

Eero Starck

VIRTAUSTEHOKKUUDEN KEHITTÄMINEN LEAN-MENETELMILLÄ PIENERÄTUOTANNOSSA

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Joulukuu 2021

TIIVISTELMÄ

Eero Starck: Virtaustehokkuuden kehittäminen lean-menetelmillä pienerätuotannossa
The utilisation of lean methods in high-mix, low-volume manufacturing for production flow improvement
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Joulukuu 2021

Lean-ajattelun keskeisimpiä käsitteitä on virtaus. Paremmalla virtauksella saavutetaan lyhyempiä tuotannon läpimenoaikoja, ja kasvanut virtaustehokkuus kertoo hukkan eli arvoa lisäämättömien toimintojen onnistuneesta eliminoinnista. Virtaustehokkuus siis kuvaa tuotannon arvoa lisäävän työajan suhdetta kokonaisläpimenoaikaan. Lean-ajattelu tarjoaa hukkan eliminoinniseksi ja virtauksen kehittämiseksi erinäisiä menetelmiä ja työkaluja. Edellä mainittujen soveltamista on perinteisesti tutkittu toistuvan ja ennakoitavan sarjatuotannon yhteydessä.

Tämän tutkimuksen tavoite on selvittää strukturoidun kirjallisuuskatsauksen avulla, millä lean-menetelmillä on alan tutkimuksissa saavutettu kehitystä virtaustehokkuudessa ja virtauksessa pienerätuotannossa. Tässä työssä pienerätuotannolla tarkoitetaan vaihtelevaa matalan volyymin tuotantoa (engl. High-mix, low-volume, HMLV). Kyseistä tuotantoympäristöä voimakkaasti määrittävä vaihtelu, toistuvuuden puute ja ennakoinnin vaikeus ovat lean-ajattelun soveltamista hankaloittavia tekijöitä.

HMLV-tuotannossa valmistetaan usein lukuisia toisistaan eroavia tuotteita tai tuoteperheitä. Tuotteita valmistetaan tyypillisesti kerrallaan pieniä eriä, ja kysyntää on vaikea ennakoida. Ympäristölle ominaista on korkea tuotannon tarvitsemien varastokomponenttien määrä. Lisäksi tuotteiden läpimenoajat ovat pitkiä ja vaihtelevat eri tuotteiden välillä, samoin kuin tuotteiden valmistamiseen vaaditut prosessit.

Tutkimuksen perusteella virtaustehokkuutta on onnistuneesti kehitetty eri lean-menetelmien avulla pienerätuotannossa (HMLV) tuotantoympäristötyypin haasteista huolimatta. Kirjallisuuskatsauksessa useimmiten esiin noussut lean-menetelmä oli arvovirtakuvaus (VSM). Tämän jälkeen yleisimpiä lean-menetelmiä olivat jatkuva kehitys (kaizen), 5S (sortteeraus, systematisointi, siivous, standardisointi & seuranta) ja nopea työkalunvaihto (SMED). Lean-ajattelua vaihtelevaan tuotantoon sovellettaessa ensiarvoisen tärkeää on tapauskohtainen harkinta ja kehityskohteen tunteminen.

Avainsanat: lean, virtaustehokkuus, virtaus, pienerätuotanto, HMLV, vaihtelu

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---|----|
| 1. JOHDANTO | 1 |
| 1.1 Työn tausta ja motivaatio | 1 |
| 1.2 Tutkimustavoite ja -menetelmät | 1 |
| 1.3 Työn rakenne | 3 |
| 2. LEAN-TUOTANTO JA VIRTAUS | 4 |
| 2.1 Lean-tuotannon juuret ja perusajatukset | 4 |
| 2.2 Arvoketjut, arvon siirto ja virtaus..... | 5 |
| 2.3 Lean-menetelmät tuotantoympäristössä yleisesti | 6 |
| 3. PIENERÄTUOTANTOON SOVELLETUT LEAN-MENETELMÄT | 9 |
| 3.1 Pienerätuotanto..... | 9 |
| 3.2 Tuotantoympäristön ristiriitaisuus lean-periaatteiden kanssa..... | 11 |
| 3.3 Kirjallisuuskatsauksen kulku..... | 12 |
| 3.4 Tutkimuksen tulokset: sovelletut menetelmät | 14 |
| 4. YHTEENVETO..... | 18 |
| LÄHTEET | 21 |

LYHENTEET

| | |
|------|--|
| ETO | Tilauksesta suunniteltava, engl. Engineer-To-Order |
| HMLV | Korkea vaihtelu, matala volyyymi, engl. High-mix, Low-volume |
| HVLV | Korkea vaihtelu, matala volyyymi, engl. High-variety, Low-volume |
| MTO | Tilauksesta valmistettava, engl. Make-To-Order |
| SMED | Nopea työkalunvaihto, engl. Single-minute exchange of die |
| TPS | Toyotan sisäinen tuotantofilosofia, engl. Toyota Production System |
| WIP | Tuotannon keskeneräiset tuotteet, engl. Work in Process |

1. JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja motivaatio

Lean on 1980-luvun lopulla Toyota Production Systemin (TPS) pohjalta kehitetty käsite (Krafcik 1988; Bhamu & Sangwan 2014). Leanilla tarkoitetaan tulkinnasta riippuen johtamisfilosofiaa (Protzman et al. 2018), toimintastrategiaa (Modig & Åhlström 2013), tai työkalupakin kaltaista laadun kehittämistyökalua (Tapping 2007; Orr & Orr 2014). Laajempi yleisö tuntee leanin ehkäpä yleisimmin hukana, eli tuottamattomien toimintojen eliminoimisena (Nicholas 2011, s.3).

Tieteessä lean on siis suhteellisen nuori käsite, mutta 2010-luvulle tullessa siitä on tuotettu satoja julkaisuja (Jasti & Kodali 2015). Lisäksi suomalaisetkin yritykset ovat alkaneet ottaa askeleita kohti lean-ajattelua soveltavaa tuotantoa, ja yrityksille suunnattuja maksullisia leaniin liittyviä koulutuksia on tarjolla nykyisin huomattava määrä.

Lean-tuotannosta on tehty myös runsaasti erinäisiä opinnäytetöitä. Tässä työssä rajataan aihe ja näkökulma tuottamaan selkeän katsauksen siitä, mitkä lean-menetelmät soveltuvat virtaustehokkuuden kehittämiseen pienerätuotannossa. Tässä työssä käsitettä pienerätuotanto käytetään viittaamaan vaihtelevaan matalan volyymin tuotantoon (engl. High-mix, low-volume, HMLV) sillä termille HMLV ei ole olemassa yleisesti tunnettua suomenkielistä käännöstä.

Työ antaa aiheesta ja tuotannon kehitystyöstä kiinnostuneille opiskelijoille ja teollisuuden työntekijöille tärkeää perustietoa siitä, mitä lean-työkaluja voisi olla mahdollista soveltaa pienerätuotantoon. Aihe on puhtaasti taloudellisestakin näkökulmasta hyvin tärkeä. Työn tuottavuuden kasvu on ollut Suomessa viime vuosina huonolla tasolla, ja työ- ja elinkeinoministeriö näkeekin matalan työn tuottavuuden koko Suomen kansantalouden suurimpana ongelmana (Kangaspunta & Pohjola 2020).

1.2 Tutkimustavoite ja -menetelmät

Tämän kandidaatintyön tavoite on selvittää, mitkä ovat toimivaksi todettuja lean-menetelmiä virtaustehokkuuden kasvattamiseksi pienerätuotannossa. Tavoitteeseen pyritään tuottamalla strukturoidun kirjallisuuskatsauksen pohjalta kooste

tutkimuskysymykseen ”mitkä lean-menetelmät edistävät virtausta HMLV-ympäristössä?”.

Yllä olevan lisäksi työssä vastataan myös seuraaviin tutkimuskysymyksen kannalta oleellisiin apukysymyksiin:

- Mitä on virtaustehokkuus ja miten sitä saadaan kasvatettua?
- Mitkä ovat HMLV-ympäristön ominaispiirteet ja haasteet lean-menetelmien soveltamisen kannalta?

Työssä esitellään lean-menetelmiä ja -työkaluja, joita olisi mahdollista tapauskohtaista harkintaa käyttäen ottaa onnistuneesti käyttöön High-mix, Low-volume -tuotantoympäristössä. Työssä keskitytään lean-menetelmillä saavutettavista eduista virtauksen ja virtaustehokkuuden kehittämiseen.

Kandidaatintyö toteutettiin teoreettisena kirjallisuustutkimuksena. Lean menetelmiä ja High-mix, Low-volume -ympäristöä, sekä niiden yhteensopivuutta tutkittiin aiemman kirjallisuuden pohjalta, josta pyrittiin tekemään tutkimuskohdetta, HMLV-ympäristöä, kehittäviä päätelmiä. Lukujen kaksi ja kolme lähdeaineisto koottiin Tampereen yliopiston kirjaston Andor-hakupalvelun kautta, käyttämällä hakusanoja HMLV, high-mix, low-volume, high variety, lean practices, lean methods, lean tools, waste ja flow. Hakusanoja yhdisteltiin Boolean operaattoreilla AND ja OR.

Lukuun 3 liittyvä strukturoitu kirjallisuuskatsaus toteutettiin myöskin Andor-hakupalvelussa. Suoritetut haut ulotettiin kaikkiin Andorin kautta saatavilla oleviin tietokantoihin. Hakukielenä oli englanti huomattavasti laajemman lähdeaineiston saatavuuden takia suomenkielisiin lähteisiin verrattuna. Haut rajattiin aineistoihin, jotka olivat kokonaisuudessaan saatavilla sähköisessä muodossa Andor-palvelun kautta. Lisäksi haut rajattiin vertaisarvioituihin julkaisuihin.

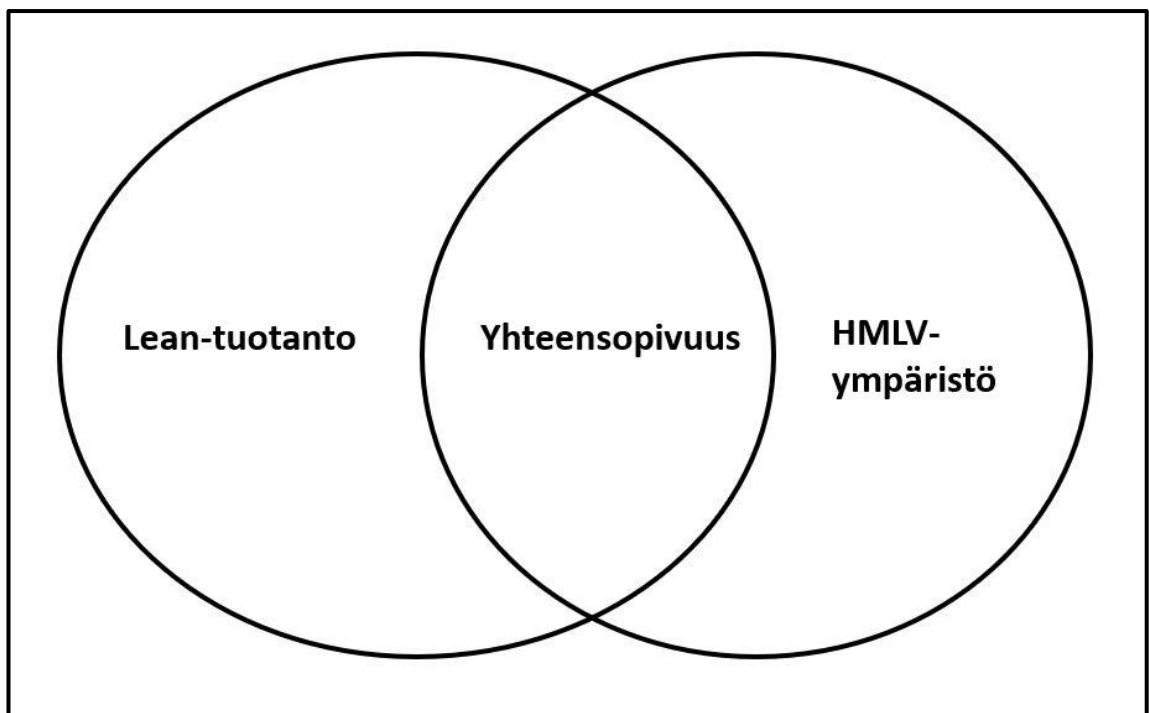
Katsauksen haut suoritettiin seuraavanlaisilla hakusanayhdistelmillä: Lähteen nimikkeen tuli sisältää käsite ”high mix low volume” tai sen lyhenne HMLV, ”Job shop”, ”high variety low volume” tai sen lyhenne HVLV. Lisäksi muualla tekstissä tuli esiintyä käsite lean. Vaihtoehtoisesti lähteen nimikkeen tuli sisältää käsite lean, ja muualla tekstissä tuli esiintyä jokin yllä listatuista käsitteistä. Hakuehtoyhdistelmät muodostettiin Boolean operaattoreilla AND ja OR.

Hakujen suorittamisen jälkeen tuloksista poistettiin päällekkäiset tulokset, ja lähdeaineistot kirjattiin taulukkoon. Seuraavaksi lähteistä luettiin tiivistelmä, jonka perusteella epärelevantit lähteet rajattiin ulos. Tämän jälkeen jäljelle jääneet lähteet luettiin kokonaisuudessaan, ja sisäänottokriteetit täyttävät lähteet otettiin katsaukseen mukaan.

1.3 Työn rakenne

Työ jakautuu kahteen osaan. Työn ensimmäinen osuus, johdatteleva teoriaosio käsittelee luvussa 2 lean-tuotantoa keskittyen sen ominaispiirteisiin sekä eri lean-menetelmiin. Luvuissa 3.1 ja 3.2 tarkastellaan HMLV-tuotannon ominaispiirteitä ja niiden lean-menetelmien soveltamiselle asettamia haasteita. Työn toinen osuus on strukturoitu kirjallisuuskatsaus luvuissa 3.3 ja 3.4, jonka pohjalta vastataan tutkimuskysymykseen.

Kuva 1 kuvastaa työn rakennetta sekä tutkimuskysymyksen asemaa HMLV-tuotantoympäristön ja lean-tuotannon leikkauksessa.



Kuva 1. Työn rakenne

Työn lopuksi luvun 4 yhteenvedossa kootaan kirjallisuuskatsauksen tuomat vastaukset tutkimuskysymyksiin ja arvioidaan tulosten luotettavuutta sekä yleistettävyyttä.

2. LEAN-TUOTANTO JA VIRTAUS

Käsitteen lean-tuotanto esitteli ensimmäisen kerran John Krafcik artikkelissaan ”Triumph Of The Lean Production System” vuonna 1988. Pioneereina käsitettä kehittivät, määrittivät ja popularisoivat James Womack, Daniel Jones ja Daniel Roos Kirjassaan ”The Machine That Changed the World”. (Jasti & Kodali 2015) Tässä luvussa käsitellään virtausta ja lean-tuotannon perusajatuksia tyypillisten lean-menetelmien sekä niillä tavoiteltavien etujen kautta.

2.1 Lean-tuotannon juuret ja perusajatuksot

Lean-tuotanto juontaan juurensa toisen maailmansodan jälkeiseen Japaniin, Toyota Motor Corporationiin. Sodan jälkeinen niukkuus teki suuren mittakaavan tuotantolaitosten uudelleenrakentamisen mahdottomaksi. Toyotan oli pakon edessä valmistettava autoja pienemmillä resursseilla kuin ennen. Tämä loi pohjan Toyotan sisäisen tuotantojärjestelmän (engl. Toyota Production systemin, TPS) synnylle. TPS:n keskeinen toimintamalli, Just-in-time manufacturing (JIT), tarkoittaa vain halutunlaisten tuotteiden valmistamista, oikeissa määrin, oikeaan aikaan vasta todelliseen tarpeeseen. Tämä mahdollisti toiminnan pienemmillä komponenttivarastoilla, ja pienemmällä työntekijämäärällä. (Monden 2012, s. 3–6; Bhamu & Sangwan 2014) Käsitteenä lean-tuotanto on syntynyt TPS:n pohjalta. Massachusettsin teknillisen yliopiston (MIT) International Motor Vehicle -tutkimusohjelma 1980–1990-lukujen taitteessa tutki japanilaisten- ja länsimaisten autovalmistajien suurta eroa tuotannon tehokkuudessa. Tutkimusohjelmaan osallistuneet Krafcik, Womack, Jones ja Roos kehittivät ja popularisoivat käsitteen lean-tuotanto tutkimuksen pohjalta. (Krafcik 1988; Bhamu & Sangwan 2014)

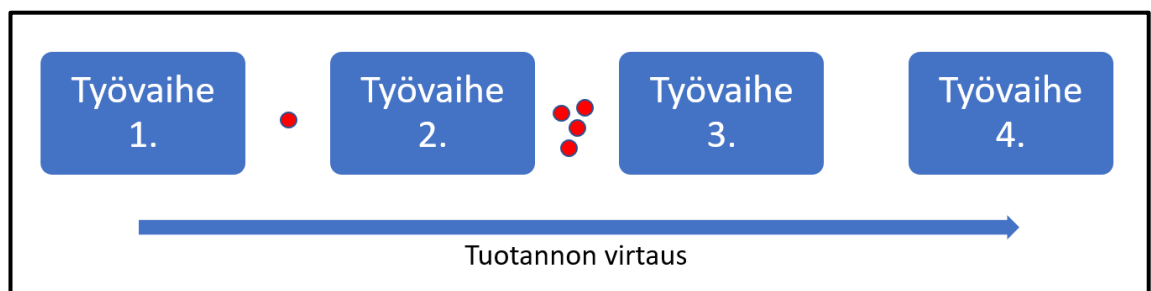
Lean voidaan nähdä johtamisfilosofiana tai laadun kehittämisen työkaluna. Lean-tuotannossa keskitytään aktiivisesti prosessin kehittämiseen ja tuotannon työntekijöiden siihen osallistamiseen. (Nicholas 2011, s.3) Alan ammattikirjallisuudessa ja lean-oppaissa lean-tuotantoa käsitellään usein arvon siirron tiheyden kasvattamiseen keskittyvästä näkökulmasta. Arvoa tuottamattomat toiminnot pyritään siis karsimaan pois, jotta suurempi osuus käytettävissä olevista resursseista voitaisiin ohjata arvoa lisäävään työhön. (Orr & Orr 2014) Arvoa tuottamattomista toiminnoista käytetään käsitettä hukka (engl. waste). Hukan, jota syntyy kaikissa tuotantoketjun vaiheissa, eliminoiminen kuvataan päämääränä, johon organisaation tulisi aktiivisesti pyrkiä. Hukkaa käsitellään itsessään haitallisena, vaihtelua ja virheitä lisäävänä asiana, joka

johtaa heikentyneeseen kilpailukykyyn markkinoilla. (Protzman et al. 2018) Lean-menetelmät kuvataan konkreettisena välineenä tai ratkaisuna edellä mainittuun päämäärään pääsemiseksi. (Tapping 2007)

2.2 Arvoketjut, arvon siirto ja virtaus

Lean-ajattelun tuotantoon soveltamisessa on oleellista tunnistaa aluksi tuotannon arvoketjut. Tarkoituksena on siis tunnistaa, miten materiaali ja informaatio kulkevat tilaus-toimitusketjussa. Tämä auttaa tunnistamaan missä kohtaa arvoa siirtyy, ja mitkä valmistusketjun osiot ovat hukkaa. Menetelmä tällaisen arvovirtaketjun kuvaamiselle on arvovirtakuvaus, englanniksi value stream mapping (VSM). Satolo et al. (2018) ovat tutkimuksessaan luokitelleet value stream mappingin korreloivan lean-menetelmistä vahvimmin world class manufacturing-filosofian peruspilareiden kanssa.

Virtauksen luominen tarkoittaa valmistusprosessin vaiheiden saumatonta yhdistämistä. Tämä edellyttää valmistettavien tuotteiden käsittelemistä ennemmin yksittäisinä kappaleina, suuremmissa erissä valmistamisen sijaan. Erissä valmistaessa tuote joutuu odottamaan välivarastossa, ennen seuraavaan työvaiheeseen siirtymistä. Virtaavassa tuotannossa tavoitellaan ideaalia tilannetta, jossa tuote siirtyy välittömästi ilman odottamista seuraavaan työvaiheeseen, edellisen työvaiheen valmistuttua. Erillisten työvaiheiden tulee kuitenkin valmistua yhtä nopeasti pullonkaulojen synnyn ehkäisemiseksi. Tämän vaaditun ajan määrittelyyn käytetään käsitettä tahtiaika, joka voidaan laskea jakamalla käytettävissä oleva työaika tuotteen kysynnän kappalemäärällä. (Liker 2021) Kuva 2 kuvastaa pullonkaulan syntyä työvaiheen 3 hitaamman valmistumisen takia. Punaiset pallot kuvaavat keskeneräisiä tuotteita.



Kuva 2. Havainnekuva pullonkaulan syntymisestä virtaavaan tuotantoon.

Virtaava tuotanto on altis tuotannon pysäyttävälle ongelmille välivarastojen vähäisyyden takia. Lean-ajattelussa tämä nähdään kuitenkin positiivisena asiana, sillä se pakottaa puuttumaan ja ratkaisemaan ongelmia välittömästi. Pohjimmaltaan virtauksen luomisella

tavoitellaan kuitenkin lyhyempää toimitusaikaa asiakastilaukselle. (Liker 2021) Hirano (2011, s. 115) määrittelee kokonaisläpimenoajan mittaamaan tuotannon virtausta.

Virtaustehokkuuden kasvattamisella tarkoitetaan virtauksen luomiseen osallistuvien arvoa lisäävien toimintojen tiheyden maksimoimista. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tuotteen näkökulmasta tuotteeseen itseensä siirtyy mahdollisimman tiheästi arvoa. Arvon siirtymistä on esimerkiksi keskeneräisen tuotteen muokkaaminen kohti valmista lopputuotetta. Virtausteho on siis suurempi, mikäli arvoa lisäävän ajan suhde tuotteen kokonaisläpimenoaikaan kasvaa. Kyseinen suhdeluku kasvaa, mikäli arvoa tuottamattomia toimintoja (hukka) karsitaan pois, jolloin kokonaisläpimenoaika pienenee. Virtaustehokkuuden kasvattamisella siis pyritään kohti ideaalisen virtauksen tilannetta. Resurssitehokkuusajattelussa päinvastoin keskitytään siihen, että resurssi, esimerkiksi tuotannon työntekijä, tekee mahdollisimman paljon työtä tietyssä ajassa. Työnteon tiheyden tulee siis olla mahdollisimman korkea resurssin, eli tässä tapauksessa työntekijän, näkökulmasta. Tämä edellyttää tuotannon välivarastoa, jotta työntekijältä ei missään tapauksessa lopu tekeminen kesken. Välivarastot kuitenkin tarkoittavat tuotteen läpimenoajan kasvua ja heikentävät virtaustehokkuutta. Vaikka prosessin vaiheen nopeuttaminen vaikuttaisi luovan tehokkuutta vaiheen jaksoajan vähenemisen perusteella, on vaikutus kuitenkin usein päinvastainen. Ylituotanto kasvattaa varastoa heikentäen virtausta ja pidentäen toimitusaikaa sekä ennen kaikkea sitoo yrityksen pääomaa tyhjänpanttina seisovan varaston arvonnousuun. Virtauksen luomiselle ei ole siis oleellista työvaiheiden nopeuttaminen, vaan niiden yhteen linkittäminen ja jaksoaikojen tasoittaminen. (Modig & Åhlström 2013; Liker 2021)

2.3 Lean-menetelmät tuotantoympäristössä yleisesti

Belekoukias et al. (2014) käsittelevät tutkimuksessaan viiden oleellisimpina pidetyn lean-menetelmän vaikutuksia operatiiviseen suorituskyykyyn: Just-in-Time manufacturing (JIT), tuottava kunnossapito (engl. Total Productive Maintenance, TPM), ihmisavusteinen automaatio (Jidoka), arvovirtakuvaus (VSM) sekä jatkuva kehitys, joka tunnetaan englanniksi terminä Continuous Improvement (CI). Japaninkielinen termi Kaizen on merkitykseltään vastaava, jatkuvaa kehitystä kuvaava käsite. Yllä kuvatussa tutkimuksessa ei oteta kantaa tuotantoympäristön tyyppiin, jossa menetelmät ovat tärkeitä tai soveltuvia lean-ajattelun toteuttamisen kannalta. Edellä mainitut menetelmät antavat kuitenkin hyvän kokonaiskuvan siitä, miten lean-ajattelua on perinteisesti käytännössä toteutettu tuotantoympäristössä, ja mitä lean-ajattelun soveltamisella tavoitellaan. Seuraavissa kappaleissa kyseiset menetelmät esitetään lyhyesti, lean-tuotannolle tyypillisten piirteiden ja tavoitteiden kuvaamiseksi.

JIT tarkoittaa valmistusstrategiaa, jossa tuotanto aloitetaan vasta todellisesta asiakastilauksesta. Tuotteita ei siis valmisteta etukäteen varastoon odottamaan myyntiä tai toimitusta eteenpäin esimerkiksi ennusteiden pohjalta. JIT käsittää myös valmistettavaan tuotteeseen tarvittavien komponenttien varastoinnin. Sen sijaan että tuotteeseen tarvittavia komponentteja säilytettäisiin varastossa suuria määriä, tilataan komponentteja vain todellisiin tarpeisiin tarvittava määrä. Tämä vapauttaa yrityksen pääomaa oleellisempaan, arvoa tuottavaan toimintaan. (Krafcik, 1988)

Tuottava kunnossapito, TPM, on lean-menetelmä, jossa ennaltaehkäisevillä ja kehittäville toimilla pyritään maksimoimaan tuotantovälineistön tehokkuus minimoimalla häiriöajat. Tämä vähentää hukan syntyä vapauttaen aikaa arvoa tuottaviin toimintoihin. Oleellisena pidetään sitä, että tuotantovälineistöä ei vain käytetä niiden hajoamispiisteeseen asti: tämä johtaa toimintaan, jossa tuotteita valmistetaan varastoon mahdollisen välinerikon pelossa (Agustiady & Cudney 2015, s. 1–12). Tuotannon työntekijöiden ei tulisi myöskään passiivisesti luottaa yrityksen huolto-organisaation toimintaan, vaan proaktiivisesti ja itseohjautuvasti toimia yhteistyössä huollon henkilöstön kanssa. Investoinnit tuottavaan kunnossapitoon tulisi nähdä huoltokulujen sijaan sijoituksena parempaan tehokkuuteen. (Brah & Chong 2004)

Ihmisavusteinen automaatio, Jidoka, on lean-menetelmä, joka keskittyy tunnistamaan ja ennaltaehkäisemään tuotannon laatuvirheiden syntyä. Menetelmä voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin, joissa molemmissa ihminen työskentelee yhteistyössä automatisoidun prosessin kanssa. Ensimmäinen tyyppi edellyttää työntekijältä uskallusta pysäyttää prosessi poikkeaman ilmetessä. Prosessin pysäytys pakottaa tuotannon keskittymään ja ratkaisemaan ilmenneen poikkeaman tai virheen välittömästi ennaltaehkäisten ongelman sivuuttamista ja myöhempää uudelleenilmenemistä. Toinen tyyppi nojaa tuotantolaitteiston kykyyn katkaista prosessi automaattisesti poikkeaman ilmetessä. Tämä vapauttaa työntekijöitä yksittäisen laitteen valvonnasta suorittamaan useampia työtehtäviä samanaikaisesti. (Wang 2011, S. 205–206)

Arvovirtakuvaus, VSM, voidaan mieltää prosessikaaviona, jonka avulla pyritään määrittämään ja soveltamaan lean-ajattelua organisaatioon. VSM:n avulla etsitään kehityskohteita ja mahdollisuuksia hukan vähentämiseen visualisoimalla materiaalin virtausta raaka-aineista asiakastoimitukseen. Tämä auttaa luomaan selkeämmän kuvan virtauksesta, mikä edelleen auttaa hukkaa luovien vaiheiden ja prosessien tunnistamisessa. VSM:ää sovellettaessa määritetään perinteisesti kuvaus nykytilasta, kuvaus tavoitetilasta sekä toimintasuunnitelma tavoitetilaan pääsystä ja sen ylläpitämisestä. (Forno et al. 2014)

Jatkuvasta kehityksestä käytetään termejä Continuous Improvement (CI) tai Kaizen. Osa aiheeseen perehtyneistä tutkijoista erottaa kyseiset termit erillisiksi käsitteiksi. Suuressa osassa aiheeseen keskittyvistä tutkimuksista termit myös jätetään täsmällisesti määrittelemättä. (Carnerud et al. 2018) Tässä opinnäytetyössä voidaan käsitteet Kaizen ja CI kuitenkin yhdistää ja niiden keskeisiä piirteitä käsitellä toisiinsa vahvasti liittyvinä jatkuvasta kehityksestä puhuttaessa. Jatkuva kehitys voidaan mieltää systemaattisesti toteutettavana organisaation kulttuurina, joka keskittyy hukkan eliminointiin kaikissa organisaation prosesseissa. Toteutettavat kehitysaskleet voivat olla pieniä, ja niitä tulee jatkuvasti pyrkiä toteuttamaan kaikilla organisaation tasoilla yrityksen johdosta tuotannon työntekijöihin. Oleellisena nähdäänkin koko henkilöstön sitouttaminen ja osallistaminen aktiiviseen ongelmien ja kehityskohtien tunnistamiseen. (Carnerud et al. 2018)

3. PIENERÄTUOTANTOON SOVELLETUT LEAN-MENETELMÄT

Tässä luvussa käsitellään HMLV-ympäristöön soveltuvia lean-menetelmiä strukturoidun kirjallisuuskatsauksen pohjalta. Aliluvuissa 3.1 ja 3.2 käsitellään HMLV-tuotannon ominaispiirteitä, ja niiden lean-ajattelun soveltamiselle luomaa ristiriitaisuutta. Aliluvuissa 3.3 ja 3.4 esitetään kirjallisuuskatsauksen kulku, sekä katsauksen pohjalta esiin nousseet HMLV-tuotantoympäristöön soveltuneet lean-menetelmät. Lisäksi luodaan kokonaiskuva lean-ajattelun kyseiseen ympäristöön soveltamisella saavutettavista hyödyistä, sekä menetelmien rajoitteista.

3.1 Pienerätuotanto

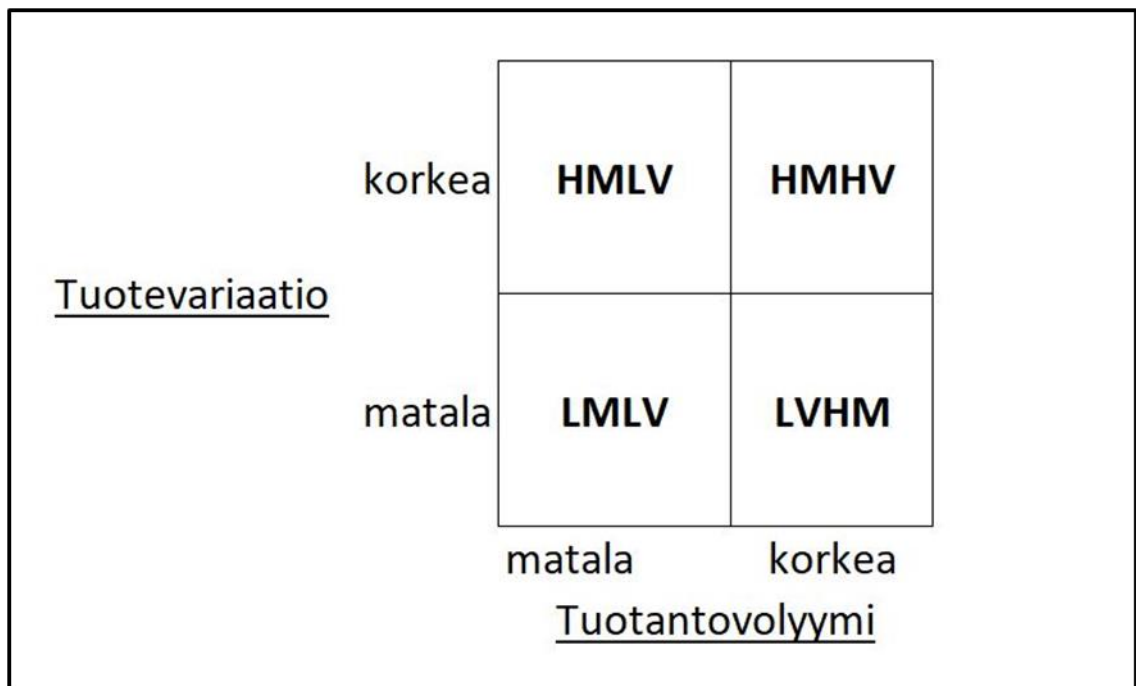
HMLV-tuotanto voidaan kuvata sellaisena tuotantoympäristönä, jossa valmistetaan tuotteita joko puhtaasti asiakkaan vaatimusten pohjalta tai osittain tuotevariantteihin nojaten (Pandian et al. 2010, Amaresh & Ooramvely 2020 mukaan). Erilaisia valmistettavia tuotteita on hyvin suuri määrä, joskin usein valmistettavat tuotteet vaativat kokoonpanoonsa samoja komponentteja, ja keskenään samankaltaisia tuotteita valmistetaan saman tuoteperheen alla (Svancara et al. 2012). Materiaalien lisäksi valmistettavat, toisistaan eriävät tuotteet kilpailevat keskenään myös muista rajallisista resursseista, kuten työvoimasta ja tuotantolaitteistosta. (Frazee & Standridge 2016)

HMLV-tuotannolle tyypillistä on korkea varasto-osien ja -komponenttien sekä keskeneräisten töiden määrä. Toisistaan eriäviä keskeneräisiä tuotteita myös liikkuu usein yhtäaikaaisesti tuotannossa, toisistaan poikkeavia reittejä. Lisäksi valmistettavien tuotteiden läpimenoajat ovat usein suhteellisen pitkiä. Läpimenoajat myös vaihtelevat eri tuotteilla, ja toisistaan eroavien tuotteiden valmistukseen vaaditut prosessit saattavat vaihdella suurestikin. (Birkie & Trucco 2016; Barbosa & Azevedo 2019).

Lane (2008) määrittelee HMLV-valmistajan yritykseksi, jolla on tuotannossaan käytössä sadoista tuhansiin komponentteja, joista suurimmalle osalle ei pystytä ennustamaan käyttötarpeita. Työnsuunnittelu on haastavaa ja sitä pystytään usein tekemään vain lyhyelle aikajaksolle eteenpäin kysynnän suuren vaihtelun takia. Haikonen (2005, s. 13–14) esittää high-mix, low-volume -tuotannon prosessikuvausta käsittelevässä diplomityössään laajan komponenttinimikemäärän yhdistettynä valmiiden lopputuotteiden pieniin eräkokoihin karakterisoivan HMLV-tuotantoa. Kyseisen diplomityön toimeksiantajayrityksellä on ollut Haikosen mukaan työn tekohetkellä viisi

tuhatta aktiivista komponenttinimikettä. Yrityksellä on ollut tuotevalikoimassaan noin 250 erilaista valmistuotetta, keskimääräisten asiakastilauuseräkokojen vaihdellessa viidestä viiteensataan kappaleeseen.

Nimensä mukaisesti HMLV-tuotannolle ominaista on siis korkea vaihtelu valmistettävien tuotteiden välillä, ja keskenään identtisiä tuotteita valmistetaan kerrallaan usein hyvin pieni erä. Myös frekvenssi tietynlaisten tuotteiden kysynnälle on usein matala. Tuotteet valmistetaan suuren tuotevalikoiman takia asiakkaille tyypillisesti Make-To-Order -tuotantostrategian (MTO) mukaisesti, vasta todellisesta tilauksesta. (Jina et al. 1997) Tyypillisimmin HMLV-tuotantotyyppiin kuuluvatkin MTO- tai ETO-tuotantostrategian mukaan toimivat valmistavat teollisuusyritykset. ETO tarkoittaa tilauksesta suunniteltavaa (engl. Engineer-To-Order) tuotantoa, joka on muuten samankaltainen MTO-tuotantostrategian kanssa, mutta asiakastilaukset vaativat valmistuksen lisäksi usein myös suunnittelutyötä. (Frazee & Standridge 2016) HMLV-tuotannon vastakohta on low-mix, high-volume -tuotanto (LMHV), jossa samanlaisia tuotteita valmistetaan kerrallaan suuria eriä. LMHV on perintäistä sarjatuotantoa kuvaava piirre. Kuva 3 kuvastaa eri tuotantotyypeissä ilmenevää vaihtelun ja volyymin suhdetta.



Kuva 3. *Tuotevariaation ja tuotantovolyymien suhde eri tuotantoympäristöissä, muokattu lähteestä (Frazee & Standridge 2016).*

Tuotteiden toimitukselle sovitaan usein lukkoon lyöty toimitusaika, joka luo kriittisen tavarajan toimituserän valmistumiselle. Valmiiden tuotteiden kokoonpanoihin vaadittavia alikokoonpanoja saatetaan valmistaa varastoon odottamaan asiakastilausta, johon soveltuvat valmiina olevat alikokoonpanot voidaan myöhemmin allokoida. Näin saatetaan toimia juuri MTO-strategian mukaisessa tuotannossa pyrkimyksenä lyhentää tuotannon suhteellisen pitkiä läpimenoaikoja. (Morikawa et al. 2014)

Suuri vaihtelu aiheuttaa haasteita, mutta on usein kyseisten valmistavien tuotantoyritysten toiminnan kulmakivi. Mahdollisuus valmistaa eriäviä tuotteita samassa tuotannossa, on vahva kilpailuvaltti. (Bertolini et al. 2017) Joustavuus ja kustomoitavuus voidaan nähdä nykypäivän kilpailuilla markkinoilla jopa elinehtona. Asiakas vaatii ja edellyttää saavansa juuri sitä mitä tarvitsee mahdollisimman nopeasti. Kyseisen tarpeen täyttäminen on asia, joka erottaa samasta markkinasegmentistä kilpailevat HMLV-valmistajat toisistaan, ja voittaa kilpailuedun. (Frazee & Standridge 2016)

3.2 Tuotantoympäristön ristiriitaisuus lean-periaatteiden kanssa

Lean-menetelmien soveltamista tuotantoon on perinteisesti ja pääosin tutkittu massatuotannon yhteydessä. Massatuotannossa tuotannon toistuvuus ja ennakoitavuus ovat tekijöitä, jotka yksinkertaistavat lean-menetelmien soveltamista. (Tomašević et al. 2021)

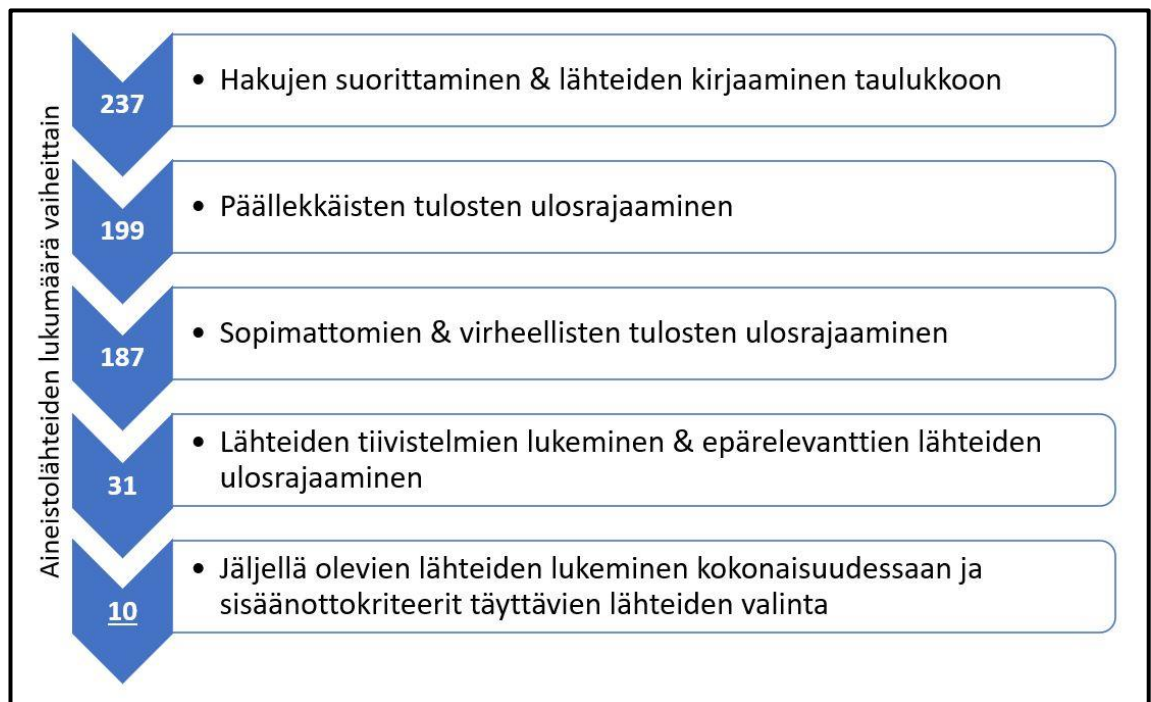
Tomašević et al. (2021) esittelevät systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessaan lean-ajattelua ja HMLV-tuotantoa tutkineiden kirjailijoiden näkemyksiä edellä mainittujen yhteensovittamisesta. Osa tutkijoista väittää lean-ajattelun olevan täysin soveltumaton HMLV-tuotantoympäristöön. Heidän mukaansa lean-menetelmien soveltamisella kyseisessä ympäristössä ei saavutettaisi kilpailuetua, mikä tekee menetelmien soveltamisesta hyödytöntä. HMLV-tuotannon ennalta-arvaamattomuuden ja epävakauden voidaan nähdä olevan ylitsepääsemätön este lean-menetelmillä saavutettavan hyödyn tavoittelulle. Osalla tutkijoista näkemys on päinvastainen. He näkevät lean-ajattelun soveltamisella olevan mahdollista saavuttaa huomattavaa kehitystä HMLV-tuotannossa.

Lean ajattelua ja etenkin käsitteenä matalammalla abstraktitasolla olevien lean-menetelmien käytännön soveltamista tutkittaessa on perehdyttävä tarkasti toimintaympäristöön. Etenkin vaihtelu on asia, joka vaikeuttaa lean-menetelmien

soveltamista. Lean-ajattelulle ominaista onkin pyrkiä minimoimaan vaihtelua. (Modig & Åhlström 2013) Vaihtelu taas on yksi HMLV-tuotantoa voimakkaimmin määrittävistä piirteistä. Kuten aiemmissa kappaleissa esitettiin, HMLV-tuotannolle tyypillistä ovat myös vaikea ennustettavuus, sekä toistuvuuden puute.

3.3 Kirjallisuuskatsauksen kulku

Kirjallisuuskatsauksen hakuehdot on esitetty luvussa 1.2. Kuvassa 4 on kuvattu katsauksen kulku vaiheittain:



Kuva 4. Kirjallisuuskatsauksen kulku vaiheittain

Hakujen suorittamisen jälkeen tuloksista poistettiin päällekkäisyydet, jonka jälkeen sopimattomat ja virheelliset lähteet rajattiin ulos. Edellä mainituilla tarkoitetaan seuraavanlaisia tapauksia: Lähde ei ollut vertaisarvioitu, lähde ei ollut artikkeli tai konferenssijulkaisu, lähde ei ollut kirjoitettu englannin kielellä tai lähde ei hakuehdoista huolimatta ollut saatavana kokonaisuudessaan Andor-hakupalvelun kautta. Seuraavassa vaiheessa jäljellä olevista aineistoista luettiin tiivistelmät, ja tämän tutkimuksen kannalta epärelevantit lähteet rajattiin ulkopuolelle. Alla on esitetty ulosrajaamisedot.

- Lähde ei tiivistelmän perusteella keskity high mix / high variety / job shop ympäristöön.
- Lähde ei tiivistelmän perusteella keskity tuotantoympäristöön.
- Lähde ei tiivistelmän perusteella käsittele lean-menetelmien tai työkalujen soveltamista.

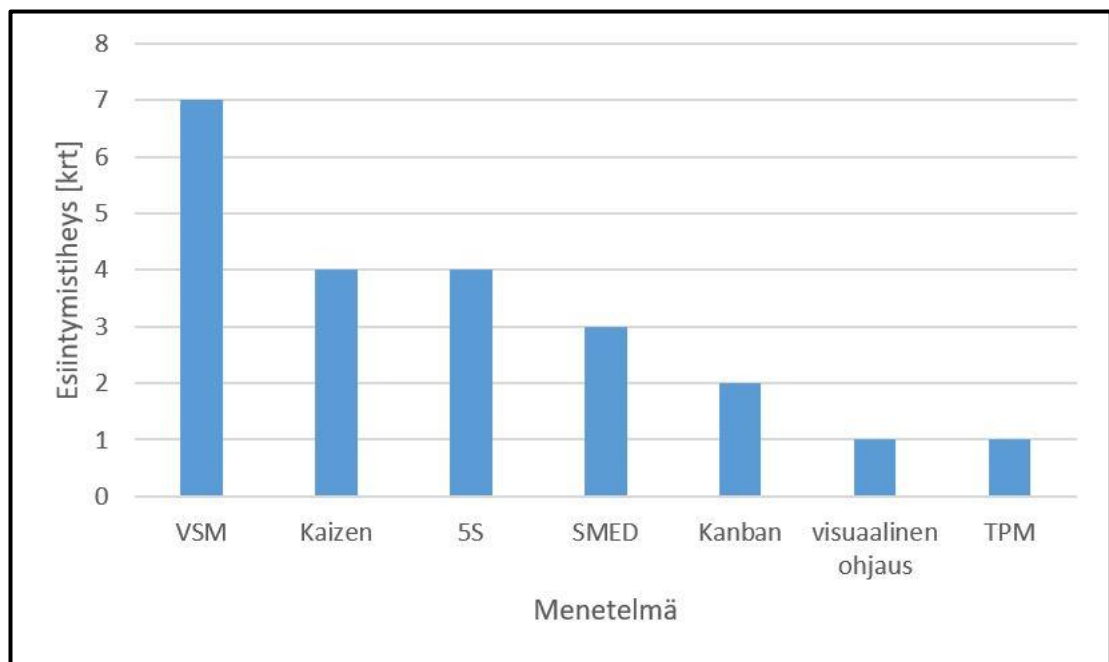
Seuraavassa vaiheessa jäljelle jääneet lähteet luettiin kokonaisuudessaan, ja tämän työn tutkimuskysymyksen kannalta relevantit lähteet otettiin mukaan lopulliseen aineistoon. Alla on listattu tutkimuksen sisäänottoehdot.

- Lähteen tulee käsitellä yleisesti tunnettuja lean-menetelmiä, ei esimerkiksi lähteessä kehitettyjä uusia menetelmiä.
- Lähteen pääpainotuksen tulee olla yleisesti tunnetuissa lean-menetelmissä, ei tuotannonohjausjärjetelmissä (PPC) tai niiden kehittämisessä.
- Lähteessä käsiteltävän high mix / high variety / job shop ympäristön tulee olla määritelty siten, että kirjoittajan voidaan pääpiirteisesti olettaa kuvaavaan samankaltaista ympäristöä, kuin mikä on tämän työn luvussa 3.1 esitelty.

Lopulta tutkimuksen aineistoiksi valikoituivat seuraavat lähteet: Keyes et al. 2009, Gurumurthy & Kodali 2011, Pearce & Pons 2013, Matt 2014, Raghavan et al. 2014, Dinis-Carvalho et al. 2014, Haider & Mirza 2015, Seth et al. 2017, Rossini et al. 2019 sekä Wang et al. 2019. Kaikki aineistoon valikoituneet tutkimukset olivat tapaustutkimuksia, tai pitivät sisällään tapaustutkimusosuuden.

3.4 Tutkimuksen tulokset: sovelletut menetelmät

Tämän tutkielman tutkimuskysymyksen kannalta oleellisia olivat virtauksen ja virtaustehokkuuden kannalta HMLV-ympäristöä kehittävät lean menetelmät. Tutkimusaineistoissa ei välttämättä mainittu virtaustehokkuutta (engl. Flow efficiency), mutta mikäli lähteessä oli havainnointi muutoksia pienentyneessä tuotannon läpimenoajassa, kasvaneessa arvoa lisäävän ja arvoa lisäämättömän ajan (hukka) suhteessa, tai laskeneessa keskeneräisen työn (engl. Work in process, WIP) määrässä, voidaan virtauksen ja virtaustehon tulkita parantuneen. Alla olevassa kuvaajassa on esitetty tutkimusaineistoissa esiin nostettujen virtausta kehittäneiden lean-menetelmien esiintymistiheys. Suurimmassa osassa tutkimuksia käsiteltiin useampia lean-menetelmiä.



Kuva 5. Menetelmien esiintymistiheys lähdeaineistossa

Tutkimusaineistossa yleisimmin esiintynyt lean-menetelmä oli arvovirtakuvaus, VSM. Havainto on linjassa aiemman tutkimuksen kanssa: Myös ainoassa lean-menetelmiä HMLV-ympäristössä käsittelevässä systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa (Tomašević et al. 2021) yleisimpänä havaittu lean-menetelmä oli VSM. Kolmessa lähteessä VSM oli ainoa esiin nostettu lean menetelmä. Seth et al. (2017) tutkivat

tapaustutkimuksessaan VSM:n soveltamista ETO-strategialla HMLV-ympäristössä toimivaan teollisia muuntajia valmistavaan yritykseen. Yrityksen kerrallaan valmistavat tilauserät olivat äärimmäisen pieniä, ja jopa yksittäiskappaletuotanto oli tyypillistä. Tutkimuksessa arvovirtakuvauksen muodostamista lähestyttiin valitsemalla keskimääräistä tilausta edustava yksittäistilaus. VSM mahdollisti kehityskohtien havaitsemisen ja mahdollisuuden hukan eliminoimiseen. Kyseiset havainnot olivat yleistettävissä myös muihin tuotevariantteihin, ja yrityksen tuotannot läpimenoajat laskivat 17 prosenttia. Kohdeyrityksen tuotannossa myös arvoa lisäävä aika laski, mutta arvoa tuottamaton aika laski suhteessa enemmän. Myös Matt (2014) käsitteli tapaustutkimuksessaan VSM:n soveltamista yksittäiskappaletuotannossa. Kohdeyritys valmisti ETO-strategialla raskaita teräsrakenteita epäsäännölliseen kysyntään. Kohdeyrityksen tavoite oli kehittää tuottavuutta ja lyhentää toimitusaikoja. Arvovirtakuvauksen toteuttamiselle yksittäisiä tuoteperheitä ei ollut tunnistettavissa, joten yrityksessä työskentelevien avainhenkilöiden avulla kartoitettiin tuotannon kaikki mahdolliset arvovirrat. Tuloksena saatiin n-arvovirran superpositio, joka kasvatti tietoisuutta hukasta, ja mahdollisista kehityskohteista. Dinis-Carvalho et al. (2014) kehittivät tutkimuksessaan MTO-strategialla puisia koriste-esineitä valmistavaa kohdeyritystä. Kehityskohteeksi valittiin puiset taulun- ja peilinkehykset sisältävä tuoteperhe, joka sisälsi yli 2000 erilaista mallia. Lisäksi tuotteiden dimensiot olivat asiakkaan kustomoitavissa. Tuoteperheelle määritettiin onnistuneesti arvovirtakuvaus, jonka jälkeen tuotannon layout uudelleenkonfiguroitiin soluvalmistus-tyyppiseksi. Tuoteperheen sisällä havaittiin yli 90 prosentin lasku tuotteiden keskimääräisissä läpimenoajoissa.

Tutkimusaineistosta kaksi lähdettä tutki kohdeyritysten kehittämistä simuloinnin avulla. Gurumurthy & Kodali (2011) keskittyivät tutkimuksessaan intialaisen ikkunoita ja ovia pienerätuotantona valmistavaan yritykseen. Yrityksen valmistamat tuotteet olivat asiakkaan pitkälle kustomoitavissa, ja yksittäistä tuotetyyppiä valmistettiin tyypillisesti kerrallaan hyvin pieniä eriä. Tuotannossa toteutettiin onnistuneesti arvovirtakuvaus, jolla virtaus ja hukan aiheuttajat saatiin visualisoitua. Tämän perusteella valittiin lean-menetelmiä ja muita kehitystekniikoita, muun muassa 5S ja kaizen, joiden käyttöönoton vaikutuksia simuloitiin. Simulaation perusteella arvoa lisäävän ajan suhde kokonaisläpimenoaikaan kasvoi huomattavasti. Haider & Mirza (2015) perustivat tutkimuksensa Maroofin & Dehghanin (2012) luomaan lean-ajattelun pieneräympäristöön implementoinnin viitekehukseen. Tutkimuksen kohdeyritys valmisti ja korjasi panssarivaunuja. Kehitystyössä yrityksen toiminnot luokiteltiin eri tuoteperheisiin, joille määritettiin erilliset arvovirtakuvaukset. Tämän jälkeen TPM, kaizen

ja SMED-menetelmien sekä layoutmuutosten soveltamisen vaikutuksia simuloitiin. Simulaation perusteella havaittiin selkeää alenema keskeneräisessä työssä, sekä tuotannon läpimenoajoissa.

Tutkimusaineiston kaksi lähdettä toteutti kehitystyötä kohdeyrityksissä aloittaen arvovirtakuvauksen määrittämisestä, ja edeten muiden lean-menetelmien valintaan ja niiden konkreettiseen implementointiin kohdeyritysten tuotannossa. Raghavan et al. (2014) tutkivat siirtymää lean-tuotantoon HMLV-ympäristössä toimivassa elektroniikkateollisuuden yrityksessä. Yrityksen valmistamat tuotteet olivat hyvin vaihtelevia, niiden valmistus vaati toisistaan eriäviä prosesseja ja niiden yhdistelmä, sekä tuotteiden kysyntä oli hyvin stokastista. Tutkimuksessa valittiin yksi tuoteperhe, jolle määritettiin arvovirtakuvaus. Arvovirtakuvauksen perusteella tuoteperheen valmistuksessa siirryttiin kanban-perusteiseen imuohjaukseen, jonka seurauksena tuoteperheelle mitattiin 40 prosentin lasku keskimääräisessä läpimenoajassa. Keyes et al. (2019) mittasivat tutkimuksessaan lean-menetelmien implementoinnin vaikutuksia HMLV-ympäristössä toimivassa yhdysvaltalaisessa konepajassa. Yrityksen valmistamat tuotteet olivat hyvin kompleksisia, mutta tuotekirjosta oli mahdollista tunnistaa kaksi merkittävää tuoteperhettä. Tuoteperheille määritettiin omat arvovirtakuvauksensa, joiden perusteella löydettiin tuotannon vaihe, joissa yleisemmin tarvituille komponenteille pystyttiin soveltamaan kanban-järjestelmää. Lisäksi käyttöön otettiin 5S-menetelmä. Menetelmien implementoinnin seurauksena tuotannon virtaus parani, mitä mitattiin kasvaneena arvoa lisäävänä aikana.

Tutkimusaineistosta kolme lähdettä ei keskittynyt arvovirtakuvauksen määrittämiseen, tai lean-menetelmien valintaan arvovirtakuvauksen pohjalta. Wang et al. (2019) kehittävät tutkimuksessaan algoritmin nopealle työkalunvaihdolle (SMED). Kohdeyritys valmistaa ruiskuvalettuja tuotteita, ja laaja tuoteskala luo tarpeen tiheälle muotinvaihdolle. Lisäksi tuotantoon sovellettiin 5S-menetelmää materiaalien ja muottien etsimisen helpottamiseksi. Onnistuneen implementoinnin ansiosta tuotantolaitteiston häiriöaikoja saatiin vähennettyä, jolloin arvoa lisäävän ajan osuus kasvoi. Rossini et al. (2019) loivat tutkimuksessaan viitekehysten kaizenin projektiluontaiselle soveltamiselle. Tutkimuksen tapaustutkimusosuudessa viitekehystä sovellettiin HMLV-ympäristössä toimivaan MTO-strategian mukaisesti toimivaan pumppuja ja kompressoreja valmistavaan pienyritykseen. Yrityksen valmistama tuotevalikoima oli erittäin laaja, ja kysyntä hyvin matala, noin kaksisataa tuotetta vuodessa. Kehitystyön tuloksena tuotteiden keskimääräisiä läpimenoaikoja saatiin vähennettyä 50 prosenttia. Pearce & Pons (2013) kehittivät tutkimuksessaan riskienhallintaan perustuvan mallin tietyille kohteelle spesifisti soveltuvien lean-menetelmien valinnalle. Kohdeyritys johon mallia

sovellettiin, halusi luoda tuotannossaan virtausta ja lyhentää tuotteiden läpimenoaikoja. Kohdeyritys valmisti kompleksisia komponentteja MTO-strategian mukaisesti, HMLV ympäristössä. Tutkimuksessa kehitetyn mallin perusteella yrityksen toimintaympäristöön ja tavoitteisiin nähden suurimman positiivisen vaikutuksen aikaansaaviksi lean-menetelmiksi määritettiin kaizen, visuaalinen ohjaus, 5S ja SMED.

4. YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin virtaustehokkuuden kehittämistä lean-menetelmillä pienerätuotannossa. Luvussa 2 määriteltiin HMLV-tuotannon ominaispiirteitä, luvussa 3 käsiteltiin lean-tuotantoa ja -menetelmiä sekä virtausta, ja luvussa 4 HMLV-ympäristöön sovellettuja virtausta kehittäneitä lean-menetelmiä strukturoidun kirjallisuuskatsauksen pohjalta.

Luvussa 2 käsiteltiin lean-tuotantoa yleisesti sekä määriteltiin virtauksen ja virtaustehokkuuden käsitteitä ja tutkittiin, miten niitä saadaan kehitettyä. Lean on käsitteenä syntynyt 1980–1990-lukujen taitteessa MIT autoteollisuuden tuotannon tehokkuutta tutkineen tutkimusohjelman pohjalta. Monet lean-ajatteluun jalkautuneet käsitteet ja menetelmät ovat lähtöisin Toyotan sisäisestä tuotantofilosofiasta, TPS:stä. Lean-tuotannolle keskeistä on virtaus ja virtauksen luominen, johon pyritään valmistusprosessin vaiheiden saumattomalla yhdistämisellä. Parantunut virtaus johtaa tuotannon kokonaisläpimenoajan pienenemiseen. Virtaustehokkuutta taas pyritään kasvattamaan maksimoimalla arvon siirron tiheyttä, minimoimalla tuotannon hukkaa. Virtausteho siis on sitä suurempi, mitä suurempi osuus kokonaisläpimenoajasta käytetään arvoa lisääviin toimintoihin.

Luvussa 3 määriteltiin HMLV-tuotantoympäristölle seuraavanlaisia ominaispiirteitä: Erilaisia valmistettavia tuotteita on hyvin suuri määrä, ja tyypillisesti valmistettavat eräkoot ovat pieniä. Eri tuotteiden kysyntää on vaikea ennustaa ja kysyntä saattaa vaihdella suurestikin. Ympäristölle tyypillistä on korkea varasto-osien ja komponenttien sekä keskeneräisten töiden määrä. Eri komponenttinimikkeitä saattaa olla tuhansia, ja komponenttien käyttötarpeita on hyvin vaikeaa ennustaa. Valmistettavien tuotteiden läpimenoajat ovat usein suhteellisen pitkiä ja lisäksi ne vaihtelevat eri valmistettavien tuotteiden välillä, samoin kuin eri tuotteiden valmistukseen vaaditut prosessit. Edellä kuvattu toistuvuuden puute ja ennakoitavuuden vaikeus sekä vaihtelu ovat tekijöitä, jotka vaikeuttavat lean-ajattelun soveltamista.

Luvun 3 tutkimusaineiston tapaustutkimuksissa saavutettiin kehitystä virtauksessa ja virtaustehokkuudessa lean-menetelmien avulla, niiden soveltamisen haastavaksi tekevästä HMLV-ympäristöstä huolimatta. Suurimmassa osassa tutkimuksia kehitystyö kohdistui yhteen tuoteperheeseen, tai yhteen tuotantolinjaan. Tuoteperheiden tunnistaminen oli oleellista, mikäli kohdeyritys ei alun perin niitä tiedostanut. Usein kehitystyö aloitettiin arvovirtakuvauksen määrittämisellä, ja kokonaisuudessaan

arvovirtakuvaus oli aineistossa useimmiten esiin noussut menetelmä. Kolme seuraavaksi yleisintä menetelmää olivat kaizen, 5S ja nopea työkalunvaihto SMED. Huolimatta siitä kartoitettiin lähdeaineistossa soveltuvia menetelmiä arvovirtakuvauksen (VSM) avulla vai ilman sitä, korostivat lähteet tapauskohtaista harkintaa. Lähteissä korostui myös kohdeyrityksen ja -ympäristön tuntemisen tärkeys. Näin ollen tässä tutkimuksessa havaittuja lean-menetelmiä ei voida suoraan kasata yhdeksi työkalupakiksi, jota käyttämällä voisi varmasti kehittää virtausta ja virtaustehoa missä tahansa HMLV-ympäristössä. Yksittäisenä ainoastaan arvovirtakuvaus voitaisiin nostaa menetelmäksi, joka tämän tutkimuksen perusteella vaikuttaisi olevan sovellettavissa HMLV-ympäristöön. Arvovirtakuvauksenkin kohdalla oleellista on kuitenkin tapauskohtainen soveltaminen, ja mahdollisesti jopa menetelmän modifioiminen tilanteeseen soveltuvaksi. Havainto arvovirtakuvauksen tärkeydestä ja soveltuvuudesta on yhtenäinen aiemman aihepiirin tutkimuksen kanssa.

Kirjallisuuskatsauksen lähdeaineiston tutkimusten tuotantoympäristö vaihteli tilauksesta valmistettavasta (MTO) ja konepajatyypisistä tuoteparhevalmistuksesta tilauksesta suunniteltavaan (ETO) yksittäiskappaletuotantoon. Yhteistä tutkimusympäristöillä oli kuitenkin niitä määrittävät HMLV-tuotannon ominaispiirteet. Katsauksen perusteella HMLV-ympäristöön luokiteltavia tuotantostrategioita ja tuotantoympäristön tyyppejä voivat olla muun muassa MTO ja ETO tyyppinen konepajateollisuus. Myös aiemmissa tutkimuksissa on todettu HMLV-ympäristössä toimittavan tyyppisesti edellä mainittujen tuotantostrategioiden mukaisesti. On kuitenkin tärkeä ymmärtää, että esimerkiksi kaikki MTO-tuotantoympäristöt eivät suinkaan kuulu HMLV-käsitteen alle, vaan voivat päinvastoin toimia vaikkapa hyvin matalan vaihtelun sarjatuotantoa muistuttavassa ympäristössä. Lisäksi tuotantoympäristöjen ja -strategioiden luokittelu vaikuttaa olevan hyvin häilyvärajaista, eikä selkeitä määritelmiä tai sääntöjä tuotantotyyppien luokittelulle ole. Lisäksi aihepiiriin tutkimuksissa on hyvin tyyppistä, että kirjoittajat lyhytsanaisesti määrittävät kohdeyrityksen toimivan HMLV-ympäristössä, avaamatta tarkemmin kohdeyrityksen tuotannon piirteitä ja ominaisuuksia. Tämä tuottaa epävarmuutta eri tutkimusten käsittelyyn ja vertailuun, sillä ei voida olla varmoja puhuvatko eri tutkijat samasta tuotantoympäristön tyyppistä. Edellä kuvattu ongelma saattoi vaikuttaa myös tämän tutkimuksen tuloksiin. Ulosrajauskriteerit täyttänyt tutkimus saattoi todella käsitellä HMLV-ympäristöä, mutta mikäli ympäristöä ei ollut millään tavalla määritelty, ei tutkimus täyttänyt tämän katsauksen sisäänottokriteereitä.

Tämän tutkimuksen tuloksia tulisi tarkastella esimerkkeinä lean-ajattelun onnistuneesta soveltamisesta kehitystyön kannalta haastavaan ja vaihtelevaan pienerätuotantoon. Tärkeä tulos on myös tapauskohtaisen harkinnan ja soveltamisen kriittisyys lean-

filosofiaa vaihtelevaan tuotantoon implementoidessa. Huomionarvoista on myös se, että vaikka mielivaltaisen yrityksen koko toimintaa ei olisi mahdollista vaihtelun ja kompleksisuuden takia kehittää leaniksi, voi yhdenkin tuotantolinjan tai tuoteperheen virtauksen ja virtaustehon kehittämällä olla merkittäviä positiivisia vaikutuksia yrityksen toiminnalle.

LÄHTEET

Agustiady, T. K. & Cudney, E. A. (2015). Total productive maintenance: strategies and implementation guide. 1st edition. Taylor & Francis, Boca Raton. pp. 1–12.

Amaresh, A. & Ooramvely, K. X. (2020). Standardization in a High Mix Low Volume Company: A Case Study. Dissertation. Jönköping University – School of Engineering. 50 p.

Barbosa, C. & Azevedo, A. (2019). Assessing the impact of performance determinants in complex MTO/ETO supply chains through an extended hybrid modelling approach. *International journal of production research*. Vol.57(11), pp. 3577–3597.

Belekoukias, I., Garza-Reyes, J.A. & Kumar, V. (2014). The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *International journal of production research*. Vol.52(18), pp. 5346–5366.

Bertolini, M., Romagnoli, G. & Zammori, F. (2017). 2MTO, a new mapping tool to achieve lean benefits in high-variety low-volume job shops. *Production planning & control*. Vol.28(5), pp. 444–458.

Bhamu, J. & Sangwan, K. S. (2014). Lean Manufacturing: Literature Review and Research Issues. *International journal of operations & production management*. Vol.34(7), pp. 876–940.

Birkie, S. E. & Trucco, P. (2016). Understanding dynamism and complexity factors in engineer-to-order and their influence on lean implementation strategy. *Production planning & control*. Vol.27(5), pp. 345–359.

Brah, S. A. & Chong, W. K. (2004). Relationship between total productive maintenance and performance. *International journal of production research*. Vol.42(12), pp. 2383–2401.

Carnerud, D., Jaca, C. & Bäckström, I. (2018). Kaizen and continuous improvement – trends and patterns over 30 years. *TQM journal*. Vol.30(4), pp. 371–390.

Dinis-Carvalho, J., Alves, A. C. & Sousa, R. M. (2014). Moving from job-shop to production cells without losing flexibility: A case study from the wooden frames industry. *South African journal of industrial engineering*. Vol.25(3), pp. 212–225.

Forno, A. J. D., Pereira, F. A., Forcellini, F. A. & Kipper, L. M. (2014). Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools. *International journal of advanced manufacturing technology*. Vol.72(5), pp. 779–790.

Fraze, T. & Standridge, C. (2016). CONWIP Versus POLCA: A Comparative Analysis in a High-Mix, Low-Volume (HMLV) Manufacturing Environment. *Journal of industrial engineering and management*. Vol.9(2), pp. 432–449.

Gurumurthy, A. & Kodali, R. (2011). Design of lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation. *Journal of manufacturing technology management*. Vol.22(4), pp. 444–473.

Haider, A. & Mirza, J. (2015). An implementation of lean scheduling in a job shop environment. *Advances in production engineering & management*. Vol.10(1), pp. 5–17.

Haikonen, T. (2005). High mix - low volume -tuotannon prosessikuvaus ja pullonkaulojen tunnistus. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 105 s.

Hirano, H. (2011). *The Basics of Process Mapping*. Second edition. Productivity Press, Boca Raton. 183 p.

Jasti, N. V. K. & Kodali, R. (2015). Lean production: literature review and trends. *International journal of production research*. Vol.53(3), pp. 867–885.

Jina, J., Bhattacharya, A. K. & Walton, A. D. (1997). Applying lean principles for high product variety and low volumes: some issues and propositions. *Logistics information management*. Vol.10(1), pp. 5–13.

Kangaspunta, S. & Pohjola, M. (2020). Raportti: Suomen kansantalouden suurin ongelma on kilpailijamaita alempi työn tuottavuus. Työ- ja elinkeinoministeriö. Päivitetty 4.2.2020. Saatavissa (viitattu 27.9.2021): <https://tem.fi/-/raportti-suomen-kansantalouden-suurin-ongelma-on-kilpailijamaita-alempi-tyon-tuottavuus>

Keyes, J., Nahn, A. & Lauver, K. J. (2009). Measuring the Effect of Lean Implementation at a Low-Volume, High-Variety Manufacturer: A Case Study. *Production and inventory management journal*. Vol.45(2), pp. 23–36.

Krafcik, J. F. (1988). Triumph Of The Lean Production System. *MIT Sloan management review*. Vol.30(1), pp. 41–52.

Lane, G. (2008). Lean made your way: one method does not fit all. *Industrial engineer, Norcross, Ga*. Vol.40(2), pp. 34–38.

Liker, J. K. (2021). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. Second edition. McGraw-Hill, New York. Part 2 Process: Principle 2. 352 p.

Matt, D. T. (2014). Adaptation of the value stream mapping approach to the design of lean engineer-to-order production systems: A case study. *Journal of manufacturing technology management*. Vol.25(3), pp. 334–350.

Modig, N. & Åhlström, P. (2013). *Tätä on lean: ratkaisu tehokkuusparadoksiin*. Rheologica Publishing, Tukholma. 167 s.

Monden, Y. (2012). *Toyota production system: an integrated approach to just-in-time*. Fourth edition. CRC Press, Boca Raton. 501 p.

Morikawa, K., Takahashi, K. & Hirotsu, D. (2014). Make-to-stock policies for a multi-stage serial system under a make-to-order production environment. *International Journal of Production Economics*. Vol147(A), pp. 30–37.

Nicholas, J. (2011). *Lean production for competitive advantage: a comprehensive guide to lean methodologies and management practices*. Productivity Press, New York. 499 p.

Orr, L. M. & Orr, D. J. (2014). *Eliminating Waste in Business: Run Lean, Boost Profitability*. 1st ed. (2014). CA: Apress, Berkeley. Chapter 1. 348 p.

- Pearce, A. & Pons, D. (2013). Implementing Lean Practices: Managing the Transformation Risks. *Journal of Industrial Engineering (Hindawi)*. Vol.2013, pp. 1–19.
- Protzman, C., Whiton, F., & Protzman, D. (2018). *Implementing Lean: Twice the Output with Half the Input!* 1st edition. FL: Productivity Press, Boca Raton. Chapter 2 & 5. 375 p.
- Rossini, M., Audino, F., Costa, F., Cifone, F. D., Kundu, K. & Portioli-Staudacher, A. (2019). Extending lean frontiers: a kaizen case study in an Italian MTO manufacturing company. *International journal of advanced manufacturing technology*. Vol.104(5), pp. 1869–1888.
- Satolo, E. G., Leite, C., Calado, R. D., Goes, G. A., Salgado, D. D. (2018). Ranking lean tools for world class reach through grey relational analysis. *Grey Systems: Theory and Application*. Vol.8(4), pp. 399–423.
- Seth, D., Seth, N. & Dhariwal, P. (2017). Application of value stream mapping (VSM) for lean and cycle time reduction in complex production environments: a case study. *Production planning & control*. Vol.28(5), pp. 398–419.
- Svancara, J. & Kralova, Z. (2012). High-Mix Low-Volume Flow Shop Manufacturing System Scheduling. *IFAC Proceedings Volumes*. Vol.45(6), pp. 145–150.
- Tapping, D. (2007). *The New Lean Pocket Guide: Tools for the Elimination of Waste!* MCS Media Inc., Chelsea. 204 p.
- Tomašević, I., Stojanović, D., Slović, D., Simeunović, B. & Jovanović, I. (2021). Lean in High-Mix/Low-Volume industry: a systematic literature review. *Production planning & control*. Vol.32(12), pp. 1004–1019.
- Wang, J. X. (2011). *Lean Manufacturing: Business Bottom-Line Based*. CRC Press, Boca Raton. 258 p.
- Wang, S. S., Chiou, C. C. & Luong, H. T. (2019). Application of SMED Methodology and Scheduling in High-Mix Low Volume Production Model to Reduce Setup Time: A Case of S Company. *IOP conference series. Materials Science and Engineering*. Vol.598(1)