Component-Swapping Modularity) täydentää ”komponenttien käyttöä useammassa tuotteessa” -modulaarisuutta. Tässä tapauksessa eri komponenteista muodostetaan pareja perustuotteen kanssa, jolloin saadaan komponenttien lukumäärästä riippuen mahdollisimman monta erilaista tuotetta. Usein ero komponenttien vaihtokelpoisuuden ja useamman eri käyttökohteen välillä on kiinni modulointiperspektiivistä (Pine II 1993, s.202).

Parametrisoitu modulaarisuus

Parametrisoidussa modulaarisuudessa (Fabricate to Fit Modularity) yhtä tai useampaa komponentin mitta voidaan varioida joko esiasetettujen arvojen välillä tai käytännön rajojen sisällä.

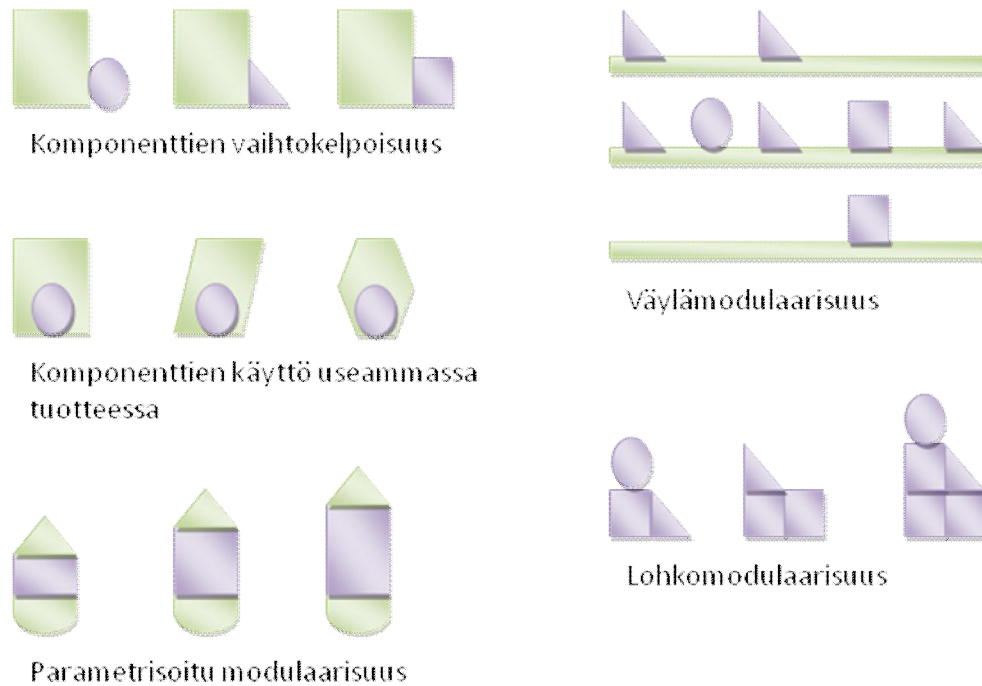
Parametrisointi sopii parhaiten tuotteille, joissa asiakkaan tuotteelle asettama arvo riippuu vahvasti komponentin varioituvuudesta asiakkaan yksilöllisiä tarpeita tarkastellessa. Massaräätälöinnin hyödyt saadaan käyttöön, kun asiakkaan ei tarvitse tehdä kompromissia mittojen suhteen, vaan saadaan yksilöllinen tuote (Pine II 1993, s.203–204).

Väylämodulaarisuus

Väylämuotoinen modulaarisuus (Bus Modularity) rakentuu standardialustan varaan. Alustaan voidaan asentaa määrätty määrä erilaisia komponentteja. Termi väylämuotoinen modulaarisuus tulee elektroniikkateollisuudesta, missä käytetään väylämuotoista tekniikkaa. Samaa standardialustaan perustuvaa ratkaisumallia voidaan kuitenkin soveltaa muissakin teollisuuden aloissa (Pine II 1993, s.205–207).

Lohkomodulaarisuus

Lohkomodulaarisuus (Sectional Modularity) tarjoaa suurimman varioimis- ja räätälöintiasteen. Se mahdollistaa minkä tahansa eri komponenttien muodostaman konfiguraation mielivaltaisella tavalla, kunhan komponentit ovat vain kiinnitettävissä standardirajapinnan avulla (Pine II 1993, s.208).



KUVA 2.5. Pinen mukaiset modulaarisuustyypit (Pine II 1993).

Valinta- ja Pino-modulaarisuus

Näiden viiden perusmodulaarisuuden lisäksi voidaan esittää kaksi erikoistapausta. Nämä ovat valinta-modulaarisuus (on-off modularity) ja pino-modulaarisuus (stack modularity). Valinta-modulaarisuus on erikoistapaus vaihtokelpoisuusmodulaarisuudesta, jolloin moduuli joko valitaan tai sille varattu paikka jätetään tyhjäksi. Pino-modulaarisuus on parametrinen modulaarisuuden alatyyppejä. Siinä parametrinen esimerkiksi pituuden muuntelu toteutetaan moninkertaistamalla moduulien lukumäärä (Lehtonen 2007, s.48).



KUVA 2.6. Lehtosen käsittelemät valinta- ja pino-modulaarisuus (Lehtonen 2007, s49).

2.4.2. Tuotettavuuden paraneminen

Moduloitu tuote minimoi yksityiskohtien määrää tuotannossa ja yksinkertaistaa siten itse tuotantoa sekä sen ohjaamista. Se tukee alikokoonpanoja ja mahdollistaa rinnakkaisten osakokoonpanojen tekemisen, jolloin loppukokoonpanon läpimenoaika lyhenee. Modulointi standardoi tuotteen osia ja lisää sitä kautta tilausmääriä sekä

toistuvuutta. Se myös helpottaa uuden tuotesukupolven kehittämisestä, sillä kaikkia moduuleita ei tarvitse aina suunnitella uudestaan.

2.5. Rinnakkaissuunnittelu

Rinnakkaissuunnittelu (CE = Concurrent Engineering, Simultaneous Engineering tai Life Cycle Engineering) on määritelty monella eri tavalla:

- Rinnakkaissuunnittelussa otetaan tuotesuunnitteluvaiheessa huomioon tuotteen elinkaareen liittyvät seikat, kuten valmistettavuus, kokoonpantavuus, testattavuus, huollettavuus, luotettavuus, hinta ja laatu (O'Grady et al 1991).
- Elinkaarisuunnittelu tarkoittaa sitä, että tuotekonseptin varhaisessa vaiheessa otetaan huomioon tuotteen todellinen elinkaari sisältäen tuote/markkinatutkimuksen, suunnitteluvaiheen, valmistusprosessin, kvalifikaation, luotettavuusongelmat ja asiakkaan huolto-, kunnossapito- ja ylläpito-ongelmat (Keys 1990).
- Rinnakkaissuunnittelu on prosessi, jossa merkittävä uusi tuote tai huomattavasti vanhasta mallista poikkeava tuotantolinja suunnitellaan (Ziemke 1991).
- Parannettu tuotteen kehitystekniikka, jossa kokonaiselinkaarta silmälläpitäen nopeutetaan tuotekehitysprosessia ja vähennetään kustannuksia saavuttaen tuotteelle korkea laatu (Subramanyam 1989).

Samalla kun rinnakkaissuunnittelu määritellään monella eri tavalla, löytyy yhteinen ymmärrys siitä, että se keskittyy tuotteen kehitysprosessin parantamiseen keskittyen suunnitteluvaiheen toimintaan. On myös havaittavissa, että ainakin sen ideaalisella tasolla se keskittyy tuotteen koko elinikään. Rinnakkaissuunnittelu on myös määritelty tuotteen kehitysprosessiksi, jota voidaan luonnehtia suunnittelun, tuotannon, myynnin ja niitä tukevien elimien yhteistyöksi. Tämän perusteella rinnakkaissuunnittelu voidaan nähdä suunnitteluprosessina, jossa on suuri määrä rajoitteita ja enemmän monimutkaisia suunnittelupäämääriä, kuin perinteisessä suunnittelussa. Rajoitteiden ja suunnittelun päämäärien hallinnointi ei ole helppoa ja tämä nostaa esiin monia rinnakkaissuunnittelun implementointiin liittyviä ongelmia. (Wu & O'Grady 1999 s.231)

Tuotekehitysprojektin tehokkuus ja onnistuminen on kiinni siitä, kuinka hyvin rinnakkaissuunnittelu toteutuu. Kuinka laaja ja monitahoinen tuotekehitystiimi on, kuinka aikaisessa vaiheessa kaikki osallistujat saadaan mukaan yhteistyöhön ja kuinka hyvin ryhmää johdetaan (Andersson 2004 s.25). Onnistuessaan rinnakkaissuunnittelu nopeuttaa sekä tuote- että tuotantoteknisten suunnitteluvaiheiden läpäisyä tekemällä vaiheet rinnakkain ja parantaa tuotteen laatua ottamalla huomioon kaikki elinkaaren aikana vaikuttavat asiat. AT & T -konserni on ilmoittanut rinnakkaissuunnittelun eduiksi *time to market* -ajan alenemisen 30–60 prosentilla, tuotteen elinkaarikustannusten alenemisen 15–50 prosentilla ja muutosten vähenemisen 55–95 prosentilla. (Lapinleimu 2000, s.32–33)

2.5.1. Tuotekehitystiimin rakenne

Tuotekehitystiimissä tulisi olla työntekijöitä kaikilta eri osa-alueilta. Ensinnäkin tämä auttaa varmistamaan, että kaikkien toimintojen näkökulmat tulevat esille suunnitteluvaiheessa. Toiseksi sellainen monipuolisuus suunnittelutiimissä voi johtaa parempaan lopputuotteeseen erilaisten näkökulmien lisääntyessä. Tällainen tiimi tuottaa paremman suunnitelman ja tuotteen, kuin pelkästään suunnitteluinsinööreistä ja tiedemiehistä koottu homogeeninen ryhmä. On erityisen tärkeää, että kaikki ryhmän jäsenet ovat heti alusta alkaen paikalla ja aktiivisia. (Andersson 2004, s.19)

- *Valmistus ja Huolto.* Valmistuksen ja huollon osallistuminen on välttämätöntä, jotta voidaan varmistaa, että tuotekehitystiimin tuote on valmistettavissa sekä huollettavissa. Valmistusinsinöörien vastuulla on varmistaa, että tuote on suunniteltu niille prosesseille sopiviksi, jotka ovat jo tuotannossa käytössä tai varmistaa, että uusien prosessien suunnittelu tehdään uustuotevaiheessa. Valmistuksen ja huollon ei tule odottaa siihen pisteeseen, jossa ensimmäiset piirrokset tuotteesta on jo piirretty. Heidän tulee olla jatkuvasti yhteydessä suunnitteluun, jotta valmistettavuus sekä huollettavuus saavutetaan. Päivittäiset tuotannon tehtävät on jätettävä projektin ajaksi.
- *Toimittajat ja Osto.* Toimittajat osallistuvat suunnitteluprosessiin ainoastaan, jos voidaan todentaa, että heidän läsnäolostaan on konkreettista hyötyä. Oston tehtävänä on valita toimittajat ja karsia ne jotka pystyvät toimimaan partneritoimittajina. Jos rakentavaa yhteistyötä ei voida joidenkin toimittajien kesken rakentaa, voi toimittajalta pyytää konsultointia heidän prosesseistaan. Toimittajat tulisi valita heidän kykyjensä mukaan. Miten he ovat menneisyydessä toimineet ja mikä on heidän kykynsä toimittaa. Ei pelkästään hintakilpailulla, sillä hintakilpailu ei pienennä kokonaiskustannuksia, mutta saattaa johtaa laadullisiin ja toimitusajallisiin ongelmiin sekä vieraannuttaa paremmat toimittajat väheksymällä osallistumista ja yhteistyötä. Toimittajien taloudellinen vakaus sekä toimintaan sitoutuminen tulisi ottaa myös huomioon. Tulisi myös suosia paikallisia toimittajia paremman kommunikoinnin ja nopeamman toimitusajan valossa. Usein toimittajilla on myös parempi tietämys prosesseista, jolloin tuotesuunnittelu saa ajankohtaista tietoa valmistuksen näkökulmasta.
- *Markkinointi.* Markkinointi on linkki asiakkaan suuntaan. Heidän tulee auttaa suunnittelua määrittelemään tuote niin, että se vastaa asiakkaan odotuksia.
- *Asiakkaat.* Asiakkaan mukana olo auttaa suunnittelua vastaamaan siitä, että tuotteen käytettävyys on hyvä. Asiakkaiden apu suunnitteluvaiheessa voi vähentää käytettävyydesteitä ja vähentää näin suoraan markkinoilletuloaikaa.
- *Teollinen muotoilija.* Teollinen muotoilija tulee ottaa mukaan suunnitteluprosessiin, jotta voidaan teettää myyvän näköinen lopputuote. Teollinen muotoilu on siirtynyt myös liioitellusta muotojen suunnittelusta sisältämään valmistettavuuden näkökulmia.

- *Laatu ja testaus.* Tilanteissa, joissa tuotetta pitää testata, tulee myös asiaan perehtyneen osajan olla mukana suunnitteluprosessissa. Laadullisten tavoitteiden asettaminen ja testauksen helpouden suunnittelu kuuluvat hänen vastuulleen.
- *Taloushallinta.* Taloushallinnan puolelta voidaan saada oleellista tietoa kustannuksien muodostumisesta. Heillä on mahdollisuus muuttaa luvuiksi erilaiset välilliset kustannukset, joita ei välttämättä tuotesuunnittelussa tunneta. Tietoa voidaan tarkastella esimerkiksi laatu- ja kustannuksien, osien alihankinnan tai tilauserien kokojen kannalta.
- *Säännösten noudattaminen.* Jokaisessa suunnittelutiimissä tulee olla edustaja, joka ymmärtää ja tietää tulevaisuuden määräyksistä. Hänen tehtävänsä on vahtia tuotteen sääntömääräisiä ominaisuuksia ja olla tietoinen eri asiakasmaiden laeista.
- *Tehdastyöläinen.* Ottamalla työntekijöitä mukaan tuotekehitykseen voidaan uusia toimintatapoja ja tuotteita myydä helpommin tuotantoon. Työntekijät tuntevat olevansa osa suurempaa kokonaisuutta ja heidän on helpompi hyväksyä muutokset.
- *Erikoistutkijat.* Tuotesuunnittelu tarvitsee jokaiselta alueelta oman erikoisosajansa. Esimerkiksi suunnittelijan, joka pystyy vastaamaan teknisiin haasteisiin ja kysymyksiin, jotka koskevat uustuotetta. (Andersson 2004 s.20-24)

Suunnittelutiimin tulisi suunnitella tuotetta rinnakkain ryhmänä. Kaikkien ryhmän jäsenten tulee osallistua suunnitteluprosessiin. Tarkoituksena ei ole, että ryhmä reagoi vasta, kun tuote on piirretty tai prototyyppi on valmistettu. Mieluummin ryhmän tulisi jatkuvasti työskennellä yhdessä ja ratkaista ongelmia niiden ilmetessä. Suurien linjausten veto tulisi tapahtua koko ryhmän tai ainakin oleellisten henkilöiden päätöksenä. (Andersson 2004, s.27)

2.5.2. Toiminnan fokus

Suunnittelun tulisi keskittyä oikeisiin asioihin. Usein keskitytään lähes oikeaan aiheeseen, mutta todellisuudessa tehdäänkin turhaa työtä. Vaarana on, että suunnittelun kokonaiskuvan ja fokuksen hämärtyminen.

- Suunnittelun tulisi keksittyä asiakkaiden tarpeisiin, eikä yhtiön ennalta suunniteltuun ohjelmaan, kilpailuun tai teknologiaan.
- Tulisi keskittyä ennen aikaiseen ongelmien välttämiseen ja juurisyiden poistamiseen, eikä ongelmien jälkikäteen ratkaisemiseen.
- Tulee eliminoida suunnittelun muutospyynnöt sen sijaan, että keskityttäisiin muutosprosessin kehittämiseen.
- Pyritään keskittymään ydinosaamiseen ja keskeisiin asioihin suunnittelussa, eikä lähdetä suunnittelemaan pyörää uudelleen tai kuluteta suunnitteluresursseja muihin vähäisempiin toimintoihin.

- Pitää keskittyä tuotteen ja ohjelmiston arkkitehtuurin suunnittelemiseen, eikä piirtämiseen ja koodaamiseen.
- Keskitytään itse suunnitteluprosessiin, eikä projektin hallintaan tai mittareihin.
- Tehdään asioita tarvittaessa ja päätetään asioista, eikä odoteta määräajoin pidettäviin palavereihin tai arvioihin.
- Optimoidaan tuotteen arkkitehtuuria, eikä pelkästään suunnitella joukkoa osia ja alikokoonpanoja.
- Pyritään nopeaan tuotannon ylösajamiseen todellisessa ympäristössä, eikä pilottituotantoon prototyypiosastolla.
- Pyritään nopeaan vakiotuotantoaikaan, eikä suunnittelun valmistumisaikaan tai ensimmäisen asiakkaan toimitusaikaan.
- Mitä ovat todelliset kustannukset, ei pelkästään välittömät materiaaleista ja työstä aiheutuvat kustannukset.
- Suunnitellaan ja rakennetaan laadukas ja luotettava tuote kerralla, ei testata ja tarkastella jälkikäteen ja reagoida huomattuihin ongelmakohtiin.
- Siirrytään palkkiojärjestelmiin, jotka kannustavat yhtiötä hyödyttävään käyttäytymiseen, ei palkita yksittäisiä osastoja tai henkilöitä.
- Keskitytään tuotteen kustannuksien vähentämiseen pitkäaikaisin ja suurin linjauksin (esim. laatuohjelmat, *lean* tuotanto), eikä kyseenalaisin keinoin (kuten ulkoistaminen ja kilpailuttaminen, joilla pyritään kustannuksien laskuun tuotteen kehittämisen jälkeen), jotka eivät kohtaa todellisten kustannusten laskun suhteen. (Andersson 2004, s.29–30)

2.5.3. Tuotesuunnittelun vaiheet

Seuraavat suunnittelun vaiheet ja aktiviteetit on strukturoitu niin, että tärkeimmät DFM -askeleet otetaan mukaan suunnittelun varhaisessa vaiheessa. Tarkoitus on sisällyttää nämä aktiviteetit yhtiön jo olemassa olevaan tuotesuunnitteluprosessiin. Yritykset, joilla ei ole olemassa tuotesuunnittelun vaiheita, voivat näiden vaiheiden perusteella rakentaa tuotesuunnitteluprosessinsa.

Vaihe 1: Tuotteen määrittely

Ennen kuin tuotteen kehittämistä voidaan aloittaa, tuote tulee järjestelmällisesti määritellä selkein ja realistisin päämäärin niin, että se tyydyttää asiakasta. Käyttäjät sekä ostajat tulee tunnistaa, jos nämä eivät ole sama taho, niin tulee määritellä ja kehittää tuote tyydyttämään molempia osapuolia (Andersson D. 2004. s.31).

Asiakkaiden tarpeiden määrittäminen tulee ymmärtää täydellisesti. QFD (Quality Function Deployment) on tekniikka, jolla varmistetaan, että asiakkaan vaatimukset on otettu huomioon tuotteen suunnittelun aikana. ”House of Quality”, eli laatutalo rakennetaan heti tuotesuunnittelun alkuvaiheessa. QFD-askeleet ovat:

- Asiakastarpeiden tunnistaminen.
- Teknisten ominaisuuksien tunnistaminen.

- Listataan ominaisuudet, jotka tuotteella on ehdottomasti oltava ja määritellään niiden prioriteetit.
- Tarpeiden ja ominaisuuksien vertaileminen, heijastavatko ne uuden tuotteen ominaisuudet tarpeita?
- Arvioidaan ja analysoidaan kilpailijoiden markkinoille tuodut tuotteet samoilla kriteereillä.
- Omien tuotteiden teknisten ominaisuuksien arvioiminen markkina-arvioiden perusteella.
- Sellaisten ominaisuuksien tunnistaminen, jotka ovat keskeisiä myyntiargumentteja. (Andersson P. 2008)

Vaihe 2A: Konseptin/arkkitehtuurin optimointi

Tämä vaihe tulee tehdä rinnakkain vaiheen 2B kanssa. On erittäin tärkeää varmistaa, että heti alkuvaiheesta lähtien kaikkien osa-alueiden erikoisosaajat osallistuvat toimintaan. Tämän vaiheen avaintehtävät ovat seuraavat:

- Muodostetaan monitahoinen ryhmä, johon jokaisen eri osa-alueiden erikoisosaajat osallistuvat heti alkuvaiheessa.
- Tutkitaan monia eri vaihtoehtoja yksinkertaisen tuoterakenteen saavuttamiseksi.
- Optimoidaan tuotearkkitehtuuri.
- Tehdään linjaus hyllystä ostettavien ja suunniteltavien osien välille.
- Käytetään mahdollisuuksien mukaan vanhaa suunnittelutietoa.
- Muodostetaan modulaarisuusstrategia.
- Muodostetaan strategia laatua, luotettavuutta, testattavuutta, korjattavuutta ja huollettavuutta varten.
- Tulee ymmärtää lakisäätteiset säädökset ja muodostaa suunnitelma niiden noudattamista varten.
- Suunnittelustrategian määrittäminen tuoteperheen variaatioiden, konfiguroinnin, räätälöinnin ja myöhempien/tulevien tuotteiden osalta.
- Päätetään suunnittelufilosofian tavoitteet ja toimintaohjeet.

Vaihe 2B: Valmistus & jakeluketjustrategia

Vaihe tulee tehdä rinnakkain vaiheen 2A kanssa. Vaiheen askeleet ovat:

- Muodosta valmistusstrategia, joka sisältää prosessin valinnan, testauksen strategian ja laadun strategian.
- Muodosta materiaalien hankintastrategiat: mitä hankitaan MRP-ohjauksella, tilauksella ja hyllyynkannolla?
- Optimoi ulkoistamisen ja oman valmistuksen suhde.
- Muodosta toimittajastrategia yksittäisille osille ja alihankinnalle; tunnista potentiaaliset alihankintakumppanit.
- Määritellään valmistuksen strategia räätälöinnin, konfiguroinnin ja tuotevaihtelun suhteen.
- Strukturoi tuotteet perheiksi, linjoiksi tai soluiksi.

Vaihe 3: Kysymysten määrittely & ratkaiseminen

Tämä vaihe alkaa heti suunnittelun alkuvaiheessa ja jatkuu, kunnes vaiheen 4 aiheet on selvitetty ja ratkaistu. Kysymysten analysointi tulisi ohjata seuraavien ongelmien suuntaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa:

- Kuinka paljon tuottoa kehityksestä saadaan todellisia kustannuksia (total cost) tarkasteltaessa?
- Onko olemassa realistiset mahdollisuudet saavuttaa projektin tavoitteet suunnitellussa aikataulussa annetun budjetin ja resurssien rajoissa?
- Onko projektilla riittävästi resursseja, että se voi saavuttaa projektin asettamat tavoitteet? Saadaanko resurssit riittävän ajoissa käyttöön?
- Perustuvatko aika- ja kustannustavoitteet oikeisiin kohteisiin, kuten todellisiin kustannuksiin ja aikaan, jolloin vakiotuotannossa (time to stable production)? Jos tavoitteet kohdistetaan väärin, voi toiminta yllyttää suunnitteluryhmää ”oikomaan” toiminnassa.
- Mitä on opittu edellisistä projekteista? Tarkastellaan edellisiä samankaltaisia projekteja ja analysoidaan, mitä tehtiin oikein ja missä oli ongelmia.
- Ongelmat on nostettava pöydälle ja selvitettävä. Esimerkiksi: Onko uutta tuotetta ja teknologiaa riittävästi tutkittu, jotta se voidaan tuotteistaa yritykselle? Kuinka paljon onnistuminen maksaa ja miten paljon on kiinni kokonaisuuksista, jotka eivät ole suunnittelutiimin alla, kuten toimittajat, alihankkijat, säännökset jne.?
- Kaikki ongelmat tulee ratkaista tutkimuksien, kokemusten, eksperttien, simulaatioiden, riskianalyysien ja johdon kautta. Erityisten ongelmien kanssa voidaan käyttää vika ja vaikutusanalyysiä, FMEA:ta (Failure Mode and Effects Analysis).
- Suunnittele proaktiivisesti vaihtoehtoisia ratkaisuja mahdollisten viivästysten, vastoinkäymisten, muutosten, markkinoiden muutosten, ym. varalle. Tuotteen tulee olla suunniteltu niin, että se on joustava mahdollisten muutosten edessä. Tuote voidaan esimerkiksi suunnitella valmiiksi niin, että osa B voidaan ottaa käyttöön osan A ollessa vaillinainen.

Vaihe 4A: Tuoterakenne

Tämä vaihe tehdään rinnakkain vaiheen 4B kanssa. Avaintehtävät ovat:

- Valitse standardiosien ja -materiaalien listat.
- Valitse hyllyynkannettavien osien joukko ajoissa, jotta vältetään niiden mielivaltaiselta käytöltä. Valinnat pitää perustella toiminnallisuuden, laadun, luokituksien, toimituksen ja saatavuuden kannalta.
- Tunnista modulaariset mahdollisuudet tuotteesta ja muista projekteista.
- Suunnittele tuote järjestelmänä, ei vain joukkona osia ja alikokoonpanoja, jotka sovitetaan yhteen myöhemmin.
- Noudata suunnitteluohjeita jokaiselle valmistusprosessille.
- Kehitä testausstrategia.

- Pyri minimoimaan tai eliminoimaan kalibrointi- ja säätötarve.
- Rakenna parametrisoituja CAD-malleja räätälöinnin ja varioinnin varalle.
- Suunnittele tuote täyttämään asiakkaan tarpeet.
- Tuota suunnittelutieto niin, että lopullista suunnittelua ei tarvitse tehdä tehtaalla. Dokumentoi tuote, prosessit, osaluettelo (Bill of Materials, BOM), ja muu dokumentaatio yksiselitteisesti.

Vaihe 4B: Prosessirakenne

Tämä vaihe tehdään rinnakkain vaiheen 4A kanssa. Avaintehtävät ovat:

- Implementoi valmistussuunnitelma.
- Rakenna hankintaketju.
- Suunnittele monipuolinen kalusto.
- Suunnittele erikoistyökalut.

Vaihe 5: Tuotannon käynnistäminen

Tee tuote riittävän hyväksi ja tuotantotilat riittävän joustaviksi, jotta voidaan ajaa prototyyppejä, aloittaa tuotanto ja vaihdella tuotantomääriä samalla tuotantolinjalla. Vältä erillisen prototyypin rakentamisen kustannuksista ja hukka-ajasta. Suunnittelutiimin tulisi auttaa tuotteen siirtämisessä tuotantoon ja pysyä tuotannon mukana ottamassa tuotemuutoksia vastaan aina valmistuksen vakiintumiseen saakka.

Ennen tuotannon aloittamista tulee asettaa tavoitteet seuraaville asioille:

- Tuotantovolyymi.
- Laatuksiteerit.
- Tuottavuus. (Andersson P. 2008)

3. DFMA:N, MASSARÄÄTÄLÖINNIN, MODULOINNIN JA RINNAKKAISUUNNITTELUN ANALYSOINTI

3.1. Teorioiden analysointi

Tässä osuudessa analysoidaan ja kommentoidaan omin näkemyksin teoriaosuudessa käsiteltäviä asioita. Tutkimustieto DFMA:n, massaräätälöinnin, moduloinnin ja rinnakkaissuunnittelun osalta kasvaa koko ajan, sillä niiden liittäminen yritysten toimintamalleihin ja uustuotesuunnitteluun on jatkuvasti kasvussa. Tämä tuo osaltaan lisää tutkimusmateriaalia sekä kannustaa tutkijoita perehtymään teorioihin entistä paremmin. Teoriaosuudessa keskityttiin uustuotesuunnitteluun ja siinä erityisesti asiakaslähtöiseen suunnitteluun. On huomattavissa, että teoriat kohdistuvat yleensä elektroniikkateollisuuteen sekä muuhun pientuotantoon. Näitä tietoja voidaan kuitenkin soveltaa myös raskaaseen kokoonpanoteollisuuteen.

3.1.1. Design for manufacture and assembly

Design for manufacture and assembly -luku on kirjoitettu Boothroydin, Dewhurstin, ja Knightin kirjoittaman kirjan *Product Design for Manufacture & Assembly* perusteella. He esittävät muutosta perinteiseen suunnittelutapaan, joka vallitsee yleisesti suunnittelijoiden kesken: ”we design it, you build it” (me suunnittelemme, te toteutate). Suunnittelu tulisi toteuttaa niin, että jo suunnittelun aikana otettaisiin vahvasti esiin valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden haasteet. Kirjassa painotetaan näitä kahta osaluuetta, eikä keskitytä muihin suunnitteluprosessin haasteisiin. Valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden kehittämisessä nähdään potentiaali parantaa myös muita yrityksen kilpailukeinoja, kuten laatua sekä kokonaiskustannusten pienenemistä.

Boothroyd et al käsittelevät DFMA:ta työkaluna, joka otetaan suunnittelussa käyttöön. Sitä pidetään suunnittelun mekaanisena ohjeena, jota noudatetaan läpi suunnitteluprojektin. Työkalua on suunniteltu käytettäväksi rinnakkaissuunnittelun implementointiin. Ohjeistus ei puutu muun organisaation toimintaan tilanteessa, vaan keskittyy ainoastaan suunnittelun osuuteen.

Jotta DFMA-työkalu saataisiin toimimaan yrityksessä, on se hyväksyttävä ja siihen on sitouduttava johdon tasolla. Koko suunnittelutiimin on oltava toiminnassa mukana, jotta sen täysi hyöty saataisiin irti. Voidaan todeta, että suuremmassa yrityksessä koko suunnittelutiimin herättäminen uuteen toimintatapaan voi olla suuri haaste. Eri osastojen toimintatavat eroavat toisistaan ja suunnittelu voi olla kovinkin monitahoinen

organisaatio. Boothroyd et al ehdottaakin eräänlaista herättelytaktiikkaa suunnittelijoiden piirissä, jolloin suunnittelijat saataisiin itse keksimään tekniikan hyödyt. Näin helpotettaisiin implementointia ns. ”omana kehitysideana”.

Työkalu on joukko yksinkertaisia ohjeita, jotka keskittyvät tuotteen fyysisiin ominaisuuksiin. Boothroyd et al ehdottaakin perinteisestä suunnittelusta poiketen, että ei pyritä suunnittelemaan mahdollisimman yksinkertaisia osia, vaan mahdollisimman vähän osia, joita on helppo liittää toisiinsa. DFMA ohjaa suunnittelijoita muuttamaan perusajatusta, joka on vallinnut teollisuudessa. Monimutkaisten osien suunnittelu ei kuitenkaan tarkoita, että niitä olisi vaikea valmistaa. Valmistusmenetelmät ovat vuosien saatossa parantuneet ja jos suunnittelijat ovat vain tietoisia valmistusmenetelmistä, niin he voivat suunnitella monimutkaisen kappaleen, joka on myös helppo valmistaa nykyisin menetelmin. Samalla kun osien lukumäärä vähenee, tulee keskittyä osien asennettavuuteen. Asennussuunnista ylhäältä alas on edullisin. Asennussuuntia tulisi yleisesti vähentää ja varsinkin pujotettavia osia tulisi välttää. Samalla kun osien lukumäärä vähenee, kokoonpano saadaan yksinkertaiseksi, itse kokoonpano helpottuu ja kokoonpanoaika pienenee.

Yksinkertaisten osien suunnittelun lisäksi teoriassa keskitytään kahteen suurempaan kokonaisuuteen, räätälöinnin mahdollisimman myöhäiseen ajankohtaan sekä testattavien kokonaisuusien muodostamiseen. Varsinkin, jos pyritään kokoamaan suurempia moduuleita linjamuotoisena, tulisi räätälöinti saada mahdollisimman myöhäiseen vaiheeseen. Suunniteltaessa perusmoduulia, tulisi siihen saada mahdollisimman paljon osia ja minimoida räätälöitävien osien määrä. Perusmoduulin kokoaminen linjassa mahdollistuu. Perusmoduuli tulisi vielä mahdollisuuksien mukaan testata suoraan linjakoonnin päätteeksi. Jo testattu moduuli siirtyy joko varastoon tai suoraan loppukokoonpanoon. Tässä vaiheessa tehdään vasta räätälöinti. Mikäli räätälöinti on suhteellisen suuri, joudutaan se tekemään jo ennen loppukokoonpanoa, jotta loppukokoonpanon kokoonpanoaika ei kasvaisi. Tässä työssä varsinkin näiden kahden kokonaisuuden toteutuminen olisi tärkeää, sillä työ keskittyy lopuksi voimalaitemoduulin valmistuslinjaan ja sen mahdollisuuksiin.

Onnistuessaan DFMA tuottaa joustavamman rakenteen omaavan tuotteen, jonka valmistuskustannukset ovat aikaisempia tuotteita edullisemmat. Sen saavuttaminen vaatii sekä suunnittelijoilta että muulta organisaatiolta yhteistyötä ja kärsivällisyyttä. DFMA:n kaltainen suunnitteluohje antaa hyvät edellytykset kehittää itse tuotetta sekä organisaatiota. Erillisten organisaation osien yhdistäminen ja sekoittaminen projektimaisissa operaatioissa parantaa sekä ihmisten ymmärrystä yrityksen toiminnasta kokonaisuutena että vuorovaikutustaitoja yksilötasolla.

3.1.2. Massaräätälöinti

Massaräätälöinnin luku on kirjoitettu Joseph Pinen kirjan *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition* pohjalta. Lisäksi teoriaosuutta on täydennetty mm. Christopher Hartin *Mass customization: conceptual underpinnings, opportunities and limits* -artikkelista ja Timo Lehtosen väitöskirjasta *Designing Modular Product*

Architecture in the New Product Development. Massarääätälöinti käsitetään kykynä tuottaa asiakkaalle henkilökohtaisesti räätälöity tuote, joka on kuitenkin valmistettu joukkotuotannon keinoin. Nigel Slack esittää kirjassaan *Operations Management*, että kustannukset kasvavat tuotekirjon kasvaessa, sillä suurta tuotekirjoa ei yleensä voida tuottaa tehokkaasti. Uusien joustavien tekniikoiden myötä on kuitenkin saatu onnistuneita tuloksia yksilöllisten räätälöintien ja alhaisten kustannusten kohdatessa.

Pine luokittelee massarääätälöinnin neljään eri ryhmään, joiden perusteella yritysten tulisi luokitella oma tuotteensa ja muodostaa räätälöinti sen pohjalta. Yleisesti on määriteltä, että massarääätälöinti tähtää asiakkaan tarpeiden määrittämiseen ja niiden tarpeiden tyydyttämiseen. Näissä neljässä lähestymistavassa ei kaikissa kuitenkaan välttämättä pyritä määrittelemään asiakkaan tarpeita, vaan myös määrittelemään tarpeet asiakkaalle. Ei jäädä siihen, että saataisiin tieto asiakkailta, jolloin voidaan tuotevalikoimassa mennä asiakkaan suuntaan, vaan pyritään etukäteen määrittelemään, mitä asiakas voisi tarvita ja ohjataan sitten asiakkaita tuotteiden suuntaan.

Neljästä perusmuodosta *Collaborative*, eli yhteistyörääätälöintiä pidetään yleisesti massarääätälöinnin määritelmänä. Tämä tekniikka perustuu asiakkaan kanssa tehtyyn yksilölliseen keskusteluun, jonka avulla saadaan heidän tarpeensa selville. Näiden tietojen perusteella räätälöidään asiakasta tyydyttävä tuote. Muut kolme tekniikkaa vaikuttavat muodostuneen yritysten innovaatioiden ja onnistuneiden liikeideoiden seurauksena. Jokainen onnistunut liikeidea analysoidaan tarkasti, jolloin huomataan yhtäläisyydet massarääätälöinnin rakentavaan teoriaan. Uutta toimintamallia tuodaan esille siinä toivossa, että markkinat heräisivät uudelle liikeidealle. Sen toteuttaminen onnistuu paremmin, kun se pohjautuu vankkaan tuotekehitysfilosofiaan. Muodostuneiden tekniikoiden tarkoitus on antaa muille yrityksille pohja oman toimintamallin ja räätälöinnin kehittämiseksi. Näitä tekniikoita yhdistelemällä ja kehittämällä voidaan sitten arvioida mahdollisuutta kehittää omaa toimintamallia ja tuotevalikoimaa.

Hart esittää neljä erilaista kantavaa rakennetta, joiden avulla voidaan arvioida oman yrityksen tilannetta ja sitä, millaisia toimia pitäisi mahdollisesti tehdä ja miten ne voitaisiin tehdä, jotta massarääätälöinti olisi mahdollista implementoida. Omassa kirjallisessa tuotannossaan Pine varoittaa mahdollisista sudenkuopista, joita hätköity massarääätälöiminen saattaa aiheuttaa, joten Hartin ehdottamat tarkasteluunnot herättävät entistä enemmän mielenkiintoa. Jotta yrityksen johdolle olisi perusteltavissa uuden toimintamallin käyttö, tulee ensimmäisenä pyrkiä selvittämään, mitä asiakas haluaa. Toimivan yrityksen perustana on tuottaa asiakkaille heitä tyydyttäviä tuotteita, joiden kautta saadaan voittoa yrityksen omistajille. Jos esimerkiksi asiakkaat eivät ole kiinnostuneita yksilöllisistä tuotteista, niin räätälöinti voi olla turhaa. Jos kuitenkin on havaittavissa tarvetta räätälöinnille ja asiakkaat ovat valmiita maksamaan tästä lisäpalvelusta, tulee jatkossa tarkastella tuotekehityksen mahdollisuuksia sekä organisaation että prosessin kannalta.

Konfigurointi

Konfigurointi, eli systemaattinen tuotteen variointi voidaan rinnastaa massaräätälöintiin. Se on kuitenkin määriteltävissä suhteellisen tarkasti, joten sen soveltaminen yritysmaailmassa on yksinkertaisempaa. Tekesin (teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus) rahoittamassa projektissa määriteltiin konfiguroitu tuotesuunnittelu siten, että jokainen toimitettu tuote on yksilö, joka koostuu ainoastaan esisuunnitelluista elementeistä, jolloin tilaus- ja toimitusprosessissa tarvitaan vain systemaattista rutiinisuunnittelua. Määritelmä herättää ajatuksia konfiguroinnin ja massaräätälöinnin yhteydestä modulointiin, sillä näiden määrittelyjen perusteella modulointi on pakollista konfiguroinnissa.

Teoriaosuudessa käsitellään konfigurointiin siirtymistä kahdesta eri suunnasta: minkälaisia vaikutuksia on siirryttäessä konfigurointiin vakio- sekä projektituotteista. Lehtonen on väitöskirjassaan tutkinut myös muutoksen vaikutusta yrityksen sisällä. On hyvä havainnoida erilaisten osastojen muutokset organisaatiossa jo ennen siirtymää. Henkilöstövoimavarojen hallinnointi helpottuu ja eri organisaatioiden mahdollinen muutosvastarinta pienenee.

3.1.3. Modulointi

Moduloinnin teoriaosuus on kirjoitettu Joseph B. Pine II vuonna 1993 kirjoittaman kirjan *Mass customization* pohjalta. Apuna on käytetty Timo Lehtosen kirjoittamaa väitöstyötä *Design Modular Product Architecture in the New Product Development* ja Ilkka Lapinleimun laitosraporttia *Ideaalitehdas*. Modulointia käsitellään lähes kaikessa tuotantotekniikkaan ja tuotekehitykseen liittyvässä kirjallisuudessa. Modulointi-sanaa käytetään kirjallisuudessa monessa eri tarkoituksessa, tässä työssä modulointi kuitenkin keskittyy kokoonpanoon ja sen tuomiin mahdollisuuksiin tuotesuunnittelussa.

Koska varioituvassa kokoonpanoteollisuudessa keskitytään vahvasti erilaisten tuotteiden valmistamiseen rinnakkain, tulee tuoterakenteen olla modulaarinen. Modulaarisuutta voi olla seitsemää erilaista perustyyppiä. Perinteisiä tyyppejä on viisi erilaista ja ne toistuvat usein kirjallisuudessa. Suunniteltaessa tuoteperhettä on normaalia, että jokaista perustyyppiä esiintyy rakenteessa. Toimivassa tuoterakenteessa esiintyy myös Lehtosen Timon väitöskirjassa esiteltyä kahta erikoisempaa tyyppiä. Nämä modulaarisuusmallit vaikuttavat sekä suunnitteluun että kaikkiin muihinkin yrityksen osa-alueisiin. Modulaarista tuoterakennetta suunniteltaessa tulisikin ottaa huomioon kaikki yrityksen toiminnot mahdollisuuksien mukaan. Tuotteelle saadaan pidempi vaatimuslista, kuin mitä mahdollisuudet antavat myöten, mutta suunnitteluvaiheessa saavutetut edut ja käytetyt resurssit maksavat itsensä kuitenkin takaisin.

Eri toimintojen toiveet kohdistuvat tuotteen erilaisiin ominaisuuksiin. Modulaarisuudella haetaan erilaisia ominaisuuksia. Huollettavuuden ja kokoonpantavuuden vaatimukset ja toiveet eroavat usein myynnin toiveista, eivätkä fyysiset rajoitteet välttämättä kohtaa näitä vaatimuksia halutulla tavalla. Esim. siinä

missä voimansiirto vaatiikin järeämpää koneistoa, toivoisi tuotanto käytettävän jokaisessa mallissa samanlaista koneistoa. Nyt taas kevyemmän laitteen hinta nousee järeämmän moduulin takia ja myynnin työ vaikeutuu.

3.1.4. Rinnakkaissuunnittelu

Rinnakkaissuunnittelu eli Concurrent Engineering kappale on kirjoitettu Wu & O'Gradyn vuonna 1999 kirjoitetun A Concurrent Engineering Approach to Design for Assembly pohjalta. Teoriaosuutta on tarkennettu mm. David Anderssonin vuonna 2004 kirjoittaman Design for Manufacturing & Concurrent Engineering kirjan sekä Paul Anderssonin tekemien Tampereen teknillisen yliopiston kurssimateriaalien perusteella. Rinnakkaisuunnittelu ymmärretään tuotteen kehitysprosessia parantavana suunnittelumallina, jonka tarkoitus on parantaa suunnittelun, tuotannon, hankinnan ja huollon välistä vuorovaikutusta suunnitteluvaiheessa.

Rinnakkaissuunnittelu on määritelty kirjallisuudessa eri tavoilla. Wu & O'Grady ovat kuitenkin päässeet ymmärrykseen, että yhteinen tekijä kaikilla eri määrittelyillä on sen keskittyminen tuotteen kehitysprosessin parantamiseen suunnitteluvaiheen toiminnassa. Kehitysprosessina rinnakkaissuunnittelu on kuitenkin monimutkainen. Sen implementoinnin onnistuminen nostaa esille monia ongelmia. Näiden ongelmien ratkaiseminen on yksinkertaista pienemmässä mittakaavassa, mutta tuotaessa se koko konsernia koskevaksi toimintatavaksi, se voi aiheuttaa enemmän ongelmia kuin etuja. Pienempi organisaatio pystyy joustavammin soveltamaan ja tekemään yhteistyötä eri toimintojen kesken työtehtävien usein ollessa monipuolisempia ja perinteisiä rajoja rikkovia. Suuremman yrityksen ongelmana on yleensä haluttomuus katsoa sekä kyvyttömyys ymmärtää omaa sektoria pidemmälle. Oman sektorin tullessa maailman navaksi myös oman työn helpottaminen ja mahdollisesti samalla muiden sektoreiden toiminnan vaikeuttaminen tapahtuu lähes alitajuisesti.

David Andersson käsittelee kirjassaan hyvin toiminnallista puolta, johon täytyy keskittyä käynnistettäessä kehitysprojektia. Siinä käydään lävitse hyvin tuotetiimin rakenne ja se, miten eri osa-alueiden ihmiset voivat parantaa tuotetta sekä tuotesuunnittelua. On huomioitavaa, että vaikka tuotekehitysprojektissa olisikin lähes jokaisesta organisaation eri toiminnosta ihmisiä mukana, ei päätöksen teko ole demokraattinen. Jokaisella on mahdollisuus tuoda esille omia näkemyksiä ja kehitysideoita tuotteesta, mutta lopullinen päätöksenteko rajoittuu pienempään ihmisryhmään.

Usein itse toiminnan keskittyminen oikeisiin asioihin on hukassa. Asioita tehdään niin kuin niitä on ennenkin tehty, eikä niin miten niitä pitäisi tehdä. Siirtyminen vanhoista ajattelumalleista teoreettisiin on usein mahdotonta, mutta niitä tulisi hyväksikäyttää ja mahdollisuuksien mukaan toteuttaa yrityksen toiminnan fokuksessa. David Andersson käy lävitse eri ohjenuorat tuotteen kehityksessä. Nämä sopivat kaikkiin tuotteen kehitysmalleihin ja yrityksen yleisiin toimintamalleihin yhtä hyvin kuin rinnakkaissuunnitteluunkin. Keskeisimpänä asiana on keskittyminen asiakkaan

tarpeisiin ennalta suunnitellun ohjelman sijaan, juurisyiden poistamiseen, nopeaan vakiotuotantoaikaan sekä todellisten kustannusten laskemiseen pitkäaikaislinjauksin.

Rinnakkaissuunnittelun teoriaosuuden lopuksi käydään läpi itse tuotesuunnittelun vaiheet. Paul Andersson on listannut vaiheet luentomateriaalissaan selkeästi ja kronologisesti. Tämä suunnittelumalli voisi hyvin sijaita missä tahansa teoriaosuudessa, mutta parhaiten kiteytyy kuitenkin rinnakkaissuunnittelun alla. Usein yrityksissä tuotesuunnittelu toteutetaan omien henkilökohtaisten kokemusten ja oppien mukaan. Se on yksi yrityksen ydinprosesseista, joten sen tulisi olla tarkkaan suunniteltu ja standardoitu. Tuotesuunnittelun standardoiminen yrityksen sisällä tuo sekä läpinäkyvyyttä että ohjattavuutta suunnitteluprosessiin. Se ei muuta suunnittelua väkisin kuljettavaksi käytäväksi, vaan antaa ohjeet tehokkaampaan ja kauaskatseisempaan projektiin.

Asiakkaan tarpeiden määrittelyyn on hyvä käyttää QFD (Quality Function Deployment) -tekniikkaa. Sen avulla saadaan selville projektin suuntaviivat ja missio. Yleisesti käytetty työkalu tähän on laatutalo (House of Quality). Jotta tuotteesta tulisi asiakkaita kiinnostava ja laadukas, tulee tämä ensimmäinen vaihe ymmärtää täydellisesti. Usein projektin alussa käytetty aika tuottaakin tulosta ja säästää yritystä monilta ongelmilta projektin loppuvaiheessa.

3.2. Teorioiden yhteydet toisiinsa

Tässä luvussa käsitellään eri teoriaosuuksien yhteyksiä toisiinsa. Massaräätälöinti, rinnakkaissuunnittelu ja modulointi tähtäävät kaikki asiakasystävällisiin tuoterakenteisiin. Massaräätälöinti on lähestymistapa, jonka avulla tuotteita tulisi tuottaa asiakaskohtaisina niin, että tehokkuus ja yksilöllisyys kulkisivat rinnakkain. Rinnakkaissuunnittelu on tekniikka, jolla suunnitteluprojektiin tuodaan eri osaamisalueiden ihmiset rikastuttamaan ja tehostamaan suunnittelua. Moduloinnin avulla voidaan tuottaa asiakasystävällinen rakenne, joka palvelee suunnittelua, tuotantoa sekä asiakasta ja DFMA antaa työkalun suunnittelun toteutumiselle.

3.2.1. Rinnakkaissuunnittelu osana massaräätälöintiä

Keskittyminen yksilöllisten tuotteiden valmistukseen joukkotuotannon keinoin, on yksi massaräätälöinnin perusajatuksista. Tällaisen tilanteen saavuttamiseksi tulee kuitenkin käyttää jotain muuta suunnittelutekniikkaa, kuin perinteistä: ”Suunnittelu suunnittelee, ja tuotanto tekee.” Kappaleessa 2.3.3. Jiao & Tseng mainitsevatkin, että suunnittelu massaräätälöintiä silmällä pitäen tulisi tehdä rinnakkaissuunnittelun keinoin.

Rinnakkaissuunnittelun tavoitteet muistuttavat suurilta osin massaräätälöinnin tavoitteita. Molemmissa malleissa asiakkaan tarpeet ovat nousseet keskeiseen osaan. Suunnittelu pyrkii yhdistämään voimavaroja organisaation muiden osa-alueiden kanssa ja pyrkii laadukkaaseen ja yksilölliseen tuotteeseen kuitenkin unohtamatta kustannustehokkuutta.

Jiao & Tseng keskittyvät teoksessaan vielä tarkemmin DFMC:n analysointiin. DFMC:ssä mennään syvemmälle suunnitteluprosessiin ja keskitytään massaräätälöinnin toteuttamiseen liittyviin ongelmiin ja niiden ratkaisuihin. DFMC pyrkii kustannussäästöihin tuotteen varhaisessa vaiheessa ja keskittyy etsimään ratkaisua tuotteen arkkitehtuurille rinnakkaissuunnittelun keinoin.

3.2.2. Modulointi osana rinnakkaissuunnittelua ja massaräätelöintiä

Modulointi on yksi rinnakkaissuunnittelun ja massaräätälöinnin keinoista. Suurimmassa osassa massaräätälöinnin tekniikoista modulointi on keino, jolla sen voi toteuttaa. Asiakslähtöisten ominaisuuksien varioiminen yksinkertaistuu moduulien ja niitä tukevien rajapintojen avulla. Jos esimerkiksi yritys tarjoaa asiakkaan mittoihin haluamia pöytälevyjä ja hyllyjä, voidaan modulointiperiaatteella valmistaa erilaisia pöydän jalkoja ja hyllyjen päätyjä. Tällöin toteutuu parametrisoitu modulaarisuus (Fabricate to Fit Modularity).

Rinnakkaissuunnittelussa modulaarisuus korostuu. Siinä missä massaräätälöinnissä keskitytään modulaarisuuden avulla tarjoamaan tuote asiakkaalle, pyritään rinnakkaissuunnittelussa määrittelemään modulaarinen rakenne niin, että se tukee koko organisaatiota sekä asiakasta. Asiakkaan tarpeiden ja vaatimusten mukaan rakennettu modulaarisuusstrategia antaa mahdollisuuden koko yritykselle toimia yhtenäisesti. Yhtenäisyys organisaation sisällä kehittyy, kun suunnitteluvaiheessa käydään läpi eri toimintojen vaatimukset modulaarisuuden suhteen. Millaiset ominaisuudet tuotteessa ja sen rakenteessa ovat tärkeitä kenellekin, voi olla vaikeaa hahmottaa. Miten ominaisuudet liittyvät tuotettavuuteen, laatuun, huollettavuuteen sekä testaukseen?

Toimitushetkellä modulaarinen tuoterakenne nopeuttaa räätälöidyn tuotteen kokoonpanoa. Modulaarisuus ei kuitenkaan tuota asiakkaalle lisäarvoa, vaikka modulointi olisi tehty asiakaslähtöisenä. Yrityskeskeisten moduulien tehostama toiminta palvelee tuotantoa nopeammalla läpimenoajalla ja näin myös asiakasta nopeammalla toimitusajalla.

3.2.3. DFMA osana rinnakkaissuunnittelua

DFMA tarkoittaa valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden suunnittelua. Tässä työssä on keskitytty tarkemmin kokoonpantavuuden suunnitteluun ja siihen liittyviin ongelmiin. DFMA antaa työkaluna hyvät ohjeet suunnittelulle, jotta tuotteesta saataisiin helposti valmistettava sekä kokoonpantava. Jotta työkalua voitaisiin käyttää tehokkaasti, tulee sitä lähestyä rinnakkaissuunnittelun keinoin. Se kannustaakin parantamaan yhteistyötä muiden organisaation elimien kanssa, jotka vaikuttavat tuotteen lopullisen hinnan muodostumiseen. Samalla kun rinnakkaissuunnittelu pyrkii standardoimaan suunnittelumallia yrityksen sisällä, DFMA antaa tehokkaan työkalun suunnitteluprosessin vakiintumiselle.

3.2.4. Teorioiden soveltaminen

Teorian soveltaminen puhtaasti fysikaaliselle operaatiolle on yksinkertaista. Jos esimerkiksi kappale kestää määrätyn voiman rasituksen ja tuotemuutoksen yhteydessä rasitus kasvaa, voidaan kappaletta vahvistaa fysikaalisten teorioiden perusteella riittävän kestäväksi. Teoriaa ei voida soveltaa ideologialle ja suunnittelumetodiikalle yksiselitteisesti. Suoria kustannuksia toiminnan muuttamiselle ja mahdollisia etuja ja kustannussäästöjä on mahdotonta määrittää tarkasti. Sitä, miten muutos tulee vaikuttamaan yrityksen toimintaan ja toiminnan kannattavuuteen, ei voida laskea. Teorioiden perusteella voidaan kuitenkin laskea joitain asioita. Esimerkiksi säästöt valmistuksen ja kokoonpanon suhteen on mahdollista määrittää. Esimerkkiprojektien avulla voidaan tehdä alustavia arvioita tuotesuunnittelun ja tuotemuutosprojektien kustannuksista, mutta kukaan ei voi taata niiden oikeellisuutta ennen suunnitteluprosessin soveltamista omaan yritysorganisaatioon. Kuten teoriaosuudessa jo todettiin, uudet menetelmät tuovat enemmän kysymyksiä kuin vastauksia toimintaan. Samalla kun kysymyksiä tulee entistä enemmän, vaaditaan, että koko yritys muuttaa toimintatapaansa ja sitoutuu uusiin menetelmiin.

Uusien teorioiden soveltaminen yrityksessä on haastava ja pitkä projekti. Yrityksen pitkäntähtäimen tavoitteena on tuottaa voittoa omistajilleen. Voittoa voidaan saada, jos tuotetta saadaan myytyä riittävällä katteella asiakkaille. Asiakkaille taas saadaan myytyä tuotetta, jos se täyttää asiakkaan vaatimukset ja tarpeet riittävän hyvin ja soveltuvaan hintaan. Tässä teoksessa esitellyt teoriat tähtäävät asiakkaan tarpeiden tyydyttämiseen ja samalla kustannusten laskemiseen. Samalla kun standardoidaan suunnittelumetodeja, suunnittelun ohjaaminen helpottuu sen läpinäkyvyyden vuoksi, tuoterakenteet yhtenäistyvät tuoteperheiksi ja tuotteet muuttuvat asiakasräätälöidyiksi. Toiminnan läpinäkyvyyden parantuessa omistajien on helpompi nähdä mistä kustannukset ja voitot muodostuvat. Muutoksen tekeminen yrityksessä ei saisi kuitenkaan olla liian sokeaa. Tärkeimpänä ajatuksena teorioiden soveltamisessa ja integroinnissa pitäisi pitää asiakasta ja miettiä sitä, miten asiakas hyötyy uusista muutoksista ja mistä asioista asiakas on valmis maksamaan.

3.3. Asiakkaan näkökulma

Yritysten välinen kilpailu on muuttunut. Tuotteiden tuottaminen joukkotuotannon keinoin on väistynyt asiakkaiden vaatimusten kasvaessa. Asiakaskohtaisten projektituotteiden valmistaminen on vähentynyt kustannusten takia. Vaadittavan tuotteen pitäisi olla sekä asiakaskohtainen että valmistettu joukkotuotannon keinoin kustannustehokkaasti, nopeasti sekä laadukkaasti.

3.3.1. Asiakaslähtöinen suunnittelu

Massaräätälöinti, rinnakkaissuunnittelu ja modulointi ovat keinoja asiakastarpeiden tyydyttämiseen. Asiakaskunnan kasvaminen globaalin markkinatalouden alla on tuonut

uusia haasteita yritykselle. Standardituotteen valmistaminen ei palvele vaihtelevaa asiakaskuntaa ja asiakastarpeita, vaan on tarjottava erilaisia variaatioita standardituotteen ympärille. Varioituvien tuotteiden joukkovalmistaminen tuottaa taas ongelmia yritykselle. Tuoterakenteen tulee muodostua tuoteperheistä ja niitä tukevista variaatioista.

Sisäinen asiakas

Asiakas voi olla yrityksen sisäinen. Esimerkiksi osakokoonpanoja tai moduuleita tuottava osasto palvelee loppukokoonpanoa. Tällöin asiakkaana on yrityksen sisällä oleva organisaatio. Loppukokoonpano on asiakkaana vain kiinnostunut siitä, että moduuli on valmis juuri oikeaan aikaan ja että se on laadukas. Miten moduuli on tuotettu, on loppukokoonpanolle arvotonta tietoa. Suunniteltaessa yrityksen lopputuotetta, tulisi moduuli kuitenkin suunnitella niin, että osakokoonpanon olisi mahdollista tuottaa moduuleita mahdollisimman tehokkaasti ja laadukkaasti. Moduuli tulee olla mahdollista kuormittaa loppukokoonpanon tarpeiden mukaan, sekä tuottaa juuri oikeaan aikaan. Sisäiseksi asiakkaaksi voidaan myös määritellä erilaiset tulosvastuulliset yksiköt yrityksen sisällä, jotka ostavat palveluita toisiltaan.

Asiakaslähtöisessä toimintatavassa tulee ottaa huomioon myös sisäiset asiakkaat. Loppuasiakas määrittelee lopullisen tuotteen ja niiden määritelmien perusteella yrityksen tulee määritellä sisäisten asiakkaiden tarpeet. Loppuasiakkaalle tuotteen arvoa lisäävää vaikutusta sillä ei ole. Sisäisen asiakkaan myöhässä tuotettu laaduton moduuli vaikuttaa kuitenkin lopputuotteen laatuun sekä sen toimitusaikaan.

Loppuasiakas

Yleisesti puhuttaessa asiakkaasta puhutaan aina loppuasiakkaasta. Loppuasiakas on tuotteen tilaaja ja maksaja, joten hänen tarpeiden tyydyttäminen on yrityksen avaintehtäviä. Loppuasiakas on kiinnostunut tuotteen ominaisuuksista siinä missä sisäinen asiakaskin. Loppuasiakasta ei kuitenkaan välttämättä kiinnosta se, miten tuote on suunniteltu, mitä metodeja suunnittelussa on käytetty tai miksi tuotanto on järjestetty jollain määrättyllä tavalla.

Suunniteltaessa tuotetta, joka palvelee maksavaa asiakasta, tulee ottaa huomioon asiat, joista asiakas on valmis maksamaan ja mitä ominaisuuksissa tuotteessa tulee olla, jotta se herättää asiakkaan mielenkiinnon.

3.3.2. Asiakkaan kustannukset vs. omat kustannukset

Muutosta ei voi tapahtua ilman kustannuksia. Uusien toimintamallien opetteleminen ja järjestelmiin investoiminen tuovat kustannuksia. Usein joudutaan tukeutumaan ulkopuolisiin konsultteihin sekä palkkaamaan uusia työntekijöitä toimintamalleja muutettaessa. Kustannuksiin on kuitenkin suhtauduttava pitkäjänteisesti ja tutkittava tarkkaan muutosten mahdollistamia uudistuksia.

Mistä asiakas on valmis maksamaan

Jotta kustannuksia voidaan perustella yritysjohdolle, tulee selvittää, mistä asiakas on valmis maksamaan, kun se hankkii tuotetta. Oletusarvona voidaan todeta, että hinta on ensimmäinen asia, jota asiakas katsoo, mutta mistä se muodostuu, ratkaisee kuitenkin ostopäätöksen.

Ostettaessa tuotetta, asiakkaalle on ensin muodostunut tarve. Tarpeen muodostuttua asiakkaalle on ilmennyt aikataulu, milloin tuotetta tarvitaan ja näin tuotteen toimitusaika muodostuu yhdeksi asiakkaan päätarpeista. On mahdollista, että tuotetta tarvitaan johonkin tiettyyn projektiin, jonka aikataulu on jo päätetty. Tässä vaiheessa on tärkeää, että asiakas saa luotettavan tiedon tuotteen toimituksesta. Mahdollinen projekti saattaa alkaa lyhyelläkin varoitusajalla ja mitä nopeampi toimitusaika, sitä nopeammin asiakas pääsee hyödyntämään tuotetta. Tuotteen mahdollinen myöhästyminen saattaa aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia ja luotettavuusongelmia asiakkaalle ja usein ylimääräiset kustannukset kasvavat vielä suuremmiksi, kuin lievä hinnannousu tuotetta ostettaessa. Näin myös toimitusvarmuus on yksi asiakkaalle tärkeistä tarpeista ja asioista, joista hän on valmis maksamaan.

Kun asiakkaalle on muodostunut tarve tuotteen hankinnan suhteen, tutkii hän seuraavaksi tuotteen ominaisuuksia. Asiakas ei välttämättä etsi yksilöllistä tuotetta, tarkoituksena ei ole löytää tuotetta joka on uniikki, vaan tuote, joka palvelee täydellisesti muodostunutta tarvetta. Joukkotuotannon keinoin voidaan valmistaa tuote nopeasti, luotettavasti ja kustannustehokkaasti. Usein joukkotuotantona valmistettu tuote omaa pääpiirteet ominaisuuksista, mutta se, mikä erottaa tuotteen muiden valmistajien tuotteista, on räätälöinti. Räätälöinnin avulla perustuotteen ympärille saadaan pienin lisäkustannuksin ominaisuudet, joita asiakas tarvitsee.

Laatu, on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista, joita tuotteelta haetaan. Mitä laatu sitten oikeasti tarkoittaa? Amerikkalaisen ANSI/ASQC-A3-1978-standardiin on määritely, että: ”Laatu on tuotteen tai palvelun ominaisuudet, joilla täytetään olemassa olevat tarpeet.” David Garvin on vuonna 1984 määritellyt tarkemmin, mitä nämä olemassa olevat tarpeet sisältävät:

1. Suorituskyky
 - Normaali suorituskyky
 - Ylimääräinen suorituskyky
2. Ominaisuudet
 - Attribuutit
3. Luotettavuus
 - Käyttövarmuus ja toimivuus
 - Henkilöturvallisuus ja ympäristövaikutukset
4. Yhdenmukaisuus

- Samanlaisuus
5. Kestävyys
 - Käyttöikä
 6. Huollettavuus
 - Varaosien saatavuus
 - Huollon helppous
 7. Ulkonäkö
 - Muoto ja väri
 - Viimeistely
 8. Imago
 - Merkki, valmistusmaa

Laatu on asia, johon koko yrityksen toiminnan tulisi tähdätä. Laaduksi voidaan määritellä yrityksen kannattavuus, kustannukset, tuotanto-ohjelma, sekä työntekijöiden ja johdon ammattitaito. Tässä kohtaa keskitytään kuitenkin pelkästään tuotepäristöiseen laatuun. David Garvinin määritelmästä voitaisiin vielä erikseen nostaa esille tuotteen luotettavuus sekä huollettavuus.

Tuotetta valittaessa on varmistettava, että tuotteen käytettävyys on mahdollisimman korkea. Odottamattomat käyttökatkokset erilaisten rikkoutumisten johdosta aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia. Käyttövarmuuden ohella tuotteen huollettavuus tulee olla mahdollista. Mahdollisten kulutusosien yksinkertainen vaihtaminen ja normaalien huoltotoimenpiteiden pitää olla mahdollista ilman suurempia operaatioita. Onko tuote suunniteltu niin, että sen huoltaminen ja korjaaminen ovat asiakkaan tehtävissä, vai onko tuote aina lähetettävä huoltoon toimittajalle?

Yritykselle tulevat kustannukset

Jotta uusia toimintamalleja ja järjestelmiä voitaisiin soveltaa yrityksen toiminnassa, joudutaan niiden opettamiseen ja opettelemiseen panostamaan. Mahdollisten ulkopuolisten konsulttien palkkaaminen ja työvoiman sitominen oppimisprosessiin maksaa yritykselle. Kaikkia kustannuksia ei kuitenkaan voida määritellä lyhyellä tähtämellä, eikä niitä voi kohdistaa asiakkaalle. Toimintamallien integroimista suunniteltaessa onkin tarkasteltava kustannuksia pitkällä tähtämellä sekä arvioitava muutoksen tuomia mahdollisuuksia ja kustannussäästöjä.

Siirtymisaika uusien toimintamallien ja tekniikoiden kanssa on useita vuosia. Olemassa olevien tuotteiden muuttaminen voi tulla liian kalliiksi, joten on arvioitava keskitytäänkö uustuotteiden suunnittelun ja tuottamisen kehittämiseen. Se, millä nopeudella yrityksen tuotteet kehittyvät ja muuttuvat, riippuu teollisuusalaista. Nopean vaihtuvuuden omaavalla teollisuudenalalla, kuten matkapuhelinteollisuudessa, vanhoja

tuotteita ja niiden tuoterakenteita ei kannata ruveta muokkaamaan. Jos kuitenkin tuotetaan hitaasti uusiutuvia tuotteita, kuten kaivosporauslaitteita, voidaan kehitysprosessia soveltaa myös vanhoihin tuotteisiin.

Uusien tuotteiden suunnittelukustannukset nousevat aluksi, mutta uusien suunnittelumallien vakiinnuttua yrityksen toimintaan, laskevat myös tuotesuunnittelun kustannukset. Tuotannon puolella joudutaan tekemään investointeja mahdollisten muutosten myötä. Muutokset maksavat itsensä takaisin mm. läpimenon nopeutuessa ja laadun parantuessa.

3.4. Päätelmät

Massaräätälöinti, rinnakkaissuunnittelu, modulointi ja DFMA ovat erilaisina tekniikoina ja filosofioina vahvasti yhteydessä toisiinsa. Jokaista näistä voidaan soveltaa yksittäisenä, mutta jotta saataisiin todellinen hyöty esille, pitää niitä soveltaa jossain määrin yhdessä.

Massaräätälöinti on ylemmän tason filosofia, jonka avulla pyritään suunnittelemaan asiakaslähtöinen yksilöllinen tuote, jota voidaan valmistaa massatuotannon keinoin. Rinnakkaissuunnittelu on toimintamalli, jonka avulla voidaan asiakaslähtöisesti räätälöityä tuotetta lähteä suunnittelemaan. Modulointi ja DFMA antavat työkalut näiden toteutumiselle.

Asiakaslähtöinen suunnittelu korostuu tämänhetkisessä globaalissa markkinataloudessa. Yrityksen tulee keskittyä tarjoamaan asiakkailleen heidän tarpeitaan palveleva tuote. Tuotteen hinta ei saa kuitenkaan nousta, joten sen suunnitteleminen ja valmistaminen tulee tehdä kustannustehokkaasti. Ennen suunnittelua tulee selvittää asiakkaiden tarpeet. Tulee selvittää mistä ominaisuuksista asiakas on valmis maksamaan. Asiakastarpeiden perusteella voidaan sitten määritellä tuoterakenne ja tuotteen valmistustapa.

Asiakaskohtaisesti räätälöityjen tuotteiden kannattavuus tulee selvittää tarkkaan. Tulee selvittää voidaanko räätälöimällä saavuttaa huomattavaa kilpailuetua muihin yrityksiin verrattuna, ja voidaanko sekä yritykselle että osakkeenomistajille tuottaa voittoa.

Yksi yhteinen piirre löytyy jokaisesta teoriasta, se on yhteistyö. Onnistuakseen uuden toimintatavan implementointi ja käyttö vaatii yhteistyötä koko organisaation tasolla. Näitä toimintatapoja ei voida vain ottaa käyttöön, kuten uutta työpistettä. Käyttöönotto vaatii pitkäaikaista sitoutumista ja halua oppia uutta. Ne tuovat onnistuessaan entistä paremman työympäristön, jossa tunnetaan paremmin koko organisaation toiminta, sekä paremmin asiakasta palvelevan tuoteperheen, jota on helpompi kehittää uustuotesuunnittelussa ja tehokkaampaa valmistaa tuotannossa.

4. CASE: VOIMALAITEYKSIKÖN LINJAKOONTI

4.1. Projektin sisältö

Projektina on Metso kaivos- ja maarakennusteknologian Tampereen mobiililaitetehtaan voimalaiteyksiköiden kokoonpanoajan lyhentäminen. Liikuteltavien murskainlaitteiden voimalaitemoduulin kokoonpanoaikaa tulee lyhentää nykyisestä ajasta 30 prosenttia. Uuden TIER IV -päivityksen vuoksi tulevien uusien tuotemallien tulee olla tuotettavuudeltaan ja kokoonpantavuudeltaan tehokkaampia, kuin TIER III -mallisten tuotteiden.



KUVA 4.1. Kuva Metson tela-alustainen murskainlaiteyksikkö, Lokotrack

4.1.1. Nykytilanne

Tällä hetkellä voimalaitemoduuleita valmistetaan noin 350 kappaletta vuodessa. Näitä moottorimoduuleita valmistetaan paikkakoonnissa ja yhden moduulin kokoonpanemiseen kuluu kahdelta työntekijältä noin 40 tuntia, joten työtunteja moduuliin kertyy noin 80 tuntia. Erilaisia moduulimalleja on kahdeksan kappaletta, niistä on kuitenkin selkeästi eroteltavissa kaksi erilaista perusmoduulimallia, jotka

varioituvat koonnan aikana. Perusmoduulit eroavat toisistaan voimanlähteen mukaan. Toinen moduuli on varustettu Caterpillarin 9-litraisella diesel-moottorilla ja toinen Caterpillarin 13-litraisella diesel-moottorilla. Perusmoduulien valmistaminen erillisinä tuotteina ja loppuvarioiminen on mahdotonta moduulien erilaisten variaatioiden paljouden ja jälkiasentamisen vaikeuden takia.

Laadunvalvonnasta vastaa kokoonpanija. Hänen vastuullaan on arvioida yhdessä työnjohtajan kanssa osien ja kokoonpanon laatua. Jos alihankkijalta on tullut varastoon viallinen osa, se huomataan vasta osaa kiinnitettäessä, sillä vastaanottotarkastusta ei tehdä ollenkaan. Usein alihankkijalta tullut osa on ainoa laatuaan ja kiireisen tuotannon takia ei ehditä tilata uutta osaa. Osan korjaa yleensä asentaja tai suuremmissa ongelmissa alihankkija saapuu osastolle vikaa korjaamaan. Molemmat tilanteet viivästyttävät kokoonpanoa. Kun rakenteita tarkastelee kokoonpanijan näkökulmasta, voi hyvin huomata, että kokoonpantavuutta ei ole suunnitteluvaiheessa huomioitu riittävästi. Vaikka eri toimittajien tuottamat osat pysyisivätkin toleranssien sisällä, kertaantuu rakenteesta johtuva mittavirheiden summa usein niin, että kokoonpano pysähtyy.

Voimalaiteyksikön asiakkaana on kaksi erilaista loppukokoonpanoyksikköä. Toinen loppukokoonpanoyksikkö toimii voimalaiteyksikön tavoin paikkakoonnissa ja toinen on linjamuotoinen kokoonpano. Tela-alustaisia murskainyksiköitä paikkakokoonpannaan neljässä eri pisteessä. Näiden kokoonpanoajat vaihtelevat kahdeksasta työpäivästä kymmeneen työpäivään. Viisiasemaisen linjakokoonpanon tahtiaika on kahdeksan tuntia, jonka seurauksena murskainyksikön kokoonpanoajaksi tulee 40 tuntia. Linja toimii kahdessa vuorossa, joten päivää kohden tarvitaan kaksi voimalaiteyksikköä palvelemaan linjaa.

Tuotannonsuunnittelu tehdään loppukokoonpanon ehdoilla. Suunnittelussa ei oteta huomioon voimalaiteyksiköiden kokoonpanoajoja, vaan oletetaan alikokoonpanon tuottavan moduulit ajallaan. Ongelmia lisäävät liian liikkuvat tilausajat. Vaikka tuotannonsuunnittelun mukaan seuraavan kuukauden tuotanto onkin päätetty, ei se kuitenkaan aina pidä viikolleen tai päivälleen paikkaansa. Tuotantoa tasataan viime hetkellä mahdollisten ongelmien ilmetessä ja voimalaitemoduulien tuotanto-ohjelmaa muutetaan sen mukaan. Tämä johtaa siihen, että voimalaitemoduulien tuotannossa muutetaan ohjelmaa päiväkohtaisesti. Voimalaitemoduulin tulee olla valmis sinä päivänä, kun loppukokoonpano aloitetaan. Tässä vaiheessa moduuli ehditään vielä testata koeajossa, jonka tahtiaika on neljä tuntia. Tilanne on johtanut siihen, että voimalaitemoduulien tuotannonohjauksen hoitaa käytännössä työnjohtaja. Työnjohtaja tiedustelee loppukokoonpanolta pitääkö tuotannosuunnitelma paikkansa ja pyrkii valmistuttamaan moduulit ajallaan mahdollisuuksien mukaan. Koska loppukokoonpanon tuotannonmuutokset tapahtuvat hyvin lyhyellä aikavälillä, joudutaan voimalaitemoduulien kokoonpanossa turvautumaan nopeisiin muutoksiin ylitöillä. Ylitöitä muodostuu vuoden aikana aina työehtosopimuksen määrittelemään ylärajaan saakka. Toinen työkuorman vaihtelua aiheuttava seikka on lomat. Tuotanto suunnitellaan niin, että tuotannon tauot ja lomat suunnitellaan puhtaasti

loppukokoonpanon ehdoilla. Loman tai muun tuotannon tauon lähestyessä voimalaitemoduulien valmistuksen suunnittelu muuttuu lähinnä arvaamiseksi. Tauon loputtua tuotantosuunnitelma varmistuu ja voidaan vain toivoa, että on valmistettu oikeita moduuleita tuotantosuunnitelmaa silmälläpitäen. Voidaan helposti todeta, että kasvattamalla voimalaitemoduulien valmistuskapasiteettia lisäämällä valmistuspisteitä ja miehiä tällaisista ongelmista päästään eroon. Ongelmaksi kuitenkin muodostuvat tehdaspinta-alan rajoitteet.

4.1.2. Voimalaitteyksikön tulevaisuus

Vuonna 2011 aloitetaan vaiheittain siirtyminen uuteen TIER IV:ään. Tämä tarkoittaa uusien moottorimoduulien esilletuloa. Siirtyminen TIER III -moottoreista TIER IV -päästö määräysten moottoreihin tarkoittaa erilaisten suodatus- ja jäähdytysjärjestelmien integroimista voimalaitemoduuliin. Moduulin rakenne tulee muuttumaan niin mekaanisella, kuin hydraulisella puolellakin merkittävästi, joten uutta järjestelmää ei voida integroida vanhaan yksinkertaisesti.

TIER IV -alueen piiriin eivät kuulu koko markkina-alueen maat, joten vanhaa TIER III -mallista voimalaitemoduulia valmistetaan uuden rinnalla. Suunnittelun prioriteettien vuoksi uusi TIER IV -mallinen voimalaitemoduuli suunnitellaan ensin. Kun tämä on saatu tuotantoon onnistuneesti, muutetaan vanhaa TIER III -mallista voimalaitemoduulia lähemmäksi uudempaa tuotetta ja näin saadaan tuotantoa standardoitua. Todellisuudessa tämä tarkoittaa, että vuodesta 2011 lähtien valmistetaan kaksinkertainen määrä voimalaitemoduuleita tämänhetkiseen verrattuna. Jos tuotannossa on ollut ongelma hallita kahdeksaa erilaista mallia, jotka ovat pääpiirtein perustuneet kahteen erilaiseen peruskokoonpanoon, tulevaisuudessa erilaisia malleja on 16 ja mahdollisia peruskokoonpanon omaavia rakenteita neljä. Nämä luvut ovat vielä arvioita, mutta kertovat jotain tulevaisuuden tilanteesta.



KUVA 4.2. Voimalaitemoduuli

Kuormitus

Tulevaisuudessa tela-alustaisten murskainyksiköiden myynnin oletetaan kasvavan 20 prosenttia. Yhdessä TIER IV-päivityksen saaneiden tuotteiden ja vanhemman mallin kanssa vuosittainen tuotantomäärä on noin 420 murskainyksikköä. Tämänhetkinen toimitusvarmuus voimalaitemoduulien toimituksissa on ollut noin 60 prosenttia. Tämä on vaikuttanut usein myös loppukokoonpanon toimintaan ja myöhästyttänyt laitteiden toimituksia. 100 prosentin toimitusvarmuus on nyt nostettu prioriteetiksi numero yksi lopputoimitusten osalta, joten tuotanto on saatava vakioitua myös voimalaitemoduulien osalta.

Mahdollisuudet

Kuormituksen noustessa sekä mahdollisen mallimäärän kaksinkertaistuessa kehitystä on tapahduttava johonkin suuntaan. Mahdollisia vaihtoehtoja ovat kokoonpanopaikkojen lisääminen, kokoonpantavuuden kehittäminen tai kokoonpanoaikojen lyhentäminen linjakokoonpanon avulla. Yhtenä vaihtoehtona on siirtää koko voimalaitemoduulien valmistus tai osa siitä alihankintaan.

4.1.3. Miksi kehitystä on tapahduttava

Nykyinen tilanne, jossa toimitusvarmuus on 60 prosentin luokkaa, ei voi jatkua. Johdolta on tullut viesti, että toimitusvarmuuden tulee lähestyä 100 prosenttia. Uusien

polttoaine- ja päästömääräysten tullessa voimaan, tulevat voimalaitemoduulien mallimäärät kaksinkertaistumaan. Tämä tarkoittaa sitä, että toimitusvarmuuden pitäminen tällä tasolla vaikeutuu huomattavasti, jopa näillä volyymeillä. Kun vielä pitää varautua kapasiteetin kasvuun, voidaan todeta, että kehitystä on tapahduttava.

Tilarajoitteet

Voimalaitemoduulien osastolla on 2009 saatu viimeisteltyä uusi osaston laajuinen layout. Koko osaston henkilöstö on osallistunut muutoksen suunnitteluun sekä sen toteuttamiseen. Kokoonpano- ja jätepisteet sekä kulkuväylät on merkitty selkeästi, joten asentajien on helpompi toimia turvallisemmin sekä tehokkaammin. Samalla on varastot pyritty muodostamaan niin, että osat löytyvät mahdollisimman läheltä kokoonpanopisteitä. Muutoksen yhteydessä on saatu hieman lisää tilaa osastolle. Lisätila on hyödynnetty parantamalla varastointia sekä ulos ja sisään kulkevaa materiaalivirtausta.

Tämänhetkinen tilanne on sellainen, että lisätilan saaminen muilta osastoilta on mahdotonta. Tela-alustaisten murskainyksiköiden loppukokoonpano vie tehtaalta runsaasti tilaa. Loppukokoonpanoa on siirretty paljon alihankkijoille, mutta ahtaus varjostaa silti usein loppukokoonpanoa. Lisätilantarvetta on myös maalaamalla, joka on teknisenä tilana hankalassa asemassa, sillä sitä on hankala siirtää alihankintaan tela-alustaisten laitteistojen siirtämisen hankaluuden vuoksi.

Läpimenoajan lyhentäminen

Tuotteiden volyymin lisääntyessä läpimenoaikojen lyhentäminen vaikuttaa muodostuvan ainoaksi varteenotettavaksi vaihtoehdoksi. Läpimenoajan lyhentämiseen voidaan vaikuttaa vain joko kehittämällä kokoonpantavuutta tai siirtymällä linjamuotoiseen kokoonpanoon ja alikokoonpanoihin.

4.2. Kokoonpantavuuden kehittäminen

Työn alkuvaiheessa on rajattu pois mahdollisuus lisätä kokoonpanopaikkoja tehtaalla. Tilarajoitteet muodostuvat siellä ongelmaksi, joten on keskityttävä muihin ratkaisuihin. Aikaisemmin on myös todettu, että tuotteen valmistaminen linjassa on ongelmallista. Itse kokoonpano linjamuotoisesti onnistuu, mutta tuotannonohjauksen ja huonon laadun aiheuttamien ongelmien takia linjamuotoinen kokoonpano aiheuttaa hankaluuksia. Tuotteesta ei voida erotella peruskokoonpanoa, jota voisi kokoonpanna linjassa, jonka jälkeen hybridilinjan tavoin yksilöityminen tapahtuisi vasta kokoonpanon lopussa. Tuotteen rakenne määräytyy heti kokoonpanon alussa, joten loppukokoonpanon aiheuttamien vaihteluiden hallinta ei onnistu linjassa.

Haasteeksi muodostuu tuotteen kokoonpantavuuden kehittäminen. Jotta tulevaan kuorman kasvuun voitaisiin reagoida erilaisin vaihtoehdoin, tulee tuotteen ominaisuuksien vastata tuotannon vaatimuksia. Tulevaisuudessa voimalaitemoduuleita

tullaan valmistamaan samoilla kokoonpanopaikoilla tai linjassa. Jotta näistä vaihtoehdoista kumpikin olisivat mahdollisia, on tuotteen suunnittelussa tapahduttava muutoksia.

Voimalaitemoduuleita tarkasteltaessa ulkopuolisen silmin voidaan todeta, että ne muistuttavat huomattavasti toisiaan. Jokaisesta moduulimallista on nähtävissä samat ominaisuudet ja muodot. Voimanlähteen koko tekee suurimman yksittäisen eron mallien välillä. Tarkempi tarkastelu kuitenkin osoittaa, että tuotteilla ei suuresta yhdennäköisyydestä riippumatta ole juurikaan yhtäläisiä osia. Tähän on johtanut yksittäisten suunnittelutiimien muodostuminen loppukokoonpanon tasolla. Tuotteet suunnitellaan yksittäisinä projekteina, joissa koko tela-alustainen murskainlaiteyksikkö, Logo-Track, suunnitellaan kerralla. Toimiva tuote siirretään tämän jälkeen tuotantoon. Voimalaitemoduulin osalta tuotesuunnittelun pohjalla käytetään edellisten mallien versioita, mutta modulaarisuudesta tuotteiden osalta ei voida puhua. Kustannussäästöissä on noudatettu politiikkaa, jossa yksikin tuotteen hintaa alentava ominaisuus muuttuu dominoivaksi ominaisuudeksi. Kokonaiskustannuksiin perustuvaa ja kokoonpanoystävällistä tuoterakennetta ei olla lähdetty hakemaan. Tällainen ideologia toimii, kun valmistetaan yksittäisiä projektituotteita. Kasvaneiden tilauskantojen ansiosta tela-alustaisten murskainyksiköiden tuotanto alkaa kuitenkin muistuttaa yhä enemmän joukkotuotantoa ja projektituotteiksi tarkoitetut tuoterakenteet alkavat aiheuttaa ongelmia tuotannon puolella.

Modulaarinen rakenne

Voimalaitemoduulien eroavaisuudet ovat suhteellisen pieniä, mutta eroavaisuuksia esiintyy liian paljon. Modulaarisuutta voitaisiin parantaa monellakin osa-alueella. Erityisesti tulisi parantaa modulaarisuutta, joka tukee komponenttien käyttöä useammassa tuotteessa (Component Sharing Modularity). Varastojen arvot ovat kasvaneet huomattavasti yksilöllisten tuotteiden takia. Erilaisia kiinnikkeitä, tukia ja letkuja riittää jokaiselle mallille omansa. Usein tällaisissa tapauksissa voitaisiin käyttää yhteisiä osia, jotka mahdollistaisivat kaikkien tuotteiden yhteensopivuudet. Myös komponenttien vaihtokelpoisuutta (Component-Swapping Modularity) tukevaa modulaarisuutta tulisi moduuleissa parantaa. Esimerkiksi jokaiselle moduulille suunnitellaan omanlainen alusta, jonka päälle tuote rakentuu. Alustat ovat mitoiltaan suuria komponentteja, joten niiden varastoiminen jo valmiiksi ahtaissa tiloissa on hankalaa. Alustojen lisäksi moduulien suojat kuuluvat samaan kategoriaan. Alustojen sekä suojien eroavaisuudet ovat hyvin pieniä, mutta pienistä eroavaisuuksista huolimatta niitä ei voida käyttää ristiin. Molempien kooltaan suurien komponenttien yhdistäminen helpottaisi huomattavasti tuotannon tehtäviä, niin hankinnan kuin kokoonpanon osalta.

Modulaarinen rakenne helpottaisi vallitsevan tilanahtauden kanssa, koska erilaisten osien määrä pienenesi ja vapauttaisi näin hyllytilaa. Komponenttien määrän vähentyminen auttaisi myös asennustyössä, sillä mahdollisuus sekaannuksiin samankaltaisten osien suhteen pienenesi. Helpotusta tulisi myös oston nimikemäärän laskiessa. Alihankkijoiden on helpompi keskittyä pienempään määrään osia. Osien laatu

sekä toimitusvarmuus paranisi. Hyötyä näkyy suunnittelun puolella nimikemäärän pienentyessä 3D-mallinnuksen sekä muutoksenhallinnan vähentymisenä.

Räätälöinti loppuvaiheeseen

Jotta linjakokoonpano voitaisiin toteuttaa joustavasti, tulisi tuotteessa olla perusmoduuli. Perusmoduulin olemassaolo mahdollistaisi nopean reagoimisen loppukokoonpanon tuotannon muutoksissa. Se mahdollistaisi myös hiljaisempina aikoina valmistettavan puskurivaraston. Puskurivarastoon ei tarvitsisi valmistaa kaikkia 20 tuotetta jokaista varastoon, vaan vain muutamaa perusmoduulia. Näitä vaillinaisia moduuleita räätälöitäisiin lopuksi yksilöllisiksi tuotteiksi. Räätälöinti voisi tapahtua joko linjassa tai paikkakokoonpanona. Perusmoduuli palvelisi sellaisenaan myös puhtaassa paikkakokoonpanossa. Erikoisempien moduulien takia koko voimalaitemoduulien tuotantoa ei todennäköisesti voida siirtää linjaan, joten myös paikkakokoonpano tulee säilymään mahdollisen linjan rinnalla. Erikoisempien ja yksilöllisempien tuotteiden kysynnän ollessa vähäisempää voitaisiin kapasiteettia tasata paikkakokoonpanopisteissä.

Eroteltavissa olevia alikokoonpanoja

Läpimenoaikaan voidaan vaikuttaa valmistamalla tuotteesta alikokoonpanoja, joita voidaan helposti liittää moduuliin varsinaisen kokoonpanon aikana. Tämä vaatii kuitenkin määrättyjä ominaisuuksia tuotteen rakenteelta. Suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon erilaiset mahdollisuudet alikokoonpanoille sekä suunnitella kokonaisuudet ja kiinnitykset niin, että se mahdollistaa alikokoonpanot eikä tee kokoonpanosta hankalampaa. Alikokoonpanojen avulla voidaan tuotteen läpimenoaikaa nopeuttaa huomattavasti. Ne myös auttavat osaltaan kapasiteetin tasaamisessa, kun voidaan esivalmistella tuotteita niitä tekemällä.

4.2.1. Keinot tavoitteiden saavuttamiseen

Yksittäisen tuotteen ominaisuuksien parantaminen ei vaadi erityisten tekniikoiden tai filosofioiden käyttöä. Tarkoituksena ei kuitenkaan ole saada yhtä tuotetta toimimaan mahdollisimman ”tuotantoystävällisesti.” Suunnittelufilosofioiden tarkoituksena on parantaa ja kehittää itse suunnitteluprosessia ja tuoda niistä opitut hyödyt muille organisaation osa-alueille. Samalla parannetaan itse tuotteen kustannustehokkuutta, ominaisuuksia ja laatua. Filosofioiden avulla muutetaan koko tuoteperhe palvelemaan yritystä paremmin.

Toimiakseen massaräätälöinti ja rinnakkaissuunnittelu vaativat koko yrityksen panostusta niihin. Suunnittelu on avainasemassa, sillä vaikka toiminnan muuttuminen ja kehitys palvelevat koko organisaatiota, suunnittelu on se, josta toiminnan pitää lähteä liikkeelle. Ilman suunnittelun osallistumista ei massaräätälöinnin ja rinnakkaissuunnittelun toimintatavoista ole hyötyä kenellekään.

Asiakslähtöinen suunnittelu

Tuotesuunnittelu tulisi aloittaa ajattelemalla asiakasta. Tuotekehityksen suunnan pitää tulla siitä, mitä asiakas haluaa. Usein keskitytään siihen, mitä yritys on aikaisemminkin tehnyt, mitä yrityksen sisällä osataan tai mitä muut tekevät. Tuotekehityksen tulee kehittyä asiakastarpeiden mukana. Jos lähdetään vain kehittämään tuotetta, joka osataan valmistaa tai mitä muutkin tekevät, mennään väärään suuntaan.

Massaräätälöinti

Massaräätälöinti on yksi asiakslähtöisen suunnittelun filosofioista. Sen ideologiaa tulisi käyttää tulevaisuudessa sekä loppuasiakkaan että sisäisten asiakkaiden näkökulmasta. Loppuasiakas vaatii entistä yksilöllisempiä tuotteita, mutta tätä filosofiaa tulisi soveltaa myös sisäiseen asiakkaaseen eli voimalaiteyksiköitä valmistavan osaston ja loppukokoonpanon väliseen symbioosiin.

Tällaisessa tilanteessa mukautuva räätälöinti (Adaptive), luvusta 2.3.2, on todennäköisimmin toimivin räätälöintitekniikoista. Se on tekniikka, jossa asiakkaalle tarjotaan yhtä standardituotetta, joka on suunniteltu niin, että sitä voidaan räätälöidä tarpeen mukaan. Voimalaitemoduulien kohdalla asiakkaalle, eli loppukokoonpanolle, tarjottaisiin muutamaa erilaista standardituotetta riippuen murskainyksikön tehontarpeesta. Tehontarpeen mukaan määriteltäisiin sitten moottorin suuruusluokka sekä viritysaste. Muu räätälöinti määräytyisi loppuasiakkaan tarpeiden mukaan. Lopullisessa räätälöinnissä otettaisiin myös huomioon lämpötila-alue, missä tuotteen tulisi toimia. Esimerkiksi Brasiliassa toimivalla koneella voi olla jäähdytyksen kanssa enemmän ongelmia kuin Norjassa toimivalla koneella. Samanaikaisesti Norjassa toimivan koneen käynnistämiseen tarvitaan mahdollisia lämmittimiä, kun taas Brasiliassa ei kylmyys konetta vaivaa.

Paremmiin tällaista tuotteen systemaattista variointia voitaisiin kutsua konfiguroinniksi, joka on yksi massaräätälöinnin keinoista. Vaikka jokainen asiakkaalle tarjottu tuote on yksilö, yksilöityminen muodostuu kuitenkin ennalta määriteltyjen ja suunniteltujen elementtien avulla. Eli loppuasiakkaalle tehdyn tilaus- ja toimitusprosessin määrittelemän tuotteen pohjalle automaattinen konfigurointiohjelma valitsee oikeanlaisen konfiguraation.

Rinnakkaissuunnittelu

Yhteistyö, on avainsana puhuttaessa rinnakkaissuunnittelusta. Sen kehittäminen suunnittelua auttavaksi elementiksi koko organisaation voimin, on koko rinnakkaissuunnittelun tärkein tehtävä.

Rinnakkaissuunnittelun implementoiminen yritykseen vaatii tuotekehitystiimien uudelleen järjestämistä. Jokaiseen tuotekehitystiimiin tulee saada mahdollisimman laaja ja monitahoinen ryhmä. Ryhmän kaikki jäsenet osallistuvat suunnitteluprosessiin sen koko elinkaaren ajan. Perinteinen ”suunnittelu suunnittelee”-ajattelutapa pitää pystyä rikkomaan sekä suunnittelijoiden että muun organisaation keskuudessa. Jotta tällainen

ajattelutapa pystytään rikkomaan, tulee siihen ensin saada yrityksen johdon kannatus ja tuki. Tämän jälkeen voidaan suunnittelutekniikkaa ajaa tuotekehityksen toimintatavaksi.

Selkeitä hyötyjä, joita rinnakkaissuunnittelusta voidaan saada, ovat suunnitteluajan lyheneminen, koko yrityksen sisäisen yhteistyön kehittyminen sekä laadukkaampi ja tuottavampi tuote.

Modulointi

Moduloinnista ja modulaarisuudesta puhutaan helposti yrityksen tuotteista puhuttaessa. Käsitteet eivät kuitenkaan kohtaa tuotteen ominaisuuksien kanssa. Tuotteen modulaariset ominaisuudet ovat tällä hetkellä erittäin hankalasti nähtävissä. Joissain pienissä yksityiskohdissa modulaarisuuden määritelmät ehkä täyttyvät, mutta tuotteen modulaarisuudesta ei voida puhua. Erityisesti pitäisi keskittyä moduulien välisiin rajapintoihin.

DFMA

Jotta tuotteen ominaisuuksiin saadaan selkeää parannusta, tulee siihen myös soveltaa DFMA-työkalua. Se antaa suunnittelijoille selkeät ohjeet tuotteen suunnittelua varten. Seuraamalla näitä ohjeita saadaan aikaiseksi helpommin kokoonpantava, vähemmän erilaisia osia sisältävä ja kustannustehokkaampi tuote. Samalla kun tuotteen ominaisuudet paranevat tuotannon näkökannalta, saadaan luotettavampia ja yksinkertaisempia tuoterakenteita, joiden suunnittelu on tehokasta.

DFMA auttaa vähentämään erilaisia osia tuotannossa. Myös osien kokoonpaneminen helpottuu, joka johtaa lyhyempään kokoonpanoaikaan. DFMA suosii myös erilaisten testattavien kokonaisuuksien muodostamista sekä räätälöinnin sijoittamista loppukokoonpanoon. Testattavat kokonaisuudet auttavat voimалаitemoduulin testiajossa, mutta räätälöinnin siirtämistä loppukokoonpanoon tulisi kuitenkin välttää.

Samalla kun DFMA yksinkertaistaa tuotteiden rakenteita, on mahdollisuus päästä erilaisista mittausteknisistä ongelmista eroon. Tämän hetken tuoterakenteista on havaittavissa mittaamiseen liittyviä ongelmia. On huomattu, että vaikka jokainen voimалаitemoduulin osa olisi toleranssien sisällä, tuotetta on silti mahdotonta kokoonpanna. Osien toleranssien yhteisvirhe aiheuttaa tilanteen, jossa viimeiset pultit eivät mene mitenkään paikalleen. Mittausteknisesti väärin suunnitellut osat pääsevät läpi tarkemmastakin laaduntarkkailusta, mutta yhdessä niitä on mahdotonta käyttää.

5. TULOSTEN TARKASTELU

Mitä tulisi muuttaa välittömästi?

Voimalaitemoduulien valmistaminen tulevalla kapasiteetilla ja uusilla haasteilla voi muodostua mahdottomuudeksi. Erilaiset laatuongelmat sotkevat tällä hetkellä koko tuotantoa. Niiden pois kitkeminen pitäisi saada aikaiseksi. Laatuongelmat heijastuvat suunnittelusta asti. Syy ei yksin ole alihankkijoiden, vaan myös oman yrityksen toimintaan tulee kiinnittää huomiota. Alihankkijoille teetettävät osat ovat niin hankalia rakenteiltaan, että niiden valmistaminen laadukkaasti on ongelmallista. Tuotteet tulisi suunnitella niin, että osat ovat helppo sekä valmistaa että kokoonpanna.

Erilaisten ”samanlaisten” osien yhdistäminen pitäisi toteuttaa välittömästi. Esimerkiksi alustojen yhdenmukaistaminen olisi hyvä projekti vaikkapa erikoistyötä tai insinööriä tekeväälle. Samanlaisia kevyitä projekteja on runsaasti. Samalla kun opiskelijalle tulee myönteinen kuva yrityksestä, saa yritys arvokasta suunnittelutyötä lähes ilmaiseksi ja voi samalla arvioida opiskelijan mahdollisuuksia yrityksessä tulevaisuuden varalta.

Usein ajatellaan, että muutokset vaikuttavat vain konkreettisiin asioihin, kuten suunnittelun nopeuteen tai tuotannon kapasiteettiin. Konkreettisista tapahtumista aiheutuvat positiiviset muutokset vaikuttavat kuitenkin vahvasti työntekijöiden motivaatioon. Suunnittelutöiden muuttuminen erilaisiksi haastaviksi projekteiksi motivoi suunnittelijoita kehittämään itseään, mutta myös kokoonpanossa huomataan tuotteen ja toimintatapojen kehittyminen. Lisääntynyt motivaatio parantaa työntekijöiden työmotivaatiota, joka näkyy parantuneena työtahtina.

Mihin suuntaan suunnittelun tulisi mennä tulevaisuudessa?

Tuotannon muuttumista projektituotteista kohti tuotantolinjamaisuutta ei voida olla huomioonottamatta myös tuotannon tarpeita. Suunnitteluperiaatteet, jotka toimivat yksilöllisiä ja projektikohtaisia tuotteita suunniteltaessa, eivät toimi enää volyymin kasvaessa ja muuttuessa kohti vakiotuotteita. Siirtyminen tuotantoläheisempään suunnitteluun on välttämättömyys.

Suunnittelun muuttaminen enemmän yhteistyöksi muiden osastojen kanssa on ainoa vaihtoehto. Uustuotesuunnittelu tarvitsee laajemman näkökulman uusille tuotteille. Mukaan tulee saada valmistuksen, myynnin, oston, huollon, testauksen, alihankkijan ja taloushallinnon edustajat, jotta voidaan suunnitella entistä parempi tuote.

Tuotteita ei saisi myöskään suunnitella katsoen pelkästään yhden tuotteen yksikköhintaa. Ei saisi sokeasti pyrkiä halvimpaan ratkaisuun suunnittelussa,

valmistuksessa tai tuotannossa. Ymmärrys kokonaiskustannusten muodostumisesta tulee sisällyttää koko tuotteen elinkaariajatteluun.

Massaräätälöinnin ja rinnakkaissuunnittelun keinoihin tulisi ehdottomasti tutustua ja pohtia samalla miten DFMA:a voitaisiin käyttää hyväksi sekä loppukokoonpanossa että voimalaitemoduulissa.

Alihankintaa vai omaa valmistusta?

Siirryttäessä pikkuhiljaa uuteen voimalaitemoduulisukupolveen TIER-päivityksen yhteydessä, tulee ottaa huomioon myös mahdollisuus siirtää osa tuotannosta alihankintaan. TIER-päivitys tulee koskemaan vain osaa asiakasmaista, joten vanhoja moduulimalleja joudutaan valmistamaan uusien tuotteiden rinnalla. Tämä tarkoittaa aina vain kasvavaa varaston arvoa ja tilantarvetta. Nykyisen tilanteen vallitessa mahdollinen vanhan sukupolven tuotteiden siirtäminen osittaiseen alihankintaan saattaa muodostua hyväksi vaihtoehdoksi. Alihankintaa tukee myös se ongelma, että uudet moduulimallit saattavat olla rakenteiltaan hyvin erilaisia vanhoihin malleihin verrattuna. Erilaisuus saattaa johtaa siihen, että niitä on lähes mahdotonta valmistaa tehokkaasti samassa linjassa. Useamman linjan rakentaminen jo ahtaaseen tehdastilaan on mahdotonta.

Millaisia säästöjä saavutettaisiin?

Tällä hetkellä tuotannon ja suunnittelun välinen yhteistyö rajoittuu tuotannolta tuleviin tuotemuutospyyntöihin. Erilaisia pieniä muutoksia joudutaan tekemään moduulin osiin kokoonpantavuuden parantamiseksi. Myös suurempien laatuvirheiden ilmetessä suunnittelulta saadaan konsultointia. Tuotemuutoksista aiheutuva rasite vaikuttaa molemmilla osastoilla. Tuotanto käyttää viikossa useita työpäiviä osien korjaamiseen sekä tuotemuutoksien käsittelyyn. Samalla kun tuotanto taistelee ongelmien kanssa, joudutaan asiasta vaivaamaan sekä ostoa että suunnittelua. Usein suunnittelijoilla on kiire muiden projektien kanssa, ja tuotannolta tulevat muutokset jäävät helposti toissijaisiksi. Aikaa säästyisi näin sekä ostolta että tuotannolta, mutta myös suunnittelulta.

Useilla komponenteilla on pitkät toimitusajat. Siksi niitä joudutaan tilaamaan ennusteisiin nojaten. Tehdasalue on kuitenkin ahdas ja rajallinen, joten komponentteja on jouduttu kuljettamaan pois alueelta ulkopuolisiin varastoihin. Tästä aiheutuu sekä kuljetuskustannuksia että varastointikustannuksia. On vielä otettava huomioon, että mitä useammin komponentteja joudutaan siirtelemään, sitä todennäköisempää on kuljetusvaurioiden esiintyminen. Komponenttien modulaarisuudet auttaisivat tässä tilanteessa. Erilaisia komponentteja ei tarvitsisi varastoida niin paljoa, kun komponentit olisivat yhteisiä. Samalla myös varaston arvo laskisi.

Tulevaisuuden haasteita katsottaessa pitäisi myös muistaa, että aina ei voida vain etsiä mahdollisia säästöjä ja oikopolkuja. Muutoksilla haetaan tässä tilanteessa säästöjen lisäksi sitä, ettei tulisi valtavia koko konsernia koskevia tappioita.

Asiakkaan näkökulma

DFMA:n avulla parannettujen osien valmistaminen on helpompaa. Alihankkijat pystyvät tuottamaan uusia osia edullisemmin, mutta myös laadukkaammin. Laadukkaammat osat näkyvät asiakkaalle lopputuotteen parantuneena laatuna.

Asiakkaat hyötyvät kokoonpantavuuden parantumisesta, kun tuote on helpommin myös purettava. Kunnossapito helpottuu ja koneeseen teetettävät pidemmät huollot nopeutuvat. Näin ollen murskainyksikön tehokas työaika ja asiakkaan saama tuotto kasvavat.

Hyötyjä suunnittelulle

Suunnittelijoiden tuntemus tuotteesta kasvaa, kun he tutustuvat tuotteen koko elämänkaareen uustuotesuunnitteluvaiheessa. Näin monitaitoisuus kasvaa ja tuloksena tulee entistä parempia tuotteita. Tuotemuutosten määrä laskee ja tämän seurauksena suunnittelukapasiteettia voi ohjata enemmän uustuotesuunnitteluun. Myös tuotannon tukitehtävät vähenevät ja se vapauttaa resursseja muuhun suunnittelutyöhön.

DFMA:n on todistettu vähentävän osia sekä nopeuttavan suunnittelu-aikaa. Modulaarisuuden ja osien vähenemisen myötä aiheutuu lumipalloefekti, jonka ansiosta piirustusten ja spesifikaatioiden, ostajien ja toimittajien sekä inventaarioiden määrä laskee.

Millä keinoilla yrityksen johto saadaan ymmärtämään tilanne?

On pystyttävä selittämään ja ymmärtämään tekniikoiden hyöty. Kuinka niiden tarkoituksena ei ole sekoittaa toimintatapoja entuudestaan, vaan antaa koko yritykselle yhteinen toimintatapa, joka ei pelkästään kehitä työntekijöitä, vaan kehittää itse tuotetta ja yrityksen koko prosessia.

Koska yrityksen tarkoituksena on tuottaa voittoa sen omistajille, on myös ymmärrettävä tekniikoista koituva taloudellinen hyöty. Massaräätälöinnin keinoin tuotettu tuote antaa mahdollisuuden entistä parempaan kilpailukykyyn globaalilla markkina-alueella. Rinnakkaissuunnittelun parantaessa yrityksen sisäistä yhteistyötä ja suunnitteluprosessia, auttaa modulaarisuus ja DFMA alentamaan suoraan tuotannon kustannuksia. Kaikki tämä tulee heijastumaan laadukkaampaan sekä kustannustehokkaampaan tuotteeseen.

6. PÄÄTELMÄT JA SUOSITUKSET

Esimerkkiprojektissa tarkasteltiin Metso Oyj:n kaivos- ja maanrakennusteknologian Tampereen yksikön tela-alustaisten murskainlaiteyksiköiden voimalaitemoduulien valmistuksen kehittämisprojektia. Projektin tavoitteena on lyhentää voimalaitemoduulien kokoonpanoaikaa nykyisestä ajasta 30 prosenttia sekä saavuttaa 100 prosentin toimitusvarmuus. Tarkastelussa arvioitiin, mitä haasteita ja mahdollisuuksia osakokoonpanolle muodostuu tulevaisuudessa. Tavoitteena oli myös kartoittaa tekniikoita haasteiden ratkaisemista varten.

Selvää on, että tällä kehitysvauhdilla ja uuden koko tuotantoa koskevan päivityksen tullessa osakokoonpanolla on ongelmia valmistaa voimalaitemoduuleita 100 prosentin toimitusvarmuudella. Osastolle on saatu lisää lattiapinta-alaa, mutta kuormitusta ei voida kasvattaa enää kokoonpanopaikkoja lisäämällä, vaan on pystyttävä ratkaisemaan kasvava volyyymi muilla keinoilla. Jäljelle jää kokoonpantavuuden kehittäminen, alihankinta tai valmistuslinja. Valmistuslinjan tapauksessa on havaittu, että kokoonpantavuutta on kehitettävä, jotta tehokas linja olisi mahdollista pystyttää. Ongelmaksi on myös havaittu, että nykyisen laatutason vallitessa tuotanto käyttää huomattavasti aikaa erilaisien ongelmien kanssa.

Koska projektin tehtävänannossa on rajattu pois selkeästi pois kokoonpanopisteiden lisääminen, on työssä keskitytty pelkästään linjamuotoisen kokoonpanon haasteiden ratkaisemiseen. Ratkaisua on lähdetty etsimään massaräätälöinnin, rinnakkaisuunnittelun, moduloinnin, sekä DFMA:n teorioista. Teorioiden yhteisenä tekijänä voidaan pitää yhteistyön kehittämistä suunnittelun ja koko organisaation välillä. Sen kehittämisen lisäksi voidaan havaita, että teorit ovat vahvasti riippuvaisia toisistaan. Jotta yhtä teoriaa voitaisiin soveltaa, tulee toisia kehittää siinä rinnalla. Teorioiden pohjalta voidaan lähteä kehittämään toimintaa ja tuotetta uusien keinoin. Ne antavat vahvat perusteet ja ohjenuorat muutokselle. Soveltamiseen ei kuitenkaan voida siirtyä hätäillen, sillä vaikka teorioiden avulla voidaan todeta, että muutos toisi positiivista kehitystä koko yritykselle, tuovat ne samalla paljon kysymyksiä ja rajoitteita, joihin pitää ensin keskittyä.

Lähivuosien aikana tulisi panostaa yhä enemmän osastojen väliseen yhteistyöhön. Tuotannon näkökulmasta tuotteissa ollaan kiinnostuneita ainoastaan tuotteen kokoonpantavuudesta ja modulaarisuudesta. Näiden ominaisuuksien pitää parantua jatkoa ajatellen, jos tahdotaan parantaa tuotannon toimitusvarmuutta, sekä kapasiteettia. On kuitenkin ymmärrettävä, että pelkällä suunnittelun panoksella tavoitetilanteeseen ei voida päästä, vaan myös tuotannon on osallistuttava muiden osastojen tavoin tuotekehitysprosessiin.

Moduulien määrän vähentämiseen tulisi keskittyä. Liian montaa erilaista moduulia on vaikea ohjata tuotannossa. Enemmän pitäisi pyrkiä perusmoduulien varioimiseen. Perusmoduulin varioitumisen tulee tapahtua vasta moduulin valmistuksen loppuvaiheessa, jotta linjamuotoinen kokoonpano olisi mahdollisimman joustava.

Vanhojen tuotemallien modulaarisuuden parantaminen pitäisi aloittaa välittömästi. Lähitulevaisuudessa tuotemalleja tulee huomattava määrä lisää uuden TIER IV - määräyksen takia. Jotta vanhoja malleja olisi mahdollista valmistaa tehokkaasti, tulisi niiden ominaisuudet saada yhdenmukaistettua mahdollisimman nopeasti. Tässäkään tapauksessa ei kannata lähteä ratkomaan asiaa liian monimutkaisesti, vaan tähdättävä ensin yksinkertaisiin asioihin. Pienempiä muutoksia tehtäessä voidaan havaita, miten ne vaikuttavat tuotteen hallintaan, sekä muun organisaation, kuten oston, varaston sekä kokoonpanon toimintaan. Näkyvien muutosten kautta on helpompi perustella muutosten tarvetta.

Loppujen lopuksi tuotteen rakenteellisten muutosten tekeminen pitää suuntautua uustuotesuunnitteluun. Vaikka vanhojen mallien parantamisen kautta päästään positiivisiin tuloksiin, tulee todellinen hyöty esille vasta uustuotesuunnittelussa.

LÄHTEET

Aikio, Annukka 1999. Uusi Sivistyssanakirja. 18. Painos. Otava. 664 s.

Andersson, David M. 2004. Design for Manufacturing & Concurrent Engineering. CIM Press. 415 s.

Andersson, Paul H. TTE-4010 Laatu- ja Mittaustekniikat, luentomateriaali: 7 uutta BM QFD. TTY/Tuotantotekniikka. 10.9.2008 [viitattu 2.6.2009] Saatavissa: http://moodle.tut.fi/file.php/1809/Luentoaineisto/05_7uutta_BM_qfd.pdf

Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W. 1994. Product Design for Manufacture & Assembly. 2. Painos. Marcel Dekker, Inc. 540 s.

Erixon, G., Fredrikson, J., Romson, L., von Yxkull, A., 1996. Modulindelning I praktiken, Sveriges Verkstadsindustrier, 144 s.

Garvin, D. A., 1984. Product Quality: An Important Strategic Weapon, Business Horizons, s. 40-43.

Gilmore, James H., Pine II, B. Joseph. 1997. The Four Faces of Mass Customization. Harvard Business Review January-February 1997, 11, s. 91-101.

Hart, Christopher W.L. 1995. Mass customization: conceptual underpinnings, opportunities and limits. International Journal of Service Industry Management 6, 10, s. 36-45.

Jiao, Jianxin, Tseng, M., Mitchell. 1996. Design for Mass Customization. The Hongkong University of Science and Technology. Department of Industrial Engineering and Engineering Management. s. 153-156.

Kankainen Tomi. 1999. Uusien tuotteiden kokoonpanovalmiuksien systemaattinen tuotekehitysprojekti. Diplomityö. Tampere. Tampereen Teknillinen Korkeakoulu. Konetekniikan osasto. 126 s.

Kauppinen, V., Lapinleimu, I., Torvinen, S. 1997. Konepajan tuotantotekniikka: Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. 1. Painos. Porvoo, WSOY. 398 s.

Keys, L. K. 1990. System life Cycle Engineering and DFX. IEEE Transactions on Component, Hybrids, and Manufacturing Technology. vol. 13, no. 1, p. 83-93.

Lanz, M. TTE-5020 Automaattinen kokoonpano, luentomateriaali: Modulointi. TTY/Tuotantotekniikka. 9.11.2008 [viitattu 20.4.2009] Saatavissa: http://moodle.tut.fi/file.php/1969/Luentomateriaali/Modulointi_K2009.pdf

Lanz, M. TTE-5020 Automaattinen kokoonpano, luentomateriaali: DFA – Design for Assembly Tuotesuunnittelu kokoonpanon näkökulmasta. TTY/Tuotantotekniikka. [viitattu 20.4.2009] Saatavissa: http://moodle.tut.fi/file.php/1969/Luentomateriaali/DFA_2009.pdf

Lapinleimu, I. 2000. Ideaalitehdas, Tampere. Tuotantotekniikan laitos. Tampereen teknillinen yliopisto. Laitosraportti nro. 50. 197 s.

Lehtonen, T. 2007. Designing Modular Product Architecture in the New Product Development. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaisu – Tampere University of Technology. Publication 713. 221 p.

Niemi, E. 2008. Itseohjautuva kokoonpanotuotanto – Design and control of autonomous assembly lines –tutkimusprojekti SISU 2010 –ohjelmassa. [viitattu 25.3.2009]. Saatavissa: http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/SISU/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Seminaarit/Vuosiseminaari_2008/vuosiseminaari_2008_esitykset/Niemi_Itseohjautuvat_kokoonpanolinjat.pdf

O’Grady, P., Young, R. E., Greef, A. 1991. The use of Artificial Intelligence Constraint Nets for Concurrent Engineering. Proceedings of the 6th international Forum on CAD. Midlands E. U.K. September, p. 79-94.

Pine II, Joseph B. 1993. Mass customization. Harvard Business School Press. 333 p.

Slack, N., Chambers, S., Johnston, R. 2004. Operations Management. Fourth Edition. Pearson Education, Limited. 794 p.

Subramanyam, S. Lu, S. C. Y. 1989. Computer-Aided Simultaneous Engineering for Component Manufactured in Small and Medium Lot-Size. Concurrent Product and Process Design: ASME Winter Annual Meeting. New York. p. 175-184.

Wu, T., O’Grady, P. 1999. A Concurrent Engineering Approach to Design for Assembly. Department of Industrial Engineering. University of Iowa. vol. 7, no. 3, p. 231-243.

Ziemke, M. C., Spann, M. S. 1991. Warning: Don’t Be Half Hearted in Your Effort to Employ Concurrent Engineering. Industrial Engineering, February, p. 45-49.