



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Lenni Kuivala

Lean-ajattelun soveltaminen HMLV- venetuotannossa

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen
yksikkö
Kandidaatintutkielma,
tuotantotalous
Tekniikan kandidaatti

Vaasa 2026

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

Tekijä:	Lenni Kuivala		
Tutkielman nimi:	Lean-ajattelun soveltaminen HMLV-venetuotannossa		
Tutkinto:	Tekniikan kandidaatti		
Koulutusohjelma:	Tuotantotalous		
Työn ohjaaja:	Tauno Kekäle		
Valmistumisvuosi:	2026	Sivumäärä:	34

TIIVISTELMÄ:

Asiakkaiden odotukset räätälöidyistä tuotteista korostuvat High-mix, Low-volume (HMLV) -tuotannossa, jossa toisistaan eroavia tuotteita valmistetaan pieninä määrinä. Lean-ajattelu on puolestaan alun perin massatuotantoon kehitetty johtamisfilosofia, jonka tavoitteena on maksimoida asiakkaalle tuotettava arvo ja minimoida hukka. Tämän kirjallisuuskatsauksena toteutetun kandidaatintutkielman tavoitteena on tarkastella lean-ajattelun soveltamista HMLV-venetuotantoon sekä selvittää sen haasteita ja työkaluja pienivolyymisessä venevalmistuksessa.

Kirjallisuuskatsaus osoittaa, että lean-ajattelun suora soveltaminen venetuotantoon on haastavaa, sillä lean perustuu vakaisiin materiaalivirtoihin ja standardoituihin työvaiheisiin. Venetuotannossa tuotteet, työvaiheet ja kysyntä vaihtelevat voimakkaasti asiakasvaatimusten mukaan, mikä heikentää erityisesti perinteisten imuohjaustyökalujen, kuten kanbanin, toimivuutta.

Haasteista huolimatta lean-työkaluja voidaan hyödyntää onnistuneesti mukauttamalla ne tuotannon erityispiirteisiin. Esimerkiksi 5S-menetelmä selkeyttää työympäristöä, arvovirtakuvaus (VSM) auttaa pullonkaulojen tunnistamisessa ja jatkuva parantaminen (kaizen) mahdollistaa vaiheittaisen kehityksen ilman suuria järjestelmämuutoksia. Lisäksi digitalisaatio tukee lean-ajattelua parantamalla tuotannon näkyvyyttä ja tiedonkulkua. Tutkielman johtopäätöksenä todetaan, ettei HMLV-venetuotannosta pyritä tekemään standardoitua massatuotantoa, vaan lean-ajattelun avulla pyritään parantamaan tuotannon virtausta, läpinäkyvyyttä ja resurssitehokkuutta korkeasta vaihtelusta huolimatta.

AVAINSANAT: lean-ajattelu, HMLV-tuotanto, venetuotanto, lean-työkalut, venetuotannon kehittäminen

Sisällys

1	Johdanto	5
1.1	Tutkimuksen tavoitteet	6
1.2	Tutkimusmenetelmä ja aiheen rajaus	6
1.3	Tutkimuskysymykset	7
1.4	Tutkielman rakenne	7
2	Lean-ajattelu	8
2.1	Lean-ajattelun tausta	8
2.2	Lean-periaatteet	9
2.2.1	Viisi peruseriaatetta	9
2.2.2	7+1 hukkaa	12
2.3	Lean-menetelmät	13
3	High-mix low-volume -tuotanto	17
3.1	Tuotannon rakenne	17
3.2	Tuotannon haasteet	18
3.3	Tuotannon edut	19
4	Lean HMLV-ympäristössä	20
4.1	Lean-ajattelun haasteet HMLV-ympäristössä	20
4.2	Lean-työkalujen hyödyntäminen HMLV-ympäristössä	21
4.3	Digitalisaatio lean-ajattelun tukena	23
5	Soveltaminen venetuotantoon	24
5.1	Lean-ajattelun haasteet venetuotannossa	24
5.2	Lean-työkalujen mahdollisuudet venetuotannossa	25
5.3	Yhteenveto soveltamisesta venetuotantoon	27
6	Johtopäätökset	29
6.1	Tutkimuksen rajoitteet	30
6.2	Jatkotutkimus	31
	Lähteet	32

Liitteet	34
Liite 1. Tekoälyn käyttö tutkimuksessa	34

Lyhenteet

CONWIP	Constant Work in Progress
DBR	Drum-Buffer-Rope
HMLV	High-Mix, Low-Volume
JIT	Just-in-Time
JSS	Job Shop Scheduling
LMHV	Low-Mix, High-Volume
MTO	Make-To-Order
POLCA	Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization
RBC	Repeat Business Customizer
SMME	Small, Medium and Micro Enterprise
TPS	Toyota Production System
VMC	Versatile Manufacturing Company
VSM	Value Stream Mapping

1 Johdanto

Yrityksiltä vaaditaan jatkuvasti parempaa tehokkuutta, laatua ja kykyä vastata asiakkaiden muuttuviin tarpeisiin. Lean-ajattelun tavoitteena on maksimoida asiakkaalle tuotettava arvo ja samalla minimoida prosesseissa esiintyvä hukka (Arcidiacono ja muut, 2012, s. 3). Hukka tarkoittaa toimintaa, joka ei vie prosessia kohti haluttua lopputulosta eikä lisää tuotteeseen tai palveluun asiakkaan näkökulmasta arvoa (Wang, 2010, s. 18). Tämän vuoksi lean-ajattelua voidaan pitää tuotannon kehittämisen lähestymistapana, jonka avulla pyritään parantamaan virtausta, laatua ja resurssien tehokasta käyttöä.

Samaan aikaan asiakkaat odottavat yhä useammin yksilöllisiä ja räätälöityjä tuotteita, mikä lisää tuotannon monimutkaisuutta. Tämä näkyy High-mix, Low-volume -tuotannossa (HMLV), jossa valmistetaan toisistaan eroavia tuotteita pieninä määrinä (Normand & Bradley, 2024, s. 1). HMLV-tuotanto on usein tilausohjautuvaa, jolloin tuotanto käynnistyy asiakastilauksen perusteella (Gan ja muut, 2023, s. 1). Tällaisessa ympäristössä tuotteiden korkea räätälöintiaste voi johtaa vaihteleviin tuotantoreitteihin, työvaiheisiin ja käsittelyaikoihin (Gan ja muut, 2023, s. 1).

Lean-ajattelu on kehittynyt vakaammissa tuotantoympäristöissä, joissa valmistetaan suuria määriä samankaltaisia tuotteita. HMLV-tuotanto eroaa tästä merkittävästi, sillä tuotanto on usein ei-toistuvaa, tilausohjautuvaa ja asiakaskohtaisesti räätälöityä (Tomasevic ja muut, 2021). Tämän vuoksi lean-ajattelun soveltaminen HMLV-tuotantoon ei ole yksinkertaista.

Venetuotantoa voidaan pitää esimerkkinä HMLV-tuotannosta, sillä veneitä valmistetaan usein pieninä määrinä ja asiakaskohtaisesti räätälöityinä tuotteina. Veneiden varustelu, materiaalit ja muut asiakasvaatimukset voivat vaihdella merkittävästi, mikä voi vaikeuttaa materiaalivirtojen hallintaa ja tuotannon tasapainottamista (Normand & Bradley, 2024). Tämän vuoksi lean-ajattelun soveltaminen HMLV-venetuotantoon on kiinnostava aihe.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tarkastella lean-ajattelun soveltamista HMLV-venetuotantoon kirjallisuuden perusteella. Työssä selvitetään, millaisia haasteita HMLV-ympäristö aiheuttaa lean-ajattelulle ja millaisia lean-työkaluja voidaan hyödyntää erityisesti pienivolyymisessä venevalmistuksessa.

Tutkielman tarkoituksena ei ole löytää yleispätevää ratkaisua venetuotannon kehittämiseen, vaan muodostaa kirjallisuuden pohjalta kokonaiskuva siitä, miten lean-ajattelua voidaan soveltaa korkean vaihtelun ja pienen volyymin tuotantoympäristössä. Tavoitteena on myös tunnistaa, millaisia hyötyjä lean-ajattelu voi tuoda venevalmistajan tuotantoprosessiin.

1.2 Tutkimusmenetelmä ja aiheen rajaus

Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena. Työssä hyödynnetään lean-ajattelua, HMLV-tuotantoa ja lean-ajattelun soveltamista HMLV-ympäristöön käsittelevää kirjallisuutta.

Kirjallisuuskatsauksessa hyödynnetty aineisto koostuu pääosin viimeisen kymmenen vuoden aikana julkaistuista vertaisarvioituista artikkeleista. Teoreettisen taustan rakentamisessa on kuitenkin hyödynnetty myös vanhempia lähteitä, jotka ovat edelleen alan kannalta keskeisiä ja yleisesti tunnustettuja.

Artikkeleita on haettu pääosin Google Scholar, Academic Search Elite ja Vaasan yliopiston Tritonia Finna -tietokannoista. Hakusanoina on käytetty esimerkiksi seuraavia: "lean", "lean manufacturing", "HMLV OR High mix low volume ", "job shop", "Lean AND HMLV", "boat production".

1.3 Tutkimuskysymykset

Tutkielman tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Mitkä lean-työkalut soveltuvat parhaiten HMLV-ympäristöön?
2. Mitkä ovat lean-ajattelun keskeiset haasteet HMLV-venevalmistuksessa?
3. Millaisia hyötyjä lean-ajattelu voi tuoda venevalmistajan tuotantoprosessiin?

1.4 Tutkielman rakenne

Tutkielma koostuu kuudesta pääluvusta. Ensimmäisessä luvussa esitellään tutkimuksen taustat, tavoitteet, tutkimusmenetelmä, aiheen rajaus ja tutkimuskysymykset. Toisessa luvussa käsitellään lean-ajattelun taustaa, keskeisiä periaatteita ja yleisimpiä lean-menetelmiä. Kolmannessa luvussa tarkastellaan high-mix, low-volume -tuotantoa, sen rakennetta, haasteita ja etuja.

Neljännessä luvussa käsitellään lean-ajattelun soveltamista HMLV-ympäristöön. Luvussa tarkastellaan erityisesti lean-ajattelun haasteita, lean-työkalujen hyödyntämistä sekä digitalisaation roolia lean-ajattelun tukena. Viidennessä luvussa aiempien lukujen havaintoja sovelletaan venetuotantoon. Luvussa arvioidaan, miten HMLV-tuotannon ja lean-ajattelun kirjallisuudesta saatuja havaintoja voidaan hyödyntää pienivolyymisessä venevalmistuksessa. Kuudennessa luvussa esitetään tutkielman johtopäätökset.

2 Lean-ajattelu

Lean-ajattelu on nykyaikainen ja laajasti eri toimialoilla hyödynnetty johtamisfilosofia, jonka tavoitteena on maksimoida asiakkaalle tuotettava arvo ja samalla minimoida hukka (Arcidiacono ja muut, 2012, s. 3). Hukka on mikä tahansa toiminta prosessissa, joka ei vie prosessia lähemmäksi haluttua lopputulosta eikä lisää lopputulokseen mitään arvoa (Wang, 2010, s. 18). Lean-ajattelulla siis tunnistetaan ja karsitaan pois arvoa tuottamattomat toiminnot siten, että tuotteet ja palvelut toimitetaan asiakkaalle juuri oikeanlaisena ja oikeaan aikaan. Usein lean-ajattelua pidetään vain yksinkertaisesti työkaluna hukan poistamiseen, mutta se on todellisuudessa paljon laajempi, kokonaisvaltainen johtamisjärjestelmä. Se vaatii organisaatiokulttuurin kehittämistä suuntaan, joka kannustaa jatkuvaan parantamiseen ja koko henkilöstön osaamisen kehittämiseen (Vuorinen, 2013, s. 71-72 ; Munro ja muut, 2022, s. 32).

2.1 Lean-ajattelun tausta

Lean-ajattelumallin juuret ulottuvat 1950-luvun Japaniin, jossa Taiichi Ohno sekä Eiji Toyoda kehittivät Toyota Production System (TPS) -tuotantojärjestelmän. Ohnon tehtävänä oli tehostaa Toyotan tuotantokapasiteettia ja hän otti oppia yhdysvaltalaisen Fordin joustamattomasta liukuhihnatuotannosta. Fordin tuotanto perustui vain yhden autotyypin massatuotantoon, josta puuttui mahdollisuudet räätälöidä autoja asiakkaiden toiveiden mukaan (Vuorinen, 2013, s. 71). Toyota halusi kehittää tuotantomallin, jossa yhdistyy Fordin tuotannon tehokkuus sekä tuotannon joustavuus, kuten värien tai varusteiden vaihtelu (Holweg, 2007).

Länsimaissa konsepti tuli tunnetuksi vasta myöhemmin. Termin "lean" (suom. hoikka, niukka) otti ensimmäisenä käyttöön John Krafcik vuonna 1988 artikkelissaan "Triumph of the Lean Production System". Maailmanlaajuiseen tietoisuuteen käsite nousi vuonna 1990 James Womackin ja Daniel Jonesin julkaiseman "The machine that changed the world" kirjan myötä. Kirja kuvasi, kuinka Toyota oli noussut uudenlaisen johtamistapansa avulla autoteollisuuden huipulle (Modig & Åhlström, 2013, s. 76-77, 82). Vaikka lean

pohjautuu vahvasti Toyotan tuotantojärjestelmään, se on aikojen saatossa kehittynyt alkuperäisestä tehdasympäristöstään ihmiskeskeiseksi ja laajemmin sovellettavaksi johtamisjärjestelmäksi. Nykyään lean tunnetaan monella eri nimellä: lean-valmistus, lean-yritys, lean-toimisto, lean-tuotanto, joustava massatuotanto ja muut (Munro ja muut, 2022, s. 32). Näitä nimiä sovelletaan globaalisti useilla eri toimialoilla, kuten terveydenhuollossa, logistiikassa ja palveluissa, sekä tuotannossa, organisaatioiden pyrkiessä säilyttämään kilpailukykyä nopeasti muuttuvilla markkinoilla (Chugani ja muut, 2017).

2.2 Lean-periaatteet

Hukkien tunnistaminen ja poistaminen organisaation prosesseista edellyttää lean-ajattelun peruseriaatteiden omaksumista. Womackin ja Jonesin (2003) mukaan lean-filosofia nojaa viiteen peruseriaatteeseen, jotka muodostavat ensimmäisen askeleen leanin käyttöönotossa. Nämä periaatteet luovat loogisen jatkumon ja ne on tarkoitettu toteutettaviksi seuraavassa järjestyksessä: arvon määrittäminen, arvovirran tunnistaminen, virtauksen luominen, imuohjauksen hyödyntäminen sekä täydellisyyden tavoittelu.

2.2.1 Viisi peruseriaatetta

Asiakkaan arvon määrittäminen

Lean-ajattelun ensimmäinen askel on arvon määrittäminen, sillä tuotteiden ja palveluiden lopullisen arvon pystyy määrittelemään ainoastaan asiakas (Womack ja Jones, 2003). Tästä johtuen organisaation toiminnan ja tuotekehityksen keskiössä tulee olla vahva asiakaskeisyys; arvo syntyy vasta, kun asiakkaan tarpeet on tunnistettu suhteessa tuotteen ominaisuuksiin, hintaan ja toimitusaikatauluun (Womack ja Jones, 2003, s. 16). On olennaista, että tuotantoprosessi sisältää ainoastaan sellaisia vaiheita, jotka lisäävät ominaisuuksia, joista asiakas on valmis maksamaan (Alston, 2017, s. 3). Organisaation tulee ylläpitää tiivistä asiakasyhteistyötä esimerkiksi säännöllisten

tapaamisten ja tyytyväisyyskyselyiden avulla, jotta asiakkaan tarpeet voidaan ymmärtää ja ennakoida (Vuorinen, 2013, s. 74).

Arvovirran tunnistaminen

Lean-ajattelun toinen askel on arvovirran tunnistaminen. "Arvo" on toiminta, joka muuttaa tuotteen niin, että asiakas on valmis maksamaan siitä (Wang, 2010, s. 64). Arvovirta koostuu kaikista niistä toimenpiteistä (arvoa lisäävistä sekä arvoa lisäämättömistä), joita vaaditaan tuotteen viemiseksi sen välttämättömien päävirtojen, eli tuotannon sekä tuotteen kehityksen läpi.

Womack ja Jones (2003, s. 20) jakavat arvovirran toimenpiteet kolmeen kategoriaan:

- Arvoa tuottavat
- Arvoa tuottamattomat mutta prosessille välttämättömät
- Arvoa tuottamattomat

-toiminnot. Tämän jaottelun avulla prosessin epäkohdat saadaan näkyviin. Arvoa tuottamattomat toiminnot tulisi poistaa prosessista. Arvoa tuottamattomat mutta prosessille välttämättömät toiminnot tulisi pyrkiä kehittämään niin, että ideaalitilanteessa kaikki prosessin toiminnot tuottaisivat arvoa. Tämä on kuitenkin lähes mahdotonta, sillä jokaisessa organisaatiossa on toimintoja, joiden poistaminen edellyttäisi koko prosessin uudelleensuunnittelua (Womack & Jones, 2003, s. 20).

Virtaus

Kolmas askel on tuotannon virtauksen optimointi. Ihanteellinen tuotannon virtaus on materiaalivirta, joka on katkeamaton, selkeä ja mahdollisimman lyhyt (Vuorinen, 2013, s. 73). Aina kun prosessi ei etene, aikaa menee hukkaan. Odotus johtuu usein huonosta tuotannonsuunnittelusta sekä huonosta tiedonsiirrosta (Wang, 2010, s. 18). Usein huonosti suunnitellussa tuotannossa vastaan tulee pullonkauloja, eli jos yksi työvaihe kestää kauemmin kuin toinen, virtaus ei ole sujuvaa. Toyotan tuotantojärjestelmässä (TPS) saavutettiin tuotteen jatkuva liike prosessissa. Tämä saavutettiin minimoimalla koneiden asetusajat sekä asettamalla eri työvaiheet, kuten muotoilun, maalauksen ja

kokoonpanon peräkkäin (Womack & Jones, 2003, s. 21-24). Haasteeksi muodostuu se, miten jatkuva virtaus varmistetaan myös silloin, kun kaikkia toimintoja ei ole mahdollista yhdistää samaan tuotantosoluun. Tähän haasteeseen ratkaisu on imuohjaus (Womack & Jones, 2003, s. 66).

Imuohjaus

Imuohjaus on lean-ajattelun neljäs askel. Perinteisissä tuotantolaitoksissa valmistus perustuu tyypillisesti materiaalierien siirtämiseen prosessivaiheesta toiseen, koska eräkoot ja työvaiheiden kestot vaihtelevat, sujuvan materiaalivirran synnyttäminen on haastavaa. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa materiaalien odotusaika ylittää itse prosessiin kuluvan ajan ja prosessiin syntyy suuria määriä keskeneräistä tuotantoa. Tällaiset välivarastot aiheuttavat merkittävää hukkaa niin menetetyssä tuotantoajassa kuin varastointikustannustenkin muodossa (Nicholas & Schonberger, 2018, s. 45).

Tämän hukan minimoimiseksi Taiichi Ohno kehitti imuohjausmallin (engl. pull production). Imuohjauksessa kunkin työvaiheen tuotantomäärä perustuu yksinomaan välittömästi seuraavan vaiheen todelliseen tarpeeseen. Tuotanto ei valmista ylimääräistä tuotetta varastoon, vaan etenee ainoastaan asiakkaan luoman ”imun” myötä (Vuorinen, 2013, s. 73). Vaikka imuohjaus on tehokas työkalu hukan poistamiseen, sen toteuttaminen on hidasta. Mallin kehittäneeltä Toyotalta kesti jopa 20 vuotta saada prosessi viimeisteltyä (Nicholas & Schonberger, 2018, s. 45).

Täydellisyys

Viides ja viimeinen lean-ajattelun perusperiaate on täydellisyyden tavoittelu. Nicholas ja Schonberger (2018, s. 126) määrittelevät täydellisyyden seuraavasti: Hukan poistaminen niin, että kaikki toiminnot arvoketjussa tuottavat ainoastaan lisäarvoa. Täydellisyyden tavoittelu ei ole kertaluontoinen tehtävä vaan se on jatkuvaa oppimista, toiminnan kehittämistä ja seuraamista (Munro ja muut, 2022, s. 45).

2.2.2 7+1 hukkaa

Lean-ajattelun tavoitteena on poistaa kaikki arvoa tuottamaton toiminta eli hukka (Wang, 2010, s. 18). Hukka jaetaan Wangin mukaan seitsemään kategoriaan:

1. **Ylituotanto:** Ylituotanto on tuotteen valmistamista ennen kuin sille on todellista tarvetta. Ylituotanto aiheuttaa merkittäviä kustannuksia tuotantolaitokselle, koska se häiritsee materiaalivirran sujuvuutta sekä heikentää laatua ja tuottavuutta.
2. **Liiallinen varastointi:** Liiallinen varastointi peittää usein tuotannon ongelmia, jotka tulisi tunnistaa ja ratkaista toiminnan kehittämiseksi. Se kasvattaa läpimenoaikoja, vie tuotantotilaa, viivästyttää ongelmien havaitsemista ja heikentää viestintää.
3. **Odotus:** Odotushukkaa syntyy silloin, kun tuotteet eivät liiku tai ole käsittelyssä. Suuri osa tuotteen läpimenoajasta kuluu odottamiseen seuraavaa työvaihetta. Odotus johtuu usein puutteellisesta materiaali- ja informaatiovirtojen suunnittelusta.
4. **Kuljetus:** Tuotteiden siirtäminen prosessien välillä aiheuttaa kustannuksia, mutta ei lisää arvoa tuotteelle. Liiallinen siirtely ja käsittely lisäävät vaurioiden riskiä ja voivat heikentää laatua.
5. **Tarpeeton liike:** Toisin kuin kuljetus, liike viittaa työntekijöiden tai laitteiden liikkumiseen. Tarpeeton liike voi aiheuttaa vaurioita, kuormitusta, kulumista sekä turvallisuusriskejä.
6. **Yliprosessointi:** Yliprosessointi tarkoittaa tarpeettoman kalliiden resurssien käyttöä tai sellaisten ominaisuuksien lisäämistä tuotteeseen, joita asiakas ei tarvitse. Kalliit resurssit voivat myös kannustaa ylituotantoon, jotta investoinnin kustannukset saadaan katettua.
7. **Virheet:** Laatuvirheet vaikuttavat suoraan yrityksen tulokseen, koska ne johtavat uudelleentyöstöön tai hylkäyksiin sekä aiheuttavat lisäkustannuksia, kuten varaston eristämistä, uudelleentarkastuksia, uudelleenaikataulutusta ja kapasiteetin menetyksiä.

Klein ja muut (2021, s. 2-3) listaavat vielä kahdeksannen hukan: **Lahjakkuuden ja luovuuden tuhlaus**. Työntekijät itse tietävät ja osaavat prosessin parhaiten ja heidän luovuutensa ja tietämyksensä tulisi ottaa huomioon prosessien kehittämisessä.

2.3 Lean-menetelmät

Wangin (2010, s. 20) mukaan on kehitetty useita lean-työkaluja, jotka avustavat yrityksiä lean-valmistuksen kehittämisessä. Nämä työkalut auttavat eliminoimaan hukan jokaisessa tuotannon osa-alueessa. Wang listaa lean-työkalut seuraavasti:

- **5S** on menetelmä työympäristön järjestämiseen, siivoamiseen, kehittämiseen ja ylläpitämiseen tuottavaksi
- **Virheiden ehkäisy (Error proofing)** on jäsenelty lähestymistapa laadun varmistamiseen ja virheettömän tuotantoympäristön saavuttamiseen.
- **Nykytilapuu (Current reality tree)** on ongelmananalyysityökalu, joka tarkastelee syy-seuraussuhteita.
- **Ristiriitojen ratkaisukaavio (Conflict resolution diagram)** käytetään piilevien ristiriitojen ratkaisemiseen.
- **Tulevaisuustilapuu (Future reality diagram)** on riittävyyteen perustuva looginen rakenne, jonka avulla hahmotetaan miten muutokset nykytilaan vaikuttavat tulevaan tilanteeseen.
- **Varaston kiertonopeus (Inventory turnover rate)** tarkoittaa kuinka monta kertaa varasto kiertää vuoden aikana.
- **Standard rate or work** eli aika, jonka tulisi kulua tietyn koneen tai työvaiheen valmisteluun sekä yhden osan, kokoonpanon, erän tai lopputuotteen läpiviemiseen kyseisen työvaiheen läpi.
- **JIT (Just-in-Time)** on tuotantofilosofia, joka perustuu hukan suunnitelmalliseen poistamiseen.
- **Kaizen** on japanilainen termi, joka tarkoittaa jatkuvaa parantamista, johon osallistuvat kaikki.

- **Kanban** on yksinkertainen materiaalihjausjärjestelmä, joka perustuu kortteihin sekä laatikoihin tai säiliöihin osien siirtämiseksi työpisteeltä toiselle.

Munro ja muut (2022) kertovat enemmän tehokkaimmista lean-työkaluista:

5S on työpaikan organisointimenetelmä, joka auttaa parantamaan toiminnan tehokkuutta ja hallintaa (Munro ja muut, 2022, s. 35-36). Prosessiin vaikuttavat sen ympäristö sekä työntekijöiden kyky reagoida prosessimuutoksiin. Esimerkiksi työpiste, joka on täynnä työkaluja ja tarvikkeita, kuluttaa ammattitaitoisten työntekijöiden arvokasta aikaa ja aiheuttaa häiriöitä työssä, mikä johtaa heikkoon laatuun. Vastaavasti toimistotyössä huonosti järjestetyt tiedostot ja paperit voivat aiheuttaa virheitä ja viivästyksiä. 5S-menetelmä saa nimensä viidestä S-kirjaimella alkavasta sanasta, joita noudattaessa työpaikan organisointi paranee. Sanojen etenemisjärjestys on seuraava:

- **Sort (Lajittele):** Poista tarpeettomat asiat ja esineet.
- **Set in order (Järjestä):** Tarvittavat esineet järjestellään niin, että ne on helposti saatavilla.
- **Shine (Siivoa):** Työympäristö ja laitteet puhdistetaan säännöllisesti.
- **Standardize (Standardoi):** Luodaan yhtenäiset käytännöt, ohjeet ja standardit.
- **Sustain (Ylläpidä):** Varmistetaan toimintatapojen jatkuva noudattaminen ja kehittäminen.

Näiden lisäksi Munro ja muut (2022, s. 35-36) huomauttavat, että joissakin organisaatioissa perään lisätään vielä kuudes S (**Safety, Turvallisuus**).

Just-in-Time on Toyotan kehittämä tuotantostrategia, jota hyödynnetään nykyisin laajasti eri organisaatioissa. Sen keskeisenä tavoitteena on parantaa yrityksen kannattavuutta vähentämällä keskeneräistä tuotantoa ja siihen liittyviä varastointikustannuksia (Munro ja muut, 2022, s. 38). Just-in-Time toimii niin, että oikeaa osaa tai tuotetta tuotetaan oikea määrä ja oikeaan aikaan (Pazek, 2021, s. 4). Munron ja muiden (2022, s. 38) mukaan JIT-järjestelmä tekee varastointiin liittyvät ylimääräiset kustannukset näkyviksi. Kaikki käyttämätön varastoitu tavara on resurssien tuhlausta.

Kanban on japanilainen sana ja tarkoittaa visuaalista korttia. Se toimii imuohjaukseen perustuvan tuotannon työkaluna (Kumar ja muut, 2022, s. 1191). Sen tavoitteena on ohjata materiaalien ja informaation virtausta siten, että tuotanto tapahtuu oikea-aikaisesti todellisen tarpeen mukaan, mikä vähentää keskeneräistä tuotantoa ja parantaa tehokkuutta (Pazek, 2021, s. 7).

Kanban-järjestelmä perustuu visuaalisiin signaaleihin, joiden avulla viestitään materiaalitäydennysten tarpeesta (Kumar ja muut, 2022, s. 1191). Esimerkiksi tyhjä laatikko toimii signaalina edelliselle työvaiheelle toimittaa lisää materiaalia (Munro ja muut, 2022, s. 39). Pazekin (2021, s. 7) mukaan kanbanien määrä ja koko määritellään kysynnän ja tuotannon vaatimusten perusteella.

Järjestelmän toimivuus edellyttää tasapainoista materiaalin ja informaation virtausta, sillä epätasapaino johtaa varastojen kasvuun, viiveisiin ja lisäkustannuksiin. Lisäksi kanbanin tehokas hyödyntäminen vaatii muiden lean-periaatteiden, kuten 5S:n riittävää toteutusta (Munro ja muut, 2022, s. 39).

Kaizen on japanilainen termi ja tarkoittaa jatkuvaa parantamista pienin, asteittain muutoksin. Sen tavoitteena on vähentää hukkaa, parantaa tuottavuutta ja lisätä työntekijöiden osallistumista (Kumar ja muut, 2022, s. 1191). Munron ja muiden (2022, s. 38) mukaan kaizenista voidaan erottaa suuremmat, nopeammat muutokset, joista käytetään termiä ”kaikaku”. Näitä toteutetaan usein kaizen-tapahtumina, joissa monialainen tiimi kehittää prosessia intensiivisesti lyhyen ajan, tyypillisesti 3-5 päivän aikana. Tavoitteena on saavuttaa nopeita ja konkreettisia parannuksia. Keskeinen ero on, että kaizen on jatkuvaa kehittämistä, kun taas kaizen-tapahtuma on yksittäinen kehitysprojekti, joka vaatii johdon tukea ja resurssien kohdentamista (Munro ja muut, 2022, s. 38).

Value stream mapping (VSM) on työkalu, jonka avulla voidaan kuvata ja analysoida tuotteen kulkua läpi koko arvovirran. VSM:n keskeinen tarkoitus on tehdä näkyväksi, miten eri toiminnot ja prosessit liittyvät toisiinsa sekä miten ne yhdessä tuottavat arvoa asiakkaalle (Kumar ja muut, 2022).

VSM esitetään visuaalisena karttana, joka havainnollistaa materiaalien ja informaation virtausta tuotantoprosessien eri vaiheiden välillä (Wang, 2010, s. 26). Kartassa käytetään yksinkertaisia symboleja ja kuvauksia, joiden avulla voidaan tarkastella esimerkiksi varastoja, keskeneräistä tuotantoa, työvaiheita sekä tiedonkulkua (Munro ja muut, 2022, s. 48). Tämän ansiosta kokonaisprosessin ymmärtäminen helpottuu ja tuotannon kehityskohteet voidaan tunnistaa selkeämmin.

VSM:n pohjalta voidaan suorittaa arvovirta-analyysi (eng. value stream analysis), jonka avulla tunnistetaan prosessissa esiintyviä hukkatyyppejä, kuten odotusaikoja, ylimääräistä liikettä tai varastointia. Näiden tunnistaminen mahdollistaa lean-periaatteiden mukaisen jatkuvan parantamisen, jonka tavoitteena on lisätä arvoa asiakkaalle ja vähentää ei-arvoa tuottavia toimintoja (Munro ja muut, 2022, s. 48). VSM on iso osa HMLV-tuotannon kehittämistä (Wang ja muut, 2026).

3 High-mix low-volume -tuotanto

High-mix low-volume -tuotanto (HMLV) on tuotantomuoto, jossa tuotetaan valikoima toisistaan eroavia tuotteita pieninä määrinä (Normand & Bradley, 2024, s. 1). Tuotanto on tyypillisesti tilausohjautuvaa (eng. Make-To-Order, MTO), jolloin tuotteiden valmistus käynnistyy asiakastilausten perusteella (Gan ja muut, 2023, s. 1). Tuotannossa keskitytään siis asiakaslähtöiseen tuotteen räätälöintiin, johon suurivolyyminen tuotanto ei pysty. Tuotteen räätälöinnillä varsinkin pieni- ja keskikokoiset (SMMEs) yritykset tavoittelevat kilpailullista etuasemaa (Wang ja muut, 2026, s. 1). Tuotteiden korkea räätälöintiaste johtaa epätyypillisiin tuotantoreitteihin (Gan ja muut, 2023, s. 1).

Ganin ja muiden (2023, s. 1) mukaan HMLV-yritykset jaotellaan usein osaksi monipuolisten tilausohjautuvien valmistusyritysten joukkoa (eng. versatile manufacturing companies, VMC). VMC-yritysten merkittävänä haasteena on asiakassuhteiden ennakoimattomuus. Toisin kuin toistuvia sopimusvalmistuksia tekevät yritykset (eng. repeat business customizers, RBC), VMC:t eivät tyypillisesti pysty solmimaan asiakkaidensa kanssa yhtä pitkäaikaisia ja vakaita tuotantosopimuksia.

3.1 Tuotannon rakenne

Suurin osa HMLV-tuotannosta tapahtuu ympäristössä, jossa tuotteiden kulkureitit vaihtelevat eikä niillä ole ennalta määriteltyä vakioitua järjestystä (Gan ja muut, 2023, s. 2). Tällainen joustavuus mahdollistaa sen, että työvaiheet voidaan aloittaa ja päättää eri työpisteissä asiakaskohtaisen räätälöinnin tarpeiden mukaisesti. Normandin ja Bradleyn (2024) mukaan HMLV-ympäristössä korostuu työvoiman moniosaamisen merkitys, sillä työntekijöiden on kyettävä suorittamaan erilaisia työtehtäviä vaihtelevissa tilanteissa. Vaikka kulkureitit eivät ole vakiintuneita, tuotannossa on havaittavissa tietty pääasiallinen materiaalivirran suunta. Tällaista tuotantoympäristöä, jossa yhdistyvät monisuuntaiset reititykset ja selkeä päävirta, kutsutaan yleistetyksi job shop -malliksi (Gan ja muut, 2023, s. 2).

3.2 Tuotannon haasteet

HMLV-tuotantoympäristöön liittyy useita haasteita, jotka johtuvat korkeasta tuotevariaatiosta, pienistä valmistusmääristä sekä kysynnän epävarmuudesta. Asiakaskohtaisten ja räätälöityjen tuotteiden kysynnän kasvaessa valmistajat voivat hyödyntää HMLV-tuotantoa kilpailuetuna, mutta samalla tuotantoympäristö poikkeaa merkittävästi perinteisestä massatuotannosta. HMLV-tuotannossa tuotteet ovat usein ei-toistuvia ja tilausohjautuvia, minkä vuoksi niillä on toisistaan poikkeavat tuotantoreitit sekä omat asetus- ja käsittelyaikansa (Gan ja muut, 2023, s. 2).

Tuotevariaatio ja vaihtelevat tuotantoreitit vaikeuttavat tuotannon suunnittelua, aikataulutusta ja kapasiteetin hallintaa (Gan ja muut, 2023). Kysynnän ennustaminen on haastavaa, minkä vuoksi tuotannon suunnittelu tarkentuu vasta asiakastilausten varmistuessa (Moreira & Alves, 2009). Samalla työvaiheiden vaihtelu heikentää tuotantolaitteiston käyttöastetta ja lisää epävarmuutta kuormituksessa (Moreira & Alves, 2009).

HMLV-ympäristössä tuotanto tapahtuu usein job shop -rakenteessa, jossa tuotteet etenevät eri reittejä työvaiheiden mukaan (Gan ja muut, 2023, s. 2). Tämä aiheuttaa epätasaista kuormitusta ja vaikeuttaa pullonkaulojen tunnistamista (Normand & Bradley, 2024, s. 2). Epätasaisuus voi johtaa puskurivarastojen muodostumiseen ja keskeneräisen tuotannon kasvuun (Moreira & Alves, 2009). Tällaisessa ympäristössä tuotannon suunnittelu liittyy usein job shop scheduling (JSS) -ongelmaan, jossa vaihtelevat työjärjestykset ja resurssirajoitteet tekevät optimoinnista haastavaa. Räätälöinti lisää tuotannon kompleksisuutta ja voi heikentää materiaalivirran sujuvuutta esimerkiksi lisäämällä liikkumista ja kuljetusta (Normand & Bradley, 2024). Samalla läpimenoajat voivat olla pitkiä ja vaihtelevia asetusaikojen ja työjärjestysten vuoksi (Moreira & Alves, 2009).

HMLV-tuotannon haasteet liittyvät siis vaihtelun hallintaan sekä joustavuuden ja tehokkuuden tasapainottamiseen. Tämä tekee tuotantoympäristöstä vaativan ja johtaa

usein korkeampiin yksikkökustannuksiin verrattuna massatuotantoon (Moreira & Alves, 2009).

3.3 Tuotannon edut

HMLV-tuotannolla on useita etuja, jotka liittyvät erityisesti sen kykyyn vastata asiakaskohtaiseen kysyntään. Korkea tuotevariaatio mahdollistaa laajan tuotevalikoiman tarjoamisen, mikä voi laajentaa asiakaskuntaa ja tukee yrityksen kilpailukykyä (Gan ja muut, 2023). Lisäksi HMLV-tuotanto perustuu usein tilausohjautuvaan valmistukseen, jolloin tuotteita ei tarvitse valmistaa varastoon, mikä vähentää varastointiin sitoutuvaa pääomaa.

Tuotannon joustavuus on keskeinen hyöty HMLV-ympäristössä. Vaihtelevat tuotantoreitit ja mukautuvat valmistusprosessit mahdollistavat nopean reagoinnin asiakastarpeiden muutoksiin, mikä on tärkeää epävarmassa kysyntäympäristössä (Normand & Bradley, 2024). Samalla räätälöinti lisää asiakasarvoa, sillä tuotteet voidaan suunnitella vastaamaan tarkasti yksittäisten asiakkaiden tarpeita.

Vaikka HMLV-tuotantoon liittyy useita haasteita, sen merkitys perustuu juuri kykyyn tuottaa yksilöllisiä ja korkean lisäarvon tuotteita. Tällaisia tuotteita ei voida valmistaa tehokkaasti massatuotannolla, mikä tekee HMLV-tuotannosta välttämättömän tietyille toimialoille.

4 Lean HMLV-ympäristössä

Lean-ajattelua on perinteisesti tutkittu ja sovellettu erityisesti tuotantoympäristöissä, joissa valmistetaan suuria määriä samankaltaisia tuotteita suhteellisen vakaalla kysynnällä. Tämän johdosta sen käyttöönotto pienivolyymiseen tuotantoon tuottaa haasteita. HMLV-ympäristössä lean-ajattelun tavoitteena ei ole täysin standardoidun massatuotannon saavuttaminen, vaan tuotannon virtauksen, läpinäkyvyyden ja resurssien tehokkaan käytön parantaminen korkeasta vaihtelusta huolimatta (Mrabbaj ja muut, 2024).

Seuraavassa taulukossa Mrabbaj ja muut vertaavat TPS:n (Toyota Production System) ja HMLV-tuotannon tyypillisiä eroja.

<i>Ominaisuus</i>	<i>TPS-tuotanto</i>	<i>HMLV-tuotanto</i>
Volyymi	Suuri volyymi	Pieni volyymi / yksittäistuotanto
Vaihtelevuus	Pieni tuotevaihtelevuus	Suuri tuotevaihtelevuus
Prosessi	Yhtenäinen	Erittäin vaihteleva
Monimutkaisuus	Vähäinen	Kohtalainen / suuri
Kysyntä	Vakaa	Vaihteleva
Tuotantotyyppi	Varastoon valmistus	Tilausohjautuva
Sykli aika	Kiinteä	Vaihteleva
Tuotevaihto	Yksinkertainen, ajanhukka	Monimutkainen, ajan ja materiaalin hukka

Taulukko 1. TPS-tuotannon ja HMLV-tuotannon erot

4.1 Lean-ajattelun haasteet HMLV-ympäristössä

HMLV -tuotanto eroaa hyvin paljon siitä, millaiseen ympäristöön lean on alun perin tarkoitettu (Tomasevic ja muut, 2021, s. 2). Suurin osa lean-ajattelua käsittelevästä tutkimuksesta keskittyy tuotantoympäristöihin, joissa valmistetaan suuria määriä

samanlaisia tuotteita vakaalla kysynnällä. Tällaiseen ympäristöön useat tunnetuimmat lean-työkalut, kuten kanban, toimivat tehokkaasti (Tomasevic ja muut, 2021). HMLV-tuotannossa tuotteilla voi olla toisistaan poikkeavat tuotantoreitit ja käsittelyajat. Tuotannossa useat tuotteet etenevät samanaikaisesti työvaiheiden läpi ja käyttävät samoja resursseja, mikä lisää tuotannon monimutkaisuutta ja vaikeuttaa materiaalivirtojen hallintaa. Lean-ajattelun näkökulmasta myös hukkan muodot voivat ilmetä HMLV-ympäristössä eri tavalla kuin perinteisessä massatuotannossa (Normand & Bradley, 2024). Esimerkiksi ylituotanto nähdään lean-ajattelussa hukkana, mutta HMLV-tuotannossa varastot voivat toimia tärkeänä puskurina vaihtelevaa kysyntää vastaan. Tuotteiden räätälöinti lisää lisäksi tuotannon aikataulutuksen ja kuormituksen tasauksen haastavuutta, mikä voi lisätä odotusaikoja, siirtoja ja materiaalien tarpeetonta liikettä. Normand ja Bradley (2024) myös toteavat, että HMLV-ympäristössä pullonkaulojen tunnistaminen on usein vaikeampaa, kuin matalan vaihtelevuuden tuotannossa. Tämän lisäksi odottamisen hukka ilmenee eri tavalla, sillä HMLV-tuotannossa odotusajat johtuvat usein tuotteiden vaihtelevuudesta ja asetuksista pitkien tuotantosarjojen sijaan.

Osa tutkijoista pitää lean-ajattelua vaikeasti sovellettavana HMLV-tuotantoon. Tuotannon epävarmuus ja epävakaus heikentävät lean-työkalujen sekä periaatteiden tehokkuutta. Toisaalta osa tutkimuksista osoittaa, että oikein sovellettuna lean voi tuoda HMLV-ympäristöön merkittäviä hyötyjä, kuten virtauksen, läpinäkyvyyden ja tuotannon hallinnan parantamisen (Tomasevic ja muut, 2021).

4.2 Lean-työkalujen hyödyntäminen HMLV-ympäristössä

Vaikka lean-työkalujen soveltaminen HMLV-ympäristöön on haastavaa, useita lean-työkaluja voidaan hyödyntää tuotannon kehityksessä. Luvussa 2.3 on käyty läpi yleisimpiä lean-työkaluja. Niistä seuraavia voi esimerkiksi hyödyntää HMLV-ympäristössä: Value stream mapping, 5S-menetelmä, Kaizen sekä Kanban.

Value stream mapping (VSM) on yksi käytetyimmistä lean-työkaluista. Sillä kuvataan materiaalien ja informaation virtausta tuotannon eri vaiheissa (Kumar ja muut, 2022).

VSM auttaa tunnistamaan odotusaikoja, turhia siirtoja, keskeneräistä tuotantoa sekä muita hukkatyyppejä, jotka heikentävät tuotannon virtausta (Munro ja muut, 2022). Vaikka HMLV-tuotannon vaihtelevat tuotantoreitit tekevät arvovirran kuvaamisesta haastavaa, VSM voi auttaa hahmottamaan tuotannon keskeisiä ongelmia ja kehityskohteita.

5S-menetelmää voidaan hyödyntää HMLV-ympäristössä tuotannon hallinnan parantamisessa. 5S:n tavoitteena on ylläpitää järjestystä, siisteyttä ja standardoituja toimintatapoja työympäristössä (Munro ja muut, 2022). HMLV-ympäristössä tämä voi helpottaa työkalujen ja materiaalien löytämistä sekä vähentää turhaa liikkumista ja odottamista tuotannossa (Tomasevic ja muut, 2021).

Kaizen eli jatkuva parantaminen on myös yksi työkalu, jota voi hyödyntää HMLV-tuotannossa. Se ei ole suoranaisesti sidonnainen massatuotantoon vaan sitä voi hyödyntää kaikkialla. Kaizenin avulla voidaan tunnistaa kehityskohteita ja parantaa toimintaa vaiheittain ilman suuria muutoksia tuotantojärjestelmään (Tomasevic ja muut, 2021).

Kanbanin soveltaminen HMLV-ympäristöön voi olla haastavaa korkean tuotevariaation ja vaihtelevien tuotantomäärien vuoksi. Kuten Munro ja muut (2022) toteavat, kanban-järjestelmän toimivuus edellyttää tasapainoista materiaalin ja informaation virtausta, sillä epätasapaino johtaa varastojen kasvuun, viiveisiin ja lisäkustannuksiin. Tästä syystä tutkimuksissa on ehdotettu työkohtaisia kanban-ratkaisuja sekä vaihtoehtoisia tuotannonohjausmenetelmiä, kuten CONWIP-, POLCA- ja DBR-järjestelmiä (Tomasevic ja muut, 2021). Koska HMLV-tuotannossa ei ole selkeitä tuoteperheitä tai vakioituneita materiaalivirtoja, täysin tasaisen imuohjauksen saavuttaminen voi olla haastavaa, ja kanban-järjestelmää joudutaan muokkaamaan tuotannon erityispiirteisiin sopivaksi (Tomasevic ja muut, 2021).

4.3 Digitalisaatio lean-ajattelun tukena

Digitalisaation merkitys lean-ajattelun tukena on kasvanut. Perinteisten lean-menetelmien toteuttaminen voi olla hankalaa, koska ne perustuvat vakioituneisiin prosesseihin ja yksinkertaisiin työkaluihin.

Mrabbajin ja muiden tutkimuksessa ”Digital Lean Practices in High-Mix, Low-Volume Manufacturing: A Case Study of Manitowoc” (2024) havaittiin, että digitaalisten ratkaisujen yhdistäminen lean-käytäntöihin voi parantaa tuotannon suorituskykyä HMLV-ympäristössä. Digitaalinen visuaalinen ohjaus vähensi tuotannossa esiintyviä virheitä, kun taas digitaalisten työohjeiden hyödyntäminen paransi resurssien käyttöä ja työn laatua. Lisäksi digitaalisten työkalujen havaittiin lisäävän tuotannon läpinäkyvyyttä ja tukevan jatkuvaa kehittämistä tuotannon eri vaiheissa.

Wangin ja muiden tutkimuksen ”Digital twin-enhanced framework for optimizing high-mix/low-volume manufacturing” (2026) mukaan digitalisaatiota voidaan hyödyntää myös tuotannon optimoinnissa digitaalisen kaksosen (digital twin) avulla. Digitaalinen kaksonen mahdollistaa tuotantojärjestelmän reaaliaikaisen simuloinnin ja analysoinnin, minkä avulla voidaan tunnistaa pullonkauloja, arvioida tuotannon muutoksia ja kehittää tuotannonohjausta joustavammin.

Wangin ja muiden (2026) mukaan digitaalisten ratkaisujen avulla voidaan vähentää tuotannon kehittämiseen liittyviä operatiivisia ja taloudellisia riskejä erityisesti pienissä ja keskisuurissa yrityksissä (SMMEs). Lisäksi digitaalisten työkalujen avulla tuotannon muutoksia voidaan testata virtuaalisesti ennen käytännön toteutusta. Näin yritykset voivat kehittää HMLV-tuotantoaan joustavammin ja kustannustehokkaammin.

5 Soveltaminen venetuotantoon

Venetuotantoa voidaan pitää monilta ominaisuuksiltaan HMLV-tuotantona, sillä veneitä valmistetaan usein pieninä määrinä ja asiakaskohtaisesti räätälöityinä tuotteina (Gan ja muut, 2023, s. 1). Veneiden varustelu, materiaalit, moottorivaihtoehdot ja muut asiakasvaatimukset voivat vaihdella merkittävästi eri tuotteiden välillä. Veneiden korkea räätälöintiaste johtaa vaihteleviin tuotantoreitteihin ja työvaiheisiin, jotka ovat tyypillisiä HMLV-tuotannolle (Tomasevic ja muut, 2021). Venetuotannolle on lisäksi tyypillistä useiden eri työvaiheiden yhdistyminen samaan tuotantoprosessiin. Veneiden valmistuksessa voidaan hyödyntää esimerkiksi laminointia, kokoonpanoa, sähköasennuksia, sisustusta ja viimeistelyä, jotka vaativat erilaista osaamista ja resursseja.

Normandin ja Bradley'n (2024) mukaan HMLV-ympäristössä tuotteiden korkea variaatio lisää tuotannon monimutkaisuutta sekä vaikeuttaa materiaalivirtojen hallintaa ja tuotannon tasapainottamista. Venetuotannossa tämä voi näkyä esimerkiksi niin, että eri veneiden varustelu ja työvaiheiden kesto vaihtelee, jolloin tuotannon kuormitus ei jakaudu tasaisesti. Tämän lisäksi alalla on vahvat perinteet käsityömaisessä valmistuksessa (eng. craft manufacturing), mikä tuo omat erityispiirteensä teollisen tehokkuuden ja laadun tasapainotteluun (Henriksen ja muut, 2010).

5.1 Lean-ajattelun haasteet venetuotannossa

Kuten kappaleessa 4.1 on käyty läpi, lean-työkalujen soveltaminen HMLV-tuotantoon voi olla haastavaa. Lean-työkalut perustuvat vakaaseen kysyntään ja ennustettaviin materiaalivirtoihin (Tomasevic ja muut, 2021).

Venetuotannon korkea tuotevaihtelu, pienet valmistusmäärät, veneiden suuri fyysinen koko ja vaihtelevat tuotantoreitit aiheuttavat monia samoja lean-haasteita kuin muussakin HMLV-tuotannossa.

Venetuotanto on usein tilausohjautuvaa, eli valmistus käynnistyy asiakkaan tilauksen perusteella (Gan ja muut, 2023). Tämä lisää tuotannon joustavuuden tarvetta, mutta samalla kysynnän vaihtelu voi vaikeuttaa kapasiteetin ja tuotannon suunnittelua ja resurssien tehokasta käyttöä. Lisäksi venetuotannossa käytetään usein paljon alihankkijoita ja ulkopuolisia komponentteja, mikä voi lisätä toimitusketjun monimutkaisuutta ja vaikuttaa tuotannon läpimenoaikoihin. Venetuotannossa lean-toteutuksen haaste ei siis liity pelkästään yksittäisiin työkaluihin, vaan koko tuotannon vaihtelun hallintaan. Jos tuotteiden varustelu, työvaiheiden kestot ja materiaalit tarpeet muuttuvat paljon tilausten välillä, tuotannon virtausta on vaikea arvioida. Tällöin lean-ajattelun soveltamisessa korostuu tuotannon näkyvyyden parantaminen ja työkalujen joustava käyttö.

Yksi veneteollisuuden omista haasteista liittyy sen vahvaan käsityöperinteeseen. Henriksenin ja muiden (2010) mukaan venetuotannossa tuotesuunnittelu ja laatustandardit perustuvat usein yrityksen omiin perinteisiin ja subjektiivisiin arvioihin sen sijaan, että ne pohjautuisivat tarkkaan asiakasdataan. Leanin näkökulmasta tämä johtaa helposti yliprosesointiin (over-processing), jossa aikaa ja resursseja tuhataan sellaisten ominaisuuksien hiomiseen, joista asiakas ei todellisuudessa ole valmis maksamaan (Henriksen ja muut, 2010, s. 4). Lisäksi tuotannon fyysiset puitteet ovat poikkeukselliset: muotit ja veneiden rungot vievät paljon tuotantotilaa. Tämä vaikeuttaa layoutin suunnittelua ja tekee perinteisen tasaisen materiaalivirran luomisesta lähes mahdotonta (Ramundo ja muut, 2018). Tämän vuoksi venetuotanto eroaa monista muista HMLV-tuotannon muodoista.

5.2 Lean-työkalujen mahdollisuudet venetuotannossa

Vaikka venetuotanto sisältää paljon vaihtelua, lean-työkaluilla voidaan kehittää tuotannon virtausta ja vähentää tuotannossa esiintyvää hukkaa. HMLV-ympäristöön soveltuvat erityisesti sellaiset lean-työkalut, jotka tukevat tuotannon näkyvyyttä, työympäristön hallintaa ja jatkuvaa parantamista. Seuraavaksi tarkastellaan muutamia lean-työkaluja, joita voidaan soveltaa venetuotantoon:

Venetuotannossa voidaan hyödyntää standardoitua työtä, vaikka lopputuotteet ovatkin usein räätälöityjä. Tiedetyt työvaiheet, kuten laminointi, rungon valaminen, kokoonpano ja sähköasennukset sisältävät usein toistuvia työmenetelmiä, joiden standardointi voi vähentää virheitä ja parantaa työn laatua sekä nopeutta (Wang, 2010). Lisäksi selkeät työohjeet voivat helpottaa työntekijöiden välistä yhteistyötä tuotannossa, jossa useita eri työvaiheita tapahtuu samanaikaisesti.

5S-menetelmä voi puolestaan auttaa työympäristön hallinnassa ja materiaalien organisoinnissa. Venetuotannossa käytetään paljon työkaluja, komponentteja ja käsityötä, minkä vuoksi työpisteiden järjestelmällinen organisointi voi vähentää turhaa liikkumista ja helpottaa työn suorittamista (Munro ja muut, 2022). Koska veneet ja muotit vievät paljon tilaa, tehdaslayoutin toimivalla organisoinnilla pystytään myös välttämään raskaiden ja riskialttiiden osien turhaa siirtelyä, mikä on venetehtaassa merkittävä hukan lähde (Ramundo ja muut, 2018).

Value stream mappingia (VSM) voidaan hyödyntää materiaalivirtojen ja tuotannon pullonkaulojen tunnistamisessa. VSM voi auttaa hahmottamaan tuotannon kokonaisuutta ja tunnistamaan työvaiheita, joissa syntyy odotusta tai ylimääräistä siirtelyä (Kumar ja muut, 2022).

Kaizen eli jatkuva parantaminen voi soveltua venetuotantoon, koska kehittämistä voidaan tehdä pienin vaiheittaisin muutoksin ilman koko tuotantojärjestelmän uudistamista. Venetuotannossa tämä voi tarkoittaa esimerkiksi työpisteiden järjestyksen, materiaalien saatavuuden, työohjeiden tai yksittäisten työvaiheiden jatkuvaa parantamista. Kaizenin hyöty korostuu erityisesti ympäristössä, jossa tuotanto vaihtelee ja työntekijöillä on paljon käytännön tietoa tuotannon ongelmakohdista (Munro ja muut, 2022).

Vaikka imuohjaus ja kanban-kortit ovat perinteisiä lean-työkaluja, ne voivat olla HMLV-venetuotannossa liian kankeita, sillä monien erikoisosien tarve on satunnaista. Siksi alalla on usein järkevämpää siirtyä kohti ketterää aikataulutusta (eng. agile scheduling) ja dynaamista tuotannonohjausta jossa resursseja ja työvaiheita muokataan joustavasti sen mukaan, miten tilaa ja muotteja vapautuu (Ramundo ja muut, 2018).

Digitaalisten työkalujen avulla voidaan parantaa tuotannon näkyvyyttä, materiaalivirtojen seuranta sekä tiedonkulkua tuotannon eri vaiheiden välillä (Mrabbaj ja muut, 2024). Veneiden suuren fyysisen koon takia digitaalisten työkalujen hyöty voi korostua tuotannon suunnittelussa ja muutosten arvioinnissa. Wangin ja muiden (2026) mukaan digitaalisten ratkaisujen avulla tuotannon muutoksia voidaan testata virtuaalisesti ennen käytännön toteutusta, mikä voi vähentää kehittämiseen liittyviä riskejä ja kustannuksia. Samalla ne tukevat rinnakkaista suunnittelua (eng. concurrent engineering), jonka avulla työvaiheita voidaan toteuttaa samanaikaisesti ja tuotannon pullonkauloja vähentää (Ramundo ja muut, 2018).

5.3 Yhteenveto soveltamisesta venetuotantoon

Kirjallisuuden perusteella venetuotanto vastaa monilta osin HMLV-tuotannolle tyypillisiä ominaisuuksia. Ganin ja muiden (2023) mukaan HMLV-tuotannolle ovat tyypillisiä korkea tuotevariaatio, pienet valmistusmäärät ja vaihtelevat tuotantoreitit, kun taas Henriksenin ja muiden (2010) tutkimuksissa veneteollisuuden kuvataan perustuvan asiakaskohtaiseen räätälöintiin, käsityövaltaisiin työvaiheisiin ja joustavan tuotannon tarpeeseen. Näin ollen kirjallisuus tukee näkemystä siitä, että venetuotanto voidaan nähdä HMLV-tuotantoympäristönä, jossa lean-ajattelun soveltamiseen liittyvät haasteet ja mahdollisuudet ovat pitkälti samankaltaisia kuin muussa HMLV-tuotannossa. Lean-työkaluja voidaan kuitenkin hyödyntää muun HMLV-tuotannon tavoin erityisesti tuotannon näkyvyyden, työympäristön järjestyksen, materiaalivirtojen ja jatkuvan parantamisen kehittämisessä. Tärkeää on, että lean-työkaluja ei sovelleta venetuotantoon massatuotannon tavoin, vaan niitä mukautetaan HMLV-tuotannon tarpeisiin.

Onnistunut lean-muutos veneteollisuudessa vaatii tasapainoilua teollisen tehokkuuden ja alan käsityöperinteiden välillä. Lean-ajattelun tavoitteena ei ole vähentää tuotteiden laatua tai räätälöitävyyttä, vaan poistaa tuotannosta arvoa tuottamattomia työvaiheita ja hukkaa (Henriksen ja muut, 2010). Kun lisäksi tuotantoa ohjataan joustavasti tilanteen mukaan ja tehdas layout optimoidaan raskaiden siirtojen välttämiseksi (Ramundo ja muut, 2018), lean-ajattelu voi tukea venetuotannon kehittämistä erityisesti materiaalivirtojen, tuotannon hallinnan ja jatkuvan parantamisen näkökulmasta.

6 Johtopäätökset

Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena oli tarkastella lean-ajattelun soveltamista HMLV-venetuotantoon. Työssä käytiin ensin läpi lean-ajattelun keskeiset periaatteet ja työkalut, minkä jälkeen tarkasteltiin HMLV-tuotannon ominaisuuksia, haasteita ja etuja. Näiden pohjalta arvioitiin, miten lean-ajattelua voidaan hyödyntää tuotantoympäristössä, jossa tuotteet ovat pitkälle räätälöityjä, valmistusmäärät pieniä ja tuotantoreitit vaihtelevia.

Kirjallisuuden perusteella HMLV-tuotanto eroaa merkittävästi siitä tuotantoympäristöstä, johon lean-ajattelu on alun perin kehitetty. Lean perustuu vakaisiin materiaalivirtoihin, toistuviin prosesseihin ja standardoituihin työvaiheisiin, kun taas HMLV-tuotannossa tuotteet, työvaiheet ja kysyntä vaihtelevat paljon. Tämä tekee lean-ajattelun suorasta soveltamisesta haastavaa. Erityisesti kanbanin ja imuohjauksen kaltaiset työkalut voivat toimia heikommin, jos tuotannossa ei ole vakaita tuoteperheitä tai ennustettavia materiaalivirtoja.

Venetuotanto sisältää useita HMLV-tuotannolle tyypillisiä piirteitä. Veneitä valmistetaan usein pieninä määrinä ja asiakaskohtaisesti räätälöityinä tuotteina. Veneiden varustelu, materiaalit, moottorivaihtoehdot ja muut asiakasvaatimukset voivat vaihdella merkittävästi. Tämä johtaa vaihteleviin työvaiheisiin, epätasaiseen kuormitukseen ja haasteisiin tuotannon suunnittelussa. Lisäksi veneiden suuri fyysinen koko ja useiden erilaisten työvaiheiden yhdistyminen samaan tuotantoprosessiin voivat vaikeuttaa materiaalivirtojen hallintaa.

Lean-ajattelua voidaan kuitenkin hyödyntää venetuotannossa, kun sitä ei yritetä soveltaa suoraan massatuotannon logiikalla. Työn perusteella lean-työkalujen tärkein hyöty venetuotannossa liittyy tuotannon ongelmakohtien näkyväksi tekemiseen ja hukan vähentämiseen. Esimerkiksi 5S-menetelmä voi auttaa työympäristön järjestämisessä, VSM voi auttaa materiaalivirtojen ja pullonkaulojen tunnistamisessa ja standardoitu työ voi tukea toistuvien työvaiheiden laadun ja tehokkuuden parantamisessa. Kaizenin avulla

kehittämistä voidaan tehdä vähitellen ilman suurempia muutoksia koko tuotantojärjestelmään.

Digitalisaatio voi tukea lean-ajattelua erityisesti tuotannon näkyvyyden ja tiedonkulun parantamisessa. HMLV-ympäristössä reaaliaikainen tieto voi auttaa seuraamaan tuotannon etenemistä, materiaalivirtoja ja resurssien käyttöä. Digitaaliset työkalut eivät kuitenkaan korvaa lean-ajattelua, vaan ne toimivat sen tukena. Erityisesti venetuotannossa, jossa tuotteet ovat suuria ja tuotantovaiheet vaihtelevat, digitaalisten ratkaisujen hyöty voi näkyä parempana suunnitteluna ja tuotannon hallittavuutena.

Voidaan todeta, että lean-ajattelun soveltaminen HMLV-venetuotantoon on mahdollista, mutta se edellyttää työkalujen mukauttamista tuotannon erityispiirteisiin. Tavoitteena ei ole tehdä venetuotannosta täysin standardoitua massatuotantoa, vaan parantaa tuotannon virtausta, läpinäkyvyyttä ja resurssien käyttöä korkeasta vaihtelusta huolimatta. Lean-ajattelu voi siten tarjota venetuotannolle hyödyllisen kehittämisen viitekehyksen, kun sen soveltamisessa huomioidaan HMLV-tuotannon joustavuuden tarve ja asiakaskohtainen räätälöinti.

6.1 Tutkimuksen rajoitteet

Tämän tutkielman keskeinen rajoite liittyy tutkimusmenetelmään, sillä työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Tutkielman tulokset perustuvat aiemmin julkaistuun kirjallisuuteen eikä tutkimuksessa kerätty empiiristä aineistoa. Tästä johtuen johtopäätökset perustuvat pääasiassa kirjallisuudessa esiin nousseisiin havaintoihin ja näkökulmiin.

Lisäksi lean-ajattelun soveltamista juuri venetuotantoon käsittelevää vertaisarvioitua tutkimusta löytyi kirjallisuushaun perusteella rajallisesti. Tämän vuoksi osa venetuotantoon liittyvistä johtopäätöksistä perustuu HMLV-tuotantoa käsittelevän kirjallisuuden soveltamiseen veneteollisuuden kontekstiin. Vaikka venetuotannolla on

useita HMLV-tuotannolle tyypillisiä piirteitä, kaikkia havaintoja ei voida yleistää suoraan kaikkiin veneteollisuuden yrityksiin.

6.2 Jatkotutkimus

Jatkotutkimuksessa lean-ajattelun soveltamista venetuotantoon olisi hyödyllistä tutkia empiirisesti esimerkiksi tapaustutkimuksen, haastatteluiden tai kyselytutkimuksen avulla. Erityisen hyödyllistä olisi tarkastella, miten lean-työkaluja käytetään käytännössä suomalaisissa venevalmistusyrityksissä sekä millaisia hyötyjä ja haasteita niiden käyttöönottoon liittyy.

Lisäksi jatkotutkimuksessa voitaisiin tutkia tarkemmin digitalisaation ja lean-ajattelun yhdistämistä HMLV-venetuotannossa. Esimerkiksi digitaalisten työhöjeiden, reaaliaikaisen tuotannon seurannan ja digitaalisten kaksosten vaikutuksia tuotannon tehokkuuteen voisi tarkastella käytännön tuotantoympäristössä.

Myös eri valmistajien vertaileminen voisi olla hyödyllistä, jotta voitaisiin arvioida, miten tuotannon vaihtelu, räätälöintiaste ja valmistusmäärät vaikuttavat lean-ajattelun soveltavuuteen erilaisissa ympäristöissä.

Veneteollisuuteen kohdistuvaa lean-tutkimusta tarvitaan lisää, sillä aihetta käsittelevä vertaisarvioitu kirjallisuus on vähäistä verrattuna muihin valmistavan teollisuuden toimialoihin.

Lähteet

- Alston, F. (2017). *Lean Implementation: Applications and Hidden Costs*. Sustainable improvements in environment safety and health (First edition), Portland: CRC Press.
- Arcidiacono, G., Calabrese, C., & Yang, K. (2012). *Leading Processes to Lead Companies: Lean Six Sigma: Kaizen Leader & Green Belt Handbook*, Milano: Springer Milan.
- Chugani, N., Kumar, V., Garza-Reyes, J. A., Rocha-Lona, L., & Upadhyay, A. (2017). Investigating the Green Impact of Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma: A Systematic Literature Review. *International journal of lean six sigma*, 8 (1), 7-32.
- Gan, Z. L., Musa, S. N., & Yap H. J. (2023). A Review of the High-Mix, Low-Volume Manufacturing Industry, *Applied Sciences*, 13 (3), 1687.
- Henriksen, B., Rostad, C. C., Seim, A. R., & Seim, E. A. (2010). Improving Competitiveness in Craft Manufacturing – Quality Improvement in the Automotive and leisure Boat Industry. *POMS 21st Annual Conference*, Vancouver, Canada.
- Holweg, M. (2007). The Genealogy of Lean Production. *Journal of operations management*, 25 (2), 420-437.
- Klein, L. L., Tonetto, M. S., Avila, L. V., & Moreira, R. (2021). Management of lean waste in a public higher education institution, *Journal of Cleaner Production*, 286, 125386. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125386>
- Kumar, N., Shahzeb Hasan, S., Srivastava, K., Akhtar, R., Kumar Yadav, R., & Choubey, V. K. (2022). Lean manufacturing techniques and its implementation: A review, *Materials Today: Proceedings*, 64, 1188-1192. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.481>
- Modig, N., & Åhlström, P. (2013). *This is Lean: Resolving the Efficiency Paradox*, Stockholm: Rheologica Publishing.
- Moreira, M. r. a. & Alves, R. a. f. s. (2009). A Methodology for Planning and Controlling Workload in a Job-Shop: A Four-Way Decision-Making Problem. *International Journal of Production Research*, 47 (10) May, 2805-2821.
- Mrabbaj, Z., Masmoudi, M., Messaoudene, Z., Penz, B., & Depale, B. (2024). Digital Lean Practices in High-Mix, Low-Volume Manufacturing: A Case Study of Manitowoc.

- 2024 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD). <https://doi.org/10.1109/ICTMOD63116.2024.10878216>
- Munro, R. A., Ramu, G., & Zrymiak, D. J. (Toim.). (2022). *The ASQ certified six sigma green belt handbook* (Third edition). ASQExcellence.
- Nicholas, J. M., & Schonberger, R. (2018). *Lean production for competitive advantage: a comprehensive guide to lean methods and management practices* (Second edition), Boca Raton, FL: CRC Press
- Normand, A. & Bradley, T. H. (2024). An experimental investigation of Lean Six Sigma philosophies in a high-mix low-volume manufacturing environment. *PLOS One*, 19 (5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299498>
- Pazek, K. (2021). *Lean Manufacturing*. 1-10. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92922>
- Ramundo, L., Sullivan, B., Luglietti, R., Rossi, M., & Terzi, S. (2018). Lean Innovative Connected Vessels (LINCORN). *Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018*, Vienna, Austria.
- Tomasevic, I., Stojanovic, D., Slovic, D., Simeunovic, B., & Jovanovic, I. (2021). Lean in High-Mix/Low-Volume industry: a systematic literature review. *Production Planning & Control*, 32 (12), 1004-1019.
- Vuorinen, T. (2013). *Strategiakirja: 20 työkalua*. Helsinki: Talentum.
- Wang, J. X. (2010). *Lean manufacturing*. Boca Raton: CRC Press.
- Wang, X., Guo, J., Wang, L., & Zhang, Z. (2026). Digital twin-enhanced framework for optimizing high-mix/low-volume manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 39 (4-5), 551-571. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2025.2496890>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. New York: Free Press

Liitteet

Liite 1. Tekoälyn käyttö tutkimuksessa

Tämän tutkielman laadinnassa on hyödynnetty Open AI:n ChatGPT 5.5 -kielimallia. Olen käyttänyt tekoälyä apuna aiheen ideoinnissa, työn rakenteen suunnittelussa ja lähdeaineistojen arvioinnissa. Lisäksi malli on toiminut tukena englanninkielisen aineiston kääntämisessä ja tulkinnassa, tekstin sujuvuuden varmistamisessa sekä lähdeluettelon teknisessä muotoilussa. Olen tietoinen tekoälyn käyttöön liittyvistä rajoitteista ja riskeistä. Olen itse tarkastanut kaiken työssä esitetyn tiedon ja kannan täyden vastuun tutkielman lopullisesta sisällöstä ja laadusta.