

Alexi Vesterinen

TUOTTEEN MODULAARISUUDEN HYÖ- DYT KOKOONPANOPROSESSIN KAN- NALTA

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Marraskuu 2019

TIIVISTELMÄ

Alexi Vesterinen: Tuotteen modulaarisuuden hyödyt kokoonpanoprosessin kannalta
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Kone- ja tuotantotekniikka
Tarkastaja: Yliopistotutkija Eeva Järvenpää
Marraskuu 2019

Asiakkaiden ja markkinoiden erilaiset tarpeet sekä yritysten tavoittelemat kustannussäästöt voivat olla tekijöitä, jotka saavat yritykset muuttamaan toimintatapojaan. Modulaarisuuden hyödyntäminen tuotteissa on keino, jonka avulla asiakkaiden ja markkinoiden tarpeet on mahdollista täyttää säästämällä samalla kustannuksissa. Moduloinnilla tarkoitetaan tuotteen jakamista helpommin käsiteltäviin osiin, joita vaihtamalla voidaan muodostaa eri variaatioita tuotteista tai helpottaa tuotteen käsittelyä sen elinkaaren eri vaiheissa. Modulaarisuutta käytetään eri tavoilla riippuen yrityksen omista tavoitteista.

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on tutkia modulaarisuuden hyötyjä kokoonpanon näkökulmasta kirjallisuuskatsauksen keinoin. Hyötyjä tarkastellaan kirjallisuuden ja yritystapausten valossa. Aluksi työssä luodaan kokonaiskäsitys modulaarisuuden eri tyypeistä ja niiden ominaispiirteistä. Modulaarisuuden kokonaiskäsityksen lisäksi kerrotaan modulaarisesta tuotearkkitehtuurista ja sen eri tyypeistä. Kokoonpanosta käydään läpi siihen liittyviä tasoja ja toimintoja, joista tarkemmin perehdytään itse kokoonpanoprosessiin. Lisäksi tuodaan esiin, miten modulaarisuus näkyy tuotannossa. Lopuksi kerrotaan kirjallisuudessa ja case-yrityksissä esiin tulleita modulaarisuuden hyötyjä ja yhdistetään nämä tiivistetysti kokoonpanoon.

Työn tuloksina voidaan havaita tuotteen modulaarisuuden tuovan useita erilaisia hyötyjä kokoonpanon eri vaiheissa. Tulokset jaotellaan oston, varastojen, kokoonpanotyön ja testauksen saamiin hyötyihin. Tuotteen modulaarisuuden avulla on mahdollista esimerkiksi vähentää nimikkeiden määrää, pienentää varastoja, sujuvoittaa kokoonpanotyötä sekä vähentää virheiden aiheuttamien ongelmien määrää. Näiden hyötyjen avulla kokoonpanoprosessia saadaan tehostetua, kustannuksia laskettua ja toimitusaikaa lyhennettyä.

Avainsanat: modulaarisuus, modulointi, kokoonpano, kokoonpanoprosessi, hyödyt

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. MODULAARISUUTEEN LITTYVIÄ KÄSITTEITÄ	3
2.1 Modulointi	3
2.2 Moduuli	4
2.3 Modulaarisuus.....	4
2.4 Modulaarinen tuotearkkitehtuuri	7
3. KOKOONPANO OSANA TUOTANTOA	10
3.1 Kokoonpano.....	10
3.2 Kokoonpanoprosessi.....	11
3.3 Modulaarinen tuotanto	14
4. TUOTTEIDEN MODULOINTI CASE-YRITYKSISSÄ	15
4.1 Linja-autoja valmistava yritys Brasiliassa	15
4.2 Scania.....	16
4.3 Wärtsilä.....	18
5. MODULAARISUUS JA SEN HYÖDYT KOKOONPANOPROSESSEISSA.....	21
5.1 Moduloinnista mainitut hyödyt ja haitat kirjallisuudessa	21
5.2 Yritysten saamat hyödyt tuotteiden moduloinnista.....	22
5.3 Modulaarisuuden linkittyminen kokoonpanon eri vaiheisiin.....	23
6. YHTEENVETO.....	26
LÄHTEET	27

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Ratkaisutaso (auflösungsgrad) rajaa rakennuselementtien kokoluokat. Tätä suuremmat elementit ovat moduulikokoonpanoja ja pienemmät sisäisiä osia. Mukailtu lähteestä (Lehtonen 2007, s. 32).</i>	5
Kuva 2.	<i>Elinkaarimodulaarisuuden tyypit. Moduulit ovat merkitty kuvaan kirkkaalla värillä kuvaamaan niiden modulaarisuuden hyödyntämisen ajankohtaa. Mukailtu lähteestä (Lehtonen 2007, s. 90).</i>	6
Kuva 3.	<i>Modulaarisuuden eri tyypit. Mukailtu lähteestä (Pine 1993, s. 201; Österholm & Toukko 2001, s. 11).</i>	8
Kuva 4.	<i>Kokoonpano linkittää valmistusprosessit liiketoimintaprosesseihin. Mukailtu lähteestä (Whitney 2004, s. 2).</i>	10
Kuva 5.	<i>Kokoonpanon pääprosessit. Mukailtu lähteestä (Whitney 2004, s. 11).</i>	13
Kuva 6.	<i>Kuvassa esitettynä syys-marraskuussa 2013 moduloidun tuotteen (MP) ja ei-moduloidun tuotteen (NMP) tuotantoprosessien tehokkuudet jaettuna kahteen eri ajanjaksoon. (Piran et al. 2016).</i>	16
Kuva 7.	<i>Scanian modulaarinen systeemi. (Scania 2014).</i>	17
Kuva 8.	<i>Wärtsilä 31 -moottori. (Wärtsilä 2018).</i>	19
Kuva 9.	<i>Tuotteen modulaarisuuden hyötyjen linkittyminen kokoonpanon eri vaiheisiin.</i>	24

1. JOHDANTO

Yritykset etsivät jatkuvasti uusia keinoja parantaakseen asiakastyytyväisyyttä ja kilpailukykyä. Yritysten keskittyminen asiakastyytyväisyyden parantamiseen alati muuttuvilla markkinoilla voi johtaa asiakasräätelöityihin tuotteisiin, joka taas johtaa tuotevariaatioiden kasvamiseen. Laajan tuotevalikoiman tai asiakasräätelöityjen tuotteiden tarjoaminen voivat olla yrityksen kilpailukeinoja, mutta ne voivat myös lisätä kustannuksia. Modulaarisuuden avulla voidaan hallita kustannuksia käyttämällä samoja komponentteja tuotteen eri variaatioissa (Pakkanen 2015, s. 224). Volkswagen kertoo säästävänsä lähes kaksi miljardia euroa vuosittain käyttämällä hyväkseen komponenttien ja autojen alustojen samankaltaisuutta sen brändien, kuten VW, Audi, Skoda ja Seat, kanssa (Dahmus et al. 2001, s. 409).

Bask et al. (2010, s. 357) mukaan termiä modulaarisuus käytetään eri asioiden, kuten tuotteiden, toimitusketjujen, tuotantojärjestelmien ja organisaatioiden yhteydessä kertomaan niiden rakenteesta. Tämän lisäksi he toteavat termin olevan hyvin epämääräisesti määritelty yritysmaailmassa. Modulaarisuus voidaan määritellä esimerkiksi komponenttien yhteensopivuuden (component combinability), itsenäisyyden (independency) tai jakamisen (component sharing) kautta (Boer 2016, s. 14). Tuotteen modulaarisuuden avulla asiakkaille voidaan tarjota laajempi tuoteperhe (product family) pienemmällä määrällä komponentteja.

Työn tavoitteena on tutkia tuotteen modulaarisuuden hyötyjä kokoonpanoprosessin kannalta kirjallisuuskatsauksen keinoin. Työssä käydään läpi case-esimerkkejä, joissa modulaarisuudesta on ollut hyötyä. Teoriaosuus koostuu käsitteiden määrittelystä eri lähteitä vertaillen ja se vastaa kysymyksiin:

- Miten tutkittu kirjallisuus määrittelee moduulin ja modulaarisuuden?
- Millaisia moduuli- ja modulaarisuustyyppisiä on olemassa?
- Mihin tuotteen modulaarisuudella pyritään?
- Mitä asioita kokoonpanoon kuuluu?

Soveltavan osuuden on tarkoitus yhdistää teoriaosuudessa käydyt asiat ja vastata kysymyksiin:

- Mitä hyötyjä tuotteen modulaarisuudella on kokoonpanoprosessin kannalta ja kuinka se vaikuttaa eri toimintoihin?
- Mitä hyötyjä yritykset ovat saaneet modulaarisuuden kautta?

Työn aineistoa on haettu laajasti eri tietokannoista. Tietoa ja lähteitä on löydetty palveluista, kuten Andor, Google Scholar, ProQuest, Emerald ja Springer. Näiden kautta on löydetty lukuisia eri lähteitä, jotka käsittelevät modulaarisuutta sekä kokoonpanoprosesseja. Lisäksi lähteitä on etsitty Googlen hakukoneen kautta, josta on myös löydetty tässä työssä käytettyjä lähteitä ja case-esimerkkejä.

Työn teoriaosuus alkaa keskeisten käsitteiden määrittelyllä. Kolmannessa luvussa käydään läpi kokoonpanoa ja sen linkittymistä tuotantoon. Neljäs luku koostuu modulaarisuutta hyödyntävien yritysten case-esimerkeistä. Tämän jälkeen viidennessä luvussa pohditaan modulaarisuuden hyötyjä kirjallisuudesta löytyvien tutkielmien, artikkelien ja case-esimerkkien avulla. Luvun lopussa käsitellään tuotteen modulaarisuuden vaikutuksia kokoonpanon eri toimintoihin. Yhteenvedossa kootaan käsitellyt asiat yhteen sekä kerrotaan tiivistetysti tutkimuksen päätulokset.

2. MODULAARISUUTEEN LITTYVIÄ KÄSITTEITÄ

Tässä luvussa määritellään modulaarisuuteen liittyviä käsitteitä kirjallisuudesta löytyvien lähteiden avulla. Kirjallisuudesta löytyy hyvin paljon eri määritelmiä modulaarisuudelle. Esimerkiksi Salvador (2007, s. 219) on löytänyt kirjallisuuskatsauksessaan 100 artikkelista yli 40 erilaista määritelmää liittyen modulaarisuuteen. Modulaarisuuden selittämiseksi käydään ensin läpi moduloinnin käsite, jonka jälkeen siirrytään moduulin eri määritelmiin. Tämän jälkeen käsitellään modulaarisuutta Lehtosen (2007) esittelemän muuntelumodulaarisuuden (M-modularity) näkökulmasta. Seuraavaksi tuodaan esiin elinkaarimodulaarisuuden näkökulma (life-cycle-based modularity), jonka myös Lehtonen tuo esille väitöskirjassaan. Lopuksi käsitellään modulaarista tuotearkkitehtuuria ja sen eri tyyppisiä.

2.1 Modulointi

Lapinleimu (2000, s. 34) määrittelee tuotteen moduloinnin sen rakenteen kehittämisenä erilaisista moduuleista koostuvaksi. Andreasenin (2001, s. 302) mukaan moduloinnin tarkoituksena on luoda variaatioita asiakkaan näkökulmasta ja samaan aikaan vähentää yrityksen toiminnan monimutkaisuutta samankaltaistamalla variaatiot sekä rakenteelliset ominaisuudet.

Österholm ja Toukko (2001, s. 8) vie määrittelyn hieman pidemmälle, ja heidän mukaansa modulointi on sitä, että tuote jaetaan toisistaan riippumattomiin yksiköihin. Näillä itsenäisillä yksiköillä on tarkasti määritellyt vakioidut rajapinnat, mikä mahdollistaa moduulien vaihdettavuuden ja yhdistettävyyden (Österholm & Toukko 2001, s. 8).

Moduloinnilla saadaan helpotettua eri tuotevariaatioiden hallintaa sekä kasvatettua standardikomponenttien määrää. Tämä on mahdollista, koska varioinnin vaikutus voidaan ulottaa vain tiettyyn osaan tuotetta. Moduloitaessa tuoteperhettä pyrkimyksenä on tunnistaa erityisvaatimukset, joita asiakasryhmät asettavat tuotteelle. Lisäksi variointi pyritään rajaamaan strategisesti merkitseviin ominaisuuksiin. (Österholm & Toukko 2001, s. 8) Moduloinnilla voidaan myös vaikuttaa tuotteen elinkaaren aikaisiin toimintoihin. Sen avulla voidaan helpottaa valmistusta, huoltoa ja logistiikkaa. (Lehtonen 2007, s. 89) Elinkaarimodulaarisuudesta on kerrottu lisää luvussa 2.3.

2.2 Moduuli

Moduuli on määritelty kirjallisuudessa eri tavoin ja yleisesti määritelmät perustuvat rakenteellisiin ratkaisuihin tai toiminnallisiin ominaisuuksiin. Lapinleimu (2000, s. 34) määrittelee moduulin rajapinnoiltaan määriteltynä rakenteellisena kokonaisuutena, joka on osana lopputuotetta. Toisaalta Baldwinin ja Clarkin (2000, s. 63) mukaan moduuli on yksikkö, jonka rakenteelliset elementit ovat vahvasti kiinni toisissaan, mutta suhteellisen heikosti yhdistettyinä toisten yksiköiden elementteihin. Moduulit siis ovat itsenäisiä yksiköitä isommassa järjestelmässä, mutta toimivat kuitenkin yhdessä (Baldwin & Clark 2000, s. 63). Ajan myötä käsitteen moduuli määrittely on muuttunut fyysisen objektin määritelmästä rakenteen ja toimintojen kautta määritellyksi (Miller & Elgård 1998).

Dahmus et al. (2001, s. 410) määrittelevät moduulit tuotteen alisysteeminä, jotka on niputettu yksiköksi ja jotka palvelevat tunnistettavia toimintoja. Heidän mukaansa tuotemoduuli on pari, johon kuuluvat sekä alisysteemi että toiminnot. Österholmin ja Toukon (2001, s. 8) mukaan toimintoja ei saisi jakaa muiden moduulien kesken, vaan eri moduulien tulisi toteuttaa vain yhtä toimintoa. Myös Ulrich (1995, s. 422) määrittelee modulaarisen tuoterakenteen eri toimintojen välille, mutta tämä määritelmä on Baldwinin ja Clarkin (2000, s. 63) analysoinnin perusteella ongelmallinen, koska toiminnot ovat luonnollisesti monimuotoisia ja epävakaita.

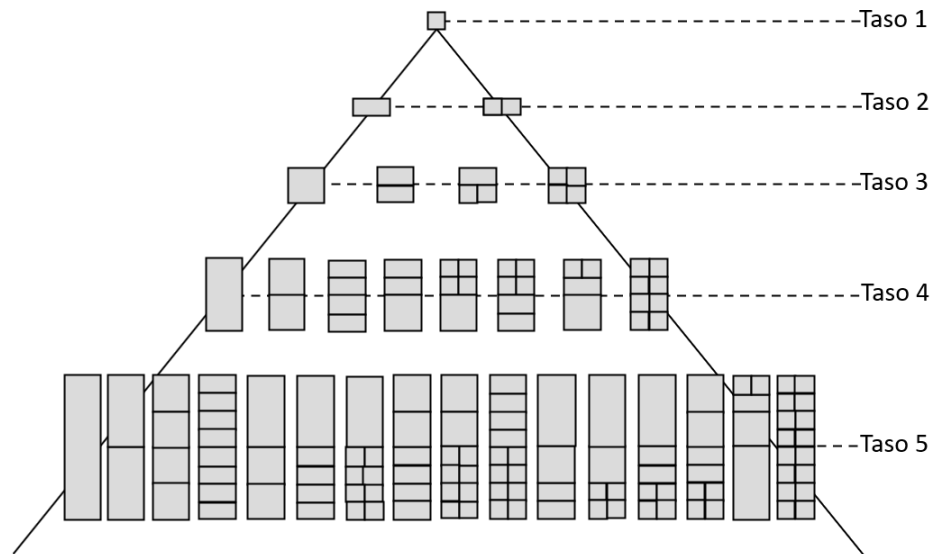
Andreasenin (2011, s. 302) määritelmä moduulista perustuu sekä rakenteeseen että toiminnallisuuksiin. Hänen mukaansa se on tuotteessa oleva itsenäinen kokonaisuus, jolla on rakenteen tai toiminnon näkökulmasta katsottuna selkeä tarkoitus sekä halutut ominaisuudet. Samaan aikaan sillä on sellaiset rajapinnat ja vuorovaikutukset toisten kokonaisuuksien kanssa, että se on nähtävissä yhtenä osana rakenteessa. (Andreasen 2011, s. 302)

Sanchez (1995, s. 142) käyttää moduuleista nimeä modulaariset komponentit (modular components). Hänen mukaansa modulaarisilla komponenteilla tarkoitetaan sellaisia komponentteja, joiden fyysiset ja toiminnalliset ominaisuudet ovat modulaarisen tuotearkkitehtuurin vuoksi muunneltavissa.

2.3 Modulaarisuus

Lehtonen (2007, s. 32) toteaa väitöskirjassaan, että Karl-Heinz Borowskin vuonna 1961 julkaisemaa kirjaa, *Das Baukastensystem in der Technik*, voidaan pitää perustana modulaarisuuden nykyiselle tutkimukselle. Kirjassa Borowski esittää rakennuselementtisysteemin (baukastensystem), joka koostuu rakennuselementeistä (baukasten), jotka vuorostaan koostuvat pienemmistä rakennusosista (baustein). Perusominaisuutena tässä

rakennuselementtisysteemissä on variaatioiden luominen eri elementeistä (Miller & Elgård 2005). Pienemmät rakennusosat voivat yhdistymällä muodostaa uuden rakennuselementtisysteemin, jossa ne toimivat rakennuselementteinä. Rakennuselementtisysteemiin on valittava rakennuselementit tietyn suuruisista tasoista (rangstufen). (Borowski 1961, Lehtonen 2007, s. 32 mukaan)



Kuva 1. *Ratkaisutaso (auflösungsgrad) rajaa rakennuselementtien kokoluokat. Tätä suuremmat elementit ovat moduulikokoonpanoja ja pienemmät sisäisiä osia. Mukailtu lähteestä (Lehtonen 2007, s. 32).*

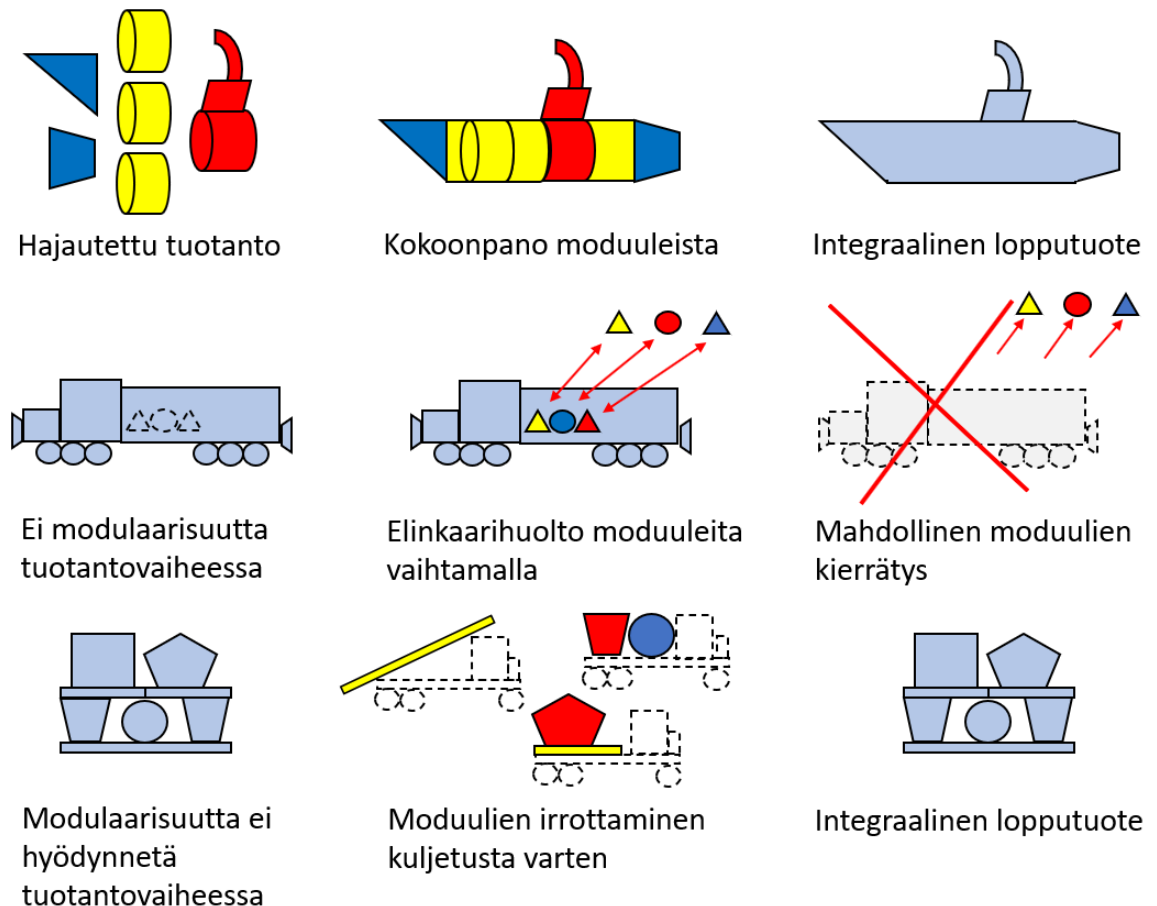
Kuvassa 1 on eri tasoja, joista moduulikokoonpano voidaan muodostaa. Esimerkkinä kolmetasoisesta kokoonpanosta Borowski käyttää junaa, joka koostuu vaunuista ja veturista. Toisaalta veturi koostuu rungosta ja sen päällysrakenteesta, jotka taas koostuvat pienemmistä rakenteista, kuten jousituksesta, kannatinrakenteista ja pyöräkerroista. (Borowski 1961, Lehtonen 2007, s. 32 mukaan)

Sanchezin ja Mahoneyn (1996) mukaan modulaarisuus on erityinen tuotearkkitehtuurin muoto, joka tarkoituksellisesti luo itsenäisyyden eri komponenttien välille standardisoidulla niiden väliset rajapinnat. Standardisoidujen rajapintojen avulla muutokset yhdessä komponentissa eivät aiheuta muutoksia tuotteen tai sen muiden komponenttien suunnitteluun. Modulaaristen komponenttien avulla voidaan luoda eri variaatioita tuotteesta vaihtamalla näitä komponentteja keskenään. Tällä tavoin saadaan luotua eri tuotemalleja, joilla on eri ominaisuuksia ja toimintoja. (Sanchez 1995, s.142) Tuotteen eri komponenttien vaihtamisella voidaan siis luoda tuotteeseen uusia toiminnallisuksia ilman koko tuotteen uudelleensuunnittelua (Sanchez & Mahoney 1996).

Modulaarisuudella voidaan hallita kustannusten ja suuren tuotevalikoiman aiheuttamaa ristiriitaa. Yritykset saavat modulaarisuudesta kilpailukykyä, sillä modulaarisuus tasapainottaa standardisoinnin ja järjeistämisen joustavuuden ja räätälöinnin kanssa. Variaatioiden lisääminen, yhtäläisyyksien hyödyntäminen ja monimutkaisuusien vähentäminen ovat syitä modulaarisuuden hyödyntämiseen tuotteissa. (Miller & Elgård 1998)

Edellä mainittuja modulaarisuuden esiintymismuotoja voidaan pitää muuntelumodulaarisuutena. Lehtonen (2007, s. 89) esittää väitöskirjassaan muuntelumodulaarisuuden rinnalle elinkaareen perustuvan modulaarisuuden tyyppin. Tämä voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan:

- Valmistukseen perustuva modulaarisuus.
- Huoltoon perustuva modulaarisuus.
- Logistiikkaan perustuva modulaarisuus. (Lehtonen 2007, s. 89–90)



Kuva 2. Elinkaarimodulaarisuuden tyypit. Moduulit ovat merkitty kuvaan kirkkaalla värillä kuvaamaan niiden modulaarisuuden hyödyntämisen ajankohtaa. Muokattu lähteestä (Lehtonen 2007, s. 90).

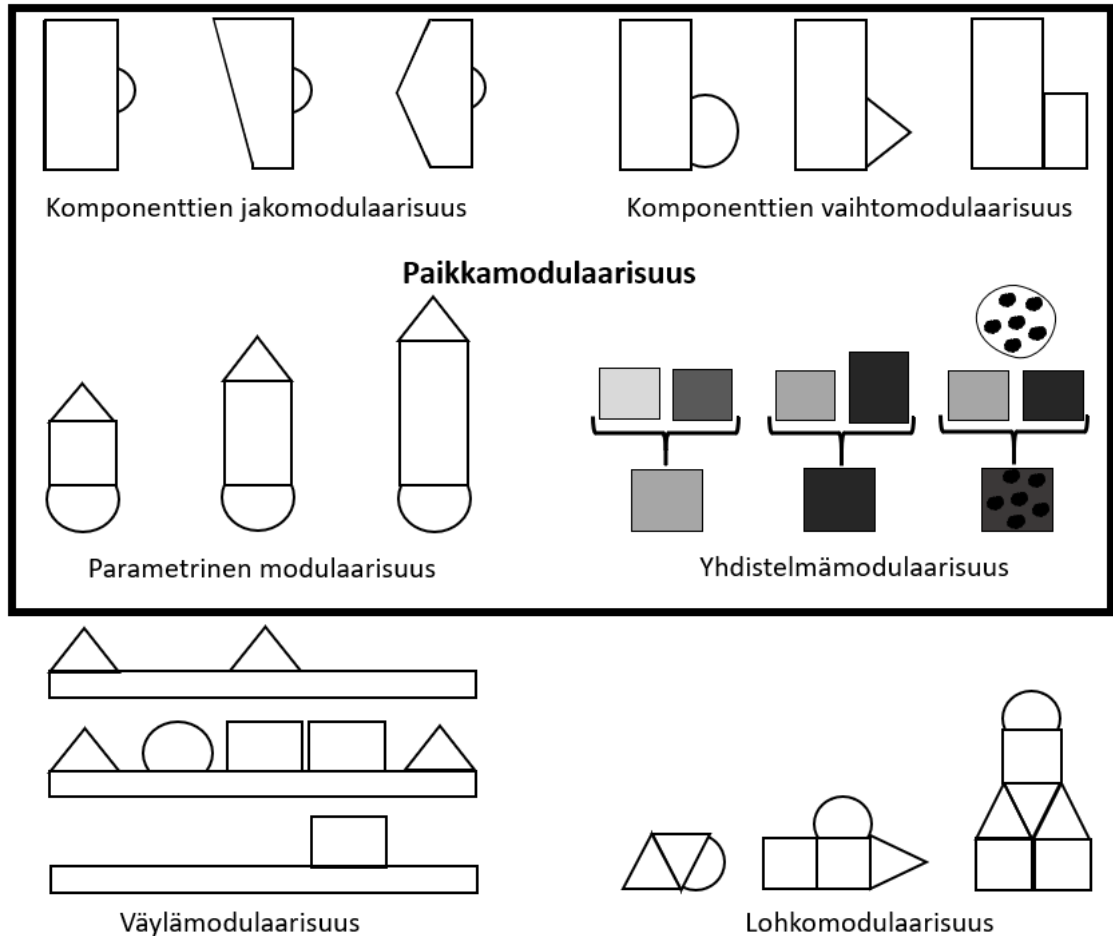
Kuvassa 2 on esitetty elinkaarimodulaarisuuden tyypit. Valmistukseen perustuvassa modulaarisuudessa eri moduulien valmistaminen on hajautettu, jonka jälkeen moduulit tuodaan yhteen. Tämän jälkeen modulaarisuutta ei ole nähtävissä lopputuotteessa. Huoltoon perustuvassa modulaarisuudessa tuotantovaiheessa ei esiinny modulaarisuutta. Modulaarisuus tulee esiin elinkaaren aikaisissa huolloissa, jotka voidaan tehdä moduuleita vaihtamalla. Tuotteen elinkaaren päätyttyä moduulit on mahdollista kierrättää. Logistiikkaan liittyvässä modulaarisuudessa tuotantovaiheessa ei hyödynnetä modulaarisuutta. Lopullisessa tuotteessa oleva rakenne kokoonpannaan valmiiksi, jonka jälkeen ne puretaan helposti kuljetettaviin moduuleihin. Tämän jälkeen moduulit siirretään määränpähän ja kokoonpannaan lopputuotteeksi. (Lehtonen 2007, s. 89-90)

2.4 Modulaarinen tuotearkkitehtuuri

Österholmin ja Toukon (2011, s. 10) mukaan modulaariset tuotearkkitehtuurit voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin: paikka-, väylä- ja lohkomodulaarisuus. Väylämodulaarisuus tarkoittaa erilaisten moduulien liittämistä perusmoduuliin eri asennoissa standardoitujen rajapintojen kautta. Lohkomodulaarisuus tarkoittaa erilaisten tuotevarianttien muodostamista moduuleista vaihtelemalla näitä moduuleita keskenään standardisoituja rajapintoja käyttäen. Paikkamodulaarisuudessa standardisoituun rajapintaan liitettävän moduulin on oltava tietyssä asennossa. (Österholm & Toukko 2001, s. 10) Toisaalta paikkamodulaarisuus voidaan vielä laajentaa kolmeen eri osaan:

- Komponenttien jakomodulaarisuudessa eri tuotteissa voidaan käyttää samaa komponenttia.
- Komponenttien vaihtomodulaarisuudessa perustuotteeseen voidaan liittää minimissään kaksi eri komponenttia.
- Parametrisessä modulaarisuudessa parametrisesti muunneltavaan komponenttiin voidaan liittää yksi tai useampi standardisoitu komponentti. (Österholm & Toukko 2001, s. 10)

Pine (1993, s. 201) esittää kirjassaan kuusi erilaista modulaarisuuden tyyppiä sekä antaa esimerkkejä yrityksistä, jotka käyttävät näitä massaräätälöinnissä. Modulaarisuuden tyypit ovat samat, jotka Österholm ja Toukko esittävät tuotemodulointia käsittelevässä kirjassaan. Lisäksi he tuovat esiin muita mahdollisuuksia luokitella moduuleja, kuten ohjaavien tekijöiden avulla. Ohjaavat tekijät voivat liittyä esimerkiksi yritysten strategiaan tai taloudellisiin rajoitteisiin. (Österholm & Toukko 2001, s. 11, 13)



Kuva 3. Modulaarisuuden eri tyypit. Mukailtu lähteestä (Pine 1993, s. 201; Österholm & Toukko 2001, s. 11).

Kuvassa 3 on esitettyä modulaarisuuden eri tyypit. Österholmin ja Toukon (2001, s. 11) mukaan yhdistelmämodulaarisuus on muiden paikkamodulaarisuuteen kuuluvien modulaarisuustyyppien yhdistelmä. Toisaalta Pinen (1993, s. 204-205) mukaan yhdistelmämodulaarisuudessa voidaan hyödyntää kaikkia muita paikkamodulaarisuuden tyyppejä. Hän antaa esimerkin, jossa eri värejä sekoitetaan keskenään ja lopputuloksena on väri, josta ei voida enää erottaa sekoitettuja värejä. Lehtonen (2007, s. 48) ei vuorostaan väitöskirjassaan pidä Pinen esittämää määritelmää yhdistelmämodulaarisuudesta modulaarisuuden tyyppinä, koska ei-kiinteässä tilassa oleville ainesosille on hänen mukaansa mahdotonta tai epäkäytännöllistä määritellä ratkaisutaso.

Andreasenin (2001, s. 302) mukaan modulaarinen arkkitehtuuri luo yhtenäisyyttä tehokkaalle resurssien käytölle ja vähentää kaikkien toimintojen monimutkaisuutta. Se myös luo mahdollisuuden tehdä konfiguraatioita modulaarisista tuotteista. Hänen mukaansa

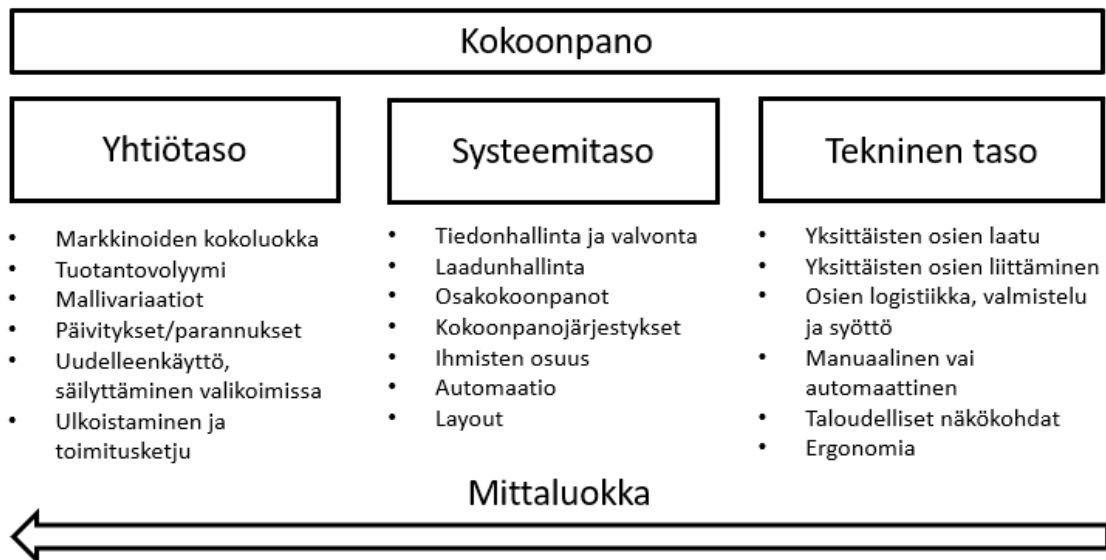
myös moduulien, vuorovaikutusten ja rajapintojen pitää olla määriteltyjä. Hyvin määriteltyt rajapinnat ja modulaarinen tuoterakenne luovat mahdollisuuden rinnakkaiseen ja itsenäiseen suunnitteluun, koska eri moduulien väliset riippuvuudet ovat pienet (Österholm & Toukko 2001, s. 8). Samaa mieltä on Whitney (2004, s. 345), jonka mukaan kaikki elementit voitaisiin suunnitella ja valmistaa täysin erillään toisistaan, jos täysin modulaarinen tuotearkkitehtuuri olisi olemassa. Yleensä tuotearkkitehtuuri on modulaarisen ja integraalisen välissä.

3. KOKOONPANO OSANA TUOTANTOA

Tässä luvussa käsitellään kokoonpanoa ja sen eri tasoja, tuotannosuunnittelua ja -ohjausta sekä kokoonpanoprosessia ja siihen kuuluvia toimintoja. Lisäksi käsitellään modulaarisuutta tuotannossa sekä sen yhteyttä modulaarisiin tuotteisiin.

3.1 Kokoonpano

Andreasen (2011, s. 295) kuvaa kokoonpanoa erilaisia toimintoja sisältävänä järjestelmänä, joka näyttää kuinka osat yhdistyvät kokoonpanoksi laitteiden ja ihmisten toimesta. Kokoonpano tuo yhteen osat, ihmiset ja yritykset, joiden yhteistyöllä haluttu tuote saadaan aikaan. Kokoonpanoa voidaan pitää valmistusprosessien ja ylätason liiketoimintaprosessien välisenä linkkinä. Kokoonpanojärjestelmällä on oltava riittävä kapasiteetti, sen on oltava luotettava, tuottaa hyviä tuotteita, olla hyvä paikka työskennellä, vastata muutoksiin toimintaympäristössä ja pystyä jatkuvaan parantamiseen. Tuotteen ja kokoonpanojärjestelmän suunnittelun pitää myös olla hyvin koordinoitu, jotta parhaat hyödyt voidaan realisoida. (Whitney 2004, s. 1, 463)



Kuva 4. Kokoonpano linkittää valmistusprosessit liiketoimintaprosesseihin. Muokailtu lähteestä (Whitney 2004, s. 2).

Kuvassa 4 kokoonpano on jaettu kolmeen eri tasoon: yhtiötasoon, systeemitasoon ja tekniseen tasoon. Pienimmässä mittaluokassa kokoonpanoon kuuluu esimerkiksi yksittäisiin osiin ja työtehtäviin kohdistuvat toiminnot. Keskitasolla kokoonpanoon kuuluvat suunnitteluun, layouttiin ja tiedonhallintaan liittyvät asiat. Yhtiötasolle siirtyessä kokoonpanossa otetaan huomioon tuotantovolyymit, toimitusketjut sekä erilaiset strategiset päätökset, kuten päätökset tuotteiden mallien säilyttämisestä valikoimissa tai niiden päivittämisestä uusiin. (Whitney 2004, s. 2)

Monissa yrityksissä tuotannosuunnittelu on osa hierarkkista suunnittelua, kapasiteetin ja resurssien kohdentamista, aikataulutusta ja ohjausta (Cai et al. 2011, s. 15). Tuotannosuunnittelu ja -ohjaus voidaan jakaa kolmeen eri tasoon: kokonaissuunnittelu, karkeasuunnittelu ja hienosuunnittelu. Kokonaissuunnittelussa otetaan huomioon myyntiennusteet, tilaukset ja tuotantostrategia pitkällä aikavälillä. Tietoja tarkentamalla voidaan luoda valmistusta ohjaavaa tietoa. Karkeassa suunnittelussa kokonaissuunnitelma tehdään yksityiskohtaisemmaksi, jolloin tuotannon kokonaisaikataulut, resurssien kuormitus ja toimitusajat suunnitellaan. Hienosuunnittelussa tehdään yksityiskohtainen suunnitelma tuotteiden valmistamiseksi, jotta voidaan määrittää tuotteiden tarkat valmistusajankohdat. Siihen kuuluu esimerkiksi työvaiheiden ajoitukset ja resurssien tarveajankohtien määrittäminen ajantasaisella tiedolla. Lisäksi hienosuunnittelu pitää sisälleen valmistuksen ohjausta, jossa työt suunnitellaan yksityiskohtaisemmin, tehtävät allokoitetaan resursseille, työtä ohjataan ja raportoidaan. (Martinsuo et al. 2016) Ohjauksen ja aikataulutuksen hallinnassa käytetään tietoa esimerkiksi koneiden kapasiteetista, tuotantovaatimuksista ja -rajoituksista sekä taloudellisista tekijöistä (Cutting-Decell et al. 2007, s. 217).

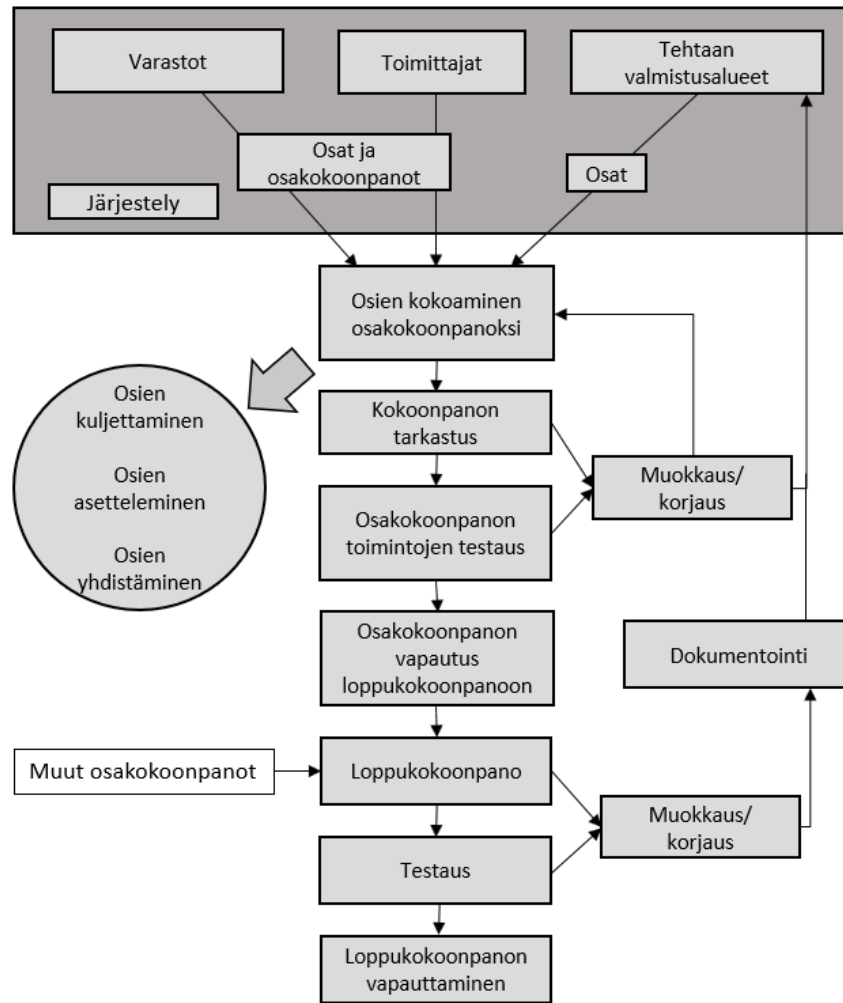
3.2 Kokoonpanoprosessi

Lapinleimu et al. (1997, s. 11) mukaan kokoonpanotyössä standardikomponentit, tarvikkeet tai tiettyihin tuotteisiin valmistetut osat liitetään toisiinsa siten, että muodostuu toimiva tuote tai osa tätä tuotetta. Osa voidaan nähdä yhdestä materiaalista valmistettuna tuotekohtaisena perusyksikkönä. Komponenttia voidaan pitää ostettuna standardiosana, osakokonaisuutena tai toimintona. (Tekes 2001, s. 6) Kokoonpano voidaan muodostaa pienemmistä kokonaisuuksista, joihin voidaan lukea moduulit ja osakokoonpanot, jotka liitetään toisiinsa loppukokoonpanossa. Jos kokoonpano suoritetaan asiakkaan luona, niin puhutaan asennuksesta. (Lapinleimu et al. 1997, s. 111)

Osien yhteen liittäminen voidaan tehdä eri tavoilla riippuen siitä, halutaanko rakenteesta tehdä purettava. Whitneyyn mukaan osia voidaan liittää yhteen esimerkiksi ruuveilla, lii-

moilla, juottamalla, hitsaamalla tai puristamalla. Eri liitostavat määräävät osien kokoonpantavuuden, korjauksen ja vaihdettavuuden. (Whitney 2004, s. 12) Kokoonpanoprosessiin liittyy myös paljon muita toimintoja kuin komponenttien yhteen liittäminen. Kokoonpanoprosessiin voidaan sisällyttää esimerkiksi testaus, ohjelmointityöt, varastointi sekä lähetys ja pakkaus (Tekes 2001, s. 6–7).

Boothroydin (2005, s. 8) mukaan manuaalinen kokoonpanoprosessi voi kattaa pieniä ja keskisuuria eriä tuottavassa yrityksessä 50 prosenttia valmistuskustannuksista ja viedä 40 prosenttia työvoimasta. Toisaalta autoteollisuudessa puolet suorista työvoimakustannuksista tulevat kokoonpanosta (Nof et al. 1997, s. 10; Samy & ElMaraghy 2012, s. 814). Kokoonpanoprosessi myös muodostaa suuren osan tuotteeseen käytetystä ajasta, joka voi olla noin 20–40 prosenttia. Tästä ajasta vain murto-osa on jalostavaa työtä, johon voidaan lukea periaatteessa ainoastaan osien liittäminen yhteen. Näin ollen tuotteen tarkastaminen, siirrot, puhdistus ja varastointi eivät ole arvoa tuottavaa työtä vaikkakin ne ovat välttämättömiä. (Lapinleimu et al. 1997, s. 111) Kokoonpanotyö vie siis suuren osan ajasta ja tuo paljon kustannuksia, joten kokoonpanojärjestelmien ja laitteiden ymmärtämisellä ja parantamisella voidaan potentiaalisesti säästää kustannuksissa (Nof et al. 1997, s. 10).



Kuva 5. Kokoonpanon pääprosessit. Mukailtu lähteestä (Whitney 2004, s. 11).

Kokoonpanoprosessiin liittyy yleensä pitkä ketju ja verkosto erilaisia toimintoja ja toimintoja. Kuvassa 5 on esitetty kokoonpanon pääprosessit, jotka pitävät sisällään:

- Osien ja osakokoonpanojen keräily ja järjestely (marshaling). Tämä on logistinen toiminto, jossa tuotteeseen tarvittavat osat keräillään keräilylistojen mukaan ja järjestellään työlistojen mukaisiin järjestyksiin.
- Osien ja osakokoonpanojen kuljettaminen työpisteiden välillä (transporting). Lyhytaikainen logistinen toiminto, jossa osia ja kokoonpanoja siirrellään työpisteiden sekä muiden kokoonpanoalueiden välillä.
- Osien ja osakokoonpanojen asetteleminen valmiiksi kokoonpanoa varten (presenting). Ihmisen, laitteen tai robotin tekemä osien asettelu lähelle paikkaa, jossa kokoonpano tapahtuu.

- Osien ja osakokoonpanojen liittäminen yhteen (mating). Varsinainen kokoonpanotyö, jossa osat liitetään yhteen käyttämällä erilaisia liitintään tarkoitettuja liittimiä ja liitostapoja.
- Kokoonpanojen tarkastaminen (inspection). Tarkistetaan, onko kokoonpano koottu ohjeiden mukaan oikein.
- Kokoonpanon toiminnallisuuksien testaus (testing). Testaamisessa kokoonpanon eri toiminnot testataan, mihin voidaan tarvita erilaisia testilaitteita.
- Prosessien eri toimintojen dokumentointi (documentation). Asentajat tai testajat dokumentoivat prosesseista suuren määrän tietoa, jota voidaan käyttää hyödyksi prosessien hallinnassa ja parantamisessa. (Whitney 2004, s. 11-12)

3.3 Modulaarinen tuotanto

Sanchez ja Mahoneyn (1997, s. 2) mukaan yritysten suunnittelemat tuotteet voivat myös muokata yrityksen rakennetta. Samaa mieltä on myös Kubota et al. (2017, s. 1947), joiden mukaan tuotteen modulaarisuus voi johtaa tuotannon modulaarisuuteen (modularity in production) ja myös toisinpäin. Tuotannon modulaarisuus tarkoittaa tuotantoprosessien organisointia standardisoituihin ryhmiin, joilla on vain vähän vahvoja siteitä toisiinsa (Kubota et al. 2017, s. 1947). Se viittaa siihen, miten valmistusresurssit, kuten kokoonpanolinjat, varastot, laitteet ja prosessit, on järjestelty tuotantoprosessien tehokkuuden kasvattamiseksi. Tällä pyritään tuotteen loppukokoonpanon parantamiseen, muuntelun helpottamiseen ja variaatioiden lisäämiseen ilman kustannusten kasvua. Tuotannon modulaarisuus myös mahdollistaa kokonaisten moduulien ulkoistamisen alihankintaan. (Piran et al. 2015, s. 508–509) Moduulit myös voidaan testata ennen kuin ne viedään loppukokoonpanoon, joten virheet eivät siirry eteenpäin (Arnheiter & Harren 2006, s. 93; Österholm & Toukko 2001, s. 34).

Moduulien valmistaminen erikseen loppukokoonpanosta auttaa viemään lopullisen konfiguroinnin vasta tuotannon loppupäähän. Lopullisen konfiguroinnin viemistä tuotannon loppupäähän kutsutaan nimellä viivästäminen (postponement) (Agard & Bassetto, 2012, s. 1649; Pirmoradi et al. 2014, s. 6). Pirmoradi et al. (2014, s. 6) mukaan viivästämisellä avulla voidaan myös pienentää varastoja. Moduuleita voidaan myös valmistaa rinnakkain, jolloin tuotannon aikataulutuksesta sekä kiireellisten tilausten toimittamisesta saadaan joustavaa. Tämä on mahdollista, koska eri moduulien kokoonpanot eivät ole yhteydessä toisiinsa, jolloin moduulit voidaan valmistaa silloin kun niille on tarve. (Marshall 1997, s. 138)

4. TUOTTEIDEN MODULOINTI CASE-YRITYKSISSÄ

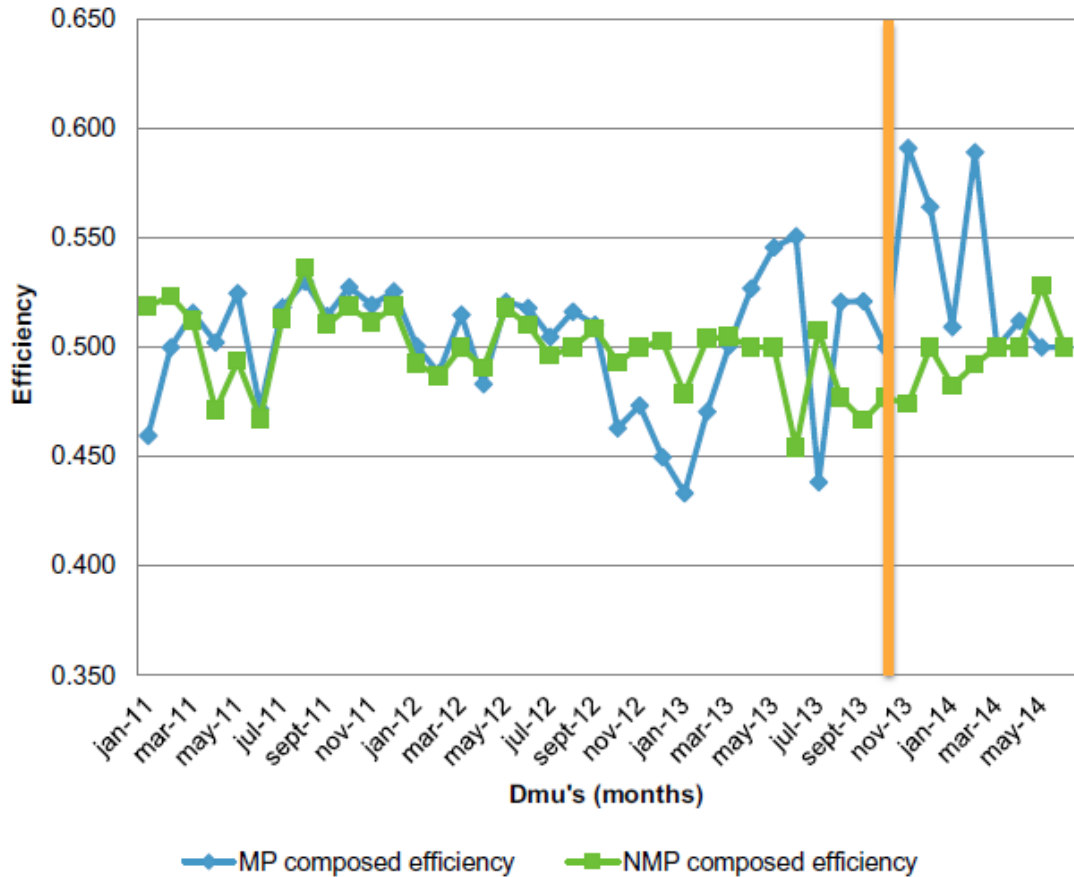
Tässä luvussa käsitellään yrityksiä, joissa hyödynnetään modulaarisuutta tuotteissa. Ensin käsittelyssä on brasilialainen linja-autoja valmistava yritys, toisena kuorma- ja linja-autoja valmistava Scania ja viimeisenä energiateollisuuden ja merenkulkuun moottoreita valmistava Wärtsilä. Nämä yritykset ovat saaneet erilaisia hyötyjä modulaarisuudesta tuotteissaan.

4.1 Linja-autoja valmistava yritys Brasiliassa

Piran et al. (2016) tutkivat brasilialaisen linja-autoja valmistavan yrityksen kahta tuotantolaitosta, joissa työskenteli 3000 työntekijää. Nämä tuotantolaitokset tuottivat yhteensä 6000 linja-autoa vuodessa. Yritys tarjoaa asiakasvaatimukset täyttääkseen eri kokoisia linja-autoja eri istumapaikkojen määrällä ja muilla lisävarusteilla. (Piran et al. 2016)

Vuonna 2007 yritys aloitti kulkuneuvojen suunnittelemisen ja valmistamisen käyttäen hyväksi modulaarista tuotearkkitehtuuria helpottaakseen tuotevariaatioiden määrän kasvua ilman operatiivisen tehokkuuden laskua. Linja-autot suunniteltiin ja valmistettiin kuudesta eri moduulista, joihin kuului etuosa, takaosa, oikea sivu, vasen sivu, katto ja pohjalevy. Myöhemmin linja-autojen sivut jaettiin pienempiin moduuleihin. Myös linja-autojen sisäosiin suunniteltiin erilaisia modulaarisia ratkaisuja. Moduuleita valmistettiin sekä sisäisesti että alihankintana muilla toimittajilla, mutta loppukokoonpano hoidettiin oman tehtaan loppukokoonpanolinjalla. Valmistusprosessi ja tuotannon organisaatio oli jaettu seuraaviin osiin: valmistukseen, kokoonpanoon, metallipinnoitukseen, maalaukseen, viimeistelyyn, koeajoon ja lähetystarkastukseen. (Piran et al. 2016)

Tutkimuksessa valittiin tarkasteluun kaksi tuotetta, joista toiseen hyödynnettiin modulaarisuutta tutkimuksen aikana ja toinen pysyi muuttumattomana. Prosessin sisäänmenoina käytettiin eri materiaaleja, ostettujen ja valmistettujen osien määrää, laatuvirheitä sekä työvoimaa. Tuotteiden läpimenoajoista mitattiin valmistuksen läpimenoaika ja kokoonpanon läpimenoaika. Kokoonpanoon kuuluivat osien liittäminen yhteen, metallipinnoitus, maalaus ja koeajo. Ulostulona edellä mainituista muodostui tuotetut linja-autot, joita vertailtiin moduloidun ja ei-moduloidun kesken. (Piran et al. 2016)



Kuva 6. Kuvassa esitettynä syys-marraskuussa 2013 moduloidun tuotteen (MP) ja ei-moduloidun tuotteen (NMP) tuotantoprosessien tehokkuudet jaettuna kahden eri ajanjaksoon. (Piran et al. 2016)

Kuvassa 6 tammikuusta 2011 syyskuuhun 2013 on vertailuajanjakson data, jota on kerätty ennen kuin toiseen tuotteesta otettiin käyttöön modulaarisuutta. Syys-marraskuun 2013 vaiheen jälkeinen ajanjakso esittää tuloksia, jotka on saatu toisen tuotteen moduloinnista. Ennen toisen tuotteen modulointia sen tuotantoprosessin tehokkuus oli 50,1 prosenttia ja sen jälkeen 53,3 prosenttia. Samalla ajanjaksolla ei-moduloidun tuotteen tuotantoprosessin tehokkuus laski 49,9 prosentista 49,7 prosenttiin. Samaan aikaan tutkittiin myös tuotesuunnittelun tehokkuutta modulaarisen ja ei-modulaarisen tuotteen välillä ja huomattiin tässäkin 27 prosenttiyksikön kasvu (Piran et al. 2017, s. 10). Tutkimustuloksena saatiin empiiristä havaintoa modulaarisuuden vaikutuksesta tuotantoprosessin tehokkuuteen linja-autoja valmistavassa yrityksessä. (Piran et al. 2016)

4.2 Scania

Scanialla modulaarisuus otettiin käyttöön jo 1930-luvulla moottorien osalta. Tämän jälkeen Scania on jatkanut modulaarisen systeemin kehitystä ja edennyt eri markkina-alueille ja -segmenteille. Nykyään kaikki Scanian kuorma-autojen ja linja-autojen alustat

on rakennettu käyttämällä heidän modulaarisen systeemin komponentteja. Modulaarisesta tuotevalikoimasta onkin tullut yksi suurimmista menestystekijöistä. (Scania)

Modulaarisen systeemin avulla Scania voi tarjota yksittäisiä spesifikaatioita samalla tarjoten asiakkaille erittäin laajan tuotevalikoiman. Tämä systeemi vähentää Scanian tuotekehitys- ja tuotantokustannuksia, koska erilaiset ratkaisut voidaan tarjota rajallisella määrällä komponentteja. (Scania)



Kuva 7. Scanian modulaarinen systeemi. (Scania 2014)

Kuvassa 7 on esitetty Scanian modulaarinen systeemi ja sen komponentteja. Esimerkiksi Scania tarjoaa moottoriratkaisuja kolmessa eri kokokategoriassa, joihin lukeutuvat viiden, kuuden, ja kahdeksan sylinterin muodostama ratkaisu. Nämä sylinterit jakavat myös samanlaiset oheiskomponentit, kuten apulaitteet. Moottorien pohjaratkaisua käytetään myös teollisuuden ja meriteollisuuden moottoreissa. Myös ohjaamon ovet ja sivuseinät, akselit, vaihdelaatikot ja rungot on moduloitu. Näistä voidaan tuottaa suuri määrä eri kombinaatioita tarjoamaan asiakkaalle oikeanlainen kulkuneuvo asiakkaan käyttötarkoitukseen. Scania myös yksinkertaistaa omalta osaltaan tarjontaa jakamalla saman tuulliasin kaikkien ohjaamoiden kanssa. (Scania)

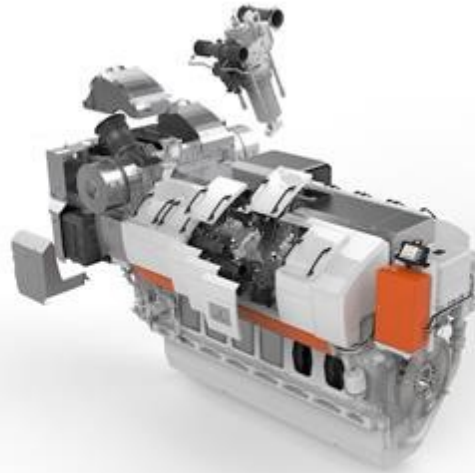
Björkin ja Hällforsin (2015) toteuttamien haastattelujen mukaan modulaarisuus on ainoa tapa hallita Scanian tuotteiden monimutkaisuutta. Haastatteluista nousi esiin Scanian kolme eri näkökulmaa modulointiin: uudelleenkäyttö (reuse), rajapinnat (interfaces) ja

kombinaatiot (combination). Tavoitteena moduloinnissa Scanialla sanotaan olevan yhteensopivat rakennuspalikat, jotka tukevat komponenttien sekoittelua. Komponenttien vaihtelu taataan standardisoiduilla rajapinnoilla, jotka koteloivat funktiot ja ominaisuudet tiettyyn komponenttiin. Uudelleenkäyttö tuotannossa viittaa tuotannon toimintojen ja työkalujen uudelleenkäyttöön. Tavoitteena on vähentää työtehtäviin käytettyjä ratkaisuja ja ratkaista samankaltaiset tehtävät samoilla tavoilla. Scanialla tuotantolinjat suunnitellaan siten, että niillä voidaan valmistaa komponenttien kaikkia eri tyyppisiä. Tuote- ja prosessinsinöörit suunnittelevat kokoonpanon siten, että samoja työkaluja ja välineitä voidaan käyttää eri variaatioille. (Björk & Hällfors 2015)

Tuotannon näkökulmasta yksi suurin modulaarisuuden hyöty on sen tuoma virtaus. Scania voi olla joustava sekä kokoonpanossa että kokoonpanon vaiheistuksessa. Toisessa näkökulmassa vanhojen kokoonpanojen opeilla voidaan tehdä myös uusia kombinaatioita komponenteista. Tämä on mahdollista, koska osat ovat tunnettuja, mikä toisaalta tekee koko tuotteesta tunnetun. Modulaarisuus mahdollistaa myös standardisointia, jolloin samoja liitännätapoja voidaan käyttää kaikissa tuotteissa, mikä taas laskee kustannuksia ja parantaa kokoonpanon virtausta. (Björk & Hällfors 2015)

4.3 Wärtsilä

Wärtsilä on lähes 20000 työntekijää työllistävä konepajateollisuuden yritys, jonka päätoimialaa ovat meri- ja energiateollisuus (Wärtsilä). Uutta Wärtsilä 31 moottoria suunnitellessaan Wärtsilä sai mahdollisuuden suunnitella moottori modulaarisuuden näkökulmasta, joten moottori pohjautuu edellisten moottorien alustoille. Tällä tavoin tuotevalikoiman monimutkaisuus ei kasvanut, vaikka uusi tuote saatiin kehitettyä. Myös tuote ja sen valmistus suunniteltiin yhdessä DFM-periaatteita (Design For Manufacture) noudattaen, mikä tarkoitti läheistä yhteistyötä suunnittelijoiden ja valmistusprosessista vastaavien kanssa. (Wärtsilä 2018)



Kuva 8. Wärtsilä 31 -moottori. (Wärtsilä 2018)

Kuvassa 8 on Wärtsilän uuden sukupolven moottori. Moottorin modulaarisella tuotearkkitehtuurilla samankaltaisuus edellisten sukupolvien kanssa tuplaantui sekä suunnitteluun kulunut aika puolittui. Tällä saatiin myös aikaan lyhyemmät läpimenoajat konfiguroinnin ja tilauksen välille. Moottorin suunnittelun aikana valmistuksen asiantuntijat tuotiin suunnitteluun mukaan, jolloin suunnittelua voitiin tehdä rinnakkain. Kun komponenttien piirteet suunniteltiin helposti valmistettaviksi, tuotannossa ei tarvinnut tehdä niin paljon kompromisseja. Tämän lisäksi myös tuotannossa tarvittavat työkalut ja laitteet on voitu miettiä etukäteen. (Wärtsilä 2018)

Wärtsilä 31 moottorin modulaarisen tuotearkkitehtuurin vuoksi Wärtsilä voi tehdä enemmän vaihtoehtoja moottorista vähemmällä määrällä komponentteja. Wärtsilän modulaarisen ajattelumallin mukaan tuote jaetaan pieniin moduuleihin, jotka voidaan suunnitella, valmistaa ja esikokoonpanna erikseen ja lopulta kokoonpanna lopputuotteeksi. (Modular Management)

Moottorin kokoonpanossa voidaan edetä pidemmälle tietämättä polttoainetta tai muita asiakastarpeita. Oleelliset osat moottoriin voidaan lisätä vasta kokoonpanon loppuvaiheessa. Tämä kuitenkin vaatii läheistä yhteistyötä toimittajien ja kokoonpanon operojien välille. Lisäksi laatuprosesseista pitää tehdä yhtenäiset, mikä vaatii alihankinnan prosessien yhdistämistä omiin prosesseihin. Rinnakkaisella valmistuksella on saatu hyviä tuloksia ja vähennettyä moottorin kokoonpanoon kuluva läpimenoaika 50 prosentilla. (Wärtsilä 2018)

Wärtsilän keskinopeiden moottorien uniikkien komponenttien määrä on saatu vähennettyä lähes 7000 komponentista alle 4000 komponenttiin. Lisäksi ostettavien nimikkeiden

määrä on saatu pudotettua 1200 kappaleesta 720 kappaleeseen. Wärtsilä on myös saanut mittakaavaetua ostamalla suurempia kappalemääriä nimikkeitä. (Modular Management)

5. MODULAARISUUS JA SEN HYÖDYT KOONPANOPROSESSEISSA

Kirjallisuudessa esitetään useita erilaisia modulaarisuuden vaikutuksia. Hyötyjä on liitetty esimerkiksi tuotesuunnittelun, valmistuksen ja johdon näkökulmaan. Tässä luvussa käydään ensin läpi kirjallisuudessa mainittuja hyötyjä ja haittoja kokoonpanoprosessin näkökulmasta. Tämän jälkeen käydään läpi sekä aiemmin mainittujen case-esimerkkien että muiden ulkopuolisten yritysten kautta esiin tulleita modulaarisuuden hyötyjä ja näiden vaikutuksia yrityksiin. Luvun lopussa kootaan yhteen kirjallisuudessa ja yritys-esimerkeissä ilmenneet modulaarisuuden hyödyt kokoonpanon eri vaiheisiin.

5.1 Moduloinnista mainitut hyödyt ja haitat kirjallisuudessa

Moduloinnista saatavat hyödyt eivät tule hetkessä, vaan jopa kuuden vuoden viiveellä (Hansen & Sun 2010, s. 241). Saataviin hyötyihin myös vaikuttavat ympärillä olevat tekijät sekä yrityksen tuotantostrategiat (Boer 2006). Marshall (1997), Boer (2006) ja Jacobs et al. (2007) ovat käsitelleet kattavasti modulaarisuuden eri hyötyjä. Marshallin (1997, s. 80) mukaan tuotteen modulaarisuus ei yksinään tuo kaikkea hyötyä, vaan tämän lisäksi tarvitaan oikeanlainen rakenne, työkalut ja taidot.

On olemassa laaja konsensus siitä, että modulaarisuudella saadaan vähennettyä tuotteen kustannuksia (Jacobs et al. 2007, s. 1051). Modulaarisuuden avulla voidaan saada mittakaavaetuja ostamalla suurempia määriä samanlaisia komponentteja (Pine 1993, s. 196; Boer 2006, s. 57). Samanlaiset komponentit vähentävät tilantarvetta tuotannossa sekä varastoinnissa. Kun samanlaisia osia ja komponentteja käytetään eri malleissa ja variaatioissa parannetaan ennustettavuutta (Jacobs et al. 2007, s. 1049). Tämä pätee myös moduuleihin, koska suurempi määrä erilaisia variaatioita voidaan kokoonpanna samanlaisista moduuleista. Toisaalta osien määrä voi myös kasvaa. (Marshall 1997, s. 224)

Marshallin (1997, s. 223) mukaan modulaarisen strategian ja standardiosien käyttö yhdistettynä tuotteen suunnitteluun kokoonpanon kannalta (Design For Assembly) vaikuttaa valmistukseen, kokoonpanoprosessiin ja muihin tekijöihin positiivisesti. DFA-metodien avulla suunniteltu tuote on helpompi ja nopeampi kokoonpanna. Tällöin moduulien rajapintoihin on kiinnitettävä huomiota. Samanlaiset liittämistavat loppukokoonpanossa

voivat myös vähentää erilaisten työkalujen määrää (Marshallin 1997, s. 224). Edellä mainitut asiat voivat vähentää kokoonpanon aikana tapahtuvia virheitä sekä kasvattaa mahdollisuutta automaation käyttöönottoon kokoonpanossa (Marshall 1997, s. 81, 223, 224).

Tuotteen modulaarisuus kasvattaa mahdollisuutta siirtää moduulit alihankintaan valmistettavaksi (Kubota et al. 2017, s. 1954). Tämä mahdollistaa sen, että yritys voi ostaa moduulit testattuina kokoonpanoina (Marshall 1997, s. 224) tai testata omassa tuotannossa valmistetut moduulit. Testatut moduulit vähentävät riskiä virheiden siirtymisestä loppukokoonpanoon. Myös lopputuotteen testauksessa löytyvien virheiden määrä vähennee sekä tuotannon laatu paranee (Österholm & Toukko 2001, s. 8). Laatupoikkeamat loppukokoonpanossa voi johtaa myöhästymisiin ja kustannusten kasvuun. Moduulien ostaminen toimittajilta voi mahdollistaa JIT-strategian (Just-In-Time) käyttämisen (Marshall 1997, s. 223; Jacobs 2007, s. 1051), jossa toimittajat toimittavat moduulit juuri oikeaan aikaan loppukokoonpanoon. Näin ollen yritys voi hyötyä siitä, että varastoissa ei ole keskeneräisiä tuotantoa, joihin sitoutuu pääomaa (Marshall 1997, s. 223).

Tuotteen modulaarisuus mahdollistaa tuotantoprosessien rinnakkaisuuden sekä tuotannon loppuvaiheessa tapahtuvan varioinnin (Boer 2006, s. 109; Marshall 1997, s. 223). Tätä kautta tuotteen toimitusaikaa saadaan lyhennettyä. Moduulien kokoonpanon ympärille voidaan kehittää omanlaiset työskentelytavat tuotannon eri alueilla. Tämä sekä kehittää tiimityöskentelyä että helpottaa tuotannonohjausta. Tuotannonohjaus helpottuu modulaarisuuden avulla, koska tämän myötä voidaan keskittyä tiettyjen alueiden ohjaamiseen, eivätkä yksittäiset tuotantosolut toimi pullonkauloina. (Marshall 1997, s. 225) Paralikas et al. (2011) ovat huomanneet simuloinnin avulla tuotteen modulaarisuuden vaikuttavan kokoonpanolinjan joustavuuteen positiivisesti, mutta markkinoiden heiluntaan negatiivisesti. Myös Marshall (1997, s. 224) kertoo tuotteen modulaarisuuden kasvattavan valmistuksen joustavuutta ja tehokkuutta.

5.2 Yritysten saamat hyödyt tuotteiden moduloinnista

Case-yritykset ovat saaneet erilaisia hyötyjä modulaarisuuden käyttämisestä tuotteissaan. Brasilialaisen linja-autoja valmistavan yrityksen saama hyöty tehokkuudessa modulaarisuuden kautta on asia, jota muutkin yritykset tavoittelevat. Tehokkuutta yrityksessä voidaan kasvattaa eri tavoilla. Wärtsilä on saanut tuotteen moduloinnista monia eri hyötyjä suunnitteluprosessista lähtien. Suunnitteluvaiheessa hyvin määritellyt rajapinnat ovat tärkeä osa modulointia, minkä avulla voidaan suunnitella ja valmistaa moduulit erillään toisistaan. Tuote kannattaa kuitenkin suunnitella yhdessä valmistuksen kanssa, jolloin osapuolilla on yhteinen näkemys halutusta lopputuloksesta. Tuotteen moduulien valmistus erillään loppukokoonpanosta vaatii kuitenkin hyvää

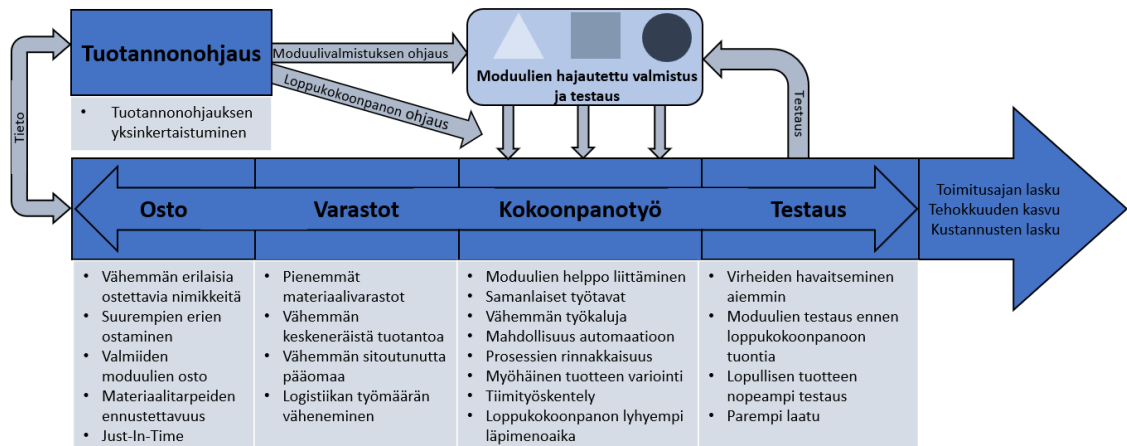
yhteistyötä toimittajien, oston ja loppukokoonpanon kanssa, jotta moduulit tulevat sujuvasti viimeiseen vaiheeseen. Hyvällä yhteistyöllä saadaan luotua sujuvuutta tuotantoon, mutta huonolla yhteistyöllä vuorostaan osakokoonpanojen tai moduulien myöhästelyt voivat aiheuttaa ongelmia tai jopa pysäyttää kokoonpanon.

Rinnakkainen moduulien valmistus erillään loppukokoonpanosta voi lyhentää läpimenoaikaa merkittävästi. Lehtonen (2007, s. 111) kertoo Atlas Copcon raportoineen porauslaitteiden tuotannon arvioitujen läpimenoaikojen pudonneen 50 prosentilla samanaikaisen moduuli- ja loppukokoonpanon avulla. Näin toimii myös Sandvik, joka valmistaa porauslaitteiden puomit erillään loppukokoonpanosta. Loppukokoonpanon viimeisessä vaiheessa puomit nostetaan toiminnat testattuina porauslaitteeseen. Myös porauslaitteiden puomit sisältävät pienempiä moduuleita, joihin kuuluvat esimerkiksi syöttölaite ja hydrauliletkukokoonpano. Hydrauliletkukokoonpanon ostaminen valmiina moduulina lyhentää läpimenoaikaa merkittävästi sekä pienentää materiaalivarastoja (Fluid Finland 2016, s. 56). Hydrauliletkukokoonpanot voidaan myös tehdä ergonomisessa asennossa.

Modulaarisuus myös mahdollistaa nimikkeiden määrän vähentämisen. Yhteisten osien käyttö eri malleissa voi vähentää nimikkeiden määrää merkittävästi. Tästä on esimerkkinä Scania, jonka kuorma-automallien erilaisissa ohjaamoissa käytettiin samaa tuulilasiasia. Samojen komponenttien käyttö eri tuoteperheissä laskee myös tuoteperheen ylläpidon kustannuksia, koska vähemmän nimikkeitä pitää olla saatavana esimerkiksi varaosina. Tällöin voidaan ostaa suurempia eriä nimikkeitä toimittajilta, mikä taas laskee hintoja, kuten Wärtsilän tapauksessa. Samojen osien käyttö tuotteen eri variaatioissa voi myös pienentää osien tarvitsemaa tilaa tuotannossa ja vapauttaa tämän tilan muuhun käyttöön. Osien liittämässä yhteen voidaan lisäksi käyttää samoja työkaluja läpi koko tuoteperheen, kuten Scanialla.

5.3 Modulaarisuuden linkittyminen kokoonpanon eri vaiheisiin

Tässä työssä esitetyt tuotteen modulaarisuuden hyödyt kokoonpanon eri prosesseissa on jaettu prosessien aikaisiin toimintoihin, jotka nousivat esiin kirjallisuutta ja muita lähteitä tutkimalla. Tämän havainnollistamiseksi on muodostettu kuvassa 9 esiintyvä kaavio. Tässä tapauksessa hyödyt on jaettu oston, varastojen, kokoonpanotyön ja testausten mukaisiin osiin, joiden ympärillä toimii tuotannonohjaus.



Kuva 9. Tuotteen modulaarisuuden hyötyjen linkittyminen kokoonpanon eri vaiheisiin.

Kuvassa 9 kokoonpanoprosessin virtaus kulkee vasemmalta oikealle. Kokoonpanoprosessin tieto liikkuu ketjun sisällä, josta se kulkeutuu myös tuotannonohjaukseen. Tämän tiedon avulla ohjataan eri toimintoja ostosta testaukseen asti. Kokoonpanoprosessin kokonaisuhyötyinä on mahdollista saada toimitusajan lyheneminen, tehokkuuden kasvu ja kustannusten lasku.

Tuotteen modulaarisuuden hyödyt ostossa liittyvät nimikkeiden määrien vähentymiseen ja mittakaavaedun saamiseen. Nimikkeiden määrän vähentyminen ja suurempien erien ostaminen pienentää toiminnanohjausjärjestelmien luomien ostoehdotusten määrää. Valmiiden moduulien ostamisen hyödynä on yhden nimikkeen ostaminen verrattuna moduulin eri osien ostamiseen, joita voi olla suuri määrä. Tällöin myös hyödynnetään sitä, että kokonaisuus tulee yhdeltä toimittajalta ja toimittaja hoitaa eri osien hankkimisen. Moduulit voidaan myös ostaa siten, että ne tulevat juuri oikeaan aikaan kokoonpanoon. Moduulien ostaminen suoraan toimittajalta vähentää keskeneräisen tuotannon määrää. Tämä myös pienentää materiaalivarastoja yhdessä samojen osien käyttämisen kanssa eri tuotteissa. Kokonaisen moduulien hankkiminen voi myös vähentää varastotyöntekijöiden työmäärää, sillä osien ja komponenttien sijaan kokoonpanolinjalle voidaan toimittaa kokonainen moduuli. Varastojen pienemmisellä on myös positiivinen vaikutus sitoutuneeseen pääomaan.

Kokoonpanotyö voi helpottua tuotteen modulaarisuuden avulla. Moduulien valmistus voidaan hajauttaa omaan tuotantoon ja toimittajille. Näin ollen eri moduulikokoonpanoalueet voivat kehittää ja tehostaa omaa toimintaa sekä luoda moduulien kokoonpanoon tarkat työohjeet. Loppukokoonpanossa hyvin suunniteltujen rajapintojen ja liitännätapojen avulla moduulit on helppo liittää toisiinsa. Tämä vähentää tarvittavia työkaluja ja tarvittavia liitännätarvikkeita. Edellä mainittujen asioiden avulla on mahdollista ottaa käyttöön

automaatiota moduulien kokoonpanossa tai loppukokoonpanossa. Loppukokoonpanon tekeminen moduuleista sekä moduulien valmistaminen rinnakkain loppukokoonpanon kanssa lyhentää läpimenoaikaa merkittävästi. Myös tuotteen variointi asiakastarpeiden mukaan voidaan tehdä lähellä tuotteen lopullista testausta.

Moduulit on mahdollista testata ennen vientiä loppukokoonpanoon. Tällä tavoin loppukokoonpanosta saadaan sujuvaa, koska virheet eivät aiheuta keskeneräisen tuotteen purkamista tai korjausta. Tämä myös vähentää aikaa vievien reklamaatioprosessien määrää. Lisäksi lopputuotteen testauksesta tulee sujuvaa ja nopeampaa, koska virheet voidaan havaita aikaisemmissa vaiheissa.

6. YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä on käyty läpi modulaarisuutta ja sen linkittymistä kokoonpanoprosessiin erilaisten lähteiden ja case-esimerkkien kautta. Teoriaosuudessa on tutkittu M-modulaarisuutta ja sen sisältämiä määritelmiä monien lähteiden kautta. Lisäksi on tuotu esiin Lehtosen (2007) esittämä elinkaarimodulaarisuuden määritelmä ja sen eri tyypit. M-modulaarisuuden määritelmät liittyvät tuotteen variointiin ja elinkaarimodulaarisuuden määritelmät liittyvät modulaarisuuden näkymiseen tuotteen elinkaaren aikana. Tämän lisäksi modulaarinen tuotearkkitehtuuri on jaettu kuuteen eri osaan kirjallisuudesta löytyvien lähteiden perusteella. Modulaarisuuteen liittyvien määritelmien rinnalle on tuotu teoriaa kokoonpanosta ja sen prosesseista. Lopuksi modulaarisuuden hyötyjä on käsitelty kokoonpanon näkökulmasta.

Tuotteen modulaarisuuden hyödyntämiseen ei ole olemassa yleispäteviä ohjeita, vaan hyödyntäminen riippuu yrityksen markkinoista, rakenteesta ja ympäristöstä. Tuotteen modulaarisuuden käyttöönotto tarvitsee myös sellaisen tuotantojärjestelmän, jossa sitä voidaan hyödyntää. Modulaarisuutta voidaan myös hyödyntää tuotteen eri elinkaaren vaiheissa. Tuotteen ja sen valmistusjärjestelmän yhtäaikaisella suunnittelulla tuotteen modulaarisuudesta on mahdollista saada parhaat hyödyt esiin.

Tuotteen modulaarisuudella mahdollisesti saatavia pääasiallisia hyötyjä kokoonpanoprosessissa voidaan pitää kustannusten laskua, tehokkuuden kasvua ja lyhyempää toimitusaikaa. Nämä hyödyt muodostuvat kokoonpanoprosessin eri toimintojen saamien hyötyjen kautta. Kustannukset laskevat kokoonpanoprosessin tehokkuuden kasvaessa. Prosessin eri vaiheiden rinnakkaisuudella ja moduulien testaamisella erillään loppukokoonpanon läpimenoaika lyhenee.

Aiheen jatkotutkimuksena olisi mahdollista selvittää tuotteen modulaarisuuden hyödyt koko tuotteen elinkaaren aikana. Hyödyt voitaisiin jakaa esimerkiksi suunnitteluprosessin, tuotantoprosessin ja tuotteen käytön aikaisiin hyötyihin. Tutkimuksen avulla yritysten olisi mahdollista saada kokonaiskuva tuotteen modulaarisuuden hyödyistä koko sen elinkaaren aikana, ja sitä kautta maksimoida modulaarisuuden myötä syntyvät tehokkuus-, kustannus- ja toimitushyödyt.

LÄHTEET

- Agard, B. & Bassetto, S. (2013). *Modular design of product families for quality and cost*, International Journal of Production Research, Vol. 51, No. 6, pp. 1648–1667.
- Andreasen, M.M. (2011). *45 Years with design methodology*, Journal of Engineering Design, Vol. 22, No. 5, pp. 293–332.
- Arnheiter, E.D. & Harren, H. (2006). *Quality management in a modular world*, The TQM Magazine, Vol. 18, No. 1, pp. 87–96.
- Baldwin, C.Y. & Clark, K.B. (2000). *Design Rules: The Power of Modularity*, MIT Press, Cambridge.
- Bask, A., Lipponen, M., Rajahonka, M. & Tinnilä, M. (2010). *The concept of modularity: diffusion from manufacturing to service production*, Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 21, No. 3, pp. 355–375.
- Björk, M. & Hällfors, E. (2015). *The concept of modularization and the definition of a module: An investigation and comparison of two successful companies within the automotive industry*, Master's thesis, Stockholm, Sweden.
- Boer, H.E.E. (2016). *Product modularity and its effects on the manufacturing firm*, Aalborg University Press.
- Boothroyd, G. (2005). *Assembly Automation and Product Design*, CRC Press, London.
- Cai Y., Kutanoglu E. & Hasenbein J. (2011). *Production Planning and Scheduling: Interaction and Coordination*. In: Kempf K., Keskinocak P., Uzsoy R. (eds) *Planning Production and Inventories in the Extended Enterprise*. International Series in Operations Research & Management Science, Vol 152. Springer, New York, NY.
- Cutting-Decelle, A.F., Young, R.I.M., Michel, J.J., Grangel, R., Le Cardinal, J. & Bourey, J.P. (2007). *ISO 15531 MANDATE: A Product-process-resource based Approach for Managing Modularity in Production Management*, Concurrent Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 217–235.
- Dahmus, J.B., Gonzalez-Zugasti, J.P. & Otto, K.N. (2001). *Modular product architecture*, Design Studies, Vol. 22, No. 5, pp. 409–424.
- Fluid Finland (2016). *Hydrauliikan, pneumatiikan ja voitelun ammattilehti 2/2016 - Kevät 2017*, Ammattilehti.fi.
- Jacobs, M., Vickery, S.K. & Droge, C. (2007), *The effects of product modularity on competitive performance: Do integration strategies mediate the relationship?*, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 27, No. 10, pp. 1046–1068.

- Kubota, F.I., Hsuan, J. & Cauchick-Miguel, P.A. (2017). *Theoretical analysis of the relationships between modularity in design and modularity in production*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 89, No. 5, pp. 1943–1958.
- Lapinleimu, I. (2000). *Ideaalitehdas: tehtaan suunnittelun teorian kiteytys*, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere.
- Lapinleimu, I., Kauppinen, V. & Torvinen, S. (1997). *Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät*, WSOY, Helsinki.
- Lehtonen, T. (2007). *Designing modular product architecture in the new product development*, doctoral thesis, Tampere University of Technology.
- Lenherd, A.P. (1987). *Technology and global industry: companies and nations in the world economy*, National Academy Press, pp. 49–64.
- Marshall, R. (1998). *Design modularisation: a systems engineering based methodology for enhanced product realisation*, Loughborough University.
- Martinsuo, M., Mäkinen, S., Suomala, P. & Lyly-Yrjänäinen, J. (2016). *Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa*, 1. painos, Edita, Helsinki.
- Miller, T.D. & Elgård, P. (1998). *Defining Modules, Modularity and Modularization: Evolution of the Concept in a Historical Perspective*, Proceedings of the 13th IPS Research Seminar, Fulgsoe, Aalborg University.
- Modular Management, Modular Management Group AB. *The world's most efficient engine*, Saatavilla (Viitattu 19.10.2019): <https://modularmanagement.com/wartsila/>.
- Nof, S.Y., Wilhelm, W.E. & Warnecke, H. (1997), *Industrial Assembly*, Springer, Boston.
- Pakkanen, J. (2015). *Brownfield Process: A Method for the Rationalisation of Existing Product Variety towards a Modular Product Family*, Tampere University of Technology.
- Paralikas, J., Fysikopoulos, A., Pandremenos, J. & Chryssolouris, G. (2011). *Product modularity and assembly systems: An automotive case study*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 60, No. 1, pp. 165–168.
- Piran, F.A.S., Lacerda, D.P., Antunes Jr, José Antonio Valle, Viero, C.F. & Dresch, A. (2015), *Modularization strategy: analysis of published articles on production and operations management (1999 to 2013)*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 86, No. 1, pp. 507-519.
- Piran, F.A.S., Lacerda, D.P., Camargo, L.F.R., Viero, C.F., Dresch, A. & Cauchick-Miguel, P.A. (2016). *Product modularization and effects on efficiency: An analysis of a bus manufacturer using data envelopment analysis (DEA)*, International Journal of Production Economics, Vol. 182, pp. 1–13.

- Piran, F.A.S., Lacerda, D.P., Camargo, L.F.R., Viero, C.F., Teixeira, R. & Dresch, A. (2017). *Product modularity and its effects on the production process: an analysis in a bus manufacturer*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 88, No. 5, pp. 2331–2343.
- Pirmoradi, Z., Wang, G. & Simpson, T. (2014). *A Review of Recent Literature in Product Family Design and Platform-Based Product Development*, Advances in Product Family and Product Platform Design: Methods & Applications, Springer, New York, NY.
- Salvador, F., Forza, C. & Rungtusanatham, M. (2002). *Modularity, product variety, production volume, and component sourcing: theorizing beyond generic prescriptions*, Journal of Operations Management, Vol. 20, No. 5, pp. 549–575.
- Samy, S.N. & ElMaraghy, H. (2012). *A model for measuring complexity of automated and hybrid assembly systems*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 62, No. 5, pp. 813–833.
- Sanchez, R. & Mahoney, J.T. (1996). *Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization Design*, Strategic Management Journal, Vol. 17, No. S2, pp. 63–76.
- Sanchez, R. (1995). *Strategic Flexibility in Product Competition*, Strategic Management Journal, Vol. 16, No. 1 S, pp. 135–159.
- Scania (2015), Scania AB. *The model for success*, Saatavilla (Viitattu 18.10.2019): <https://www.scania.com/group/en/the-model-for-success/>.
- Scania, Scania AB. *Tailored for every need*, Saatavilla (Viitattu 18.10.2019): <https://www.scania.com/group/en/tailor-made-for-applications/>.
- Tekes (2001). *Keskiraskas ja raskas kokoonpanotoiminta 1998-2000*. Helsinki.
- Ulrich, K. (1995). *The role of product architecture in the manufacturing firm*, Research Policy, Vol. 24, No. 3, pp. 419–440.
- Whitney, D. E. (2004). *Mechanical Assemblies - Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*, Oxford University Press.
- Wärtsilä (2018), Wärtsilä Oyj Abp. *Modularisation hand in hand with manufacturability*, Saatavilla (Viitattu 19.10.2019): <https://www.wartsila.com/twentyfour7/in-detail/modularisation-hand-in-hand-with-manufacturability>.
- Wärtsilä, Wärtsilä Oyj Abp. Saatavilla (Viitattu 19.10.2019): <https://www.wartsila.com/fi/wartsila>.
- Österholm, J. & Tuokko, R. (2001). *Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin: Modular function deployment*, Metalliteollisuuden keskusliitto, Helsinki.