

Santeri Sinkkonen

MASSARÄÄTÄLÖITÄVÄN TUOTANNON MAHDOLLISTAVAT TEKIJÄT

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Mikko Vanhatalo
Tammikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Santeri Sinkkonen: Massaräätälöitävän tuotannon mahdollistavat tekijät
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Konetekniikka
Tammikuu 2022

Nykymarkkinat vaativat yrityksiltä jatkuvasti enemmän yksilöityjä tuotteita lähes massatuotantohinnoin. Tämä luo markkinoille painetta luoda nopeasti mukautuvaa tarjontaa monelle eri asiakassegmentille samanaikaisesti. Näitä asiakasvaatimuksia on vaikea täyttää useilla eri integroiduilla tuotteilla, joten yritykset päätyvät käyttämään ongelman ratkaisemiseksi massaräätälöintiä. Massaräätälöinnillä tarkoitetaan suuren tuotevariaation valmistusta suurella tuotantovolyymillä.

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan, mitkä toimintatavat, työkalut ja teknologiat mahdollistavat massaräätälöintiä tuotantoprosessissa. Työ toteutetaan käyttämällä aiheeseen liittyvää luotettavaa tieteellistä kirjallisuutta. Työssä määritellään ensin mitä tarkoitetaan massaräätälöintiä mahdollistavalla tekijällä ja tunnistetaan kirjallisuudesta mahdollistajat. Sitten työ jaetaan tuotantoprosessin eri osiin ja mahdollistajia käsitellään tuotantoprosessin osien kontekstissa.

Tutkitun kirjallisuuden mukaan massaräätälöinnin pohjalla on modulaarinen tuotearkkitehtuuri, joka yksinkertaistaa useita tuotantoprosessin vaiheita. Moduulit ovat komponenttiyhdistelmiä, jotka tarjoavat asiakkaalle jonkin tietyn ominaisuuden. Moduuleja yhdistelemällä voidaan valmistaa useita eri lopputuotteita. Tuotteen rakenteen määrittelyssä ja tilauksessa käytetään konfiguraattoria, joka mahdollistaa asiakkaan tarpeiden huomioimisen tilauksen yhteydessä. Tieto asiakkaiden tarpeista ja tilausmääristä voidaan ohjata eri informaatioteknologioiden avulla komponenttitoimittajille asti, jolloin pystytään tehdä tarkkoja arvioita myös tulevista tuotantomääristä. Moduulien ansiosta myös erilaisten varastoitavien peruskomponenttien määrä vähenee, sillä monissa moduuleissa voidaan käyttää samoja peruskomponentteja. Massaräätälöintiprosessissa käytetään joustavia ja uudelleenkonfiguroitavia tuotantolinjoja yhdessä moniosaavan henkilöstön kanssa, jolloin tuotannossa pystytään reagoida muuttuviin markkinatilanteisiin nopeasti. Modulaarisuus tuo massaräätälöintiin myös kiertotaloudellisia mahdollisuuksia, sillä tuotteiden elinikää pystytään pidentää päivittämällä tuotteita uusilla moduuleilla.

Avainsanat: Massaräätälöinti, modulaarisuus, yhteissuunnittelu, konfigurointi, joustavuus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Santeri Sinkkonen: Enablers of mass customization in the production process

Bachelor's thesis

Tampere University

Mechanical engineering

January 2022

Modern markets constantly demand companies to offer customized goods within the same price range as mass produced goods. This increases the pressure to develop products to multiple consumer segments simultaneously. These constantly changing requirements are difficult to fulfill with integrated products, which leads the companies to introduce mass customization. This is a production paradigm that aims to produce a high variety of products with a high volume.

This bachelor's thesis studies the actions, tools and technologies that enable mass customization in the context of the production process. This is done by studying and gathering information from reliable scientific literature. The work begins by identifying and defining the different enablers of mass customization with the help of earlier studies. Then the work is divided into different parts of the production system and the relevant enablers are studied in the context of these parts.

According to literature, mass customization is heavily based on a modular product architecture, which simplifies many parts of the production process. Modules are considered as combinations of components that offer the customer a certain feature. By combining these modules in different ways, the customer can be offered a wide variety of end-products. The process begins with the use of a configurator. This helps the customer to define which modules will be used in the final product and which modules fit the customer's specific needs. Information about the final product and its components can be sent all the way to the suppliers with the help of modern information technologies. This information flow helps the company and its suppliers to accurately predict future market demands while keeping up with the current demand. Modularity also helps reduce the amount of unique basic components in storage, since the same basic components can be used in a variety of modules. The production lines in mass customization are built using flexible and reconfigurable tools that are operated by highly trained individuals. This way the production line can react to quickly changing market situations. Modularity also brings the company possibilities in the context of circular economy. The lifetime of modular products can be prolonged by offering the customer product updates in the form of new modules.

Keywords: Mass customization, modularity, co-design, configuration, flexibility

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. MAHDOLLISTAJIEN MÄÄRITTELY	3
3. TUOTTEEN TILAUS	6
3.1 Yhteissuunnittelu asiakkaan kanssa.....	6
3.2 Tuotekonfiguraattorit	7
3.3 Tuotteen modulaarisuuden vaikutus konfiguraattoreihin.....	8
4. TOIMITUSKETJU	11
4.1 Toimittajaintegrointi.....	11
4.2 Informaatioteknologiat ulkoisessa toimitusketjussa	12
5. VARASTOINTI	13
5.1 Ennusteiden luominen tiedon avulla.....	13
5.2 Modulaarisuus ja joustavuus varastonhallinnassa	15
5.3 Laatujohtaminen	16
6. TUOTANTO JA TYÖVOIMA	18
6.1 Modulaarisuus tuotannon mahdollistajana	18
6.2 Tuotevariaation viivytys.....	20
6.3 Joustava tuotanto.....	21
6.4 Työvoiman koulutus	23
7. TOIMITUKSEN JÄLKEINEN RÄÄTÄLÖINTI	25
7.1 Tuote- ja ohjelmistopäivitykset	25
7.2 Virtuaaliset kaksoset	26
8. YHTEENVETO.....	28
LÄHTEET	31

LYHENTEET JA MERKINNÄT

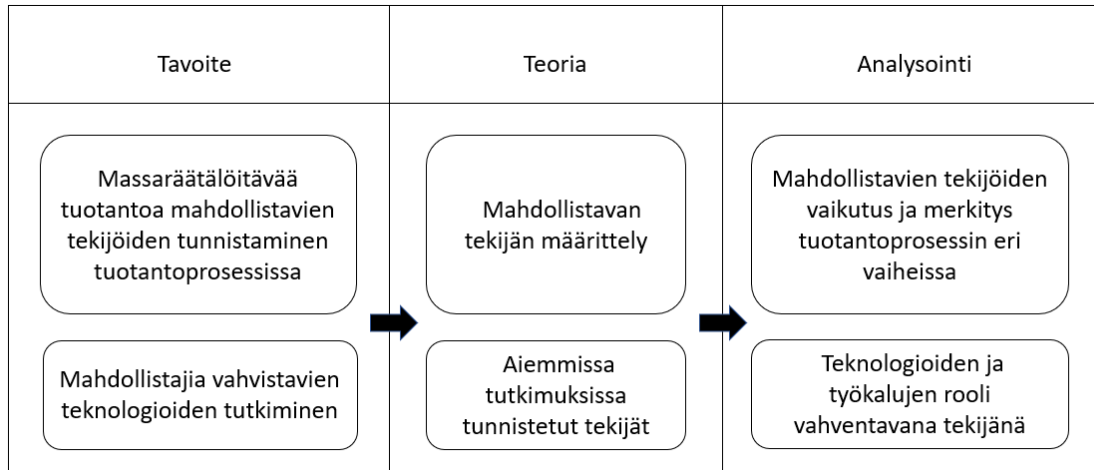
CRM	eng. Customer relationship management, asiakassuhteiden hallinta
ERP	eng. Enterprise resource planning, toiminnanohjausjärjestelmä
FMC	eng. Flexible manufacturing capability, kyvykkyys joustavaan tuotantoon
MPC	eng. Manufacturing planning and control, tuotannosuunnittelu ja -ohjaus
RFID	eng. Radio-frequency identification, radiotaajuinen tunnistus
SOA	eng. Service oriented architecture, palvelukeskeinen arkkitehtuuri
QFD	eng. Quality function deployment

1. JOHDANTO

Kysyntä yksittäisille tuotteille on muuttunut epävakaaksi. Standardoitujen massamarkkinatuotteiden suuri kysyntä on pirstaloitunut samankaltaisten tuotteiden eri versioiden kysynnäksi. (Pine 1993, s. 45) Nykymarkkinoiden asiakastarpeet ovat jatkuvan muutoksen alla ja yrityksiltä vaaditaan yksilöityjä ratkaisuja sekä nopeasti mukautuvaa tarjontaa. Yritysten eri asiakassegmentit odottavat tuotteiltaan eri asioita, mikä vaikeuttaa yksittäisen, kaikkia miellyttävän tuotteen kehittämistä lyhyessä ajassa. Asiakkaille tarjottavien vaihtoehtojen pitää pystyä kilpailemaan myös massatuotettuja, halpoja tuotteita vastaan. Tämä vaatii yritykseltä paljon resursseja tuotannon, sekä mukautuvien tuotteiden kehitykseen. Tällöin eri asiakkaille saadaan heidän tarpeisiinsa sopiva ratkaisu, asiakkaat kokevat maksavansa heidän saamansa tuotearvon mukaan ja tuotanto saadaan toteutettua kannattavasti. Tällaista tuotantoparadigmaa kutsutaan massaräätälöinniksi, jonka tavoitteena ovat samanaikaisesti suuri tuotevariaatio sekä suuret tuotantomäärät.

Massaräätälöinnillä tarkoitetaan tuotteiden kehitystä, jotka räätälöidään yksittäisille asiakkaille (Ince 2013). Termin on kehittänyt alun perin Stan Davis vuonna 1987 teoksessaan *Future Perfect* (Davis 1987), jonka jälkeen B. Joseph Pine II jalosti termistä liiketoimintastrategian teoksessa *Mass Customization: the new frontier in business competition* (Pine 1993). Lähivuosien aikana erilaiset innovaatiot ja teknologiat ovat mahdollistaneet massaräätälöinnin kehityksen pisteeseen, jossa pystytään tuottamaan samanaikaisesti suuria määriä sekä suurta tuotevariaatiota huomattavasti kilpailukykyisemmin. Massaräätälöintiä voidaan myös kuvailla tuotantoparadigmana, jolla yritetään yhdistää yksittäistuotannon, sekä massatuotannon edut. (Chen et al. 2009)

Työn tarkoituksena on tutkia, mitkä tekijät mahdollistavat tuotannon massaräätälöintiä, sekä tunnistaa ja käsitellä tekijöitä eri tuotantoprosessin vaiheista. Työ vastaa kysymykseen: millaiset teknologiat ja työkalut parantavat massaräätälöintikyvykkyyttä tuotantoprosessissa? Kuvassa 1 on havainnollistettu työn rakennetta tavoitteen, teorian, sekä teorian soveltamisen avulla.



Kuva 1. Työn tavoite, teoria, sekä analyysi.

Työssä määritellään ensin, mitä tarkoitetaan massaräätälöitävää tuotantoa mahdollistavalla tekijällä. Tämän jälkeen työn rakenne seuraa yleistä tilaus-toimitusprosessia ja tuotteen elinkaaren vaiheita tuotantoprosessin näkökulmasta. Työssä käsitellään näihin vaiheisiin liittyviä massaräätälöitävää tuotantoa mahdollistavia tekijöitä, niihin liittyviä teknologioita, sekä teknologioiden hyödyntämistä tuotantoprosessissa.

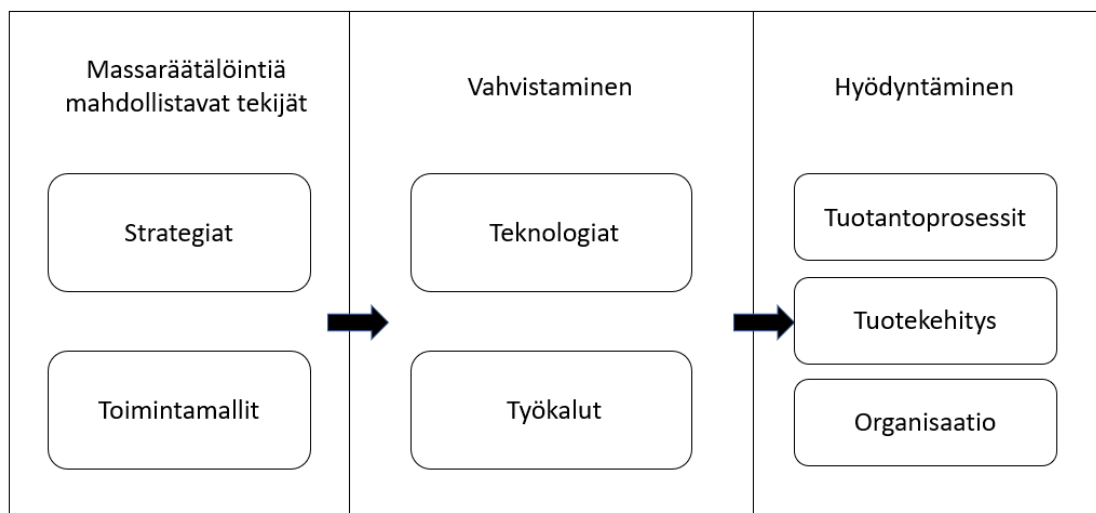
Työn alussa tunnistetut mahdollistajat perustuvat Ullahin ja Narainin (2018) esittämään teoriaan massaräätelöintiä mahdollistavista tekijöistä, sekä niiden välisistä vuorovaikutuksista. Mahdollistajia tukevia teknologioita ja työkaluja on tutkittu Andorin, Google Scholarin, ResearchGaten, sekä Scopusin kautta löydettyjen vertaisarvioitujen, luotettavien kirjallisuuslähteiden avulla.

Kirjallisuuskatsaukseen käytettyjä lähteitä on haettu yhdistämällä hakusanat 'mass customization', sekä jokin tietty tuotantoprosessiin liittyvä vaihe tai termi, kuten 'configuration'. Nämä termit on täytynyt löytyä teoksen otsikosta tai tiivistelmästä. Hakutuloksista on pyritty valitsemaan mahdollisimman tuoretta tietoa, sekä karsittu tutkimuksia, jotka eivät tutki jonkin teknologian yhteyttä massaräätelöintikyvykkyyteen. Lähteiden valinnassa on suosittu paljon viittauksia keränneitä teoksia, mikäli se on ollut mahdollista. Valittujen lähteiden tietoa on myös täydennetty alkuperäislähteillä.

2. MAHDOLLISTAJIEN MÄÄRITTELY

Erilaisia massaräätälöintiin liittyviä mahdollistajia, sekä niiden välisiä vuorovaikutuksia on tutkittu laajasti. (Ullah & Narain 2018) Tutkimukset ovat tunnistaneet useita erilaisia mahdollistavia tekijöitä ja aiemmat tutkimukset liittyvät useasti yksittäiseen tuotantoprosessin vaiheeseen tai toimintoon, kuten esimerkiksi varastohallintaan (Guo et al. 2019).

Työssä käsiteltävät massaräätälöitävää tuotantoa mahdollistavat tekijät ovat strategioita sekä toimintatapoja, jotka vaikuttavat yrityksen kykyyn tuottaa massaräätälöitäviä tuotteita kannattavasti. Mahdollistajia pystytään vahvistamaan teknologioilla ja työkaluilla, jotka muuttavat strategiat ja toimintamallit tuotannossa, tuotekehityksessä, sekä organisaation rakenteissa ja toiminnoissa näkyväksi tulokseksi. Tätä prosessia on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2. Massaräätälöintiä mahdollistavien tekijöiden vahvistaminen ja hyödyntäminen.

Mahdollistajat voidaan määritellä esimerkiksi niiden aiheuttamien vaikutusten laajuuden avulla, jolloin ne voidaan erottaa tuotantoa tehostavista tekijöistä. Tällöin mahdollistajat, sekä niitä tukevat teknologiat vaikuttavat tuotantoon niin vahvasti, että yksittäisen mahdollistajan puuttuminen tai vajaatoiminta voi tehdä tuotannosta haasteellista tai kannattamatonta.

Tätä eroa voidaan havainnollistaa esimerkiksi tuotannosuunnittelun ja yksittäisen teollisuusrobotin erolla. Aktiivisella tuotannosuunnittelulla ja ohjauksella voidaan seurata yksittäisten osien liikettä tuotannossa, sekä varmistaa räätälöidyn ratkaisun tuottaminen lähes massatuotantohinnalla. Tällöin tätä toimintamallia voidaan ajatella massaräätälöintiä mahdollistavana tekijänä. Tuotannonohjausta voidaan taas vahvistaa ERP-

järjestelmällä, jolloin tämä järjestelmä muuttaa toimintamallin tuotannossa näkyväksi tulokseksi. Yksittäinen teollisuusrobotti taas voi nopeuttaa valmistusta, vähentää yrityksen kuluja tai pienentää energiankulutusta, jolloin robotti toimii vain tuotantoa tehostavana tekijänä.

Ullah ja Narain (2018) listaavat 13 erilaista mahdollistavaa tekijää massaräätälöintiin liittyen, jotka ovat

1. strateginen orientaatio
2. yhteistoiminnalliset suhteet
3. organisaatorakenne
4. organisaatiokulttuuri
5. asiakkaan kanssa yhteissuunnittelu
6. kelpoisuus joustavaan tuotantoon
7. modulaarinen tuotearkkitehtuuri
8. moniosaava työvoima
9. logistiikkaohjaus
10. leanin sekä ketterien tuotantojärjestelmien yhdistely (engl. Leagility)
11. informaatio- ja kommunikaatioteknologiat
12. tuotannonohjaus ja -suunnittelu (engl. Manufacturing Planning and Control (MPC))
13. asiakassuhteiden hallinta (engl. Customer Relationship Management (CRM)).

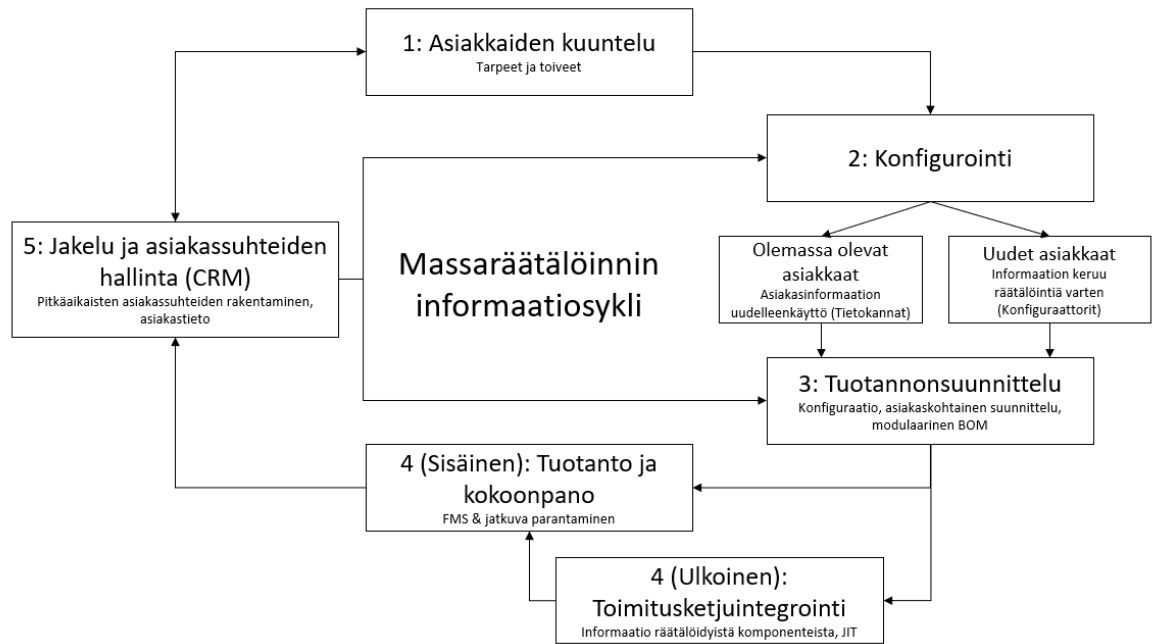
Näistä tekijöistä erityisesti yhteistoiminnalliset suhteet, asiakkaan kanssa yhteissuunnittelu, kelpoisuus joustavaan tuotantoon, modulaarinen tuotearkkitehtuuri, moniosaava työvoima, logistiikkaohjaus, Leanin ja ketterien tuotantojärjestelmien yhdistely, informaatio- ja kommunikaatioteknologiat, MPC, sekä CRM ovat vahvasti tuotantoprosessissa näkyviä tekijöitä. Työssäni keskityn edellä mainittuihin tekijöihin, sekä niiden toimintaa vahvistaviin teknologioihin ja käsittelen niitä eri tuotantoprosessin vaiheiden kontekstissa.

Massaräätälöinnin tuotantoprosessin rinnalla toimii myös massaräätälöintiprosessin informaatio- ja kommunikaatioteknologiat, MPC, sekä CRM ovat vahvasti tuotantoprosessissa näkyviä tekijöitä. Työssäni keskityn edellä mainittuihin tekijöihin, sekä niiden toimintaa vahvistaviin teknologioihin ja käsittelen niitä eri tuotantoprosessin vaiheiden kontekstissa.

Massaräätälöinnin tuotantoprosessin rinnalla toimii myös massaräätälöintiprosessin informaatio- ja kommunikaatioteknologiat, MPC, sekä CRM ovat vahvasti tuotantoprosessissa näkyviä tekijöitä. Työssäni keskityn edellä mainittuihin tekijöihin, sekä niiden toimintaa vahvistaviin teknologioihin ja käsittelen niitä eri tuotantoprosessin vaiheiden kontekstissa.

Massaräätälöinnin tuotantoprosessin rinnalla toimii myös massaräätälöintiprosessin informaatio- ja kommunikaatioteknologiat, MPC, sekä CRM ovat vahvasti tuotantoprosessissa näkyviä tekijöitä. Työssäni keskityn edellä mainittuihin tekijöihin, sekä niiden toimintaa vahvistaviin teknologioihin ja käsittelen niitä eri tuotantoprosessin vaiheiden kontekstissa.

Massaräätälöinnin tuotantoprosessin rinnalla toimii myös massaräätälöintiprosessin informaatio- ja kommunikaatioteknologiat, MPC, sekä CRM ovat vahvasti tuotantoprosessissa näkyviä tekijöitä. Työssäni keskityn edellä mainittuihin tekijöihin, sekä niiden toimintaa vahvistaviin teknologioihin ja käsittelen niitä eri tuotantoprosessin vaiheiden kontekstissa.



Kuva 3. Massaräätälöinnin informaatioisykli. Muokattu lähteestä (Reichwald et al. 2000)

Kuvasta 3 voidaan nähdä, että asiakasinformaatio on informaatioisyklin, ja sitä kautta myös tuotantoprosessin keskiössä. Asiakasinformaation jatkuvalla käsittelyllä ja informaatioteknologioilla (konfiguraattorit, tietokannat, CRM) on merkittävä rooli jokaisessa tuotantoprosessin vaiheessa. Tämän työn eri vaiheet noudattavat informaatioteknologioiden puolesta vahvasti kuvan esittämän syklin vaiheita, lisäksi kuitenkin modernin tuotantoprosessin kannalta oleelliset jakelun jälkeiset räätälöintimahdollisuudet ja kerättävän informaation hyödyntämisen.

3. TUOTTEEN TILAUS

Massaräätälöitävien tuotteiden tuotantoprosessin voidaan ajatella alkavan kyseisen tuotteen tilauksesta. Tilausprosessin toimivuuteen, asiakaskokemukseen sekä erityisesti räätälöitävän tuotteen valmistuksen kannattavuuteen vaikuttaa hyvin toteutettu tuotekonfiguraatio, joka tuo asiakkaalle mahdollisimman paljon arvoa, tuomatta ylimääräisiä tai ei-toivottuja toiminnallisuuksia tuotteeseen. Franken et al. (2010) mukaan asiakkaan kokemaan tuotearvoon vaikuttaa myös asiakkaan mahdollisuus osallistua haluamansa tuotteen suunnitteluun. Tätä osallistumisen kokemusta voidaan mahdollistaa asiakasta varten luoduilla konfiguraattoreilla sekä ostoprosessia helpottavilla vaihtoehtovalikoilla. Tuotteen tilausprosessissa massaräätälöintiä mahdollistavina tekijöinä voidaan nähdä yhteistoiminnalliset suhteet, informaatioteknologiat, modulaarinen tuotearkkitehtuuri sekä yhteissuunnittelu asiakkaan kanssa. Näitä mahdollistajia vahvistavat konfiguraattorit, jotka yhdistävät kaikki neljä edellä mainittua mahdollistavaa tekijää.

3.1 Yhteissuunnittelu asiakkaan kanssa

Kuvan 3 informaatiokyklin ensimmäinen vaihe on asiakkaan kuunteleminen. Chenin et al. (2009) mukaan massaräätälöinnissä asiakkaat eivät ole passiivisia palveluiden ja tuotteiden vastaanottajia, vaan jokaisen asiakkaan identiteetti antaa arvoja, joiden perusteella tuotteita ja palveluita suunnitellaan, tuotetaan ja toimitetaan heidän mieltymystensä mukaisesti. Jokaisen massaräätälöintiohjelman keskus täytyy olla informaatio tietyn asiakasryhmän haluista (Reichwald et al. 2000). Massaräätälöinti voidaan saavuttaa vain sitoutumalla osallistamaan työntekijät, toimittajat, jakelijat, jälleenmyyjät sekä itse loppuasiakkaat mukaan tunnistamaan sekä täyttämään heidän tarpeitaan ja halujaan (Pine 1993, s. 109). Näiden asiakasarvojen hyödyntäminen ja tiedon kerääminen on yksi massaräätälöinnin perusajatuksista. Tästä syystä asiakkaiden kanssa halutaan luoda yhteistoiminnallisia suhteita, joiden avulla yritys pystyy tarjoamaan asiakkaan mieltymyksiin perustuvia ratkaisuja. Yhteissuunnittelua pystytään toteuttamaan asiakkaita varten luoduilla alustoilla, kuten esimerkiksi Legon toteuttamalla Lego Ideas -nettisivustolla, joka mahdollistaa Legon asiakkaiden itse luomien tuotosten siirtämisen tuotantoon (Lego 2022).

Yhteistoiminnallisia suhteita pystytään mittaamaan jakamalla ne kahteen alakäsitteeseen: asiakasintegrointiin, sekä toimittajaintegrointiin. Yritykset, joissa asiakasintegrointi on korkealla tasolla, ovat onnistuneempia massaräätälöinnissä kuin yritykset, joissa integraatio on matalalla tasolla (Jitpaiboon et al. 2009). Tuotteiden vastatessa paremmin

asiakkaan tarpeisiin niistä voidaan pyytää korkeampaa hintaa (Pine 1993, s.43). Tätä asiakasintegraation sekä asiakkaan kokeman tuotearvon ja ostokäyttäytymisen välistä yhteyttä on mallinnettu myös matemaattisesti (Jost & Süsler 2020).

Yritykset, jotka osallistavat asiakkaitaan tuotteiden ja palveluiden luomisessa, saattavat ymmärtää sekä reagoida nopeammin asiakkaidensa tarpeisiin. Tämä mahdollistaa yritystä vähentämään innovointiin liittyviä riskejä. (Jitpaiboon et al. 2009) Valmistajat pysyvät täydentää omaa tuotekehitystään hyödyntämällä asiakkaidensa teknistä osaamista (Weber & Van der Laan 2014).

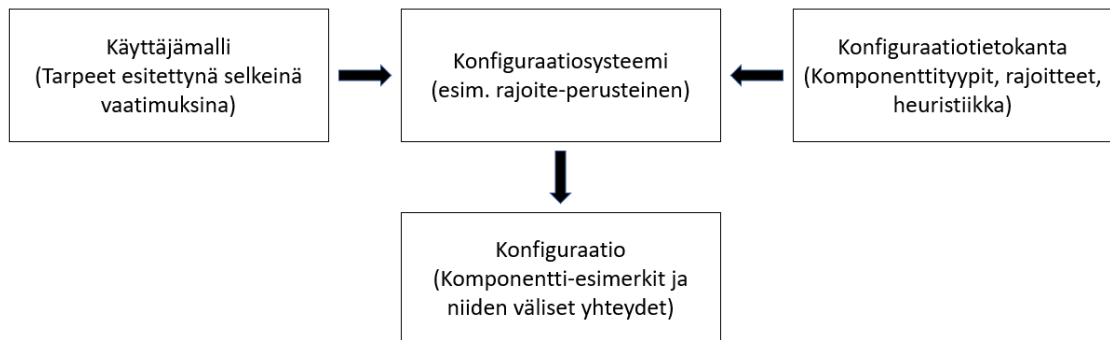
Asiakasintegraatiossa onnistuva yritys lisää todennäköisemmin uusiin tuotteisiinsa pelkästään niitä toiminnallisuuksia, jotka lisäävät tuotteeseen arvoa loppukäyttäjälle, mikä vähentää tuotteen kustannuksia (Jitpaiboon et al. 2009) ja auttaa asettamaan tuotteelle optimaalisen teho/hintayhdistelmän (Weber & Van der Laan 2014). Yhteistoiminnallisten suhteiden korkea taso voidaan saavuttaa jatkuvalla automatisoinnilla, sisäisten logistiikkafunktioiden standardisoinnilla sekä tehokkaalla informaation jakamisella ja strategisella linkkiytymisellä toimittajien ja asiakkaiden kanssa (Jitpaiboon et al. 2009).

3.2 Tuotekonfiguraattorit

Sabin ja Weigel (1998) määrittelevät konfiguroinnin suunnitteluaktiviteetiksi, jossa konfiguroitava tuote kootaan ennalta määritellystä joukosta hyvin määriteltyjä komponenttityyppejä, jotka voidaan yhdistää tietyn rajoitejoukon mukaisesti (katso Felfernig et al. 2014). Konfiguraatioteknologiat ovat kehittyneet johtavaksi teknologiaksi tukemaan massaräätälöintiä, ja ne vähentävät huomattavasti kehitys- sekä ylläpitokuluja toiminnoissa, joita tarvitaan massaräätälöinnin toteutukseen. Tietopohjaiset konfiguraattorit ovat massaräätälöintiä mahdollistava avainteknologia (Felfernig et al. 2014) ja yksi kriittisimpiä vaiheita kaikissa massaräätälöintiä tarjoavissa yrityksissä (Reichwald et al. 2000). Peng et al. (2011) väittävät web-pohjaisten konfiguraattoreiden parantavan myös asiakaspalvelukokemusta sekä asiakastyytyvyyttä. Heidän tutkimuksessaan ei kuitenkaan löydetty suoraa yhteyttä massaräätälöintikyvykkyyden ja konfiguraattoreiden välillä.

Tiihonen ja Felfernig (2017) esittävät artikkelissaan konfiguraattoriympäristön perusarkkitehtuurin, joka on esitetty kuvassa 4. Konfiguraattorit koostuvat kolmesta osasta: käyttäjämallista, konfiguraatiosysteemistä sekä konfiguraatietietokannasta. Käyttäjämalli on asiakkaan antamien vaatimuksien pohjalta luotu malli, jonka tiedot yhdistetään konfiguraatiosysteemissä rajoitteisiin, jotka saadaan konfiguraatietietokannasta. Tuloksena on konfiguraatio, joka vastaa asiakkaan vaatimukseen ja noudattaa eri osien välisiä

rajoituksia (Tiihonen ja Felfernig 2017). Asiakkaan saama tuotekonfiguraatio saattaa olla esimerkiksi luodun tuotteen osaluettelo (engl. *Bill of Materials (BoM)*) (Felfernig et al. 2014).



Kuva 4. Konfiguraatioympäristön perusarkkitehtuurin malli. Muokattu lähteestä (Tiihonen ja Felfernig 2017)

Yrityksen tarjoama suuri määrä eri tuotteita tai tuotteessa olevia muokattavia parametrejä voi myös pienentää asiakkaan ostohalukkuutta. Tätä ilmiötä kutsutaan nimellä 'massahämmennys' (engl. *mass confusion*) (Tiihonen ja Felfernig 2017). Piller et al. (2005) kertovat Joseph Pinen luoneen termin vuonna 1994 kuvaillakseen massaräätälöintiprosessin aiheuttamia taakkoja ja haittapuolia asiakkaalle. He näkevät massahämmennyksen olleen yksi suurimmista massaräätälöintitekniologioiden käyttöönoton viivytäjistä liiketoimintakäytössä. Välttääkseen massahämmennystä yritykset voivat luoda alustoja, joiden avulla asiakkaat pystyvät tukemaan toisiaan suorittamalla suunnitteluprosessin yhdessä tai antamalla palautetta ja inspiraatiota toisilleen prosessin aikana. Tällaista ratkaisua on hyödynnetty myös Legon virtuaalisella alustalla, jossa asiakkaat voivat luoda omia tuotteitaan sekä jakaa omia ideoitaan muiden käyttäjien kanssa. Felfernig et al. (2014) väittävät myös, että konfiguraattorit voivat vähentää massahämmennystä tarjoamalla asiakkaalle hakurajapinnan, joka auttaa kaventamaan relevanttien vaihtoehtojen määrää. Myös helppokäyttöiset käyttöliittymät voivat rohkaista asiakasta käyttämään konfiguraattoria itse (Felfernig et al. 2014).

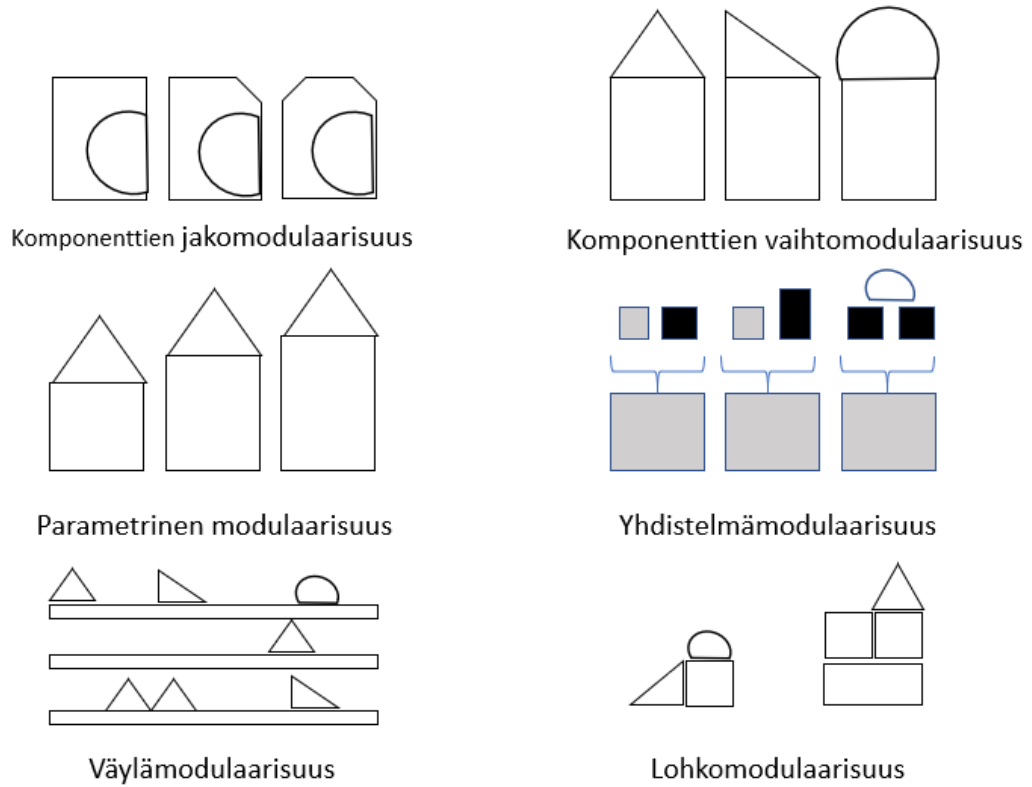
3.3 Tuotteen modulaarisuuden vaikutus konfiguraattoreihin

On tärkeää huomata, että massaräätälöinti ei tarkoita rajattomien vaihtoehtojen tarjoamista. Fyysisissä tuotteissa räätälöintimahdollisuuksia rajaa modulaarinen tuotearkkitehtuuri. Jokainen moduuli tarjoaa yhden tai useamman hyvin määritellyn toiminnon tuotteeseen. Moduulit ovat saatavilla useina vaihtoehtoina, jotka tarjoavat eri tehokkuustasoja toimintoihin, joita tuote tarjoaa. (Felfernig et al. 2014) Myös Pine (1993, s. 196)

toteaa, että paras metodi massaräätälöinnin saavuttamiseen on luoda modulaarisia komponentteja, jotka voidaan konfiguroida useiksi eri lopputuotteiksi ja palveluiksi.

Pine (1993, ss. 200–211) jakaa modulaarisuuden kuuteen eri osa-alueeseen, jotka ovat esitettynä kuvassa 5.

- Komponenttien jakomodulaarisuudessa (engl. component-sharing modularity) yhtä moduulia voidaan käyttää useissa tuotteissa.
- Komponenttien vaihtomodulaarisuudessa (engl. component-swapping modularity) samaan perustuotteeseen voidaan sijoittaa eri komponentteja, luoden uusia lopputuotteita.
- Parametrisessa modulaarisuudessa (engl. cut-to-fit modularity) yhtä tai useampaa komponenttia voidaan varioida tiettyjen mittarajojen sisällä, esimerkiksi juhlapuvun räätälöinti asiakkaan mittojen mukaan.
- Yhdistelmämodulaarisuudessa (engl. mix modularity) eri komponentteja yhdistellään siten, että saadaan luotua jotain erilaista.
- Väylämodulaarisuudessa (engl. bus modularity) tuotteen standardirakenteeseen liitetään useita erilaisia komponentteja. Termi tulee tietokoneista, joiden komponentit liitetään toisiinsa väylärakenteen kautta.
- Lohkomodulaarisuudessa (engl. sectional modularity) komponentteja voidaan yhdistellä toisiinsa vapaasti, standardoitujen rajapintojen kautta.



Kuva 5, Kuusi eri modulaarisuustyyppiä. Muokattu lähteestä (Pine 1993)

Tuotekonfiguraattoreissa modulaarisuuden avulla asiakkaalle voidaan tarjota tiettyä asiakkaan tarpeita täydentävää ominaisuutta moduulin tai moduuliyhdistelmän avulla. Peng et al. (2011) toteavat, että ilman modulaarista tuotearkkitehtuuria, erilaisia konfiguraatorteknologioita, jotka antavat asiakkaalle mahdollisuuden valita itselleen sopivimmat toiminnot, olisi vaikea hyödyntää. He väittävät myös modulaarisuuden olevan konfiguraatorteknologioiden mahdollistaja.

4. TOIMITUSKETJU

Toimitusketjun tehokas ja joustava toiminta on minkä tahansa yrityksen toiminnan kannalta tärkeä elementti, riippumatta yrityksen tuotantostrategiasta. Prajogo ja Olhager (2012) toteavat, että pitkäkestoisilla toimittajasuhteilla on sekä suoria, että epäsuoria huomattavia vaikutuksia suorituskykyyn. Epäsuorat vaikutukset tulevat informaatiointegraation, sekä logistiikkaintegraation avulla (Prajogo & Olhager 2012). Tässä tuotantoprosessin osassa massaräätälöintiä mahdollistavina tekijöinä voidaan tunnistaa yhteistoiminnalliset suhteet sekä informaatioteknologiat.

4.1 Toimittajaintegrointi

Jitpaiboon et al. (2009) tutkivat asiakas-, sekä toimittajaintegroinnin vaikutuksia yrityksen massaräätälöntikyvykkyteen. Heidän tutkimuksessaan toimittajaintegroinnilla tarkoitetaan johdon näkemystä toimittajien osallistumisen tasosta yrityksen eri arvoa lisääviin prosesseihin, kuten tilausten toteutuminen, suunnittelu ja aikataulutus, tuotekehitys sekä logistiikka (Jitpaiboon et al. 2009). Myös Lai et al. (2012) tutkivat toimittaja-, sekä asiakasintegroinnin vaikutuksia yhdessä sisäisen integroinnin kanssa massaräätälöntikyvykkyteen. Sisäinen sekä ulkoinen integraatio edistävät strategisia resursseja, jotka ovat kriittisiä massaräätälöinnin kehityksen kannalta. Heidän tutkimuksessaan toimittajaintegrointiä mitattiin yhteistoiminnallisten suhteiden ylläpidolla, läheisten kommunikatioyhteyksien ylläpidolla laatu- ja tuotemuutoksista, sekä avaintoimittajien panoksella tuotekehitysprojekteissa. (Lai et al. 2012)

Molemmissa tutkimuksissa todettiin, että toimittajaintegroinnilla oli huomattavasti pienempi, jopa huomaamaton suora vaikutus yrityksen massaräätälöntikyvykkyteen, verrattuna asiakasintegrointiin ja sisäiseen integrointiin. Myöskään epäsuoraa vaikutusta ei havaittu, vaikka sisäisellä integroinnilla ja asiakasintegroinnilla tällainen vaikutus oli nähtävissä. (Lai et al. 2012; Jitpaiboon et al. 2009) Zhang et al. (2015) toteavat, että toimittajilta saatu informaatio ei vaikuta yrityksen kykyyn räätälöidä ja konfiguroida tuotteita asiakkaiden vaatimusten perusteella, jolloin sillä ei ole vaikutusta massaräätälöntikyvykkyteen. Sen sijaan toimittajilta saatu informaatio tulee hyödyntää tuotantoprosessin kehityksessä (Zheng et al. 2015).

Vaikka toimittajaintegrointi ei itsessään vaikuta yrityksen massaräätälöntikyvykkyteen, sillä on havaittu olevan vaikutus yrityksen tehokkuuteen. Prajogo ja Olhager (2012) tutkivat pitkäaikaisten toimittajasuhteiden, informaatioteknologioiden, informaation

jakamisen sekä logistiikkaintegraation vaikutuksia yrityksen tehokkuuteen. He osoittavat tutkimuksessaan, että toimittajan ja asiakasyrityksen välistä materiaalivirran integrointia täytyy tukea informaatiointegroinnilla. Tämä auttaa toimitusketjua kehittymään suuntaan, jossa toimitusketjua ohjaa kysyntäketju. Tällöin toimittajille virtaava informaatio tulee suoraan asiakkailta. Pitkäaikaiset suhteet toimittajien kanssa auttavat kasvattamaan yhteistoiminnallista käytöstä, ja sitä kautta informaatiointegraatiota. Kaikilla näillä tekijöillä havaittiin olevan positiivisia vaikutuksia yrityksen kilpailulliseen tehokkuuteen. (Prajogo & Olhager 2012) Toimittajaintegroinnin voidaan siis sanoa olevan suuri tekijä massaräätälöintiä tarjoavan yrityksen toiminnassa. Asiakasinformaatiota pystytään hyödyntämään myös toimittajien prosesseissa, jolloin toimittaja voi esimerkiksi optimoida komponenttien valmistusmääriä, vähentäen edelleen omia kustannuksiaan. Tämä on tärkeää etenkin räätälöitävien komponenttien tai moduulien kohdalla, mikäli oletetaan tällaisten osien olevan kalliimpia valmistaa, kuin peruskomponentit. Hyvin integroidussa järjestelmässä myös asiakasyritys voi säästää esimerkiksi omissa varastointikustannuksissaan, mikäli komponenttitilaukset pystytään tehdä toimittajille suoraan kysynnän perusteella.

4.2 Informaatioteknologiat ulkoisessa toimitusketjussa

Informaation jakaminen toimittajan, sekä asiakkaan kanssa auttavat valmistajaa keräämään tietoa markkinoista, kysynnästä, raakamateriaaleista, sekä komponenteista (Lai et al. 2012). Tehtaiden välinen asiakasinformaation siirto vaatii integroidun informaatiovirran, sekä yhteiskäyttösovelluksia. (Reichwald et al. 2000)

Peng et al. (2011) tutkivat eri informaatioteknologioiden yhteyttä massaräätälöintikyvykkyteen ja havaitsivat tutkimuksessaan suoran yhteyden toimittajayhteistyöhön tarkoitettujen informaatioteknologioiden ja massaräätälöintikyvykkyyden välillä. Näiden teknologioiden sovelluskohteet liittyivät yhteisiin liiketoimintaennusteisiin, suoraan materiaalihankintaan sekä laskutukseen. Heidän havaintojen perusteella yritys voi parantaa massaräätälöintikyvykkyyttään investoimalla toimitusketjujärjestelmiin, jotka suuntautuvat toimitusketjuintegraatioon sekä yhteiseen tuote- ja prosessikehitykseen (Peng et al. 2011). Tällaisia investointeja voivat olla esimerkiksi ERP-järjestelmät, joissa tieto asiakkaiden tilauksista ja niihin liittyvistä komponenttimääristä menee myös komponenttitoimittajille.

5. VARASTOINTI

Massaräätälöitävien tuotteiden variaatioiden määrän ja vaihtoehtojen kasvaessa yrityksen varastonohjauksen tehokkuuden tärkeys korostuu. Valmistajilla on varastoitavana peruskomponentteja, koottuja osakokonaisuuksia, valmista tuotantoa sekä reklamoituja tuotteita ja komponentteja. Modulaaristen, massaräätälöitävien tuotteiden rakenne eroaa myös massatuotettavien, integroitujen tuotteiden rakenteesta, ja tämän takia myös varastointimenetelmät eroavat integroitujen tuotteiden varastoinnista. Tämän tuotantoprosessin vaiheen mahdollistajiksi voidaan tunnistaa kyvykkyys joustavaan tuotantoon, leanin sekä ketterien järjestelmien yhdistely, informaatioteknologiat, logistiikkaohjaus sekä modulaarinen tuotearkkitehtuuri.

5.1 Ennusteiden luominen tiedon avulla

Massaräätälöinti perustuu asiakkaalta saatavaan informaatioon, ja tätä samaa markkinoilta saatavaa informaatiota voidaan hyödyntää tekemällä ennusteita kysynnästä ja trendeistä varastonohjausta varten. Guo et al. (2019) esittävät ennusteiden luomiselle massaräätälöintiprosesseissa kuusi eri metodia:

1. Datalouhinnan ja yhteistoiminnallisen suodattamisen (engl. *collaborative filtering*) hyödyntäminen osto- ja mieltymysprofiili-informaation keräämisessä.
2. Objektivisen markkinatutkimustiedon keräämisen painottaminen.
3. Visualisointipalvelun käyttö yksilöidyn markkinainformaation keräämisessä.
4. Tietojohdamisen integrointi kaikkiin massaräätälöintiprosesseihin toiminnanohjausjärjestelmän (engl. *Enterprise Resource Planning (ERP)*) avulla.
5. Reaaliaikaisen datan kerääminen kehittyneillä teknologioilla, kuten radiotaajuisella etätunnistuksella (engl. *Radio Frequency Identification (RFID)*).
6. Maantieteellisten rajoitteiden poistaminen informaation käsittelyssä, etenkin pienissä ja keskisuurissa yrityksissä.

Datalouhinta ja yhteistoiminnallinen suodattaminen voivat auttaa yritystä keräämään tietoa, jolla voidaan valmistella peruskomponenttien varastointia. Markkinatutkimustieto taas voi antaa parempaa tietoa asiakkaiden tarpeista ja sitä kautta parantaa varastointisuunnittelua. (Guo et al. 2019) Tarkka tieto erilaisista asiakasprofiileista ja heidän mieltymyksistään auttaa yritystä ennakoimaan, mitä jokin tiettyyn profiiliin sopiva asiakas voi

haluta tuotteeltaan. Tällöin asiakkaalle voidaan ehdottaa ominaisuuksia tai lisäosia tuotteeseensa, edistäen myös varastonhallinnan lisäksi tilausprosesseja.

Massaräätälöitävän tuotteen visualisointi konfigurointivaiheessa voi auttaa tarkan asiakaskohtaisen informaation keräämistä, joka voi helpottaa yksittäiseen asiakasryhmään liittyvien peruskomponenttien varastonohjausta (Guo et al. 2019). Tällaisesta järjestelmästä voidaan käyttää esimerkkinä asiakkaan kehon 3D-skannausta, jota voidaan hyödyntää massaräätälöivien vaatteiden valmistuksessa (Daanen & Hong 2008).

ERP-järjestelmät tukevat massaräätälöintiä toimimalla välikätenä asiakkaiden tarpeiden muuntamisessa tuotespesifikaatioiksi ja jakamalla nämä tiedot toimittajien ja valmistajien kanssa varastonohjausta varten (Guo et al. 2019). Hong et al. (2010) mukaan pelkällä ERP-järjestelmien käytöllä ei ole kuitenkaan huomattu suoraa yhteyttä massaräätälöintitehokkuuteen. Tästä voidaan päätellä, että ERP-järjestelmien täytyy keskittyä eri toimittajien, asiakasyrityksen, sekä tuotteen tilaajien väliseen tiedonjakoon. Tällöin järjestelmällä voidaan parantaa toimitusketjuintegraatiota, joka Peng et al. (2011) mukaan parantaa massaräätälöintikyvykkyyttä.

RFID-tekniikan tehokasta reaaliaikaisen datan keräyskykyä voidaan hyödyntää massaräätälöintiprosesseissa keräämällä tietoa materiaalin toimituksesta ja kulutuksesta. Tätä tietoa voidaan käyttää ohjaamaan reaaliaikaisia tuotantopäätöksiä ja niitä seuraavia suorituksia. (Guo et al. 2019) Seuraamalla reaaliaikaista kulutusta voidaan myös vähentää paperillisen järjestelmän tuomia virheitä, sekä tehdä päätöksiä nopeasti muuttuvissa tilanteissa (Zhong et al. 2013).

Guo et al. (2019) puhuvat myös tutkimuksista, jotka ovat keskittyneet pienten ja keski suurten yritysten massaräätälöintiprosesseihin. Näiden yritysten tulisi keskittyä tiedon käsittelyn sisäiseen teollistumiseen käsitellessään peruskomponenttien sekä räätälöityjen komponenttien varastonohjausta. Perinteisessä tiedonjohtamisessa näihin prosesseihin liittyvä informaatio on maantieteellisesti rajoittunutta. (Guo et al. 2019) Svensson ja Barfod (2002) tarkentavat, että perinteisesti tuotteisiin liittyvien spesifikaatioiden luominen aiheuttaa korkeita läpimenoaikoja, kuluja, sekä matalaa laatua. Tämä johtaa siihen, että yritysten kannattaa keskittyä tuotteeseen ja tuotantoon liittyvän tiedon johtamiseen materiaalin käsittelyn sijasta (Svensson & Barfod 2002). Parantamalla tiedon muuntamista asiakkaan tarpeista tuotespesifikaatioiksi ja laajentamalla tiedonhankintaa globaalimmaksi voidaan pienentää varastotasoa ja tehostaa hankintaprosesseja.

5.2 Modulaarisuus ja joustavuus varastonhallinnassa

Guo et al. (2019) esittävät kolme metodia varastonohjaukseen, jotka keskittyvät modulaarisuuteen, sekä joustavuuteen:

1. Joustavien tuotantojärjestelmien käyttöönotto (engl. *Flexible Manufacturing Systems (FMS)*).
2. Viivytys -strategian soveltaminen (engl. *postponement / late point differentiation*).
3. Oleellisten alatoimintojen jakaminen palvelukeskeisen arkkitehtuurin kautta (engl. *Service-Oriented Architecture (SOA)*).

FMS-järjestelmät laskevat tehokkaasti yrityksen varastonohjaukseen liittyviä modulaarisuuden aiheuttamia kuluja tyydyttämällä samanaikaisesti vaaditut asiakastarpeet (Guo et al. 2019). Matta et al. (2005) määrittelevät FMS-järjestelmät automatisoituina tuotantojärjestelminä, jotka pystyvät valmistaa mitä tahansa komponenttityyppiä esimääritellystä komponenttiperheestä ilman ihmisen apua. Näitä järjestelmiä käytetään usein pienien ja keskisuurien erien valmistukseen. Järjestelmän joustavuutta rajoittaa yleensä tuoteperhe, jonka valmistukseen järjestelmä on rakennettu. (Matta et al. 2005) Joustavilla tuotantojärjestelmillä kustomoitujen osien varastointikustannukset laskevat, kun kalliita osia ei tarvitse ostaa varastoon spekulatiivisesti, vaan niitä pystytään valmistaa tilausten mukainen määrä.

Viivytys tarkoittaa massaräätälöintiprosessien, kuten esimerkiksi tuotantoprosessin ja lopputuotteen suunnittelun tahallista viivyttämistä asiakkaan tilauksen varmistumiseen asti (Guo et al. 2019). Gramanin ja Bukowinskyn (2005) mukaan massaräätälöinti voidaan saavuttaa standardoitujen puolivalmiiden tuotteiden lopullisen konfiguraation viivyttämällä. Tämä on hyödyllistä varastonohjaukselle massaräätälöinnissä, sillä varmuusvarastot pystytään määrittelemään paremmin, varastonohjausprosessi yksinkertaistuu ja varastointikustannukset laskevat. Konfiguroitavien, geneeristen tuotteiden kysyntää voidaan ennustaa kokonaisuutena, joka on tarkempaa kuin yksittäisten lopputuotteiden kysynnän ennustaminen. (Graman & Bukovinsky 2005) Tämä strategia on helppo yhdistää myös modulaarisuuteen, sillä monissa eri tuotteissa käytettäviä perusmoduuleja voidaan yhdistää räätälöitäviin moduuleihin tuotantolinjan loppuvaiheessa. Näin voidaan luoda uniikki lopputuote, ja samanaikaisesti yksinkertaistaa tuotannon alkuvaiheita. Tu et al. (2004) väittävät modulaarisuuden vähentävän huomattavasti myös tehtaalle saapuvien peruskomponenttien määrää.

Palvelukeskeinen arkkitehtuuri tunnetaan joustavasta ja luotettavasta kommunikaatioalustastaan. Se mahdollistaa useiden alatoimintojen jakamisen eri toimitusketjijäsenten

välillä, ja tarjoaa dynaamisen viitekehyksen tuotekehitykseen, sekä varastonohjaukseen massaräätälöintitoiminnoissa. (Guo et al. 2019)

5.3 Laatujohtaminen

Guo et al. (2019) mukaan ohjaamalla tuotteiden laatua yritykset pystyvät vaikuttaa tuoterekламаatioiden määrään. Tuotteen laatuun pystytään vaikuttaa jo varaston valmistelu- ja suunnitteluvaiheessa. He esittävät neljä metodia massaräätälöitävien tuotteiden laadun parantamiseen:

1. Muodosta asiakkaan tarpeet analyttisillä toiminnoilla '*Quality Function Deployment*' (QFD) avulla.
2. Käytä tietokoneavusteista suunnittelua (engl. *Computer Aided Design (CAD)*).
3. Lisää yhteistyötä eri alatoimintojen välillä yhteisohjauksen (engl. *collaborative control*) avulla.
4. Kommunikoiki kohdeasiakkaiden kanssa.

QFD:n avulla tuotteen ominaisuudet sekä kriteerit laadun ohjaamiseen esitetään asiakastarpeiden analyttisenä funktiona, joka perustuu asiakkaiden osto- ja mieltymysprofiileista saatuun tietoon. Tämä metodi voi kasvattaa varaston kokonaislaatua, sillä laatuvaatimukset ovat tarkkoja ja laatukriteerit ovat objektiivisia. (Guo et al. 2019) Analysoimalla erilaisia asiakastyyppejä ja muodostamalla niiden perusteella tarkkoja vaatimuksia tuotteen ominaisuuksista voidaan välttää ylimääräisten tai turhien ominaisuuksien kehitys. Tällöin pystytään keskittyä haluttujen ominaisuuksien ja laatukriteerien kehitykseen.

CAD-tekniikka koostuu automatisoiduista mittaräätälöintiprosesseista, jotka mahdollistavat tarkan ja yhtenäisen massaräätälöintitoiminnon. Asiakkaan itse luoma CAD-palvelun avulla tehty räätälöity tuote vastaa asiakkaan vaatimuksia, joka johtaa lopputuotteiden tasaiseen laatuun sekä tuotteen laatujohtamisen parantumiseen. Monimutkaisissa ja dynaamisissa massaräätälöintisyteemeissä on myös vaikeaa ohjata varastoa suoraan, jolloin eri alatoimintojen välisen yhteistyön kasvattaminen parantaa laatujohtamisen tasoa koko varastossa. (Guo et al. 2019)

Tiedon jakaminen asiakkaiden kanssa perustuotteista sekä räätälöitävistä tuotteista voi vähentää mahdollisia konflikteja, kuten erilaisten käsitysten syntymistä räätälöintiin liittyvistä vaatimuksista. Tällöin pystytään vähentämään virheitä tuotteen valmistelussa sekä varaston suunnittelussa. (Guo et al. 2019) Ylimääräisen tai tarpeettoman komponentti-varaston syntyminen ajatellaan massaräätälöinnissä ylimääräisinä kustannuksina

yritykselle, ja uusien räätälöitävien komponenttien tilauksesta ja asennuksesta saattaa aiheutua myös toimitusajan pitenemistä.

6. TUOTANTO JA TYÖVOIMA

Mikäli yritys pyrkii massaräätälöintiin, sen täytyy suunnitella resurssinsa tehokkaiksi, modulaarisiksi, sekä tämän kautta uudelleenkonfiguroitaviksi, riippumatta alasta. Sen sijaan, että yritys turvautuu pelkästään osaavien työntekijöidensä käsityötaitoihin, tuotantolinjatyöskentelyyn tai prosessien jatkuvaan parantamiseen, massaräätälöivän yrityksen täytyy perustua näihin kaikkiin. Se luo kyvykkyyksiä, jotka järjestävät yrityksen resurssit tehokkaasti ja nopeasti dynaamiseen verkostoon, jota ohjaa älykäs johtamiskeskus. (Victor & Boynton 1998, s.98) Massaräätälöintiprosessissa tuotannon mahdollistajiksi voidaan tunnistaa modulaarinen tuotearkkitehtuuri, kelpoisuus joustavaan tuotantoon, leanin ja ketterien tuotantojärjestelmien yhdistely, moniosaava työvoima, tuotannonohjaus- ja suunnittelu sekä informaatioteknologiat.

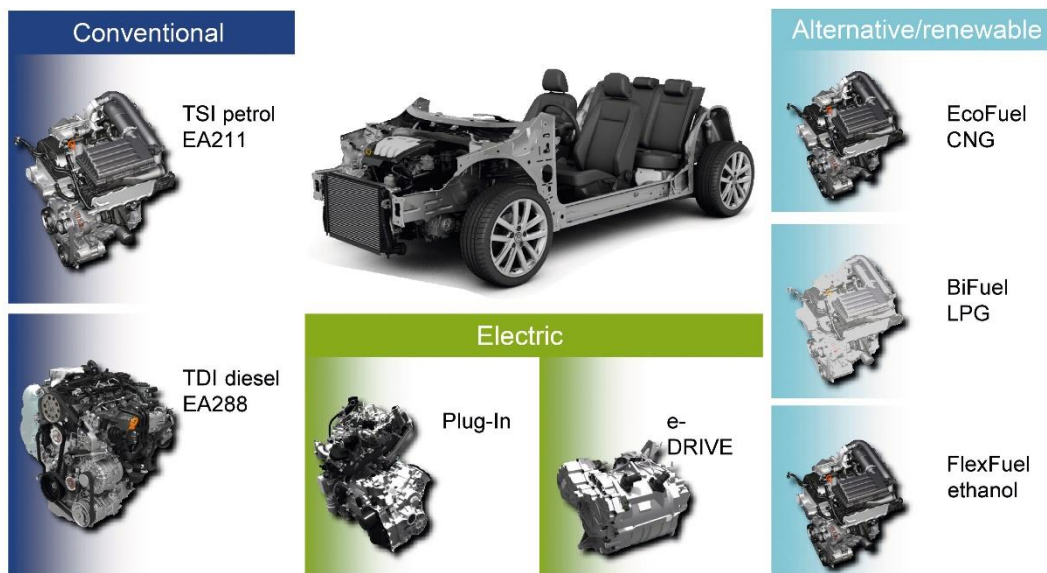
6.1 Modulaarisuus tuotannon mahdollistajana

Paras tapa massaräätälöinnin, eli kustannuksien minimoinnin ja yksilöllisen räätälöinnin maksimoinnin saavuttamiseen on luoda modulaarisia komponentteja, jotka voidaan konfiguroida laajaksi tuotevalikoimaksi sekä palveluiksi. Suurtuotannon edut saavutetaan komponenttien kautta lopputuotteiden sijasta, ja tuotevarioinnin edut saavutetaan käyttämällä samoja moduuleita useissa eri lopputuotteissa. Räätälöinti saavutetaan konfiguroitujen lopputuotteiden suurella määrällä. (Pine 1993, s.196) Peruskomponentteja voidaan siis käyttää useissa eri moduuleissa, joka vähentää erilaisten komponenttien määrää. Yhdistämällä useita moduuleja eri tavoin voidaan luoda laaja tuotevalikoima. Moduulituotanto myös yksinkertaistaa valmistusprosessia, verrattaessa jokaisen eri lopputuotteen rinnakkaiseen valmistukseen. Leen (1998) mukaan modulaarinen tuotanto ja tuotesuunnittelu voivat mahdollistaa eri moduulien rinnakkaiset tuotekehitys-, sekä valmistusprosessit, joiden avulla voidaan vähentää tuotannon kiertoaikaa (katso Yang et al. 2004).

Tu et al. (2004) jakavat modulaarisuuden kahteen osa-alueeseen: tuote-, sekä prosessimodulaarisuuteen. Tuotemodulaarisuus tarkoittaa standardoitujen tuotemoduulien käyttöä useiden eri lopputuotteiden ja tuoteperheiden valmistukseen. Prosessimodulaarisuus tarkoittaa tuotantoprosessin eri vaiheiden standardointia ja modulointia. Tällöin tuotevaatimuksien muuttuessa eri tuotantomoduulit pystytään järjestämään uudelleen tai järjestelmään voidaan lisätä uusia tuotantomoduuleja vastaamaan uusia vaatimuksia. (Tu et al. 2004)

Tuotemodulaarisuuden esimerkkinä Tu et al. (2004) esittävät NeoSystemsin kehittämän 'Modular Digital Architecture' -tietokonetuotearkkitehtuurin, jossa uudet laitteet ja tuotepäivitykset kasattiin eri toimintoja sisältävinä moduuleina perusmoduulin päälle, samaan tapaan kuin vanhoissa kotistereojärjestelmissä. Tämä ratkaisu vastaa kuvassa 5 esitetyistä moduulityypeistä eniten väylämodulaarisuutta ja lohkomodulaarisuutta. Toisena esimerkkinä voidaan esittää Volkswagen Groupin MQB -pohjalevy, joka toimii modulaarisena pohjana kymmenille eri Volkswagen Groupin valmistamille automalleille. Pohja on muokattavissa eri akseliväleille, malleille sekä ajojärjestelmille. Kuvassa 6 on esitettyä MQB -pohjalevyä, sekä siihen sopivat ajojärjestelmät.

Drive systems in MQB



Kuva 6, Volkswagen Groupin MQB -pohjalevy, sekä siihen sopivat ajojärjestelmät. (Volkswagen Newsroom 2022)

Prosessimodulaarisuudesta voidaan taas käyttää esimerkkinä Müller et al. (2013) esittämää uudelleenkonfiguroitavaa materiaalinkäsittelylaitteistoa. Järjestelmä koostuu kevyistä ja yksinkertaisista robottikäsistä, jotka voidaan vaihtaa tai siirtää helposti, mikäli kokoonpanojärjestelmä täytyy uudelleenkonfiguroida eri tehtäviä varten. Uudelleenkonfiguroitavat tuotantolinjat voivat mahdollistaa yritykselle pienten tuotantoerien, sekä laajan tuotevalikoiman valmistamisen. Jäykät tuotantolinjat sitovat paljon resursseja, jolloin myös tuotteita täytyisi valmistaa enemmän kulujen kattamiseksi.

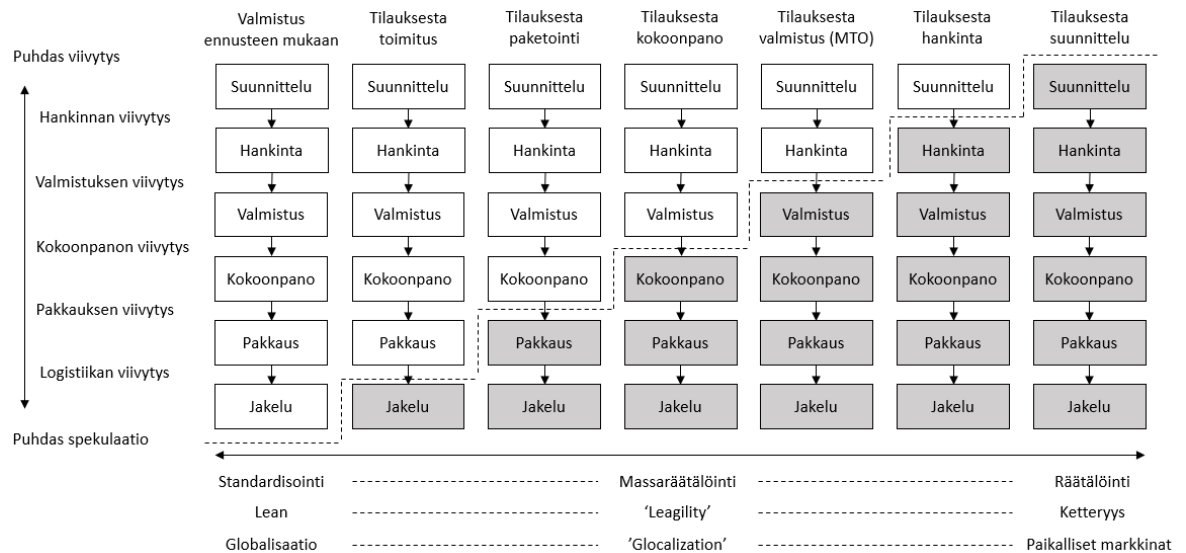
Moduloinnin osuutta massaräätälöintiprosessin kustannusten minimoimisessa on myös kyseenalaistettu. Squire et al. (2006) väittävät, että modulaarisen tuotearkkitehtuurin tuomat edut toimitusaikoihin ja valmistuskustannuksiin eivät ole huomattavissa, kun tuotteet

ovat täysin räätälöitävissä asiakkaan halujen mukaan. Sen sijaan tuotteiden osittaisessa räätälöinnissä nämä edut ovat nähtävissä (Squire et al. 2006). Tutkimuksen tuloksessa täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että uusia mahdollistajia, kuten datalouhinta on jo kehitetty, jotka voivat vaikuttaa erilaisten asiakastyyppeiden tarpeiden tutkimiseen. Tarkempi tieto eri asiakasprofiileista ja kysynnästä voi vaikuttaa myös valmistuskustannuksiin ja massaräätälöintiprosessin tehokkuuteen. Toisaalta myöskään tuotteen täydellinen räätälöinti ei ole massaräätälöinnin tarkoitus, vaan massapersonointiin (engl. *mass personalization*) liittyvä toimintatapa.

6.2 Tuotevariaation viivytyks

Tuotteiden ja tuotantoprosessien modulaarisuudella voidaan mahdollistaa myös tuotevariaation viivytyks tuotantoprosessissa. Lee (1998) mukaan modulaarinen suunnittelu tuotekehityksessä ja tuotannossa edistää viivytettävien pisteiden luomista, mutta ei yksinään vielä riitä viivytyksen soveltamiseen. Jotta viivyttäminen onnistuu, tuotekehityksessä täytyy eristää tuotteen eniten varioitava osa, jotta se voidaan lisätä viimeisenä (katso Yang et al. 2004).

Pistettä, jonka jälkeen asiakkaan tekemät päätökset tilaamastaan lopputuotteesta alkavat vaikuttaa tuotteen valmistusprosessiin kutsutaan tilauspisteeksi (engl. *Customer Order Decoupling Point*). Van Hoek (2000) mukaan tilauspisteen erottamaa lean -käytäntöjen ja ketterien menetelmien yhdistelmää kutsutaan englanniksi termillä 'leagility' (katso Ullah & Narain 2018). Tilauspisteen paikka toimitusketjussa määrittää sen, miten paljon asiakas pystyy vaikuttaa haluamaansa tuotteeseen ja sen rakenteeseen. Tämä paikka määrittää myös sen, mitä toimitusketjun vaihetta täytyy viivyttää ja mitä toimitusketjustrategiaa täytyy käyttää. Tätä tilauspisteen, massaräätälöinnin, viivytyksen ja eri toimitusketjustrategioiden yhteyttä on havainnollistettu kuvassa 7, joka perustuu Yangin et al. (2004) teoriaan.



Kuva 7. Viivytys ja eri toimitusketjustrategiat. Muokattu lähteestä (Yang et al. 2004)

Kuvassa 7 nähtävä pisteiviiva merkitsee, missä vaiheessa toimitusketjua tilauspiste sijaitsee ja miten se erottaa ennusteisiin perustuvat ja tilauksiin perustuvat vaiheet toisistaan. (Yang et al. 2004) Ennusteisiin perustuvissa vaiheissa voidaan noudattaa klassiseen massatuotantoon keskittyviä menetelmiä, kuten lean ja JIT (Just-in-Time), kun taas ketteriä menetelmiä hyödynnetään tilauksiin perustuvissa vaiheissa. Kuvasta 7 voidaan myös nähdä, että massaräätälöinnille tyypillisessä prosessissa, jossa tuotteet valmistetaan tilauksen mukaan, voidaan hyödyntää valmistuksen viivytystä. Tällöin tuotteen valmistus, kokoonpano, pakkaus ja jakelu ovat riippuvaisia asiakkaiden vaatimuksista ja haluista. Näitä prosessivaiheita viivytetään siihen asti, että asiakasinformaatio on saatavilla ja asiakas on tehnyt tilauksensa. Kuva 7 yhdistää myös massaräätälöintiin englanninkielisen termin 'glocalization', jolla tarkoitetaan Yangin et al. (2004) mukaan paikallisten markkinoiden ja globalisaation yhdistelmää, jossa paikallisesti räätälöitäviä tuotteita myydään globaaleilla markkinoilla.

Guan et al. (2012) havaitsivat, että autoteollisuudessa käytetään usein osittaista viivytysstrategiaa, jossa yhdistellään ennusteiden mukaan valmistusta, sekä viivytystä. Optimaalinen tuotantoketjustrategia on yhdistelmä spekulatiivista tuotantoa sekä viivytettyä tuotantoa (Ramón-Lumbierres et al. 2020). Asiakasinformaatioon perustuvan, viivytetyn tuotannon korkeita kustannuksia voidaan siis kompensoida valmistamalla spekulatiivisesti vakiotuotteita, joiden valmistuskustannukset ovat matalammat.

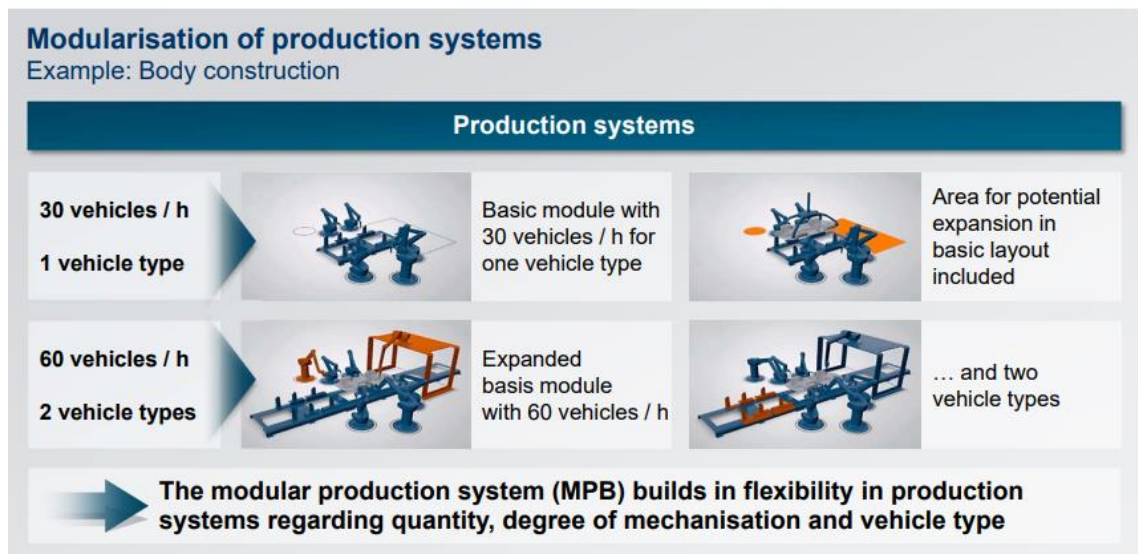
6.3 Joustava tuotanto

Variaation luomista ei voida saavuttaa tuotannossa massatuotantoon erikoistuneilla tekniikoilla. Variaation luominen vaatii joustavuutta tuotantoprosesseissa, joka on

massatuotannon antiteesi. (Pine 1993, s.46) Jäykät tuotantolinjat ja lean-menetelmät eivät yksinään riitä tuotteiden räätälöintiin, vaikka ne sopivat suurten massojen valmistukseen pienillä kustannuksilla. Massaräätälöinnissä tuotantolinjoja ja -laitteita joudutaan muokkaamaan tuotteiden tai asiakasvaatimusten muuttuessa. Tämä voidaan saavuttaa joustavilla teknologioilla ja prosesseilla.

Ullah ja Narain (2018) määrittelevät joustavan tuotantokyvykkyyden (engl. *Flexible Manufacturing Competence (FMC)*) organisaation kykyä toimittaa monimuotoisia ja laadukkaita tuotevariantteja kilpailullisella hinnalla ja toimitusajalla. Zhangin et al. (2006) mukaan FMC on yhdistelmä organisaation sisäisiä kyvykkyyksiä, kuten laitteisto-, työvoima-, materiaalinkäsittely- ja reititysjuoustavuutta (katso Ullah & Narain 2020). Näiden näkemysten mukaan kyvykkyys joustavaan tuotantoon vaatii paljon muutakin kuin pelkästään joustavia tuotantolaitteita ja -järjestelmiä.

Modulaarisuuden ja joustavien tuotantomenetelmien yhdistämisestä voidaan käyttää esimerkkinä jo aiemmin mainitun Volkswagen Groupin käyttämää MQB-pohjalevyä, sekä siihen liittyviä tuotantolaitteita. Pötschin ja Winterkornin (2012) mukaan MQB-pohjalle rakennettavien ajoneuvomallien tuotantolinjat ovat modulaarisia. Tällöin linjojen joustavuus kasvaa volyymin, koneistustason, sekä ajoneuvomallien suhteen. Joustavien työvälineiden ansiosta myös samoja työvälineitä käytetään eri automallien valmistuksessa. Volyyminjoustavuuden sekä mallijoustavuuden ansiosta tuotannosuunnittelussa voidaan paremmin reagoida muuttuvaan kysyntään. (Pötsch & Winterkorn 2012) Tätä modulaarista ja joustavaa tuotantolinjaa, sekä linjan erilaisia konfiguraatioita on havainnollistettu kuvassa 8.



Kuva 8, MQB-pohjalevyyn perustuvien automallien tuotantolinjan eri konfiguraatioesimerkkejä.

(Pötsch & Winterkorn 2012)

Joustavat teknologiat eivät itsessään kuitenkaan ole massaräätälöintimetodi. Teknologiat ovat työkaluja, jotka yhdistettynä henkilöstön kanssa auttavat saavuttamaan eri metodien kautta massaräätälöintikyvykkyyttä. (Pine 1993, s.172) Kehittyneiden tuotantomenetelmien käyttö yhdessä joustavan henkilöstöhallinnon kanssa johtaa massaräätälöinnissä tarvittavaan nopeaan reagoitukykyyn, ilman ylimääräisiä kustannuksia, viiveitä, tai prosessihäiriöitä. (Ullah & Narain 2018)

6.4 Työvoiman koulutus

Eri teknologioiden ja autonomisten prosessien myötä ihmisten vastuulle organisaatioissa jää päätöksenteko sekä eri laitteiden ja järjestelmien hallinta. Tämä vaatii työvoimalta laajaa koulutusta. Työvoiman osaamisen roolia massaräätälöintiprosesseissa painotetaan myös kirjallisuudessa tästä syystä. Ullah ja Narain (2018) mukaan massaräätälöintiprosesseissa työntekijät, joilla on laajaa monialaista osaamista helpottavat innovaatioiden luomista jokaisessa arvoketjun vaiheessa. Tämä auttaa yritystä saavuttamaan suorituskykytasoja, joita ei voi saavuttaa muilla menetelmillä (Ullah & Narain 2018).

Hart (1995) mukaan organisaatorakenteen, sekä kehittyneiden teknologioiden kehityksen lisäksi yrityksille on ensisijaisen tärkeää muodostaa moniosaavista ja mukautuvista henkilöistä tiimejä, jotka ovat omistautuneita saavuttamaan organisaation tavoitteita (katso Ullah & Narain 2020).

Ullah ja Narain (2020) tutkivat FMC:n ja työntekijöiden johtamistapojen vaikutusta massaräätälöintikyvykkyyteen ja havaitsivat, että molemmilla tekijöillä on suora ja huomattava vaikutus massaräätälöintikyvykkyyteen. Tämän lisäksi he havaitsivat työntekijöiden johtamistapojen parantavan huomattavasti FMC:n vaikutusta massaräätälöintikyvykkyyteen. Näihin johtamistavat liittyvät työntekijäkeskeiseen toimintaan, ryhmädynamiikkaan, sekä työntekijöiden valtuuttamiseen. (Ullah & Narain 2020) Tämä havainto vahvistaa myös Pinen (1993) näkemystä joustavuuden ja työvoiman välisestä yhteydestä.

Joustavuuden lisäksi myös modulaarisuus on yhdistettävissä työntekijöiden johtamiseen liittyviin tekijöihin. Tu et al. (2004) kuvailevat modulaarisuutta ja henkilöstöhallintoa yhdistävää dynaamista tiimirakentamista (engl. Dynamic Teaming) tapana, jossa henkilöstön modulaarisella rakenteella mahdollistetaan henkilöstön nopea uudelleenjärjestely sekä linkittäminen tarpeellisiin resursseihin vastauksena muuttuviin valmistusprosesseihin tai tuoterakenteisiin. Dynaaminen tiimirakentaminen on riippuvainen asiakkailta saatavasta tarkasta tiedosta, ja edellyttää yrityksiltä tehokasta sekä nopeaa tiimien uudelleenkonfigurointia (Tu et al. 2004). Tämä vahvistaa myös käsitystä siitä, että työvoiman

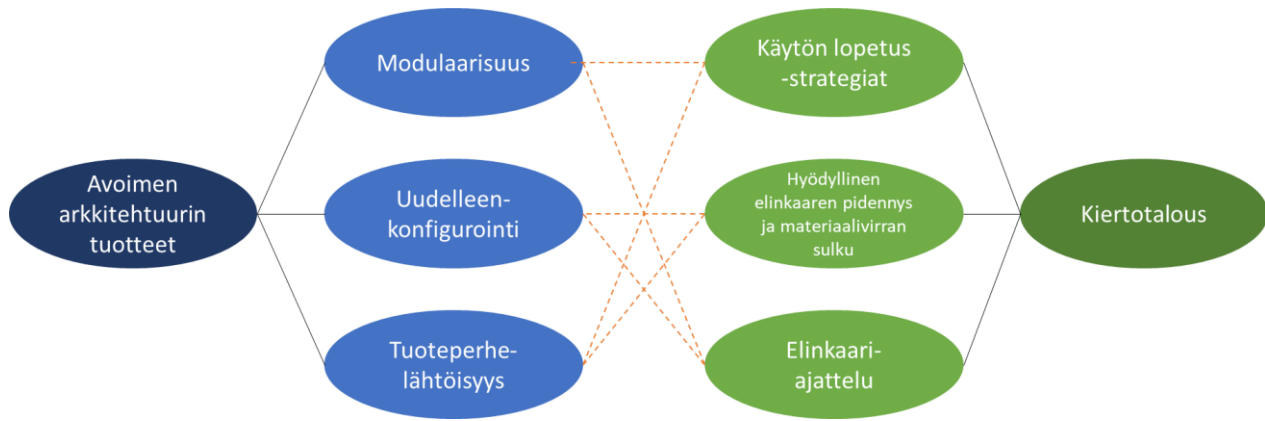
ohjaamisella on vaikutus joustavuuteen ja sitä kautta itse massaräätälöintikyvykkyyteen. Mikäli henkilöstöä halutaan järjestää uudelleen eri toimintoihin ja työsoluihin, heillä täytyy olla osaamista useista eri valmistusprosessin vaiheista ja käytettävistä laitteista tai ohjelmistoista.

7. TOIMITUKSEN JÄLKEINEN RÄÄTÄLÖINTI

Massaräätälöitävien tuotteiden modulaarisen rakenteen ansiosta tuotteita voidaan vielä toimituksen jälkeenkin räätälöidä ja asiakkaille voidaan tarjota uusia tuoteominaisuuksia erillisten moduulien muodossa. Tällä tavalla tuotteiden elinikää voidaan pidentää, vähentäen samalla tuotteeseen liittyviä päästöjä. Samanlaista tuotteen päivitystä tai uudelleenkonfigurointia toimituksen jälkeen on huomattavasti vaikeampaa, tai jopa mahdotonta saavuttaa integroiduissa tuotteissa niiden rakenteen vuoksi. Mesan et al. (2019) mukaan tämä tuotteen elinkaaren pidentäminen yhdistää modulaariset tuotteet kiertotaloudellisiin toimintatapoihin. Hora et al. (2016) esittävät myös kiertotalouteen ja massaräätälöintiin liittyvien toimintatapojen yhdistämistä yhtenäiseksi liiketoimintamalliksi, joka korostaa yhteissuunnittelun, modulaarisuuden, tuoteplatformien sekä tilauksesta valmistuksen kiertotaloudellisia puolia. Tässä tuotantovaiheessa voidaan tunnistaa massaräätälöintiä mahdollistaviksi tekijöiksi modulaarisuus, informaatio-, ja kommunikaatioteknologiat, sekä asiakassuhteiden hallinta.

7.1 Tuote- ja ohjelmistopäivitykset

Tehokkaan asiakassuhteiden hallinnan avulla massaräätälöitävien tuotteiden käyttäjille pystytään tarjota mahdollisuuksia päivittää tuotteitaan. Mesan et al. (2016) mukaan tuotteiden uudelleenkonfigurointi koostuu tuotteen rakenteellisten ja toiminnallisten komponenttien vaihtamisesta. Tällaista konfiguraation muutosta voidaan myös ajatella parannuksena, jolla saavutetaan uusi tuotevariantti (Mesa et al. 2019). Horan et al. (2016) mukaan tuotteen koko elinkaaren huomioiminen tuotesuunnitteluprosessin alussa mahdollistaa modulaarisuuden kanssa tuotteen päivittämisen sekä kierrätettävyyden. He esittävät myös case-esimerkin, jossa internettiin kytkettyihin TV-laitteisiin voidaan tarjota ohjelmistopäivityksiä ja uusia palveluja asiakkaan tarpeiden mukaan (Hora et al. 2016). Vaikka edellä mainittu case-esimerkki onkin enemmän palvelukeskeinen, eikä valmistavan teollisuuden esimerkki, se tarjoaa hyvän kuvan uudelleenkonfiguroinnin toimintaperiaatteesta. Kuvassa 9 on kuvattu avoimen arkkitehtuurin tuotteiden sekä kiertotalouden yhdistäviä tekijöitä.



Kuva 9, Avoimen arkkitehtuurin tuotteiden, sekä kiertotalouden yhdistävät tekijät. Muokattu lähteestä (Mesa et al. 2016)

Kuvasta 9 voidaan nähdä, että kiertotalous ja sen periaatteet nivoutuvat hyvin myös massaräätälöinnissä tunnettuihin tekijöihin. Näiden ominaisuuksien takia massaräätelöintiä tarjoavat yritykset saavat myös kilpailuedun integroituja tuotteita tarjoaviin yrityksiin, sillä modulaariset tuotteet tarjoavat asiakkaalle uusia tai paranneltuja ominaisuuksia yksittäisen moduulin muodossa. Integroidun tuotteen päivityksessä jouduttaisiin usein hankkimaan täysin uusi laite, joka voi johtaa myös ei-toivottujen ominaisuuksien hankintaan tai kompromissien tekemiseen ominaisuuksien puolesta. Tämä voi myös johtaa ylimääräisiin kustannuksiin ja materiaalien turhaan kulutukseen.

On myös tärkeää huomata, että yritys tarvitsee hyvät kommunikointikanavat olemassa oleviin asiakkaisiin tarjotakseen uusia ominaisuuksia tai päivityksiä aiemmin hankittuihin tuotteisiin. Mikäli asiakkaan nykyisen konfiguraation tiedot ovat myös olemassa yrityksen tietokannassa, yritys pystyy tekemään ehdotuksia päivityksestä tarkastelemalla nykyistä konfiguraatiota. Tällöin asiakasta ei kuormiteta aloittamalla konfiguraatioprosessia täysin uudestaan.

7.2 Virtuaaliset kaksoset

Modernien informaatioteknologioiden avulla pystytään luomaan virtuaalisia kaksosia (engl. *digital twin*) olemassa olevista tuotteista ja tuotantolaitoksista. Näiden avulla reaali maailman tilanteita pystytään simuloida käyttämällä reaaliaikaista dataa, ja esimerkiksi vertaamaan näitä tuloksia reaalityönteeseen ja sen käyttäytymiseen. Tämä nopeuttaa suunnitteluprosessia niin tuotteen kuin tuotannon puolella. Myös moniparametrisia, modulaarisia tuotteita ja tuotantojärjestelmiä pystytään optimoimaan vaatimusten mukaisesti. Tämä on hyödyllistä etenkin uudelleenkonfiguroinnin kannalta. Limin et al. (2021) mukaan virtuaalisiin kaksosiin pohjautuvia lähestymistapoja muotoillaan tuotannossa

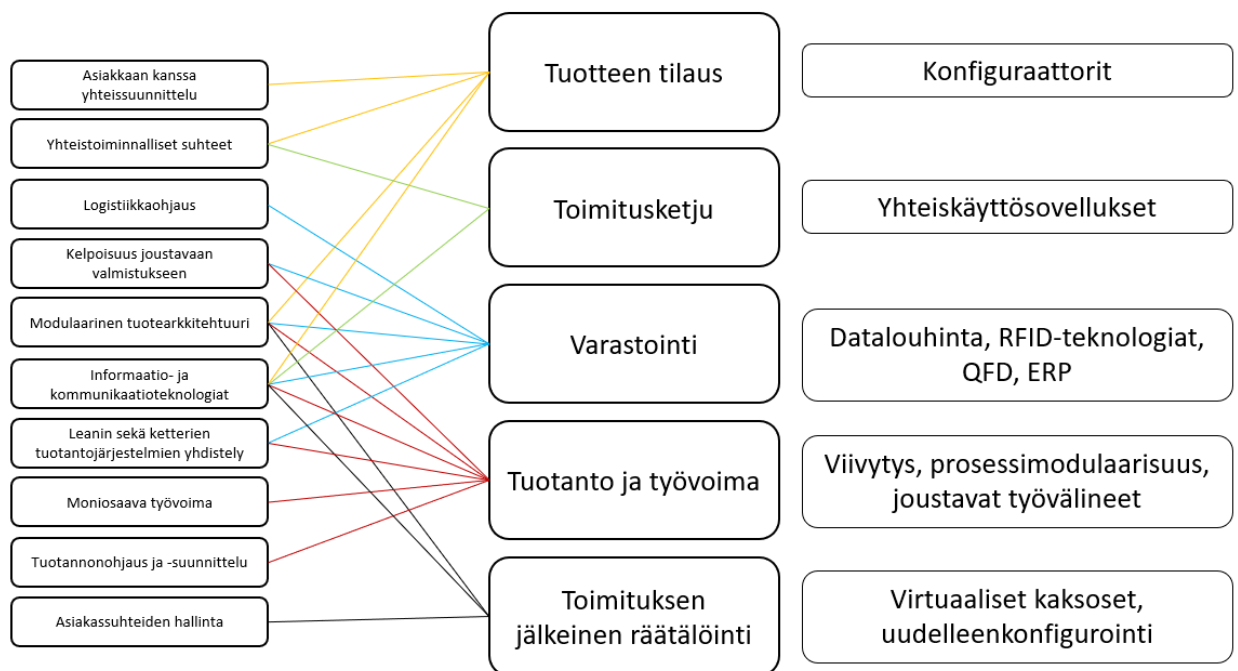
massaräätälöinnin saavuttamiseksi, sekä älykkäiden tuotepalvelujärjestelmien käyttöönottoon.

Virtuaalisten kaksosten käytöllä pystytään myös monitoroimaan käytössä olevien tuotteiden tai laitteiden kuntoa. Teknologiayritys IBM käyttää virtuaalisia kaksosia ennustamaan laitteiston vikaantumisia ja optimoimaan huoltoaikataulutusta (Ahleroff et al. 2020). Myös Tesla käyttää virtuaalisia kaksosia jokaisen yksittäisen auton toimivuuden arviointiin ja vika-analysien tekoon (Coors-Blankenship, 2020). Leng et al. (2020) esittävät myös virtuaalisiin kaksosiin pohjautuvan mallin, jonka avulla automatisoituja tuotantojärjestelmiä voidaan uudelleenkonfiguroida. Näiden esimerkkien pohjalta voidaan ajatella, että käytössä olevia modulaarisia tuotteita voitaisiin virtuaalisten kaksosten avulla monitoroida. Tällöin konfiguraation toimivuutta voitaisiin arvioida käytön aikana, ja mahdollisesti reagoida konfiguraation epäkohtiin tarjoamalla asiakkaalle heidän käyttöönsä paremmin soveltuvia konfiguraatioita. Virtuaalisilla kaksosilla voitaisiin siten korostaa modulaarisuuden hyviä puolia tarjoamalla asiakkaalle lisäarvoa tunnistamalla paremmin toimivia moduuleja.

8. YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia kirjallisuuslähteiden avulla, mitkä tekijät mahdollistavat tuotannon massaräätälöintiä, sekä tunnistaa ja käsitellä tekijöitä eri tuotantoprosessin vaiheisiin liittyen. Tavoitteena oli vastata tutkimuskysymyksen: 'Millaiset teknologiat ja työkalut parantavat massaräätälöintikyvykkyyttä tuotantoprosessissa?'. Työn alussa määriteltiin, mitä tarkoitetaan massaräätälöintiä mahdollistavalla tekijällä, sekä tunnistettiin kirjallisuudessa mainittuja mahdollistajia. Tämän jälkeen työ jaettiin tuotantoprosessin eri vaiheisiin ja massaräätälöitäviä tekijöitä käsiteltiin prosessivaihe kerrallaan.

Massaräätälöinnillä tarkoitetaan tuotantoparadigmaa, joka yhdistää räätälöidyn tuotannon massatuotantoon. Moderneilla työkaluilla ja tuotantolaitteilla mahdollistetaan samanaikaisesti suuri tuotevariaatio, sekä suuri tuotantomäärä. Kirjallisuuden avulla löydetty mahdollistajat, niiden yhteydet tuotantoprosessin eri osiin sekä mahdollistajia tukevat teknologiat ja toimintatavat ovat koottuna kuvassa 10.



Kuva 10. Massaräätälöitävän tuotannon mahdollistajat, niiden yhteydet tuotantoprosessin eri osiin, sekä mahdollistajia tukevat teknologiat ja toimintatavat.

Tuotteen tilausprosessissa modulaarinen tuotearkkitehtuuri luo parametrit ja pohjan, jonka mukaan asiakas voi konfiguraattorin avulla muokata tuotteesta omiin tarpeisiinsa sopivan variaation. Tällöin asiakas on mukana lopputuotteen suunnitteluprosessissa ja välttyy ylimääräisten tai ei-toivottujen ominaisuuksien hankinnalta. Konfiguraattori toimii

tässä tuotantovaiheessa edellä mainittuja mahdollistajia yhdistävänä ja vahventavana tekijänä, jonka toiminta perustuu yksittäisten moduulien avulla tarjottaviin toimintoihin ja vaihtoehtoihin.

Toimitusketjuun liittyviksi massaräätälöinnin mahdollistajiksi tunnistettiin yhteistoiminnalliset suhteet, sekä informaatioteknologiat. Kirjallisuuden perusteella toimittajaintegroinnin ja massaräätälöintikyvykkyyden välillä ei havaittu suoraa eikä epäsuoraa suhdetta, mutta tutkimukset korostivat pitkäaikaisten toimittajasuhteiden kasvattavan yhteistoiminnallista käytöstä sekä informaatiointegraatiota. Nämä parantavat yrityksen kilpailullista tehokkuutta. Yrityksen tulee pyrkiä luomaan informaatiovirta tukemaan materiaalivirtaa asiakkaan, yrityksen sekä toimittajien välille. Tätä voidaan edistää yhteiskäyttösovelluksilla, jotka yhdistävät ja tukevat edellä mainittuja mahdollistajia.

Varastoinnissa modulaarisen tuotearkkitehtuurin ansiosta varastoitavien peruskomponenttien määrä vähenee, kun samoja peruskomponentteja käytetään useissa eri lopputuotteissa. Varastossa olevien räätälöitävien komponenttien määrää voidaan myös minimoida käyttämällä viivytystrategiaa. Peruskomponenttien kysyntää voidaan ennustaa moderneilla datalouhintamenetelmillä ja yhteistoiminnallisella suodattamisella. Tuotannon reaaliaikaisen datan keruu esimerkiksi RFID-tekniikalla voi vähentää paperillisen järjestelmän tuomia virheitä ja nopeuttaa strategisten päätösten tekoa. Tuotteiden laatua ohjaamalla voidaan vähentää reklamaatioiden määrää. Laatua voidaan parantaa määrittelemällä kriteerit laadun ohjaamiseen QFD:n avulla sekä jakamalla tarkkaa tietoa tuotteista asiakkaiden kanssa.

Samaan tapaan kuten varastoinnissa, myös tuotannossa hyödytään viivytyksestä ja modulaarisuudesta. Räätälöitävien komponenttien ja moduulien asennus aloitetaan tilauksen varmistuttua, jolloin voidaan varmistua siitä, että lopputuote on asiakkaan tarpeiden mukainen. Modulaaristen prosessien ansiosta joustavia työkaluja sisältäviä tuotantolinjoja voidaan myös konfiguroida vastaamaan haluttua kapasiteettia ja valmistettavaa tuotetta. Näitä joustavia työkaluja käyttävät ja ohjaavat laajasti koulutetut työntekijät. Koulutuksen ansiosta tiimejä voidaan myös rakentaa dynaamisesti, jolloin tiimejä voidaan muodostaa ja järjestää uudelleen vastauksena muuttuviin prosesseihin tai tuoterakenteisiin.

Toimituksen jälkeinen räätälöinti on massaräätälöinnin etu, jota integroiduilla tuotteilla on lähes mahdotonta saavuttaa. Asiakkaalle voidaan tarjota käytössä olevaan tuotteeseen uusia toimintoja yksittäisten moduulien muodossa. Tuotteen elinikää voidaan myös pidentää vaihtamalla käytöstä poistettava moduuli uuteen. Tämä yhdistää massaräätälöinnin myös kiertotaloudellisiin periaatteisiin, jota voidaan itsessään pitää myös

kilpailuetuna. Asiakkaan nykyistä konfiguraatiota voidaan myös monitoroida virtuaalisen kaksosen avulla, jolloin asiakkaalle voidaan käyttödatan perusteella ehdottaa paremmin toimivia konfiguraatioita tai ennakoida huoltotoimenpiteitä.

Työn kokoamisen aikana huomattiin, että useat tutkimukset keskittyvät modulaaristen ja massaräätälöitävien tuotteiden suunnitteluun, jolloin tutkimustietoa tuotantoprosessin eri vaiheista oli vähemmän. Monet löydetyistä tutkimuksista keskittyivät myös jonkin yksittäisen työkalun käyttöön tuotantoprosessin yhteydessä, ja massaräätälöintikyvykkyyden kasvattamiseen keskittyviä teoksia löytyi niukasti.

Jatkotutkimuksena olisi mielenkiintoista syventyä esimerkiksi massaräätälöinnin case-esimerkkeihin. Monet nykytutkimuksista ovat varsin teoreettisia, tai ne paljastavat tutkittuista yrityksistä ja tuotteista hyvin vähän. Tieto toimivista massaräätälöitävistä tuotteista ja niiden tuotantoprosesseista täydentäisi teoreettista nykytietoa.

LÄHTEET

- Aheleroff, S., Zhong, R. Y. & Xu, X. 2020. "A Digital Twin Reference for Mass Personalization in Industry 4.0." *Procedia CIRP*, 93, pp. 228–233.
- Chen, S., Wang, Y. & Tseng, M.M. 2009 "Mass customisation as a collaborative engineering effort", *Int. J. Collaborative Engineering*, Vol. 1, Nos. 1/2, pp. 152–167.
- Coors-Blankenship, J. 2020, Industryweek, "Taking Digital Twins for a Test Drive with Tesla, Apple, industryweek.com, Saatavissa: <https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/21130033/how-digital-twins-are-raising-the-stakes-on-product-development> (viitattu 15.1.2022).
- Daanen, H. & Hong, S. 2008, "Made-to-measure pattern development based on 3D whole body scans", *International journal of clothing science and technology*, vol. 20, no. 1, pp. 15–25.
- Davis, S. 1987, "Future Perfect" Reading, MA, 106.
- Felfernig, A., Hotz, L., Bagley, C. & Tiihonen, J. 2014, "Knowledge-Based Configuration", 1st edn, Morgan Kaufmann.
- Franke, N., Schreier, M. & Kaiser, U. 2010, "The "I Designed It Myself" Effect in Mass Customization", *Management Science*, vol. 56, no. 1, pp. 125–140.
- Graman, G.A. & Bukovinsky, D.M. 2005, "From mass production to mass customization: Postponement of inventory differentiation", *The Journal of corporate accounting & finance*, vol. 17, no. 1, pp. 61–65.
- Guan, X.J., Xie, Z.M. & Wang, X. 2012, "Partial Postponement Strategy: Application in Automobile Manufacturers." *Advanced Materials Research*. Vol. 443. Trans Tech Publications Ltd.
- Guo, S., Choi, T., Shen, B. & Jung, S. 2019, "Inventory Management in Mass Customization Operations: A Review", *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 66, no. 3, pp. 412–428.
- Hong, P.C., Dobrzykowski, D.D. & Vonderembse, M.A. 2010, "Integration of supply chain IT and lean practices for mass customization: Benchmarking of product and service focused manufacturers", *Benchmarking: an international journal*, vol. 17, no. 4, pp. 561–592.
- Hora, M., Hankammer, S., Canetta, L., Sel, S. K., Gomez, S. & Gahrens, S. 2016. "Designing business models for sustainable mass customization: a framework proposal". *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 7(4), pp. 143–152.
- Ince, D. 2013, "Mass customization", Oxford University Press.
- Jitpaiboon, T., Dangols, R. & Walters, J. 2009, "The study of cooperative relationships and mass customization", *Management Research News*, Vol.32 No.9, pp. 804–815.
- Jost, P. & Süsser, T. 2020, "Company-customer interaction in mass customization", *International Journal of Production Economics*, vol. 220, 107454.
- Lai, F., Zhang, M., Lee, D.M.S. & Zhao, X. 2012, "The Impact of Supply Chain Integration on Mass Customization Capability: An Extended Resource-Based View", *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 59, no. 3, pp. 443–456.

- Leng, J., Liu, Q., Ye, S., Jing, J., Wang, Y., Zhang, C., Zhang, D. & Chen, X. 2020, "Digital twin-driven rapid reconfiguration of the automated manufacturing system via an open architecture model", *Robotics and computer-integrated manufacturing*, vol. 63, 101895.
- Lego 2022, "Lego Ideas", lego.com, Saatavissa: <https://ideas.lego.com> (viitattu 16.1.2022).
- Lim, K. Y. H., Le, N. T., Agarwal, N. & Huynh, B. H. 2021. "Digital Twin Architecture and Development Trends on Manufacturing Topologies". *Implementing Industry 4.0*, 259.
- Matta, A., Semeraro, Q. & Tolio, T. 2005, "A Framework for Long Term Capacity Decisions in AMSs", Springer Netherlands, Dordrecht.
- Mesa, J. A., Esparragoza, I. & Maury, H. 2019. "Trends and perspectives of sustainable product design for open architecture products: Facing the circular economy model." *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 6(2), pp. 377–391.
- Müller, R., Esser, M. & Vette, M. 2013, "Reconfigurable handling systems as an enabler for large components in mass customized production", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 24, no. 5, pp. 977–990.
- Peng, X.D., Liu, G. & Heim, G.R. 2011, "Impacts of information technology on mass customization capability of manufacturing plants", *International journal of operations & production management*, vol. 31, no. 10, pp. 1022–1047.
- Pine, B. J. 1993, "Mass customization" vol. 17. *Boston: Harvard business school press*.
- Piller, F., Schubert, P., Koch, M. & Möslin, K. 2005, "Overcoming Mass Confusion: Collaborative Customer Co-Design in Online Communities", *Journal of computer-mediated communication*, vol. 10, no. 4.
- Prajogo, D. & Olhager, J. 2012, "Supply chain integration and performance: The effects of long-term relationships, information technology and sharing, and logistics integration", *International Journal of Production Economics*, vol. 135, no. 1, pp. 514–522.
- Pötsch, H. D. & Winterkorn, M. 2012, "Volkswagen Golf VII: Launch of a new era", Volkswagen Aktiengesellschaft, Sardinia.
- Ramón-Lumbierres, D., Heredia Cervera, F.J., Minguella-Canela, J. & Muguruza-Blanco, A. 2020, "Optimal postponement in supply chain network design under uncertainty: an application for additive manufacturing", *International Journal of Production Research*, vol. ahead-of-print, no. -, pp. 1–18.
- Reichwald, R., Piller, F. & Moeslein, K. 2000, "Information a critical success factor for mass customization or: Why even a customized shoe not always fits", *Proceedings of the ASAC-IFSAM 2000 Conference (Marketing Track)*, Montreal, Quebec, Canada, pp. 9–12.
- Squire, B., Brown, S., Readman, J. & Bessant, J. 2006, "The Impact of Mass Customisation on Manufacturing Trade-offs", *Production and operations management*, vol. 15, no. 1, pp. 10–21.
- Svensson, C. & Barfod, A. 2002, "Limits and opportunities in mass customization for "build to order" SMEs", *Computers in Industry*, vol. 49, no. 1, pp. 77–89.
- Tiihonen, J. & Felfernig, A. 2017, "An introduction to personalization and mass customization", *Journal of Intelligent Information Systems; Integrating Artificial Intelligence and Database Technologies*, vol. 49, no. 1, pp. 1–7.

- Tu, Q., Vonderembse, M.A., Ragu-Nathan, T.S. & Ragu-Nathan, B. 2004, "Measuring Modularity-Based Manufacturing Practices and Their Impact on Mass Customization Capability: A Customer-Driven Perspective", *Decision sciences*, vol. 35, no. 2, pp. 147–168.
- Ullah, I. & Narain, R. 2018, "Analysis of interactions among the enablers of mass customization", *Journal of Modelling in Management*, vol. 13, no. 3, pp. 626–645.
- Ullah, I. & Narain, R. 2020, "Achieving mass customization capability: the roles of flexible manufacturing competence and workforce management practices", *Journal of advances in management research*, vol. ahead-of-print, no. -.
- Victor, B. & Boynton, A.C. 1998, *Invented here: maximizing your organizations internal growth and profitability*, Harvard Business School Press, Boston (Mass.).
- Volkswagen Newsroom 2022, "Modular Transverse Matrix", volkswagen-newsroom.com, Saataavissa: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/modular-transverse-matrix-3655> (viitattu 10.1.2022).
- Weber, M.E.A. & Van der Laan, D.H. 2014, *Does Customer Co-creation Really Pay Off? An Investigation into the Firm's Benefits from Customer Involvement in New Product and Service Development*, Springer International Publishing, Cham.
- Yang, B., Burns, N.D. & Backhouse, C.J. 2004, "Postponement: a review and an integrated framework", *International journal of operations & production management*, vol. 24, no. 5, pp. 468–487.
- Zhang, M., Zhao, X., Lyles, M.A. & Guo, H. 2015, "Absorptive capacity and mass customization capability", *International journal of operations & production management*, vol. 35, no. 9, pp. 1275–1294.
- Zhong, R.Y., Dai, Q.Y., Qu, T., Hu, G.J. & Huang, G.Q. 2013, "RFID-enabled real-time manufacturing execution system for mass-customization production", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, vol. 29, no. 2, pp. 283–292.