Tampereen yliopisto

Teemu Romppanen

TIEDONKERUUN VAIKUTUS TUOTANTOON LEANIN JA MES:N NÄKÖKULMASTA

Kandidaatintutkielma
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Ohjaaja: Hasse Nylund
Toukokuu 2021

TIIVISTELMÄ

Teemu Romppanen: Tiedonkeruun vaikutus tuotantoon leanin ja MES:n näkökulmasta
Kandidaatintutkielma
Tampereen yliopisto
Konetekniikka
Toukokuu 2021

Lean-ajattelua ja tuotannonohjausjärjestelmiä eli MES:iä (engl. Manufacturing Execution System) käytetään yleisesti tuotannon tehokkuuden maksimointiin. Tässä työssä tutkitaan tehokasta tuotantoa leanin ja MES:n näkökulmasta sekä tuotannon tiedonkeruun vaikutuksia tehokkaaseen tuotantoon. Työssä tiedonkeruumenetelmiksi rajataan numerokoodi, viivakoodi ja RFID (engl. Radio Frequency Identification). Työn tavoitteena on selvittää, kuinka MES ja lean vaikuttavat tuotantoon ja toisiinsa sekä kuinka työhön valitut tiedonkeruumenetelmät vaikuttavat MES:iin ja leaniin. Työ toteutetaan kirjallisuustutkimuksena mahdollisimman relevanttien ja ajantasaisten tutkimusten avulla.

Leanin käyttöä tuotannon kehittämiseen estävät muun muassa heikko kommunikaatio, vähäinen lean-kulttuuri, heikko asiakkuudenhallinta ja työntekijöiden asenteet. Varastonhallinta ja virtaustehokkuus, joihin vaikuttavat tuotannon suunnittelu, aikataulutus ja ohjaus, ovat usein myös heikkoa. Yhdeksi syyksi näille on esitetty ajanmukaisen tuotantotiedon puutetta. MES-järjestelmä tukee lean-tuotantoa merkittävästi sen 11 tuotantoympäristön toimintoihin vaikuttavan päätehtävän avulla. MES:n tarjoamat hyödyt lean-tuotannolle tulevat pääosin sen antamasta reaaliaikaisesta tuotantotiedosta.

MES:n tarvitseman tuotantotiedon vuoksi myös tuotannon tiedonkeruu on siis yhteyksissä prosessiin. Ennen tiedonkeruun aloittamista tulee mittauskohteet määrittää järkevästi esimerkiksi keskeisten suorituskykymittarien eli KPI:en (engl. Key Performance Indicator) avulla. Tiedonkeruumenetelmistä numerokoodi ja viivakoodi ovat osoittautuneet edullisiksi, mutta hitaiksi ja virhealttiiksi tiedonkeruumenetelmiksi. RFID on kalliimpi menetelmä, mutta se tarjoaa edistyksellisellä radioaaltoteknologiallaan huomattavia etuja numerokoodiin ja viivakoodiin nähden. RFID minimoi työntekijöiden virheet sen langattoman ja automaattisen toimintansa avulla. RFID-etikettiin voidaan sisällyttää enemmän tietoa kuin numero- tai viivakoodiin ja se voidaan lähes reaaliaikaisesti paikantaa RFID-verkostossa. RFID-laitteista rakennettua järjestelmää kutsutaan reaaliaikaiseksi paikannusjärjestelmäksi eli RTLS:ksi (engl. Real-Time Locating System). Reaaliaikaista paikannusjärjestelmää hyödyntävää MES:iä kutsutaan RT-MES:ksi (engl. Real-Time Manufacturing Execution System). RFID:n reaaliaikaisella tiedolla saadaan RT-MES:n välityksellä vähennettyä leaniin vaikuttavan liikejohdollisen, operationaalisen ja rahoituksellisen alueen ongelmia.

Tutkimuksen mukaan leanin, MES:n ja tuotannon tiedonkeruun välillä on siis selkeä yhteys. Reaaliaikainen tuotantotieto parantaa MES:n suorituskykyä, joka puolestaan tukee tehokasta lean-tuotantoa poistamalla leanin käytön haasteita sekä vähentämällä syntyvää hukkaa.

Avainsanat: tuotannonohjausjärjestelmä, MES, lean, tuotantotieto, data, tiedonkeruu, numerokoodi, viivakoodi, RFID, reaaliaikainen paikannusjärjestelmä, RTLS

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. TEHOKAS TUOTANTO 2
2.1 Lean-ajattelu 2
2.1.1 Leanin periaatteet ja työkalut 2
2.1.2 Leanin käytön haasteet 3
2.2 MES-järjestelmät 4
2.2.1 MES:n määritelmä ISA-95-standardin avulla 4
2.2.2 MES:n päätoiminnot 6
2.2.3 MES:n vaikutukset leaniin 8
3. TUOTANNON TIEDONKERUU 10
3.1 Mittausjärjestelmän laadinta 10
3.2 Yleisiä tiedonkeruumenetelmiä 11
3.2.1 Numerokoodi ja viivakoodi 11
3.2.2 RFID 12
3.3 Reaaliaikainen paikannusjärjestelmä 14
4. TIEDONKERUUMENETELMIEN VAIKUTUKSET 15
4.1 Tiedonkeruun tarjoamat hyödyt leanille 15
4.2 Tuotantotieto ja MES 17
5. JOHTOPÄÄTÖKSET 19
6. YHTEENVETO 20
LÄHTEET 22

LYHENTEET JA MERKINNÄT

5S	Organisointi- ja standardointimenetelmä
DMAIC	Ongelmanratkaisumenetelmä (engl. Define-Measure-Analyze-Improve-Control)
ERP	Toiminnanohjausjärjestelmä (engl. Enterprise Resource Planning)
FMS	Joustava valmistusjärjestelmä (engl. Flexible Manufacturing System)
ID	Tunniste (engl. identifier)
JIT	Varastonhallinta- ja tuotannonohjausstrategia (engl. Just-In-Time)
KPI	Keskeinen suorituskykymittari (engl. Key Performance Indicator)
MES	Tuotannonohjausjärjestelmä (engl. Manufacturing Execution System)
MOM	Valmistustoiminnan hallinta (engl. Manufacturing Operations Management)
OEE	Tuotannon tehokkuuden tunnusluku (engl. Overall Equipment Effectiveness)
PDCA	Ongelmanratkaisumalli ja kehittämismenetelmä (engl. Plan, Do, Check, Act)
PMS	Suorituskyvyn mittausjärjestelmä (engl. Performance Management System)
RFID	Radiotaajuinen tunnistusmenetelmä (engl. Radio Frequency Identification)
RTLS	Reaaliaikainen paikannusjärjestelmä (engl. Real-Time Locating System)
RT-MES	Reaaliaikainen tuotannonohjausjärjestelmä (engl. Real-Time Manufacturing Execution System)
SMED	Asetustoiminnan optimointityökalu (engl. Single-Minute Exchange of Die)
TPS	Toyotan tuotantojärjestelmä (engl. Toyota Production System)
TPM	Tuottava kokonaishuolto (engl. Total Productive Maintenance)
TQM	Kokonaisvaltainen laatujohtaminen (engl. Total Quality Management)
TOC	Pullonkaula-ajattelu (engl. Theory of Constraints)
VSM	Arvovirtakuvaus (engl. Value Stream Mapping)

1. JOHDANTO

Tuotannon tehokkuutta on pyritty kehittämään ja parantamaan kautta aikojen. Se on ehto kilpailukyvyn ylläpitämiseen jatkuvasti kasvavassa teollisuusympäristössä. Tuotannon kehittämisen vaikutukset näkyvät myönteisesti esimerkiksi varastojen pienentymisenä, tuotteiden läpimenoaikojen lyhentymisenä sekä tuotteiden laadun parantumisena. Mikäli tuotantoa ei ole optimoitu, edellä mainitut tuotannon tärkeät osa-alueet kärsivät eikä yritys kykene toimimaan menestyksekkäästi.

On lukuisia eri menetelmiä, joilla tuotantoa pyritään kehittämään. Tässä työssä keskitytään lean-ajatteluun, tuotannonohjausjärjestelmiin eli MES:iin (engl. Manufacturing Execution System) ja tuotannon tiedonkeruuseen. Työssä rajataan suuri määrä tiedonkeruumenetelmiä numerokoodiin, viivakoodiin ja RFID:hen (engl. Radio Frequency Identification). Työssä käsitellään myös RFID:tä hyödyntävää reaaliaikaiseen paikannusjärjestelmää ja sen käyttöä yhdessä MES:n kanssa. Näitä näkökulmia tarkastellaan seuraavin tutkimuskysymyksin:

1. Kuinka MES ja lean vaikuttavat tuotantoon ja toisiinsa?
2. Kuinka valitut tiedonkeruumenetelmät vaikuttavat MES:iin ja leaniin?

Kirjallisuustutkimuksen toisessa luvussa käsitellään tehokasta tuotantoa leanin ja MES:n näkökulmasta. Kolmannessa luvussa tutkitaan tuotannon tiedonkeruuta sekä kolmea yleisesti käytettyjä tiedonkeruumenetelmää: numerokoodia, viivakoodia ja RFID:tä. Lisäksi luvussa kolme käsitellään RFID:stä rakennettua reaaliaikaista paikannusjärjestelmää. Neljännessä luvussa tutkitaan kerätyn tuotantotiedon hyödyntämistä lean-tuotannossa ja MES:ssä. Luvussa viisi tehdään johtopäätöksiä aiempien lukujen tutkimustiedon perusteella ja vastataan tutkimuskysymyksiin. Luvussa kuusi käsitellään yhteenvetona koko työn sisältö.

2. TEHOKAS TUOTANTO

Tehokkaaseen tuotantoympäristöön kuuluu lukuisia eri toimintatapoja ja menetelmiä kuten esimerkiksi joustavat valmistusjärjestelmät (engl. Flexible Manufacturing System, FMS), teollisuusrobotiikka ja -automaatio sekä pullonkaula-ajattelu (engl. Theory of Constraints, TOC). Tässä luvussa keskiössä ovat tuotannon tehokkuutta tukevat lean-ajattelu ja tuotannonohjausjärjestelmä eli MES.

2.1 Lean-ajattelu

Lean-ajattelu syntyi 1980-luvun loppupuolella. Tällöin Toyota oli vielä pieni autonvalmistaja, jolla oli hyvin vaatimattomat tuotantotilat sekä suuria kassavirtaongelmia (McLean 2014, s. 13–15). Toyota kaipasikin oman imagon parantamista ja markkinaosuuden kasvattamista (Charron et al. 2015, s. 3). Toyotan käyttöönottamien toimien tehokkuudesta kertoo se, että nykypäivään siirryttäessä Toyotasta on tullut yksi maailman suurimmista autovalmistajista sekä lean-ajattelun malliesimerkki.

2.1.1 Leanin periaatteet ja työkalut

Toyotan tuotantojärjestelmästä (engl. Toyota Production System, TPS) syntynyt lean-tuotanto sisältää useita eri periaatteita. Näitä ovat muun muassa toiminnan jatkuva parantaminen eli kaizen, virtaustehokkuuden parantaminen esimerkiksi imuohjauksen sekä JIT-valmistuksen (engl. Just-In-Time Manufacturing) avuin, hukan eli asiakkaalle arvoa tuottamattoman toiminnan poistaminen sekä asiakaslähtöisyys (Perico et al. 2019). Hukkia, joita lean-tuotannolla pyritään poistamaan, ovat tarpeeton liikkuminen, liiallinen tuotteiden kuljettaminen, ylituotanto, liiallinen tai tarpeeton prosessointi, virheelliset tuotteet, odotusajat sekä liiallinen varastointi (Helleno et al. 2017).

Jotta leanin periaatteet saadaan täytettyä, on kehitetty useita erilaisia työkaluja. Tuotannon läpäisyaikoja pienentävä SMED (engl. Single-Minute Exchange of Die) minimoi tuotannon asetusaikoja ja optimoi työtahtia. Kokonaisvaltainen laatujohtaminen (engl. Total Quality Management, TQM) pyrkii vähentämään tuotannon kustannuksia ja lisäämään ajankäytön tehokkuutta valmistamalla tuotteita, jotka täyttävät asiakkaiden vaatimukset ja tarpeet. (Perico et al. 2019) Tuottava kokonaishuolto (engl. Total Productive Maintenance, TPM) maksimoi tuotantolaitteiston tehokkuuden ja saatavuuden (Ajuha & Khamba 2015). Lisäksi arvovirtakuvaus (engl. Value Stream Mapping, VSM) on yksi

merkittävimmistä lean-tuotannon työkaluista, sillä se mahdollistaa hukkien paikantamisen ja tarjoaa uusia tuotannon parannusehdotuksia (Helleno et al. 2017).

Yksi suosituimmista ja helpoimmin käyttöönotettavista leanin työkaluista on 5S-menetelmä, joka parantaa tuotteiden laatua, työympäristön viihtyisyyttä ja työturvallisuutta. Lisäksi se kytkeytyy eri hukkiin vähentämällä energian, ajan ja resurssien tuhlaamista. Sen nimi muodostuu viidestä vaiheesta, jotka ovat japaniksi seiri, seiton, seisō, seiketsu ja shitsuke. Ensimmäinen 5S:n vaihe, seiri, pyrkii lajittelemaan työvälineet ja poistamaan turhuudet. Seiton asettaa tietyn paikan jokaiselle työvälineelle muun muassa erilaisten merkintätapojen avulla. Seisō lisää uusia siivousrutiineja työympäristölle sekä rutiineja, joissa työvälineiden sekä koneiden paikat ja toimivuus tarkistetaan. Seiketsu standardisoi työympäristössä käyttöönotetut toimintatavat. Viimeisenä vaiheena oleva shitsuke vaatii työntekijöiltä sitoutumista ja itsekuria. Tällöin tarkistetaan, että kaikki on tehty niin kuin pitäisi ja toimenpiteet on dokumentoitu. (Hirvonen 2017, s. 3–13)

2.1.2 Leanin käytön haasteet

Yritysten käyttöönottamasta lean-tuotannosta löytyy vielä merkittäviä ongelmakohtia. Jatkuvaa parantamista estävät yritysten sisäiset kommunikaatiokatkokset sekä yritysten rajalliset resurssit ja riittämätön tietämys (Perico et al. 2019). Wilson (2015) painottaakin etenkin johdon riittämättömän lean-tietämyksen ja -pätevyyden olevan erityisiä ongelmia. Virtaustehokkuutta heikentävät muun muassa riittämätön tuotannon seuranta ja hukkien tunnistaminen sekä virheet varaston laskennassa. SMED:n kannalta ongelmia aiheuttaa asetusaikojen lyhentämisen hankaluus. Tuottavaa kokonaishuoltoa hankaloittavat henkilöstön koulutuksen vähäisyys sekä kunnossapitotoimien tehoton johtaminen. Prosessien raja-arvojen valvonta ja tuotevirheiden paikannus koituvat kokonaisvaltaisen laatujohtamisen ongelmiksi. Asiakaslähtöisyyttä heikentävät yritysten huono standardisointi ja räätälöinti koskien palveluita ja tuotteita. (Perico et al. 2019) Lisäksi Chongwatpolin ja Shardan (2013) mukaan tuotantoa usein heikentävät tietyt epäkohdat. Näitä epäkohtia ovat tehoton tuotannon suunnittelu, aikataulutus ja ohjaus, tehoton työn tai prosessin virtaus, puuttuvat tavarat sekä suuri varasto. Syynä tällaisille epäkohdille ja toiminnan hallinnan vaikeuksille voi olla tarkan, kokonaisvaltaisen ja ajanmukaisen tuotantotiedon puute. (Chongwatpol & Sharda 2013)

Rafique et al. (2016) jakavat heidän löytämänsä leanin käytön esteet kolmeen eri yrityksen toiminnan alueeseen: liikejohdolliseen, operationaaliseen ja rahoitukselliseen. Liikejohdollisella alueella leanin käyttöä estävät lean-kulttuurin ja -tietoisuuden puute, johto- ja työntekijäportaan asenne, heikko työvoiman hallinta sekä pätevän työvoiman puute.

Operationaalisella alueella esteenä ovat epävakaa asiakkuudenhallinta, heikko varastonhallinta sekä pitkät läpimenoajat. Rahoituksellisella alueella leaniä ovat estämässä resurssien käytön rajoitteet, leanin käyttöönoton aiheuttamat kustannukset sekä rahoituksen puute.

Suomalaisessa teollisuudessakin leanin käytön haasteet näkyvät Järvenpään et al. (2014, s. 26–28) tekemässä raportissa, jossa haastateltiin 25 suomalaista valmistavan teollisuuden yritystä. Raportin mukaan ongelmana oli muun muassa jo aiemmin mainittu riittämätön lean-tietoisuus työntekijöiden keskuudessa. Lisäksi vaikka johdolla oli tietämystä lean-toiminnasta, oli lean-periaatteiden ja -työkalujen systemaattinen noudattaminen puutteellista. 5S:n vaatimaa shitsukea eli seurantaa ei useissa haastatelluista yrityksistä huomioitu riittävästi, mikä lisäsi epäsiisteyttä ja -järjestystä tuotantotiloissa. Resurssien puute esti lean-työkalujen käyttöönottoa, mikä johti keskeneräisiin lean-projekteihin ja vähentyneeseen työntekijöiden motivaatioon. Henkilöstöä ei usein myöskään osallistutettu eikä sitoutettu riittävästi jatkuvaan parantamiseen. (Järvenpää et al. 2014, s. 26–28)

2.2 MES-järjestelmät

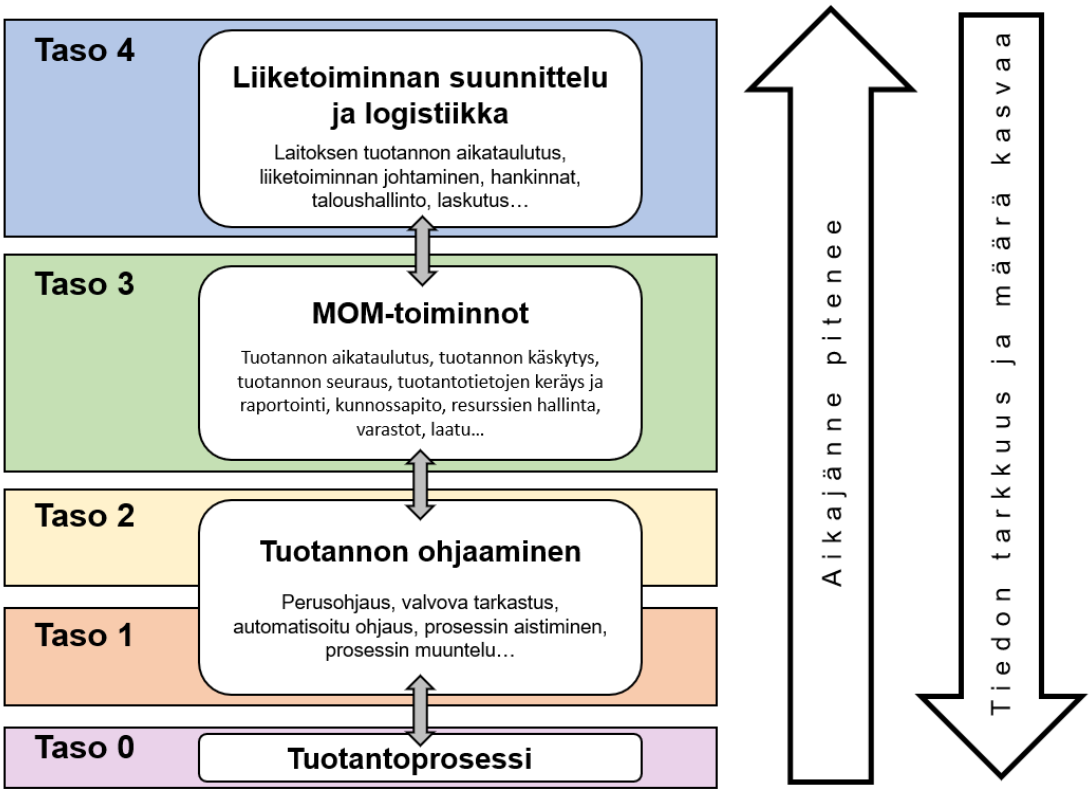
Yritykset ovat jo kauan käyttäneet ERP-järjestelmiä (engl. Enterprise Resource Planning), joiden varassa ne ovat pyrkineet ohjaamaan toimintaansa. Nämä järjestelmät ovat kuitenkin puutteellisia, kun kiinnitetään erityistä huomiota tuotantoon liittyviin tekijöihin. MES-järjestelmät suunniteltiin vastaamaan näihin ERP-järjestelmien tuotantoon liittyviin puutteisiin sekä markkinoiden vaatimaan reaktiokykyyn, laatuun, standardienmukaisuuteen sekä kustannusten ja määräaikojen vähentämiseen. Niitä otettiin alkuun käyttöön ainoastaan prosessiteollisuudessa. Esimerkiksi farmasia-, ruoka- ja kemianteollisuus vaativat tuotteilta jäljitettävyyttä virkavallan uhalla. Kuitenkin pian myös valmistavassa teollisuudessa otettiin käyttöön MES-järjestelmiä, sillä ne tarjosivat etuja, joilla voitiin parantaa yritysten kilpailukykyä merkittävästi. (Saenz de Ugarte et al. 2009; D'Antonio et al. 2016)

2.2.1 MES:n määritelmä ISA-95-standardin avulla

ISA-95-standardi (2000) määrittelee, että MES-järjestelmät voidaan lukea mukaan niin sanottuihin MOM-toimintoihin (engl. Manufacturing Operations Management), joihin kuuluu ne valmistavan tuotantoympäristön toiminnot, jotka ohjaavat laitteistoa, henkilöstöä, materiaaleja ja energiaa. Järvenpään et al. (2014, s. 7) mukaan MES-järjestelmä kuvail-

laan usein harhaanjohtavasti järjestelmänä, joka sisältää mitä tahansa suuresta kokonaisuudesta MOM-toimintoja, vaikka MES-järjestelmä sisältää ainoastaan rajatun joukon kyseisiä toimintoja.

Kuvassa 1 on esitetty ISA-95-standardin (2000) idea, jossa yrityksen toiminta on jaettu viiteen eri tasoon. Taso 4 on liiketoiminnan suunnittelu ja logistiikka, johon ERP-järjestelmät sisältyvät. Tässä tasossa tehdään muun muassa koko laitoksen tuotannon aikataulutusta, liiketoiminnan johtamista ja taloushallintoa, ja sen aikaväli on noin kuukaudesta työvuoroihin. Taso 3 sisältää aiemmin mainitut MOM-toiminnot eli tähän tasoon sisältyvät myös MES-järjestelmät, ja sen aikaväli vaihtelee työvuoroista sekunteihin. 3. tason toimintoihin kuuluvat muun muassa tuotannon aikataulutus, käskytys, seuraus ja tiedonkeruu sekä varastojen, resurssien ja laadun hallinta. Tasot 2 ja 1 ovat tuotannon hallintaa, joka sisältää tuotannon prosessien ohjaamista, valvontaa sekä prosessin aistimista. Nämä tasot mahdollistavat esimerkiksi prosessien muuntelun tarpeen mukaan. Viimeisenä oleva taso 0 on itse fyysinen tuotantoprosessi. Näiden viimeisten kolmen tason aikajänne on lyhyt; vain tunneista sekunnin osiin. Tiedon tarkkuus ja määrä kasvavat liikuttaessa tasosta 4 tasoa 0 päin. (ISA-95 2000)



Kuva 1. Yrityksen toiminnan suunnittelun ja ohjauksen tasot sekä niiden toiminnot (mukaillen standardia ISA-95 2000).

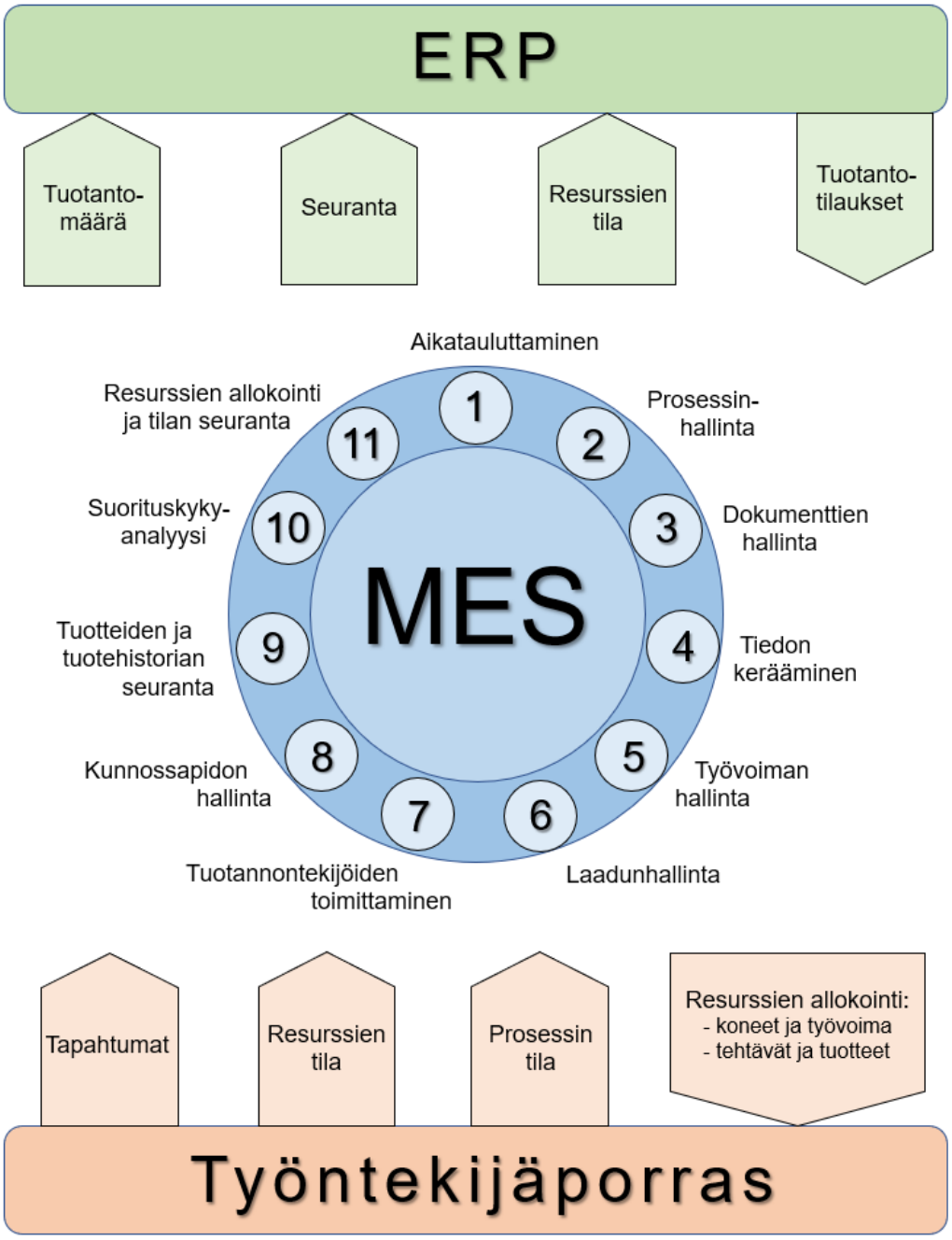
MES-järjestelmät mahdollistavat tiedonsiirron ERP:n tukeman organisatorisen tason ja työntekijäportaan ohjausjärjestelmien välillä. Ne rakentuvat lukuisista erilaisista ja erittäin räätälöidyistä ohjelmistoista. ISA-95-standardin (2000) mukaan MES:n tulee käsitellä ylhäältä alas -tietovirtoja, jolloin organisatoristen vaatimusten ja tarpeiden mukaan suunnitellaan optimaalinen toimintajärjestys. Tämän järjestyksen tulee ottaa huomioon vapaana olevat resurssit, kuten työvoima, työkoneet, materiaalit ja varasto sekä prosessin rajoitteet kuten prosessiajat, asetusajat ja kapasiteetit. ISA-95-standardin (2000) mukaan MES:n tulisi myös käsitellä alhaalta ylös -tietovirtoja. Tämän MES tekee keräämällä tietoa tuotantoprosesseista ja tuotetusta laadusta sekä analysoimalla tiedon erilaisten matemaattisten menetelmien avuin. Analysoitu tieto siirretään ylöspäin ISA-95-standardin määrittelemillä tasoilla, jolloin liiketoimintataso saa perusteellisen kuvan tuotannon sen hetkisestä tilasta. (D'Antonio et al. 2016)

2.2.2 MES:n päätoiminnot

MES-järjestelmien jo aiemmin mainittujen ylhäältä alas -ja alhaalta ylös -tietovirtojen välittäminen sisältää lukuisia eri tehtäviä. MES koostuu MESA:n (1997) mukaan 11 erilaisesta päätehtävästä, jotka ovat nähtävissä kuvassa 2. MESA (1997) ja Saenz de Ugarte et al. (2009) määrittelevät nämä päätehtävät seuraavasti:

1. aikatauluttaminen: rajatuilla resursseilla tehtävää työjärjestyksen laadintaa ja toimintojen ajoittamista
2. prosessinhallinta: suunniteltuihin ja todellisiin tuotannon toimintoihin pohjautuvaa työvirran ohjaamista
3. dokumenttien hallinta: tuote-, prosessi-, suunnittelu- ja tilaustietojen käsittelyä ja jakamista, sekä työ- ja olosuhdevarmenteiden keräämistä
4. tiedon kerääminen: työntekijöistä, koneista ja hallintalaitteista kerätyn prosessi-, materiaali- ja toimintotietojen seurantaa, kokoamista ja järjestelemistä
5. työvoiman hallinta: pätevyyksiin, työtapoihin ja yrityksen tarpeisiin perustuvaa työntekijöiden seurantaa ja ohjaamista työvuoron aikaan
6. laadunhallinta: tuotteiden ja prosessien piirteiden kirjaamista, seurantaa ja analysointia ideaaliin tilanteeseen verrattuna
7. tuotannontekijöiden toimittaminen: materiaalien tai tilauksien toimituksen käskyttämistä prosessin tai työvaiheen käyttöön muualle tuotantolaitokseen
8. kunnossapidon hallinta: työvälineiden ja muun omaisuuden tilanteeseen sopivien kunnossapitotoimien suunnittelua ja toimeenpanoa

9. tuotteiden ja tuotehistorian seuranta: tuoteyksiköiden, -erien ja -sarjojen etenemisen seurantaa täyden tuotehistorian luonnin vuoksi
10. suorituskykyanalyysi: tuotantolaitoksesta mitattujen tulosten vertailua tavoitteisiin, jotka yhtiö, asiakkaat tai säätelyelimet ovat luoneet
11. resurssien allokointi ja statuksen seuranta: työntekijöiden, laitteiden, työkalujen ja materiaalien käyttökohteiden määrittämistä sekä niiden sen hetkisen tai aiemman työpanoksen seurantaa.



Kuva 2. MES tiedonvälittäjänä ja toimeenpanijana ERP:n ja työntekijäportaan välillä (mukaillen lähteitä MESA 1997; Saenz de Ugarte et al. 2009).

Kuten kuvasta 2 nähdään, MES-järjestelmät tarjoavat merkittäviä etuja yritysten tuotannonhallintaan tehostaen tuotantoa ja samalla mahdollistaen paremman kilpailukyvyn, kuin mihin päästäisiin ainoastaan ERP:n avulla. Järvenpään et al. (2014, s. 19) tekemän raportin mukaan ne mahdollistavat reaaliaikaisen tuotannon tiedon etenemisen, minkä avulla liiketoimintaporras saa laajemman kokonaiskuvan tuotannosta. Lisäksi parempi läpinäkyvyys nähtiin Järvenpään et al. (2014, s. 19) raportissa haastateltujen työntekijöiden mukaan tärkeänä keinona osallistamisessa ja motivoinnissa.

2.2.3 MES:n vaikutukset leaniin

MES-järjestelmät ovat kytkeytyneet monin eri tavoin tehokkaaseen lean-tuotantoon. Pericon et al. (2019) mukaan MES:n reaaliaikainen informaatiovirta vaikuttaa sopivan parhaiten lean-tuotantoon, kun sitä verrataan muihin yrityksissä käytettyihin IT-järjestelmiin. Kun MES:iin integroidaan erilaisia leanin työkaluja ja tekniikoita, voi lean-tuotanto hyötyä tästä saadusta reaaliaikaisesta data-analyysistä. (Perico et al. 2019)

Houy (2005) kertoo, että lean-tuotannon periaatteiden mukaan IT-järjestelmät ovat hyödyllisiä vain tietyissä tehtävissä, ja että sopimaton IT:n käyttö hankaloittaa tehokasta lean-tuotantoa. Myös Powellin et al. (2013) mukaan IT-järjestelmien antama panos tuotannossa on nähty usein hukkana lean-tuotannon kannalta sen sijaan, että ne auttaisivat saavuttamaan ja pitämään yllä positiivista muutosta tuotannossa. On kuitenkin löydetty useita eri tapoja, kuinka MES-järjestelmät käyttävät luvussa 2.1.1 mainittuja leanin periaatteita hyväkseen ja tehostavat lean-tuotantoa entisestään (Powell et al. 2013; D'Antonio et al. 2016; Perico et al. 2019).

MES-järjestelmien tarjoama lähes reaaliaikainen tuotantotieto helpottaa kaizeniin eli jatkuvaan parantamiseen pyrkimistä. MES:n avulla saatua tietoa voidaan käyttää älykkäiden dashboardien eli mittaritaulujen luomiseen. Dashboardit näyttävät tuotannon kannalta olennaista tietoa muun muassa keskeisten mittarien eli KPI:en (engl. Key Performance Indicator) ja erilaisten taulukoiden avulla. (Perico et al. 2019) Lisäksi Hwangin (2006) mukaan MES yhdistettynä laatuajattelu Six Sigman DMAIC-menetelmään (engl. Define-Measure-Analyze-Improve-Control), tuotannon läpäisyajat lyhentyvät ja prosessien tehokkuus paranee. Hwangin (2006) mukaan DMAIC ja tuottavaan kokonaishuoltoon liittyvä PDCA-sykli (engl. Plan, Do, Check, Act) ovat teoriatasoltaan hyvin samankaltaisia menetelmiä. Perico et al. (2019) päättelevätkin, että MES vaikuttaa yhtä positiivisesti myös PDCA-sykliin, sillä MES antaa olennaista tuotantotietoa, jonka avulla voidaan ratkaista erilaisia ongelmia ja kehittää tuotantoa.

Arvovirtakuvauksen eli VSM:n tekeminen helpottuu, kun MES:n avulla seurataan tuotannon prosesseja. Syynä tähän on MES:n kyky helpottaa tuotannon eri hukkien paikantamista, vähentämistä ja poistamista seuraamalla esimerkiksi hukkana pidettyjä prosessivaiheiden välisiä aikoja. MES:n tarjoama tieto on erittäin arvokasta myös päätöksentekotehtävissä, jotka koskevat tuotannon toimintojen virtausta. (Powell et al. 2013; D'Antonio et al. 2016) Lisäksi kerätty tieto voi olla hyödyllistä tehtaan layoutin eli tuotantolinjojen, varastojen, koneiden ja laitteiden asemoinnin kannalta ja voi tukea edistynyttä tuotannon suunnittelua sen luomien kommunikaatiokanavien avulla (Perico et al. 2019).

MES-järjestelmät ovat tärkeitä asetustoimenpiteiden suunnittelussa ja optimoinnissa, sillä prosessien tietoa voidaan ladata järjestelmästä automaattisesti. MES:n käyttö johtaakin lyhentyneisiin asetusaikoihin ja vähentyneisiin tuotevirheisiin sen automaattisen tiedonkeruun ja tiedon rekisteröinnin ansiosta. Se on siis erittäin tärkeä SMED:n tehokkaan toiminnan kannalta. (Neves et al. 2015; Perico et al. 2019)

Kuten aiemmin mainittiin, MES tarjoaa kehitysmahdollisuuksia tuottavaan kokonaishuoltoon kuuluvaan PDCA-sykliin. Pericon et al. (2019) mukaan se voi parantaa myös muita tuottavan kokonaishuollon käytäntöjä. Kun huollon johtaminen sisällytetään MES:iin, voi laatutavoitteiden saavuttaminen helpottua, sillä MES:n kautta koneenkäyttäjät saavat paljon tietoa ja lukuisia erilaisia dokumentteja tuotantoprosesseihin liittyen. Lisäksi huollon tehtävät voidaan nopeasti ja helposti konfiguroida, suunnitella, määrätä ja dokumentoida. (Perico et al. 2019)

Myös laitteiden kokonaistehokkuus eli OEE (engl. Overall Equipment Effectiveness) voidaan laskea helposti MES:n tarjoaman tiedon perusteella. OEE:n avulla voidaan seurata tuotantolaitoksen suoriutumista ja tehdä nopeita päämäärätietoisia päätöksiä. (Unver 2013)

3. TUOTANNON TIEDONKERUU

Tiedonkeruu on erittäin tärkeä osa tuotantoa, ja se luo edellytykset tehokkaaseen tuotannon parantamiseen ja lean-tuotannon ylläpitämiseen. Lisäksi ilman tietoa tuotannosta eivät MES-järjestelmät toimisi lainkaan.

3.1 Mittausjärjestelmän laadinta

Tuotannosta voidaan kerätä monenlaista tietoa, kuten esimerkiksi koneiden käyntinopeuksia, keskeneräisen tuotannon sijaintia ja määrää sekä työvoiman käyttöä. Jokaisella yrityksellä on omat merkittävimmät tiedonkeruun kohteet, sillä ne mukautuvat suurilta osin yrityksen piirteiden mukaan. Borsoksen et al. (2016) mukaan mittarien määrän tulisi määräytyä niin yrityksen koon ja piirteiden sekä prosessien monimutkaisuuden perusteella, kuin myös asetettujen tavoitteiden määrän ja luonteiden perusteella. Tietoa voidaan kerätä lähes rajattomasta määrästä eri tuotannon tekijöitä, mutta tämä ei ole optimaalista. Brintin et al. (2021) mukaan pitkäaikainen tiedon kerääminen suuresta määrästä kohteita on kallista. Yrityksillä onkin usein tehtaan suorituskykyä mitattaessa haasteita päättää kerätyn tiedon laajuus. Liian suuri määrä mittareita voi johtaa tiedon tulkinnan hankaloitumiseen ja merkittäviin tiedon limittäisyyksiin eri mittarien välillä. Tämän vuoksi myös tuotannon tehokkuuden seuraaminen ja tarvittavien muutosten vaatima päätöksenteko vaikeutuvat. (Brint et al. 2021)

Niin sanotun suorituskyvyn mittausjärjestelmän eli PMS:n (engl. Performance Measurement System) avulla voidaan tutkia merkittävimpiä tuotannon suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä, mikä mahdollistaa paremman tuotannon johtamisen. PMS koostuu erilaisista keskeisistä suorituskykymittareista eli KPI:stä, jotka tarjoavat tietoa, jonka pohjalta voidaan lisätä tuotannon tehokkuutta. Jotta KPI:tä voidaan käyttää tehokkaasti, tulee niiden olla luotettavia, helposti rinnastettavia ja ajan tasalla olevia. (Borsos et al. 2016) Hyvää suorituskykymittaria tehdessä olisi suotavaa käyttää kuvassa 3 näkyvää Neelyn et al. (1997) suorituskyvyn mittaus -taulukkoa apuna.

Mittarin yksityiskohdat
Nimi
Tarkoitus
Mihin liittyy?
Tavoite
Kaava
Mittaustaajuus
Kuka mittaa?
Tiedon lähde
Kuka toimii tiedon perusteella?
Mitä tiedon perusteella tehdään?
Merkinnät ja kommentit

Kuva 3. Mittarin laadinnan yhteydessä kirjatut tiedot (mukaillen lähdettä Neely et al. 1997).

Kuvan 3 taulukko takaa, että mittari on selkeästi laadittu ja pohjautuu yksitulkinnaiseen kaavaan ja tiedon lähteeseen. Mittarin laadinnan jälkeen tulisi sen antaman ulostulon tarkkuutta tutkia. Lisäksi täytyy tutkia, että helpottaako kuvan 3 suorituskyvyn mittaus -taulukko todella mittarin laadintaa sen sijaan, että siitä tulisi yhä monimutkaisempi prosessi. (Neely et al. 1997)

3.2 Yleisiä tiedonkeruumenetelmiä

Tuotannosta voidaan kerätä tietoa lukuisilla eri menetelmillä. Tässä työssä tiedonkeruumenetelmistä käsitellään teollisuudessa yleisimmin käytettyjä menetelmiä, joita ovat numerokoodi, viivakoodi ja RFID.

3.2.1 Numerokoodi ja viivakoodi

Numerokoodilla tarkoitetaan etikettiä, jossa on sarja numeroita ja erikokoisia kirjaimia. Se on helppo käyttää ja on hankintahinnaltaan taloudellinen. Sillä on kuitenkin omat heikot puolensa. Numerokoodia ei voida lukea tai kirjoittaa ylös automaattisesti, vaan käyttäjän on tehtävä se manuaalisesti. Tämä laskee sen tehokkuutta, ja altistaa tiedonkeruun esimerkiksi kirjoitusvirheille tai epäselvän käsialan aiheuttamille virheille. Sille ei ole määritetty standardeja, eikä se luo yhteyksiä eri tekijöiden välille. Lisäksi numerokoodi ei kykene erilaisen ympäristöllisen tiedon havaitsemiseen. Siltä siis puuttuu niin sanottu ympäristön aistimiskyky. (Aung & Chang 2014)

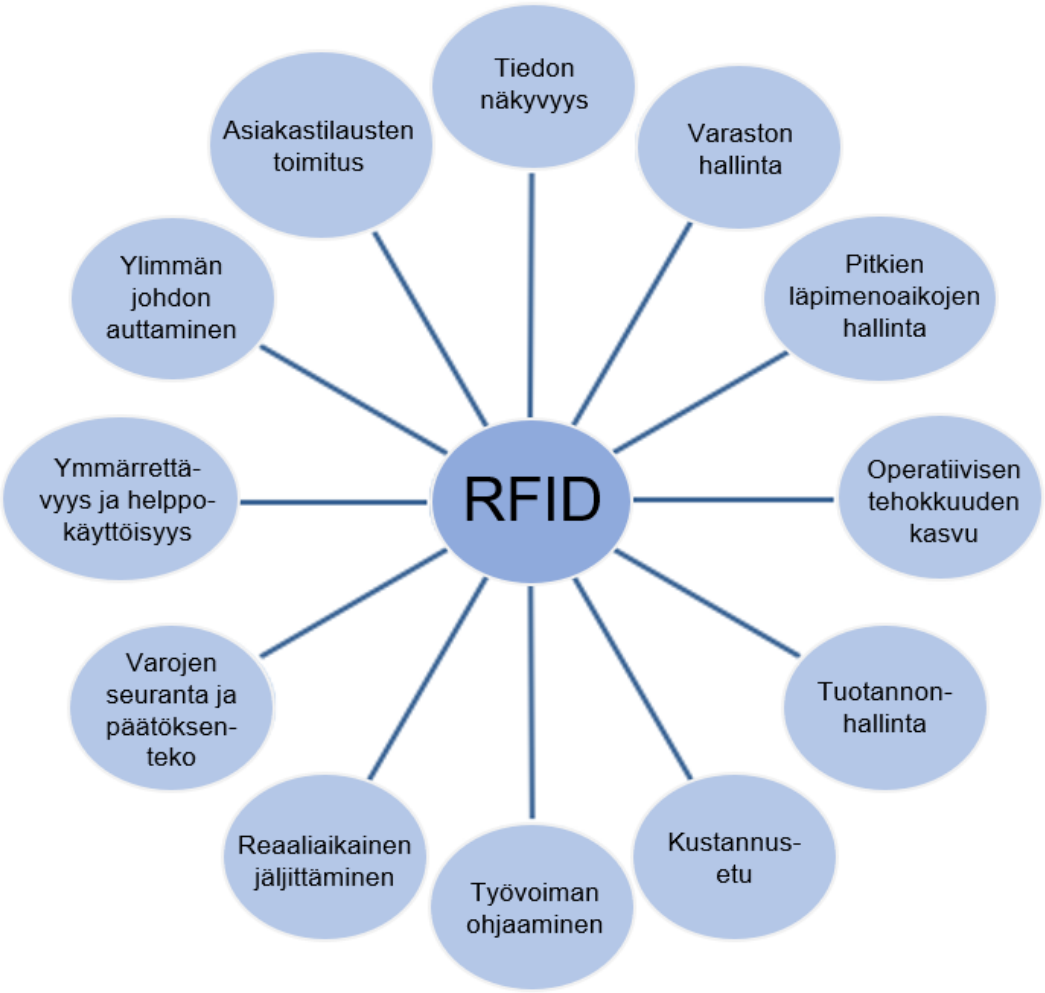
Numerokoodin ohella viivakoodi on hyvin usein käytetty tiedonkeruumenetelmä, jota käytetään esimerkiksi kaupoissa. Myös älypuhelinten myötä yleistyneet QR-koodit kuuluvat tähän kategoriaan. Aungin ja Changin (2014) mukaan viivakoodi on sarja eripaksuisia viivoja, tyhjiä välejä, ruutuja tai ympyröitä, joita voidaan lukea optisella laitteella. Viivat on koodattu niin, että niiden lukeminen optisella lukulaitteella paljastaa tiedon sisältäviä numerokoodeja. Viivakoodi on numerokoodin tapaan helppokäyttöinen ja taloudellinen hankinta, mutta se myös mahdollistaa tarkan jäljitettävyyden. Se on myös optisen lukulaitteen ansiosta nopeampi ja luotettavampi menetelmä kuin numerokoodi. Kuitenkin Brintrupin et al. (2010) tapaustutkimuksen mukaan eräässä yrityksessä jopa 10 %:ssa viivakoodien lukemisyrityksistä ei optisella lukijalaitteella osuttu viivakoodiin tai vahingossa luettiin väärä viivakoodi. Viivakoodin heikkouksiksi muodostuvat myös optisen lukulaitteen vaatiman lukuolosuhteet. Viivakoodin täytyy näkyä kokonaisuudessaan ja suoraan lukulaitteelle (Aung & Chang 2014). Ympäristön täytyy olla riittävän valoisa, sillä viivakoodin lukeminen hankaloituu hämärässä ympäristössä (Querini et al. 2011). Lisäksi eräänä viivakoodin huonona puolena on, että lukulaite voi lukea vain yhden viivakoodin kerrallaan. Viivakoodillakaan ei ole numerokoodin tapaan ympäristön aistimiskykyä. (Aung & Chang 2014)

3.2.2 RFID

Chongwatpolin ja Shardan (2013) mukaan RFID on hyvin samantapainen teknologia viivakoodien kanssa, sillä ne molemmat käyttävät etikettejä, lukijalaitteita ja kaiken kommunikoinnin taustalla olevia IT-järjestelmiä. RFID-etiketti rakentuu antennista, joka lähettää radiosignaaleja sekä mikrosirusta, joka tekee tarvittavan prosessoinnin (Rafique et al. 2016).

Tiedonkeruuteknologiana RFID tarjoaa useita hyötyjä viivakoodiin ja etenkin numerokoodiin nähden. RFID-lukijalaitteet ja -etiketit voivat täysin langattomasti vastaanottaa ja lähettää radiosignaaleja, jotka voivat sisältää suuriakin määriä tietoa. Tämä radiosignaalien lähetys on turvallinen tapa välittää tietoa – etenkin, jos se suoritetaan täysin salattuna. RFID ei myöskään vaadi suoraa näköyhteyttä lukijalaitteen ja etiketin välille. Lisäksi lukijalaite voi lukea useampia etikettejä samanaikaisesti, mikäli lukijalaitteen ja etiketin välinen etäisyys ei ole liian suuri. (Chongwatpol & Sharda 2013) RFID mahdollistaa myös lähes reaaliaikaisen tiedonsiirron, mikä puolestaan voi tuoda merkittäviä hyötyjä tuotannolle. Rafiquen et al. (2016) mukaan RFID on jopa 10-20 kertaa nopeampi teknologia kuin viivakoodi. Zelbst et al. (2012) kertovat, että RFID:n soveltaminen tuotannossa johtaa parantuneeseen tuotannon suorituskykyyn, joka puolestaan suoraan johtaa parantu-

neeseen organisaation ja toimitusketjun suorituskykyyn sekä lisääntyneeseen asiakastyytyväisyyteen. Kaiken lisäksi RFID on helppokäyttöinen ja toimii hyvin tuotannon aikatauluttamisen, varastonhallinnan, tuotannonohjauksen, toimitusaikojen minimoinnin sekä läpimenoaikojen minimoinnin kannalta (Rafique et al. 2016). Kuvassa 4 on nähtävissä RFID:n tarjoamat suurimmat hyödyt yrityksen toiminnalle.



Kuva 4. RFID:n tarjoamat edut yrityksen toiminnalle (mukaillen lähdettä Rafique et al. 2016).

RFID:n suurin heikkous viivakoodiin ja numerokoodiin verrattuna on sen korkeampi hinta. Tämä kuitenkin osittain kompensoituu sillä, että RFID:n käyttöönotto saattaa alentaa työvoiman kustannuksia sen automaattisen toiminnan ansiosta. Toinen RFID:n heikkous on, että sen välittämä tieto ei ole aina tarkkuudeltaan 100 %:sta (Chongwatpol & Sharda 2013). Se on silti huomattavasti luotettavampi teknologia kuin aiemmin mainitut viivakoodi ja numerokoodi, sillä se minimoi työntekijöiden tekemät virheet. Aung ja Chang (2014) mainitsevat RFID:n heikkouksiksi myös RFID-laitteiden välisen olemattoman yhteistoiminnan, etiketin kykenemättömyyden aloittaa kommunikointia lukijalaitteen kanssa sekä RFID:n vähäisen ympäristön aistimiskyvyn.

3.3 Reaaliaikainen paikannusjärjestelmä

Rácz-Szabón et al. (2020) mukaan reaaliaikainen paikannusjärjestelmä eli RTLS (engl. Real-Time Locating System) on järjestelmä, jota käytetään paikantamaan kappaleiden sijaintia missä vain määritellyn tilan sisällä lähes reaaliaikaisesti. RTLS-järjestelmä koostuu viidestä tasosta:

1. laitteistotasolla luodaan kappaleen paikannustieto
2. prosessointitasolla kappaleen paikka määritetään laskennan ja suodattamisen kautta
3. tietotasolla säilytetään kappaleen paikannustieto
4. huoltotasolla voidaan optimoida muuta osaa järjestelmästä
5. visualisointitasolla voidaan analysoida ja seurata reaaliaikaista paikannustietoa.

RTLS:ään voidaan kerätä paikannustietoa useilla eri tiedonkeruumenetelmillä, kuten RFID:llä, viivakoodilla, Wi-Fi:llä ja Bluetoothilla. (Rácz-Szabó et al. 2020) RTLS:n reaaliaikaisuus on parhaimmillaan nopeiden tiedonkeruumenetelmien, kuten esimerkiksi RFID:n kanssa. GPS-teknologia on liian epätarkka keräämään paikannustietoa suhteellisen pienillä alueilla, kuten tuotantolaitoksen sisällä.

Käytännöllisesti katsoen kaikkia tuotannontekijöitä, joihin lukeutuu keskeneräinen tuotanto, työpisteet ja työvoima, voidaan seurata RFID:n avulla reaaliaikaisesti (Yang et al. 2016). RFID:tä hyödyntävän RTLS-järjestelmän käyttöönotto koostuu neljästä vaiheesta. Ensimmäiseksi RFID-lukijalaitteet tulee kiinnittää tärkeisiin prosessin kohtiin, kuten koneisiin ja puskureihin. Tällöin niistä muodostuu niin sanottuja aktiivisia älykkäitä objekteja (engl. Smart Object), jotka voivat aistia ja paikantaa RFID-etikettejä. Käyttöönoton toinen vaihe on RFID-etikettien asettaminen tuotannontekijöihin, kuten resursseihin ja keskeneräiseen tuotantoon. RFID-etiketillä varustettuja tuotannontekijöitä kutsutaan passiivisiksi älykkäiksi objekteiksi, ja ne sisältävät prosessin kannalta tärkeää tietoa. Kriittiset tuotannontekijät voidaan merkitä RFID-etiketeillä yksitellen, ja vähemmän kriittiset kappaletavarat voidaan merkitä esimerkiksi lavoittain. Työntekijöille jaetaan RFID-etikettejä sisältäviä kortteja. Kolmas vaihe on RFID-signaaleja käsittelevän viestintäverkoston käyttöönotto. Viimeiseksi tulee prosesseja suunnitella uudelleen niin, että ne tukevat RFID-teknologiaa. (Zhong et al. 2013) Esimerkiksi prosessien vaiheet ja työntekijöiden työtavat muuttuvat paljon, jos ennen RFID:n käyttöönottoa on ollut käytössä paperista tiedonsiirtoa esimerkiksi numerokoodein.

4. TIEDONKERUUMENETELMIEN VAIKUTUKSET

Tuotannon tietoa voidaan hyödyntää erittäin useissa käyttökohteissa, kuten esimerkiksi tuotannon automatisoinnissa ja varastonhallinnassa (Brintrup et al. 2010). Tämän työ keskittyy tehokkaaseen tuotantoon leanin ja MES:n näkökulmasta, minkä vuoksi myös tiedon hyödyntämistä yrityksen toiminnassa tutkitaan juuri näiden kahden kannalta. Hyödynnetyt tiedonkeruumenetelmät painottuvat RFID:hen, sillä tästä aiheesta on huomattavasti enemmän tutkimuksia kuin muista tiedonkeruumenetelmistä. RTLS-järjestelmät ovat myös keskiössä, sillä nämä usein hyödyntävät RFID:tä tiedonkeruuelimenä.

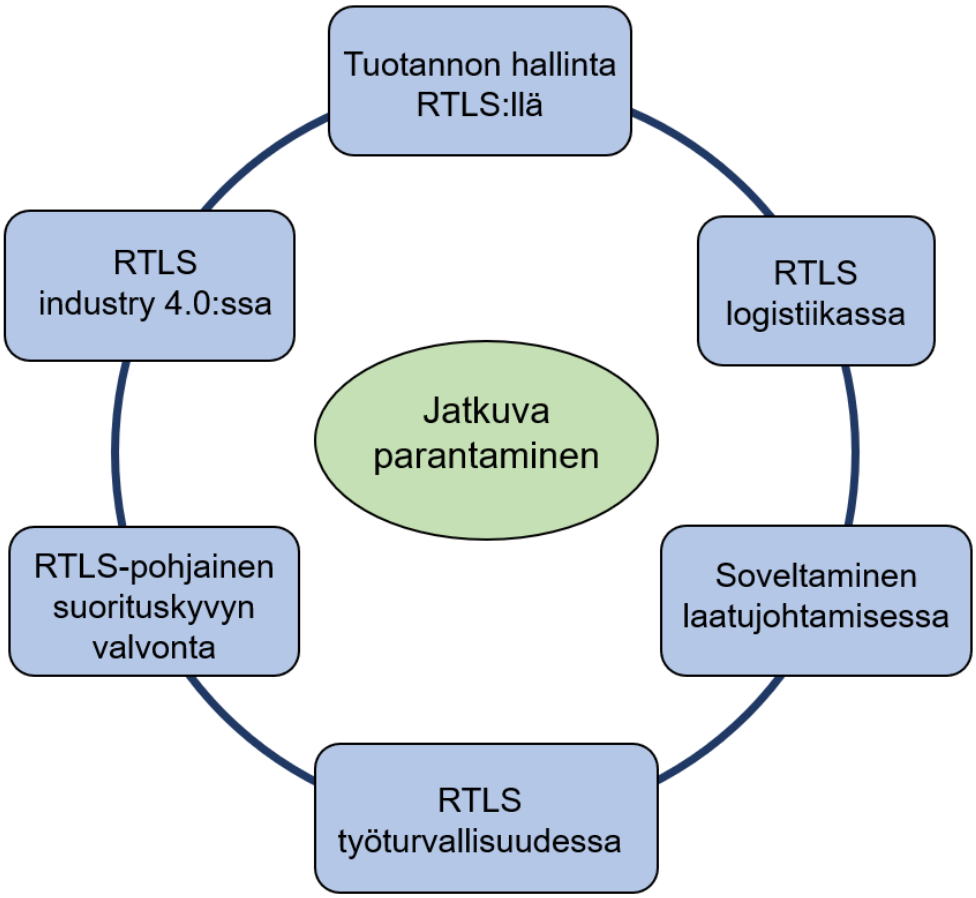
4.1 Tiedonkeruun tarjoamat hyödyt leanille

Lean-periaatteet ja -työkalut hyötyvät merkittävästi tehokkaasta tuotannon tiedonkeruusta. Brintrupin et al. (2010) mukaan RFID on osoittautunut huomattavasti paremmaksi menetelmäksi leanin seitsemän hukan poistossa kuin viivakoodi. Viivakoodit vaativat manuaalista lukemista lukijalaitteella, mikä lisää tarpeetonta liikkumista. Työntekijöiden suorittamat väärät skannaukset saattavat myös lisätä ylituotantoa, mikäli virheellisiä skannauksia suoritetaan tuotteiden kulkiessa varastoon ja ulos sieltä. Lisäksi tuotteiden etsiminen varastossa johtaa liialliseen kuljettamiseen ja odottamiseen. Ylituotanto tai jäljittämättömät tuotteet voi myös mennä pilalle, mikäli niitä kertyy liialti varastoon. RFID voi kuitenkin poistaa viivakoodien aiheuttamia hukkia sen tarjoaman automaattisen ja nopeamman toiminnan sekä prosessin lisääntyneen näkyvyyden ansiosta. (Brintrup et al. 2010) Myös Chongwatpol ja Sharda (2013) ovat tutkineet RFID:n vaikutuksia leanin kannalta haitallisiin hukkiin. Vastoin Brintrupin et al. (2010) ehdotusta, tutkimuksessa tuli ilmi, että RFID saattaa jopa hieman kasvattaa ylituotannon määrää verrattuna perinteisempiin viivakoodijärjestelmiin. Tämä kuitenkin kompensoituu sillä, että RFID:n avulla varaston koko, odotusaika, prosessiaika, tahtiaika sekä kasaumat tuotannossa pienenevät. Tuotannon kannalta kriittisten aikojen lyhentyessä myös sakot myöhästyneistä toimituksista vähenevät. Lisäksi kasaumien pienentyminen johtaa suoraan ylityökustannusten pienenemiseen. (Chongwatpol & Sharda 2013)

Luvussa 2.1.2 mainittiin yrityksen operationaalisen alueen esteiksi pitkät läpimenoajat, varaston hallinnan ongelmat sekä asiakkuudenhallinnan epävakauden. Rafiquen et al. (2016) mukaan nämä ongelmat operationaalisella alueella johtuvat asiakkaiden tilausten hallinnan ja tuotannon aikatauluttamisen vaikeuksista. Nämä johtavat epätasapainoi-

seen varastonhallintaan ja pidentyneisiin läpimenoaikoihin. RFID auttaa näiden ongelmien minimoinnissa, sillä sen mahdollistama reaaliaikainen jäljitettävyys ja automatisoitu tiedon näkyvyys auttavat yritystä saavuttamaan erinomaisen asiakkuudenhallinnan ja parantuneen varastonhallinnan. Nämä puolestaan johtavat suoraan lyhentyneisiin tuotannon läpimenoaikoihin. Operationaalisen alueen kokemat hyödyt tukevat myös ylintä johtoa ja muita työntekijöitä päätöksenteossa. Näin ollen RFID parantaa myös yrityksen liikejohdollisen alueen toimintaa. RFID:n tuomat hyödyt lisäävät johto- ja työntekijäportaan kiinnostusta lean-kulttuurista, mikä tukee lean-tietoisuuden muodostumista ja leanin käyttöönottoa. Juuri tämä lean-tietoisuuden kasvu lisää leaniin kohdistuvia investointeja. Tämä vähentää yrityksen rahoituksellisen alueen leanin esteitä, joita ovat aiemmin mainitut rahoituksen puute ja erilaiset resurssien käytön rajoitteet. (Rafique et al. 2016)

Jatkuva parantaminen on usein keskiössä, kun yritys on ottamassa käyttöön reaaliaikaista paikannusjärjestelmää eli RTLS:ää (Rácz-Szabó et al. 2020). Kuvassa 5 näkyy erilaisia RTLS:n vaikutusalueita, jotka ovat yhteydessä leanin jatkuvaan parantamiseen.



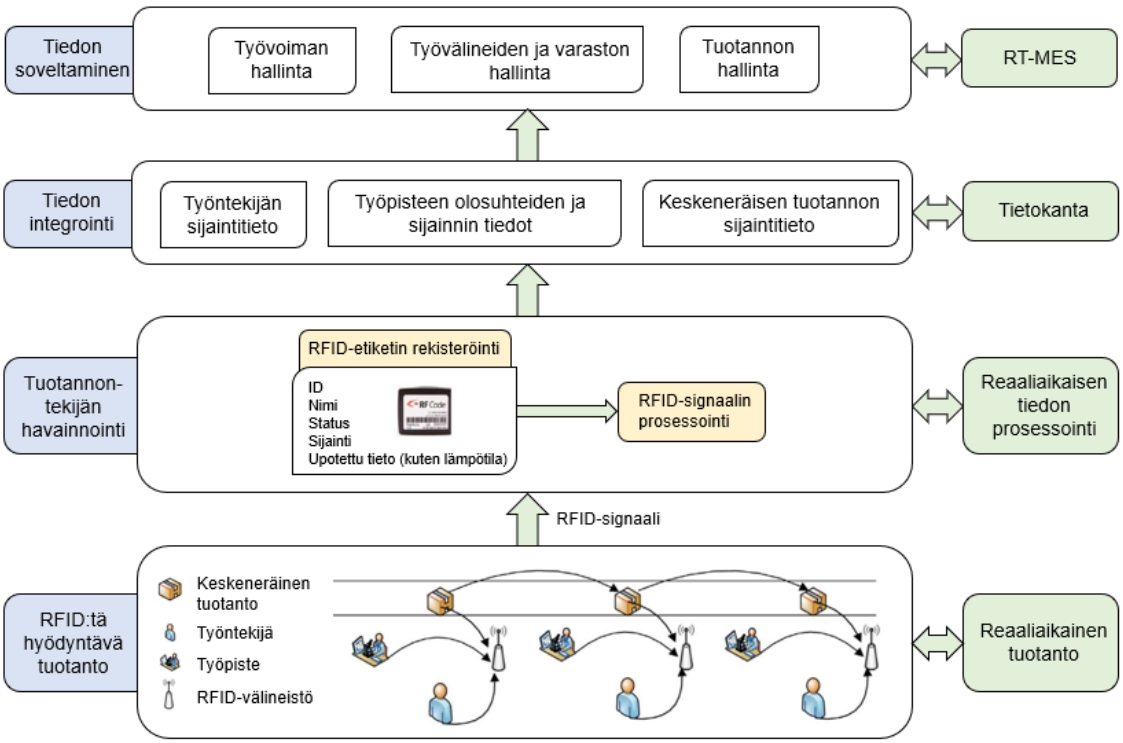
Kuva 5. RTLS mukana jatkuvassa parantamisessa (mukaillen lähdettä Rácz-Szabó et al. 2020).

RTLS:n tarjoama reaaliaikainen paikkatieto siis mahdollistaa jatkuvan parantamisen useissa eri tuotannon kohteissa. Lisäksi myös RTLS:n tarjoamien hyötyjen ja JIT-valmistuksen välillä on löydetty positiivinen korrelaatio. (Rácz-Szabó et al. 2020)

4.2 Tuotantotieto ja MES

MES-järjestelmät täydentävät ERP-järjestelmiä, sillä ne keskittyvät tuotantoon. Tämä mahdollistaa tuotannon prosessien jäljittämisen tuotannosta kerätyn tiedon avulla. Jäljitettävyys voi olla yritykselle selkeä kilpailullinen etu, sillä sen avulla saadaan tietää tuotteen kulkema reitti materiaaleista lopulliseen asiakkaalle lähetettyyn tuotteeseen saakka. (Neves et al. 2015) Tämä helpottaa merkittävästi muun muassa arvovirtakartoituksen eli VSM:n laatimista, sillä prosessin jokaisesta vaiheesta saadaan tietoa helposti MES:n kautta. Rafiquen et al. (2016) mukaan etenkin RFID yhdessä IT-järjestelmän, kuten MES:n, kanssa on hyödyksi tuotannon suunnittelun, toteuttamisen ja ohjaamisen kannalta, kuin myös toimitusketjun ja valmistuksen toimintojen kehittämisessä.

RFID:n tarjoamaa reaaliaikaista tietoa hyödyntävää MES-järjestelmää kutsutaan RT-MES:ksi (engl. Real-Time Manufacturing Execution System). Käytännössä RT-MES on siis aiemmin mainitun reaaliaikainen paikannusjärjestelmän eli RTLS:n ja MES-järjestelmän yhdistelmä. RT-MES-järjestelmän toimintaperiaate on nähtävissä kuvassa 6.



Kuva 6. RFID:hen pohjautuvan RT-MES:n toiminta (mukaillen lähdettä Yang et al. 2016).

RT-MES:n käyttöönotto toi merkittäviä hyötyjä eräälle yritykselle Zhongin et al. (2013) tekemässä tapaustutkimuksessa. Työntekijät raportoivat heidän päivittäisten työtehtävien tason kohentuneen huomattavasti muun muassa RFID:n automaattisen toiminnan ansiosta. Tiedonkulun parannuttua tuotantotietoa saatiin nopeammin, jolloin tuotannonsuunnittelijat tekivät tarkempia ja järkevämpiä suunnitelmia, jotka kuormittivat tuotantotyöntekijöitä vähemmän. Erityisesti häiriöistä saatu nopea tieto koettiin tärkeäksi. Koneiden käyttöasteet tasapainottuivat, eikä enää nähty yhtä suuria käyttöasteiden heilahteluja huippukausien ja hiljaisten kausien välillä. Materiaalien näkyvyys ja jäljitettävyys parantuivat huomattavasti RT-MES:n käyttöönoton myötä ja keskeneräisen tuotannon määrä väheni paremman jäljitettävyyden ansiosta. Kvantitatiivisesti RT-MES:n avulla yrityksen paperin kulutus laski 90 %, keskeneräisen tuotannon varastotaso tippui 27 %, laatuvirheiden määrä väheni 29 %, tuotantosyklit lyhenivät 22,6 % ja yritys tuotti 8 % enemmän tuotteitaan. Yrityksen tekemä voitto kasvoi jopa 47,5 %. (Zhong et al. 2013)

Zhongin et al. (2013) tapaustutkimuksessa RT-MES:n käyttöönotto toi esille kaksi erityistä haastetta. Ensimmäinen haaste oli RT-MES-järjestelmän vakiinnuttaminen työympäristöön. Suuri osa koneenkäyttäjistä vastusti muutosta, sillä se muutti heidän vanhat työtapansa täysin. He eivät halunneet olla mukana projektitiimin ehdottamissa muutoksissa. Rahalliset palkkiot koettiin olleen hyvä ratkaisu tämän haasteen ylittämiseen. Vakiinnuttamista hankaloitti myös se, että eri tuotantolaitokset ottivat käyttöön erilaisia koodausjärjestelmiä. Tämä vaikeutti eri materiaalien merkitsemistä järjestelmässä. Projektitiimin luoma tuotantolaitoksille yhtenäinen koodausjärjestelmä, jossa käytetään lyhenteitä materiaalien nimistä ja uutta materiaalien numerointijärjestelmää, korjasi tämän ongelman. RFID-teknologian käyttöönoton tekninen puoli oli RT-MES-järjestelmän vakiinnuttamisen lisäksi toinen haaste. Käytetty RFID-signaaleja käsittelevä viestintäverkosto ei ollut vakaa, mikä johti suureen määrään kadonnutta tietoa. Epävakaus johtui suuresta metallin määrästä ympäristössä, ja ongelman korjasi viestintäverkoston taajuuden kasvattaminen. RFID-lukijat myös jumittivat, kun suuri määrä työntekijöitä luki oman korttinsa. Tämän ongelman ratkaisi tiedon lähettämisen yhteyteen lisätty vaihtelevan suuruinen viive. (Zhong et al. 2013)

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli tutkia tehokasta tuotantoa leanin ja MES-järjestelmien näkökulmasta sekä määrittää, kuinka tuotannon tiedonkeruu ja yleisimmin käytetyt tiedonkeruumenetelmät tukevat tätä. Tutkimiskysymyksissä kysyttiin, kuinka lean ja MES ovat kytkeytyneet toisiinsa ja kuinka tuotannon tiedonkeruu vaikuttaa näihin.

Ensimmäistä tutkimuskysymystä varten voidaan luvun 2 pohjalta päätellä, että lean-ajattelun ja MES-järjestelmien välillä on selkeä yhteys. Leanin käyttöönotto on tehokas tapa kehittää tuotantoa, mutta sitä häiritsee muun muassa ongelmat tuotannon seurannassa, hukan tunnistamisessa, tuottavassa kokonaishuollossa sekä kokonaisvaltaisessa laatujohtamisessa. MES tarjoaa näihin ja moniin muihin leanin käytön haasteisiin ratkaisuja. MES-järjestelmästä saapuvaa suurta tietovirtaa voidaan pitää eräänlaisena hukkana, mutta oikein käytettynä MES:n tuomat hyödyt ylittävät tämän haitan.

MES-järjestelmien tehokkuus johtuu suurelta osin sen lähes tarjoamasta lähes reaaliaikaisesta tietovirrasta, joka mahdollistaa nopean reagoinnin erilaisiin tilanteisiin, kuten muuttuneisiin asiakastilauksiin tai tuotannon häiriöihin. Koska MES:n hyödyt korreloivat merkittävästi nopean tiedon saannin kanssa, voidaan toisen tutkimuskysymyksen valossa päätellä, että tehokas tiedonkeruu on tärkeässä osassa prosessia. Etenkin RFID-tiedonkeruumenetelmä on osoittautunut erinomaiseksi vaihtoehdoksi sen automaattisen ja langattoman toiminnan ansiosta. RFID-laitteista voidaan rakentaa reaaliaikainen paikannusjärjestelmä, RTLS, joka muodostaa MES:n kanssa RT-MES:n. Sen toimintaa tutkittiin luvussa 4.2, jossa sen merkittävät hyödyt tuotantoon todistettiin Zhongin et al. (2013) tapaustutkimuksen avulla. Myös hitaammilla tiedonkeruumenetelmillä, kuten viivakoodilla ja numerokoodilla, saadaan kerättyä tietoa MES:n tarpeeseen. Näiden tiedonkeruumenetelmien toiminta on hitaampaa ja virhealttiimpaa, mutta edullisempaa kuin RFID-teknologian käyttöönotto.

Kerätyn tiedon pohjalta voidaan suositella MES:n ja leanin yhteiskäyttöä. Ne ovat erikseenkin erinomaisia työkaluja, mutta yhdessä käytettynä MES poistaa osan leanin käytön haasteista. Myös tiedonkeruumenetelmistä RFID:n käyttö on suositeltavaa, mikäli se sopii tuotantotyyppiin ja budjettiin. Vakaassa ja pienehkössä tuotannossa pärjätään myös viivakoodeilla tai numerokoodeilla, mutta tällöinkään ei RFID:n etuja näihin menetelmiin nähden voi vähätellä.

6. YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin tehokasta tuotantoa leanin ja MES:n kannalta sekä pyrittiin selvittämään, kuinka tuotannon tiedonkeruu vaikuttaa tähän kokonaisuuteen. Työssä käytiin läpi lyhyesti lean-ajatteluun liittyviä periaatteita ja työkaluja sekä yleisiä leanin käytön haasteita. MES-järjestelmä määritettiin ISA-95-standardin (2000) avulla, sen 11 päätoimintoa kuvailtiin ja sen hyödyt lean-tuotannolle esitettiin. Tuotannon tiedonkeruun osilta käytiin lyhyesti läpi mittausjärjestelmän laadintaa sekä yleisten tiedonkeruumenetelmien toimintaa, etuja ja heikkouksia. Työssä käsiteltiin myös RFID:stä koostuvan reaaliaikaisen paikannusjärjestelmä RTLS:n käyttöönotto ja ominaisuudet. Lisäksi tuotannon tiedonkeruun vaikutuksia leaniin ja MES:iin sekä reaaliaikaisen tuotannonohjausjärjestelmä RT-MES:n toimintaa käsiteltiin.

Leanin käytön haasteita löytyi muun muassa yritysten sisäisestä kommunikaatiosta, SMED:stä, tuottavasta kokonaishuollosta ja kokonaisvaltaisesta laatujohtamisesta. Lisäksi lean-tietämys oli usein vähäistä. Myös virtaustehokkuus sekä tuotannon suunnittelu, aikataulutus ja ohjaus olivat heikkoa. Syitä näille haasteille löytyi muun muassa lean-kulttuurin puutteesta, työntekijöiden asenteista, työnjohdosta, työvoiman puutteesta, asiakkuudenhallinnasta, varastonhallinnasta, resursseista ja rahoituksesta. Myös tarkan, kokonaisvaltaisen ja ajanmukaisen tuotantotiedon puutetta esitettiin yhdeksi syyksi heikolle lean-tuotannolle.

MES-järjestelmät käsittelevät valmistavan tuotantoympäristön toimintoja, jotka ohjaavat laitteistoa, henkilöstöä, materiaaleja ja energiaa. Tämän kaiken MES-järjestelmät tekevät ERP:n tukeman organisatorisen tason ja työntekijäportaan ohjausjärjestelmien välillä kulkevien tietovirtojen avulla. MES-järjestelmän 11 päätehtäväksi kerrottiin aikatauluttaminen, prosessinhallinta, dokumenttien hallinta, tiedon kerääminen, työvoiman hallinta, laadunhallinta, tuotannontekijöiden toimittaminen, kunnossapidon hallinta, tuotteiden ja tuotehistorian seuranta, suorituskykyanalyysi sekä resurssien allokointi ja tilan seuranta. MES-järjestelmien tuoma hyöty lean-tuotannolle tulee suurimmilta osin sen antamasta reaaliaikaisesta tuotantotiedosta, joka helpottaa jatkuvaan parantamiseen pyrkimistä, arvovirtakuvauksen tekemistä ja tuottavaa kokonaishuoltoa. Lisäksi myös tehtaan layoutien suunnittelu, asetustoimenpiteiden suunnittelu, laitteiden kokonaistehokkuuden seuranta, dashboardien luominen ja PDCA-syklin tutkiminen helpottuvat.

Tuotannon tiedonkeruun luvussa kerrottiin mittausjärjestelmän laadinnasta, jossa tulee ottaa huomioon mittauskohteiden järkevän valinnan merkittävyys. Tärkeimpiä seurattavia tuotannontekijöitä voidaan löytää keskeisistä suorituskykymittareista eli KPI:stä muodostuvan suorituskyvyn mittausjärjestelmän eli PMS:n avulla. KPI:en tulee olla luotettavia, helposti rinnastettavia ja ajan tasalla olevia.

Tiedonkeruun luvussa kerrottiin myös yleisimmistä tiedonkeruun menetelmistä. Numerokoodi on etiketti, jossa on sarja numeroita ja erikokoisia kirjaimia. Se on helppokäyttöinen ja edullinen menetelmä, jonka heikkouksia ovat sen hitaus ja manuaalisesta käytöstä johtuvat virheet. Viivakoodi, johon lukeutuu QR-koodi, on etiketti, joka sisältää sarjan eripaksuisia viivoja, tyhjiä välejä, ruutuja tai ympyröitä. Myös viivakoodi on menetelmänä helppokäyttöinen ja edullinen, mutta lisäksi se on nopeampi käyttää kuin numerokoodi eikä ole yhtä altis käyttövirheille. RFID on edistyneempi tiedonkeruumenetelmä, joka toimii etiketin, lukijalaitteen ja IT-järjestelmien välisten radiosignaalien avulla. Sen toiminta on siis täysin langatonta ja se voi varastoida enemmän tietoa kuin viivakoodi tai numerokoodi. Se on myös huomattavasti luotettavampi teknologia, joka minimoi automaattisen toimintansa ansiosta työntekijöiden virheet. RFID:stä voidaan rakentaa reaaliaikainen paikannusjärjestelmä eli RTLS, jolla voidaan MES:n kanssa seurata tuotannontekijöitä ja prosessien kulkua reaaliaikaisesti.

Tiedonkeruumenetelmistä etenkin RFID on tehokas parantamaan lean-tuotantoa. Sen avulla voidaan minimoida suurinta osaa leanin hukista. Se myös vähentää leaniin vaikuttavien liikejohdollisen, operationaalisen ja rahoituksellisen alueen ongelmia. Jatkuva parantaminen on usein keskiössä RFID:stä muodostuvan RTLS-järjestelmän käyttöönotossa. MES-järjestelmät hyötyvät myös RFID:n tarjoamasta reaaliaikaisesta tuotantotiedosta merkittävästi. Yleinen työtehtävien taso paranee sekä reaaliaikainen tieto häiriöistä ja yleisestä prosessien tilasta helpottaa tuotannonsuunnittelua. Lisäksi koneiden käyttöasteet tasapainottuvat sekä materiaalien ja tuotannon jäljitettävyys paranee.

Lean-tuotannon, MES-järjestelmien ja tuotannon tiedonkeruun välillä on siis selkeä yhteys. MES vähentää leanin käytön haasteita sen tarjoaman reaaliaikaisen tiedon avulla. Tältä osin tuotannon tiedonkeruu eri menetelmin liittyy MES-järjestelmien tehokkuuteen.

LÄHTEET

Ajuha, I.P.S & Khamba, J.S. (2008). *Total productive maintenance: literature review and directions*. The International Journal of Quality & Reliability Management. Vol.25(7), pp. 709–756. Saatavissa (viitattu 26.2.2021): https://doi.org/10.1108/02656710810890890

Aung M.M. & Chang, Y.S. (2014). *Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives.* Food Control. Vol.39(1), pp. 172–184. Saatavissa (viitattu 24.3.2021): https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.007

Borsos, G., Iacob, C.C. & Calefariu G. (2016). *The use of KPI's to determine the waste in production process*. Materials Science and Engineering. Vol.161(1), p.12102. Saatavissa (viitattu 18.3.2021): https://doi.org/10.1088/1757-899X/161/1/012102

Brint, A., Genovese, A., Piccolo, C. & Taboada-Perez, G.J. (2021). *Reducing data requirements when selecting key performance indicators for supply chain management: The case of a multinational automotive component manufacturer.* International Journal of Production Economics. Vol.233, p. 107967. Saatavissa (viitattu 19.3.2021): https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107967

Brintrup, A., Ranasinghe, D. & McFarlane, D. (2010). *RFID opportunity analysis for leaner manufacturing.* International Journal of Production Research. Vol.48(9), pp. 2745–2764. Saatavissa (viitattu. 30.3.2021): https://doi.org/10.1080/00207540903156517

Charron, R., Harrington, H.J., Voehl, F. & Wiggin, H. (2015). *Lean Management Systems Handbook*. Productivity Press. Saatavissa (viitattu 25.2.2021): https://learning.oreilly.com/library/view/the-lean-management/9781466564350/

Chongwatpol, J. & Sharda, R. (2013). *Achieving Lean Objectives through RFID: A Simulation-Based Assessment*. Decision Sciences. Vol.44(2), pp. 239–266. Saatavissa (viitattu 24.3.2021): https://doi.org/10.1111/deci.12007

D'Antonio, G., Bedolla, J.S., Rustamov, A., Lombardi, F. & Chiabert, P. (2016). *The Role of Manufacturing Execution Systems in Supporting Lean Manufacturing*. International Federation for Information Processing. Vol.492, pp. 206–214. Saatavissa (viitattu 10.3.2021): https://doi.org/10.1007/978-3-319-54660-5_19

Helleno, A.L., de Moraes, A.J.I. & Simon, A.T. (2017). *Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes: Application case*

studies in Brazilian industry. Journal of Cleaner Production. Vol.153, pp. 405–416. Saatavissa (viitattu 25.2.2021): https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.072

Hirvonen, P. (2017). *5S-opas*. Jalostin Oy. Saatavissa (viitattu 10.3.2021): https://www.jalostin.fi/materiaalipankki/

Houy, T. (2005). *ICT and Lean Management: Will They Ever Get Along?*. Communications & Strategies. Vol.59, pp. 53–75. Saatavissa (viitattu 12.3.2021): https://link.gale.com/apps/doc/A144106347/ITOF?u=tampere&sid=ITOF&xid=2c9bc6df

Hwang, Y.-D. (2006). *The practices of integrating manufacturing execution systems and Six Sigma methodology.* International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol.31(1), pp 145–154. Saatavissa (viitattu 17.3.2021): https://doi.org/10.1007/s00170-005-0164-0

ISA-95 (2000). *Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology.* International Society of Automation.

Järvenpää, E., Lanz, M., Tokola, H., Salonen, T., Koho, M., Backman, J., Katajisto, K. & Reinilä, H. (2014). *Tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus suomalaisissa valmistavan teollisuuden yrityksissä – Nykytila, haasteet ja tarpeet*. MANU LeanMES. Saatavissa (viitattu 26.3.2021): https://research.tuni.fi/uploads/2019/05/31946714-leanmes-tuotannonsuunnittelu-ja-ohjaus-suomalaisissa-yrityksiss-julkinen-final-1.pdf

McLean, T. (2014). *Grow your factory, grow your profits*. Productivity Press. Saatavissa (viitattu 25.3.2021): https://learning.oreilly.com/library/view/grow-your-factory/9781482255850/

MESA (1997). *White Paper Number 2: MES Functionalities & MRP to MES Data Flow Possibilities*. MESA International. Saatavissa (viitattu 11.3.2021): http://cfile23.uf.tistory.com/attach/1336A34E50C975FE0B9998

Neely A., Richards, H., Mills, J., Platts, K. & Bourne, M. (1997). *Designing performance measures: a structured approach.* International Journal of Operations & Production Management. Vol.17(11), pp. 1131–1152. Saatavissa (viitattu 19.3.2021): https://doi.org/10.1108/01443579710177888

Neves, J.M.S., Akabane, G.K., Marins, F.A.S. & Kanaane, R. (2015). *Deployment the MES (Manufacturing Execution System) aiming to improve competitive priorities of manufacturing.* Independent Journal of Management & Production. Vol.6(2), pp. 449–462. Saatavissa (viitattu 17.3.2021): http://dx.doi.org/10.14807/ijmp.v6i2.233

Perico, P., Arica, E., Powell, D.J. & Gaiardelli, P. (2019). *MES as an Enabler of Lean Manufacturing*. IFAC PapersOnLine. Vol.52(13), pp. 48–53. Saatavissa (viitattu 25.2.2021): https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.306

Powell, D., Binder, A. & Arica, E. (2013). *MES Support for Lean Production*. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Vol.398(2), pp. 128–125. Saatavissa (viitattu 17.3.2021): https://doi.org/10.1007/978-3-642-40361-3_17

Querini, M., Grillo, A., Lentini, A. & Italiano G.F. (2011). *2D Color Barcodes for Mobile Phones.* International Journal of Computer Science and Applications. Vol.8(1), pp. 136–155. Saatavissa (viitattu 24.3.2021): https://www.researchgate.net/publication/220531445_2D_Color_Barcodes_for_Mobile_Phones

Rafique, M.Z., Ab Rahman, M.N., Saibani, N., Arsad, N. & Saadat, W. (2016). *RFID impacts on barriers affecting lean manufacturing*. Industrial Management & Data Systems. Vol.116(8), pp. 1585–1616. Saatavissa (viitattu 25.3.2021): https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2015-0427

Rácz-Szabó, A., Ruppert, T., Bántay, L., Löcklin, A., Jakab, L. & Abonyi, J. (2020). *Real-Time Locating System in Production Management*. Sensors. Vol.20(23), p. 6766. Saatavissa (viitattu 15.4.2021): http://dx.doi.org/10.3390/s20236766

Saenz de Ugarte, B., Artiba, A. & Pellerin, R. (2009). *Manufacturing execution system – a literature review*. Production Planning and Control. Vol.20(6), p. 525–539. Saatavissa (viitattu 10.3.2021): https://doi.org/10.1080/09537280902938613

Unver, H.O. (2013). *An ISA-95-based manufacturing intelligence system in support of lean initiatives*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol.65(5), pp. 853–866. Saatavissa (viitattu 17.3.2021): http://dx.doi.org/10.1007/s00170-012-4223-z

Wilson, L. (2015). *How to implement lean manufacturing*. 2nd edition. McGraw-Hill Education LLC. Saatavissa (viitattu 25.3.2021): https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071835732

Yang. Z., Zhang, P. & Chen, L. (2016). *RFID-enabled indoor positioning method for a real-time manufacturing execution system using OS-ELM*. Neurocomputing. Vol.174, pp. 121–133. Saatavissa (viitattu 20.4.2021): https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.05.120

Zelbst, P.J., Green, K.W., Sower, V.E. & Reyes, P.M. (2012). *Impact of RFID on manufacturing effectiveness and efficiency*. International Journal of Operations & Production Management. Vol.32(3), pp. 329–350. Saatavissa (viitattu 25.3.2021): https://doi.org/10.1108/01443571211212600

Zhong, R.Y., Dai, Q.Y., Qu, T., Hu, G.J, Huang, G.Q. (2013). *RFID-enabled real-time manufacturing execution system for mass-customization production*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. Vol.29(2). pp. 283–292. Saatavissa (viitattu 20.4.2021): https://doi.org/10.1016/j.rcim.2012.08.001