

Oskari Vuorinen

**TUOTTEEN MODULAARISUUDEN
VAIKUTUKSET
KOKOONPANOPROSESSIN
KANNALTA**

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Tarkastaja: Eeva Järvenpää
Kesäkuu 2020

TIIVISTELMÄ

Oskari Vuorinen: Tuotteen modulaarisuuden vaikutukset kokoonpanoprosessin kannalta
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Kesäkuu 2020

Asiakasräätälöitävyys on ollut jo pitkään nouseva trendi ja siihen yritysten pitää panostaa tuotteissaan. Asiakasräätälöitävyys vaatii joustavuutta kokoonpanoprosessilta, mikä taas heikentää kokoonpanoprosessin tuottavuutta. Tuotteiden modulaarisuus mahdollistaa räätälöitävyyden ja pitää myös tuottavuuden hyvällä tasolla. Modulaarisuus on myös kustannustehokas vaihtoehto tuotteiden valmistukseen. Kuten kaikissa asioissa myös modulaarisuudessa on ongelmakohtia ja asioita, joihin nämä edut voivat kaatua. Tuotteen modulaarisuus vaikuttaa myös kokoonpanoon sekä tuotannon- ja materiaalinohjaukseen.

Tässä työssä tutkittiin kirjallisuustutkimuksen avulla tuotteen modulaarisuuden vaikutuksia kokoonpanoprosessiin. Työssä käydään läpi perustietoja modulaarisuudesta, yksittäisestä moduulista sekä modulaarisuuden eri muodoista. Työssä käsitellään myös rajapintojen merkitystä modulaarisuudessa, koska moduulien liittäminen yhteen tuotteeksi on vaikeaa ilman hyvin määriteltyjä rajapintoja. Kokoonpano on tärkeä osa modulaarisuutta sillä se voi olla ainoa työvaihe, jonka modulaarista tuotetta valmistava yritys tekee itse. Kokoonpanossa voi mennä monta asiaa pieleen jos tuotannon- ja materiaalinohjaus eivät toimi. Näitä asioita käsitellään myös hieman tässä työssä, jotta saadaan selkeä näkemys tuotannon- ja materiaalinohjauksen tavoitteista kokoonpanossa. Työn lopussa modulaarisuutta tutkitaan autoteollisuuden case-esimerkkien avulla.

Työn lopussa tulokset-luvussa on havaintoja asioista, joita pitää ottaa huomioon modulaarisen tuotteen osa- ja loppukokoonpanossa. Modulaarisilla tuotteilla on toimiakseen tiettyjä tarpeita kokoonpanoprosessilta. Havaintoja on tehty yleisestä sekä autoteollisuuden näkökulmasta. Modulaarisuus on hyvä apuväline, jolla päästään tuotannon joustavuuteen ja kustannustehokkuuteen. Autoteollisuuden näkökulmasta viestintä ja koordinointi ovat todella tärkeitä onnistuneen kokoonpanoprosessin kannalta.

Avainsanat: modulaarisuus, kokoonpano, kokoonpanoprosessi

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkitettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. MODULAARISUUTEEN LIITTYVIÄ KÄSITTEITÄ	3
2.1 Modulaarisuus.....	3
2.2 Moduuli	4
2.3 Modulaarisuuden eri muodot.....	5
2.3.1 Lohkomodulaarisuus.....	5
2.3.2 Komponenttien vaihto- ja jakomodulaarisuus	6
2.3.3 Parametrinen modulaarisuus	8
2.3.4 Väylämodulaarisuus.....	8
2.3.5 Mix- ja yhdistelmämodulaarisuus	9
2.4 Moduulien rajapinnat.....	9
3. KOKOONPANO	11
3.1 Kokoonpanojärjestelmät.....	11
3.2 Tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus	13
4. CASE-ESIMERKKEJÄ AUTOTEOLLISUUDESTA.....	15
4.1 Volvo.....	15
4.2 Autoteollisuuden case-tutkimus.....	17
5. TULOKSET	22
6. YHTEENVETO.....	25
LÄHTEET	27

1. JOHDANTO

Tällä hetkellä asiakkaat haluavat tuotteita, jotka ovat juuri heidän tarpeisiinsa räätälöityjä. Tuotteet eivät saa kumminkaan maksaa paljoakaan enempää kuin normaali tuote. Massaräätälöiminen on edullinen tapa tuotteen valmistukseen, niin että pystytään tuottamaan räätälöityjä tuotteita. (Ming et al., 2007)

Työn tavoitteena on selvittää, mitä vaikutuksia modulaarisella tuotteella on kokoonpanoprosessille ja millaisilla keinoilla prosessia pystytään parantamaan. Tavoitteena on vastata kysymyksiin:

- Mistä asioista modulaarisuus koostuu?
- Millaisista asioista kokoonpanojärjestelmä koostuu?
- Miten tuotteen modulaarisuus vaikuttaa kokoonpanojärjestelmään?
- Miten modulaarisuus vaikuttaa kokoonpanossa käytettäviin laitteisiin?

Näihin kysymyksiin pyritään vastaamaan kirjallisuuden pohjalta.

Työn teoriaosassa keskitytään modulaarisuuteen ja kokoonpanoon. Modulaarisuudesta käsitellään modulaarisuuden määritelmä, mistä asioista modulaarisuus koostuu ja millaisia eri muotoja sillä on. Modulaarisuuden tärkeimpiä elementtejä ovat itse moduulin eri muodot ja moduulien rajapinnat. Yksittäisen moduulin ja moduulien rajapintojen vaikutusta modulaarisuuteen pohditaan teorian pohjalta. Modulaarisuuden eri muotoja tarkastellaan myös teorian pohjalta mutta myös esimerkeillä ja havainnollistavien kuvien avulla.

Kokoonpano liittyy olennaisesti modulaarisuuteen. Kokoonpano-luvussa käydään läpi teoriaa kokoonpanosta yleisesti, millaisista eri vaiheista se koostuu ja minkälaisia eri variaatioita sillä voi olla. Kokoonpanosta käydään myös läpi erilaisia kokoonpanojärjestelmiä, joita käytetään valmistavassa teollisuudessa. Kokoonpanon teoriaosuuteen on myös otettu mukaan tuotannon- ja materiaalinohjaus, jotka valitaan kokoonpanojärjestelmän ja tuotteen mukaan. Modulaarisuus myös vaikuttaa kokoonpanojärjestelmään jolloin on hyvä tarkastella miten modulaarisuus vaikuttaa tuotannon- ja materiaalinohjaukseen.

Teorian jälkeen työssä tutkitaan case-esimerkkejä autoteollisuudesta ja millaisia hyötyjä ja haittoja modulaarisuudesta on havaittu tällä alalla. Case esimerkkejä tarkastellaan

tulokset-luvussa työssä aiemmin läpikäytyjen teorioiden pohjalta ja koitetaan löytää yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia teoriaosuuden tuloksiin nähden.

Yhteenvedossa pohditaan työssä aikaisemmin käsiteltyjä tietoja ja pohditaan miten ne sitoutuvat yhteen ja millaisia vaikutuksia niillä on toisiinsa. Työn perusteella tehdään johtopäätöksiä modulaarisuudesta ja siitä miten se vaikuttaa kokoonpanoon ja millaisia hyötyjä ja haasteita siitä saattaa aiheutua.

2. MODULAARISUUTEEN LIITTYVIÄ KÄSITTEITÄ

Modulointi on insinöörien työkalu, jolla monimutkaisia tuotteita pystytään jakamaan pienempiin osakokonaisuuksiin eli moduuleihin (Fredriksson, 2006b; Islamoglu et al., 2014). Moduulien pitää olla liitettävissä toisiinsa, jotta niistä saadaan muodostettua monimutkainen tuote (Kamrani, 2002). Tässä luvussa perehdytään modulaarisuuteen, yksittäiseen moduuliin ja modulaarisuuden eri muotoihin sekä moduulien rajapintoihin. Modulaarisuudessa keskitytään tuotteen varioinnin näkökulmaan.

2.1 Modulaarisuus

Modulaarisuus voidaan määritellä monella eri tavalla. Sako ja Murray (2000) sanovat, että modulaarisuus tarkoittaa kykyä yhdistää ennalta suuri määrä komponentteja moduuleiksi ja moduulien kokoamista jossain muualla, kunnes ne tuodaan loppukokoonpanoon yhdistettäväksi keskenään yksinkertaisilla toimenpiteillä. Pandremenoksen et al. (2009) mukaan modulaarisuutta käytetään yleensä monimutkaisten systeemien hallintaan, siten että niistä tulee yksinkertaisempia. Kamrani (2002) kuvailee modulaarisuuden menetelmäksi, jossa samankaltaiset komponentit yhdistetään toisiinsa ja jossa komponenteista muodostuu monimutkainen tuote. Kamrani (2002) mainitsee myös, että komponenttien pitää sisältää ominaisuuksia, jotka mahdollistavat vaivattoman liittämisen muiden osien kanssa. Österholmin ja Tuokon (2001) näkemys modulaarisuudesta on tuotteen jakaminen itsenäisiin yksikköihin eli moduuleihin, joita voidaan tarkoin määritellyiden ja vakioitujen rajapintojen ansiosta yhdistää ja vaihtaa, jolloin saadaan mahdollisimman laaja tuoteperhe.

Modulaarisuus antaa tuotteelle ominaisuuksia, jotka mahdollistavat joustavan ja laajan asiakasräätälöinnin. Ulrichin ja Tungin (1991) mukaan modulaarisuus riippuu kahdesta kohdasta suunnitteluvaiheessa: yhdenmukaisuudesta fyysisen ja funktionaalisen arkkitehtuurin välillä sekä komponenttien satunnaisten vaikutusten minimoimisesta.

Moduulit toteuttavat yksinään erillisen funktion. Moduulien yhdistämisen jälkeen ne toteuttavat kaikkien moduulien funktioiden yhdistelmän. (Kamrani, 2002) Yksittäiset moduulit kokoonpannaan omana kokonaisuutenaan, minkä jälkeen kaikki moduulit viedään loppukokoonpanoon ja yhdistetään valmiiksi tuotteeksi. Modulaarisuus saattaa vaatia ylimääräisiä komponentteja tai innovaatioita onnistuakseen, mutta se myös sisältää riskin, että koko moduuli voidaan joutua vaihtamaan yhden komponentin sijaan. (Fredriksson, 2006a) Modulaarisuus mahdollistaa joustavien ja laajojen tuoteperheiden

luomisen ja kehittämisen. Tuotteesta voidaan valmistaa perusmalli johon voidaan lisätä ominaisuuksia lisäämällä moduuleita siihen pääkokoonpanolinjan ulkopuolella. Lisäominaisuus moduuleiden rajapinnat ja liitokset on tärkeää määrittää hyvin, sillä monen erilaisen lisäominaisuuden lisääminen saattaa vaikeuttaa rajapintojen määrittämistä. (Ulrich & Eppinger, 2012)

2.2 Moduuli

Yksittäiset moduulit ovat modulaarisuuden kulmakivi, ja niiden tarkasti määritellyt rajapinnat ovat isossa roolissa, kun puhutaan modulaarisesta tuotteesta (Österholm & Tuokko, 2001). Moduuli voidaan luokitella kolmen pääpiirteen mukaan: moduuli pystytään erottamaan muusta tuotteesta, moduuli on erotettuna muusta tuotteesta itsenäinen kokonaisuus ja moduuli on uudelleen yhdistettävissä muihin moduuleihin ja komponentteihin (Cabigiosu et al., 2013). Moduuli on modulaarisen tuotteen pienempi osakokonaisuus, joka on helpompi kokoonpanna kuin lopullinen tuote kerralla. Yksittäisen moduulin muokkaaminen on helppoa, sillä kokonaisuus on pienempi, jolloin muutoksen ei tarvitse vaikuttaa koko tuotteeseen. (Paralikas et al., 2011)

Moduulia ja modulaarisuutta usein verrataan lego-palikoihin, mutta se on hieman väärä lähestymistapa, sillä moduulissa pitää olla tietyn verran funktionaalisuutta verrattuna lopputuotteeseen (Miller & Elgård, 1998). Moduulien ominaisuudet pitää olla sellaisia, että ne ovat strategisesti tärkeitä tuotteelle ja niille on oltava oikea markkinatarve. Kun tärkeimmät tuoteominaisuudet ovat selvillä, voidaan niitä alkaa muuttamaan tuotteen teknisiksi ratkaisuiksi. (Österholm & Tuokko, 2001)

Moduuleita suunniteltaessa kuitenkin tavoitteena on se, että jokainen moduuli toteuttaa vain yhden toiminnon (Ulrich, 1995; Österholm & Tuokko, 2001). Tällöin moduulien määrää voidaan muuttaa asiakastarpeiden mukaan ja ominaisuuksia, joille ei ole enää kysyntää voidaan poistaa valikoimasta ilman, että yhtään moduulia tarvitsee suunnitella uudestaan. Moduulirakennetta suunniteltaessa tavoitteena on pyrkiä mahdollisimman pieneen määrään moduuleita, siten että pystytään toteuttamaan asiakkaiden haluamat ominaisuudet. Kun jokainen asiakastarve laitetaan omaan moduuliinsa, ei tarvitse uusien asiakastarpeiden ilmaantuessa muuta kuin suunnitella uudelle asiakastarpeelle moduuli. (Österholm & Tuokko, 2001). Moduulien ominaisuudet kokoavat yhdessä isomman funktion tai tukevat sitä (Kamrani, 2002).

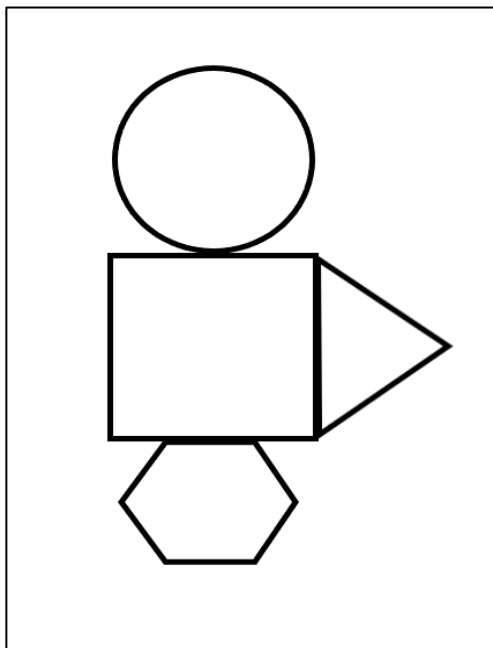
2.3 Modulaarisuuden eri muodot

Modulaarisuudella on monia eri muotoja ja ominaisuuksia, joita käytetään valmistavassa teollisuudessa. Modulaarisuuden muoto valitaan asiakastarpeen ja yritysstrategian mukaan. Näin varmistetaan, että markkinatarpeet tulevat huomioiduiksi tuoteominaisuuksissa (Österholm & Tuokko, 2001). Usein modulaarisuuden muodot ovat vakiintuneet tietyillä aloilla, kuten tietokone- ja autoteollisuudessa. Eri modulaarisuuden muotoja voidaan myös yhdistää, jotta saadaan paras mahdollinen tuote aikaiseksi. (Kamrani, 2002) Seuraavissa aliluvuissa on kuvattu kuusi eri modulaarisuuden muotoa ja niiden ominaisuuksia.

2.3.1 Lohkomodulaarisuus

Rajapintojen merkitys on lohkomodulaarisuudessa suuri. Moduuleita voidaan yhdistää mielivaltaisesti, kunhan moduulien rajapinnat standardoituja ja sopivat yhteen. (Österholm & Tuokko, 2001) Legopalikat ovat tästä hyvä esimerkki mutta lohkomodulaarisuutta käytetään myös sohvien valmistuksessa. Lohkomodulaarisuus sopii sellaisille tuotteille, joissa tuotetta muokataan asiakkaan toiveiden mukaan. (Swamidass P.M. 2000f)

Lohkomodulaarisuus kuuluu modulaarisuuden muodoista ainoana avoimen järjestelmän kategoriaan. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotevarianttien muodostaminen on hyvin vapaata, kunhan rajapinnat ovat tarkoin määritelty. (Österholm & Tuokko, 2001)

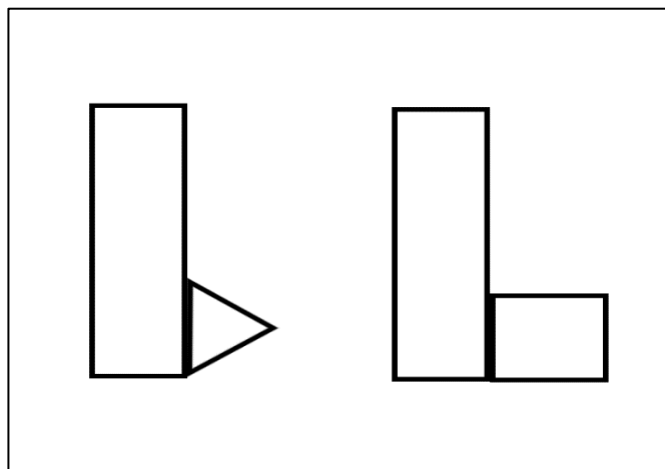


Kuva 1. Lohkomodulaarisuus. Mukailten lähdeä (Österholm & Tuokko, 2001).

Kuvassa yksi on esitetty lohkomodulaarisuus. Kuvassa neliö, ympyrä, kolmio ja kuusikulmio kuvaavat moduuleita, jotka voivat olla minkälaisia vain kunhan rajapinnat ovat yhteensopivia. (Österholm & Tuokko, 2001)

2.3.2 Komponenttien vaihto- ja jakomodulaarisuus

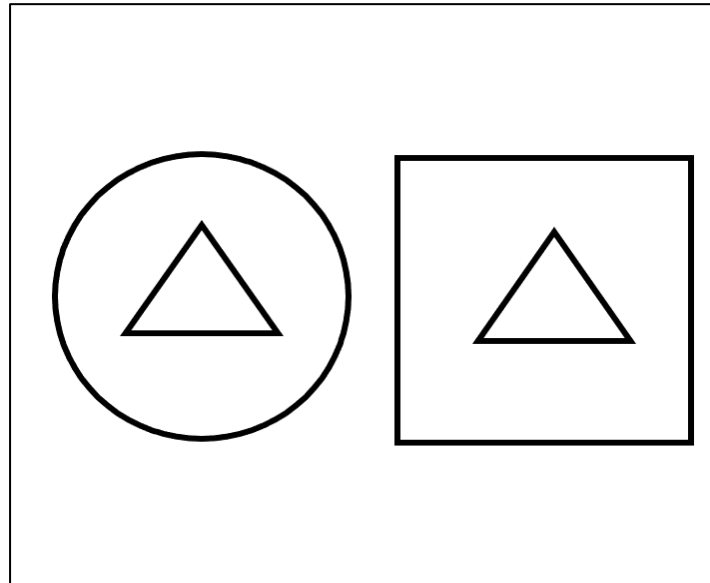
Komponenttien vaihto- ja jakomodulaarisuus ovat kaksi modulaarisuuden tyyppiä, jotka liittyvät toisiinsa mutta ovat toistensa vastakohtat (Swamidass P.M., 2000c). Vaihtomodulaarisuudessa kaksi tai useampia komponentteja liitetään samaan perustuotteeseen ja saadaan aikaiseksi uusia tuotevariaatioita (Österholm & Tuokko, 2001). Asiakasräätälöityihin tuotteisiin tämä on hyvä modulaarisuuden muoto, sillä tuotteen räätälöintimahdollisuudet ovat todella hyvät. Komponentin vaihtomodulaarisuutta käytetään paljon tietokoneteollisuudessa. (Swamidass P.M., 2000c)



Kuva 2. Komponentin vaihtomodulaarisuus. Mukailten lähdeä (Kamrani, 2002)

Kuvassa kaksi on kuvattu komponentin vaihtomodulaarisuus. Isot suorakulmiot kuvaavat tuotetta, ja kolmio ja neliö kuvaavat peruskomponentteja.

Komponentin jakomodulaarisuus taas käyttää samoja peruskomponentteja eri tuotteeseen (Swamidass P.M. 2000b; Österholm & Tuokko, 2001). Jokaiselle tuotteelle ei tarvitse suunnitella omia komponentteja vaan voidaan suunnitella rajapinnat siten, että ne sopivat muihinkin tuotteisiin. Komponentin jakomodulaarisuus yhdistetään usein



komponentin
standardointiin.
Komponenttien

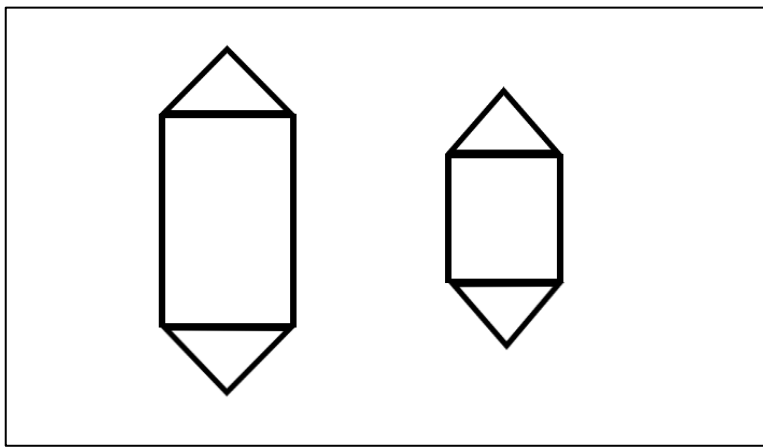
jakomodulaarisuutta käytetään paljon autoteollisuudessa, jossa esimerkiksi samoja jarrusatuloita käytetään monissa eri automalleissa ja näin säästetään suunnittelukustannuksissa. (Swamidass P.M. 2000b)

Kuva 3. Komponentin jakomodulaarisuus. Mukailten lähdettä (Kamrani, 2002)

Kuvassa kolme on kuvattu komponentin jakomodulaarisuus. Kuvassa ympyrä ja neliö kuvaavat kahta eri tuotetta, jotka jakavat saman peruskomponentin, joka kuvassa esiintyy kolmiona. Tietokoneteollisuudessa tätä modulaarisuuden tyyppiä käytetään paljon. Eri koneisiin liitetään samoja virtajohtoja, näyttöjä, hiiriä tai mikroprosessoreita. (Kamrani, 2002).

2.3.3 Parametrinen modulaarisuus

Parametrisessä modulaarisuudessa tuotteen variaatiot saadaan aikaan yhdellä tai useammalla standardikomponentilla, joihin on lisätty yksi tai useampi rajattomasti muokattava lisäkomponentti (Österholm & Tuokko, 2001). Usein variaatiot liittyvät fysikaalisiin ominaisuuksiin kuten pituuteen. Tuotteita valmistetaan tietyissä standardikoissa, joista asiakas valitsee lähinnä tarvitsemaansa. Parametrissa modulaarisuutta käytetään esimerkiksi rännien valmistuksessa. Asiakas valitsee tuotteen niillä parametreilla, jotka sopivat hänen käyttötarkoitukseensa. (Swamidass P.M. 2000d)



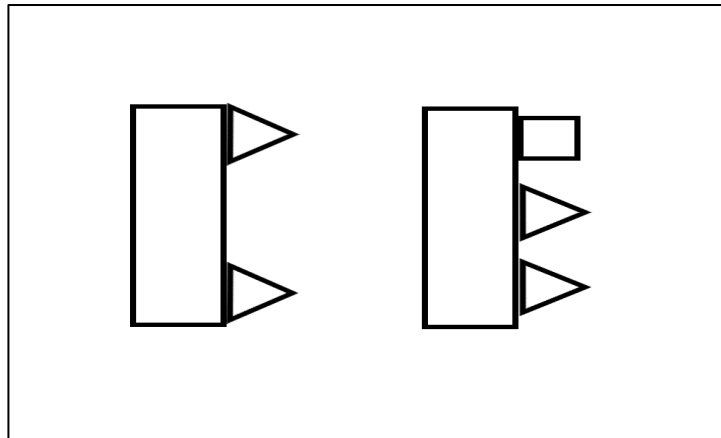
Kuva 4. Parametrinen modulaarisuus. Mukailten lähdettä (Kamrani, 2002)

Kuvassa neljä on kuvattu parametrisen modulaarisuuden toimintaperiaatetta. Suorakulmio kuvassa kuvaa tuotteen fyysisiä ominaisuuksia tässä tapauksessa pituutta. Kolmiot ovat peruskomponentteja, jotka ovat eri pituisissa tuotteissa täysin samat. (Kamrani, 2002)

2.3.4 Väylämodulaarisuus

Väylämodulaarisuudessa komponentteja voidaan kiinnittää haluttu määrä halutun mallisia komponentteja väylään, johon on mahdollista kiinnittää tietyllä rajapinnalla varustettuja komponentteja. Väylinä voi toimia esimerkiksi kiinnitystanko tai erityyppiset kiskot. (Salvador et al., 2004) Komponentit kiinnitetään kiskoon tai kannattimeen, joihin voidaan komponentteja laittaa haluttu määrä halutulle paikalle. Väylämodulaarisuutta käytetään esimerkiksi valaistuksessa ja hyllyissä. Valaistuksissa voidaan kiskoon tai tankoon kiinnittää erilaisia lamppeja valinnainen määrä. Hyllyissä voidaan hyllykön tasojen korkeutta säätää siirtämällä tasojen pidikkeitä. Tietokoneissa käytetään myös

paljon väylämodulaarisuutta. Tietokoneen liittimien paikat ovat väylä joihin voidaan liittää haluttu määrä lisäkomponentteja kuten hiiri ja näppäimistö. (Swamidass P.M. 2000a)



Kuva 5. Väylämodulaarisuus. Mukaillen lähdettä (Kamrani, 2002)

Kuvassa viisi suorakulmio kuvastaa kiskoa tai kiinnitystankoa ja kolmiot ja neliö ovat peruskomponentteja. Väylämodulaarisuudessa voidaan samaan kiinnityskiskoon kiinnittää valinnainen määrä haluttuja komponentteja tiettyyn kohtaan kiinnityskiskoa. (Kamrani, 2002)

2.3.5 Yhdistelmämodulaarisuus

Yhdistelmämodulaarisuus on modulaarisuuden muoto, jossa käytetään eri muotojen yhdistelmiä. Yleisimmät modulaarisuuden muodot, joita käytetään yhdistelmämodulaarisuudessa ovat: komponenttien vaihto-, komponenttien jako- ja parametrinen modulaarisuus. (Österholm & Tuokko, 2001)

2.4 Moduulien rajapinnat

Tuotteet ovat monimutkaisia systeemeitä, jotka muodostuvat suuresta määrästä komponentteja ja niiden välisistä vuorovaikutuksista. Moduuleiden ollessa yksittäisiä kokonaisuuksia pitää niillä olla tarkoin määritellyt rajapinnat, jotta ne voidaan yhdistää. (Cabigiosu et al., 2013) Moduulien tarkasti määritellyt rajapinnat mahdollistavat moduulien yhdistettävyyden ja komponenttien vaihdettavuuden. (Österholm & Tuokko, 2001) Yhdistettäessä moduuleja on todella tärkeää, että moduulien rajapinnat sopivat

yhteen virheettömästi. Tämän takia rajapinnat ovatkin tarkoin suunniteltu ja standardoitu. Moduuleita saatetaan tilata eri toimittajilta jolloin rajapintojen suunnittelu ja noudattaminen on erityisen tärkeää. (Islamoglu et al., 2014)

Moduulien rajapinnat voidaan määrittellä kolmella eri tavalla. Ensimmäisessä tavassa Rajapinnat määritetään avoimien standardien mukaan, kuten tietyn alan sisällä. (Fine, 1998; Cabigiosu et al., 2013) Toisessa tavassa rajapinnat ovat tarkemmin standardoituja ja eivät niin avoimia. Yrityksen tuotteissa ja projekteissa on yrityksen sisäiset vaatimukset standardeille ja rajapinnoille. (Takeishi & Fujimoto, 2001) Kolmannessa tavassa rajapinnat voivat pysyä vakaina tai vaihdella tuotekehitysprosessin myötä. Jos rajapinnat on alusta asti hyvin määritelty ne pysyvät vakaina koko tuotekehitysprosessin ajan. Vaikka rajapinnat ovat vakaita se ei tarkoita, että ne olisivat standardoituja. Ne ovat yritys- ja tuotekohtaisia ja niissä pyritään pysymään tuotekehitysprosessin alusta asti jos mahdollista. (Christensen et al., 2002; Cabigiosu et al., 2013)

3. KOKOONPANO

Kokoonpano on enemmän kuin osien yhdistämistä tuotteeksi. Se on yksi tärkeimmistä prosesseista teollisuudessa. Kokoonpano kokoaa alkupään prosessit, kuten suunnittelun, valmistuksen ja logistiikan yhteen. Tuotteet koostuvat yleensä monista osista ja osat pitävät sisällään funktioita. Kokoonpano yhdistää osien funktiot toimivaksi systeemiksi. (Whitney, 2004) Tässä luvussa käsitellään kokoonpanojärjestelmiä sekä tuotannosuunnittelua ja -ohjausta. Asioita käsitellään yleisesti mutta myös hieman joustavuuden näkökulmasta.

3.1 Kokoonpanojärjestelmät

Kokoonpanon suunnittelussa on tärkeää määritellä osat tai osakokonaisuudet tarkoin yrityksen sisällä, jolloin yritys voi käyttää ulkopuolisia toimittajia osille tai vaihtaa toimittajaa. Myös tarkoin määritellyt rajapinnat osien välillä mahdollistavat osien ja osakokonaisuuksien vaihtamisen räätälöidyn tuotteen valmistamiseksi. (Whitney, 2004)

Kokoonpanolinjat voidaan muodostaa monella eri tavalla. Linjakokoonpano, solu, yksittäinen työpiste ja erilaisilla yhdistelmillä näistä. Yleisin tuotteiden kokoonpanoon käytetty kokoonpano tyyppi on linjakokoonpano, jossa tuote kulkee yleensä hihnaa pitkin kiinnitysalustan päällä työpisteeltä toiselle. Kokoonpanolinjalle on myös kaksi eri strategia vaihtoehtoa, joita ovat monen tuotteen samanaikainen tuotanto ja erätuotanto. Nämä strategiat tulee käyttöön kun yritys haluaa valmistaa tuotteistaan eri variantteja. Monen tuotteen samanaikainen tuotanto kokoonpanolinjalla pystyy valmistamaan useita tuotteita samaan aikaan. Erätuotannossa taas valmistetaan tietyn kokoinen erä yhtä varianttia, minkä jälkeen kokoonpanolinjaan tehdään tarvittavat muutokset, jotta seuraavaa varianttia pystytään valmistamaan. Yksi vaihtoehto on myös käyttää useita kokoonpanolinjoja jos tuotteiden variantit ovat niin kaukana toisistaan ettei niitä pysty kokoonpanemaan samalla linjalla. (De Lit et al., 2003)

Kokoonpanolinjan työpisteillä suoritetaan operaatioita, jotka voidaan jakaa neljään vaiheeseen:

- Syöttäminen
- Käsitteleminen
- Liittäminen

- Tarkistus

Operaatiot suoritetaan yleensä tässä järjestyksessä mutta joitakin näistä operaatioista voidaan yhdistää yhdeksi operaatioksi esimerkiksi syöttäminen ja käsitteleminen. (De Lit et al., 2003)

Kokoonpano menetelmien lukumäärä vaihtelee siitä keneltä kysytään. Ramperstradin (1994) mukaan riippuen lähteestä menetelmiä on kahdesta kuuteen. Yleisesti tyypit on jaettu kuitenkin kolmeen eri pääkategoriaan ja ne kertovat minkä tyyppisiä laitteita kokoonpanossa käytetään. Menetelmiin kuuluvat: manuaalinen kokoonpano, joka sisältää myös semiautomaattisen kokoonpanon. Manuaalinen kokoonpano on kaikista menetelmistä joustavin. Robotisoitu kokoonpano, jota myös kutsutaan joustavaksi automatisoiduksi kokoonpanoksi. Viimeinen menetelmä on jäykästi automatisoitu kokoonpano, joka tunnetaan myös nimellä mekaaninen kokoonpano. Tämä on kokoonpanon menetelmistä kaikkein kankein. (Ramperstrad, 1994; De Lit et al., 2003) Salonitis (2014) esittelee vielä yhden hieman uudemman version kokoonpano menetelmistä. Siihen kuuluu ihmisten avustama robotisoitu linja, jolloin päästään ihmisen luomaan joustavuuteen ja luotettavuuteen sekä robottien nopeuteen ja tarkkuuteen (Salonitis, 2014).

Menetelmät vaikuttavat esimerkiksi siihen paljonko erilaisia laitteita tarvitaan ja mikä on kokoonpanon automaatioaste (Ramperstrad, 1994). Salonitisin (2014) mukaan tutkimukset näyttävät, että tuotannon automaatioasteen nousu on modulaarisuuden luonnollinen jatkumo.

Kokoonpanon menetelmän ollessa jäykästi automatisoitu tarvitaan kokoonpanossa paljon laitteita sillä usein jäykästi automatisoidussa kokoonpanossa yksi laite tekee yhden operaation tietylle tuotetyypille. Robotisoidussa kokoonpanossa on taas enemmän varaa joustolle. Robotteihin voidaan asentaa erilaisia tarttuimia, joissa voi olla useampiakin eri työkaluja. Kokoonpanoon saadaan lisää joustavuutta kun tarttuimissa on useampia eri työkaluja, jolloin samalla robotilla pystytään suorittamaan useampi operaatio. Myös tarttuimien vaihtaminen onnistuu, jolloin esimerkiksi tuote-erää vaihtaessa voidaan vaihtaa myös tarttuja. (Ramperstrad, 1994)

Kokoonpanolinja muodostuu yleensä kahden tai useamman eri menetelmän sekoituksesta. Linjalla on siis työpisteitä, joissa operaatio tehdään eri tavoin kuten manuaalisesti, käyttämällä robotiikkaa eli joustavaa automaatiota tai jollekin tietylle toimenpiteelle omistautunutta laitetta eli jäykkää automaatiota. (De Lit et al., 2003)

Kokoonpanon joustavuus voi vaikuttaa paljon kokoonpanon kustannuksiin ja monimutkaisuuteen. Joustavuuden hinta voi esimerkiksi näkyä kalliimmissa laitteissa tai

tehokkuudessa. Joustavuutta haettaessa onkin tärkeää miettiä onko joustavuuden hinta tasapainossa siitä saatavien hyötyjen kanssa. Hinnan ollessa kohtuullinen ja tehokkuuden väheneminen minimaalinen pitäisi joustavuuteen aina pyrkiä. (Dean & Shafer, 1999)

3.2 Tuotannosuunnittelu ja -ohjaus

Tuotannosuunnittelulla ja -ohjauksella on pitkä historia niin tutkimuksen ja teollisuuden kautta. Sen kaikkia ongelmia ei siltikään olla pystytty ratkaisemaan. Ennen tuotannosuunnittelu ja -ohjaus on tarkoittanut yhden yrityksen sisäistä toimintaa. Nykyään siinä pitää ottaa huomioon myös yritystenvälinen toiminta. (Kurbel, 2013)

Tuotannosuunnittelulla ja -ohjauksella on strategisia ja toiminnallisia tehtäviä. Strategiset tehtävät ovat usein pidemmän aikavälin tehtäviä kuten missä yritys sijaitsee ja millaisia tuotteita se valmistaa. Mitä lähemmäs mennään lyhyen aikavälin tehtäviä, tehtävien luonne muuttuu toimintaan keskittyvämmäksi kuten esimerkiksi valmistuksen kapasiteetti ja työjärjestysten suunnittelu. Useimmiten kun puhutaan tuotannonohjauksesta ja -suunnittelusta tarkoitetaan toimintaan liittyviä tehtäviä. Tuotannonohjaus määrittää seuraavia asioita:

- Valmistettavat tuotteet ja niiden määrät
- Raaka-aineiden ja komponenttien määrät
- Tilausten toimitus
- Kapasiteetin suunnittelu
- Tuotannon aikataulut
- Eräkokojen suunnittelu

Tuotannonohjaukseen kuuluu myös suunnitelmien tarkkaileminen ja eroavaisuuksiin puuttuminen ja pyrkiminen takaisin suunnitelman mukaiseen tilanteeseen. (Kurbel, 2013)

Materiaaliohjaus on osa tuotannosuunnittelua ja -ohjausta. Materiaalin käsitteleminen vaikuttaa usein paljon tuotannon kustannuksiin. (De Lit et al., 2003) Materiaaliohjauksella pyritään pienentämään kuljetusaikoja ja jonoja työpisteille. Materiaalin käsittely on toimenpide, joka ei lisää arvoa tuotteelle. Siihen käytetty aika pyritään siis minimoimaan. (Finnsgård & Wänström, 2013) Materiaaliohjaukseen

kuuluukin materiaalivirtojen suunnittelu, johon vaikuttaa työpisteiden etäisyydet ja kulkuyhteydet. (Herrmann et al., 1995)

Tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen tavoitteena on tehdä päätöksiä, joilla päästään mahdollisimman pienillä kustannuksilla tuotannon parhaaseen suorituskäyttöön ja kapasiteetin käyttämiseen. Kustannuksia voidaan minimoida esimerkiksi minimoimalla asetusajat, tilausten odotusajat, koneiden seisominen ja varastot. Myös asiat kuten toimitusaikoihin pääseminen vähentävät kustannuksia. (Kurbel, 2013)

4. CASE-ESIMERKKEJÄ AUTOTEOLLISUUDESTA

Pandremenos (2009) määrittelee moduulin autoteollisuudessa ryhmäksi komponentteja, jotka ovat fyysisesti lähellä toisiaan ja ovat kokoonpantu ja testattu loppukokoonpanon ulkopuolella ja ne voidaan liittää autoon yksinkertaisilla toimenpiteillä. Modulaarisuudesta on etua autoteollisuudessa mutta sillä on myös haittapuolensa ja haasteensa (Pandremenos, 2009). Tässä luvussa käsitellään modulaarisuutta autoteollisuuden näkökulmasta case-esimerkkien avulla. Ensimmäisessä case-esimerkissä kerrotaan Volvon modulaarisen tuotannon koordinoimisesta ja modulaarisuuden ongelmista sekä kuinka niistä selvittiin. Toisessa case-esimerkissä modulaarisuuden hyötyjä ja haittoja autoteollisuudessa tutkitaan simulaatiomallin avulla.

4.1 Volvo

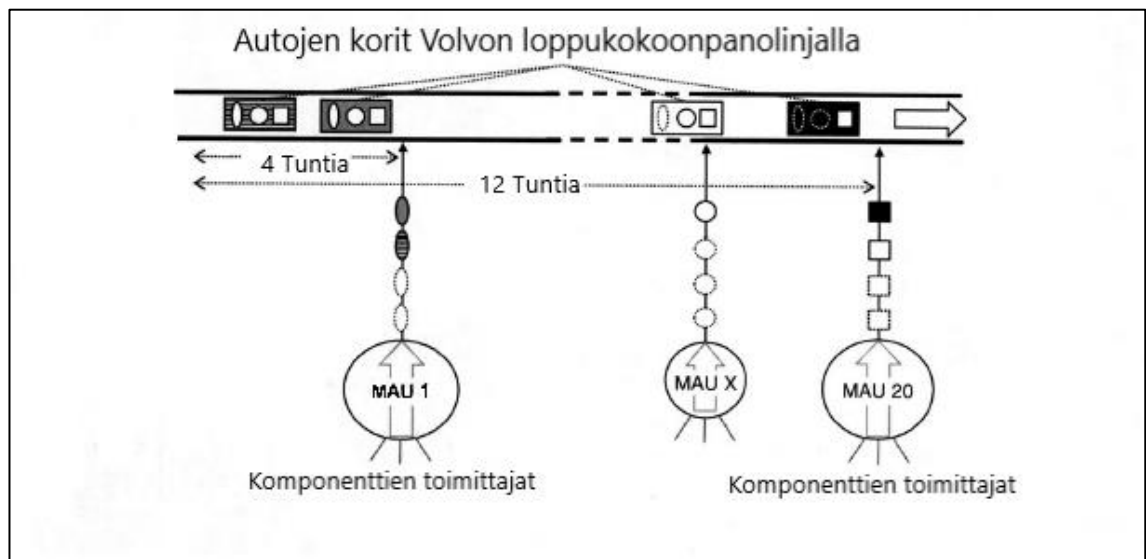
Fredriksonin (2006a) tekemän tutkimuksen lähtökohtana oli tutkia riittääkö rajapintojen tarkka määrittäminen Volvon ja ulkopuolisten toimittajien väliseksi yhteydeksi vai tarvittaisiinko muita keinoja yhteistyön parantamiseksi. Tutkimus suoritettiin tutkimalla Volvon Ruotsissa sijaitsevaa Torslandan kokoonpanotehdasta ja sen modulaarisen kokoonpanon soluja MAU:ita (Modular assembly unit). Tutkimuksen aikaan Volvo aloitti valmistamaan S80 mallia. Sen perustana käytettiin pohjaa, josta muodostui myös neljä muuta mallia: S60, V70, XC70 ja XC90. Nämä mallit pystyttiin kaikki kokoonpanemaan 23 moduulista ja moduuleita valmisti 17 eri MAU:ta. Moduuleiden rajapinnat olivat todella tarkoin määritellyt. Työmäärä, jonka MAU:t tekivät yhteensä oli melkein pä yhtä suuri kuin loppukokoonpanon. (Fredrikson, 2006a)

Volvon modulaarisen kokoonpano systeemin kulmakivinä on kolme pääkohtaa: aktiviteettien synkronointi, resurssien jakaminen sekä aktiviteettien ja resurssien kehitys. Näiden kohtien tehtävänä on taata systeemin tehokkuus ja toimivuus. (Fredrikson, 2006a)

Volvo on kehittänyt yhteistyötä heidän loppukokoonpanon eli FAU:n (Final assembly unit) ja MAU:t niin, että heidän moduulien ja valmiiden autojen toimitukset ovat taattu. Parantaakseen yhteistyötä Volvo otti käyttöön menetelmän: koordinointi suunnitelman mukaan. Siihen kuului kaksi suunnitelmaa, joista toinen kattoi seuraavat 60 viikkoa ja se päivitettiin joka viikko. Toinen suunnitelma oli paljon tarkempi ja se kattoi vain 12 viikkoa ja sitä päivitettiin päivittäin. Suunnitelmista selvisi asiakastilausten määrä sekä ennustus.

Tarkemman suunnitelman ensimmäiset seitsemän päivää perustuivat pelkästään asiakastilauksiin. Tätä osaa suunnitelmasta ei enää muutettu. Asiakastilausten perusteella tiedettiin tarkalleen mitä moduuleita tarvitaan loppukokoonpanoon, jolloin MAU:t pystyivät käyttämään resurssinsa oikein ja varmistamaan komponenttien riittävyyden. (Fredrikson, 2006a)

Moduuleita ei kumminkaan tilattu suunnitelman perusteella vaan MAU:t saivat tilauksen vain neljä tuntia ennen kuin moduuli pitää olla FAU:ssa. Ensimmäisellä MAU:illa oli aikaa vain neljä tuntia kokoonpanna ja toimittaa moduuli ja siitä hetkestä kun tilaus oli saapunut viimeisen MAU:n moduulin piti olla valmiina ja toimitettuna 12 tunnin päästä tilauksesta.



Kuva 6. Volvon loppukokoonpanolinjan moduulien aikataulutus. Mukailten lähde (Fredrikson, 2006a)

Kuvassa kuusi nähdään aikataulu, jolloin moduulien pitää olla loppukokoonpanossa tilauksen saapumisesta. Kuvassa MAU 1:stä ja MAU 20:stä lähtevät soikiot ja neliöt kuvaavat moduuleita, joiden pitää olla oikeassa järjestyksessä kokoonpanolinjalla olevien autojen mallien kanssa.

Kaikki MAU:t sijaitsivat lähellä loppukokoonpanoa, jotta aikataulussa pysyminen oli mahdollista. MAU:illa ei ollut ongelmia vastata tilauksiin jos seitsemän päivän suunnitelmaan ei tullut muutoksia. Jos suunnitelmaan tuli muutoksia, joillain MAU:illa oli ongelmia saada komponentteja, jolloin aikarajat olivat rikkoutua. Muutoksia lyhyen aikavälin suunnitelmaan tuli tutkimuksen mukaan noin viidesti viikossa. Tämä johti osalla MAU:ista komponenttien loppumiseen ja sitä kautta uusiin suunnitelman muutoksiin kun moduulia ei saatukaan FAU:lle ajoissa. Tästä alkoi suunnitelmien muutoskierte, joka vain ruokki itseään. Tätä ongelmaa pyrittiin ratkaisemaan laittamalla tärkeiden moduuleiden valmistus MAU:ille, joilla ei ollut ongelmia toimitusaikojen kanssa.

Ongelmia myös vähennettiin yhteisillä palavereilla MAU:den ja FAU:n kesken, missä saatiin tehtyä säätöjä, jotka helpottivat MAU:den työkuormaa. Esimerkkinä tutkimuksessa kerrottiin, että mallien V70 ja XC70 moduulien tekemisessä kesti kauemmin kuin mallin S80, joten palavereissa sovittiin ettei V70 ja XC70 malleja valmisteta montaa putkeen, jolloin MAU:den työkuorma vähenee. (Fredrikson, 2006a)

Laatuongelmiakin moduuleissa tuli viikoittain. Kun vika ilmeni käynnistettiin standardoitu prosessi sen selvittämiseksi. Palavereissa mietittiin MAU:den ja FAU:n välillä laatuvirheitä ja kuinka estää niitä. Kriittisempiä virheitä olivat sellaiset, jotka vaativat moduulin vaihtoa, koska silloin aika on vähissä kun auto on jo loppukokoonpanossa. (Fredrikson, 2006a)

Yhteistyö MAU:den ja FAU:n välillä on kustannustehokasta ja kannattavaa. Tutkimuksen mukaan osa MAU:ista käyttivät samoja resursseja ja lainasivat väliaikaisesti henkilöstöä FAU:n kanssa. Tämä yhteistyö kulki molempiin suuntiin. Vaikka kustannukset, joita Volvo säästi tekemällä yhteistyötä ulkopuolisten MAU:den kanssa oli vain prosentin verran. Yhteistyö nähtiin silti tärkeänä, sillä ilman resurssien jakamista MAU:t eivät olisi hankkineet samankaltaista osaamista omille palkkalistoilleen. Vaikka yhteistyötä ei ollut sovittu sopimuksella, sitä pyrittiin kehittämään ja keksimään keinoja kuinka siitä saataisiin enemmän hyötyjä irti. (Fredrikson, 2006a)

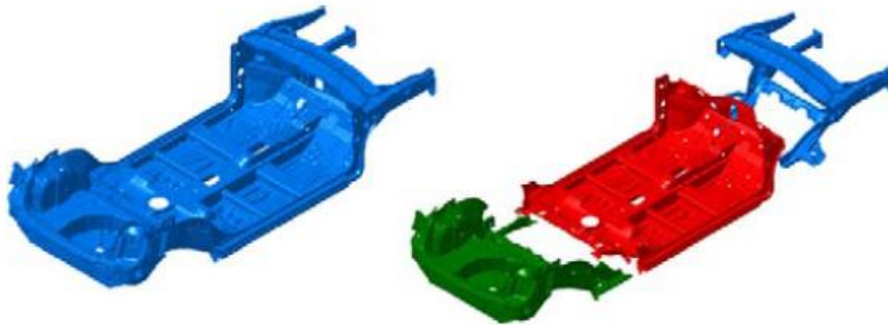
Tutkimuksen lopputuloksena nähdään, että modulaarista systeemiä ei pystytä pitämään yllä ilman vahvaa viestintää MAU:den ja FAU:n välillä. Kommunikointi pitää MAU:t ja FAU:n tiiviisti yhdessä, joka on ehto modulaarisuuden toiminnalle. MAU:n ja FAU:n välinen avoin ja vapaamuotoinen kommunikaatio nähtiin tutkimuksessa yhtenä tärkeimmistä tekijöistä. Myös vapaamuotoiset neuvottelut kasvotusten koettiin tärkeäksi nopeita ratkaisuja vaativissa tilanteissa. Tutkimuksen lopussa todetaan, että modulaarisuus on todella hyvä tuotannon muoto räätälöinnin ja kustannusten kannalta, mutta se vaatii paljon mukautumista, jotta sen kaikki hyödyt saadaan käyttöön. (Fredrikson, 2006a)

4.2 Autoteollisuuden case-tutkimus

Paralikas et al. (2011) tutkivat auton kiinteän ja modulaarisen korin ominaisuuksia kokoonpantavuuden kannalta. Auton kori kantaa ja yhdistää useita auton komponentteja kuten moottorin, vaihteiston ja jousituksen. Nämä kaikki vaikuttavat todella paljon auton jäykkyyteen. Auton kori voidaan suunnitella kiinteäksi tai modulaariseksi. (Paralikas et al., 2011)

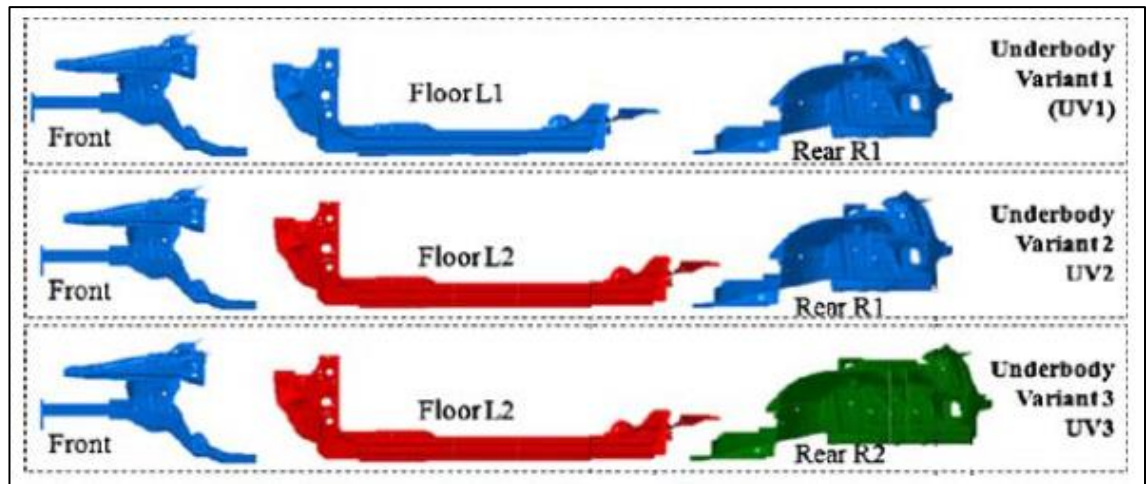
Kiinteä korirakenne on todella monimutkainen ja jos jotain korin osaa halutaan muuttaa niin nämä muutokset vaikuttavat kaikkiin ympärillä oleviin osiin. Esimerkiksi auton korin pituuden muuttaminen on kiinteällä korilla vaikeaa sillä se vaatisi todella paljon suunnittelutyötä. Kiinteä kori harvoin jakautuu useisiin tuotevariaatioihin sen joustamattomuuden johdosta ja tämän takia kiinteän korin kokoonpanolinjalla valmistetaan vain yhtä korivariaatioita. (Paralikas et al., 2011)

Modulaarinen korirakenne sisältää kolme päämoduulia jotka ovat lattia, etupää ja takapää. Modulaarisuuden etuna on, että vaihtamalla joku näistä kolmesta toiseen moduuliin saadaan uusi tuotevariantti. Tämän ansiosta myös auton pituutta pystytään muuttamaan varsin helposti vaihtamalla jokin kolmesta moduulista. Tämä muutos ei vaikuta kovinkaan moneen muuhun osaan jolloin päästään paljon helpommalla kuin kiinteän korin tapauksessa. (Paralikas et al., 2011)



Kuva 7. Kiinteä ja modulaarinen korirakenne. Kuva lähteestä: (Paralikas et al., 2011)

Kuvassa seitsemän nähdään miten kiinteä ja modulaarinen korirakenne muodostuu. Vasemmalla oleva kiinteä korirakenne on koottu komponenteista kokonaiseksi kun taas oikealla oleva modulaarinen korirakenne on koottu kolmesta moduulista. (Paralikas et al., 2011)



Kuva 8. Kolme eri korimalli varianttia. Kuva lähteestä: (Paralikas et al., 2011)

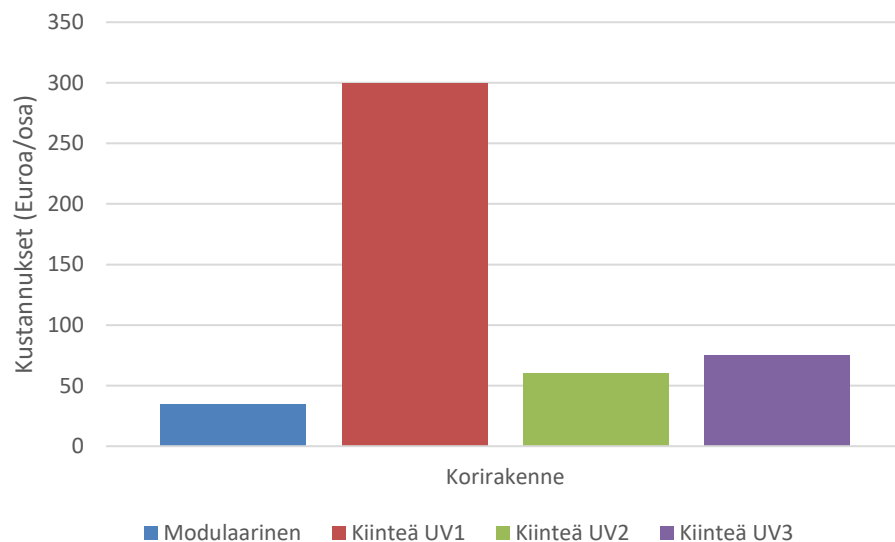
Autoista tehtiin yhteensä seitsemän eri varianttia. Kuten kuvasta kahdeksan nähdään näissä kaikissa varianteissa on sama etupään moduuli. Kolme näistä malleista coupe, avomalli ja kolmeovinen viistoperä tehtiin lyhyellä lattiamoduulilla L1 ja lyhyellä perämoduulilla R1. Näistä kolmesta moduulista muodostui korivariantti UV1. Variantti UV2 muodostaa kaksi autoa viisiovisen viistoperän ja neliovisen sedanin. Tämä variantti muodostuu muuten samoista muuten samoista moduuleista kuin UV1 mutta lattiamoduuli on pidempi malli L2. Viimeiset kaksi mallia farmari ja viisiovinen pikkupaku muodostuvat lattiamoduulista L2 ja pidemmästä perämoduulista R3. Tämän variantin nimi on UV3.

Kokoonpanojärjestelmät kiinteälle korille ja modulaariselle korille ovat hieman erilaiset. Kiinteän korin kokoonpanolinja koostuu kolmesta pääsolusta ja kolmesta alasolusta. Modulaarisen korirakenteen kokoonpanojärjestelmä taas koostuu vain kahdesta pääsolusta ja kolmesta alasolusta. Suurin ero näiden kahden kokoonpanojärjestelmän välillä on se, mitä tapahtuu pääsoluissa. Kiinteä korirakenteen pääsoluissa jatkettiin alasolujen tuotoksia. Kun taas modulaarisen korirakenteen pääsoluissa yhdistetään alasoluissa aikaansaadut moduulit yhteen. (Paralikas et al., 2011) Näiden kahden kokoonpanojärjestelmän eroista löytyy paljon hyötyjä ja haasteita. Modulaarisen korirakenteen kokoonpantavuuden etuna on sen mahdollisuus tehdä kaikki eri tuotevariantit vain yhdellä linjalla kun taas kiinteä korirakenne vaatii kolme. (Paralikas et al., 2011)

Tutkimuksessa luotiin kaupallista sovellusta käyttäen kaksi simulaatiomallia. Toinen kiinteästä korirakenteesta ja toinen modulaarisesta. Simulaatioon tehtiin muutamia oletuksia:

- Osien geometriat ovat samat molemmissa korirakenteissa
- Osien määrä kaikissa runkojen variaatioissa on sama
- Pistehitsausten määrä on sama molemmissa korirakenteissa
- Molemmissa korirakenteissa on samat materiaalit käytössä

Simulaation tuloksista saatiin selville, että kiinteällä korirakenteella pystytään vastaamaan paremmin kysyntään. Tämä johtuu siitä, että kiinteä korimalli vaatii kolme erillistä kokoonpanolinjaa, jolloin sillä on isommat resurssit vastata kysyntään. Modulaarisella rakenteella on samat resurssit valmistaa kaikkia kolmea varianttia kuin kiinteällä rakenteella yhtä. Tämän takia modulaarisella rakenteella oli vaikeuksia pysyä kysynnän perässä. Tutkimuksessa todettiin, että modulaarisella rakenteella viiveaika oli paljon pidempi (34.15 päivää) kuin kiinteällä rakenteella (0.1 päivää). Tutkimuksessa todettiin myös modulaarisen rakenteen viiveajan pienentyvän huomattavasti jos sillä olisi toinen linja käytössään. (Paralikas et al., 2011)



Kuva 9. Korirakenteiden kustannukset osaa kohden. Mukailten lähdettä: (Paralikas et al., 2011)

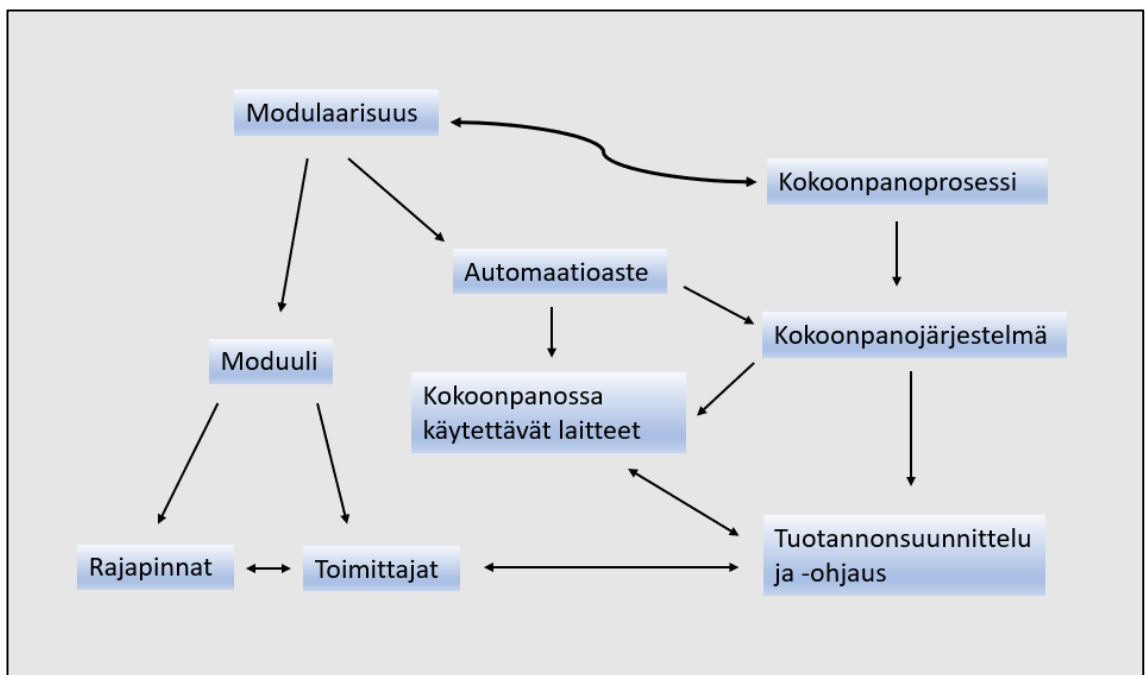
Hinnassa modulaarinen korirakenne oli selkeästi halvempi ratkaisu. Kuvassa yhdeksän on esitelty korirakenteiden keskimääräiset kustannukset yhtä osaa kohden. Modulaarisella rakenteella yhden osan hinnaksi tuli 34.38 euroa kun taas halvimmalla

kiinteän korimallin (UV2) yhden osan hinnaksi tuli 60 euroa. Kiinteällä korimallilla variaatioiden UV1 ja UV3 yhden osan kustannukset olivat 300 ja 75 euroa. (Paralikas et al., 2011)

Tutkimuksen tulos osoitti, että modulaarisen korimallin joustavuus tuo mukanaan viiveen ja heikentäen kykyä vastata kysynnän volyymin vaihteluun. Kiinteä korimalli pystyy vastaamaan kysynnän volyymin vaihteluun paremmin, mutta sillä on paljon huonompi kustannustehokkuus ja se on alttiimpi vajeatehoiselle käytölle. Se missä vaiheessa modulaarinen tai kiinteä korimalli tulee kannattavaksi ei selviä tästä tutkimuksesta. (Paralikas et al., 2011)

5. TULOKSET

Tässä luvussa käsitellään teoria-luvun ja case-esimerkkien pohjalta modulaarisuuden ja kokoonpanoprosessin vaikutuksia toisiinsa. Luvussa pyritään luomaan käsitys siitä miten modulaarisuus vaikuttaa kokoonpanojärjestelmän eri osiin ja mitkä asiat ovat tärkeitä sen kannalta.



Kuva 10. Modulaarisuuden ja kokoonpanoprosessin yhteys.

Kuvassa 10 on tehty kaavio modulaarisuuden ja kokoonpanoprosessin yhteyksistä ja siitä kuinka ne vaikuttavat toisiinsa. Modulaarisuus on jaettu kahteen mielestäni tärkeään kohtaan eli moduuliin ja automaatioasteeseen. Moduuli jakautuu vielä edelleen rajapintoihin ja moduulien toimittajiin. Kokoonpanoprosessin puolelta kokoonpanojärjestelmät on jakautunut käytettäviin laitteisiin ja tuotannosuunnitteluun ja -ohjaukseen.

Modulaarisuus parantaa tuotteen asiakasräätälöitävyyttä, yksinkertaistaa loppukokoonpanoa ja vähentää tarvittavien osien määrää. Modulaarinen tuoterakenne on myös kustannustehokas ja joustava ratkaisu. Näistä syistä modulaarisuus sopii todella hyvin autoteollisuuteen sillä useita eri malleja tehdään samalla linjalla. Autoissa on todella paljon asiakasräätelöintiä sillä asiakas voi halutessaan valita autoonsa

moottorista sisustan väriin melkeinpä mitä vain ominaisuuksia. Eli siis erilaisten variaatioiden ja mallien mahdollisuuksia on niin paljon ettei niitä pystytä etukäteen valmistamaan varastoon.

Autoteollisuuden case-tutkimuksessa todettiin modulaarisuus on kustannustehokas vaihtoehto, jolla pystytään valmistamaan useita eri malleja paljon pienemmällä linjojen lukumäärällä. Haittapuoleksi tutkimuksessa osoittautui kysynnän volyymin vaihteluun vastaaminen. Toisaalta tutkimuksessa verrattiin yhtä modulaarista linjaa kolmeen kiinteään korirakenteen linjaan. Myös Volvon tutkimuksessa mietittiin samaa ongelmaa mutta siihen oltiin Volvolla löydetty ratkaisu.

Moduuleissa tärkeää on niiden oleellisuus ja funktionaalisuus. Ihanteellisin tilanne on silloin kun yksi moduuli sisältää yhden ominaisuuden, jolloin tuotteen modulaarisuutta ja ominaisuuksia on helppo hallita asiakastarpeen mukaan. Moduuleita voidaan valmistaa yrityksen sisällä, jolloin tuotannonohjaus on helpompaa kuin ulkopuolisen toimittajan moduuleilla. Ulkopuolisen toimittajan valinnan perusteella voi olla esimerkiksi osaaminen, jota ei yritykseltä löydy tai kustannussäästöt.

Ulkopuolisen toimittajan moduuleissa rajapintojen merkitys korostuu. Rajapinnat ovat yksi tärkeimpiä asioita moduuleissa. Niiden tarkka määrittäminen ja yhteensopivuus ovat modulaarisen tuotteen kokoonpantavuuden kannalta välttämättömiä. Moduulien rajapinnat määrittävät myös tarvittavan yhteistyön määrää kahden yrityksen välillä. Jos rajapinnat ovat todella standardoituja, kuten tietokoneollisuudessa ei yhteistyötä tarvita välttämättä kovinkaan paljoa. Siirryttäessä yrityskohtaisiin standardeihin ja monimutkaisempiin tuotteisiin yhteistyön tekeminen korostuu. Myös tuotteiden rakenteen monimutkaisuus ja ainutlaatuisuus vaikuttaa rajapintojen määrittämiseen ja sitä kautta kommunikoinnin tarpeeseen.

Whitney (2004) mukaan kokoonpanossa on yleisesti tärkeää osien ja osakokonaisuuksien määrittäminen. Modulaarisessa tuoterakenteessa tämä vaatimus nousee vielä enemmän esille. Kun moduulit kokoonpannaan erillään toisistaan rajapintojen merkitys korostuu lähestyttäessä loppukokoonpanoa. Huonosti määritellyt rajapinnat ja huonosti koordinoitu yhteistyö moduuleita toimittavan yrityksen ja loppukokoonpanoa suorittavan yrityksen välillä voi johtaa suuriin ongelmiin kokoonpanovaiheessa. Tämä koskee varsinkin suurempia tuotteita, kuten autoja ja suuria koneita, jolloin välivarastojen pitäminen ei ole kannattavaa

Tuotannosuunnittelu ja -ohjaus ovat tärkeitä asioita sillä kun moduuleita valmistetaan monessa eri paikassa ja kaikki pitäisi saada ajallaan loppukokoonpanoon on olemassa riski viivästyksille ja tuotannon pysähtymiselle. Tuotannonohjauksen tarve vähenee

modulaarisella tuoterakenteella sillä modulaarisuus vähentää osien määrää, jolloin pienempiä osakokonaisuuksia on helpompi hallita. Tuotannosuunnittelu ja -ohjaus vaikuttavat myös moduulien toimittajien kanssa tehtävään yhteistyöhön.

Hyvällä tuotannosuunnittelulla ja suunnitelmien ahkeralla päivityksellä pystytään ennustamaan tarkasti kysyntää, jolloin modulaarisuus toimii todella hyvin ja tehokkaasti. Ongelmiakin tietysti tulee, jos suunnitelmiin tulee muutoksia tai moduuleiden toimittajat eivät pysy annetussa aikataulussa. Volvon tapauksessa kuitenkin pystyttiin tutkimuksenkin aikaan parantamaan yhteistyötä moduulien toimittajien kanssa. Tärkeää oli myös avoin viestintä toimittajien ja loppukokoonpanon välillä. Tästä voidaan vetää johtopäätös, että modulaarinen tuoterakenne vaatii vahvasti integroidun viestinnän moduuleita toimittavien ja loppukokoonpanoa suorittavan yritysten välillä. Varsinkin asiakasräätelöidyllä alalla ja moduulien koon ollessa todella suuri ei puskurivarastojen pitäminen ole mahdollista, jolloin pienikin virhe johtaa tuotannon pysähtymiseen. Modulaarisuudesta saadaan eniten irti silloin kun se on hyvin suunniteltua ja koordinoitua yhteistyössä moduulin toimittajien kanssa.

Kokoonpanojärjestelmän automaatioaste nousee modulaarisuuden myötä (Salonitis, 2014). Automaatioasteen nousu vaikuttaa siihen millaisia laitteita kokoonpanolinjalla käytetään. Vaikutus näkyy myös kokoonpanolinjan jäykkyydessä ja samalla tarvittavien laitteiden määrässä. Omistautuneita laitteita tarvitaan enemmän kuin esimerkiksi robotteja, joissa voi olla vaihdettavia tarttuimia, joilla pystytään tekemään useampia toimenpiteitä.

Kokoonpanolinjalla käytettävät laitteet vaikuttavat siihen kuinka paljon erilaisia tuotteita pystytään valmistamaan samaan aikaan. Toinen vaihtoehto on tehdä erätuotantoa omistautuneilla koneilla, jolloin aikaa kuluu enemmän uusien asetuksien tekemiseen. Omistautuneilla laitteilla kuitenkin tuotanto on tehokkaampaa, jolloin näiden kahden vaihtoehdon hyödyt ja haitat riippuvat täysin valmistettavasta tuotteesta. Näitä kahta vaihtoehtoa voidaan myös käyttää yhdessä, jolloin osa kokoonpanosta suoritetaan omistautuneilla koneilla ja osa joustavammilla roboteilla.

6. YHTEENVETO

Modulaarisuus parantaa asiakasräätelöitävyyttä ja on kustannustehokas ja varma tapa päästä massaräätelöitävään tuotantoon. Modulaarisuus muokkaa kokoonpanojärjestelmää ja myös vaatii muutoksia. Automaatioaste nousee modulaarisuuden myötä, mutta sen nostaminen on myös kannattavaa. Modulaarisuus yksinkertaistaa tuotteen rakennetta, jolloin kokoonpanossa resursseja tarvitaan vähemmän. Tuotannonohjaus helpottuu myös mutta sitä voidaan tarvita enemmän moduulien toimittajien kanssa.

Modulaarisen tuotteen kehitys alkaa siitä kun tutkitaan millaisille ominaisuuksille tuotteissa olisi kysyntää. Tärkeimmät ja oleellisimmat tuoteominaisuudet jaetaan moduuleihin. Tärkeää on, että yksi moduuli sisältää vain yhden ominaisuuden, jolloin tuotteen ominaisuuksia on helppo hallita. Kun ominaisuudet on jaettu moduuleihin pitää moduuleista vielä määrittää niiden rajapinnat toisiin moduuleihin yhdistämistä varten. Rajapinnat ovat tärkeä osa modulaarisuutta. Ilman selkeästi määritettyjä rajapintoja moduulien liittämässä toisiinsa tulee ongelmia. Onkin tärkeää määrittää rajapinnat todella tarkasti ja yksityiskohtaisesti varsinkin jos moduuleita toimittaa jokin toinen yritys.

Tuotteen modulaarisuus mahdollistaa perustuotteen myymistä lisävarusteilla, jotka voidaan lisätä tuotteeseen asiakkaan vaatimusten mukaan kokoonpanon jälkeen erikseen. Suurissa tuotteissa modulaarisuus tarjoaa mahdollisuuden tuotteen toimittamisen moduuleina, jolloin tuote kokoonpannaan vasta asiakkaalla. Nämä asiat tekevät modulaarisuudesta kustannustehokkaan vaihtoehdon.

Modulaarisen tuotteen kokoonpanojärjestelmän automaatioaste nousee ja vaikuttaa kokoonpanolinjalla käytettäviin laitteisiin. Automaatioasteen nousu tuo mukanaan laitteiden omistautumista, jolla päästään kokoonpanolinjan tehokkuuteen. Robotisoitu kokoonpano on myös vaihtoehto, joka on joustavampi mutta hieman vähemmän tehokas.

Tuotteessa modulaarisuus vähentää osien määrää, mikä yksinkertaistaa kokoonpanoprosessia ja näin ollen vähentää tarvetta tuotannonohjaukselle. Tuotannosuunnittelu ja -ohjaus ovat tärkeitä asioita modulaarisessa tuotteessa, koska moduulit kokoonpannaan erillään loppukokoonpanosta ja usein vielä ulkopuolisen toimijan toimesta. Varsinkin asiakasräätelöidyillä aloilla on vaikeaa ennustaa tiettyjen varianttien kysyntää, jolloin komponenttien hankkiminen moduuleita varten on hankalaa

ja toimitusaikoihin pääseminen hankaloituu. Hyvällä viestinnällä yritysten välillä pystytään tällaisia riskejä minimoimaan, mutta ei kokonaan poistamaan.

Case-esimerkeistä selviää hieman tarkempaa tietoa siitä miten modulaarisuus toimii autoteollisuudessa. Yleisiä haasteita ovat kysynnän volyymin vaihteluun vastaaminen ja toimitusajat. Toinen case-esimerkeistä oli suoritettu simuloimalla, jolloin tietoa tuotannossa tapahtuvista ongelmista ei ollut. Volvon case-esimerkissä taas oli kerrottu millaisia ongelmia toimittajien kanssa tuli, ja kuinka niitä selvitettiin.

LÄHTEET

Cabigiosu, A., Zirpoli, F. & Camuffo, A. (2013). Modularity, interfaces definition and the integration of external sources of innovation in the automotive industry. *Research Policy*. 42 (3), 662–675.

Christensen, C. M., Verlinden, M. & Westerman, G. (2002). Disruption, disintegration and the dissipation of differentiability. *Industrial and Corporate Change*. 11 (5), 955–993.

Dean, A. & Shafer, PE. (1999). *Successful Assembly Automation: A Development and Implementation Guide*.

Fine, C.H. (1998). Clockspeed: Winning industry control in the age of temporary advantage. *Sloan Management Review* 40 (1) p.104–104.

Finnsgård, C. & Wänström, C. (2013). Factors impacting manual picking on assembly lines: an experiment in the automotive industry. *International Journal of Production Research*. 51 (6), 1789–1798.

Fredriksson, P. (2006a). Mechanisms and rationales for the coordination of a modular assembly system: The case of Volvo Cars. *International Journal of Operations and Production Management*. 26 (3-4), 350–370.

Fredriksson, P. (2006b). Operations and logistics issues in modular assembly processes: cases from the automotive sector. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 17 (2), 168–186.

Herrmann, J. W., Ioannou, G., Minis, I., Nagi, R., & Proth, J. M. (1995). Design of material flow networks in manufacturing facilities. *Journal of Manufacturing Systems*, 14(4), 277.

Islamoglu, N., Ryu, K. & Moon, I. (2014). Labour productivity in modular assembly: a study of automotive module suppliers. *International Journal of Production Research*. [52 (23), 6954–6970.

Kamrani, A. (2002). 'Product design for modularity: QFD approach', in *Proceedings of the 5th Biannual World Automation Congress*. 2002 IEEE. pp. 45–50.

Kurbel, K. E. (2013). *Enterprise resource planning and supply chain management: functions, business processes and software for manufacturing companies*. Heidelberg: Springer.

Miller, T. D. & Elgård, P. (1998). *Defining Modules, Modularity and Modularization*. *Proceedings of the 13th Research Seminar*. 1998. Fuglsoe.

Ming, X., Yan, J., Lu, W., Ma, D. & Song, B. (2007). Mass production of tooling product families via modular feature-based design to manufacturing collaboration in PLM. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 18 (1), 185–195.

Pandremenos, J., Paralikas, J., Salokantis, K. & Chryssolouris, G. (2009). Modularity concepts for the automotive industry: A critical review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 1 (3), 148–152.

Paralikas, J., Fysikopoulos, A., Pandremenos, J. & Chryssolouris, G. (2011). Product modularity and assembly systems: An automotive case study. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 60 (1), 165–168.

Pierre De Lit., Delchambre, A. & Henrioud, J.-M. (2003). An integrated approach for product family and assembly system design. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*.

Sako, M & Murray, F.(2000). "Modules in design, production and use: implications for the globalautomotive industry", paper prepared for the international Motor Vehicle Program (IMVP) Annual Sponsors Meeting, Cambridge, MA, 5-7 October.

Salonitis, K. (2014). Modular design for increasing assembly automation. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 63 (1), 189–192.

Salvador, F., Rungtusanatham, M. & Forza, C. (2004). Supply-chain configurations for mass customization. *Production Planning & Control: Special Issue Mass customization*. 15 (4), 381–397.

Swamidass P.M. (2000a). BUS MODULARITY. In: Swamidass P.M. (eds) *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*. Springer, Boston, MA.

Swamidass P.M. (2000b). COMPONENT SHARING MODULARITY. In: Swamidass P.M. (eds) *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*. Springer, Boston, MA.

Swamidass P.M. (2000c). COMPONENT SWAPPING MODULARITY. In: Swamidass P.M. (eds) *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*. Springer, Boston, MA.

Swamidass P.M. (2000d). CUT-TO-FIT MODULARITY. In: Swamidass P.M. (eds) *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*. Springer, Boston, MA.

Swamidass P.M. (2000e). MIX MODULARITY. In: Swamidass P.M. (eds) *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*. Springer, Boston, MA.

Swamidass P.M. (2000f). SECTIONAL MODULARITY. In: Swamidass P.M. (eds) *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*. Springer, Boston, MA.

Takeishi, A. & Fujimoto, T. (2001) Modularization in the Auto Industry: Interlinked Multiple Hierarchies of Product, Production, and Supplier Systems. IDEAS Working Paper Series from RePEc. Available from: <http://search.proquest.com/docview/1698497776/>.

Ulrich, K. (1995) The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research Policy*. 24 (3), 419–440.

Ulrich, K. & Eppinger, S. D. (2012) *Product design and development* . 5th ed. New York, NY: McGraw-Hill Irwin.

Ulrich, K. & Tung, K. (1991). *Fundamentals of Product Modularity*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

Whitney, D. E. (2004). *Mechanical assemblies their design, manufacture, and role in product development* . New York: Oxford University Press.

Österholm, J. & Tuokko, R. (2001) *Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin : Modular function deployment* . Helsinki: Metalliteollisuuden keskusliitto.