

Panu Pesonen

**TEHTÄVÄTASON TUOTANNON-
OHJAUKSEN KEHITTÄMINEN
KONFIGUROITUVASSA
KOKOONPANO TUOTANNOSSA**

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta (ENS)
Diplomityö
Marraskuu 2019

TIIVISTELMÄ

Panu Pesonen: Tehtävätason tuotannonohjauksen kehittäminen konfiguroituvassa kokoonpanotuotannossa.

Diplomityö

Tampereen yliopisto

Konetekniikan DI-tutkinto-ohjelma

Marraskuu 2019

Nykyiset teknologian ja asiakastarpeiden nopeat muutokset haastavat perinteisiä tuotannon toteutuksen menetelmiä. Uudet ketterät tuotantoa ohjaavat tietojärjestelmäratkaisut tarjoavat nopeita, joustavia ja uudelleenkonfiguroitavia toimintoja tuotannon operatiivisen ohjaamisen tueksi. Yrityksen kilpailukyvyyn säilyttämisen kannalta on tärkeää pysyä muutoksessa mukana, jotta voidaan jatkuvasti optimoida tuotteiden laatu ja tuotantokustannukset.

Tämän Diplomityön tavoitteena oli helpottaa terveysteknologian alalla toimivan kohdeyrityksen kokoonpanotuotannon työntekoa ja varmistaa tuotteiden oikeellinen valmistaminen tuotantoa ohjaavien kohdetietojärjestelmien avulla. Kohdetietojärjestelminä toimivat yrityksen tuotannonohjausjärjestelmä (MES) ja varastohallintajärjestelmä (WMS). Lisäksi tutkimuksessa haluttiin selvittää järjestelmien toiminnalliset- ja sisällölliset tarpeet yhteistyössä ensisijaisten pääkäyttäjien kanssa. Tavoitteisiin pyrittiin pääsemään neljän tutkimuskysymyksen avulla.

Tutkimuksessa hyödynnettiin useampaa tutkimusstrategiaa, joista olennaisin on toiminnallinen design-tutkimus. Työ sisältää kirjallisuuskatsauksen lisäksi empiirisen osion, jossa käsitellään tilausohjautuvan kokoonpanotuotannon nykytilaa, MES-järjestelmän yksityiskohtaisen tehtävöohjeistuksen muodostamista ja ylläpitoa sekä kohdetietojärjestelmien käyttöä tuotantolinjan kahdella vaiheella. Tutkimuksessa yhdistettiin induktiivinen ja deduktiivinen lähestymistapa, sillä tuotannon tehtävätason ohjaussisältö muodostettiin useiden kehityssyöklien pohjalta, joihin kuuluivat sisällön muodostaminen ja riittävyuden testaaminen. Primäärinen tutkimusdata kerättiin osallistuvan havainnoinnin sekä yksilö- ja ryhmähaastatteluiden avulla. MES-järjestelmän käytettävyyttä ja sisältöä arvioitiin tutkimuksen lopuksi lomakepohjaisella kyselyllä, jonka kysymysrakenteena toimi puolistrukturointi.

Tutkimuksessa todettiin, että kohdetietojärjestelmät vastaavat konfiguroituvan työnteon ohjauksellisiin haasteisiin ja mahdollistavat tuotetta jalostamattoman ajan minimoinnin. Lisäksi MES-järjestelmä varmistaa oikeellisen laitevalmistuksen sekä mahdollistaa tehtävöohjeistuksen ajankohtaisen ylläpidon. Tutkimuksen merkittävimpänä tuloksena pidetään sitä, että MES-järjestelmän loppukäyttäjät kokivat järjestelmän helpottavan heidän työntekoaan. Lisäksi he kokivat päässeensä vaikuttamaan riittävästi järjestelmäkäytön ja -sisällön suunnitteluun, jota pidetään yhtenä implementointiprojektin kriittisimpänä tekijänä. Diplomityön tulosten perusteella kohdetietojärjestelmien käyttöönotossa on syytä huomioida pääkäyttäjien osallistaminen, käytettävyyden ja laitevalintojen optimointi, tehtävätason ohjaussisällön luominen ja ylläpito sekä tuotannon perehdytyskäytännöt. Tutkimustulokset antavat hyvät lähtökohdat järjestelmien käyttöönoton laajentamiselle ja nykyisten ohjaavien menetelmien korvaamiselle, mutta toteuttaminen riippuu kohdetietojärjestelmien ylläpitoon ja jatkokehittämiseen allokoituista resursseista. Tietojärjestelmien toiminnassa tunnistettiin useita jatkokehitystarpeita, jotka vaikuttavat järjestelmien käytöstä saatavien hyötyjen realisoitumiselle ja tehokkaalle ylläpidolle.

Avainsanat: tuotannonohjaus, tehtävöohjeistus, MES, tietojärjestelmä, implementointi, käytettävyys, WMS, ERP, ATO

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Panu Pesonen: Development of task-based manufacturing execution in highly configurable assembly production.

Master's Degree

Tampere University

Degree Programme in Mechanical Engineering, MSc (Tech)

November 2019

The ongoing rapid changes in technology and customer needs challenge traditional manufacturing execution methods. New agile production-driven information system solutions provide fast, flexible and reconfigurable features to support operational manufacturing execution. It is important to keep up with the changes to ensure a competitive advantage, which is done by optimizing product quality and manufacturing expenses.

The objective of this thesis was to facilitate the manufacturing work done in the assembly line of the target company and to ensure the correct manufacturing of end-products with the use of main information systems. In the study, manufacturing execution systems (MES) and warehouse management systems (WMS) are referred as the main information systems. In addition, the study aimed to identify functional requirements and content needs of the systems in collaboration with end-users. Four research questions were used to achieve these objectives.

In addition to a literature review, the paper includes an empirical section analysing the current state of assemble-to-order (ATO) production, the development and maintenance of detailed job task instructions for the MES, and the use of main information systems in two phases of the production line. The study utilized several research strategies, the most important of which was functional design research. Inductive and deductive approaches were combined, as the content of task-level MES content was shaped by several development cycles, including content creation and testing. Primary research data were collected through participant observations and with individual and group interviews. At the end of the study, the usability and content of the MES was evaluated using semi-structured interviews.

The study found that the main information systems respond to the challenge of controlling highly configurable job tasks and enable the reduction of non-value-adding time in the manufacturing process. Also, the MES ensures that the correct manufacturing tasks will be performed and enables up-to-date maintenance of task-level work instructions. The most significant finding of the study was that, according to the end-users, MES facilitates their work. In addition, they felt that they had enough influence over the designing of system usage and content, which is one of the most critical aspects of information system implementation. According to the study, following issues need to be taken into consideration when implementing the main information systems: end-user engagement, optimisation of system usability and device selection, creation and maintenance of job task instructional content and production orientation practices. The research results provide a good basis for implementing the systems in practice, expanding their usage and replacing current control methods. However, the level of implementation depends on the total resources allocated to maintain and further develop the information systems. As a result of the study, several needs were identified for the further development of the main information systems. By responding to the needs, the company can increase the profits gained by the system usage and improve the efficiency of system maintenance.

Keywords: manufacturing execution control, job-task instruction, MES, information system, implementation, usability, WMS, ERP, ATO

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

ALKUSANAT

Vuosien taival Tampereen teknillisessä yliopistossa on nyt ohitse. Opiskelu-aika on ollut mieleenpainuvaa ja aktivoinut tunteita laidasta laitaan. Päälimmäisenä muistoissa ovat kuitenkin monipuoliset aihepiirit opintojen parista, vaihto-opiskelukokemukset, oheisaktiviteetit sekä erityisesti mahtavat opiskelukaverit. Kiitos siis opiskelukaverit, teidän kanssanne on ollut mukavaa tehdä tätä yhteistä matkaa.

Erityiskiitos opintoni päättäneen diplomityön osalta kuuluu Planmecan tuotantopäällikölle Juha Järviselle erittäin mielenkiintoisesta tutkimusaihepiirin tarjoamisesta, työn teon vapauden ja siihen liittyvän vastuun antamisesta sekä arvokkaasta tuesta tutkijana kohtamieni haasteiden parissa. Kiitokset kuuluvat myös koko Unit-tiimille. Kehityshanketta on ollut hienoa viedä teidän kanssanne eteenpäin, kun aikaa ja apua on tarvittaessa aina löytynyt. Kiitos lisäksi yliopisto-ohjaajilleni Jussi Heikkilälle ja Aki Jääskeläiselle työn rakenteen ja sisällön korjaus ja kehitysehdotuksista. Lopuksi haluan kiittää mahtavia vanhempiani Jyriä ja Leenaa työn viime hetken tarkastusavusta.

Tähänkö päättyy oppiminen? Uskon, että suorittamani yliopisto-opinnot ovat tarjonneet vain pintaraapaisun siitä, mitä työelämän haasteet tuovat jatkossa tullessaan. Nyt siis eteenpäin kohti uusia haasteita!

Helsingissä, 10.11.2019

Panu Pesonen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen tausta ja tutkimusongelmat.....	1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset	2
1.3 Tutkimuksen rajaus	3
1.4 Tutkimuksen rakenne ja toteutus.....	4
2. KIRJALLISUUSKATSAUS	7
2.1 Tuotantomuodot.....	7
2.2 Tuotannosuunnittelu ja -ohjaus	8
2.2.1 Tuotannonohjauksen menetelmät	11
2.2.2 Tuotannon operatiivisten toimintojen standardit	12
2.2.3 Tuotannosuunnittelu ja -ohjausjärjestelmät	16
2.2.4 Tuotannonohjaamisen uudet ulottuvuudet	18
2.3 Tietojärjestelmien ominaisuudet ja menestystekijät	21
2.3.1 Tietojärjestelmän menestystekijöiden mallit	21
2.3.2 Tietojärjestelmän laadukkuus.....	22
2.3.3 Käytettävyys ja käyttäjäkokemus	24
2.3.4 Tietojärjestelmän käyttäjät	25
2.4 Tuotannonohjausjärjestelmä	26
2.4.1 MES-järjestelmän määrittely ja rooli.....	26
2.4.2 MES-toiminnallisuudet	28
2.4.3 MES-hyödyt	29
2.4.4 MES-implementointi.....	31
2.5 Yhteenveto.....	34
3. TUTKIMUKSEN METODOLOGIA	36
3.1 Tutkimusmenetelmät.....	36
3.2 Aineiston keruumenetelmät.....	39
3.3 Aineiston analysointimenetelmät.....	41
4. TILAUSOHJAUTUVAN TUOTANNON NYKYTILA-ANALYYSI	44
4.1 Planmeca Oy	44
4.2 Tutkimukseen valittu tuotantolinja	45
4.2.1 Tuotantolinjan tuotteet	46
4.2.2 Tuotantolinjan vaiheet.....	46
4.3 Tuotannonohjauksen nykytila-analyysi.....	47
4.3.1 Tuotannonohjaamisen käytännöt	47
4.3.2 Tuotannonohjausjärjestelmän toiminta ja käyttöönotto.....	49

4.3.3	Tuotannonohjauksen muutoksenhallinta ja ylläpito	50
4.3.4	Kalustusvaiheen nykytila-analyysi	52
4.3.5	Lopputestausvaiheen nykytila-analyysi	54
4.4	Nykytila-analyysin yhteenveto	55
5.	TEHTÄVÄTASON TUOTANNONOHJAUKSEN KEHITYSTOIMENPITEET	57
5.1	Kehitysprojektin tukitiimi	57
5.2	Tehtävätason tuotannonohjauksen käytäntöjen muodostaminen	57
5.2.1	Tehtäväsisältö ja työn ohjeistus	58
5.2.2	Tehtäväsisällön muutoshallinta	60
5.2.3	Tuotannon perehdytyskäytännöt	63
5.2.4	MES-käyttöpäätteiden vertailu	64
5.3	Tuotantolinjalle keräily	65
5.3.1	MatFlow-järjestelmän toiminta ja käyttöönotto	66
5.3.2	Jäljitystietojen kerääminen ja käyttö	68
5.4	Kehitystoimenpiteiden yhteenveto	69
6.	TULOSTEN ANALYSOINTI	72
6.1	Kohdetietojärjestelmien käyttö ja laitevalinnat	72
6.1.1	MES-järjestelmän käytettävyys ja ylläpito	72
6.1.2	MatFlow-tuotantokäytön edellytykset	74
6.1.3	Järjestelmäkäytön laitevalinnat	75
6.2	Teorian ja tulosten yhteensopivuus	77
6.2.1	Tutkimuskäytäntöjen ja -tulosten vertaus lähdekirjallisuuteen	77
6.2.2	Tuotannon muutostrendien huomioiminen	79
6.3	Tuotannon työntekoa ohjaavien nykykäytäntöjen korvaaminen	80
6.3.1	Työkortin, tarkastuslomakkeiden ja ERP-käytön korvaaminen	81
6.3.2	Kohdetietojärjestelmien jatkokehitystarpeet	83
6.4	Tulosten analysoinnin yhteenveto	85
7.	PÄÄTELMÄT	87
7.1	Vastaukset tutkimuskysymyksiin	87
7.2	Tutkimuksen rajoitteet ja tavoitteiden toteutuminen	89
7.3	Jatkotutkimusehdotukset	90
	LÄHTEET	92
	LIITE A: TUTKIMUSSISÄLLÖN PRIORISOINTI	99
	LIITE B: RYHMÄHAASTATELUN VÄLIKYSYMYKSET	100
	LIITE C: LOMAKEPOHJAINEN LOPPUKYSELY	101
	LIITE D: MES-TYYLIOPAS	102
	LIITE E: MES-TUKITIIMI JA -ROOLITUKSET	104

LIITE F: MES-TYÖSKENTELYNÄKYMÄ.....	105
LIITE G: MATFLOW-KÄYTTÖLIITTYMÄ.....	106
LIITE H: KOHDETIETOJÄRJESTELMIEN YLEISET JATKOKEHITYSTARPEET	107
LIITE I: PEREHDYTYS- JA TYÖOHJEMATERIAALI.....	108

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Tutkimuksen aikataulukutus.....</i>	<i>6</i>
Kuva 2.	<i>Asiakastilausten kohdentamispisteiden sijainti toimitusstrategioissa (mukaillen Olhager 2003, s. 320).</i>	<i>7</i>
Kuva 3.	<i>Tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen toiminnot (mukaillen Tenhiälä & Helkiö 2015, s. 152)</i>	<i>10</i>
Kuva 4.	<i>Tuotannonsuunnittelun- ja ohjauksen työtehtävät (mukaillen Cichos & Aurich 2016, s. 166).</i>	<i>11</i>
Kuva 5.	<i>Tuotannonsuunnittelu ja -ohjaushierarkia (mukaillen ISA-95.00.01-2000 s. 19).....</i>	<i>13</i>
Kuva 6.	<i>MOM-toiminnot (mukaillen SFS-EN 62264-3:2017 s. 21).</i>	<i>14</i>
Kuva 7.	<i>Tuotannon toteutuksen hallinta (mukaillen SFS-EN 62264-3:2017 s. 36).</i>	<i>15</i>
Kuva 8.	<i>APS tasot ja moduulit (mukaillen Meyr et al. 2008, s. 109).....</i>	<i>17</i>
Kuva 9.	<i>Smart MES-arkkitehtuuri (mukaillen Menezes et al. 2018, s. 1010).....</i>	<i>20</i>
Kuva 10.	<i>Tietojärjestelmän menestyksen tekijät ja vaikutukset (mukaillen DeLone & McLean 1992, s. 87).</i>	<i>21</i>
Kuva 11.	<i>Tietojärjestelmän menestystekijöiden suhde kokonaishyötyihin (mukaillen Ke & Su 2018, s. 897)</i>	<i>22</i>
Kuva 12.	<i>Tietojärjestelmän laadun tekijät (mukaillen ISO/IEC 25010:2011 s. 4)</i>	<i>23</i>
Kuva 13.	<i>Järjestelmäkäytössä koetun laadukkuuden tekijät (mukaillen ISO/IEC 25010:2011 s. 3)</i>	<i>23</i>
Kuva 14.	<i>Asiakastyytyväisyyden malli (mukaillen Liao et al. 2009, s. 311).</i>	<i>26</i>
Kuva 15.	<i>MES:n rooli järjestelmähierarkiassa (mukaillen Lee et al. 2012a, s. 1943).</i>	<i>27</i>
Kuva 16.	<i>MES-toiminnallisuudet (mukaillen Fei 2010).</i>	<i>29</i>
Kuva 17.	<i>MES-implementoinnin vaiheet (mukaillen Govindaraju & Putra 2016, s. 4).</i>	<i>32</i>
Kuva 18.	<i>MES-implementoinnin onnistumisen edellytykset ja vaikutukset (mukaillen Lee et al. 2012a, s. 1944).</i>	<i>34</i>
Kuva 19.	<i>Design-tutkimuksen vaiheet (mukaillen Edwards & Willis 2014, s. 199).</i>	<i>37</i>
Kuva 20.	<i>MES-käyttöliittymän prosessimalli.</i>	<i>49</i>
Kuva 21.	<i>MES-tietomallin elementit.</i>	<i>51</i>
Kuva 22.	<i>Kalustusvaiheen prosessikaavio.</i>	<i>52</i>
Kuva 23.	<i>Tehtäväsisällön muutosprosessi.</i>	<i>62</i>
Kuva 24.	<i>Tuotannon asiakaslähtöiset muutostoimenpiteet.</i>	<i>62</i>
Kuva 25.	<i>Tehtävätason ohjeistussisällön muodostaminen.</i>	<i>73</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ADR	<i>action design research</i> toiminnallinen design-tutkimus
APP	<i>aggregate production planning</i> tuotannon kokonaissuunnittelu
APS	<i>advanced planning and control</i> tuotannon hienokuormitusjärjestelmä
ATO	<i>assemble-to-order</i> tilauksesta kokoonpano
CRM	<i>customer-relationship management</i> asiakkuudenhallinta
DHR	<i>device history record</i> laitteen valmistuksen historiatiedot
EIS	<i>enterprise information systems</i> yrityksen tietojärjestelmät
ERP	<i>enterprise resource system</i> toiminnanohjausjärjestelmä
ETO	<i>engineer-to-order</i> tilauksesta suunnittelu
GUI	<i>graphical user interface</i> graafinen käyttöliittymä
IoT	<i>internet of things</i> esineiden internet
IS	<i>information systems</i> tietojärjestelmät
JIT	<i>just-in-time</i> juuri oikeaan tarpeeseen
KPI	<i>key performance indicator</i> suorituskyvyn mittari
LIMS	<i>laboratory information management systems</i> laboratorion tiedonhallintajärjestelmä
MES	<i>manufacturing execution system</i> tuotannonohjausjärjestelmä
MESA	<i>manufacturing enterprise solutions association</i> tuotantojärjestelmiä kehittävä yhteisö

MOM	<i>manufacturing operations management</i> tuotannon toiminnanohjaus
MPCS	<i>manufacturing planning and control system</i> tuotannonsuunnittelu ja -ohjausjärjestelmä
MPS	<i>master production scheduling</i> tuotannon pääaikataulus
MRP	<i>material requirements planning</i> materiaalitarpeiden suunnittelu
MTO	<i>make-to-order</i> tilauksesta valmistus
MTS	<i>make-to-stock</i> varasto-ohjautuva tuotanto
OPP	<i>order penetration point</i> asiakastilauksen kohdistuspiste
PA	<i>performance analysis</i> suorituskyvyn analysointi
PDM	<i>product data management</i> tuotetiedon hallinta
PLM	<i>product lifecycle management</i> tuotteiden elinkaaren hallinta
PPC/MPC	<i>production planning and control/manufacturing planning and control</i> tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus
RFID	<i>radio frequency identification</i> radiotaajuinen tunnistus
SCM	<i>supply chain management</i> toimitusketjun hallinta
SPC	<i>statistical process control</i> tilastollinen prosessinhallinta
S&OP	<i>sales and operations planning</i> kysynnän ja tarjonnan tasapainottaminen
WIP	<i>work in progress</i> keskeneräinen tuotanto
WMS	<i>warehouse management systems</i> varastohallintajärjestelmä

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta ja tutkimusongelmat

Vuosien ajan teollinen tuotanto on toteutettu kokemuksen, jäykkien suunnittelu-, ohjaus- ja analytiikkajärjestelmien sekä metodologioiden, kuten Six Sigman avulla. (Ochs & Riemann 2018) Nykyiset teknologian ja asiakastarpeiden nopeat muutokset haastavat perinteisiä tuotannon toteutuksen menetelmiä, muokkaavat koko liiketoimintaympäristöä ja luovat yrityksille painetta pysyä muutoksessa mukana säilyttäen oman kilpailukykyensä. Vaikka tulevaisuuden pidempiaikaisia tuotantokonseptin muutostrendejä on vaikeaa ennustaa, nykyhetken ja tärkeimpien muutokseen vaikuttavien ajurien analysoinnin avulla voidaan tehdä tarkkoja oletuksia (Mehrabi et al. 2000).

Kirjallisuudessa puhutaan *digitalisaation* käynnistämästä neljännestä teollisesta vallankumouksesta, joka aiheuttaa uusien tuotannon ohjausvaatimuksien kanssa muutostarpeita teollisuudessa (Al-Jaroodi et al. 2018, Senvar & Akkartal 2018). Vinhais (2004) toteaa että yritys, joka pystyy tehokkaimmin valmistamaan tuotteita korkeimmalla laadulla ja matalimmilla kustannuksilla, luo pohjan menestykselle. Suomella on erityispiirteittänsä ja -osaamisensa myötä kilpailuetua muihin kansantalouksiin verrattuna seuraavien asioiden parissa:

- tutkimus ja kehitys,
- vahva ICT-sektori,
- työpaikkojen ja kulttuurin kehittäminen sekä
- digitaaliset taidot ja valmius (Nordic Council of Ministers 2015).

Tutkimuksen kohdeyritys, Planmeca Oy, toimii terveysteknologian alalla ja valmistaa hammaslääketieteen laitteita Helsingissä. Lääketieteellisten laitteiden valmistajien täytyy kontrolloida kustannuksia ja samalla varmistaa tuotteiden vaadittava laatu. Laadukkaiden tuotteiden valmistamista voidaankin pitää alalla tuotevalmistajien yhteisenä tavoitteena. Näin pyritään välttämään tuotteiden mahdollisesta viallisesta toiminnasta koituvia terveydellisiä haittoja, vakavia vammoja tai laitteiden takaisinkutsuja, jotka vaikuttavat yrityksen maineeseen. Koska tuotannonohjausjärjestelmä eli MES (*manufacturing exe-*

cution system) mahdollistaa tuotantoprosessien ja tuotteiden laadun jatkuvan kehittämisen, on arvioitu, että MES muodostuu standardiksi biotekniikan ja lääketieteellisten tuotteiden teollisessa tuotannossa. (Vinhais 2004, Knight & Lamb 2006)

Planmeca on ryhtynyt kustomoimaan MES-järjestelmää omiin tarpeisiinsa yhteistyössä ohjelmistoyrityksen kanssa. Järjestelmän kehitys- ja käyttöönottoprojekti on ollut käynnissä Planmecalla yli kahden vuoden ajan yritysten välisen yhteistyön alkamisen jälkeen. MES on käynyt läpi useita versiopäivityksiä, joiden seurauksena käyttöliittymän visuaalinen ulkonäkö ja toimintalogiikka ovat uudistuneet. Päivitysten seurauksena tuotantolinjan yksityiskohtaisempi tuotannonohjaus ja ohjeistus on muuttunut mahdolliseksi. Uuden järjestelmäversion avulla vaihekohtaisesta ohjauksesta voidaan siirtyä tarkempaan tehtävätason ohjaamiseen. Tehtävätason tuotannonohjauksella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa yksityiskohtaista työnteon ohjaamista MES-järjestelmässä näkyvien konfiguroituvien tehtävöihjeiden pohjalta.

Kohdeyrityksen valmistamat hammashoitotuolit eli hoitokoneet ovat asiakastarpeiden pohjalta hyvin pitkälle konfiguroituvia. Jo pelkästään tutkimukseen valitulla tuotantolinjalla valmistettavan tuoteperheen variaatiomäärä on yli $2,3 \times 10^{12}$ ja materiaaleja ohjaa järjestelmäpohjaisesti yli 20 000 rakenneriiviä. Suurien konfiguroituvien hoitokonemäärien valmistuksen ohjauksellisista haasteista muodostuu tämän työn tutkimusongelmat:

- Lopputuotteiden suuri konfigurointimäärä johtaa haasteisiin työnteon ohjauksen, tuotannon virtauksen, työohjeiden luomisen ja ylläpidon sekä tuotannon jalostamattoman ajan minimoimisen osalta.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimusongelmien tunnistamisen myötä kohdeyrityksessä on ymmärretty, että MES-järjestelmä mahdollistaa työnteon helpottamisen, tekemisen varmentamisen ja yhdenmukaistamisen, jäljitettävän datan keräämisen sekä tuotteiden laadun varmentamisen. Yrityksessä on lisäksi käytössä varastonhallintajärjestelmä MatFlow, joka toimii tutkimuksessa analysoinnin kohteena linjalle keräily osalta. Kohdetietojärjestelmistä puhuttaessa työssä viitataan täten MES- ja MatFlow-järjestelmiin.

Tutkimusongelmasta muodostetaan tämän diplomityön tavoitteet, joiden tarkoituksena on:

- helpottaa kohdetietojärjestelmien avulla tuotannon työnteoa ja varmistaa tuotteiden oikeellisen valmistaminen kalustus- ja lopputestivaiheilla,
- osallistaa kohdetietojärjestelmien ensisijaiset pääkäyttäjät kohdetietojärjestelmien käyttöönottoon, sekä

- muodostaa käsitys kohdetietojärjestelmien toiminnallisista tarpeista, sisältötarpeista ja sisällön vaivattomasta ylläpitomenettelystä.

Kohdetietojärjestelmät tarjoavat uuden tavan ohjata tuotantoa ja keräilyä, sillä tutkimuksen alkuvaiheessa tuotannon työnteon ohjaustapa perustuu pitkälti paperiseen työkorttiin sekä ”avain”-nimikkeiden esiintymiseen kortin vaihekohtaisella nimikelistalla. Avainnimikkeet kertovat tuotteen variaatio-ominaisuudet ja ohjaavat erityisesti tuotantolinjan kalustusta. Kohdetietojärjestelmien käytön ja sisältötarpeen osalta tutkimuksessa keskitytään pääosin MES-järjestelmään, jonka tehtävätason ohjaussisältö pyritään muodostamaan käytettäväksi ja ylläpidettäväksi huomioiden muutoksiin reagoivan valmistamisen. MES-järjestelmän käyttöä pyritään lisäksi laajentamaan valitun tuotantolinjan kalustusvaiheeseen, jotta järjestelmän tuomat hyödyt saadaan laajemmin käyttöön.

Ennen tutkimuksen aloittamista MES-projektia ja sen sisältöä oli kehitelty pääosin tuotannon tukitiimin sisällä. Jotta järjestelmä koetaan tuotannon työntekoa helpottavaksi, tutkimukseen liittyvän jatkokehityksen lähtökohtana on tarkempi järjestelmäsissällön ideointi sekä käyttöpäätteiden vertailu yhdessä tuotannon työntekijöiden eli pääasiallisten loppukäyttäjien kanssa. Ideoinnin yhteydessä on kuitenkin syytä huomioida erityisesti tuotannon tukitiimin näkemykset työnteon menetelmistä, yksikön resurssit kehitys- ja järjestelmäylläpidosta sekä tietojärjestelmän rajoitteet toimintalogiikan osalta.

Tutkimustavoitteiden pohjalta muodostetaan neljä tutkimuskysymystä:

K1: Mitkä ovat tuotannon työnteon ohjaukselliset haasteet nykytilanteessa?

K2: Miten kohdetietojärjestelmät vastaavat tuotannon työnteon ohjauksellisiin haasteisiin?

K3: Mitä tulee huomioida kohdetietojärjestelmien käyttöönotossa?

K4: Saadaanko kohdetietojärjestelmillä korvattua nykyiset tuotannon työntekoa ohjaavat menetelmät?

Tutkimuskysymyksien avulla pyritään löytämään ratkaisut esitettyihin tutkimusongelmiin, toteuttamaan asetetut tavoitteet ja arvioimaan lopuksi tutkimuksen onnistumista. Nykytilalla tarkoitetaan tutkimuksen lähtötilannetta.

1.3 Tutkimuksen rajaus

Vaikka tutkimuksen aihealueet, yrityksen järjestelmäarkkitehtuuri ja käytännönläheiset tarpeet muodostavat hyvin spesifisen toimintaympäristön, tutkimuksen teoriapohjaisessa kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan yleisellä tasolla tuotannonsuunnittelua ja -

ohjausta sekä MES-järjestelmiä ja niiden implementointia. Näin pyritään saamaan selkeä käsitys tutkittavasta aiheesta ja siihen liittyvistä kokonaisuuksista. Kuten Tiainen et al. (2015, s. 24) mainitsevat: ”*Kehittäminen ei voi perustua ainoastaan organisaatioiden toimijoiden omaan käsitykseen ja ymmärrykseen käsiteltävästä ongelmasta, koska tällöin olisi riskinä, että tutkimus ja kehittäminen nojaa liikaa tietoon, jota ovat vahvasti muokanneet muun muassa paikalliset käsitykset, kokemukset, asenteet ja kulttuuri.*” Jotta järjestelmän toiminta ja sisältö saadaan parhaalla mahdollisella tavalla palvelemaan työntekijöitä, tutkimuksessa selvitetään myös käyttäjäkokemuksen muodostumista, tietojärjestelmän laadukkuutta ja menestystekijöitä. Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan lisäksi tuotannonohjauksen tulevaisuuden suuntauksia, jotta yrityksen ja työntekijöiden nykyisten tarpeiden lisäksi kehitystyössä voidaan ennakoida mahdollisimman tarkasti tulevaisuuden tarpeet.

Tutkimuksen toteutus rajataan kohdeyrityksen tilausohjautuvan tuotantolinjan lopputesti- ja kalustusvaiheeseen. Tutkimuksessa käsiteltävien aihealueiden rajauksen apuna käytetään lisäksi miellekarttaa, johon listattiin kaikki työn otsikkoon liittyvät osa-alueet, piirrettiin aiheiden keskinäiset yhteydet sekä priorisoitiin aiheiden kriittisyys työn tavoitteiden pohjalta. Miellekartta on esitetty *liitteessä A*. Kriittisyysluokittelua käytetään hyväksi teoriaosuuteen sisällytettävien aihepiirien valinnassa sekä aihepiiriin linkittyvien asiayhteyksien hahmottamisessa, jotta tutkimuskysymys **K3**:seen voidaan vastata kattavasti. Kriittisyysluokiksi 6-7 merkittyjen aihealueiden tarkastelu rajataan tutkimuksessa vähäiseksi tai kokonaan pois. Sisällön laajuudesta johtuen tutkimuksessa keskitytään pääosin latiatason tuotannon eli työnteon ohjaamiseen, MES-järjestelmän implementointiin sekä yksityiskohtaisen tehtävätason työhohjesisällön muodostamiseen. Rajauksen ulkopuolelle jätetään tilaus-toimitusketjun, strategisen päätöksenteon, tuotantostrategian, viranomaisnäkökulman sekä tuotannon kokonaissuunnittelun ja -kuormituksen käsittely.

1.4 Tutkimuksen rakenne ja toteutus

Tutkimus toteutetaan *toiminnallisena design-tutkimuksena*, jossa on lisäksi *tapaustutkimuksen* piirteitä. Tutkimusraportti jakautuu johdantoon, kirjallisuuskatsaukseen, tutkimuksen metodologia -osuuteen, nykytila-analyysiin, kehitystoimenpiteisiin, tulosten analysointiin sekä loppupäätelmiin. Luvussa 2 selvitetään tutkimuksen rajauksen mukaisesti tutkittava aihe, aiheeseen liittyvät kokonaisuudet sekä erityisesti MES-järjestelmän implementointi. Kirjallisuudesta löytyy tietoa MES-järjestelmän ominaisuuksista ja hyödyistä, sen sijaan MES-järjestelmän implementoinnista tai kustomoinnista tiedetään vähän. MES-järjestelmästä keskustellaan usein hyvin yleisellä tasolla, jolloin järjestelmän

hyötyjä ja sisältötarpeita ei tarkastella tuotantotyyppikohtaisesti. Siksi tutkimuksen lähtökohta on haasteellinen. (Swanton & Smith 2005, Lee, Sang M. et al. 2012a, Wood 2016, Govindaraju & Putra 2016)

Luvussa 3 käsitellään tutkimuksen metodologiset valinnat, joihin kuuluvat tutkimusmenetelmät sekä tutkimusaineiston keruu-, luokittelu- ja analysointimenetelmät. Luvussa 4 toteutetaan tilausohjautuvan tuotannon lähtötilanteen kartoitus nykytila-analyysin avulla, jossa käsitellään lyhyesti kohdeyritys, tutkimukseen valittu tuotantolinja, linjan vaiheet ja oleelliset tietojärjestelmät sekä tuotannonohjausmenetelmät. Koska tuotantolinjan lopputesti- ja kalustusvaiheiden toiminta poikkeaa huomattavasti toisistaan, vaiheille toteutetaan kahden tapauksen eli lopputesti- ja kalustusvaiheen nykytila-analyysi. Analyysin perusteella voidaan esittää nykyiset tuotannon ohjaukselliset haasteet ja vastata tutkimuskysymykseen **K1**.

Luvussa 5 käsitellään nykytila-analyysin pohjalta luotuja tuotannonohjauskäytäntöjä ja muita tietojärjestelmien implementoinnin yhteydessä huomioon otettavia seikkoja, jotta voidaan vastata tutkimuskysymykseen **K3**. Erityisesti kohdetietojärjestelmien pääkäyttäjien osallistamisen tärkeys käy selväksi lähdekirjallisuuden perusteella, sillä sitä pidetään yhtenä MES-järjestelmän implementoinnin onnistumisen kriittisenä tekijänä (Markus & Ji-Ye Mao 2004, Anisimov & Reshetnikov 2011). Siksi järjestelmäkäytön testaus ja sisällön luominen tapahtuu useissa pienissä kehityssykleissä yhteistyössä kehitysprojektin tukitiimin kanssa. Testauksessa käytetään avuksi ERP (*enterprise resource system*) ja MES-järjestelmien testikantoja, -vaihemalleja, -tilauksia ja -töitä, jonka jälkeen parhaimmaksi todetut käytännöt otetaan muutosmenettelyjen kautta tuotetyypeittäin käyttöön tuotantopuolen aktiivisiin järjestelmiin. *Liitteessä F* esitetään kuvakaappaus tutkimuksen aikana muotoutuneesta MES-järjestelmän työskentelynäköymästä ja käyttöön otetusta tehtäväsisällöstä. Kehitystoimenpiteisiin kuuluvat lisäksi MatFlow-järjestelmäkäytön testaus linjalle keräilyn yhteydessä sekä kohdetietojärjestelmien käyttöpäätteiden vertailu.

Luvussa 6 analysoidaan kohdetietojärjestelmien käytön ja laitevalintojen tutkimustuloksia sekä verrataan niitä olemassa olevaan kirjallisuuteen ja kohdeyrityksen nykyisiin käytäntöihin. Tämän jälkeen voidaan vastata tutkimuskysymykseen **K4** eli tarkastella työn-tekoa ohjaavien nykykäytäntöjen korvaamista sekä tunnistaa kohdetietojärjestelmien käytön ja sisällön jatkokehitystarpeet. Tutkimuksen viimeisessä luvussa 7 esitetään vastaukset tutkimuskysymyksiin, arvioidaan tutkimuksen rajoitteet, tavoitteiden toteutuminen ja yleistettävyyden sekä esitetään jatkotutkimusehdotukset. Vaikka yrityksen ainutlaa-

tuisesta kehitys- ja implementointiprojektista ei voi tehdä laajasti yleistettäviä johtopäätöksiä, tutkimuksen pohjalta voidaan kuitenkin muodostaa suuntaa antavia näkemyksiä MES-järjestelmän implementoinnille, käytölle ja ylläpidolle konfiguroituvassa tuotanto-ympäristössä.

Ajallisesti tutkimusdatan kerääminen hajautuu useaan osaan, sillä nykytila-analyysissä käytetään hyödyksi aikaisempien työjaksojen pohjalta muodostettua tutkimuspäiväkirjaa. Tutkimuksen ajallista toteuttamista havainnollistetaan kuvassa 1, missä keltaisella värillä on merkitty toteutumisaikajankohta tutkimusvaiheiden osalta.

Aihepiirit	Kuukausi												Vuosi
	tammikuu	helmikuu	maaliskuu	huhtikuu	toukokuu	kesäkuu	heinäkuu	elokuu	syyskuu	lokakuu	marraskuu	joulukuu	
tutkimuspäiväkirjan kirjoitus													2017
tuotannon havaintojen kerääminen													2018
yhteistyön pohjustaminen ja muutostarpeen herättely													2019
havaintopohjaisten muutostarpeiden luonnostelu													
tutkimuksen sisällyluettelon jäsentäminen													
muutoksien toteuttaminen													
kirjallisuuslähteiden etsintä													
teoria- ja tutkimusmenetelmäosuuden kirjoitus													
toteutettujen muutosten analysointi													
MES-käytön laajentamisen analysointi ja haastattelut													
MES sisällön tuottaminen ja jatkokehitys													
MathFlow:n ja keräystoimintojen analysointi													
kehitystulosten analysointi													
teorian vertaus tuloksiin													
johtopäätöksien luonti													
jatkokehitystarpeiden ideointi													
työn viimeistely													
työn palautus													

Kuva 1. Tutkimuksen aikataulukus.

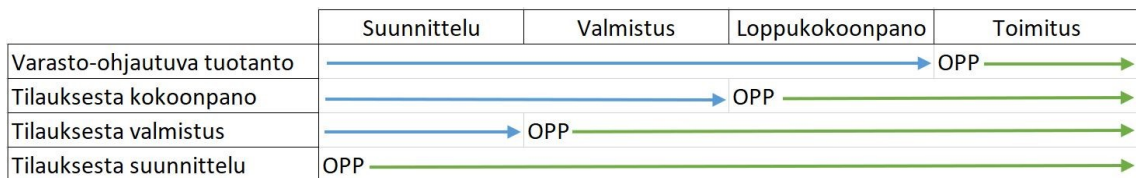
Primääristä tutkimusdataa kerätään nykytila-analyysissä avoimilla haastatteluilla ja havainnoilla. Datan keräämisessä tutkija toimii osallistuvana havainnoijana, jotta yhteistyö työntekijöiden kanssa saadaan toimimaan avoimesti ja todelliset toiminnan haasteet tulevat esiin. Näin pyritään myös välttämään Järvisten (2011) mainitsevat ongelmat tutkitavan todellisuuden vähäisestä ymmärtämisestä ja muutostavastarinnan esiintymisestä. MES-järjestelmän käytettävyyden ja sisällön muodostamisessa keskeisimmässä roolissa ovat lopputestivaiheelle toteutettu ryhmähaastattelu (*liite B*) sekä lomakepohjainen loppukysely (*liite C*). Haastattelun ja kyselyn kyselyrakenteena toimii *puolistrukturointi*, jolla pyritään mahdollistamaan vastausjärjestyksestä riippumattomat vapaamuotoiset ja monipuoliset vastaukset (Saunders et al. 2009, Järvinen & Järvinen 2011).

2. KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Tuotantomuodot

Asiakastilaus voidaan kohdentaa tuotteille liiketoimintaympäristön mukaan usealla tavalla. Asiakastilauksen kohdentamispiste (*OPP, order penetration point*) määrittää sen, missä toimitusketjun vaiheessa tuotteille kohdennetaan tilauksen asiakas. Olhager (2003) jakaa toimitusketjun Lean-osaan, mikäli puhutaan OPP:n edeltävästä osuudesta, ja joustavaan osaan, jos kyseessä on OPP:n jälkeinen osuus. Kohdentamispisteen sijainnin asemoinnilla on merkittävä vaikutus yrityksen kilpailukyvyyn muodostumiseen. Se tulisi määrittää tuotteiden kysynnän määrän ja vaihtelun sekä tuotannon läpimenoajan ja toimituksen välisen yhteyden pohjalta. Tuotannon operaatiot voidaan jakaa ennustehjautuvaksi ennen OPP-pistettä ja asiakasohjautuvaksi OPP-pisteen jälkeen. Ennustehjautuvalle tuotannolle on ominaista suuret tuotantovolyymit, standardoidut rajoitetut tuotevariaatiot sekä kustannustehokkuus, kun taas asiakasohjautuvat operaatiot suosivat joustavuutta, vähäistä keskeneräistä tuotantoa sekä suurta kustomointimahdollisuutta. (Olhager 2003)

Yrityksen liiketoimintaympäristö määrittää sen, minkälaisen tuotannon toimitusstrategia kannattaa valita. Toimitusstrategioista löytyy kirjallisuudesta useita erilaisia mainintoja: tilauksesta valmistus (*MTO, make-to-order*), tilauksesta kokoonpano (*ATO, assemble-to-order*), varasto-ohjautuva tuotanto (*MTS, make-to-stock*), tilauksesta suunnittelu (*ETO, engineer-to-order*) sekä tilauksesta design (*DTO, design-to-order*). Strategioiden ja tilausten kohdentamispisteiden toimitusketjuperusteiset sijainnit on havainnollistettu kuvassa 2. (Porter et al. 1999, Olhager 2003, Vollmann et al. 2005, Atan et al. 2017)



Kuva 2. Asiakastilausten kohdentamispisteiden sijainti toimitusstrategioissa (mukailen Olhager 2003, s. 320).

MTO on tarpeellinen valinta kompleksisille tuotteille, joiden variaatiovalikoima on hyvin suuri ja joiden kustomointi toteutetaan jo aikaisessa tuotantovaiheessa. Tällöin jokainen tuote tehdään komponenttitasolla alusta loppuun asiakastilauksen pohjalta. ATO on tyy-

pillinen strategia modulaarisille korkean teknologian tuotteille, joiden kustomointi tapahtuu myöhäisessä tuotantovaiheessa. Kyseiset tuotteet sisältävät useita komponentteja, joista suurin osa valmistetaan moduuleiksi tai kompleksisiksi alikokoonpanoiksi ennen asiakastilauksipistettä. ATO-strategian suurimmat haasteet muodostuvat kustannusten minimoimisen ja korkean asiakaspalvelutason ristiriitaisista tarpeista. MTS tuotannossa lopputuotteet valmistetaan ennusteiden pohjalta varastoihin ennen asiakastilausta. Tällöin varastosuunnittelu ja kysynnän ennusteet ovat merkittävässä roolissa strategian onnistumisen kannalta. ETO strategiassa tavoitteena on resurssien tehokas hallinta, sillä tuotteet suunnitellaan ja valmistetaan pääosin asiakastarpeiden pohjalta. Tuotteiden komponenttivarastot täydennetään tällöin asiakastilausten perusteella, jolloin vaadittavien alikomponenttien toimitusajalla on suuri merkitys strategian onnistumiselle. DTO-strategia eroaa ETO:sta, sillä ETO sisältää standardoituja tuotteita kustomointimahdollisuudella, mutta DTO:n mukaisesti valmistettu tuote on täysin yksittäiselle asiakkaalle suunniteltu ja valmistettu. Kyseisestä toimitusstrategiasta löytyy kuitenkin vähemmän mainintoja kirjallisuudesta. (Porter et al. 1999, Olhager 2003, Atan et al. 2017)

Tuotantoprosessit voidaan lisäksi jakaa karkeasti jatkuvaan ja epäjatkuvaan tuotantoon. Porter et al. (1999) tarkentavat jakoa vielä neljällä ominaistuotantotyyppillä, jotka on listattu alla lähtien suurimmasta tuotantovolyymistä ja pienimmästä tuotteiden variaatiomäärästä:

1. virtaustuotanto,
2. erätuotanto,
3. yksittäistuotanto ja
4. projektituotanto.

On tunnistettava, että mitä ainutkertaisemmista tuotteista on kysymys, ja mitä useammilla variaatiomahdollisuuksilla niitä tarjotaan, sitä pidempi on tuotteen tai hyödykkeen toimitusaika.

2.2 Tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus

Tuotannonsuunnittelu, -ohjaus ja -hallinta sekä niiden sisältö jäävät kirjallisuudessa usein ilman määritelmiä ja termien käytössä on havaittavissa epäloogisuuksia. Jo pelkästään tuotannon hallintataso sisältää Meyerin et al. (2009) listauksen mukaan 15 näkökulmaa tai toimintoa. Tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus voidaan myös käsittää useiden asioiden summana. Seitzin & Nyhuisin (2015, s. 93) mukaan yhdistetyllä termillä tarkoitetaan yrityksen hyödykkeiden virtauksen suunnittelu- ja ohjausoperaatioiden organisointia, johon liittyy aikataulutus, kapasiteetin ja tuotantomäärien huomioiminen. Bendul

& Blunck (2019, s. 264) kuvailevat puolestaan tuotannosuunnittelua ja ohjausta kaikkien yrityksen arvoa lisäävien prosessien hallintana, joka kattaa usean aikaikkunan toisiinsa vaikuttavat toiminnot. Tuotannon tuotteiden määrään ja sisällön strategisiin vaatimuksiin vastaamista voidaan pitää pidemmän aikavälin toimintona, kun taas koneen vaiheikoihin sekä henkilöstöhallintaan liittyvä päätöksenteko ovat lyhyen aikavälin toimintoja. He lisäävät, että terminologiassa on kuitenkin havaittavissa määrittelyn osalta tutkijoista ja tutkimuksista riippuen eroavaisuuksia. Tutkimuslähteistä löytyy keskustelua tuotannosuunnittelusta ja ohjauksesta (*PPC, production planning and control*), tuotannosuunnittelusta ja aikatauluttamisesta (*PPS, production planning and scheduling*) tai prosessinsuunnittelusta ja aikatauluttamisesta (*process planning and scheduling*) sekä teollisuuden suunnittelusta ja ohjauksesta (*MPC, manufacturing planning and control*) (Fleischmann & Meyr 2003, Wang & Lin 2009, Li et al. 2010, Tenhiälä & Helkiö 2015, Bendul & Blunck 2019).

Tuotannosuunnittelua voidaan kuvata olemassa olevan tai ennustetun asiakastarpeen muuttamiseksi tuotantotilauksiksi ja lähetyspäivämääriksi. Suunnittelu sisältää myös tuotannon tuotteiden ja kokoonpanojen sisällön sekä yksittäisten tuotantoprosessien konfiguroinnin. Vogel et al. (2017) jakavat tuotannosuunnittelun aikaikkunoiden osalta kolmeen osaan: tuotannon kokonaissuunnittelu (*APP, aggregate production planning*), tuotannon pääaikataulutus (*MPS, master production scheduling*) sekä materiaaltarpeiden suunnittelu (*MRP, material requirements planning*). He kuitenkin toteavat, että määritelmät ovat hyvin epäselviä johtuen teollisuuden toimialojen ja yritysten välisistä eroista. (Bendul & Blunck 2019)

Tuotannon aikataulutuksella tarkoitetaan päätöksentekoon liittyviä toimia, jotka toteutetaan ennen tuotannon aikataulutuksen julkaisemista. Reaaliaikaisen informaation liikkumisella ja oikeellisuudella on suuri merkitys siihen, toteutuvatko aikataulutuksen suunnitelmat. (Seitz & Nyhuis 2015, Bendul & Blunck 2019)

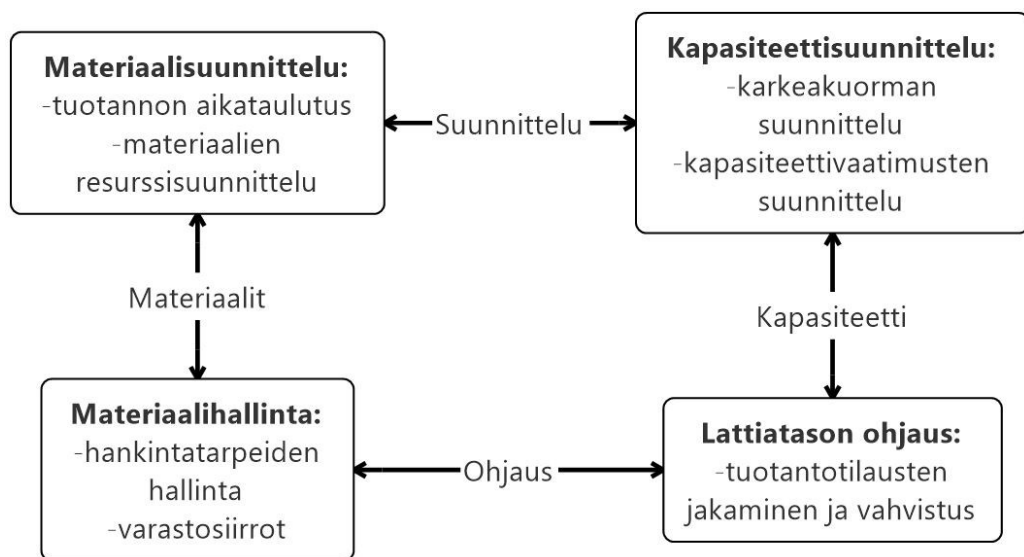
Tuotannon ohjaus liitetään lyhyen aikavälin tuotantoon vapautettujen töiden ohjaamiseen. Toisaalta McKay & Wiers (2003, s. 83) tuovat esiin näkemyksen, jonka mukaan tuotannonohjaus koordinoi koko tuotannon toimenpiteitä, mutta eri aikaikkunatasoissa. Tasot voidaan karkeasti jakaa ylempään ja alempaan, joista ylempi käsittää kuukausitason ohjaustoiminnot ja alempi päivä- tai viikkotason toiminnot. Bendul & Blunck (2019) esittelevät ohjausteorian, jonka päätarkoituksena on ratkaista ohjauksen kompleksisuus. Ratkaisuksi esitetään kolme lähestymistapaa, jotka ovat:

1. *decentralization* eli informaation jakaminen ja hajauttaminen,

2. *decomposition* eli ongelman hierarkkinen pilkkominen pienempiin osiin sekä
3. *model simplification*, jolla tarkoitetaan ohjausmallin kompleksisuuden yksinkertaistamista.

Toimintojen hierarkkinen pilkkominen on yleistä byrokraattisissa organisaatioissa, kun taas innovatiiviset ja joustavat toimintaympäristöt vaativat pikemminkin informaation jakamisen ja hajauttamisen lähestymistapaa. (Bendul & Blunck 2019)

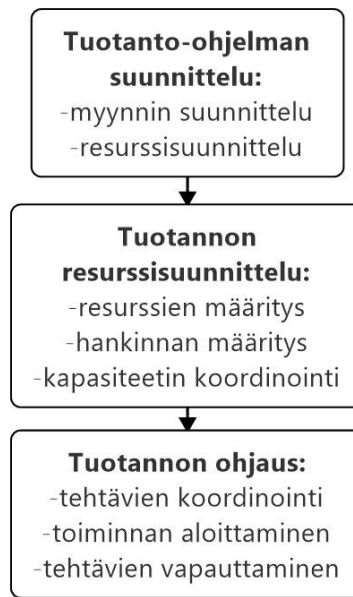
Tenhiälä & Helkiö (2015) kuvailevat moniulotteista tuotannosuunnittelu- ja ohjauskokonaisuuksia toimintoilla, joita voidaan käyttää myös tuotannon ohjausjärjestelmien toiminnallisina moduuleina. Toiminnot ja niiden väliset yhteydet on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen toiminnot (mukailten Tenhiälä & Helkiö 2015, s. 152)

Kuvassa 3 esitetty malli muistuttaa Bendulin & Blunckin (2019) esittämiä tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen määritelmiä, mutta tuo selkeämmin esiin kapasiteettisuunnittelun merkityksen. Tenhiälän & Helkiön (2015) esittämä malli jakautuu neljään osa-alueeseen: materiaalien hallintaan, materiaalien suunnitteluun, tuotantokapasiteetin suunnitteluun sekä tuotannon lattiatason ohjaukseen. Osa-alueet vaikuttavat toisiinsa kapasiteetin, ohjauksen, materiaalien sekä suunnittelun näkökulmasta. Lisäksi mallin alueisiin vaikuttavat useat muut osatekijät kuten: osto, myynti, varastot, kustannuslaskenta, henkilöstöhallinta sekä kirjanpito, mutta näitä tekijöitä ei tuoda kuvassa esiin työn rajauksen perusteella. (Tenhiälä & Helkiö 2015)

Toisaalta Cichos & Aurich (2016, s. 166) esittävät tuotannosuunnittelun- ja ohjauksen oleelliset tehtävät hieman suppeammin. Tehtävät on esitetty kuvassa 4 peräkkäisinä vaiheina.



Kuva 4. Tuotannosuunnittelun- ja ohjauksen työtehtävät (mukaillen Cichos & Aurich 2016, s. 166).

Kuvassa 4 esitetty tuotanto-ohjelman suunnittelu on hyvin lähellä Vogelien et al. (2017) esittämää tuotannon kokonaissuunnittelua. Kokonaissuunnittelun taso käsittää kysynnän ja tarjonnan tasapainottamisen, josta puhutaan yleisesti termillä *S&OP* (*sales and operations planning*). Thomen et al. (2012) mukaan S&OP yhdistää yrityksen erilaiset strategia- ja liiketoimintasuunnitelmat yhtenäiseksi toimintasuunnitelmaksi sekä tasoittaa kysynnän ja tarjonnan välistä eroa. Tuotannon resurssisuunnittelu puolestaan yhdistää kuvassa 3 esitettyjä kapasiteetin ja materiaalisuunnittelun elementtejä. (Tavares Thomé et al. 2012)

2.2.1 Tuotannonohjauksen menetelmät

Tuotannon ohjauksen menetelmistä puhuttaessa viitataan sekä toimintamalleihin ja tuotantofilosofioihin että IT-pohjaisiin ohjausjärjestelmiin. Olhager & Selldin (2007) jakavat tuotannon toteutuksen MRP-suunnitteluun ja juuri oikeaan tarpeeseen (*JIT, just-in-time*) perustuvaan ohjaukseen. Heidän mukaansa MRP keskittyy työntöohjauksen mukaisesti tuotannon operaatioiden tilauspohjaiseen aikataulutukseen ja sopii matalavolyymisten kustomoitujen sekä MTO-perusteisen strategian tuotantoon. JIT puolestaan pyrkii täydentämään valmistusvarastoja tuotevaatimusten mukaisesti ja sopii standardoitujen, suurivolyymisten sekä tasaisen kysynnän tuotteiden tuottamiseen. JIT on Porterin et al. (1999) mukaan sekä filosofia, että tuotannosuunnittelu ja -ohjaustekniikka. JIT toimii tuotantoprosessin ylävirtaan antaen impulsseja veto-ohjautuvasti materiaaliarpeille usein visuaalisen ohjauksen, kuten *Kanban*-korttien kautta. (Porter et al. 1999, Olhager

2003) Onnistumisen edellytyksenä mainitaan tuotannon virtauksen onnistuminen: buffereiden luominen, riittävä kapasiteetti ja toimittajien toimitusvarmuus.

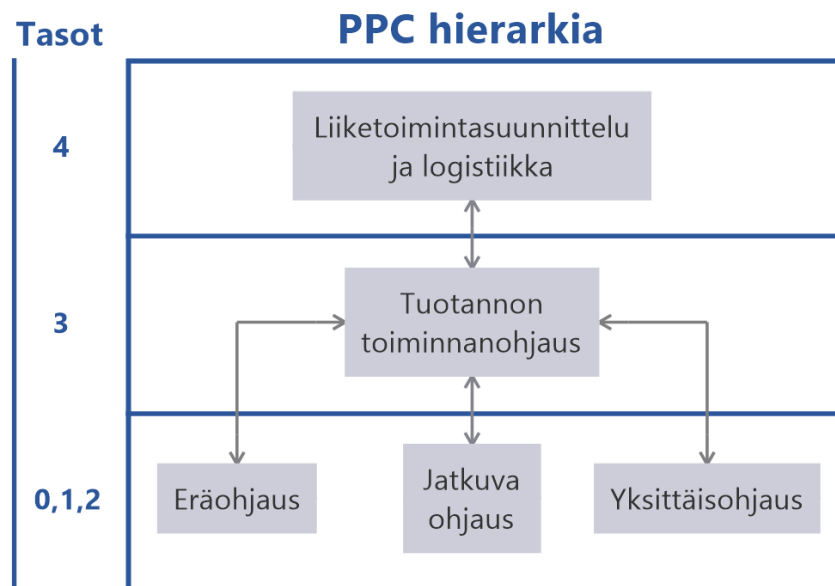
Bendul & Blunck (2019) listaavat tuotannon ohjauksen menetelmiksi neljä laajasti käytettyä ja vakiintunutta lähestymistapaa, joita ovat *Kanban*, *ConWIP*, *PROSA* ja *ADACOR*. *Kanban* järjestelmä kuvataan yksinkertaiseksi, mutta jäykäksi. Se sopii vapaan materiaalin virtauksen ja vähäisten tuotevariaatioiden ohjausjärjestelmäksi, joka vähentää varastojen tarvetta (Cottyn et al. 2011). Järjestelmä ei ota huomioon tuotannon ajoituksen tekijöitä, ja informaation kulku tuotannon päätöksentekijöiden välillä on hyvin vähäistä. Informaation jakaminen perustuu visuaalisiin kortteihin. *ConWIP* (*constant work in progress*) järjestelmässä veto-ohjaus toteutetaan ainoastaan ensimmäisen ja viimeisen työpisteen osalta. Järjestelmässä informaation vaihto ja tilauksien vapautus organisoidaan keskitetysti, mikä johtaa tuotantoaikataulun jäykkyyteen. Se sopii kuitenkin keskeneräisen tuotannon minimointiin ja erilaisten materiaalivirtauksien tuotantoympäristöön, jossa menekki saattaa vaihdella ja tuotteiden valikoima on laajempi (Cottyn et al. 2011). *PROSA* (*product-resource-order-staff-architecture*) sopii yleisesti yksittäistuotannon ohjauksen lähestymistavaksi. Siinä ohjausjärjestelmät eivät ole sidoksissa tuotannon layout-valintaan, joten ne toimivat hyvin joustavasti myös usean tuotevariantin ohjauksessa. *PROSA* perustuu tuotannon kolmen seuraavan perusongelman ratkaisemiseen: resurssien hyötykäyttö, laatuvaatimusten saavuttaminen ja toimitusaikojen toteutuminen. Mainittuja ongelmia pyritään ratkaisemaan resurssien, tuotteiden ja tilausten keskinäisen hallinnan kautta. *ADACOR* (*adaptive holonic control architecture for distributed manufacturing systems*) toimii epävakaan kompleksisen tuotannon parissa, jossa koetaan useita muutoksia ja mahdollisia häiriötekijöitä. Väli aikaisten häiriöiden vaikutukset tulee kuitenkin pystyä arvioimaan. *ADACOR* pyrkii olemaan mahdollisimman hajautettu järjestelmä, joka keskittyy tuotteisiin, tehtäviin, operaatioihin ja valvontaan. Se toimii myös ilman tuotannon aikataulutusta. (Bendul & Blunck 2019)

2.2.2 Tuotannon operatiivisten toimintojen standardit

Tuotannon operatiivisiin toimintoihin ja tuotannonohjausjärjestelmiin on kehitetty standardeja, kuten kansainvälinen ISA-95.00.03 sekä vastaava eurooppalainen ja vahvistettu suomalainen kansallinen SFS-EN 62264-3 standardi. Niissä käydään läpi tuotannon ohjausjärjestelmiä ja -automaatiota tasohierarkian kautta. SFS-standardin kolmannessa osassa keskitytään tuotannon operatiiviseen toimintaan, ohjausjärjestelmien ominaisuuksiin sekä integrointiin muiden järjestelmien kanssa. (SFS-EN 62264-3:2017)

ISA-95 perustettiin standardoimaan tuotantoa ohjaavien järjestelmien integroiminen keskenään. Tuloksena syntyi standardoitu rajapinta, jonka kautta yhteensopivien järjestelmien keskinäinen kommunikointi onnistuu riippumatta järjestelmäominaisuuksista tai toimittajasta. Standardi ei tarjoa pelkästään toimintamalleja järjestelmien integroimiseen, vaan se antaa MES-projekteille myös terminologian, jota voidaan käyttää hyödyksi organisaatioiden ja toimijoiden välisessä tehokkaassa kommunikoinnissa. Järjestelmärajojen ja toiminnallisuuksien määritykset vaikuttavat lisäksi järjestelmätoimintojen kehittämiseen ja siksi myös kehityskustannuksiin erityisesti yrityksille, jotka haluavat mukauttaa MES-järjestelmän omiin tarpeisiinsa. (Scholten 2009)

Tuotannosuunnittelu ja -ohjaushierarkia käsittää neljä tasoa, jotka on havainnollistettu kuvassa 5.



Kuva 5. Tuotannosuunnittelu ja -ohjaushierarkia (mukaillen ISA-95.00.01-2000 s. 19)

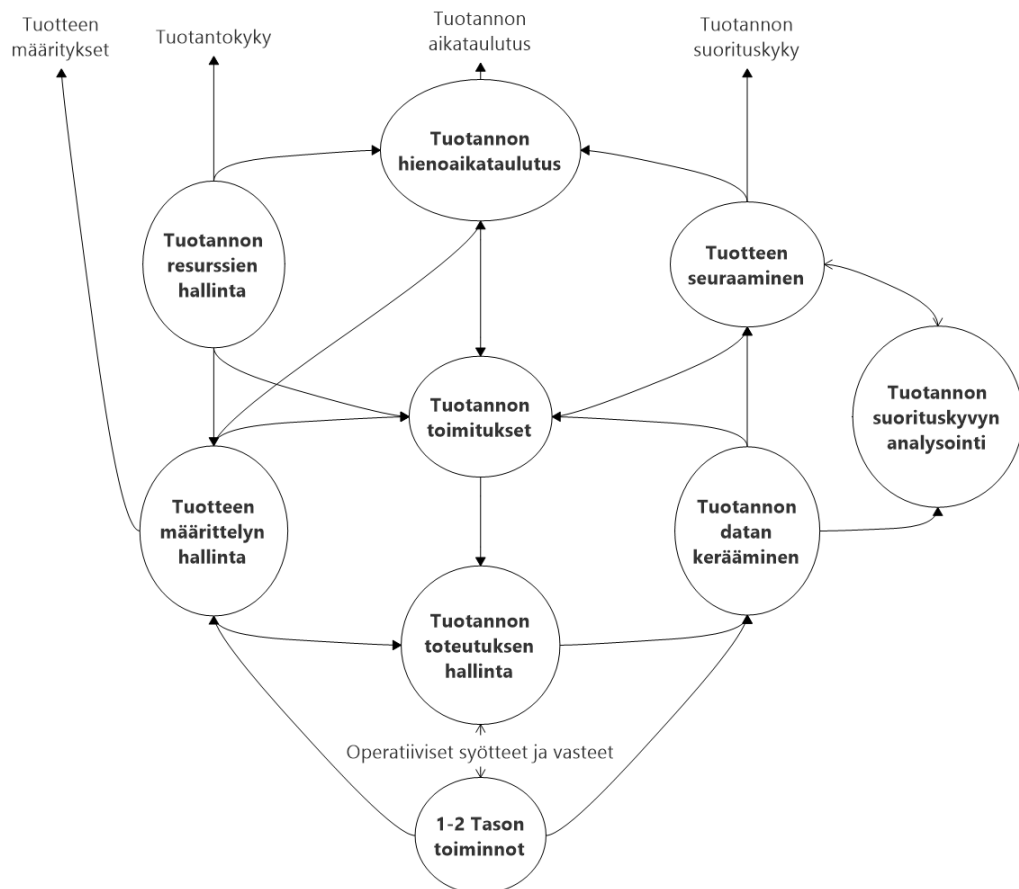
Alimmat tasot 0-2 pitävät sisällään tuotantolinjan tai -solun valvontatoiminnot sekä niiden prosessin- ja toiminnanohjauksen. Tasojen toimintoihin vaikuttaa myös valittu ja toteutettu tuotantostrategia. Hierarkian ylin eli neljäs taso käsittää yrityksen liiketoiminnan ja logistiikan ohjaukseen liittyvä kokonaisuudet, kuten raakamateriaalin ja varaosien varastinhallinnan, koneiden ja työkalujen käytön hallinnan, ylätasoin tuotannon aikataulutuksen muodostamisen ja muokkaamisen sekä kapasiteettisuunnittelun. (ISA-95.00.01-2000)

Kolmas taso eli tuotannon toiminnanohjaus (*MOM, manufacturing operations management*) käsittää SFS-standardin mukaisesti tuotannon toteutuksen, ylläpidon, laadun ja

varastoinnin toiminnot, joiden avulla tuotantoresurssit saadaan kohdennettua suunniteltujen tuotemäärien tuottamiseen halutulla laadulla ja aikataululla. Yleisiin MOM-toiminnallisuuksiin kuuluvat:

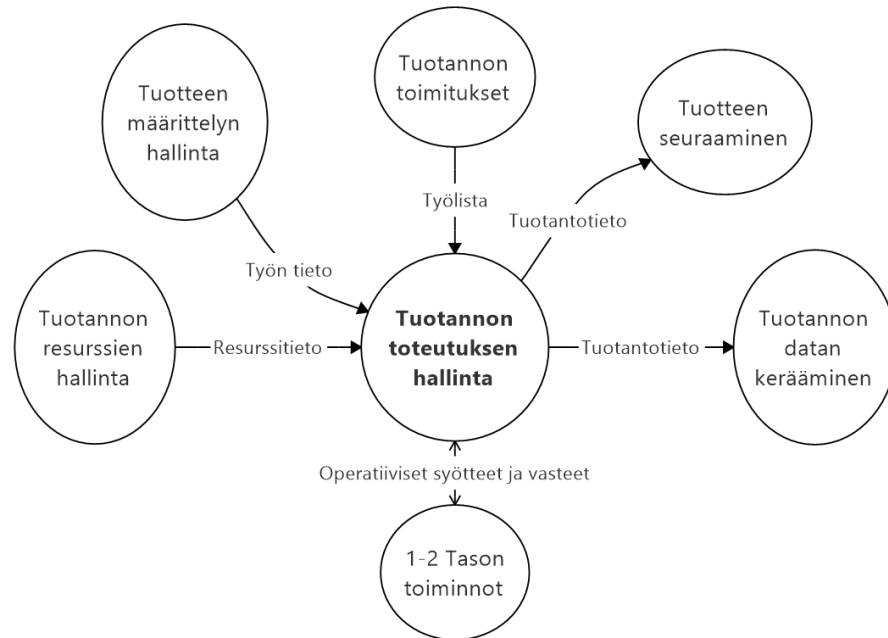
1. tuotannon kustannusten raportointi,
2. tuotannon, varastojen ja resurssien datan kerääminen sekä ylläpito,
3. määritetyn datan kerääminen ja analysointi,
4. tarvittavien henkilöstötoimintojen toteuttaminen: työvuorot, loma jaksot, koulutukset ja pätevyydet,
5. vastuualuekohtainen välitön töiden aikatauluttaminen,
6. yhtäaikainen tuotannon aikataulutuksen toteuttaminen ja tuotantoalueiden kustannusten paikallinen optimointi ja
7. tuotannon aikataulutuksen muokkaaminen tuotannon mahdollisten keskeytysten takia. (SFS-EN 62264-3:2017)

Tuotannon toiminnanohjausta voidaan myös tarkentaa yksityiskohtaisemmalle tasolle, josta nähdään toimintojen jako ja niiden välinen tiedonkulku. Yksityiskohtaisemmat MOM-toiminnot on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. MOM-toiminnot (mukaillen SFS-EN 62264-3:2017 s. 21).

Kuvan 6 malli pyrkii havainnollistamaan tuotannon tärkeimmät toiminnot ja edesauttamaan toimintoihin liittyvää roolijakoa, joka voidaan toteuttaa ympäristön mukaan usealla tavalla. Standardissa käsitellään lisäksi tarkemmin tuotannon toteutuksen hallintaa, jonka toimintamalli on esitetty kuvassa 7. (SFS-EN 62264-3:2017)



Kuva 7. Tuotannon toteutuksen hallinta (mukaillen SFS-EN 62264-3:2017 s. 36).

Esitettyssä mallissa tuotannon toteutuksen hallintaan tarvitaan tietoa tuotannon resurssien hallinnasta, vaadittavista toimituksista sekä tuotteen ominaisuuksista. Tämän jälkeen tuotannon toteutusta voidaan ohjata 1. ja 2. tason toiminnoille, tuotannosta voidaan kerätä haluttua dataa ja tuotteen tuotannon etenemistä voidaan seurata. (SFS-EN 62264-3:2017)

Standardissa tuodaan esiin tuotannon operaatioiden kehittämisen ja optimoinnin näkökulmasta tuotannon suorituskyvyn analysoinnin ja KPI:den (*key performance indicator*) merkitys. Suorituskyvyn mittareiden avulla voidaan visualisoida ja kontrolloida tuotannon reaaliaikaista toimintaa sekä ennustaa tulevaa historiatiedon perusteella. Arvojen tulkinassa on kuitenkin syytä erotella jatkuvan suorituskyvyn tulokset ja arkistoidut tulokset. (Meyer et al. 2009) Arkistoidut tulokset kertovat suorituskyvyn arvot tietyltä ajanjaksolta, jonka päättymisen jälkeen ne tallennetaan. Jatkuvan suorituskyvyn tulokset pohjautuvat jatkuvaan suorituskyvyn mittaamiseen ja elävät muuttuvan tiedon mukaisesti. Suorituskyky- ja juurisyyanalyysillä saadaan tuotua esiin ongelmiin liittyvät asiayhteydet, joiden pohjalta osataan toteuttaa korjaavat toimenpiteet. (SFS-EN 62264-3:2017)

Tuotannon laadun hallintaan liittyy laadun mittaamisen ja raportoinnin toiminnot, joita pyritään ohjaamaan, hallitsemaan ja seuraamaan. Näin varmistetaan lopputuotteiden vaadittavan laadun toteutuminen. Laadun hallinnan operaatioihin kuuluvat:

- raakamateriaalien laadun testaus ja verifiointi,
- työkalujen laatuvaatimusten täyttymisen mittaus ja raportointi,
- tuotteiden laadun sertifiointi,
- laadun standardien asettaminen,
- työntekijöiden vaadittavan pätevyyden ja opetuksen standardointi sekä
- laadun kontrolloinnin standardointi. (SFS-EN 62264-3:2017 s. 51)

Tutkimuksen rajauksen kannalta olennaisena voidaan pitää tuotantolinjatestausta, jossa tuotteeseen kohdistetaan laatutarkastus koneen tai mittalaitteen avulla. Mittatulokset ovat saatavilla ja käytettävissä välittömästi. Vaikka linjatestauksen analysointia voidaan pitää osana prosessin ohjausta, se voi kuulua myös laadun testauksen toimintoihin, mikäli analysointi on määritetty laadun osalta kriittiseksi esimerkiksi tuotteen lähetyskelpoisuuden osalta. KPI:t ja tuotannon laatudatan kerääminen liittyvät olennaisesti myös MES-toiminnallisuuksiin, joita käsitellään lisää kappaleessa 2.3.2. (SFS-EN 62264-3:2017)

2.2.3 Tuotannosuunnittelu ja -ohjausjärjestelmät

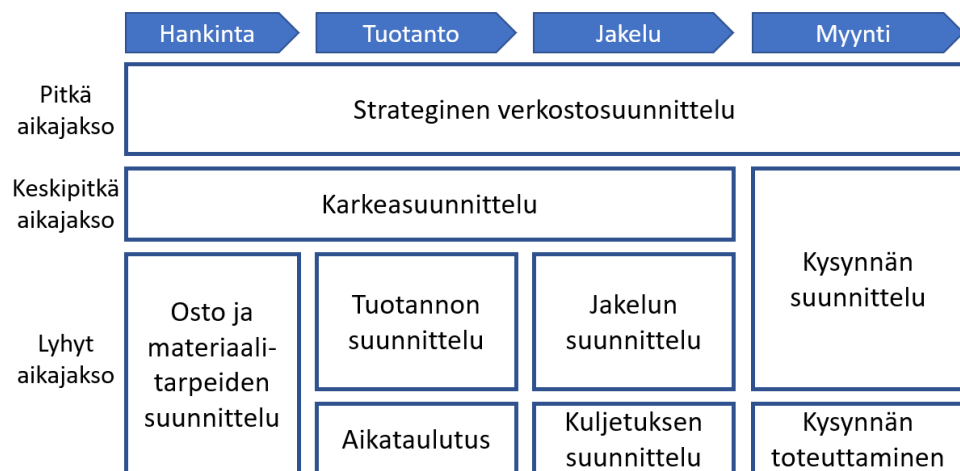
Tuotantoa harjoittaville yrityksille on MESA:n (1997) mukaan suunnattu seitsemän merkittävää järjestelmätyyppiä, joiden kaikkia toiminnallisuuksia tarvitaan markkinoilla pärjäämiseen. Näitä ovat ERP, SCM (*supply chain management*), SSM (*sales and service management*), P&PE (*product and process engineering*), ohjausjärjestelmät (*controls*) sekä MES. SCM tarjoaa tuote-ennusteiden ja logistiikan hallintaan työkaluja. SSM sisältää tuotteiden konfiguraatioiden hallinnan ja myynnin toimintojen automatisointia. P&PE:llä viitataan tietokoneavusteisiin mallinnus ja datan hallintajärjestelmiin, kuten CAD, CAM ja PDM (*product data management*). Viimeisillä järjestelmätyypeillä eli ohjausjärjestelmillä viitataan hajautettuihin, ohjelmoitaviin logiikkajärjestelmiin tai numeerisiin järjestelmiin.

Mantravadi & Møller (2019) käyttävät yrityksen tietojärjestelmistä termiä EIS (*enterprise information systems*), joka sisältää hyvin saman tyyppisen luokittelun: ERP, SCM, MES, CRM (*customer relationships management*), PLM (*product lifecycle management*) ja BI (*business intelligent*). Poikkeuksena MESA:n (1997) esittämiin järjestelmätyyppeihin,

Mantravadi & Møller (Mantravadi & Møller 2019) lisäävät luokitteluun CRM, PLM ja BI järjestelmät, jotka on luotu vastaamaan yritysmaailman uusiin haasteisiin.

Toiminnanohjausjärjestelmät (*ERP*) ovat rakentuneet materiaalitarpeden suunnitteluun kehitetyistä MRP- ja MRPII-järjestelmistä, jotka pohjautuivat tuotanto ja varasto-operaatioiden hallintaan. (Elragal & Haddara 2012) ERP hallitsee organisaation taloutta ja tilauksia sekä toimii datan ja prosessien integroimisen tietojärjestelmänä. Järjestelmä on organisaatioissa yksi eniten käyttöönotetuista tietoteknisistä ratkaisuista. Vaikka johtavat ERP-järjestelmät, kuten *SAP*, tarjoavat jo nykyään toiminnallisia moduuleita tuotannon suunnitteluun ja optimointiin, perinteiset ERP järjestelmät eivät kuitenkaan ota huomioon tuotannon kapasiteettirajoituksia, joka johtaa oletettuihin kiinteisiin tuotantoaikatauluihin. Tällöin alkuperäinen tuotantosuunnitelma ei välttämättä ole ajan tasalla, mikäli aikatauluja joudutaan muokkaamaan jatkuvasti. Ristiriita on johtanut tuotannon hienokuormitusjärjestelmien (*APS, advanced planning and scheduling*) kehittymiseen. ERP:iin yhdistetty APS tarjoaa täsmällisen ja kapasiteetin rajoitukset huomioivan tuotannosuunnittelun ja -ohjauksen. APS kehitettiin alunperin tuotannon- ja toimitusketjun suunnittelun optimointiin kehittyneiden aikataulutustoiminnallisuuksien ja optimointialgoritmien avulla. (SFS-EN 62264-3:2017 s. 78) Nykyään APS-järjestelmät optimoivat tuotannon lattiataason ohjauksen lisäksi tuotteiden materiaalirakenteiden rajoitukset, varastojen koon ja täydennyksen sekä tilauksien luomisen. Järjestelmä ei kuitenkaan ole teollisuudessa vielä kovinkaan laajassa käytössä. (Arica & Powell 2014, Vidoni & Vecchiatti 2015)

Kuva 8 esittää APS-järjestelmän toiminnan suunnittelutasot ja moduulit toimitusketjun mittakaavassa.



Kuva 8. APS tasot ja moduulit (mukaillen Meyr et al. 2008, s. 109)

Suunnittelun aikatasoja löytyy kolme, joista *pitkä* pohjautuu strategiseen suunnitteluun, *keskipitkä* tuotannon ylemmän tason karkeasuunnitteluun ja *lyhyt* materiaaliarpeiden, tuotannon aikataulutuksen, jakelun ja kysynnän suunnitteluun. Vaikka toimitusketjun optimoinnissa pyritään kokonaisuuden kehittämiseen, organisaation tulee kuitenkin optimoida ensin omat prosessinsa ennen strategisen verkostosuunnittelun tehostamisen tavoittelua. (Meyr et al. 2008, Vidoni & Vecchiatti 2015)

MES-järjestelmä mainitaan usein APS:n yhteydessä. (Lee et al. 2012a, Vidoni & Vecchiatti 2015) Vaikka järjestelmät ovat erilliset, ne tulisi integroida toimimaan yhdessä. MES-järjestelmä hallitsee ajankohtaista ja tarkkaa tuotannon dataa, jonka pohjalta APS voi optimoida tuotannon valmistusprosesseja. McKay & Wiers (2003) erottavat ERP-, APS- ja MES-järjestelmät niiden toimintatarkoituksien perusteella. Alla on listattu tuotannon hallintaan liittyvät kohteet, joihin järjestelmien toiminta painottuu.

- ERP/MRP: karkeasuunnittelu, materiaaliarpeiden suunnittelu.
- APS: tuotannon aikataulutus.
- MES: töiden ohjaus.

MES-järjestelmien tulee toimia yhteistyössä myös muiden järjestelmien kanssa. Näitä ovat Vinhaisin (2004) mukaan ERP, PLM, PDM, CRM sekä SRM (*supply relationship management*). Meyerin et al. (2009) näkemyksien mukaan MES tarvitsee tietoa sekä tuotannon resursseista, että tuotteesta itsestään. Siksi järjestelmä tulisi integroida läheisesti PLM:n kanssa.

2.2.4 Tuotannonohjaamisen uudet ulottuvuudet

Lean-filosofiasta ja MES-järjestelmistä saatetaan puhua toisensa poissulkevinä. Lean-ajattelu kuvataan arvon tuottamiseen, hukan minimoimiseen ja jatkuvaan parantamiseen keskittyvänä tuotantofilosofiana, jonka ajatellaan soveltuvan parhaiten vakaaseen tuotantoympäristöön (Gligor et al. 2015). Maailmanlaajuisesti käyttöönotettuihin Lean-työkaluihin ja -tekniikoihin kuuluvat esimerkiksi Six Sigma, Kanban, 5S, JIT ja VSM (*value stream mapping*). MES sen sijaan toimii ennalta määritellyllä standardoidulla tavalla osana IT-järjestelmähierarkiaa. Lean-ajatusmaailmassa informaation määrän ja kulun standardointi rajoittaa työntekijöiden tarpeita ja välittömien korjaustoimenpiteiden toteuttamista. MES kerää ja analysoi dataa reaaliaikaisesti, jota voidaan kuitenkin käyttää hyväksi myös Lean-päätöksenteon prosesseissa. Lisäksi MES-järjestelmän tulee tukea tuotannon ajankohtaisia toteuttamiskäytäntöjä, jolloin Lean-pohjainen jatkuvan paranta-

misen ideologia on syytä pitää mukana myös järjestelmäkehityksessä ja -konfiguroinnissa. Siksi Lean-käytännöt ja MES-toiminnot voidaan sisällyttää samaan MOM-viitekehukseen. (Cottyn et al. 2011)

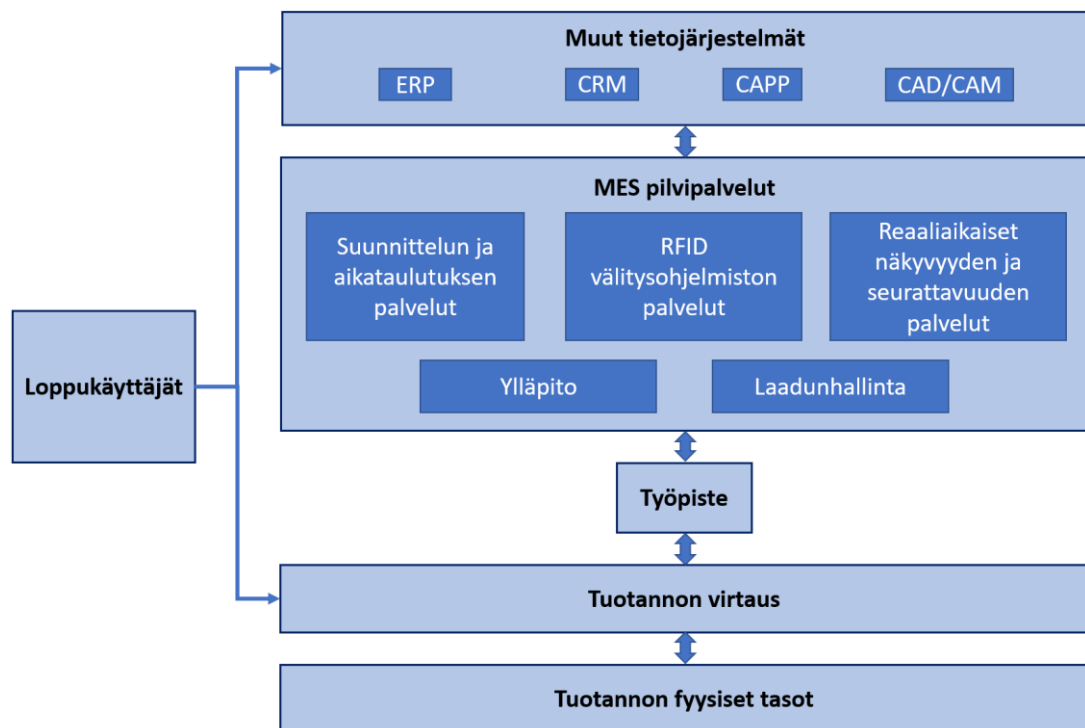
Myös muista lähteistä, löytyy mainintoja Lean-työkalujen ja MES:n samanaikaisen käytön hyödyistä (MESA 1997, Molina & Santaella 2006, Meyer et al. 2009, s. 29, D'Antonio et al. 2016). MESA-organisaatio nostaa esiin tuotannon tarpeen nähdä tuotteiden ja materiaalien jatkuva tila sekä sijainti, jotta asiakastoimitukset saapuvat juuri ajallaan. Siksi useat tuotantoa harjoittavat yritykset siirtyvät manuaalisista ja paperisista menetelmistä tietojärjestelmäpohjaiseen ohjaamiseen (MESA 1997). MES:n toiminta tukee lisäksi 5S:ään kuuluva *DMAIC-malli (define-measure-analyse-improve-control)*, joka on kehitetty prosessien jatkuvaan parantamiseen. Ohjausjärjestelmään on määritetty tuotannon suorituskykyä mittaavat arvot, joita seurataan ja analysoidaan jatkuvasti raja-arvojen ja hälytysten mukaisesti. Vaikka MES vaatii analysoinnin ja parantamisen osalta käyttäjän tekemät toimenpiteet, se hallitsee ja ohjaa muutoksen jälkeistä tuotannon uutta toimintatapaa. (Cottyn et al. 2011)

Wang & Li (2009) kirjoittavat teollisuuden suunnittelun ja ohjauksen järjestelmistä (*MPCS, manufacturing planning and control system*). Heidän mukaansa nykyiset tuotannon hierarkkiset ja rakenteellisesti jäykät järjestelmät eivät tue asiakastarpeista kumpuaavaa joustavuuden tarvetta ja lisäksi niiden suunnittelu moniulotteiseen ympäristöön on vaikeaa. Ketterä tuotannon suunnittelu- ja ohjausjärjestelmä nähdään ratkaisuksi nykyisten järjestelmien puutteisiin, sillä niissä yhdistyvät konfiguroitavuus, läpinäkyvyys, jäljitettävyys, nopea reagoitavuus ja joustavuus. Kyseisillä ominaisuuksilla varustettu systeemi pystyy vastaamaan nopeasti sisäisiin ja ulkoisiin ympäristömuutoksiin. Mehrabi et al. (2000) puolestaan kirjoittavat uudelleenkonfiguroituvista tuotantojärjestelmistä, jotka mahdollistavat varioituvien tuotteiden valmistamisen lisäksi itse järjestelmän muokkamisen. Kyseiset järjestelmät palvelevat tuotannon kapasiteetin ja valmistettavien tuotteiden nopeaa vaihtelua sekä uusien tuotemallien nopeaa valmistuskyvykkyyttä.

Jiang et al. (2015) toteavat, että myös tulevaisuuden MES-ratkaisut vaativat nopeita ja joustavia järjestelmän uudelleenkonfigurointitoimintoja. Tuotteiden vaihteleva kysyntä sekä tuotannon ennalta-arvaamattomat keskeytykset ja vikatapahtumat muodostavat tarpeen muuttaa tuotteiden valmistuksen ohjausta kustannustehokkaasti niin, ettei muutoksia tarvitse tehdä *offline*-tilassa. (Jiang et al. 2015) Uudet kehittyvät järjestelmätoiminnot ja sovelluslaajennukset tulee myös kytä integroimaan olemassa oleviin MES-järjestelmiin. Balashov et al. (2018), Iarovyi et al. (2016), Menezes et al. (2018) ja Simão et al. (2006) kirjoittavat uudentyyppisistä MES-ratkaisuista, joita ovat *c-MES (collaborate*

MES), OKD-MES (*open knowledge driven MES*), *smart MES*, RT-MES (*real time MES*) ja H-MES (*holonic MES*). Ratkaisuilla on pyritty hyödyntämään MES-toimintoja tehokkaammin ja laajentamaan niitä myös yrityksen muihin prosesseihin. Lisäksi esitetyt järjestelmät helpottavat tietojärjestelmien rajapintojen yhteensopivuutta, lisäävät konfigurointivaihtoehtoja ja lisäävät autonomisuutta sekä hyödyntävät tehokkaammin uusia teknologiaratkaisuja.

Smart MES eli älykäs MES jaetaan useampaan hierarkiatasoon, jotka on esitetty kuvassa 9. Fyysisessä tasossa tuotannon data kerätään radiotaajuisten tunnistuksen (RFID, *radio frequency identification*) ja sensorien avulla. Data varastoidaan pilvipalveluiden tietokantoihin sekä visualisoidaan kustomoitujen käyttöliittymien avulla. Kun *smart MES* on integroitu organisaation muihin tietojärjestelmiin, informaatio pysyy ajankohtaisempaan sekä toimintojen suunnittelu ja jatkuva optimointi helpottuvat.



Kuva 9. *Smart MES-arkkitehtuuri (mukaan Menezes et al. 2018, s. 1010).*

Yksi potentiaalisin järjestelmätarpeisiin vastaava teknologia on RFID, joka mahdollistaa tuotteiden jäljitystietojen seuraamisen ja päivittymisen autonomisesti ja reaaliaikaisesti (Morel et al. 2007, s. 1325). RFID järjestelmä sisältää tyypillisesti RFID-tulostimen, -lukijan, -antennin ja -merkit, jotka voivat toimia passiivisesti, aktiivisesti, puolipassiivisesti tai puoliaktiivisesti (Mehrerdi 2013, Altaf et al. 2018). Tietoa siirtyy merkkien luontapaikasta ja ajasta välittömästi eteenpäin jatkokäsittelyä tai hallintaa varten. Tietoa voidaan esimerkiksi käyttää koko toimitusketjussa liikkuvien nimikkeiden aktiiviseen seurantaan

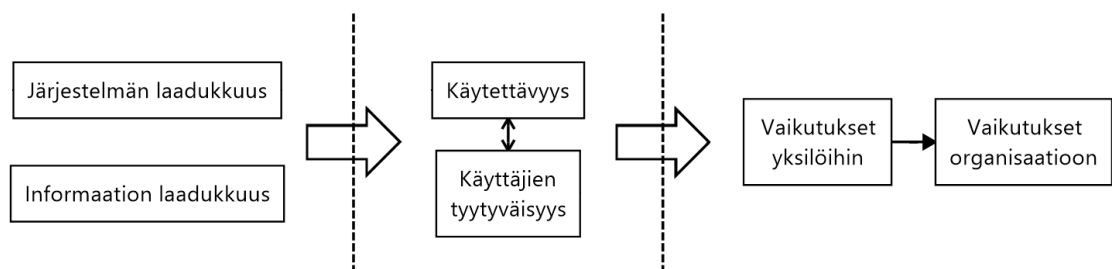
(Wang & Lin 2009). RFID-teknologian käyttöönoton kustannukset ovat kuitenkin riippuvaisia suorituskykyyn vaikuttavista tekijöistä. Se, millä laajuudella nimikkeiden merkkkaus toteutetaan, kuinka paljon nimikkeiden käsittelyssä syntyy virheitä sekä mitä koko järjestelmän hankinta ja ylläpito maksavat, vaikuttaa merkittävästi aiheutuviin kokonaiskustannuksiin ja saatuihin hyötyihin (Zhou et al. 2015).

2.3 Tietojärjestelmien ominaisuudet ja menestystekijät

Tietojärjestelmät (*IS, information systems*) ovat tiedon tallentamiseen, säilyttämiseen, prosessointiin ja levittämiseen käytettyjä tietokonepohjaisia työkaluja. IS sisältää laske- ja ohjelmistoteknologiaa, kuten simulointimalleja, päätöksenteon tukijärjestelmiä, datan hallinnan järjestelmiä sekä kommunikoinnin järjestelmiä. Tässä aluvussa tarkastellaan tietojärjestelmien menestystekijöitä, laadukkuutta, käytön vaikutuksia sekä itse käyttäjiä. (Díez & McIntosh 2009)

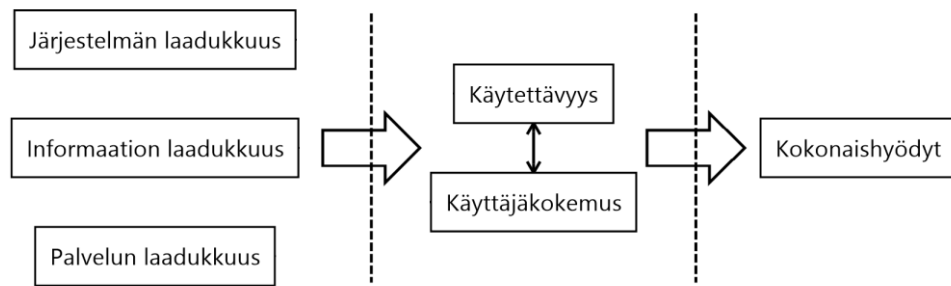
2.3.1 Tietojärjestelmän menestystekijöiden mallit

DeLonen & McLeanin (1992) mukaan tietojärjestelmän menestyksen tekijänä on järjestelmän ja informaation laadukkuus, joka vaikuttaa järjestelmän yksittäisiin käyttäjiin ja sitä myötä koko organisaatioon. Tietojärjestelmän vaikutuksia kuvaava malli on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Tietojärjestelmän menestyksen tekijät ja vaikutukset (mukaillen DeLone & McLean 1992, s. 87).

Ke & Su (2018) esittävät hyvin samankaltaiset tietojärjestelmän menestystekijöiden ja kokonaisuhyötyjen välistä suhdetta kuvaavan mallin. Heidän mallissaan menestystekijöihin on lisätty *palvelun laadukkuus*, käyttäjien tyytyväisyys on korvattu *käyttäjäkokemuksella* ja yksilö- ja organisaatiokohtaiset vaikutukset kuvattu *kokonaisuhyödyillä*. Malli on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Tietojärjestelmän menestystekijöiden suhde kokonaishyötyihin (mukailten Ke & Su 2018, s. 897)

Palvelun laadukkuus kuvataan tehokkuutena ja oikea-aikaisuutena, kun taas järjestelmän laadukkuus sisältää toiminnan vakauden. Järjestelmän kokonaishyötyjen malli ei kuitenkaan huomioi millään tavalla käyttäjäkokemukseen vaikuttavia tekijöitä, kuten käyttäjäkohtaisia ominaisuuksia tai ennakko-oletuksia, joita esimerkiksi Pedrolin et al. (2018) käyttävät omassa tutkimuksessaan hyötyjen arvioinnin osatekijöinä. Malli ei myöskään ota huomioon informaatioteknologian yhteyttä yrityksen liiketoimintatavoitteisiin, jota Laudonit (2013, s. 141) pitävät erittäin tärkeänä IT:n hyötyihin vaikuttavana tekijänä.

Vidoni & Vecchietti (2015) jakavat tietojärjestelmän vaatimukset laadullisiin (*QA, quality attributes*) ja toiminnallisiin (*FA, functional attributes*). Toiminnalliset vaatimukset kuvaavat kaikkia järjestelmäominaisuuksia, joita vaaditaan sidosryhmien tarpeiden toteuttamiseen. Laadulliset vaatimukset ovat puolestaan järjestelmäkokonaisuuksien yleisiä ominaisuuksia, joita ei voida suoraan yhdistää järjestelmän toiminnallisuuteen, vaan ne voidaan erottaa kvantitatiivisilla tutkimusmenetelmillä ihmisten tai automatisoinnin avulla. (Vidoni & Vecchietti 2015)

2.3.2 Tietojärjestelmän laadukkuus

ISO/IEC 25010:2011 standardissa listataan tietojärjestelmän laadun tekijät, jotka on esitetty kuvassa 12.

Tietojärjestelmän laadukkuus							
Toiminnallinen sopivuus	Suorituskyvyn tehokkuus	Yhteensopivuus	Käytettävyys	Luotettavuus	Turvallisuus	Ylläpito	Siirrettävyys
Toiminnallinen kilpailukyvykyys	Ajallinen toimivuus	Rinnakkainen toimivuus	Sopivuuden huomattavuus	Kypsyy	Tietosuoja	Modulaarisuus	Sopeutuvuus
Toiminnallinen virheettömyys	Resurssien käytettävyys	Yhteensopivuus	Opittavuus	Saatavuus	Yhtenäisyys	Uudelleen-käytettävyys	Asennettavuus
Toiminnallinen sopivuus	Kapasiteetti		Toimivuus	Vikatoleranssi	Kiistämättömyys	Analysoitavuus	Korvattavuus
			Käyttövirheiden suojattavuus	Palautuvuus	Vastuullisuus	Muokattavuus	
			Käyttöliittymän esteettisyys		Oikeellisuus	Testattavuus	
			Saavutettavuus				

Kuva 12. Tietojärjestelmän laadun tekijät (mukailen ISO/IEC 25010:2011 s. 4)

Lew et al. (2010) lisäävät standardin määrittelemiin laadun tekijöihin vielä *informaation laadukkuuden*, johon he sisällyttävät tarkkuuden, sopivuuden, saatavuuden ja lainsäädännön noudattavuuden. Tietojärjestelmän menestystekijöitä kuvaavissa malleissa informaation laatu on kuitenkin eriytetty kokonaan järjestelmän laadusta eroavaksi omaksi kokonaisuudekseen.

ISO/IEC 25010:2011 standardi määrittelee järjestelmäkäytössä koetun laadukkuuden kuvassa 13 esitetyllä tavalla.

Järjestelmäkäytössä koettu laadukkuus				
Vaikuttavuus	Tehokkuus	Tyytyväisyys	Riskivapaus	Kontekstin kattavuus
Vaikuttavuus	Tehokkuus	Käytettävyys	Rahallisen riskin lieventäminen	Kontekstin täydellisyys
		Luotettavuus	Terveys- ja turvallisuusriskin lieventäminen	Joustavuus
		Nautinnollisuus	Ympäristöriskin lieventäminen	
		Mukavuus		

Kuva 13. Järjestelmäkäytössä koetun laadukkuuden tekijät (mukailen ISO/IEC 25010:2011 s. 3)

Käytössä koetun laadun tekijät määrittelevät sen, minkälainen vaikutus tuotteella tai järjestelmällä on sen sidosryhmiin. Koettuun laadukkuuteen vaikuttavat järjestelmän lisäksi käytössä olevat työkalut, toimintaympäristö, käyttäjän ominaispiirteet, suoritettavat tehtävät ja sosiaalinen ilmapiiri. Mallin sisällön voi esittää myös Lewin et al. (2010) esittämän tiivistetyn kolmijaon mukaisesti. Tällöin päätekijät ovat *käytettävyys*, *käytön joustavuus* sekä *turvallisuus*, ja ne sisältävät pääosin standardin määrittelemät elementit. Laadun kaikkia tekijöitä voidaan käyttää hyväksi järjestelmävaatimusten ja mitattavien suureiden

valinnassa, järjestelmän kehityksessä tai sen laadukkuuden arvioinnissa (ISO/IEC 25010:2011).

2.3.3 Käytettävyys ja käyttäjäkokemus

Käytettävyys (*usability*) kuvataan yhdeksi tietojärjestelmän tärkeimmäksi ominaisuudeksi, koska sen pohjalta käyttäjä päättää hyväksyykö hän järjestelmän vai ei. ISO/IEC 25010:2011 standardi määrittelee käytettävyyden tuotteen tai järjestelmän tasoksi saatua viitekehukseen määritetyn käytön halutut tavoitteet vaikuttavuuden, tehokkuuden ja tyytyväisyyden osalta. Viime aikoina ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutukseen keskittyvä tutkimus on kuitenkin siirtynyt enemmän kohti **käyttäjäkokemusta** (*UX, user experience*) ja sen muodostumista. Käyttäjäkokemus pyrkii kuvaamaan monipuolisesti tuotteen käytettävyyteen vaikuttavia seikkoja. Näitä ovat pragmaattiset näkökulmat käytännön tavoitteiden toteutumisesta, ja hedoniset mielipiteet tuotteen kauneudesta, käytön hauskuudesta, nautinnollisuudesta ja käytön henkilökohtaiseen kasvuun vaikuttavista tekijöistä. Määritelmästä puuttuu yleisesti hyväksyty sisältö, mutta siihen on pyritty lisäämään kaikki vuorovaikutukseen vaikuttavat tekijät, kuten tuote, palvelu, ympäristö ja puitteet. (Lew et al. 2010, Ssemugabi & de Villiers 2016)

Yksi tapa hankkia kilpailuetua on ylivoimaisen käyttäjäkokemuksen luominen. Järjestelmien ja palveluiden käytöstä muodostuvaa kokemusta voidaan vahvistaa informaatioteknologian, IoT-ratkaisuiden (*internet of things*), tekoälyn, AR- (*augmented reality*) tai VR- (*virtual reality*) teknologian avulla (Brade et al. 2016, Pedrolì et al. 2018). Ke & Su (2018) mainitsevat myös, kuinka miellyttävät ja yllättävät ominaisuudet lisäävät koettua käyttäjäkokemusta. Tätä näkökulmaa voidaan hyödyntää niin fyysisten tuotteiden kuin järjestelmien suunnittelun parissa.

Lee et al. (2012b) mainitsevat, että järjestelmän graafisen käyttöliittymän (*GUI, graphical user interface*) toteutus vaikuttaa selkeästi käyttäjäkokemukseen. GUI tulisi olla mahdollisimman yksinkertainen ja helppo käyttää. Charfi et al. (2014) listaavat tekijät, jotka vaikuttavat käyttöliittymässä näkyvään informaatioon. Näitä ovat:

1. kirjainten koko, väri ja fontti,
2. kuvien ja ikonien koko ja määrä,
3. tekstin pituus
4. sisäänrakennettujen piensovellusten koot,
5. käytettyjen värien määrä,
6. ikkunarajapinnan tiheys ja

7. taustan väri.

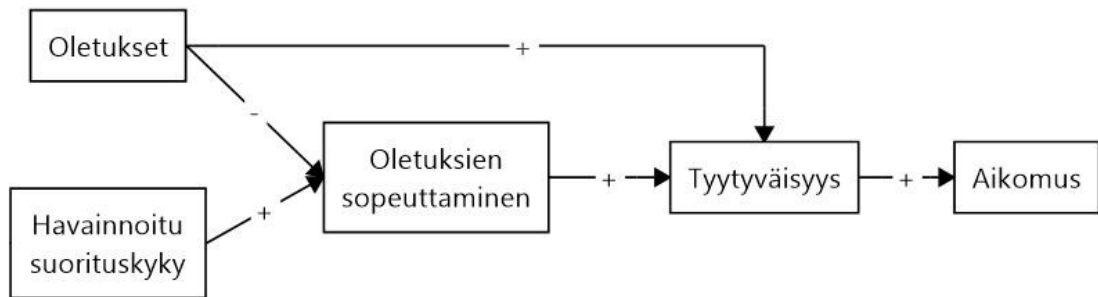
Järjestelmän käytettävyyden ja käyttäjäkokemuksen arvioinnissa tulisi tiedostaa havainnon ja arvioinnin ero. (Knijnenburg et al. 2012) Havainnolla tarkoitetaan sitä, onko tietty ominaisuus tai näkökulma havaittu, kun taas arviointi ottaa kantaa siihen, onko havainnolla merkitystä järjestelmän käyttökokemukseen tai käytettävyyteen. Havaintoperusteisen informaation esitys voidaan jakaa kuvaperusteiseen tai lineaariseen järjestysperusteiseen toteutukseen. Kuvaperusteisessa toteutuksessa käyttöliittymän esityksessä on pyritty käyttämään yhtä tai useampaa visuaalista ominaisuutta vahvistamaan haluttua käyttötarkoitusta. Lineaariseen järjestykseen perustuva rakenne pyrkii puolestaan esittämään tarkoitetun toimintatavan näyttöjärjestyksellä tai listoilla.

2.3.4 Tietojärjestelmän käyttäjät

Järjestelmän käyttäjät voidaan jakaa kahteen ryhmään: pääkäyttäjiin ja toissijaisiin käyttäjiin. Pääkäyttäjiin kuuluvat henkilöt, jotka toimivat vuorovaikutuksessa tuotteen kanssa saavuttaakseen ensisijaiset käytön tavoitteet. Toissijaisiin käyttäjiin kuuluvat tukea tarjoavat osapuolet, kuten: järjestelmätarjoaja, -ylläpidon hallinta, tietoturvan hallinta, analysointi ja asennus. (ISO/IEC 25010:2011)

Järjestelmäkäyttöön vaikuttavat käyttäjien tietoteknillinen osaaminen, käyttöliittymäkohmainen kokemus sekä toimialue- tai ohjelmistokohtaiset osaamiset. Lisäksi järjestelmän opittavuudella ja tehtäväominaisuuksilla on merkitystä siihen, miten järjestelmäkäyttö toteutuu. Opittavuutta voidaan mitata ajallisesti satunnaisella aloitusajankohdalla, mutta selkeämpää on mitata opittavuutta siitä hetkestä eteenpäin, milloin käyttäjä on vuorovaikutuksissa järjestelmän kanssa ensimmäistä kertaa. Tällöin saadaan vertailukelpoisempia tuloksia, vaikka muita järjestelmäkäyttöön vaikuttavia tekijöitä ei otettaisikaan huomioon. On kuitenkin hyvä tiedostaa, että järjestelmäominaisuuksilla ja käyttöön vaikuttavilla tekijöillä ei ole automaattisesti yhteyttä toisiinsa. Tehokkaan järjestelmän käytön oppiminen ei välttämättä ole helppoa ja helposti opittava järjestelmä ei välttämättä ole tehokas. (Lew et al. 2010)

Alun perin Oliverin (1980, s. 462) esittämä ja Liaon et al. (2009, s. 311) jalostama asiakasyytyväisyyden malli on havainnollistettu kuvassa 14. Tämä malli ottaa huomioon käyttäjien subjektiiviset ennakko-oletukset ja havainnoidun suorituskyvyn.



Kuva 14. Asiakastytyväisyyden malli (mukaillen Liao et al. 2009, s. 311).

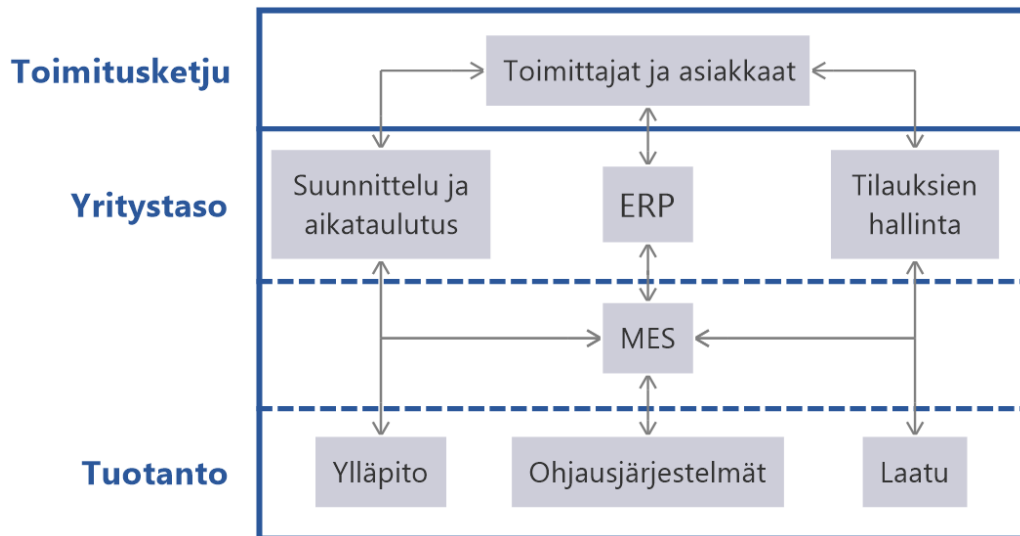
Usein oletukset ja havainnoitu suorituskyky eivät vastaa toisiaan. Siksi mallissa asiakkaiden tyytyväisyyden voidaan ajatella muodostuvan käyttäjän kognitiivisesta reaktiosta tuote- tai järjestelmäominaisuuksiin, mikä johtaa käyttöön suhtautumiseen ja aiottuun käyttöön. Jos käyttäjä järjestelmä koetaan hyödylliseksi, se johtaa tyytyväisyyteen ja jatkokäyttöön. (Oliver 1980, Davis 1985, Bhattacharjee 2001)

2.4 Tuotannonohjausjärjestelmä

MES-tutkimus voidaan kategorisoida kolmeen osuuteen: perinteinen MES, uudelleen konfiguroitua MES ja älykäs-jakautettu MES (Tao et al. 2012). Tässä kappaleessa tarkastellaan MES:n määrittelyä tutkimuslähteiden ja standardien pohjalta sekä avataan järjestelmän toiminnallisuuksia, hyötyjä ja implementoinnin teorioita.

2.4.1 MES-järjestelmän määrittely ja rooli

Tuotannonohjausjärjestelmää eli MES:iä alettiin kehittää 1980-luvulla ratkaisuna tuotannon toteutuksen ongelmiin sekä tietokatkoksiin yrityksen resurssien hallinnan ja tuotannon ohjauksen välillä. (Tao et al. 2012) Lisäksi todettiin, että tuotantodatan manuaalinen syöttäminen ja läpinäkyvyyden puuttuminen johtavat helposti tuotantotiedon virheellisyyteen ja tiedon nopeaan vanhenemiseen. Lee et al. (2012a) kuvaavat järjestelmän hierarkista sijoittumista kuvan 15 mukaisesti.



Kuva 15. MES:n rooli järjestelmähierarkiassa (mukailen Lee et al. 2012a, s. 1943).

MES integroi tuotannosuunnittelu- ja hallintajärjestelmät eli vie suunnitelmat käytäntöön ja palauttaa prosessin tulokset takaisin suunnittelutasolle. Naedelen et al. (2015) mukaan tietojärjestelmä ei kontrolloi tuotantovälineitä tai tuota tuotteita, mutta lähinnä kerää, analysoi ja esittää muodostuneen tuotantodatan työntekijöille helpottaen muutoksiin reagoimista ja prosessien ennustettavuutta. MES ohjaa ja aloittaa tuotannon tapahtumia sekä reagoi niiden muutoksiin keskitettyyn tietokantaan kerätyn datan pohjalta. (MESA 1997, Fei 2010, Lee et al. 2012a)

MOM- ja MES-termejä käytetään kirjallisuudessa usein ilman määrittelyä siitä, miten ne eroavat toisistaan. Vaikka kummatkin kuuluvat ISA-95 määritellylle kolmannelle hierarkiatasolle, MOM keskittyy toimintoihin, jotka kuuluvat tuotanto-osastojen lisäksi ylläpitoon, laboratorioihin ja varastoihin. Näin ollen MOM-osiin kuuluvat MES:n lisäksi laboratorion tiedonhallintajärjestelmät (*LIMS, laboratory information management systems*) sekä varastonhallintajärjestelmät (*WMS, warehouse management systems*). Cottynin et al. (2011, s. 4403) mukaan MOM toimii myös viitekehyksenä kaikille tuotannon manuaalisille tai automaattisille toiminnoille ja niiden hallinnalle. MES puolestaan keskittyy osaan MOM-toimintoja. Järjestelmä tukee pääasiassa tuotannon operatiivisia toimintoja ja kuljettaa kaksisuuntaisen viestinnän kautta tuotannon tarkkaa dataa koko yrityksen ja toimitusketjun tarpeisiin. (MESA 1997, Scholten 2010)

Toiminnan ja muutoksen kulttuuria edistävä MES nähdään myös ajattelutavaksi tai uskomukseksi, joka lisää työntekijöiden ymmärrystä työn merkityksestä ja parantaa tuotantoketjun sidosryhmien yhteistyön lisäksi yrityksen sisäisten osastoiden välistä yhteis-

työtä. On kuitenkin huomattava, että aiheeseen liittyvä tutkimus ei välttämättä ole toteutettu yksittäisten riippumattomien osapuolien toimesta, vaan järjestelmätoimittajien ja myyjien toimesta. Tällöin on syytä arvioida kriittisesti yhteyksiä MES-toimintojen ja tuotanto- tai yritystason suorituskyvyn paranemisen osalta. (Scholten 2010, Wood 2016)

2.4.2 MES-toiminnallisuudet

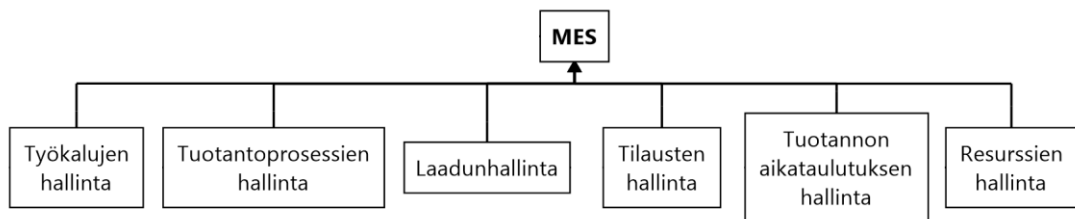
MES-järjestelmätoiminnot ja niistä muodostuva informaatiopohja yhdistävät yrityksen toiminnanohjauksen tuotantotason toteutukseen ja mahdollistavat näin useimpien tehdastyypin toiminnan toteuttamiseen (Arica & Powell 2014, s. 161). MESA (*manufacturing enterprise solutions association*) on määritellyt 11 keskeistä järjestelmän toimintoa, jotka tukevat ja ohjaavat tuotannon toteutusta (MESA 1997). Niitä ovat:

1. **Operaatioiden aikataulutus:** tehtaan suorituskyvyn optimointiin tähtäävää toimintojen jaksottamista ja ajoittamista.
2. **Resurssien hallinta:** ihmisten, koneiden, työkalujen ja materiaalien ohjaamista ja jäljittämistä.
3. **Tuotantoyksiköiden ohjaus:** materiaalien ja tilauksien lähettämisen käskytyksen prosessien käynnistämiseksi.
4. **Dokumenttien hallinta:** tuote-, prosessi- ja tilaustiedon hallintaa sekä tiedon jakamista.
5. **Tuotteiden seuranta:** yksiköiden ja tuote-erien seuranta historiatiedon luomista varten.
6. **Suorituskyvyn analysointi:** tuotannon suorituskykyä mittaavien arvojen vertaamista tavoitearvoihin.
7. **Työntekijöiden hallinta:** tarpeisiin ja pätevyysiin liittyvää työvoiman seuraamista ja ohjaamista.
8. **Huollon hallinta:** työkalujen ja tarvikkeiden huollon suunnittelua ja toteuttamista.
9. **Prosessin hallinta:** töiden virtauksen ohjaamista tuotannon suunnitelmien ja toteutumien pohjalta.
10. **Laadunhallinta:** tuote- ja prosessitietojen tallentamista, seuraamista ja analysointia.
11. **Datan kerääminen:** prosesseista, materiaalista, koneista ja ihmisten toiminnasta saatavan tiedon keräämistä, monitorointia ja organisointia.

Lee et al. (2012a, s. 1943) jakavat toiminnallisuudet MES:ään tietolähteenä käyttäen kahden kategoriaan: ydintoiminnot ja tukevat toiminnot. Ydintoiminnot sisältävät materiaali-varastojen ja -virtauksen suunnittelun. Tukeviin toimintoihin kuuluvat tuotannon ylläpito, aikadatan kerääminen, tilastollinen prosessin hallinta eli *SPC (statistical process control)*, laadun varmistaminen sekä prosessidatan ja dokumentaation hallinta. Meyer et al. (2009, s. 53) luettelevat puolestaan MES:n ydintoiminnot hieman eri lailla. Ne sisältävät

heidän mukaansa tuotannon virtauksen suunnittelun, tilauspohjaisten tuotantoprosessien suunnittelun sekä suunniteltujen tilauksien toteuttamisen hallinnan. Koska Lee et al. (2012a) eivät käytä viittauksessaan lähdemerkintää, Meyerin et al. (2009) ydintoimintosisältöä voidaan pitää luotettavampana.

Fein (2010) mukaan MES kontrolloi kaikkia tehtaan resursseja, joihin kuuluvat: materiaalien, työkalujen, henkilöstön, prosessiohjeiden, laadun, dokumentoinnin ja tuotannon aikataulutuksen hallinta. Hän jakaa MES-hierarkian osiin, jotka on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. MES-toiminnallisuudet (mukaillen Fei 2010).

Fein (2010) malli on hyvin pitkälle linjassa MESA:n toimintojen määritysten kanssa, mutta esimerkiksi datan keräys, ylläpidon hallinta, suorituskyvyn analysointi ja dokumenttien hallinta on sisällytetty hänen esittämässä mallissa muiden toimintojen sisään.

Toimintoja voidaan tarkastella myös aikanäkökulmasta. Naedele et al. (2015, s. 60) jakavat näkökulmat menneeseen, nykyisyyteen ja tulevaisuuteen. MES varastoi ja analysoi toteutettujen prosessien suorituskyvyn historiadataa. Nykyisyyteen liittyen MES hallinnoi avoimien ja suljettujen silmukoiden prosesseja reaaliaikaisesti. Lisäksi järjestelmän avulla voidaan suunnitella ja ennustaa prosessien suorituskykyä, varoituksia ja laadun hajontaa. (Naedele et al. 2015)

2.4.3 MES-hyödyt

MESA:n (1997) dokumentissa todetaan, että MES tehostaa tuotannon operatiivisten resurssien käyttöä, toimitusten täsmällisyyttä, varastojen kiertoa ja rahavirtaa. Keskimäärin järjestelmä vähentää:

- tuotannon läpimenoaikaa 45%,
- datan kirjaamiseen kuluvaa aikaa 75%,
- keskeneräistä tuotantoa 24%,
- toimitusaikaa 27% ja
- tuotevikoja 18%.

Hyötyihin listataan lisäksi laatuviikojen ja arvoa lisäämättömien asiakirjatyöskentelyjen vähentyminen. Hyötyjen realisoituminen toteutuu kuitenkin varmimmin yrityksillä, jotka käyttävät organisaatiotasoisia tietojärjestelmiä ja automatisoituja tuotantolinjoja. (MESA 1997)

Vinhaisin (2004) mukaan MES-järjestelmä mahdollistaa reaaliaikaisen tuotannon datan keräämisen ja hallinnoinnin, mikä tukee päätöksentekoa ja näkyy tuotteiden parantuneessa laadussa. MES-ratkaisut parantavat tuotannon läpinäkyvyyttä, joka on Swantonin & Smithin (2005) mielestä järjestelmän suurin hyötytekijä. Järjestelmä mahdollistaa myös prosessien mitta-arvojen vaihteluvälien kontrolloinnin ja havaittujen poikkeavuuksien välittömän korjaamisen. Tällä varmistetaan tuotantoprosessien suorittaminen vain suunnitellulla tavalla, kun määritettyjen poikkeamarajojen ylityksistä voidaan ilmoittaa automaattisesti tuotannon tukitiimille. Suurempien ongelmien muodostuminen voidaan välttää, kun tieto ongelmista kulkeutuu tuotannon ylläpitoon välittömästi ja vaadittavat prosessimuutokset voidaan toteuttaa ja ottaa käyttöön nopealla aikataululla prosessin validoinnin jälkeen. (Vinhais 2004, Fei 2010)

Tuotannon suorituskyvyn analysointia (*PA, performance analysis*) pidetään tärkeänä osana tuotannon ohjausjärjestelmän toimintaa. Suorituskykyä analysoidaan perinteisesti toimitusaikojen luotettavuuden, kustannustehokkuuden sekä tuotannon läpimenoajan, joustavuuden, keskeneräisen tuotannon (*WIP, work in progress*) ja resurssien käyttöasteen pohjalta. (Seitz & Nyhuis 2015, Tenhiälä & Helkiö 2015) Ajantasainen analysointi helpottaa päätöksentekoa, tuo esiin epänormaaleja lattiatason tuotannon tapahtumia, helpottaa riskienhallintaa sekä ohjaa tuotannon suunnittelun ja ohjauksen toteutusta haluttuun suuntaan. Kun laitteiden ja prosessien historiatieto on tallessa ja haettavissa järjestelmästä jälkikäteen, tuotteiden jäljitettävyys voidaan varmistaa tiedon tallentuessa yhteen paikkaan (Vinhais 2004, Fei 2010). Järjestelmät voivat ominaisuuksista riippuen hälyttää epänormaalia tapahtumasta tapahtumahetkellä tai mahdollisesti jo ennen tapahtumaa. Lisäksi autonomiset järjestelmät voivat itsenäisesti arvioida jatkotoimenpidevaihtoehtoja sekä ohjata ja ajoittaa tuotantoa uudelleen algoritmien pohjalta. (Li et al. 2010)

Nykyiset MES-ratkaisut mahdollistavat useamman teollisen liiketoimintaprosessin yhtäaikaisen hallinnan ja simuloinnin riippumatta tehtaan sijainnista. Lisäksi usean tuotantolinjan, tuotetyypin tai tehtaan suorituskykyä voidaan analysoida ja vertailla samanaikaisesti. Tämä mahdollistaa tuotantovaiheiden hallitumman maantieteellisen hajauttamisen ja sopimusvalmistuksen toteuttamisen. Simuloinnin avulla voidaan varmistaa järjestelmän toiminta ennen toteutusta ja suunnitella tuotanto ennen käytännön toteutusta.

(Meyer et al. 2009) Näin voidaan havaita ja ratkaista ongelmat sekä arvioida tuotannollisten toteutustapojen vaihtoehtoja jo virtuaalisessa ympäristössä. MES simulointiskenaariot liittyvät usein tuotevariantteihin, tuotantomäärien, valmistuspäivämäärien, materiaalivirtojen ja informaation kulun optimointiin. (Vinhais 2004)

MES-järjestelmästä saatavat hyödyt vaihtelevat suuresti. MESA:n (1997) mukaan ensimmäisenä tekijänä ovat jo tunnistettuihin ongelmiin kehitetyt ratkaisukeinot. Mikäli ongelmaa on jo pyritty ratkaisemaan muiden prosessien kehittämisen kautta, vaikutuksia on oletettavasti saatu jo aikaiseksi. Toiseksi MES-toimintojen valinta ja implementoinnin aikataulu vaikuttaa oletettujen hyötyjen realisoitumiseen. Kolmanneksi, ohjelmiston toiminta ja rajoitteet sopivat tiettyyn liiketoimintaympäristöön paremmin kuin toiseen. Lisäksi ylemmän johdon, järjestelmän ja projektin hallinnoijien sekä käyttäjien tuella on merkittävä rooli siinä, miten implementointi onnistuu. Lopuksi yksittäisen järjestelmän vaikutuksia voi olla vaikeaa mitata tarkasti, sillä sen toimintaan vaikuttavat myös muut IT-ratkaisut ja kehitysprojektit. Vaikka suoraan laskettavissa olevia MES:n hyötyjä, kuten järjestelmään sijoitetun pääoman tuotto prosenttia (Mantravadi & Møller 2019), on vaikea määrittää, MES parantaa mainittujen hyötyjen perusteella tuotannon tehokkuutta, tuotteiden laatua ja samalla madaltavat tuotannosta aiheutuvia kustannuksia. Suurimmassa osassa Swantonin & Smithin (2005) tutkimuksen kohderyhmistä, järjestelmä maksoi itsensä takaisin 6-24 kuukauden kuluessa. (Vinhais 2004, Fei 2010)

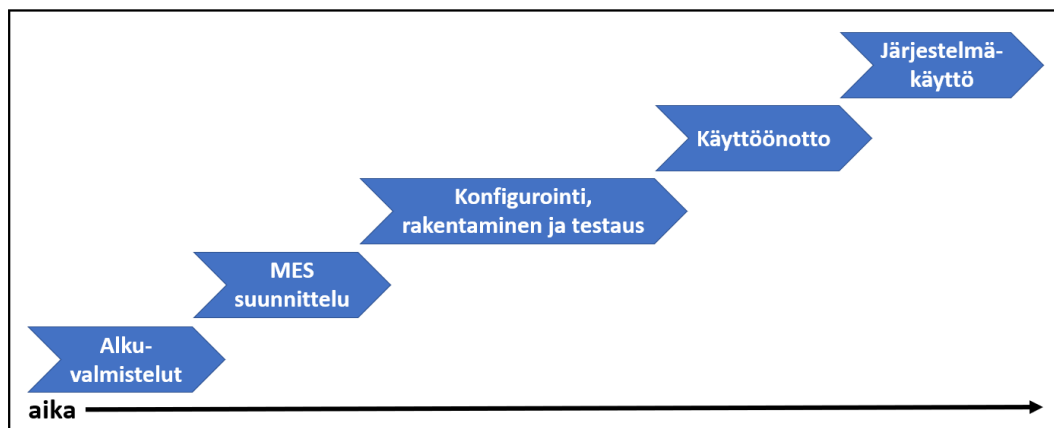
2.4.4 MES-implementointi

Vaikka MES-toiminnot ovat hyvin vakioituja, niiden konfigurointi ja keskinäinen priorisointi voivat vaihdella huomattavasti (MESA 1997, Naedele et al. 2015). Itskovich (2013) lisää, että MES-toimintoja voidaan kehittää ja asentaa täysin erillisinä moduuleina. Siksi organisaation tulee tunnistaa tärkeimmät liiketoimintaan vaikuttavat tekijät, joihin tuotannon toteutustavoilla voidaan vaikuttaa. Lee et al. (2012a) muistuttavat, että MES-suunnittelu, -implementointi ja -hyödyntäminen vaativat huomattavan investointi- ja työpanoksen, minkä takia pienet ja keskisuuret yritykset eivät ole ottaneet järjestelmää käyttöön laajemmassa mittakaavassa. MTO on kuitenkin yleisin tuotantomuoto, johon MES jalautetaan ohjaamaan vaihtelevia tuotemääriä, asiakastilauksien viimehetken muutoksia ja useiden tuotevariaatioiden valmistusta. (Molina & Santaella 2006, Lee et al. 2012a)

MES-implementointia edeltää järjestelmän huolellinen valinta ja hankinta (Knight & Lamb 2006). Siirryttäessä implementointivaiheeseen, kaikki yrityksen tuotannolliset prosessit

tulisi ensin analysoida ja optimoida työnkulkujen osalta. (Cottyn et al. 2011) Muuten järjestelmästä ei saada tavoiteltuja hyötyjä esiin. Prosessien optimoinnin jälkeen on käytännöllistä toteuttaa ensin MES-pilottiprojekti. Pilotin tavoitteina ovat tyypillisesti joustava toteuttaminen, perusteiden löytäminen lisäinvestoinneille, ylemmän tason johdon tuen saaminen sekä implementointiprojektin kokonaiskeston arvioiminen. Pilotin tavoitteiden saavuttaminen ja oikean toimialueen valinta voivat vaikuttaa huomattavasti koko hankkeen tuloksiin. (Anisimov & Reshetnikov 2011)

Govindaraju & Putra (2016) esittävät 5-vaiheisen mallin MES-implemmentoinnille. Malli on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. MES-implemmentoinnin vaiheet (mukaan Govindaraju & Putra 2016, s. 4).

Vaiheet kulkevat alkuvalmistelujen, MES-suunnittelun, konfiguroinnin ja testauksen kautta käyttöönottoon ja toimintaan.

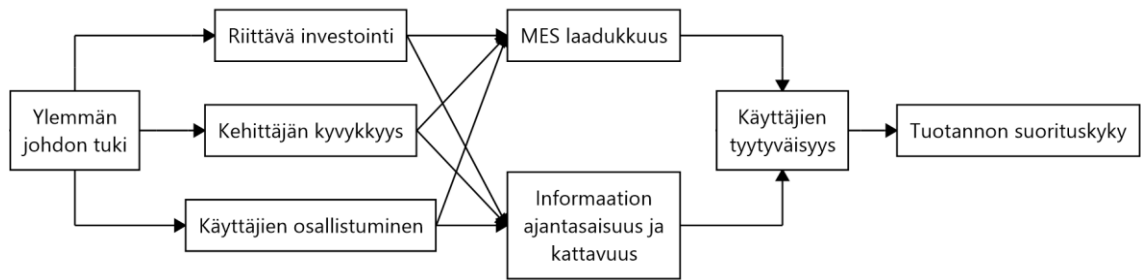
1. **Alkuvalmistelut** sisältävät implementoinnin päämäärien asettamisen ja järjestelmätarpeiden tunnistamisen.
2. **MES-suunnittelu** tarkoittaa yleisen toimintamallin luomista ja yksityiskohtaisempaa järjestelmätoimintojen sekä -moduulien määrittelyä, ja yhteensovittamista.
3. **Konfigurointi, rakentaminen ja testaus** pitävät sisällään järjestelmäominaisuuksien luomisen, tarvepohjaisen konfiguroinnin sekä toiminnallisen testauksen.
4. **Käyttöönotto**-vaiheessa suoritetaan loppuvalmistelut ja käyttökoulutus.
5. **Järjestelmäkäyttö** sisältää järjestelmän käytön tuen ja lopullisen järjestelmäauditoinnin.

Govindarajun & Putran (2016) näkemys tukee Cottynin et al. (2011) mainintaa pilottiprojektista, sillä he ehdottavat pilottikäyttöönottoa, jonka voidaan ajatella sijoittuvan mallissa ennen neljättä vaihetta eli koko järjestelmän käyttöönottoa. (Govindaraju & Putra 2016)

MES-implementointiprojektin onnistumista takaavat tunnistetusti useat kriittiset tekijät. Käyttäjien hyväksynnän saaminen järjestelmän toiminnasta todetaan yhdeksi tärkeimmäksi, mutta myös vaikeimmaksi tekijäksi (Anisimov & Reshetnikov 2011, Wood 2016, Govindaraju & Putra 2016). Anisimov & Reshetnikov (2011) mukaan on tärkeää kouluttaa loppukäyttäjää järjestelmän käyttöön ja osallistaa heitä jo kehitysvaiheessa testausprosessiin. Näin loppukäyttäjät saadaan sitoutettua järjestelmän kehitykseen, mikä houkuttelee sen käyttöönottoon (Markus & Ji-Ye Mao 2004). Toiseksi, KPI:den mittaaminen ja analysointi on merkki onnistuneesta MES-implementoinnista, mikä tukee myös käsitystä tuotannon operaatioiden kehittämisen ja optimoinnin merkityksen tärkeydestä (SFS-EN 62264-3:2017). Kolmas tekijä liittyy ylemmän tason johtajien osallistamiseen, sillä toteutusvaihe vaatii usein liiketoimintaprosessien muuttamista KPI:den pohjalta ja muutosvastarinnan käsittelyä. Mikäli tätä ei tapahdu, riittäviä kehitystoimenpiteitä ei välttämättä pystytä toteuttamaan. Viimeisenä mainitaan kumppanuussuhteen muodostaminen järjestelmätoimittajan kanssa, mitä myös Swanton & Smith (2005) alleviivaavat. Pidemmän aikavälin yhteistyöllä järjestelmän jatkuva kehittäminen muuttuu mahdollisimman tehokkaaksi, joka mahdollistaa yrityksen potentiaalain hyödyntämisen ja kilpailukykyyn muodostumisen. (Anisimov & Reshetnikov 2011)

Lee et al. (2012a) mainitsevat, että aikamäärää MES-hyötyjen realisoitumiseen ei ole vielä tutkittu, mutta käytännön esimerkkien mukaan se tarkoittaa noin yhtä vuotta. Tämä on minimiaika, joka vaaditaan järjestelmän vakaan toiminnan toteutumiseksi. Swanton & Smith (2005) puolestaan kuvaavat implementointiprojektin pituutta 6-18 kuukauden mittaiseksi mutta mainitsevat lisäksi, että järjestelmän kustomointi johtaa pidempään aikaan ja kustannuksiin. Järjestelmän rakentaminen kattaa keskimäärin 50-80 % implementoinnin kokonaisbudjetista (Swanton & Smith 2005, s. 55).

Leen et al. (2012a) mukaan MES:n informaation ajankohtaisuudella, kattavuudella ja MES-toiminnan laadukkuudella on merkitystä käyttäjien tyytyväisyyteen, joka puolestaan vaikuttaa suoraan tuotannon suorituskykyyn. Siksi järjestelmän suunnittelun ja implementoinnin yhteydessä on syytä tarkastella käyttäjäkokemuksen muodostumista ja järjestelmän käytettävyyttä. Myös tässä käyttäjien aktiivinen osallistaminen on ehdottoman tärkeää. Leen et al. (2012a) esittämä MES-implementoinnin malli kuvaa kattavasti järjestelmän implementointiin ja käyttöön vaikuttavat kriittiset tekijät. Malli on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. MES-implemointin onnistumisen edellytykset ja vaikutukset (mukaillen Lee et al. 2012a, s. 1944).

Järjestelmien implementointi voidaan määrittää prosessiksi tai muutoksenhallinnaksi, jossa valmistellaan järjestelmäkäyttäjistä koostuva kohderyhmä järjestelmän käyttämiseen. Prosessin lopputuloksena järjestelmä on otettu käyttöön ja sitä käytetään tarkoitetulla tavalla sekä halutuilla vaikutuksilla. (Markus & Ji-Ye Mao 2004)

2.5 Yhteenveto

Teoriaosuudessa käsiteltiin tuotantomuotoja, tuotannosuunnittelua ja -ohjausta menetelmien ja järjestelmien näkökulmasta, tietojärjestelmien ominaisuuksia ja käyttöä sekä tuotannon muutostrendejä.

Tuotantomuotojen osalta selvisi, että OPP:n määrittäminen on yritykselle strategisesti merkittävä päätös, sillä se jakaa toimitusketjun ja tuotannon operaatioiden ohjautuvuuden kahteen osaan. Toimitusketjussa Lean-osa sijoittuu ennen OPP:ta ja joustava osa OPP:n jälkeen. Tuotannon operaatioiden ohjaustavat ovat puolestaan vastaavassa järjestyksessä ensin ennusteohjautuvia ja sitten asiakasohjautuvia.

Tuotannosuunnittelu ja -ohjaus sisältävät useita määritelmiä, menetelmiä ja hallinnan tasoja. Sisältö voidaan kuitenkin tiivistää yrityksen useiden aikaikkunoiden arvoa lisäävien prosessien hallinnaksi, joiden hierarkkiset tasot käsittävät tuotantoyksikön valvontaja ohjaustoiminnot, tuotannon toiminnanohjauksen sekä yrityksen toiminnanohjauksen ja liiketoimintasuunnittelun.

Tuotannonohjausjärjestelmä eli MES toimii osana MOM-tasoa ja yhdistää yrityksen toiminnanohjauksen tuotantotason toteutuksen kanssa. MES vie tuotannon suunnitelmat käytäntöön ja palauttaa tuotantoprosessin tulokset takaisin suunnittelutasolle. Järjestelmäkäytön hyödyt sisältävät tuotannon arvoa lisäämättömän asiakirjatyöskentelyn, keskeneräisen tuotannon ja laatuviokojen vähenemisen sekä valmistusajan lyhenemisen. Järjestelmä tulee kuitenkin saada integroitua toimimaan saumattomasti muiden yrityksen tietojärjestelmien kanssa. Integroimisen osalta kansainväliset standardit, kuten ISA-95,

määrittelevät yhteiset järjestelmien ja järjestelmärajapintojen toimintatavat. Kirjallisuudessa on arvioitu, että MES muodostuu standardiksi biotekniikan ja lääketieteellisen tuotteiden teollisessa tuotannossa.

MES jalkautetaan yleisesti tuotantoympäristöön, jossa koetaan tärkeäksi reagoida nopeasti muuttuviin asiakasvaatimuksiin eli ohjataan useiden tuotevariaatioiden sekä vaihtelevien tuotemäärien valmistusta. Järjestelmän implementointivaiheet pitävät sisällään alkuvalmistelun, suunnittelun, järjestelmän konfiguroinnin, rakentamisen ja testauksen, käyttöönoton sekä järjestelmäkäytön. Ennen käyttöönottovaihetta on syytä suorittaa pilottikäyttöönotto, jossa testataan järjestelmän toimintaa ja käyttöä. Implementointiprojektin onnistumisen osalta kriittisimmiksi tekijöiksi on tunnistettu järjestelmäkäyttäjien hyväksyntä, KPI:den mittaaminen ja analysointi, organisaation ylemmän johdon sitoutuminen ja osallistaminen sekä kumppanuussuhteen muodostaminen järjestelmätoimittajan kanssa. Järjestelmän laadukas toiminta vaikuttaa käyttäjien tyytyväisyyteen ja täten suoraan tuotannon suorituskykyyn.

Tietojärjestelmän menestystekijöihin lasketaan järjestelmän ja informaation laadukkuudet, jotka vaikuttavat suoraan järjestelmän käytettävyyteen ja käyttäjäkokemukseen. Järjestelmäominaisuuksien lisäksi käytön laadukkuuteen vaikuttavat käytön työkalut, toimintaympäristö, käyttäjän ominaispiirteet, suoritettavat tehtävät sekä sosiaalinen ilmapiiiri. Järjestelmäkäyttäjän ennako-oletuksien ja havainnoidun suorituskyvyn summasta muodostuvat lopulliset jatkokäytön asenteet ja aikomukset.

Tuotannon muutostrendit liittyvät pääosin uusiin teknologiaratkaisuihin, kuten älykkäisiin ja autonomisiin tuotannon sovelluksiin. Tulevaisuuden järjestelmäratkaisuiden tulee sisältää nopeisiin ja joustaviin uudelleenkonfigurointiin kykeneviä toimintoja, joiden reaaliaikaisuus ja monikäyttöisyys korostuvat. Järjestelmäratkaisuiden käyttöönotto ei kuitenkaan vaadi perinteisestä Lean-filosofiasta tai -työkaluista luopumista. Uudentyyppiset MES-järjestelmät, kuten *c-Mes*, *OKD-MES*, *smart MES*, *RT-MES* ja *H-MES*, mahdollistavat valmistuksen ohjauksen muuttamisen kustannustehokkaasti ilman tuotannon keskeytyksiä. Järjestelmien hyötyjä on lisäksi pyritty tehostamaan sillä, että niiden toiminnot ulottuvat myös yrityksen muihin prosesseihin. Tuotantoprosessien itseohjautuvuus mahdollistaa tuotanto- ja laadunhallinnan kustannusten laskun, mutta vaatii yritykseltä investointeja ja ajankohtaista teknologiaosaamista.

3. TUTKIMUKSEN METODOLOGIA

3.1 Tutkimusmenetelmät

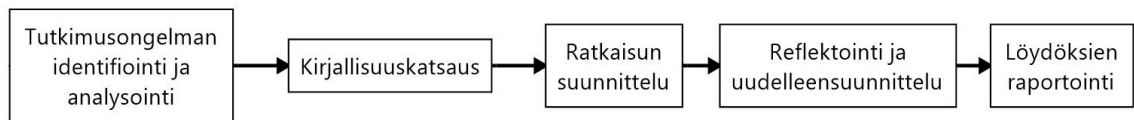
Tutkimus on kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus, sillä työssä tarkastellaan tuotannon-ohjausta ja -toteutusta sekä niihin vaikuttavien tekijöiden keskinäisiä yhteyksiä havaintojen ja haastattelujen avulla (Järvinen & Järvinen 2011). Tutkimusstrategian valinta oli hieman haasteellinen. Strategian valinnan tärkeimpänä prioriteettina voidaan pitää tutkimukselle asetettujen tavoitteiden saavuttamista ja tutkimuskysymyksiin etsittävien vastausten löytymistä. Siksi työssä päädyttiin käyttämään soveltavasti useampaa tutkimusstrategiaa (Saunders et al. 2009). Taulukossa 1 on luokiteltu hyödynnetyt tutkimusstrategiat, niiden käyttökohteet, ominaisuudet sekä listauksessa käytetyt kirjallisuuslähteet.

Taulukko 1. Tutkimuksessa hyödynnetyt strategiat.

	Käyttökohteet	Ominaisuudet	Lähteet
Design-tutkimus	<ul style="list-style-type: none"> • potentiaalin hyödyntäminen • tietojärjestelmäkehitys • käyttäjäkokemuksen arviointi • ohjelmistodesign • suunnitteluongelmat 	<ul style="list-style-type: none"> • kehityssykliisyys • käytännöllisyys • käyttäjäkeskeisyys • pragmaattisuus • interventiot 	<ul style="list-style-type: none"> • (McKenney & van den Akker 2005) • (Hevner 2007) • (livari 2007) • (Koskinen 2011) • (Sein et al. 2011) • (van den Akker et al. 2013)
Toiminta-tutkimus	<ul style="list-style-type: none"> • muutoksen toteutus • työ- ja toimintatilan- teet • käytäntöjen parantaminen • vastaa kysymykseen, miten? 	<ul style="list-style-type: none"> • tutkijan aktiivinen osallistuminen • tutkimisen, kehittämisen ja muutoksen samanaikaisuus • käytännönläheisyys • useat pienet kehityssyklit 	<ul style="list-style-type: none"> • (Elliott 1991) • (Somekh 2005) • (Saunders et al. 2009) • (Edwards & Willis 2014) • (Tiainen et al. 2015)
Tapaus-tutkimus	<ul style="list-style-type: none"> • yhden tai useamman tapahtuman/ilmiön tarkastelu • kehitetyn mallin vertaaminen teoriaan • uuden tiedon saanti monimutkaisista tapauksista 	<ul style="list-style-type: none"> • ilmiö liittyy selkeästi kontekstiinsa • useamman tietolähteen käyttö • joustavat rajoitukset ja käyttökohteet 	<ul style="list-style-type: none"> • (Benbasat et al. 1987) • (Hirsjärvi et al. 2009) • (Saunders et al. 2009) • (Järvinen & Järvinen 2011)

Design-tutkimuksen hyötynä voidaan pitää sitä, että tutkimus etenee ympäristön tarpeiden määrittelystä suunnittelu- ja kehitysvaiheeseen sekä lopulta arvioinnin kautta teoriaan vertaamiseen ja ymmärryksen muodostumiseen. (McKenney & van den Akker 2005, Hevner 2007) Tämä järjestys mukailee jo kohdeyrityksessä tehtyjä toimenpiteitä

sekä nykyisten tarpeiden loogista toteuttamisjärjestystä. Tutkimustyyppiä voidaan myös pitää luonteeltaan *pragmaattisena* eli selkeitä käytännön vaikutuksia aikaansaavana, erilaisia menetelmiä ja näkökulmia yhdistelevänä sekä tutkimuskysymyksiin painottuvana (Hevner 2007, Lew et al. 2010). Design-tutkimus nähdään yleisesti oppimisen, suunnittelun ja tutkimisen yhdistelmänä, ja se etenee prosessin näkökulmasta itseään toistavilla stepeillä tai vaiheilla. (Edwards & Willis 2014) Kuvassa 19 on havainnollistettu Design-tutkimuksen peräkkäiset vaiheet, joita käytetään myös hyödyksi tämän työn etenemisen ja sisällön suunnittelussa.



Kuva 19. Design-tutkimuksen vaiheet (mukailten Edwards & Willis 2014, s. 199).

Vaikka useammassa tutkimuksessa kirjoitetaan design-tutkimuksen *interventiosta* eli väliintulosta, *interventiota* voidaan kuvailla myös *toteutusvaiheena*, joka soveltuu paremmin tämän tutkimukseen kontekstiin. (McKenney & van den Akker 2005, Ovaska et al. 2005, Sein et al. 2011, Järvinen & Järvinen 2011, van den Akker et al. 2013)

Toimintatutkimus liittyy selkeästi käytännön kehitysohjelmaan, jossa tutkijan ja tutkimukseen osallistuvien henkilöiden yhteistyö korostuu (Elliott 1991, Somekh 2005). Siksi menetelmää on käytetty fyysisten tuotteiden kehittämisen lisäksi myös menetelmien, koulutuksen ja opetuksen kehittämisen parissa. (McKenney & van den Akker 2005, van den Akker et al. 2013) Toimintatutkimuksessa korostuvat useat pienet kehityssykli, joiden pohjalta tutkimuksen kohdetta kehitetään toivottuun suuntaan. Syklipohjainen kehitys koettiin toimivaksi käytännöksi myös tässä tutkimuksessa, jotta tuotantoa ohjaavat menetelmät ja MES-sisältö saatiin vietyä haluttuun suuntaan linjan työntekijöiden sekä sisällön ylläpidon hallittavuuden näkökulmasta.

Tapaustutkimus soveltuu useisiin käyttötarkoituksiin tutkimuksen joustavan luonteen vuoksi (Järvinen & Järvinen 2011). Tätä näkemystä tukee myös tietokantahaku, jonka avulla löytyi useita tapaustutkimusstrategiaa hyödyntäviä insinööritieteiden loppuotuita. Benbasat et al. (1987) mainitsevat, että tapaustutkimus soveltuu tietojärjestelmien sekä yrityksen strategian ja informaatioteknologian väliseen tutkimukseen. Koska tutkimuksen nykytila-analyyssissä tuotantolinjan kahta vaihetta tarkastellaan luonnollisessa ympäristössään, erillisinä kohteina ja käyttäen hyödyksi useita eri tietolähteitä, tutkimuksessa on nähtävissä myös tapaustutkimuksen ominaispiirteitä.

Mainitut tutkimusmenetelmät eivät lopulta eroa suuresti toisistaan. Tiainen et al. (2015) toteavat, että toimintatutkimusta lähellä ovat sekä tapaustutkimus että design-tutkimus. Iivari (2007) lisää, että design-tutkimusta ja toimintatutkimusta on yleisesti pidetty hyvin samankaltaisia. Sein et al. (2011) kuitenkin toteavat, että design-tutkimus ei ota riittävästi huomioon *IT-artefaktien* eli tietotekniikan hyödykkeiden innovointia organisaation tarpeiden, arvojen ja oletusten pohjalta. Siksi he ehdottavat käytettäväksi uudenlaista tutkimusstrategiaa, *toiminnallista design-tutkimusta (ADR, action design research)*. Menetelmä sopii tässä tutkimuksessa parhaimmaksi työkaluksi, jolla yhdistetään työntekijäyhteisön tarpeet ja käyttökokemuksen muodostuminen järjestelmän rakentamisnäkökulmaan. ADR valitaan ensisijaiseksi tutkimusstrategiaksi. ADR-strategia antaa selkeät ohjeet tutkimuskohteen vaatimusten määrittelyyn, intervention ja arvioinnin yhdistämiseksi.

Tutkimuksessa yhdistyvät kaksi erilaista lähestymistapaa, mikä voidaan kuitenkin aiemman tutkimuksen valossa todeta toimivaksi. Nykytila-analyysissä tutkimuksen lähestymistapa on *induktiivinen* eli tarkoituksena on muodostaa empiirisen datan avulla teoria, tai tässä tapauksessa käsitys, tuotannon ja työnteon parhaista ohjausmenettelyistä. Nykytila-analyysin avulla voidaan vastata tutkimuskysymykseen **K1**. Kirjallisuuskatsauksen pohjalta muodostetaan teoreettinen ymmärrys tuotannonohjaamisesta sekä ohjaamisen menetelmistä- ja järjestelmistä, jotta tutkimuskysymyksien **K2** ja **K3** vastauksissa voidaan huomioida kohdetietojärjestelmien kontekstisidonnaisen implementoinnin lisäksi myös teoreettinen näkemys. Kehitystoimenpiteiden toteuttamisen ja arvioinnin yhteydessä käytetään puolestaan *deduktiivista* lähestymistapaa, jonka avulla muodostettujen työnteon ohjauskäytäntöjen toimivuutta testataan ja tarkastellaan useissa pienissä kehityssykleissä yhteistyössä projektin sidosryhmien kanssa. Kehitystoimenpiteiden tulosten analysoinnin kautta voidaan vastata viimeiseen tutkimuskysymykseen **K4**. Kehitystoimenpiteiden lopuksi toteutettavan lomakepohjaisen loppukyselyn tulokset määrittävät lopullisen näkemyksen kohdetietojärjestelmien hyödyistä ja nykykäytäntöjen korvaamisesta. (Saunders et al. 2009)

Aikaikkuna on tyypillisesti tiettyä hetkeä kuvaavassa aikarajoitteisessa tutkimuksessa *poikittainen*. Vaikka nykytila-analyysin havainnot ja haastattelut toteutettiin pääosin lyhyessä aikaikkunassa, myös kahden vuoden ajalle jaksottuvat tutkimuspäiväkirjan muistiinpanot vaikuttivat ymmärryksen muodostumiseen. Näin ollen voidaan sanoa, että tutkimuksessa on myös *pitkittäistutkimuksen* piirteitä, jonka vahvuuteen kuuluvat muutoksen ja kehityksen tutkiminen. (Saunders et al. 2009)

3.2 Aineiston keruumenetelmät

Aineistoa kerätään pääosin kolmessa vaiheessa: kirjallisuuskatsauksessa olemassa olevan tutkimusaineiston pohjalta, nykytila-analyysin aikana tuotantolinjan kahteen vaiheeseen perehtymällä sekä kehitystoimenpiteiden aikaisilla havainnoilla, haastatteluilla ja lomakepohjaisella loppukyselyllä. Informaation joustavan liikkumisen ja ajankohtaisuuden sekä työntekijöiden osallistamisen kannalta todettiin kuitenkin, että palautetta ja kommentteja saa antaa myös vapaasti tutkimusprosessin aikana. Tämä mahdollisti ratkaisuiden jatkuvan syklimäisen kehityksen ja optimoinnin, joka koettiin toimivaksi ratkaisuksi kriittisten ongelmien esiin nousemisen ja tietojäljen ajankohtaisen tallentumisen kannalta. Nykytila-analyysissä käytetään hyödyksi myös järjestelmän implementointiprosessin aikana kirjoitettuja vanhempia palaverimuistioita ja tutkijan kirjoittamaa tutkimuspäiväkirjaa, sillä kehitysprosessin osallisena saatu kokemus toimi hyvänä lähtökohtana nykytila-analyysin ja kehitystarpeiden hahmottamiseen. Taulukossa 2 on listattu tutkimuksessa käytettävät tietolähteet ja niiden tyyppiluokittelu.

Taulukko 2. *Tutkimuksessa käytetyt tietotyypit ja -lähteet.*

Primääridata	<ul style="list-style-type: none"> • tutkimuspäiväkirja • tuotannon havainnot • haastattelut ja keskustelut • lomakepohjainen kysely
Sekundääridata	<ul style="list-style-type: none"> • kirjallisuus- ja tutkimuslähteet • palaverimuistiot

Data luokitellaan sen mukaan, mihin tarkoitukseen se tuotetaan ja kerätään. *Primääridatalla* kuvataan tutkimusprojektia varten kerättyä dataa, kun taas *sekundääridata* on tutkimuksen ulkopuoliseen tarkoitukseen kerättyä dataa (Saunders et al. 2009).

Tutkimuskysymyksien **K2** ja **K3** avulla pyritään löytämään toimivimmat käytännöt MES- ja MatFlow-järjestelmien käyttöön ja työntekoa ohjaavaan sisältöön. Käytettävyyden arviointimenetelmät voidaan jakaa *osallistaviin* ja *ei-osallistaviin* menetelmiin. Tässä tutkimuksessa käytettiin *osallistavia* arviointimenetelmiä, sillä ne pohjautuivat työntekijöiden mukana olemiseen: haastatteluihin, havaintoihin ja kehitettyjen menetelmien lomakepohjaiseen loppukyselyyn. (Ovaska et al. 2005)

Vaikka käytettävyyden arvioinnissa voidaan käyttää kvantitatiivillisia määreitä, kuten hiiren napautusten määrää, virheiden esiintymistiheyttä tai suoritusajkoja, käytännön toteutus on tutkimuksessa lähinnä kvalitatiivista ja diagnosoivaa, joka voidaan tällöin määritellä *formatiiviseksi käytettävyyden arvioinniksi*. Käytettävyydetutkimuksen ensimmäi-

senä vaiheena pidetään *käyttäjryhmien ja käyttäjäprofiilien* määrittämistä. Käyttäjäprofiileilla tarkoitetaan järjestelmän käyttäjien keskeisistä ominaisuuksista muodostuvaa kokonaisuutta ja käyttäjäryhmillä profiileista koostuvien samankaltaisuuksien ryhmittelyä. (Ovaska et al. 2005, Rubin & Chisnell 2008)

Nykytila-analyysissa työntekijöillä on mahdollista antaa palautetta MES-järjestelmästä yhteisissä infotilaisuuksissa sekä henkilökohtaisissa haastatteluissa. Lopputestauksen nykytila-analyysissa haastateltavat henkilöt valitaan tuotannon esimiehen ehdotusten perusteella niin, että erilaiset käyttäjäprofiilit tulevat edustetuiksi. Esimiehen näkemys koetaan tähän riittäväksi, eikä käyttäjiä erotella sen tarkemmin. Erotteleviksi ominaisuuksiksi valittiin:

1. tietoteknillinen osaaminen,
2. muutoshalukkuus ja
3. ammattitaito.

Analyysiin osallistettiin viisi lopputestivaiheen työntekijää. Vaikka tulosten *reliabiliteettia* voidaan parantaa otoskokoa kasvattamalla, Ovaskan et al. (2005) mukaan vähäinen otantamäärä ei kuitenkaan ole käytettävyyden arviointiin ongelma, sillä pienen otantakoon säännön mukaan jo viidellä testikäyttäjällä löytyy 80% käytettävyysongelmista. Vähäinen analyysin otanta johtaa kuitenkin käyttäjäryhmien muodostamisen tarpeettomuuteen.

Kalustusvaiheen nykytila-analyysilla paneudutaan nykyisiin kalustusta ja keräilyä ohjaaviin käytäntöihin sekä muodostetaan tämän jälkeen käsitys MES-järjestelmän toiminnan ja sisällön tarpeista käytön laajentamista varten. Kalustuksessa seurataan lopputestivaiheen mukaisesti samoilla periaatteilla valitun kolmen työntekijän kalustusta ja havainnoidaan tuotekonfiguraation tekemistä ohjaavia menetelmiä, työohjeiden nykytilaa ja keräilyn toteuttamista. Vaiheen keräilyn analyysissa käytetään lisäksi apuna yrityksen sisäiseen käyttöön toteutettua työnteon jalostusajan analysointitutkimusta.

Tutkimuksen kehitystoimenpiteiden aikana toteutetaan kattavampi yhteinen ryhmähaastattelu lopputestaajille, jonka tuloksia pyritään käyttämään hyödyksi tuotantolinjan toiselle pääkonetyypille muodostettavan ohjaussisällön muodostamisessa. Ryhmähaastattelun kysymysrakenne on tuotu esiin *liitteessä B*. Haastattelussa esiin nousseiden toiveiden pohjalta tehtävätason ohjeistussisällön tarkasteluun osallistetaan lisäksi kaksi erilaisen käyttäjäprofiilin omaavaa työntekijää. Kalustusvaiheen implementointi- ja kehitysosuudessa MES-järjestelmän toimintaa ja sisältöä esitellään ensin vaiheen työntekijöille

yhteisessä tilaisuudessa, jonka avulla pyritään herättämään aktiivista keskustelua järjestelmän potentiaalisia ja työntekoa helpottavista kehitysmahdollisuuksista. Vaiheen työntekijöillä on tämän lisäksi mahdollisuus antaa palautetta tuotannon *palautteet ja ideat* -taululle.

MES-järjestelmäkäytössä testataan tutkimuksen aikana yhteensä viisi erilaista näyttöpäätettä, jotka tutkija valitsi erilaisten laiteominaisuuksien ja käytön hyötyjen perusteella. Testatuiden näyttöpäätteiden ja laitteiden palautteet kerätään testauksen jälkeen toteutettujen yksilöhaastatteluiden avulla ja ne esitetään alaluvussa 5.2.4. Haastattelujen kohteena ovat neljän erilaisen käyttäjäprofiilin omaavat työntekijät. MatFlow-järjestelmäkäyttöä testataan puolestaan kalustusvaiheella kahden työntekijän kanssa kahdella laitevaihtoehdolla sekä erillisellä viivakoodin sormilukijalla. MatFlow-järjestelmän käyttöliittymän ja laitekäytön tulokset esitetään alaluvussa 5.3.1.

Kehitysprojektin lopuksi MES-järjestelmän käytettävyyden ja sisällön toimivuudesta toteutetaan lomakepohjainen loppukysely lopputestivaiheen työntekijöille, jotta tutkimuskysymykseen **K2** voitaisiin antaa vastaus järjestelmän lopullisen käytettävyyden näkökulmasta. Kysymykset ovat nähtävissä *liitteessä C. Liitteiden B ja C* kysymysrakenteena toimii *puolistrukturointi*, jotta järjestelmäkäytön todelliset ongelmat, onnistumiset ja jatkokehitysideat tulevat esiin (Saunders et al. 2009, Järvinen & Järvinen 2011). Testipuolen järjestelmäkäytön ja työn aikataulurajoitusten vuoksi kalustusvaiheelle ei toteuteta erillistä lomakepohjaista kyselyä, vaan tulokset kerätään järjestelmäkäytön testauksen yhteydessä havainnoin ja haastatteluin.

3.3 Aineiston analysointimenetelmät

Tutkimusaineisto koostuu tutkijan tutkimuspäiväkirjasta, havainto- ja keskustelumuiistiinpanoista, palaverimuiستioista, haastatteluista, palautteista ja kyselyistä. Nykytila-analyysin datan kerääminen tapahtuu tutkijan kirjoittaman tutkimuspäiväkirjan lisäksi havainto- ja kyselyotantojen pohjalta sekä keskustelumuiستinpanoja tehden. Nykytila-analyysin aineiston tuottamisessa ja analysoinnissa ovat mukana myös kehitysprojektin tukitiimin jäsenet. Kehitystoimenpiteiden toteutuksen aikana ohjaussisällön luontiin, syvälliseen arviointiin ja korjaukseen osallistetaan lisäksi tuotannonlinjan kohdevaiheiden valitut päätyöntekijät ja työnopastajat. Päätyöntekijöiksi valitaan lopputesti- ja kalustusvaiheen työntekijöistä kaksi niin, että vaihekohtaisen kokemuksen osalta edustettuina olivat kummatkin ääripäät.

Aineisto analysoidaan soveltaen aineistolähtöistä sisällönanalyysiä (Tuomi & Sarajärvi 2018). Aineisto yksinkertaistetaan tiivistämällä, ryhmitellään ja priorisoidaan eli siitä erotellaan tutkimuksen kannalta oleellinen tieto raportoitavaksi. Priorisointi tehdään huomioiden tutkimustavoitteet, -kysymykset ja suurimmat ongelmat, mistä aineiston analysointi tulisi Ovaskan et al. (2005) mukaan aloittaa.

Tulosten luotettavuus voidaan jakaa *reliabiliteettiin* ja *valideettiin* (Ovaska et al. 2005). Yhteisen ryhmähaastattelun ja lomakepohjaisen kysymyslomakkeen kysymykset muodostetaan datan *reliabiliteetin* ja *valideetin* maksimoimisen näkökulmasta, jotta kysymysten tarkoituksenmukaisuus ja vastausten oikeellisuus voitaisiin varmistaa. Näitä ovat Saunders et al. (2009) mukaan:

1. yksittäisten kysymyksien huolellinen suunnittelu,
2. kysymysten selkeä ja miellyttävä sijoittelu,
3. kysymysten selkeä selitys ja tarkoitus,
4. koetestausta ja
5. huolellisesti suunniteltu ja toteutettu hallinta.

Datan *valideetilla* tarkoitetaan sitä, kuinka tarkkaan tulokset vastaavat mitattua todellisuutta. Tällä voidaan tarkoittaa valittujen mitattavien suureiden oleellisuutta tutkitun asian selvittämisessä tai datan kykyä tuottaa ennustettavissa olevaa tietoa. *Reliabiliteetilla* kuvataan puolestaan sitä, tuottaako kerätty data yhdenmukaisia löydöksiä ja ovatko havainnot riippumattomia tutkijasta. On syytä huomioida, että tutkijan historia MES-hankkeen parissa muodostaa haasteen tutkimuksen *reliabiliteetin* osalta, sillä historian kautta muodostunut subjektiivinen käsitys voi vääristää tulosten analysointiprosessia. *Pragmaattinen* tutkimusfilosofia hyväksyy kuitenkin erilaisten datalähteiden käytön sekä subjektiivisten näkemysten ja arvojen olemassaolon, jotta tutkimuskysymyksiin saadaan muodostettua parhaimmat vastaukset. (Hirsjärvi et al. 2009, Saunders et al. 2009)

Tutkimuksen luvussa 6 analysoidaan ja arvioidaan kehitystoimenpiteiden yhteydessä muodostettuja tehtävätason tuotannonohjauksen käytäntöjä ja kohdetietojärjestelmien käyttöä *design-tutkimuksen* mukaisesti. Analyysin pohjana toimivat kohdetietojärjestelmien testauksen yhteydessä kerätyt palautteet sekä lomakepohjaisen kyselyn tulokset, joita verrataan tutkimuksen lähtötilanteessa toteutettuun nykytila-analyysiin. Kohdetietojärjestelmien käyttöönoton hyötyjen arvioinnissa voidaan vetää johtopäätöksiä kuvien 10, 11 ja 14 perusteella, jotka tarkastelevat tietoteknisten ratkaisujen hyväksymistä ja kokonaisyötyjä pääkäyttäjien keskuudessa. Kehitystoimenpiteiden aikaisia tuloksia verrataan lisäksi kirjallisuuskatsauksen kautta muodostuneeseen aihepiiriin teoreettiseen käsitykseen, jonka pohjalta havaittuja kehitystarpeita voidaan priorisoida jatkokehitys- ja -

tutkimusehdotuksiksi. Jatkokehitysehdotuksien lähtökohtana toimii tuotannon työntekoa ohjaavien nykykäytäntöjen korvaaminen kohdetietojärjestelmillä. Tuloksissa painotetaan toimintatutkimuksen tapaan toiminnan muutoksesta aiheutuneita vaikutuksia (Järvinen & Järvinen 2011).

4. TILAUSOHJAUTUVAN TUOTANNON NYKYTILA-ANALYYSI

4.1 Planmeca Oy

Planmeca Oy on vuonna 1971 perustettu korkean teknologian hammashoitolaitteita valmistava suomalainen perheyriety, joka toimii Planmeca Groupin emoyhtiönä. Yrityksen pääkonttori, tuotanto ja tuotesuunnittelu sijaitsevat Helsingissä, josta valmistettavia tuotteita viedään yli 120 maahan. Yritys on jaettu hammashoitokone- hammasröntgen ja digitaaliyksikköihin, joiden tuotevalikoimaan kuuluvat hammashoitokoneet, 2D- ja 3D-röntgenlaitteet, CAD/CAM-tuotteet ja kokonaisvaltaiset ohjelmistoratkaisut. Diplomityö on toteutettu hammashoitokoneyksikössä. (Planmeca 2017)

Planmeca Oy kilpailee markkinoilla suurella konfiguroitavalla tuotevalikoimalla, tuotekehitykseen ja erottuvaan muotoiluun panostamalla sekä tuotteiden korkealla laadulla. Yritys pyrkii toimimaan digitaalisten teknologiaratkaisujen edelläkävijänä sekä panostamaan tuotteiden helppokäyttöisyyteen ja käytön ehdottomaan turvallisuuteen yhteistyössä terveysalan ammattilaisten ja yliopistojen kanssa. Vuonna 2017 yhtiöryhmän liikevaihto oli n. 700 miljoonaa euroa ja työntekijöitä oli yli 2700 henkeä. (Planmeca 2017)

Hammashoitolaitteiden kysyntä ja tilausmäärät ovat vaihtelevia. Koska yritys pyrkii toimimaan asiakaslähtöisesti, se on johtanut tuotteiden variointimahdollisuuksien valtavaan määrään. Lisäksi yrityksen tuotteet valmistetaan käsin tukeutuen pitkälti työntekijöiden ammattitaitoon, jolloin voidaan puhua *high-mix-low-volume* tuotannosta (Gödri et al. 2019). Kun nämä tekijät yhdistetään tuotteiden viranomaisvaatimuksiin, ne tekevät tuotannosuunnittelusta, -ohjaamisesta ja -toteuttamisesta erityisen haasteellista. Siksi yrityksen toiminnassa ja tuotannossa painotetaan innovatiivisia ja joustavia ratkaisuja, jotka voivat olla tapauskohtaisesti jopa valmistavan teollisuuden valtavirtaa vastaan.

Mantravadin & Møllerin (2019) kuvaamista yritystason tietojärjestelmistä Planmecalla on käytössään ERP-, MES-, PLM-, CRM-, ja BI-järjestelmät. Järjestelmäarkkitehtuuri on havainnollistettu taulukossa 3.

Taulukko 3. Yrityksen tilaus-toimitusketjun järjestelmäarkkitehtuuri.

Järjestelmätyyppi	Järjestelmän nimi	Käyttötarkoitus
ERP	Lean System	Yrityksen toiminnanohjaus: <ul style="list-style-type: none"> • tuotannon suunnittelu, kuormitus ja aikataulutus • materiaalihallinta ja -tarpeiden suunnittelu • tilauksien käsittely • valmistusrakenteiden luominen tuotekonfiguraattorin, rakennemallien ja vaihemallien pohjalta • kustannuslaskenta
MES	Lean System Tuotannon työpiste	Tuotannon lattiatasen ohjaus
WMS	Lean System MatFlow, Metro	Materiaalivirtojen hallinta ja varastonhallinta
PLM	Siemens Teamcenter	Tuotetiedon hallinta
BI	QlikView ja Nprinting	Liiketoiminnan mittarit: <ul style="list-style-type: none"> • analysointi ja raportointi
CRM	Microsoft Dynamics, Sales Force	Asiakastiedon hallinta
Muut:	Basware DC1	Talouden hallinta Osto- ja myyntireskontrat

Tutkimuksessa oleelliset tietojärjestelmät ovat ERP, MES ja WMS, mutta taulukossa on nähtävillä myös yrityksen muut tilaus-toimitusketjun hallintaan liittyvät tietojärjestelmät. Lean Systems ERP -järjestelmä on hyvin joustava toiminnanohjausjärjestelmäksi, sillä se sisältää useita APS-, MES- ja WMS-toiminnallisuuksia. Siksi yritys ei ole kokenut tarvetta erilliselle tuotannon suunnittelu- tai hienokuormitusjärjestelmälle. MES ja WMS on hankittu samalta ohjelmistotuottajalta, jolloin järjestelmien keskinäinen integroiminen on helppoa. Lisäksi se helpottaa kehitystarpeiden toteuttamista, mikäli esiin nousseet muutostarpeet vaativat suurempia järjestelmäpohjaisia muutostoimenpiteitä. Järjestelmien perustoiminta ja ohjelmistojen rajapinnat määrittävät ja asettavat kuitenkin kehitystoimenpiteille selvät raamit.

4.2 Tutkimukseen valittu tuotantolinja

Tutkimus kohdennetaan tuotantolinjalle, jossa valmistetaan hammashoitokoneita tilausohjautuvasti. Tuotteiden valmistuksen tuotantomuotona toimii ATO, jonka tilausohjautuva osuus alkaa tuotantolinjan ensimmäisestä runkokalustusvaiheesta. Linjalla valmistetaan päivittäin kymmeniä hoitokoneita ja ennusteiden pohjalta on odotettavissa kapasiteetin nostamistarvetta.

4.2.1 Tuotantolinjan tuotteet

Tutkimukseen valitulla tuotantolinjalla valmistetaan kahta tuotemallia: *Tuote x* ja *Tuote y*. Taulukossa 4 on vertailtu tuotteiden hallinnan järjestelmäpohjaisia eroavaisuuksia:

Taulukko 4. *Tuotantolinjan tuotemallien vertailu.*

Tuote	Rakennemalli-hierarkian rivit (kpl)	Konfiguraatioiden määrä (kpl)	Vaihemallin vaiheiden lukumäärä (kpl)
Tuote x	~ 18 100	~2 355 642 500 000	67
Tuote y	~ 13 100	~1 024 192 512 000	49

Tuotteiden vaihemallien tarkka lukumäärä on saatavilla suoraan ERP-järjestelmästä. Vaiheita on järjestelmässä useita tuotannosuunnittelun ja kuormalaskennan takia. Rakennemallirivien ja konfiguraatiovaihtoehtojen tarkkoja lukumääriä on puolestaan vaikeaa, ellei mahdotonta laskea, sillä ERP-järjestelmä ei tarjoa laskemiseen työkaluja. Tuotteen rakennemallihierarkia eli *megarakenne* käsittää tuotteen nimikehierarkian kaikki rivit. Rakennemallin kokonaisrivimäärän laskenta pohjautui rakennehierarkian tulosten esikatselutilan sivujen lukumäärään ja sivukohtaiseen keskimääräiseen rivimäärään. Neljän satunnaisesti valitun työn valmistusrakenteen rakennerivimäärät olivat välillä 1221-1741.

Konfiguraatioiden määrä pohjautuu puolestaan tuotteen konfiguraattorin ominaisuusvalintojen määrään. Konfiguraatioiden määrän laskennassa haasteena ovat peräkkäisten ominaisuuksien keskinäiset konfigurointiehtopohjaiset yhteydet. Laskennassa on pyritty arvioimaan tuotteiden kaikkien konfiguraatiovalintojen kombinaatioita niin, että ehtopohjaisesti toisensa poissulkevat konfigurointiominaisuudet tulisivat mahdollisimman hyvin huomioitua. Tähän on käytetty ylätasen konfiguraatio-otsikoille annettuja variointioker-toimia. Mikäli käytetään yrityksen kotisivujen tarjousperusteista konfiguraattoria, saadaan tuotantolinjan konfiguraatioiden yhteiseksi määräksi 133 632.

4.2.2 Tuotantolinjan vaiheet

Vaikka ERP-järjestelmässä tuotteiden vaihemallit sisältävät taulukossa 4 lukumäärällisesti esitettyjä useita tilausohjautuvia vaiheita, tuotantolinja jakautuu fyysisesti neljään vaiheeseen, jotka ovat:

1. kalustus,
2. sähköturvallisuustestaus,
3. lopputestaus ja
4. pakkaus.

Tuotantolinjan ensimmäisessä vaiheessa tuotteen tilausohjautuva valmistus käynnistyy tulostetun työ- eli laitekortin keräämisestä ja kortin mukaisen runkokokoonpanon kalustuksesta. Kalustus tapahtuu pääosin alikokoonpanoista. Tässä vaiheessa laitteelle annetaan myös sarjanumero ja tyyppikilpi. Kalustusvaiheen jälkeen laite jatkaa sähköturvallisuustestaukseen, jossa sille tehdään vuotovirta-, maadoituksen jatkuvuus- ja eristeluustestaukset. Sähköturvallisuusvaiheen loppuksi tai vaihtoehtoisesti lopputestausvaiheen yhteydessä laitteelle suoritetaan kestotestaus.

Lopputesti sisältää valmiin tuotteen toimintojen kokonaisvaltaisen testaamisen, laatutarkastuksen sekä sarjanumeroiden ja toimitussisällön tarkastuksen. Vaiheen loppuksi tulos-tetaan oleelliset tarkastuskohteet sisältävä tarkastuspöytäkirja, jonka lopputestaaja allekirjoittaa. Tuotantolinjan viimeinen vaihe eli pakkausvaihe sisältää tuotteen purku- ja pakkaustoiminnot, viimeiset järjestelmäkirjaukset, asiakasdokumentaation valmistelun sekä tuotteen luovutuskelpoisuuden toteamisen. Valmiille tuotepakkaukselle toteutetaan toimitussisällön tarkastus RFID-merkattujen nimikkeiden osalta.

Työntekijöiden työaikalaskenta ja tuotantopalkkiot pohjautuvat kuormitusryhmiin, joille kirjautuminen vaikuttaa henkilölle maksettavaan tuotantopalkkioon. Ryhmän mukaan henkilölle maksetaan keskimääräistä tuotantopalkkiota tai tiimikohtaista tuotantopalkkiota. Mikäli kuormitusryhmäksi valitaan tuotannon valmistava tiimi, sen sisällä voi olla yksi tai useampia tuotantovaiheita. Tällöin tiimin sisällä vaihekohtainen liikkuvuus on joustavampaa. Liikkuvuuteen vaikuttavat työnjohtajan päätöksiensä lisäksi työntekijäkohtainen oma harkintakyky.

4.3 Tuotannonohjauksen nykytila-analyysi

Tässä kappaleessa tarkastellaan tilausohjautuvan tuotannonohjaamisen nykytilaa ja tuotannonohjaamisen menetelmiä omien havaintojen sekä avoimien henkilöhaastattelujen avulla. Kappaleessa käydään läpi nykyisen tuotannonohjaamisen käytäntöjä, käytäntöjen ylläpitoa sekä paneudutaan erityisesti kalustus- ja lopputestivaiheiden tuotannonohjaamiseen nykytila-analyysiin avulla.

4.3.1 Tuotannonohjaamisen käytännöt

Tuotteiden hieno- ja karkeakuormitus toteutetaan tuotannosuunnittelijan toimesta ERP-järjestelmän *balancer*-moduulilla. Karkeakuormituksessa määritetään tuotantolinjan kapasiteetti ja viikkokohtaisesti valmistettavien lopputuotteiden määrä käytettävissä ole-

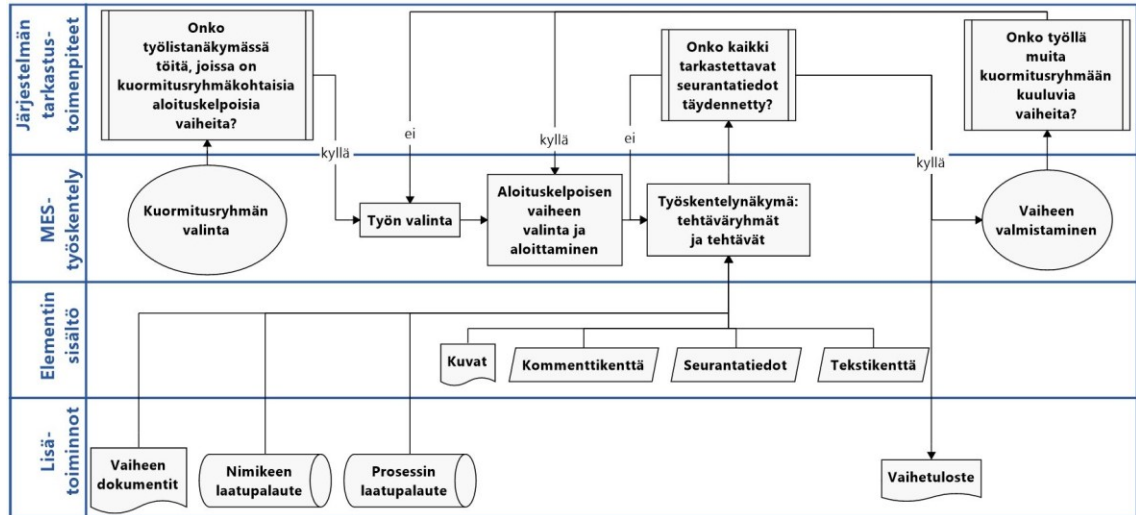
vien resurssien pohjalta yhteistyössä viennin kanssa. Hienokuormituksessa suunnitellaan valmistettaville lopputuotteille, koonnoksille eli alikokoonpanoille ja tuotteiden tuotantovaiheille aloitus- ja lopetusajankohdat. Lopputuotteet näkyvät MES-järjestelmän vaihekohtaisella työlistalla vaiheen suunnitellun aloituspäivämäärän mukaisessa järjestyksessä. Töiden järjestys päivittyy reaaliajassa, mikäli niihin tehdään muutoksia tuotannon suunnittelijan toimesta.

Tuotantolinjan tekeminen eroaa vaihekohtaisesti toisistaan. Tuotteiden lattiataason tuotannon ohjaaminen tapahtuu nykyisillä käytännöillä useilla eri tavoilla, sillä käytössä on tietojärjestelmien lisäksi useita paperisia lomakkeita ja työohjekansioita. Tuotantolinja jakautuu tilausohjautuvaan osaan ja varasto-ohjautuvaan osaan. Lopputuotteeseen kalustettavat ja asennettavat alikokoonpanot ohjautuvat koonnohylyille varasto-ohjautuvasti, kun taas tuotantolinjalla tekeminen on tilausohjautuvaa. Pääosin koonnoksista koostuvien läpivirtaushyllyjen täydennystarpeita ohjataan liikennevalo- eli *kanban*-korteilla, jotka viestittävät lisätilaus- tai työtarpeesta. Hyllyjen materiaalivirtauksessa käytetään mahdollisuuksien mukaan myös kaksilaatikko- ja FIFO-periaatetta. Tuotteiden OPP sijaitsee kalustusvaiheen alussa, jossa asiakastilaus yhdistetään tuotteeseen tuotannon suunnittelijan tulostaman työkortin tietokenttien pohjalta. Tuotteen tilausohjautuvaa valmistamista ja tuotesisällön oikeellisuutta ohjaavat *työkortti*, tuotteen *pakkauslista* eli nimikeluettelo yhdessä konfiguroituvan MES-sisällön kanssa, tuotteen ominaisuuksia kuvaava *pakkauslistan erittely* sekä RFID-tarkastus. Tuotannossa on lisäksi käytössä laatutarkastajan viikoittaisesti satunnaisille lopputuotteille suorittamat laatutarkastukset. Täten tuotteiden toimitussisällölle toteutetaan viisinkertainen tarkastus. Tuotteen valmistuksen historiatiedot eli DHR (*device history record*) muodostuvat yllä mainituista dokumenteista, testausvaiheiden sähköturvallisuusraporteista ja tarkastuspöytäkirjoista sekä toimitussisällön RFID-tarkastustulosteesta.

Lopputuotteiden kalustuksessa ja alikokoonpanojen valmistuksessa pohjaututaan pääosin paperisiin työohjeisiin ja työntekijöiden ammattitaitoon. Työohjeiden kattavuudessa ja yksityiskohtaisuudessa on kuitenkin työntekijähaastattelujen ja omien havaintojen pohjalta havaittu parannustarpeita, johon MES tarjoaa alustan sähköisten työohjeiden esittämiseen ja sisällön hallintaan.

4.3.2 Tuotannonohjausjärjestelmän toiminta ja käyttöönotto

Yrityksessä käytössä oleva MES eli *Tuotannon työpiste* tai *Valmistusportaali* toimii *webAPP*-järjestelmänä sisäverkossa (Jiang et al. 2015). Uusimman järjestelmäversion toiminnan prosessikuvaus on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. MES-käyttöliittymän prosessimalli.

Käytännössä MES visualisoi ja yhdistelee ERP:ssä konfiguroitavien ja ajoitettavien töiden tietoja. Yrityksen MES-kustomoinnissa ja käyttöönotossa edettiin lyhyiden kehitysvaiheiden kautta läheisessä yhteistyössä järjestelmätuottajan kanssa. MES-implementoinnin yhteydessä Cottyn et al. (2011) ja Govindaraju & Putra (2016) esittävät pilottiprojektin toteuttamista. Ensimmäistä käyttöönotettua MES-järjestelmäversiota ja sen toiminnan testausta voidaan pitää järjestelmäpilottina. Vaikka pilotti oli kokonaisuudessaan isompi ja aiheutti suurempia kustannuksia kuin pelkkä käyttöönoton testaus, se toi arvokasta tietoa järjestelmän toiminnasta sekä sisällön jatkokehitystarpeista ja puutteista. Ensimmäinen käyttöönotettu järjestelmäversio pystyi tuottamaan tuotteen lopputestauksen osalta DHR-tulosten, jota pidetään MES-järjestelmän vähimmäisvaatimuksena. (Knight & Lamb 2006) Järjestelmän jatkokehitys mahdollisti toisen vaatimustason eli datan keräyksen ja hallinnan lisäämisen, mutta kolmas taso eli datan ja prosessien analysointipohjainen toiminnan jatkuva kehittäminen on vielä toteuttamatta. Nykyinen toisen vaatimustason liittyvät järjestelmätoiminnot mahdollistavat käytännössä tuotannon vaihetasoa yksityiskohtaisemman tehtävätason tuotannonohjauksen. Tehtävätason tuotannonohjauksella tarkoitetaan työnteon yksityiskohtaista ohjaamista konfiguroituvien tehtäväohjeiden pohjalta. Vaihekohtaiset työtehtävät saadaan ehdollistettua ja liitettyä valmistettavalle työlle tilauksen ominaisuus- eli *FE*-tunnuksien pohjalta, jolloin valmistetta-

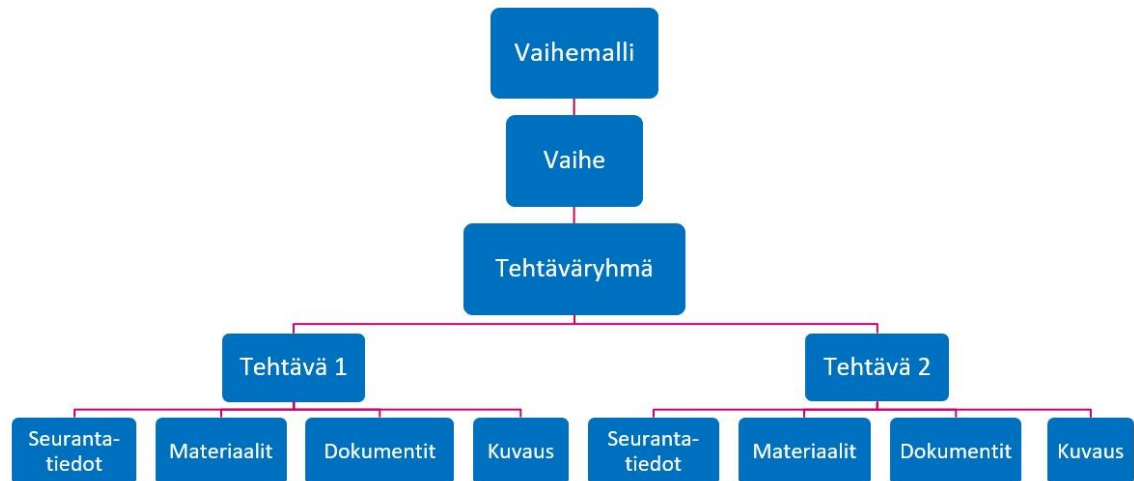
van tuotteen tehtävät, sekä tehtävien sisältö, tulevat näkyviin lopputuotteen asiakaskonfiguraation pohjalta. Täten laitekonfiguraatiolle tulee näkyviin pelkästään oleelliset valmistamista ohjaavat tiedot, mikä vähentää muistinvaraista tekemistä. Uusin järjestelmäversio sisältää lisäksi hyvin visuaalisen käyttönäkymän, jonka sisältö on pitkälti kohdeyrityksen määriteltävissä. Käyttöliittymä on muodostettu mahdollisimman helppokäyttöiseksi ja sen toiminta johdattelee pitkälti tuotantolinjan työnteon etenemisjärjestystä.

4.3.3 Tuotannonohjauksen muutoksenhallinta ja ylläpito

Yrityksessä toteutetaan ERP-järjestelmätietojen pohjalta vuosittain vajaa 100 tuote- tai prosessimuutosta jatkuvan parantamisen, kehittämisen ja vastaanotettujen laatuvalausten pohjalta. Jatkuvat muutokset ja kehitystoimet vaativat kontrolloidun muutoksenhallinnan, jotta niiden hallittu käyttöönotto ja jäljitettävyyden säilyvät. Näin ollen järjestelmien sisältö, hallinnan työkalut ja resurssit tulee olla tasapainossa, jotta vaatimukset toteutuvat. Yrityksen yleinen muutosmenettely sisältää Issue:n luomisen eli ongelman esiintuonin, ECR eli muutostarpeen spesifioinnin sekä ECN eli muutosilmoituksen. Issue voidaan kuitenkin käsitellä ja muutokset voidaan toteuttaa tarvittaessa ilman ECR tai ECN käsittelyä. Tuotemuutoksien käyttöönoton osalta yrityksessä käytetään ensimmäisen muutoskohtaisen työn mukana kulkevaa muutostiedotelomaketta, johon merkitään kyseisen työn sarjanumero. Lomakkeella kerrotaan muutoksen käyttöönoton selite, ECN-tunnus, efektiivisyyspäivä sekä revisoidut nimikkeet. Ohjeistusmuutokset käyvät läpi hyväksyntäkierron, jonka jälkeen päivitetty ohje tulostetaan käytettäväksi, työntekijöiden kuitattavaksi sekä tietokantaan ja hyllyyn arkistoitavaksi. Käynnissä olevan PLM-migraation yhteydessä arkisto muuttuu sähköiseksi, jolloin fyysistä säilytystä ei enää tarvita.

Tuotannonohjaukseen osallistuvat ERP- ja MES-järjestelmät, mutta koska MES toimii täysin ERP-pohjaisesti, kaikkien ohjaustietojen ylläpito tapahtuu ERP järjestelmässä. ERP:ssä hallinnoidaan myös työkortilla ja pakkauslistoilla näkyvät nimikkeet sekä nimikkeiden sarjanumerollisuus ja vaihekohtaisuus. Uusi MES-versio pohjautuu tilauspohjaisesti konfiguroituihin tehtäväriveihin, rivien ehtoihin, kuvassa 20 esitetyn tehtäväelementin sisältöön, tehtävärivit yhdistäviin tehtäväryhmiin, sekä ylemmällä hallinnan tasolla vaihemallin vaiheisiin ja kuormitusryhmiin. Ominaisuuksia ylläpitää vastuunalainen tuotesuunnittelija tuotepäällikön alaisuudessa. Täten järjestelmän ajantasainen toiminta vaatii huomattavan panostuksen tiedon ylläpitoon ja toimivaan ylläpidon yhteistyöhön. Tutkimuksen toteuttamisen aikana tehtäväelementtien tietoja ja vaihekohtaisuuksia yllä-

pitää pääosin tutkijan lisäksi tuotespecialisti, mutta mukana on myös laajemmassa mitakaavassa ERP-järjestelmän tukitiimi, tuotannosuunnittelija, menetelmäsuunnittelija ja työnohjaajat. MES-tietomalli on esitetty kuvassa 21.



Kuva 21. MES-tietomallin elementit.

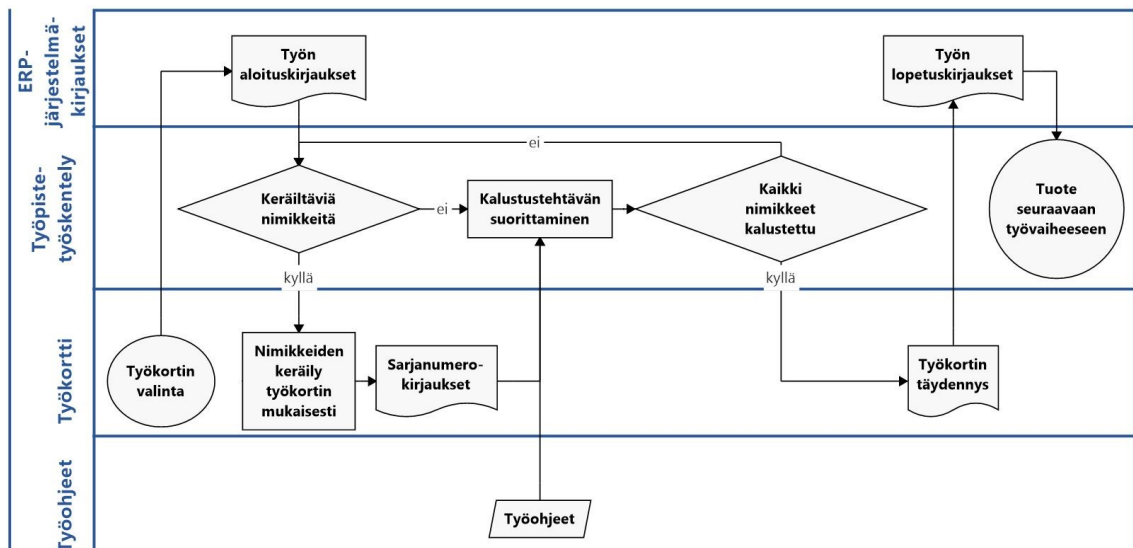
Ylläpidon näkökulmasta tehtävän sisältö ei enää konfiguroidu vaan pysyy vakiona. Täten konfigurointiehtojen hallinta pysyy tehtävätasolla ja sen ylemmillä elementeillä. Järjestelmän ylläpidossa ja sisällön luomisessa on havaittu henkilöhaastattelujen ja palaverikeskustelujen pohjalta haasteita tuotannon tukitiimissä:

1. Elementtien käyttötarkoitus ja haluttu sisältö eivät ole täysin selvänä.
2. Tehtävien ja vaiheiden revisiointilogiikka on epäselvä. Niiden kopiointiin ja revisiointiin ei ole myöskään olemassa kunnollisia järjestelmätyökaluja.
3. MES:n sisältötietoa on hajautettu useaan järjestelmään ja tiedostosijaintiin, ja toisessa tiimissä tehtävät muutokset saattavat vaikuttaa järjestelmän toimintaan. Siksi sisällön hallinta ja ylläpito tarvitsevat yhteisten pelisääntöjen luomisen. Lisäksi järjestelmäsivallön ulkomuoto vaatii yhteisen esitystavan määrittämisen.
4. Tehtävöohjeistuksella tavoiteltu yksityiskohtaisempi työn ohjaaminen vaatii nykyisten työohjeiden kattavuudesta ja sisällön tarkkuudesta johtuen paljon uutta ohjeistussisältöä.
5. Sisällön luomiseen ja ylläpitoon ei ole resursoitu tarvittavaa henkilöstöä tai roolijako on epäselvä. Tämä johtaa järjestelmähyötyjen vajaavaisuuteen, sisällön ylläpidon haasteisiin sekä muutos- ja tuotespecialistin kuormittumiseen.
6. MES-järjestelmän toiminnan oikeellisuutta ja sisällön visuaalisuutta on hidasta ja vaikeaa simuloida.
7. Ohjeistussivallön yksityiskohtaisuudelle on olemassa erilaisia tarpeita riippuen työntekijän työkokemuksesta ja ammattiosaamistasosta. Tästä nousee esiin myös työntekijöiden perehdytystarpeiden selkeyttäminen.

Listatut haasteet vaativat yhteisten käytäntöjen muodostamisen lisäksi kehitystoimenpiteitä, jotta ylläpito on mahdollista ja tehokasta toteuttaa. Kehitystoimenpiteisiin palataan luvussa 5.

4.3.4 Kalustusvaiheen nykytila-analyysi

Kalustusvaiheen työpisteet muodostuvat työkaluseinästä, 3-tasoisesta keräilyvaunusta ja henkilökohtaisista pöytä tietokoneista, jotka mahdollistavat jo nykyisillä välineillä suunnitellun MES- ja MatFlow-järjestelmäkäytön. Vaiheen työnteko etenee pääosin työkortin pohjalta. Kuvassa 22 on esitetty kalustusvaiheen työn teon prosessikaavio. Työkortissa on esitetty työtunnuksen, laitetyypin, tilaustunnuksen, vaihemallin ja kohdemaan lisäksi työn kaikki vaiheet sekä vaihekohtaiset oleellimmat ”työkortti”-nimikkeet. Kyseisten nimikkeiden pohjalta työntekijä suorittaa keräilyn ja kalustaa laitteen. Keräilyssä kokoonpano- ja saldolaskettavat nimikkeet haetaan linjan läheisestä läpivirtaus- tai *supermarket*hyllystä. Työkorttiin merkataan myös vaiheiden tekijöiden työntekijänumerot sekä työkorttinimikkeiden mahdolliset sarjanumerot.



Kuva 22. Kalustusvaiheen prosessikaavio.

Alle on listattu kalustajien kommentit liittyen vaiheen konfiguroituvaan työntekoon ja tuotannonohjaamiseen:

1. Paikkakokoonpano tekee työstä monipuolista ja sopivan haasteellista.
2. Tuotteen yhtäjaksoinen kalustus alusta loppuun johtaa laatu- ja kirjausvirheiden vähenemiseen.
3. Työohjeiden kattavuudessa on puutteita.
4. Sarjanumeroiden kirjaus työkorttiin ja ERP:iin on tuplakirjausta eli turhaa työtä.

5. Työkortin nimikelistä on useita sivuja pitkä ja nimikerivien keskinäinen järjestys ei ole kalustamisen kannalta järkevä.
6. ERP-järjestelmässä työn vaiheita on useampia, vaikka käytännössä puhutaan vain yhdestä kalustusvaiheesta. Vaiheiden kuittaukset työn etenemisen mukana muodostavat turhia työnteon keskeytyksiä, joten kirjaukset tehdään yhteisesti vasta koko kalustuksen loppuksi.
7. Keräilymatkat ovat suuria ja keräilystä johtuvia työn keskeytyksiä tulee paljon.

Kalustusvaiheen havaintojen ja haastatteluiden pohjalta kävi selväksi, että työnteossa tukeudutaan työohjeiden lisäksi pitkälti työntekijöiden ammattitaitoon. Tämä johtaa siihen, että työnteon järjestys vaihtelee työntekijöiden itseohjautuvuuden tai alkuperäisen perehdyttäjän opetusten pohjalta. Toisaalta Wang et al. (2011) toteavat, että tuotteiden konfiguraatiomäärän takia yksityiskohtaisia työohjeita on vaikeaa luoda ja ylläpitää kompleksisten tarkkuutta vaativien tuotteiden kokoonpanoon ja kokonpanoprosessin ohjaukseen.

Faccio (2014) toteaa, että yksi suurimmista haasteista useampia tuotemalleja valmistavan kokoonpanolinjan haasteista on nimikkeiden linjalle täydennys. Tutkimukseen valitun tuotantolinjan kalustusvaiheen keräilytapahtumien määrä oli kolmen työkohtaisten havaintojen keskiarvon osalta 19. Keräilytapahtumien suuri määrä ja keräilymatkojen pituus lisäävät vaiheeseen käytettyä kokonaistyöaika. Lisäksi työnteon keskeytykset voivat johtaa huolimattomuusvirheisiin. Keräilytapahtumien määrän suuruus johtuu osaltaan valituista tuotannon menettely- ja layout-valinnoista, sillä kalustus tehdään alusta loppuun yhdessä työpisteessä, mikä vaatii suuren paikkakohtaisen nimiketäydennyksen työn edetessä. Keräilykäytäntöjen tehostaminen jätetään osittain työn aiherajauksen ulkopuolelle, mutta on selvää, että vaiheen tehokkuuden kannalta kehitystoimenpiteitä on syytä toteuttaa. Yrityksen *MatFlow*-varastohallintajärjestelmän käyttöä linjan keräilytoiminnoissa sekä settikeräilykäytäntöjä pohditaan kehitystoimenpiteisiin liittyvässä aluvussa 5.3.

Analyysin pohjalta voidaan todeta, että kalustusvaiheelle MES-järjestelmän käyttöönoton osalta haasteeksi muodostuvat yksityiskohtaisen työohjesisällön ja yhtenäisen työjärjestyksen luominen sekä keräily- ja kirjauskäytäntöjen mukauttaminen järjestelmäkäyttöön. Koska työkortti sisältää erityisen paljon oleellista tietoa kalustusvaiheen työnteon ja keräilyn kannalta, sen korvaaminen kohdetietojärjestelmillä vaatii kyseisen tiedon siirtämistä ohjausjärjestelmiin.

4.3.5 Lopputestausvaiheen nykytila-analyysi

Lopputestivaiheen työpisteet koostuvat työpöydästä, pöytään liitetystä työkaluseinästä, kalustusvaiheen mukaisesti pöytäkoneesta ja lyhyeen säätövarteen liitetystä 23-tuumaisesta näytöstä. Testausvaiheen työskentely tapahtuu pitkälti *kuvassa 20* esitetyn MES-käyttöliittymän prosessikaavion mukaisesti. Työntekijä hakee järjestelmän ehdottaman koneen testauspisteelleen sekä aloittaa työskentelyn MES-ohjeiden ja täydennettävien seurantatietojen mukaisesti. Havaitut laitteen toimintahäiriöt ja laatu puutteet pyritään korjaamaan paikan päällä työpisteellä, mikäli korjaustoimenpiteet eivät vaadi laitteen purkamista. Isommissa häiriötilanteissa työvaihe keskeytetään ja viallinen laite palautetaan kalustusvaiheeseen. Tarvittaessa työ voidaan myös jähdyttää kokonaan odottamaan jatkoselvitystä tai -käsittelyä, sillä laite saattaa esimerkiksi joutua odottamaan osapuutteita. Havaituista vioista tulee kirjata lautupalautte MES:iin ja korjaukseen käytetystä ajasta häiriökirjaukset ERP:iin. Vialliset alikokoonpanot viedään takaisin kokoonpanotii miin, jossa kokoonpano korjataan ja puretaan. Mikäli vialliseksi tai puutteelliseksi todettu osa on alimman tason nimike, tai kokoonpano on hankittu osaston ulkopuolelta, se viedään tarralapun kanssa palautusrullakoihin odottamaan osastonjärjestelijän suorittamaa jatkokäsittelyä.

Tutkimuksen nykytila-analyysin aikana MES-järjestelmästä oli käytössä kaksi eri versiota, joita käytettiin laitetyyppikohtaisesti. Vanhempi versio ei tukenut yksityiskohtaista tehtävätason ohjeistusta, joten yhdeksi tutkimuksen kehitystoimenpiteisiin liittyväksi tavoitteeksi muodostui vanhemman version parissa testatun laitteen testaus sisällön muodostaminen uuteen alustaan. Vaikka uusi järjestelmäversio on yleisesti koettu toimivaksi, sen käytössä on havaittu joitain toiminnallisia puutteita, jotka johtavat ERP- ja MES-järjestelmien yhtäaikaiseen käyttöön. MES toiminnot eivät sisällä työajan häiriökirjaustoimintoja, laitteen materiaalitarpiden keräys-, saldotarkastus ja kuittaustoimintoja sekä toimivia sarjanumeroiden tarkastus- ja kirjaustoimintoja, jolloin työnteon yhteydessä joudutaan käyttämään myös ERP-järjestelmää. Lisäksi työkorttia tarvitaan laitteen historiarekisteriin tallennettavien sarjanumerotietojen tarkastuksessa ja nimikkeiden keräilyssä. Kortti toimii apuna laitteen oikeellisuuden tarkastuksessa sekä tarvittaessa laitteen kohdemaan tai aikaisempien vaiheiden työntekijöiden tarkastamisessa. Paperittoman tuotannon ja työnteon helpottamisen kannalta tavoitteena yhden tietojärjestelmän käyttö sekä vaadittavan ohjaussisällön vienti MES:iin.

Nykytila-analyysin aikana toteutettujen avoimien henkilöhaastatteluiden MES-käytön ja -sisällön kommentit ja havainnot on listattu alla:

1. Tehtäväryhmien nimet olisi hyvä saada kuvaavammaksi sisällön ja laitekonfiguraation mukaisesti.
2. Uusi järjestelmäversio on hyvä, sillä se näyttää pelkästään työntekoon tarvittavat oleelliset tiedot.
3. Laitteen kalustus- ja koonnoskohtaiset työohjeet olisi hyvä saada näkyville järjestelmän lopputestivaihekohtaisiin dokumentteihin, mikäli lopputestissä ilmenee korjaustarpeita.
4. MES-sisällöstä ja toiminnan käytännöistä tai muutoksista ei ole viestitty tarpeeksi.
5. Mitä enemmän on näkyvillä yksityiskohtaisia työohjeita, sitä todennäköisemmin tulee kuitattua asioita, joita ei lue.
6. Laitteen konfiguroituviin ominaispiirteisiin liittyvää testausohjeistusta ja kuitattavia asioita voitaisiin luoda lisää (esimerkkinä laitteen perusasetukset).
7. MES työohjesisältöä voisi jakaa enemmän osiin testauksen todenmukaisen etenemisen ja pitkien testauskohteiden osalta.
8. Työohjepäivityksistä olisi syytä ilmoittaa järjestelmän kautta ja tuoda testaukseen liittyvät muutokset visuaalisesti näkyviin.
9. Työkortissa näkyvät työn ja tilauksen tiedot olisi hyvä saada MES:iin.

Lisäksi palautteessa tuli esiin useita muita listauksen ulkopuolelle jätettyjä kommentteja yksityiskohtaisen ohjeistussisällön puutteista, sisällön järjestyksestä tai nimeämiskäytännöistä.

4.4 Nykytila-analyysin yhteenveto

Hammashoitolaitteiden tuotannosuunnittelu- ja ohjaaminen on erityisen haasteellista, sillä kohdeyrityksen asiakaslähtöinen toimintatapa on johtanut tuotevariaatioiden valtavaan määrään. Haasteellisuutta lisää myös se, että tuotteiden kysyntä ja tilausmäärät ovat vaihtelevia. Lisäksi terveysteknologian tuotteiden laatuun ja valmistusprosessiin liittyy viranomaisvaatimuksia.

Tutkimuksen kohteena on tuotantolinja, jossa valmistetaan kahta hammashoitokonemallia tilausohjautuvasti. Tuotantolinjaan kuuluu neljä vaihetta, joista tutkimuksessa tarkastellaan kalustus- ja lopputestivaiheita. Nykytila-analyysin perusteella tutkimukseen valitun tuotantolinjan lopputestivaiheen ja kalustusvaiheen tuotannon ohjaamistarpeet eroavat toisistaan. Lopputestivaiheella työnteko liittyy valmiin laitteen testaamiseen ja mahdollisten vikatilanteiden ratkaisemiseen. Työnteko etenee pääosin MES-järjestelmän esittämän informaation mukaisesti. Järjestelmä on koettu hyödylliseksi työnteon apuvälineeksi, joka näyttää työntekoon liittyvän olennaisen tiedon. Järjestelmän toimintaan ja työnteon ohjaukseen liittyvät kehitystarpeet muodostuivat käyttäjien palautteen pohjalta

järjestelmän sisällön lisäämisestä, tarkentamisesta ja keskinäisen järjestyksen muokkaamisesta. Lopputestivaiheelta kerättyä palautetta voidaan myös käyttää hyödyksi kalustusvaiheen järjestelmäkäyttöä suunniteltaessa.

Kalustusvaihe sisältää useita monimutkaisia konfiguroituja työtehtäviä sekä keräilyyn ja sarjanumerointiin liittyviä toimenpiteitä. Työnteossa pääosassa ovat työntekijöiden ammattiosaaminen ja *työkortti*. Mikäli työkortista luovutaan, ja työntekijöiden hiljainen tieto halutaan saada ohjausjärjestelmään, vaaditaan huomattavia panostuksia tehtävöhdjeiden luomisen ja hallinnoinnin osalta. ERP:ssä hallinnoitavat vaihemallit ja työn materiaalien vaiheriippuvaisuudet tulee suunnitella MES- ja MatFlow-käyttöä tukeviksi. Lisäksi kyseiset tietojärjestelmät tulee saada tukemaan häiriökirjaus-, materiaalien kuittaus-, keräily- ja sarjanumeroiden kirjaustoimintoja. Kehitystarpeiden toteuttamisessa tarvitaan läheistä yhteistyötä järjestelmätoimittajan kanssa, jotta kriittisimmät toiminnalliset tarpeet saadaan huomioitua.

Työntekijöiden parissa työskentely ja kommunikointi herättivät sisäisen keskustelun muutostarpeesta, joka johti toiminnan kehittämisen ideointiin. Nykykäytännöllä valmistettaville lopputuotteille suoritetaan moninkertainen toimitussisällön oikeellisuuden tarkastus. Mikäli tietojärjestelmillä voidaan poistaa tuotetta jalostamatonta tarkastusaikaa niin, että yksittäisistä ristiintarkastuksista ei luovuta, mahdollisuus on syytä hyödyntää. MES-järjestelmän käytettävyyden näkökulmasta nykyisten työpisteiden layout-asetelma ja laitteet tukevat järjestelmäkäyttöä, sillä työpisteillä on käytössä henkilökohtaiset tietokoneet. Kehitystoimenpiteiden yhteydessä työpisteillä on kuitenkin syytä testata vaihtoehtoisia käyttöpäätteitä ja laiteratkaisuita.

MES-järjestelmän ylläpidon ja muutoksenhallinnan osalta kaikkien tuotemallin ohjaus tulee saada uuden järjestelmäversion piiriin ja järjestelmäsisisällön tulee olla ylläpidettävissä. Toistaiseksi ylläpitotyökalut tarvitsevat jatkokehittämistä erityisesti kopiointi- ja revisiointitoimintojen osalta. Lisäksi sisällön elementtien käyttötarkoituksille, uuden tehtäväsisällön luomiselle ja järjestelmäylläpidolle tulee muodostaa yhtenäiset käytännöt, jotka tiedotetaan kaikille ylläpidosta vastaaville henkilöille.

5. TEHTÄVÄTASON TUOTANNOHJAUKSEN KEHITYSTOIMENPITEET

5.1 Kehitysprojektin tukitiimi

MES-projekti on organisaation sisällä määritelty joustavasti. Koska projektilla ei ole tarkkaan määriteltyä aikataulutusta ja loppuajankohtaa, siitä voidaan puhua myös pitkäaikaisena implementointiprosessina, joka sisältää jatkuvaa kehittämistä ja tietyt rahalliset resurssit. Tähän määritelmään soveltuu osittain myös ketterän (*agile*) projektinhallinnan menetelmä, joka pohjautuu joustavaan projektin etenemiseen ja sidosryhmien läheiseen yhteistyöhön (Paquette & Frankl 2015). Projektin pariin osallistetaan yksikössä useampia toimihenkilöitä, joista muodostuu sen tukitiimi. Taulukossa 5 listattu tukitiimin osallisten toiminimet ja vastualueet projektin parissa.

Taulukko 5. *MES-projektin tukitiimi.*

Toiminimi	Vastualueet
Diplomityöntekijä	MES-järjestelmän käyttöönoton toteutusvastaava. MES-sisältörakenteen ja laitteiden suunnittelu, testaus, ylläpito sekä kehitystarpeiden viestintä. Tukitiimin organisointi yksikön sisällä.
Järjestelmä- ja prosessiasiantuntija	Projektin yritystason osallisten organisointi, järjestelmätoimittajayhteistyö sekä ERP-tuki.
Tuotantopäällikkö	Tuotannon toteutusvastuu. Investoinnit ja kehityskohteiden priorisointi.
Tuotespesialisti	Muutostenhallinta sekä ERP:n vaihe- ja tehtävära- kenteiden ylläpito.
Menetelmäsuunnittelija	Työnteon menetelmät. Työohjeiden luominen ja hyväksyminen.
Työnopastajat	Työ- ja tehtäväohjemateriaalin tuottaminen.
Työnjohtaja	Tuotannon työntekijöiden aikataululliset osallistamis- päätökset, tuotannon toteutuksen suunnittelu ja tiedon jakaminen.
Valitut tuotantotyöntekijät	Tuotannon näkökulman tuominen työohjesisällön luomiseen ja muokkaamiseen sekä MES järjestelmän kehitystarpeisiin.

5.2 Tehtävätason tuotannonohjauskäytäntöjen muodostaminen

Tässä luvussa käydään läpi MES-implementointi- ja -kehitysprojektin aikana tunnistetut oleelliset tekijät tehtävätason tuotannonohjaamisen parista, kuvaillaan tutkimuksen aikana toteutettuja kehitystoimenpiteitä sekä listataan tutkimustulokset. Tuloksista voidaan muodostaa tutkimuksen edetessä parhaimmat käytännöt järjestelmäylläpitoa ja aiheen parissa toteutettavaa jatkokehitystä varten.

5.2.1 Tehtäväsisältö ja työn ohjeistus

Tehtävätason tuotannonohjauksella pyritään tutkimustavoitteiden pohjalta tuotteen valmistamisen yksityiskohtaiseen ohjaamiseen, työnteon helpottamiseen ja tekemisen varmistamiseen. Lisäksi tehtävätason ohjaussisältö halutaan mahdollisimman helposti ylläpidettäväksi sekä useampia tuotantolinjan vaiheita ja työntekijöitä yhteisesti palvelevaksi. Siksi MES-sisällön lopullinen muotoutuminen tapahtui useissa lyhyissä kehitys- ja protoilusykleissä, jotka suunniteltiin yhdessä tukitiimin vastuuhenkilöiden kanssa ja testattiin järjestelmän pääkäyttäjillä.

Työnteon ohjeistuksen ja tehtävätason sisällön luomisen haasteeksi muodostuivat tehokkaan ylläpidon lisäksi järjestelmäkäyttäjien ammattiosaamisen ja -kokemuksen vaihteluiden huomioiminen. Kymmeniä vuosia samojen työtehtävien parissa työskennelleet työntekijät tarvitsevat työn suorittamiseen erilaista tietoa, kuin vasta pari kuukautta talossa työskennellyt työntekijä. Tietyt tuoteominaisuudet toteutuvat yrityksen tuotteissa kuitenkin hyvin harvoin, jolloin niihin liittyvää yksityiskohtaista ohjeistusta tarvitsevat myös kokeneet työntekijät. Lisäksi järjestelmäsivällön tarpeet vaihtelevat hieman tuotantolinjan eri vaiheilla. Siksi ei ole täysin yksiselitteistä tapaa määrittellä, mihin järjestelmän sisäisiä rakenteellisia elementtejä käytetään. Projektin aikana muodostunut yksikön yhteinen käsitys MES-sisällön toimivuudesta ja tehtäväelementtien käyttötarkoituksesta dokumentoitiin yrityksen sisäiseen MES-tyylioppaaseen, jonka informaatio järjestelmän työskentelynäkömman elementtien nimistä, kuvauksista, käyttötarkoituksista ja luomiskäytännöistä on esitetty *liitteessä D*. Elementtien sisältö suunniteltiin niin, että niistä muodostuva yksityiskohtainen ohjeistus riittäisi vaiheiden työntekijävaateet täyttävälle, perehdytyksen suorittaneelle ja tuotteiden perustuntemuksen omaavalle työntekijälle. Ohjeistuksen ulkopuolisiksi jääviä osaamistarpeiden aihealueita on listattu *liitteessä I*, jota voidaan käyttää hyödyksi yleistyöohjeiden, sekä vaihekohtaisten perehdytysjaksojen suunnittelussa.

MES-sisältö kehitettiin ja otettiin käyttöön lopputestissä vaiheittain *Tuotteen x* ja *Tuotteen y* osalta niin, että toisen tuotteen sisältö oli jatkuvasti kehitettävänä. Kehitettyä sisältöä oli kuitenkin helppoa käyttää hyväksi kummankin lopputuotteen järjestelmärakenteessa, sillä tuotteiden lopputestaus toteutetaan hyvin samantyyppisesti. Kehitystoimenpiteiden yhteydessä tehtävärakenteet ja ohjeistussisältö luotiin *Tuotteelle x* nykytila-analyysin aikana toteutettujen henkilöhaastatteluiden pohjalta, jotta laitetyyppin testaus voitiin toteuttaa *Tuotteen y* mukaisesti uudessa MES-versiossa. Tämän jälkeen muodostetun

järjestelmäsissällön ulkoasusta kerättiin palautetta ryhmähaastattelun kautta (*liite B*). Haastattelussa nousi esiin, että

1. tehtävöohjeita voitaisiin vielä tarkentaa joidenkin testauskohteiden osalta,
2. tehtävän materiaalirivit ovat turhaa ja ylimääräistä informaatiota,
3. pitkää ohjeistustekstiä voitaisiin luettavuuden kannalta pilkkoa useamman tehtävän alle,
4. tehtäväsisällön piilotustoiminto ei poista näkyvistä ohjeistuksen tekstikenttää, joka voi olla hyvinkin pitkä,
5. tarkastuksen kolme seurantatieto eli kuittausriviä on käytettävyyden kannalta jo liikaa ja
6. MES-sisällön muutoksista voitaisiin informoida vielä enemmän ja sisältö voitaisiin käydä kokonaan läpi parin tuotannon työntekijän kanssa.

MES-järjestelmässä oli jo olemassa yksittäisiä tehtävärivejä ja seurantatietoja *Tuotteelle* y. Olemassa olevasta sisällöstä puuttui kuitenkin ohjeistusta tekstien ja kuvien muodossa. Ryhmähaastattelun tulosten pohjalta puutteellinen sisältö täydennettiin. Lisäksi kahden työntekijän kanssa toteutetun MES-sisällön läpikäymisen jälkeen kummankin konetyypin tehtävöohjeistuksille tehtiin korjaavia toimenpiteitä nimityksien, sisällön ja keskinäisen järjestyksen osalta.

Lomakepohjaisella loppukyselyllä kerättiin palautetta lopputestivaiheen työntekijöiltä järjestelmän käytettävyydestä ja muodostetusta tehtäväsisällöstä. Kyselyn kokonaisvastausprosentiksi muodostui 87,5. Vastaajien työkokemus nykyisessä työnkuvassa vaihteli 5 kuukauden ja 30 vuoden välillä. Kyselylomake on nähtävillä kokonaisuudessaan *liitteessä C*. Taulukossa 6 on esitetty kyselyn pääkysymykset sekä niiden vastauksien *kyllä-* tai *ei-*luokittelu tutkijan päätelmien pohjalta. Kysymyksen 4 vastaus luokitellaan *kyllä-*tyyppiseksi, mikäli vastaajalla on jokin parannus- tai kehitysehdotus.

Taulukko 6. Lomakepohjaisen loppukyselyn tulokset.

Kysymykset	Kyllä (kpl)	Ei (kpl)	Ei luokiteltavissa (kpl)	Vastauksia yhteensä (kpl)
1. Onko Valmistusportaali (MES) helpottanut työnteokoasi?	13	0	1	14
2. Palaisitko takaisin lopputarkastuslomakkeen käyttöön?	0	14	0	14
3. Onko Valmistusportaalin (MES) <i>Tuotteen x</i> ohjeistussisältö riittävän yksityiskohtainen?	7	2	4	13
4. Miten Valmistusportaalin (MES) toimintaa voisi vielä parantaa tai kehittää?	8	0	2	10
5. Oletko kokenut voivasi vaikuttaa riittävästi Valmistusportaalin (MES) käytön ja sisällön suunnitteluun?	13	0	0	13

Vastauksista käy selväksi se, että kukaan lopputestausvaiheen työntekijöistä ei palaisi vanhaan tarkastuslistapohjaiseen työntekoon. Melkein kaikki vastaajat kokivat, että MES-järjestelmä helpotti työntekoa, ja että he olivat päässeet vaikuttamaan järjestelmäkäytön ja -sisällön suunnitteluun. Kysymys järjestelmäsisällön riittävydestä jakoi eniten mielipiteitä, mutta suurin osa vastaajista koki sisällön riittävänä. Kaksi *ei*-tyyppiseksi luokitellut vastaukset olivat kuitenkin tyyliltään: ”*on ja ei*” sekä ”...*yleisesti kaikki ok*”, joten suurempia muutostarpeita ei tulosten pohjalta ole havaittavissa. Järjestelmän parannus- ja kehitysideoita tuli yli puolelta vastaajilta. Ehdotuksissa nousivat esiin sarjanumeroiden kirjaus- ja tarkastusmahdollisuus, nopea sisällön päivittäminen muutoksien yhteydessä, ohjeistustekstin piilotusmahdollisuus, tarkastusjärjestyksen muokkaaminen, palautteiden tulostamismahdollisuus sekä koonnosohjeiden vieminen järjestelmään. Yksi vastaajista oli myös sitä mieltä, että järjestelmä on ”*aika lailla täydellinen*”.

Lopputestin parissa toteutetun kehitysjakson pohjalta muodostuneita MES-käyttötapoja ja -sisällön luomiskäytäntöjä voitiin hyödyntää järjestelmäsisällön muodostamisessa kalustusvaiheelle. Kalustusvaiheella MES-käyttöä testattiin tietojärjestelmän testipuolelle rakennettujen mallien avulla kahden kalustajan kanssa. Tutkimuksen toteutuksen osalta pääpaino kalustusvaiheella oli kuitenkin järjestelmäsisällön sijaan kohdetietojärjestelmien vaihtoehtoisten käyttöpääätteiden vertailussa sekä MatFlow-järjestelmässä. Kohdetietojärjestelmien tuotantoon käyttöönotto vaatii kalustusvaiheella vielä tuotteiden uusien vaihemallien, kuormalaskennan, yksityiskohtaisten työohjeiden hyväksymisen, järjestelmäkehityksen ja keräilykäytäntöjen vakioimisen osalta lisätyötä, jota ei ehditty toteuttamaan diplomityön aikana.

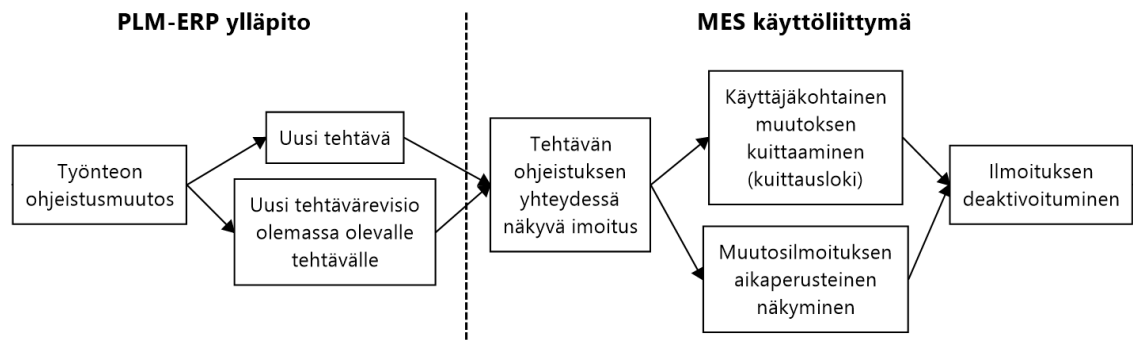
5.2.2 Tehtäväsisällön muutoshallinta

Tehtäväsisällön muutoksenhallinta on kompleksinen kokonaisuus, johon on useita vaihtoehtoisia ratkaisuja. Kevyin tapa on toteuttaa muutoshallinta ERP-järjestelmän versionhallintatyökalun avulla, joka muodostaa tietoriveille uudet revisiot tai versiot ja estää aktiivisten muokkaamisen. Muutokset tulee myös testata testitöillä ennen tuotannossa käyttöönottoa. ERP-pohjainen muutoksenhallinta vaatii kuitenkin keskustelua itse järjestelmän toiminnan validointitarpeesta. Järjestelmän validointipuutteen takia vaihemalli-kohtaiset tehtävärakenteet dokumentoidaan ja hyväksytään erillisellä hyväksyntädokumentilla, josta löytyy tehtävien vaihe, nimet, tunnukset, konfiguroituvuustieto sekä mahdolliset seurantatiedot ja seurantatietojen toleranssit. MES-järjestelmäsisällön ja tarkastusprosessin validoinnin näkökulmasta työntekijä vertaa laitteen lopputestauksen yhteydessä MES-järjestelmässä työlle konfiguroituvia testauskohtia hyväksyntädokumentin

esittämään tehtävien hierarkiasisältöön sekä todellisiin laiteominaisuuksiin. Tämän jälkeen hän hyväksyy seurantatietokuittauksella ja tarkastuspöytäkirjan allekirjoituksella tehtävien oikeellisuuden ja testauksen suoritetuksi. Järjestelmän toiminnan oikeellisuuden tarkastus voidaan toteuttaa erityisesti uusien järjestelmän kautta testattavien laitteiden osalta parin viikon tehojakson avulla, jonka aikana käyttäjien havaitsemat mahdolliset puutteet kirjataan seurantatietojen kommenttikenttiin ja korjataan. Tehtävälle linkitetyt dokumentit hyväksytään sähköisesti PLM-järjestelmässä, mutta muun tehtäväkohtaisen ohjeistuksen osalta tietokantana toimii toistaiseksi ERP-kanta ennen PLM-järjestelmässä hyväksyttävää ja järjestelmään linkittyvää tehtäväsisällön yhteenvedotulostetta.

Muutoksien kriittisyys ja käyttöönoton aikataulut vaihtelevat tapauskohtaisesti. ERP:n tausta-ajo päivittää vuorokauden välein avoinna olevat valmistusrakenteet sekä olemassa olevat työt, joita ei ole jäädytetty ja jonka työn vaiheita ei ole aloitettu. Siksi työn rakennemallin nimikkeisiin, vaiheisiin tai vaiheen tehtäviin käyttöönotettavat muutokset tulevat pääosin käyttöön toteutuksen jälkeisen yön aikana. MES-järjestelmässä näkyviin tehtäviin voidaan luoda revisiointimuutoksia tai muodostaa erillisiä poikkeamanumerolla ja -ohjeistuksella varustettuja *poikkeama*-tehtäviä, jotka päivittyvät esitetyllä tavalla järjestelmään. Joskus kriittiset muutos- tai poikkeusmenettelyt on kuitenkin saatava läpi heti ennen vuorokauden vaihtumista. Tätä varten tutkija loi järjestelmään erillisen *poikkeaman kirjaus* -tehtävä, johon voidaan tuotespesialistin ja menetelmäsuunnittelijan toimesta ohjeistaa kirjattavaksi haluttu DHR:ään jäävä informaatio välittömästi.

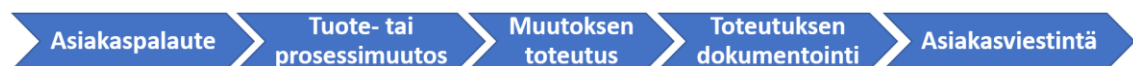
Jotta työntekijä huomaa MES-sisällössä ja tehtäväohjeistuksessa tapahtuneet muutokset, niistä olisi syytä huomauttaa käyttäjälle erillisellä ilmoituksella, korostusväreillä tai -merkeillä. Siksi järjestelmään olisi syytä luoda erillinen muutosloki. Tällöin ilmoitukset ilmestyisivät järjestelmän pääkäyttäjille päivitetyn tehtävätiedon tai -ohjeistuksen yhteydessä. Ilmoitusten aktivointi voisi tapahtua järjestelmässä automaattisesti muutoksen käyttöönoton yhteydessä tai muutosvastaava voisi itse määrittää, mikäli ilmoitus tulee näkyviin. Ilmoitusten deaktivointiin suunniteltiin kaksi vaihtoehtoista ratkaisua: aikaperusteinen tai kuittausloki. Aikaperusteinen aktivointi tarkoittaisi aikajaksoa, jonka ajan muutosilmoitus olisi näkyvissä kaikille MES-käyttäjille. Kuittausloki puolestaan vaatisi ja tallentaisi muutosilmoituksen näkymisen yhteydessä MES-käyttäjältä kuittauksen niin, että tiedote on luettu ja hyväksytty. Koska joidenkin tuotteiden menekki on todella pieni, kuittausloki olisi toimivampi ratkaisu sillä se varmistaisi, että muuttunut ohjeistus huomioidaan työntekijäkohtaisesti ensimmäisen muutoksen alaisen tuotevariaation yhteydessä. Muutosprosessiin sidotun kuittauslokin toiminta on luonnosteltu tuotannon tukitimin ja tutkijan näkökulmien pohjalta kuvaan 23.



Kuva 23. Tehtäväsisällön muutosprosessi.

MES-järjestelmään sisällytettävät uusien ohjeiden näkymällmoitukset ja käyttäjäkohtaiset ohjeiden kuittauslokkit ovat vielä järjestelmäkehityksessä. Siksi päivittyvistä ohjeista tulee vähintään kertoa tuotannon työntekijöiden aamupalaverissa. Lisäksi muutoksista on syytä ilmoittaa yleisesti ajankohtaisia asioita sisältävällä ilmoitustaululla. Ilmoitukset kertovat oleellisen tiedon myös työntekijöille, joiden tekemiseen muutos ei suoranaisesti vaikuta, mutta jotka ovat osaltaan mukana koko tuotteen laaduntarkastus ja hyväksyntäprosessissa. Ilmoitustaulu viestittää lisäksi muutokset työntekijöille, jotka eivät ole välttämättä paikalla niiden käsittelyssä aamupalaverissa.

Laajemmassa viitekehyksessä **K3**:seen liittyy asiakaspalautepohjaisten toimintatapojen kehittämisen yhdistäminen tuotannon muutuskäytäntöihin. Mikäli tuotemuutokset tai tuotannon prosessimuutokset pohjautuvat ulkoisiin laatuvalutuksiin, muutoksien toteutuminen ja käyttöönotto tulisi pystyä viestittämään palautteen tehneelle asiakkaalle. Tutkimuksessa ehdotetaan toteutetun muutoksen ja ensimmäisen muutokseen liitetyn koneen erillistarkastuksen dokumentointia sekä toimenpiteistä asiakkaalle viestittämistä palautteen sulkemisen yhteydessä. Toteutuksen dokumentoinnissa tuotannon tukitiimin muutos- ja laatuvalutavalla on tällöin merkittävä rooli. Asiakaslähtöisen prosessin etenemisen vaiheet on havainnollistettu kuvassa 24.



Kuva 24. Tuotannon asiakaslähtöiset muutostoimenpiteet.

Koska esitetyn prosessin sidosryhmiin kuuluvat tuotannon tukitiimin lisäksi tuotekehitys, laatuosasto ja asiakasrajapinnassa työskentelevät henkilöt, mallin mukaisten toimenpiteiden toteuttaminen vaatii toimivaa osastojen välistä kommunikointia ja yhteistyötä.

5.2.3 Tuotannon perehdytyskäytännöt

MES-elementtien käyttötarkoitusten pohdinta ja yksityiskohtaisten tehtävöiden sisällön suunnittelu herätti keskustelun tuotannon työntekijöiden perehdytyskäytännöistä. Kun tehtävöiden pyritään muodostamaan ylläpidon puitteissa mahdollisimman yksityiskohtaisiksi, esiin nousee kysymys, mikä ohjesisältö kuuluu perehdytyksen piiriin ja mikä ei? Nykyisellään työntekijöiden perehdytysjaksoon kuuluu HR:n esittämä yleinen tietopaketti, esimiehen esittämä käytännön asioiden läpikäynti sekä työnopastajan toteuttama lyhyt tai syventävä tuotantoon perehdytys. Tämän jälkeen tuotannon tiimikohtainen perehdyttäjä opastaa työtehtävien käytännön toteuttamisessa.

Tuotannon tiimikohtaisen työnteon perehdytysjaksossa perehdytettävä henkilö määrittää perehdyttäjän kanssa, milloin hän kokee omaavansa vaadittavat asiat sekä kuittaa työohjeet luetuiksi ja ymmärretyksi. Kyseinen perehdytystapa sitoo kuitenkin tiimin perehdytysvastuuhenkilön useamman päivän pääaikaisen työajan. Lisäksi perehdytyksen tulos riippuu tiimin perehdyttäjistä, sillä työohjeiden ajankohtaisuudessa ja tarkkuudessa on havaittu kehitystarpeita. Tukitiimin henkilöhaastatteluiden ja omien havaintojen pohjalta voidaan todeta, että perehdytystä olisi mahdollista parantaa, ja valmistavaa työaikaa sitovaa osuutta pienentää seuraavilla toimenpiteillä:

1. Muodostetaan tuotekoulutuksesta kattava e-learning materiaalipaketti.
2. Lisätään toiminta- ja työohjeiden kattavuutta.
3. Luodaan perehdytyshuone, jossa käydään läpi yleisosaamiseen ja tiimityöskentelyyn määritellyjä työtehtäviä.
4. Varmistetaan tuotekoulutuksen, työohjeiden ja perehdytyshuoneen tehtävien tekemisen sisäistyminen lopuksi suoritettavalla näyttökokeella tai testillä.

Kuten Knight & Lamb (2006, s. 5) kirjoittavat, että järjestelmien käyttäjävaatimukset tulisi dokumentoida yhtenä validointiin kuuluvana toimenpiteenä. MES-järjestelmän tehtäviin pystyy asettamaan *perustevaateen*, joka määrittää tehtävän suorittamisen liittyvät esivalmistelut. Vaadetta ei ole kuitenkaan suunniteltu käytettäväksi käyttäjävaatimuksia varten. Vaade ei tule näkyviin järjestelmän käyttöliittymään, vaan esiintyy pelkästään tehtävän järjestelmätiedoissa. Työntekijöiden yleiset MES-käyttövaatimukset voitaisiin kuitenkin sisällyttää jo esitettyihin perehdytystoimiin, jolloin perehdytyksen pohjamateriaali toimisi järjestelmäkäyttäjien validointiperusteena sekä järjestelmässä näkyvien ohjeiden tukena. Tuotantolinjan työnteon ja MES-käytön osalta tarpeellisiksi tunnistetut perehdytys- ja työohjemateriaalin aihealueet on listattu *liitteessä I*. Kun esitettyjen perehdytyskäytäntöjen läpikäyntiin lisätään ohjetasojen eli toimintaohjeiden, työohjeiden ja tehtävöiden ajankohtainen ylläpito, muuttuu laatu- ja yhdenmukaisuustavoitteiden

systemaattinen täytyminen realistisemmaksi. Yleiset perehdytyskäytännöt vaativat kuitenkin jatkokehitystä, joka jää työn rajauksen ulkopuolelle.

5.2.4 MES-käyttöpäätteiden vertailu

Koska tietojärjestelmän käyttökokemukseen ja käytettävyyteen vaikuttavat käytettävät välineet, toimintaympäristö ja toiminnallisuus, tulee käyttöönoton suunnittelussa paneutua myös järjestelmäkäytön IT- ja työpisteratkaisuiden sopivuuteen (ISO/IEC 25010:2011, Ssemugabi & de Villiers 2016). MES-järjestelmän toimintaa testattiin tutkimuksen aikana useilla käyttöpäätteillä. Lisäksi tuotantolinjan lopputesti- ja kalustusvaiheille luotiin omat työskentelypisteet, joita voitiin muokata järjestelmäkäytön ja työskentelyn näkökulmasta optimaaliseksi ilman tuotannon keskeytyksiä. Taulukossa 7 on nähtävillä MES-käyttöliittymäkäytössä testatut näyttöpäätteet ja laitteet sekä niiden testikäytön aikana vaiheiden työntekijöiltä esiin nousseet kommentit. Kommentit on luokiteltu positiivisiksi (+) tai negatiivisiksi (-) palautteen antajan oman mielipiteen mukaan.

Taulukko 7. *MES-käytössä testatut laitteet ja käytön palautteet.*

Laite	Palautteet
Samsung PM32F -näyttö kosketusominaisuudella + 1,5 m säädettävä näyttövarsi	<ul style="list-style-type: none"> - Näytön koko on liian iso. - Kosketusominaisuuden käyttö on vaikeaa ja hidasta. - Kosketusominaisuus ei välillä toimi ollenkaan. - MES-käyttöliittymän elementit ovat liian pieniä kosketuskäyttöön.
Fujitsu E22 -näyttö + 0,5 m säädettävä näyttövarsi	<ul style="list-style-type: none"> + Näytön koko on sopiva. + Järjestelmäkäyttö on hiiren avulla helppoa. + Näyttövarren saa kiinni työkaluseinään, jolloin ei tarvita erillistä työskentelytasoa ja säästetään tilaa. - Näyttöön olisi syytä saada kalustusvaiheella liitettyä nykyistä monipuolisemmin säädettävä näyttövarsi sekä varteen näppäimistö- ja hiiritaso.
Fujitsu LB -kannettava tietokone + pyörillä liikuteltava tietokonetaso	<ul style="list-style-type: none"> + Kannettava tietokone mahdollistaa siirrettävyyden työnteon läheisyyteen. + Tietokone toimii useamman järjestelmän samanaikaisessa käytössä paremmin kuin tabletti. - Näytön koko hieman pieni informaation esittämiseen. - Erillinen tietokonetaso vie työpisteeltä tilaa.
Zebra ET51 -tabletti + pyörillä liikuteltava tietokonetaso	<ul style="list-style-type: none"> + Laitteen saa siirrettyä kätevästi työnteon yhteyteen. + Tabletti, joka kestää ja ei mene helposti tippuessa rikki. - Työhanskat täytyy ottaa pois kosketusnäytön kanssa. - Tekstin kirjoittaminen hidasta tabletilla ilman näppäimistöä.
iPad Air 2 -tabletti + pyörillä liikuteltava tietokonetaso + irrotettava näppäimistö	<ul style="list-style-type: none"> + Laite toimii MES-käyttöliittymäkäytössä hyvin. + Näppäimistö hyvä lisä tabletin yhteyteen ja sen saa tarvittaessa irrotettua. - Näyttö on hieman liian pieni informaation lukemiseen. - Menee tippuessa tai kolhiintuessa helpommin rikki, kuin Zebra.

Lopputestivaiheella Samsungin 32-tuumaisen kosketusnäytön kosketusominaisuus todettiin työntekijöiden keskuudessa tarpeettomaksi ominaisuuden toimimattomuuden ja MES-käyttöliittymän elementtien pienuuden takia. Näytön koko ja näyttövarren 1,5 metrin säätötoiminnallisuudet koettiin lisäksi turhan massiivisiksi työpisteen pienuuteen nähden. Tabletti havaittiin kosketusominaisuuksien puolesta käytännöllisemmäksi kuin 32-tuumainen näyttö, vaikka käyttöliittymän elementtien koosta tuli edelleen palautetta. Tabletti koettiin lisäksi näppäräksi työkaluksi työohjeiden lukemiseen. Toisaalta loppukäyttäjien palautteessa korostui se, että järjestelmän informaatiota ei välttämättä käytetä hyödyksi ja käyttöliittymän ääreen palataan vain kirjaamaan kuitattavat asiat. Siksi tabletti oli usein pöytätasolla vain tiellä. Palautteessa tuli selkeä viesti myös siitä, että tietokoneita ei tulisi korvata tabletilla, millä useiden järjestelmien yhtäaikaisten käyttö ja tekstin kirjoitus on vaikeaa ja hidasta toteuttaa. Siksi vaiheen työntekijöiden mielestä Fujitsun 22-tuumainen näyttö toimii järjestelmäkäytössä hiiren kanssa parhaiten.

Kalustusvaiheella tabletti koettiin hyödylliseksi työohjeiden lukemiseen ja kuvien selaamiseen lähinnä siksi, että sen pystyi siirtämään työnteon yhteyteen. Mikäli työnteon ohjeistus oli jo työntekijältä hallussa, laitteen käyttö jäi pakollisia kuitauksia lukuun ottamatta kuitenkin vähäiseksi. Negatiivista palautetta tuotti lisäksi näytön pieni koko ja se, että työhanskoja ei voinut pitää käsissä kosketusominaisuutta käyttäessä. Kuten lopputestivaiheella, myös kalustusvaiheen palautteessa tuli silti esiin se, että laite voisi helpottaa erityisesti uuden työntekijän työnteon järjestelmäkäytön ja tehtäväohjeiden siirrettävyyden takia. Koska työnteon yhteydessä joudutaan toistaiseksi käyttämään useampia järjestelmiä ja kirjoitustoimintoja, tabletti ei ole näihin tehtäviin optimaalinen työväline. Vaiheella käytössä oleva Fujitsun näyttö todettiin MES-käyttöön toimivaksi. Näytön säätöominaisuudet koettiin kuitenkin puutteellisiksi erityisesti korkeussäätöpuutteiden ja näppäimistönsijainnin osalta. Ratkaisuksi ehdotettiin näppäimistö- ja hiiritason sisältävän säädettävämmän näyttövarren hankkimista. Myös liikuteltavalla ja säädettävällä pöytätasolla varustettu kannettava tietokone koettiin hyväksi liikuteltavuuden takia. Ainut haittapuoli tässä ratkaisussa oli se, että pöytätasolla vie työpisteeltä liikaa tilaa.

5.3 Tuotantolinjalle keräily

Tuotantolinjalle keräily tapahtuu nykykäytännöllä työkorissa ilmoitettujen vaihekohtaisten nimikkeiden pohjalta, jotka haetaan pääosin vain kalustusvaiheella läpivirtaushyllyistä kalustajan toimesta pienissä erissä kokoonpanopisteelle. Nimikkeelle on vaihetie-

don lisäksi määritelty, ilmestyykö se työkortissa vai ei. MatFlow-järjestelmän keräilytoiminnot ja MES-järjestelmässä näkyvät tehtäväkohtaiset nimikerivit tarjoavat kuitenkin uudenlaisen mahdollisuuden keräilyn toteuttamiseen.

Tehtäväkohtaista keräilyä voidaan ohjata tehtävän materiaaliriveillä. Materiaalirivien käyttöä testattiin lopputestivaiheen yksittäisillä MES-tehtävillä, mutta järjestelmäkäyttäjät kokivat ylimääräisen informaation lähinnä turhaksi ja sekavaksi. Tuotantolinjalle kerättävien käytössä olevien työkorttinimikkeiden määrän ollessa yli 500, nimikkeiden tehtävälinkitysten luominen ja ylläpitäminen vaatii myös nykyisten ylläpitomenetelmiin verrattuna paljon enemmän työtä. Nykyisillä ylläpidon ja muutoshallinnan resursseilla sekä järjestelmätyökaluilla toimintamuutokseen ryhtyminen onkin syytä kyseenalaistaa tai ainakin pohtia vaihtoehtoisia keräilyn ohjaustoimintoja.

Tutkimuksen aikana kalustusvaiheelle suunniteltiin ja vaiheella testattiin tuotannon tuki-tiimin toimesta settikeräilyn eli *kittingin* toteuttamista. *Kitting* on Faccion (2014) mukaan *kanbanille* vaihtoehtoinen kalustuslinjan materiaalitäydennyksen tai keräilyn muoto, jossa kaikki kalustettavat nimikkeet kerätään laatikkoon tai konttiin ennen kalustuksen aloittamista. Kontti liikkuu tuotteen mukana koko kalustussyklin ajan. Mikäli kalustusvaiheita on useampia, joiden mukana sama kontti liikkuu, voidaan puhua myös termistä *travelling kitting* (Faccio 2014). Käytännön kehitystavoitteena oli poistaa suurien yksittäisten keräilykertojen määrä kalustustyöskentelystä. Settikeräilyä varten rakennettiin settikeräilykärry, josta löytyy paikka kaikille kalustuksessa kiinnitettävälle työpisteen ulkopuolelta keräiltäville nimikkeille. Tutkija testasi MatFlow:n käyttöä sekä settikeräilyn, että kalustusvaiheen loppukeräilyn parissa yhteistyössä kalustusvaiheen työntekijöiden kanssa.

5.3.1 MatFlow-järjestelmän toiminta ja käyttöönotto

MatFlow on selainpohjainen ERP:n informaatioon pohjautuva WMS-järjestelmä, jota käytetään yrityksessä tutkimushetkellä varaston hallinnan eli pääosin varastosiirtojen, täydennyspyyntöjen ja inventoinnin työkaluna. Järjestelmätoimintojen avulla voidaan kuitenkin toteuttaa myös työlle keräily. Kuvakaappaus järjestelmän pääikkunasta ja keräilytehtävälustasta on nähtävillä *liitteessä G*. MatFlow:n keräilyominaisuudet vaativat tois-taiseksi ERP:ssä tehtävän työn materiaalien keräilyyn viennin, mutta se voitaisiin jat-kossa toteuttaa automaattisesti yhdistettynä työn aloituskelpoiseksi asettamiseen tai työn vaiheen aloittamiseen. Keräilyä ohjaavien tuoterakenteiden ja nimikkeiden vaihesi-

donnaisia ohjaustietoja ei ryhdytty muokkaamaan ERP:ssä testausta varten uusiksi, joten keräiltävät nimikkeet jakautuivat MatFlowissa useampiin vaihekohtaisiin keräilytehtäviin. Keräilytehtävässä näkyvät keräilyrivit muodostuvat työn valmistusrakenteen nimikkeiden vaihetiedon mukaisesti ja työkohtaiset keräilyrivit nimikkeistä, joilla ei ole annettu vaihetietoja. Keräilijä voi MatFlow:n käyttöliittymässä kuitata keräilytehtävän alle muodostuneita keräilyrivejä keräilyn etenemisen mukaisesti. Nimikkeen kuittaus voidaan toteuttaa keräilyrivin tietojen täyttämisen jälkeen *keräily*-toiminnon avulla. Järjestelmä mahdollistaa nimikkeiden keräilyn yhteydessä sarjanumero-, LOT- ja puutelistakirjaukset.

MatFlow:n käyttöä testattiin kalustusvaiheella settikeräilyssä ja kalustuksen loppukeräilyssä kahden kalustajan toimesta. Settikeräilyssä käytettiin ensin kärryä, johon mahtui kaikki hoitokoneen vesipuolen kalustukseen ja verhoiluun tarvittavat keräilynimikkeet. Kärry oli työntekijöiden mielestä helposti liikutettavissa sekä riittävän pieni keräilyreitien leveyden ja työpisteen koon osalta. Kärryn käytön todettiin vähentävän keräilykertojen määrää noin kolmasosan. Keräilyssä testattiin myös isompaa kärryä, johon mahtui kaikki kalustuksessa kiinnitettävät ja asennettavat keräilynimikkeet, jotka eivät liiku erillisillä pukeilla. Isompi kärry todettiin käyttökelpoiseksi vähäisten keräilykierrosten ansiosta, mutta liian raskaaksi liikuteltavaksi ja tilaa vieväksi itse kalustuspisteellä. Toisaalta kaikki hoitokoneeseen kalustettavat settikeräilykohtaiset nimikkeet olivat kalustuksen aikana jatkuvasti esillä kärryssä, jolloin asennettavien materiaalien listaa ei tarvinnut erikseen enää selailta useita sivuja sisältävästä työkortista. Isommalla settikärryllä keräilykertojen kokonaismäärä väheni kuuteen eli noin kolmasosaan alkuperäisestä.

Kalustusvaiheella MatFlow-käyttöä testattiin kahden työntekijän kanssa settikeräilyn ja kalustusvaiheen loppukeräilyn yhteydessä, johon kuuluu laitteen mukana toimitettavien erillispakkauksien keräily. Järjestelmän toiminnasta saatu palaute on listattu alla:

1. MatFlow-järjestelmä toimi hyvin ja ilmoitti kesken olevista keräilytehtävistä tai vielä kerättävänä olevista nimikkeistä.
2. Nimikkeiden valinnan, sarjanumerokirjaamisen ja *keräile*-valinnan yhteydessä järjestelmässä pieni keräystä hidastava viive.
3. Kerättävät nimikkeet voitaisiin valita ensin keräilyiksi ja viedä yhteisesti *keräilty*-tilaan. Tämä poistaisi kokonaisvalintojen määrää ja valinnoista koituvaa viivettä.
4. MatFlow voisi hyvin korvata nykyisen työkortin materiaalilistan ja tällöin voitaisiin päästä eroon myös turhasta sarjanumeroiden tuplakirjauskäytännöstä.
5. Keräiltävät nimikkeet olisi hyvä jakaa useamman kalustuksen alavaiheen alle, jotta nimikelistaus on helpommin luettavissa.
6. Settikeräilyn yhteydessä esiintyvä koko keräilylista voi olla näkyvässä yhdessä näkymässä.

7. Keräilyrivien sisältö on vielä vajavainen. Järjestelmään on saatava kaikki keräiltävät työkorttiniimikkeet ja poistaa muut turhat nimikkeet näkyvästä.

Järjestelmän käyttöliittymän toimintaa testattiin työntekijöiden kanssa tabletilla ja käsipäätteellä. Lisäksi kerättävien nimikkeiden viivakoodien lukua testattiin tablettiin yhdistetyllä langattomalla viivakoodinlukijalla. Laitteiden toiminnasta saatu palaute on esitetty taulukossa 8. Palaute on luokiteltu taulukkoon positiiviseksi (+) tai negatiiviseksi (-) palautteen antajan oman mielipiteen mukaan.

Taulukko 8. *MatFlow-järjestelmäkäytön laitteet ja palautteet.*

Laite	Palautteet
Zebra ET51 -tabletti	+ Tabletti toimi hyvin keräilyn tukena. + Laitteen sai tarpeen mukaan kiinnitettyä keräilykärryyn mukaan tai irrotettua kädessä kuljetettavaksi. + Nimikelistan näkyminen on selkeää tabletin näytöltä.
Zebra TC51 -käsipääte	- Laitteen näyttö on liian pieni käyttöliittymäkäyttöön. - Käsipäätteellä näkyy liian vähän informaatiota kerralla. - Laitteen käyttöliittymänäkymää joutuu muokkaamaan jatkuvasti.
Zebra RS507 -sormilukija	+ Sormilukija liikkuu helposti mukana, koska se on pieni ja kevyt. + Lukijan viivakoodinlukutoiminto on helppoa aktivoida. - Viivakoodien lukeminen ei aina toimi muovikalvon läpi.

Palautteen mukaisesti tabletti koettiin selkeästi paremmaksi vaihtoehdoksi kuin käsipääte, koska sen näyttö oli riittävän isokokoinen käyttöliittymäkäyttöön ja keräilyrivien selailuun. Vaikka tuotantokäytön tabletti on hieman raskas liikuteltavaksi, keräilykärryyn kiinnitetyn telineen mukana se liikkui hyvin keräilyn yhteydessä.

5.3.2 Jäljitystietojen kerääminen ja käyttö

Yrityksen valmistamat yksittäiset komponentit tulee tarvittaessa voida jäljittää jäljitystiedoilla lopputuotteisiin, joissa niitä on käytetty (Knight & Lamb 2006). Digitaaliset järjestelmät helpottavat jäljitystietojen keräämistä, tallentamista ja hakemista. Jäljitystiedoiksi määritellään tutkimuksen yhteydessä työntekijöiden MES-järjestelmään kirjatut seurantatiedot eli kuittaukset tai kirjattavat arvot, nimikkeille annetut sarjanumerot ja LOT- eli valmistuserän tunnustiedot, sekä työntekijöiden tarkastuslomakkeiden allekirjoitukset ja työkortille kirjaamat vaihekuittaukset. Nimikkeiden jäljitystietojen kerääminen voi tapahtua MatFlow-käytön yhteydessä, mutta myös MES:ssä näkyvien tehtävien materiaali-veille voidaan halutessa antaa sarjanumeroita ja jäljitystietoja. Tehtävien materiaaleille annetut jäljitystiedot yhdistyvät tiedon syöttämisen ja tallentamisen jälkeen työn isäsarjanumerolle. Sarjanumeroiden kerääminen MES:n tehtävien materiaaleilla vaatii kuitenkin järjestelmän toiminnan puolesta vielä lisäkehitystä, ennen kuin se voidaan ottaa tuotannossa käyttöön.

Jäljitystietojen käsittelyn helpottumisen takia MES- ja MatFlow järjestelmäkäyttöönottajien yhteydessä voidaan lisätä työkohtaisten jäljitystietojen keräämistä. Järjestelmässä hallinnoitavien seurantatietojen määrää kasvatettiin tutkimuksen aikana linjan lopputestivaiheella 125:stä 205:een. Seurantatietojen lisäämisen ei koettu työntekijöiden palautteen pohjalta haittaavan työntekoa ja tiedon hallinnasta ei koitunut liiallisia ylläpitohaasteita tuotannon tukitiimille.

5.4 Kehitystoimenpiteiden yhteenveto

MES-implementointiin osallistuivat tuotannon tukitiimin parista tuotantolinjan toiminnasta, tuotteista ja työntekijöistä vastaavat henkilöt sekä järjestelmätuen vastuuhenkilö. Jotta tietojärjestelmän sisältö saatiin palvelemaan monipuolisesti loppukäyttäjiä, sisällön kehittäminen ja käyttöönotto tapahtui useissa lyhyissä kehitys- ja protoilusykleissä. Tutkija loi tutkimustulosten pohjalta tyylioppaan MES-järjestelmän tehtäväelementtien käyttötarkoituksesta, tehtäväsisällön luomisesta ja ylläpidosta. Tyyliopas on nähtävillä *liitteessä D*.

Ohjelmistoyritys kehitti MES-järjestelmän muutoshallintaan liittyvien tarpeiden pohjalta tehtäville versionhallintatyökalun, jonka avulla muutokset saadaan käyttöönotettua hallitusti. Tutkija loi lisäksi yllättäviä poikkeamatilanteita varten MES-järjestelmään *poikkeaman kirjaus* -tehtävän, johon voidaan ohjeistaa kirjattavaksi nopeasti käyttöönotettavat muutokset, mikäli tuotannossa ei voida odottaa yrityksen yleisen muutosprosessin läpikäyntiä tai tehtävärevisioiden käyttöönottoa. Vaikka muutoksista tiedotetaan työntekijöille aamupalavereissa ja ilmoitustaululla, jatkossa järjestelmäpohjaisten muutosilmoitusten tai muutoslokin kehittäminen helpottaisi tiedon viestintää ja varmistaisi muutoksen huomioinnin harvinaisten laitekonfiguraatioiden kohdalla. Yrityksen toiminnassa tavoiteltavana pidetyn asiakaskeskeisyyden ja laatupalautepohjaisen jatkuvan kehittämisen takia muutokset tulisi pystyä viestimään myös palautteen antajalle. Mikäli tuote- tai prosessimuutoksen taustalla on asiakaspalautte, sen käyttöönotto on syytä dokumentoida ja viestittää asiakkaalle viimeistään palautteen sulkemisen yhteydessä. Prosessin läpikäynti ja tiedon viestiminen vaatii kuitenkin sidosryhmien välistä tiivistä yhteistyötä ja yhteisen toimintamallin muodostamista.

MES-käytön ja ohjeistussisällön luonnin yhteydessä tukitiimissä todettiin, että yksikön työohjeistustasoja tulee tarkentaa ja perehdytyskäytäntöjä kehittää. Vaikka tehtäväohjeistus liittyy läheisesti työohjeisiin, se luo kuitenkin uuden yksityiskohtaisemman ohjeistustason työohjeiden ja toimintaohjeiden lisäksi, jolloin sisällön muodostamisen kannalta

tulee olla selvillä se, mikä aihepiiri kuuluu millekin tasolle. Perehdytys- ja työohjemateriaalin osalta tutkija esittää *liitteessä* / esiin tarpeelliseksi havaitsemansa aiheet.

MES-järjestelmän laitevaihtoehtojen testauksessa nousee esiin se, että kosketusnäyttö on epäkäytännölliseksi järjestelmän käyttöliittymäpuutteiden, tietoteknisten ongelmien ja tekstin kirjoituksen hitauden vuoksi. Tuotantokäytössä testattu tabletti koettiin kuitenkin helppokäyttöisemmäksi ja mahdolliseksi lisätyökaluksi poikkeustilanteisiin tai uuden työntekijän perehdytyskäyttöön. Laitteen ei tulisi kuitenkaan korvata kokonaan nykyistä tietokonekäyttöä. 22-Tuumainen näyttö ja kannettava tietokone todettiin näppäimistön ja hiiren kanssa toimivimmiksi ratkaisuiksi käyttöliittymäkäyttöön. Kannettavan tietokoneen sai siirrettyä näyttöön verrattuna paremmin työnteon yhteyteen, mutta se vei erillisen tietokonetason kanssa enemmän tilaa työpisteeltä.

Materiaalien linjalle keräilyn ohjaus toteutettiin MES-järjestelmän tehtävien materiaaliriiveillä ja MatFlow:n keräilytehtävillä. Tutkimuksen aikana havaittiin, että tehtävien materiaalien järjestelmälinkitysten muodostaminen ja ylläpito vaativat paljon työtä. Koska testatut materiaalirivit koettiin lopputestivaiheen palautteen perusteella sekaviksi ja turhiksi, niiden laajamittaista käyttöönottoa on syytä harkita kriittisesti. Lisäksi tehtävän materiaali ja sen sarjanumerokenttä voivat näkyä virheellisesti työllä, jonka valmistusrakenteeseen materiaali ei kuulu. Tämä tulee jatkossa pystyä estämään, sillä materiaalien tehtävälinkityksiä ja tehtävien konfiguroitumista hallinnoidaan järjestelmän ylläpidon kannalta eri tavalla kuin työn valmistusrakenteen muodostumista.

MatFlow:n käyttöä testattiin tutkimuksessa tabletin ja käsipäätteen avulla. Palautteen perusteella tabletti esittää keräilyinformaation selkeästi isommalta näytöltä kuin käsipääte, ja kulkee helposti keräilykärryn mukana omalla telineellään, josta sen saa tarvittaessa irrotettua. Tabletin käyttö koettiin hyödylliseksi keräilyn yhteydessä. Myös langattomat viivakoodinlukijat koettiin keräilyä nopeuttaviksi laitteiksi, mikäli MatFlow-järjestelmää kehitetään tai viivakoodiluettavia sarjanumeroita lisätään. Käsipääte ei puolestaan koettu käyttökelpoiseksi keräilyn ja MatFlow-käytön työkaluna, sillä sen näyttö oli liian pieni keräilyrivien ja käyttöliittymän informaation lukemiseen. Kalustusvaiheella testattiin lisäksi settikeräilyä, mikä vähensi keräilyyn liittyviä keräilykertoja ja -matkoja sekä poisti työkorin jatkuvan selailutarpeen. Kärryn koko ja paino koettiin kuitenkin palautteen perusteella ongelmallisiksi. Kärryssä ei myöskään ole toistaiseksi paikkoja kaikkien laitetyyppien kerättäville ja kalustettaville nimikkeille.

Materiaalien jäljitystietojen syöttäminen voidaan toteuttaa MES- tai MatFlow-järjestelmään suoraan tehtävän materiaalille tai keräilyriville. Jos jäljitystiedoista saadaan muodostettua DHR-tuloste, tuplakirjauksia työkorttiin ei enää tarvita, joka nopeuttaa työnte-koa. Tällöin myös kerättävien jäljitystietojen määrää on helppoa lisätä nykyisestä. Kerättyä dataa voidaan hyötykäyttää tuotannon suorituskyvyn analysointiin, kehittämiseen tai esimerkiksi asiakaspalautteiden käsittelyyn.

6. TULOSTEN ANALYYSINTI

6.1 Kohdetietojärjestelmien käyttö ja laitevalinnat

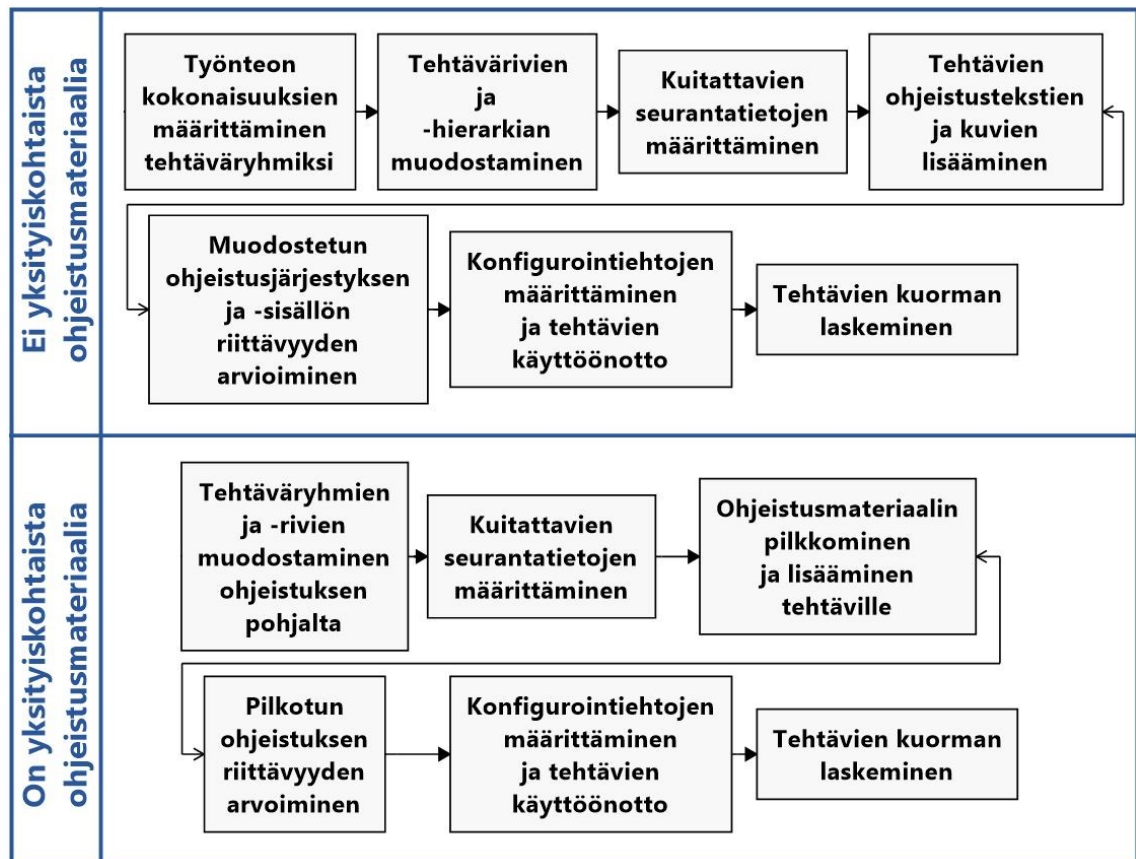
Tässä alaluvussa analysoidaan tutkimusaineiston pohjalta MES-järjestelmän tehtävöohjeistuksen muodostamiskäytäntöjä ja ylläpitoa, MatFlow-järjestelmän edellytyksiä tuotantoon käyttöönotolle sekä MES- ja MatFlow-järjestelmien käytettävyyttä ja käytön laitevalintoja.

6.1.1 MES-järjestelmän käytettävyys ja ylläpito

Tutkimuksessa kerättyjen havaintojen, palautteiden, lomakepohjaisen loppukyselyn tulosten ja olemassa olevien järjestelmätoimintojen pohjalta voidaan implikoida, että MES-järjestelmä helpottaa työntekoa ja mahdollistaa nykyisiin tuotannon työnteon haasteisiin vastaamisen. Järjestelmän avulla voidaan yhtenäistää työnteon toteutustapoja, helpottaa työntekoa, vähentää laitekohtaisesti muistettavien yksityiskohtaisten asioiden määrää, helpottaa uuden työntekijän perehdytyksen toteuttamista, mahdollistaa tuotantodatan keräämisen lisääminen sekä varmistaa jäljitystietojen yksiselitteisyys. Lisäksi MES parantaa tuotannon läpinäkyvyyttä, sillä työnjohtajat voivat halutessaan seurata järjestelmästä laitteiden valmistuksen etenemistä tehtäväryhmä- ja seurantatietokohtaisesti ilman, että laitteita tarvitsee erikseen käydä laskemassa tai tarkastamassa paikan päällä. Järjestelmien käytettävyyttä ja työnteon tarpeisiin vastaavuutta voitaisiin kuitenkin vielä parantaa kehittämällä sen sisäisiä toimintoja ja ottamalla käyttöön sopivimmat laiteratkaisut työntekijäpalautteen mukaisesti. Kysymyksinä kuuluvat: Ovatko käytön laajentamiseen liittyvä MES-järjestelmän jatkokehitys ja yksityiskohtaisen tehtävöohjeistuksen ylläpito lisäinvestoinnin arvoisia? Onko investoinneilla merkitystä yrityksessä, jossa työntekijöiden vaihtuvuus on pientä ja heidän ammattitaitonsa kattavaa?

Tutkimustulosten pohjalta esiin nousseet MES-järjestelmähyödyt liittyvät osaltaan muodostettuun tehtävätason ohjeistukseen, joka luo yritykselle uuden työnteon ohjeistustason toimintaohjeiden ja työohjeiden lisäksi. Siksi tutkimuskysymyksiä **K3:n** ja **K4:n** osalta on syytä kyseenalaistaa se, että yksityiskohtaiset tehtävöohjeet tulisivat MES-käytön laajentamisen yhteydessä luotua sekä ylläpidettyä asiakaspohjaisesti toimivassa nopeasti kehittyvässä ja muuttuvassa teknologiayrityksessä nykyisillä käytännöillä ja resursseilla, sillä jo olemassa olevien työohjeiden ajantasaisuudessa on havaittu parantamisen varaa. Toisaalta MES-sisällön arviointi ja käytettävyys kävivät tutkimuksen aikana

paljon syvällisemmän kehityskierroksen kuin järjestelmäsällön luonnin ja ylläpidon osalta on tarvetta jatkossa toteuttaa. Mikäli yksityiskohtaista hyväksi todettua työn ohjeistusmateriaalia löytyy, olemassa oleva materiaali ja sen sisäinen järjestys on helppo siirtää järjestelmän piiriin. Tällöin tarkempaan sisällön muodostamisen tarkasteluun jäävät ainoastaan tuotannossa kuitattavien seurantatietojen määrittäminen sekä tehtäväkohtaiset konfigurointiehdot. Mikäli yksityiskohtaisia tuotteiden vaiheisiin liittyviä työohjeita ei löydy, ohjeistussisällön tuottaminen ja yhtenäisen järjestyksen luominen vie enemmän aikaa ja resursseja. Sisällön muodostamiseen voidaan kuitenkin toteuttaa yhteistyössä osallistaen tuotantolinjan menetelmäsuunnittelijan, tuotespesialistin ja työnopastajien lisäksi myös tuotannon päätyöntekijöitä. Lisäksi muodostettavan tehtäväohjeistuksen yksityiskohtainen sisältö voidaan luoda yksikön tarpeista, olemassa olevan ohjeistuksen tasosta ja resursseista riippuen halutulla tasolla. MES-sisällön muodostamisen vaiheet on havainnollistettu kuvassa 25 riippuen siitä, löytyykö tehtäväohjeistukseen valmiina olevaa yksityiskohtaista työohjetta sisällön tuottamisen tueksi.



Kuva 25. Tehtävätason ohjeistussisällön muodostaminen.

Tutkimuksen aikana muodostettiin kehitysprojektin tukitiimin yhteisten näkemysten pohjalta MES-järjestelmäsäisällön tyyliopas, jolla pyritään tukemaan tehtävätason ohjaussäisällön muodostamista. Tyyliopas on nähtävillä *liitteessä D*. Järjestelmäsäisällön muodostaminen ja ylläpito tarvitsevat lisäksi taustalle selkeät työnkuvat ja roolitukset. MES-järjestelmän tehokkaan ylläpidon näkökulmasta esitetty roolitukset ovat nähtävillä *liitteessä E*, jonka tutkija on muodostanut mukaillen MES-kehitysprojektin aikaisia tukitiimirooleja ja nykyisiä yksikön työnkuvia.

6.1.2 MatFlow-tuotantokäytön edellytykset

MatFlow-järjestelmä koettiin työntekijöiden palautteen pohjalta potentiaalisesti linjalle keräilyä ohjaavaksi vaihtoehdoksi työkortin sijasta. Järjestelmäkäytön palautteessa tuli kuitenkin esiin se, että keräiltävän nimikkeen löytäminen ja ympyröinti paperiselta keräilylistalta toteutuu nopeammin kuin tietojärjestelmän kautta keräily. Keräiltävät nimikkeet eli keräilyrivit pitää valita MatFlow-käyttöliittymässä yksi kerrallaan ja täydennettävien nimiketietokenttien erillinen aktivointi hidastaa keräilyn toteuttamista. Toimintojen aktivointi: nimikkeen valinta, sarjanumerokentän valinta, sarjanumeron tallentaminen ja keräilyksi merkkäminen voivat viedä järjestelmässä useita sekunteja. Toisaalta myös langattoman verkon tukipisteiden lisääminen saattaisi poistaa oletetuista katvealueista johduttavaa käytön hitautta.

Jotta MatFlow-järjestelmä voidaan viedä tuotantoon, käyttöönoton minimiedellytyksiin kuuluu tutkijan toteuttamien järjestelmätestien pohjalta

- automaattisten keräilytehtävien muodostuminen ja
- työkorttinimikkeiden suodattuminen keräilyriveiksi.

Nykytoiminnallisuuksilla MatFlow:n keräilyriveiksi muodostuvat kaikki vaiheen materiaa-livaraukset, vaikka keräilyriveiksi haluttaan nykykäytäntöjen mukaisesti pelkästään työpisteen ulkopuolelta kerättävät työkorttinimikkeet. Tuotteiden rakennemallirivien nimiketiedoissa on kuitenkin jo valmiiksi syötetty vaihe- ja työkorttitieto, jota voitaisiin hyödyntää keräilyrivien suodatintoinnon käyttöönotossa.

Käyttöliittymässä näkyvien keräilytehtävien muodostuminen vaatii myös ERP:ssä manuaalista työn materiaalien keräilyyn vientiä. Keräilytehtävien olisi jatkossa syytä muodostua automaattisesti työn aloituskelpoiseksi asettamisen yhteydessä tai vaiheen aloittamisen yhteydessä riippuen siitä, saadaanko järjestelmään näkymään resurssikohtaista työjonoa tai työkohtaista keräilytehtävien suodatinta. Mikäli suodatinta ei saada, paras

ajankohta keräilytehtävien ja -rivien muodostumiselle olisi vaiheen aloitus, jotta järjestelmän käyttöliittymän informaatiomäärä pysyisi mahdollisimman pienenä. Työn tilan aloituskelpoiseksi muuttamisen yhteydessä materiaalivarauksille voitaisiin samalla suorittaa aloituskelpoisuustarkastelu, jolla voitaisiin vähentää materiaalipuuteiden aiheuttamia yllättäviä työnteon keskeytyksiä tuotantolinjan myöhemmässä vaiheessa.

6.1.3 Järjestelmäkäytön laitevalinnat

Tutkimuskysymykseen **K3** liittyen tutkimuksessa suunniteltiin ja testattiin MES- ja Mat-Flow-järjestelmäkäytön laiteratkaisuja. MES-järjestelmäkäyttöä testattiin 22- ja 32-tuumaisilla näytöillä, kannettavalla tietokoneella sekä tabletilla. Järjestelmän käyttöliittymä todettiin palautteen perusteella osittain vajavaiseksi kosketusnäyttöominaisuuksien toiminnan sekä elementtien skaalautuvuuden kannalta, joten tabletin käyttö ei saanut kovin laajaa kannatusta. Kosketusominaisuuksien käyttö oli kuitenkin luontevampaa tabletin kanssa verrattuna 32-tuumaiseen kosketusnäyttöön. Vaikka tabletti koettiin erityisesti lopputestivaiheella pääosin turhaksi, on syytä huomioida, että arvioinnin ovat toteuttaneet keskiarvoltaan 13 vuotta testaustyötä tehneet kokeneet työntekijät, jotka eivät käytä kaikkea järjestelmän esittämää informaatiota hyväksi. Koska testauskohteet ja ohjeet olivat heillä hyvin muistissa, tabletti jäi usein käyttämättömänä työpöydälle. Järjestelmäsäilytö oli tutkimuksen aikana osittain vajavaista projektin keskeneräisyyden takia, mikä saattoi myös vaikuttaa mielipiteisiin.

Kosketusominaisuuden heikkoon käytettävyyteen vaikuttavat havaintojen ja palautteen pohjalta tekstin hidas kirjoitusnopeus, IT-laitteiden vikaherkkyys, sekä MES-käyttöliittymäelementtien koko ja skaalautuvuus, joissa on vielä parantamisen varaa. Vaikka nimikkeiden sarjanumerokirjaukset onnistuisivatkin vielä riittävän hyvin kosketusnäytöiltä, häiriö- ja laatu-palauttekirjaukset vaativat enemmän kirjoitettavaa, joka koettiin käyttäjien keskuudessa hankalaksi toteuttaa kosketusnäytöltä. Toisaalta kirjoittamisen hitauteen voi vaikuttaa osittain käyttäjien vähäinen laitekokemus, jota ei tutkimuksessa otettu huomioon. Kuitenkin myös useampien järjestelmien samanaikainen käyttö koettiin helpommaksi hiiren ja näppäimistön avulla. Tabletti koettiin palautteen perusteella mahdolliseksi apuvälineeksi uusien työntekijöiden perehdytyksessä tai harvinaisempien tuoteominaisuuksien valmistamiseen, korjaamiseen tai testaamiseen liittyvien työohjeiden lukemisessa. Ohjeiden kompaktius ja siirrettävyys toisivat tällöin työpiste-ergonomian kannalta apua erityisesti hankalissa paikoissa olevien työtehtävien pariin.

Koska tekstin kirjoittaminen ja toistaiseksi useamman sovelluksen yhtäaikaista käyttöä koettiin hankalaksi toteuttaa kosketusnäytöillä, näppäimistön ja hiiren tulisi olla saatavilla järjestelmäkäytön yhteydessä. Laitteiden testauksen yhteydessä kerätyn palautteen perusteella kannettava tietokone ja 22-tuumainen näyttö toimivat järjestelmäkäytössä parhaiten. Tabletin ja kannettavan tietokoneen käytön yhteydessä työpisteellä kulkenut liikuteltava tietokonetaso koettiin kuitenkin tilaa vieväksi, ja toisaalta nykyinen näyttöön yhdistetty 0,5 metrin säädettävä näyttövarsi säätötoiminnoiltaan vajavaiseksi. Siksi työkaluseinään yhdistettävä monitoimivarsi, johon saa asetettua kannettavan tietokoneen tai pelkän näytön näppäimistö- ja hiiritasolla, voisi ratkaista esitetyt ongelmat. Täten järjestelmää olisi ergonomista käyttää, ja laatu- ja palautteiden, sarjanumeroiden ja häiriöiden kirjaaminen voitaisiin toteuttaa mahdollisimman nopeasti ja helposti. Alla on listattu MES-käyttöön ehdotettavat laitevalinnat:

1. Pöytäkone varustettuna säädettävällä näyttövarrella, johon saa kiinnitettyä 22-27 tuumaisen näytön lisäksi näppäimistö- ja hiiritason.
2. Kannettava tietokone mahdollisella kosketusnäyttöominaisuudella.
3. Kiinteä pöytäkone ja näyttö sekä lisäkäyttöön erillinen tabletti.

MatFlow-järjestelmäkäyttöä testattiin kalustusvaiheen settikeräilyyn ja kalustuksen loppu-keräilyyn yhteydessä käyttäen käsipäätettä ja tablettia. Keräilykäräilyyn oli lisäksi kiinnitetty tablettiteline, josta laitteen sai tarvittaessa irrotettua käteen kuljetettavaksi. Tabletti koettiin käsipäätteeseen verrattuna ylivoimaiseksi laitevaihtoehdoksi, koska järjestelmän käyttöliittymässä näkyvän informaation eli keräilytehtävien- ja rivien lukeminen onnistui siltä huomattavasti paremmin kuin käsipäätteeltä. Erillinen kompakti langattomasti tablettiin yhdistetty sormilukija korvasi lisäksi käsipäätteeseen integroidun viivakoodinlukutoiminnon. Vaikka lukija koettiin palautteen perusteella helposti siirrettäväksi ja helppokäyttöiseksi, sen käytöstä ei kuitenkaan saatu huomattavia hyötyjä esiin. Nimikekoodin lukeminen ei valitse keräiltävää nimikettä keräilyksi tai sarjanumerotäydennettäväksi, vaan keräilyrivi ja rivin mahdollisesti täydennettävä sarjanumerokenttä pitää ensin aktiivoida manuaalisesti ennen täydennysmahdollisuutta. Kun otetaan vielä huomioon se, että viivakoodiluettavien sarjanumeroiden määrä on yrityksen nykykäytännöllä hyvin pieni, sormilukijan käytön hyödyt jäävät toistaiseksi vähäisiksi.

6.2 Teorian ja tulosten yhteensopivuus

Tässä alaluvussa verrataan tutkimustuloksia kirjallisuuteen ja pohditaan, mitä yhteneväisyyksiä ja eroavaisuuksia niissä on havaittavissa. Tämän jälkeen voidaan arvioida järjestelmän ja toimintatapojen kirjallisuuteen pohjautuvia jatkokehitystarpeita sekä tutkimuksen viimeisessä luvussa tutkimustulosten yleistettävyyttä.

6.2.1 Tutkimuskäytäntöjen ja -tulosten vertaus lähdekirjallisuuden

Tutkimuksen kohteena oli toimitusketjun joustava osuus eli ATO-pohjaisesti toimiva tuotantolinja, jonka OPP-piste sijaitsee ensimmäisellä kalustusvaiheella (Olhager & Sellidin 2007). Tutkimuksen aihepiiri eli tehtävätason tuotannonohjauksen kehittäminen kohdistui tuotannosuunnittelu- ja ohjauskokonaisuuteen tarkentuen tuotannon lattiatason ohjaamiseen sekä MES-järjestelmän implementointiin (Tenhiälä & Helkiö 2015, Cichos & Aurich 2016). MES vie Leen et al. (2012a) mukaan tuotannon suunnitelmat käytäntöön sekä palauttaa prosessin tulokset takaisin suunnittelutasolle. Yrityksen MES- ja ERP-järjestelmät toimivat yhdessä tuotantotiedon esittämisen ja takaisinkytkennän osalta. Toiminnallisia haasteita on kuitenkin havaittu ERP-PLM -rajapinnan lisäksi toteutuneen tuotantotiedon pohjalta tehtävän joustavan tuotantosunnitelman tarkentamisen ja hienokuormituksen parissa, sillä yrityksessä ei ole käytössä erillistä APS-järjestelmää (SFS-EN 62264-3:2017). Tutkimuksessa käsiteltiin myös varastohallintajärjestelmä Mat-Flow:n käyttöä kalustusvaiheen keräilyssä. Sekä MES- että WMS-järjestelmät kuuluvat osaksi tuotannon toiminnanohjausta eli MOM-viitekehystä (MESA 1997, ISA-95.00.01-2000, Scholten 2010).

MES-järjestelmän implementointiprojekti eteni joustavasti lyhyitä kehityssyklejä ja sidosryhmäyhteistyötä painottaen, mikä sopii *agile*-projektinhallinnan menetelmään (Paquette & Frankl 2015). Implementoinnin alkuvaiheessa toteutettiin ensimmäisen järjestelmäversion käyttöönotto, jonka pohjalta järjestelmän toimintojen ja sisällön tarpeet osattiin muodostaa tarkemmiksi. Tähän viittaa myös Anisimovin & Reshetnikovin (2011) esittämä ajatus MES-pilottiprojektista, jonka tavoitteena on löytää perusteet lisäinvestoinnille ja johdon tuelle.

MES-implementointiprojektin onnistumisen kriittiset tekijät olivat tutkimuksen loppuvaiheessa toteutuneet pääosin hyvin. Järjestelmälle saatiin käyttäjien hyväksyntä, johtotaso osallistui ja pidettiin ajan tasalla projektin etenemisestä sekä kumppanuussuhteet muodostettiin ja ylläpidettiin järjestelmätoimittajan kanssa. Teoriaan pohjautuvia järjestelmän

jatkokehitystarpeita havaittiin kuitenkin KPI:den mittaamisen ja analysoinnin osalta, johon myös tilastollinen prosessinhallinta kuuluu sekä järjestelmätoimittajayhteistyön osalta kustannusten jakamisesta ja laskemisesta. (Anisimov & Reshetnikov 2011, Govindaraju & Putra 2016, SFS-EN 62264-3:2017)

Parhaimpien käytäntöjen muodostaminen tarvitsee MES-käyttöönnotossa Woodin (2016) mukaan läheistä yhteistyötä tuotannon työntekijöiden eli järjestelmän loppukäyttäjien kanssa. Tutkimuksessa MES-järjestelmän käyttöä ja sisältöä muodostettiin ja arvioitiin läheisessä yhteistyössä työntekijöiden kanssa. Näin pyrittiin varmistamaan tietojärjestelmän menestystekijöiden täyttyminen, jotka ovat DeLonen & McLeanin (1992) mukaan järjestelmän laadukkuus ja informaation laadukkuus. Koska tietojärjestelmän kokonaisyötyihin liittyvät koettu käytettävyyden ja käyttäjäkokemus, MES-käyttö ja -sisältö pyrittiin rakentamaan työntekijöitä palvelevaksi ja heidän työntekeään helpottavaksi järjestelmäksi (Ke & Su 2018). Tässä myös onnistuttiin lomakepohjaisen loppukyselyn tulosten perusteella. Koska kukaan lopputestivaiheen työntekijöistä ei palaisi vanhoihin käytäntöihin, ja järjestelmä koettiin työtä helpottavaksi, implementointiprojektilla voidaan todeta olleen positiivinen vaikutus yksittäisten pääkäyttäjien lisäksi myös koko yksikköön. Kuten Wood (2016) toteaa, parhaimpiin käytäntöihin kuuluu kuitenkin tutkittavien prosessien jatkuva tarkastelu ja arvioiminen, jotta resurssit tulevat käytettyä mahdollisimman tehokkaasti. Siksi järjestelmäkäytön ja -sisällön ylläpitoon on syytä allokoita resursseja myös jatkossa.

Yritykseen valitun MES-järjestelmän toiminnot ja muodostettu sisältö saatiin palvelemaan karkeasti kahdeksaa MESA:n (1997) listaamasta 11:sta keskeisestä tietojärjestelmän ominaisuudesta. Järjestelmäkehityksen pariin jäivät suorituskyvyn analysointi sekä työntekijöiden ja huollon hallinta. Toisaalta toteutuneet toiminnallisuudet sisältyvät Fein (2010) esittämään malliin. Myös Meyerin (Meyer et al. 2009) tärkeäksi kokema tuotantoprosessien järjestelmäpohjainen simulointi tai simulaatiokanta saatiin yrityksessä käyttöön tutkimuksen aikana. Dokumentoinnin hallinnassa jäi kuitenkin vielä selventämistä ERP:n validoinnin ja ERP-PLM -järjestelmien välisen yhteistoiminnan osalta.

Kuten ISO/IEC-25010-standardissa mainitaan, järjestelmäominaisuuksien lisäksi käyttökokemukseen vaikuttavat käytettävät välineet ja toimintaympäristö. Täten myös järjestelmäkäytön IT-välineisiin ja käyttöympäristöön kiinnitettiin huomiota. Muodostetuista lopputesti- ja kalustusvaiheen prototyöpisteistä saatiin hyödyllistä palautetta kannettavan tietokoneen, tabletin, käsipäänteen, kosketusnäytön ja säädettävän näyttövarren toiminnasta. Palautteen pohjalta muodostui käsitys sopivista MES- ja MatFlow-käyttöpäätteistä, jatkokäytössä testattavista laitteista ja järjestelmien jatkokehitystarpeista. Myös

järjestelmän validointiin liittyvä käyttäjävaatimusten dokumentointitarve tunnistettiin, jonka pohjalta ehdotettiin kehityskohteita perehdytyskäytäntöihin ja työohjeisiin liittyen (Knight & Lamb 2006).

Tuotantolinjalle keräilyssä testattiin settikeräilyä eli *kitting*:iä, missä kalustettavat nimikkeet kerätään kuljetuslaatikkoon ennen kalustuksen aloittamista. Settikeräily vähentää huomattavasti yksittäisten keräilykertojen määrää pitkillä kalustusvaiheilla, ja mahdollistaa työn aloituskelpoisuustarkastelun ennen aloittamista. Tarkastelun avulla vältetään töiden keskeytyminen ja tuotteiden virtauksen katkeaminen tuotantolinjalla. (Faccio 2014)

Tuotannon tietojärjestelmät mahdollistavat jäljitystietojen ajankohtaisen ja oikeellisen keräämisen sekä tiedon analysoimisen (MESA 1997, Tao et al. 2012). Seurantatiedoilla voidaan toteuttaa myös tuotteen ylläpitovaiheen riskienhallintaa, joka vaikuttaa tunnistettujen riskien vähentämiseen tuotannossa. MES-järjestelmässä toteutettavat laitteen testauskohteiden *ok*-kuittaukset ja kirjattavat numeroarvot koettiin helppokäyttöisiksi MES-järjestelmässä, joten tehtävien seurantatietojen määrää lisättiin tutkimuksen aikana huomattavasti erityisesti lopputestivaiheella. Kalustusvaiheen seurantatiedot toimivat pääosin työn etenemisen indikaattoreina ja kriittisiksi todettujen työtehtävien tekemisen varmentamisena. Myös sarjanumeroiden ja LOT-tunnusten osalta nykyisten tuplaskirjauskäytäntöjen poistaminen ja viivakoodiluettavien sarjanumeroiden lisääminen nopeuttaisi palautteen perusteella jäljitystietojen kirjausta ja mahdollistaisi tiedon keräämisen lisäämisen MatFlow:n avulla.

6.2.2 Tuotannon muutostrendien huomioiminen

Bendul & Blunck (2019, s. 263) mainitsevat, että *myöpinen* päätöksenteko, eli lyhyen tähtäimen hyötyjen priorisoiminen pidemmän aikavälin tulosten kustannuksella, on haasteena tuotannon suunnittelun ja -ohjauksen parissa. Aihepiiri ei siis ole ongelmana pelkästään poliittisessa toiminnassa, vaan ilmiö tulisi tunnistaa myös yrityksen päätöksenteossa. Kuten Vinhais (2004) toteaa, korkean laadun tuotteiden tuottaminen matalimmilla kustannuksilla luo pohjan yrityksen menestykselle. Koska *digitalisaation* tuomat uudet teknologiaratkaisut ja -järjestelmät, mahdollistavat tehokkaamman tuotteiden laadun varmistamisen ja kustannuksien laskemisen, niiden testaus, kehitys ja käyttöönotto ei ole pelkästään trendikästä vaan yrityksen kilpailukyvyyn olemassaolon ja ylläpidon perusta (Senvar & Akkartal 2018). Uudet teknologiaratkaisut eivät kuitenkaan Cottynin et

al. (2011) mukaan sulje pois Lean-filosofiaa ja siihen liittyviä työkaluja, joita myös kohdeyrityksessä on käytössä.

Kohdeyrityksen MES-järjestelmä toimii konfiguroituvasti, läpinäkyvästi ja jäljitettävästi, jotka ovat Wangin & Lin (2009) mukaan tulevaisuuden ketterän tuotannosuunnittelun ja ohjausjärjestelmän edellytyksiä. Järjestelmän toimintaa voidaan hallita kohdeyrityksen MES-sisällön luomiseen liittyvillä valinnoilla ja järjestelmätuella, jolloin myös Mehrabin et al. (2000) mainitsema järjestelmän uudelleenkonfiguroituvuuden tarve saadaan täytettyä. Uudelleenkonfiguroinnilla voidaan vastata varioituvien tuotteiden tuottamisen lisäksi tuotannon kapasiteetin ja valmistettavien tuotteiden nopeisiin vaihteluihin (Mehrabi et al. 2000). Järjestelmän yhteensopivuutta erilaisten autonomisten, IoT-ratkaisuiden tai esimerkiksi RFID-tekniikan kanssa ei ole kuitenkaan vielä arvioitu tai kokeiltu.

Suomesta löytyy erityisosaamista tutkimuksen ja kehityksen parissa, ICT-sektorilla, kulttuurin kehittämisessä ja digitalisaatio-aidoissa. Siksi maassa toimivilla yrityksillä on hyvät mahdollisuudet hyödyntää mainittuja osaamisalueita kilpailuedun tavoittelussa (Nordic Council of Ministers 2015). Voidaan ajatella, että yrityksessä on lähdetty teknologiakehityksen mahdollistaneen uusien tietojärjestelmien adoptointiin ja kehittämiseen potentiaalisessa ympäristössä. Kun järjestelmät helpottavat oikein sovellettuna tuotannon työntekoa, myös työntekijöiden liikkuvuutta tiimien ja työpisteiden välillä voidaan lisätä. Liikkuvuuden voidaan ajatella palvelevan yrityksen lisäksi myös työntekijöitä, sillä se tarjoaa väliaikaisten henkilöstön resurssipuutteiden täyttämisen lisäksi työntekijöille monipuolisempaa työnkuvaa. Mikäli monipuolisuutta voidaan lisätä työntekijöiden toiveiden mukaan, työnteko muuttuu mielekkäämmäksi. Ihmisten työnteon motiivien muuttuessa yleisten mielipidetrendien mukaisesti, perinteisten teollisuuden alojen työnkuvista voi joutua tulevaisuudessa luomaan entistä mielekkäämpiä, joustavampia ja työntekijöitä houkuttelevampia.

6.3 Tuotannon työntekoa ohjaavien nykykäytäntöjen korvaaminen

Tässä aluvuossa analysoidaan nykyisten tuotannon työntekoa ohjaavien menetelmien korvaamista MES- ja MatFlow-järjestelmillä. Lisäksi aluvuossa käsitellään tutkimusaineiston ja tutkijan päätelmien pohjalta tunnistettuja kohdetietojärjestelmien yleisiä jatkokehitystarpeita, jotka on myös kerätty yhteisesti *liitteeseen H*.

6.3.1 Työkortin, tarkastuslomakkeiden ja ERP-käytön korvaaminen

Tutkimuskysymys **K4** kysyy: *Saadaanko kohdetietojärjestelmillä korvattua nykyiset tuotannon työntekoa ohjaavat menetelmät?* Koska yrityksen nykyinen tilausohjautuvan tuotannon ohjaus pohjautuu ERP-järjestelmän muodostamiin työn vaiheisiin, vaihekohtaisiin työkorttiniimikkeisiin ja tarkastuslomakkeisiin, MES- ja MatFlow-järjestelmien tulisi kyetä korvaamaan ainakin samanaikainen ERP-käyttö sekä paperinen työkortti ja tarkastuslomakkeet, mikäli toimitussisältötarkastusten määrä halutaan pitää samana. Toisaalta olisi ehkä syytä kyseenalaistaa nykyinen tuotantolinjan viimeisillä vaiheilla toteutettava toimitussisällön moninkertainen oikeellisuustarkastus, joka on arvoa tuottamaton työtä. Tällöin tarkastustoimia voitaisiin jakaa arvoketjussa ylemmäksi lopputestivaihetta aikaisemmille vaiheille, joilla kohdetietojärjestelmien käyttöönotto ja järjestelmäpohjaiset ristiintarkastukset voisivat tarjota lisätyökaluja.

Työkortin ja tarkastuslomakkeiden korvaaminen vaatii nykyisten tietojärjestelmien toiminnallisuuksien lisäksi:

- vaihekohtaisen materiaalistauksen, tai vaihtoehtoisesti tehtäväkohtaisten materiaalinkkien muodostamisen,
- materiaalien mahdollisten jäljitystunnuksien kirjaamisen, vaihtamisen ja purkamisen toiminnallisuudet sekä sarjanumerohierarkian DHR-kantaan tallentamisen,
- vaiheiden valmistamisesta kerättävien työntekijätietojen esittämisen ja DHR-kantaan tallentamisen,
- toimitussisällön tarkastuslomakkeiden korvaamista järjestelmäsivöllä ja tiedon ristiintarkastuksilla, sekä
- sähköisen allekirjoituksen käyttöönoton.

Mikäli työkortista luovutaan kokonaan tuotannon tekemistä ohjaavana menetelmänä, MES-järjestelmä tarvitsee resurssit tehtäväkohtaisten materiaalinkkien muodostamiseen ja ylläpitoon tai työkalun materiaalien kevyempään ohjaamiseen. Koska tuotantolinjan lopputestivaiheella testatut tehtävien materiaalityypit koettiin hyödyttömiksi ja käyttöliittymänäkymää sekoittaviksi, tarpeellisten ja ylläpidettävien linkkien muodostaminen on syytä pohtia tapauskohtaisesti. Tutkija ehdottaa vaihtoehtoiseksi materiaali-ohjauksen työkaluksi *vaiheen materiaalit* -välilehteä, jossa näkyisi listausvaihtoehtoina vaiheen työkorttimerkatut nimikkeet, sarjanumerolliset nimikkeet, materiaalivaraukset ja haluttaessa myös työn pakkauslistanimikkeet. Pakkauslistanimikkeiden järjestelmässä näkyminen poistaisi tarpeen lopputestaajan täyttämälle erilliselle pakkauslistalomakkeelle. Materiaalivälilehden käyttöönotto mahdollistaisi myös sen, että jokaisen vaiheen nimikkeelle ei tarvitsisi luoda ja ylläpitää erillistä tehtävälinkitystä. Tällöin olemassa olevia nimikkeiden

vaihetietoja voitaisiin käyttää hyödyksi, joka helpottaa järjestelmäsäilyksen ylläpitoa ja käytön laajentamista. Tehtävälinkityksiä voidaan luoda tuotantolinjan- tai vaihekohtaisten tarpeiden pohjalta, mutta niiden hallinnassa tulee olla erityisen tarkkana, sillä tehtävien materiaaleja ja työn valmistusrakenteelle konfiguroituvia rakennemallirivejä hallinnoidaan eri menetelmin. Siksi ei voida olla täysin varmoja siitä, että työn vaiheella näkyvän tehtävän materiaali kuuluu työn valmistusrakenteeseen.

Koska ERP-järjestelmää ei ole validoitu, DHR kantaan halutaan tallennettavaksi koodatut tiedot työn vaiheiden kuittaajista, työkorttinimikkeistä ja sarjanumeroista. Ennen kuin vaiheiden kuittaajan tiedot saadaan tallentumaan automaattisesti DHR-kantaan ja näkyviin MES:iin, vaiheiden valmistajien henkilönumerot voitaisiin täydentää laitteen mukana kulkevalla nykyisen työkortin kaltaisella lomakkeella, jossa olisi kuittauskohtien lisäksi nähtävillä myös työn, nimikkeen ja tilauksen tiedot. Toisaalta Meyer et al. (2009, s. 11) mainitsevat, että MES-toiminnallisuuksiin kuuluu oleellisesti valmistettavan tuotteen täydellisten teknisten tietojen esittämisen, joten työn tietojen yhteenvedonäkymä voitaisiin vaihtoehtoisesti integroida itse tietojärjestelmään. ERP-järjestelmästä löytyy myös *vaiheiden tapahtumat* -moduuli, josta voitaisiin muodostaa vaihekuittausten yhteenvedotiedosto laitteiden DHR-kantaan. Tällöin laitteen testaukseen ja luovutuskelpoisuuteen liittyvien tarkastuspöytäkirjojen allekirjoittamisen ohella ei välttämättä tarvittaisi erillistä paperista vaiheiden kuittauslomaketta.

Työkortista luopumisen yhteydessä myös laitteen sarjanumerot ja työkorttinimikkeet tulisi saada tallennettua DHR-kantaan. ERP:stä löytyy *sarjanumeroiden jäljityserät* -moduuli, johon tallentuu kaikki laitteen isäsarjanumeron alaisuuteen tallennetut sarjanumerotiedot. Tämä jäljitystunnusten yhteenvedonäkymä voitaisiin tallentaa työn valmistuessa laitteiden historiatietokantaan, jolloin myös sarjanumeroiden tuplakirjauskäytännöistä voitaisiin luopua. Työkorttinimikkeiden listaus toimii puolestaan yhteenvedona laitteen valmistusrakenteen olennaisimmista nimikkeistä, joiden tulevaisuuden dokumentointitapa ja -muoto vaativat vielä lisäselvitystä. Täysin paperiton tuotanto tarvitsee lisäksi sähköisen allekirjoituksen käyttöönoton viimeistään testiraporttien ja tarkastuspöytäkirjojen korvaamisen osalta. Ennen sähköistä allekirjoitusta, sähköturvallisuusmittaus- ja lopputestivaiheelta joudutaan tulostamaan pöytäkirjat testaajien ja pakkaajan allekirjoitettavaksi.

Mikäli työntekoon käytetään pelkästään MES ja MatFlow-järjestelmiä, tuotannon työntekijöiden ERP-käytöstä tulee päästä eroon. Koska alla listatut toiminnallisuudet löytyvät toistaiseksi pelkästään toiminnanohjausjärjestelmästä, ne tulisi tällöin saada vietyä MES-järjestelmään:

- työaikaan liittyvien häiriökirjaustoiminnon lisääminen,
- vaiheiden suunniteltujen aloitus- ja lopetusaikojen esittäminen, sekä
- laitteen mukana toimitettavien lomakkeiden ja tarrojen tulostaminen,
- töiden *kollitus*- ja *valmis*-kuittaustoimintojen lisääminen.

Nykykäytännöllä työlle luodaan sarjanumero vasta kalustusvaiheella, mutta toisaalta se voitaisiin toteuttaa jo aikaisemmin työkorttien tulostamisen yhteydessä. Tällöin erillistä työn sarjanumerokirjauksen toimintoa ei tarvita MES-järjestelmään. Vaikka tuotantolinjan pakkausvaiheen analysointi menee tutkimuksen rajauksen ulkopuolelle, listauksessa on myös huomioitu mahdolliset tulevaisuuden tarpeet laitetoimituksen mukana lähtevien lomakkeiden ja tarrojen tulostamiselle sekä työn valmistamiskuittauksille.

6.3.2 Kohdetietojärjestelmien jatkokehitystarpeet

Vaikka nykyisiä tuotannon työntekoa ohjaavia menetelmiä ei korvattaisikaan täysin MES- ja MatFlow-tietojärjestelmillä, tehtävöiden hyväksyntäkäytännöt vaativat nykyisen kevyen versionhallintatyökalun lisäksi yhteisen organisaatiotason hyväksyntäprosessin muodostamisen ja käyttöönoton. Koska tehtäväelementti sisältää mahdollisen dokumentin lisäksi huomattavan määrän tietoa tekstin, kuvien ja materiaalirivien muodossa, myös tämä sisältö tulee saada hyväksytyä. Sisällöstä voitaisiin muodostaa erillinen tehtävätuloste, joka saadaan hyväksytyä PLM-järjestelmässä. Hyväksyntäkäytäntöihin liittyvät oleellisesti myös suunnitelmat PLM ja ERP-järjestelmien välisten automaattilinkitysten muodostamisesta sekä ERP-validoinnista, joka poistaisi teoriassa tarpeen lomakkeiden skannaamiselle ja järjestelmän tietokannasta erilliselle laitevalmistuksen historiatietokannalle.

Mitä pienempiä tehtäväkokonaisuuksia samasta konfiguroituvasta työn teon kokonaisuudesta luodaan, sitä kuormittavampaa myös niiden ylläpito on. Siksi MES-järjestelmässä näkyvä tehtävän tekstikenttä saattaa olla tehtäväkohtaisesti hyvinkin pitkä riippuen siitä, onko ohjeistussisältö koettu järkeväksi pilkkoa osiin tai onko ohje erillisenä dokumentina. Loppukäyttäjät kokivat pitkät tekstikentät käyttöliittymän selkeyden kannalta ongelmallisiksi, koska niitä ei saatu piilotettua ilman, että myös täydennettävät seurantatiedot piiloutuvat. Yleisiin tehtäviin liittyvä ohjeistus on kokeneilla työntekijöillä jo hallussa, ohjeiden pakkolukeminen ja -näkyminen koettiin työntekijöiden keskuudessa turhaksi. Järjestelmän nykytoiminnoilla tehtävän dokumentin tai kuvan saa tarvittaessa piilotettua, mutta tekstikenttää ei. Koska pelkkä dokumenttiohjeistus ei ollut järjestelmän pääkäyttä-

jien mielestä käyttöliittymän visuaalisuuden, selkeyden ja ohjeiden luettavuuden kannalta yhtä hyvä vaihtoehto, kuin tehtävän tekstikentän ja kuvaikkunan yhteiskäyttö, myös tekstikenttä olisi syytä saada piilotettua.

Tehtäväohjeistuksen muuttuessa tai päivittyessä, uuden ohjeistuksen mukainen työnteko on syytä saada varmistettua jokaisen työntekijän kohdalla. Siksi muutoslokin tarpeellisuus on tullut useamman kerran puheeksi työntekijöiden keskuudessa. Lokin huomauttaisi käyttäjälle muuttuneesta tehtävästä tai tehtävän ohjeistussisällöstä, jolloin se tulisi käyttöönoton jälkeen huomioitua työntekijäkohtaisesti riippumatta tehtävän esiintymisen yleisyydestä. Kun muuttunut tehtävä esiintyy MES-järjestelmässä, käyttäjältä voitaisiin kerätä hyväksyntäkuittaus lokiin talteen niin, että muutoshuomautus ei esiinny kuittauksen jälkeen enää kyseiselle käyttäjälle. Lokin käyttö voisi täten korvata portaalista löytyvien työohjeiden osalta ohjeiden lukemisesta ja omaksumisesta kerättävät työntekijäkohtaiset allekirjoitukset.

Yksi MES-järjestelmän hyödyistä on tuotannon läpinäkyvyyden parantuminen. (Swanton & Smith 2005, Tao et al. 2012). Tuotannon työnjohtajat kokivat kuitenkin töiden etenemisen seuraamisen hieman kömpelöksi MES-järjestelmässä. Etenemisen seuranta helpottaisi se, että vaiheen työlistanäkymässä olisi työkohtaisesti nähtävillä kuitattujen seurantatietojen tai tehtäväryhmien osuus kokonaismäärästä. Koska MES-toiminnallisuuksiin kuuluu olennaisesti KPI:den seuranta ja suorituskyvyn analysointi, järjestelmään voitaisiin myös lisätä tieto vaiheen suunnitellusta aloitus- ja valmistusajoista sekä kuormituksen yksikköajoista. Vaiheen valmistamisen yhteydessä toteutunutta vaiheaikaa voitaisiin siten verrata suunniteltuun yksikköaikaan. Toisaalta muiden tuotantolinjojen toiminnan, seurannan ja suorituskyvyn analysointiin liittyvien tarpeiden osalta voi syntyä tarve täysin erilliselle tuotannon seurantaikkunalle.

Tuotannon hienokuormitusta ja tuotteiden kustannuslaskentaa ohjataan vaihemallien pohjalta, niiden muuttaminen MES-käyttöön sopivaksi vaatii kuormituksen yksikköaikojen siirtämistä tehtäville. Mahdollisen järjestelmäkäytön laajentamisen ja vaihemallin muokkaamisen yhteydessä on siis syytä huomioida, että vastaavat yksikköajan arvot löytyvät vaiheiden konfiguroitavilta tehtäviltä. Tehtävillä toteutettava tarkempi yksikköaikalaskenta mahdollistaa tuotannon hienosuunnittelun, tuotteiden kustannuslaskennan ja tuotannon palkkiolaskennan tarkentumisen, sillä nykyiset kuorma-arvot perustuvat yleisimpien laitekonfiguraatioiden pyöristettyihin kokonaisaikoihin.

Myös MatFlow:n jatkokehittämisen avulla järjestelmäpohjainen keräily saataisiin toteutettua nopeammin ja tehokkaammin. Työntekijöiden palautteessa ehdotettiin keräilyrivien esivalinnan mahdollisuutta ja valittujen rivien yhteistä *keräille rivit* -toimintoa, jolla vältettäisiin käyttöliittymän elementtien aktivoinnista koitua käytön hitaus. Toisaalta myös viivakoodinlukutoiminnon jatkokehittämisellä voitaisiin nopeuttaa keräilyn toteuttamista. Mikäli nimikkeen viivakoodin lukeminen valitsisi keräilyrivin sarjanumerokirjattavaksi tai suoraan kerätyksi, rivien ja tietokenttien käyttöliittymän kautta toteutettavaa manuaalista valintaa ei tarvitsisi toteuttaa jokaisen keräiltävän nimikkeen kohdalla.

6.4 Tulosten analysoinnin yhteenveto

MES-implementointiprojekti sujui läheisessä yhteistyössä järjestelmän loppukäyttäjien kanssa, mikä oli edellytys parhaimpien käytäntöjen muodostamiselle ja käyttäjien hyväksynnän saamiselle. Tutkimustulosten pohjalta voidaan päätellä, että hyväksyntä myös saatiin. Täten tuloksilla voidaan todeta olevan myös tuotannon toiminnallisia vaikutuksia, sillä Lee et al. (2012a) mukaan pääkäyttäjien tyytyväisyys vaikuttaa suoraan tuotannon suorituskykyyn. Myös muut implementointiprojektin kriittiset tekijät täyttyivät. Kumppanuussuhde järjestelmätoimittajan kanssa muodostui koko tutkimuksen ajallisen toteuttamisen aikana läheiseksi kehitystarpeiden viestittämisen ja toteutettujen ratkaisuiden testaamisen parissa. Lisäksi läheiseen projektivastuuseen kuuluvat johdon tukihenkilöt olivat jatkuvasti tietoisia projektin etenemisestä. MES-järjestelmän kirjallisuuteen perustuvista ydintoiminnoista kehitystarvetta jäi kuitenkin vielä tuotannon KPI-arvojen mittaamiseen ja analysointiin.

Tutkimustulosten pohjalta MES-järjestelmä helpottaa työntekoa ja vähentää muistettavien asioiden määrää. Lisäksi järjestelmä yhtenäistää työnteon toteutustapoja, vähentää työntekoon vaadittavaa perehdytystarvetta, parantaa tuotannon läpinäkyvyyttä sekä mahdollistaa laitteiden tuotannosta ja testauksesta kerättävän jäljitystietodatan lisäämisen, tiedon ajankohtaisuuden ja jatkokäsittelyn. Järjestelmän avulla kerättävää jäljitystietodataa voidaan käyttää reaaliaikaiseen tuotannon suorituskyvyn analysointiin tai taikautuvasti asiakaspalautteiden käsittelyyn.

MES-järjestelmän tehokas ylläpito ja tehtävöohjeistuksen luominen tarvitsevat taustalle toimivat roolitukset, joka on esitetty *liitteessä E*. Tehtävöohjeistuksen muodostamisessa voidaan käyttää hyödyksi olemassa olevien työohjeita. Yrityksen valitsema strategia tuotteiden suuresta varioituvuuden määrästä heijastuu kuitenkin suoraan tuotannonohjausjärjestelmän hallinnan haasteisiin ja resurssitarpeisiin. Mikäli tietojärjestelmän sisältö

halutaan pitää ajankohtaisena ja käyttöä laajentaa, yritykseltä vaaditaan panostusta järjestelmän ylläpitotoimintoihin (Govindaraju & Putra 2016). Jos järjestelmäkäyttöä laajennetaan muille vaiheille tai tuotantolinjoille, yrityksessä on syytä pohtia lisäresurssien allokointia järjestelmän kehittämiseen, implementointiin sekä tehtävärakenteiden ja -ohjeiden ylläpitoon.

MatFlow-järjestelmä koettiin käyttötestien perusteella potentiaalisesti keräilyä ohjaavaksi järjestelmäksi, joka voisi korvata työkortin nimikelistan. Järjestelmän käyttöönotto vaatii kuitenkin vielä jatkokehitystä, jotta keräilyrivit ilmestyvät käyttöliittymään automaattisesti ja suodattavat työkorttiniemikemerkintöjen perusteella. Keräilyn järjestelmäpohjaista toteuttamista saataisiin lisäksi nopeutettua esitettyjen kehitysehdotuksien perusteella sekä lisäämällä viivakoodiluettavien sarjanumeroiden käyttöä kohdeyrityksen tuotteissa. Sarjanumerokirjauksien ja keräilyn nopeutuminen vähentäisi täten myös tuotetta jalostamatonta aikaa.

Kohdetietojärjestelmien käyttöä testattiin tutkimuksen aikana useilla laitteilla ja välineillä. MES-käytössä parhaimmiksi laitevaihtoehtoiksi todettiin 22-tuumainen tietokonenäyttö monipuolisella näyttövarrella, hiirellä ja näppäimistöllä, tai vaihtoehtoisesti kannettava tietokone, jonka saa tarvittaessa myös siirrettyä työnteon läheisyyteen. MatFlow-käytössä tabletti ja keräilykärryyn yhdistetty tablettiteline toimivat parhaiten.

Jos MES- ja MatFlow-järjestelmillä halutaan korvata täysin nykyiset tuotantoa ohjaavat toimenpiteet eli työkortti- ja tarkastuslomakkeet, se edellyttää tietojärjestelmätoimintojen jatkokehittämistä. Jatkokehitystarpeet esitetään yhteisesti *liitteessä H*. Toisaalta tuotteen toimitussisällön oikeellisuuden moninkertaisia tarkastuksia voitaisiin yhtenäistää MES-järjestelmään konfiguroituvilla tehtävillä, seurantatiedoilla, erillisellä materiaalivälilehdellä sekä kohdetietojärjestelmien yhteiskäyttöön perustuvalla ristiintarkastuksella. Työnteon helpottamisen ja nopeuttamisen kannalta samanaikaisesta useamman järjestelmän samanaikaisesta käytöstä olisi lisäksi syytä päästä eroon, mikä vaatii ERP:ssä tehtävien häiriökirjaus-, tulostamistoimintojen sekä sarjanumeroiden vaihto-, purku-, ja vapauttamistoimintojen viemistä MES:iin. Mikäli yrityksen lopullisena tavoitteena on täysin paperiton tuotanto, järjestelmäkäytön yhteyteen tarvitaan ennemmin tai myöhemmin myös sähköisen allekirjoituksen käyttöönotto.

7. PÄÄTELMÄT

7.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Tutkimuksen tavoitteina oli kohdetietojärjestelmien avulla toteutettava tuotannon työnteon helpottaminen ja varmistaminen kalustus- ja lopputestivaiheilla, tuotannon työntekijöiden aktiivinen osallistaminen kohdetietojärjestelmien implementointiin, sekä kohdetietojärjestelmien sisältötarpeen ja ylläpitomenettelyiden kartoitus. Tavoitteet pyrittiin saavuttamaan vastaamalla niiden avulla muodostettuihin tutkimuskysymyksiin.

Tutkimuskysymykset **K1** ja **K2** kysyvät, mitkä ovat tuotannon ohjaukselliset haasteet nykytilassa, ja miten kohdetietojärjestelmät vastaavat tuotannon työnteon ohjauksellisiin haasteisiin? Taulukossa 9 esitetään tutkimusaineiston pohjalta yhteisesti vastaukset näihin kahteen tutkimuskysymykseen.

Taulukko 9. Kohdetietojärjestelmien vastaavuus nykyisiin haasteisiin.

Haasteet	MES	MatFlow
Konfiguroituvan työnteon ohjaus.	<ul style="list-style-type: none"> - Yksityiskohtainen tehtävätason ohjeistus. - Järjestelmä tuo työkohtaisesti esiin pelkästään oleelliset tehtävöohjeet. - Kuitattavat seurantatiedot varmistavat tärkeiden työkohteiden toteuttamisen. - Järjestelmäkäytön kautta toteutettava työnteko yhtenäistää työnteon järjestyksen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Keräilyrivit esiintyvät vaihekohtaisesti. - Keräilyrivit jakautuvat selkeästi keräilyihin ja keräilyssä oleviin.
Tuotetta jalostamattoman ajan minimointi.	<ul style="list-style-type: none"> - Työntekoon vaadittavat järjestelmätoiminnot löytyvät yhdestä tietojärjestelmästä. - Käyttöliittymä on selkeä ja helppokäyttöinen. - Ohjeiden löytyminen helpottuu, kun järjestelmä tuo työkohtaisesti esiin pelkästään oleelliset tehtävöohjeet. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vaihekohtaiset keräilyrivit näkyvät yhdessä näkyvässä. - Sarjanumerot voidaan kirjata keräilyyn yhteydessä viivakoodien avulla.
Ohjeistusmuutoksien mukainen työnteon varmistaminen.	<ul style="list-style-type: none"> - Ohjeistusmuutokset päivittyvät suoraan järjestelmään nähtäväksi. - Tehtävien kuitattavat seurantatiedot varmistavat tärkeiden työkohteiden toteuttamisen. - Muutoslokin käyttöönotto mahdollistaisi muutuneen sisällön esiin nostamisen käyttäjäkohtaisesti. 	
Työohjeiden luonti ja ylläpito.	<ul style="list-style-type: none"> - Pilkotut ohjeet voidaan luoda, kopioida ja revisioida suoraan tietojärjestelmässä. - Tehtäväelementtien hyödyntäminen poistaa tarpeen ohjeistustekstin sisäisille ristiviittauksille. - Selkeät tukitiimin roolijaot mahdollistavat ohjeistuksen ylläpitotoimintojen jakamisen. 	

Kohdetietojärjestelmän lopullisiin hyötyihin vaikuttavat kuitenkin oleellisesti se, miten tutkimuksessa esitettyihin kehitys- tai resurssitarpeisiin vastataan. Mikäli niihin ei reagoi,

havaitut puutteet voivat johtaa järjestelmän ylläpidon kuormittumiseen ja tuotetta jalostamattoman ajan kasvuun.

Tutkimuskysymys **K3** kysyi: *Mitä tulee huomioida kohdetietojärjestelmien käyttöön-otossa?* Aihepiirin laajuuden vuoksi tutkimuksen toteutuksen aikana nousi useita huomioitavia asioita esiin. Tutkija valitsi tukitiimin osallisten kanssa tutkimustavoitteiden perusteella keskeisimmiksi asioiksi tuotannon pääkäyttäjien aktiivisen osallistamisen, kohdetietojärjestelmien käytettävyyden ja laitevalintojen optimoinnin, työn tehtävätason ohjeistussisällön luomis- ja ylläpitokäytäntöjen muodostamisen sekä perehdytyskäytäntöjen tarkastelun. Mainittujen aihepiirien osalta tietojärjestelmien sisältöä, käytettävyyttä ja käytön laitevalintoja analysoitiin läheisessä yhteistyössä tuotannon työntekijöiden kanssa. *Liitteessä F* esitetään kuvakaappaus yhteistyön kautta muodostetusta MES-järjestelmän tehtävätason ohjeistussisällöstä, joka otettiin tuotannossa käyttöön kaikkien lopputuotteiden osalta sähköturvallisuus- ja lopputestivaiheissa. Myös tehtävätason ohjeistuksen luomis- ja ylläpitokäytännöille muodostettiin *liitteessä D* nähtävillä oleva tyyliopas sekä *liitteestä E* löytyvä ehdotus tukitiimin roolijaoista. Lisäksi *liitteissä H ja I* tuodaan esiin tehtäväohjeistuksen ja järjestelmäkäytön optimoinnin pohjalta muotoutuneet yleisohjeistus- ja perehdytystarpeet sekä kohdetietojärjestelmien kehitystarpeet.

Viimeisen tutkimuskysymyksen **K4** avulla selvitettiin mahdollisuutta korvata nykyiset työntekoa ohjaavat menetelmät kohdetietojärjestelmillä. Tutkimustulosten pohjalta voidaan todeta, että vastaus riippuu pääosin järjestelmien ylläpitoon ja jatkokehittämiseen allokoiduista resursseista. Vaikka tutkimuksen aikana kehitetty tehtävätason ohjaussisältö muodostettiin mahdollisimman hyvin ylläpidettäväksi, sisällön käytettävyyden ristiinriittaiset tarpeet sekä järjestelmän revisiointi- ja hyväksyntäkuvioiden keskeneräisyys muodostavat kuitenkin haasteen ylläpidon tehokkuudelle. MES-järjestelmäkäytön jatkamiselle yksikössä esitetään kolme vaihtoehtoa:

1. MES-käyttö ja -sisältö pidetään nykyisellä tasolla tuotantolinjan sähköturva- ja lopputestausvaiheilla. Tämä on mahdollista toteuttaa olemassa olevilla resursseilla, mutta vaatii tutkimuksessa esitetyn MES-ylläpidon roolien toimeenpanon.
2. MES-käyttöä ja -sisältöä laajennetaan muihin tuotantolinjan vaiheisiin tai tuotantolinjoihin, jolloin järjestelmän kehittäminen ja sisällön luominen vaativat lisäresursseja.
3. MES-käyttöä ja -sisältöä laajennetaan, mutta resursseja ei lisätä. Tällöin tuotannon tukitiimin nykyiset työnkuvat ja työtehtävät tulee priorisoida uudelleen, jotta järjestelmäs sisältö pysyy ajankohtaisena ja ylläpidettävissä.

Mikäli kohdetietojärjestelmien käyttöä halutaan laajentaa tuotantolinjan kaikille vaiheille ja muille lopputuotteille, niiden jatkokehittämiseen, implementointiin, ja ylläpitoon tarvitaan lisäresursseja. Kuten Senvar & Akkartal (2018) toteavat, teollisuuden muutoksessa

mukana pysyminen vaatii investointeja sekä ajankohtaista osaamista uusien teknologia-ratkaisujen ja järjestelmien käytöstä. Tutkimus antaa kuitenkin hyvät lähtökohdat kohdetietojärjestelmien käyttöönoton laajentamiselle. Tällöin tavoitteen toteutumisen esteeksi voivat muodostua ainoastaan puutteelliset henkilöstöresurssit tai tuotannon- ja ERP-tutkitiimin väliset vajavaiset yhteistyökuviot.

7.2 Tutkimuksen rajoitteet ja tavoitteiden toteutuminen

Tutkimuksen toteutuksen arvioinnin osalta voidaan todeta, että kaikkiin tutkimuskysymyksiin saatiin vastattua. Täten tutkimustavoitteet tulivat pääosin täytettyä, vaikka kohdetietojärjestelmiä ei saatu tuotantokäyttöön tuotantolinjan kalustusvaiheella. Käyttöönoton esteenä olivat tietojärjestelmien toiminnalliset kehitystarpeet, joita ei saatu ratkaistua tutkimuksen aikarajoitteiden puitteissa. Lomakepohjaisen loppukyselyn tulosten pohjalta käy selväksi, että MES-järjestelmä on helpottanut työntekoa lopputestivaiheella. Kukaan vaiheen työntekijöistä ei palaisi järjestelmäkäyttöä edeltäneen tarkastuslomakkeen käyttöön. Lisäksi kaikki kysymykseen vastanneet kokivat, että he olivat päässeet osallistumaan riittävästi MES-käytön ja -sisällön suunnitteluun.

Tutkimustulosten luotettavuuden näkökulmasta MES-järjestelmän sisällön ja käytettävyyden tuloksia voidaan pitää hyvänä erityisesti lopputestivaiheella. Tulosten *reliabiliteettia* parantaa se, että vaiheen parissa toteutettu järjestelmän käytettävyyden ja järjestelmäsivallön suunnittelu toteutettiin useiden kehityssyklariden ja haastattelukertojen avulla. (Ovaska et al. 2005) Lomakepohjaisen loppukyselyn tuloksia voidaan myös pitää luotettavina, sillä kokonaisvastausprosentti oli 87,5% kaikista lopputestaajista. Lisäksi toteutetun ryhmähaastattelun ja loppukyselyn kysymysrakenne ja yksittäiset kysymykset suunniteltiin huolella reliabiliteetin ja *validiteetin* maksimoimisen näkökulmasta. Vaikka tutkimustulosten reliabiliteettia ja objektiivisuutta heikentää tutkijan aikaisempi kokemushistoria aiheen parissa, tutkimusfilosofiaksi valittu *pragmaattinen* lähestymistapa hyväksyy erilaisten datalähteiden käytön ja subjektiivisten näkemysten olemassaolon, jotta tutkimuskysymyksiin saadaan parhaimmat vastaukset. (Saunders et al. 2009)

Tutkimuksen aihepiiri ja tavoitteet olivat kohdeyrityksen tarpeiden pohjalta melko laajat. Siksi tutkimuksen toteutus olisi saattanut hyötyä nykyistä paremmasta sisällön ja aineiston rajauksesta. Vaikka Ovaskan et al. (2005) mukaan pieni otantamäärä ei ole käytettävyyden arvioinnissa ongelma, kalustusvaiheen parissa kerättyjen kohdetietojärjestelmien käytön tulosten reliabiliteettia heikentävät osallistettujen työntekijöiden pieni otoskoko. Täten myös MatFlow-järjestelmäkäytön tutkimustuloksia on syytä tarkastella kriittisesti. Toisaalta tutkimuksen pääpaino oli MES-järjestelmän implementoinnissa, jonka

käyttöä voitiin analysoida parhaiten lopputestivaiheella tutkimuksen aikarajoitteiden, tietojärjestelmien toiminnallisten rajoitteiden sekä yksityiskohtaisen ohjeistusmateriaalin olemassaolon pohjalta.

Vaikka tutkimuksen aihepiiri oli sidottu tiukasti kohdeyrityksen spesifiin toimintaympäristöön ja tietojärjestelmään, mikä heikentää tulosten yleistettävyyttä eli ulkoista valideettia, tutkimuksella voidaan kuitenkin todeta olevan myös tieteellistä merkitystä. Tutkimustulokset vahvistavat käsitystä siitä, että tietojärjestelmän pääkäyttäjien informointi ja osallistaminen implementointiprosessiin on tärkeää, jotta järjestelmä koetaan hyödylliseksi. Täten osallistaminen lisää myös käyttäjien sitoutuneisuutta tietojärjestelmien jatkokäyttöön. Lisäksi *toiminnallisen design-tutkimusstrategian* soveltamisesta sekä MES-järjestelmän käyttöönotosta ja sisällön jatkokehittämisestä ATO-tuotannossa löytyy toistaiseksi vielä hyvin vähän kirjallisuutta. Siksi tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää hyödyksi aiheeseen liittyvissä jatkotutkimuksissa. Toistettavuuden näkökulmasta toista samanlaista toimintaympäristöä ja tietojärjestelmähierarkiaa on kuitenkin vaikeaa löytää.

7.3 Jatkotutkimusehdotukset

Tutkimuksen aikana havaittiin useita jatkoselvitystä kaipaavia aihepiirejä. Kirjallisuuskatsauksen pohjalta MES-järjestelmän ydintoimintoihin kuuluu KPI-arvojen mittaaminen ja analysointi, joka jäi toistaiseksi kohdeyrityksen järjestelmätoiminnoissa vähäiseksi (Anisimov & Reshetnikov 2011, SFS-EN 62264-3:2017). Myös tuotantoprosessin tilastollinen hallinta eli SPC liittyy olennaisesti MESA:n (1997) esittämiin tuotannonohjausjärjestelmän laadunhallinnan ja suorituskyvyn analysoinnin kokonaisuuksiin. Koska järjestelmän kautta kerätään huomattava määrä tuotantodataa, sitä voitaisiin myös hyödyntää tuotannon suorituskyvyn ja laaduntuottokyvyn analysointiin nykyistä paremmin. Tällöin tuotantolinja-, vaihe- tai jopa tehtäväkohtaista suorituskykyä voitaisiin analysoida tuotannon tukitiimin päivittäisjohtamisen lisäksi työntekijän oman suorituskyvyn arvioinnissa.

Lee et al. (2012a) mukaan MES-järjestelmän hyötyjen realisoitumiseen menee käytännön esimerkkien mukaan aikaa noin vuosi. Koska kohdeyrityksen MES-järjestelmä on ollut käytössä noin kahden vuoden ajan, järjestelmähyötyjen tulisi jo olla näkyvissä. Vaikka tutkimustulosten pohjalta järjestelmä helpottaa työntekoa, ja pääkäyttäjien tyytyväisyys vaikuttaa positiivisesti organisaatioon sekä tuotannon suorituskykyyn, toteutuneita hyötyjä ei kuitenkaan tarkasteltu kvantitatiivisten suureiden pohjalta (DeLone & McLean 1992, Lee et al. 2012a). MES-järjestelmän yleisiin hyötyihin kuuluvat tuotannon läpimenoajan, datan kirjaamiseen kuluvan ajan, keskeneräisen tuotannon, toimitusajan ja tuotevikojen väheneminen, joiden toteutumista voitaisiin analysoida tarkemmin (MESA

1997). Tulokset antaisivat suuntaa MES-järjestelmäinvestoinnin kannattavuudelle, takaisinmaksuajalle sekä yleisesti MES-järjestelmän tuotantotyyppisidonnaisille hyödyille.

Kohdeyrityksen kalustusvaiheen nykytila-analyysin havaintojen sekä MatFlow-testikäytön palautteiden perusteella linjalle keräilyyn menetelmiin liittyy paljon kehittämismahdollisuuksia, joilla voitaisiin vähentää keräilyyn ja dokumentointiin kuluva arvoa tuottamattomaa aikaa, parantaa tuotannon virtausta sekä varmistaa jäljitystietojen oikeellisuus. Tunnistetut kehittämismahdollisuudet liittyvät settikeräilyyn käytettävyyden parantamiseen, tuplakirjauskäytäntöjen poistamiseen, sarjanumeroiden viivakoodiluettavuuteen sekä työn aloituskelpoisuustarkastelun käyttöönottoon.

LÄHTEET

- Al-Jaroodi, J., Mohamed, N. & Jawhar, I. 2018, "A Service-oriented Middleware Framework for Manufacturing Industry 4.0", *SIGBED Review*, vol. 15, no. 5, pp. 29-36.
- Altaf, M.S., Bouferguene, A., Liu, H., Al-Hussein, M. & Yu, H. 2018, "Integrated production planning and control system for a panelized home prefabrication facility using simulation and RFID", *Automation in Construction*, vol. 85, pp. 369-383.
- Anisimov, D.E. & Reshetnikov, I.S. 2011, "Management aspects in MES implementation projects", *Automation and Remote Control*, vol. 72, no. 6, pp. 1319.
- Arica, E. & Powell, D.J. 2014, "A framework for ICT-enabled real-time production planning and control", *Advances in Manufacturing*, vol. 2, no. 2, pp. 158-164.
- Atan, Z., Ahmadi, T., Stegehuis, C., Kok, T.d. & Adan, I. 2017, "Assemble-to-order systems: A review", *European Journal of Operational Research*, vol. 261, no. 3, pp. 866-879.
- Balashov, V.M., Batkovskiy, A.M., Semenova, E.G., Valeriy Ya Trofimets & Fomina, A.V. 2018, "Improvement of operational management of innovative production processes based on the implementation of MES", *Problems and Perspectives in Management*, vol. 16, no. 4, pp. 1-12.
- Benbasat, I., Goldstein, D.K. & Mead, M. 1987, "The Case Research Strategy in Studies of Information Systems", *MIS Quarterly*, vol. 11, no. 3, pp. 369-386.
- Bendul, J.C. & Blunck, H. 2019, "The design space of production planning and control for industry 4.0", *Computers in Industry*, vol. 105, pp. 260-272.
- Bhattacharjee, A. 2001, "Understanding information systems continuance: An expectation-confirmation model", *MIS Quarterly*, vol. 25, no. 3, pp. 351-370.
- Brade, J., Lorenz, M., Klimant, P., Pürzel, F. & Putz, M. 2016, "Virtual Reality for Industrial Application - The Influence of Presence and its Relation to Usability and User Experience", *Advanced Materials Research*, vol. 1140, pp. 537-544.
- Charfi, S., Trabelsi, A., Ezzedine, H. & Kolski, C. 2014, "Widgets Dedicated to User Interface Evaluation", *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 30, no. 5, pp. 408-421.
- Cichos, D. & Aurich, J.C. 2016, "Support of Engineering Changes in Manufacturing Systems by Production Planning and Control Methods", *Procedia CIRP*, vol. 41, pp. 165-170.
- Cottyn, J., Van Landeghem, H., Stockman, K. & Derammelaere, S. 2011, "A method to align a manufacturing execution system with Lean objectives", *International Journal of Production Research*, vol. 49, no. 14, pp. 4397-4413.
- D'Antonio, G., Sauza Bedolla, J., Rustamov, A., Lombardi, F. & Chiabert, P. 2016, "The Role of Manufacturing Execution Systems in Supporting Lean Manufacturing", *Product*

- Lifecycle Management for Digital Transformation of Industries*, eds. R. Harik, L. Rivest, A. Bernard, B. Eynard & A. Bouras, Springer International Publishing, Cham, pp. 206.
- Davis, F. 1985, *A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems*, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.
- DeLone, W.H. & McLean, E.R. 1992, "Information Systems Success: The Quest for the Dependent Variable", *Information Systems Research*, vol. 3, no. 1, pp. 60-95.
- Díez, E. & McIntosh, B.S. 2009, "A review of the factors which influence the use and usefulness of information systems", *Environmental Modelling & Software*, vol. 24, no. 5, pp. 588-602.
- Edwards, C. & Willis, J.W. 2014, *Action Research: Models, Methods, and Examples*, Information Age Publishing, Charlotte, NC.
- Elliott, J. 1991, *Action research for educational change*, Open University Press, Milton Keynes.
- Elragal, A. & Haddara, M. 2012, "The Future of ERP Systems: look backward before moving forward", *Procedia Technology*, vol. 5, pp. 21-30.
- Faccio, M. 2014, "The impact of production mix variations and models varieties on the parts-feeding policy selection in a JIT assembly system", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 72, no. 1, pp. 543-560.
- Fei, L. 2010, "Manufacturing execution system design and implementation", *International Conference on Computer Engineering and Technology*, pp. 559.
- Fleischmann, B. & Meyr, H. 2003, "Planning Hierarchy, Modeling and Advanced Planning Systems", *Handbooks in Operations Research and Management Science*, vol. 11, pp. 455-523.
- Gligor, D.M., Esmark, C.L. & Holcomb, M.C. 2015, *Performance outcomes of supply chain agility: When should you be agile?*.
- Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A. & Váncza, J. 2019, "Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems", *CIRP Annals*, vol. 68, no. 1, pp. 471-474.
- Govindaraju, R. & Putra, K. 2016, "A methodology for Manufacturing Execution Systems (MES) implementation", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 114, pp. 12094.
- Hevner, A.R. 2007, "A Three Cycle View of Design Science Research", *Scandinavian journal of information systems*, vol. 19, no. 2, pp. 87-92.
- Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P. & Sinivuori, E. 2009, *Tutki ja kirjoita*, 15. uud. p. edn, Tammi, Helsinki.

Iaroyi, S., Mohammed, W.M., Lobov, A., Ferrer, B.R. & Lastra, J.L.M. 2016, "Cyber-Physical Systems for Open-Knowledge-Driven Manufacturing Execution Systems", *Proceedings of the IEEE*, vol. 104, no. 5, pp. 1142-1154.

Iivari, J. 2007, "A Paradigmatic Analysis of Information Systems As a Design Science", *Scandinavian journal of information systems*, vol. 19, no. 2, pp. 39-64.

ISA-95.00.01-2000 *Enterprise-Control System Integration - Part 1: Models and Terminology*, International Society of Automation (ISA), 2000.

ISO/IEC 25010:2011 *Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models*, ISO Copyright Office, Geneva, 2011.

Itskovich, E.L. 2013, "Fundamentals of Design and Operation of Manufacturing Executive Systems (MES) in Large Plants", *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, no. 9, pp. 313-318.

Järvinen, P. & Järvinen, A. 2011, *Tutkimustyön metodeista*, [uud. p.] edn, Opinpajan kirja, Tampere.

Jiang, P., Zhang, C., Leng, J. & Zhang, J. 2015, "Implementing a WebAPP-based Software Framework for Manufacturing Execution Systems", *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 3, pp. 388-393.

Ke, P. & Su, F. 2018, "Mediating effects of user experience usability: An empirical study on mobile library application in China", *The Electronic Library*, vol. 36, no. 5, pp. 892-909.

Knight, J. & Lamb, S. 2006, *Selecting and Using a Manufacturing Execution System*. Saatavissa: <https://www.mddionline.com/selecting-and-using-manufacturing-execution-system> [2019, 20.5.].

Knijnenburg, B.P., Willemsen, M.C., Gantner, Z., Soncu, H. & Newell, C. 2012, "Explaining the user experience of recommender systems", *User Modeling and User-Adapted Interaction*, vol. 22, no. 4-5, pp. 441-504.

Koskinen, I.K. 2011, *Design Research Through Practice: From the Lab, Field, and Showroom*, Morgan Kaufmann, Waltham, MA.

Laudon, K.C. & Laudon, J.P. 2013, *Management information systems: managing the digital firm*, 13. ed edn, Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Lee, S.M., Hong, S.G., Katerattanakul, P. & Kim, N.R. 2012, "Successful implementations of MES in Korean manufacturing SMEs: an empirical study", *International Journal of Production Research*, vol. 50, no. 7, pp. 1942-1954.

Lee, S., Nam, S.J. & Lee, J. 2012, "Real-time data acquisition system and HMI for MES", *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 26, no. 8, pp. 2381-2388.

- Lew, P., Olsina, L. & Zhang, L. 2010, "Quality, Quality in Use, Actual Usability and User Experience as Key Drivers for Web Application Evaluation", *Web Engineering*, eds. B. Benatallah, F. Casati, G. Kappel & G. Rossi, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 218.
- Li, X., Gao, L., Zhang, C. & Shao, X. 2010, "A review on Integrated Process Planning and Scheduling", *International Journal of Manufacturing Research*, vol. 5, no. 2, pp. 161-180.
- Liao, C., Palvia, P. & Chen, J. 2009, "Information technology adoption behavior life cycle: Toward a Technology Continuance Theory (TCT)", *International Journal of Information Management*, vol. 29, no. 4, pp. 309-320.
- Mantravadi, S. & Møller, C. 2019, "An Overview of Next-generation Manufacturing Execution Systems: How important is MES for Industry 4.0?", *Procedia Manufacturing*, vol. 30, pp. 588-595.
- Markus, M.L. & Ji-Ye Mao 2004, "Participation in Development and Implementation - Updating An Old, Tired Concept for Today's IS Contexts", *Journal of the Association for Information Systems*, vol. 5, no. 11, pp. 514-544.
- McKay, K.N. & Wiers, V.C.S. 2003, "Planning, scheduling and dispatching tasks in production control", *Cognition, Technology & Work*, vol. 5, no. 2, pp. 82-93.
- McKenney, S. & van den Akker, J. 2005, "Computer-based support for curriculum designers: A case of developmental research", *Educational Technology Research and Development*, vol. 53, no. 2, pp. 41-66.
- Mehrabi, M.G., Ulsoy, A.G. & Koren, Y. 2000, "Reconfigurable manufacturing systems: Key to future manufacturing", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 11, no. 4, pp. 403-419.
- Mehrjerdi, Y.Z. 2013, "A framework for Six-Sigma driven RFID-enabled supply chain systems", *Int J Qual & Reliability Mgmt*, vol. 30, no. 2, pp. 142-160.
- Menezes, S., Creado, S. & Zhong, R.Y. 2018, "Smart Manufacturing Execution Systems for Small and Medium-sized Enterprises", *Procedia CIRP*, vol. 72, pp. 1009-1014.
- MESA 1997, *MES Explained: A High Level Vision*, MESA International, MESA International - White paper number 6.
- Meyer, H., Fuchs, F. & Thiel, K. 2009, *Manufacturing Execution Systems (MES): Optimal Design, Planning, and Deployment*, McGraw-Hill Professional, US.
- Meyr, H., Wagner, M. & Rohde, J. 2008, "Structure of Advanced Planning Systems" in *Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software, and Case Studies*, eds. H. Stadtler & C. Kilger, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 109-115.
- Molina, A. & Santaella, A.R. 2006, "Achieving e-Manufacturing: multihead control and web technology for the implementation of a manufacturing execution system", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 17, no. 6, pp. 715-724.

Morel, G., Valckenaers, P., Faure, J., Pereira, C.E. & Diedrich, C. 2007, "Manufacturing plant control challenges and issues", *Control Engineering Practice*, vol. 15, no. 11, pp. 1321-1331.

Naedele, M., Chen, H., Kazman, R., Cai, Y., Xiao, L. & Silva, C.V.A. 2015, "Manufacturing execution systems: A vision for managing software development", *Journal of Systems and Software*, vol. 101, pp. 59-68.

Nordic Council of Ministers 2015, *Digitalisation and Automation in the Nordic Manufacturing Sector: Status, Potentials and Barriers*, Nordic Council of Ministers, Copenhagen.

Ochs, T. & Riemann, U. 2018, "Smart Manufacturing in the Internet of Things Era" in *Internet of Things and Big Data Analytics Toward Next-Generation Intelligence*, eds. N. Dey, A.E. Hassanien, C. Bhatt, A.S. Ashour & S.C. Satapathy, Springer International Publishing, Cham, pp. 199-217.

Olhager, J. 2003, "Strategic positioning of the order penetration point", *International Journal of Production Economics*, vol. 85, no. 3, pp. 319-329.

Olhager, J. & Selldin, E. 2007, "Manufacturing planning and control approaches: market alignment and performance", *International Journal of Production Research*, vol. 45, no. 6, pp. 1469-1484.

Oliver, R.L. 1980, "A Cognitive Model of the Antecedents and Consequences of Satisfaction Decisions", *JMR, Journal of Marketing Research*, vol. 17, no. 4, pp. 460.

Ovaska, S., Ovaska, S., Aula, A. & Majaranta, P. 2005, *Käytettävyytutkimuksen menetelmät*, Tampereen yliopisto, tietojenkäsittelytieteiden laitos, Tampere.

Paquette, P. & Frankl, M. 2015, *Agile Project Management for Business Transformation Success*, Business Expert Press, New York.

Pedroli, E., Greci, L., Colombo, D., Serino, S., Cipresso, P., Arlati, S., Mondellini, M., Boilini, L., Giussani, V., Goulene, K., Agostoni, M., Sacco, M., Stramba-Badiale, M., Riva, G. & Gaggioli, A. 2018, "Characteristics, Usability, and Users Experience of a System Combining Cognitive and Physical Therapy in a Virtual Environment: Positive Bike", *Sensors*, vol. 18, no. 7, pp. 2343.

Planmeca 2017, *Planmeca – Better care through innovation*. Saatavissa: <https://www.planmeca.com> [2019, 11.7.].

Porter, K., Little, D., Peck, M. & Rollins, R. 1999, "Manufacturing classifications: relationships with production control systems: IMS IMS", *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 10, no. 4, pp. 189-198.

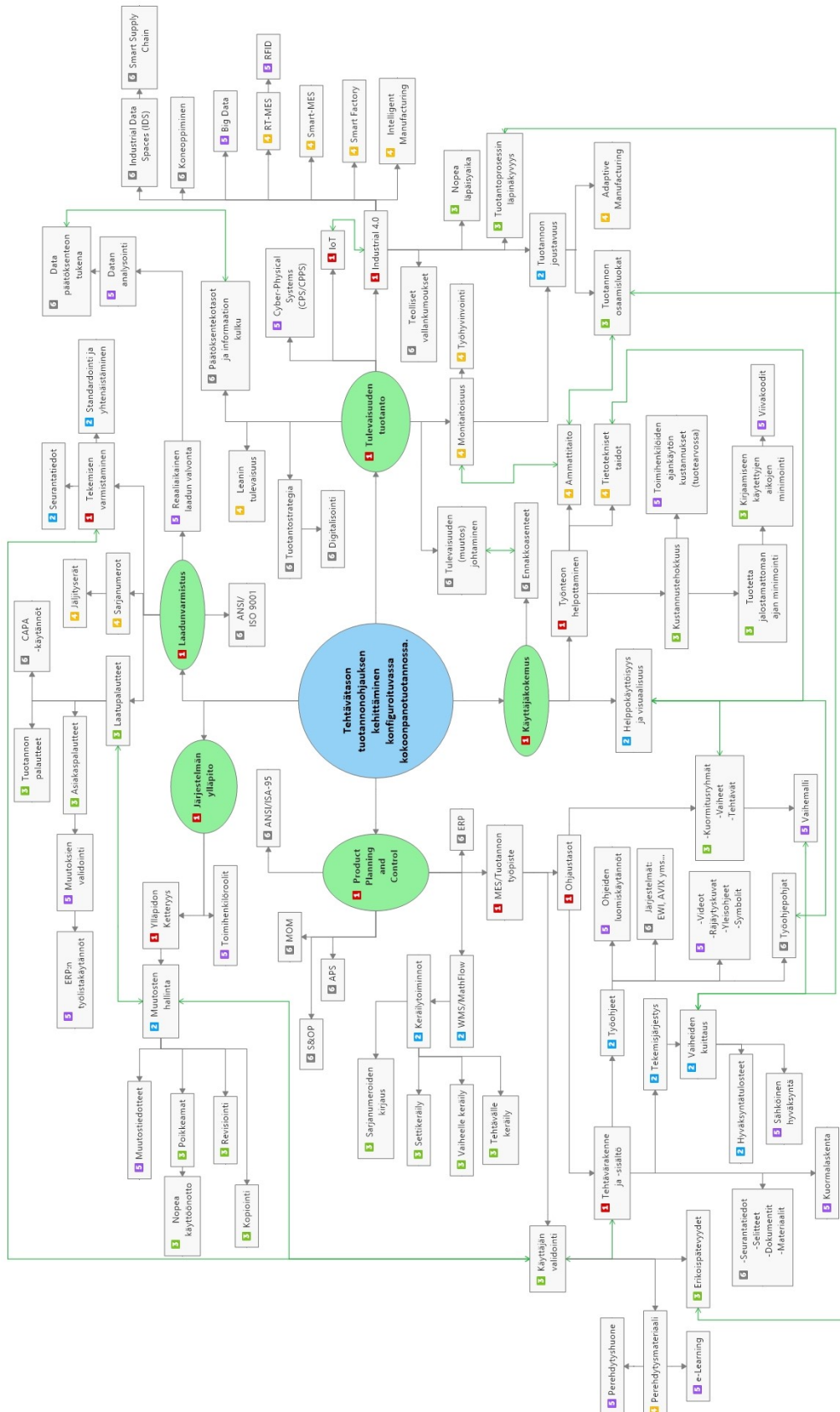
Rubin, J. & Chisnell, D. 2008, *Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests*, Wiley, Indianapolis, IN.

Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A. 2009, *Research methods for business students*, 5th ed edn, Prentice Hall, Harlow.

- Scholten, B. 2010, "Implementing MES boosts profits", *INTECH*, vol. 57, no. 2, pp. 28-32.
- Scholten, B. 2009, *MES Guide for Executives: Why and How to Select, Implement, and Maintain a Manufacturing Execution System*, International Society of Automation, Saatavissa: www.isa.org.
- Sein, M.K., Henfridsson, O., Purao, S., Rossi, M. & Lindgren, R. 2011, "Action Design Research", *MIS Quarterly*, vol. 35, no. 1, pp. 37-56.
- Seitz, K. & Nyhuis, P. 2015, "Cyber-Physical Production Systems Combined with Logistic Models – A Learning Factory Concept for an Improved Production Planning and Control", *The 5th Conference on Learning Factories 2015* Elsevier B.V., , pp. 92.
- Senvar, O. & Akkartal, E. 2018, "An Overview to Industry 4.0", *International Journal of Information, Business and Management*, vol. 10, no. 4, pp. 50-57.
- SFS-EN 62264-3:2017 *Enterprise-control system integration. Part 3: Activity models of manufacturing operations management (IEC 62264-3:2016)*, SESKO Standardization in Finland, Saatavissa: www.sfs.fi, 2017.
- Shewei, W., Haicheng, Y. & Rong, M. 2011, "Research and Design of Assembly Manufacturing Execution System for Aero-engine", *Digital Manufacturing and Automation (ICDMA)*, pp. 911.
- Simão, J.M., Stadzisz, P.C. & Morel, G. 2006, "Manufacturing execution systems for customized production", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 179, no. 1, pp. 268-275.
- Somekh, B. 2005, *Action Research: A Methodology for Change and Development*, McGraw-Hill Education, Berkshire.
- Ssemugabi, S. & de Villiers, M.R. 2016, "Make Your Choice: Dimensionality of an Open Integrated Conceptual Model for Evaluating E-Service Quality, Usability and User Experience (e-SQUUX) of Web-Based Applications", *Proceedings of the Annual Conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists* ACM, New York, NY, USA, pp. 10.
- Swanton, B. & Smith, A. 2005, "MES for long-term revenue and market benefits", *AMR Research*, pp. 52-56.
- Tao, W., Zhang, L.P. & Sang, H.Y. 2012, "A SOA-Based Reconfigurable Manufacturing Execution System for a Tools Workshop", *Applied Mechanics and Materials*, vol. 145, pp. 499.
- Tavares Thomé, A.M., Scavarda, L.F., Fernandez, N.S. & Scavarda, A.J. 2012, "Sales and operations planning: A research synthesis", *International Journal of Production Economics*, vol. 138, no. 1, pp. 1-13.

- Tenhiälä, A. & Helkiö, P. 2015, "Performance effects of using an ERP system for manufacturing planning and control under dynamic market requirements", *Journal of Operations Management*, vol. 36, pp. 147-164.
- Tiainen, T., Aittoniemi, J., Haukijärvi, I. & Yli-Karhu, T. 2015, *Toimintatutkimus tietojenkäsittelytieteen tutkimuksessa*, Tampereen yliopisto.
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2018, *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*, Uudistettu laitos edn, Tammi, Helsinki.
- van den Akker, J., Bannan, B., Kelly, A.E., Nieveen, N. & Plomp, T. 2013, *Educational Design*, Netherlands Institute for Curriculum Development (SLO).
- Vidoni, M.C. & Vecchiotti, A.R. 2015, "A systemic approach to define and characterize Advanced Planning Systems (APS)", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 90, pp. 326-338.
- Vinhais, J. 2004, "MES Reduces FDA Compliance Costs", *Quality*, vol. 43, no. 2, pp. 38-41.
- Vogel, T., Almada-Lobo, B. & Almeder, C. 2017, "Integrated versus hierarchical approach to aggregate production planning and master production scheduling", *OR Spectrum*, vol. 39, no. 1, pp. 193-229.
- Vollmann, T.E., Vollmann, T.E., Berry, W.L., Whybark, D.C. & Jacobs, F.R. 2005, *Manufacturing planning and control for supply chain management*, 5th ed edn, McGraw-Hill, Boston.
- Wang, L. & Lin, S. 2009, "A multi-agent based agile manufacturing planning and control system", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 57, no. 2, pp. 620-640.
- Wood, J. 2016, "Minimize The Pain, Maximize The Gain Of Implementing An MES", *Industrial Maintenance & Plant Operation*, pp. n/a.
- Zhou, L., Chong, A.Y.L. & Ngai, E.W.T. 2015, "Supply chain management in the era of the internet of things", *International Journal of Production Economics*, vol. 159, pp. 1-3.

LIITE A: TUTKIMUSSISÄLLÖN PRIORISOINTI



LIITE B: RYHMÄHAASTATTELUN VÄLIKYSYMYKSET

Aloituskysymys

- Miten työnteko on sujunut?

Pääkysymykset

- Mitä mieltä olette uudesta portaaliversiosta?
 - a. Mitkä asiat ovat vaikeutuneet, mitkä helpottuneet?
- Minkälainen on valmistusportaaliin muodostettu tehtäväsisältö?
 - a. Minkälainen on sisällön käytettävyys ja selkeys?
 - b. Onko sisältö helpottanut tai auttanut työnteossa?
 - c. Miten sisältöä voisi kehittää (katso apukysymykset)?
- Mikä olisi paras tapa tuoda työhöjeita näkyviin (kuva/teksti/video/joku muu)?
 - a. Minkälaista sisältöä kaipaisitte portaaliin lisää?
- Voisiko valmistusportaalin käytön tai sisällön muutoksista tiedottaa paremmin, miten?

Apukysymykset

- Onko tehtäväryhmien määrä sopiva, liian tarkka vai liian epätarkka?
- Onko tehtävärivien määrä sopiva, liian tarkka vai liian epätarkka?
- Onko tehtäväkohtaisen ohjeen pituus sopiva, liian pitkä vai liian lyhyt?
- Onko klikattavia seurantatietorivejä sopivasti, liian vähän vai liikaa?

Lopetus

- Luodaan M-levylle yhteinen palautelomake järjestelmän nykyisen sisällön virheille, puutteille ja vapaalle palautteelle.
- Haluatteko antaa vielä jotain palautetta?
- Onko jäänyt kysyttävää?

LIITE C: LOMAKEPOHJAINEN LOPPUKYSELY

Aloituskysymys

1. Mikä on toimenkuvasi ja työkokemuksesi nykyisessä roolissa?

Pääkysymykset

2. Onko Valmistusportaali/MES helpottanut työntekoasi?
 - a. Jos on, niin miten?
3. Palaisitko takaisin lopputarkastuslomakkeen käyttöön?
 - a. Jos palaisit, niin miksi?
4. Onko Valmistusportaalin/MES-ohjeistussisältö riittävän yksityiskohtainen vai jopa liian yksityiskohtainen?
5. Miten Valmistusportaalin/MES-toimintaa voisi vielä parantaa tai kehittää?

Lopetus

6. Oletko kokenut voivasi vaikuttaa riittävästi Valmistusportaalin/MES-käytön ja sisällön suunnitteluun?

LIITE D: MES-TYYLIOPAS


Elementti	Käyttötarkoitus ja luomiskäytännöt
Tehtäväryhmä	<ul style="list-style-type: none"> • Tehtävät yhteen sitova olio, joka kuvaa yhteisesti ryhmän sisällä tilauskohtaisesti esiintyviä tehtäviä. • Nimi voidaan asettaa työn konfiguraation mukaan muuttumaan ryhmän sisällä esiintyvien tehtävien mukaan <i>Tehtäväryhmän poikkeava nimi</i> -tietokentällä. • Tehtäväryhmälle tulee myös antaa omat konfigurointiehdot, mikäli on mahdollista, että laitekonfiguraatioon ei tule yhtään ryhmän alaisia tehtäviä.
Tehtävrivi	<ul style="list-style-type: none"> • Tehtävrivi sisältää työn vakio tehtävään liittyvät tiedot ja ohjeistuksen. • Jokainen tehtävrivi tulee näkyviin tilauskohtaisesti, mutta tehtävän sisältö ei enää konfiguroidu. • Rivi nimetään mahdollisimman kuvaavasti tehtäväsisällön mukaan niin, että siitä käy ammattitaitoiselle työntekijälle lyhyesti ilmi toteutettava kokonaisuus.
Tehtävän tietokenttä	<ul style="list-style-type: none"> • Tehtävän tietokenttä toimii tehtävän tekstipohjaisena ohjeistuselementtinä. • Kenttään kirjoitetaan yksityiskohtaisempi ohjeistus suoritettavasta työtehtävästä, jotta myös uudet työntekijät osaavat suorittaa sen perehdytysjakson ja -materiaalin turvin. • Seurantatiedoilla kuitattavat asiat ohjeistetaan tietokentässä niin, että työntekijä ymmärtää mihin se liittyy (esim. huoltotila-asetukset) • Mikäli tehtävrivi sisältää lyhyesti kaiken vaadittavan tehtäväohjeistuksen, kuvauskentän voidaan jättää tyhjäksi. • Uusi tehtävän ohjeistusvaihe aloitetaan lyhyellä ajatusviivalla ja välimerkillä: ”- ”. • Kuviin viitataan tarvittaessa tekstissä suluilla ja tekstillä ”(katso kuva)” ilman kuvan numeroviihettä, jotta tiedon ylläpito helpottuu.
Tehtävän seurantatieto	<ul style="list-style-type: none"> • Mikäli tarvetta, tehtävän seurantatiedoilla kerätään tehtävän suorittamisesta tai testeistä merkintä.

	<ul style="list-style-type: none"> • Seurantatieto voi sisältää "OK" -valinnan, kirjoituskentän, arvokentän tai ennalta määritellyn valintalistan. • Seurantatiedon voi määrittää tarkistettavaksi tarkistustyypillä <i>tarkista</i>, jolloin työn vaihetta ei voi valmistaa, ellei kaikkiin sen tarkistettaviin seurantatietoihin ole otettu kantaa. Nykykäytännöllä kaikille seurantatiedoille, paitsi <i>Poikkeaman kirjaus</i>-tehtävän seurantatiedolle, on määritetty tarkistettavuus. • Tehtävän yhteydessä mitattavat tai asetettavat lukuarvot luodaan numerokentiksi ja niille annetaan toleranssit. Lukuarvo pitää olla toleranssin sisällä, jotta järjestelmä hyväksyy kirjauksen. • Laitteen ohjelmiston oletusasetusten säätämisestä luodaan omat seurantatiedot (esim. huolto-tila-asetukset). • Seurantatiedon nimi on syytä asettaa mahdollisimman yhdenmukaiseksi tehtävänimen tai -ohjeistuksen mukaisesti, jotta seurantatietojen tehtävälinkityksien luominen helpottuu.
Tehtävän dokumentti	<ul style="list-style-type: none"> • Dokumentti on tehtävän ohjeistukseen liittyvä havainnollistava kuva tai pdf-tiedosto (asennuskuva/räjätyskuva/nimikekuva/ohjedokumentti). • Dokumentteja voi olla tehtävään liitettynä useampia. • Käyttöliittymän esikatseluikkunassa näkyy pdf-tiedostosta noin puolikkaan A4-lomakkeen kokoinen osuus. • Tehtävän dokumentit nimetään havainnollistavasti, jotta niihin ei tarvitse yksilöidysti viitata tietokentän tekstiohjeistuksessa.
Tehtävän materiaali	<ul style="list-style-type: none"> • Osaluettelossa näkyy tehtävään liittyvien vakioitujen materiaalien nimet, nimikekoodit ja mahdolliset seurantatietokentät. • Materiaalirivi liitetään vain niille tehtäville, joiden toteuttamisen yhteydessä materiaali keräillään tai asennetaan/kalustetaan lopputuotteeseen.
Tehtävän kommenttikenttä	<ul style="list-style-type: none"> • Työn vaiheen tehtäville voidaan lisätä kommenttikenttään tehtävän suorittamisen yhteydessä huomioitava tiedote tai palaute. • MES-työskentelynäkymässä työntekijä voi lisäksi kirjoittaa ja tallentaa seurantatiedolle kommenttitekstin, joka tulee myös näkyviin lopuksi tulostettavalle DHR-tulosteelle.

LIITE E: MES-TUKITIIMI JA -ROOLITUKSET

Toiminimet	MES-järjestelmän ylläpidon työnkuvat
Järjestelmä- ja prosessiasiantuntija	<ul style="list-style-type: none"> ERP- ja MES-järjestelmätuki. MES-järjestelmän toimintaan ja kehittämiseen liittyvän sidosryhmäyhteistyön koordinointi.
Tuotespesialisti	<ul style="list-style-type: none"> Tehtävä- ja nimikerakenteiden sekä tehtävän konfigurointiehtojen hallinta. Tehtävien muutoshallinta ja muutosten kontrolloitu käyttöönotto.
Menetelmäsuunnittelija	<ul style="list-style-type: none"> Tehtävätason ohjeistuksen luominen, hyväksyminen ja ylläpito. Tehtäväohjeistuksen yksityiskohtaisuuden määrittäminen ja ohjeistustasojen sisällön jaottelu. Pakollisten kuitattavien seurantatietojen määrittäminen kriittisten työtehtävien osalta.
Työnopastaja	<ul style="list-style-type: none"> Tehtäväohjemateriaalin tuottaminen. Perehdytysmenettelyjen määrittäminen työntekijöiden ennakkotietovaatimusten ja MES-ohjeistustason yksityiskohtaisuuden pohjalta.
Työnjohtaja	<ul style="list-style-type: none"> Järjestelmäkäytön ja -sisällön muutoksista informointi työntekijöille. MES-toiminnasta ja -sisällöstä annetun palautteen kerääminen sekä viestittäminen eteenpäin jatkuvan parantamisen mukaisesti.
Laatupäällikkö	<ul style="list-style-type: none"> MES:llä kerättävän laatu- ja jäljitystietodatan määrittäminen sekä tiedon analysointi. DHR-tulosteella näkyvien seurantatietojen määrittäminen sisäisten ja ulkoisten tarpeiden perusteella.
Työntutkija	<ul style="list-style-type: none"> Tehtävillä laskettavien kuormituksen yksikköaikojen laskenta ja järjestelmäpohjainen ylläpito.
Tuotannon suunnittelija	<ul style="list-style-type: none"> Töiden priorisoiminen ja työn vaiheiden aloitus- ja lopetusajankohlien määrittäminen. Tuotteen vaihemallien ja vaiheiden ylläpito.
Valitut tuotantotyöntekijät	<ul style="list-style-type: none"> Tuotannon työntekijöiden näkökulman tuominen tehtävätason ohjeistussisällön muodostamisessa ja ylläpidossa. MES-järjestelmän sisällön tai toiminnan kehitystarpeiden esiintuonti ja priorisointi loppukäyttäjien näkökulmasta.

LIITE F: MES-TYÖSKENTELEYNÄKYMÄ

UT090	UW1671412	UT090 LOPPUTESTI	TEHTÄVÄT	DOKUMENTIT	TULOSTUS	PALAUTTEET	VAIHETOIMINNOT												
Tehtävät			<p>▼ WCS, VESILINJOJEN PUHDISTUSJÄRJESTELMÄN TARKASTUS TILATULLA APULAITTEELLA</p> <ul style="list-style-type: none"> - Käytä asiakkaalle menevää desinfektorin säiliötä testaukseen. - Täytä desinfektorin säiliö vedellä. - Käännä desinfektorista hana vaakaa-asentoon ja asenna säiliö koneeseen kiinni. - Avaa paineensäädintä suki ja laske vettä sen verran että paine laskee alas. - Säädä desinfiointiasian paineeksi 1,4-1,6 baria. - Lähtä reed-kyökimen liitin pääkortille ja tarkista, että näyttöön tulee HE 35. - Irrota säiliö ja käännä hana pysty-asentoon. - Nollaa puhdistusykli huoltoliasta 101 painamalla Set-näppäintä. <table border="1"> <thead> <tr> <th>TIEDOT</th> <th>ARVO</th> <th>MIN</th> <th>MAX</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>WCS, VESILINJOJEN PUHDISTUSJÄRJESTELMÄN PAINEN SÄÄTÖ 1,4 - 1,6 BAR</td> <td><input type="text" value="1.5"/></td> <td>1.4</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>WCS, VESILINJOJEN PUHDISTUSJÄRJESTELMÄN TARKASTUS TILATULLA APULAITTEELLA</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					TIEDOT	ARVO	MIN	MAX	WCS, VESILINJOJEN PUHDISTUSJÄRJESTELMÄN PAINEN SÄÄTÖ 1,4 - 1,6 BAR	<input type="text" value="1.5"/>	1.4	1.6	WCS, VESILINJOJEN PUHDISTUSJÄRJESTELMÄN TARKASTUS TILATULLA APULAITTEELLA	<input checked="" type="checkbox"/>		
TIEDOT	ARVO	MIN	MAX																
WCS, VESILINJOJEN PUHDISTUSJÄRJESTELMÄN PAINEN SÄÄTÖ 1,4 - 1,6 BAR	<input type="text" value="1.5"/>	1.4	1.6																
WCS, VESILINJOJEN PUHDISTUSJÄRJESTELMÄN TARKASTUS TILATULLA APULAITTEELLA	<input checked="" type="checkbox"/>																		
Tilauksen ja osien tarkastus																			
Sähköiset mittaukset ja ohjelmistoasetukset																			
Hoitokoneen ohjaus ja liike																			
Paineiden ja virtausten säädöt																			
Vesijärjestelmän testaus																			
WET-imujärjestelmän testaus																			
Hoitajan varusteiden tarkastus			<p>▼ MUKIN TÄYTÖN JA HUUHTELUN TOIMINNAN TARKASTUS</p> <p>Tarkista neulaventtiilin toiminta seuraavasti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pöytä sormella mukin tunnistin - Paina muki/huuhdeltu-näppäin pohjaan vettä tulee mukintäyttöputkesta niin kauan kuin näppäintä painetaan. - Paina muki/huuhdeltu-näppäintä alle 1/2 s. vettä tulee alashuuhdeltuputkesta 30 s. - Paina muki/huuhdeltu-näppäintä yli 1/2 s. muts alle 1s. vettä tulee ensin mukintäyttöputkesta 5 s. ja sitten huuhdeltuputkesta 30 s. - Tarkista mukin tunnistimen toiminta poistamalla sormi tunnistimelta jolloin veden tulo pitää päättyä. - Tarkista, että neulaventtiili säättyvät ja sulkevat veden virtauksen. - Säädä lasintäytön virtaus oikeaksi n. 1 dl/Seak. - Kokeile, että lasintäyttöpilli liikkuu määrittelyä sektorilla niin, että rajoitin pysäyttää kierron. (katso kuva) Tee toimenpide varoen, ettei muovinen rajoitin ja mukin alunen rikkoudu. - Sylykkupin ollessa tuolin päällä, niin tuoli ei saa nousta ylöe vaan näyttää error 51. - Sylykkupin ollessa normaaliasennossa tuolin tulee liikkua joka suuntaan. 																
Tarrojen liimaus, tarkistus ja painetesti			<p>▼ KUVAT</p>  <p>Kuva 1/1 lasintäyttöpillin rajoitin.JPG</p>																
Instrumenttien kiinnitys ja testaus																			
Instrumenttivarren ja -pöydän testaus																			
Loppuestin viimeistely																			
Poikkeamareportointi																			
TIEDOT			ARVO																
MUKIN TAYTON JA HUUHTELUN TOIMINNAN TARKASTUS			<input checked="" type="checkbox"/>																
MUKIN TAYTON TUNNISTIMEN TOIMINNAN TARKASTUS TESTIMUKILLA			<input checked="" type="checkbox"/>																
SYLYKKUPIN RAJAKYTKIMEN TOIMINNAN TARKASTUS JA SAATO TARVITTAESSA.			<input checked="" type="checkbox"/>																

LIITE G: MATFLOW-KÄYTTÖLIITTYMÄ

MatFlow (TEST)

Ulkokeräily (27)	Lisäkeräily (0)
Varastosiirto	Vastaanotto (tilaus)
Saldokysely	Vapaat siirtopyynnöt (0)
Täydennyspyyntö	Täydennyspyynnöt (9)
Siirron lähetys (0)	Siirron vastaanotto
Inventointitehtävät	

KIRJAUDU ULOS

Lean System - Ulkokeräily

TUNNUS	RESURSSI	TILA	TARPEPVM	KERÄILYTEHTÄVÄ
UW1643096 Planmeca Compact i BA v2 / UT100 Bal-hoitokoneen pakkaus	UT100	Keräily kesken	5/24/2019	KT000003
UW1643522 Planmeca Compact i5 BA / UT050 V2_kiinteä jalkalippa	UT051	Keräily kesken	5/24/2019	KT000007
UW1643152 Planmeca Compact i5 BA / UT050 V2_kiinteä jalkalippa	UT051	Keräily kesken	5/24/2019	KT000013
UW1643152 Planmeca Compact i5 BA / UT040 V2_Bal	UT070	Keräily kesken	5/24/2019	KT000012
UW1643152 Planmeca Compact i5 BA / UT030 i5_Sylkykupilla	UT070	Keräily kesken	5/24/2019	KT000011
UW1643152 Planmeca Compact i5 BA / UT100 Bal-hoitokoneen pakkaus	UT100	Aloittamatta	5/24/2019	KT000015
UW1644509 Planmeca Compact i Classic BA v2 / UT030 iV2_Imu_Sylkykuppei	UT070	Aloittamatta	5/27/2019	KT000017
UW1644509 Planmeca Compact i Classic BA v2 / UT040 V2_Bal	UT070	Keräily kesken	5/27/2019	KT000018
UW1644509 Planmeca Compact i Classic BA v2		Aloittamatta	5/27/2019	KT000023
UW1644509 Planmeca Compact i Classic BA v2 / UT100 Bal-hoitokoneen pakkaus	UT100	Aloittamatta	5/27/2019	KT000022
UW1644509 Planmeca Compact i Classic BA v2 / UT050 V2_kiinteä jalkalippa	UT051	Aloittamatta	5/27/2019	KT000019
UW1644509 Planmeca Compact i Classic BA v2 / UT090 Lopputesti	UT090	Aloittamatta	5/27/2019	KT000021
UW1663327 Planmeca Compact i Classic BA v2		Keräily kesken	7/8/2019	KT000039
UW1643150 Planmeca Compact i Classic BA v2 / UT050 V2_kiinteä jalkalippa	UT051	Aloittamatta	7/15/2019	KT000014

ALOITA

PÄÄVALIKKO

LIITE H: KOHDETIETOJÄRJESTELMIEN YLEISET JATKOKEHITYSTARPEET

MES	MatFlow
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tehtäväsisällön hyväksyntätuloste. 2. Sarjanumeroiden vaihtamisen ja purkamisen toimintoja sekä kirjauksien yhteistoiminnan varmistamista kohdetietojärjestelmien välillä. 3. Vaiheen materiaalit -välilehti. 4. Muutosloki, joka ilmoittaa muuttuneesta ohjeistussisällöstä järjestelmän pääkäyttäjälle ja kerää työntekijäkohtaisen kuittauksen muutoksen käyttöönotosta. 5. Työajan häiriökirjaustoiminto. 6. Tehtäväohjeistuksen eli tekstikentän, kuvien ja materiaalien piiloitustoiminto. 7. Vaiheiden aloitus- ja lopetusaikojen esittäminen. 8. Vaiheen työnteon etenemistä eli kuittattujen seurantatietojen tai valmistuneiden tehtäväryhmien määrää indikoiva laskuri vaiheen työlistanäkymään. 9. Työn valmistettujen vaiheiden kuittatutietojen esittäminen. 10. Suunniteltujen tehtävän tai vaiheiden yksikköaikojen esittäminen sekä lopuksi vertaus toteutumaan. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Työn materiaalien automaattinen keräilyyn vienti vaiheen tai työn tilan muuttuessa. 2. Keräilytehtävien muodostuminen vain työkorttinimikkeistä. 3. Keräilyn työjononäkymän valintamahdollisuus resurssi- tai vaihepohjaisesti. 4. Keräilyrivien esivalinta ja valittujen rivien yhteinen ”keräile rivit” -toiminto. 5. Viivakoodinlukutoiminnon jatkokehittäminen: nimike valikoituu keräilylistalta varastopaikan viivakoodiluvun jälkeen jäljitystietojen täydentämistä varten tai suoraan kerätyksi.

LIITE I: PEREHDYTYS- JA TYÖOHJEMATERIAALI

1. Lukiteliitokset
2. Kiristysmomentit
3. Letkuliitokset ja tiivisteet
4. Kiinnikkeiden käyttö ja standardit
 - a. ruuvit ja mutterit
5. Kosketusnäyttö- ja sarjaliikennekäyttöliittymien käyttö
6. Tietokoneohjelmien käyttö
 - a. ERP-käyttö
 - b. MES-käyttö
7. Työsuojaimet
8. Yhteiset laatutavoitteet ja laatuvalutteen luominen
9. Tekniset piirustukset
 - a. symbolit, 2D- ja kokoonpanokuvat
10. Pneumatiikka ja hydraulikka
 - a. mittaustekniikka, virtaukset, paineet ja venttiilit
11. Sähköjohtoliitokset
12. Hoitovarsitelineen käyttö ja toiminnot
13. Vannetuskoneiden käyttö
14. Reikien kalvaus ja viimeistely