

Inka Lehtonen

# MUKAUTUVAN MASSARÄÄTÄLÖINNIN TOTEUTTAMINEN

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tarkastaja: Nillo Adlin  
Toukokuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Inka Lehtonen: Mukautuvan massaräätälöinnin toteuttaminen  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Konetekniikka  
Toukokuu 2021

---

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan, mitä haasteita mukautuvan massaräätälöinnin toteuttamisen eri vaiheissa nousee esille, ja miten näihin haasteisiin voidaan vastata. Massaräätälöinti tarjoaa mahdollisen kilpailuedun yritykselle monipuolisella tuotevalikoimalla, mahdollisuudella tarjota tuotteita suurille asiakasmäärille ja vastaamalla kysynnän muutoksiin nopeasti. Nopea vaihtelu, tuotevariaatio ja suuret tuotantomäärät tulee kuitenkin huomioida tuotantoketjun eri vaiheissa, jotta koko prosessi onnistuu sujuvasti.

Työssä tutustutaan kirjallisuuden esittämiin ratkaisuihin mukautuvassa massaräätälöinnissä usein esiintyviin haasteisiin. Työssä tarkastellaan erityisesti, miten mukautuvassa massaräätälöinnissä mahdollistetaan nopea ja variaatioon perustuva tuotesuunnittelu, muutoksiin valmis tuotanto, joustava toimitusketju sekä mahdollisimman kehittynyt asiakaskeksisyys.

Tutkimuksen tuloksena kirjallisuuden pohjalta esitetään joitain ratkaisuja ja kriittisiä elementtejä, joilla haasteisiin voidaan vastata ja prosessien sujuvuutta voidaan edistää. Tuotesuunnittelun kohdalla tärkeimmät ratkaisut ovat tuotteiden modulaarinen suunnittelu ja yleinen standardointi, sekä suunnittelun automatisointi ja virtuaalisten systeemien hyödyntäminen testauksessa. Tuotannon kohdalla taas on kriittistä, että fyysiset tuotantojärjestelmät on ennakoivasti valmisteltu muutoksia varten ja toiminnanohjaus on reaaliaikaista ja sujuvaa. Tuotantolaitosten muutosvalmius voidaan saada aikaan esimerkiksi modulaarisella tehdassuunnittelulla sekä joustavia valmistusmenetelmiä käyttämällä, ja toiminnanohjaukseen voidaan hyödyntää edistynyttä digitalisaatiota ja päätöstentoon hajauttamista. Toimitusketjun kohdalla joustavuuden saavuttamiseksi osapuolien avoimuus, informaation jako ja luottamus ovat keskeisiä kriteereitä. Asiakaskeksyyden takaamiseksi on tärkeää hallita kysynnän selvitys, varmistaa tämän informaation levitys koko prosessissa ja lopulta ottaa asiakas aktiivisesti mukaan etenkin myyntivaiheessa.

Työn avulla lukija saa selvän kuvan mukautuvan massaräätälöinnin keskeisistä tarpeista. Kirjallisuustutkimuksen alussa esitetty teoria avaa lukijalle, mitä massaräätälöinti ja etenkin mukautuva massaräätälöinti ovat, ja varsinainen tutkimus johtaa tuotantomuodon ominaisten haasteiden ja näille haasteille löytyvien mahdollisten ratkaisujen ymmärtämiseen.

Avainsanat: Mukautuva massaräätälöinti, tuotesuunnittelu, tuotanto, toimitusketju, asiakaskeksisyys

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

|   |    |
|---|----|
| 1. JOHDANTO .....   | 1  |
| 2. MASSARÄÄTÄLÖINTI .....   | 3  |
| 3. MUKAUTUVAN MASSARÄÄTÄLÖINNIN MAHDOLLISTAMINEN .....              | 5  |
| 3.1 Tuotesuunnittelu .....  | 6  |
| 3.1.1 Tuotteiden modulaarisuus .....                                | 7  |
| 3.1.2 Suunnittelun automatisointi ja virtuaaliset prototyypit ..... | 8  |
| 3.2 Tuotanto .....  | 10 |
| 3.2.1 Fyysisten tuotantojärjestelmien optimointi .....              | 11 |
| 3.2.2 Tuotantolaitosten toiminnanohjaus ja digitalisaatio .....     | 12 |
| 3.3 Toimitusketjun hallinta .....                                   | 13 |
| 3.4 Asiakaskeskeisyys .....   | 16 |
| 4. YHTEENVETO .....   | 19 |
| LÄHTEET .....   | 21 |

# 1. JOHDANTO

Nyky maailman globaalissa ympäristössä kilpailuedun saavuttaminen on aina vain haastavampaa. Miten tarjota ihmisille monipuolinen valikoima, mutta samaan aikaan olla kilpailukykyinen massatuotannon tuotantomäärien kanssa? Tähän eräänä ratkaisuna on massaräätälöinti, jonka tarkoituksena on mahdollistaa sekä variaatio että suuret tuotantomäärät yhdessä sujuvassa prosessissa. Massaräätälöinnin konsepti tällä nimellä tuli ensimmäistä kertaa esille vuonna 1987, kun Stan Davis käytti tästä englannin kielistä termiä ”Mass customization” kirjassaan *Future Perfect* (Davis 1987, Pine 2011 mukaan). Tästä konsepti on kehittynyt, ja aihetta on tutkittu monista perspektiiveistä, kuten asiakasvuorovaikutuksen (Zhang et al. 2015; Pallant et al. 2020), tuotantoprosessien (Zawadzki & Żywicki, 2016; Kim et al. 2019) ja digitaalisen kehityksen näkökulmista (Ngniatedema et al. 2015; Leng et al. 2019). Monipuolisuuden takia massaräätälöinnin konsepti voidaan jakaa eri tyyppeihin, muun muassa valmistusperiaatteiden ja asiakkaan roolin perusteella (Gilmore & Pine 1997).

Tässä työssä luodaan yleinen katsaus siihen, miten massaräätälöinti voidaan toteuttaa sujuvasti yli 30 vuotta termin ensimmäisen määrittelyn jälkeen keskittymällä metodeihin, jolla massaräätälöinti mahdollistetaan. Tarkoituksena on tarkastella massaräätälöinnin tyyppiä mukautuva massaräätälöinti. Työn tavoitteena on tunnistaa kriittisimmät haasteet, joita mukautuvassa massaräätälöinnissä kohdataan, ja esittää ratkaisuja, joilla näihin haasteisiin voidaan vastata. Näin ollen analyysin tutkimuskysymykseksi saadaan: mitä haasteita mukautuvan massaräätälöinnin toteuttamisen eri vaiheissa nousee esille ja miten näihin haasteisiin voidaan vastata? Tämä tutkimus siis kiteyttää aihealueen tärkeimmät konseptit ja mahdollistaa perusymmärryksen kehittämisen mukautuvasta massaräätälöinnistä siten, että lukijan on helppo jatkaa jatkotutkimusta tässä esiteltyjen ratkaisujen perusteella.

Koska massaräätälöinti on konseptina kehittynyt hyvin laajaksi, rajataan aihetta keskittymällä lähinnä mukautuvaan massaräätälöintiin, kuten tutkimuskysymyksestä käy ilmi. Vaikka asiakaslähtöisyys on erittäin keskeinen käsite massaräätälöinnissä, tässä analyysissä oletetaan myös, että suora yhteistyö asiakkaan kanssa tai tarkkojen tilausten saaminen asiakkaalta ennen tuotannon aloittamista ei ole syystä tai toisesta mahdollisia. Tämän lisäksi tässä tutkimuksessa tarkastellaan massaräätälöintiä melko yleisellä tasolla, eikä siis keskitytä mihinkään yksittäiseen toimialaan. Analyysi myöskin keskittyy

vain fyysisten tuotteiden tarkasteluun, joten palvelun tuotantotilanteita ei käsitellä. Aiherajausten rinnalla käytännön rajauksena työssä on käytetty vain kirjallisuutta, joka on joko julkisesti saatavilla tai suoraan Tampereen yliopiston opiskelijoiden oikeuksilla saavutettavissa. Näin ollen esimerkiksi maksumuurien takana olevat artikkelit tai työt, jotka pitäisi erikseen tilata yliopiston kirjastolle, on suljettu käytettävän materiaalin ulkopuolelle.

Tämä työ on toteutettu kirjallisuustutkimuksena, koska tavoitteena on selvittää yleiskuva massaräätälöintiin liittyvistä mahdollisuuksista. Esimerkiksi yksittäistä teollisuudenalaa tai yritystä tutkiessa olisi riskinä, että laajalle levinneitä ratkaisuja ei välttämättä tunnistettaisi, jos näitä ei valitussa esimerkissä olisi otettu käyttöön. Toisaalta tämä myös tarkoittaa, että tässä tekstissä ei voida huomioida mahdollisia vain yksittäisille aloille ominaisia ratkaisuja, tai tarkastella tunnistettujen ratkaisujen toimivuutta tarkoissa tilanteissa, kuten olisi mahdollista esimerkiksi tapaustutkimuksen avulla. Materiaalina on käytetty akateemisia artikkeleja, ja haku on pääasiassa tehty Tampereen yliopiston kirjaston Andor-järjestelmässä. Tutkimus on aloitettu tekemällä haku yleisillä aihepiirin hakusanoilla, joiden perusteella tekstin rajaus ja rakenne on alustavasti valittu. Esimerkkinä näistä alustavien hakusanojen tyypeistä ovat "mass customisation" ja "mass customisation" AND production. Haussa on myös otettu huomioon britti- ja amerikanenglannin eri kirjoitusasut, esimerkiksi sanan räätälöinti kohdalla, joka voidaan kirjoittaa sekä "customisation" että "customization". Näiden erojen takia kaikki hakusanavariaatiot on kokeiltu molempien versioiden kanssa. Myöhemmin tiedonhakuja on jatkettu löydettyjen artikkelien avulla, esimerkiksi näiden lähteitä käyttämällä, ja hakemalla lisätietoa avainkonsepteista. Jokaisessa vaiheessa löydettyjä lähteitä on tarkasteltu ja valikoitu muun muassa sen perusteella, ovatko ne vertaisarvioituja, ja muutoin luotettavan oloisia. Tämän lisäksi etenkin alustavassa haussa artikkelien aikaisimmaksi mahdolliseksi julkaisuvuodeksi on rajattu vuosi 2010, mutta jatkohauissa myös vanhempia artikkeleja on hyväksytty lähteiksi etenkin, jos jokin teoria tai konsepti esiteltiin näissä ensimmäistä kertaa.

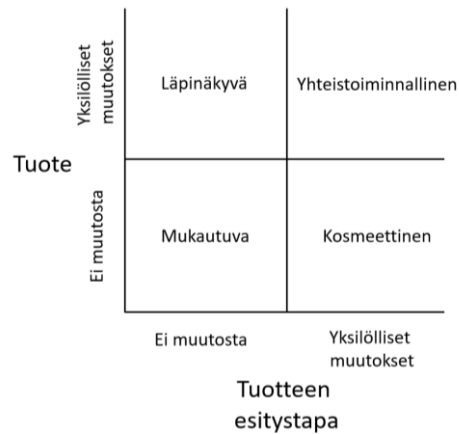
Tässä kirjallisuustutkimuksessa käydään ensin läpi aiheeseen liittyvä relevantti teoreettinen tausta, jossa selitetään, mitä massaräätälöinti pohjimmiltaan on, ja tarkennetaan, mitä mukautuva massaräätälöinti on. Tämän jälkeen keskustellaan tarkemmin mukautuvan massaräätälöinnin asettamista haasteista ja näihin löytyvistä ratkaisuista. Ensin tätä tutkitaan tuotesuunnittelun kannalta, josta siirrytään tarkastelemaan tuotannon vaatimuksia ja mahdollisuuksia. Tästä siirrytään tuotantoketjun tarkasteluun ja lopulta syvempään pohdintaan asiakkaan roolista prosessissa. Luvussa 4 kootaan tutkielman tulokset lyhyeen tiivistelmään ja tarkastellaan tutkimuksen onnistumista sekä jatkotutkimusmahdollisuuksia.

## 2. MASSARÄÄTÄLÖINTI

Massaräätälöinti on tuotannon muoto, joka pyrkii tarjoamaan sekä massatuotannon edut että merkittävän määrän vaihtelua tuotteissa (Qiao et al. 2004; Mathiassen & Sandberg 2014; Jin et al. 2020). Massaräätälöinti tuo yritykselle mahdollisen kilpailuedun ensisijaisesti reagoimalla nopeasti kysyntään, mahdollistamalla massatuotantoa vastaavat tuotantomäärät ja tarjoamalla moninaisen valikoiman. Näistä esimerkiksi suuret tuotantomäärät korostuvat massaräätälöinnin määritelmässä (Zhang et al. 2015; Jin et al. 2020). Toinen massaräätälöinnin keskeinen etu on näissä määritelmässä esiin tuleva valikoiman moninaisuuden houkuttelevuus asiakkaalle (Zhang et al. 2015; Zawadzki & Zywicki 2016). Tämän lisäksi asiakkaita kiinnostavat erityisesti massaräätälöinnin tuomat mahdollisuudet yksilöityihin tuotteisiin (Kim et al. 2019). Tuotannon nopea reagointi kysyntään sen sijaan ei yhtä usein esiinny kirjallisuudessa keskeisessä massaräätälöinnin määritelmässä, vaikka monissa artikkeleissa tämä nostetaankin massaräätälöinnin suurimmaksi kilpailueduiksi (McIntosh et al. 2010; Zawadzki & Zywicki 2016; Kim et al. 2019). Näiden lisäksi myös tasaisen laadun ylläpito kuuluu tärkeänä elementtinä massaräätälöintiin prosessissa tapahtuvista muutoksista huolimatta (Jin et al. 2020).

Massaräätälöinti voidaan tarkemmin jakaa eri tyyppeihin monella tavalla. Kirjallisuudessa massaräätälöinti jaetaan usein neljään eri kategoriaan, jotka Gilmore ja Pine esittivät artikkelissaan vuonna 1997 (Mathiassen & Sandberg 2014; Pallant et al. 2020). Gilmoren & Pinen (1997) mukaan nämä neljä kategoriaa ovat mukautuva (adaptive), kosmeettinen (cosmetic), läpinäkyvä (transparent) ja yhteistoiminnallinen (collaborative) massaräätälöinti. Näiden kategorioiden jako perustuu pääasiassa strategiaan, jolla räätälöinti saavutetaan sekä haluttuun lopputulokseen. (Gilmore & Pine 1997)

Mukautuva massaräätälöinti pyrkii tuottamaan tuotteita, joita asiakas voi helposti muokata ostotilanteessa, tai saatuaan ne käsiinsä. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi perustuotteena, johon on tarjolla erilaisia lisäosavaihtoehtoja. Kosmeettisessa räätälöinnissä taas tarjotaan sama perustuote eri muodoissa eri asiakkaille. Läpinäkyvän räätälöinnin tavoite taas on tarjota asiakkaalle ainutlaatuisia tai erikoistuneita tuotteita ilman, että asiakas on suoraan tietoinen mukautuksista. Viimeisessä kategoriassa eli yhteistoiminnallisessa massaräätälöinnissä asiakas kommunikoi tarpeensa suoraan toimittajalle, ja räätälöinti tehdään tämän syötteen perusteella. (Mathiassen & Sandberg, 2014; Pallant et al. 2020)



**Kuva 1.** Massaräätälöinnin tyypit yksilöllisten tuote- ja esitystapamuutosten perspektiivistä (muokattu lähteestä Gilmore & Pine 1997, s. 95)

Gillmore ja Pine (1997) tuovat lisäksi esille sen, että erot lähestymistapojen välillä voidaan kuvailla suoraan sen perusteella, muutetaanko tuotetta tai sen esittelytapaa yksittäisten asiakkaiden mukaan. Kuten kuvassa 1 esitetään, mukautuva massaräätelöinti ei keskity muuttamaan tuotetta tai sen esittelyä yksittäisten asiakkaiden mukaan. Sen sijaan asiakkaalle annetaan tuote, jota he voivat muotoilla omien tarpeidensa mukaan tuottajan antamilla vaihtoehtoilla ilman suoraa kanssakäymistä tuottajan kanssa. Myytävää tuotetta ei siis ole tässä tapauksessa muokattu suoraan asiakkaalle sopivaksi tai esitetty suoraan tälle asiakkaalle, vaan strategiana on tarjota tarpeeksi paljon vaihtoehtoja, jotta asiakas löytää joka tapauksessa sopivan lopputuotteen. (Gilmore & Pine 1997)

Mukautuva massaräätelöinti voidaan siis esittää tuotelähtöisenä käsitteenä, jossa asiakas otetaan mukaan loppukokoonpanoon. Kilpailuetu pyritään saavuttamaan osallistumisen tunteella (Pallant et al. 2020), tarjoamalla tarpeeksi vaihtoehtoja ja silti ylläpitämällä tarpeeksi suuria tuotantomääriä, jotta tuotteita riittää suurelle asiakaskunnalle (Qiao et al. 2004; Jin et al. 2020). Mukautuvaa massaräätelöintiä voidaan käyttää hyväksi eri aloilla, kuten vaateteollisuudessa (Yang et al. 2015), ohjelmistotuotannossa (Mathiassen & Sandberg 2014) ja ruokateollisuudessa (McIntosh et al. 2010). Monet tekniikat, joilla mukautuva massaräätelöinti mahdollistetaan, ovat myös samoja läpi eri toimialojen, mutta muun muassa erilaisten tuotetyyppien asettamat vaatimukset johtavat siihen, että kaikki ratkaisut eivät ole universaaleja (Zawadzki & Zywicki, 2016).

### 3. MUKAUTUVAN MASSARÄÄTÄLÖINNIN MAHDOLLISTAMINEN

Massaräätälöinti voi mahdollistaa ainutlaatuisen kilpailuedun yritykselle, mutta sen saavuttamiseksi pitää ottaa huomioon massatuotannon ja pienemmän skaalan vaihtelevan tuotannon yhdistyessä syntyvät haasteet (Qiao et al. 2004; Mathiassen & Sandberg 2014; Jin et al. 2020). Tähän on lisättävä tavoite reagoida kysyntään mahdollisimman nopeasti ja sujuvasti (McIntosh et al. 2010; Zawadzki & Żywicki 2016; Kim et al. 2019). Mukautuvan massaräätälöinnin puitteissa tässä työssä on tunnistettu neljä kohdetta, joita tarkastelemalla voidaan huomioida suurimmat haasteet, joihin yrityksen tulisi vastata, ja kriittiset toiminnot, joiden avulla toimintaa voidaan optimoida. Nämä ovat tuotesuunnittelu, tuotanto, toimitusketjun hallinta, ja asiakaskeskeisyyden varmistus. Kyseiset kohteet on valittu tarkasteltavaksi, sillä useat artikkelit, jotka käsittelevät mukautuvaa massaräätälöintiä nostavat juuri nämä kohteet esille (Salvador et al. 2004; Zawadzki & Zywicki, 2016; Jin et al. 2020). Haussa löytyy myös useita artikkeleita, jotka käsittelevät syvemmin jotain näistä aihealueista, tai yksittäisen osa-alueen yhtä ongelmaa ja sen mahdollisia ratkaisuja (Aldamondo & Vareilles, 2008; Leng et al. 2019; Pallant et al. 2020).

Tuotesuunnittelun kohdalla käsitellään lähinnä sitä, miten yritys voi reagoida nopeaan muutostahtiin, ja miten tuotevariaatio toteuttaminen mukautuvan massaräätälöinnin mukaisesti onnistuu sujuvasti (Zawadzki & Żywicki, 2016; Kim et al. 2019). Tuotannon näkökulmasta keskeiset ideat ovat tuotantolaitosten valmistelu mahdollisia muutoksia varten ja varman toiminnanohjauksen mahdollistaminen. (Aldamondo & Vareilles, 2008; Leng et al. 2019; Kim et al. 2019). Toimitusketjua tutkiessa painotetaan läheisiä suhteita toimitusketjun muihin osapuoliin, kommunikaation sujuvuutta ja yleistä valmistautuneisuutta, jotta materiaalivirta ei katkea, vaikka materiaalia tarvitaan paljon ja nopeita muutoksia on odotettavissa (Zawadzki & Żywicki, 2016; Jin et al. 2020; Yang et al. 2020). Lopulta keskustellaan tarkemmin siitä, miten asiakas liittyy koko tähän prosessiin, miten mahdollinen kysyntä selvitetään, ja miten asiakas saadaan mukaan vaikuttamaan lopulliseen tuotteeseen (McIntosh et al. 2010; Zhang et al. 2015, Pallant et al. 2020). Asiaa käsittelevissä artikkeleissa huomioidaan, että asiakaskeskeinen näkökulma tulee esille läpi analyysin, koska massaräätälöinti perustuu mahdollisimman monen asiakkaan tarpeiden täyttämiseen (Yang et al. 2015; Zhang et al. 2015; Jin et al. 2020). Samoin huomataan, että prosessin eri vaiheiden haasteet toistuvat, koska ne perustuvat juuri suuriin



tuotantomääriin, laajaan variaatioon ja tiheästi tapahtuviin muutoksiin. (Qiao et al. 2004; Zhang et al. 2015; Zawadzki & Zywicki 2016).

### 3.1 Tuotesuunnittelu

Tuotesuunnittelu voidaan rajata tarkasti esimerkiksi uuden tuotteen luomiseen ja sen kuvaamiseen esimerkiksi teknisten piirustusten avulla. Tässä analyysissä otetaan kuitenkin käyttöön laajempi määritelmä, jonka mukaan tämä vaihe sisältää tuotekonseptin luominen, tuotteen varsinaisen suunnittelun, konseptin kehittäminen sekä tuotteen testauksen (Zawadzki & Żywicki 2016). Näin ollen tuotesuunnittelun jälkeen voidaan suoraan siirtyä tuotteen valmistukseen ja toimitukseen. Massaräätälöinti on monipuolisuuden ja vaihtelun takia haastava tuotantomuoto, joten jotta se onnistuu sujuvasti, on eri haasteet otettava huomioon jo tuotesuunnitteluvaiheessa (McIntosh et al. 2010; Zawadzki & Żywicki 2016; Kim et al. 2019). Ensimmäisenä kriittisenä ongelmana nousee esille tarve vastata kysyntään erittäin nopeasti (McIntosh et al. 2010; Zawadzki & Żywicki 2016; Kim et al. 2019). Tämä edellyttää, että tuotesuunnittelussa ei esiinny viiveitä, ja uusia tuotteita tai muutoksia tuotteisiin voidaan kehittää lyhyellä varoitusajalla (McIntosh et al. 2010). Toisena ongelmana nousee esille tarve suurelle määrälle erilaisia tuotteita (Qiao et al. 2004; Zhang et al. 2015; Jin et al. 2020). Juuri mukautuvassa massaräätälöinnissä etenkin tuotteiden monipuolisuuden ja muutettavuuden tarve kärjistyy, sillä tarkoituksena on kehittää yhdestä perustuotteesta useita variaatiota, joilla vastataan asiakaskysyntään (Gilmore & Pine 1997; Mathiassen & Sandberg, 2014; Pallant et al. 2020).

Yleisellä tasolla näihin ongelmiin on paljon potentiaalisia ratkaisuja, mutta näitä rajaavat monet tuotesuunnittelun ulkoiset tekijät, sekä prosessikohtaiset tekijät (McIntosh et al. 2010). Kim et al. (2019) toteavat, että massaräätälöinnissä on kriittistä pohtia tuotteen ominaisuuksia sekä tuotteiden loppukäyttäjien että tuotannon tarpeiden perspektiivistä jo suunnittelun alusta asti. Tuotannon näkökulma on jo suunnitteluvaiheessa erittäin tärkeä, sillä suunnittelu määrittää muun muassa komponenttien tarpeen, osien tarvejärjestyksen, tuotantovaiheet, sekä mahdolliset muutokset tuotantolinjaan. (Kim et al. 2019) Zawadzkin ja Żywickin (2016) mukaan asiakas sen sijaan voidaan ottaa huomioon suunnittelussa, joko suoralla yhteistyöllä tai tekemällä arvioita ja oletuksia asiakkaiden tarpeista ja haluista muun muassa olemassa olevan kysynnän perusteella. Mukautuvassa massaräätälöinnissä suoraa yhteistyötä asiakkaan kanssa ei kuitenkaan tehdä vielä suunnitteluvaiheessa, vaikka asiakas saakin itse päättää tuotteen lopullisen kokoonpanon tarjolla olevista osista. Suunnittelijan rooli on siis kriittinen, sillä tämä kehittää nämä mahdolliset osat, ja näin ollen määrittää mahdolliset lopputulokset. (Zawadzki & Żywicki, 2016)

Näiden rajausten perusteella tässä ehdotetaan ensisijaisiksi kirjallisuuden tukemiksi ratkaisuiksi modulaarista suunnittelua ja virtuaalisten järjestelmien hyödyntämistä suunnittelussa monipuolisuuden ja suunnittelutahdin edistämiseksi. Modulaarisuudella pyritään mahdollistamaan tuotteiden monipuolisuus sekä nopeiden muutosten toteuttaminen (Agrawal et al. 2013; Hvam et al. 2017; Li et al. 2020). Virtuaaliset järjestelmät ja suunnittelun automatisointi taas edistävät ennen kaikkea suunnittelun nopeutta (Zawadzki & Żywicki, 2016; Leng et al. 2019).

### **3.1.1 Tuotteiden modulaarisuus**

Fyysinen tuote voi koostua yhdestä tai useammasta komponentista, jotka on koottu yhdeksi kokoonpanoksi (Aldanondo & Vareilles, 2008). Tästä tuotteesta saadaan modulaarinen kokoonpano jakamalla se alakokoonpanoihin ja komponentteihin, joita voidaan vaihtaa yhteensopiviin osiin, jolloin samalle perustuotteelle saadaan enemmän vaihtelua (McIntosh et al. 2010). Vaikka tämä on van yksi tapa määritellä modulaarisuus, voidaan huomata, että yleisesti massaräätälöintiin liittyvässä kirjallisuudessa modulaarisuus määritellään hyvin tuotekeskeisestä näkökulmasta. Modulaarisuus kuvataan tilanteena, jossa kokoonpano jaetaan erilaisiin komponentteihin ja osakokoonpanoihin, joita voidaan helposti vaihtaa toisiin samaan paikkaan sopiviin mutta erilaisiin komponentteihin. Näin ollen tuotteen lopullista funktiota ja ulkomuotoa voidaan siis helposti muuttaa yksittäisiä moduuleja vaihtamalla. (Agrawal et al. 2013; Yang et al 2015; Li et al. 2020) Etenkin mukautuvassa massaräätelöinnissä modulaarinen suunnittelu on siis avain tekniikka, koska yhdestä perustuotteesta halutaan kehittää useita versioita osien variaation avulla (Gilmore & Pine 1997).

Modulaarisuus vastaa tuotteiden monipuolisuuden tarpeeseen tarjoamalla useita vaihtoehtoja perustuotteen ympärille, ratkaisten täten mukautuvan massaräätelöinnin perustarpeet (Gilmore & Pine 1997; Agrawal et al. 2013). Tarjoamalla useita moduuleita saadaan helposti luotua useita variaatioita, jonka lisäksi, jos tuotteessa on useita osia, jotka ovat modulaarisia, nousee variaatioiden määrä nopeasti (Hvam et al. 2017). Vaikka mukautuva massaräätelöinti määritellään variaation luomisena muuttamalla peruskomponenttiin lisättäviä komponentteja, sallii modulaarinen suunnittelu myös peruskomponenttien vaihdon (Agrawal et al. 2013). Yhdistämällä sekä perus- että lisäkomponenttien mahdolliset variaatiot, saadaan aikaan merkittävä määrä tuotemahdollisuuksia (Agrawal et al. 2013). Näin on mahdollista vastata asiakkaiden monipuolisiin tarpeisiin tarjoamalla samojen komponenttien eri konfiguraatioita (Purohit et al. 2016; Hvam et al. 2017).

Modulaarisuus on myös vastaus tarpeeseen tehdä nopeita muutoksia tuotteisiin (Li et al. 2020). Agraval et al. (2013) muun muassa kuvailevat modulaarisuuden hyötyjä. Olettaen, että koko tuotetta ei tarvitse muuttaa, voidaan sujuvasti tehdä muutoksia tuotteeseen tekemällä muutoksia yksittäisiin komponentteihin. Suurempia muutoksia tarvittaessa taas voidaan luoda täysin uusia komponentteja, tai poistaa olemassa olevia. Tietenkin myös peruskomponenttiin voidaan tehdä muutoksia tai niitä voi vaihtaa (Agraval et al. 2013). Näin saadaan melko helposti ja nopeasti vastattua esimerkiksi kysynnän nousuun tai laskuun. Yksittäisten komponenttien muutokset ja konseptien toistettavuus kuormittavat suunnittelijoita vähemmän (Hvam et al. 2017), ja aiheuttavat pienempiä muutoksen tarpeita tuotantolaitoksissa (Kim et al. 2019).

Joissain tilanteissa modulaarisuus myös mahdollistaa myöhäisemmän päätöksenteon ja nopeat muutokset myös tuotannossa (McIntosh et al. 2010; Agrawal et al. 2013), josta myös näkyy tuotannon huomiointi tuotesuunnittelussa. Esimerkiksi, jos joitain tietyn komponentin raaka-aineita ei ole saatavilla, voidaan huomio siirtää muihin komponentteihin, tai jos odotetaan tietoa kysynnästä, voidaan valmistaa peruskomponentteja, ja odottaa ennen, kuin valitaan mitä komponentteja valmistetaan (Ngniatedema et al. 2015).

Jotta tämä kaikki on mahdollista, on erittäin tärkeää, että kaikki osat ja komponentit ovat standardoituja. Modulaarisessa suunnittelussa standardointi on erittäin tärkeää, jotta komponentit ovat yhteensopivia, ja niiden uudelleenkäyttö on mahdollista (Agraval et al. 2013). Suomen Standardisoimisliitto (2020) painottaa standardien roolia lisäksi kehityksen edistäjänä. Yksittäisen yrityksen sisäiset standardit sallivat elementtien ja konseptien toistettavuuden, suunnittelu prosessin vaiheiden automatisoinnin ja komponenttien vaihdettavuuden. Suuremmalla skaalalla standardointi tukee sekä toimialojen sisäistä että ulkoista yhteistyötä, mikä sujuvoittaa tuotantoketjun toimivuutta, josta keskustellaan lisää luvussa 3.3. (SFS 2020)

Kaiken kaikkiaan, modulaarisuuden taso voi vaihdella voimakkaasti yrityksen strategian ja määriteltyjen asiakastarpeiden, ja toimialan teknologisen kehityksen perusteella (Yang et al. 2015, Hvam et al. 2017). Yleisesti mukautuvassa massaräätälöinnissä modulaarisuuden taso on usein korkea (Gilmore & Pine 1997). Kun puhutaan fyysisistä tuotteista, eikä asiakkaalta saada suoraa tietoa tarkoista tarpeista, on modulaarisuus tapa tuoda paljon variaatiota markkinoille, ja näin saavuttaa mahdollisimman suuri asiakassektori.

### **3.1.2 Suunnittelun automatisointi ja virtuaaliset prototyypit**

Massaräätälöinnin asettamat oletukset tuotesuunnittelun nopeudelle edellyttävät, että tähän käytettävät työkalut tukevat nopeaa suunnittelua. On myös tärkeää, että suunnittelu

onnistuisi kerralla oikein, jotta ei tuhlaata aikaa virheiden korjaamiseen, ja tuotannossa ei synny tappioita virheellisten tuotteiden takia (Zawadzki & Żywicki 2016). Tähän eräänä ratkaisuna on digitalisaatio (Zawadzki & Żywicki, 2016; Leng et al. 2019). Tietokoneavusteista suunnittelua (Computer Assisted Design eli CAD) on käytetty jo pitkään sekä massaräätälöinnissä että sen ulkopuolella (Purohit et al. 2016), mutta tässä tutkitaan tarkemmin sitä, miten CAD-ohjelmien automatisoinnilla voidaan tukea tuotesuunnittelua massaräätälöinnissä. Tämän lisäksi nostetaan esille kriittisenä näkökulmana prototyyppien käytön tärkeys massaräätälöinnissä, ja miten virtuaalisia prototyyppijä hyödyntämällä voidaan leikata kustannuksia ja tuoda varmuutta tuotantoprosessiin (Zawadzki & Żywicki, 2016).

Automatisoimalla suunnitteluprosessia voidaan leikata suunnittelijan työmäärästä toistuvat ja yksinkertaiset vaiheet (Agrawal et al. 2013, Zawadzki & Żywicki, 2016). Tietokoneohjelma voi esimerkiksi luoda alustavan mallin joidenkin parametrien mukaan, jolloin suunnittelijan ei tarvitse tehdä työtä alusta asti (Aldanondo & Vareilles, 2008). Riippuen ohjelmien edistyneisyydestä, on mahdollista, että tietokone voi parametrien avulla luoda automaattisesti eri variaatioita mallinnettavasta kappaleesta, mutta yleensä prosessi vaatii myös suunnittelijan sekä viimeistelemään että tarkastamaan kappaleet (Agarwal et al. 2019). Pienempi määrä tehtävää työtä vähentää inhimillisten virheiden tekemisen mahdollisuutta, mutta toisaalta suunnittelijan täytyy tarkistaa tietokoneen tekemä työ, sillä tässäkin voi olla vajeita. Tällaista suunnittelua varten on myös erittäin tärkeää, että koko prosessin ajan käytetään ennalta määritettyjä standardeja, jotta osat sopivat yhteen ja parametrit voidaan määrittää loogisesti. Automatisointi ja tuoteperhekohtaiset standardit ja ohjeet mahdollistavat myös sen, että suunnittelijan ei välttämättä tarvitse olla tuoteasiantuntija (Agrawal et al. 2013).

Virtuaalisen suunnittelun lisäksi myös prototyyppien tutkiminen on mahdollista tehdä ainakin osittain virtuaalisesti (Zawadzki & Żywicki, 2016). Jotta tuote saadaan nopeasti tuotantoon, pitää sen testaus onnistua nopeasti (Jin et al. 2020), ja etenkin suurien tuotantomäärien takia on tärkeää, ettei lopullisissa tuotteissa ole ongelmia, jotka ilmenevät vasta tuotannon jälkeen (Kim et al. 2019). Näin ollen virtuaalisilla prototyypeillä voidaan edistää prosessia merkittävästi. Virtuaaliset prototyyppit mahdollistavat testauksen ilman, että tuotetta täytyy valmistaa pieni, mutta kallis erä (Zawadzki & Żywicki, 2016). Kustannuksia voidaan pienentää virtuaalisella testauksella etenkin, jos tuotantolaitosta tulee muuttaa jossain määrin, jotta tuote voidaan valmistaa, mikä on melko yleistä mukautuvassa massaräätälöinnissä, tai yksittäisten kappaleiden tekeminen on muutoin kallista (Leng et al. 2019). Zawadzki ja Żywicki (2016) huomioivat, että aina tämä ei tietenkään ole mahdollista, ja joissain tilanteissa fyysinen prototyyppi on pakko rakentaa, mutta

näissäkin tapauksissa alustavia kokeita voidaan tehdä virtuaalisesti, ja näin ollen osa ongelmista paikantaa jo tällöin. Tällaisissa tapauksissa, joissa osa iteraatioista tehdään virtuaalisesti, mutta osa fyysisesti, viitataan hybridiprototyyppeihin (Zawadzki & Żywicki, 2016).

## 3.2 Tuotanto

Tässä tutkimuksessa tuotannolla viitataan tuotteiden ja näiden komponenttien fyysiseen valmistukseen ja kokoonpanoon. Myös tuotannon näkökulmasta suurimmat haasteet, jotka massaräätälöinti esittää ovat nopeat muutokset ja tuotteiden monimuotoisuus. Tuotantomäärät ovat suuria, ja tuotteissa on paljon vaihtelua, joten toiminnanohjauksen on oltava erittäin sujuvaa (Qiao et al. 2004). Tämän lisäksi, jotta asiakaskysyntään voidaan reagoida nopeasti ja monipuolinen vaihtelu voidaan toteuttaa, täytyy tuotantolaitos suunnitella siten, että siihen voidaan tehdä ripeästi muutoksia (Kim et al. 2019). Massaräätälöinti siis vaatii, että käytettävät tuotanto- ja tuotannonohjausteknologiat ovat melko edistyneitä (Jin et al. 2020).

Jin et al. (2020) tuovat esille, miten tuotantolaitoksia suunnitellessa massaräätälöintiä varten on otettava huomioon tuotteiden monipuolisuus, ja massatuotantoon verrattain usein tapahtuvat muutokset. Päätökset siitä mitä tuotetaan itse, ja mitkä komponentit tai raaka-aineet tilataan alihankkijoilta tai muilta yhteistyökumppaneilta, vaikuttavat myös voimakkaasti tuotantosysteemien tarpeisiin (Jin et al. 2020). Näistä päätöksistä keskustellaan lisää luvussa 3.3, mutta seuraavien kohtien analyysissä oletetaan, että merkittävä osa itse tuotteen valmistusprosessista tapahtuu massaräätälöintiä harjoittavan yrityksen omissa tuotantolaitoksissa. Tuotteiden monipuolisuudesta ja suuresta määrästä nousee kuitenkin keskeiseksi kysymykseksi, miten tuotantolaitokset voidaan optimoida tätä valmistusprosessia varten, siten että nopeat muutokset ovat mahdollisia (Kim et al. 2019)?

Loppujen lopuksi sujuva toiminnanohjaus on kuitenkin avain massaräätälöintiin liittyvän tuotannon onnistumiseen (Qiao et al. 2004; Leng et al. 2019). On erittäin tärkeää, että tuotantolaitoksia käytetään tehokkaasti, ongelmatilanteita vältetään ja materiaalien siirtyminen tapahtuu jouhevasti (Zawadzki & Żywicki, 2016). Sujuva toiminnanohjaus voi siis mahdollistaa myös suuret muutokset, joita voi massaräätälöinnin yhteydessä tapahtua. Leng et al. (2019) tuovat esille, että kuten tuotesuunnittelussa, työtä tukevat digitaaliset järjestelmät ovat hyvin yleisiä. Näin ollen tarkastellaan, miten pitkälle kehittynyt digitalisaatio voi tukea massaräätälöintiä niin jokapäiväisen toiminnan seuraamisessa ja ohjaamisessa kuin muutoksia suunnitellessa ja toteuttaessakin. (Leng et al. 2019)

### 3.2.1 Fyysisten tuotantojärjestelmien optimointi

Tuotantolaitosten suunnittelussa massaräätälöintiä varten täytyy harkita, miten jatkuva tuotanto optimoidaan, mutta myös miten tuotantoon voidaan tehdä nopeita muutoksia tarvittaessa (Kim et al. 2019). On hyvä huomata, että toimialakohtaisesti esiintyy paljon vaihtelua siinä, miten tämä voidaan tehdä, sillä muun muassa ainutlaatuisten työvaiheiden määrä ja tuotekohtaiset tarpeet voivat vaihtelevat (McIntosh et al. 2010). Näin ollen mitään universaalia ratkaisua ei ole, ja usein joudutaan tekemään kompromisseja (McIntosh et al. 2010). Koska tuotantomäärät ovat suuria, on tärkeää, että tilat ja tuotantopisteiden tai -linjojen järjestys mahdollistaa tasaisen ja tehokkaan materiaalien kulun (Zawadzki & Żywicki, 2016). Toisaalta, jotta muutosten teko olisi helpompaa, myös tehtaiden suunnittelu modulaarisesta perspektiivistä kannattaa (Kim et al. 2019).

Suurien tuotantomäärien takia on tärkeää, että tehdassuunnittelussa mietitään massatuotannon tavoin siihen, miten materiaali ja tuotteet saadaan kulkemaan mahdollisimman nopeasti ja sujuvasti tehtaan läpi (Zawadzki & Żywicki, 2016). Toisaalta mukautuvassa massatuotannossa kannattaa välttää laitteistoa, jolla on hyvin rajattu käyttötarkoitus, tai jonka uudelleen ohjelmointi on haastavaa, sillä tuotannossa on paljon vaihtelua (Kim et al. 2019). Jos tuotesuunnittelu on onnistunut, se tarkoittaa sitä, että useita eri komponentteja voidaan valmistaa niillä edellytyksillä, joita tehtaassa ja työntekijöillä jo on, tai tiedetään jo etukäteen, että jotkin osat täytyy tilata alihankkijalta (Agrawal et al. 2013). Jos tätä periaatetta on käytetty sujuvasti, voi se jopa tarkoittaa, että tuotteiden eri moduulien valmistusta varten voidaan käyttää lähes samaa tuotantolinjaa, sallien täten tuotannon vaihtelun ilman tarvetta muuttuvalle tuotantolinjalle (Salvador et al. 2004).

Kim et al. (2019) pohtivat, että jos tämä ei ole mahdollista tuotevalikoiman vaihtuessa, ja tuotantolaitosta täytyy muuttaa, jotta kysyntään voidaan vastata tarkemmin, täytyy tarkastella, miten olemassa olevat rakenteet saadaan vastaamaan uusia tarpeita. Koska tämä on melko yleistä massaräätälöinnissä, kannattaa koko tehdas alusta asti suunnitella tätä varten. Näin ollen kannattaa siis suosia tuotantolaitosten modulaarisuutta ja joustavia valmistusjärjestelmiä (FME Flexible Manufacturing Systems). Joustavat valmistusmenetelmät mahdollistavat eri toimintojen suorittamisen tuotteille ja komponenteille hyödyntämällä muun muassa uudelleenohjelmoitavia työkoneita, mutta myös vaihtelemalla työpisteiden käyttöjärjestystä tuotantoketjussa. (Kim et al. 2019) Näiden sujuvaan hallitsemiseen voidaan käyttää esimerkiksi digitaalista toiminnanohjausta, josta keskustellaan luvussa 3.2.2 (Zawadzki & Żywicki, 2016; Kim et al. 2019). Tuotantolaitosten modulaarisuuden voi rinnastaa joustaviin valmistusmenetelmiin, sillä tarkoitus on jakaa itse tuotantolaitos osiin siten, että kukin osio voi tehdä useita toimintoja, joiden

mukaan tuotteet ohjataan eri osastoihin (Kim et al. 2019). Kuten tuotteiden modulaarisuuden kanssa, tämä myös tarkoittaa, että muutoksia voidaan myös mahdollisesti toteuttaa muuttamalla vain osaa moduuleista (Leng et al. 2019).

Yleisesti voidaan siis todeta, että on kriittistä pohtia, miten muutokset voidaan toteuttaa, vaikka jouduttaisiin tekemään kompromisseja. Tämä voidaan suorittaa esimerkiksi hankkimalla koneita, joilla on useita käyttötarkoituksia, ja jakamalla tuotantolaitos osiin, jotka pystyvät suorittamaan useita toimintoja tarpeista riippuen (Kim et al. 2019). Tämä voi johtaa siihen, että tehdas ei välttämättä ole optimaalinen yksittäiselle tuotteelle, mutta joustavuus on kriittisempää massaräätälöinnissä (Jin et al. 2020).

### **3.2.2 Tuotantolaitosten toiminnanohjaus ja digitalisaatio**

Zawadzki & Żywicki (2016) huomioivat, että tuotantolaitosten fyysisten ominaisuuksien lisäksi vaaditaan sujuvaa toiminnanohjausta valmistuksen valvontaan, materiaalivirtojen käsittelyyn ja muutoksien hallintaan. Tämän lisäksi ongelmien ennakointi ja virheiden välttäminen on tärkeää, jotta tuotantoon ei tule turhia katkoja, eikä tuotteiden laatu kärsi. (Zawadzki & Żywicki, 2016) Näin ollen on kriittistä, että kommunikaatio sekä tuotannosta sen hallintaan että toisin päin on sujuvaa, tiedetään missä materiaalit, osat ja tuotteet kulkevat ja missä vaiheessa tuotanto on, jotta tilannetta voidaan ohjata nopeasti ja sujuvasti (Kim et al. 2019). Nämä haasteet voidaan ratkaista esimerkiksi digitalisaatiolla. Digitalisaatio voi esiintyä tuotannossa eri tasoilla, lähtien yksittäisten koneiden ohjelmoinnista, ja päättyen tuotannon seurantaan ja kokonaisia tehtaita kattaviin virtuaalisiin hallintasysteemeihin (Zawadzki & Żywicki, 2016; Leng et al. 2019). Mukautuvassa massaräätälöinnissä on tarpeen tarkastella ratkaisuja, joilla voidaan kattaa mahdollisimman tarkasti sekä jokapäiväinen seuranta että mahdollistaa muutosten suunnittelu ja toteuttaminen (McIntosh et al. 2010; Zawadzki & Żywicki 2016; Kim et al. 2019). Näin ollen tutkitaan sekä koko tuotannon kattavia digitaalisia systeemejä että pienempiin moduuleihin jaettuina koneryhmiä (Kim et al. 2019; Leng et al. 2019).

Leng et al. (2019) kuvailevat, miten laajimmalla skaalalla implementoituna digitalisaatio voi kattaa koko tuotannon, jolloin tuotannon kaikkia vaiheita voidaan seurata ja ohjata digitaalisesti. Koko tuotantolaitoksesta voidaan tehdä digitaalinen malli, joka saa reaaliaikaista dataa tuotannon edistymisestä. Tällaista mallia kutsutaan digitaaliseksi kaksosiksi (digital twin). Digitaalista kaksosta voidaan käyttää myös ohjaamaan tuotantoa reaaliajassa, joko lähettämällä komentoja automatisoidulle laitteistolle, tai lähettämällä viestejä työntekijöiden työpisteisiin. (Leng et al. 2019). Sujuva yhteys digitaalisen mallin ja tuotantolaitoksen välillä, joka sallii automaattisen informaation jaon molempiin suuntiin, mahdollistaa lyhyemmät reaktioajat sekä muutoksia tarvittaessa että virhetilanteiden

syntyessä (Ngniatedema et al. 2015). Tämän lisäksi digitaalisella kaksosella voidaan suunnitella materiaalien ja osien liike tehtaassa, ja seurata tätä tuotannon aikana, jolloin saadaan heti tieto mahdollisista puutteista (Leng et al. 2019). Edistyneet virtuaaliset mallit sallivat myös tuotannon testauksen ennen kuin kalliita muutoksia tarvitsee toteuttaa, kuten kohdassa 3.1.2 käsitellyt virtuaaliset prototyypit (Zawadzki & Żywicki, 2016). Kehittämällä tehdassysteemi, jossa varsinainen fyysinen koneisto, prosessin valvontasysteemit ja prosessin digitaalinen vastakappale toimivat yhteistyössä, voidaan siis vastata moniin massaräätälöinnin toiminnanohjauksen haasteisiin (Leng et al. 2019).

Toisaalta, koska tehtaasivat voivat olla massaräätälöinnissä erittäin laajoja, päätöksen tekemisen hajauttaminen voi olla hyödyllistä (Kim et al. 2019; Leng et al. 2019; Jin et al. 2020). Toiminnanohjausta voidaan tässä tapauksessa sujuvoittaa jakamalla tehdas loogisiin itsenäisiin moduuleihin (Leng et al. 2019). Laajaa digitaalista kaksosta voitaisiin siis käyttää keskitetysti etenkin korkeamman tason toiminnanohjauksessa, esimerkiksi yleisten materiaalitarpeiden suhteen, kun taas yksittäiset toimintamoduulit voivat joidenkin parametrien sisällä määrittää oman toimintansa. (Leng et al. 2019; Jin et al. 2020). Esimerkiksi moduulille voidaan välittää tieto siitä, mitä osia tarvitaan ja millä aikavälillä, mutta päätökset siitä miten ja missä tarkassa järjestyksessä asiat tehdään, tapahtuvat moduulin sisäisesti, jolloin päätöksiä tekevät ne, jotka tuntevat aihealueen parhaiten (Kim et al. 2019). Moduulit voivat koostua esimerkiksi sarjasta työpisteitä tai yksittäisistä työvaiheista, ja nämä voivat olla jopa kokonaan automatisoituja (Leng et al. 2019). Moduulien avulla hajautettu päätöksenteko myös mahdollistaa nopeammasta reaktiosta ongelmatilanteissa, sillä moduuli voi itsenäisesti pyrkiä ratkaisemaan ongelmatilanteet niiden syntyessä ilman, että muu tuotanto keskeytyy (Kim et al. 2019).

Toiminnanohjaus on yksi kriittisimpiä massaräätälöinnin toteuttamisen osa-alueita, etenkin mukautuvassa massaräätälöinnissä, koska komponentteja ja muutoksia on paljon. On siis tärkeää, että informaatio on ajan tasalla, materiaaleja on tarpeeksi paljon, ja tuotantoon ei tule katkoksia. Digitaaliset ratkaisut ovat avain tähän, sillä ne sallivat mahdollisimman nopean kommunikaation, joka on avain sujuvaan toimintaan (Zawadzki & Żywicki, 2016; Leng et al. 2019).

### **3.3 Toimitusketjun hallinta**

Toimitusketju voidaan määritellä siten, että siihen kuuluvat kaikki osapuolet, jotka osallistuvat tuotteen fyysisten tai aineettomien elementtien tuottamiseen ja asiakkaalle välittämiseen (Salvador et al. 2004). Tässä osiossa kuitenkin keskitytään lähinnä tutkimaan materiaalien ja komponenttien toimitusketjua tilanteessa, jossa massaräätälöintiä harjoittava yritys järjestää vähintään tuotteiden suunnittelun, hoitaa osan valmistuksesta



itse, ja valvoo toimitusketjua. Koska asiakaskontakti on massaräätälöinnille erittäin tärkeää (Pine 2011; Zawadzki & Żywicki, 2016; Jin et al. 2020), omistetaan sille kokonaan oma luku 3.4. Kuten tuotantoprosessin ja tuotesuunnittelun kuvauksesta käy ilmi, massaräätelöintiin liittyvät nopeat muutokset ja suuri vaihtelu, jotta kysyntään voidaan vastata mahdollisimman tarkasti ja sujuvasti (McIntosh et al. 2010; Zawadzki & Żywicki 2016; Kim et al. 2019). Tämä asettaa painetta myös tuotantoketjulle, sillä kun tuotteisiin tehdään muutoksia ja tuotantolinjoja muutetaan, tai toiminnanohjauksessa esiintyy muutoksia, vaatii se muutoksia myös toimitusketjussa liikkuviin materiaaleihin (McIntosh et al. 2010; Jin et al. 2020). Jos yritys valmistaa kaikki komponentit itse, on muutokset tekeminen helpompaa, koska muutoksien asettamia tarpeita voidaan ennakoida, ja muutokset voidaan suunnitella täysin oman osaamisen pohjalta. Tämä ei kuitenkaan usein ole mahdollista, ja vähintään raaka-aineiden saatavuus on usein varmistettava ulkoisten osapuolten kautta (Jin et al. 2020). Näin ollen massaräätelöinnin kohdalla sekä informaation jako eri osapuolien välillä että materiaali virran hallinta on kriittistä, jotta massaräätelöinti onnistuu (Zhang et al. 2015; Zawadzki & Żywicki, 2016; Jin et al. 2020).

Ennen materiaali- ja informaatiovirran tutkimista nousee kuitenkin esille kaksi kysymystä: mitä tehdään itse ja kenet sisällytetään toimitusketjuun (Salvador et al. 2004, Jin et al. 2020)? Ensimmäistä kysymystä varten on määriteltävä itse massaräätelöintiä harjoittavan yrityksen vahvuudet. Onko yrityksen ensinnäkään mahdollista tuottaa tuotteiden yksittäisiä osia ja moduuleja, vai onko sen vahvuus suunnittelussa, tiettyjen osakokonaisuuksien valmistamisessa ja loppukokoonpanojen kokoamisessa? Vaikka yrityksellä olisi valmiudet tehdä suuri osa valmistuksesta itse, tulee vastaan yksityiskohtia, joissa ulkoinen osaaminen johtaa parempaan tai kustannustehokkaampaan lopputulokseen, ja vähintään jonkin tason materiaaleja täytyy tilata alihankkijoilta (Salvador et al. 2004). Kenet siis otetaan mukaan toimitusketjuun? Kuten missä tahansa muussakin tuotannossa, keskeiseksi pohdinnan kohteeksi nousevat kustannus tehokkuus, osaaminen ja luotettavuus (Salvador et al. 2004, Zhang et al. 2015; Jin et al. 2020). Ideaalitulanteessa voidaan valita yhteistyösopuolek siten, että kaikkien ydinosaamista voidaan hyödyntää tehokkaasti (Jin et al. 2020). Tämä voi tapahtua esimerkiksi löytämällä toimittajia, jotka pystyvät tuottamaan tarkkoja moduuleja tai komponentteja tuotteille (Salvador et al. 2004). Toisaalta suuren vaihtelun takia standarditilaukset eivät välttämättä ole mahdollisia, joten on suotuisaa, jos myös yhteistyökumppanit ovat joustavia (Jin et al. 2020). Näin ollen informaation jaon suunnittelu, ja materiaali virran ohjaus ovat kriittisiä harkinnan kohteita toimitusketjun hallinnassa.

Massaräätälöinnille ominaisten muutosten takia on tärkeää, että materiaalivirta suunnitellaan siten, että näihin vaihteluihin voidaan vastata (Zawadzki & Żywicki, 2016). Ulkoiisiin osapuoliin luottamiseen liittyy aina jonkin verran epävarmuutta, jonka takia on hyvä varautua muun muassa pidempiin toimitusaikoihin, tai komponenttien saatavuusongelmiin (Zhang et al. 2015). Salvador et al. (2004) tuovat esille, että esimerkiksi materiaalien ja komponenttien varastointi on tärkeä osa suunnittelua, mutta pelkästään näihin luottaminen on riskialtista ja usein kallista. Esimerkiksi, jos tiettyä materiaalia varastoidaan runsaasti, jotta puutetta ei synny, voi materiaalista tulla turhaa, jos kysyntä muuttuu ja tehdään muutoksia, joiden takia tätä ei enää tarvita. Hyödyntämällä alihankkijoita ja muita toimittajia voidaan välttää turhien varastojen syntyminen, vaikka yhteistyökumppaneilta ja alihankkijoilta ei voi odottaa reagointia muutoksiin määrättyä nopeammin. (Salvador et al. 2004) Parhaassa tapauksessa pystytään luomaan dynaamisia liittoja, joissa hyödynnetään kunkin osapuolen kykyjä optimaalisesti, ja kaikki osapuolet pystyvät reagoimaan kysynnän muutoksiin jouhevasti (Jin et al. 2020). On siis tärkeää selvittää tarkasti mitä mahdollisia yhteistyökumppaneita on tarjolla ja valita näistä joustavimmat ja luotettavimmat (Salvador et al. 2004; Jin et al. 2020).

Toisaalta miltään yhteistyökumppanilta ei voi olettaa nopeaa reagointia kaikkeen, etenkin ilman sujuvaa informaation vaihtoa. Mitä vapaammin informaatio saadaan kulkemaan eri osapuolien välillä, sitä sujuvammin tilauksien toimitus ja vaihteluun reagointi onnistuu (Nginiatedema et al. 2015). Jin et al. (2020) huomioivat, että perinteisissä toimintaketjuissa kommunikaatio on usein hyvin rajallista ja monet osapuolet saavat tiedon vain seuraavasta tarkasta tilauksesta, poistaen ennakoinnin ja reaaliaikaiseen informaatioon perustuvat päätöksentekomahdollisuudet. Tämä voi myös johtaa informaation katoamiseen matkalla, joko vahingossa, tai jonkun osapuolen suojellessa omia informaatiovoimavarojaan (Jin et al. 2020). Massaräätälöinnin tarkoitus on kuitenkin reagoida nopeasti ja tarkasti asiakaskysyntään, joten vapaampi informaation jako on usein suotuisaa. Mitä rehellisempiä ja valmiimpia jakamaan informaatiota toimitusketjun osapuolet ovat, sitä paremmin kaikki sen jäsenet voivat reagoida esiintyviin tarpeisiin (Zhang et al. 2015; Jin et al. 2020).

Läheinen yhteistyö toimittajien kanssa myös mahdollistaa näiden sisällyttämisen jo suunnittelu prosessiin, jolloin kustannukset, materiaalivirta ja tuotanto voidaan optimoida paremmin (Zhang et al. 2015; Jin et al. 2020). Yhteistyön ja jatkuvan kommunikaation avulla voidaan tunnistaa hukkaa aiheuttavia vaiheita toimitusketjussa, ja jakaa mahdollisia kehitysideoita eri osapuolien erikoispätevyyksien perustuen (Jin et al. 2020). Laaja kommunikaatio myös mahdollistaa esimerkiksi tuoteperheiden suunnittelun toimitusketjun eri osapuolien osaamisen ja olemassa olevien tuotantomahdollisuuksien mukaan,

jolloin koko valmistusprosessia saadaan tehokkaampi ja nopeampi (Salvador et al. 2004). Tämä vaatii kuitenkin paljon luottamusta osapuolten välillä (Purohit et al. 2015), josta syystä vapaaseen kommunikaatioon ja tiedon jakoon siirtyminen on suuri askel mille tahansa yritykselle. Tämä myös korostaa yhteistyökumppanien valinnan tärkeyttä, mutta loppujen lopuksi potentiaali erittäin tehokkaaseen toimintaan on peruste tämän yrittämiselle massaräätälöinnissä (Zhang et al. 2015; Jin et al. 2020). Muun muassa Salvador et al. (2004) kuitenkin huomioivat, että tämä ei ole ainoa tapa toimitusketjun hallinnalle. Samoin kuin tuotannossa, liian keskitetty päätöksenteko voi hidastaa koko prosessia. Näin ollen myös tuotantoketjun hallinnassa voidaan harkita hajautettua päätöksentekoa siten, että eri alihankkijoille vastaavat vain omista komponenteistaan, ja näin pyritään vähentämään turhaa monimutkaisuutta. On myös tärkeä kiinnittää huomiota eri osapuolien vaikutusvaltamahdollisuuksiin. Jos yritys on täysin riippuvainen alihankkijan tuotteesta, voi alihankkija määrittellä esimerkiksi tuotteen hinnan sekä sen saatavuuden, ja yhteistyön tekemisen sijaan suhteella on riski muuttua toispuoleiseksi. (Salvador et al. 2004)

### **3.4 Asiakaskeskeisyys**

Mukautuvan massaräätälöinnin keskeisenä kilpailuetuna on nopea reagointi monien asiakkaiden yksilöllisiin tarpeisiin (Zawadzki & Żywicki, 2016; Hvam et al. 2017; Jin et al. 2020). Informaation saaminen asiakkaalta on siis tärkeää, jotta tätä tietoa voidaan hyödyntää tuotteiden ja toiminnanohjauksen suunnittelussa, sekä markkinoiden hallinnassa (Zhang et al. 2015). Tämä kuitenkin nostaa esille kysymyksen siitä, mistä ja miten informaatio saadaan? Ongelma voidaan ratkaista läheisellä yhteistyöllä ja sujuvalla kommunikaatiolla asiakkaan ja tuottajan välillä (Franke et al. 2010). Toisaalta mukautuvassa massaräätälöinnissä asiakas pääsee suoraan vaikuttamaan vain lopulliseen komponenttien valintaan rajatusta valikoimasta (Gilmore & Pine 1997). Koska massaräätälöinti perusfilosofialtaan on kuitenkin hyvin asiakas painotteista, täytyy miettiä, miten asiakas voidaan sisällyttää koko tuotanto- ja toimitusprosessiin sekä massaräätälöintiä harjoittavan yrityksen hyödyksi että asiakkaiden kiinnostuksen nostamiseksi (McIntosh et al. 2010; Yang et al. 2015; Jin et al. 2020).

Mukautuvassa massaräätälöinnissä tuotevalikoima esitellään asiakkaalle vasta kun sen suunnittelu on melko pitkällä tai jo valmista, eli asiakas ei siis tilaa koko suunnittelua vaan valmiita tuotteita (Gilmore & Pine 1997; Mathiassen & Sandberg, 2014). Näin ollen suoraa informaationsyötettä jokaisen asiakkaan tarpeista ei saada. Kysyntää voidaan kuitenkin selvittää joko suorilla tai epäsuorilla metodeilla (Zhang et al. 2015). Mukautuvan

massaräätälöinnin yhteydessä suoria tapoja kartoittaa kysyntää ovat esimerkiksi eri tahojen kautta järjestetyt kyselyt (Li et al. 2020) ja kohderyhmien kanssa järjestettävät seminaarit tai muut keskustelutilaisuudet (Zhang et al. 2015). Toisaalta rajatun asiakaskontaktin takia voidaan usein hyötyä epäsuorista metodeista, kuten olemassa olevien tuotteiden kysynnän seuraamisesta (Jin et al. 2020). Modulaarisuuteen perustuvalla mukautuvalla massaräätälöinnillä on tässä etu verrattaessa perinteiseen massatuotantoon, sillä tuotteiden moduulien tarjontaa voidaan suhteellisen helposti vaihtaa (McIntosh et al. 2010) ja näin ollen verrata eri kombinaatioiden kysyntää (Salvador et al. 2004).

Vaikka asiakas ei suoraan ole yhteydessä yritykseen suunnittelu- ja tuotantovaiheissa mukautuvassa massaräätälöinnissä, on tärkeää, että koko prosessi on asiakaskeskeinen (Pine 2011). Painopisteen on koko ajan oltava asiakkaiden oletettujen tarpeiden täyttämässä eikä tuotteissa ja tuotannossa (McIntosh et al. 2010). Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että tuotteita ei niin sanotusti yli suunnitella tai asioita tehdä vain, koska tähän on mahdollisuus, vaan siksi, että asiakkailla on edes oletettavasti tarve juuri tällaiselle tuotteelle (Agrawal et al. 2013). Asiakkaita ei myöskään käsitellä yhtenä suurena massana, vaan koko prosessin ajan huomioidaan asiakkaiden yksilöllisyys ja tarpeet, joita tästä syntyy (McIntosh et al. 2010; Hvam et al. 2017; Jin et al. 2020). Tämä voi näkyä esimerkiksi tuotesuunnittelussa juuri asiakastarpeiden priorisoinnissa tuotemahdollisuuksien sijaan (Agrawal et al. 2013), ja tuotannossa sekä toimitusketjussa tuotantopäätöksissä (Salvador et al. 2004), joilla pyritään mahdollistamaan juuri haluttujen tuotteiden toimitus.

Mukautuvassa massaräätälöinnissä asiakas on eniten mukana toiminnassa lopullisessa myyntitilanteessa, joten on erittäin tärkeää miettiä, miten tuote esitetään asiakkaalle, ja miten sitä markkinoidaan. Pallant et al. (2020) kuvailevat tällaista asiakkaan roolia valitsijana (selector) eli asiakas osallistuu yhteiskokoonpanon tekemiseen. Tämän takia tuote täytyy siis esittää siten, että asiakas pystyy valitsemaan sen osat helposti oston yhteydessä, jotta tämä pystyy itse päättämään, miten hän ratkaisee tarpeensa (Gilmore & Pine 1997). Tämä voi esimerkiksi toimia siten, että kun tuote ostetaan nettisivulta, asiakkaalle esitetään vaihtoehdot jokaiselle varioitavalle moduulille, ja asiakas listaa haluamansa yhdistelmät. (Franke et al. 2010; Pallant et al. 2020) Franke et al. (2010) kiinnittävät huomiota siihen, että tuotetta tarjotessa on kriittistä näyttää asiakkaalle, että tällä on useita vaihtoehtoja, jolloin tämä voi löytää juuri itselleen sopivan yhdistelmän, ja tuntea olevansa osa suunnitteluprosessia. Mitä enemmän asiakas kokee olevansa osana tuotteen suunnittelua, sitä todennäköisemmin tämä hyväksyy tuotteen. (Franke et al. 2010)

Asiakaskeskeisyyden varmistaminen koostuu siis kolmesta osasta. Yleisesti, jotta asiakastarpeisiin voidaan vastata, täytyy kysyntää seurata jatkuvasti (Zhang et al. 2015; Li et al. 2020). Tätä informaatiota on sitten hyödynnettävä koko räätälöintiprosessissa niin tuotesuunnittelussa kuin tuotannon ja toimitusketjun hallinnassakin vaiheessa (McIntosh et al. 2010; Hvam et al. 2017; Jin et al. 2020). Lopulta varsinainen myyntitilanne täytyy suunnitella siten, että asiakas pystyy sujuvasti vaikuttamaan tuotteen lopulliseen kokoonpanoon, ja tuntee olevansa osa prosessia (Gilmore & Pine 1997; Franke et al. 2010; Pallant et al. 2020).

## 4. YHTEENVETO

Tässä kirjallisuustutkimuksessa pyritään vastaamaan kysymykseen: Mitä vaatimuksia mukautuva massaräätälöinti asettaa tuotantoprosessin eri vaiheille, ja miten näistä vaatimuksista esille nouseviin haasteisiin voidaan vastata? Aihetta käsitellään tuotesuunnittelun, varsinaisen tuotannon, toimitusketju hallinnan ja asiakaskeskeisyyden kautta. Mukautuvan massaräätälöinnin tarkoitus on vastata yksittäisten asiakkaiden tarpeisiin mahdollisimman tarkasti tarjoamalla perustuotteen ympärille rakennettuja vaihtoehtoja. Lisäksi kilpailuedun saavuttamiseksi kysyntään tulisi vastata mahdollisimman nopeasti. Kirjallisuuden perusteella keskeisiksi vaatimuksiksi nousivat joustavuuden ja nopean, mutta sujuvan toiminnan tarve, jotta muutoksia voidaan toteuttaa nopeasti, ja suuret tuotemäärät ja tuotteiden monimuotoisuus hallita. Taulukossa 1 esitetään yhteenveto siitä, miten näihin haasteisiin vastattiin.

**Taulukko 1. Yhteenveto esitetyistä ratkaisuista.**

|  |                  | Haaste ja sille esitetyt ratkaisut  |   |  |  |
|--|------------------|---|---|--|--|
|  |                  | Laaja tuotevariaatio  | Suuret tuotantomäärät   | Nopeat muutokset ja joustavuuden tarve   | Asiakaskeskeisyyden ylläpito   |
| Aihealue   | Tuotesuunnittelu | Tuotteiden modulaarisuus mahdollistaa suuren variaation (Gilmore & Pine 1997; Agrawal et al. 2013, Hvam et al. 2017).               | Tuotteiden standardointi helpottaa suunnittelua ja myöhemmin tuotantoa (McIntosh et al. 2010; Agrawal et al. 2013).   | Standardointi, automatisointi ja testauksen virtualisointi nopeuttavat suunnittelua (Zawadzki & Żywicki, 2016; Leng et al. 2019). Modulaarisuus helpottaa muutosten toteutusta (Li et al. 2020).                             | Informaatio asiakastarpeista suunnittelijoiden tiedossa, ja prioriteettina (Agrawal et al. 2013).  |
|  | Tuotanto         | Joustavat valmistusmenetelmät mahdollistavat monipuolisten tuotteiden valmistamisen (Kim et al. 2019).                              | Digitalisoitu toiminnanohjaus helpottaa tuotannon seurausta ja ohjausta (Zawadzki & Żywicki, 2016, Leng et al. 2019). | Joustavat valmistusmenetelmät (Kim et al. 2019), tehtaiden modulaarisuus (Kim et al. 2019, Leng et al. 2019) ja hajautettu toiminnanohjaus (Kim et al. 2019; Leng et al. 2019; Jin et al. 2020) nopeuttavat muutosten tekoa. | Toiminnanohjaus perustuu kysyntään ja mahdollisimman reaaliaikaiseen tietoon asiakkaiden tarpeista (McIntosh et al. 2010; Zawadzki & Żywicki 2016; Kim et al. 2019). |
|  | Toimitusketju    | Yhteistyökumppanit valitaan siten, että näillä on sopiva ja mahdollisimman laaja osaaminen (Salvador et al. 2004; Jin et al. 2020). | Valitsemalla sopivat yhteistyökumppanit, ja hyödyntämällä varastoja (Salvador et al. 2004) hallitaan suuret volyymit. | Sujuva, reaaliaikainen ja avoin informaationjako mahdollistaa toimitusketjun jäsenten nopeamman reagoinnin (Zhang et al. 2015; Jin et al. 2020).   | Kuten tuotannossa, päätöksen teko perustuu ensisijaisesti kysyntään.   |
| Yleinen asiakaskeskeisyyden ylläpito   |                  |   |   |  |  |
| Koko prosessissa ylläpidetään asiakaskeskeisyys (McIntosh et al. 2010, Pine 2011), kuten yllä esitetty. Asiakastarpeen seuranta on aktiivista, sekä suoraan, että kysyntään perustuen (Zhang et al. 2015; Li et al. 2020).<br>Asiakas otetaan mahdollisimman aktiivisesti mukaan vähintään loppu kokoonpanon määrittämiseen (Franke et al. 2010, Pallant et al. 2020). |                  |   |   |  |  |

Tutkimus onnistuu siis tunnistamaan kirjallisuudesta joitain valmistavassa tuotannossa esiintyviä mukautuvan massaräätälöinnin haasteita, ja ehdottaa näille konkreettisia ratkaisuja. Tällä tasolla työ on siis onnistunut. Toisaalta työn laajuuden takia yksittäisiä ratkaisuja ei voida tarkastella määrättyä syvällisemmin. Lisäksi jotkin ratkaisut, jotka myös esiintyvät melko usein kirjallisuudessa, kuten myöhäistäminen, mainitaan vain lyhyesti, tai jätetään kokonaan analyysin ulkopuolelle. Näin ollen tulokseksi saadaan vain rajoitettu vastaus siihen, mitä ongelmia mukautuva massaräätälöinti voi yritykselle asettaa, ja mitä ratkaisuja näihin löytyy. Yleisesti analyysi antaa alustavan kuvan siitä, miten mukautuva massaräätälöinti voidaan toteuttaa, ja toimii mahdollisena lähtöpisteenä jatko-tutkimukselle.

Työn laajuus rajoittaa työtä myös siten, että analyysissä ei pystytä käsittelemään tarkkoja tuotantoala ja tuotetyypin kohtaisia haasteita. Näin ollen on mahdollista, että tässä käsitellyt menetelmät mukautuvan massaräätälöinnin mahdollistamiseen eivät toimi kaikissa tapauksissa. Analyysi myös pohjautuu valmistavan teollisuuden tarkasteluun, joka on vain yksi monista mahdollisista perspektiiveistä, jonka kautta mukautuvaa massaräätälöintiä voi tarkastella. Esimerkiksi palveluntuotantotilanteissa haasteet ovat hyvin erilaisia, sillä ne eivät niinkään ole tuotokeskeisiä, toisin kuin tässä analyysissä. Työtä rajoittaa hieman myös joidenkin artikkelien saatavuus, sillä muutama haussa esiintynyt mahdollisesti aiheeseen liittyvä artikkeli, esimerkiksi ajoneuvojen massaräätälöintiin liittyen, jouduttiin jättämään pois, koska ne eivät olleet vapaasti luettavissa. Tämän ei kuitenkaan pitäisi olla suuri ongelma, koska tällaisia artikkeleita on saatavilla oleviin artikkeleihin verrattuna hyvin vähän.

Tutkimusta voidaan jatkaa tästä useaan suuntaan. Kuten tutkimuksen rajoituksista keskustellessa mainittiin, tässä työssä ei tarkastella toimialakohtaisia haasteita, joten massaräätälöinnin toteuttaminen tarkasti määritellyillä toimialoilla olisi hyödyllinen tutkimuksen kohde. Toisaalta tutkimusta voitaisiin jatkaa tarkemmin myös eri aihealueiden pohjalta, kuten keskittymällä pelkästään tuotesuunnittelun toteuttamiseen. Tällaisia tutkimuksia tosin on jo olemassa, joten näihin tutustumalla voi laajentaa tästä tekstistä saatua ymmärrystä (Aldanondo & Vareilles 2008; Kim et al. 2019; Li et al. 2020). Näiden lisäksi olisi tietenkin myös loogista tutkia muiden massaräätälöintityyppien toteuttamista, kun voimakkaampi asiakaskontakti on mahdollista, ja verrata näiden etuja ja haasteita mukautuvan massaräätälöinnin toteuttamiseen.

## LÄHTEET

- Agarwal, D. Robinson, T.T. Armstrong, C.G. & Kapellos, C. (2019). Enhancing CAD-based shape optimisation by automatically updating the CAD model's parameterisation. *Structural and multidisciplinary optimization*, 59(5), pp. 1639–1654.
- Agrawal, T. Sao, A. Fernandes, K. J. Tiwari, M. K. & Kim, D.Y. (2013). A hybrid model of component sharing and platform modularity for optimal product family design. *International Journal of Production Research*, 51(2), pp. 614–625.
- Aldanondo, M. & Vareilles, E. (2008). Configuration for mass customization: how to extend product configuration towards requirements and process configuration. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(5), pp. 521–535.
- Franke, N. Schreier, M. & Kaiser, U. (2010). The "I Designed It Myself" Effect in Mass Customization. *Management science*, 56(1), pp. 125–140.
- Gilmore, J.H. & Pine, B. (1997). The four faces of mass customization, *Harvard Business Review*, Vol. 75 No. 1, pp. 91–101.
- Hvam, L. Herbert-Hansen, Z. Haug, A., Kudsk, A. & Mortensen, N.H. (2017). A framework for determining product modularity levels. *Advances in mechanical engineering*, 9(10), pp. 1–14.
- Jin, M. Wang, H. Zhang, Q. & Zeng, Y. (2020). Supply chain optimization based on chain management and mass customization. *Information systems and e-business management*, 18(4), pp. 647.
- Kim, D. Park, J. Baek, S. Park, K. Kim, H. Park, J. Kim, H. Kim, B. Oh, H. Namgung, K. & Baek, W. (2019). A modular factory testbed for the rapid reconfiguration of manufacturing systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(3), pp. 661–680.
- Leng, J. Zhang, H. Yan, D. Liu, Q. Chen, X. & Zhang, D. (2019). Digital twin-driven manufacturing cyber-physical system for parallel controlling of smart workshop. *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, 10(3), pp. 1155–1166.
- Li, F. Li, X. & Xie, H. (2020). Modular design research of computer numerical control machine tools oriented to customer requirements. *Advances in mechanical engineering*, 12(4), pp. 1–18.
- Mathiassen, L. & Sandberg, A. B. (2014). Process Mass Customization in a Global Software Firm. *IEEE Software*, 31(6), pp. 62–69.



- McIntosh, R. I. Matthews, J. Mullineux, G. & Medland, A. J. (2010). Late customisation: issues of mass customisation in the food industry. *International Journal of Production Research*, 48(6), pp. 1557–1574.
- Ngriatedema, T. Shanker, M. Hu, M. Y. Guiffrida, A. L. & Eddy Patuwo, B. (2015). Late customization strategy with service levels requirements. *International Journal of Production Economics*, 166, pp. 72–84.
- Pallant, J.L. Sands, S. & Karpen, I.O. (2020). The 4Cs of mass customization in service industries: a customer lens. *The Journal of services marketing*, 34(4), pp. 499–511.
- Pine, J. (2011). *Beyond Mass Customization*. Harvard business review. Saatavissa (viitattu 2.4.2021): <https://hbr.org/2011/05/beyond-mass-customization>
- Purohit, J. K. Mittal, M. L. Mittal, S. & Sharma, M. K. (2016). Interpretive structural modeling-based framework for mass customisation enablers: an Indian footwear case. *Production planning & control*, 27(9), pp. 774–786.
- Qiao, G. Roberto, F. L. & McLean, C. (2004). Process control and logistics management for Mass Customization Manufacturing. *IIE Annual Conference Proceedings*.
- Salvador, F. Rungtusanatham, M. & Forza, C. (2004). Supply-chain configurations for mass customization. *Production planning & control*, 15(4), pp. 381–397.
- (2020). SFS:n vuosiesite 2019 - Standardeista kilpailukykyä. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- Yang, J. Kincade, D. H. & Chen-Yu, J. (2015). Types of Apparel Mass Customization and Levels of Modularity and Variety: Application of the Theory of Inventive Problem Solving. *Clothing and textiles research journal*, 33(3), pp. 199–212.
- Yang, L. Ding, X. Hou, R. Tao, Y. & Yang, N. (2020). Streaming information integration unit for mass customization. *IOP conference series. Materials Science and Engineering; IOP Conf.Ser. Mater.Sci.Eng*, 768(5).
- Zawadzki, P. and Żywicki, K. (2016). Smart Product Design and Production Control for Effective Mass Customization in the Industry 4.0 Concept. *Management and Production Engineering Review*, 7(3), pp. 105–112.
- Zhang, M. Zhao, X. Lyles, M. A. & Guo, H. (2015). Absorptive capacity and mass customization capability. *International journal of operations & production management*, 35(9), pp. 1275–1294.