

Maria Lahdenranta-Jakobsson

LEAN-AJATTELUN SOVELTAMINEN RAKENNUSTUOTOON

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Yliopistotutkija Eeva Järvenpää
Helmikuu 2021

TIIVISTELMÄ

Maria Lahdenranta-Jakobsson: Lean-ajattelun soveltaminen rakennustuotantoon
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Teknisten tieteiden kandidaattiohjelma
Helmikuu 2021

Lean on lähtöisin Toyotan autotehtailta Japanista, mistä se on 1990-luvulta lähtien levinnyt ja yleistynyt toiminnan kehittämisen ajattelumallina. Toyotan tuotantosysteemiin, TPS:in, pohjautuvia lean-työkaluja on otettu soveltaen käyttöön niin teollisuudessa kuin palvelutoimialoilla. Tässä työssä tutkittiin kirjallisuustutkimuksen avulla, miten lean-ajattelua sovelletaan rakennustuotannossa.

Tutkimuksen teoriaosuudessa koottiin yhteen lean-ajattelun tausta, peruseriaatteet sekä muutamia keskeisiä lean-menetelmiä. Lisäksi tutkimuksessa esiteltiin kirjallisuuden perusteella teorioita rakennustuotannon projektiluonteisuudesta, sekä siitä johtuvia, rakennustuotantoon vaikuttavia erityispiirteitä ja haastekohtia. Haasteiksi tunnistettiin aikataulupito, osaoptimointi ja tuotantoon sisäänrakennettu hukka.

Kirjallisuuden pohjalta tutkimuksessa kuvattiin rakennusalalle kehitettyä käsitettä lean-rakentaminen ja sen taustaa sekä tutkimusta. Lisäksi tutkimuksessa esiteltiin yksi ensimmäisistä ja keskeisistä rakennusalan omista lean-menetelmistä nimeltä Last Planner®. Last Planner® on työkalukokonaisuus, joka on keskittynyt tuotannon aikataulun luotettavuuteen liittyvien ongelmien ratkaisemiseen. Työssä pohdittiin lean-ajattelun soveltamista sekä sitä, millaisia hyötyjä soveltaminen tuo rakennustuotantoon.

Tehty kirjallisuustutkimus vahvisti aiempien tutkimusten tuloksia siitä, että lean soveltuu rakennustuotantoon ja että lean-ajattelun soveltaminen tarjoaa rakennustuotannon haasteisiin ratkaisuja ja työkaluja.

Avainsanat: Lean, lean-rakentaminen, rakennustuotanto, toiminnan kehittäminen, Last Planner®

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ALKUSANAT

Tämän kandidaatintyön osalta kiitos menee ohjaajalle Eeva Järvenpäälle joustavuudesta ja kannustavasta, rakentavasta palautteesta. Lisäksi kiitän tyttäriäni: Peppi, kiitos pitkistä päiväunistasi, jotka takasivat kirjoitusrauhan talvella 2021. Ja Ida, kiitos, kun jaksat kysyä aina miksi, vähintään viisi kertaa.

Espoossa, 10.2.2021

Maria Lahdenranta-Jakobsson

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TUTKIMUSMENETELMÄT JA -AINEISTO.....	3
3. LEAN-AJATTELUN HISTORIA, PERIAATTEET JA MENETELMÄT	5
3.1 Toyotan tuotantosysteemi	5
3.2 Lean-käsitteen synty	7
3.3 Leanin perusperiaatteet	7
3.4 Lean-menetelmät.....	9
4. PROJEKTIKOHTAINEN TUOTANTO RAKENNUSTEOLLISUUDESSA	12
4.1 Rakennustuotannon peruspiirteet.....	12
4.2 Toimitusketjut rakennustuotannossa	14
4.3 Rakennustuotannon haasteet	15
5. RAKENNUSTUOTANTOON SOVELLETTU LEAN-AJATTELU	18
5.1 Lean-rakentaminen ja sen määritelmä	18
5.2 Lean-ajattelu rakennustuotannossa	20
5.3 Lean-rakentamisen keskeisiä työkaluja	21
5.4 Lean-ajattelun implementointi rakennustuotantoon	23
6. POHDINTA	26
7. YHTEENVETO.....	28
LÄHTEET	29

LYHENTEET JA TERMIEN SELITYKSET

5S	Japanin kielen sanoista seiri (lajittele), seiton (järjestä), seiso (puhdista ja huolla), seiketsu (vakiinnuta toimenpiteet) sekä shitsuke (ylläpidä) muodostunut lyhenne. 5S on työkalu, jolla huolehditaan siisteyden ja järjestyksen ylläpidosta ja kehittämisestä.
Gemba	Japaninkielinen sana. Sana tarkoittaa suomeksi todellista paikkaa. Toyotan tuotantosysteemin mukaisessa toiminnassa tällä sanalla tarkoitetaan johtajien läsnäoloa tuotantolinjalla, jotta he näkisivät todellisen tilanteen.
Genchi gembutsu Heijunka	Japaninkielinen termi, tarkoittaa samaa kuin gemba. Japaninkielinen termi, joka Toyotan tuotantosysteemissä tarkoittaa tuotannon tasaamista.
Jidoka	Japaninkielinen termi, joka tarkoittaa vapaasti suomennettuna ”automaatiota ihmisen kosketuksella”. Toyotan tuotantoprosessissa jidokalla kuvataan tavoitetilaa, jossa virheet eivät pääse tuotannossa etenemään vaan työntekijä valvoo tuotantoa ja poistaa virheen välittömästi.
Just-in-time	Englanninkielinen termi, lyhennetään JIT, suomeksi juuri oikeaan aikaan, usein suomennettu nimellä juuri oikeaan tarpeeseen (JOT).
Kanban	Japaninkielinen termi, tarkoittaa suomeksi taulua tai korttia. Toyotan tuotantosysteemissä kanban on imuohjauskortti, joka määrittelee nimikkeen ja sen valmistusmäärän.
Kaizen	Japaninkielinen termi, suomennettuna tarkoittaa parannusta tai muutosta parempaan. Toyotan tuotantosysteemissä kaizenilla kuvataan jatkuvaa, pienin askelin etenevää prosessin kehittämistä ja suorituskyvyn parantamista.
Last Planner®	Rakennustuotannon tarpeisiin 1990-luvulla kehitetty lean-työkalu, joka korostaa tuotannon ja työn suunnittelua, toteutuneen suunnitelmien mukaisen työn mittaamista ja tehdyistä virheistä oppimista.
Lean	Lean on englanninkielinen termi tuotantofilosofialle, joka perustuu Toyotan tuotantosysteemiin. Termi on vakiintunut suomen kieleen.
Lean-rakentaminen	Lean-rakentaminen (englanniksi lean construction) on rakennusalan toimijoiden soveltama, lean-ajatteluun pohjautuva tuotannon toimintamalli.
Lean-tuotanto	Toyotan tuotantosysteemin pohjalta kehittynyt tuotantotapa. Lean-tuotanto on valmistavan teollisuuden käyttöönottama nimitys lean-ajattelun mukaisesta tuotannosta.
Toyota production system	Englanninkielinen termi, lyhennetään TPS, suomeksi Toyotan tuotantosysteemi. Termillä viitataan Toyotan autotehtaiden tuotantotapaan ja tuotannon ajattelumalliin, jonka pohjalta lean-ajattelu on kehittynyt.

1. JOHDANTO

Lean-ajattelu, joka pohjautuu Toyotan tuotantosysteemiin, on noussut yleisesti tunnetuksi tuotannon filosofiaksi 1990-luvulla. Lean-ajattelussa tavoitteena on muuttaa koko yrityksen tapaa toimia, se ei siis ole vain tuotantoprosessien parantamiseen keskittynyttä toimintaa (Womack et al. 1990; Liker 2004). Lean-ajattelussa keskeistä on määrittää, mikä on arvo ja miten sitä voidaan lisätä (Womack ja Jones 2003). Arvon lisääminen tapahtuu poistamalla hukkaa operatiivisesta toiminnasta (Ohno 1988).

Tuotantofilosofiana lean on yleinen ja se on laajasti omaksuttu tehdasperusteisen teollisuuden eri aloille. Myös muut toimialat ovat kiinnostuneet lean-ajattelumallista ja alkaneet soveltaa lean-periaatteita omassa toiminnassaan, kehittäen toimintaansa tukemaan erilaisia menetelmiä ja työkaluja (Liker 2004). Näin on tapahtunut myös rakennusalalla, jossa lean-tuotantoa vastaamaan on kehittynyt käsite *lean construction* eli lean-rakentaminen.

Tämä työ käsittelee lean-ajattelun soveltuvuutta ja soveltamista rakennustuotantoon. Tutkimusongelma, joka toimii kandidaatintyön punaisena lankana, on kysymys: Miten tehdasolosuhteissa kehittynyt, joustavan massatuotannon mahdollistava lean-ajattelu soveltuu rakennustuotantoon, joka lähtökohtaisesti on projektiperusteista ja jossa usein sopimusperusteisesti tuotannon toteuttajat, joita ovat niin projektin pääurakoitsijana toimiva rakennusyritys, materiaalityöntekijät kuin lukuisat aliurakoitsijat, ohjataan osatunnetusti omaa osaansa tuotannossa?

Tässä työssä kirjallisuusanalyysin pohjalta esitellään lean-ajattelun pääpiirteet ja projektikohtainen rakennustuotanto sekä selvitetään, mitä tarkoitetaan termillä lean-rakentaminen. Työssä ei ole tarkoitus esittää kattavasti koko rakennustuotantoa vaiheineen ja toimintatapoineen, mutta osana työn taustojen kuvaamista käsitellään rakennustuotannolle tunnusomaisia piirteitä ja erinäisiä tunnistettuja haasteita. Työssä mainitaan lyhyesti erilaisia rakennustuotantoon kehitettyjä lean-työkaluja. Näiden työkalujen yksityiskohtainen esittely ja arviointi rajataan pois työstä.

Työn alussa luvussa 2 esitellään, miten aineistoa työtä varten on kerätty ja millaista aineistoa kirjallisuustutkimuksessa on käytetty. Teoreettinen tausta kuvataan luvuissa 3 ja 4. Ensin luvussa 3 keskitytään esittelemään lyhyesti lean-käsitteen historia ja se, miten Toyotan tuotantosysteemistä on kehittynyt yleisesti tunnettu lean-filosofia. Tässä

yhteydessä mainitaan muutamia yleisimmistä, tunnetuimmista lean-työkaluista. Seuraavaksi luvussa 4 kuvataan keskeisiltä osin rakentamistuotantoa ja sen projektiluonnetta. Tässä kohtaa esitellään muutamia projektikohtaisen tuotannon synnyttämiä, rakennusalalla yleisesti tunnistettuja haasteita. Tämä kuvaus on tärkeää, jotta työn myöhemmissä luvuissa voidaan hahmottaa, miten lean-ajattelu soveltuu rakennustuotantoon.

Luku 5 keskittyy lean-rakentamiseen eli leanin adaptaatioon rakennustuotannossa. Luvun tavoitteena on löytää tutkitusta aineistosta vastaus keskeiseen kysymykseen: Miten lean-ajattelu soveltuu rakentamiseen ja miten sitä käytännössä sovelletaan? Tässä luvussa pyritään esittämään lisäksi muutamia alan julkaisuissa ja artikkeleissa esitettyjä kriittisiä näkökulmia.

Työn 6 luvussa esitellään kirjoittajan omaa pohdintaa ja omia, tutkimustyön tuloksena syntyneitä johtopäätöksiä. Työn viimeisessä luvussa, luvussa 7, kootaan yhteen työn tutkimuskysymys, itse tutkimustyö kuin tärkeimmät tutkimuksen löydökset.

2. TUTKIMUSMENETELMÄT JA -AINEISTO

Tämä kandidaatintyö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Tuotantotekniikan laitokselle. Työn aihe valikoitui kirjoittajan oman mielenkiinnon pohjalta ja tutkimusmenetelmäksi valikoitui kirjallisuustutkimus. Seuraavaksi esitellään työn tutkimusmenetelmä, jonka jälkeen kuvataan työssä käytettyjä lähteitä.

Työn tutkimusongelmaksi määriteltiin kysymys: Miten lean-ajattelu soveltuu rakennustuotantoon? Kandidaatintyön tutkimusmenetelmäksi soveltui parhaiten kirjallisuustutkimus, sillä tutkimuskysymykseen vastaaminen on mahdollista kattavalla kirjallisuustutkimuksella, jossa lähdeaineistoa lukemalla ja analysoimalla voidaan antaa kokonaiskuva sekä lean-ajattelusta ja sen soveltuvuudesta rakennustuotantoon että lean-rakentamisesta ja sen tutkimuksen nykytilasta.

Kirjallisuustutkimuksen varsinaisessa tutkimusvaiheessa on pystytty käymään läpi lukuisia tieteellisiä artikkeleita, konferenssijulkaisuja, diplomi- ja pro gradu-tason töitä, väitöskirjoja, alan ammattilehtien haastatteluita kuin myös aihealueeseen liittyviä liike-elämän ammattikirjoja. Kirjallisuustutkimuksessa osa aineistosta, kuten lean-ajattelun perusteokset ja lean-rakentamista ensimmäisiä kertoja käsitelleet väitöstutkimukset, ovat jo muutaman vuosikymmenen takaa. Koska tässä työssä on kyse kandidaatintyöstä, työn laajuus asetti omat rajoituksensa työn teoria- ja tutkimusosioissa käytetylle aineistolle.

Työn suunnittelu- ja tutkimusvaiheessa lähdeaineisto koottiin sekä Tampereen yliopiston että Aalto-yliopiston kirjastoista. Suurin osa luetusta aineistosta, erityisesti artikkeleista, jäi tutkimusvaiheessa tämän kirjallisen työn ulkopuolelle. Rajaamisen perusteina ovat olleet muun muassa artikkelin julkaisuajankohta ja -media sekä artikkelin tai julkaisun tieteellisyys ja riippumattomuus. Aineistossa on käytetty pääasiassa englanninkielisiä lähteitä. Aineistoa koottaessa etsittiin materiaalia englanniksi, suomeksi ja ruotsiksi. Pääpaino on pyritty antamaan kansainvälisille tieteellisille artikkeleille, mutta lisäksi aineistossa on mukana lean-ajattelun perusteoksiksi miellettyjä liike-elämän kirjoja, yksittäisiä diplomi- ja pro gradu-töitä, liseniaatintyö, väitöskirjoja kuin lean-rakentamisen puolestapuhujien tuottamia julkaisuja, kuten konferenssiartikkeleita.

Työn teoreettinen tausta kuvataan luvuissa 3 ja 4. Erityisesti luvussa 3 lähteinä on käytetty yksittäisiä lean-tuotantoa käsitteleviä perusteoksia. Esimerkkinä perusteoksista voidaan mainita lean-ajattelutapaa esittelevässä luvussa 3 käytetyt ”The Machine That Changed The World” (Womack et al. 1990) ja ”Toyota Production System: Beyond

Large-Scale Production” (Ohno 1988). On kuitenkin huomattava, että nämä perusteokset eivät ole tieteellisiä tutkimustuloksia kuvaavia julkaisuja vaan enemmänkin liike-elämän johtamisoppaita. Kuitenkin aihealuetta käsittelevissä artikkeleissa näihin teoksiin viitataan, vaikka ne eivät ole tieteellisiä artikkeleita, siksi ne ovat sisällytetty myös tämän kandidaatintyön aineistoon. Luvussa 4, jossa esitellään rakentamista ja projektikohtaista rakennustuotantoa, lähdeaineisto koostuu kirjojen lisäksi artikkeleista sekä muutamista diplomi-, pro gradu- ja väitöskirjoista.

Luvussa 5 keskitytään vertailemaan lean-ajattelutapaa ja sen soveltuvuutta rakennustuotantoon, tieteellisten julkaisuiden ohessa lähdeaineistoa kerättiin Lean Construction Institutin verkkosivujen lisäksi International Group for Lean Constructionin (IGLC) konferenssijulkaisuista. Näiden kautta löydettyjen lähteiden käyttäminen toki edellyttää kriittisyyttä, sillä molempien yhteisöjen ensisijainen tehtävä on edistää lean-rakentamista, näin ollen näiden tahojen julkaisemien artikkeleiden sisältö ei välttämättä sisällä riittävän kriittistä pohdintaa ja analysointia.

3. LEAN-AJATTELUN HISTORIA, PERIAATTEET JA MENETELMÄT

Tämä luku keskittyy kuvaamaan, miten lean-ajattelu on syntynyt ja mitkä ovat sen keskeiset vahvuudet. Lean ei ole mikään yksiselitteinen oppi ja johtamistapa, vaan se kuvataan useimmiten filosofiana. Lean-käsitteen alle mahtuu monenlaisia työkaluja, sovelluksia sekä erilaisia termejä. Leanin alkuperä on Japanissa Toyotan autotehtailla, ja sieltä se on levinnyt maailmalle erityisesti 1990- ja 2000-luvuilla. Alaluvussa 3.1 esitellään leanin alkuperä eli leanin isäksikin kutsutun Ohnon kehittämä Toyotan tuotantosysteemi. Itse lean-käsitteen taustaa kuvataan alaluvussa 3.2.

Lean-ajattelun tärkeimmät periaatteet, joihin myös Toyotan tuotantosysteemi perustuu, on kuvailtu alaluvussa 3.3. Työn tutkimuskysymyksen kannalta on olennaista ymmärtää, millaisia työkaluja ja menetelmiä lean-tuotannossa voidaan käyttää. Tässä työssä tavoitteena ei ole antaa yksityiskohtaista luetteloa kaikista lean-menetelmistä ja siksi alaluvussa 3.4 esiin nostetaan esimerkinomaisesti kolme erilaista työkalua, joiden avulla lean-ajattelua voidaan toteuttaa yrityksessä.

3.1 Toyotan tuotantosysteemi

Lean-ajattelun alkuperä ovat Toyotan autotehtaiden toimintatavassa, joka tunnetaan laajasti nimellä Toyotan tuotantosysteemi (engl. Toyota production system, TPS). Toyotalla syyt toimintatapojen kehittämiseen ja erilaisten lähestymistapojen löytämiseen olivat toisen maailmansodan jälkeisessä taloustilanteessa. Japanissa sodan jälkeen olosuhteet olivat haastavat, materiaali- ja energiapula sekä omien markkinoiden pieni koko synnyttivät tarpeen löytää tuotantotavan, jossa hukka olisi minimissään ja joka kuitenkin pystyisi tuottamaan massatuotteita eli autoja joustavasti asiakkaiden erilaisiin tarpeisiin. Tästä kaikesta syntyi Toyotalla vuosikymmenien aikana heidän tuotantosysteeminsä. (Womack et al. 1990; Liker 2004)

Hukalla on keskeinen asema Toyotan tuotantosysteemissä ja koko lean-ajattelussa. Päämääränä on eliminoida hukkaa prosesseista. Toyotalla tunnistettiin seitsemän hukkatyyppiä: ylituotanto, odottaminen, kuljettaminen, yliprosesointi, varastot, liikkuminen ja virhetuotteet. (Ohno 1988; Womack et al. 1990) Ohno (1988), joka työskenteli vuosikymmenet Toyotalla tuotantoinsinöörinä ja oli mukana rakentamassa Toyotan tuotantosysteemiä, korosti ylituotannon merkitystä hukan aiheuttajana.

Ylituotanto toimii monen muun hukan synnyttäjänä, ja siksi hänen mielestään ylituotanto tulisi ensimmäisenä pystyä eliminoimaan prosesseista (Ohno 1988).

Toyotan tuotantosysteemissä kaksi käsitettä, *jidoka* ja *just-in-time*, toimivat eräänlaisina kulmakivinä toiminnalle ja tuotannolle. Sekä jidokan että just-in-timen avulla Toyotan tuotantosysteemissä pystytään saavuttamaan asetetut tavoitteet eli korkea laatu, lyhyet toimitusajat ja alhaiset kustannukset. (Womack et al. 1990; Liker 2004)

Just-in-time on periaate, jossa pyrkimys on saada oikeaan tuotantopisteeseen juuri sillä hetkellä tarvittavaa tuotetta oikea määrä. Näin saavutetaan mahdollisuus reagoida kysyntämuutoksiin nopeastikin. (Liker 2004) Toyotan tuotantosysteemissä pahin hukista on ylituotanto (Ohno 1988), ja just-in-time on olennaisessa asemassa ylituotantoa poistettaessa. Tämän periaatteen avulla hukkaa voidaan eliminoida niin kuljetuksissa, varastoinnissa kuin odotuksissa (Ohno 1988). Just-in-time-ajattelussa välivarastot tulee pitää minimissään ja toimittajien (sisäisten ja ulkoisten) tulee pystyä vastaamaan muuttuviin materiaalitarpeisiin. Onnistuneesti toteutettu just-in-time-periaatteen käyttäminen tuo yritykselle kustannussäästöjä, sillä pääoma ei sitoudu turhiin varastoihin. (Liker 2004)

Jidoka puolestaan tarkoittaa tiivistetysti virheiden havaitsemista ja pysäyttämistä. Ohno (1988) kuvaa Toyotan tuotantosysteemiä käsittelevässä kirjassaan, että jidokassa pyrkimyksenä on pitkälle automatisoitu tuotanto, jossa työntekijä havaitsee virheen ja välittömästi estää virheen etenemisen. Toyotan tapauksessa tämä ei tarkoita vain yksittäisen virhetuotteen poistamista tuotantolinjalta. Työntekijällä on sekä oikeus että velvollisuus pysäyttää tuotanto, mikäli hän näkee siinä virheen. Tämän toteutuminen vaatii henkilöstöltä sekä sitoutumista ja välittämistä tuotannon prosessista kuin myös osaamista. (Ohno 1988)

Pelkästään oikeaan aikaan tulleet raaka-aineet sekä osavalmisteet ja virheiden nopea havaitseminen ja poistaminen tuotannosta eivät luo Toyotan tuotantosysteemiä. Yksi keskeinen termi on *heijunka*, joka Toyotan tuotantosysteemissä tarkoittaa tuotannon tasoittamista ja tasapainottamista. Tasaisesti virtaava tuotantoprosessi on päämäärä, jonka avulla esimerkiksi materiaalivirtojen oikea-aikaisuus (just-in-time) on helpompaa toteuttaa. (Ohno 1988; Matzka et al. 2012)

Heijunka, just-in-time sekä jidoka yhdistyvät vahvasti lean-ajattelun peruseriaatteisiin, joita kuvataan alaluvussa 3.3. Seuraavassa alaluvussa pyritään esittelemään, miten Toyotan tuotantosysteemistä syntyi monen toimialan omaksuma lean-ajattelu.

3.2 Lean-käsitteen synty

Lean-ajattelu perustuu pitkälti Toyotassa tehtyyn tuotannon jatkuvan parantamisen työhön mutta varsin nopeasti tälle tuotantofilosofialle löytyi sovelluskohteita autoteollisuuden ulkopuolelta. Toyotan tuotantosysteemi nousi laajempaan tietoisuuteen, kun vuonna 1990 julkaistiin Massachusetts Institute of Technologyssä tehtyihin tutkimuksiin perustuva kirja ”The Machine that Changed the World” (Womack et al. 1990).

Womack et al. (1990) perustivat kirjassaan esittämät näkemyksensä viisivuotisen tutkimusprojektinsa tuloksille. Projektin tavoitteena oli tunnistaa niitä tekijöitä, jotka olivat edesauttaneet autovalmistajia menestyksessään. Teoksessa korostettiin erityisesti Toyotan kyky ottaa henkilöstö osaksi tuotannon jatkuvaa parantamista (japanin kielellä tämä tunnetaan nimellä *kaizen*) sekä yrityksen tapa nähdä koko tuotantoprosessi aina suunnittelupöydältä asiakkaalle asti yhtenä virtaviivaisena prosessina. (Womack et al. 1990)

1990-luvun alusta lähtien lean-ajattelua on ryhdytty soveltamaan ja ottamaan käyttöön muillakin toimialoilla kuin autoteollisuudessa. Likerin (2004) mukaan leanin menestyksen taustalla on se vahva tulos ja menestys, jota Toyota on vuosikymmeniä tehnyt maailmanlaajuisesti. Tämä yhdistettynä leanin periaatteiden laajaan sovellettavuuteen toimialasta ja tuotantotavasta riippumatta on edesauttanut leanin aseman vahvistumisessa (Liker 2004). Lean-ajattelu on saanut kannatusta myös muualla kuin liike-elämän tai teollisuuden saralla, sitä on sovellettu esimerkiksi terveydenhuoltoalalla leikkaussalivien optimointiin (Leppikangas et al. 2015) ja pediatrian ensiavun toiminnan kehittämiseen (Mazzocato et al. 2012). Leanin soveltumista on käytännössä kokeiltu myös IT-alan asiantuntijatyöhön (Torkkola 2015).

Kuten alkuperäinen Toyotan tuotantosysteemi, ei siihen pohjautuva lean-tuotantokaan tarkoita yhtä yksittäistä työkalua. Lean ei myöskään ole nopeasti omaksuttava toimintatapa, jonka käyttöönotto onnistuisi hetkessä. Ensisijaisesti lean on ajattelumalli, joka ohjaa koko organisaation tapaa ajatella ja toimia. (Womack et al. 1990; Liker 2004)

Lean-ajattelun perustuksena on joukko yleisiä periaatteita, jotka ovat sovellettavissa eri toimialoille ja erilaisiin tuotanto- tai palveluprosesseihin. Seuraavassa alaluvussa 3.3 esitellään nämä peruseriaatteet.

3.3 Leanin peruseriaatteet

Lean-ajattelu rakentuu viiden periaatteen varaan. Nämä periaatteet keskittyvät arvon määrittämiseen, arvovirtaan ja jatkuvaan parantamiseen. Nämä viisi periaatetta

perustuvat Toyotan tuotantosysteemiin mutta ovat liikkeenjohdolle suunnatussa kirjallisuudessa esitetty toimialariippumattomina periaatteina. Näiden teosten mukaan (Womack ja Jones 2003, Liker 2004) erilaisten yritysten olisi sekä mahdollista että välttämätöntä noudattaa näitä leanin peruseriaatteita oman liiketaloudellisen menestyksensä varmistamiseksi.

Ensimmäinen periaatteista koskee arvon määrittämistä. Keskeinen kysymys, joka organisaatiossa tulisi esittää, on: Mikä lisää tuotteen arvoa asiakkaan näkökulmasta? Jotta organisaatio voisi määrittää, mikä lisää tai ei lisää arvoa, pitää sen ensin määrittellä, mitä arvolla tarkoitetaan. (Womack ja Jones 2003; Liker 2004; Kouri 2010)

Kun yrityksessä on pystytty määrittelemään arvo, seuraavana pitäisi pystyä tunnistamaan arvovirta ja sen eri vaiheet. Arvovirtaa määriteltäessä tärkeää on huomata, ettei arvovirta rajoitu yksiköiden tai tuotantolaitosten sisälle vaan arvovirta lähtee liikkeelle suunnitteluvaiheesta ja loppuu asiakkaan luokse. Arvovirta on se prosessi, josta asiakas on valmis maksamaan. (Womack ja Jones 2003; Liker 2004) Esimerkiksi organisaation tukitoiminnot eivät välttämättä ole osa asiakkaan kokemaa arvovirtaa.

Kolmas periaate lean-ajattelussa on arvovirtojen keskeytyksetön virtaaminen. Koska tavoitteena on lisätä asiakkaan kokemaan arvoa, toiminnot tulee tarvittaessa järjestää uudelleen niin, että nämä asiakkaalle arvoa tuottavat tuotteet virtaavat esteettömästi, keskeytyksettä. (Womack ja Jones 2003; Liker 2004) Arvovirran parantamisen mittariksi soveltuvat esimerkiksi läpimenoaikojen nopeutuminen: kun turhat vaiheet ja välivarastot ovat karsiutuneet prosessista, tuote saavuttaa asiakkaan aiempaa nopeammin (Kouri 2010).

Hukan eliminoiminen on keskeistä leanin mukaisessa toiminnassa. Neljäs periaate koskeekin imuohjautuvuutta. Periaatteen mukaisesti yrityksessä tulisi valmistaa vain sitä, mitä prosessin seuraava vaihe eli varasto imee ja vain sen verran kuin tarve on. Näin estetään välivarastojen ja puskureiden syntyminen eikä resursseja sitoudu niiden hallinnointiin. Imuohjattu tuotanto ei synny kerralla, vaan sen toteuttamiseksi yrityksessä tulee työskennellä pitkäjänteisesti, jatkuvan parantamisen ajattelun mukaisesti. (Womack ja Jones 2003; Liker 2004)

Viides periaate pureutuu juuri jatkuvaan parantamiseen ja pitkäjänteiseen työskentelyyn. Yrityksen tulisi pyrkiä täydellisyyteen eliminoimalla tuhlausta eli hukkaa. Tämä tapahtuu vain pienin askelin edeten, sillä prosessin suorituskykyä ei voida parantaa yhdessä yössä. Tämän pienin askelin etenevän parantamisen ja periaatteen nimi on kaizen. Kaizenin mukaisesti jatkuva parantaminen ei ole minkään yksittäisen organisaation osan

vastuulla, kaizenia tulee toteuttaa jokaisen yrityksessä työskentelevän, niin johdon kuin työntekijöidenkin. (Womack ja Jones 2003; Liker 2004; Kouri 2010)

Aiemmin mainitut Toyotan tuotantosysteemin keskeiset käsitteet just-in-time, jidoka sekä heijunka ovat vahvasti sidoksissa näihin leanin periaatteisiin. Heijunka, tasattu tuotanto, vaatii toteutuakseen arvovirtojen sulavan virtaamisen. Just-in-time ja imuohjautuvuus kulkevat käsi kädessä, imuohjautuvuus tarvitsee toteutuakseen oikea-aikaisia ja oikeamääräisiä materiaalivirtoja. Jidoka, virheiden havainnointi ja poistaminen ovat osa kaizenia. Virheen havaitseminen ja virheellisten tuotteiden poistaminen tuotannosta ei riitä, Toyotan tuotantosysteemin mukaisesti on tärkeää, että virheen (hukan) aiheuttaja eliminoidaan tuotannon prosessista. (Womack ja Jones 2003; Liker 2004)

Toyotan tuotantosysteemissä ihmisillä on merkitystä ja tähän pohjautuu Likerin (2004) mielestä lean-ajattelun haaste: toimintaa ei saada muutettua leanin mukaiseksi vain tuomalla nippua erilaisia työkaluja esimiesten ja työntekijöiden käytettäväksi. Työkalujen sijaan muutos tapahtuu ensisijaisesti yrityksen kulttuurin muutoksena.

Seuraavaksi tässä työssä esitellään leaniin perustuvia menetelmiä. Nämä menetelmät ovat osaltaan olleet tukena leanin periaatteiden käyttöönotossa, niin Toyotalla kuin muissakin yrityksissä.

3.4 Lean-menetelmät

Miten leanin periaatteita sovelletaan käytännössä? Womackin ja Jonesin (2003) korostaa, että yrityksen johto ei yksinään voi toteuttaa tarvittavia muutoksia. Toyotalla työntekijöillä on keskeinen rooli: he tuntevat työnsä, sen prosessit ja niiden käytännön toteutumisen. Yrityksen tulisikin panostaa työntekijöihinsä ja heidän osaamiseen, jotta periaatteiden mukaiset muutokset voidaan identifioida ja toteuttaa. (Womack ja Jones 2003)

Lean-ajattelun jalkauttamisen tueksi on kehitetty vuosien saatossa useita erilaisia työkaluja ja menetelmiä. Moni työkaluista on Toyotalla kehitettyjä mutta erityisesti yritysjohdolle suunnatussa kirjallisuudessa nämä työkalut on esitetty niin, että ne ovat sovellettavissa eri toimialoille ja erilaisille prosesseille. Tässä alaluvussa esitellään esimerkkinä muutama Toyotalta peräisin oleva lean-menetelmä: *kanban*, *5S* sekä *gemba*. Näistä kaksi ensimmäistä, *kanban* ja *5S*, ovat visuaalisen ohjauksen menetelmiä (Ohno 1988). Visuaalisella ohjauksella pyritään tuomaan nopeasti ja selkeästi esille poikkeamat (Ohno 1988). Jälkimmäinen, *gemba*, on toiminnan kehittämiseen ja erityisesti johtajille sekä esimiehille tarkoitettu työkalu (Liker 2004).

Toyotalla on käytetty visuaalisen ohjauksen menetelmiä, kuten kanbania, tuotannon varastojen ohjauksessa (Ohno 1988). Kanban on imuohjauksen menetelmä, joka perustuu tuotantolinjalla ja varastoissa oleviin kanban-kortteihin. Käytännössä kanban-kortti ohjaa esimerkiksi täydentämään varaosavaraoston puuttuvien nimikkeiden osalta korteissa mainittuihin määriin asti. (Ohno 1988; Matzka et al. 2012) Esimerkki tällaisesta kanban-kortista on kuvassa 1. Kortti määrittää nimikkeen (kuvan kortissa item, part no) ja sen valmistusmäärän (kuvassa quantity) kuin sijainnin (location) ja valmistajan (supplier).

KANBAN

ITEM: _____
 PART NO: _____
 QTY: _____
 LOCATION: _____
 SUPPLIER: _____

RETURN KANBAN
 CARD TO: _____

Kuva 1. Esimerkki Kanban-kortista (Dugenia 2013)

Kanban-menetelmällä tavoitellaan imuohjattua prosessia, jossa tuotteita valmistetaan tarpeen mukaan. Kanban on työkalu, jolla pyritään minimoimaan ylituotantoa ja selkeyttämään materiaalinohjausta sekä tuotantoa. (Ohno 1988; Matzka et al. 2012). Kanban-menetelmää on käytetty perinteisesti varastojen materiaalitilausten ohjauksessa mutta korttiajattelu soveltuu myös aineettomien asioiden hallintaan. Torkkola kuvaa kirjassaan, miten kanban-menetelmä on otettu käyttöön asiantuntija- ja projektitöiden hallinnassa. Kuten tehtaan varastossa, myös asiantuntijan työssä korttia siirretään tehtävän valmistumistason mukaan, ensin odottavien töiden varastosta työn alla oleviin ja lopulta valmistuneiden tehtävien puolelle. (Torkkola 2015)

5S puolestaan on menetelmä, jolla huolehditaan siisteydestä ja järjestyksestä (Kouri 2010). Tuotannon tehokkuuden, tuotannon laadun ja myös turvallisuuden kannalta hyvällä järjestyksellä ja siistillä työtiloilla on merkitystä. 5S on lyhenne, joka perustuu viiteen japanin sanaan: seiri, seiton, seiso, seiketsu ja shitsuke. Suomeksi nämä tarkoittavat: lajittele, järjestä, puhdista ja huolla, vakiinnuta toimenpiteet, ylläpidä. Suomennetut sanat kuvaavat, mitä osa-alueita 5S pitää sisällään ja missä järjestyksessä ne toteutetaan. (Ohno 1988; Kouri 2010)

Ensimmäinen eli lajittele kehottaa lajitella työpisteellä tai -tilassa olevat materiaalit ja tarvikkeet. Jokaisen esineen kohdalla pitäisi ensin arvioida, onko kyseinen esine tarpeellinen, sitten onko sitä tarpeellinen määrä ja lopuksi, onko tämä oikea paikka säilyttää kyseinen esine. Näin kunkin esineen läpikäymällä työpisteelle jää vain oikeat

esineet ja niitä oikea määrä. Järjestä-vaiheessa määritetään kunkin esineen oikea paikka ja kappalemäärä. Esimerkiksi, miten monta vasaraa työpisteellä säilytetään ja missä kohtaa työpisteen hyllyillä nämä vasarat sijaitsevat. (Ohno 1988)

Puhdista ja huolla-vaiheessa työalue, kuten tehtaan tuotantolinja tai rakennuskohteen yksittäinen kerros saa määrittelyn siitä, millainen on alueella oleva siisteystaso ja missä esimerkiksi ovat kulkuväylät, jotka on aina pidettävä vapaina. Puhdistus ja huolto eivät myöskään tapahdu ilman, että joku sen tekee, eli tehtävälle määritetään vastuuhenkilöt ja aikataulut sekä sovitaan siisteystaso, josta jatkossa pidetään kiinni. Vakiinnuta toimenpiteet tarkoittaa nimensä mukaisesti kaiken edellisissä vaiheissa tehdyn standardointia. Ylläpito-vaiheessa luotua standardia seurataan ja tarvittaessa päivitetään. 5S:n avulla työn standardointi lisääntyy, mikä osaltaan kasvattaa myös työn tuottavuutta. (Ohno 1988)

Kolmantena esimerkkinä tässä alaluvussa on gemba (tunnetaan myös nimellä genchi genbutsu). Gemba on johtamisen menetelmä, jota vaaditaan Toyotalla kaikilta johtajilta, mutta joka on Likerin (2004) mukaan saanut muissa yrityksissä toistaiseksi vähemmän jalansijaa. Koska yksikään työkalu itsessään ei onnistu muuttamaan organisaatiota ja sen tapoja toimia, vaatii lean-ajattelun mukainen toiminta myös vahvaa johtajuutta. Toyotalla tätä kutsutaan nimellä gemba. Gemban mukaisesti johtajien on mentävä tuotantopaikalle, heidän on tunnettava tuotantoprosessi ja arvovirta, jotta he voivat ymmärtää todellisen tilanteen ja nähdä, miten asiat ovat. Gembaa harjoittava johtaja siis seuraa, miten työtä esimerkiksi tuotantolinjan kussakin solussa tehdään, mitkä ovat työhöjeet ja miten näitä noudatetaan. Tavoitteena on löytää parannuksia ja kehittää toimintaa, ei arvioida yksittäisiä työntekijöitä ja heidän työsuorituksensa tasoa. (Liker 2004)

4. PROJEKTIKOHTAINEN TUOTANTO RAKENNUSTEOLLISUUDESSA

Edellisessä luvussa on pyritty kuvaamaan, mitä lean-käsitteellä tarkoitetaan ja millaista on lean-tuotanto. Koska työssä pyritään löytämään vastaus kysymykseen, miten lean-jattelu soveltuu rakennustuotantoon, tässä luvussa käsitellään rakennustuotantoa. Ensin esitetään tiivistettynä muutamia peruspiirteitä, jonka jälkeen alaluvussa 4.2 pyritään kuvaamaan rakennustuotannon toimitusketjuihin liittyviä, tuottavuuteen vaikuttavia seikkoja. Alaluku 4.3 keskittyy puolestaan esittämään muutamia rakentamiseen liittyviä projektikohtaisen tuotannon haasteita, joihin lean-tuotannon rakennusalan vastine, lean construction eli lean-rakentaminen, on pyrkinyt löytämään ratkaisuja. Lean-rakentaminen ja tähän perustuvat menetelmät esitellään luvussa 5, tässä luvussa niitä ei käsitellä.

4.1 Rakennustuotannon peruspiirteet

Rakennustuotantoa voi kuvata ja lajitella monin eri tavoin. Karkeimmin rakentaminen voitaisiin jakaa teolliseen rakentamiseen, jota toteuttaa rakennusalan yritys, ja niin sanottuun hartiapankkirakentamiseen, jossa rakentajana toimii yksityishenkilö ja rakennuskohteena on useimmiten omakotitalo. Toisaalta rakennustuotanto voidaan jakaa itse rakennettavan kohteen perusteella talonrakentamiseen (esimerkiksi kerrostalot, toimistotalot, kauppakeskukset) ja infrarakentamiseen (esimerkiksi tiet, sillat, metroliikennetunnelit) (Koski 1995). Tässä työssä rakennustuotannolla tarkoitetaan yleisesti ottaen kaikkea teollista rakentamista, joka tuottaa rakennuksia, kuten asuinkerrostaloja tai kauppakeskuksia, sekä teitä, tunneleita ja muita infrarakentamisen kohteita.

Koskela (2000) on esitellyt väitöskirjassaan eri lähteiden pohjalta listan rakentamisen luontaisista piirteistä. Hän nimesi nämä piirteet rakentamisen erikoispiirteiksi. Koskela kokosi yhteen eri tutkimuksissa ja artikkeleissa esitettyjä piirteitä, joissa tässä kohtaa mainitaan vain muutamia esimerkkeinä: rakennettavan kohteen ainutlaatuisuus, tuotannon ja organisaation kompleksisuus, lopputuotteen pitkä käyttöikä ja kestävyys, työntekijöiden vaihtuvuus tuotannon vaiheiden aikana. (Koskela 2000)

Ballard ja Howell (1998) puolestaan esittävät, että rakennustuotannolle ominaista ovat niin organisaation tilapäisyys, tuotteen ainutkertaisuus kuin tuotanto-olosuhteiden vaihtuminen. Eräs keskeinen piirre Ballardin ja Howellin mukaan rakentamisessa on se, että rakentaminen on sekoitus sekä valmistavaa työtä (kuten betonin valaminen) että asennustyötä (kuten ilmastointikanavien asennustyö). (Ballard ja Howell 1998)

Rakentamisessa on mukana useita osapuolia, kuten rakennetun kohteen käyttäjät, rakennuttaja, suunnittelija, pääurakoitsija, viranomaiset, materiaalitoimittajat ja aliurakoitsijat. Rakennushankkeet sisältävät myös lukuisia erilaisia vaiheita, ja jo ennen itse työmaalla tapahtuvaa tuotanto- eli rakentamisvaihetta projekti on läpikäynyt esimerkiksi hankesuunnittelu- ja rakennussuunnitteluvaiheen. Hankesuunnittelun aikana määritellään hankkeelle muun muassa tavoitteet, ajoitus, kustannukset, sijainti. Rakennussuunnitteluvaiheessa hankkeesta tuotetaan niin työpiirustukset kuin rakennustyöselitykset, jotka määrittelevät käytettävät aineet ja tarvikkeet sekä niiden laadun kuin työssä käytettävät menetelmätkin. Näissä molemmissa vaiheissa luodaan itse rakennustyölle monia vaatimuksia ja reunaehtoja. (Koski 1995)

Ballardin ja Howellin (1998) mielestä rakennustuotanto mielletään yleisesti, mutta heidän mielestään virheellisesti, ensisijaisesti projektiluonteiseksi tuotantotavaksi. Ballard ja Howell määrittelevät rakentamisen eri tavalla. Projektiluontoisuuden tai rakennuskohteen ainutlaatuisuuden sijaan he nostavat rakennustuotannon määritteleviksi piirteiksi kiinteät valmistuspisteet ja paikkasidonnaisuuden. Kiinteillä valmistuspisteillä Ballard ja Howell tarkoittavat rakennustyömaille tyypillistä valmistusta, jossa itse asennettava kohde on niin iso, että asennusryhmät siirtyvät asennuskohteesta toiseen. Näin työryhmät liikkuvat työpisteiden välillä, toisin kuin esimerkiksi autotehtailla autot siirtyvät tuotantolinjalla eteenpäin valmistuspisteestä toiseen. Paikkasidonnaisuus puolestaan johtuu lopputuotteen koosta. Toisin kuin esimerkiksi Toyotan kaltaisessa tehtaassa tuotantolinjaan perustuvassa autovalmistamisessa, rakentamisessa lopputuotteen suuri koko määrittää sen valmistuspaikaksi tuotteen lopullisen sijoituspaikan. Näin organisaatio ja tuotantovälineet siirtyvät sinne, missä rakennus tulee sijaitsemaan. Rakennustuotannossa itse tuotantovaihe ei ole ainoa, jossa rakennuksen sijainnilla on vaikutusta. Sidonnaisuus paikkaan näkyy myös rakennuksen suunnitteluvaiheessa, jossa tulee ottaa huomioon esimerkiksi tontin maaperä, alueen ilmasto, kaupungin kaavoituskäytännöt ja viranomaisten rakennusmääräykset. (Ballard ja Howell 1998) Rakentamisen projektiluonteisuus on siis seurausta tästä asennustyön työpisteen ja lopputuotteen sijoituspaikan vaihtuvuudesta: vaikka itse tuotantotekniikat säilyvät samana rakennustyömaiden välillä, työpisteiden erilaisuus ja työmaiden sijainti luovat erilaisia reunaehtoja tuotannolle.

Millaisia vaiheita rakennustuotanto pitää sisällään? Jos esimerkin omaisesti tarkastellaan asuinkerrostalon tuotantoa, jaetaan tuotannon suunnittelussa tuotantoaika kolmeen osaan: perustusvaihe, runkotyövaihe ja sisävalmistusvaihe. Perustusvaihe nimensä mukaisesti keskittyy rakennuksen perustuksiin: tässä vaiheessa tehdään esimerkiksi maaperän stabilointi, paalutus ja perustusten betonointi. Runkovaiheessa tapahtuu rakentamisen näkyvin osa: elementtivalmisteisissa kerrostaloissa kerrokset valmistuvat jopa alle viikossa ja rakennus saa näkyvän muotonsa. Runkovaiheessa tuotannossa hyödynnetään paljon esivalmistusta: esivalmistetut betonielementit, kuten seinä- ja porraselementit ja lattian muodostavat ontelolaatat tulevat elementtitehtailta asennusvalmiina työmaalle. Runkovaiheen jälkeen alkaa sisävalmistusvaihe, jonka aikana tuotanto keskittyy rakennuksen sisätiloihin: talotekniset ratkaisut, keittiö- ja muut kiintokalusteasennukset, laatoitus- ja maalaustyöt ja niin edelleen. (Koski 1995; Jakobsson 2010)

Rakennustuotannossa moni vaihe tapahtuu rinnakkain muiden kanssa (Koski 1995), ja esimerkiksi ikkunat asennetaan mahdollisimman pian elementtien asennuksen jälkeen ja yhdessä kerroksessa voivat esimerkiksi olla samanaikaisesti töissä niin maalari, laatoittaja, kalusteasentaja kuin sähkömieskin. Kuten Ballard ja Howell (1998) mainitsivat, rakennustuotannossa työryhmä siirtyy työpisteestä toiseen sen sijaan, että valmistettava tuote siirtyisi eteenpäin tuotantolinjalla. Työryhmien määrä voi olla jopa useita kymmeniä, koska samanaikaisesti työmaalla voi olla jopa sadan eri aliurakoitsijan työntekijöitä (Talvitie 2006). Aliurakoitsijoiden suuren lukumäärän ja työryhmien vaihtuvuuden voidaan olettaa tekevän tuotannon suunnittelusta ja johtamisesta työmaalla haastavaa.

4.2 Toimitusketjut rakennustuotannossa

Toimitusketjuilla on tuotannossa keskeinen merkitys – ilman tarvittavia materiaaleja työ ei valmistu sovitussa ajassa. Sekä Talvitien (2006) että Elfving et al. (2010) mukaan rakentamisessa tarvittavien erilaisten materiaalien lukumäärä sekä niiden volyymit voivat olla suuria. Esimerkiksi kauppakeskushankkeessa päivän aikana työmaalle voi saapua jopa yli sata toimitusta. Toisin kuin tehtailla tai kauppojen logistiikkakeskuksissa, rakennustyömailla varastointi-, vastaanotto- ja materiaalikäsittelyresurssit ovat rajallisia ja puutteellisia. Resurssien rajallisuus ja toimijoiden suuri lukumäärä aiheuttavat useita ongelmia materiaalivirroissa. (Talvitie 2006; Elfving et al. 2010)

Toimitusketjut synnyttävät häiriöitä rakennustuotantoon: toimitusten viivästyminen aiheuttaa tuotantokatkoksia ja liian aikaisin saapuvat kuormat taas synnyttävät välivarastointitarpeita (Kiljunen 2009). Koska rakentaminen on ominaispiirteeltään

epävarmuutta sisältävää toimintaa, rakennustuotantoon on sisäänrakennettu erilaisia puskureita (Howell ja Ballard 1995; Kiljunen 2009). Nämä puskurit ovat sidoksissa materiaalivirtoihin. Esimerkkeinä mainittakoon seuraavat tilanteet: Materiaalia tilataan suurempi määrä kuin todellinen tarve olisi (materiaalipuskuri) ja/tai materiaali tilataan työmaalle etuajassa (aikapuskuri) (Kiljunen 2009).

Kuten työssä aiemmin mainittiin, rakennustuotannon yksi ominaispiirteistä on projektien ainutkertaisuus (Koskela 2000), mikä näkyy myös toimitusketjuratkaisuissa: toimitusketjuja räätälöidään projekteittain ja yksittäiset toimijat kuten aliurakoitsijat keskittyvät optimoimaan toimintaa omalta näkökannaltaan aiheuttaen hukkaa koko tuotannon näkökulmasta (Talvitie 2006; Elfving et al 2010). Yksittäisten toimijoiden toteuttama osaoptimointi materiaalivirroissa synnyttää hukkaa, mikä näkyy muun muassa logistiikkakustannuksissa. Tutkimusten perusteella jopa 2/3 logistisista kustannuksista tapahtuu työmaalla siirrettäessä materiaaleja (Elfving et al 2010).

Yksittäiset työmaat eivät kuitenkaan ole syy toimitusketjujen kehittämättömyydelle eivätkä toiminnan osaoptimoinnille. Mutta mikä sitten luo edellytykset osaoptimoinnille ja toimitusketjujen kehittämättömyydelle? Rakentamisen integraatiomekanismeja ja tuotannon virtauttamista tutkineen RAIN-hankkeen loppuraportissa on esitetty, että syyt osaoptimointiin löytyvät alasta itsestään ja sen projektiorientoitumisesta (Haapasalo et al 2018).

4.3 Rakennustuotannon haasteet

Edellä esitettiin, että toimitusketjujen hallinta on rakennustyömaalla volyymien ja toimijoiden lukumäärän vuoksi haastavaa. Mitä muita haasteita projektikohtainen tuotanto asettaa rakentamiselle? Alaluvussa 3.1 mainittiin muutamia rakentamisen perus- tai erityispiirteitä. Kaikki piirteet eivät suinkaan tee projektikohtaisesta rakennustuotannosta erityisen haastavaa mutta muutama piirre on yhdistettävissä tuotannonsuunnittelun haasteisiin.

Elfving et al (2010) nostavat artikkelissaan esille sen seikan, että tuotannon kyky pysyä suunnitellussa aikataulussa on rakentamisessa alhainen, alle 70 prosenttia. Tämän pohjalta voidaan päätellä, että tuotannon suunnittelu on haastavaa, jos jopa kolmasosa suunnitelluista työtehtävistä ei valmistu määritellyn aikataulun puitteissa. Koskenvesan et al. (2010) huomio on, että osa luotettavuuden heikkoudesta johtuu suunniteltua nopeammasta tuotantotahdistista, eli tilanteista, joissa suunniteltu työ etenee arvioita ripeämmin ja valmistuu tunteja, jopa päiviä etuajassa.

Millaisia muita häiriötekijöitä kuin materiaalivirtojen hallinta rakennustuotannossa voi olla? Jakobssonin (2010) yksittäisillä työmailla tekemien tarkastelujen perusteella häiriöitä aiheuttivat muun muassa koneet ja kalusto, virheet ja puutteet suunnitelmissa, työryhmät sekä olosuhteet (kuten sää). Mikäli edeltävissä työvaiheissa ilmenee häiriöitä, aiheuttaa tämä kerrannaisvaikutuksia myös tuleviin työvaiheisiin. Näistä häiriöistä aiheutuu kertautuessaan lumipalloejektin kaltainen tapahtumien ketju, jonka korjaaminen vaatii työmaan työnjohdolta sekä kaikilta urakoitsijoilta lukuisia erilaisia ponnistuksia. (Jakobsson 2010)

Eräs rakentamisen ominaispiirteistä on erillisten työryhmien suuri lukumäärä. Kuten edellä on esitetty, työryhmät ovat yksi häiriöiden aiheuttajista. Aliurakoitsijoiden suuri määrä ja vaihtuvuus tuovat haasteita toimitusketjujen ja työmaalogistiikan hallintaan (Talvitie 2006; Kiljunen 2009) mutta aliurakoinnilla on selkeä vaikutus myös tuotannosuunnitteluun. Mikäli aliurakoitsija ei saavu paikalle sovittuna ajankohtana, tai työryhmän miesvahvuus tai osaamistaito ei ole riittävä työn suorittamiseen sovituissa aikarajoissa, päällekkäisten ja peräkkäisten työvaiheiden aikataulut muuttuvat (Jakobsson 2010).

Näyttää siis siltä, että rakentaminen sisältää erilaisia häiriöitä ja häiriöt ovat jopa osa arkipäivää rakennustyömailla. Koskenvesan et al. (2010) mukaan rakentamisen tuotannosuunnittelussa onkin sisäänrakennettua hukkaa. Heidän näkemyksensä perustuu rakentamisen tuotannosuunnittelun apuna käytettävien Ratu-korttien sisältämiin aikakomponentteihin, joissa on jo otettu huomioon tulevien häiriöiden viemä aika (Koskenvesa et al. 2010). Esimerkki Ratu-kortista on kuvassa 2. Ratu-kortissa tth/kpl tarkoittaa työntekijätuntia kappaletta kohti ja kpl/tv tarkoittaa kuinka monta kappaletta pitäisi työvuoroa kohti saada asennettua (Rakennustieto 2021). Kuvan esimerkissä T3 tarkoittaa tehollista aikaa eli työvuoroaikaa ja T4 tarkoittaa kokonaisaikaa, joka sisältää tuottavan työn lisäksi työhön vaikuttavat yli tunnin kestoiset tauot (Rakennustieto 2021).

Karkeutettu työmenekki		
	T3	T4
Ulkoseinäelementit	1,9 tth/kpl	2,3 tth/kpl
Väliseinäelementit	2,1 tth/kpl	2,6 tth/kpl

Karkeutettu työsaavutus		
	T3	T4
Ulkoseinäelementit	12 kpl/tv	10 kpl/tv
Väliseinäelementit	11 kpl/tv	9 kpl/tv

Kuva 2. Ratu 0392, Väli- ja ulkoseinäelementtityö. (Rakennustieto 2021)

Lähtökohtaisesti rakentamisen tuotannosuunnittelussa hyväksytään häiriöt, keskeytykset ja viivästymiset, sillä ne nähdään luonnollisena osana tuottavaa työtä.

(Koskenvesa et al. 2010). Tämä hukan hyväksyminen näkyy tuotannossa erilaisina aikaja materiaalipuskureina (Kiljunen 2009).

Projektikohtaisen tuotannon haasteiden ratkaisemiseksi rakennusyriyksillä on omat toimintajärjestelmänsä ja vakioidut tapansa toimia. Tosin toimintamallit nykyisellään hyväksyvät hukan ja perustuvat osaoptimointiin (Ballard ja Howell 1998; Koskenvesa et al 2010). Kim (2002) esittää väitöskirjassaan, että perinteinen rakennustuotanto on toimintokeskeistä ja projektin onnistumista mitataan arvioitujen kustannusten ja aikataulun toteutumisen kautta. Perinteisessä rakennustuotannossa optimoidaan jokainen toiminto erikseen ja työmaan tuotanto on työntöohjattua, missä työntö tulee aikataulusta ja budjetista (Kim 2002).

Sekä Kim (2002), Pekuri et al (2011) ja Koskenvesa et al (2010) väittävätkin, että rakennustuotannossa on mahdollisuuksia parantaa tuottavuutta ja tehokkuutta. Mitä ratkaisuja lean tarjoaa rakennustuotannossa tuottavuuden ja tehokkuuden parantamiseksi? Luvussa 5 keskitytään siihen, miten lean-periaatteet soveltuvat rakennustuotantoon ja onko lean-rakentaminen toimintatapana rakennustuotantoa hyödyttävää.

5. RAKENNUSTUOTANTOON SOVELLETTU LEAN-AJATTELU

Miten rakentaminen ja lean sopivat yhteen? Tässä luvussa tarkastellaan kirjallisuustutkimuksessa esille tulleita väitteitä ja näkemyksiä. Tarkoituksena on löytää perusteita sille, miksi ja millä tavalla lean-ajattelu soveltuu rakennustuotantoon. Toisaalta tässä kohtaa on perusteltua esittää kirjallisuustutkimuksen yhteydessä vastaan tulleet kriittiset mielipiteetkin. Tämän ohella luvussa esitellään rakennustuotantoa varten kehitettyjä lean-menetelmiä ja työkaluja. Luvun lopussa esitellään vielä muutamia lähteissä mainittuja leanin jalkauttamiseen liittyviä havaintoja.

5.1 Lean-rakentaminen ja sen määritelmä

Lean-ajattelu ja rakennustuotanto ovat kohdanneet ensimmäisen kerran jo 1990-luvun alussa. Tällöin Koskela (1992) ja Ballard (1994) sekä Ballard ja Howell (1994) ovat soveltaneet tahoillaan lean-ajattelumallia rakennustuotantoon. Toyotan tuotantosysteemi ja muun valmistavan teollisuuden käyttöön ottamat lean-menetelmät kuitenkin eivät ole sellaisinaan jalkautuneet rakennustuotantoon, sillä leanin soveltaminen suoraan valmistavasta teollisuudesta rakennustuotantoon on ollut ongelmallista (Eriksson 2010). Lean-ajattelun valmistavalle teollisuudelle tuomat hyödyt eivät voi olla täysin samat rakennustuotannossa, joka on luonteeltaan projektinomaista ja jossa jokainen lopputuote on yksilöllinen suunnitteluvaiheestaan lähtien (Jørgensen ja Emmitt 2008). Näin lean-tuotannosta on ajan kanssa syntynyt erillinen lean-rakentamisen käsite ja sen ympärille on puolestaan luotu omia rakennustuotannon käyttöön soveltuvia työkaluja.

Mistä lean-rakentaminen on syntynyt? Lean-rakentaminen on kehittynyt viimeisten kahdenkymmenen vuoden aikana rakennustuotannon vastineeksi lean-tuotannolle. Sekä Koskela että Ballard ja Howell, jotka ensimmäisinä yhdistivät lean-ajattelun ja rakennustuotannon, ovat työskennelleet tämän aihealueen parissa jo 1990-luvun alusta lähtien. Kukin heistä on tuottanut lukuisia lean-rakentamista käsitteleviä artikkeleita, ja sekä Ballard että Koskela ovat myös väitelleet tästä aihealueesta. Jørgensen ja Emmitt (2008) esittävät, että Koskelan väitöskirja (2000) on yksi lean-rakentamisen perusteoksia. Ballardin väitöskirja puolestaan käsittelee lean-rakentamisen ehkä tunnetuimpia työkaluja, jotka tunnetaan nimellä Last Planner® (Ballard 2000). Näitä työkaluja käsitellään erikseen alaluvussa 5.3. Ballard on lisäksi ollut 1997 perustamassa Howellin kanssa Lean Construction Institutea Yhdysvalloissa (Lean Construction

Institute, 2013). Tämän organisaation ensisijainen tehtävä on ollut alusta lähtien edistää ja kehittää lean-rakentamista, sitä tukevaa ajattelua sekä tukea Last Planner®-työkalujen jalkautumista. Suomeen Lean Construction Institute jalkautui 2008, jolloin Suomessa perustettiin lean-rakentamisen edistämiseen keskittyvä suomalainen Lean Construction Instituutti, LCI-Finland (LCI Finland 2021).

Mitä tässä työssä useasti jo toistetulla termillä lean-rakentaminen tarkalleen ottaen tarkoitetaan? Työn kirjallisuustutkimuksen perusteella voidaan sanoa, ettei määritelmä ole vielä täysin valmis. LCI-Finland, joka määrittelee tehtäväkseen tutkia sekä kehittää lean-periaatteita suomalaiselle rakennusteollisuudelle, on määritellyt lean-rakentamisen (eli lean constructionin) omassa sanastossaan seuraavalla tavalla: Lean construction – hukan eliminointi rakentamisprosessista (LCI Finland 2021). Kalifornian yliopiston Project Production Systems Laboratory, joka on rakentamisen projektijohtamiseen keskittyvä tutkimusyksikkö Berkeleyn kampuksella, esittää omassa alan sanastossaan, että lean-rakentaminen on lean-ajattelun soveltamista rakennusprojektien suunnittelussa ja toteutuksessa (Lean Construction Glossary 2021).

Jørgensen ja Emmitt (2008) väittävät tutkimuksensa perusteella, että lean-rakentamisen käsitteelle ei ole olemassa yhtä selkeää määritelmää. Kirjallisuustutkimuksessaan Jørgensen ja Emmitt havaitsivat, että monesti käsitettä lean-rakentaminen pidetään synonyyminä Last Planner®-työkaluille, ja lean-rakentamisen implementointi rakennusyrikykseen olisi yhtä kuin näiden työkalujen käyttöönotto rakennusprojekteissa. (Jørgensen ja Emmitt 2008). Tässä piilee leanin jalkauttamiseen liittyvä suuri riski: mikäli lean-ajattelun mukainen rakennustuotanto mielletään yhtä kuin nipuksi työkaluja, jää lean-ajattelussa vahvasti vaikuttavat peruseriaatteet, kuten jatkuva parantaminen, vähemmälle huomiolle (Pekuri et al. 2012). Tätä jalkautukseen liittyvää problematiikkaa tarkastellaan vielä erikseen alaluvussa 5.4.

Vaikka tarkka määrittely lean-rakentamisen käsitteestä puuttuisikin, on aihealuetta tutkittu ja aihetta käsitelty monissa konferenssiartikkeleissa, tieteellisissä tutkimuksissa kuin liikkeenjohdolle ja alan opiskelijoille kirjoitetuissa kirjoissa. Päälinjat tutkimuksissa ja julkaisuissa ovat Jørgensenin ja Emmittin (2008) mukaan: tuotannon suunnittelu, seuranta ja johtaminen; rakennusprojektin luonteenomaiset piirteet ja vaikutukset esimerkiksi toimitusketjuihin; työkalujen jalkautus. Tämänkin kirjallisuustutkimuksen aineistossa on jokaisen päälinjan edustajia.

5.2 Lean-ajattelu rakennustuotannossa

Koska lean-rakentaminen on saanut jalansijaa, ei vain tieteen ja tutkimuksen maailmassa vaan myös käytännön elämässä rakennustuotannossa, on tärkeää ymmärtää, miksi lean-rakentaminen nähdään usein rakennustuotannon kannalta tärkeänä ratkaisuna. Lean-rakentamisen puolesta puhuvat Ballard ja Howell (1998) esittävät, että nykyisin rakennusprojektit ovat kompleksisia ja tuotannon aikataulut aiempaa nopeampia. Heidän näkemyksensä mukaan lean-ajattelun omaksuminen osaksi rakennustuotantoa olisi ratkaiseva tekijä vastattaessa näihin haasteisiin (Ballard ja Howell 1998). Samaa mieltä lean-rakentamisen kyvystä ratkaista rakentamiseen liittyviä ongelmia ovat myös Howell ja Koskela (2000), Kim (2002) sekä Eriksson (2010).

Miten lean-ajattelu sitten ratkaisisi nämä Ballardin ja Howellin mainitsemat kompleksisuuden ja aikataulun kireyden ongelmat? Howell ja Koskela (2000) kuvaavat konferenssiartikkelissaan, että leanin avulla sekä käytetty aika että rahalliset kustannukset vähenevät. Tämä olisi seurausta siitä, että työ mitoitetaan vastaamaan työvoimaa ja käytettävissä olevia resursseja, ja työmäärät olisivat ennakoitavampia kuin nykykäytännössä. Lisäksi kustannukset vähenevät, kun tämä ennakoitava työmäärä parantaa, just-in-time-periaatteen mukaisesti, materiaalien ja työn virtausta (Howell ja Koskela, 2000). Kuten tämän työn edellisessä luvussa 4 mainittiinkin, rakennustuotannossa on nykyisin sisäänrakennettua hukkaa aika- ja materiaalipuskurien muodossa (Kiljunen 2009). On siis perusteltua esittää, että siirtymällä leanin mukaiseen tuotantoon, jossa materiaalivirrat noudattavat just-in-time-periaatetta ja jossa työtä suunnitellaan heijunkan mukaisesti tasaiseksi virraksi, näistä puskureista pystyttäisiin luopumaan ja ajassa ja materiaalimäärissä syntyneet säästöt voisivat parantaa projektin ja siihen osallistuvien pää- ja aliurakoitsijoiden taloudellista tulosta. Hukan vähentäminen toisi siis säästöjä ja tämä on yksi keskeisistä syistä sille, miksi rakennustuotannossa lean on saanut kannatusta (Eriksson 2010). Vaikka teoria ja tutkimukset tukevat tätä säästöpotentiaalia ja sen realisoitumista, on silti eri asia, ovatko pää- ja aliurakoitsijat sekä heidän työnjohtajansa ja työntekijänsä valmiita tällaisiin puskurien purkamisiin. Tämä on osa jalkautuksen ongelmaa, jota käsitellään myöhemmin alaluvussa 5.4.

Ballard ja Howell huomauttivat artikkelissaan vuonna 1998, että siihen asti lean-rakentaminen oli keskittynyt lähinnä korostamaan hukkaa ja tavoittelemaan hukan vähentämistä, mutta heidän mielestään jatkossa käsitteinä että tavoitteina arvovirta ja hukan vähenemisen lopputuloksena syntyvä arvon maksimointi tulisivat saamaan enemmän huomiota (Ballard ja Howell, 1998). Myöhemmin Bryden ja Schulmeisterin (2012) mukaan lean-rakentamisen pääperiaatteita ovat sekä hukan minimointi että arvon

maksimointi, eli Ballardin ja Howellin näkemys näyttää toteutuneen. Voidaan väittää, että lean-rakentaminen ei ole ollut eikä kenties vielä tällä hetkelläkään ole mikään valmis kokonaisuus, vaan ajassa kehittyvä rakennustuotannon ajattelutapa.

Lean-rakentaminen on tutkimusalueena nuori, ja siihen keskittynyt tutkimus vielä lean-tuotantoon verrattuna vähäistä. Tutkimuksen vähäisyys ja tutkimusaiheen nuoruus ovat Jørgensenin ja Emmittin (2008) sekä Erikssonin (2010) mielestä syitä siihen, että artikkeleita ja keskustelua sävyttää vahva positiivinen asenne. Jørgensenin ja Emmittin (2008) artikkelissaan esittämä keskeinen kysymys on, jäävätkö lean-tuotannossa havaitut ja todistetut ongelmat huomiotta lean-rakentamista käsiteltäessä? He viittaavat artikkelissaan Ballardin ja Howellin (1999, Jørgensen ja Emmitt 2008 mukaan) esittämään väitteeseen, jonka mukaan lean on rakennustuotannolle positiivinen ilmiö, eikä sen jalkautus rakennustuotantoon välttämättä johda negatiivisiin seurauksiin. Jørgensen ja Emmitt kuitenkin korostavat, että lean-tuotanto on saanut osakseen kritiikkiä eikä jalkautukset eri toimialoilla ja yrityksissä ole sujuneet ongelmitta. Heidän mielestä olisikin tärkeää, että lean-rakentamista käsiteltäessä nostettaisiin esille myös riskit ja ongelmat. (Jørgensen ja Emmitt 2008)

Lean-rakentamisen jalkautukseen liittyviä ongelmia käsitellään alaluvussa 5.4 ja seuraavaksi tässä työssä esitellään lean-rakentamisen keskeisiä työkaluja.

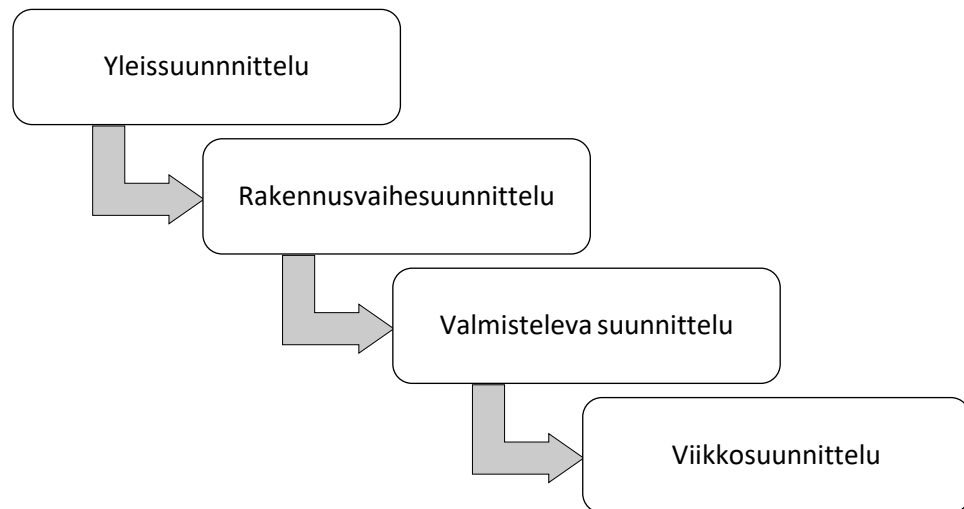
5.3 Lean-rakentamisen keskeisiä työkaluja

Toyota kehitti vuosien saatossa tuotantosysteeminsä osaksi erilaisia työkaluja, jotka ovat levinneet lean-ajattelun mukana eri toimialoille (Liker 2004). Näistä työkaluista mainittiin työn luvussa 3 esimerkinomaisesti kanban, 5S ja gemba. Lean-rakentamisen tueksi on kehitetty omat työkalut, ja tässä alaluvussa pyritään antamaan kuvaus yhdestä keskeisimmästä ja tunnetuimmasta lean-rakentamisen menetelmästä nimeltä Last Planner®.

Kuten aiemmin jo mainittiin, Ballard on kehittänyt lean-rakentamisen tunnetuimmat työkalut yhdessä Howellin kanssa. Tämä työkalusarja on nimeltään Last Planner®, jonka Ballard esitteli ensi kertaa 1993 lean-rakentamisen konferenssissa (Ballard 2000). Nimensä Last Planner® on saanut rakennustyömaan tuotannosta: siellä viimeinen suunnittelija, *last planner*, on se henkilö, joka toimeenpanee tehtäviä (Ballard 1994). Last Planner® on rakennustuotannon ohjausmenetelmä, jolla pyritään tuottamaan ennustettavaa, häiriötöntä työn virtausta. Menetelmä perustuu neljään aikajänteeseen sidottuun suunnittelutyökaluun sekä oppimiseen, joka puolestaan perustuu tuotannon

luotettavuuden mittaamiseen ja syntyneiden poikkeamien juurisyistä oppimiseen. (Ballard ja Howell 1994, Ballard 2000; Lean Construction Institute 2007)

Last Planner® korostaa työn suunnittelun tärkeyttä. Last Plannerin® perustana ovat neljä suunnittelun tasoa sekä suunnitelmien ja toteumien mittaamisen kautta oppiminen. Nämä neljä suunnittelutasoa, havainnollistettuna kuvassa 3, ovat yleissuunnittelu, rakennusvaihesuunnittelu, valmisteleva suunnittelu ja viikkosuunnittelu. (Ballard 2000; Lean Construction Institute 2007)



Kuva 3. Last Planner®-työkalun neljä suunnittelun tasoa

Karkeimman tason suunnittelu tehdään yleissuunnitteluvaiheessa. Yleissuunnittelulla asetetaan rakennusprojektille välitavoitteita. Tämän jälkeen tapahtuvassa rakennusvaihesuunnittelussa asetetaan työmaan toimijoille omat tavoitteensa, jotka tukevat rakennusprojektin yleissuunnittelun välitavoitteita. Rakennusvaihesuunnittelussa tärkeää on koota yhteen eri toimijat ja varmistaa, että kaikki ymmärtävät yhteiset tavoitteet ja työtavat. Rakennusvaihesuunnittelua tehdään usein yhteispalaverissa, jossa työskentelymenetelmänä käytetään käännettyä vaiheaikataulua (eli työn suunnittelu aloitetaan lopusta, edeten vaihe kerrallaan alkupisteeseen). (Ballard 2007; Lean Construction Institute 2007)

Valmisteleva suunnittelu on puolestaan viikkotason suunnittelua, jota tehdään jatkuvasti projektin edetessä. Ajallisesti valmistelevaa suunnitelmaa tehdään neljästä kuuteen viikkoon eteenpäin. Tässä suunnittelutasossa tärkeintä on varmistaa, että työn tekemiselle ei ole esteitä. Osa valmistelevaa suunnittelua on, että havaittu este poistetaan ja sen poistaminen määritellään tietyn toimijan vastuulle. (Ballard 2000; Lean Construction Institute 2007)

Viikkosuunnittelu on Last Plannerin® mukaisen suunnitteluvaiheen tarkin taso, jossa last planner, viimeinen suunnittelija (usein tietyn työryhmän työnjohtaja) suunnittelee viikoittain kunkin viikon tarvittavien tehtävien toteuttamisen. Tässä suunnitteluvaiheessa työmäärät tulee osata arvioida oikein ja päiväkohtaiset tavoitteet tulee olla realistisia. Lisäksi, kun kaikki toimijat tekevät viikkosuunnittelua samalla tarkkuustasolla, tiedon välitys parantuu ja muut toimijat tietävät, mitä toiset ovat luvanneet toteuttaa. (Ballard 2000; Lean Construction Institute 2007)

Edellä olleista suunnittelun vaiheista ei saada täyttä hyötyä irti, mikäli toiminta ei sisällä tapahtuneista poikkeamista ja niiden juurisyistä oppimista. Last Plannerin® mukaisesti oppiminen tapahtuu, kun toteutumatta jääneistä viikkosuunnitelman mukaisista tehtävistä tehdään juurisyysanalyysi. Näin ensin saadaan selville, miksi suunniteltu työvaihe ei toteutunut ja sen jälkeen pyritään muuttamaan toimintaa niin, että jatkossa vastaavanlaista syytä ei pääse tapahtumaan. Osa tätä oppimisprosessia on seuranta: viikkotason suunnitelmien toteutumista mitataan tehtävien toteumaprosentilla (TTP). Toteumaprosentti lasketaan suunnitelman mukaisten toteutuneiden tehtävien osuudella kaikista suunnitelluista tehtävistä. Mitä korkeampi toteumaprosentti on, sen parempi on tuotannon luotettavuus. (Ballard 2000)

Näiden rakentamistuotantoa varten kehitettyjen lean-työkalujen lisäksi Toyotan tuotantosysteemin valmiita työkaluja on hyödynnetty rakentamisessa. Varastojen hallinnassa on käytetty kanban-kortteihin perustuvia malleja (Bryde ja Schulmeister 2012; Burgos ja de Costa 2012). Just-in-time-periaatteen mukaisia, oikeaan aikaan, oikeassa määrin saapuvia toimituksia on myös testattu ja otettu onnistuneesti käyttöön (Elfving et al. 2010). Seuraavassa alaluvussa tarkastellaan tarkemmin sekä lean-ajattelun että työkalujen käyttöönottoa rakennustuotannossa.

5.4 Lean-ajattelun implementointi rakennustuotantoon

Kirjallisuustutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että lean-ajattelun implementoinnista on mahdollista hyötyä rakennustuotannossa. Potentiaalinen hyöty löytyy rakennustuotannosta itsestään. Kuten työssä on aiemmin esitetty, olemassa olevat toimintatavat sisältävät hukkaa ja perustuvat monilta osin osaoptimointiin, ja lean-ajattelun mukaisella tuotantomallilla näitä hukkia voidaan eliminoida (Ballard ja Howell 1998; Koskenvesa et al. 2010).

Hyvin yleisellä tasolla lean-ajattelun jalkautuksen haasteiksi kirjallisuustutkimuksen perusteella voidaan määritellä poliittis-sosiaaliset erot leanin synnyinmaan Japanin ja lean-ajattelua käyttöönottavien länsimaiden välillä (Jørgensen ja Emmitt 2008).

Toimialatasolla tuotantomallin erilaisuus autoteollisuuden ja rakennusteollisuuden välillä on puolestaan merkittävä tekijä, joka vaikuttaa lean-ajattelun jalkautukseen rakennusteollisuudessa (Jørgensen ja Emmitt 2008), ja minkä vuoksi lean-rakentaminen erilaisine työkaluineenkin on kehittynyt. Rakennusyritysten tasolla merkittävä haaste on perinteinen ”oman yrityksen etu on tärkeintä” ajattelutapa (Bryde ja Schulmeister 2012). Tämä luo omat haasteensa leanin käyttöönottoon, sillä leanin mukaisessa ajattelumallissa pyritään kaikkien yhteiseen etuun ja yhteiseen onnistumiseen aiemman, perinteisemmän urakoitsijakohtaisen osaoptimoinnin sijaan (LCI Finland 2021). Myös toimialalla vahvoina vaikuttavien ammattiliittojen merkitys pitää huomioida, ammattiliitot ovat perinteisesti vastustaneet tuotannossa tapahtuvia tehokkuuden mittauksia (Pekuri et al. 2011), jotka puolestaan ovat jatkuvan parantamisen näkökulmasta tärkeitä mittareita prosessin kehittämiseksi ja virtaviivaistamiselle.

Lean-rakentamisen implementoinnissa kulmakivinä Pekurin et al. (2012) mielestä ovat ihmiset, johtajuus, osaaminen, motivaatio sekä luottamus. Heidän mukaansa näiden kulmakivien pitäisi vaikuttaa niin tehtäviin rekrytointeihin, tuotantotiimien kokoamiseen ja kouluttamiseen kuin suhteisiin materiaalitoimittajiin ja aliurakoitsijoihin. Lisäksi Pekuri et al (2012) korostavat johdon roolia. Johtajien näkyvä sitoutuminen jatkuvan parantamisen toimintamalliin luo heidän mukaansa edellytykset onnistuneelle jalkautukselle.

Leanin käyttöönotto voi epäonnistua jo heti alkumetreillä, jos johto ei sitoudu jatkuvan parantamisen toimintamalliin ja muutoksen vaikutuspiirissä oleville ei tarjota riittävää koulutusta. Ihmisten luottamus muutoksen pysyvyyteen jää heikoksi ja motivaatio omaksua uusi toimintatapa omaan työhön on alhainen. (Bryde ja Schulmeister 2012) Vaarana tällöin onkin, että leanin tuomat uudistukset jäävät vain pintapuolisiksi projekteiksi, jotka eivät jalkautusvaiheen jälkeen jää elämään vaan katoavat vähitellen (Pekuri et al. 2012).

Bryde ja Schulmeister (2012) kuvaavat omassa case-tutkimuksessaan, kuinka lean-ajattelua noudattavalla ja lean-työkaluja käyttöönottaneella työmaalla urakoitsijoiden työnjohtajien haastatteluissa nousi usein esille kysymys ”Mitä hyötyä tästä on minulle?”. Tämä on kenties kaikessa muutosjohtamisessa ja uusien toimintatapojen jalkautuksessa yksi keskeisistä kysymyksistä. Mitä hyötyä työnjohtaja, työntekijät, rakennuttajan edustaja tai vaikka pääurakoitsijan työmaapäällikkö saa lean-rakentamisesta? Tähän kysymykseen on Bryden ja Schulmeisterin (2012) mielestä tärkeää pystyä vastaamaan jo ennen kuin työkalut otetaan käyttöön ja projekti käynnistyy. Muutosvastarinta ja varautunut asenne lean-ajattelua kohtaan voi heidän mukaansa johtua riittämättömän koulutuksen ja viestinnän aiheuttamasta tietämättömyydestä (Bryde ja Schulmeister 2012).

Uuden, leanin mukaisen toimintatavan implementointi pelkästään yksittäisen rakennustyömaan sisällä ei auta eliminoimaan kaikkea hukkaa rakennustuotannosta, saatavaa hyötyä lisätään vain jos mukaan otetaan toimitusketjutkin (Elfving et al 2010; Eriksson 2010; Bryde ja Schulmeister 2012). Tämä kasvattaa heti suuresti sitä määrää ihmisiä ja prosesseja, joita muutos koskee ja näin ollen muutoksen toteuttaminen vaatii enemmän aikaa ja resursseja. Bryden ja Schulmeisterin (2012) näkemys on, että muutoksen toteuttamisessa tärkeää on vastata sidosryhmien kokemuksiin pelkoihin ja epäilyihin. Heidän haastattelemansa työnjohtajat mainitsivat, että lean-ajattelun ja lean-työkalujen vastustaminen ei johdu haastateltujen omasta muutosvastarinnasta ja haluttomuudesta muuttua vaan enemmänkin siitä, että lean ja sen rakennustuotantoon tuomat hyödyt eivät ole heille tuttuja ja he näkevät ensisijaisesti muutoksen mukanaan tuomat riskit. (Bryde ja Schulmeister 2012) On siis tärkeää löytää jokaiselle osapuolelle hyötyjä ja tuoda ne esille.

Kuten työssä aiemmin mainittiin, Last Planner®-työkalut ovat usein mielletty synonyymiksi lean-rakentamiselle (Jørgensen ja Emmitt 2008). Samankaltaisen näkemyksen esittävät Pekuri et al (2012), heidän mielestään implementointi rakennusalalla keskittyy työkaluihin ja itse ajattelumalli jää taustalle. Mutta koska pelkillä työkaluilla ei muutosta, varsinkaan leanin takaa-ajamaa ajattelutavan muutosta, saada aikaiseksi, työkalujen sijaan rakennustuotantoon pitäisi ensin jalkauttaa lean-kulttuuri (Pekuri et al. 2012).

6. POHDINTA

TPS on saanut alkunsa tilanteessa, jossa hukkaa piti minimoida ja rajalliset tuotannon resurssit kohdistaa hyödyllisimmällä mahdollisella tavalla. TPS:n pohjalta kehittynyt lean-ajattelu on keskittynyt prosessien hukan vähentämiseen. Hukan vähentyminen lisää tuotteen arvoa. Rakentamisen keskeiset haasteet, joita työn luvussa 4 on esitelty, ovat tuotannon aikataulupito, sisäänrakennetut puskurit ja hukka. Nämä haasteet ovat samankaltaisia kuin ne haasteet, joiden ratkaisemiseksi TPS on Toyotalla alun perin kehitetty.

Lean-ajattelu tuo rakennustuotantoon taloudellisia hyötyjä eri tavoin. Hyötyjä voidaan saada sekä materiaalihukan, resursseihin liittyvän hukan että aikataulusta johtuvan hukan vähenemisen myötä. Näiden hukkien poistaminen, tai vähintään niiden vähentäminen, tuovat rahallisia säästöjä, ja sitä kautta parantavat projektin kannattavuutta.

Materiaalihukka vähenee, kun imuohjaus otetaan osaksi tuotannon ja toimitusketjujen toimintatapoja. Tästä syntyy taloudellista hyötyä erilaisten materiaalipuskureiden poistuessa ja varastohävikin pienentymisen muodossa. Tätä ovat tutkineet mm. Elfving et al (2010) kuin Bryde ja Schulmeister (2012). Jos työmaat perinteisesti toimivat työntöohjauksella, muutos imuohjaukseen on merkittävä toimintatavan muutos, mutta eri tutkimusten tulosten perusteella kannattava sellainen.

Aikatauluihin ja resursseihin liittyvä hukka pienenee, jos tuotannossa tavoitellaan heijunkaa, tasattua tuotantoa. Kun työmaalla toimivat erilliset toimijat (pää- ja aliurakoitsijat ja materiaalityöntekijät) yhdessä ratkovat tuotannon aikatauluttamista ja osaoptimoinnin sijaan keskittyvät kokonaisuuden kannalta optimoidun ratkaisun löytämiseen, tuotannon tahti on ennustettavampaa. Sen seurauksena aikataulujen suunnittelu ja suunnitelmien toteutuminen paranee. Näin myös työvoiman ja muun tuotannon resurssien kohdentaminen tapahtuu tehokkaammin. Tämä tehostuminen näkyy lopulta taloudellisena hyötynä. Tätä tehostumista ovat tutkineet mm. Howell ja Koskela (2000) sekä Haapasalo et al (2018).

Kirjoittajan oman työkokemuksen sekä esimerkiksi Jorgensenin ja Emmittin (2008) tutkimuksen perusteella on perusteltua väittää, että rakentamisen toimialalla lean-ajattelun omaksumisessa vaikeinta ei ole yksittäisten leanin mukaisten työkalujen käyttöönotto vaan kulttuurin ja ajattelutavan muutos. Koska rakentamisessa kyse on monien eri toimijoiden (suunnittelijat, tavarantoimittajat, aliurakoitsijat, pääurakoitsija,

rakennuttaja) kokonaisuudesta, tällaisen muutoksen läpivieminen vaatii pitkäjänteistä työtä, yli organisaatorajojen. Yhden yrityksen tai työmaan lean-muutos ei vielä riitä muuttamaan totuttuja toimintatapoja ja juurtuneita asenteita. Kulttuurin muuttaminen on hidasta mutta toisaalta, ilman kulttuurin muutosta työkalut ja menetelmät ovat ehkä käytössä mutta niiden hyödyistä ei saada kaikkea irti.

7. YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa tavoitteena oli selvittää, soveltuuko lean-ajattelu rakennustuotantoon. Vastausta tähän tutkimuskysymykseen etsittiin kirjallisuusanalyysin avulla, perehtymällä niin kotimaiseen kuin kansainväliseen aineistoon: tieteellisiin julkaisuihin, opinnäytetöihin, kirjoihin kuin alan toimijoiden verkkoaineistoihin. Tutkimuksessa perehdyttiin sekä lean-ajatteluun, Toyotan tuotantosysteemiin ja leanin menetelmiin, että projektiperusteiseen rakentamiseen, sen toimitusketjujen hallintaan kuin erityispiirteisiin. Lisäksi tutkimuksessa esiteltiin rakentamisen oma sovellus lean-ajattelusta, lean construction eli lean-rakentaminen, mukaan lukien sen pohjalta luotu työkalukokonaisuus Last Planner®.

Lähdeaineistoon ja tutkimukseen nojaten on perusteltua todeta, että vastaus tutkimuskysymykseen on yksiselitteinen ”kyllä”. Lean-ajattelu soveltuu rakentamiseen ja rakennustuotantoon, vaikka rakennustuotanto eroaakin leanin alkuperäisestä kodista eli pitkälle automatisoidusta, massatuotantoon perustuvasta autoteollisuudesta monin osin. Rakennustuotanto on projektiperusteista, paikasta riippumatonta ja monien eri toimijoiden muodostama muuttuva kompleksinen hankekokonaisuus. Siitä huolimatta lean tarjoaa ratkaisuja keskeisiin rakennustuotannon haasteisiin, joita ovat tuotannon luotettavuus eli aikataulupito, erillisten työryhmien ja eri työvaiheiden osaoptimointi sekä tuotantoon sisäänrakennettu ja siten hyväksytty hukka.

Leanista on kehittynyt oma rakentamisen erityispiirteistä ponnistava ajattelumalli, lean-rakentaminen, joka on pureutunut ratkomaan rakennusalan tehokkuuden haasteita. Toyotan tuotantosysteemin työkaluja ei ole kopioitu sellaisenaan tälle toimialalle, vaan rakennustuotannon tueksi on kehitetty muun muassa työkalukokonaisuus nimeltä Last Planner®, joka keskittyy ratkaisemaan erityisesti aikataulupitoon ja tuotannon aikataulun luotettavuuteen liittyviä ongelmia osallistamalla aikataulujen suunnitteluprosessiin useita eri toimijoita, yhteisen ja toimivan ratkaisun löytämiseksi kullekin projektille, projektivaiheelle kuin työkohteeseen.

Tämän työn tutkimustulos vahvistaa muiden tutkimusten tuloksia ja päätelmiä siitä, että lean soveltuu rakennustuotantoon ja että sen avulla voidaan parantaa rakennustuotannon tehokkuutta.

LÄHTEET

Ballard, G. (1994). The Last Planner, Spring Conference of the Northern California construction Institute, Monterey, 8 p.

Ballard, G. (2000). The last planner system of production control, dissertation, University of Birmingham, 192 p. Saatavissa: <https://etheses.bham.ac.uk/id/eprint/4789/1/Ballard00PhD.pdf>

Ballard, G. & Howell, G. (1994). Stabilizing Work Flow, Proceedings of the 2nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC, pp. 105–110. Saatavissa: <https://www.leanconstruction.org.uk/media/docs/stabilizingworkflow.pdf>

Ballard, G. & Howell, G. (1998). What kind of production is construction, Proceedings of 6th Annual Conference of International Group for Lean Construction, IGLC, 7 p. Saatavissa: <https://iglc.net/papers/Details/37>

Bryde, D. J. & Schulmeister, R. (2012). Applying Lean principles to a building refurbishment project: experiences of key stakeholders, Construction Management and Economics, Taylor & Francis Group, London, Vol. 30(9), pp. 777–794. Saatavissa: : <https://doi.org/10.1080/01446193.2012.700405>

Burgos, A.P. & de Costa, D.B. (2012). Assessment of kanban use on construction sites, Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC, 10 p. Saatavissa: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1037.725&rep=rep1&type=pdf>

Dugenia, E. (2013). The basics of Kanban, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 11.1.2021): <http://www.seton.com/blog/2013/11/lean-manufacturing-the-basics-of-kanban>

Elfving, J.A., Ballard, G. & Talvitie, U. (2010). Standardizing logistics at the corporate level towards lean logistics in construction, Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC, pp. 222–231. Saatavissa: <https://iglc.net/Papers/Details/679>

Eriksson, E.P. (2010). Improving construction supply chain collaboration and performance: a lean construction pilot project, *Supply Chain Management*, Vol. 15 (5), pp. 394–403. Saatavissa: <https://doi.org/10.1108/13598541011068323>

Haapasalo, H., Aaltonen, K., Kähkönen, K. & Saari, A. (2018). Rakentamisen integraatiomekanismit, Tuotantotalouden tutkimusraportteja 1/2018, Oulun yliopisto, 82 s. Saatavilla: <http://lci.fi/wp-content/uploads/2018/12/RAIN-hankkeen-loppuraportti.pdf>

Howell, G. & Ballard, G. (1995). Moving toward construction JIT, 3rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC, pp. 28–30.

Howell, G. & Koskela, L. (2000). Reforming project management: the role of lean construction, 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC, 9 p. Saatavissa: <http://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/26025/>

Jakobsson, J. (2010). Rakennuksen runkovaiheen tuotantotekniikan luotettavuuteen vaikuttavat tekijät, diplomityö, Aalto-yliopisto, 99 s.

Jørgensen, B. & Emmitt, S. (2008). Lost in transition: the transfer of lean manufacturing to construction, *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. 15(4), pp. 383–398. Saatavissa: <https://doi.org/10.1108/09699980810886874>

Kiljunen, J. (2009). Toimitustäsmällisyyden kehittäminen rakennustyömaan tuottavuuden nostamiseksi - Case Skanska Oy, pro gradu-työ, Aalto-yliopisto, 90 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201111181238>

Kim, D. (2002). Exploratory study of lean construction : assessment of lean implementation, dissertation, University of Texas, 191 p. Saatavissa: <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/11219>

Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction, CIFE Technical Report, Vol. 72, Stanford University, 67 p. Saatavissa: <https://www.leanconstruction.org/media/docs/Koskela-TR72.pdf>

Koskela, L. (2000) An exploration towards a production theory and its application to construction. VTT Building Technology, VTT Publications 408, 296 p.

Koskenvesa, A., Koskela, L, Tolonen, T. & Sahlsted, S. (2010). Waste and labor productivity in production planning, case Finnish construction industry, Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC, pp. 477–486.

Koski, H. (1995). Rakennushankkeen tuotannosuunnittelu ja -ohjaus, Rakennustieto, Helsinki, 113 s.

Kouri, I. (2010). Lean-taskukirja, Teknologiateollisuus ry, Helsinki, 39 s.

LCI Finland ry, verkkosivut. Saatavissa (viitattu 21.1.2021): <http://lci.fi/lci-finland/>

Lean Construction Institute. (2007). The Last Planner Production System Workbook, Project Production Systems Laboratory, University of California, Berkeley, 82 p. Saatavissa: <https://www.leanconstruction.org/wp-content/uploads/2016/06/Last-Planner-Workbook-rev5.pdf>

Leppikangas, H., Puolakka, P., Korppi, A. & Laine, H.-J. (2015). Leikkaussalityön optimointi - hukkaa minimoimalla ja virtausta parantamalla, *Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim*, Vol. 131(20), ss. 1947–1951. Saatavissa: <https://www.duo-decimlehti.fi/duo12479>

Liker, M. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, McGraw-Hill, New York, 330 p.

Matzka, J., Di Mascolo, M. & Furmans, K. (2012). Buffer sizing of a Heijunka Kanban system, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 23(1), pp. 49–60.

Mazzocato, P., Holden, R.J., Brommels, M., Aronsson, H., Backman, U., Elg, M. & Thor, J. (2012). How does lean work in emergency care? A case study of a lean-inspired intervention at the Astrid Lindgren Children's hospital, *BMC Health Services Research*, Vol. 12(28), 13 p. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1186/1472-6963-12-28>

Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press, New York, 152 p.

Pekuri, A., Haapasalo, H. & Herrala, M. (2011). Productivity and Performance Management – Managerial Practices in the Construction Industry, *International Journal of Performance Management*, Vol. 1, pp. 39–58. Saatavissa:

https://www.researchgate.net/profile/Harri_Haapasalo/publication/265175596_Productivity_and_performance_management_-_Managerial_practices_in_the_construction_industry/links/54a1364a0cf256bf8bae4c37.pdf

Pekuri, A., Herrala, M., Aapaoja, A. & Haapasalo, H. (2012). Applying lean in construction – cornerstones for implementation, *Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC*, pp. 18–20. Saatavissa:

https://www.researchgate.net/profile/Aki_Pekuri/publication/265175980_Applying_lean_in_construction_-_Cornerstones_for_implementation/links/5450c5c10cf201441e93d212/Applying-lean-in-construction-Cornerstones-for-implementation.pdf

Lean Construction Glossary (2021). Project Production Systems Laboratory, University of California, verkkosivut. Saatavissa (viitattu 21.1.2021):

<https://p2sl.berkeley.edu/glossary/>

Ratu 0392, väli- ja ulkoseinäelementtityö (2012). Ratu-kortisto, Rakennustieto, Helsinki. Saatavissa (viitattu 21.1.2021): <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%200392>

Talvitie, U. (2006). Työmaan materiaalitoimitusten lyhyen aikavälin ohjausmenettely, liseniaatintyö, Teknillinen korkeakoulu, 84 s.

Torkkola, S. (2015). Lean asiantuntijatyön johtamisessa, Talentum Pro, Helsinki, 274 s.

Womack, J., Jones, D. & Rood, D. (1990). *The Machine that Changed the World: the Story of Lean Production*, Rawson Associates. New York, 323 p.

Womack, J. & Jones, D. (2003). *Lean Thinking*, Simon & Schuster, New York, 400 p.