



Leanin ja teollisuus 4.0:n yhdistäminen -kohti lean 4.0 -tuotantoa
Combining lean and industry 4.0 paradigms -towards lean 4.0 manufacturing

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2022

Elias Seppä

Tarkastaja: Tutkijatohtori Lasse Metso

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Tuotantotalous

Elias Seppä

Leanin ja teollisuus 4.0:n yhdistäminen -kohti lean 4.0 -tuotantoa

Combining lean and industry 4.0 paradigms -towards lean 4.0 manufacturing

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2022

54 sivua, 7 kuvaa, 2 taulukkoa ja 3 liitettä

Tarkastaja: Tutkijatohtori Lasse Metso

Avainsanat: Lean-tuotanto, lean, lean 4.0, teollisuus 4.0, lean 4.0 -tuotanto

Keywords: Lean manufacturing, lean, lean 4.0, industry 4.0, lean 4.0 manufacturing

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan, mikä on lean-tuotannon ja teollisuus 4.0:n välinen suhde, eli minkälaisia vaikutuksia teollisuus 4.0:lla on lean-tuotantoon ja miten lean-tuotanto voi tukea teollisuus 4.0:aa. Lisäksi tarkastellaan, kuinka teollisuus 4.0:aan yhdistettäviä teknologioita voidaan hyödyntää lean-tuotannon kanssa. Tässä tutkimuksessa on tarkoituksena kirjallisuuskatsauksen avulla selvittää, onko teollisuus 4.0 lean-tuotannon seuraava kehitysaskel, eli voidaanko lean-tuotannon sekä teollisuus 4.0:n yhdistämisen avulla saavuttaa synergiaetuja.

Tutkimuksen tulokset osoittavat, kuinka teollisuus 4.0 vaikuttaa positiivisesti lean-tuotantoon ja toisaalta tutkimuksessa nousee esille osoituksia siitä, että myös lean-tuotanto tukee teollisuus 4.0:n implementoimista. Näiden yhdistämisellä on saavutettavissa etuja muun muassa yrityksen tuottavuudessa sekä suorituskyvyssä. Tulokset kuitenkin myös osoittavat, että yritykset vaikuttavat olevan vielä epätietoisia siitä, miten näitä kahta paradigmat voisi parhaiten hyödyntää, minkä takia lean-tuotannon sekä teollisuus 4.0:n yhdistäminen ei ole vielä levinnyt kovin laajalti. Yrityksillä vaikuttaa lisäksi olevan haasteita yhdistää eri osastojen kyvykkyydet, sillä yrityksen lean-ammattilaisilla sekä tietotekniikan osaajilla on vaikeuksia ymmärtää toistensa vastualueita. Kuitenkaan haasteet eivät vaikuta olevan pitkäjänteisesti ajateltuna ylitsepääsemättömiä, minkä takia teollisuus 4.0 osoittautuu tämän tutkimuksen perusteella olevan hyvin potentiaalinen vaihtoehto lean-tuotannon seuraavaksi kehitysaskeleeksi.

Lyhenneluettelo

AR	Augmented Reality
Auto-ID	Automatic Identification
CPS	Cyper-Physical Systems
IoS	Internet of Services
IoT	Internet of Things
RFID	Radio Frequency Identification
SMED	Single Minute Exchange of Die
TPM	Total Productive Maintenance
TPS	Toyota Production System
VR	Virtual Reality
VSM	Value Stream Mapping

Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
1.1	Työn tausta ja tutkimusongelma	4
1.2	Tavoite ja tutkimuskysymykset	5
1.3	Rajaukset, tutkimusmenetelmät ja rakenne	6
2	Teollisuus 4.0	8
2.1	Teollisuus 4.0 keskeisiä käsitteitä	10
2.2	Teollisuus 4.0 suunnitteluperiaatteet	11
3	Lean-tuotantofilosofia	13
3.1	Toyota Production System	13
3.2	Leanin peruseriaatteet	15
3.3	Leaniin liitettävät menetelmät sekä työkalut	18
4	Teollisuus 4.0 ja leanin välinen suhde	20
4.1	Teollisuus 4.0 ja lean -riippuvuusmatriisi	20
4.2	Miten teollisuus 4.0 vaikuttaa lean-tuotantoon	22
4.3	Miten lean-tuotanto tukee teollisuus 4.0	23
5	Teollisuus 4.0 ja lean käytännössä	25
5.1	Teollisuus 4.0 ja lean sovellusalueet	25
5.2	Total Productive Maintenance ja teollisuus 4.0	27
5.3	Value Stream Map ja teollisuus 4.0	28
5.4	Kanban ja teollisuus 4.0	29
5.5	Jidoka ja teollisuus 4.0	30
6	Lean 4.0 hyödyt teollisuuteen	33
7	Lean 4.0 integroimisen haasteet	38
8	Yritysesimerkki: Kongsberg Maritime Subsea	40
9	Johtopäätökset	44
	Lähteet	48

1 Johdanto

1.1 Työn tausta ja tutkimusongelma

Neljäs teollinen vallankumous, eli teollisuus 4.0 mullistaa tavan, jolla teollisuudessa tuotetaan uusia tuotteita. Teollisuus 4.0:aan liitetään useita erilaisia teknologioita ja niiden nähdään tuovan paljon potentiaalia tapaan, jolla uusia tuotteita voidaan teollisuudessa valmistaa.

Lean-tuotantofilosofia on Japanin autoteollisuudesta maailmalle levinnyt hyvin menestynyt filosofia, joka on tullut tunnetuksi siitä, että sen avulla on kyetty saavuttamaan merkittäviä parannuksia yrityksissä. Lean on menestyksekkäästi onnistunut haastamaan massatuotantoon liitetyt käytännöt ja tuonut joustavuutta tuotantojärjestelmiin ja -prosesseihin (Bittencourt et al. 2019). Kirjallisuus on täynnä lean-tuotantofilosofiaan liittyvää kirjallisuutta, sillä lean-tuotantofilosofian menestystarinan myötä on noussut ajatuksia siitä, miten tämänlaisia menestystarinoita voisi toisintaa.

Markkinavaatimukset ovat kuitenkin muutoksessa, mikä on huomattavissa muun muassa mas-sarääntälöinnin tarpeen lisääntymisenä. Teollisuus 4.0:n esiin nousemisen myötä onkin noussut ajatuksia siitä, onko lean-tuotanto enää tarpeeksi hyvä vastaamaan muuttuviin markkinavaati-muksiin? Tulisiko yritysten siirtyä lean-tuotannosta kohti teollisuus 4.0:n mahdollistamaa tuotantoa? Onko aika ajanut lean-tuotannon ohi?

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan, toimivatko nämä kaksi paradigmaa yhdessä ja voidaanko näiden yhdistämisellä saavuttaa synergiaetuja. Tarkemmin ottaen, myöhemmissä luvuissa tarkastellaan, mikä on lean-tuotannon ja teollisuus 4.0:n välinen suhde, minkälaisia vaikutuksia teollisuus 4.0:lla on lean-tuotantoon ja miten lean-tuotanto toisaalta tukee teollisuus 4.0:aa ja sen implementointia. Lisäksi esitellään, kuinka näitä paradigmoja on onnistuttu hyödyntämään käytännössä, eli esitellään käytännön sovellusesimerkkejä.

Haastavaa kirjallisuuskatsauksessa oli teollisuus 4.0 -teknologioiden käsittely lean-tuotannossa, sillä syvällisempi lähdekirjallisuus aiheeseen liittyen on vielä suurimmaksi osaksi pinta-puolista ja merkittävimmät käytännön sovellukset ovat vielä tuloillaan. Tässä tutkimuksessa

pyritään kuitenkin antamaan kirjallisuuskatsauksen avulla mahdollisimman ajankohtainen kuva, kuinka teollisuus 4.0:n ja lean-tuotannon yhdistäminen nähdään tällä hetkellä, minkä takia tässä tutkimuksessa on pyritty hyödyntämään tuoreimpia tieteellisiä kirjallisuuslähteitä.

1.2 Tavoite ja tutkimuskysymykset

Työn tavoitteena on tarjota lukijalle käsitys ja tiivis kuva siitä, miten leania on hyödynnetty yhdessä teollisuus 4.0:n kanssa ja mitä mahdollisuuksia ja hyötyjä näiden kahden yhdistämisellä voidaan saavuttaa.

Työn luettua lukija saa vastauksen seuraavaan päätutkimuskysymykseen:

- Onko teollisuus 4.0 lean-tuotannon seuraava kehitysaskel?

Sekä seuraaviin osatutkimuskysymyksiin:

- Mikä on teollisuus 4.0:n ja lean-tuotannon välinen suhde?
- Miten teollisuus 4.0 -teknologioita voidaan hyödyntää leanin kanssa?

1.3 Rajaukset, tutkimusmenetelmät ja rakenne

Tutkimus on rajattu lean-tuotanto sekä teollisuus 4.0 -näkökulmaan. Tarkempaa rajausta ei ole tehty mihinkään teollisuuden sektoriin, koska ei ole vielä tarpeeksi paljon olemassa olevaa tieteellistä tutkimusta, jotta lean-tuotannon sekä teollisuus 4.0:n integroinnin käsittelystä saisi tarpeeksi kattavan millään teollisuuden sektorilla. Kirjallisuuslähteiden valitsemisessa on pyritty painottamaan lähteitä, jotka keskittyvät valmistavaan teollisuuteen. Tutkimus on myös rajattu siten, että tutkimuksessa ei perehdytä sen tarkemmin leanin historiaan, joka usein nostetaan esille leania käsittelevissä tutkimuksissa. Myöskään teollisuus 4.0:n historiaan ei tässä tutkimuksessa keskitytä. Tässä tutkimuksessa mainitaan lukijoille vain oleelliset asiat molempien paradigmojen historiasta, jotka ovat merkityksellistä ymmärtää tutkimuksen osoittamassa kontekstissa. Tutkimuksen lähteinä on käytetty pääasiassa vain tieteellisiä julkaisuja, joita on etsitty tunnettujen tietokantojen, kuten Scopusin, Google Scholarin ja Science Directin kautta. Tutkimuksessa on lähdekirjallisuutta etsitty esimerkiksi hakusanojen: ”Industry 4.0”, ”lean manufacturing”, ”lean”, ”lean production”, ”lean 4.0” sekä näistä hakusanoista muodostettujen yhdistelmien avulla. Tutkimuksen rakenne on kuvattu alla olevassa taulukossa 1.

Taulukko 1. Tutkimuksen rakenne

1. Johdanto	Johdannossa esitellään lukijalle työn tausta, tutkimusongelma, työn tavoite, tutkimuskysymykset sekä työn rajaukset.
2. Teollisuus 4.0	Luvussa 2 käydään aluksi läpi teoriatasolla sitä, mitä teollisuus 4.0 oikein tarkoittaa ja mitkä olivat aikaisemmat teolliset vallankumoukset. Lisäksi esitellään keskeisiä teollisuus 4.0:aan yhdistettäviä teknologioita, jotka nousevat tässä tutkimuksessa esille myöhemmissä luvuissa.
3. Lean-tuotantofilosofia	Luvussa 3 käydään läpi sitä, mitä lean-tuotannolla oikein tarkoitetaan, mitkä ovat sen keskeiset periaatteet, menetelmät sekä työkalut.

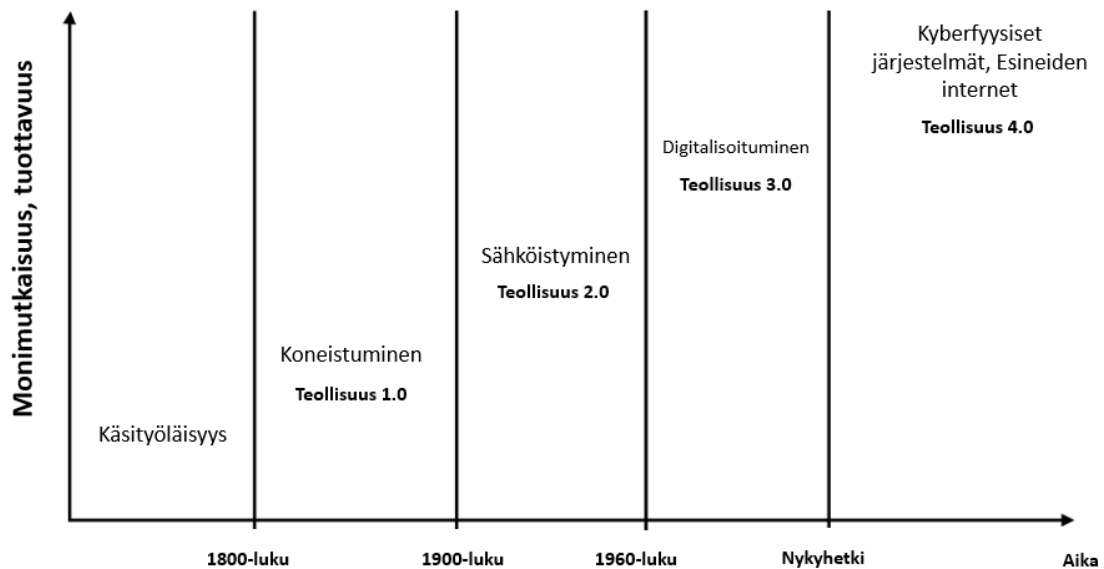
4. Teollisuus 4.0 ja leanin välinen suhde	Luvussa 4 käsitellään teollisuus 4.0:n vaikutuksia lean-tuotantoon ja miten lean-tuotanto voi tukea teollisuus 4.0:aa sekä sen implementointia.
5. Teollisuus 4.0 ja lean käytännössä	Luvussa 5 esitellään sitä, kuinka teollisuus 4.0 -teknologioita voidaan hyödyntää leanin kanssa käytännössä.
6. Lean 4.0 hyödyt teollisuuteen	Luvussa 6 esitellään hyötyjä, joita voidaan teollisuus 4.0:n sekä lean-tuotannon integroimisella saavuttaa.
7. Lean 4.0 integroimisen haasteet	Luvussa 7 esitellään mahdollisia haasteita teollisuus 4.0:n ja lean-tuotannon integroimiseen liittyen.
8. Yritysesimerkki: Kongsberg Maritime Subsea	Luvussa 8 esitellään Kongsberg Maritime Subsea -yritysesimerkki, jonka avulla pyritään konkretisoimaan teollisuus 4.0:n vaikutuksia lean-tuotantoon.
9. Johtopäätökset	Luvussa 9 esitellään työn keskeiset johtopäätökset.

2 Teollisuus 4.0

Teollisuuden kilpailu on lisääntynyt maailmalla viime vuosina ja markkinavaatimukset ovat jatkuvassa muutoksessa, mistä johtuen tuotannon on kyettävä mukautumaan nopeasti aiheutuviin muutoksiin. (Rojko 2017) Yksi markkinavaatimuksissa tapahtuneista muutoksista on esimerkiksi massaräätälöinnin tarpeen lisääntyminen, sillä asiakkaat haluavat persoonallisempia tuotteita (Lasi et al. 2014). Muuttuviin markkinavaatimuksiin valmistustekniikassa voidaan vastata vain radikaalisilla edistyksillä, joita teollisuus 4.0 edustaa (Rojko 2017).

Kuten kuva 1 osoittaa, edeltäviä vallankumouksia oli vuonna 1784 alkanut ensimmäinen teollinen vallankumous, jonka keskeisin mahdollistaja oli höyrykoneen keksiminen. Toista teollista vallankumousta johti sähköistyminen, jonka seurauksena tuotteiden massatuotannosta tuli mahdollista. Kolmannella teollisella vallankumouksella viitataan siihen, kuinka informaatiotekniikka alkoi integroitumaan tuotantoprosesseihin. (Dubey et al. 2022)

Teollisuus 4.0 esiteltiin ensimmäisen kerran Saksassa vuonna 2011 ja viime vuosikymmenen aikana se on tuonut mukanaan useita teknologisia innovaatioita eri liiketoiminta-aloille, kuten uudenlaisia tieto- ja viestintäjärjestelmiä, jotka ovat nostaneet alan ammattilaisten ja tutkijoiden huomion maailmanlaajuisesti (Silvestri et al. 2022). Tutkimuksessaan Salkin et al. (2018, s. 5-6) nostavat esille, että ei ole olemassa mitään tiettyä määritelmää teollisuus 4.0:lle, eikä myöskään ole olemassa mitään tiettyä teknologiaa, jonka avulla voitaisiin käynnistää teollisuus 4.0. Pääasia teollisuus 4.0:ssa on tuotantolaitosten, toimitusketjujen ja palveluiden integroiminen arvoverkostoksi. Jotta tämä voitaisiin toteuttaa onnistuneesti, ovat teollisuus 4.0:aan liitettävät teknologiat tarpeen.



Kuva 1. Teolliset vallankumoukset (mukaiillen Demir et al. 2021)

Teollisuus 4.0:ssa korostuvat toistensa kanssa yhteydessä olevat laitteet, eli niin kutsutut kyberfyysiset järjestelmät (CPS), jotka voivat kommunikoida, vaihtaa tietoa itsenäisesti toistensa kesken sekä lähettää komentoja toinen toisilleen. CPS:n sekä esineiden internetin (IoT) avulla voidaan puolestaan muodostaa autonomisesti toimivia älytehtaita. (Tjahjono et al. 2017)

Kyky yhdistää fyysisiä laitteita, sensoreita ja muita yrityksen resursseja internettiin on neljännen teollisen vallankumouksen mahdollistama valtava muutos. Tämän johdosta tuotantoprosesseista saadaan kerättyä ja analysoitua paljon dataa joka hetki, mikä tuo merkittävästi lisäarvoa tuotantoprosesseihin. (Alexopoulos et al. 2016) Tutkimuksessaan Javaid et al. (2021) toteavatkin, että tyypillisessä tehtaassa on satoja sensoreita, jotka muodostavat paljon dataa, jota voidaan kerätä. Reaaliaikaisen datan avulla pystytään muun muassa optimoimaan resurssien käyttöä ja parantamaan järjestelmän suorituskykyä (Lu 2017).

Toisiinsa kytketyt koneet ja älylaitteet muokkaavat tapaa, jolla arvoa luodaan teollisuudessa. Yritykset etsivätkin tapoja ottaa käyttöön teollisuus 4.0:n tuomia teknologioita, jotta he voisivat olla tuottavampia, joustavampia sekä kestävämpiä tuotantojärjestelmiensä suhteen. Teollisuus 4.0 nähdään tuovankin useita erilaisia hyötyjä, kuten kustannussäästöjä tuotantoon, logistiikkaan sekä laadun valvontaan. Lisäksi eduiksi luetaan, että tuotteita voidaan julkaista lyhyellä varoitusaajalla ja massaräätälöinnin mahdollisuudet lisääntyvät. (Rojko 2017) Lisäksi koneiden,

ihmisten sekä esineiden vuorovaikutus nopeuttaa tuotantojärjestelmien prosesseja (Rüßmann et al. 2015).

2.1 Teollisuus 4.0 keskeisiä käsitteitä

Seuraavaksi esitellään teollisuus 4.0:aan liittyviä keskeisiä käsitteitä, jotka nousevat tässä tutkimuksessa myös esille.

Esineiden internet (IoT) ja palveluiden internet (IoS). IoT edustaa radikaalia internetin kehittymistä kytkettyjen esineiden verkostoksi. Esineiden sisällä on sisäänrakennettuja antureita sekä laskentakapasiteettia, mikä mahdollistaa datan keräämisen, datan vaihdon sekä datan käyttämisen. (Konanahalli et al. 2020) Palveluiden internetin (IoS) avulla voidaan tarjota palveluita ja tuotantotekniikkaa internetin välityksellä (Gilchrist 2016, s. 208).

Automaattinen tunnistaminen (Auto-ID) ja Radiotaajuustunnistus (RFID). Auto-ID tarkoittaa pääasiassa esineiden tunnistamista automatisoidusti ja termi kattaa sisäänsä teknologioita, kuten viivakoodin, QR-koodin sekä RFID:n (Tu et al. 2021). Radiotaajuustunnistus (RFID) on tekniikka, joka on IoT:n yksi kulmakivistä. RFID:tä käytetään usein esineiden tunnistamiseen ja jäljittämiseen. RFID-tekniikka poistaa useimmissa tapauksissa tarpeen ihmistyövoimalle datan keräämisen suhteen, mikä tarkoittaa sitä, että tehtaista tulee älykkäämpiä. (Xu et al. 2018)

Big Data ja analytiikka. Termi big data ja analytiikka viittaa yleisesti mihin tahansa valtavaan määrään dataa, jota on mahdollista kerätä, tallentaa, hakea, integroida, valita, esikäsitellä, muuntaa sekä analysoida. (Bibri 2018)

Pilvipalvelut. Teollisuus 4.0:n mukana datan määrä kasvaa valtavasti ja datan jakamisesta tulee välttämätöntä, jotta voidaan saavuttaa kaikki teollisuus 4.0:n mahdollisuudet (Gilchrist, 2016 s. 208). Pilvipalveluiden avulla voidaan tallentaa suuria määriä dataa yksityisille tai julkisille pilvipalvelimille, ja tällä tavoin pilvipalveluiden avulla voidaan tukea monimutkaisia päätöksentekotehtäviä (Xu et al. 2018).

Simulaatio. Simulaatiossa mallinnetaan jokin systeemi tai prosessi, jotta voidaan ymmärtää paremmin, kuinka se käyttäytyy. Simulaatioon pohjautuvat päätöksentekovälineet mahdollistavat ratkaisujen kehittämistä, validointia sekä järjestelmien ja yksittäisten elementtien testausta.

(Marinelli et al. 2021) Ennen simuloinnin yleistymistä, prosessien tehokkuuden testaaminen oli tehtävä kokeilemalla (Gilchrist 2016, s. 208).

Lisätty valmistus. Lisätty valmistus mahdollistaa tuotannon ilman leikkaamista, poraamista tai hiontaa. Tämä tarkoittaa, että monimutkaistenkin kappaleiden valmistaminen on paljon helpompaa. (Berman 2012) 3D-tulostus on yksi lisätyn valmistuksen tekniikka, jonka avulla valmistajat voivat tehdä prototyyppejä sekä konseptisuunnittelua, mikä vähentää kustannuksia sekä suunnitteluun kuluva aikaa (Gilchrist 2016, s. 210).

Lisätty todellisuus ja virtuaalinen todellisuus (AR ja VR). Lisätty todellisuus, eli AR, on tietokoneella tuotetun tiedon integroimista reaali maailman ympäristöön. AR-laitteet kaappaavat kuvia todellisesta maailmasta ja yhdistävät nämä grafiikat tietokoneella tuotettuun tietoon. (Paelke 2014) Yritykset pyrkivät yhä enemmän pienentämään kustannuksia, jotka kuluvat koulutuksiin sekä kunnossapitoon. Lisätyn todellisuuden avulla valmistajat pystyvät muun muassa parantamaan kunnossapitomenettelyjään. (Gilchrist 2016, s. 210) VR:n käyttäjä puolestaan osallistuu täysin keinotekoiseen ympäristöön, eikä hänellä ole vuorovaikutusta ympäröivän todellisen maailman kanssa (Roldán et al. 2019).

2.2 Teollisuus 4.0 suunnitteluperiaatteet

Seuraavaksi käydään läpi teollisuus 4.0:lle ominaisia suunnitteluperiaatteita. Ennen teollisuus 4.0:n implementoimista olisi suunnitteluperiaatteet hyvä ottaa huomioon, sillä teollisuus 4.0:n suunnitteluperiaatteet luovat mukautuvan kokonaisuuden ja koordinoinnin teollisuus 4.0:n tarjoamien ratkaisujen välille. (Salkin et al. 2018, s. 16) Teollisuus 4.0:ssa on Gilchrist et al. (2016) mukaan kuusi suunnitteluperiaatetta, jotka ovat listattuna alapuolelle.

Oikea-aikaisuus (Real-time Capability). Älytehtaassa pyrkimyksenä on se, että kaikesta tehdään reaaliaikaista, mikä tarkoittaa sitä, että tuotantoprosessi, datan kerääminen tuotantoprosessista sekä prosessien seuranta tapahtuu myös reaaliajassa (Gilchrist 2016, s. 208).

Hajauttaminen (Decentralisation). Teollisuus 4.0:n yhteydessä hajauttamisella viitataan laitteiden kykyyn tehdä itsenäisiä päätöksiä ja se perustuu laitteiden oppimiskykyyn aikaisemmista tapahtumista sekä toiminnoista (Hermann et al. 2016). Hajauttaminen mahdollistaa älykkäiden

tehtaiden monipuoliset järjestelmät tekemään päätöksiä itsenäisesti poikkeamatta kohti yhtä ainoaa, perimmäistä organisaation päämäärää (Gilchrist 2016, s. 208).

Modulaarisuus (Modularity). Modulaarisuudella viitataan yrityksen kykyyn mukautua sekä muuntautua erilaisten tilanteiden aiheuttamiin muutoksiin (Gilchrist, s. 208). Modulaarisuus mahdollistaa kyvyn muuntautua nopeastikin markkinoilla tapahtuviin muutoksiin, joita voi tapahtua muun muassa kysynnän suhteen, jos kysyntäennusteet vaihtelevat. Myös tuotteisiin kohdistuviin muutoksiin esimerkiksi suunnittelussa pystytään reagoimaan tehokkaasti ja nopeasti. (Hermann et al. 2015)

Yhteentoimivuus (Interoperability). Yhteentoimivuudella tarkoitetaan kaikkien komponenttien kykyä yhdistyä, kommunikoida ja toimia yhdessä esineiden internetin kautta (Gilchrist, s. 208). Uusien teknologioiden käyttöönotolla ei saavuteta kaikkia mahdollisia hyötyjä, mikäli ei ole olemassa systemaattista järjestelmää, jonka avulla voidaan jakaa tietoa laitteiden sekä ihmisten välillä (Gilchrist, s. 208).

Virtualisointi (Virtualization). Virtualisoinnilla tarkoitetaan fyysisten prosessien sekä koneiden yhdistämistä sekä sensoridatan palauttamista virtuaalisiin malleihin. Tämän avulla esimerkiksi prosessi-insinöörit voivat esimerkiksi testata erilaisia muutoksia ilman, että he tekevät muutoksia fyysiseen prosessiin. (Gilchrist 2016, s. 208)

Palvelusuuntauneisuus (Service Orientation). Esineiden internet luo potentiaalisia palveluja, joita muut voivat käyttää. Sisäisiä ja ulkoisia palveluja tarvitaan edelleen älytehtaissa, minkä takia Internet Of Services (IoS), eli palveluiden internet on niin tärkeä osa teollisuus 4.0:aa. (Gilchrist 2016, s. 208)

3 Lean-tuotantofilosofia

Lean on johtamisfilosofia, joka sai alkunsa Japanista Toyotan autotehtaalta 1900-luvun alkupuolelta. Toyotan tehtaalla autoja suunniteltiin virtaustehokkaasti ja hukkaa eliminoiden. (Mellon 2005) Lean-tuotanto-termin pidetään olevan lähtöisin MIT:n tutkijan John Krafcilta, joka oli osana tutkimassa Toyotan tuotantojärjestelmää 1980-luvun loppupuolella (Charron et al. 2015 s. 3). On todettu, että leanin periaatteet ovat yhteydessä yrityksen saavuttaman paremman tuottavuuden ja laadun kanssa (Riezebos et al. 2017).

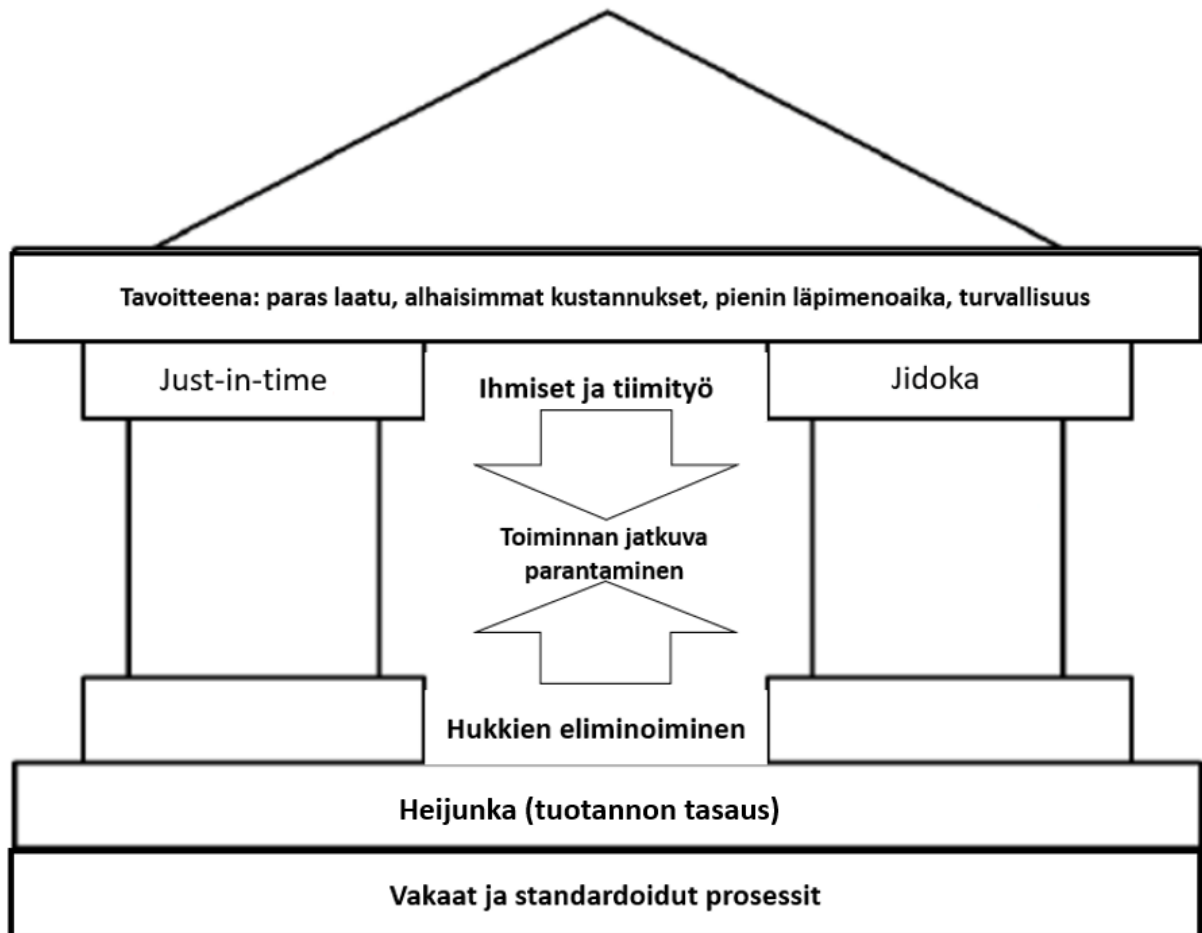
Lean-tuotannon perimmäinen idea on maksimoida asiakasarvo siten, että samalla pienennetään aiheutuvaa hukkaa minimiin (Wahab et al. 2013). Hukalla tarkoitetaan käytännössä kaikkea sellaista toimintaa, josta asiakas ei ole valmis maksamaan (Charron et al. 2015 s. 243). Nykyaikaiset kilpailevat markkinat vaativat yrityksiltä sitä, että tuotteita tulee tehdä tehokkaasti sekä nopeasti. Tästä syystä yritykset ovatkin alkaneet hyödyntämään leania pienentääkseen kustannuksia ja läpimenoaikoja sekä maksimoidakseen tuotteen arvon sekä laadun. (Marinelli et al. 2021)

3.1 Toyota Production System

Toyota Production System, eli TPS on toimivista lean-prosesseista tunnetuin esimerkki ja siitä on tullut kilpailukykyisen valmistuksen malli kaikkialla maailmassa (Liker & Morgan 2006, s. 6). TPS on leanin synnyinpaikka. Erityisesti lean-tuotanto on pohjimmiltaan samanlainen Toyotan tuotantojärjestelmän kanssa. Tämä johtuu siitä, että suurin osa lean-järjestelmän filosofioista, periaatteista, menetelmistä, tekniikoista ja työkaluista on peräisin TPS:stä. Se, mitä MIT:n tutkijat tutkivat vuonna 1988 ja kutsuivat leaniksi, oli pohjimmiltaan sitä, mitä Toyotan tuotantojärjestelmä on. Tästä syystä termit lean-tuotanto ja Toyota Production System ovat siten käytännössä synonyymejä. (Sayer & Williams 2007, s. 30)

Seuraavaksi tarkastellaan leania TPS:n kautta, sillä käytännössä leanin arvot, tavoitteet ja periaatteet ovat kiteytettyinä TPS-malliin, kuten edellä todettiin. Jokainen elementti TPS-talokaaviossa on olennainen. Elementit vahvistavat toisiaan, mikä tekee kokonaisuudesta merkityksellisen. Olennaista on myös huomata, että TPS ei ole työkalukalupakki täynnä lean-työkaluja,

kuten 5S tai Kanban, vaan se on yhtenäinen tuotantojärjestelmä ja kokonaisuus. (Liker 2006, s. 34)



Kuva 2. Toyota Production System mukailten (Liker & Morgan 2006, s. 7)

Kuten kuvasta 2 huomataan, koostuu TPS kahdesta pääpilarista, joista toinen on just-in-time ja toinen on Jidoka. Jidokan peruseriaate on se, että laatu on rakennettuna tuotannon sisään. Tällä tarkoitetaan, että on oltava menetelmä vikojen havaitsemiseksi sekä tuotannon pysäyttämiseksi automaattisesti. Työntekijän tulee myös pystyä korjaamaan ongelma sen syntymispisteessä, ennen kuin vika pääsee leviämään prosessissa pidemmälle. (Liker 2006, s. 32) Toinen pääpilarista on Just-in-time (JIT). JIT-periaatteella tarkoitetaan sitä, että materiaali saadaan virtaamaan prosessin läpi erittäin nopeasti siten, että ne päätyvät juuri oikeaan paikkaan, juuri oikeaan aikaan. (Liker 2006, s. 32).

Kaiken pohjana on pohjaelementit, eli tarve vakaille standardiprosesseille sekä Heijunka, jolla tarkoitetaan tuotannon tasaamista volyymin ja valikoiman suhteen (Liker 2006, s. 32). Tavoitteena on luoda tasainen tilausvirta sekä tasainen työkuorma. Kun työkuorma saadaan tasaiseksi, muodostuu mahdollisuuksia prosessien standardoimiselle. Vakaat ja standardoidut prosessit puolestaan ovat välttämättömiä JIT-periaatteen toiminnan kannalta. (Liker & Morgan 2006, s. 7-8)

Keskiössä on Kaizen eli jatkuva toiminnan parantaminen (Liker 2006, s. 32). Kaizen on japanilainen termi ja se on yksi leanin peruseriaatteista. Kaikkien työntekijöiden tulisi osallistua Kaizen-toimintaan. Työntekijöillä on operatiivista kokemusta, mikä tekee heistä arvokkaita resursseja parannusten ehdottamisessa sekä toteuttamisessa. Jotta organisaatiosta tulisi lean, ei yksinkertainen lean-menetelmien sekä lean-työkalujen käyttöönotto riitä, vaan pitää tapahtua muutos koko organisaation kulttuurissa siten, että havitellaan jatkuvaa oppimista sekä kehitystä organisaation sisällä. (Liker 2006)

3.2 Leanin peruseriaatteet

Seuraavaksi esitellään lean-ajattelussa esiintyvät 5 pääperiaatetta, jotka ovat keskeisessä osassa lean-tuotannossa. Womack et al. (2003) esittävät teoksessaan *Lean Thinking* leanin 5 pääperiaatetta, joita ovat:

- Määrittele arvo asiakkaan näkökulmasta
- Tunnista arvonluonti
- Luo arvovirtaus
- Toteuta imuohjautuva tuotanto
- Tavoittele jatkuvaa parantamista

Leanin ensimmäinen periaate on luoda arvoa asiakkaan näkökulmasta. Arvolla tarkoitetaan sitä, mistä asiakas on halukas maksamaan ja mikä luo asiakkaalle arvoa. (Womack et al. 2003, s.

15) Keskeistä ensimmäisessä periaatteessa on arvioida, keitä asiakkaat ovat ja mitkä toiminnot tuottavat arvoa asiakkaalle. Arvon määrittäminen on tärkeää, koska asiakkaat ovat tuotteen tai palvelun maksajia ja tuovat rahaa yritykseen. (Raman 1998)

Leanin toinen keskeinen periaate on arvovirran tunnistaminen. Arvovirran määrittelemisessä on olennaista se, että on aikaisemmin määritelty, mitä arvo on. Arvovirta itsessään tarkoittaa kaikkia niitä toimintoja ulottuen prosessin alkupäästä prosessin loppupäähän, jotka lisäävät arvoa tai toisaalta eivät lisää arvoa prosessiin. (Charron et al. 2015 s. 247) Arvovirran määrittelemisessä keskeistä on se, että prosessista poistetaan hukat, eli ne asiat, jotka eivät tuota asiakkaalle arvoa (Womack et al. 2003, s. 18-19).

Leanin kolmas periaate on arvovirran luominen sen jälkeen, kun ilmeisimmät hukat on saatu poistettua prosessista (Thangarajoo & Smith 2015). Jäljellä olevat arvoa tuottavat vaiheet prosessissa on hukkien poistamisen jälkeen saatava virtaamaan (Womack et al. 2003, s. 21). Arvovirtauksen ideana pidetään sitä, että tuotantoprosessi toteutetaan valmistusosa kerrallaan siten, että tuotantoprosessissa raaka-aineet siirtyvät työpisteeltä seuraavalle ilman odotusaikoja (Lian & Van Landeghem 2002). Olennaista on se, että lopputuotteessa käytettyjen osien tulisi olla koko ajan liikkeessä prosessin sisällä, jotta ei syntyisi välivarastoja ja odotusaikoja, jotka eivät tuota arvoa asiakkaalle (Thangarajoo & Smith 2015).

Neljäs leanin periaate on imuohjautuvan tuotannon toteuttaminen, joka tulisi toteuttaa siten, että edellä esitetyt leanin periaatteet on otettu huomioon. Toyotan innovoimassa imuohjausjärjestelmässä ideana on se, että tuotantoprosessi nähdään yhtenä virtauksena, joka koostuu eri tuotantovaiheista. Eri tuotantovaiheilla on imuohjauksessa kaksi erillistä roolia toimittajana sekä asiakkaana prosessissa seuraaville tuotantovaiheissa oleville yksiköille. (Modig & Ahlström 2013, s. 61) Tarkoituksena on saavuttaa tilanne, jossa prosessin yläpäässä olevien yksiköiden ei tulisi tuottaa mitään, ennen kuin asiakas prosessin alkupäässä tekee tilauksen (Charron et al. 2015, s. 318).

Viides leanin keskeinen periaate on toiminnan jatkuva parantaminen, eli Kaizen. Jatkuvan parantamisen periaate on jokaisen työntekijän vastuulla, eli jokaisen työntekijän tulee olla osallinen jatkuvaan parantamiseen. Yrityksen tulisi jatkuvan parantamisen periaatteessa pyrkiä täydellisyyteen ja eliminoida kaikki hukka prosessista. (Liker 2006, s. 250-251)

Kuten aikaisemmin on jo todettu, lean-ajattelussa sekä Toyotan tuotantosysteemissä on keskeistä hukkan, eli arvoa lisäämättömän toiminnan tunnistaminen. Teoksessaan *Toyotan tapaan*

Liker (2006, s. 28-29) osoittaa kahdeksan erilaista hukan tyyppiä, jotka pystyttiin erottamaan Toyotalla. Eri hukan muodot on esitetty alapuolella selityksineen.

- Ylituotanto

Ylituotannolla tarkoitetaan sitä, että tuotetaan yli kysynnän. Tästä syntyy hukkaa, kuten liikahenkilöstöä, ylimääräistä varastointia sekä siitä johtuvia kuljetuskustannuksia. (Liker 2006, s. 28)

- Odottelu

Työntekijät odottavat tai katselevat esimerkiksi koneen toteuttaman suorituksen loppumista tai esimerkiksi seisoskelevat ja odottelevat seuraavaa käsittelyvaihetta, työkalua, toimitusta tai komponenttia. (Liker 2006, s. 28)

- Viat

Vioilla tarkoitetaan virheellisten osien tuottamista tai korjaamista (Liker 2006 s. 29). Kun vikoja syntyy, aiheutuu mahdollisesti lisätyötä tai muutoin tuotos joudutaan hävittämään. Vikojen syntyminen ei ainoastaan lisää materiaalinkulutusta, mutta myös luo materiaalipulaa, sekoittaa tapaamisaikatauluja sekä luo joutoaikaa seuraavilla tuotantopisteillä lisäten tuotannon läpimenoaikaa. (Rawabdeh 2005)

- Tarpeeton kuljettaminen

Tarpeettomalla kuljettamisella tarkoitetaan keskeneräisen tuotoksen kuljettamista pitkiä matkoja, joka on tehotonta. Myös materiaalien, osien ja valmiiden hyödykkeiden siirtely varastosta tai prosessista toiseen on tarpeetonta kuljettamista. (Liker 2006, s. 29)

- Tarpeeton liikkuminen

Kaikki sellainen liikkuminen, joka ei tuota arvoa, kuten esimerkiksi jonkin asian etsiminen, jonnekin käveleminen, asioiden tarpeeton kurottelu, osien tai työkalujen pinoaminen. (Liker 2006, s. 29)

- Ylikäsittely tai virheellinen käsittely

Tarpeettomien vaiheiden tekeminen osien käsittelyssä. Ylikäsittelyä on myös huonosta työkalu- ja tuotesuunnittelusta johtuva tehoton käsittely, jonka seurauksena syntyy

tarpeetonta liikettä sekä tuotantovirheitä. Hukkaa syntyy myös silloin, kun tarjotaan korkeampilaatuisia tuotteita, kuin on tarpeen. (Liker 2006, s. 29)

- Liiallinen varasto

Ylimääräisten raaka-aineiden, ylimääräisten keskeneräisten tuotteiden tai ylimääräisten valmiiden tuotteiden varastointia. Näistä seuraa pidempiä läpimenoaikoja, tuotteiden vanhentumista, kuljettamista, varastointikustannuksia sekä viivettä. Liiallinen varastointi piilottaa myös ongelmia, kuten tuotannon epätasaisuutta, myöhästyneitä toimituksia toimittajilta, virheitä, laitteiden seisokkiajan lisääntymistä sekä pitkiä asennusaikoja. (Liker 2006, s. 29)

- Työntekijän luovuuden käyttämättä jättäminen

Työntekijä ei pääse osoittamaan täyttä potentiaaliaan. Eli käytännössä hukataan taitoja, ideoita, aikaa sekä parannuksia ja oppimismahdollisuuksia. (Liker 2006, s. 29)

3.3 Leaniin liitettävät menetelmät sekä työkalut

Kuten aikaisemmin tässä tutkimuksessa todettiin, lean-menetelmiä on kehittynyt lukuisia erilaisia ja usein lean nähdäänkin joukkona erilaisia työkaluja. Tässä tutkimuksessa ei esitellä jokaista leaniin yhdistettyä työkalua ja menetelmää. Seuraavaksi esitellään kuitenkin keskeisimmät leaniin liitettävät menetelmät sekä työkalut, jotka nousevat myös tässä tutkimuksessa myöhemmin esille.

Andon-menetelmä. Andon-menetelmä on Jidokan keskeinen menetelmä ja sillä tarkoitetaan signaalia, joka lähetetään, kun pysähdys tuotannossa tapahtuu. Andon tarkoittaa siis valosignaalia, jolla pyydetään apua. (Liker 2006, s.130)

Takt-time, eli tahtiaika. Takt on saksankielinen sana, joka tarkoittaa tahtia. Tuotantoprosessit on synkronoitava tarkasti asiakkaan kulutustahdin mukaan ja leanissa se on asiakkaiden kulu- tukseen sidottu tuotantotahti. (Sayer & Williams 2007, s. 85)

Value Stream Mapping (VSM), eli arvovirtakuvaus. VSM on kartoitustyökalu, jonka avulla voidaan paljastaa hukkaa tuotantoyksiköissä sekä virtaviivaistaa tuotantoprosesseja tunnistamalla ja poistamalla vaiheet, jotka eivät tuota lisäarvoa prosessiin (Gunaki et al. 2021). VSM:n

päätavoite on läpimenoaikojen lyhentäminen ja tuotannon virtauksen helpottaminen (Mayr et al. 2018).

Kanban. Kanban on tuotannonohjaukseen kehitelty työkalu, joka perustuu Kanban-kortteihin. Kanban-korteilla on jokaisella oma roolinsa tuotantoprosessissa ja käytännössä Kanban-kortti sisältää kaiken tarvittavan tiedon tuotteen valmistamiseksi tuotantoprosessin jokaisessa vaiheessa. Kanban-kortit ovat merkittävässä asemassa just-in-time-periaatteen toteuttamisessa. (Kumar & Panneerselvam 2007) Kanban-järjestelmän keskeinen idea on se, että Kanban-järjestelmän avulla sitä hyödyntävä yritys voi saavuttaa minimivarastotason joka hetki. Se myös auttaa yritystä parantamaan tuottavuutta sekä samaan aikaan se auttaa minimoimaan hukkaa tuotannossa. (Rahman et al. 2013)

SMED. SMED-menetelmässä pienennetään tuotantolinjojen tuotevaihtoihin kuluva aikaa, eli siis hukkaa. Menetelmässä pyritään siis vähentämään ajanjaksoa, joka kuluu tuotantoerän viimeisen yksikön ja seuraavan tuotantoerän ensimmäisen hyvän yksikön välillä. (Monteiro et al. 2019)

Poka-Yoke. Poka-Yoke on Jidokan alle kuuluva lean-tuotannon menetelmä (Sayer & Williams 2007, s. 42). Sillä kuvataan mekanismeja, jotka auttavat operaattoreita välttämään tekemästä virheitä ja sen periaatteena on tunnistaa ja eliminoida epänormaaleja olosuhteita sekä estää se, että viallisia tuotteita ei poistu prosessista (Mayr et al. 2018). Poka-Yoke on siis virheettömyyden periaate ja se voidaan saavuttaa esimerkiksi sellaisella tuotesuunnittelulla, että on mahdollista asentaa osia muulla kuin oikealla tavalla (Sayer & Williams 2007, s. 139).

Total Productive Maintenance (TPM). TPM on kunnossapidon lähestymistapa, joka optimoi laitteiden tehokkuutta, eliminoi rikkoutumiset ja edistää käyttäjien itsenäistä kunnossapitoa päivittäisen kunnossapidon avulla. Kaikkien TPM-ohjelmien tavoitteena on parantaa tuottavuutta ja laatua sekä lisätä työntekijöiden työmoraalia. Aikaisemmin ennakoivaa kunnossapitoa pidettiin prosessina, joka ei tuota lisäarvoa, mutta nykyään se on olennaisen tärkeä edellytys koneiden pidemmälle elinkaarelle teollisuudessa. (Singh et al. 2013)

Standardoitu työ. Kuten aikaisemmin jo todettiin, on leanissa olennaisena osana tarve standardoituille sekä vakaille prosesseille. Standardityö määritellään työmenetelmien kokonaisuudeksi, jossa määritellään parhaat menetelmät ja jaksot kutakin prosessia sekä työntekijää varten. Sen tavoitteena on minimoida hukka ja maksimoida suorituskyky varmistamalla, että tuotantovauhti on linjassa tuotannon kanssa. (Pereira et al. 2016)

4 Teollisuus 4.0 ja leanin välinen suhde

Teollisuus 4.0 näyttää ohittavan lean-tuotannon aseman teollisuusyrityksissä merkittävimpana lähestymistapana parantaa suorituskykyä. Onkin havaittu, että jotkin yritykset ovat viime aikoina lopettaneet lean-ohjelmansa keskittyäkseen uusimman teollisuuden aallon kehitykseen. Tämä saattaa viitata siihen, että johtajat näkevät teollisuus 4.0:n ennemmin leanin korvaajana kuin täydentävänä lähestymistapana. Toisaalta osa vaikuttaa olevan sitä mieltä, että teknologioita voidaan integroida osaksi lean-tuotantoa, kunhan ne vain tukevat lean-tuotantoa ja lisäävät arvoa prosessiin. (Buer 2020)

Selvää kuitenkin on, että kilpailusta yritysten välillä on tullut kovaa sekä dynaamista, mikä pakottaa yritykset miettimään uudelleen prosessejaan ja kehittämään uusia strategioita (Marinelli et al. 2021). Ottaen huomioon myös sen, että lean-tuotanto ja teollisuus 4.0 ovat molemmat lupaavia ratkaisemaan tulevaisuuden haasteita tuotannossa, herääkin kysymys, voivatko nämä kaksi paradigmaa tukea toinen toistaan (Mayr et al. 2018).

Seuraavissa alaluvuissa keskitytään selvittämään sitä, onko näitä paradigmoja mahdollista yhdistää vai onko lean-tuotannon menestyksenkäs taival tulossa päätökseensä. Tarkemmin ottaen, alaluvuissa esitetään kirjallisuuslähteissä esiin nousevia näkemyksiä lean-tuotannon sekä teollisuus 4.0:n välisestä suhteesta ja siitä, minkälaisia vaikutuksia teollisuus 4.0 kohdistaa lean-tuotantoon. Toisaalta myös tarkastellaan, miten lean-tuotanto tukee teollisuus 4.0:n implementointia.

4.1 Teollisuus 4.0 ja lean -riippuvuusmatriisi

Seuraavaksi esitellään teoreettinen viitekehys, joka linkittää yhteen nämä kaksi paradigmaa teoreettisella tasolla. Sanders et al. (2017) tekemän tutkimuksen mukaan on luotu lean-menetelmien sekä aikaisemmin esiteltyjen teollisuus 4.0 -suunnitteluperiaatteiden välille riippuvuusmatriisi, joka osoittaa lean-menetelmien sekä teollisuus 4.0 -suunnitteluperiaatteiden välisen yhteyden. Tämä on havainnollistettuna kuvassa 3.

	Hyötykerroin	Oikea-aikaisuus	Hajauttaminen	Modulaarisuus	Yhteentoimivuus	Palvelusuuntautuneisuus	Virtualisointi
Tukikerroin		6.6	6.1	3.1	6.2	4.7	6.1
Kaizen (PDCA)	5.3	10	5	0	10	0	7
TPM	9.5	10	10	7	10	10	10
Standardisation	2.8	5	0	0	7	0	5
Forms of Wastes	7.3	10	10	7	5	5	7
5S	2.5	5	7	0	3	0	0
TQM	4.7	7	7	0	7	0	7
Kanban	7	10	10	5	10	0	7
Takt time	-8	-7	-10	-10	-7	-7	-7
Value Stream Mapping	4.7	10	5	0	3	0	10
Heijunka	7.7	10	7	5	7	10	7
Autonomation (Jidoka)	7	5	10	3	10	7	7
Andon	4	5	7	0	5	0	7
Poka-Yoke	4.7	3	8	3	7	0	7
SMED	6	10	3	5	10	3	5

Kuva 3. Lean ja teollisuus 4.0 riippuvuusmatriisi (mukailten Sanders et al. 2017)

Jokaisella suunnitteluperiaatteella on joko hyödyntävä positiivinen vaikutus, kielteinen vaikutus tai neutraali vaikutus pysty akselilla näkyvään kuhunkin lean-menetelmään. Nämä vaikutukset ovat esitetty matriisissa pisteytyksellä, joka ulottuu lukuarvosta -10 lukuarvoon 10. Pisteytys osoittaa kunkin lean-menetelmän ja teollisuus 4.0 -suunnitteluperiaatteen vuorovaikutussuhteen matriisissa. Negatiiviset luvut merkitsevät haittaavaa vaikutusta ja positiiviset luvut merkitsevät positiivista vaikutusta. Luku 0 merkitsee neutraalia vaikutusta. (Sanders et al. 2017)

Pysty akselilla näkyvä hyötykerroin osoittaa, miten paljon kukin lean-menetelmä hyötyy teollisuus 4.0 -suunnitteluperiaatteista. Hyötykerroin on muodostettu laskemalla yhteen tarkasteltavan vaakarivin osoittamat vuorovaikutuspisteet ja jakamalla ne suunnitteluperiaatteiden lukumäärällä. Suunnitteluperiaatteiden alapuolella olevat tukikertoimet osoittavat sen, missä laajuudessa kukin yksittäinen teollisuus 4.0 -suunnitteluperiaate tukee kaikkia pysty akselilla olevia lean-menetelmiä. Nämä tukikertoimet kullekin suunnitteluperiaatteelle muodostetaan laskeamalla yhteen tarkasteltavalta pystyriviltä vuorovaikutuspisteet yhteen sekä jakamalla arvot lean-menetelmien lukumäärällä. (Sanders et al. 2017)

Riippuvuusmatriisi osoittaa, että suurimmalla osalla teollisuus 4.0 -suunnitteluperiaatteilla on joko tukeva tai neutraali vaikutus lean-menetelmiin. Poikkeuksen lean-menetelmistä tekee takti time, joka osoittaa kielteisen vaikutuksen suhteessa suunnitteluperiaatteisiin. Esimerkiksi vuorovaikutus sai hajauttamisen suunnitteluperiaatteen kanssa huonoimman pisteytyksen, -10 pistettä. Tämä johtuu siitä, että tuotannonsuunnittelu ja tahti aikaa koskevat päätökset tehdään keskitetysti muun muassa ennusteiden avulla. Näin ollen kiireellisiä tilauksia ei voida helposti

integroida tuotantoon, jossa on kiinteät tahtiajat ja näin ollen tahtiaika on ristiriidassa teollisuus 4.0:n hajauttamista ja itsenäisyyttä koskevan tavoitteen kanssa. (Sanders et al. 2017)

Matriisiin viitaten, lean-menetelmät sekä leanin periaatteet kuten TPM, Kanban, Heijunka, Autonomiaatio (Jidoka) sekä hukan poisto hyötyvät eniten teollisuus 4.0:n tulemisesta mukaan tuotantoon. Toisaalta teollisuus 4.0:n suunnitteluperiaatteista oikea-aikaisuus, hajauttaminen ja yhteentoimivuus tukevat lean-menetelmiä kaikkein eniten. Voidaan myös matriisin pohjalta todeta, että lean ei ole häviämässä teollisuus 4.0:n myötä minnekään, vaan siitä on todennäköisesti tulossa tärkeä tekijä onnistuneelle teollisuus 4.0:n implementoinnille. (Sanders et al. 2017)

4.2 Miten teollisuus 4.0 vaikuttaa lean-tuotantoon

Tieteellisissä lähteissä on noussut esille termi *Lean 4.0*, jolla tarkoitetaan lean-tuotannon sekä teollisuus 4.0:n integraatiota keskenään. (Mayr et al. 2018) Tietokoneintegroidun valmistuksen yleistymisen myötä alettiin spekuloida, että tulevaisuuden tehtaat toimisivat itsenäisesti ilman ihmisoperaattoreita. Tämä ei kuitenkaan toteutunut käytännön tasolla, mutta se synnytti käsitteen lean-automaatio, jossa robotti- ja automaatioteknologiaa käytetään lean-tuotannon kanssa (Sanders et al. 2016).

Hiljattain julkaistussa tutkimuksessa Tortorella et al. (2020) puhuvat myös lean-automaatiosta, jossa teollisuus 4.0 on integroituna osaksi lean-tuotantoa. Tortorella et al. (2020) osoittavat tutkimuksessaan sen, että teollisuus 4.0 -teknologiat vaikuttavat hyvin pitkälti ja positiivisesti leanin periaatteiden kanssa ja tutkimuksessa esitetään myös väite siitä, että teollisuus 4.0:n yhdistämisellä lean-tuotantoon, on potentiaalia ylittää perinteiset esteet sekä haasteet, jotka ovat yleensä yhdistetty lean-tuotannon implementointiin. Samankaltaisia tuloksia esittävät tutkimuksessaan Saad et al. (2021), jossa he väittävät, että teollisuus 4.0 on jo parantanut perinteiseen lean-tuotantoon yhdistettäviä haasteita.

Cagnetti et al. (2021) toteavat tutkimuksessaan myös, kuinka teollisuus 4.0:n integroimisella lean-tuotantoon voidaan päästä yli lean-tuotannon heikkouksista, kuten rajoitetusta massaräätälöitävyydestä. Lisäksi Cagnetti et al. (2021) mukaan lean-tuotannosta tulee tehokkaampi teollisuus 4.0:aa integroitaessa.

Lean-ajattelun sekä teollisuus 4.0:n taustalla on keskeisiä eroja, mutta myös paljon samankaltaisuuksia. Vaikka lean-ajattelu pohjautuu työntekijöiden sitoutumiseen ja sitä kautta jatkuvaan parantamiseen, kun taas teollisuus 4.0 pohjautuu korkeaan teknologiaan, tähtäävät molemmat samaan tavoitteeseen, eli lisäarvon tuottamiseen yritykselle. (Prinz et al. 2018) Tutkimuksessaan Prinz et al. (2018) esittävät myös, että teollisuus 4.0 vaikuttaisi lean-tuotantoon siten, että sen avulla voidaan saavuttaa kasvua tuottavuudessa, kun sitä implementoidaan lean-tuotantoon. Myös Gallo et al. (2021) esittävät, että yritykset voivat parantaa tuottavuuttaan implementoimalla teollisuus 4.0 -teknologioita lean-tuotantoon.

Mrugalska et al. (2017) ovat sitä mieltä, että teollisuus 4.0 -teknologiat voivat parantaa lean-tuotannon jatkuvan parantamisen periaatetta perustuen datan keräämiseen sekä datan analysoimiseen. Rossini et al. (2021) toteavat, että jatkuvan parantamisen pullonkaulana voi yritykselle olla usein tiedon rajoittuneisuus, minkä takia yritykset implementoivatkin teollisuus 4.0 -teknologioita, jotta he voisivat parantaa datan keräämistä ja datan analysointia.

4.3 Miten lean-tuotanto tukee teollisuus 4.0

Buer (2020) toteaa tutkimuksessaan, että kirjallisuus antaa viitteitä siitä, että lean-tuotanto helpottaisi teollisuus 4.0:n implementointia. Buer (2020) väittää, että toistaiseksi olemassa olevissa tutkimuksissa aihetta on käsitelty pitkälti vain korkealla tasolla. On kuitenkin tärkeää ottaa tarkastelussa huomioon myös se, kuinka lean-tuotanto tukee teollisuus 4.0:n implementoimista, joten seuraavaksi esitellään lähdekirjallisuudesta esiin nousevia näkemyksiä, miten lean-tuotanto vaikuttaa puolestaan teollisuus 4.0:n implementoimiseen.

Bittencourt et al. (2019) muodostivat tutkimuksen, jossa he löysivät positiivisen yhteyden leanin kypsyiden sekä teollisuus 4.0:n kanssa saavutettavan synergia-asteen välillä. Bittencourt et al. (2019) toteavat tutkimuksessaan, että lean tukee teollisuus 4.0:n implementointia vähentämällä hukkaa, lisäämällä läpinäkyvyyttä sekä yksinkertaistamalla prosesseja. Lisäksi Bittencourt et al. (2019) linjaavat, että teollisuus 4.0:n implementoinnista ei ole hyötyä, jos prosessit ovat hallitsemattomia ja täynnä hukkaa.

Myös Buer (2020) toteaa tutkimuksessaan, että digitalisaation rakentaminen vakaalle ja standardoitulle tuotantojärjestelmälle voi tuottaa yritykselle useita etuja. Tällainen olemassa oleva tuotantojärjestelmä mahdollistaa sen, että vältetään turhien toimintojen automatisointi. Buer

(2020) myös toteaa, että turhien toimintojen automatisointi tarkoittaisi käytännössä sitä, että automatisoitaisiin hukkien luominen. Buer (2020) myös kommentoi, että yrityksen aikaisemmat kehityshankkeet, kuten lean-hankkeet voisivat myös pienentää työntekijöiden vastahakoisuutta, kun johtoryhmä päättää implementoida uusia teknologioita, jotka saatetaan nähdä uhkana omille työtehtäville.

Davies et al. (2017) mukaan lean-yrityksissä vallitsee jatkuvan parantamisen kulttuuri, jonka avulla lean-yritykset pyrkivät positiiviseen muutokseen. Jatkuvan parantamisen kulttuurin myötä henkilöstö sekä johtoryhmä ei pelkää hyväksyä uutta muutosta, eli teollisuus 4.0:aa, vaan he pyrkivät aktiivisesti ajamaan muutosta eteenpäin yrityksen sisällä. Lisäksi Davies et al. (2017) toteavat, että lean-tuotanto mahdollistaa teollisuus 4.0 -teknologioiden implementoimisen johtuen siitä syystä, että leanin käyttöönottaneet yhtiöt ovat taipuvaisia olemaan vakaita, tehokkaita sekä tuottavia.

Bittencourt et al. (2021) väittävät tuoreessa tutkimuksessaan, että teollisuus 4.0 -teknologioiden implementointi sellaiseen tuotantoympäristöön, joka ei ole lean, loisi riskin, että teollisuus 4.0 -teknologioista tulisi epätehokkaita. Buer (2020) puolestaan osoittaa tutkimuksessaan, että digitalisoitunut tuotantojärjestelmä ilman lean-tuotantoa pystyy saavuttamaan vain pieniä hyötyjä operatiivisessa suorituskyvyssä.

Edellä esitetyt väitteet siis puhuvat vahvasti sen puolesta, että lean-tuotanto tukee teollisuus 4.0:n implementointia. Muun muassa standardointi sekä organisointi vaikuttavat olevan olennaisessa osassa teollisuus 4.0:n implementoinnissa ja lean-tuotanto tarjoaa tähän ratkaisuja oivallisesti, sillä standardoidut prosessit ovat hyvin keskeisessä osassa lean-tuotantoa. Myös muutoin kirjallisuuslähteissä yleinen näkökanta vaikuttaa olevan sillä kannalla, että lean-tuotannosta on hyötyä, kun aletaan implementoimaan teollisuus 4.0:aa.

5 Teollisuus 4.0 ja lean käytännössä

Seuraavissa alaluvuissa esitellään ensin haastattelututkimus leanin sekä teollisuus 4.0:n yhteisistä sovellusalueista. Haastattelututkimus osoittaa hyvin sen, miten teollisuus 4.0:aa on pystytty yhdistämään leanin kanssa yleisellä tasolla keskittymättä sen tarkemmin mihinkään tiettyyn lean-menetelmään. Lisäksi haastattelututkimus osoittaa, miten hyödylliseksi yritykset kokevat leanin verrattuna teollisuus 4.0:n implementoimiseen.

Tässä tutkimuksessa nousi esille muutamia lean-menetelmiä, joita on onnistuttu hyödyntämään selkeästi enemmän teollisuus 4.0:n kanssa. Myöhemmissä alaluvuissa keskitytäänkin tarkemmin, kuinka teollisuus 4.0:aa on yhdistetty TPM:n, Kanbanin, VSM:n sekä Jidokan kanssa.

5.1 Teollisuus 4.0 ja lean sovellusalueet

Marinelli et al. (2021) toteuttivat haastattelututkimuksen yrityksiin, jotka ovat jo ottaneet käyttöönsä teollisuus 4.0:aa sekä lean-tuotantoa. Marinelli et al. (2021) toteuttamaan haastattelututkimukseen osallistuvia yrityksiä oli lopulta 44 kappaletta ja haastateltavat jakaantuivat melko tasaisesti eri toimialoille, mutta kuitenkin siten, että auto- ja terästeollisuus muodostivat merkittävimmän osuuden, eli yhteensä noin 31 % haastateltavien lukumäärästä. Haastattelututkimuksen tulokset liitteessä 1 osoittaa, miten paljon eri lean-menetelmiä oli implementoituina haastateltujen tuotantoon. Kaizen, eli toiminnan jatkuva parantaminen oli implementoituina 97 % haastateltujen yrityksiin, mikä on ymmärrettävää, sillä se on lähes koko lean-ajattelun kivi-jalka.

Lisäksi haastattelututkimus osoittaa, miten paljon teollisuus 4.0 -ratkaisuja on implementoituina haastateltujen tuotantoon. Tuloksista käy ilmi liitteessä 2, että teollisuus 4.0 -ratkaisuista IoT, Big Data ja RFID olivat kaikista eniten implementoituina haastateltujen tuotantoon. Näiden lisäksi myös 3D-tulostusta sekä simulaatiota oli implementoituina melko paljon haastateltujen tuotantoon. (Marinelli et al. 2021)

Haastateltavilta yrityksiltä kysyttiin, kuinka tyytyväisiä he ovat leanin implementoinnista osoitettuviin hyötyihin eri osa-alueilla, asteikolla 1-5 (1– vastustan vahvasti, 2– vastustan, 3–

neutraali, 4– samaa mieltä, 5- vahvasti samaa mieltä). Kuten liitteestä 3 huomataan, yleisesti ottaen lean-tuotannon havaittiin olevan varsin hyödyllinen haastateltujen yritysten joukossa.

Vastanneita pyydettiin myös arvioimaan vastaavasti teollisuus 4.0 -teknologioiden vaikutusta operatiiviseen suorituskyykyyn ja vastauksista käy ilmi, että koettu vaikutus tehokkuuteen ja kannattavuuteen ei ole yhtä selkeä, kuin lean-menetelmillä, keskimääräisen vastauksen ollessa välillä 3.10 - 3.50. Haastattelututkimus osoittaa, että edistyneiden teknologioiden potentiaalisia hyötyjä ei ole vielä täysin ymmärretty. Tämä voi johtua mahdollisesti siitä, että on kokeiltu intensiivisesti erilaisia teollisuus 4.0 -teknologioita samanaikaisesti tai mahdollisesti teollisuus 4.0 on vielä kypsymässä. (Marinelli et al. 2021)

Marinelli et al. (2021) toteavat tutkimuksestaan, että lean-tuotanto ja teollisuus 4.0 -paradigmat ovat lupaavia tulevaisuuden valmistuksessa varsinkin, jos organisaatioilla on kyky yhdistää ne siten, että tavoitteena on tehokkuutta parantavat synergiaedut. Marinelli et al. (2021) toteavat, että reaaliaikaisen datan hyödyntäminen, IoT:n hyödyntäminen datan vaihtoon, Big Data ja analytiikka, CPS, ennustavat algoritmit ja robotit ovat muiden muassa suosituimpia teollisuus 4.0 -ratkaisuja tukemaan lean-menetelmiä ja periaatteita, kuten TPM, toiminnan jatkuva parantaminen, Kanban, standardoitu työ sekä jatkuva virtaus.

Alapuolella on esitetty Marinelli et al. (2021) tutkimuksesta esiin nousevia leanin sekä teollisuus 4.0:n yhdistämisen sovellusesimerkkejä, joita oli saatu aikaan haastateltujen tuotannossa. Kyseiset esimerkit antavat hyvän yleiskuvan, miten näitä kahta paradigmaa on onnistuttu yhdistämään, sillä sovellusesimerkit eivät ole yhdistetty mihinkään yksittäiseen lean-menetelmään vaan listassa on useita lean-menetelmiä sekä leaniin yhdistettäviä periaatteita, joihin on sovellettu teollisuus 4.0 -ratkaisuja.

- Reaaliaikaista dataa käytetään jatkuvan virtauksen parantamiseksi
- IoT-infrastruktuuri tukee helppoa integrointia tuotannon ja muiden osastojen välillä
- CPS-pohjaisten älykkäiden laitteiden avulla operaattorit voivat vastaanottaa virheilmoituksia reaaliajassa
- Big data ja analytiikka helpottaa työntekijöitä ja parantaa jatkuvan kehittämisen periaatteita informaation avulla

- Ennustavat algoritmit parantavat autonomista huoltoa
- CPS kerää huoltotietoja ja lähettää automaattisesti signaaleja huollolle
- Big Datan hyödyntäminen arvovirtakuvauksen laatimisen yhteydessä
- Robotit auttavat standardoitua työtä tekeviä työntekijöitä
- CPS:llä tuetun reaaliaikaisen tiedon avulla voidaan käsitellä tilauksia automaattisesti ja varastotasoa voidaan valvoa e-kanbanien avulla
- Algoritmit parantavat vakiotyömenetelmiä

5.2 Total Productive Maintenance ja teollisuus 4.0

Mayr et al. (2018) osoittavat tutkimuksessaan, että älytehtaat aiheuttavat entistä enemmän huoltokohteita. Lisäksi huoltokohteiden tekninen monimutkaisuus lisääntyy ja suunnittelemattomat vikaantumiset aiheuttavat suuria kustannuksia. Lisäksi Küpper et al. (2017) toteavat, että laitteiden hajoamiset sekä vikaantumiset johtavat alhaiseen tuottavuuteen ja korkeisiin varastotasoisiin.

TPM on kattavasti yhteydessä kaikkiin teollisuus 4.0 -suunnitteluperiaatteisiin ja se tulee toimimaan entistä tehokkaammin älykkäässä tehtaassa teollisuus 4.0 -teknologioiden siivittämänä. (Sanders et al. 2017) Reaaliaikaisuuden ja TPM:n vaikutus toisiinsa sai Sanders et al. (2017) tutkimuksessa täydet 10 vuorovaikutuspistettä johtuen siitä, että teollisuus 4.0:n myötä älytehtaassa voidaan monitoroida prosesseja reaaliaikaisesti. Esimerkiksi energiankulutusta, koneiden rikkoontumisia sekä tuotannon laatua. Älykkäiden algoritmien avulla pystytään ennustamaan muun muassa koneiden rikkoontumista, minkä takia kunnossapidon suunnittelu tehostuu. Tästä seuraavia hyötyjä on myös esimerkiksi se, että varaosalogistiikka helpottuu ja tehostuu. Davies et al. (2017) nostavat esille tutkimuksessaan, miten CPS:n avulla voidaan tukea TPM:ää siten, että sensorit tunnistavat, kun kunnossapitotoimenpide täytyy suorittaa. CPS:n avulla voidaan tämän jälkeen ilmoittaa kunnossapitotarpeesta henkilökunnalle.

Vian tunnistamisen jälkeen voidaan korjausinsinööreille osoittaa korjattava toimenpide. Korjaajat voivat käyttää apunaan lisättyä todellisuutta ja sen tuomia ratkaisuja, kuten 3D-muodossa olevia viankorjausohjeita. Tällaisten erittäin hajautettujen toimintojen vuoksi TPM osoittautuu olevan vahvasti kytköksissä teollisuus 4.0:n hajauttamisen suunnitteluperiaatteeseen. (Sanders

et al. 2017) Palmarini et al. (2018) toteavat vastaavasti, että useat teollisuus 4.0 -ratkaisut, kuten VR ja AR auttavat koulutuksessa sekä myös huolto-ohjeiden kanssa.

Koneiden välistä viestintää voidaan hyödyntää isompien korjaustoimenpiteiden sattuessa siten, että siirretään työkuormaa vapaalle tuotantokoneelle. Myös mahdollisten muiden tuotantolaitosten kyberfyysisten järjestelmien käytettävyys voidaan Internet Of Services (IoS) -ratkaisun avulla tarkistaa tuotantotilausten siirtämiseksi muihin yksiköihin. Kunnossapitoratkaisuiden tulokset puolestaan voidaan tallentaa pilvipalveluihin. Myös modulaarisuus kytkeytyy TPM:n kanssa melko vahvasti, sillä koneiden osat voidaan tehdä modulaarisiksi, jotta ne ovat helposti liitettävissä sekä asennettavissa. Esimerkiksi, jos osia on vaihdettava tapahtuneen vian vuoksi, voidaan uusi varaosa tulostaa 3D-tulostimella. (Sanders et al. 2017)

Virtuaalisuuden suunnitteluperiaate näkyy muun muassa siinä, että kyberfyysiset järjestelmät voivat kerätä dataa esimerkiksi kulumiseen liittyen. Tätä dataa verrataan jo varastoituihin standardiviitemalleihin, historiallisiin suorituskykytietoihin ja muihin pilvipalveluihin tallennettuihin koneisiin, jotta voidaan verrata sen hetkistä käyttösuorituskykyä niihin. (Sanders et al. 2017)

5.3 Value Stream Map ja teollisuus 4.0

Arvovirtakuvaus on tehokas tapa hukan havaitsemiseen sekä poistamiseen. Lugert et al. (2018) tutkimuksessa nousee esille useita VSM:n etuja, kuten: pullonkaulojen näkeminen ennakkoon, materiaalivirran optimointi, informaatiovirran läpinäkyvyys sekä varaston optimointi. Kuitenkin perinteinen arvovirtakuvaus on hyvin staattinen kuvaus tuotantojärjestelmästä, eikä tästä syystä voida ottaa huomioon dynaamisen tuotelinjan kaikkia muutoksia. (Stadnicka & Litwin 2019) Perinteisellä arvovirtakuvauksella on kuitenkin myös hyviä puolia, sillä se on yksinkertainen, edullinen ja helposti toteutettavissa, sillä sen toteuttamiseen vaaditaan oikeastaan vain kynä sekä paperia yksinkertaisimmillaan. (Lian & Van Landeghem 2013).

Älykkäät tehtaot tarjoavat täysin integroidun tuotantoympäristön, jossa tietoja voidaan välittää reaaliajassa (Valamede et al. 2020). Auto-ID:n avulla pystytään esimerkiksi välittömästi paikantamaan erilaisia objekteja reaaliajassa, kun taas Big Data ja analytiikka helpottaa tiedon yhdistämistä. Kerätyn tiedon avulla puolestaan pystytään tekemään faktapohjaisia päätöksiä. (Mayr et al. 2018)

Dataa voidaan arvovirtakuvausta varten kerätä esimerkiksi sensoreiden tai toimilaitteiden kautta (Valamede et al. 2020). Big Datan ja analytiikan sekä pilvipalveluiden avulla VSM saa jatkuvasti uutta tietoa toimitusketjusta, mikä tehostaa pullonkaulojen tunnistamista sekä virtauksen hallintaa. VSM voidaan myös optimoida simuloinnin kanssa, mikä mahdollistaa useita erilaisia kartoitusmahdollisuuksia. (Valamede et al. 2020)

VSM:n sekä teollisuus 4.0:n merkittävin hyöty on parannettu läpinäkyvyys, sillä arvovirroista voidaan luoda reaaliaikaisia. Tämä auttaa tunnistamaan hukkia tuotantoprosessissa ja johtaa leanin mukaiseen arvonaluontiin. Tämän lisäksi VSM:n luomiseen kuluva aika sekä vaiva vähenee ja päätökset perustuvat reaaliaikaisiin tietoihin. (Mayr et al. 2018)

Käytännössä simulaatiota on yhdistetty arvovirtakaavion muodostamiseen melko paljon (Yilmaz et al. 2022). Kuten aikaisemmin todettiin, arvovirtakaavio parantaa informaatiovirran sekä tuotevirran läpinäkyvyyttä. Esimerkiksi Goren (2017) on tutkinut arvovirtakuvauksen ja simuloinnin yhdistämistä ja yhdistämisestä aiheutuvia hyötyjä huonekaluja valmistavassa yrityksessä. Tutkimuksessa määriteltiin ensiksi arvovirtakaavio alkutilanteessa ja mitattiin prosessien läpimenoaikaa, eli aikaa, joka kuluu eri prosessien välillä. Dataa kerättiin myös varastotasoista ennen prosesseja sekä vaihtojoihista. Tutkimuksessa havaittiin, että alkutilanteessa hukkaa prosessissa oli jopa 99,93 % prosessiin kuluva kokonaisajasta johtuen pitkistä odotusajoista eri osastojen välillä. Uusi arvovirtakaavio kartoitettiin Arena 14.0 -simulaatio-ohjelmalla, jonka tulosten pohjalta kyettiin luomaan sekä määrittämään uusi arvovirtakaavio tulevaisuuden tilasta tehden siihen parannuksia.

5.4 Kanban ja teollisuus 4.0

Buer (2020) osoittaa tutkimuksessaan, kuinka Kanban-järjestelmään on jo olemassa erilaisia ratkaisuja, joista toiset ovat selkeästi kehittyneempiä. Perinteinen, aliluvussa 3.3 esitelty Kanban pohjautuu vahvasti fyysisiin Kanban-kortteihin sekä Kanban-kippeihin. Kehittyneempiä menetelmiä ovat E-Kanban, autonominen Kanban sekä itseoptivoiva Kanban (Buer 2020). Kanbanin sekä teollisuus 4.0:n yhdistämisellä voidaan parantaa kysynnän arviointia, sillä ihmisten välinen vuorovaikutus on vähäisempää. Samalla myös pystytään lyhentämään tuotannon läpimenoaikoja, sillä tieto siirretään lähempänä reaaliaikaa. (Hofmann & Rüsç 2017)

E-Kanban. E-Kanbanissa Kanban-signaali lähetetään sähköisesti, mikä tekee siitä tehtaiden välisiin toimituksiin käyttökelpoisemmän kuin perinteinen Kanban. Kuitenkin kyseisessä järjestelmässä Kanbanien lähettäminen on edelleen manuaalista, vaikka järjestelmä on muutettu digitaaliseksi. Tämä tarkoittaa sitä, että ihmistyöntekijän tulee edelleen määrittää manuaalisesti, milloin materiaalin täydennystä tarvitaan ja sen jälkeen lähettää Kanban. Tyypillisesti E-Kanban lähetetään matkaan skannaamalla viivakoodi tai syöttämällä se järjestelmään manuaalisesti. (Buer 2020)

Autonominen Kanban. Autonomisella Kanbanilla tarkoitetaan sitä, että täydennyspäätös sekä Kanban-signaalin lähettäminen on automaattista, mikä siis tarkoittaa, että Kanbanin sykli on automaattinen. (Hofmann & Rüschi 2017) Würth esitteli vuonna 2013 oman versionsa autonomisesta Kanban-järjestelmästä, iBinistä, joka on laajennettu versio aikaisemmin mainitusta E-Kanbanista. Siinä on kamerajärjestelmä, joka pystyy havaitsemaan kipun täyttöasteen ja lähettämään täydennystilauksen. (Kolberg & Zühlke 2015) Huolimatta siitä, että Kanbanin sykli on autonominen, se ei tarkoita vielä sitä, että se paranee jatkuvasti. Autonomisessa Kanban-järjestelmässäkin Kanban-korttien lukumäärä ja kippojen koot pysyvät vakioituina, mikä voi johtaa ongelmiin, kuten materiaalipuutteisiin tai vaihtoehtoisesti materiaalit jäävät varastoon liian pitkäksi aikaa, mikä aiheuttaa läpimenoajan kasvun varastossa. (Buer 2020)

Itse-optimoiva Kanban. Edellä esiteltiin, miten autonominen Kanban-järjestelmäkin on vielä puutteellinen ja joissain tapauksissa se voi tuottaa ongelmia. Itse-optimoiva Kanban-järjestelmä pystyy suorittamaan Kanbanin syklin täysin autonomisesti sekä hyödyntämään kerättyä dataa syklin analysoimiseen ja kehittämiseen. Käytännössä tämä tapahtuu siten, että itse-optimoiva Kanban pystyy säätämään kipun kokoa sekä Kanbanin syklissä olevien Kanban-korttien lukumäärää ennalta määrättyjen suorituskykytavoitteiden, kuten kustannusten, läpimenoaikojen tai vastaavien mukaisesti. Buer (2020) Tutkimuksessaan Buer (2020) ei kuitenkaan tarkemmin linjaa sitä, minkä teknologioiden avulla itse-optimoivaa Kanbania voitaisiin implementoida.

5.5 Jidoka ja teollisuus 4.0

Seuraavaksi esitellään näkemyksiä siihen, miten teollisuus 4.0 vaikuttaa Jidokaan sekä Jidokaan sisältyviin lean-menetelmiin: Poka-Yokeen ja Andoniin. Kuten aikaisemmin tässä

tutkimuksessa on esitetty, Poka-Yoke sekä Jidoka on kehitetty pienentämään tapahtuvia virheitä ja parantamaan virheiden tunnistamista etukäteen.

Työntekijän näkökulmasta teollisuus 4.0 tulee poistamaan rutiininomaisia työtehtäviä, joissa työntekijöiden on keskityttävä asioihin, kuten laadunvarmistukseen. Lisäksi työntekijöillä tulee olemaan enemmän vapautta tehdä omia päätöksiä ja säännellä omaa työkuormaansa. (Caruso 2017) Väite saa tukea, kun tutkimuksessaan Mrugalska et al. (2017) osoittavat, miten tulevaisuuden operaattoreita tuetaan erilaisilla käyttöliittymillä, mikä auttaa heistä tulemaan päätöksentekijöitä ja ongelmanratkaisijoita monimutkaistuvassa tuotantoympäristössä.

Lisäksi Mrugalska et al. (2017) mukaan operaattorin tulisi lean-ympäristössä vähentää vian ilmentymisen ja vikailmoituksen välistä aikaa. Andon-järjestelmässä signaalivalot voitaisiin yhdistää operaattoreiden älykelloihin, mikä tarkoittaa sitä, että vikailmoitukset tulisivat operaattoreiden tietoon lähes reaaliajassa. Tällaiset hälytykset voitaisiin myös tallentaa tietokantaan ja niitä voitaisiin tutkia jälkikäteen osana jatkuvan parantamisen ohjelmaa. Lisäksi vikaantumiset voidaan tunnistaa asianmukaisilla antureilla varustetuissa CPS:ssä ja käynnistää viankorjaustoimet automaattisesti muissa CPS:ssä.

AR, VR ja Poka-Yoke. AR:llä sekä VR:llä on merkittävä rooli Jidokan ja Poka-Yoken periaatteisiin. AR-teknologiaa on käytetty ohjaamaan operaattoria seuraamaan standarditoimintatapoja. Esimerkkinä tästä on se, että operaattorille on annettu 3D-lasit, jotka auttavat operaattoria toimimaan oikein. Lasit esimerkiksi visualisoivat vihreällä valolla oikean pultin valitsemisessa ja auttavat myös oikeanlaisen jakoavaimen valitsemisessa. Lasit myös helpottavat operaattoria kiristämään pultin oikeaan kireyteen. (Saad et al. 2021) Myös Valamede et al. (2020) toteavat, että AR:llä voidaan auttaa työntekijöitä manuaalisissa tehtävissä virheiden välttämiseksi esittämällä näytössä ohjeita sekä virtuaalisia elementtejä, jotka helpottavat ymmärtämistä sekä toimintojen suorittamista. Valamede et al. (2020) myös toteavat, että AR-tekniikka tarjoaa merkittäviä etuja, kuten nopeuden, luotettavuuden ja pienemmän vikaantumisasteen ja tukee työntekijää reaaliaikaisesti manuaalisten toimintojen aikana ja auttaa vähentämään inhimillisiä virheitä.

Poka-Yokeen on yhdistetty myös muitakin teknologioita. Mrugalska et al. (2017) toteavat tutkimuksessaan, että jatkuvan parantamisen periaatetta voidaan edistää tuotelinjoista sensoreiden sekä toimilaitteiden kautta kerätyn datan avulla. Tätä kerättyä dataa voidaan analysoida sekä siirtää pilvipalveluun, jotta saadaan parempaa tietoa operatiivisesta toiminnasta. Mrugalska et

al. (2017) toteavat, että pääasia sensoreista kerätyn datan varastoinnilla on kuitenkin virheiden välttäminen, mikä on myös pääajatus Poka-Yokessa.

6 Lean 4.0 hyödyt teollisuuteen

Boston Consulting Groupin raportin mukaan, leanin sekä teollisuus 4.0:n yhdistäminen on johtanut jo merkittäviin onnistumisiin sekä synergiaetuihin (Küpper et al. 2017). Lisäksi Küpper et al. 2017 toteavat raportissaan, että jo sadat yritykset ovat ottaneet käyttöönsä leania sekä teollisuus 4.0:aa. Myös tuoreessa, hiljattain julkaistussa systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa Yilmaz et al. (2022) toteavat, että monet teollisuusyritykset ovat alkaneet omaksumaan leanin ja teollisuus 4.0:n periaatteita pysyäkseen mukana kiristävässä kilpailussa. Hoellthaler et al. (2018) puolestaan väittävät, että digitalisaatio tulisi nähdä lean-tuotannon seuraavana kehitysvaiheena.

Boston Consulting Groupin raportti osoittaa, kuinka leanin sekä teollisuus 4.0:n integraatio on kaikista tehokkain keino saavuttaa toiminnallinen erinomaisuus. Lisäksi raportissa käy ilmi, kuinka erityisesti etuja tullaan saavuttamaan verrattuna siihen, että implementoitaisiin leania tai teollisuus 4.0 -teknologioita erikseen. Raportin mukaan valmistajilla on mahdollista 5-10 vuoden ajanjaksolla pienentää muuttuvia kustannuksia jopa 40 %, joka on merkittävästi enemmän kuin parhaassa tapauksessa pystytään alentamaan muuttuvia kustannuksia pelkästään leania tai teollisuus 4.0 implementoimalla. (Küpper et al. 2017)

Deloitte raportissa, jossa tutkittiin leanin ja teollisuus 4.0:n vaikutuksia toisiinsa ja näistä esiin nousevia hyötyjä, huomattiin, että lean-tuotannon digitalisaation myötä organisaatiot voivat myös odottaa kustannusten laskevan sekä lisäksi laadun paranevan. Tämä johtaa lopulta tuotavuuden sekä sijoitetun pääoman tuoton kasvamiseen, kun tuloksia verrataan yksittäisiin parannushankkeisiin leanin tai digitalisaation keinoin. (Laaper & Kiefer 2020)

Deloitte julkaisemassa raportissa osoitetaan myös useita tehokkuuteen, laatuun, kustannuksiin sekä parantuneeseen turvallisuuteen ja kestävyysliittymiä hyötyjä, mitkä nähdään aiheutuvan leanin ja digitalisaation yhteydestä. Potentiaalisia hyötyjä on esitetty taulukossa 2. Potentiaalisia hyötyjä on parempi resurssitehokkuus johtuen kapasiteetin optimoimisesta ja resurssien lisääntyvästä käytöstä. Lisäksi asetusaikojen sekä seisokkiaikojen nähdään lyhenevän, kun digitaalisia ratkaisuja päästään hyödyntämään. Laadun odotetaan paranevan johtuen esimerkiksi läpimenoaikojen laskemisesta. Kustannusten odotetaan laskevan johtuen henkilöstökulujen,

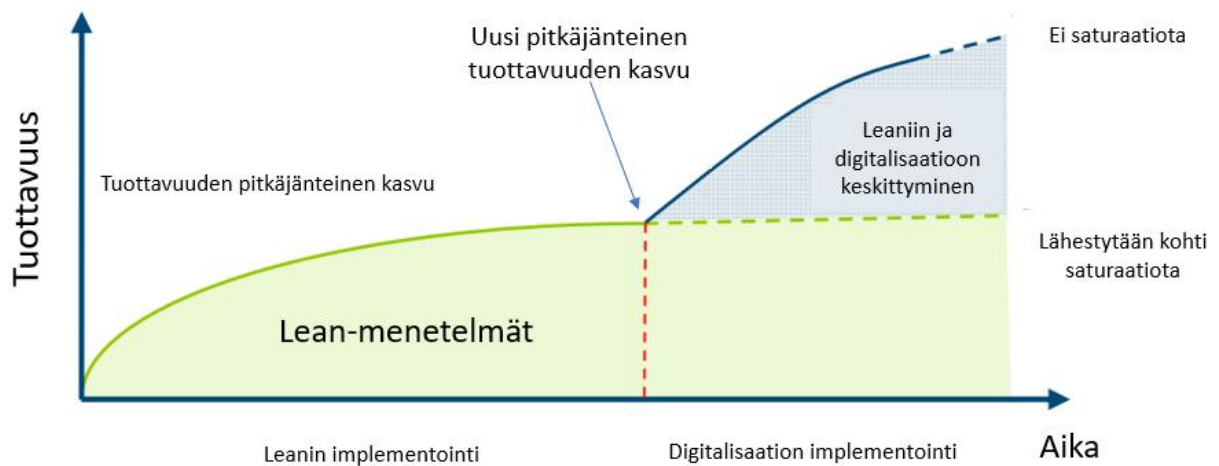
hankintakulujen, korjauskustannusten pienentyessä ja kestävyiden sekä turvallisuuden odotetaan paranevan muun muassa työntekijöiden tyytyväisyyden kasvaessa. (Laaper & Kiefer 2020)

Taulukko 2. Leanin ja neljännen teollisen vallankumouksen yhdistämisen potentiaaliset hyödyt tuotannossa (mukaillen Laaper & Kiefer 2020)

Potentiaaliset parannukset liike-toiminnassa	Syyt parantumiselle
Resurssitehokkuuden parantuminen	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasiteetin optimointi • Resurssien tehostunut käyttö • Vaihtoaikojen lyheneminen • Seisokkiaikojen lyheneminen
Laadun parantuminen	<ul style="list-style-type: none"> • Sekundan väheneminen • Täyttöasteen kasvaminen • Läpimenoaikojen lyheneminen • Saannon kasvaminen
Pienentyvät kustannukset	<ul style="list-style-type: none"> • Henkilöstökulut pienenevät • Hankintakulut pienenevät • Varastointikustannukset pienenevät • Kunnossapitokustannukset pienenevät • Takuukustannukset pienenevät
Parantuva turvallisuus sekä kestävyys	<ul style="list-style-type: none"> • Vaaratilanteet pienenevät • Työntekijöiden tyytyväisyys paranee • Kestävyystoiminnat parantuvat • Ympäristövaikutukset pienenevät

Prinz et al. (2018) esittävät tutkimuksessaan mahdollisen tilanteen, kuinka digitalisaatio vaikuttaa leaniin ja mitkä ovat sen mahdollisuudet leaniin yhdistettäessä. Prinz et al. (2018) esittävät tutkimuksessaan oletuksen, että lean pitäisi olla valmiiksi implementoituna, jotta voidaan teollisuus 4.0 -teknologioista saada enemmän tehokkuutta irti. Lisäksi Prinz et al. (2018) esittävät

väitteen, että teollisuus 4.0:n implementointi kasvattaa tuottavuutta yrityksessä, mutta ilman lean-tuotantoa tuottavuuden kasvu on vain rajallista. Kuvasta 4 huomataankin, kuinka tehokkuus kasvaa aika-akselin kasvaessa. Kuvasta 4 myös huomataan, kuinka lähestytään kohti saturaatiota, jos panostuksia ei tehdä digitalisaatioon. Tällöin on saavutettavissa vain rajallinen tuottavuus. Toisaalta, jos leaniin implementoidaan digitalisaatiota, on yrityksen mahdollista saavuttaa uusi pitkäjänteinen tuottavuuden kasvu, missä ei lähestytä kohti saturaatiota. (Prinz et al. 2018)

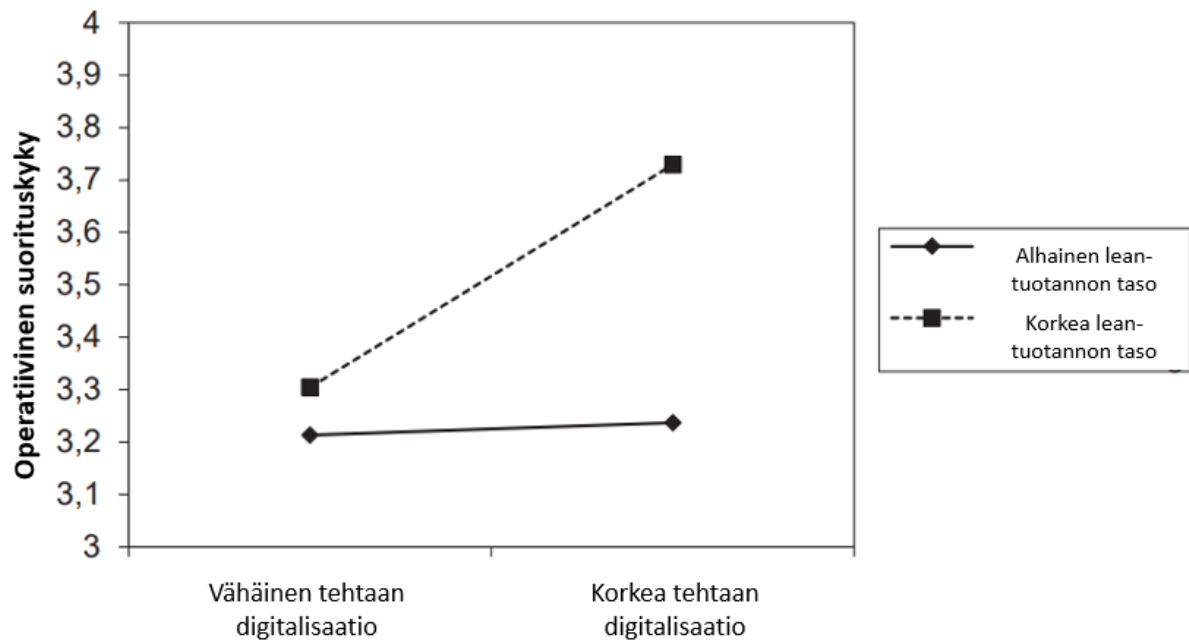


Kuva 4. Mahdollinen tuottavuuden kasvu yhdistäessä lean sekä teollisuus 4.0 (mukaiillen Prinz et al. 2018)

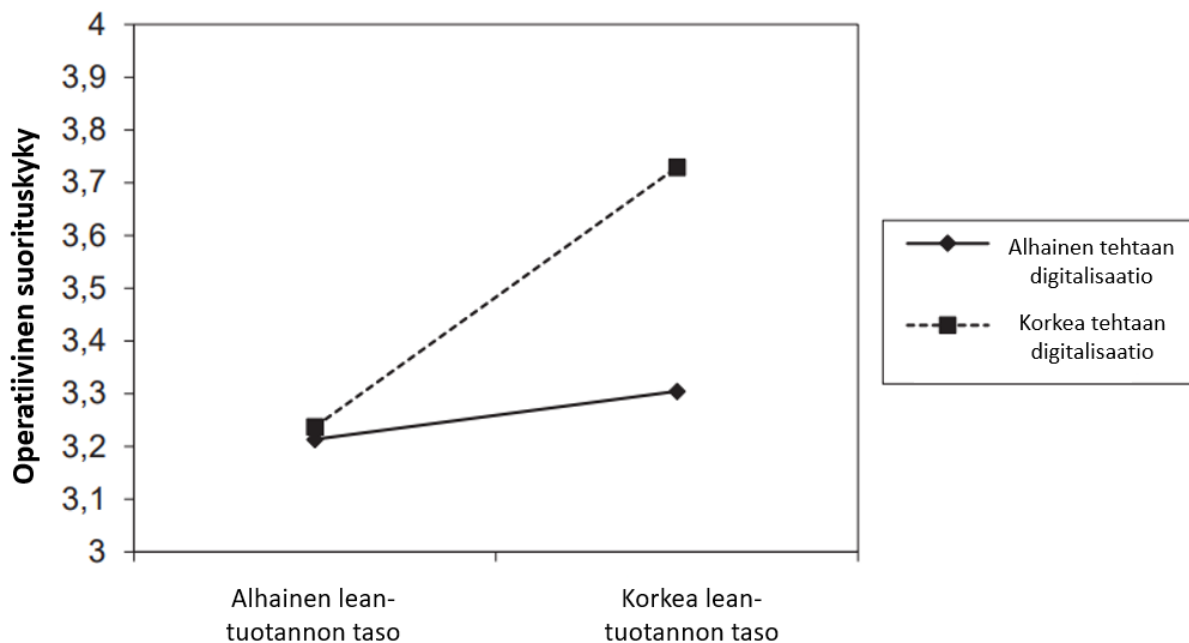
Suorituskykyyn vaikuttavia tuloksia osoittaa myös Buer (2020) tutkimuksessaan, jossa suoritettiin lineaarinen regressioanalyysi perustuen haastateltujen yritysten antamiin tuloksiin liittyen lean-tuotannon implementointiin, tuotannon digitalisointiin sekä operatiiviseen tehokkuuteen. Haastateltavat yritykset arvioivat kunkin osa-alueen implementointia omassa yrityksessään Likert-asteikolla 1-5, missä lukuarvo 1 merkitsi sitä, että kyseistä asiaa ei ole implementoitu, kun taas lukuarvo 5 merkitsi täyttä implementointia.

Alla on esitettyä kuva 5, jossa näkyy, kuinka operatiivinen tehokkuus riippuu tehtaan digitalisaation tasosta. Toisaalta kuva 6 osoittaa sen, kuinka operatiivinen tehokkuus riippuu lean-tuotannon tasosta. Kyseisissä kuvissa pystyakselilla esiintyvä operatiivinen tehokkuus ulottuu lukuarvosta 3 lukuarvoon 4. Tämä johtuu siitä, että operatiivisen tehokkuuden keskiarvo oli

haastattelututkimuksessa 3.48 ja yhden keskihajonnan suuruus oli 0.48, minkä perusteella pystyakseli on valittuna välille 3–4. (Buer 2020)



Kuva 5. Operatiivisen tehokkuuden riippuvuus tehtaan digitalisaatiosta (mukaiillen Buer 2020)



Kuva 6. Operatiivisen tehokkuuden riippuvuus lean-tuotannon tasosta (mukaiillen Buer 2020)

Buer (2020) tutkimus osoittaa, että molemmat, sekä lean-tuotanto että tuotannon digitalisaatio vaikuttavat jo erikseen implementoituina operatiiviseen suorituskykyyn. Hyvin merkittävänä tuloksena voidaan kuitenkin pitää Buer (2020) tutkimuksessa esiin nousevaa lean-tuotannon ja tehtaan digitalisaation synergiavaikutusta. Buer (2020) tutkimuksen tulokset osoittavat, että hyödyt operatiiviseen suorituskykyyn ovat varsin vaatimattomia, jos implementoidaan pelkääntään leania tai digitaalisia teknologioita. Todellinen operatiivinen suorituskyky saadaan, kun nämä kaksi, lean-tuotanto sekä tehtaan digitalisaatio, integroidaan yhteen. Buer (2020) esittää tutkimuksessaan myös väitteen, että lean-tuotanto, jossa ei ole digitaalisia ratkaisuja, ei enää tarjoa mitään merkittävää operatiivista suorituskykyä. Buer (2020) linjaa myös vastaavasti, että digitaalisia tekniikoita hyödyntävä yritys voi saavuttaa vain rajallista etua, jos se epäonnistuu lean-tuotannon implementoinnissa ja lean-ajattelussa.

Edellä esitetyt tutkimustulokset ovat merkittäviä tämän tutkimuksen kannalta, sillä tulokset ovat hyvin pitkälti linjassa tässä tutkimuksessa aikaisemmin esiteltyjen näkökulmien kanssa liittyen teollisuus 4.0:n sekä lean-tuotannon integroimisesta johtuviin hyötyihin. Edellä esitetyt Buer (2020) tutkimustulokset vahvistavat näitä aikaisemmin esiteltyjä näkökulmia siitä, että synergiaetuja on todellakin mahdollista saavuttaa.

7 Lean 4.0 integroimisen haasteet

Aikaisemmin tässä tutkimuksessa on esitelty pääasiassa teollisuus 4.0:n vaikutusten aiheuttamia hyötyjä lean-tuotantoon ja toisaalta sitä, miten lean-tuotanto vaikuttaa positiivisesti teollisuus 4.0:aan ja sen implementoimiseen. Vaikka tutkimukseen valikoituneiden kirjallisuuslähdeiden yleinen näkökanta vaikuttaa olevankin pitkälti se, että näiden kahden yhdistämisellä on sekä potentiaalisia että jo realisoituja hyötyjä, on näiden integroimisella myös esteitä, jotka nousevat esiin lähdekirjallisuudesta.

Suurin osa lähdekirjallisuudesta ei käsittele haasteita, jotka voitaisiin liittää suoraan näiden kahden paradigman samanaikaiseen integrointiin (Yilmaz et al. 2022). Kirjallisuuskatsauksessaan Yilmaz et al. (2022) toteavat, että leanin ja teollisuus 4.0:n integroinnin haasteina on kuitenkin samoja haasteita, joita esiintyy, kun leania tai teollisuus 4.0:aa implementoidaan erikseen. Tällaisia haasteita ovat muun muassa taloudelliset haasteet.

Müller et al. (2018) suorittamassa haastattelupohjaisessa tutkimuksessa haastateltiin 68 saksalaista pientä ja keskisuurta yritystä liittyen teollisuus 4.0:n implementointiin sekä sen herättämiin kokemuksiin yrityksissä. Tutkimuksessa nousee esille, että teollisuus 4.0 vaatii suuria investointeja IT-infrastruktuuriin sekä osaavaan IT-henkilökuntaan. Myös henkilöstölle vaadittavat koulutukset nousevat tutkimuksessa esille. Yleisesti ottaen tutkimuksessa haastateltavat yritykset kokivat teollisuus 4.0:n implementoinnin kalliina investointina lyhyellä aikavälillä, mutta näkivät, että suuri investointi tuottaa tulosta pitkäjänteisesti katsoen. Esimerkiksi tutkimuksessa haastateltavassa eräässä yrityksessä kyberfysiisten järjestelmien asentaminen 180 tuotantokoneelle maksaa 360 000 euroa ja asennustyö on 2000 euroa konetta kohden.

Myös osaaminen yrityksen sisällä nähdään lähdekirjallisuudessa ongelmallisena tekijänä. Yilmaz et al. (2022) nostavat tutkimuksessaan esille, kuinka teollisuus 4.0:n sekä leanin integroimisen haasteeksi nousee implementoinnin johtamisprosessi. Yilmaz et al. (2022) toteavat, että usein digitalisaatioon sekä leaniin liittyä saman organisaation sisällä eri tiimejä, joilla on erilaiset tavoitteet, toinen tiimi keskittyy digitalisointiin ja toinen keskittyy parannuksiin.

Agostinho ja Baldo (2021) case-tutkimuksesta nousee esille, että teollisuus 4.0:n implementointi tuotantoprosesseihin on haastava sekä osaamista lisäävä prosessi jokaiselle organisaation työntekijälle mukaan lukien leanin ammattilaiset. Teollisuus 4.0 tuo mukanaan kompleksisuutta

fyysiseen infrastruktuuriin sekä systeemeihin. Se tuo mukanaan myös Big Datan mukanaan tuomaa potentiaalia, joka on ollut tähän saakka vielä tuntematon osa-alue tuotannossa. Agostinho ja Baldo (2021) tutkimus osoittaa myös sen, että lean-ammattilaisilla on hyvin vähän kokemusta tietotekniikasta ja datan analysoinnista, kun taas tietotekniikan ammattilaiset eivät ole tietoisia leanista. Edellä esitetyn kaltaista tilannetta, jossa tiimit eivät ole tarpeeksi tietoisia toisten tiimien vastuualueista osoittautuvat haasteeksi integroimisessa.

Kuten aiemmin todettiin, Küpper et al. (2017) nostavat raportissaan esille sen, että lean-tuotannon ja teollisuus 4.0:n yhdistämisessä nähdään merkittäviä etuja. Kuitenkin samassa raportissa käy hyvin ilmi se, kuinka vielä merkittävän pieni osuus yrityksistä on pystynyt implementoimaan leania ja teollisuus 4.0:aa tarpeeksi hyvin siten, että voitaisiin puhua siitä, että lean 4.0 olisi heidän tapauksessaan kypsällä tasolla. Raportissa nousee esille, että vain noin 5 % yrityksistä on onnistunut leanin ja teollisuus 4.0:n integroimisessa siten, että tätä voitaisiin kuvailla kypsäksi. Yritykset eivät ole vielä myöskään vielä täysin varmoja, millä tavalla leania ja teollisuus 4.0 -teknologioita voitaisiin yhdistää, eli mikä olisi optimaalinen yhdistelmä näiden kahden integroimisessa. (Küpper et al. 2017)

8 Yritysesimerkki: Kongsberg Maritime Subsea

Tässä tutkimuksessa esitellään seuraavaksi käytännön case-esimerkki siitä, miten leanista on pystytty tekemään digitaalinen yhdistämällä se teollisuus 4.0:n kanssa. Esimerkit perustuvat Buer (2020) tutkimukseen siitä, miten leania ja teollisuus 4.0 -ratkaisuja on yhdistetty merenkulun ratkaisuja valmistavassa yrityksessä. Kongsberg Maritime Subsea on Kongsberg Maritimen tytäryhtiö, joka on osa Kongsberg-konsernia. Kongsberg kehittää ja valmistaa kehittyneitä vedenalaisia akustisia anturijärjestelmiä. Kongsbergin tuotteita käytetään vedenalaisessa kartoituksessa, vedenalaisessa navigoinnissa ja vedenalaisessa merenkulussa. (Buer 2020)

Kongsberg aloitti vuonna 2014 yrityksessään lean-ohjelman. Ohjelman tavoitteena ei ollut keskittyä tiettyihin leanin työkaluihin vaan lean-ohjelman tavoitteena oli juurruttaa oppimisen sekä jatkuvan parantamisen kulttuuri aina tuotantotasolta yrityksen johtoon asti. Kongsbergin lean-ohjelman ydinarvot ovat: asiakasarvo, prosessin tasapaino, kokonaisvaltainen laatu, virtaustehokkuus sekä toiminnan jatkuva parantaminen. (Buer 2020) Kongsbergilla huomattiin, että digitaalisten teknologioiden tarjoamat mahdollisuudet voisivat olla seuraava askel heidän lean-tuotannossaan ja he alkoivat tutkia, minkälaisia toiminnallisuuksia digitaaliset teknologiat voivat tarjota yrityksen lean-ohjelmaan. Seuraavaksi esitellään neljä esimerkkiä siitä, minkälaisia ratkaisuja Kongsberg on hyödyntänyt lean-tuotantonsa tukena.

Digital TPM. Kongsberg Maritime Subsea toimii markkinasektorilla, jossa on korkeat laatu-standardit, minkä takia oikea-aikainen sekä oikeaoppinen tuotantokoneiston kunnossapito on erittäin tärkeää. Kongsbergillä ei ole myöskään suurta määrää henkilökuntaa, minkä takia suurin osa rutiinisista korjaustoimenpiteistä on määrätty tuotanto-operaattoreille. Kongsbergillä huomattiin, että tuotannosta löytyi käyttökatkoksia, joista suurin osa, noin 70 %, havaittiin olevan suunnittelelmattomia. Kongsbergillä oli muodostunut ongelmaksi se, että huolimatta TPM:n periaatteiden implementoimisesta tuotantoon, löytyi raportoinnista huomattavia puutteita liittyen valmiiksi saatuihin korjaustehtäviin. Oli epäselvää, johtuiko raportoinnin puute siitä, että tehtäviä ei ollut suoritettu vai unohtivatko operaattorit tai eivätkö he halunneet käyttää aikaa raportointiin. (Buer 2020)

Kongsbergilla ratkaisua suunnittelelmattomiin käyttökatkoksiin lähdettiin hakemaan digitaalisen TPM:n kautta perinteisen kynä- ja paperiratkaisun sijaan. Digitaalinen alusta rakennettiin

Office 365 online -alustan päälle, joka tuki sekä pöytäkoneita että mobiililaitteita. Kun määräaikaishuoltotehtävä on lisätty ohjelman tietokantaan, ohjelmisto aikatauluttaa määräaikaishuoltotehtävän automaattisesti huoltovälin mukaan ja toimittaa työmääräyksen suoraan operaattorille. Operaattori saa työmääräyksen yleensä muutamaa päivää ennen sen eräpäivää ja voi kuitata suoritettua tehtävää. Järjestelmä sisälsi myös ominaisuuden, jonka avulla operaattori voi halutessaan ilmoittaa suunnittelemattoman huollon tarpeesta suoraan järjestelmässä. Digitaalinen TPM saavutti Kongsbergillä merkittävästi hyvää palautetta ja se otettiin käyttöön koko tuotantoprosessiin. Kongsberg on myös alkanut tutkia mahdollisuuksia käyttää IoT-pohjaisia antureita koneiden kunnossapidon seurantaan ja ennakointiin. (Buer 2020)

Digital Kaizen. Kongsbergillä oli aikaisemmin käytössä jokaisella tuotantoalueella perinteisen malliset Kaizen-työkalut, jonne työntekijöillä oli mahdollisuus kirjoittaa kehitysehdotuksia. Ehdotuksista keskusteltiin joka viikko Kaizen-tapaamisissa. Ongelmallisen tilanteesta teki se, että tuotannon esimiehelle oli haastavaa pysyä ajan tasalla kaikista kehitysehdotuksista ja kokonaisuutta oli hankala hahmottaa sen suhteen, millä Kaizen-työkaluilla oli merkittävimmät kehitysehdotukset. Lisäksi ongelmallista perinteisessä ratkaisussa oli se, että kehitysehdotukset kirjoitettiin muistilapuille, mikä loi riskin sille, että muistilaput katoaisivat. Ratkaisuksi löydettiin pilvipohjainen järjestelmä, joka on Digitaalisen TPM:n lailla rakennettu Office 365 -alustalle. Kongsbergillä aikaisemmin olleet perinteiset fyysiset työkalut korvattiin näytöillä, jotka toimivat digitaalisina Kaizen-työkaluina. (Buer 2020)

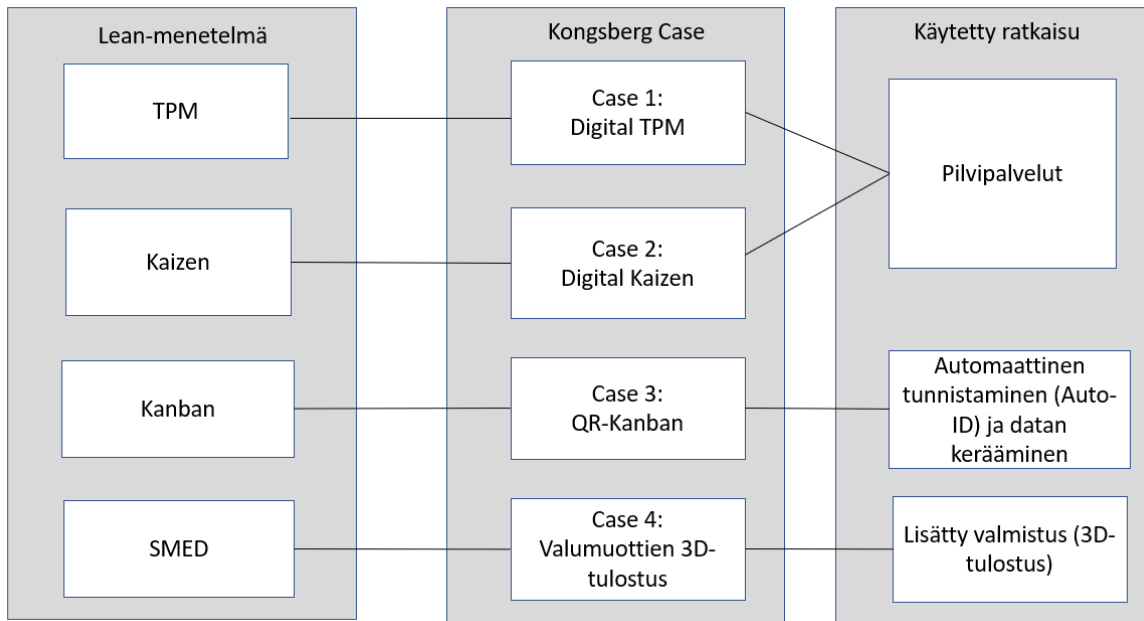
QR-Kanban. Kongsbergillä on varastossaan runsaasti materiaalia, jota ei suoraan käytetä tuotteisiin. Tämän lisäksi Kongsbergillä kuluu runsaasti kulutustavaraa, kuten hansikkaita, voiteluaineita ja puhdistusliuottimia. Aikaisemmin, ilman standardoitua työtapa, oli tilausvastaavan lähetettävä manuaalisesti sähköpostiviesti oikealla tuotekoodilla sekä kappalemäärällä. Tämän takia alettiin tutkia vaihtoehtoja käytäntöä, minkä avulla voitaisiin säästyä ylimääräiseltä työltä. Kanban-korttien käyttöönotto nähtiin olevan tarkoitukseen sopiva ratkaisu, jotta kulutustavaroiden tilaaminen pystyttäisiin vakioimaan. (Buer 2020)

Ratkaisuksi sovellettiin QR-Kanbania. QR-koodit ovat kaksiulotteisia viivakoodeja, joihin voidaan tallentaa enemmän tietoa kuin perinteisiin viivakoodeihin. Tarkka määrä riippuu QR-koodin resoluutiosta. Kanban-kortteihin tulostettiin QR-koodit ja niihin pystyttiin sisällyttämään kaikki tiedot, jotka aiemmin oli sähköpostiviestien sisällä. Tämän seurauksena tilausprosessista tuli hajautettu ilman tarvetta kommunikoida keskitetyn tietokannan kanssa, mikä on tyypillisesti tilanne perinteisten viivakoodien tapauksessa. (Buer 2020)

Kongsbergin uuden ratkaisun myötä QR-koodilla varustettu Kanban-kortti mahdollistaa nyt tuotteiden yksinkertaisen tilaamisen kameralla varustetuilla mobiililaitteilla. Ratkaisu on standardoinut tilausprosessin Kongsbergin ja sen tarviketoimittajien välillä ja tehnyt siitä yksinkertaisemmän molemmille osapuolille. QR-Kanbanin käyttöönoton myötä ei enää tarvita fyysistä Kanban-korttia, joka lähtisi varastosta. Tästä syystä riski sille, että Kanban-kortti katoaa, on pienentynyt Kongsbergilla. QR-Kanban ei ole edistynein ratkaisu, sillä autonominen Kanban-järjestelmä on huomattavasti edistyneempi ratkaisu. Kuitenkin Kongsbergin tapauksessa QR-Kanban osoittautui riittäväksi ratkaisuksi, sillä tilattavaa tavaraa on kohtalaisen vähän. Lisäksi käyttöönottoon liittyvät kustannukset olivat mitättömän pienet. (Buer 2020)

Valumuottien 3D-tulostus. Komposiittien valutus on merkittävässä osassa Kongsbergin tuotantoprosessia ja Kongsbergillä onkin jopa 28 eri komposiittityyppiä, joten valumuotteja tarvitaan runsaasti. Perinteisesti Kongsberg on hyödyntänyt teflon-pohjaisia valumuotteja, joita voidaan käyttää uudelleen, kun ne pestään huolellisesti käyttökerran jälkeen. Valumuottien peseminen vie kuitenkin huomattavan paljon aikaa. Kongsberg arvioikin, että tähän kuluu vuodessa yhteensä 700 työtuntia. Ongelmana on myös se, että puhdistuksen yhteydessä muotit voivat muoutua väärän muotoisiksi, jolloin muotin mitat eivät enää ole kohdillaan. (Buer 2020)

Vastauksena näihin havaittuihin haasteisiin Kongsberg aloitti omien kertakäyttöisten valumuottien valmistuksen 3D-tulostuksella. Ensimmäisten testien aikana he havaitsivat, että 3D-tulostetut muotit tuottivat samanlaisia tuloksia kuin perinteiset muotit ja niiden avulla pystyttiin vastaamaan edellä esitettyihin ongelmiin. Perinteiseen tapaan verrattuna 3D-tulostettujen muottien osalta havaittiin useita hyötyjä, kuten suoria kustannussäästöjä valmistuksesta sekä epäsuoria kustannussäästöjä, kun likaisia muotteja ei enää tarvinnut puhdistaa. Saavutetut kustannussäästöt olivat Kongsbergille merkittävät, sillä he arvioivat säästöjen olevan noin 50 000 euroa vuodessa, kun 3D-tulostus on käytössä vasta kuudella eri muottityypillä niitä ollessa kokonaisuudessaan yhteensä 28 erilaista muottityyppiä. Johtuen siitä, että Kongsbergillä ei enää tarvitse puhdistaa valumuotteja, on asetus aika pienentynyt huomattavasti. Lisäksi varastoinnin tarve on pienentynyt, koska valumuotit valmistetaan tilauksesta. Valumuottien 3D-tulostus mahdollistaa myös sen, että mahdolliset muutokset ja parannukset valumuotteihin on helppo toteuttaa tarpeen vaatiessa välittömästi. 3D-tulostetut valumuotit ovat myös kevyempiä verrattuna perinteisiin valumuotteihin, mikä edistää työterveyttä tuotannossa. (Buer 2020) Alla olevassa kuvassa 7 on koottuna luvussa esitetyn yritys esimerkin lean-menetelmät sekä niihin yhdistetyt ratkaisut.



Kuva 7. Koonti Kongsberg-yritysesimerkissä käytetyistä ratkaisuista ja lean-menetelmistä (mukaillen Buer 2020)

9 Johtopäätökset

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin teollisuus 4.0:n sekä lean-tuotannon integroimista ja siitä aiheutuvia hyötyjä sekä esteitä integroimiselle. Kandidaatintyön aihealueet lean sekä teollisuus 4.0 ovat itsenäisinä laajoja käsitteitä, mutta näiden kahden yhteisvaikutusta on tutkittu vielä kohtuullisen vähän, minkä takia aihe rajautui melko selkeäksi. Lisäksi tässä kandidaatintyössä rajattiin pois ylimääräiset leanin sekä teollisuus 4.0:n historiaan liittyvät asiat, jotka eivät tässä kandidaatintyössä olisi antaneet lukijalle juurikaan lisäarvoa. Tässä kandidaatintyössä rajattiin ulos myös sellaisten teollisuus 4.0:aan liitettävien teknologioiden käsittely, jotka eivät nousseet tässä tutkimuksessa esille lean-tuotantoa sekä teollisuus 4.0:aa käsittelevissä alaluvuissa.

Tässä kandidaatintyössä käsiteltiin leanin keskeisimmät periaatteet ja menetelmät, minkä avulla lukijalle annettiin käsitys siitä, mitä lean tarkoittaa, mikä sen arvomaailma on ja miten sen menetelmät sekä työkalut kytkeytyvät leaniin. Teoriaosuutta pyrittiin havainnollistamaan TPS:n talomallin avulla, jotta lukija saa paremman käsityksen siitä, mitä lean sisältää. Teollisuus 4.0:n teknologioita on monia ja tässä kandidaatintyössä annettiin tiivis käsitys lukijalle siitä, minkälaisia teknologioita sekä käsitteitä teollisuus 4.0 pitää sisällään.

Päätutkimuskysymys oli: *Onko teollisuus 4.0 lean-tuotannon seuraava kehitysaskel?*

Tässä tutkimuksessa nousi esille vahvasti se, että teollisuus 4.0 ei tulisi korvaamaan leania. Sen sijaan tämä tutkimus osoitti, että teollisuus 4.0:n sekä lean-tuotannon yhdistäminen sisältää paljon potentiaalia. Tässä tutkimuksessa osoitettiin esimerkiksi useita kirjallisuuslähteistä nousevia näkemyksiä sen puolesta, että teollisuus 4.0:n vaikutukset lean-tuotantoon ovat positiivisia. Toisaalta esiin nostettiin myös kirjallisuuslähteistä esiin nousevia näkemyksiä siitä, että lean-tuotanto tukee teollisuus 4.0:n implementointia, minkä pohjalta on uskottavaa, että teollisuus 4.0 voi hyvin todennäköisesti olla lean-tuotannon seuraava kehitysaskel. Varsinkin luvussa 6. käsiteltyjen lean 4.0:n hyötyjen voidaan nähdä olevan lupaavia viitteitä siitä, että synergiaetuja on mahdollista saavuttaa. Muita merkittäviä tuloksia tämän tutkimuksen kannalta on Buer (2020) tutkimustulokset, joissa osoitettiin, kuinka lean-tuotanto ilman digitaalisia ratkaisuja ei enää tarjoaisi mitään merkittävää operatiivista suorituskykyetua. Edellä esitetty Buer (2020)

tulos vahvistaa merkittävästi tässä tutkimuksessa aiemmin nousseita näkemyksiä positiivisesta yhteydestä lean-tuotannon sekä teollisuus 4.0:n välillä. Esimerkiksi Prinz et al. (2018) tutkimus mahdollisesta tuottavuuden kasvusta lean-tuotantoa sekä digitaalisia teknologioita yhdistettäessä saa Buer (2020) tutkimuksen myötä vahvaa tieteellistä tukea.

Myös tässä tutkimuksessa esiin nostetut konkreettiset käytännön esimerkit luovat uskottavuutta sille, että teollisuus 4.0 olisi lean-tuotannon seuraava kehityskaskel. Varsinkin luvussa 8. esitelty Kongsberg-yritysesimerkki osoittaa hyviä käytännön esimerkkejä, joiden avulla Kongsbergilla saavutettiin merkittäviä hyötyjä operatiivisessa toiminnassa. Esiin nousevia hyötyjä olivat muun muassa kustannussäästöt sekä asetusaikojen vähentyminen.

Tässä tutkimuksessa myös vastakkaista näkemystä nostettiin esille, sillä lean-tuotannon ja teollisuus 4.0:n integroimisessa nähdään vielä myös haasteita. Erityisesti vaikuttaa siltä, että yrityksillä on haasteita uuden teknologian jalkauttamisessa, koska yritykset vaikuttavat olevan vielä epävarmoja siitä, kuinka lean-tuotantoa ja teollisuus 4.0 -teknologioita tulisi yhdistää. Toisaalta tässä tutkimuksessa nousi esille myös se, että yrityksessä toimivilla lean-ammattilaisilla ja tietotekniikan osaajilla ei ole kovin hyvää tietoa toistensa osaamisesta, mistä aiheutuu ongelmia integroimiselle. Lisäksi taloudelliset tekijät vaikuttavat myös olevan mahdollisia integroimisen esteitä. Kuitenkaan esiin nousevat haasteet eivät vaikuta olevan ylitsepääsemättömän ongelmallisia pitkäjänteisesti ajateltuna. Täten voidaankin todeta, että teollisuus 4.0 on hyvin potentiaalinen vaihtoehto lean-tuotannon seuraavaksi kehityskaskeleeksi, mikäli yritykset oppivat yhdistämään teollisuus 4.0:aa sekä lean-tuotantoa oikein.

Ensimmäinen osatutkimuskysymys oli: *Mikä on teollisuus 4.0:n ja lean-tuotannon välinen suhde?*

Tässä tutkimuksessa käsiteltiin luvussa 4. sekä alaluvuissa 4.1, 4.2 ja 4.3 sitä, mikä on lean-tuotannon sekä teollisuus 4.0:n välinen suhde. Alaluvussa 4.1 esitelty riippuvuusmatriisi osoittaa teollisuus 4.0:n positiivisen vuorovaikutuksen lean-menetelmiin sekä leanin periaatteisiin. Myös aliluvuissa 4.2 sekä 4.3 osoitettiin, kuinka vaikutukset lean-tuotantoon ovat pitkälti positiivisia. Toisaalta lean-tuotanto vaikuttaa myös tukevan teollisuus 4.0:aa. Erityisesti tämän tutkimuksen pohjalta vaikuttaa siltä, että teollisuus 4.0:n avulla voidaan päästä yli haasteista, joita leaniin on yhdistetty. Tällaisia haasteita on muun muassa heikko massaräätälöitävyys. Toisaalta

tämä tutkimus myös osoittaa, että leania hyödyntävillä yrityksillä on paremmat mahdollisuudet onnistua teollisuus 4.0:n implementoinnissa, kuin sellaisilla yrityksillä, jotka eivät leania implementoi.

Lisäksi tämä tutkimus osoittaa, kuinka teollisuus 4.0 sekä lean-tuotanto ovat lähtökohtaisesti hyvin erilaisia, sillä lean-tuotanto on ihmiskeskeinen lähestymistapa ja teollisuus 4.0 on hyvin teknologiapohjainen lähestymistapa. Kuitenkin teollisuus 4.0:lla sekä lean-tuotannolla on yhteisiä tavoitteita, sillä molemmat tähtäävät lisäarvon tuottamiseen yritykselle. Lisäksi tutkimuksessa tuotiin esille, kuinka teollisuus 4.0 ei tule korvaamaan tai hävittämään lean-tuotantoa, vaan pikemminkin niiden nähdään hyödyntävän toinen toisiaan. Kaiken kaikkiaan alaluvuissa esitellyt näkökulmat vahvistavat sitä ajatusta, että lean-tuotannon sekä teollisuus 4.0:n välinen suhde on positiivinen ja näiden yhdistäminen nähdään olevan varsin hyödyllistä.

Toinen osatutkimuskysymys oli: *Miten teollisuus 4.0 -teknologioita voidaan hyödyntää leanin kanssa?*

Tässä tutkimuksessa nousi esille useita esimerkkejä siitä, kuinka teollisuus 4.0 -teknologioita voidaan hyödyntää leanin kanssa. Konkreettisista esimerkeistä nousi esille muutamia lean-menetelmiä, kuten VSM, Kanban, TPM, Jidoka sekä Poka-Yoke, joita on selkeästi pystytty yhdistämään enemmän teollisuus 4.0 -teknologioiden kanssa. Lisäksi muita lean-menetelmien ja teollisuus 4.0 -teknologioiden yhdistelmiä esiteltiin tässä tutkimuksessa luvussa 5.1 yleisellä tasolla.

TPM:n yhteydessä aliluvussa 5.2 esiin nousee useita teollisuus 4.0 -ratkaisuja, kuten esimerkiksi älykkäät algoritmit, IoS, 3D-tulostus, kyberfyysiset järjestelmät sekä AR sekä VR -teknologiat, joilla vaikuttaa olevan keskeinen rooli myös Jidokan ja Poka-Yoken periaatteisiin. VR sekä AR -teknologioita voidaan hyödyntää esimerkiksi korjaustoimenpiteiden yhteydessä ja toisaalta näiden avulla voidaan ennaltaehkäistä virheiden syntymistä, mikä on keskeistä Jidokassa sekä Poka-Yokessa.

Tutkimuksen perusteella VSM:n sekä teollisuus 4.0:n merkittävin hyöty puolestaan on paranneltu läpinäkyvyys, sillä arvovirroista voidaan luoda reaaliaikaisia. Tämä auttaa tunnistamaan hukkia tuotantoprosessissa ja johtaa leanin mukaiseen arvontuontiin. VSM:n yhteydessä esiin

nousee keskeisesti esille reaaliaikainen data sekä sen hyödyntämisen mahdollisuudet. Tämä tutkimus myös osoitti, kuinka simulaatiota pystytään hyödyntämään VSM:n kanssa ja tässä tutkimuksessa aliluvussa 5.3 esiteltiin Goren (2017) tutkimus, jossa osoitettiin, miten simulaatiota on yhdistetty VSM:n kanssa huonekaluja valmistavassa yrityksessä.

Kanbanin yhteydessä esiin tässä tutkimuksessa nousi aliluvussa 5.4 kehittyneempiä Kanban-menetelmiä, kuten E-Kanban, autonominen Kanban sekä itseoptivoiva Kanban. Autonomisesta Kanbanista esiin nousi muun muassa Würthin iBin, jossa onnistuttiin hyödyntämään kamerajärjestelmää Kanbanin yhteydessä. Lisäksi luvussa 8. tuotiin esille QR-Kanban, jonka avulla Kongsbergilla pystyttiin vakioimaan kulutustavaroiden tilaaminen.

Lisäksi tässä tutkimuksessa luvussa 8. esitelty Kongsberg-yritysesimerkki konkretisoi oivallisesti sitä, miten teollisuus 4.0 -ratkaisuita sekä teollisuus 4.0 -teknologioita voidaan hyödyntää lean-tuotannon kanssa. Luvussa nousi esiin muun muassa 3D-tulostus sekä erilaiset pilvipalvelut, joita oli pystytty hyödyntämään Kongsbergilla päivittäisessä toiminnassa muun muassa SMED:in parantamiseen sekä Kaizen-toimintaan.

Lähteet

- Agostinho, V. & Baldo, C.R. 2021, Assessment of the impact of Industry 4.0 on the skills of Lean professionals, *Procedia CIRP*, Vol. 96, s. 225-229.
- Alexopoulos, K., Makris, S., Xanthakis, V., Sipsas, K. & Chryssolouris, G. 2016. A concept for context-aware computing in manufacturing: the white goods case, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 29(8). s. 839-849.
- Berman, B. 2012, 3-D printing: The new industrial revolution, *Business horizons*, Vol. 55(2). s. 155-162.
- Bibri, S. E. 2018. The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability. *Sustainable cities and society*, Vol. 38, s. 230-253
- Bittencourt, V. L., Alves A. C., & Leão C. P. 2021. Industry 4.0 triggered by Lean Thinking: insights from a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, Vol.59(5). s. 1496-1510.
- Bittencourt, V.L., Alves, A.C. & Leão, C.P. 2019. Lean Thinking contributions for Industry 4.0: a Systematic Literature Review, *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 52(13). s. 904-909.
- Buer, S. 2020. Investigating the Relationship between Lean Manufacturing and Industry 4.0. Väitöskirja. Norwegian University of Science and Technology, Department of Mechanical and Industrial Engineering. Doctoral theses at NTNU;2020:65
- Cagnetti, C., Gallo, T., Silvestri, C. & Ruggieri, A. 2021. Lean production and Industry 4.0: Strategy/management or technique/implementation? A systematic literature review, *Procedia Computer Science*, Vol. 180, s. 404-413.
- Caruso, L. 2017. Digital innovation and the fourth industrial revolution: epochal social changes?, *AI & society*, Vol. 33(3). s. 379-392.
- Charron, R., Harrington, H. J., Voehl, F. & Wiggin, H. 2015. The lean management systems handbook, CRC Press, Boca Raton, FL.

- Davies, R., Coole, T. & Smith, A. 2017. Review of Socio-technical Considerations to Ensure Successful Implementation of Industry 4.0, *Procedia Manufacturing*, Vol. 11, s. 1288-1295.
- Demir, S., Paksoy, T. & Kochan C.G. 2017. A Conceptual Framework for Industry 4.0. Teoksessa: Paksoy T., Kochan C.G, Ali S.S, (toim.) *Logistics 4.0 Digital Transformation of Supply Chain Management*
- Dubey, G., Gupta, R.K., Kumar, S. & Kumar, M. 2022. Study of industry 4.0 pillars and their uses in increasing productivity and reducing logistics defects, *Materials Today: Proceedings*
- Gallo, T., Cagnetti, C., Silvestri, C. & Ruggieri, A. 2021. Industry 4.0 tools in lean production: A systematic literature review, *Procedia Computer Science*, Vol. 180, s. 394-403.
- Gilchrist, A. 2016, *Industry 4.0 The Industrial Internet of Things*, Apress, Berkeley, CA.
- Goren, G.H. 2017. Value stream mapping and simulation for lean manufacturing: a case study in furniture industry. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*. Vol. 23(4). s. 462–469
- Gunaki, P., Devaraj, S. & Patil, S. 2022. Process optimization by value Stream Mapping, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 54, s. 251-254.
- Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. 2015, Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review, Technische Universität Dortmund, Vol. 45.
- Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. 2016, Design principles for industrie 4.0 scenarios, 2016 49th *Hawaii international conference on system sciences IEEE*, s. 3928.
- Hoellthaler, G., Braunreuther, S. & Reinhart, G. 2018. Digital Lean Production An Approach to Identify Potentials for the Migration to a Digitalized Production System in SMEs from a Lean Perspective, *Procedia CIRP*, Vol. 67, s. 522-527.
- Hofmann, E. & Rüsç, M. 2017. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics, *Computers in Industry*, Vol. 89, s. 23-34.
- Javaid, M., Haleem A., Singh R.P., Rab, S. & Suman, R. 2021. Upgrading the manufacturing sector via applications of Industrial Internet of Things (IIoT), *Sensors International*, Vol. 2, s. 100129.

- Kolberg, D. & Zühlke, D. 2015. Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies, *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 48(3), s. 1870-1875
- Konanahalli, A., Marinelli, M. & Oyedele, L. 2020. Drivers and Challenges Associated With the Implementation of Big Data Within U.K. Facilities Management Sector: An Exploratory Factor Analysis Approach, *IEEE Transactions on Engineering Management*, s. 1-14.
- Kumar C.S. & Panneerselvam R. 2007. Literature review of JIT-kanban system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 32(3), s. 393–408.
- Küpper, D., Heidemann, A., Ströhle, J., Spindelndreier, D., & Knizek, C. 2017. When lean meets Industry 4.0: the next level of operational excellence. Boston Consulting Group, Boston
- Laaper, S & Kiefer, B. 2020. Digital Lean manufacturing, Industry 4.0 Technologies transform lean processes to advance the enterprise. Deloitte.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H., Feld, T. & Hoffmann, M. 2014. Industry 4.0, *Business & information systems engineering*, Vol. 6(4), s. 239-242.
- Lian, Y. & Van Landeghem, H. 2002. An application of simulation and value stream mapping in lean manufacturing, *Proceedings 14th European Simulation Symposium*
- Liker, J. K. 2006. Toyotan tapan. Helsinki: Readme.fi.
- Liker, J.K. & Morgan, J.M. 2006. The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development, *Academy of Management perspectives*, Vol. 20(2), s. 5-20.
- Lu, Y. 2017. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues, *Journal of Industrial Information Integration*, Vol. 6, s. 1-10.
- Lugert, A., Batz, A. & Winkler, H. 2018. Empirical assessment of the future adequacy of value stream mapping in manufacturing industries. *Journal of Manufacturing Technology Management*. Vol. 29(5), s. 886–906
- Marinelli, M., Deshmukh, A.A., Janardhanan, M. & Nielsen, I. 2021. Lean manufacturing and Industry 4.0 combinative application: Practices and perceived benefits, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 54, no. 1, s. 288-293.

Mayr, A., Weigelt, M., Kühl, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M. & Franke, J. 2018. Lean 4.0 - A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0, *Procedia CIRP*, Vol. 72, s. 622-628.

Melton, T. 2005. The Benefits of Lean Manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process Industries, *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 83(6), s. 662-673.

Modig, N., & Åhlström, P. (2013). Tätä on lean: ratkaisu tehokkuusparadoksiin. Rheologica publishing.

Monteiro, C., Ferreira, L.P., Fernandes, N.O., Sá, J.C., Ribeiro, M.T. & Silva, F.J.G. 2019. Improving the Machining Process of the Metalworking Industry Using the Lean Tool SMED, *Procedia Manufacturing*, Vol. 41, s. 555-562.

Mrugalska, B. & Wyrwicka, M.K. 2017. Towards Lean Production in Industry 4.0, *Procedia Engineering*, Vol. 182, s. 466-473.

Müller, J.M., Buliga, O. & Voigt, K. 2018. Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 132, s. 2-17.

Paelke V. 2014. Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0 environment, - *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation*, s. 1-4

Palmarini, R., Erkoyuncu, J.A., Roy, R. & Torabmostaedi, H. 2018. A systematic review of augmented reality applications in maintenance, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 49, s. 215-228.

Pereira, A., Abreu, M.F., Silva, D., Alves, A.C., Oliveira, J.A., Lopes, I. & Figueiredo, M.C. 2016. Reconfigurable Standardized Work in a Lean Company – A Case Study, *Procedia CIRP*, Vol. 52, s. 239-244.

Prinz, C., Kreggenfeld, N. & Kuhlenkötter, B. 2018. Lean meets Industrie 4.0 – a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world, *Procedia Manufacturing*, Vol. 23, s. 21-26.

Rahman, N.A.A., Sharif, S.M. & Esa, M.M. 2013. Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation, *Procedia Economics and Finance*, Vol. 7, s. 174-180

Raman, S. 1998. Lean software development: is it feasible?, - 17th DASC. AIAA/IEEE/SAE. Digital Avionics Systems Conference. Proceedings (Cat. No.98CH36267), s. C13/1.

Rawabdeh I. 2005. A Model for the assessment of Waste in Job Shop Environments. *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 25(8). s. 800-822

Riezebos, J., Klingenberg, W. & Hicks, C. 2009. Lean Production and information technology: Connection or contradiction?, *Computers in Industry*, vol. 60(4). s. 237-247.

Rojko, A. 2017, Industry 4.0 concept: Background and overview., *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, Vol. 11(5). s. 77-90

Roldán, J.J., Crespo, E., Martín-Barrio, A., Peña-Tapia, E. & Barrientos, A. 2019. A training system for Industry 4.0 operators in complex assemblies based on virtual reality and process mining, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 59, s. 305-316.

Rossini, M., Cifone, F.D., Kassem, B., Costa, F. & Portioli-Staudacher, A. 2021. Being lean: how to shape digital transformation in the manufacturing sector, *Journal of manufacturing technology management*, Vol. 32(9), s. 239-259.

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert P., Waldner M., Engel P., Harnisch M. & Justus J. 2015. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Boston Consulting Group

Saad, S., Bhoovar, C., Ramin B., & Zhang, H. 2021. Industry 4.0 Application in Lean Manufacturing – A Systematic Review. *Advances in Manufacturing Technology XXXIV. Advances in Transdisciplinary Engineering*. IOS press, Vol 14, s. 341-346

Salkin, C., M. Oner, A. Ustundag and E. Cevikcan. 2018. A conceptual framework for Industry 4.0. Teoksessa: Ustundag A. & Cevikcan E. *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, s. 3–23

Sanders, A., Elangeswaran, C. & Wulfsberg, Jens. 2016. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*. Vol 9(3). s. 811-833

Sanders, A., K Subramanian, K.R., Redlich, T. & Wulfsberg, J.P. 2017. Industry 4.0 and lean management—synergy or contradiction?. Teoksessa: Lödding H., Riedel R., von Cieminski G., Thoben K.D. & Kiritsis D., (toim.) *Advances in Production Management Systems. The Path to*

Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing. IFIP Advances in Information and Communication Technology, Vol 514. s. 341-349

Silvestri, L., Gallo, T. & Silvestri, C. 2022. Which tools are needed to implement Lean Production in an Industry 4.0 environment? A literature review, *Procedia Computer Science*, Vol. 200, s. 1766-1777.

Singh, R., Gohil, A.M., Shah, D.B. & Desai, S. 2013. Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study, *Procedia Engineering*, Vol. 51, s. 592-599.

Stadnicka, D. & Litwin, P. 2019. Value stream mapping and system dynamics integration for manufacturing line modelling and analysis, *International Journal of Production Economics*, Vol. 208, s. 400-411.

Thangarajoo, Y. & Smith, A. 2015. Lean thinking: An overview, *Industrial Engineering & Management*, Vol. 4(2)

Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E. & Pelaez, G. 2017. What does Industry 4.0 mean to Supply Chain?, *Procedia Manufacturing*, Vol. 13, s. 1175-1182.

Tortorella, G., Sawhney, R., Jurburg, D., de Paula, I.C., Tlapa, D. & Thurer, M. 2020. Towards the proposition of a Lean Automation framework: Integrating Industry 4.0 into Lean Production, *Journal of manufacturing technology management*, Vol. 32(3), s. 593-620.

Tu, Y., Zhou, W. & Piramuthu, S. 2021. Critical risk considerations in auto-ID security: Barcode vs. RFID, *Decision Support Systems*, Vol. 142, s. 113471.

Valamede, L.S. & Akkari, A.C.S. 2020. Lean 4.0: A New Holistic Approach for the Integration of Lean Manufacturing Tools and Digital Technologies, *International Journal of Mathematical Engineering and Management Sciences*, Vol. 5(5). s. 851-868.

Wahab, A.N.A., Mukhtar, M. & Sulaiman, R. 2013. A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions, *Procedia Technology*, Vol. 11, s. 1292-1298.

Womack, J.P. & Jones, D.T. 2003. Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation, Free Press, New York.

Xu, L.D., Xu, E.L. & Li, L. 2018. Industry 4.0: state of the art and future trends, *International Journal of Production Research*, Vol. 56(8). s. 2941-2962.

Yilmaz, A., Dora, M., Hezarkhani, B. & Kumar, M. 2022. Lean and industry 4.0: Mapping determinants and barriers from a social, environmental, and operational perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 175, s. 121320.

Liite 1. Lean-menetelmien yleisyys haastateltujen tuotannossa

Lean-menetelmä	Yleisyys haastateltujen tuotannossa
Kaizen	97%
5S	80%
Kanban	70%
Poka-Yoke	59%
PDCA	56%
VSM	53%
Standardoitu työ	50%
TPM	47%

Liite 2. Teollisuus 4.0 -käsitteiden yleisyys haastateltujen tuotannossa

Teollisuus 4.0 käsite	Yleisyys haastateltujen tuotannossa
IoT / IIot	53%
Big Data & Analytiikka	47%
RFID	44%
3D-tulostus / Lisätty valmistus	38%
Simulaatio	38%
Pilvipalvelut	35%
Reaaliaikainen seurantajärjestelmä	29%
Robotiikka	29%
VR / AR	26%
CPS	18%

Liite 3. Lean-menetelmien soveltuvuus haastateltujen tuotantoon

Leanin implementoinnista aiheutuneet hyödyt yrityksessä	Samaa mieltä (keskiarvo asteikolla 1-5)
Laadun parantuminen	4.09
Asiakkaan vaatimuksiin vastaaminen	4.00
Varastotason pieneneminen	3.73
Hukkien väheneminen	4.03
Tuottavuuden paraneminen	4.24
Läpimenoajan lyheneminen	3.85
Koneiden seisokkien lyheneminen	3.76
Asetusaikojen lyheneminen	3.70
Asiakkaan tyytyväisyyden paraneminen	4.09
Arvonluonnin paraneminen	3.88
Tuottavuuden kasvu	4.12
Lean-tuotannon implementointi on tuottanut yrityksessänne odotettuja tuloksia	4.12