

Jyri Leppikoski

LEAN-RAKENTAMISEN MENETELMÄT JA TYÖKALUT KESTÄVÄN RAKENTAMISEN TUEKSI

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastaja: Kimmo Keskiniva
Toukokuu 2024

TIIVISTELMÄ

Jyri Leppikoski: Lean-rakentamisen menetelmät ja työkalut kestävän rakentamisen tueksi
(Methods and tools of lean construction to support sustainable construction)

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma

Toukokuu 2024

Kestävä rakentaminen tarkoittaa toimenpiteitä, joilla pyritään vähentämään ympäristövaikutuksia ja edistämään sosiaalista kestävyyttä siten, että se on myös taloudellisesti kannattavaa. Käytännössä kestävä rakentamista on edistetty tähän mennessä rakennusten elinkaariajattelulla, kestävämmillä materiaalivalinnoilla ja rakennusten paremmalla energiatehokkuudella. Kestävän rakentamisen edistäminen myös muilla tavoilla on tärkeää, jotta tulevaisuudessa on mahdollisuus päästä asetettuihin hiilineutraalisuustavoitteisiin.

Lean-rakentaminen on lean-ajatteluun perustuva filosofia, jonka tavoitteena on parantaa rakennusprojektien arvoa sen osapuolille vähentämällä hukkaa. Tyypillisesti lean-rakentamisella on tavoiteltu rakennustyön hukan eliminoimista ja tuotannon virtauksen parantamista. Lean-rakentamisen tavoitteet ovat kuitenkin niin lähellä kestävän rakentamisen tavoitteita, että niiden yhdistämistä on hyvä tutkia. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, voidaanko lean-rakentamisen menetelmillä ja työkaluilla tukea kestävä rakentamista.

Tutkimus oli kvalitatiivinen tutkimus, joka toteutettiin kirjallisuusselvityksenä, tarkoituksenaan tutkia kestävän rakentamisen ja lean-rakentamisen teorioita. Nämä kaksi teoriapohjaa yhdistettiin ja tutkittiin lean-menetelmien ja -työkalujen tukea kestävä rakentamiseen. Kirjallisuuden etsimiseen käytettiin pääasiassa Tampereen yliopiston Andor- ja Google Scholar -tietokantoja, mutta muutamat tieteelliset artikkelit löydettiin myös lean-rakentamisen kattojärjestöjen verkkosivujen kautta.

Tutkimuksen perusteella havaittiin, että lean-rakentamisen menetelmillä ja työkaluilla voidaan vaikuttaa kestävän rakentamisen tavoitteiden tukemiseen. Työssä tutkitut lean-menetelmät ja -työkalut olivat integroidut toteutusmuodot, tilaajan tavoitteisiin toimitus, 5S työympäristön järjestäminen, tahtituotanto ja arvovirta-analyysi. Menetelmien ja työkalujen toistuvimmat hyödyt kestävän rakentamisen osa-alueisiin olivat läpimenoajan lyhentyminen, hukan pienentyminen ja parempi laatu. Työn yksi päätelmä oli myös, että lean-rakentamisen toteutuksen tulee olla pitkäjänteistä ja suunniteltua työtä. Tämä tukee myös kestävän rakentamisen edistämistä, jonka tulee olla pitkäjänteistä työtä kohti kestävämpiä toimintatapoja. Työssä lean-ajattelun viitekehyksenä toimi Toyota-talo, jonka innoittama tutkimuksen lopuksi luotiin vielä kestävän rakentamisen mukainen Toyota-talo.

Avainsanat: Kestävä rakentaminen, Kestävä kehitys, Lean-rakentaminen, Lean-ajattelu, Lean-menetelmät, Lean-työkalut

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuskysymykset ja rajaus	1
1.2 Tutkimusaineisto ja rakenne	2
2. KESTÄVÄ RAKENTAMINEN	3
2.1 Rakentamisen päästöt	3
2.2 Kestävä kehitys ja rakentaminen	4
3. LEAN-AJATTELU	6
3.1 Historia ja tausta	6
3.2 Filosofia, periaatteet, menetelmät ja työkalut sekä ideaalitila	6
3.3 Arvon määrittelemine ja hukka	9
4. LEAN-RAKENTAMINEN	11
4.1 Lean-rakentamisen tausta	11
4.2 Lean-rakentamisen periaatteet	12
4.3 Kestävän rakentamisen lean-ideaalitila	13
5. KESTÄVÄN RAKENTAMISEN LEAN-MENETELMÄT JA -TYÖKALUT	15
5.1 Integroidut toteutusmuodot	15
5.2 Tilaajan tavoitteisiin toimitus	16
5.3 5S-työympäristön järjestäminen	19
5.4 Tahtituotanto	19
5.5 Arvovirta-analyysi	21
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	23
LÄHTEET	27

1. JOHDANTO

Kestävä rakentaminen on noussut keskeiseksi teemaksi nykypäivän rakennusalalla. Kestävän rakentamisen taustalla on kestävä kehitys, joka ottaa huomioon yhdessä taloudelliset, ympäristölliset ja sosiaaliset näkökulmat. Rakennetun omaisuuden tila 2021 -raportin mukaan ”Kestävä rakennettu ympäristö on edellytys elinvoimaiselle yhteiskunnalle ja hyvälle arjelle.” (ROTI 2021). Kestävä rakentaminen vastaa myös suoraan YK:n Agenda 2030 -ohjelman yhdenteentoista tavoitteeseen, jonka tavoitteena on kestävät kaupungit ja yhteisöt. Rakennusalalla on siis merkittävä vaikutus kestäväan kehitykseen.

Kestävää rakentamista on tähän asti tutkittu ja edistetty monilla eri tavoilla. Merkittävimmän sitä on käytännössä edistetty rakennusten energiatehokkuuden, materiaalivalintojen, kiertotalouden ja elinkaariajattelun näkökulmasta. Myös Aalto-yliopistolla on oma Building 2023 -hanke, joka keskittyy rakennusalan nykyisiin ja tuleviin haasteisiin, kuten kestäväan rakentamiseen. Euroopan unionin tavoitteena on olla hiilineutraali vuonna 2050 ja Suomen jo vuonna 2035. Jotta näihin tavoitteisiin päästään, tulee rakennusalalla jatkaa kestäväan rakentamisen tutkimista ja edistämistä myös muilla tavoilla.

Yksi tapa edistää kestäväan rakentamista on tuoda lean-rakentaminen kestäväan rakentamisen tueksi. Tyypillisesti lean-rakentamista pidetään taloudellista tuottavuutta parantavana ajattelutapana, joka keskittyy arvon lisäämiseen eliminoimalla hukkaa. Lean-ajattelun keskeinen ydin on kuitenkin niin lähellä kestäväan rakentamisen tavoitteita, että sen mahdollisuuksia edistää kestäväan rakentamista on tutkittava. Aiheesta aiempaa tutkimusta ovat muun muassa tehneet Carvajal-Arango et al. (2019) *Relationships between lean and sustainable construction: Positive impacts of lean practices over sustainability during construction phase*.

1.1 Tutkimuskysymykset ja rajaus

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten lean-rakentamisen menetelmillä ja työkaluilla voidaan tukea kestäväan rakentamisen tavoitteita. Tutkimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi on asetettu seuraavat neljä apututkimuskysymystä:

- Mitä on kestävä rakentaminen?
- Mitä on lean-rakentaminen?

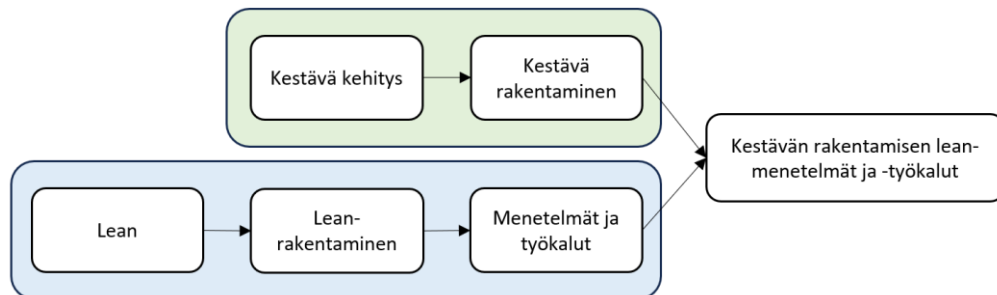
- Mitä ja millaisia lean-rakentamisen menetelmiä ja työkaluja on?
- Millä tavoilla lean-rakentamisen menetelmät ja työkalut voivat vaikuttaa kestäväan rakentamisen tavoitteisiin?

Lean-rakentamiselle on historian aikana luotu lukuisia eri menetelmiä ja työkaluja. Tutkimuksen laajuuden takia niitä kaikkia ei voida käsitellä tässä työssä, joten niiden valinnassa on arvioitu käytettävyyttä kestäväan rakentamisen tueksi ja käytön yleisyyttä Suomessa rakennusalalla. Rakennushankkeen vaiheen näkökulmasta menetelmiä ja työkaluja on valittu suunnittelu- ja toteutusvaiheesta, koska kestäväan rakentamiseen voidaan vaikuttaa molemmissa vaiheissa.

1.2 Tutkimusaineisto ja rakenne

Tutkimus toteutetaan kvalitatiivisena kirjallisuustutkimuksena eli aihetta pyritään ymmärtämään kokonaisvaltaisesti olemassa olevan teorian pohjalta. Lähteiden haussa on käytetty Andor- ja Google Scholar -tietokantoja, mutta muutamat tieteelliset artikkelit ovat myös näiden ulkopuolelta.

Tutkimuksen tavoitteena on yhdistää kestäväan rakentamisen ja lean-rakentamisen teorit yhdeksi kokonaisuudeksi ja sen perusteella tutkia lean-rakentamisen menetelmiä ja työkaluja kestäväan rakentamisen tueksi. Tutkimuksen teoriapohjien kytkeytymistä toisiinsa havainnollistetaan vielä kuvan 1 mukaisella kaaviolla.



Kuva 1. Tutkimuksen kahden teoriapohjan kytkeytymistä kuvaava kaavio.

Tämä asetelma luo tutkimukselle rakenteen, jossa aluksi käsitellään kestäväa rakentamista luvussa 2. Tämän jälkeen tutkimuksessa käsitellään lean-ajattelua ja lean-rakentamisen taustaa edellä mainitussa järjestyksessä luvuissa 3 ja 4. Luvussa 5 tutkimuksen kaksi teoriapohjaa yhdistetään ja pyritään löytämään vastaukset 3. ja 4. apututkimuskysymykseen. Tutkimuksen päättää yhteenveto, joka kokoaa tutkimuksen havainnot ja johtopäätökset.

2. KESTÄVÄ RAKENTAMINEN

Kestävän rakentamisen taustalla on kestävä kehitys sekä ilmastonmuutos. Tämän luvun alaluvuissa käsitellään rakentamisen aiheuttamia päästöjä, kestävästä kehitystä ja kestävästä rakentamisesta. Tutkimuksen kokonaisuuden näkökulmasta tämä luku vastaa ensimmäiseen apututkimuskysymykseen eli mitä kestävä rakentaminen on.

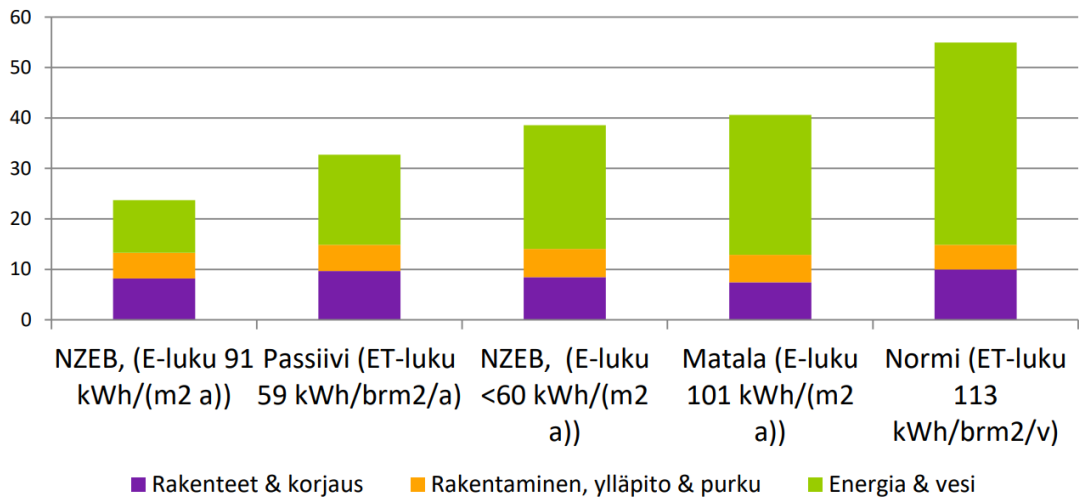
2.1 Rakentamisen päästöt

Kasvihuonepäästöjen vähentäminen on yksi merkittävimmistä tavoitteista, kun ilmastonmuutosta yritetään hillitä. Yhdistyneiden kansakuntien päästöraportin (2021) mukaan vuonna 2019 kasvihuonepäästöjen määrä globaalisti oli noin 51,5 gigatonnia hiilidioksidiekvivalenttia, joista Tilastokeskuksen (2019) mukaan Suomen osuus oli noin 42,5 megatonnia hiilidioksidiekvivalenttia. Hiilidioksidiekvivalentilla tarkoitetaan ilmakehään vapautuneiden kasvihuonekaasujen määrää, jotka yhteismitallistetaan vastaamaan hiilidioksidin ilmastoa lämmittävää vaikutusta (Bionova 2017). Yhdistyneiden kansakuntien tilannekatsausraportin (2017) mukaan kiinteistö- ja rakennusalan päästöt kokonaispäästöistä ovat 39 %, joten KIRA-aloilla on merkittävä vaikutus kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisessä.

Rakennusten elinkaaren aikaiset päästöt voidaan jakaa rakentamis- ja käyttövaiheessa syntyviin päästöihin. Rakentamisvaiheen merkittävimmät päästöt syntyvät rakennusmateriaalien valmistuksesta, kuljetuksesta, työmaatoiminnoista, kunnossapidosta, materiaalien vaihdoista, energian ja veden käytöstä sekä rakennusten purkamisesta ja materiaalien loppukäsittelystä (Bionova 2017).

Rakentamis- ja käyttövaiheen päästöistä kuitenkin merkittävästi suurempi osuus syntyy käyttövaiheen energiankulutuksesta. Vaikka tällä hetkellä merkittävämpi osuus päästöistä syntyy käyttövaiheessa, ei rakentamisvaiheen päästöjä kuitenkaan voida poissulkea. Kun rakennuksen E-luku pienenee paremman energiatehokkuuden myötä, kasvaa rakentamisvaiheen hiilijalanjäljen suhteellinen osuus merkittävästi korkeammaksi tulevaisuudessa (kuva 2). (Bionova 2017)

ARA-kohteiden hiilijalanjälki kg CO₂e/m²/a



Kuva 2. Rakentamis- ja käyttövaiheen kasvihuonekaasujen suhteellinen osuus E-luvun pienentyessä (Bionova 2017).

Kuvassa käyttövaiheen energian ja veden kulutusta kuvataan vihreällä värillä ja rakentamisvaiheen kulutusta liilalla ja oranssilla värillä. Kuvan 2 perusteella voidaan päätellä, että E-luvun pienentyessä oikealta vasemmalle, rakentamisvaiheen hiilijalanjälki nousee merkittävämmäksi. Myös Heinonen et al. (2011) toteavat tutkimuksensa yhteenvedossa, että rakentamisvaiheen päästöt olisi tulevaisuudessa otettava tarkemmin huomioon, jotta ilmastonmuutoksen tavoitteisiin päästään myös rakennusalalla.

2.2 Kestävä kehitys ja rakentaminen

Koska rakentamisen päästöt ovat kokonaisuudessaan niin merkittävät, tulee ne myös rakennusalalla ottaa huomioon. Päästöjen vähentämisessä merkittävä ongelma kuitenkin on, että keskittymällä vain niiden vähentämiseen, taloudelliset ja sosiaaliset tekijät saattavat kärsiä. Tähän ongelmaan on kuitenkin pyritty löytämään ratkaisuja ottamalla edellä mainitut kolme näkökulmaa yhteen, jotka muodostavat kestävä kehityksen määritelmän.

Ensimmäisen kerran kestävä kehityksen käsitteestä puhuttiin YK:n Brundtlandin komissiossa ja sen raportissa (1987), jolloin se määriteltiin seuraavasti: ”Kestävä kehitys on kehitystä, joka tyydyttää nykyhetken tarpeet viemättä tulevilta sukupolvilta mahdollisuutta tyydyttää omat tarpeensa”. Ympäristöministeriön (2023) mukaan kestävä kehitys on muutosta, jossa otetaan tasavertaisesti huomioon ympäristö, ihminen ja talous päätöksenteossa. Näiden pohjalta voidaankin määritellä, että kestävä kehitys on muutosta, joka tyydyttää kaikki sen kolme osa-aluetta, eikä jätä yhtäkään huomioimatta.

Rakennusallalla vastaus kestävän kehityksen haasteisiin on kestävä rakentaminen. Hussin et al. (2013) mukaan kestävällä rakentamisella luodaan terveellisiä asuin ympäristöjä resurssitehokkaasti ja ekologisin periaattein. Salonen et al. (2023) määrittelevät kestävän rakentamisen seuraavasti: ”Kestävä rakentaminen tarkoittaa rakennusten suunnittelua ja rakentamista siten, että rakentamisen ja rakennuksen käytön haittavaikutukset ympäristölle, ihmisille ja yhteiskunnalle ovat mahdollisimmat pienet ja hyöty suuri.” Kestävän rakentamisen voidaan siis ajatella olevan nimenomaan toimenpiteitä, joilla tuetaan kestävää kehitystä.

Myös kestävä rakentaminen voidaan jakaa kestävän kehityksen mukaisesti rakennusalan kontekstissa kolmeen eri kestävyys näkökulmaan (Hussin et al. 2013):

- **Taloudellinen kestävyys** tarkoittaa kannattavuuden lisäämistä resurssien tehokkaammalla hyödyntämisellä, johon kuuluu työvoima, materiaalit, vesi ja energia.
- **Ympäristöllinen kestävyys** tarkoittaa toimenpiteitä, joilla estetään haitallisten ympäristövaikutusten syntyminen, käytetään luonnonvaroja järkevästi ja minimoidaan hukka.
- **Sosiaalinen kestävyys** tarkoittaa ihmisten tarpeisiin vastaamista riippumatta siitä, missä vaiheessa rakennuksen elinkaarta he ovat mukana.

Suomessa kestävää rakentamista on tähän mennessä pyritty rakennushankkeissa ohjaamaan vapaaehtoisten ympäristösertifikaattien, kuten LEED-, BREEAM- ja RTS -luokitusten avulla (Salonen et al. 2023). Tulevaisuudessa Suomessa kestävää rakentamista on myös tarkoitus ohjata uudella rakennuslailla, joka kestävän rakentamisen näkökulmasta torjuu ilmastonmuutosta, edistää kiertotaloutta ja rakentamisen laatua sekä sujuvoittaa rakentamista (Ympäristöministeriö 2024).

3. LEAN-AJATTELU

Tutkimuksen toisena teoriapohjana on lean-ajattelu. Kun puhutaan leanista, on tärkeää pitää mielessä, mitä se alun perin tarkoittaa. Yksinkertaisimmillaan lean on tuotantoprosessissa asiakasarvon maksimoimista parantamalla virtaustehokkuutta siten, että kaikki arvoa tuottamaton ”hukka” poistetaan (Modig & Åhlström 2013, s. 76). Tässä luvussa käsitellään tarkemmin yleisellä tasolla lean-ajattelun taustaa, filosofiaa, periaatteita, menetelmiä ja työkaluja. Luvun tarkoituksena on pohjustaa lean-rakentamisen taustalla olevaa lean-ajattelua.

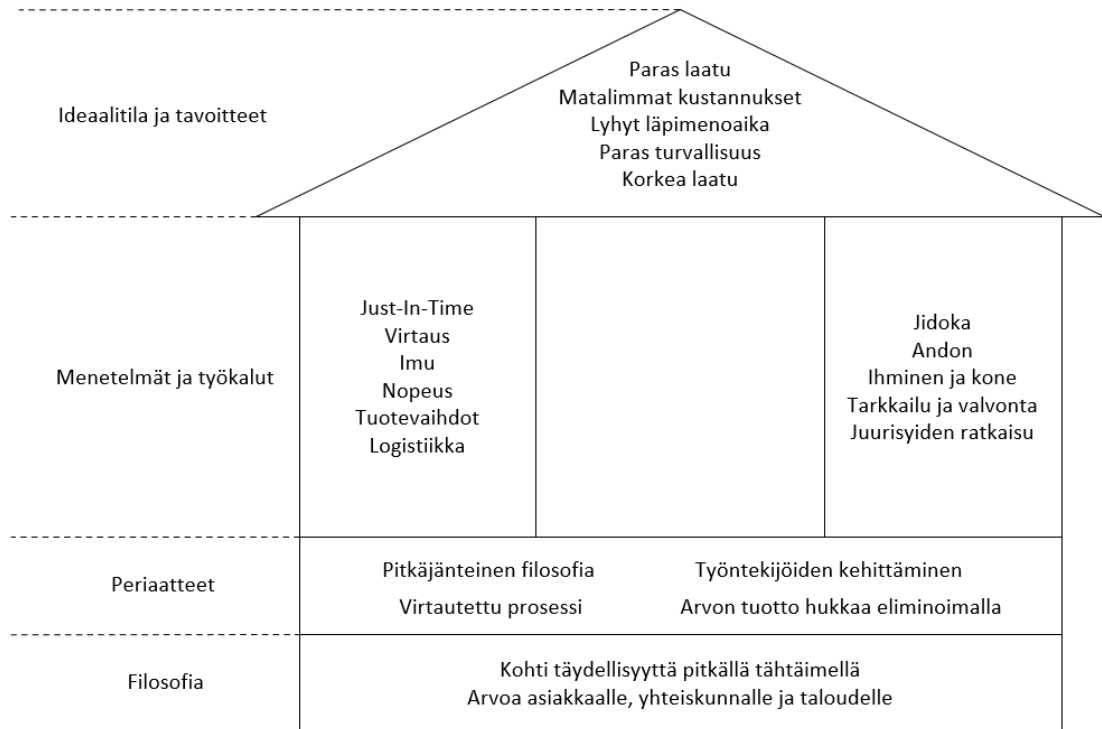
3.1 Historia ja tausta

Alkujaan leanin perimmäinen idea johtaa Toyotan tehtaalle 1950-luvulle, jolloin sen päätuotantoinisööri Taiichi Ohno sai tehtäväkseen parantaa yrityksen tuottavuutta. Tuottavuuden parantamiseksi Ohno kehitti Toyotan tuotantomallin (engl. Toyota Production System, TPS), jota hän esitteli kirjassa *Toyota Production system: Beyond Large Scale Production*. Toyotan suurimpia ongelmia toisen maailmansodan jälkeen oli, että sillä oli hyvin maltilliset resurssit käytössä. Tämän takia tehtaalla tuotannossa tuli keskittyä resurssitehokkaan läpimenon sijaan virtaustehokkaaseen läpimenoon. (Modig & Åhlström 2013, s. 69–78)

Termi lean sai kuitenkin alkunsa vasta Yhdysvalloissa, jossa TPS:ää tutkineet kehittivät uuden tuotantofilosofian, joka sai lopulta nimen lean-tuotantojärjestelmä (engl. Lean Production System). Termin tekivät tunnetuksi maailmalla Womack et al. (1990) kirjassa *The Machine that Changed the World* (Chiarini et al. 2018). Myöhemmin leanista on kirjoitettu lukuisia eri teoksia ja tutkimuksia ja sitä on alettu soveltaa monilla eri aloilla, kuten myös rakennusalailla. Muun muassa yksi merkittävimmistä teoksista on Jeffrey Likerin (2004) *The Toyota Way*, jossa hän käsittelee Toyotan liiketoiminnan periaatteita ja toimintafilosofiaa. Liker (2004) määrittelee myös kirjassaan, että Toyotan tapa ei ole sama asia kuin TPS, vaan se on tuotantofilosofia TPS:n takana.

3.2 Filosofia, periaatteet, menetelmät ja työkalut sekä ideaalitila

Lean-ajattelu voidaan jakaa neljään eri osaan, jotka ovat filosofia, periaatteet, menetelmät ja työkalut sekä ideaalitila. Liker (2004) kuvaili teoksessaan näitä neljää asiaa esitysmallilla Toyota-talo, joka kuvasi Toyotan tapaa toteuttaa lean-ajattelua (kuva 3).



Kuva 3. Toyota-talo (muokattu lähteestä Liker 2004).

Mallissa perustuksen muodostaa lean-filosofia. Perustusten päälle tulee pohjalaatta, joka kuvaa lean-periaatteita. Pohjalaatan päällä ovat pilarit, jotka kuvaavat menetelmiä ja työkaluja. Lopulta näiden päälle muodostuu katto, joka kuvaa haluttua ideaalitilaa eli tavoitteita. (RIL 276-2021, s. 18) Mallin perusidea kuvaa talo, koska kattoa ei voida rakentaa tai se sortuu, jos sen perustukset, pohjalaatta tai pilarit ovat heikot. Likerin (2004) mallissa ideaalitilan muodostaa paras laatu, alhaiset kustannukset, lyhyt toimitusaika, paras turvallisuus ja korkea moraal.

Leanissa keskeistä on ymmärtää lean-filosofia, joka ei ole tapa tehostaa tai nopeuttaa tuotantoa. Liker (2004) kuvaili TPS:n lean-filosofiaa siten, että se on kokonaisvaltainen tapa tehdä asioita oikein yhtiön, sen työntekijöiden ja yhteiskunnan kannalta. Gao ja Low (2014) taas tulkitsevat lean-filosofiaa seuraavalla tavalla: vaikka toiminta pyrkiikin tekemään voittoa, tulee sen olla kuitenkin pitkäkestoista ja tuottaa arvoa asiakkaalle, yhteiskunnalle sekä taloudelle. Toisaalta se on myös tapa tehdä asioita joka päivä paremmin ja tavoitella täydellisyyttä, vaikka sen saavuttaminen ei olisikaan realistista (RIL 276-2021, s. 17).

Jotta filosofiasta päästään tavoitetilaan, pitää matkalla käyttää eri menetelmiä ja työkaluja. Menetelmien ja työkalujen sekä filosofian väliin asettuvat periaatteet. Periaatteet eivät itsessään ole välineitä päästä alkutilasta tavoitteeseen, vaan ne toimivat enemmän-

kin käytännön malleina lean-filosofialle (RIL 276-2021, s. 17). Lean-periaatteita on tulkittu monilla eri tavoilla. Liker (2004) kuvaili niitä 14 eri tavalla, jotka voidaan tiivistää neljään pääryhmään:

- Pitkäjänteinen filosofia ja suunnittelu auttavat saavuttamaan tuloksia ja ne tulee tehdä, vaikka lyhytaikaiset taloudelliset tavoitteet kärsisivät.
- Virtautettu prosessi muodostaa arvovirran kohti asiakasta ja on tasainen sekä sisäisesti korkealaatuinen.
- Kehitä työntekijöitä ja kumppaneita motivoimalla sekä haastamalla heitä oikeaan suuntaan.
- Kaiken toiminnan tulee olla sellaista, että se kehittää arvoa eliminoimalla hukkaa.

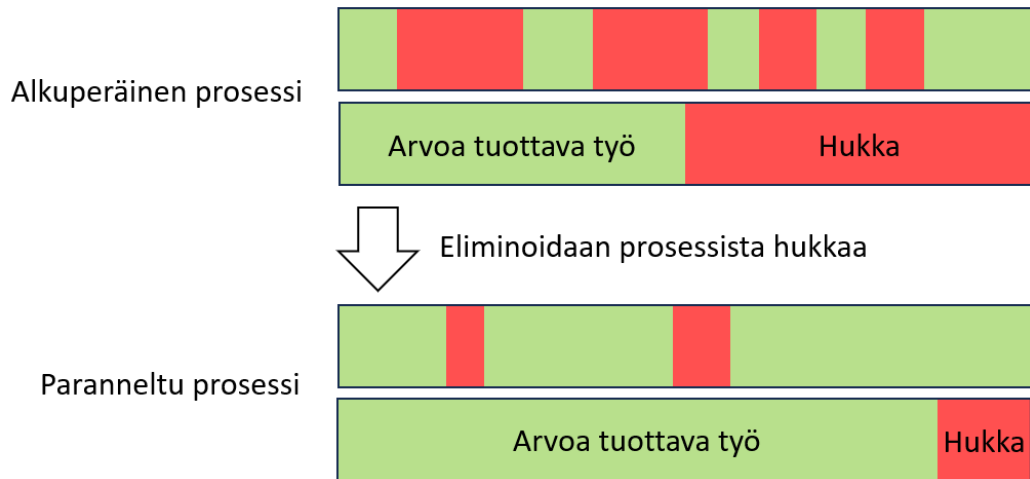
Jos organisaatio toteuttaa toimintaansa lean-ajattelulla, usein edellä mainittu perimmäinen filosofia ja periaatteet saattavat jäädä epäselviksi, koska organisaatio keskittyy liikaa vain menetelmien ja työkalujen käyttöön. Tämä johtaa usein siihen, että lean-toiminta ei ole pitkäkestoista tai edes ollenkaan lean-ajattelua (Liker 2004; Modig & Åhlström 2013). Vaikka tästä edespäin tutkimus keskittyy menetelmiin ja työkaluihin, on silti tärkeää pitää mielessä, että nämä eivät yksin ole lean-ajattelua, vaan leania on myös sen syvin olemus eli filosofia ja periaatteet.

Menetelmien ja työkalujen avulla lean-periaatteet viedään käytäntöön. Vaikka leanissa periaatteet pysyvät pitkälti samana organisaatiosta ja alasta riippuen, on menetelmien ja työkalujen käyttö vaihtelevaa ja niitä tulee soveltaa tilannekohtaisesti. Työkalujen ja menetelmien eroa on toisaalta vaikea erottaa ja usein raja on häilyvä, kun aletaan tulkitsemaan, meneekö jokin asia menetelmiin vai työkaluihin. Niiden keskinäinen ero kuitenkin on se, että yhtä työkalua käytetään yhden asian ratkaisemiseen, kun menetelmä on työkalusarja. (RIL 276-2021, s. 20) Toyotan tavassa Liker (2004) tunnisti kaksi menetelmää, jotka hän myös laittoi Toyota-talon pilareihin. Nämä menetelmät ovat Just-In-Time eli täsmätoimitukset ja Jidoka eli sisäänrakennettu laatu.

Lean-menetelmät ja -työkalut soveltuvat yleisesti parhaiten kappalevarateollisuuteen, ja siksi eri toimialoille on kehitetty omia työkaluja ja menetelmiä, kuten myös rakennus- alalle (Kouri 2010, s. 34). Siksi tässä kohdassa teoriaa ei ole tarkoituksenmukaista työn laajuuden takia kertoa tarkemmin leanin yleisesti käytettyjä menetelmiä tai työkaluja. Rakennus- alalla käytettäviä lean-menetelmiä ja -työkaluja käsitellään luvussa 5.

3.3 Arvon määrittäminen ja hukka

Yksi keskeisimmistä lean-periaatteista on arvon lisääminen hukkaa eliminoimalla, jonka Liker (2004) ja lean-rakentamisen uranuurtaja Lauri Koskela (2000) ovat omiin lean-periaatteihin nimennyt. Toimivan lean-prosessin lopputulosta voidaan mallintaa kuvan 4 mukaisella tavalla. Kuvassa alkuperäisen prosessin hukan määrää halutaan eliminoida. Kun prosessista eliminoidaan hukkaa tuottavia asioita, syntyy lopputuloksena paranneltu prosessi, jossa arvon suhteellinen osuus hukkaan verrattuna on alkuperäistä parempi.



Kuva 4. Lean-prosessin kuvaaminen arvon ja hukan näkökulmasta.

Lean-ajattelussa tärkeää on ymmärtää, että arvon lisääminen hukkaa poistamalla ei tapahdu työtahtia kasvattamalla vaan poistamalla kaikkea turhaa ja arvoa lisäämättömiä työtä. (Kouri 2010, s. 10) Leanin mukaisen hukan määrittäminen ei tämän takia ole niin yksiselitteistä, kuin voisi ajatella. Mossmanin (2009) mukaan hukan määrälle ei ole absoluuttista totuutta vaan se on suhteellista. Hukkaa on kaikki, mikä ei tuota arvoa omistajalle, asiakkaalle tai loppukäyttäjälle (Mossman 2009). Käytännössä hukka voi siis olla mitä vain, mikä ei lisää arvontuntoa edellä mainituissa kohderyhmissä.

Kourin (2010, s. 8) mukaan lean-toimintaa voidaan kehittää monella eri tavalla. Yleisesti käytetyn etenemisprosessin ensimmäinen vaihe on tuotteen tai palvelun arvon määrittäminen asiakasnäkökulmasta eli mistä asiakas on valmis maksamaan. Tällöin arvoa lisäämättömiä asioita voidaan tunnistaa paremmin ja lähteä kehittämään toimintaa parempaan suuntaan eli poistamaan hukkaa. (Kouri 2010, s. 8)

Toyotan tuotannossa asiakkaan arvoa määrittivät alhainen hinta ja hyvä laatu. Tämän kautta alun perin Toyota tunnisti omassa prosessissaan 7 erilaista hukan tyyppiä, jotka ovat (Ohno 1988):

1. Ylituotanto
2. Odottaminen
3. Tarpeeton kuljettaminen tai siirtely
4. Ylijalostaminen tai väärinjalostaminen
5. Liiallinen inventaario
6. Tarpeeton liikkuminen
7. Virheet.

Ohnon (1988) mukaan seitsemästä hukan tyypistä keskeisin hukka on ylituotanto, joka oli suurin syyllinen muiden hukkien syntymiselle. Se aiheuttaa tarpeetonta kuljettamista ja siirtelyä varastojen välillä, turhaa inventaariota sekä ylimääräisiä henkilöitä varaston ylläpitoon (Ohno 1998). Toyotan menetelmissä tärkeää on myös, että virheellistä tuotetta ei päästetä eteenpäin. Ylituotannon takia useita virheellisiä tuotteita saattaa joutua varaston kautta tuotantoon, joka aiheuttaa myös hukkaa jätteeksi menevän tuotteen tai korjaamisen takia (Liker 2004).

Edellä mainittujen seitsemän hukan lisäksi, Jeffrey Liker ja Lauri Koskela ovat vielä olleet lisäksi maininneet näihin omat kahdeksan hukan tyypit (RIL 276-2021, s.109). Likerin (2004) mukainen kahdeksas hukka on työntekijöiden tiedon käyttämättömän potentiaali. Tällä hän tarkoitti työntekijöiden käyttämättömän kokemuseräisen tiedon ja taidon hyödyntämistä, joka johtaa hukkaan jatkuvan parantamisen periaatteen näkökulmasta (Liker 2004). Koskelan (2000) mukainen kahdeksas hukka on pakottaminen (engl. making-do), jolla hän tarkoitti työn aloittamista ilman, että sen aloitusedellytykset ovat kunnossa. Aloitusedellytyksillä hän tarkoittaa esimerkiksi työhön vaadittavien suunnitelmien tai työvälineiden puuttumista (RIL 276-2021, s. 109).

Edellä mainitut yhdeksän hukkaa luokitellaan **mudaksi** eli hukaksi, joka ei tuota lisäarvoa. Likerin (2004) mukaan mudan poistaminen on kuitenkin vain yksi kolmesta hukan muodosta, joiden lisäksi on myös **muri** ja **mura** (Katso Gao & Low 2014, s. 60):

- Muri tarkoittaa ylikuormitusta ja viittaa siihen, kun koneen tai ihmisen työmäärä on liian suuri, joka voi johtaa käyttöiän lyhenemiseen tai toimintakyvyn heikentymiseen.
- Mura tarkoittaa tuotannossa työkuorman epätasaisuutta prosessin eri vaiheissa tai pisteissä. Tämä tarkoittaa, että jotkut työntekijät ja koneet saattavat työskennellä osan ajastaan kapasiteetin alapuolella, kun taas toiset sen yläpuolella.

4. LEAN-RAKENTAMINEN

Kuten tutkimuksessa jo aiemmin mainittiin, lean-ajattelu on lähtöisin kappaleteollisuudesta ja tämän takia leanin soveltaminen rakennusalalle sellaisenaan ei onnistu. Tähän syitä ovat muun muassa rakentamisen projektiluontoisuus, tuotantotapa ja vaihtuvat työpisteet. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään tarkemmin leanin taustaa ja periaatteita rakennusalalla. Tämän luvun tarkoituksena on vastata luvun 3 tavoin tutkimuksen toiseen apututkimuskysymykseen eli mitä lean-rakentaminen on.

4.1 Lean-rakentamisen tausta

Rakennusteollisuuden suurin ongelma muihin teollisuudenaloihin verrattuna on rakentamisen tuottavuuden heikkous. Lean Construction Institute (lyh. LCI) on yksi rakennusalan merkittävimmistä toimijoista leanin kehittämisessä rakennusalalle ja sen mukaan yli 70 % rakennushankkeista ylittää suunnitellut kustannukset sekä myöhästyy valmistumisajankohdastaan (Lean Construction Institute 2024a). Tuottavuuden ongelma onkin ollut yksi merkittävin syy, minkä takia leania on lähdetty soveltamaan rakennusalalle.

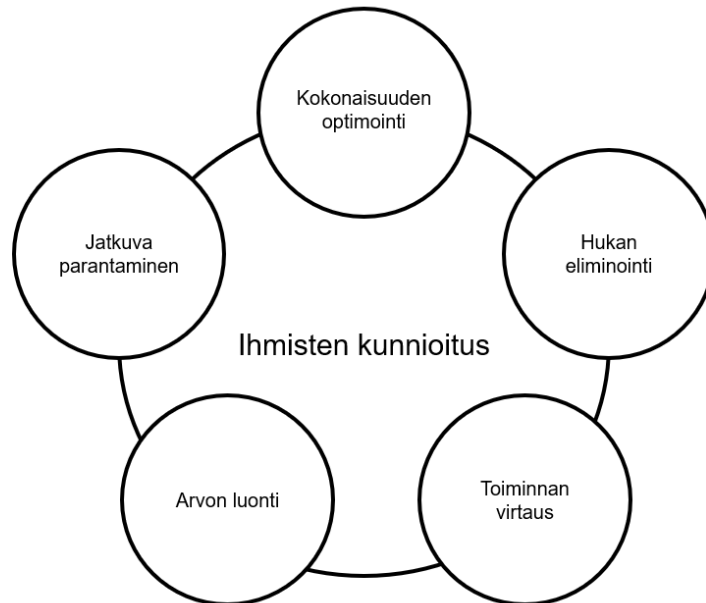
Leanin ensimmäisiä uranuurtajia rakennusalalla oli suomalainen Lauri Koskela. 1990-luvun alussa hän väitöskirjassaan tutki uutta tuotantoteoriaa, joka pohjautui Toyotan tuotantosysteemiin (RIL 276-2021, s. 25). Uuden tuotantoteorian keskeinen ydin oli rakennusalalla keskeisten tuotantomallien yhdistäminen yhdeksi teoriaksi, joka sai lopulta nimen TFV-teoria eli Transformation-Flow-Value, jonka tarkoitus oli parantaa rakentamisen tuottavuutta (Koskela 2000). Tämän avulla rakennusprojektin asiakasarvoa voitiin parantaa virtausta parantamalla, joka myös suoraan kytkeytyy leanin peruseriaatteisiin.

Koskelan TFV-teorian jälkeen leanin soveltamista on lähdetty tutkimaan ja määrittelemään rakennusalalle paremmin. Koskelan et al. (2002, s. 211) määritelmän mukaan lean-rakentaminen ”on tapa suunnitella tuotantojärjestelmä siten, että materiaalien, ajan ja työpanoksen tuhlaus minimoidaan mahdollisimman suuren arvon tuottamiseksi.

Vaikka lean-rakentamisen määritelmä on hyvin samankaltainen kuin leanin, on lean-rakentamisen käsitteelle kuitenkin tarve. Tarve juontaa juurensa sille, että rakennusala poikkeaa toimialana hyvin merkittävästi tehdasteollisuudesta. Gaon ja Lown (2014) mukaan rakennus- ja tehdasteollisuuden keskeisimmät erot ovat prosessin kesto, luonne, työpiste, materiaalit, materiaalityönteot, turvallisuus, työvoima, kokoonpano, tuotanto, teknologia, laatu, sääntely ja kulttuuri.

4.2 Lean-rakentamisen periaatteet

Luvussa 3.2 todettiin, että lean-periaatteita on tulkittu ajan saatossa eri tavoilla ja esiteltiin Likerin (2004) mukaiset lean-periaatteet. Liker (2004) myös totesi, että leania voidaan sovelletusti käyttää eri toimialoilla. Leanin tavoin myös lean-rakentamiselle on määritelty eri periaatteita aina Koskelan TFV-teoriasta alkaen. Tässä tutkimuksessa kuitenkin pohjana lean-menetelmille ja -työkaluille käytetään Lean Construction Instituten käyttämiä 6 periaatetta (kuva 5).



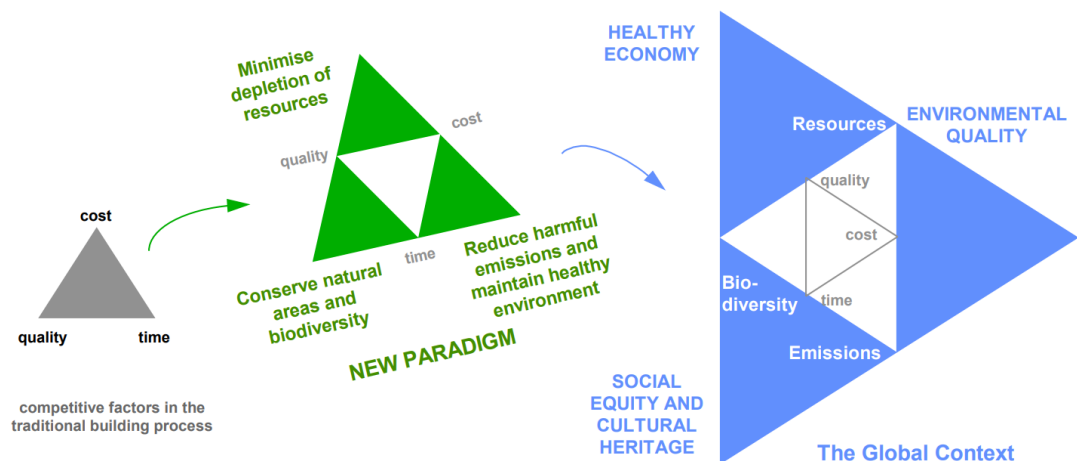
Kuva 5. Lean-rakentamisen periaatteet (muokattu lähteestä Lean Construction Institute 2024b).

Mallin keskiössä on ihmisten kunnioitus, joka yhdistää kaikki muut viisi tekijää toisiinsa. Ihmisten kunnioitus on mallissa haluttu nostaa keskeiseksi tekijäksi, koska rakentaminen on pitkälti ihmisten käsityötä ja siten keskeisessä asemassa (RIL 276-2021, s. 36). Ihmisten kunnioitus on myös keskellä, koska sen avulla viisi muuta periaatetta toimivat yhdessä. Kokonaisuuden optimoinnilla viitataan siihen, että leanissa ei ainoastaan muokata yksittäisiä tekijöitä tai työvaiheita vaan halutaan katsoa ja muuttaa koko prosessia kokonaisuutena. Arvon luonnilla tarkoitetaan asiakasarvon tyydyttämistä ja prosessin suorittamista siten, että kaikkien sen arvoa lisäävien tekijöiden olemassaoloa lisätään nimenomaan eliminoimalla hukkaa. Toisaalta arvoa voidaan parantaa tai hukkaa eliminoida toiminnan virtauksella, jolla saadaan tuotannosta tehokkaampaa. Viimeinen periaate on jatkuva parantaminen eli Kaizen. (Lean Construction Institute 2024b) Jatkuvalle parantamisella tarkoitetaan niitä keinoja, joilla voidaan eliminoida hukkaa (Gao & Low 2014).

4.3 Kestävän rakentamisen lean-ideaalitila

Rakennusalalla hankkeen arvon usein määrittää tilaajan ja loppukäyttäjän näkemys arvosta koko elinkaaren ajalta, joka on myös lean-ajattelun näkemys siitä, kuka arvon määrittää. Näiden lisäksi rakennushankkeen on myös tuotettava sen toteutuksesta vastaaville osapuolille arvoa, joka usein määräytyy taloudellisen liiketoiminnan kautta. (RIL 276-2021, s. 46–48) Näiden kahden kohderyhmän arvon muodostus voidaan rakennushankkeessa jakaa ulkoisiin ja sisäisiin vaatimuksiin. Ulkoiset vaatimukset vastaavat arvon tuottoa hankkeen loppukäyttäjille ja sisäiset vaatimukset hankkeen toteutuksesta vastaaville osapuolille (Bremdal et al. 2017).

Jotta hanketta voidaan johtaa arvojen näkökulmasta, tärkeässä asemassa on ideaalitalan muodostaminen, joka on selkeä ja käyttökelpoinen esitys siitä, mitä hankkeella halutaan tavoitella (RIL 276-2021, s. 54). Aiemmin luvussa 3.2 esiteltiin Toyota-talo, jossa sen katon muodosti ideaalitila ja tavoitteet. Ideaalitalalla tarkoitetaan visiota siitä, miltä näyttäisi, jos kaikki toimisivat täydellisesti. Perinteisessä rakentamisessa ideaalitalan mukaisen Toyota-talon katon muodostavat alhaiset kustannukset, korkea laatu ja aika tavoitteet. Jotta rakentaminen olisi kuitenkin kestävä, Huovilan ja Koskelan (1998) mukaan näihin tavoitteisiin tulisi vielä lisätä resurssien ja ympäristön pilaantumisen minimointi sekä terveellisen ympäristön luominen. Tätä perinteisen rakentamisen yhdistämistä kestävään rakentamiseen Huovila ja Koskela (1998) kuvasi vielä kuvan 6 mukaisella diagrammilla.



Kuva 6. Perinteinen rakentaminen kestävässä rakentamisessa (Huovila & Koskela 1998).

Diagrammissa harmaa kolmio kuvaa perinteistä rakentamista ja sen tavoitteita. Diagrammin keskellä on vihreä kolmio, jossa perinteisten tavoitteiden lisäksi on otettu huomioon edellä mainitut kestävän rakentamisen tavoitteet. Lopulta diagrammissa oikealla on sininen kolmio, joka kuvaa kestävää rakentamisen ideaalitilaa.

Lean-rakentamisessa ideaalitilan toteutuminen tarkoittaa hankkeen onnistumista ja toimii hyvänä lähtökohtana rakennushankkeen suunnittelulle ja toteutukselle (RIL 276-2021, s. 45). Huovilan ja Koskelan (1998) mukaiset kestävän rakentamisen tavoitteet tulee siis ottaa huomioon jo heti rakennushankkeen alkuvaiheessa, jotta rakentaminen olisi kestävää. Ideaalitilan hahmottelu ja tavoitteiden ymmärtäminen myös helpottavat oikeiden lean-menetelmien ja -työkalujen valintaa (RIL 276-2021, s. 230).

5. KESTÄVÄN RAKENTAMISEN LEAN-MENETELMÄT JA -TYÖKALUT

Lean-rakentamisen menetelmien ja työkalujen määrä on suuri ja tämän takia niiden käyttöönotto ja juuri oikeiden menetelmien ja työkalujen valinta saattaa olla hankalaa. Lean-menetelmät ja -työkalut saattavat myös tuntua toisistaan täysin irrallisilta palasilta ja on vaikeaa muodostaa niistä yhtenäistä kuvaa, mitä lean-ajattelu on. (RIL 276-2021, s. 221)

Yksi tapa lähestyä lean-menetelmien ja -työkalujen laajaa kirjoa on määritellä ensin hankkeen ideaalitila. Ideaalitila luo hankkeelle tai organisaatiolle tavoitteen, jota lähteä tavoittelemaan. Se myös luo lähtökohdan sille, mitä lean-periaatteita käytetään menetelmien ja työkalujen pohjalla. (RIL 276-2021 s. 221) Myös tässä tutkimuksessa lean-menetelmien ja -työkalujen tukea kestävään rakentamiseen lähestytään tätä tapaa käyttäen, kun ideaalitulana on kestävään rakentamisen ideaalitila.

Aiemmin luvussa 4.2 lean-rakentamisen periaatteiksi määriteltiin Lean Construction Instituten kuusi periaatetta (kuva 5). Koskelan ja Huovilan (1998) mukaan näistä kuudesta periaatteesta kaksi periaatetta kohtaa kestävään kehityksen tavoitteiden kanssa, jotka ovat hukan eliminointi ja arvon luonti.

Seuraavissa alaluvuissa perehdytään tarkemmin eri lean-menetelmiin ja -työkaluihin. Käsiteltävät menetelmät ja työkalut on rajattu johdannossa kuvatulla tavalla. Alaluvuissa kuvaillaan, millaisia lean-menetelmät ja -työkalut ovat sekä tutkitaan niiden tukea kestävään rakentamisen tavoitteisiin.

5.1 Integroidut toteutusmuodot

Rakennushankkeen toteutusmuodon valinnalla voidaan määrätä hankkeen suunnittelu- ja rakentamispalveluiden sisältö ja vastuusuhteet, kuten toteuttajien valinnat, hinnanmääritystavat, pääsopimusperusteet ja vastuunjaon (Junnonen 2023, s. 32). Yksi lean-rakentamisen tavoitteista on optimoida hankkeen kokonaisuutta siten, että hankkeessa kaikki asiat tehdään palvellakseen haluttua lopputulosta, joka vaatii yhteistyötä hankkeen osapuolilta (RIL 276-2021, s. 61).

Edellä kuvattua tavoitetta palvelee erilaisista toteutusmuodoista parhaiten integroidut toteutusmuodot (lyh. IPT). Integroiduissa toteutusmuodoissa osapuolet vastaavat yhdessä aikataulun toteutumisesta ja kustannuksista sekä määrittelevät yhteiset tavoitteet ja kannustimet hankkeelle (Junnonen 2023, s. 41). Suomessa integroidut toteutusmuodot jaetaan yhteistoimintamalleihin ja allianssimalleihin (RIL 276-2021, s. 62). IPT-malleja on

tyypillisesti tähän mennessä käytetty kompleksissa hankkeissa, jotka sisältävät paljon riskejä ja mahdollisuuksia. (Junnonen 2023 s. 41; Saarinen 2023)

Integroiduille toteutusmalleille tyypillistä on, että niissä hankkeen osapuolet sitoutetaan hankkeeseen alusta asti, jolloin niillä on yhteiset tavoitteet ja kannusteet. Osapuolten sitouttamisen yksi tarkoitus on myös saada niiden osaaminen mukaan alusta alkaen, jolloin rakennushanketta voidaan suunnitella ja toteuttaa parhaan osaamisen mukaan. Yleisesti urakoitsija tuo yhteistyöhön tuotantoteknistä sekä taloudellista osaamista, jolloin suunnittelijat voivat etsiä kustannustehokkaimpia ja toteutettavimpia ratkaisuja. (RIL 276-2021, s. 61–66)

IPT-mallien ainoa hyöty lean-rakentamisen näkökulmasta ei ainoastaan ole hankeorganisaation sitouttaminen yhteisiin tavoitteisiin vaan se luo YSE-hankkeisiin nähden paremman pohjan muiden lean-menetelmien ja -työkalujen käytölle. Tyypillisesti IPT-hankkeissa käytetyt lean-menetelmät ovat TVD ja Big Room -toiminta (RIL 276-2021, s. 65). IPT-mallit luovat myös paremmat edellytykset tahtituotannon käytölle paremman tilannekuvan takia (Saarinen 2023).

Miten integroiduilla toteutusmalleilla sitten voidaan vaikuttaa kestävän rakentamisen tavoitteisiin? Bae ja Kim (2008) mukaan IPT-malleilla ei suoraan voida vaikuttaa kestävän kehityksen tavoitteisiin, vaan se poistaa suorat sopimusesteet suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden väliseltä viestinnältä ja innovoinnilta. Saarisen (2023) mukaan IPT-malleilla voidaan kuitenkin vaikuttaa kestävän rakentamisen jokaiseen kolmeen näkökulmaan. Taloudellisesta näkökulmasta IPT-malleilla tuottavuus paranee läpimenoajan lyhentymisen, laadun parantumisen sekä hukan ja kustannuksissa säästämisen takia. Ympäristön näkökulmasta IPT-malleilla voidaan optimoida rakentamisen päästöjä koko hankkeen elinkaaren ajan, joka perustuu parhaan, oikean ja reaaliaikaisen tiedon saamiseen. Sosiaalisesta näkökulmasta IPT-malleilla voidaan lisätä asiakasarvoa paremmalla laadulla, tavoitebudjetissa pysymisellä, läpimenoajan lyhentymisellä ja hankkeen tavoitteiden saavuttamisella tilaajan näkökulmasta. (Saarinen 2023)

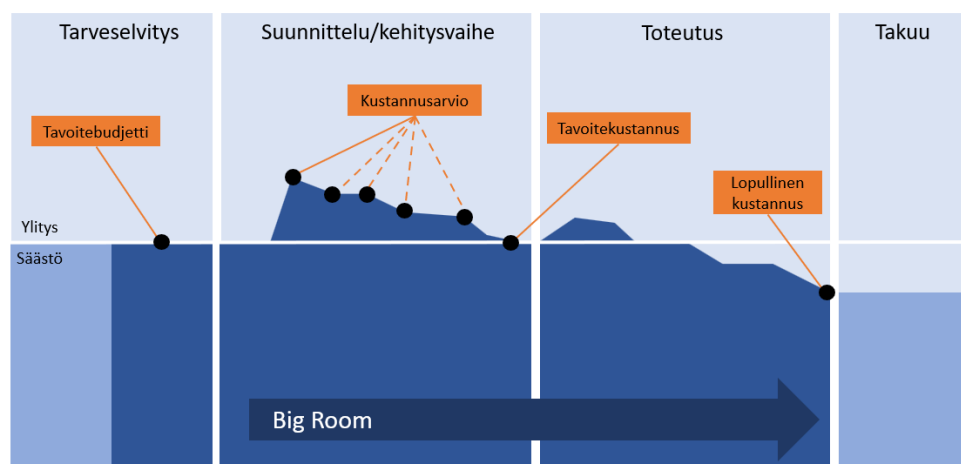
5.2 Tilaajan tavoitteisiin toimitus

Tilaajan tavoitteisiin toimitus (lyh. TVD) on yksi keskeisimmistä arvonluonnin lean-menetelmistä (RIL 276-2021, s. 98). Se tarkoittaa projektin suunnittelua yhdessä kaikkien osapuolien kesken, jotta suunnittelu- ja toteutusratkaisut tuottavat parhaan mahdollisen arvon tilaajalle ja käyttäjille (Lean Construction Institute Finland 2015b). Alun perin TVD tarkoitti tilaajan tavoitteisiin suunnittelua, mutta rakennusprojekti ei pääty suunnitteluvai-

heeseen, jolloin tilaajan tavoitteisiin toimitus ottaa paremmin huomioon myös toteutusvaiheen. Parhaiten tilaajan tavoitteisiin toimitus toteutuu integroiduissa toteutusmuodoissa, jossa hankkeen urakoitsija on suunnittelussa mukana alusta alkaen. Tässä vaiheessa urakoitsijalla on parhain mahdollisuus vaikuttaa toteutukseen, koska iso osa toteutusratkaisusta päätetään jo suunnitteluvaiheessa. (RIL 276-2021, s. 98–102)

Yleisesti TVD-prosessia on arvon tuottamisen näkökulmasta käytetty paremman tuottavuuden saamiseen. TVD-prosessi voidaan jakaa seuraavalla tavalla neljään eri vaiheeseen, jossa hankkeen kustannuksia suunnitellaan, jota havainnollistaa myös kuva 7 (RIL 276-2021, s. 99–100):

- Tarveselvityksessä hankkeen osapuolet määrittelevät tavoitebudjetin, jonka perusteella hanketta lähdetään suunnittelemaan. Tavoitebudjetti voi perustua esimerkiksi kannattavuuslaskelmaan tai maksimisummaan, johon on varaa.
- Hankkeen suunnittelu- ja kehitysvaiheessa hanketta suunnitellaan eteenpäin ja luodaan yhä tarkempia kustannusarvioita hankkeelle. Tässä kohdassa erityisen tärkeässä asemassa on muista lean-menetelmistä Big Room -toiminta, jossa hankkeen osapuolet keskustelevat parhaimmista ratkaisuista.
- Suunnitteluvaiheen lopussa tai toteutusvaiheen alussa hankkeelle määritellään tavoitekustannus, joka on ikään kuin projektinjohtourakan tavoitehinta. Tavoitekustannusta määrittäessä osapuolet myös määrittelevät kannustinpalkkiot ja käytettävät mittarit.
- Hankkeen toteutusvaiheessa tavoitteiden toteutumista seurataan ja vertaillaan hankkeen tavoitekustannukseen. Lopulta hankkeen osapuolten palkkiot ja katteet määräytyvät sen mukaan, onko tavoitekustannus ylitetty vai alitettu.



Kuva 7. TVD-prosessin vaiheet (Muokattu lähteestä RIL 276-2021, s. 99).

TVD-prosessin tavoitteena on suunnitella lopputuote, joka on tuottanut enemmän arvoa hankkeen kaikille osapuolille. Loppukäyttäjän näkökulmasta se voi esimerkiksi tarkoittaa parempaa liiketoimintaa tai asumista. Tilaajan näkökulmasta suunnittelulla pyritään tuottamaan paremmin tuottava lopputulos koko hankkeen elinkaaren aikana. Urakoitsijoiden ja suunnittelijoiden näkökulmasta prosessi sujuu paremmin sekä tehokkaammin ja tuottaa lisäarvoa henkilöille ja yrityksille. (Lean Construction Institute Finland 2015b)

Vaikka TVD-menetelmän yleisessä käytössä arvon luomisen päätavoite on kustannukset, voidaan sitä käyttää suunnittelussa myös kestävän rakentamisen tavoitteisiin. Silveira ja Alves (2018) kertovat tutkimuksessaan, että tilaajan tavoitteisiin toimituksen käytäntöjä on hyödynnetty jo Etelä-Kaliforniassa kestävän rakentamisen edistämiseksi. Tutkimuksessa esitetään myös käytänteitä kestävän rakentamisen edistämiseksi, joiden ideat ovat syntyneet TVD-menetelmän avulla (Silveira & Alves 2018).

Russell-Smith et al. (2015) esittävät vuorostaan tutkimuksessaan elinkaariarvioinnin ja tilaajan tavoitteisiin toimituksen yhdistävän työkalun, jonka nimeksi tutkimuksessa annettiin kestävän tavoitearvon suunnittelu (engl. Sustainable Target Value design, lyh. STV). STV:n toimivuutta tutkimuksessa todistettiin kahdella case-hankkeella, joissa tavoitteena oli kestävän rakentamisen mukainen hanke. Tutkimuksessa vain toisessa hankkeessa käytettiin TVD:n mukaista suunnittelua kestävän rakentamisen tavoitteiden toimitukseen ja sillä osoitettiin, miten hanke suoriutui paljon paremmin ennalla asetettujen tavoitteiden saavuttamisessa. (Russell-Smith et al. 2015) Tutkimus osoittaa, että kestävän rakentamisen mukaisten tavoitteiden asettaminen TVD-prosessin lähtökohdaksi tukee kestävän rakentamisen tavoitteiden saavuttamista hankkeessa. TVD:llä voidaan muun muassa vaikuttaa kestävään rakentamiseen edistämiseen esimerkiksi seuraavilla kolmella tavalla:

- Määrittämällä selkeät kestävän rakentamisen tavoitteet suunnitteluratkaisuille, joilla voidaan vaikuttaa energiatehokkuuden, materiaalivalintoihin ja ympäristöystävällisyyteen.
- Taloudellisten katteiden määrittelemisen siten, että hankkeen osapuolilla on halu tehdä kestävään rakentamiseen kannustavia suunnittelu- ja toteutusvalintoja.
- Määrittelemällä tavoitteet ja asettamalla niille mittarit, joiden saavuttamista voidaan seurata ja tarvittaessa muuttaa TVD-prosessin edetessä aiemmin esitetyn neljän vaiheen tavoin. Asetettava mittari voi olla esimerkiksi BREEAM:n tai LEED:n mukainen ympäristösertifikaatti.

5.3 5S-työympäristön järjestäminen

Kourin (2010, s. 26) mukaan lean-toiminnalle keskeinen lähtökohta on, että ainoastaan siistissä ympäristössä voidaan tehdä tuottavaa ja laadukasta työtä. Tätä varten Japannissa kehitettiin 5S lean-työkalu, jonka prosessin viisi vaihetta ovat (Kouri 2010, s. 27; RIL 276-2021, s.129):

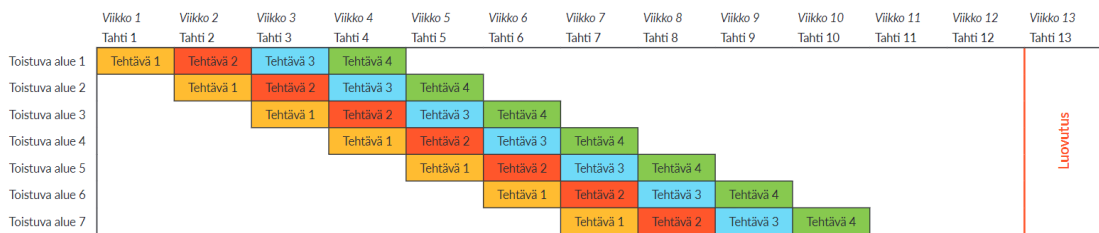
1. **Lajittele (Seiri):** Kaikki materiaalit ja työkalut käydään läpi ja tarpeettomat lajitellaan pois työalueelta. Tarpeettomaksi koetut asiat varastoidaan niille osoitettuun 5S-varastopaikalle tai kierrätetään pois.
2. **Järjestä (Seiton):** Tarvittavat työvälineet ja materiaalit järjestellään systemaattisesti sekä merkitään selkeästi niille osoitettuun varastoon.
3. **Puhdista (Seiso):** Työpisteet ja varastot siivotaan päivittäin ja sitä varten tulee keksiä parhaat käytännöt, jotta se olisi mahdollisimman helppoa.
4. **Vakiinnuta (Seiketsu):** Siivoaminen ja järjestely tehdään työn ohessa ja vaiheiden 1–3 parhaat käytännöt tulee standardisoida.
5. **Ylläpidä (Shitsuke):** Vaiheita 1–3 tulee tehdä päivittäin ja luoda tarkastusprosessit niiden mittaamiseksi, kuten esimerkiksi TR-mittaus.

Usein 5S voidaan mieltää siivousohjelmaksi, joka se ei kuitenkaan ole. Sen pääasiallisena tarkoituksena on luoda työkuulttuuri ja -ympäristö, jossa hukkaa poistetaan vähentämällä sekä asioiden ja tavaroiden etsimistä, että työturvallisuuspuutteita, jotka aiheuttavat onnettomuuksia. (RIL 276-2021, s. 128) 5S-työkalun käyttö myös parantaa tuotantovälineiden valvontaa, tukee lean-kulttuurin muodostumista ja helpottaa työn tekemistä (Kouri 2010, s. 26). Edellä mainituilla tavoitteilla on selkeä vaikutus kestävästä rakentamisen kaikkiin kolmeen näkökulmaan. Bae ja Kim (2008) mukaan 5S-työkalulla luodut puhtaat työtilat parantavat myös työyhteisön ilmapiiriä.

5.4 Tahtituotanto

Hartikaisen ja Lehtovaaran (2024, s. 7) mukaan tahtituotannolle on vaikeaa antaa yhtä yksiselitteistä määritelmää ja käsityksiä tahtituotannon kokonaisuudesta on yhtä paljon kuin sen parissa työskenteleviä. Kuitenkin yleisesti vakiintuneet määritelmän mukaan tahtituotanto on rakennushankkeiden johtamismenetelmä, jolla halutaan saada parempi rytmi ja virtaus tuotantosysteemiin tahtisuunnittelun, tahtiohjauksen ja jatkuvan parantamisen avulla. (Hartikainen & Lehtovaara 2024, s. 7) RIL 276-2021 (s. 145–146) mukaan tahtituotanto on keskeinen tuotannon toiminnan virtauksen menetelmä, jolla tarkoitetaan yksittäisten työvaiheiden ajoituksen ja keston optimoimista siten, että työvaiheet jatkuvat

saumattomasti toisiinsa liittyen. Toisin sanoen tahtituotannon perusidea on tehtävien soveltaminen noudattamaan samaa tahtiaikaa, jolloin eri tehtävien välillä ei ole puskureita (Junnonen 2022, s. 30). Vastaavanlaisena tuotannon aikataulutuksen menetelmänä voidaan pitää paikka-aikakaaviota. Näiden kahden ero kuitenkin on, että tahtituotannossa tahtiaikojen välillä ei ole puskureita, joka johtuu samanpituisista työtehtävistä (Lean Construction Institute Finland 2015a). Tahtisuunnittelun lopputuloksena syntyy tahtiaikataulu, joka on työväline tahtiohjaukselle (kuva 8). Se kertoo mitä tulisi tapahtua missäkin sekä miten ja millä resurssein tuotannon tehtäviä toteutetaan. (Hartikainen & Lehtovaara 2024, s.7)



Kuva 8. Esimerkki tahtiaikataulusta (Junnonen 2022).

Tahtituotannon käytöllä voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä verrattuna muihin tuotannon johtamis- ja aikataulutuksen menetelmiin nähden. Tahtituotannon keskeisimmät hyödyt ovat (Lean Construction Institute Finland 2015a; Hartikainen & Lehtovaara 2024, s. 10):

- Tuotannon parempi tasaisuus ja ennakoitavuus ja luotettavuus
- Läpinäkyvyys, ongelmien aikainen havainnointi ja korjaus
- Tuotannon eri tekijöiden parempi kommunikointi ja yhteistoiminta
- Vähemmän keskeneräisiä ja viimeistelemättömiä töitä.

Nämä tekijät johtavat parempaan laatuun, työturvallisuuteen ja tuottavuuteen. Lisäksi toistuvien virheiden määrä vähenee ja rakennushankkeen kokonaisrakentamisaika lyhenee (Hartikainen & Lehtovaara 2024, s. 11). Tahtisuunnittelulla voidaan myös poistaa tuotannosta pullonkauloja, pyrkiä jatkuvaan parantamiseen ja parantaa toimitusten ja logistiikan tarkkuutta. (Lean Construction Institute Finland 2015a) Tahtituotannolla hyödyt eivät myöskään rajoitu vain muutamiin hankkeen osapuoliin kuten tilaajaan ja pääura-koitsijaan vaan siitä hyötyvät myös suunnittelijat, alurakoitsijat ja tuotetoimittajat monilla eri tavoilla. Tahtituotannolla on myös vahva osapuolten imagoa parantava vaikutus, joka perustuu alan edelläkävijän mielikuvaan. (Hartikainen & Lehtovaara 2024, s. 12)

Tahtituotannolla on myös selkeitä vaikutuksia kestävän rakentamisen näkökulmiin. Tahtituotannolla erikseen ei tarvitse ajaa kestävän rakentamisen tavoitteita, kuten esimerkiksi tilaajan tavoitteisiin toimituksella, jonka hyöty perustui kestävään rakentamiseen suunnittelulla. Kestävän rakentamisen tavoitteet täyttyvät tahtituotannossa samalla, kun sillä pyritään tavoittelemaan sen alkuperäisiä tavoitteita. Tahtituotannon vaikutukset kestävään rakentamiseen ovat:

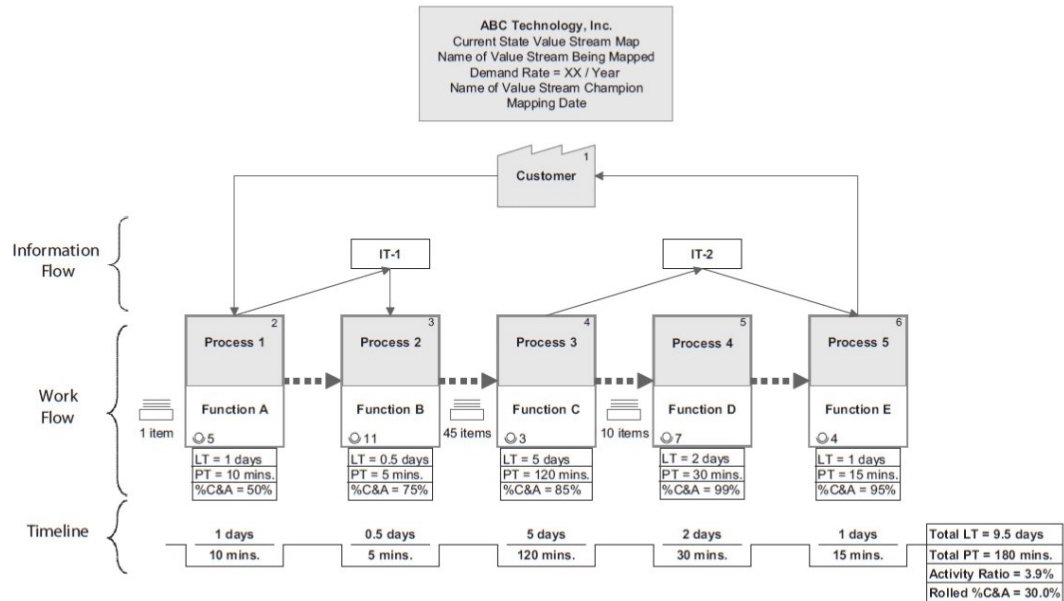
- Optimoitu työvaiheiden ajoitus ja kesto lyhentää kokonaisrakentamisaikaa, jolloin rakentamisvaiheen negatiiviset vaikutukset luontoon ja ihmisiin vähenevät. Samalla myös taloudellinen tuottavuus paranee.
- Ongelmien aikainen havainnointi ja korjaus johtaa pienempään materiaalihukkaan, joka parantaa taloudellista tuottavuutta ja aiheuttaa vähemmän vaikutuksia ympäristöön, kun materiaaliressursseja käytetään vähemmän.
- Toimitusten ja logistiikan ennakoitavalla suunnittelulla voidaan pienentää niistä aiheutuvia päästöjä.
- Jatkuvan parantamisen myötä laatu paranee ja virheet vähenevät, kun aiempia virheitä ei enää toisteta tahdin seuraavalla työalueella.
- Imago alan edelläkävijänä ja kärkiosaajana nostaa osapuolten vetovoimaa ja tuo kilpailuetua.

5.5 Arvovirta-analyysi

Arvovirta-analyysi (lyh. VSM) on kehitysprosessi, jolla voidaan analysoida visuaalisesti tuotantoprosessin etenemistä, eliminoida hukkaa ja kehittää prosessi arvoa tuottavammaksi. Arvovirta-analyysin prosessille olennaista on, että havainnoidaan nykytilan ongelmat, tehdään tavoitetilan kuvaus ja kehitetään näiden perusteella olemassa olevaa toimintaa (RIL 276-2021, s. 105–106). Martin ja Osterling (2013) mukaan arvovirta-analyysin prosessi voidaan jakaa viiteen eri vaiheeseen, jotka ovat (katso RIL 276-2021, s. 106):

1. Valmistelu
2. Nykytilan ymmärtäminen
3. Tavoitetilan muodostaminen
4. Muutossuunnitelman teko
5. Muutoksen toteuttaminen.

Arvovirta-analyysin lopputuloksena syntyy kaavio, jonka tarkoituksena on esittää tieto- ja materiaalivirrat sekä aikajana (kuva 9). Kaavio alkaa asiakkaan toimeksiannosta ja päättyy siihen, kun valmis tuote luovutetaan asiakkaalle. Kaavion ylimmällä tasolla kuvataan prosessin informaatiovirta, keskimmaisella materiaalivirta ja alimmalla kulunut läpimenoaika. Arvon ja hukan näkökulmasta keskeisessä roolissa on aikajana, joka erottaa hukkaa ja arvoa tuottavan ajan. Aikajanan yhteenvedona on tuotteen kokonaisläpimenoaika, josta on erikseen laskettu arvoa tuottava osuus. (RIL 276-2021, s. 106–107)



Kuva 9. Perinteinen arvovirta-analyysikartta (Martin & Osterling 2013).

Bae ja Kim (2008) mukaan arvovirta-analyysi on myös yksi parhaimmista lean-työkaluista ymmärtää tiedon ja materiaalin virtausta sekä arvon ja hukan syntymistä. Perinteisesti arvovirta-analyysin käyttö rajoittuu prosessiajan ja varastotason arvon ja hukan määrittelyyn taloudellisesta näkökulmasta. Kuitenkin sen käyttöä voidaan myös laajentaa sosiaalisiin ja ympäristöllisiin näkökulmiin, kuten kuvaamaan ajan lisäksi resurssien hukkaa ja käyttöä, saastumista, turvallisuutta ja vuorovaikutusta. (Bae & Kim 2008; Weinheimer et al. 2017) Muun muassa Vinodh et al. (2010) tarjoavat tutkimuksessaan erilaisia vaihtoehtoja perinteiselle arvovirta-analyysikartalle, kuten esimerkiksi materiaalin ja veden käytölle.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kestävää rakentamista pyritään lisäämään entisestään nyt ja tulevaisuudessa rakennusalalla. Tähän asti merkittävimpiä toimia on ollut muun muassa elinkaariajattelun lisääminen, vähäpäästöisempien rakennusmateriaalien tutkiminen ja käyttöönotto sekä rakennusten energiatehokkuuden parantaminen. Yksi tapa vaikuttaa kestävän rakentamisen edistämiseen on myös lean-menetelmien ja -työkalujen käyttö kestävän rakentamisen tueksi. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia lean-rakentamisen menetelmien ja työkalujen vaikutusta ja soveltuvuutta kestävään rakentamiseen kirjallisuuskatsauksen perusteella. Tässä luvussa kootaan yhteen tutkimuksen johtopäätökset ja pohditaan niiden merkitystä ja jatkotutkimusta.

Kestävälle rakentamiselle määriteltiin ensimmäisessä teorialuvussa kolme näkökulmaa, jotka olivat taloudellinen, ympäristöllinen ja sosiaalinen. Nämä kolme näkökulmaa toimivat tutkimuksessa viitekehystenä sille, miten eri lean-menetelmillä ja -työkaluilla voidaan vaikuttavaa näihin kolmeen näkökulmaan. Tutkimuksessa menetelmien ja työkalujen määrä rajattiin lopulta viiteen eri menetelmään tai työkaluun tutkimuksen laajuuden takia, joiden vaikutukset kestävään rakentamiseen on koottu taulukkoon 1.

Osa tutkimuksessa todetuista hyödyistä oli suoraan kirjallisuudesta löydettyjä hyötyjä. Tutkimuksen aikana lean-menetelmille ja -työkaluille arvioitiin myös muita kestävään rakentamiseen liittyviä hyötyjä, joita ei suoraan kirjallisuudessa mainittu vaikutukseksi kestävään rakentamiseen, mutta niillä oli selkeä vaikutus kestävän rakentamisen tavoitteisiin menetelmän tai työkalun alkuperäisen tavoitteen rinnalla. Esimerkiksi kirjallisuudessa IPT-mallien arvioitiin parantavan taloudellista tuottavuutta läpimenoajan lyhentymisen takia. Läpimenoajan lyhentymisen kuitenkin pienentää rakentamisesta aiheutuvia haitallisia vaikutuksia ympäristöön, joten se voidaan myös lisätä ympäristöllisiin vaikutuksiin.

Menetelmien ja työkalujen tuki kestävään rakentamiseen voidaan myös jakaa käytettävyytensä perusteella kahteen eri luokkaan, miten sillä voidaan tukea kestäväää rakentamista:

1. Menetelmän tai työkalun alkuperäiset tavoitteet ja hyödyt itsessään tukevat kestävän rakentamisen tavoitteita.
2. Menetelmät tai työkalun käyttö ei vielä itsessään tue kestäväää rakentamista vaan menetelmää tai työkalua pitää käyttää siten, että sillä suunnitellaan kohti kestävän rakentamisen mukaista hanketta.

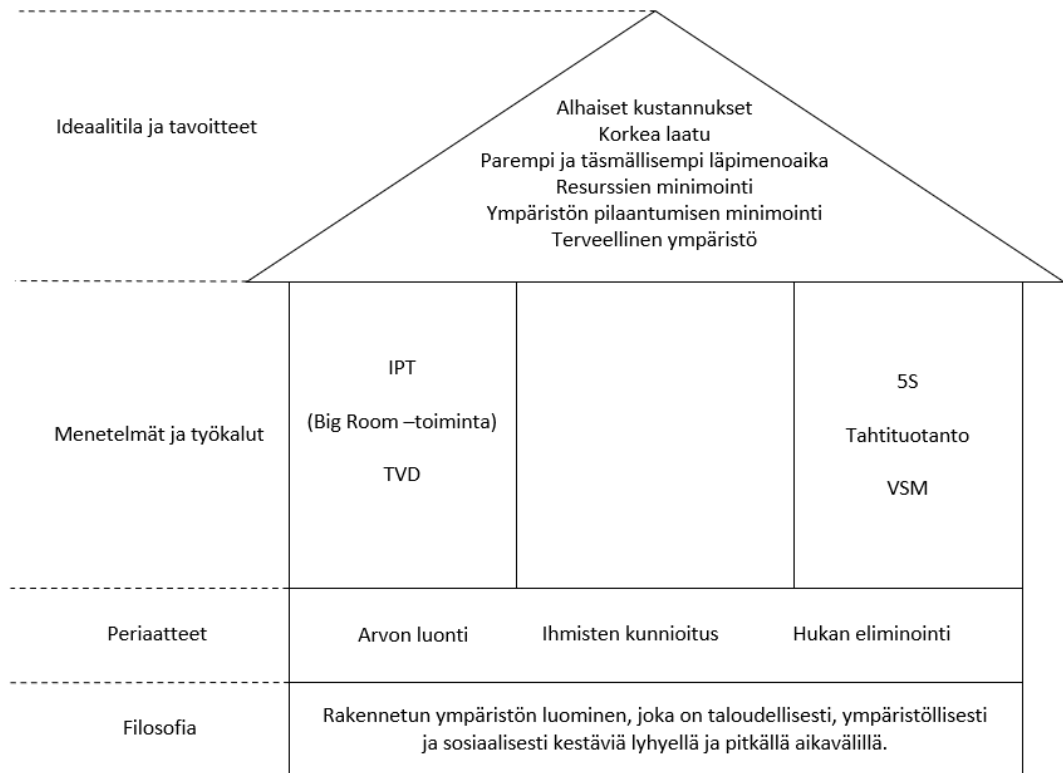
Esimerkiksi tahtituotanto menee näistä ensimmäiseen luokkaan, koska sen alkuperäiset tavoitteet ja hyödyt tukevat itsessään kestävän rakentamisen mukaisia tavoitteita. Tilaa-
jan tavoitteisiin toimitus taas menee näistä toiseen luokkaan, koska menetelmän avulla
hanketta voidaan suunnitella ja ohjata kohti kestävän rakentamisen tavoitteita. Taulu-
kossa 1 tutkittujen menetelmien ja työkalujen luokka on merkitty nimen perään sulkeisiin.

Taulukko 1. *Lean-menetelmien ja -työkalujen vaikutukset kestävän rakentamisen.*

Menetelmä tai työkalu (luokka)	Vaikutus		
	Taloudellinen	Ympäristöllinen	Sosiaalinen
IPT (2)	<ul style="list-style-type: none"> • Lyhyempi läpimeno-aika • Parempi laatu • Pienempi hukka • Kustannuksissa säästäminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Päästöjen optimoiminen tiedon avulla • Lyhyempi läpimeno-aika • Pienempi hukka 	<ul style="list-style-type: none"> • Parempi laatu • Lyhyempi läpimeno-aika • Pysyminen tavoitebudjetissa • Tavoitteiden saavuttaminen tilaajan näkökulmasta
TVD (2)	<p>• Tilaajan tavoitteisiin toimituksen vaikutus perustuu hankkeen tavoitteiden asettamiseksi kestävän rakentamisen mukaiseksi. Tällä lähtökohdalla hanketta voidaan ohjata, suunnitella ja toteuttaa kohti parempaa taloudellista, ympäristöllistä ja sosiaalista arvoa kohti.</p>		
5S (1)	<ul style="list-style-type: none"> • Tehostaa työntekoa • Helpottaa tuotantovälineiden valvontaa • Vähentää työtapa- turmista aiheutuvia taloudellisia vaikutuksia 	<ul style="list-style-type: none"> • Puhtaampi työympäristö 	<ul style="list-style-type: none"> • Turvallisempi työympäristö • Parantaa työyhteisön ilmapiiriä
Tahtituotanto (1)	<ul style="list-style-type: none"> • Lyhyempi läpimeno-aika • Pienempi hukka • Parempi laatu 	<ul style="list-style-type: none"> • Lyhyempi läpimeno-aika • Pienempi hukka 	<ul style="list-style-type: none"> • Lyhyempi läpimeno-aika • Parempi laatu • Parempi imago
VSM (2)	<ul style="list-style-type: none"> • Helpottaa taloudellisten hukkien löytämistä ja selvittämistä. 	<ul style="list-style-type: none"> • Helpottaa ympäristöä saastuttavien tekijöiden kartoittamista. 	<ul style="list-style-type: none"> • Helpottaa tunnistamaan tekijöitä, joilla vaikutus sosiaaliseen näkökulmaan.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että tutkituilla viidellä lean-rakentamisen menetelmällä ja työkalulla on selkeä tuki kestävän rakentamisen edistämiseen. Merkittävimmiksi hyödyiksi toistuvuuden perusteella voidaan todeta läpimenoajan lyhentyminen, hukan pienentyminen ja laadun paraneminen. Näillä kolmella hyödyllä on vaikutus kestävän rakentamisen taloudelliseen, ympäristölliseen sekä sosiaaliseen näkökulmaan. Läpimenoajan lyhentymisellä voidaan saada hanketta taloudellisesti kannattavammaksi, mutta se myös vähentää rakentamisen aikaisten haittojen vaikutusta ympäristöön, jolla on myös sosiaalinen merkitys. Hukan pienentyminen parantaa rakentamisen taloudellista kannattavuutta. Samalla hukan pienentyminen vähentää myös luonnonvarojen käyttämistä ja parantaa loppukäyttäjän kokemaa arvoa. Rakentamisen paremmalla laadulla voidaan saada parempaa taloudellista tuottavuutta, jolla on myös sosiaalinen merkitys. Paremmalla laadulla on myös hukkaa eliminoiva vaikutus, kun materiaalit ovat kestävämpiä.

Tutkimuksen aikana oleelliseksi havainnoksi nousi, että lean-rakentamisessa tärkeää on sen toteutus pitkäjänteisesti ja suunnitellusti. Tämä tekijä on myös keskeisessä asemassa kestävän kehityksen ja kestävän rakentamisen kannalta, jossa tavoitteisiin etenemisen tulee olla pitkäjänteistä työtä. Lean-rakentamista ei ainoastaan ole menetelmien ja työkalujen käyttö sattumanvaraisesti, vaan niiden perusta on filosofiassa, periaatteissa ja ideaalitilaan tähtäämisessä. Lean-rakentamisessa tärkeää on ymmärtää kokonaisuus ja tässä työssä kokonaisuuden hahmottamisen apuna käytettiin Toyota-talon mukaista mallia. Kuvassa 10 on vielä muodostettu kestävän rakentamisen mukainen Toyota-talo, jolla voidaan kuvata, mitä kestävän rakentamisen mukainen lean-ajattelu pitää sisällään.



Kuva 10. Kestävän rakentamisen mukainen Toyota-talo.

Kestävän rakentamisen mukaisessa Toyota-talossa perustuksen muodostaa kestävä rakentamisen määritelmä, joka kuvaa hyvin perimmäistä filosofiaa. Periaatteet muodostuvat Huovilan ja Koskelan (1998) määrittelemistä arvon luonnista ja hukan eliminoinnista, mutta siihen on vielä lisätty ihmisten kunnioitus, joka vahvistaa sosiaalisen näkökulmaa osana kestävästä rakentamisesta. Menetelmät ja työkalut ovat tutkimuksessa käsitellyt menetelmät ja työkalut. Niiden lisäksi on Big Room -toiminta, jolla on konkreettinen merkitys IPT-mallien ja TVD-prosessien onnistumisen kannalta. Toyota-talon katon muodostaa Huovilan ja Koskelan (1998) mukainen kestävä rakentamisen ideaalitila.

Kestävän rakentamisen teeman yleistyessä yhä enemmän rakennusalaalla, samasta aiheesta voisi myös tulevaisuudessa tehdä jatkotutkimusta. Tässä tutkimuksessa käsiteltiin vain viittä lean-rakentamisen menetelmää ja työkalua, joten aiheesta voisi tehdä jatkotutkimusta muidenkin menetelmien ja työkalujen osalta. Lisäksi aiheeseen voisi kerätä haastatteluja aineiston kartuttamiseksi, jonka perusteella kestävä rakentamisen ja lean-rakentamiseen yhdistämisen nykytilaa voisi myös arvioida Suomessa. Mielenkiintoinen jatkotutkimus aiheesta voisi myös olla tutkittujen luokan kaksi menetelmien ja työkalujen valjastaminen käyttöön siten, että niitä käytetään todellisissa hankkeissa kestävä rakentamisen mukaisten tavoitteiden saavuttamiseen, jolloin niiden käytön toimivuudesta voitaisiin kerätä enemmän dataa ja luoda uusia käytäntöjä ja sovelluksia.

LÄHTEET

- Bae, J. & Kim, Y. (2008). Sustainable value on construction projects and lean construction. *Journal of green building*. Vol.3(1), pp. 155–167.
- Bionova Oy (2017). Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Ympäristöministeriö. Saatavissa (viitattu 3.4.2024): <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>
- Bremdal, J., Haddadi, A., Bjorberg, S., Lohne, J. & Ladre, O. (2017). Value creation in design-build projects: The role of the designers. 2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). Vol.2, pp. 58–66.
- Carvajal-Arango, D., Bahamón-Jaramillo, S., Aristizábal-Monsalve, P., Vásquez-Hernández, A. & Botero, L. (2019). Relationships between lean and sustainable construction: Positive impacts of lean practices over sustainability during construction phase. *Journal of cleaner production*. Vol.234, pp. 1322–1337.
- Chiarini, A., Baccarani, C. & Mascherpa, V. (2018). Lean production, Toyota Production System and Kaizen philosophy: A conceptual analysis from the perspective of Zen Buddhism. *TQM journal*. Vol.30(4), pp. 425–438.
- Gao, S. & Low, S. (2014). *Lean Construction Management: The Toyota Way*. Springer, Singapore. 402 p.
- Hartikainen, U. & Lehtovaara, J. (2024). Tahtituotanto Opas 2/2024. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry, Helsinki. 54 s.
- Heinonen, J., Säynäjoki, A. & Junnila, S. (2011). A Longitudinal Study on the Carbon Emissions of a New Residential Development. *Sustainability*. Vol.3(8), pp. 1170–1189.
- Huovila, P. & Koskela, L. (1998). Contribution of the Principles of Lean Construction to Meet the Challenges of Sustainable Development. *Proceeding of the 6th Conference of the International Group of Lean Construction*. pp. 13–15.
- Hussin, J., Rahman, I. & Memon, A. (2013). The Way Forward in Sustainable Construction: Issues and Challenges. *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS)*. Vol.2(1), pp. 31–42.
- Junnonen, J (2022). Talonrakennushankkeen tuotannonhallinta. Rakennustieto Oy, Helsinki. 86 s.

- Junnonen, J. (2023). Rakennuttaminen. Rakennustieto Oy, Helsinki. 127 s.
- Koskela, L. (2000). An exploration towards a production theory and its application to construction. VTT Publications 408, Espoo. 296 p.
- Koskela, L., Howell, G., Ballard, G. & Tommelein, I. (2002). The foundation of lean construction. In R. Best & G. de Valence (Eds.) Design and Construction: Building in Value. Routledge, Lontoo, pp. 211–226.
- Kouri, I. (2010). Lean taskukirja. Teknologiateollisuus ry, Helsinki. 38 s.
- Lean Construction Institute (2024a). An Introduction to Lean Construction. Saatavissa (viitattu 16.3.2024): <https://leanconstruction.org/lean-topics/lean-construction/>
- Lean Construction Institute (2024b). An Introduction to Lean Thinking. Saatavissa (viitattu 13.2.2024): <https://leanconstruction.org/lean-topics/what-is-lean-thinking/>
- Lean Construction Institute Finland (2015a). Tahtituotanto uudistaa tuotannonohjauksen. Saatavissa (viitattu 10.3.2024): <https://lci.fi/lean-rakennusalalla/menetelmakuvaukset/tahtiaikatuotanto/>
- Lean Construction Institute Finland (2015b). Tilaajan tavoitteisiin suunnittelu. Saatavissa (viitattu 11.3.2024): <https://lci.fi/lean-rakennusalalla/menetelmakuvaukset/tilaajan-tavoitteisiin-suunnittelu-target-value-design-tvd/>
- Liker, J. (2004). The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. McGraw-Hill, New York. 330 p.
- Martin, K. & Osterling, M. (2013). Value Stream Mapping: How to Visualize Work and Align Leadership for Organizational Transformation. McGraw-Hill Educational, New York. 176 p.
- Modig, N. & Åhlström, P. (2013). Tätä on lean: ratkaisu tehokkuusparadoksiin. Rheologica Publishing, Tukholma. 167 s.
- Mossman, A. (2009). Creating value: a sufficient way to eliminate waste in lean design and lean production. Lean construction journal. Vol.2009, pp. 13–23.
- Ohno, T. (1988). Toyota production system: beyond large-scale production. Productivity Press, Cambridge. 323 p.
- RIL 276-2021 (2021). Lean rakentamisessa. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry, Helsinki. 255 s.

ROTI (2021). Rakennetun omaisuuden tila 2021. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. Saatavissa (viitattu 16.2.2021): https://www.ril.fi/media/2021/vaikuttamisen/roti2021_low.pdf

Russell-Smith, S., Lepech, M., Fruchter, R. & Meyer, Y. (2015). Sustainable target value design: integrating life cycle assessment and target value design to improve building energy and environmental performance. *Journal of cleaner production*. Vol.88, pp. 43–51.

Saarinen, J. (2023). Allianssiraportti – IPT-mallit avaavat oven lean-rakentamiselle. Vison Oy. Saatavissa (viitattu 16.3.2021): https://www.vison.fi/wp-content/uploads/2023/12/Vison-Allianssiraportti-2023_FIN_WEB.pdf

Salonen, A., Jäätvuori, L., Ahvenniemi, H. & Tuomela, A. (2023). Kestävä rakentaminen – kuinka tuottavaa se on? A-Insinöörit Oy. Saatavissa (viitattu 19.3.2024): <https://www.ains.fi/raportti/kestava-rakentaminen-kuinka-tuottavaa-se-on?hsCtaTracking=48b237bc-cc69-477c-933d-1788ad8c4001%7C0f0f6e9a-4438-4d84-9244-2f99d3d6b40f>

Silveira, S., Alves, T. (2018). Target Value Design Inspired Practices to Deliver Sustainable Buildings. *Buildings (Basel)*. Vol.8(9), 116 p.

Tilastokeskus (2019). Kasvihuonekaasut. Suomen virallinen tilasto (SVT). Verkkoaineisto. Saatavissa (viitattu 19.2.2024): https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__khki/statfin_khki_pxt_138v.px/

United Nations Environment and International Energy Agency (2017). Towards a zero-emission, efficient, and resilient building and construction sector. *Global Status Report 2017*.

United Nations Environment Programme (2021). Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On – A World of Climate Promises Not Yet Delivered. Nairobi.

Vinodh, S., Arvind, K. & Somanaathan, M. (2010). Tools and techniques for enabling sustainability through lean initiatives. *Clean technologies and environmental policy*. Vol.13(3), pp. 469–479.

Weinheimer, N., Schmalz, S. & Müller, D. (2017). Green building and lean management: Synergies and conflicts. *IGLC 2017 – Proceeding of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. pp. 911–918.

Womack, J., Jones, D & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. Rawson, New York. 323 p.

World Commission on Environment and Development (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Oxford University Press, Oxford.

Ympäristöministeriö (2023). Mitä on kestävä kehitys? Päivitetty 15.3.2023. Saatavissa (viitattu 16.3.2024): <https://ym.fi/mita-on-kestava-kehitys>

Ympäristöministeriö (2024). Rakentamislaki ohjaa kestäväää rakentamista. Saatavissa (viitattu 19.3.2024): <https://ym.fi/rakentamislaki>