



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

KIMMO KESKINIVA
VIRTAUTTAMISEN TOTEUTUKSEN PERIAATTEET JA
SOVELTAMISMAHDOLLISUUDET RAKENNUSHANKKEISSA

Diplomityö

Tarkastajat: Prof. Arto Saari ja
TkL Juha-Matti Junnonen
aihe hyväksytty
Talouden ja rakentamisen
tiedekuntaneuvoston kokouksessa
22.6.2017

TIIVISTELMÄ

KIMMO KESKINIVA: Virtauttamisen toteutuksen periaatteet ja soveltamismahdollisuudet rakennushankkeissa

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 90 sivua, 2 liitesivua

Elokuu 2017

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennustuotanto

Tarkastajat: professori Arto Saari ja tekniikan lisensiaatti Juha-Matti Junnonen

Avainsanat: rakennushankkeen virtauttaminen, Lean Construction, tahtiaikatuotanto, RAIN

Virtauttamisella tarkoitetaan Leanin mukaista Continuous flow –periaatetta, jonka mukaan tuotannon tulisi keskittyä maksimoimaan asiakkaalle tuotettu arvo ja minimoida arvoa tuottamaton toiminta eli hukka. Rakennusalalla virtauttamista voidaan hyödyntää niin suunnittelussa, talonrakentamisessa kuin infrassakin. Tämän tutkimuksen tavoitteina oli selvittää, millaisista tekijöistä rakennushankkeen virtauttaminen koostuu ja miten nämä tekijöistä näkyvät suomalaisissa rakennushankkeissa. Tutkimusote oli kvalitatiivinen ja tutkimusmenetelmiksi valikoitui kirjallisuusselvitys sekä teemahaastattelut.

Tutkimuksessa havaittiin, että teoriassa esiintyviä tekijöitä on kokeiltu pääasiassa pilottiluontoisesti suomalaisissa rakennushankkeissa. Suunnittelun virtauttamisen koetaan perustuvan tarkempaan suunnitteluprosessin aikatauluttamiseen ja resursointiin suunnittelijakohtaisesti. Big Roomeista on koettu olevan apua isompien yritysten suunnittelutyön yhteensovittamisessa ja tiedonjaossa. Tiedon tulee kulkeutua rivisuunnittelijalle asti, jotta turhaa työtä, eli hukkaa saataisiin vähennettyä. Tuotannon näkökulmasta Last Planner on muista virtauttamisen työkaluista poiketen jo melko yleinen työkalu soveltuviissa projekteissa. Ehkäpä selkein tuotannon virtauttamisen menetelmä on tahtiaikatuotanto, jota on kokeiltu vaihtelevin tuloksin. Logistiikan virtauttamisessa koetaan olevan potentiaalia, mutta käytännön sovelluksia ei juurikaan esiintynyt haastatteluissa.

Virtauttamisen onnistumisen koetaan vaativan entistä toimivampaa yhteistyötä ja kokonaisuuden osaamista. Virtauttamisen tulisi olla kokonaisuuden optimointia, kun taas yhteistyön puute ja useista kahdenkeskisistä sopimuksista johtuvasta pirstoutumisesta voi seurata haitallista osaoptimointia. Suunnittelussa yhteistyön puute näkyy esimerkiksi tietojen puutteellisuutena, aikataulujen epärealistisuutena, kahteen kertaan suunnitteluna, sekä suunnittelun jäykkyytenä. Tuotannossa haasteina taas ovat esimerkiksi aliurakoinnin joustamattomuus sekä varhaiset hankinnat. Lisäksi epävarmuuden hallinta ja suunnitelmien toteutettavuus ovat kriittisiä haasteita.

ABSTRACT

KIMMO KESKINIVA: Principles and Applications of Continuous Flow in Construction Projects

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 90 pages, 2 Appendix pages

August 2017

Master's Degree Programme in Civil engineering

Major: Construction Management and Economics

Examiners: Professor Arto Saari and Licentiate of Science Juha-Matti Junnonen

Keywords: Continuous Flow, Lean Construction, Takt Time Production, RAIN

According to Continuous Flow (a principle derived from Lean philosophy), production should focus on maximizing customer value and minimizing non-value-adding activity known as waste. In the field of construction, Continuous Flow can be utilized in planning, house building, as well as in infrastructure. The objective of this study was to find out which factors are typically associated with the Continuous Flow of a construction project and how these factors are visible in the Finnish construction industry. The Research methodology of choice was a qualitative literature review complemented with theme-centered interviews.

Most of the selected factors found in theory have been implemented in pilot cases in Finnish projects. Making planning flow consists of more in-depth scheduling of the planning process and resourcing. Big Room meetings have especially helped the coordination of planning and information sharing in larger companies. Information must be forwarded to every planner in order to minimize waste. In the context of production, Last Planner is exceptionally frequently utilized in suitable projects compared to other methods. Perhaps the most distinct method regarding Continuous Flow is takt-time planning, which has been tried with diverse results. There seems to be potential adding logistics into the flow processes, but next to none actual applications were found during the interviews.

The common opinion is that Continuous Flow requires improved cooperation and management of the entire project. The optimization of the main project flow should be pursued, while lack of cooperation and increased fragmentation can lead to harmful suboptimization. Lack of information, unrealistic schedules, repetition and rigidity can result from the lack of cooperation. Rigidity of sub-contracting and early procurement as well as uncertainty and feasible plans are some of the challenges production faces.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitokselle ja osaksi yhdentoista rakennusalan toimijan yhteistä RAIN (Rakentamisen integraatiokyvykkyys) –kehityshanketta.

Haluan kiittää työni ohjaajina ja tarkastajina toimivia Arto Saarta ja Juha-Matti Junnosta asiantuntevasta ohjauksesta ja palautteesta läpi diplomityön tekemisen. Yhteisistä keskustelutuokioista, lähteiden ääreen opastamisesta ja kannustavasta ilmapiiristä oli merkittävästi apua diplomityön tekemisessä. Lisäksi haluan kiittää kaikkia haastatteluihin osallistuneita henkilöitä vieraanvaraisista, mielenkiintoisista ja mieltä avaavista keskusteluista.

Suuri kiitos kuuluu myös perheelleni ja ystäväilleni jatkuvasta tuesta opinnoissa ja elämässä ylipäätään.

Tampereella, 14.8.2017

Kimmo Keskiniva

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen tausta	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet, tutkimuskysymykset ja rajaukset	1
1.3	Tutkimusmenetelmät	2
2.	LEAN-AJATTELU YLEISEN TEOLLISUUDEN KONTEKSTISSA	3
2.1	Lean-ajattelun pääperiaatteet	3
2.1.1	Asiakkaan kokeman arvon määrittäminen	4
2.1.2	Arvovirran tunnistaminen	4
2.1.3	Virtauksen luominen	5
2.1.4	Imuohjauksen käyttäminen	5
2.1.5	Täydellisyyteen pyrkiminen	6
2.2	Arvoa lisäämättömien toimintojen (hukan) vähentäminen	6
3.	LEAN CONSTRUCTION	9
3.1	Rakennushankkeiden omalaatuisuus	9
3.1.1	Projektien ainutlaatuisuus	9
3.1.2	Työmaatuotanto	10
3.1.3	Väliaikainen organisaatio	10
3.1.4	Säädösten aiheuttamat ongelmat	11
3.2	Hukka ja arvo rakennushankkeissa	11
4.	VIRTAUTTAMISEN SOVELTAMISMAHDOLLISUUDET	13
4.1	Virtauttaminen talonrakentamisessa	14
4.1.1	Standardoitu työ	14
4.1.2	The Last Planner System	16
4.1.3	Tahtiaika tuotannonohjauksessa	19
4.1.4	Tahtiaikaesimerkki: putki- ja viemärijärjestelmien rakentaminen	23
4.1.5	Puskurien hyödyntäminen ja Just in time	26
4.2	Virtauttaminen suunnitteluprosesseissa	27
4.2.1	Suunnittelun iteratiivisuus ja hukka	29
4.2.2	Suunnittelun ongelmien ehkäiseminen virtauksen mahdollistamiseksi	30
4.2.3	Big Room ja solmutyöskentely	32
4.2.4	Suunnittelun virtauttamisen konsepti	33
4.3	Virtauttaminen korjausrakentamisessa	34
4.3.1	Toistuvuuden hyödyntäminen	36
4.3.2	Teollinen korjausrakentaminen	39
4.3.3	Linjasaneeraukset	40
4.4	Virtauttaminen infrahankkeissa	41
4.4.1	Tierakentaminen	42
4.4.2	Massojen käsittely	45

4.4.3	Logistiikka	46
4.4.4	Putkilinjahankkeet.....	47
4.4.5	Teollisen rakentamisen hyödyntäminen infratuotannossa	49
5.	HAASTATTELUT	53
5.1	Haastattelujen suoritus	53
5.2	Haastattelun tulokset	54
5.2.1	Suunnittelun virtauttaminen.....	55
5.2.2	Tuotannon virtauttaminen	60
5.2.3	Virtauttamisen nykytila infrassa	66
6.	KEHITYSEHDOTUKSET	69
6.1	Teorian virtautusesimerkkien merkitys tässä työssä	69
6.2	Yhteistoiminnalliset mallit virtauttamisen helpottamiseksi	70
6.3	Kahden esitetyn linjasaneerausten virtauttamistavan vertailu	73
6.4	Virtauttamisen kehittäminen talonrakentamisessa	75
6.5	Suunnittelun rooli.....	77
7.	TUTKIMUKSEN ARVIOINTI	80
7.1	Tutkimusmenetelmän ja tulosten arviointi.....	80
7.2	Tutkimuksen toteutuksen arviointi.....	80
7.3	Tutkimuksen uutuusarvo ja jatkotutkimusehdotukset.....	81
8.	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	83
	LÄHTEET	85

LIITE 1: Haastateltavat ja heidän edustamansa näkökulmat

LIITE 2: Haastattelulomake

KUVALUETTELO

<i>Kuva 2.1. Tuotanto virtausprosesseina. Harmaat laatikot kuvaavat arvoa tuottamatonta toimintaa ja valkoiset laatikot arvoa tuottavia toimintoja (Koskela 1992).</i>	3
<i>Kuva 2.2. Lean-filosofian strateginen ja operatiivinen taso (mukaillen Hines et al. 2004).</i>	4
<i>Kuva 3.1. Asiakastyytyväisyyden ja laadun sisäiset suhteet projektitasolla (Kärnä 2004).</i>	12
<i>Kuva 4.1. Lean-filosofian strateginen ja operatiivinen taso (mukaillen Hines et al. 2004).</i>	13
<i>Kuva 4.2. Last Planner – menetelmän prosessivirta (Forbes & Ahmed 2010).</i>	18
<i>Kuva 4.3. Rakennustuotannon virtautettu tuotantोजना (Salminen 2016).</i>	19
<i>Kuva 4.4. Tahtiaikatuotanto esitettynä vinoviiva-aikataulun avulla (Yassine et al. 2014).</i>	21
<i>Kuva 4.5. Putkilinjan rakentamisen alkutilanteen tuotantotehokkuudet (Yassine et al. 2014; Vuorio 2016).</i>	24
<i>Kuva 4.6. Tahtiajan mukaiset tuotantotehokkuudet. (Yassine et al. 2014; Vuorio 2016).</i>	25
<i>Kuva 4.7. Esimerkki riippuvuusmatriisin käytöstä. Analyysi (a) ennen ja (b) jälkeen optimoinnin (Choo et al. 2004).</i>	31
<i>Kuva 4.8. Toistuvan korjauskohteen paikka-aikakaaviot työkohteittain (Toikkanen & Kiiras 1994).</i>	38
<i>Kuva 4.9. Modulaarisen tuotteen tai palvelun rakenne (Lindstedt et al. 2011).</i>	39
<i>Kuva 4.10. Arvovirta-analyysin jälkeiset tuotantonopeudet Quayaquilin tiehankkeen tunneliosiossa (Fiallo & Howell 2012).</i>	44
<i>Kuva 4.11. Suunniteltu tuotantonopeus (sininen käyrä) ja toteuma (punainen käyrä) Quayaquilin tiehankkeessa (Fiallo & Howell 2012).</i>	45
<i>Kuva 4.12. Alkuperäisten toimitusten toteuman ja tahtiajan implementoinnin jälkeisen toteuman seurannat esimerkin tapauksessa (von Heyl 2015).</i>	47
<i>Kuva 4.13. Tavallinen putkilinjahankkeen tuotantoprosessi ja uudelleenjärjestelty prosessi virtausperiaatteen mukaisena tuotantोजना (Kaiser & Zikas 2009).</i>	48
<i>Kuva 4.14. Putkilinjatuoannon virtautetun tuotantोजना eteneminen käytännössä (Kaiser & Zikas 2009).</i>	49
<i>Kuva 5.1. Tahtiaikatuotantoon liittyvän lohkojaon esimerkki käytännön kohteessa (LCI.fi 2017).</i>	61
<i>Kuva 5.2. Virtauttamisen lähtötilanne linjasaneerauksissa (mukailltu LCI.fi 2016).</i>	63
<i>Kuva 5.3. Lähestymistavan I yksinkertaistettu tuotantomalli. Lähestymistavan työt etenevät suurelta osin samassa vaiheessa samanaikaisesti huoneistosta toiseen. Huoneistot myös valmistuvat samanaikaisesti.</i>	64

<i>Kuva 5.4. Lähestymistavan 2 yksinkertaistettu tuotantomalli. Alun vaiheet kuten purku eivät noudattele tahtiaikaa. Tahtiaikaa noudattavan osuuden (kuvassa vesieristys > laatoitus > kalustus > luovutus) työt suoritetaan huoneistokohtaisesti tuotantojunamallilla. Työntekijät tai –ryhmät siirtyvät huoneistosta toiseen tahtiajan määrittämin väliajoin ja toistavat työsuorituksen seuraavassa huoneistossa. Huoneistot valmistuvat tahtiajan kestoisin väliajoin.....</i>	<i>65</i>
<i>Kuva 6.1. Putkiremonttien jakauma putkiremonttibarometri 2015 mukaan. (Saarinen 2016).....</i>	<i>73</i>
<i>Kuva 6.2. Linjasaneerausten virtautettujen lähestymistapojen 1 ja 2 yksinkertaistetut nykytilat resurssitehokkuuden ja virtaustehokkuuden näkökulmasta.....</i>	<i>74</i>

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennusalan heikko tuottavuus on ollut pitkäikäinen ongelma, johon on pyritty hakemaan ratkaisua monenlaisista lähteistä. Heikon tuottavuuden taustalla on osittain tuotteiden monimutkaistuminen ja alaa leimaava kompleksisuus. Yhteistoimintaa on rakennushankkeissa suhteellisen vähän, palvelut ositetaan ja kilpailut voitetaan halvimalla hinnalla. Osoptimointi taas johtaa heikkoon hankekokonaisuuden optimointiin, joka heikentää edelleen hankkeiden tuottavuutta.

Yksi tapa keskittyä tuottavuuden ongelmiin on hyödyntää Lean Constructionin ajattelumallien ja periaatteiden erilaisia sovelluksia, kuten Last Planneria, tahtiaikatuotantoa ja Just in timeä. Lean Constructioniin kuten myös Lean-ajatteluun yleisesti liittyy olennaisesti tuotannon virtauttaminen. Virtauttaminen perustuu Leanin mukaiseen Continuous flow –periaatteeseen, jonka mukaan tuotannon tulisi keskittyä maksimoimaan asiakkaalle tuotettu arvo ja minimoida arvoa tuottamaton toiminta eli hukka. Rakennusalalla virtauttamista voidaan hyödyntää niin suunnittelussa, talonrakentamisessa kuin infrassakin.

Tutkimus toteutetaan Tampereen teknilliselle yliopistolle ja se sisällytetään osaksi yhdentoista rakennusalan toimijan RAIN-hanketta, jonka tavoitteena on edistää yhteistoiminnallisten periaatteiden käyttöä rakennusprojekteissa koko alalla. RAIN-hankkeeseen osallistuvat yritykset toteuttavat tutkimusta ja järjestävät kuukausittain työpajoja, joissa jaetaan kokemuksia ja esitetään uutta tutkimustietoa sekä työstetään hankkeen teemoja. Hanke ajoittuu vuoden 2016 alusta vuoden 2018 puoleenväliin. RAIN-hanke koostuu viidestä teema-alueesta: projektisysteemin suunnittelusta, yhteistyömekanismeista, virtauttamisesta, tiedonhallinnasta sekä ihmisten toiminnasta. Tämä työ sisältyy virtauttamisen teema-alueeseen.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet, tutkimuskysymykset ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena on luoda nykytilan kartta tai kooste suomalaisten case-yritysten virtauttamisen sovelluksista eri rakennusalan osa-alueilla. Soveltamismahdollisuuksia pyritään analysoimaan kansainvälisen tutkimuksen ja teemahaastattelujen avulla. Lopputuloksena on kooste, josta virtauttamisen soveltamismahdollisuudet rakennusalalla voi nähdä. Tavoitteiden saavuttamiseksi asetetaan seruaavat tutkimuskysymykset:

1. Mitä on Lean-ajattelu ja Lean Construction?

2. Mistä tekijöistä Lean (Construction) –ajatteluun liittyvä virtauttaminen koostuu rakennusalalla?
3. Miten ja millaisissa suomalaisissa (tai kansainvälisissä) rakennushankkeissa on hyödynnetty virtauttamista?
4. Millaisia haasteita ja ratkaisuja virtauttamiseen liittyy nykytilassa?

RAIN-hankkeen ja virtauttamisen taustalla on maailmanlaajuinen muutos, joten virtauttamista tarkastellaan teorian valossa lähtökohtaisesti kansainvälisellä tasolla. Tutkimuksen lähtökohta on palvella suomalaista rakennusalaa, mikä huomioidaan ulkomaisten tutkimusten tarkastelussa. Tutkimus rajataan Lean-periaatteista virtauttamiseen liittyviin osiin ja menetelmiin. Teoriasta löytyviä virtauttamiseen liittyviä menetelmiä valikoidaan ja karsitaan sen mukaan, kuinka tarkasti ne liittyvät teemahaastattelussa esiin tulleisiin huomioihin.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusote tutkittavaan aiheeseen on kvalitatiivinen eli laadullinen. Laadullinen tutkimusote olettaa, että muuttujat ovat monimutkaisia, toisiinsa kietoutuneita ja vaikeasti mitattavissa. Kvalitatiivinen tutkimus lähtee hyvin yleisistä käsitteistä (kuten virtauttamisesta), jotka muuttuvat tutkimuksen kuluessa. Kvalitatiivinen tutkimus kuvailee kehittyviä prosesseja ja etsii niistä säännönmukaisuuksia ja monimuotoisuutta. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa korostuu todellisen elämän kuvaaminen ja aiheen kuvaaminen mahdollisimman kokonaisvaltaisesti, minkä lisäksi pyrkimyksenä on ennemmin löytää tai paljastaa tosiasioita, kuin todentaa jo olemassa olevia totuusväittämiä. (Hirsjärvi & Hurme 2000)

Tutkimuksen teoriaosuudella pyritään vastaamaan kahteen ensimmäiseen ja osittain kolmanteen tutkimuskysymykseen. Teoriaosuus suoritetaan kirjallisuuskatsauksena, jossa Leanin ja Lean Constructionin periaatteet sekä soveltamismahdollisuudet rakennusalalla selvitetään kansainvälisestä kirjallisuudesta ja tutkimuksista.

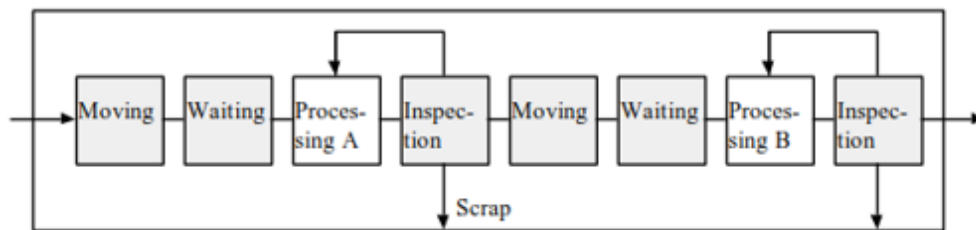
Neljänteen ja osittain kolmanteen tutkimuskysymykseen etsitään vastausta kotimaisista teemahaastatteluista, joissa haastatellaan yhteensä 14 haastateltavaa suomalaisista rakennusyrytyksistä. Case-haastattelut suoritetaan eri rakennusalan sektoreilla toimivien yritysten kanssa, jotta saataisiin kuva siitä, miten virtauttamista on sovellettu muun muassa talonrakentamisessa, infrassa, saneeraushankkeissa ja suunnittelussa. Case-haastattelujen perusteella suoritetaan kerätyn aineiston analyysi, jossa kerättyä aineistoa verrataan teoriasta löytyviin tutkimuksiin ja case-hankkeisiin.

2. LEAN-AJATTELU YLEISEN TEOLLISUUDEN KONTEKSTISSA

Virtauttaminen perustuu Lean-ajattelun mukaiseen jatkuvan virtauksen tavoitteluun. Seuraavissa alaluvuissa on esitetty lyhyesti jatkuva virtaus ja muut keskeiset Lean-ajattelun piirteet, joiden havainnollistaminen on olennaista virtauttamisen ymmärtämiseksi.

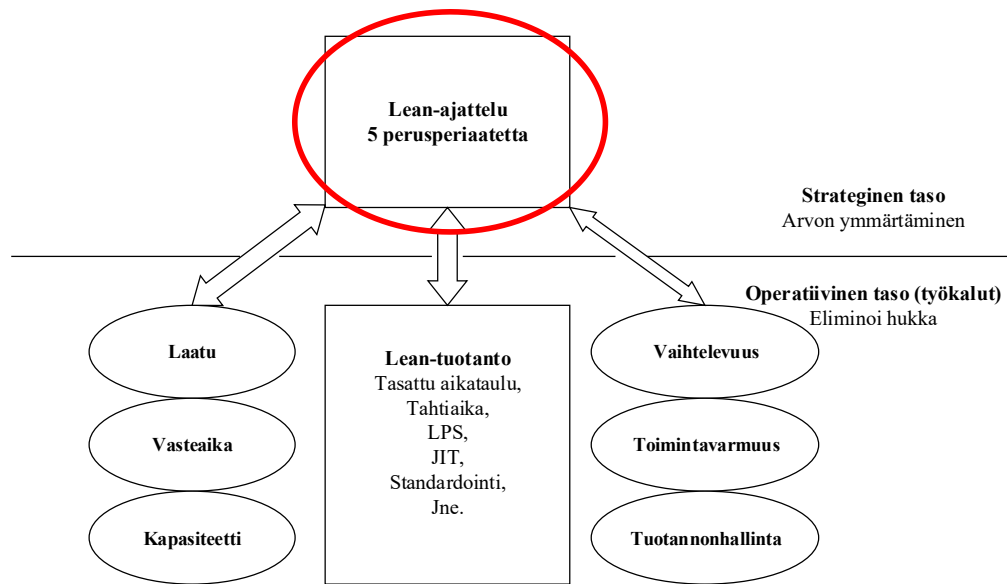
2.1 Lean-ajattelun pääperiaatteet

Lean-ajattelu käsittelee tuotantoprosessia materiaalin ja/tai informaation virtauksena raaka-aineista lopputuotteeksi. Virtausprosessissa materiaalia jalostetaan, sitä tarkastetaan, se odottaa tai se liikkuu (kuva 2.1). Prosessointi käsittää materiaalin jalostuksen ja virtaus sisältää katsastukset, odottamisen ja liikkumisen osuuden. Virtausprosesseja kuvataan ajalla, kustannuksilla ja arvolla. Yleensä ainoastaan prosessointi lisää arvoa virtauksen aikana. Materiaalivirroille prosessointi koostuu muodon tai rakenteen muutoksista sekä kokoamisista ja purkamisista. (Koskela 1992)



Kuva 2.1. Tuotanto virtausprosesseina. Harmaat laatikot kuvaavat arvoa tuottamatonta toimintaa ja valkoiset laatikot arvoa tuottavia toimintoja (Koskela 1992).

Hines et al.:n (2004) mukaan Lean-ajattelun erottaminen strategiseen ja operatiiviseen tasoon on tärkeää toiminnan kokonaisuuden hahmottamiseksi (kuva 2.2). Kokonaisuuden hahmottaminen mahdollistaa oikeiden työkalujen ja strategioiden hyödyntämisen arvon luomiseksi. (Hines et al. 2004)



Kuva 2.2. Lean-filosofian strateginen ja operatiivinen taso (mukailten Hines et al. 2004).

Lean-filosofian strateginen taso perustuu viiteen periaatteeseen, joiden päätarkoituksena on mahdollistaa asiakkaan arvon ymmärtämisen kautta operatiivisen tason hukkan eliminointi. Nämä periaatteet ovat (1) asiakkaan kokeman arvon määrittäminen, (2) arvovirran tunnistaminen, (3) virtauksen luominen, (4) imuohjauksen käyttäminen ja (5) täydellisyyteen pyrkiminen. (Womack & Jones 2003)

2.1.1 Asiakkaan kokeman arvon määrittäminen

Lean-ajattelun ensimmäinen periaate on arvo. Arvo määritetään aina asiakkaan näkökulmasta ja on merkityksellistä ainoastaan spesifin, tiettyyn asiakkaan tarpeeseen ja ajanjaksoon sidotun tuotteen (hyödykkeen, palvelun tai molempien samanaikaisesti) yhteydessä. (Womack & Jones 2003)

Liker (2004) Määrittelee arvon esittämällä kysymyksen: ”Mitä asiakas haluaa tältä prosessilta?” Asiakkaan tarpeet määrittelemällä ja niihin keskittymällä voidaan prosessista näin ollen eritellä arvoa lisäävät ja arvoa lisäämättömät toiminnot. Teorian ymmärtämiseksi on tärkeää huomata, että asiakkaalla voidaan tarkoittaa joko sisäistä tai ulkoista asiakasta. Sisäisellä asiakkaalla tarkoitetaan tuotantolinjan seuraavaa vaihetta. Ulkoinen asiakas on tehtaan ulkopuolinen asiakas (esimerkiksi tilaaja). (Liker 2004)

2.1.2 Arvovirran tunnistaminen

Arvovirran visualisoinnissa tarkastellaan tuotteen läpikäymää prosessia raaka-aineiden hankinnasta materiaalien uudelleenkäyttöön. Arvovirran visualisoinnilla voidaan erottaa arvoa tuottamaton ja arvoa tuottava toiminta toisistaan. Toiminnot voidaan tällöin jakaa arvon tuottonsa ja tarpeellisuutensa perusteella kolmeen luokkaan (Womack & Jones 2003):

1. Arvoa tuottamaton toiminto, non-value adding (NVA)
2. Pakollinen, mutta ei arvoa tuottava toiminto, necessary but non-value adding (NNVA)
3. Arvoa tuottava toiminto, value-adding (VA)

2.1.3 Virtauksen luominen

Jatkuvan virtauksen luominen mahdollistaa työn virtaamisen sujuvasti työvaiheesta seuraavaan ilman odottelua ja turhia katkoksia. Koskelan (2000) mukaan rakentamisessa jatkuvan virtauksen luominen on erityisen haastavaa johtuen esimerkiksi rakentamisen erityispiirteistä, toimintojen vähäisistä standardoinneista sekä siitä, että rakennusprosessit ovat usein pirstoutuneita ja kompleksisia. (Koskela, L. 2000)

Virtaustehokas yritys keskittyy virtausyksikön prosessointitehokkuuteen asiakkaalle tuotetun arvon näkökulmasta. Tuotannon kontekstissa virtausyksiköllä tarkoitetaan keskeneräistä tuotetta, jota prosessoidaan tuotantoketjun aikana lopputuotteeksi. Keskeneräinen tuote virtaa prosessista toiseen ja sitä työstetään arvoa luoden. Vastakkainasetteluna voidaan pitää resurssitehokkuutta, jossa tavoitellaan yksittäisten resurssien, kuten yksilöiden, laitteiden ja informaatiojärjestelmien mahdollisimman tehokasta hyödyntämistä. Optimaalisessa tilanteessa tuotannon virtaus on nopea ja resurssien käyttö tehokasta. Käytännössä tämä ei aina ole kuitenkaan mahdollista, koska tuotantoon liittyvä varianssi hidastaa virtausta erityisesti tuotannossa, jossa resurssien käyttöaste on korkea. (Modig & Åhlström 2012)

2.1.4 Imuohjauksen käyttäminen

Imuohjaus määritellään systeeminä, jossa ylävirran tuottaja (ylävirralla tarkoitetaan prosessin virtauksessa alavirtaa aiemmin suoritettavaa tehtävää) ei toimita alavirran asiakkaalle mitään ennen kuin asiakas ilmoittaa tarpeesta (Womack & Jones 2003). Soton (2007) mukaan imuohjauksen toteutumisen kannalta välttämätöntä on synkronoida tahtiajat, järjestää resurssit ja lisätä prosessin läpinäkyvyyttä (Soto 2007):

Synkronisointi

Synkronisoinnilla tarkoitetaan toisiinsa yhteydessä olevien alaprosessien tahtiaikojen järjestämistä siten, että kokonaisprosessi virtaa ilman keskeytyksiä.

Järjestys

Järjestys määrittelee imuohjauksen kannalta oikeanlaisen resurssien sijoittamisen. Tehdasteollisuuden tapauksessa järjestys voi tarkoittaa esimerkiksi tuotantotekijöiden fyysistä sijoittamista tehtaaseen sisällä. Järjestyssuunnittelun tärkein tavoite on mahdollistaa

tuotannon tasainen virtaus, jossa materiaalit ja informaatio virtaavat prosessin läpi. Muita järjestämisen tavoitteita ovat (Hovila 2015):

- tuotteen laadukkuus
- tuotannontekijöiden tehokas hyödyntäminen
- pullonkaulojen välttäminen
- materiaalien käsittelyn ja liikkumisen minimoiminen
- läpäisyajan pienentäminen
- työturvallisuuden huomioonottaminen

Läpinäkyvyys

Läpinäkyvyys tarkoittaa kykyä nähdä prosessi täydellisesti ongelmien nopean ja tehokkaan havaitsemisen mahdollistamiseksi. Tuotantoprosessista on tavoitteena saada niin selkeä, että vastuuhenkilöt näkevät yhdellä vilkaisulla prosessin tilan. Selkeät ja havainnolliset prosessit lisäävät tuotannon itseohjautuvuutta ja parantavat tuotannon laatua, luotettavuutta, ohjattavuutta sekä työturvallisuutta. (Hovila 2015)

2.1.5 Täydellisyyteen pyrkiminen

Täydellisyyden tavoittelu tarkoittaa Lean-ajattelussa jatkuvan kehittymisen noudattamista. Nykyiset prosessit ovat epätäydellisiä ja niiden jatkuva uudelleenarviointi on tarpeellista kilpailukykyyn ja Lean-oppien ylläpitämiseksi ja parantamiseksi. (Womack & Jones 2003; Aziz & Hafez 2013)

Kaikin puolin täydellisen tuotteen luominen ei ole yleensä käytännössä mahdollista. Täydellisen tuotteen tavoittelu itsessään on kuitenkin edellytys parhaan mahdollisen tuotteen luomiseksi. Täydellisyyteen pyrkimisellä tavoitellaan tuotetta, joka vastaa asiakkaan tarpeita ja odotuksia, tuotetaan aikataulussa, eikä sisällä virheitä tai vikoja. (Womack & Jones 2003; Aziz & Hafez 2013)

2.2 Arvoa lisäämättömien toimintojen (hukan) vähentäminen

Arvovirran hallitsemiseksi on olennaista pyrkiä erottamaan siitä arvoa lisäämätön toiminta. Arvoa lisäämätöntä toimintaa kutsutaan hukaksi. Likerin (2004) mukaan Toyota määrittelee seitsemän hukan päätyyppiä seuraavasti:

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

7. Viat

Useita muitakin hukan tyyppejä on esitetty. Esimerkiksi ihmisen käyttäytyminen osana arvoa lisäämätöntä toimintaa, monimutkaisuus, vaaralliset työtavat, liiallinen informaatio, työtehtävien aikainen ihmettely ja selvittely, puhumatta tai kuuntelematta oleminen, hyvien ajatusten käyttämättä jättäminen, ihmisten taitojen ja kykyjen hyödyntämättä jättäminen ja asiakkaalle tarpeettoman tarjoaminen voivat olla hukkaa. (Mossman 2009)

Likerin (2004) mukaan Toyotan entinen teollisuusinsinööri ja toinen Toyota Production Systemin keksijä Taiichi Ohno piti ylituotantoa keskeisimpänä hukkana, koska siitä seuraa suurin osa muista arvoa tuottamattomista toiminnoista. Ylituotannosta seuraa muun muassa tarpeettomien varastojen kasautuminen työvaiheiden välille. Varastojen muodostuminen voi tyypillisesti johtaa pidempiin läpimenoaikoihin, ylimääräisiin varastointi- ja kuljetuskustannuksiin, viivästyksiin ja keskeneräisten tuotteiden vanhenemiseen tai vahingoittumiseen. (Liker 2004)

Koskela (2000) esittää hukan johtuvan kolmesta juurisyystä: tuotantosysteemin rakenteesta, tuotannon hallintatavasta ja siitä, että hukkaa esiintyy osittain luonnostaan tuotannossa. Kaikkien kolmen juurisyyn aiheuttamaa hukkaa voidaan vähentää. Hukan eliminoimisessa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että osa arvoa tuottamattomasta toiminnasta tuottaa arvoa sisäisille asiakkaille (kuten suunnittelu, kirjanpito ja onnettomuuksien ehkäisy). Osaprosessien hukan eliminoimisessa tuleekin ottaa huomioon, aiheuttaako hukan eliminoiminen enemmän arvoa tuottamatonta toimintaa muissa prosessin osissa. (Koskela 2000)

Varianssi on merkittävä hukan aiheuttaja. Tuotanto joka sisältää runsaasti varianssia on vaikeasti suunniteltavissa ja hallittavissa, koska se sisältää runsaasti epävarmuutta. Käytännössä varianssi tunnistetaan mittaamalla sitä tilastollisesti. Tämän jälkeen varianssin juurisyys selvitetään ja eliminoidaan. Toimenpiteiden standardointia käytetään yleensä varianssin ehkäisemiseksi kaikissa virtauksen osa-alueissa. Toinen vaihtoehto on Toyota Production System – tuotantojärjestelmästä lähtöisin olevien niin sanottujen ”poka-yoke” –virheidenestolaitteiden käyttö. (Koskela 1992)

Varianssin tilastolliseen tunnistamiseen ja ehkäisemiseen käytetään Lean-ajattelun työkaluista erityisesti Six Sigma – työkaluja. Six Sigman ajatuksena on, että prosessin virheitä mittaamalla voidaan kehittää prosessia systemaattisesti ja virheiden esiintyvyyttä vähentää. Ilman varianssin tilastollista tunnistamista ja toistuvuuden toteamista prosessin systemaattinen kehittäminen on vaikeaa, koska varianssin vaikutusta ei yksiselitteisesti tiedetä. Mikäli varianssia ei voida hallita, tulee pyrkiä sen ehkäisemiseen. (Pyzdek & Keller 2014)

Varianssin ja tästä seuraavan epävarmuuden hallitseminen riippuu organisaation informaation kulusta. Mitä enemmän epävarmuutta, sitä enemmän informaation jakamista tarvitaan. Epävarmuutta voidaan tiettyyn pisteeseen asti hallita byrokratian avulla, mutta liiallinen byrokratia ylikuormittaa organisaation osapuolia. Informaation jakamisen määrää voidaan vähentää vähentämällä informaation tarvetta tai parantamalla informaation käsittelyn kapasiteettia. Jos informaation tarvetta ei pyritä hallitsemaan, on seurauksena yleensä ylimääräisten resurssien käyttö, mikä lisää hukkaa. (Kivistö & Ohlsson 2013)

3. LEAN CONSTRUCTION

Leanin periaatteita ja työkaluja on sovellettu rakennusalalle Lean Constructionin muodossa. Nykyisellään Leania on hyödynnetty rakennusalalla pirstoutuneesti, esimerkiksi yksittäisten työkalujen hyödyntämisen muodossa. Pirstoutuneesta hyödyntämisestäkin on saatu positiivisia tuloksia, mikä kannustaa entistä Lean Constructionin entistä mittavampaan hyödyntämiseen. Seuraavissa alaluvuissa on käsitelty lyhyesti Lean Constructionin erityispiirteitä ja tunnuslukuja rakennusalan kontekstissa.

3.1 Rakennushankkeiden omalaatuisuus

Rakennushankekohtaiset ominaisuudet (toteutusmuoto, kohde, aliurakoitsijoiden ja asiakkaiden lukumäärä, jne.) vaikuttavat merkittävästi siihen, kuinka analogisena rakentamisprojektia voidaan pitää yleiseen massatuotantoon verrattuna. Rakennushanketta voidaan pitää tuotesuunnittelusta rakentamiseen jatkuvana tuotekehitysprosessina. Esivalmistettujen komponenttien tai moduulien käyttäminen tuo rakennushankkeen lähemmäs rakentamisen ja massatuotannon välistä harmaata aluetta, jossa rakentaminen tehdään työmaalla, mutta esivalmistus tehdasolosuhteissa. (Ballard & Howell 1995)

Rakennusala eroaa merkittävästi muista tuotannonaloista. Usein rakennusalan omalaatuisuutta esitetään syynä miksei muiden tuotannonalojen käytäntöjä yritetä soveltaa rakennusalalle. Rakennusala leimaa kompleksisuus ja epävarmuus. Rakennusalan omalaatuisuus on useiden tekijöiden summa. Tyypillisesti rakennusalan omalaatuisuudella viitataan Soton (2007) mukaan erityisesti jokaisen hankkeen ainutlaatuisuuteen (projektitoiminta), työmaalla tapahtuvaan tuotantoon, väliaikaiseen organisaatioon sekä viranomaisten ja säädösten tehdasteollisuutta merkittävämpään rooliin hankkeiden sujuvuuden näkökulmasta. (Soto 2007)

3.1.1 Projektien ainutlaatuisuus

Rakentaminen tuottaa uniikkeja tuotteita. Yksikään projekti ei vastaa täysin toista. Rakennusprojekteissa on tarkkaan määritelty tuotantojärjestys, mutta siinä ei käytetä pelkästään standardoitujen ratkaisujen kombinaatioita.

Asiakkaat ja näin ollen myös asiakkaiden kautta määritetty arvo ovat projektikohtaisia. Jokaiseen hankkeeseen liittyy erilaiset asiakkaan tarpeet, erilainen toteutusympäristö ja työmaa sekä erilainen projektioorganisaatio ja siihen liittyvät toimintatavat. Tilaajalla ei ole usein kokemusta aiemmista projekteista, jolloin tilaajan kokemuksen tuomaa etua ei voida hyödyntää projektin aikana. Rakennusprojekteissa on kuitenkin myös toistoa ja

jatkuvuutta: samankaltaiset työtehtävät sisältyvät eri projekteihin. Tämän vuoksi ainutlaatuisuuden aiheuttamat ongelmat pätevät ainoastaan osaan projektin prosesseista (Soto 2007).

Projektien ainutlaatuisuus on suhteellista. Teollisen tuotannon hyödyntäminen esivalmistettujen komponenttien ja rakennusosien muodossa vähentää projektien ainutlaatuisuutta. Lisäksi tehdasteollisuus on pyrkinyt ottamaan entistä paremmin huomioon asiakaskohtaiset erikoistoivomukset välittömästi tuotannossa, mikä on tuonut tehdasteollisuutta lähemmäs rakennusosalalle ominaista ainutlaatuisten tuotteiden tuotantoa. (Ballard & Howell 1998)

3.1.2 Työmaatuotanto

Rakennushankkeessa tuotanto tapahtuu paikalleen ”sidotulla” työmaalla. Työmaalla tuote ei liiku liukuhihnan mukana, vaan työryhmät liikkuvat vapaina olevien työasemien (mestojen) mukaan. Lisäksi työmaa on sääälle altis ja työmaa muuttuu tuotantovaiheen etenemisen mukana. Ballard & Howell (1998) kuvaa työmaatuotantoa seuraavasti: ”Kokoonpanoprosessissa kokonaisuuksista tulee liian suuria liikkua kseen kokoamispisteiden välillä, joten kokoamispisteet liikkuvat valmistuvien kokonaisuuksien välillä, lisäten osia liikkeessaan.”

Jatkuvasti muuttuvat työolosuhteet tekevät visuaalisesta ohjauksesta ja työmaasuunnittelusta haastavaa ja aiheuttavat tämän vuoksi läpinäkyvyysongelmia. Kun lisäksi otetaan huomioon materiaalien, työvoiman ja työasemien liikkuminen sekä varianssin vaikutus, on toiminnan kehittäminen projektin aikana vaikeaa. (Aapaoja & Haapasalo 2014)

3.1.3 Väliaikainen organisaatio

Rakennushankkeen organisaatio on usein koottu projektin keston ajaksi. Organisaatio koostuu useista yritysosapuolista ja toimialoista, jotka eivät välttämättä ole koskaan aiemmin työskennelleet yhdessä. Organisaation osapuolet sidotaan projektiin sopimusten sisällön avulla. Väliaikaisen organisaation haasteina ovat erityisesti tavoitteiden yhdenmukaistaminen, tiedonkulun järjestäminen, jatkuvan kehittymisen hallinta, varianssin ehkäiseminen sekä kokonaisprosessin hallinta (Soto 2007).

Väliaikaisia, projektikohtaisia organisaatioita hyödynnetään kuitenkin lähes jokaisella teollisuuden alalla. Tämä on seurausta teollisuusalojen tendenssistä suosia projektiluontoisuutta. Projektikohtaisten organisaatioiden hallitseminen ei täten ole uutta tai erilaista Lean-filosofiaa noudattaessa. (Ballard & Howell 1998)

Tyypillisessä rakennusprojektissa hankkeen eri osapuolet tekevät harvoin tiivistä yhteistyötä. Hankkeen alkuvaiheessa ei usein hyödynnetä urakoitsijan osaamista

suunnitelmien laatimisessa. Lisäksi tilaajan tarpeiden ja vaatimusten sovittaminen suunnitteluratkaisuiksi on puutteellista. Yhteistyön puutteesta seuraa tyypillisesti suunnitelmamuutoksia tai uudelleentekemistä, joista erityisesti jälkimmäinen lisää hankkeen kokonaiskustannuksia. (Bertelsen 2002)

3.1.4 Säästöjen aiheuttamat ongelmat

Suunnitteluratkaisut ja monet työvaiheet ovat viranomaistarkastusten alaisia. Viranomaisten väliintulo voi aiheuttaa epävarmuutta ja rasituksia prosessille. Viranomaishyväksynnän saaminen suunnitelmille on toisinaan arvaamatonta. Rakentamisen aikaiset viranomaistarkastukset voivat aiheuttaa viivästyksiä. Määräykset voivat olla esteitä innovaatioille, jos ne vaativat tiukasti tiettyjä menetelmiä suoritusten sijaan. (Soto 2007)

Lisäksi määräyksiä voidaan implementoida viranomaisten toimesta kesken hankkeen. Esimerkiksi Bryde & Schulmeister (2012) tutkimuksessa asuntokorjaushankkeen toteutusvaiheessa ilmeni määräys parantaa rakennuksen ääneneristävyyttä, mikä johti suunnitelmamuutoksiin ja valmiiden osakohteiden uudelleentekemiseen. (Bryde & Schulmeister 2012)

3.2 Hukka ja arvo rakennushankkeissa

Yksittäisiin työvaiheisiin keskittyminen aiheuttaa hukkaa niin tavallisessa tuotannossa kuin rakennusalallakin. Perinteisesti ajatellaan, että jokaisen työvaiheen tulisi tuottaa mahdollisimman paljon ja nopeasti, jotta kyseinen työvaihe olisi lyhytkestoinen ja kustannustehokas. Vastakkainasetteluna Lean Constructionissa fokus on kokonaistuotannossa ja sen kyvyssä tuottaa arvoa asiakkaalle. (Howell 1999)

Rakentamisessa hukka muodostuu muun muassa laatuvirheistä ja niistä johtuvista ylimääräisistä töistä, tarpeettomasta odottamisesta, turhista tavaroiden siirtelystä ja kuljetuksista, pitkään työmailla asennusta odottavista tarvikkeista jne. Suunnitelmien toteutumisen epäluotettavuus on merkittävä syy hukan esiintymiseen. (Merikallio & Haapasalo 2009)

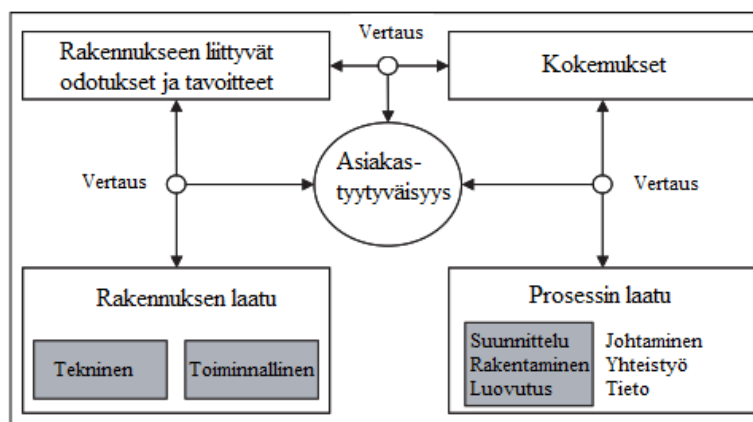
Lean Construction Institutien selvityksen mukaan noin 5 – 10 % rakennushankkeen toiminnoista on arvoa luovia. Noin 30 – 35 % tukee arvon luontia. Suurin osa tukitoiminnoista liittyy logistiikkaan. Arvion mukaan 55 – 65 % toiminnoista on hukkaa. (Mossman 2009)

Koskelan (1992) kirjallisuuskatsauksen perusteella huonon laadun kustannusvaikutukset vaihtelivat saatavilla olevien arvioiden mukaan välillä 6 – 20 % kokonaiskustannuksista. Suunnittelun osuudeksi huonon laadun aiheuttajista arvioitiin 78 % (useita yhdysvaltalaisia teollisuusprojekteja), 23 % (yksittäinen ruotsalainen suunnittele ja

rakenna projekti) ja 46 % (useita belgialaisia projekteja). Tuotannon osuus vastaavissa tutkimuksissa oli 17 %, 55 % ja 22 %. Materiaalintoimitusten vaikutuksen osuudeksi arvioitiin 20 % ruotsalaisessa hankkeessa ja 15 % belgialaisissa hankkeissa. (Koskela 1992)

Iso-Britannialaisten tutkimusten mukaan rakennustuotannossa uudelleentekemisen osuus on noin 30 %. Tuotannon tehokkuus on ainoastaan 40-60 % potentiaalista, onnettomuudet muodostavat 3 – 6 % kokonaiskustannuksista ja ainakin 10 % materiaaleista on hukkaa. Australian rakennusprojekteissa uudelleentekemisen osuudeksi arvioidaan 35 % kokonaiskustannuksista. Uudelleentekemisen arvioidaan vaikuttavan noin puoleen projektien ylimenneistä kustannuksista. (Aziz & Hafez 2013)

Hukan tunnistamiseksi ja eliminoimiseksi tulee myös olla keino tunnistaa arvo asiakkaan näkökulmasta. Rakennushankkeen asiakkaan kokemaan arvoon vaikuttaa monta tekijää. Peruseriaate on, että asiakas peilaa omia odotuksiaan projektin aikaisiin kokemuksiin ja valmiiseen tuotteeseen. Kärnän (2004) mukaan asiakkaan tyytyväisyys voidaan määrittää vertaamalla rakennuksen toiminnallisuutta ja teknisiä ratkaisuja asiakkaan odotuksiin, rakentamisprosessin laatua asiakkaan prosessinaikaisiin kokemuksiin sekä asiakkaan projektin aikaisia kokemuksia ja odotuksia toisiinsa. Nämä riippuvuudet on kuvattu kuvassa 3.1 (Kärnä 2004).

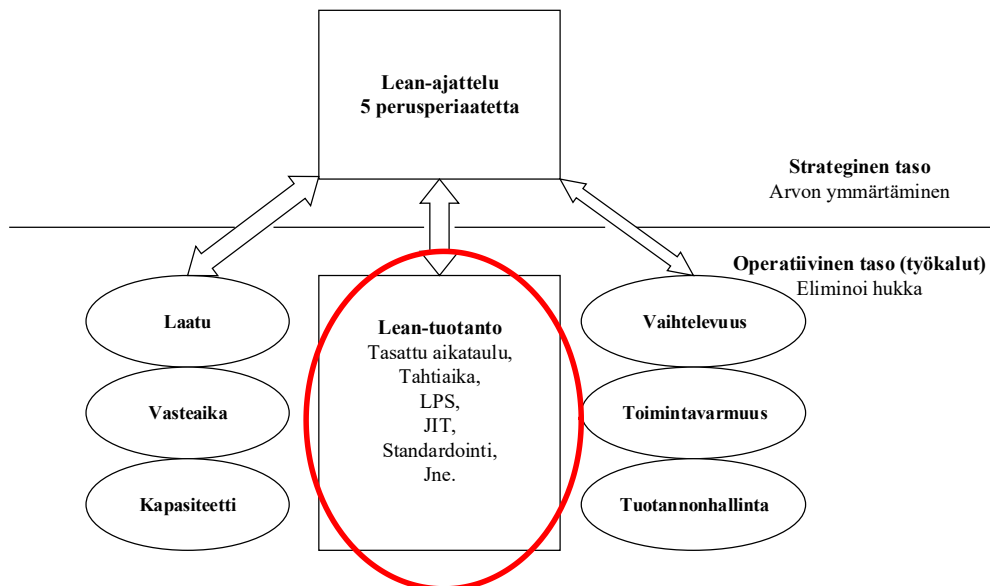


Kuva 3.1. *Asiakastyytyväisyyden ja laadun sisäiset suhteet projektitasolla (Kärnä 2004).*

Asiakkaan kokemaan arvoon liittyy myös arvon menettämisen vaikutukset. Arvon menetyttä on tutkittu ylimääräisen ylläpidon kustannusten kautta. Koskelan (1992) mukaan Ruotsissa ja Saksassa ylimääräiset laatukustannukset ovat maksaneet arviolta 3 % vuotuisesta rakennusalan kokonaistuotannon arvosta. 51 % näistä kuluista on arvioitu johtuvan suunnittelun puutteista, 36 % rakentamisen ongelmista ja 9 % käytön ongelmista. (Koskela 1992)

4. VIRTAUTTAMISEN SOVELTAMISMAHDOLLISUUDET

Hines et al.:n (2004) mukaan Lean-ajattelun strateginen ja operatiivinen taso tulisi erottaa toisistaan kokonaisuuden ymmärtämiseksi. Leanin operatiivisella tasolla käytetään Toyota Production System – menetelmää työkaluineen. (Hines et al. 2004) Kuvassa 4.1 on esitetty Lean-filosofian strateginen ja operatiivinen taso ja havainnollistettu tämän luvun sijoittumista osana Lean-ajattelun operatiivista tasoa. Kuvan operatiivisen tason lokeroidut näkökulmat liittyvät läheisesti toisiinsa, esimerkiksi standardoinnilla voidaan ehkäistä vaihtelevuutta, parantaa laatua ja lisätä toimintavarmuutta.



Kuva 4.1. Lean-filosofian strateginen ja operatiivinen taso (mukaillen Hines et al. 2004).

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään olennaisia teoriassa usein esiintyviä rakennushankkeen virtauttamisen menettelyjä. Menettelyt ovat osittain yhteen kytkeytyneitä (esimerkiksi Last Planner helpottaa aikataulujen tasaamista). Lisäksi osa Lean-ajattelun periaatteista, kuten imuohjauksen hyödyntäminen sisältyy alalukuihin (esimerkiksi Last Planner – menetelmän valmisteleva suunnittelu on imuohjausta). Tarkemmin käsiteltyihin menettelyihin liittyy myös aiemmassa kappaleessa esitellyt virtausprosessiin liittyvät periaatteet. Esimerkiksi työn osittamisella virtauksen näkökulmasta ja työprosessien standardoinnin avulla vähennetään varianssia, standardoidaan tuotantoa, voidaan lyhentää läpimenoaikoja sekä lisätä läpinäkyvyyttä jne.

Koska toistuvuus liittyy olennaisesti virtauttamiseen, voidaan virtauttamisen ajatella olevan helpoimmin toteutettavissa juurikin suurissa ja runsaasti toistuvuutta sisältävissä hankkeissa. Toisaalta hankekoon kasvaessa usein myös hankkeen monimutkaisuus kasvaa, mistä seuraa epävarmuutta. Virtauttamisen kannalta epävarmuus ja sen sisältämä varianssi taas on epäsuotavaa. Tämän vuoksi tulee kysymykseen hankkeen pilkkominen toistuvuutta sisältäviin osiin, jolloin osakohtaista epävarmuutta on helpompi hallita.

4.1 Virtauttaminen talonrakentamisessa

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään teoriassa usein mainittavia talonrakentamisen virtauttamisen kannalta olennaisia menettelyjä. Menettelyjen esittämisen tarkoituksena on osoittaa tuotannon virtauttamisen mahdollisuudet ja mahdollistaa haastatteludatan analysoiminen myöhemmin tässä työssä.

4.1.1 Standardoitu työ

Tuotantoprosessin varianssiin voidaan vaikuttaa käyttämällä standardoituja työtapoja. Standardoitu työ (eng. standard work) on yhdessä sovittu joukko noudatettavia toimenpiteitä jotka määrittävät parhaan toimenpideketjun jokaiselle prosessille. Työ tehdään parhaan saatavilla olevan menetelmän avulla asiakkaan vaatimukset mielessä pitäen. Standardoitu työ mahdollistaa Lean filosofian mukaisen jatkuvan kehittymisen. Lisäksi standardointi mahdollistaa työn toteutumien mittaamisen ja parantaa mittaustulosten vertailukelpoisuutta. Käytännön motivaatio standardoitujen työprosessien hyödyntämiseen tulee tehdasteollisuudesta, jossa standardointi on auttanut saavuttamaan monia hyötyjä, kuten varianssin vähentymisen ja tuottavuuden kehittymisen (Mariz et al. 2013).

Standardoitu työ sisältää vakioidun toimenpideketjun, keston ja tasaisen määrän keskeneräistä tuotantoa. Standardoitu työ vähentää hukkaa, koska työ on nopeasti toistettavissa ilman soveltavaa suunnittelua. Laadun paraneminen on seurausta standardoidusta työstä, koska se mahdollistaa tehokkaan oppimisen, työntekijöiden vaihtumisen ja työmäärien tasaamisen sekä visuaalisten opasteiden käytön osana virheellisten suoritusten kitkemistä. Standardoidun työn seurauksena työntekijät ymmärtävät mitä tarvitaan, kuka tarvitsee ja milloin tarvitaan. Standardoitu työ mahdollistaa myös tehokkaan ongelmanratkaisun, koska työtehtävien sisältö on tarkasti kaikkien tiedossa. (Luckman & Shuker 2016)

Standardoidulla työllä voidaan vastata useisiin rakennusalalla esiintyviin haasteisiin. Organisaation rajojen ja vastuiden epämääräisyys, tuotannon tehottomuus, hukka, tuotannon häiriöt, huono laatu, kustannukset, työntekijöiden osaaminen ja kehittäminen, aikataulujen pitämättömyys sekä muutostöiden määrä ovat tällaisia rakennusalan haasteita, joihin standardointi voi vastata. (Aapaoja & Haapasalo 2014)

Yksi standardoidun tuotannon muoto on teollinen rakentaminen. Teollinen rakentaminen on tuotantomuoto, jossa käytetään mahdollisimman pitkälle esivalmistettuja rakennusosia ja –komponentteja. Esivalmistuksessa osat valmistetaan jossain muualla kuin lopullisella työmaalla. Esivalmistus siirtää rakennusteollisuuden ajatusmaailmaa uniikeista projekteista kohti toistuvia prosesseja ja tehdasmaista tuotantoa. Toistuvuuteen keskittyminen korostaa työprosessien standardoinnin tärkeyttä esivalmistuksen onnistumiseksi. Ilman standardeja, prosessien varianssin mittaaminen, ymmärtäminen ja hallitseminen ovat vaikeaa. (Aapaoja & Haapasalo 2014)

Esivalmistuksen avulla voidaan mahdollistaa joidenkin Lean Constructionin periaatteiden, kuten tahtiajan ja tarkemman tuotannosuunnittelun, tehokkaamman hyödyntämisen käytännössä. Esivalmistus vähentää merkittävästi työmaalla syntyvää hukkaa, joten se mahdollistaa sulavan arvon virtauksen. Aapaoja & Haapasalon (2014) mukaan hukan syntymistä (betoni, teräkset, rappaukset ja tiilet) ja siihen liittyviä kustannuksia voidaan vähentää jopa 84,7 % esivalmistusta hyödyntämällä.

Standardoitu työ vaatii muiden Lean-periaatteiden implementointia toimiakseen. Ilman tuotantoaikataulun tasaamista tuotantomäärä vaihtelee päivittäin, jolloin standardoitu työ on mahdotonta. Vaihtelun estämiseksi tulisi implementoida tahtiaika, järjestää työtehtävät optimaalisesti ja minimoida varastot. (Liker 2004)

Fazinga et al. (2016) tutki case-hankkeen avulla kahdeksan kuukautta kestäneen rakennustyömaan teräsbetonirakenteisiin liittyvien standardoitujen työvaiheiden implementointia. Case-hankkeen avulla määritettiin rakentamisen tuotannon standardoimiskelpoiset elementit, jotka on esitetty taulukossa 4.1. (Fazinga et al. 2016)

Taulukko 4.1. Rakentamiseen liittyviä potentiaalisia standardoitavia elementtejä (Fazinga et al. 2016).

Elementti	Perustelu elementin standardoimiseksi
Työn sisältö	Työnjohdon kuvailemat toiminnot olivat vaillinaisia Jokaisen kerroksen työn määrästä oli epävarmuutta
Työtehtävien järjestys	Työtehtävillä on luonnostaan tietty tekninen toteutusjärjestys rakennusprosessissa
Työpaketit	Tapa työskennellä suurissa erissä Työt eivät valmistu täysin ja toimintojen kestot sisältävät varianssia
Työpakettien järjestys	Pitkät kävelymatkat ja jatkuva telineiden siirtely
Työpakettien ryhmäkoot	Jatkuvat ryhmäkoon ja -kokoonpanon variaatiot
Pakettien resurssitarpeet	Työpisteiden jättäminen resurssien etsimiseksi Vahingoittuneiden ja käyttökelvottomien resurssien vastaanottaminen
Siirtomenetelmät	Manuaalisten ja nosturin siirtojen varianssi Siirtoihin liittyvä suuri fyysisyys ja turvattomuus Siirtoihin liittyvä improvisointi
Resurssien varastointi	Varaston sijainnin vaihtuminen, likainen lattia ja fyysiset esteet Toistuva resurssien siirtely pohjakerrokseen
Pääkohdat	Virheet, uudelleen tekeminen ja jatkuva improvisointi
Nosturin rutiinit	Jaettu käyttö ja työmäärällinen ylikuormitus Joutilas työvoima odottelemassa nosturisiirtoja tai resursseja
Tuotannon tarkkailu	Tiimin tuotantokapasiteetin tiedon puutteet Pitkä ja vaihteleva läpimenoaika

4.1.2 The Last Planner System

Työvaiheiden aikataulunmukaisen toteutumisen epävarmuus on ongelma virtauttamisen näkökulmasta. Epävarmuus vaikeuttaa seuraavien työvaiheiden aloituksia edellisen työryhmän suunnitellun lopetuksen jälkeen, erityisesti kun työt ovat läheisesti linkittyneet. Seurauksena ovat työn virtauksen häiriöt. (Macomber et al. 2005)

Last Planner on Yhdysvaltalainen 1990-luvulla rakentamisen tuotannonohjaukseen kehitetty menetelmä. Menetelmän avulla pyritään ehkäisemään edellä mainittua epävarmuutta tarkemmalla suunnittelulla ja toimijoiden sitouttamisella tuotannosuunnitteluvaiheessa. Menetelmässä myös seurataan työn toteutumaa ja puututaan toteutuneen ja suunnitellun työn eroihin. Tässä työssä tehtyjen haastattelujen perusteella Last Planneria käytetään usein myös Suomalaisilla työmailla osana tuotannosuunnittelua ja tuotannon virtauttamista.

Last Planneria käytetään lyhyen (4 – 6 viikon) aikavälin suunnitteluun ja ohjaukseen. Viikkosuunnitelman laatiminen ja toteutumisen valvonta ovat keskeisiä menetelmiä Last Plannerin soveltamisessa. Viikkosuunnitelma sisältää vain tehtäviä, joiden aloitusedellytykset ovat kunnossa. Toisin sanoen viikkosuunnitelma määrittää *mitä tullaan* tekemään. Tämän vuoksi tulee noudattaa valmistelevaa suunnittelua, jonka tavoitteena on ylläpitää riittävä varanto aloituskelpoisia viikkotehtäviä. Valmisteleva suunnittelu määrittää *mitä voidaan* tehdä. Viikkosuunnittelun ja valmistelevan suunnittelun yläpuolella on yleisaikataulu, joka määrittää kaikki työpaketit sekä niiden järjestyksen eli sen, *mitä pitäisi* tehdä. Last Planner –menetelmä sisältää seuraavat osat (Bertelsen 2002; Koskela & Koskenvesa 2003):

- Osapuolten yhteinen rakentamisvaihesuunnittelu (käännetty vaiheaikataulu), jossa sitoutetaan osapuolet työhön.
- Järjestelmällinen valmisteleva suunnittelu, jossa luodaan edellytykset viikkotehtäville.
- Viikkosuunnitelma, jossa tehtävien edellytykset ovat varmistettu.
- Osapuolten sitoutuminen viikkosuunnitelman tehtävien läpivientiin.
- Viikkosuunnitelman tehtävien toteutumisen tarkastaminen.
- Tehtävien toteutumatta jäämisen syiden selvittäminen.
- Vaikuttaminen syihin.

Työn kulun hallinnan (eng. work flow control) peruseriaate Last Plannerissa on saada työ liikkumaan tuotantoyksiköiden välillä halutun järjestyksen ja nopeuden mukaisesti. Työn kulun hallinta koordinoi suunnittelun, toimitusten ja asennusten virtaa tuotantoyksiköiden välillä. Valmistelevalle suunnittelulle on merkittävä rooli työn kulun hallinnassa. Valmisteleva suunnittelu antaa muodon työn kulun järjestykselle ja nopeudelle, yhdenmukaistaa työn kulun kapasiteetin kanssa, pilkkoo yleisaikataulun toiminnot työpaketeiksi ja operaatioiksi, määrittelee menetelmät töiden suorittamiseksi,

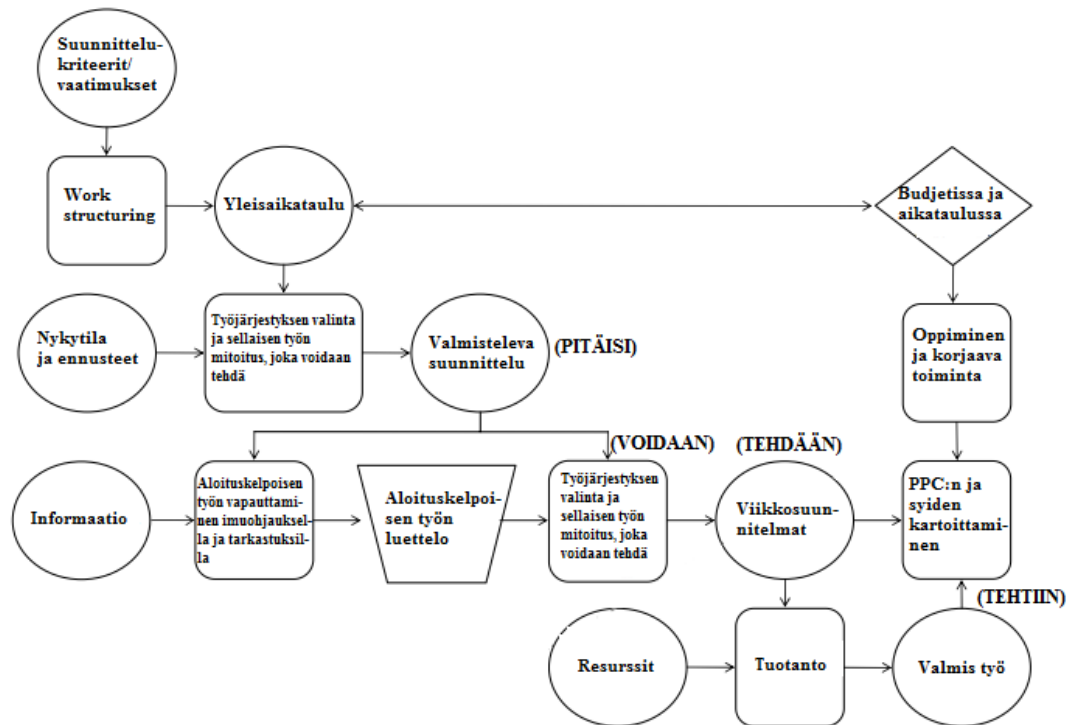
ylläpitää valmiina olevien töiden luetteloa sekä uudelleenarvioi ja päivittää ylemmän tason aikatauluja tarvittaessa. (Soto 2007)

Suurin osa työmaan tehtävistä on kokoonpanotehtäviä, jotka sisältävät useita panosvirtoja epävarmuuksineen. Koskela & Koskenvesan (2003) mukaan tuotannonohjauksen teoria suosittelee, että panokset siirretään tällaisessa tapauksessa imuohjauksen avulla. Imuohjaus toteutetaan Last Plannerissa valmistelevan suunnittelun ja käännetyn vaiheaikataulun avulla. Valmistelevassa suunnittelussa havaitaan ja ratkaistaan tuotannon toteuttamisen ongelmat etukäteen. Last Plannerissa otetaan huomioon, mitä tehtäviä suunnittelun näkökulmasta pitäisi tehdä, mutta työasemille kohdennetaan ainoastaan työtehtävät, jotka voidaan tehdä. Menettelyllä pyritään varmistamaan kaikkien tarvittavien panosten saatavilla olo. (Koskela & Koskenvesa 2003)

Imuohjauksen suunnittelu perustuu valmistelevan suunnittelun lisäksi käännettyyn vaiheaikatauluun. Käännetyssä vaiheaikataulussa tehtäviä tarkastellaan aloittaen tavoitteellisesta valmistuspäivämäärästä taaksepäin edeten. Tehtävät määritetään ja järjestetään siten, että niiden valmistuminen vapauttaa työtä. Työtehtävät, informaation virtaus ja materiaalitoimitukset suunnitellaan alavirran asiakkaiden tarpeiden, toisin sanoen imun, perusteella. Imuohjauksen hyödyntäminen mahdollistaa luotettavamman ja tehokkaamman työn kulun, koska odottamiseen, tarpeettomaan tekemiseen ja ylituotantoon liittyvä hukka saadaan eliminoitua. Käännetyn vaiheaikataulun käyttäminen paljastaa usein tarpeen käyttää pienempiä tuotantoeriä, Just in time –toimituksia, resurssien parempaa tasaamista ja lyhyempiä läpimenoaikoja. Käännetty vaiheaikataulu toteutetaan seuraavien vaiheiden avulla (Leanconstruction.org 2017):

- Työvaiheiden määrittäminen.
- Työvaiheiden valmistuspäivämäärien määrittäminen (virstanpylväät).
- Työvaiheiden toteuttamiseen tarvittavien toimintojen verkon määrittäminen valmistuspäivämääristä lähtien, tiimityötä ja Post-it –lappuja hyödyntämällä.
- Toimintojen keston määrittäminen ilman epävarmuutta tai puskuriaikoja.
- Logiikan uudelleenarviointi kestojen lyhentämiseksi.
- Aikaisimman käytännöllisen aloitusajan määrittäminen.
- Puskureilla suojattavien epävarmuutta sisältävien toimintojen määrittäminen.
 - Mitkä toimintojen kestot ovat todennäköisimmin muuttuvia?
 - Mitkä ovat riskit?
 - Toimintojen tärkeysjärjestykseen laittaminen epävarmuuden mukaan.
 - Aikataulupuskurien sijoittaminen toimintoihin tärkeysjärjestyksen perusteella.
- Onko tiimin mielestä määritetyt puskurit riittäviä virstanpylväiden mukaisen toteutuksen saavuttamiseksi? Jos ei, suunnittele uudelleen tai siirrä virstanpylväitä, jos mahdollista.

Kuvassa 4.2 on esitetty Last Planner – menetelmän prosessikaavio. Kuva esittää eri suunnitteluvaiheiden liittymisen siihen mitä aiemmin kuvaillun Last Plannerin logiikan mukaan pitäisi, voidaan, tehdään ja tehtiin.



Kuva 4.2. Last Planner – menetelmän prosessivirta (Forbes & Ahmed 2010).

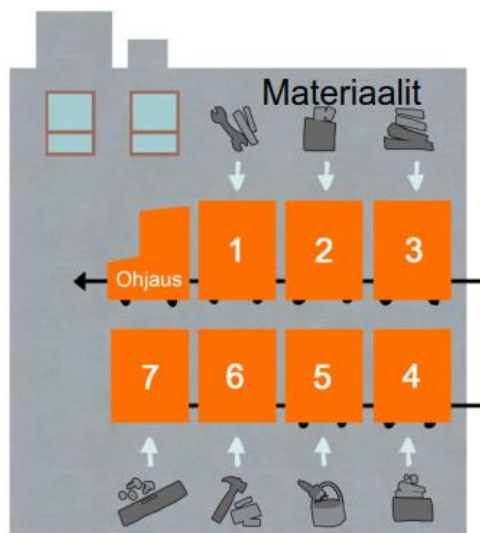
Tuotannosuunnittelijat (Last Plannerit) ja toimijat tekevät lupuksensa osana viikkosuunnittelua. Tällöin lupauksista tulee luotettavampia, koska niissä hyödynnetään yhteistyötä muiden toimijoiden kanssa. Mikäli toteuttamisen aikana havaitaan, että joitakin lupauksia ei voida pitää, tulee ohjauksen osana reagoida nopeasti ongelmiin. Tämä vaatii työn etenemisen jatkuvaa arviointia, jota Last Planner noudattaa muun muassa mittaamalla työn valmistumisasetta PPC (Percent of Plan Complete) –mittauksen avulla. Toteuttamisen ongelmien nopea raportointi mahdollistaa korjaavan ohjaamisen uusien ongelmien välttämiseksi. (Macomber et al. 2005)

Kriittisin työn virtaukseen vaikuttava tekijä on seuraavan työryhmän informoiminen edellisen työvaiheen valmistumisesta. Ennakoitavuus mahdollistaa seuraavien työryhmien valmistautumisen työn suorittamiseen työn virtauksen ylläpitämiseksi. Tapauskohtaisesti työn valmistuminen voi käynnistää hyväksymisprosessin, kuten laadunvarmistusmenettelyn tai työkohteen luovutuksen seuraavan työn aloittamiseksi. Tällöin työn virtauksen ylläpitäminen voi olla vaikeaa. Ilman kunnollista luovutusmenettelyä työn valmistumisen toteaminen saattaa jäädä seuraavaan projektikokoukseen. (Macomber et al. 2005)

4.1.3 Tahtiaika tuotannonohjauksessa

Perinteisissä rakennusprojekteissa käytetään tuotannosuunnittelun ytimenä paikka-aikakaavioita ja aikatauluja. Yassine et al. (2014) väittävät, että tällaisesta toimintoperusteisesta johtamistavasta tuotannosuunnittelun pohjana seuraa usein tuotantotehon jotakuinkin sattumanvarainen kohdentaminen (korkeat ja matalat tuotannonhuiput). Tuottavuuden epätasaisuuden tasaaminen reagoimalla tapahtuu Yassine et al.:n mukaan usein resurssien hallitsemattomalla uudelleenkohdentamisella, jolloin myöskään resurssien käyttö ei ole tasaista. Epätasaisuuden uskotaan olevan suurin syy aikataulujen viivästymisille ja kustannusten ylittymisille. (Yassine et al. 2014)

Rakennustuotannon virtauttamisen eräs keskeinen esimerkki on niin sanottu ”tuotantojuna–malli”. Tuotantojunan vaunut ovat tuotantopaketteja (saman kestoisia työvaiheita) joita ohjataan tuotannosuunnittelulla ja –ohjauksella (veturi). Yhden työvaiheen vakioitu kesto muodostaa tahtiajan, jolloin jokaisen lohkon valmistumisaika saadaan kertomalla työvaiheiden määrä tahtiajalla. Kuvassa 4.3 on esitetty tahtiaikatuoanto virtautettuna tuotantojunana. (Salminen 2016)



Kuva 4.3. Rakennustuotannon virtautettu tuotantojuna (Salminen 2016).

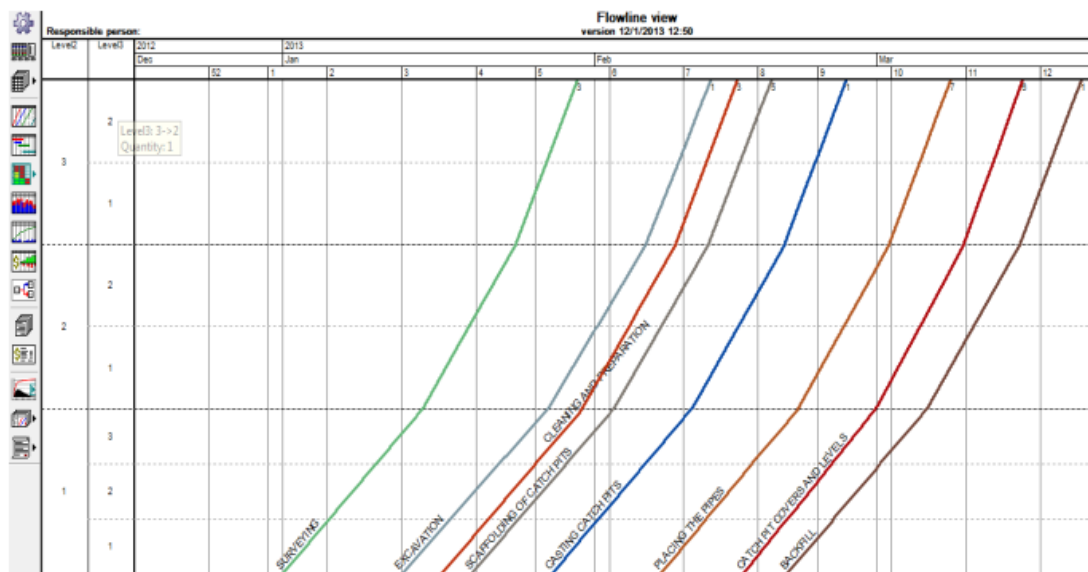
Tahtiaikasuunnittelun avulla rakennushankkeen tuotannosuunnittelusta uskotaan saavan nykyistä tarkempi ja luotettavampi. Tahtiaikasuunnittelun tavoitteena on ennakoitavissa oleva ja tasainen tuotantotahti, jonka seurauksena myös toimitusten ja logistiikan suunnittelu on tarkkaa. Frandson et al. (2013) on listannut tahtiajan käytöstä saatavia hyötyjä rakennustuotannon aikataulutuksessa:

- Työryhmät voivat keskustella vaihtoehtoisista lähestymistavoista ja kuinka kukin haluaisi työnsä tehdä niin, että systeemin pullonkaulat (tahdin asettajat) voitaisiin määrittellä ja mikä lähestymistapa sopii kullekin ryhmälle projektin kokonaisuuden parhaan toteuttamisen kannalta.

- Jokainen työntekijä tietää, missä heidän tulee työskennellä ja milloin, jotta mahdollinen jäljellä oleva koordinointi voidaan suorittaa viivyttämättä ja ilman toteutuksessa esiin tulevia yllätyksiä.
- Jokainen työryhmä tietää paikkansa tuotantosarjassa, jotta ryhmät voivat keskittyä työryhmien väliseen resurssien yhteensovittamiseen (yhteinen alue materiaaleille ja kokoamiselle, kulkureitit materiaalitoimituksille, yhteiset nostokalustot, yms.).
- Työryhmät voivat luottaa suunnitelman paikkaansa pitävyyteen (liittyen aikaan ja riittävään tilaan työn tekemiseksi) ja voivat siten suunnitella yksityiskohtaisesti työn toteuttamisen (turvallisuus, laatu, logistiikka), ilman vaihtoehtojen miettimistä suunnitelmamuutosten varalle.
- Työryhmät saavat välitöntä palautetta töiden etenemisestä (ovatko he tahtiajassa? Onko laatuvaatimukset täytetty?), koska työn edistymistä seurataan päivittäin pieneksi jaetuissa mestoissa.
- Työryhmien edistymistä arvioidaan pienissä erissä, joten maksut saadaan suoritettua tarkemmin toteutuman mukaisesti.
- Listatuista hyödyistä seuraa, että ryhmät voivat olla tuottavampia kuin ne muuten olisivat.

Jatkuvan virtauksen luominen pakottaa ottamaan käyttöön useita Lean-työkaluja, kuten visualisoinnin ja tahtiajan (Liker 2004). Tahtiaika tarkoittaa aikaa, jossa tuote täytyy valmistaa, jotta tuotteen kysyntään saadaan vastattua (Frandsen et al. 2013). Tahtiajan laskentakaava on käytettävissä oleva työaika jaettuna tilattujen tuotteiden lukumäärällä. Rakennustuotannossa tarkoituksenmukainen tahtiaika voidaan määrittellä ainakin kahdella tavalla. Ensimmäinen tapa on käyttää vakioitua ajanjaksoa, jossa työtehtävät on suoritettava, mikäli ajanjakso on määritetty ja ”vahvistettu” saatavilla olevien tuotannonkijöiden ja menetelmien avulla. Toinen tapa on määrittellä käytettävissä olevat tuotannonkijat ja menetelmät, selvittää hitaimman työvaiheen tuotantonopeus ja tutkia voiko sitä kehittää nopeammaksi. Nopeutetun hitaimman työvaiheen tuotantonopeutta käytetään tahtiajan perustana ja muiden työvaiheiden tuotantonopeus sovitetaan vastaamaan sitä. (Frandsen et al. 2013)

Tahtiajan soveltamisessa rakennusalalle siirrytään epätasaisista työvaiheiden kestoista saman kestoisiin työvaiheisiin (kuva 4.4), joiden tuotantonopeus täyttää tuotannon aikatauluvaatimukset. Tahtiajan soveltaminen vaatii jokaisen rakentamisvaiheen pilkkomista fyysisiin osa-alueisiin, joissa työryhmät toteuttavat tehtävänsä tahtiajan pituisissa ajanjaksoissa. Tahtiaika määrittää suurimman mahdollisen työtehtävään käytettävissä olevan ajan. Tuotannonsuunnittelun tulee määrittää tahtiajan pituuden ja mahdollistaa osa-alueiden esteettömän käytön, jotta tahtiaika voidaan saavuttaa. Tahtiaikatuotanto mahdollistaa myös puskureiden optimoimisen, mikä vähentää osaltaan tuotannon hukkaa. (Frandsen et al. 2013)



Kuva 4.4. Tahtiaikatuotanto esitettyinä vinoviiva-aikataulun avulla (Yassine et al. 2014).

Tahtiaikatuotanto voidaan toteuttaa pelkistetysti seuraavien vaiheiden mukaisesti (Yassine et al. 2014):

1. Projektin toteutukseen käytettävissä oleva aika (lupaus asiakkaalle) ja virstanpylväiden määrittäminen.
2. Tehtävien työvaiheiden määrittäminen.
3. Tuotantoprosessiin, sen vaiheisiin, työvaiheiden järjestykseen ja kestoihin liittyvän tiedon koonti esimerkiksi Last Plannerin seinätaulumenetelmän avulla.
4. Työmaan osittaminen tarkoituksenmukaisen pieniin lohkoihin tai toistuviin alueisiin, jotka toimivat tahtiaikasuunnittelun yksikköinä.
5. Tuotannon tahtiaika määritetään hitaimman työvaiheen, eli pullonkaulan mukaan (hitainta vaihetta pyritään nopeuttamaan, jolloin myös tahtiaika nopeutuu).
6. Työvaiheiden yhdenmukaistaminen tahtiajan kanssa esimerkiksi resursseja mitoittamalla.
7. Erilaisten tietojen kuten materiaalitöimitysten ja suunnitelmien saanti sidotaan etenemistahtiin. Toimituksissa pyritään noudattamaan Just in timen periaatteita.
8. Prosessia kehitetään jatkuvasti paremmaksi selvittämällä ongelmien juurisyyt ja ratkaisemalla ne. Selvitetään voiko tahtiaikaa nopeuttaa entisestään.

Yhdenmukaisen tahtiajan käytöstä seuraa, että erityisesti nopeimmat työryhmät voivat olla osan tahtiajasta joutilaina. Tällöin voi tulla kyseeseen pienentää työryhmän kokoa, tai kohdentaa työryhmälle muita vapaina olevia työtehtäviä. Tahtiaikaa voidaan pyrkiä lyhentämään kasvattamalla hitaimman työryhmän kokoa, muuttamalla työmenetelmiä ja kalustoa, käyttämällä esivalmisteita, tai tekemällä osa valmistelevista töistä etukäteen. Mikäli joutilaita työryhmiä ei saada kohdennettua muualle, on seurauksena kapasiteetin menetyt. Tämän vuoksi töiden sisältämän varianssin vähentäminen ja töiden tehokas

vapauttaminen viikkosuunnittelun avulla on olennaista tahtiaikatuotannon ohessa. (Frandsen et al. 2013)

Tyypillisesti pääurakoitsija implementoi tahtiajan tuotantoon. Tämä johtuu useista syistä. Tahtiajan käyttö vaatii vahvaa johtavaa tahoja, joka tietää tarkalleen, miten toimia. Johtavalla osapuolella tulee olla teknistä ja johtamisosaamista, tieto miten projekti parhaiten toteutetaan, sekä missä järjestyksessä ja minkälaisella aikataululla työryhmien tulisi työskennellä. Johtavalla taholla tulee olla kyky, kuri ja valta saada aliurakoitsijat noudattamaan tahtiaikaa. Tämän vuoksi yleensä pääurakoitsija suunnittelee tahtiajanmukaisen toteutuksen, jonka jälkeen aliurakoitsijat sitoutetaan noudattamaan sitä sopimuksin. Erityisesti monimutkaisissa projekteissa tulee huolehtia, että osapuolilla on ymmärrys tahtiajan noudattamisesta. (Lange 2016)

Tahtiaika soveltuu erityisesti projekteille, jotka voidaan jakaa identtisiin tai samankaltaisiin toistuviin tuotantoyksiköihin. Yhdysvalloissa sarjatuotantohankkeet, kuten lomamökkien sarjatuotanto lomakohteessa tai yhdenmukaisten asuinrakennusten tuotanto sisältävät runsaasti toistuvuutta ja ovat erinomaisia tahtiajan soveltamiskohteita. Korkeat kohteet, kuten hotellit tai pilvenpiirtäjät, joissa huoneistojen välillä on toistoa soveltuvat myös hyvin tahtiaikatuotantoon. Toistuvuuden vuoksi työryhmien työjärjestys voidaan pitää samana. Lisäksi aliurakoitsijat kehittyvät tuotantosysteemin noudattamisen seurauksena, jolloin jatkuvasta virtauksesta tulee entistä luotettavampi. (Lange 2016)

Muita tahtiaikatuotantoon hyvin soveltuvia hankkeita ovat tierakennushankkeet ja lentokentän asfaltoidut alueet, joissa logistiikka ja sen toistuvuus ovat suuressa roolissa tahtiaikaa implementoidessa. Sairaalat sisältävät satoja kooltaan, infrastruktuuriltaan ja pintaratkaisuiltaan samanlaisia potilashuoneita, joissa tahtiaikatuotantoa voidaan noudattaa. Myös aurinkopaneelipuistot, autoparkit, putkilinja- sekä tunnelihankkeet voivat sisältää runsaasti toistoa. Pienemmässä mittakaavassa esimerkiksi linjasaneeraukset ja julkisivukorjaukset soveltuvat myös tahtiaikatuotantoon. (Lange 2016)

Tahtiajan suunnittelussa tulee ottaa huomioon kohteen tahdistettujen lohkojen suuruuden merkitys tahtiajan keston. Isommat alueet vaativat pidemmän tahtiajan (esimerkiksi viikon kestävä tahtiaika verrattuna päivään). Pitkäkestoisissa tahtiajoissa työryhmien odotteluajat voivat olla suhteellisen suuria. Tämän vuoksi voi olla tarkoituksenmukaista tavoitella lyhyempiä tahtiaikoja ja -alueita. Pienempiin alueisiin jako nopeuttaa myös työvaiheiden valmistumiseen liittyviä tarkastuksia. Muita hyötyjä on muun muassa tehostunut tuotannon hallittavuus johtuen standardoitujen työvaiheiden liittymäkohtien suuremmasta määrästä (tekeminen jatkuu standardoidusta työstä toiseen). (Binnering et al. 2016)

Frandsen et al. (2013) tutkimuksessa tarkastellaan tahtiajan implementointia ja esille tulleita haasteita julkisivutöiden suorittamisessa. Projektin suurin ongelma muodostui

tuotantosuunnitelman tavoitteiden kommunikoinnin järjestämisestä päivittäin etenevien työryhmien kanssa. Selkeä kommunikaatio oikein valitun tiedonvälitysmenetelmän kautta on tärkeää, koska se tekee päivittäisestä sitouttamisesta mahdollista.

Toiseksi, tuotantotiimi huomasi, että tahtiaika vaatii entistä enemmän harjoittelua ja kurinalaisuutta tuotantosuunnitelmassa pysymiseksi. Toiminnan onnistunut muutos vaati muutosta osallisten ajattelussa. Yksityiskohtainen tuotannon suunnittelu aiheutti stressiä työmaanjohtajalle, koska jokaisen työryhmän päivittäisen työpanoksen tuli olla ennalta määritetty. Tahtiaika voi lisätä erityisesti tuotannosuunnittelijan kiireellisyyden tunnetta, ja ilman tuotantoprosessin kunnollista ymmärtämistä tahtiajasta seuraa ainoastaan stressiä. Esimerkkitapauksen tuotantotiimi korotti tahtiaikaa ongelmien seurauksena, jonka jälkeen tuotannon ongelmista selvittiin ja tuotantosuunnitelma saatiin toteutettua. (Fransson et al. 2013)

Kolmanneksi, tuotantotiimi oppi, että päivittäisen tuotannon suunnittelu vaatii enemmän tukea suunnittelijoille. Päivittäinen tuotannon kontrollointi vaatii pääurakoitsijan tukea ihmisille kaikilla tasoilla. Pelkkä tuotantosuunnitelman julkaisu ei riitä. Ihmisten kasvamisesta ja hyvinvoinnista tulee myös huolehtia. Tämä koskee kaikkia tuotantoon ja sen suunnitteluun osallistujia. (Fransson et al. 2013)

4.1.4 Tahtiaikaesimerkki: putki- ja viemärijärjestelmien rakentaminen

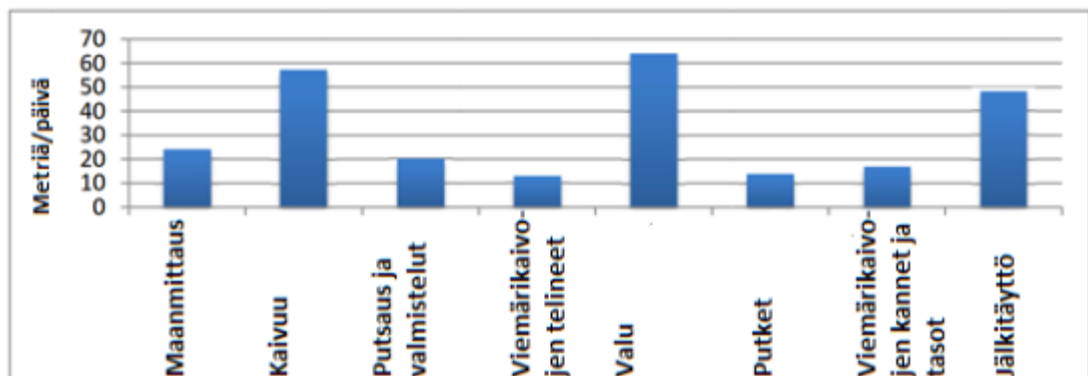
Tämän työn haastattelujen perusteella tahtiaikatuoanto koetaan haasteelliseksi toteuttaa ja ylläpitää. Tämän vuoksi tässä työssä on esitetty kolme teoriasta löytyvää tahtiaikaesimerkkiä: seuraavaksi esitetty putkilinjaston rakentamisen esimerkki, luvusta 5.3.1 Tierakentaminen löytyvä tiehankkeen tunneliosion esimerkki sekä luvun 5.3.4 Putkilinjahankkeen esimerkki.

Teoriasta löytyy uudisrakentamisen kontekstissa putkilinjaston rakentamista ja tahtiaikaa käsittelevä case-hanke. Kyseinen hanke koostuu 3000 m² alueesta, johon kuuluu 300 asuntoa ja 170 kivijalkamyymälää. Case-tutkimus keskittyy putki- ja viemärijärjestelmien asentamiseen, alkaen kaivuutöistä ja päättyen 600 viemärikaivon asennuksiin yhdistäen koko projektin putkistojärjestelmän. Valittu laajuus auttoi Yassine et al.:n (2014) mukaan keskittymään työtehtäviin, jotka sisältävät merkittävästi toistuvuutta. Taulukossa 4.2 on esitetty projektin sisältämät työtehtävät ilman tahtiajan hyödyntämistä. (Yassine et al. 2014)

Taulukko 4.2. Putkilinjan rakentamisen alkutilanne (Yassine et al. 2014; Vuorio 2016).

Tehtävä	Yhden henkilön menekki (tuntia per metri)	Tuotantoaste (metriä per päivä)	Kesto (Päivinä)	Työntekijöiden määrä ryhmässä	Ryhmien määrä	Huomioita
Maanmittaus	1	24	33	3	1	-
Kaivuutyöt	0.7	57.14	17	5	1	Metrin syvyyteen
Putsaus ja valmistelut	2	20	48	5	1	Kaivinkoneen sijasta käytettävä käsityökaluja talojen läheisyyden vuoksi
Viemärikaivojen rakennustelineet	2.5	12.8	74	2	2	Viemärikaivot ovat liian kapeita suuremmalle kuin kahden henkilön ryhmäkoolle
Valu	0.5	64	15	4	1	
Putket	A&C: 2.3 B:1.6	13.9	68	2	2	Yksi alueesta sijaitsee rinteessä
Viemärikaivojen kannet ja tasot	1.9	16.8	56	2	2	
Jälkitäyttö	0.5	48	19.8	3	1	-

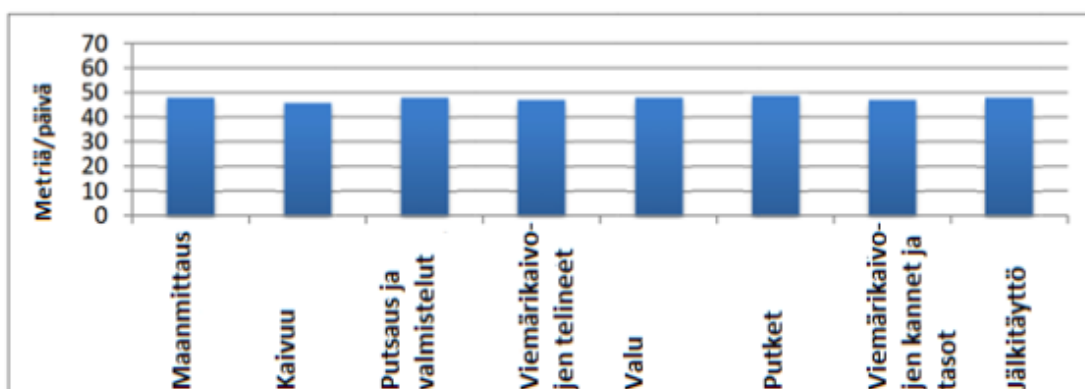
Alkutilanteessa (kuva 4.5) jokainen tehtävä eteni ”niin nopeaa kuin mahdollista”. Tehtävät aloitettiin heti kun mahdollista sen sijaan, että aloitusajankohtia oltaisiin viivytetty tahtiakatuotannon menettelyn mukaisesti. Esitettyjen tehtävien kokonaiskestoksi laskettiin perinteisellä menetelmällä 105 päivää. Lähestymistapa sisälsi runsaasti hukkaa. Telineitä oli saatavilla vain kaksi kappaletta, mikä aiheutti pullonkaulan telineiden jälkeisten tehtävien alkamiselle. Syynä telineiden vähäisyydelle oli tavoite säästää rahaa ajan kustannuksella. Lisäksi alkutilanteen mukainen menettely sisälsi runsaasti ”palkkaamista ja erottamista” työntekijöiden näkökulmasta, jossa työntekijöitä painotetaan tekemään osan työstä aluksi, sitten keskeyttämään työnteko ja jatkamaan töitä myöhemmin. Tällaisen menettelyn tiedetään olevan huonon johtamisen indikaattori, koska ”palkkaamisesta ja erottamisesta” seuraa aika- ja materiaalihukkaa työntekijöiden kokemista toistuvista häiriöistä johtuen. (Yassine et al. 2014)



Kuva 4.5. Putkilinjan rakentamisen alkutilanteen tuotantotehokkuudet (Yassine et al. 2014; Vuorio 2016).

Viivästysten välttämiseksi prosessiin implementoitiin tahtiaika. Tehtävistä tehtiin mahdollisimman toistuvia ja vähän puskureita sisältäviä. Sama ryhmä liikkui työpisteeltä toiselle samaa tehtävää tehden ilman häiriöitä. Tällöin säästettäisiin resursseja ja parannettaisiin tuottavuutta. Tahtiajan implementointiin sisältyi kaksi vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa tehtävät järjestettiin nopeuden mukaisesti, jotta jokainen tehtävä olisi jatkuvasti tehokas alusta lopetukseen asti. Nopeiden vaiheiden aloituksia viivytettiin, jotta vältettäisiin häiriöiden syntymistä ja ajan hukkaa. Toisessa vaiheessa prosessi säädettiin tahtiajan mukaiseksi. Lisäksi työryhmien lukumääriä ja kokoonpanoja muutettiin vastaamaan paremmin tahtiaikaa. Pullonkaulana toiminutta telineiden asennusta tehostettiin vuokraamalla lisää telineitä ja lisäämällä työryhmien lukumäärää kolmella. Kuvassa 4.6 on esitetty edellä mainittujen toimenpiteiden ja tahtiajan implementoinnin jälkeiset tuotantotehokkuudet. (Yassine et al. 2014)

Tehtävä	Yhden henkilön menekki	Tuotantoaste (m/päivä)	Kesto (Päivinä)	Työntekijöiden määrä ryhmässä	Ryhmien määrä
Maanmittaus	1	48	20	2	3
Kaivuu	0.7	45.7	20.8	4	1
Putsaus ja valmistelut	2	48	19.9	4	3
Kaivojen telineet	1.7	47	20	2	5
Valu	0.5	48	20	3	1
Putket	1.7	48.63	20	2	5
Kaivojen kannet ja tasot	1.7	47	19	2	5
Jälkitäyttö	0.5	48	20	3	1



Kuva 4.6. Tahtiajan mukaiset tuotantotehokkuudet. (Yassine et al. 2014; Vuorio 2016)

Tutkimuksessa päädyttiin tahtiaikaan 48 metriä / päivä. Tämä tarkoitti, että tehtävien toteuttaminen kestäisi 54 päivää 105 päivän sijaan, jolloin aikaa säästettäisiin noin 50 prosenttia. Uudessa järjestelyssä tehtävät on järjestetty synkronisesti. Tehtävät kokevat huomattavasti vähemmän häiriöitä, koska virtaus on nyt jatkuva. Tämä jatkuva työnkulku mahdollistaa myös tehokkaamman ja optimaallisemman työvoiman kohdentamisen. (Yassine et al. 2014)

4.1.5 Puskurien hyödyntäminen ja Just in time

Tuotantosysteemikirjallisuudessa puskurilla tarkoitetaan mekanismia, joka mitätöi varianssin vaikutukset systeemin sisällä. Puskurit voi liittyä materiaaleihin, työntekijöiden kapasiteetteihin tai aikatauluihin. Materiaalipuskurissa työtehtävän kannalta kriittisiä materiaaleja varastoidaan enemmän kuin olisi välittömän (käytännössä esimerkiksi päivittäisen) käytön kannalta tarpeellista. Kapasiteettipuskurissa työryhmille kohdennetaan vähemmän töitä, kuin työryhmä kykenisi kyseisellä ajanjaksolla tekemään. Aikataulupuskurissa aikataulu tai sen osa luodaan ei-kriittistä polkua edeten, toisin sanoen varastoidaan aloituskelpoisia työtehtäviä, jotka olisivat valmiita tehtäviksi. (Koga et al. 2016)

Just in timen periaate on virtausprosessien luominen työpisteitä yhdistämällä, jolloin tasainen tasapainotettu materiaalivirta virtaa koko tuotantoprosessin läpi (Soto 2007). Ideaali Just in time pyrkii eliminoimaan erilaiset puskurit tuotantoprosessien väliltä ja tavoittelee yhden yksikön tuotantoeria. Ideaalisesti materiaalit toimitetaan työstettäviksi juuri silloin kun niitä tarvitaan. (Liker 2004)

Just in timen mukaan tavarantoimittajat toimittavat pieniä määriä materiaalia lyhyin väliajoin. Toimitettavan materiaalin määrä määräytyy todellisen kulutuksen perusteella (imuohjauksella) ennakoinnin sijaan (työntöohjaus). (Gao et al. 2014) Jotta todellisiin menekkeihin perustuvasta toimitustavasta saadaan tasainen ja ennakoitava, tulee Just in timen kohteena olevien tuotannon prosessien olla toistuvuutta sisältäviä. Tuotannon tulee olla tasaista työtoteumaa myöten. (Soto 2007)

Toistuvassa tuotannossa materiaalitöimitukset suunnitellaan ja ohjataan Just in timen mukaisesti, eli niin, että tavaraa tulee ajallaan oikea määrä ilman välivarastointia suoraan käyttöpaikalle. Materiaalien varastoinnilla valmistuspaikalle ehkäistään vaurioiden syntymistä, vähennetään käsittelykertoja ja vältetään ylimääräiset varastoinnit työmaalla. Toimittajien lukumäärän vähentämällä ja jäljellä olevia toimittajia kouluttamalla voidaan parantaa Just in timen mukaista toimitusta. Kasvaneet kuljetuskustannukset haittaavat pienten toimituserien käyttämistä. Pienet toimitukset voidaankin toteuttaa yhteiskuljetuksin, joissa pienet määrät eri materiaaleja toimitetaan yhdessä. (Toikkanen & Kiiras 1994; Junnonen 2010)

Toyotan autotehtaiden tuotantosysteemin tapauksessa puskuroiden eliminointi oli mahdollista erittäin stabiilien tuotantoaikataulujen ja olosuhteiden ansiosta. Erilaisten variaatioiden poistaminen mahdollisti tuotannon virtausten ylläpidon ja kehittämisen. Rakennushankkeissa ei tyypillisesti ole vastaavaa stabiliteettia. Ballard & Howellin (1995) mukaan tästä seuraa, ettei rakennushankkeen puskuroida ole tarkoituksenmukaista luopua ennen kuin variaatiot ja epävarmuus saadaan minimoitua äärimmilleen tai poistettua kokonaan. (Ballard & Howell 1995)

Ballard & Howell (1995) esittää, että rakennushankkeiden sisältämän epävarmuuden vuoksi keinot hukan ja varianssin ehkäisemiseksi tulee poiketa massateollisuustuotannosta. Rakennushankkeen Just in timen strategiaksi tulee tällöin:

1. Aikataulupuskureiden (materiaalien, kaluston ja työvoiman) parempi sijoittaminen ja kokoluokan tarkempi valitseminen.
2. Suunnitelmapuskureiden (aloituskelpoisten töiden) välitön implementointi tuotantoprosessien edelle.
3. Aikataulupuskureiden asteittainen korvaaminen suunnitelmapuskureilla.

Aikataulupuskureiden parempi sijoittaminen vaatii paremman projektikohtaisen epävarmuuden tunnistamismenetelmien kehittämisen. Puskureiden ja niiden ehkäisemän epävarmuuden yhteys tulisi määrittää entistä tarkemmin. Käytännön kokeilujen seurauksena tulisi määrittää peruseriaate aikataulupuskureiden oikeanlaiseen sijoittamiseen varianssia aiheuttavia prosesseja seuraaviksi. (Ballard & Howell 1995)

Suunnitelmapuskureiden implementointi tehtävien töiden edelle onnistuu esimerkiksi Last Plannerin avulla. Tavoitteena on ylläpitää riittävä määrä aloituskelpoisia viikkotehtäviä (Koskela & Koskenvesa 2003). Last Planner mahdollistaa yksityiskohtaisen tuotannosuunnittelun, joka paljastaa epävarmuustekijöitä ja variaatioita tuotannossa. Seurauksena on hyvin ennakoitava työn kulku, joka suojaa tuotannon vaiheita suunnitelmien epävarmuuksilta. (Ballard & Howell 1995)

Aikataulupuskureiden asteittainen korvaaminen suunnitelmapuskureilla on pitkäkestoinen prosessi, jonka ajatuksena on materiaali-, kalusto- ja työvoimapuskureiden korvaaminen aloituskelpoisten työtehtävien puskureilla. Tämä on mahdollista työn kulun varianssin vähentämisellä. Toisin sanoen, mikäli työn kulusta saadaan ennakoitavampi, voidaan työvoimaa ja muita tuotannon tekijöitä paremmin suunnata työn kulun tarpeisiin. Tällöin myös tuottavuus paranee. Ballard & Howell (1995) esittää käytännön esimerkkien analysoinnin työn kulun ennakoitavuuden parantamiseksi olevan ensimmäinen askel suunnitelmapuskureiden korvaamiseksi. (Ballard & Howell 1995)

4.2 Virtauttaminen suunnitteluprosesseissa

Suunnittelu eroaa merkittävästi tuotannosta Lean-ajattelun näkökulmasta. Suunnittelun laatu määräytyy suoraan tilaajan tarpeiden ja vaatimusten suunnitelmiin implementoinnin onnistumisen kautta. Varsinaista tuotetta sen sijaan arvioidaan suunnitelmassa määrättyjen geometriaan ja spesifikaatioihin liittyvien vaatimusten kautta, olettaen että suunnitelma on jo täyttänyt omat laatuvaatimuksensa. Suunnittelu on sekä tuotantoprosessi (tuottaa informaatiota), että luova prosessi (luo potentiaalista arvoa). Tämän vuoksi suunnitteluun liittyy sekä hukka (virtausnäkökulma), että arvon menettäminen (asiakkaan arvon näkökulma). Nämä näkökulmat voivat näennäisesti olla

ristiriitaisia keskenään. Tuotantoprosesseissa varianssin katsotaan olevan haitallinen hukan aiheuttaja. Toisaalta suunnitteluprosesseissa varianssi voi olla lähde potentiaalisen arvon luomiseksi. (Ballard 1998; Koskela et al. 2013)

Suunnitteluprosessilla on kaksi asiakasta: rakentamisprosessi (sisäinen) ja tilaaja (ulkoinen). Suunnittelun näkökulmasta tilaajan arvo määritellään kolmen muuttujan avulla (Soto 2007):

1. Kuinka hyvin ehdottomat vaatimukset on otettu huomioon suunnitteluratkaisuissa
2. Kuinka hyvin suunnitelma on optimoitu (esim. toteutettavuus)
3. Havaitsemattomien suunnitteluvirheiden vaikutukset toteutukseen ja käyttöön

Suunnitteluprosessin virtauttamiseen liittyy läheisesti suunnitteluprosessin ymmärtäminen ja suunnitelmien vaikutusten ymmärtäminen tuotantoon ja käyttöön liittyen. Suunnitteluprosessin virtauttamisen kannalta tulisi tunnistaa tai tunnustaa (Lindgren 2016):

- ylisuunnittelu,
- suunnitteluprosessin iteratiivisuus,
- uudelleensuunnittelu,
- eri osapuolten välinen huono tiedonkulku,
- tehoton työnkulku,
- heikko suunnittelu, joka aiheuttaa hukkaa tuotannossa sekä
- liian kalliiden ratkaisujen suunnittelu.

Operationaalisella tasolla suunnitteluprosessin ongelmat johtavat tyypillisesti monenlaisiin haitallisiin seurauksiin. Yleisimpiä seurauksia ovat muun muassa (Soto 2007):

- Suunnitelmat ovat keskeneräisiä ja tarvitsevat ylimääräisiä täydennyksiä, tai aiheuttavat improvisointia työmaalla.
- Suunnitelmat ovat epäselviä tai ylimalkaisia.
- Asiakkaan vaatimusten välittämisen mekanismin puuttumisesta seuraa suunnitelmamuutoksia myöhäisessä vaiheessa. Suunnitteluvaiheen kesto pitenee, mikä voi johtaa joidenkin toteutusratkaisujen hyödyntämättä jättämiseen yhteistyön puuttumisesta ja aikataulupaineista johtuen.
- Koordinoinnin puute osapuolten kesken, mikä johtaa suunnitelmien yhteensopimattomuuteen ja konflikteihin.
- Suunnitteluvirheistä johtuvat toteutettavuusongelmat aiheuttavat suuria kustannuksia.
- Suunnittelun kustannuksia vähennetään laadun kustannuksella.

4.2.1 Suunnittelun iteratiivisuus ja hukka

Tuotantoprosessien tapauksessa varianssin katsotaan olevan haitaksi, koska se aiheuttaa epävarmuutta ja vaikeuttaa tuotannon suunnittelunmukaista toteutettavuutta. Suunnitteluprosessissa suunnitelmaluonnosten varianssi on usein hyödyllistä. Suunnittelu on iteratiivista, alustavat konseptit sisältävät vaihtoehtoja ja iterointikierröksillä havaitut suunnitteluvirheet antavat tietoa suunnitelman ongelmista ja mahdollisista ratkaisuista. Ilman suunnittelun varianssia valmiiden suunnitelmien sisältö olisi täysin ennakoitavissa etukäteen. Tällöin suunnitteluprosessi ei olisi arvoa lisäävää toimintaa. (Ballard 1998)

Suunnitteluprosessin hukka muodostuu kahdesta pääkomponentista: suunnitelmien tarkoituksettomasta uudelleentekemisestä sekä informaatio- ja työn kulkuun liittyvistä arvoa lisäämättömistä toiminnoista (Soto 2007). Raporttien mukaan jopa noin 60 % projektinpäällikköjen ajasta voi kulua asiakkaaseen liittyvien muutoksien ja siitä seuraavaan urakoitsijoiden ohjeistamisen monimutkaisuuden hallintaan korkean vaatimustason projekteissa (Sacks 2014). Myös iterointikierrökset, joiden poistaminen ei aiheuta arvon menettämistä tai projektin epäonnistumista ovat hukkaa. Tällaisia ylimääräisiä iterointikierröksiä kutsutaan negatiiviseksi iteroinniksi. Negatiivisiin iterointikierröksiin voi kulua jopa 50 % suunnitteluajasta. Negatiiviset iterointikierrökset ovat Ballardin (1998) mukaan tyypillisesti tunnistettavissa empiirisesti. (Ballard 1998)

Ylimääräiset iterointikierrökset voivat olla seurausta huonosta myöhempien suunnitteluvaiheiden rajoitusten huomioon ottamisesta virtauksen alussa. Tällaiset iterointikierrökset voidaan välttää paremmalla kaikkien vaiheiden huomioon ottamisella luonnosvaiheesta eteenpäin. Käytännössä tiimityötä hyödynnetään tähän tarkoitukseen. Huono työvaiheiden järjestäminen voi myös aiheuttaa ylimääräisiä iterointikierröksiä. Tehtävien välisen informaation kulun hahmottaminen ja tästä seuraavan ylävirtaan etenevän palautteen tarpeen minimoiminen voivat vähentää iterointikierrösten lukumäärää. Asiakkaan arvon ja siitä seuraavien vaatimusten määrittäminen yksiselitteisesti suunnittelun alussa ehkäisee vaatimusten uudelleenmäärittämisestä johtuvat iterointikierrökset. (Koskela 2000)

Korjaushankkeissa suunnitteluun liittyvää negatiivista iterointia voi syntyä puutteellisesta nykyisten olosuhteiden kartoittamisesta ennen suunnittelua. Nykyiset olosuhteet vaikuttavat suunnitteluun kahdella tavalla. Olosuhteet määrittelevät suunnitteluratkaisujen kustannus- ja aikavaatimukset. Lisäksi olosuhteet voivat rajoittaa arkkitehtonisia, taloteknisiä ja sähkösuunnitteluratkaisuja. Iterointikierrökset ja uudelleentekeminen voivat olla seurauksia puutteellisin lähtötiedoin tehdystä suunnittelusta. (Mitropoulos & Howell 2002)

Muita korjaushankkeiden suunnittelun uudelleen tekemiseen liittyviä tekijöitä ovat tilarajoitukset (matala alakatto, huoneen neliöt, jne.), kustannus- ja aikataululliset rajoitukset sekä muuttuvat vaatimukset. Tilarajoitukset on perinteisesti ratkaistu

työmaalla, mikäli rajoituksia ei ole osattu ottaa huomioon suunnittelussa. Nykyään tietomallien hyödyntäminen mahdollistaa entistä aikaisemman tilarajoitusten ja ratkaisujen törmäysten havaitsemisen, mikäli korjauskohde mallinnetaan oikeilla dimensioilla. Kustannus- ja aikataululliset rajoitukset voivat aiheuttaa negatiivista iterointia, mikäli suunnitteluratkaisut ovat liian kalliita, tai sisältävät pitkän läpimenoajan sisältäviä tuoteosia, jotka ylittävät aikataulun. Asiakkaan tarpeiden muutoksista johtuvat muuttuvat vaatimukset aikatauluihin, budjettiin tai käyttöön liittyen voivat myös johtaa negatiiviseen iterointiin. Tällaisia iterointikierroksia on vaikea ennaltaehkäistä. (Mitropoulos & Howell 2002)

4.2.2 Suunnittelun ongelmien ehkäiseminen virtauksen mahdollistamiseksi

Riippuvuusmatriisi (engl. Design structure matrix tai DSM) on työkalu, jonka avulla eliminoidaan tai vähennetään negatiivista iterointia järjestelemällä ja optimoimalla suunnittelutehtävien keskinäistä järjestystä. DSM esittää jokaisen suunnittelutehtävän ja tehtävien väliset suhteet matriisimuodossa, minkä perusteella työtehtävät voidaan järjestää uudestaan suunnitteluohjelman optimointialgoritmin avulla. DSM:ää on käytetty useilla tekniikan alojen alueilla, kuten puolijohteiden suunnittelussa, autoteollisuuden suunnitteluprosesseissa sekä rakennussuunnittelussa. Riippuvuusmatriisi on käyttökelpoinen, kun suunnittelulle on määritelty selkeä suunta. Toisaalta DSM:llä voidaan vertailla myös erilaisia suunnittelutehtävien sarjoja. (Ballard 1998; Choo et al. 2004)

Kuvassa 4.7 on esitetty riippuvuusmatriisi ennen ja jälkeen optimoinnin. Tehtävät A-J on sijoitettu sekä riveille, että sarakkeille suoritusjärjestyksessä. Jokainen rivin risti ”X” kuvaa kyseisen rivin tehtävän riippuvuutta vastaavien sarakkeiden tehtävistä. Esimerkiksi tehtävä A vaatii tehtäviltä B ja H suoritteiden (suunnittelun tapauksessa esimerkiksi tietoa) alkaakseen. Vasemmassa esimerkissä tehtävät B ja H suoritetaan tehtävän A jälkeen (koska ne sijaitsevat alemmalla rivillä), joten niiden suoritteiden tieto ei ole saatavilla, kun tehtävä A alkaa. Tämän vuoksi tehtävät B ja H pitäisi järjestellä uudelleen päättyäkseen ennen tehtävän A aloittamista. Optimoitu matriisi sisältää mahdollisimman vähän mustista ruuduista koostuvan lävistäjän oikealla puolella olevia ristejä. Uudelleenjärjestetyn matriisin värjättyjen alimatriisien tehtävät vaativat tietoa toisiltaan. Tällaiset tehtävät voidaan joutua tekemään samanaikaisesti. (Choo et al. 2004)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tehtävä A	X	X						X		
Tehtävä B		X				X				
Tehtävä C			X		X				X	
Tehtävä D			X	X		X				
Tehtävä E				X					X	
Tehtävä F		X				X				
Tehtävä G							X			X
Tehtävä H			X					X		
Tehtävä I					X			X		
Tehtävä J							X			X

	B	F	J	G	E	I	C	H	A	D
Tehtävä A	X	X								
Tehtävä B	X	X								
Tehtävä C				X						
Tehtävä D			X	X						
Tehtävä E					X	X	X			
Tehtävä F				X	X	X	X			
Tehtävä G				X	X	X	X			
Tehtävä H							X	X		
Tehtävä I	X								X	
Tehtävä J	X	X						X		X

Kuva 4.7. Esimerkki riippuvuusmatriisin käytöstä. Analyysi (a) ennen ja (b) jälkeen optimoinnin (Choo et al. 2004).

Muita strategioita

Teoriasta löytyy muitakin strategioita negatiivisen iteroinnin ehkäisemiseksi. Päätöksenteon lykkääminen (engl. deferred commitment) on strategia ennen aikaisen päätöksenteon välttämiseksi ja suuremman arvon luomiseksi suunnittelussa. Päätöksenteon lykkäämisessä yksittäisiä päätöksiä lykätään tarkoituksenmukaisen ajanjakson verran. Päätöksenteon lykkääminen voi vähentää negatiivista iterointia yksinkertaisesti iterointikierroksen aloittamisen viivyttämisellä. Toinen ratkaisu on vähentää negatiivista iterointia vähäisimmän sitoutumisen – strategian avulla. Vähäisimmässä sitoutumisessa (engl. least commitment) päätöksiä viivytetään systemaattisesti viimeiseen vastuulliseen hetkeen asti, eli hetkeen jolloin ratkaisun tekemättä jättäminen eliminoisi vaihtoehdoisen ratkaisun käyttökelpoisuuden. Lisäksi negatiivisten iterointikierrosten ehkäisemiseksi voidaan määrittellä selkeät suunnitteluroolit ja rajat, jotta suunnittelijat voivat luottaa roolien ja rajojen pitävyyteen läpi hankkeen. ICT–teknologia mahdollistaa päivitettyjen suunnitelmien nopean tarkastelun ja jakamisen ilman fyysistä paikallaoloa. (Soto 2007)

Hankkeen vaiheiden limittäminen toteutusmuodon avulla

Vaiheiden ketjuttaminen peräkkäin voi johtaa epäideaalien ratkaisujen käyttöön, huonoon suunnitelmien toteutettavuuteen, suuriin määriin muutostöitä sekä jatkuvan kehittymisen puuttumiseen. Erityisesti projektin alussa tehdyt suunnitteluvirheet ja huonot päätökset voivat aiheuttaa suuria kustannuksia ja vaikuttaa koko projektin läpivientiin. Perinteisten toteutusmuotojen ongelmana on suunnittelun virtauttamisen näkökulmasta muun muassa (Soto 2007):

- Myöhempien vaiheiden rajoituksia ei oteta huomioon suunnitteluvaiheessa (seuraavan sisäisen asiakkaan tarpeiden huomiotta jättäminen)
- Myöhemmille vaiheille luodaan tarpeettomia rajoituksia suunnitteluvaiheessa (seuraavan sisäisen asiakkaan tarpeiden huomiotta jättäminen)

- Asiantuntijoiden rajoittunut tiedonsaanti (huono prosessien läpinäkyvyys, jaettu projektin kontrolli)
- Johtajuuden ja vastuun puute kokonaisprojektin näkökulmasta (jaettu projektin kontrolli)

Rakennushankkeen eri vaiheiden ketjuuntumisen aiheuttamat ongelmat pyritään välttämään projektinjohtorakentamisen toteutusmuotoja käyttämällä. Projektinjohtorakentamisessa toteutussuunnittelu, hankinnat ja rakentaminen limitetään jakamalla rakennustyö lukuisiin hankintoihin, jotka kilpailutetaan suunnittelun etenemisen perusteella. Limittämisen seurauksena tilaajan ohjausmahdollisuus sekä suunnitteluratkaisuihin että kustannuksiin säilyy myös toteutusvaiheessa (Kruus et al. 2006). Koska toteutussuunnittelu, hankinnat ja rakentaminen suoritetaan limittäin, voidaan eri osapuolten asiantuntemusta hyödyntää suunnitelmien toteutettavuuden ja tiedonkulun parantamiseksi. (Soto 2007)

4.2.3 Big Room ja solmutyöskentely

Rakennushankkeen prosessit (erityisesti suunnitteluvaiheet) sisältävät vaiheita ja tehtäviä, joita ei voida ratkaista ainoastaan yhden organisaation sisällä, koska ratkaisut vaativat monenlaista erikoisosaamista. Lean-ajattelu kehottaa noudattamaan yhteistyön mahdollistamiseksi Big Room – menetelmää, jossa eri asiantuntijat työskentelevät samassa tilassa – ”isossa huoneessa” – ja jakavat informaatiota keskenään huomattavasti tehokkaammin, kuin sähköisten järjestelmien avulla. Lisäksi työskentelyn koordinointi ja ohjaaminen ovat huomattavasti helpompaa ja tehokkaampaa tällaisessa tapauksessa. Rakennushankkeissa Big Room – menetelmä soveltuu erityisesti isoihin hankkeisiin, jotka työllistävät eri suunnittelijat täysipäiväisesti. Big Roomia myös käytetään usein suomalaisissa rakennushankkeissa esimerkiksi suunnittelutyön integroimiseen. (Kerosuo et al. 2013)

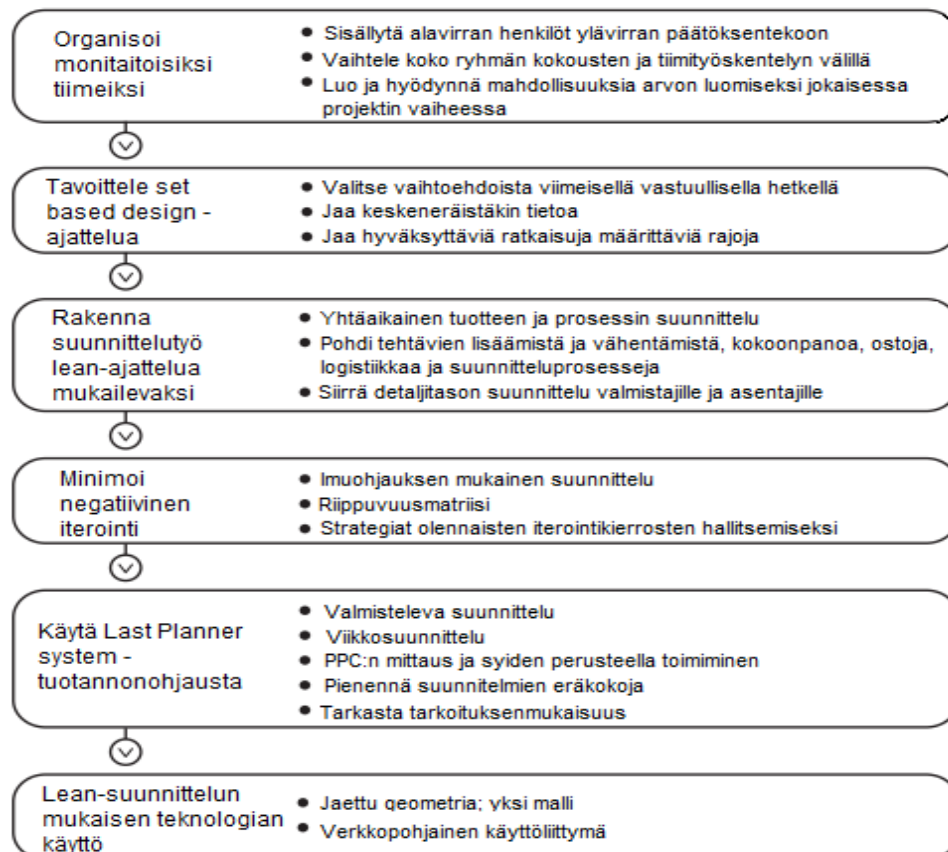
Usein pienemmissä projekteissa suunnittelutyötä tehdään monien hankkeiden välillä lähes samanaikaisesti. Lisäksi tarvittava erikoisosaaminen vaihtelee vaihekohtaisesti. Tällöin säännöllinen ”isossa huoneessa” työskentely ei ole aina tarkoituksenmukaista. Solmutyöskentely tarjoaa lyhytkestoisen vaihtoehdon Big Room – menetelmälle. Solmutyöskentelyssä ihmisryhmät, tehtävät ja työkalut ohjataan intensiiviseen ja projektin näkökulmasta lyhytkestoiseen ongelmanratkaisuun tai tehtävän toteuttamiseen yhdessä. ”Solmu” avautuu, kun ongelma saadaan ratkaistua tai tehtävä saadaan suoritettua. Solmutyöskentely vaatii tiivistä yhteistyötä organisaatorajojen ja –hierarkioiden ylitse. (Kerosuo et al. 2013)

4.2.4 Suunnittelun virtauttamisen konsepti

Lean-ajattelun mukainen suunnittelu voidaan saavuttaa ottamalla huomioon suunnittelun toteutettavuus työmaan virtauksen parantamiseksi. Tämä vaatii yhteistyötä päätöksenteossa arkkitehdin, insinöörien ja urakoitsijoiden kesken. Perinteiset toteutettavuuskonseptit pätevät yhä Lean Constructioniin ja niitä voidaan parantaa ottamalla huomioon prosessin virtaus. Suunnitteluratkaisujen, sekä modulaarisuutta ja esiasennuksia hyödyntämällä voidaan parantaa rakennustyömaan virtausta. (Soto 2007)

Suunnittelutiimejä tulee laajentaa sisällyttämällä niihin urakoitsijat, aliurakoitsijat ja materiaalitoimittajat. BIM-teknologian avulla voidaan helpottaa eri osapuolten välistä kommunikointia. Esteettömästi saavutettavissa olevalla suunnitteludatalla voidaan auttaa osapuolten vaikuttamista suunnitteluratkaisuihin. Sopimussuhteiden tulee mahdollistaa suunnittelu- ja toteutusosapuolten toimimisen ”yhtenä yrityksenä”, jolla on yhteinen päämäärä ja jonka osapuolet eivät kilpaile keskenään tuotoista. Lisäksi osapuolet pyrkivät korjaamaan virheet ja ongelmat yhdessä niiden aiheuttajasta tai kustannusvastausta riippumatta. (Soto 2007) Taulukossa 4.3 on esitetty Ballard et al. (2002) ehdottama Lean-suunnittelun malli Leanin periaatteiden ja työkalujen sovelluksena suunnitteluprosessiin:

Taulukko 4.3. Yleiskuva Lean-suunnittelusta (Ballard et al. 2002).



4.3 Virtauttaminen korjausrakentamisessa

Korjausrakentaminen on Lean Constructionin näkökulmasta, ja tämän vuoksi myös virtauttamisen näkökulmasta, uudisrakentamista huomattavasti vähemmän tutkittu aihealue. Teoriasta löytyy vain muutamia suoria esimerkkejä korjausrakentamisen tuottavuuden parantamisesta Lean-periaatteiden implementoinnin avulla. Uudisrakentamisesta löytyy kuitenkin esimerkkejä, joiden voidaan ajatella olevan analogisia korjausrakentamisen kanssa. Esimerkiksi suuri monimutkaisuus on tyypillinen piirre useimmille korjaushankkeille, mutta monimutkaisten hankkeiden toteuttamista on tutkittu erityisesti uudisrakentamisessa.

Korjaushankkeiden työt eroavat monella tapaa uudisrakentamisen projektien töistä. Korjausrakentamiseen liittyy tyypillisesti huomattavasti uudisrakentamista enemmän epävarmuutta. Korjaushankkeen tavoitteena on korjata rapistumisen vaikutukset ja päivittää alkuperäinen kohde nykyisen käyttötarkoituksen mukaiseksi. Bryde & Schulmeisterin (2012) mukaan malesialaisten arkkitehtien näkemys korjaushankkeista on, että ne eivät usein tavoita asiakkaan tarpeita, ylittävät aika- ja kustannustavoitteet sekä sisältävät runsaasti muuttuvia vaatimuksia. Lisäksi ongelmina ovat rakennuksen rakenteen arvaamattomuus, työmaan kulkuongelmat, tiivistetyt työajat sekä rajoittuneet materiaalivaihtoehdot. Seurauksena ovat toteutuksen suunnittelun vaikeus sekä logistiset haasteet, mikä haastaa prosessikeskeisten periaatteiden hyödyntämisen korjaushankkeissa. Seuraavat piirteet ja ongelmat ovat erityisesti korjaushankkeiden kannalta olennaisia (Bryde & Schulmeister 2012; Kemmer et al. 2013):

- Korjaustyön hallinta on monimutkaista, hyvin erikoistunutta ja sisältää työn elementtejä, jotka ovat ainutlaatuisia korjauksessa ja eroavat uudisrakentamisesta.
- Korjaamista on vaikeampi hallita, riskien ja epävarmuuden tasot ovat korkeammat kuin uudisrakentamisessa. Turvallisuusriskeistä johtuvat viivästykset, kuten asbesti (mikäli tutkimuksia ei ole tehty jostain syystä asianmukaisesti).
- Korjausrakentamisen hankekoot ovat usein pieniä, joka heijastuu korkeana kustannustasona suhteessa uudisrakentamiseen.
- Pieniä, paljon työtä sisältäviä toimintoja on hajautunut ympäri olemassa olevaa rakennusta. Aukkaat asuvat usein kohteessa korjauksen aikana. Aukkaat tulee huomioida jo hankkeen suunnitteluvaiheessa.
- Korjauskohteeseen liittyvien alkuperäisten suunnitelmien ja laatustandardien puuttuminen suunnittelun ja rakentamisen ohjaamiseksi erityisesti vanhemmissa kohteissa. Alkuperäisten rakenteiden arvaamattomuus.
- Toteuttamisen ongelmien laajuus ei välttämättä selviä ennen purkutöiden alkamista.
- Standardista poikkeavat materiaalit ja prosessit erityisesti vanhoissa tai suojeleukohteissa, jolloin myös toimitusnopeudet, työntekijöiden erityisosaaminen ja tehtävien nopeuden voivat vaihdella huomattavasti.

- Rakennuksen osat voivat olla toisiinsa monimutkaisesti liittyviä, jolloin yhden osan korjaaminen voi aiheuttaa ongelmia toisessa rakennuksen osassa (jopa rakenteelliseen kestävyysliittymään).
- Vaatimusten muuttuminen (esimerkiksi viranomais määräys ääneneristävyyden parantamiselle kesken hankkeen).

Korjaushankkeiden koetaan olevan erityisen haastava kohde Lean-periaatteiden ja virtautuksen implementoinnille. Kireät aikataulut painostavat työmaajohtoa aloittamaan korjaustoimenpiteet mahdollisimman nopeasti. Tällöin suunnitteluvaiheesta pyritään tekemään mahdollisimman nopeasti etenevä, jolloin suunnitelmien laatu on usein heikompi. Toisaalta korjaushankkeiden sisältämän erityisen suuren epävarmuuden vaikutuksia voidaan ehkäistä nimenomaan laadukkaan ja kattavan suunnittelun avulla. Ilman epävarmuuden ehkäisyä, voi olla tarpeellista käyttää suuria määriä puskureita, mikä voi kyseenalaistaa Lean-tuotannon toimivuuden tällaisissa korjaushankkeissa. (Merikallio & Haapasalo 2009; Bryde & Schulmeister 2012)

Pienet korjaukset ja ylläpito ovat rakentamisen alue, jolla ei ole Winchin (2003) mukaan vastinetta tehdasteollisuudessa ja joka lasketaan tyypillisesti osaksi tuotantoon liittyvää palvelusektoria. Rakennustuotannon virtauttamisessa tulisi Winchin mukaan keskittyä uudisrakentamiseen ja suuriin korjaushankkeisiin, joita voidaan pitää analogisempina tehdastuoteteollisuuden kanssa. (Winch 2003)

Koskela & Kemmerin (2014) mukaan Lean-filosofia soveltuu myös korjaushankkeisiin. Korjaushanketta voidaan tarkastella filosofian mukaisesti arvon, virtausten ja muunnosten näkökulmista, mikä mahdollistaa hankkeiden sisältämän monimutkaisuuden ja epävarmuuden huomioon ottamisen. Lisäksi Lean-filosofia lähestyy hukan hallintaa tavallisia ohjausmenetelmiä paremmin. Useita Lean Constructioniin liittyviä työkaluja, kuten Last Planner, Target Value Design, tuotantosysteemin suunnittelu, paikka-aikakaavio, prototyyppien tekeminen sekä visuaalinen ohjaus on jo implementoitu onnistuneesti hankkeissa. Virtauttamisesta johtuvan läpimenoajan lyhentymisen edut tulisi ymmärtää Koskela & Kemmerin mukaan kaikkien hankkeen osapuolten näkökulmista ennen nykyisen tuotantosysteemin muuttamista. Joitakin keskeisimpiä korjausrakentamisen haasteita ja niihin liittyviä Lean Constructionin – filosofioita, metodeja tai työkaluja on esitetty taulukossa 4.4 (Merikallio & Haapasalo 2009; Kemmer & Koskela 2014)

Taulukko 4.4. Korjausrakentamiseen liittyviä haasteita ja niihin vastaavia Lean-menetelmiä sekä työkaluja (Merikallio & Haapasalo 2009).

Aihealue	Haaste	Filosofia/Metodi/Työkalu
Asiakstarpeiden tunnistaminen	Asiakas etäällä, päätöksen teko hidasta ja epäselvää, läpimenoaika epäselvä	Integroidut projektitiimit, standardoitu prosessit/metodit t asiakstarpeiden selvittämisessä Jatkuva parantaminen, gemba walk
Suunnittelu	Hintakilpailtu, ei vaihtoehtoja, lähtötiedot puutteellisia, paljon suunnitelma muutoksia	Integroidut projektitiimit, set-based suunnittelu, negatiivisen iteroinnin minimointi, LPS, 3-5D suunnittelu, Suunnittelumatriisi, ongelmanratkaisutekniikat
Hankinta – projektin ositus	Hajautunut, riskit ja vastuut eivät ole balanssissa, logistiikka ja materiaalivirrat	Työn osittaminen virtaaman näkökulmasta, Valintakriteerit ja kannustimet, Value Stream Mapping, Imuohjaus ja JIT, 3-5 D suunnittelu, LPS, Standardoitu työ,
Kokoonpano/rakentaminen	Hajautettu toteutusmalli, osioitoinnista johtuvat töiden sovittamisvaikeudet	LPS, Value stream mapping, standardointi, imuohjaus, TMP-tuottava kunnossapito, Rapid set up, Gemba Walk, ongelmanratkaisumenetelmät, Andon, automaatio, Poka-Yoke, ...
Käyttö	Ei kunnossapitovastuuta, ei elinkaarikustannuksia	Value stream mapping, standardointi, TMP-tuottava kunnossapito, Gemba Walk, ongelmanratkaisumenetelmät, automaatio, Poka-Yoke,
Osaaminen	Tilaaajan osaaminen, suunnittelijan osaaminen, rakentajien osaaminen	Lean valmennus, integroidut projektitiimit, Ongelmanratkaisutekniikat, value stream mapping,

Niin korjaus-, kuin uudishankkeenkin virtauttamisessa tulee ottaa huomioon aliurakoitsijoiden rooli. Työmaahenkilökunnalle tulee selventää virtauttamisen hyödyt työntekijöiden näkökulmasta. Havainnollistamalla voidaan ehkäistä muutosvastarintaa ja saada työntekijät mukaan toimintojen kehittämiseen. Lisäksi sopimustekijät vaikuttavat virtautuksen onnistumiseen. Aliurakoitsijoille tulisi asettaa kannusteita virtauttamisen noudattamiseen. Mikäli sopimukset sisältävät taloudellisia esteitä aliurakoitsijoiden virheiden myöntämiseksi, on avoimuus ja läpinäkyvyys informaation jakamisessa vaarassa erityisesti Lean-ajattelun mukaisten tuotantokriteerien (laatu, virheettömyys, tasainen työtahti, jne.) näkökulmasta. (Bryde & Schulmeister 2012)

4.3.1 Toistuvuuden hyödyntäminen

Korjausrakentamisessa toistuvuuden hyödyntämiseen vaikuttavat muun muassa kohteen kunto, kuntotutkimuksen laajuus ja onnistuminen, purkutöiden ja korjauksen kattavuus sekä osakohteiden samankaltaisuus. Korjaushankkeen suunnitteluun vaikuttaa suunnitteluvaiheessa saatavilla oleva tieto, johon kuntotutkimusten ja purkutöiden aikaiset havainnot sekä vanhojen suunnitelmien löytyminen voivat vaikuttaa olennaisesti.

Korjausrakentamisessa toistuvuutta esiintyy saman tyyppisissä kohteissa kuin uudisrakentamisessa (hotellit, samanlaisia tiloja sisältävät muut monikerroksiset rakennukset, jne.). Lisäksi korjausrakentamisen virtauttaminen soveltuu esivalmistusta hyödyntäviin korjausmenetelmiin, sekä toistuvuutta sisältäviin osakokonaisuuksiin, kuten julkisivuihin ja linjoihin. Virtauttamisen sovelluskohteita korjausrakentamisessa ovat muun muassa (Salminen 2016):

- Hotellikorjaukset
- Julkisivukorjaukset
- Tekniset konseptit: hormielementit, PreBad–menetelmän mukaiset kylpyhuoneremontit, modulaariset tekniikkaseinäratkaisut
- Vuokratalojen facelift–korjaukset
- Vuokratalojen peruskorjaukset
- Putkiremontit

Toistuvassa tilakorjauksessa työn alla yhtä aikaa olevien alueiden määrää pienennetään ja läpäisyajoja lyhennetään. Tämä tapahtuu kohteen jakamisella toistuvuutta sisältäviin lohkoihin, jolloin työn alla olevista alueista saadaan paremmin ennakoitavia ja täten helpommin hallittavia. Tällöin keskeneräisen tuotannon määrä saadaan pienemmäksi ja tuottavuutta parannettua. Korjausrakentamisessa solutuotannon tyypillinen tuoteperhe on asunto, jota korjataan toistuvien ja toisistaan vain hieman sisällöltään ja määriltään eroavien työtehtävien sarjana. (Toikkanen & Kiiras 1994)

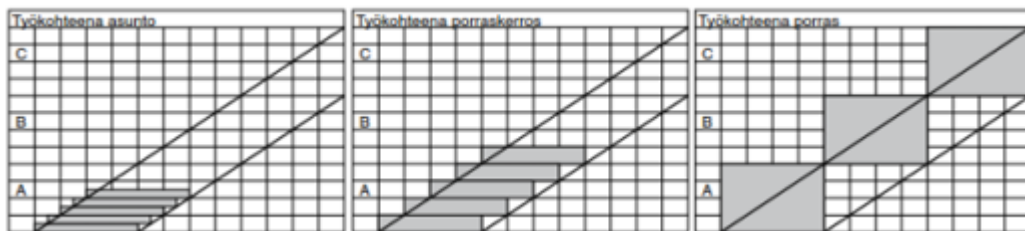
Toistuvassa tilakorjauksessa aikataulu suunnitellaan toistuvien työkohteiden tarkkuudella. Koko kohteen aikataulussa esitetään työkohteiden suoritusjärjestys, läpäisy aika ja porrastus. Koko kohteen aikataulun kelpoisuus tarkastetaan työkohteen yksityiskohtaisemmalla suunnittelulla. Yhden työkohteen aikataulu laaditaan esimerkiksi puolen päivän ja työvaiheiden tarkkuudella. Tällöin saavutetaan lyhyt läpäisy aika ja tasainen resurssien käyttö. Toistuvan työkohteen työnsuunnittelun vaiheet ovat (Toikkanen & Kiiras 1994)

- Toistuvan työkohteen valinta ja osakohteisiin jako
- Koko kohteen aikataulun laadinta
- Toistuvan työkohteen työvaiheluettelon laadinta
- Koko kohteen tehtäväluettelon laadinta
- Toistuvan työkohteen aikataulun laadinta

Toistuvissa korjauksissa kohteen työkohteisiin jakamiseen vaikuttavat LVIS-järjestelmien korjaus, kerrostasot, niiden lukumäärä ja suuruus. Jos korjattavan rakennuksen pystylinjoja korjataan, jaetaan työkohteiksi yksittäiset pystylinjat. Muuten kohteeksi voidaan valita esimerkiksi yksi porraskerros (3-5 asuntoa). Liian suuri työkohde (koko porraskerros) aiheuttaa töiden epätasaisen käynnissä olon. Korkeiden rakennusten tapauksessa myös pystylinja voidaan jakaa osiin, jottei yksittäisten työkohteiden koko olisi liian suuri. Toisaalta taas liian pienet työkohteet (työkohteena esimerkiksi asunto) aiheuttavat tarkoituksenmukaista tarkemman tuotannosuunnittelun, jolloin töiden ohjaaminen ei ole mielekäästä (Toikkanen & Kiiras 1994). Esimerkiksi tahtiaikatutuotannon tapauksessa tarkempaa suunnittelua voidaan kuitenkin hyödyntää myös pienehköissä lohkoissa, koska yhden toistuvan lohkon suunnitelma voidaan

implementoida jokaiseen samanlaiseen lohkoon. Kohde voidaan jakaa työkohteisiin myös seuraavien näkökulmien perusteella (kuva 4.8) (Junnonen 2010):

- Rakenteellinen osittelu (fyysiset osat)
- Tuotannollinen osittelu (työvaihe, työlaji, tehtävä)
- Osittelu sijainnin mukaan (lohko, sisävalmistusalue, työkohde)
- Osittelu hankintoihin (aliurakat, materiaalityömitukset, työkaupat)
- Osittelu vastuualueisiin (fyysisten osien, työvaiheiden tai tehtävien jako henkilöille)
- Kustannusten osittelu (taloushallinnon tarpeet, valvontatarpeet)



Kuva 4.8. Toistuvan korjauskohteen paikka-aikakaaviot työkohteittain (Toikkanen & Kiiras 1994).

Kerrostalot ovat eräs yleinen ja oivallinen virtauttamisen kohde toistuvuudesta johtuen. Kerrostaloissa toistuvuutta korjaamiseen voidaan saavuttaa edellä esitettyjen työkohteisiin jakojen perusteella. Myös linjasaneerausten virtauttamista on kokeiltu erityisesti monikerroksisissa taloissa. Lisäksi esimerkiksi julkisivut, erilaiset edellisessä alaluvussa mainitut tekniset konseptit sekä facelift-korjaukset toimivat kerrostalojen korjauksissa.

Kemmer et al. (2013) mukaan seuraavia johtamiseen liittyviä periaatteita voidaan teorian perusteella hyödyntää kerrostalokohteiden korjaushankkeiden virtauttamisessa (Kemmer et al. 2013)

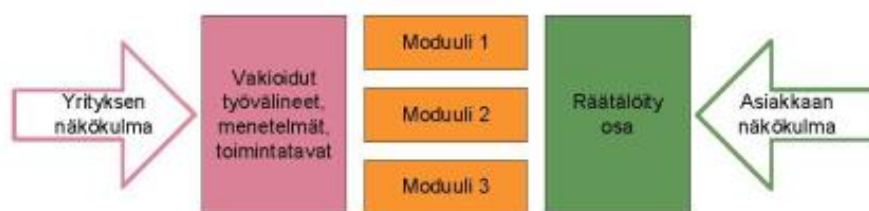
- Yhteistyössä suunnittelu
- Target Value Design – menetelmä
- Tuotantosysteemin suunnittelu
- Last Planner – menetelmä
- Työvaiheiden tasaaminen (tahtiaika)
- Visuaalinen ohjaus
- Soluvalmistus
- Monitaitoisen työvoiman tai tiimien käyttäminen useissa tehtävissä
- Esivalmistus/standardointi
- Massaräätälöinti
- Vertailuanalyysi (benchmarking)

4.3.2 Teollinen korjausrakentaminen

Korjausrakentamisen toistuvuutta voidaan hyödyntää tehokkaasti teollisen korjausrakentamisen avulla. Teollinen korjausrakentaminen tarkoittaa tuotantoa, jossa käytetään mahdollisimman pitkälle esivalmistettuja rakennusosia ja –komponentteja. Esivalmistus ja kokoonpano tapahtuvat käytännössä tehtaassa. Työmaalle jää tavallisesti ainoastaan esivalmistettujen osien tai komponenttien asentaminen. Teollinen rakentaminen jaetaan esivalmistukseen, esiasennukseen ja modulointiin. (Mattila 2016)

Teollisen rakentamisen hyödyntäminen voi lyhentää rakennusaikaa lyhyemmän rakennusosien asennusajan ja siitä seuraavan lyhyemmän korjauksen läpimenoajan kautta. Teollinen rakentaminen vähentää laatuvirheitä, koska rakennusosat voidaan valmistaa vakio olosuhteissa. Myös tuotannosuunnittelu helpottuu, koska samoja ratkaisuja voi käyttää pienin muutoksin kohteesta toiseen. (Mattila 2016)

Teollisen rakentamisen hyödyntäminen soveltuu erinomaisesti tehdasteollisuuslähtöiseen Lean–ajatteluun. Teollinen rakentaminen tuo rakentamisen prosesseja lähemmäs massatuotantoa. Suurempi määrä identtisiä komponentteja pienentää tuotannon kustannuksia ja lisää virtauttamiseen olennaisesti liittyvää toistuvuutta. Modulaarisuus mahdollistaa tuotteen massaräätälöinnin. Massaräätälöity tuote muodostuu yrityksen määrittämästä valmisosasta sekä asiakkaan määrittämästä räätälöidystä osasta (kuva 4.9). Massaräätälöinnillä tarkoitetaan muunneltavien tuotteiden ja palvelujen kehittämistä, valmistamista, markkinointia ja toimittamista. Massaräätälöinti perustuu prosessin ylituotannon, odotusten, kuljetusten, turhan työn ja varastoinnin minimoimiseen Lean–periaatteiden mukaisesti. Massaräätälöinnin etuna on sen kyky vastata markkinoiden muuttuviin tarpeisiin ripeästi ja edullisesti. (Lindstedt et al. 2011; Hermes 2015)



Kuva 4.9. Modulaarisen tuotteen tai palvelun rakenne (Lindstedt et al. 2011).

Teollisia korjausratkaisuja on kehitetty lähinnä toistuvuutta sisältäviin korjauskohteisiin. Hermeksen (2015) mukaan erityisesti tekniikkaa sisältävät moduulit ovat potentiaalinen kehityskohde rakennushankkeiden teollistamiseksi. Esimerkiksi putkistoyksiköt voidaan kuljettaa ja asentaa työmaalla valmiiksi täysin varustettuina. Kattomoduleihin voidaan asentaa valmiiksi tekniikkaa (kuten ilmanvaihtokanavia, kaapeleita, putkia, jne.). Yksittäisten moduulien yhdistämisen ratkaisuja on myös kehitetty. Toistuvuutta sisältäviä kohteita ovat esimerkiksi hormielementtikotelo ja asennusseinämoduuli sekä julkisivulinjan ulkopuolelle tuleva hissi- ja porrastornimoduuli, kylpyhuonemoduuli,

rakennuksen katolle tuleva lisäkerros- ja kattomoduuli sekä teollisesti esivalmistetut julkisivu ja parveke-elementit. (Hermes 2015; Mattila 2016)

4.3.3 Linjasaneeraukset

VTT toteutti vuonna 2008 Internet-kyselyn taloyhtiöiden asukkaiden kokemusten ja mielipiteiden kartoittamiseksi vesijohtojen ja viemäriputkien korjauksiin liittyen. Tyytymättömyyttä aiheuttivat erityisesti korjaustyön kesto (perinteisillä menetelmillä noin 6 – 12 viikkoa), aikataulujen pitämättömyys, laatuongelmat ja tiedotus. Virtauttamisen avulla voidaan lyhentää hankkeiden kestoa, parantaa aikataulujen pitävyyttä varianssin vähentämisen ja tarkemman suunnittelun avulla, parantaa laatua sekä mahdollistaa ennakoitavuuden avulla tehokkaampi tiedottaminen asukkaille. (Lindstedt et al. 2011)

Virtautetuissa putkiremonteissa, kuten virtautetuissa prosesseissa yleensä, keskitytään läpimenoaikojen lyhentämiseen erityisesti hukan eliminoimisen kautta. Jopa yli 80 % linjasaneerausten läpimenoajasta voi olla hukkaa (kylpyhuoneet ovat tyhjillään). Suurin hukka-aika on mitattu silloin, kun linjasaneerauksen työvaiheet on aikataulutettu linjakohtaisesti, eli kaikki putkilinjan asunnot yhtenä pakettina. Eräs hukkamäärän merkittävä tekijä on tuotantotahdin suuri vaihtelu eri tehtävien välillä. Hitaita pullonkauloina toimivia työvaiheita nopeuttamalla (hukkaa vähentämällä) saadaan koko prosessia nopeutettua. On kuitenkin tärkeä huomata, että myös liian nopeat työvaiheet aiheuttavat hukkaa luomalla liian suuria puskureita, mikäli tahtiakaan ei ole implementoitu. (Aatsalo 2016; Vuorio 2016)

Linjasaneerauksien virtauttamista on käsitelty tarkemmin tämän työn haastatteluosiossa. Osiossa on esitetty kaksi erilaista Suomessa esiintyvää tapaa linjasaneerauksien virtauttamiseksi.

Linjasaneeraukset voidaan toteuttaa teollisesti hormielementtien avulla joko asentamalla putket uusiin paikkoihin tai korvaamalla vanhat putket hormielementillä. Vanhat putket korvaamalla vältetään uusien putkien tilantarve. Reittien valintaan vaikuttaa viranomaismääräykset: elementin tulee olla sijainniltaan ja ominaisuuksiltaan helposti asennettava ja huolettava, turvallinen, toimiva, taloudellinen, esteettinen ja ääniteknisesti toimiva. Hormielementtikotelo soveltuu erityisesti 1960-luvulla ja sen jälkeen rakennettuihin taloihin, sillä niiden seinärakenteiden mittatarkkuus on riittävä hormien käyttöön. (Lindstedt et al. 2011)

Asennusseinämoduuleita käytetään yleisesti Keski-Euroopassa ja Suomessa niitä on käytetty noin kymmenen vuotta. Suunnittelijoilla on tänä päivänä vähän tietämystä asennusseinistä, mikä saattaa selittää niiden suosion vähyden. Asennusseinä soveltuu hormielementin tavoin 1960-luvun jälkeisiin kerrostaloihin. Asennusseinän käyttöä

voidaan perustella nykyisissä korjausiässä olevissa taloissa erityisesti vanhojen putkien hankalalla sijoittumisella ja täten haastavalla vaihtamisella. (Lindstedt et al. 2011)

Suomessa tarjotaan muutamien rakennusliikkeiden toimesta nopeutettuja linjasaneerauksia. Tällaisten eri saneerausmenetelmiä yhdistelevien palvelumallien avulla linjasaneeraus voidaan suorittaa nopeimmillaan 7 – 15 päivässä. Nopeimpiin hankkeisiin ei yleensä sisälly märkätilojen pintarakenteiden uusimista. Lisäksi vedeneritysten ja laatoitusten uusiminen, vanhojen materiaalien purkaminen ja uusien rakenteiden kuivumisajat lisäävät läpimenoaikaa. (Raatikainen 2016)

Lyhyen läpimenoajan linjasaneerausten toteuttamiseen kuuluu kokemusten mukaan työvaihekohtaisesti lukuisia tarkastuksia vaativan työkuulttuurin liittyviä valvonnallisia ongelmia. Nopeasti etenevät työt vaativat LVI- ja rakennusvalvojien lähes jatkuvan läsnäolon työmaalla, sillä laadun varmentamiseksi tehtäviä tarkastuksia pitää tehdä normaali huomattavasti tiheämmin. Tämän vuoksi aikataulun lyhentämistä suunnitellussa tulee ottaa huomioon tarkastusten ja laadunvarmistustoimenpiteiden vaatima aika, vaikka ne eivät ole varsinaisesti arvoa tuottavia toimintoja. Tämän vuoksi myös tarkoituksenmukainen kohteen osakohteisiin jako on olennaisen tärkeää. (Raatikainen 2016)

4.4 Virtauttaminen infrahankkeissa

Infrastruktuuri tarkoittaa yhteiskunnan toiminnalle, tuotannolle ja taloudelliselle kehitykselle välttämättömiä palveluja, kuten tie-, rautatie-, lento-, vesi-, energia- ja tietoliikenneverkkoja. Infrarakentaminen on pääasiassa maa-, vesi- ja kalliorakentamista, mutta hankkeisiin kuuluu usein myös rakennuksia sekä sähkö- ja tietoliikenneyhteyksiin liittyvää rakentamista. (Lindholm & Junnonen 2012)

Infrahankkeissa tilaaja, maksaja ja käyttäjä ovat usein kolme eri tahoa. Lisäksi infrahankkeet tavoittelevat yhteiskunnan tarpeiden täyttämistä yksilötason tarpeiden sijaan. Näin ollen arvon tarkka määrittäminen on usein vaikeaa. Infrahankkeeseen liittyvien intressien yhteensovittamisen lopputulos on usein kompromissi. (Kivistö & Ohlsson 2013)

Merikallio & Haapasalo (2009) ovat esittäneet tutkimuksessaan julkisen rakentamisen haasteita ja niihin liittyvät Lean Construction – filosofiat, metodit tai työkalut. Haasteisiin liittyvät asiakkaaseen liittyvät muun muassa epävarmuustekijät sekä päätöksenteon hitaus, suunnitteluvaiheen haasteet, prosessien raskaus, yhteisten tavoitteiden puuttuminen, kunnossapitovastuun puuttuminen sekä projektiosapuolten osaaminen. Nämä haasteet ja metodit on esitetty tarkemmin taulukossa 4.5

Taulukko 4.5. Julkisen rakentamisen haasteet sekä niihin liittyvät Lean-metodit (Merikallio & Haapasalo 2009).

Aihealue	Haaste	Filosofia/Metodi/Työkalu
Asiakstarpeiden tunnistaminen	Asiakas etäällä, päätöksen teko hidasta, läpimenoaika epäselvä,	standardoidut prosessit/menetelmät asiakstarpeen selvittämisessä, jatkuva parantaminen, gemba walk
Suunnittelu	Usein monivaiheinen prosessi, hintakilpailu, vähän vaihtoehtoja, lähtötiedot puutteellisia, liikaa suunnitelmamuutoksia	Projektin systeemin suunnittelu, Integroidut projektitiimit, set-based suunnittelu, negatiivisen iteroinnin minimointi, LPS, 3-5D suunnittelu, Suunnittelumatriisi, ongelmanratkaisutekniikat...
Hankinta – projektin ositus	Raskas tarjousprosessi, hajautunut, riskit ja vastuut eivät ole balanssissa, vain hintakilpailua ei yhteisiä tavoitteita	Työn osittaminen virtaaman näkökulmasta, Valintakriteerit ja kannustimet, Value Stream Mapping, Imuohjaus ja JIT, 3-5 D suunnittelu, LPS, Standardoitu työ, ...
Kokoonpano/rakentaminen	Hajautettu toteutusmalli, osiooptimoinnista johtuvat töiden sovittamisvaikeudet, häiriöt asiakkaille, laatu, työturvallisuus	LPS, Value stream mapping, standardointi, imuohjaus, TMP-tuottava kunnossapito, Rapid set up, Gemba Walk, ongelmanratkaisumenetelmät, Andon, automaatio, Poka-Yoke, ...
Käyttö	Ei kunnossapitovastuuta, ei elinkaarikustannuksia	Value stream mapping, standardointi, TMP-tuottava kunnossapito, Gemba Walk, ongelmanratkaisumenetelmät, automaatio, Poka-Yoke,
Osaaminen	Tilaaajan osaaminen, suunnittelijan osaaminen, rakentajien osaaminen	Lean valmennus, integroidut projektitiimit, Ongelmanratkaisutekniikat, value stream mapping,

4.4.1 Tierakentaminen

Suurissa infrahankkeissa erilaisten rakennusosien määrä on niin suuri, että on usein tarkoituksenmukaista käyttää useita tuotantovälineitä. Tiet, tunnelit, rautatiet, lentokentät sekä teollisuus- ja asuntoalueiden maanrakennustyöt ovat tyypillisiä suuria infrahankkeita. Suurten infrahankkeiden yleisaikataulua laadittaessa otetaan huomioon muun muassa tuotannon tekijöiden käytön tasaisuus, tuotantotekniset rajoitukset (suoritusjärjestys, painuma-ajat, vuodenaika, sääennusteet jne.), kulkuyhteyksien olemassaolo ja materiaalien saanti sekä häiriöherkkyyden hallittavuus. (Lindholm & Junnonen 2012)

Suurilla infrahankkeilla ei ole optimikestoja. Hankkeille voidaan asettaa tuotantonopeuden perusteella tavoitekesto taloudellisuus huomioon ottaen. Tuotantonopeus määritetään massatalouden suunnitteluratkaisun mukaisesti. Hankkeen nopeuttaminen vaatii lisäresursseja sekä lisää kustannuksia ja voi myös lisätä häiriöherkkyyttä. Erityisesti lohkomisen hyödyntäminen voi lyhentää koko hankkeen aikataulua. Työt voivat edetä samanaikaisesti eri lohkoissa. Lohkot muodostetaan työssä tarvittavien toimintayksikköjen ja osaurakoiden, massatalousalueiden, vesistöjen ja teiden risteyskohtien sekä rahoitustekijöiden perusteella. (Lindholm & Junnonen 2012)

Tierakentamishankkeiden tuotanto voidaan jakaa Gaio & Cachadinhan (2011) mukaan seuraaviin päätoimintoihin: massojen käsittely, asfaltointi, reunakivetysten asentaminen, sekä jalkakäytävien, ojien ja viemärikanavien rakentaminen. Nämä toiminnot sisältävät runsaasti toistoa luonnostaan. Lisäksi rakentaminen noudattaa suunnitellun tien muotoa.

Tämän vuoksi tierakentamisen voidaan ajatella muistuttavan enemmän liukuhihnatuotantoa, kuin useimmat rakentamisen muodot. Tierakentamista on kuitenkin tutkittu rajallisesti virtauttamisen näkökulmasta kirjallisuuden perusteella. Farrar et al. (2004) määrittelevät case-tutkimuksessaan seuraavat toimenpiteet tehokkaimmaksi tavaksi implementoida Lean-filosofia tienrakentamiseen (Farrar et al. 2004; Gaio & Cachadinha 2011):

- Määritä tutkittavan tuotannonprosessin sisältämien työtehtävien järjestys.
- Selvitä toiminnot, jotka eivät tuota arvoa.
- Selvitä toimintojen ajalliset kestot.
- Selvitä prosessin nykytila.
- Järjestä kehityskelpoiset toiminnot tulevaisuuden tilan olennaisuuden kannalta tärkeysjärjestykseen, keskittyen kehitystoimenpiteisiin, joilla on suuri vaikutus toimintoihin.
- Redusoi tai eliminoi toiminnot, jotka eivät lisää arvoa, aloittaen toiminnosta jonka kehittämisen potentiaali on suurin.
- Etsi käytännöllisiä ratkaisuja toimitusprosessien kehittämiseen, harkitse Just in time – menetelmän hyödyntämistä.
- Määritä tulevaisuuden tila.
- Etsi ratkaisuja tuotannon toimintojen kehittämiseen.
- Vähennä prosessin varianssia tai hyödynnä puskureita, mikäli varianssia ei saada eliminoitua.

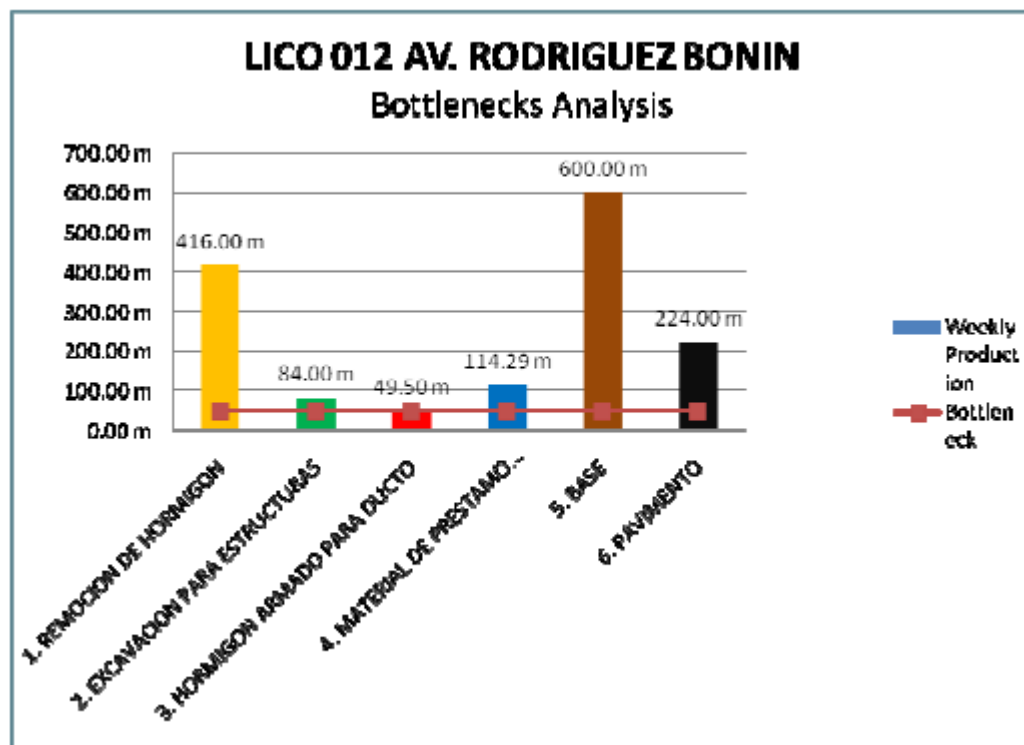
Tierakentamisessa voidaan käyttää tahtiaikatuotantoa. Tahtiaika määräytyy sopimuksenmukaisen aikataulun perusteella (vaadittu tuotantoteho) sekä tuotantosysteemin pullonkaulojen määrittämän ennustetun tuotantotehon perusteella. Ennustetun tuotantotehon tulee vastata vaadittua tehoa, jotta pysyttäisiin aikataulussa. Tuotantotehoa voidaan pyrkiä nopeuttamaan hukkaa poistamalla. Lisäksi kohteen jakamisella osakohteisiin voidaan nopeuttaa tuotantoa.

Teoriasta löytyy esimerkki tiehankkeen tahtiaikataulutuksesta Ecuadorin Quayaquilin kaupungissa. Hankkeessa rakennettiin 1200 m pitkä kahden osaston tietunneli olemassa olevan valtatie alle. Lisäksi uusittiin 2460 m valtatie ja rakennettiin 2345 m pitkä pyörätie. Rakennusaika oli kymmenen kuukautta ja liikenne jatkui valtatiellä rakentamisen aikana. Hankkeen tuotantosysteemi pyrittiin suunnittelemaan hukkaa minimoiden ja virtaukseen keskittyen. Suunnittelutiimi käytti tuotantosysteemin suunnittelussa seuraavaa lähestymistapaa (Fiallo & Howell 2012):

- Selvitä tuotannon vaadittu tuotantonopeus (sopimuksen perusteella).
- Selvitä työtehtävät.
- Arvioi tehtävien tuotantonopeudet.
- Selvitä pullonkaulat (pienimmät tuotantonopeudet).

- Yhdenmukaista suunniteltu tuotantonopeus vaaditun tuotantonopeuden kanssa (limitä tuotantoa ja nopeuta hitaimpia työvaiheita hukkaa poistamalla).
- Järjestä tehtävät jatkuviksi virtausprosesseiksi.

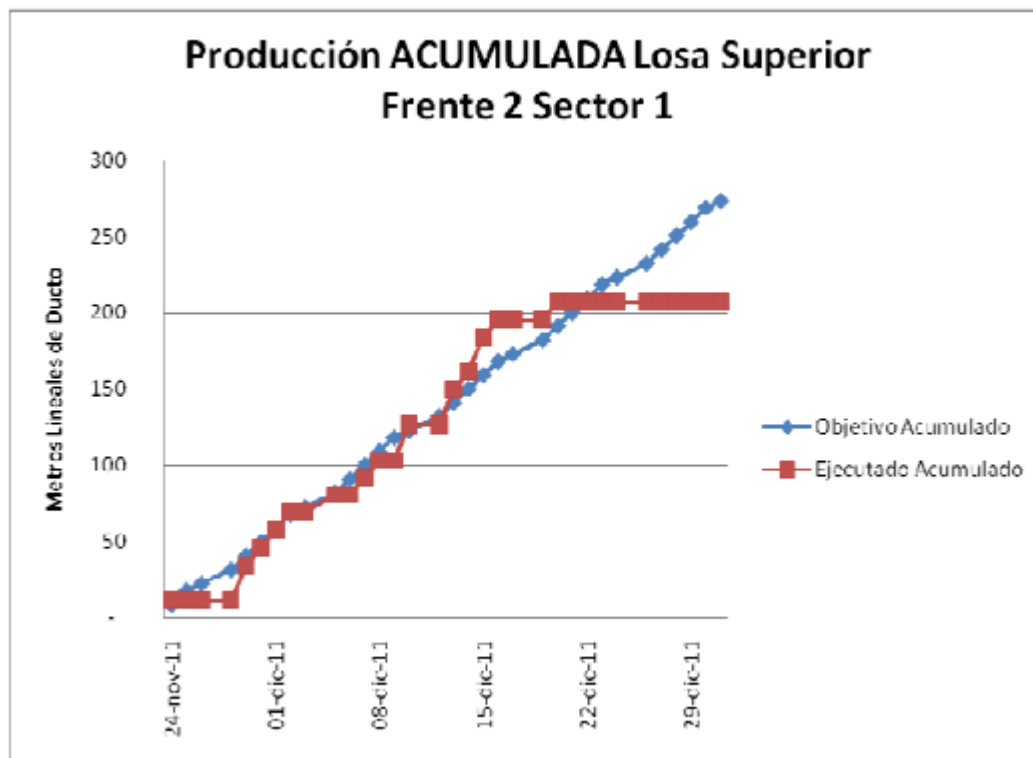
Sopimuksen perusteella määritettiin jokaisen sektorin virstanpylväät, josta vaadituksi tuotantonopeudeksi määritettiin 115 m / viikko. Suuriksi tehtäväkokonaisuuksiksi eriteltiin: 1) päällysteen poistaminen, 2) kaivannon tekeminen, 3) betonikuilun valaminen, 4) täyttö ulkopuolisella materiaalilla, 5) täyttö tien pohjamateriaaleilla, 6) uusi päällyste. Tuotannon pullonkaulaksi havaittiin arvioitujen tuotantonopeuksien määrittämisen jälkeen betonikuilun valaminen (36 m / viikko). Betonikuilun valamisen prosessia arvioitiin uudelleen sen toimintojen sisältämän hukan (mm. odottamisen ja ylituotannon) näkökulmista. Analyysin seurauksena betonikuilun valamisen tuotantonopeutta saatiin nopeutettua 49,5 m / viikkoon (kuva 4.10). Lisäksi vaaditun tuotantonopeuden saavuttamiseksi työtehtävät suunniteltiin tehtäväksi kolmessa sektorissa samanaikaisesti. (Fiallo & Howell 2012)



Kuva 4.10. Arvovirta-analyysin jälkeiset tuotantonopeudet Quayaquilin tiehankkeen tunneliosiossa (Fiallo & Howell 2012).

Betonikuilun valamisnopeuden (49,5 m / viikko) perusteella määritettiin tuotannon rytmi (tahtiaika) jakamalla nopeus 5,5 päivän viikkotyöajalla. Tuotannon rytmiksi saatiin tällöin 9 m / päivä. Tahtiajan perusteella työmaajohtaja suunnitteli tuotantosysteemin pyrkien luomaan virtausta työryhmien välille. Lisäksi tahtiaikaa käytettiin visuaalisena apuna näyttämään työryhmille, mihin heidän on edettävä työpäivän aikana. Kuvassa 4.11

on esitetty yhden sektorin suunnitellun tahtiajanmukaisen tuotannon ja toteuman mittaustulokset. (Fiallo & Howell 2012)



Kuva 4.11. Suunniteltu tuotantonopeus (sininen käyrä) ja toteuma (punainen käyrä) Quayaquilin tiehankkeessa (Fiallo & Howell 2012).

4.4.2 Massojen käsittely

Maa- ja kalliomassojen käsittelyn suunnittelu ja hallinta ovat oleellinen osa infrahankkeen tuotannosuunnittelua. Maa- ja kalliomassojen käsittely muodostavat suuren osan lineaaristen hankkeiden kustannuksista (Lindholm & Junnonen 2012). Massankäsittelyyn liittyy runsaasti toistuvuutta logistiikan ja leikkausten muodossa. Toisaalta massankäsittelyyn voi liittyä myös epävarmuutta.

Massatalouteen liittyvät suunnitteluvaiheen ja tuotantovaiheen massataloudet. Suunnitteluvaiheessa tehdään isot massojen käytön ratkaisut, kuten tiehankkeen linjaukset ja tasaukset. Suunnitteluvaiheen tavoitteena on tilanne, jossa leikattava massa on mahdollisimman pieni, siirtomatkat ovat lyhyitä, turhia siirtoja vältetään ja kaikki leikattava massa on käytetty hyödyksi. Tuotantovaiheessa suunnitellaan massojen siirron käytännön toteutus. (Lindholm & Junnonen 2012)

Hanke voidaan jakaa massatalousalueisiin massansiirtosuunnitelman tekemisen yhteydessä. Massatalousalue on siirtoesteiden rajaama ja hankeaikataulussa kerralla toteutettava alue, jonka tarkoituksena on pienen koon mahdollistama parempi hallittavuus. Jako massatalousalueisiin tehdään suunnitelmakarttojen ja aikataulun avulla

siten, että alueen sisällä ei ole siirtoesteitä. Katkoa aiheuttavia siirtoesteitä ovat muun muassa yleinen liikenne, siltatyömaat, vesistöylitykset ja tunnelit, vaikeakulkuinen maasto sekä ympäristörajoitukset (esim. liito-oravat ja lintujen pesintäajat). Yhden alueen viivästykset eivät yleensä heijastu toisiin alueisiin, ellei kyseessä ole kahden alueen välinen siirto. Massatalousalueita voivat rajata myös aikataululliset seikat, kuten liikenteellisistä syistä johtuva vaatimus saada tietty alue valmiiksi ennen muita. (Lindholm & Junnonen 2012)

Massanhallintaan liittyy monia muitakin epävarmuutta lisääviä tekijöitä. Maaperän koostumusta ei yleensä tiedetä kaivuun aloittamishetkellä täysin. Erityisesti pehmeät maaperät, kalliopinnan tai roudan syvyys voivat mutkistaa kaivuutöitä. Lisäksi muun muassa pohjavedenpinta ja sen tason muuttaminen, sekä olosuhteiden perusteella vaaditut erilaiset luiskakaltevuudet voivat aiheuttaa epävarmuutta massanhallinnan suunnittelulle. Leikkauksia ja täyttöjä tulee pyrkiä noudattamaan samanaikaisesti samalla tehokkuudella, jotta vältettäisiin materiaalien kasaantuminen läjiksi. Materiaaleja voidaan toisinaan joutua siirtelemään useisiin läjiin ennen lopullista sijoittamista. Tämän vuoksi viivästykset yhdessä osakohteessa voivat aiheuttaa viivästyksiä myös muissa osakohteissa. (Törnroos 2014)

Kuljetuskatkot voivat estää kuljetuksien toteutumisen kokonaan, nostaa siirtokustannuksia, pakottaa kuljetuksia yleisen liikenteen sekaan tai kasvattaa ajomatkaa. Kuljetuskatkojen tunnistaminen on olennaista massansiirtojen toteutuskelpoisuuden ja jatkuvan virtauksen näkökulmista. Potentiaaliset kuljetuskatkot määritetään ennen yksityiskohtaisen siirtosuunnitelman laadintaa. (Lindholm & Junnonen 2012)

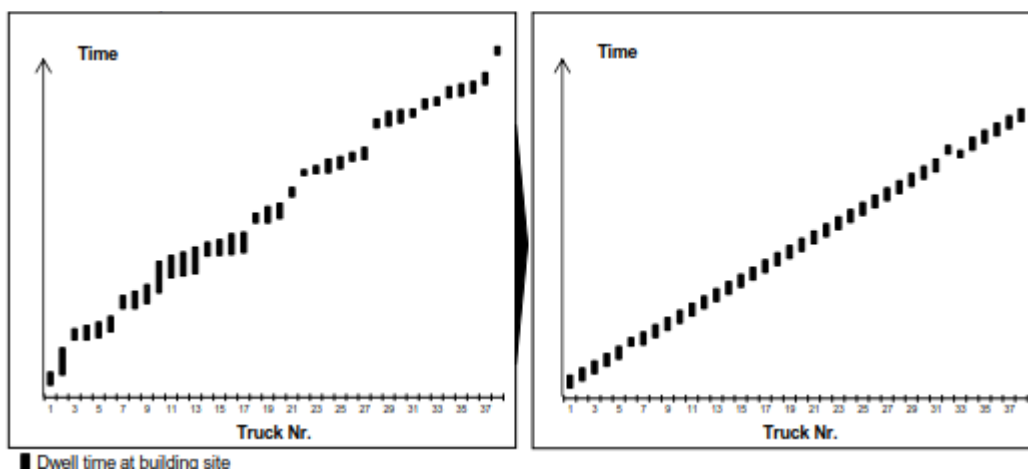
4.4.3 Logistiikka

Maa- ja tierakentamisessa eräs erittäin lupaava kohde virtauksen kehittämiseksi on logistiikka. Tierakennushankkeen toimitusketju tehtaalta työmaalle on usein tehoton ja epäluotettava. Varianssia aiheuttavat muun muassa liikenne, riittämätön suunnittelu, kokemattomat kuljettajat ja hiomaton prosessi. Seurauksena on virtauksen katkeilu ja kuljetusten pakkautuminen. Logistiikkajärjestelyjä ei suunnitella tarpeeksi tarkkaan. Usein logistiikan johtamisen tehtäviä ei ole määritetty. Toimitusten pullonkauloja ei tunnisteta ja eliminoida etukäteen, joten rakentamisen aikana tapahtuu tarpeettomia aikataulun muutoksia. (von Heyl 2015)

Logistiikan huonon hallinnan seurauksena työmaan vastuuhenkilöt toimivat epämääräisten aikataulujen sekä riittämättömien toimitusten kanssa ratkaisten jatkuvasti esiintyviä ongelmia. Kaikki tämä on hukkaa. Saksalaisen analyysin perusteella kuljetusrekat seisovat paikallaan keskimäärin puolet prosessin läpimenoajasta. (von Heyl 2015)

Toimitusten optimoinniksi voidaan käyttää tiehankkeissa Just in time – toimituksia. Esimerkiksi asfalttitoimitusten tapauksessa toimitukset keskittyvät asfaltointikoneen työtehoon (keskeinen arvon luoja), jonka perusteella määritetään tarvittavien kuljetusrekkojen lukumäärä. Lisäksi tulee tietää kuljetusrekkojen kapasiteetti, suunnitella kuljetuksille toistuva reitti sekä määritellä yhden kuljetuksen ajallinen kesto. Tavoitteena on, että asfaltointikone ja kuljetusrekat odottelevat mahdollisimman pienen osan ajasta. Johdonmukainen tahtiajan ja virtauksen ylläpitäminen tulee olla keskeisessä roolissa. Lopullinen kuljetuksen läpimenoaika tarkistetaan kokeilemalla kuljetuksia käytännössä. Kanban-korttien avulla voidaan varmistaa, että kuljettajat noudattavat reittejä, aikoja ja standardeja. Fyysiset kanban-kortit voidaan korvata myös GPS-pohjaisella järjestelmällä.

Häiriintymätön materiaalien toimitusketju vähensi saksalaisissa case-hankkeissa asfalttikoneen ja rekkojen odotusaikoja huomattavasti. Asfalttikoneen tuottavuus nousi 182 t / h 302 t / h. Tuottavuus parani näin ollen noin 66 %. Toteutuksessa käytettiin hyväksi tahtiaikamenettelyä ja toimitukset noudattivat asfalttikoneen parantunutta, mutta yhä tasaista tuottavuutta. Kyseisen hankkeen seurantatiedot kuljetusten osalta on esitetty kuvassa 4.12. (Kaiser & Zikas 2009; von Heyl 2015)



Kuva 4.12. Alkuperäisten toimitusten toteuman ja tahtiajan implementoinnin jälkeisen toteuman seurannat esimerkin tapauksessa (von Heyl 2015).

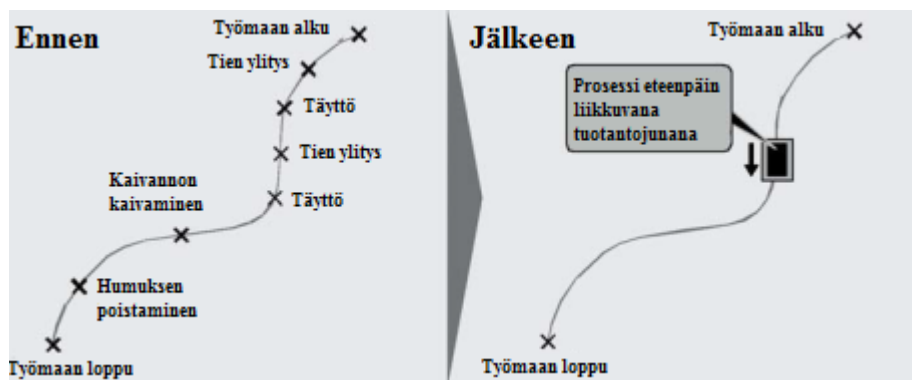
4.4.4 Putkilinjahankkeet

Putkilinjahankkeissa voidaan hyödyntää tahtiaikaa osana rakentamisen virtauttamista. Tyypillisessä hankkeessa työryhmät voivat olla hajautuneet kilometrien mittaiselle alueelle. Tällöin työryhmät keskittyvät optimoimaan omat työnsä, jolloin koko systeemin optimointi puuttuu. Lisäksi työtehtävien hajautuminen lisää tarvetta intensiiviselle manuaaliselle kontrollille. Työtehtävät etenevät harvoin standardoidusti, joten töiden etenemistä on vaikea verrata suunniteltuun. (Kaiser & Zikas 2009)

Putkilinjahankkeet ovat kuitenkin lineaarisia hankkeita ja sisältävät toistuvia toimintoja. Kaivannon kaivaminen, putkien asennus, hitsaus, kaivannon täyttö sekä ympäristön

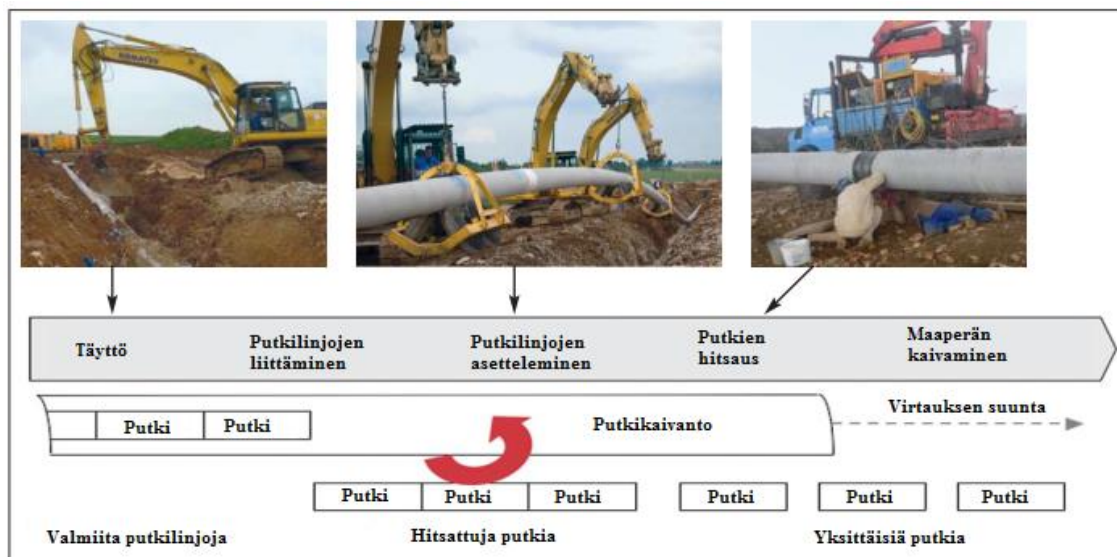
alkuperäiseen tilaan saattaminen toistuvat läpi rakentamisen ja ovat tuotannon päätoimintoja. Lisäksi tuotantoon kuuluu yksittäisten rakenteiden pystytys ja maan prässäminen. (Kaiser & Zikas 2009)

Töiden järjestäminen vaatii edellä mainittujen toimintojen tunnistamisen ja sovittamisen arvovirtatarkastelun mukaisesti. Yksittäiset aktiviteetit suoritetaan peräkkäin yhteen kytkettyinä tuotantojunaperiaatteen mukaisesti tahtiaikaa hyödyntäen. Toimintoja linkittäessä tulee ottaa huomioon ulkoisten tekijöiden, kuten sään vaikutus toimintojen stabiliteettiin. Esimerkiksi humusaineiden poistaminen riippuu säästä, joten sitä ei tule linkittää tiiviisti ilman aikapuskuria seuraavien toimintojen kanssa. Kuvassa 4.13 on esitetty tavallinen putkilinjahankkeen tuotantoprosessi ja uudelleenjärjestelty virtausperiaatetta noudattava tuotantoprosessi. (Kaiser & Zikas 2009)



Kuva 4.13. Tavallinen putkilinjahankkeen tuotantoprosessi ja uudelleenjärjestelty prosessi virtausperiaatteen mukaisena tuotantojunana (Kaiser & Zikas 2009).

Toistuville toiminnoille määritetään tahtiaika sovitun rakennusajan ja kohteen pituuden sekä putkilinjojen lukumäärän perusteella. Kaikkien toimintojen tulee noudatella tahtiajan kestoja. Sään vaikutusta ei oteta huomioon tahtiaikaa laskettaessa. Tahtiajan perusteella määritetään tarvittava kalusto ja työvoiman lukumäärä. Suoritusdatan perusteella laaditaan työjakokaavio, työn sisällön erittely mukaan lukien. Toistuvien toimintojen sarjoittaminen ja tahtiajan määrittäminen mahdollistavat prosessien läpinäkyvän ohjaamisen kohteessa ja poistavat odottelusta johtuvaa hukkaa. Tuotantojunaperiaate mahdollistaa myös työmaan ohjauksen paikallistumisen tuotantojunan läheisyyteen niin sanottuun ”työmaakaravaaniin”. Tämän seurauksena työmaan johdon liikkumiseen liittyvä hukka pienenee merkittävästi. Kuvassa 4.14 havainnollistetaan virtautetun tuotantojunan etenemistä putkilinjahankkeen tuotannossa. (Kaiser & Zikas 2009)



Kuva 4.14. Putkilinjat tuotannon virtautetun tuotantojunan eteneminen käytännössä (Kaiser & Zikas 2009).

Työn toteuman perusteella auditoidaan jatkuvasti työnjakoa, jotta tuotannontekijöitä voidaan mukauttaa tarvittaessa. Tasainen ja harmoninen tuotannontekijöiden jakaminen on usein erittäin vaikeaa. Tästä johtuen vaaditaan prosessimekanismi, joka mahdollistaa tiimien suunnitelmanmukaisen toiminnan jatkumisen. Yksi vaihtoehto on osoittaa samalle tiimille sekä prosessin ensimmäinen, että viimeinen työvaihe. (Kaiser & Zikas 2009)

Virheiden nollatoleranssi lisää prosessin vakautta. Jokainen virhe, laadullinen poikkeama tai tuotannon virtauksen katkeaminen häiritsee tasaista tuotantotahtia. Virheiden raportointi, havaitseminen, ehkäiseminen sekä juurisyiden selvittäminen ovat kaikki nollatoleranssiohjelman osia. Visuaalinen ohjaus virheiden näyttämiseksi välittömästi on tärkeää ongelmien aikaiseksi havaitsemiseksi. (Kaiser & Zikas 2009)

Saksalaisessa putkilinjarakentamisen case-hankkeessa tuotannon virtauttamisella saavutettiin 28 %:n kasvu tuottavuudessa (metriä / työtunti), 18 %:n säästö työvoimakustannuksissa ja 43 %:n säästö suurten laitteiden kustannuksissa. Lisäksi ydinprosessin (Kaivannon kaivaminen, putkien asennus, hitsaus, kaivannon täyttö sekä ympäristön alkuperäiseen tilaan saattaminen) suoritusnopeus muuttui neljästä viikosta yhteen viikkoon. (Kaiser & Zikas 2009)

4.4.5 Teollisen rakentamisen hyödyntäminen infratuotannossa

Teollista moduulirakentamista voidaan hyödyntää infrarakentamisen virtauttamisessa erityisesti suurissa ja runsaasti toistoa sisältävissä hankkeissa, kuten tunneli- ja siltahankkeissa. Moduulirakentamisessa hanke ositellaan tietynsuuruiseksi moduuleiksi sekä työvaiheisiin ja niihin liittyviin tehtäviin. Moduulirakentamisessa suunnittelu alkaa

tavoitteet määrittämällä, josta edetään taaksepäin suunnitellen kaikki tarvittavat työt tavoitteiden saavuttamiseksi käännetyn aikataulun mukaisesti. Yksittäisen moduulin työvaihe sisältää viikkotavoitteen mukaiset työtehtävät. Työn aikataulu on moduuliajattelun mukainen ja ohjaa myös työtä visuaalisesti (Ratamäki 2015).

Moduulirakentaminen perustuu niin sanottuihin vakiomoduuleihin, jotka on suunniteltu samanlaisiksi tekniikkaa myöten. Vakiomoduuli tulisi valita siten, että rakennettavat moduulit noudattelisivat mahdollisimman hyvin vakiomoduulia, eli poikkeavia lisättäviä tai poistettavia yksityiskohtia olisi mahdollisimman vähän.

Moduulirakentaminen ei saa olla rakentamista ohjaavaa. Modulaarisuus ei saisi aiheuttaa enemmän työtä tai rakentamista kuin muutoin olisi tarpeellista (Ratamäki 2015).

Tampereen Rantatunnelissa hyödynnettiin moduulirakentamista. Moduulirakentamisen havaittiin mahdollistavan useiden Lean Constructionin menettelyjen noudattamisen. Keskeiset moduulirakentamisessa tunnistetut hyödyt rantatunnelihankkeessa olivat (Ratamäki 2015):

1. Viikkotason *tahtiaikasuunnittelun* mahdollistaminen
2. Kokonaisaikataulun merkittävä lyhentyminen
3. Sisällöltään samanlaisten moduulien rakentaminen luo edellytykset toteutuksen kehittymiselle rakentamisen aikana
4. Tehostaa aikatauluohjausta ja seurantaa sekä *jatkuvaa parantamista*
5. Moduulien rakenteet saadaan *standardoitua* (samanlaiset rakenteet saadaan myös hankittua halvemmalla)

Esivalmistusta voidaan hyödyntää myös sillanrakentamisessa. Sillanrakentamisen tekniikat ja menetelmät eivät ole juurikaan kehittyneet viimeisten vuosikymmenien aikana. Siltojen rakentaminen tapahtuu perinteisesti betonivaluja myöten in-situna, sisältäen runsaasti työvoimaa ja tekniikoita, joita voidaan kuvaila käsityötyyppisiksi. Teollisia menetelmiä, kuten itsetiivistyviä betonivaluja ja esivalmistettuja teräsbetonirakenteita ei usein käytetä. (Rwamamara et al. 2010)

Muottirakenne

Nykyiset muotit ovat usein väliaikaisia puurakenteita, jotka valmistetaan työmaalla. Väliaikaisten muottien etuna on halvat materiaalikustannukset, mutta muottien rakentamiseen tarvitaan runsaasti rakennusvaiheen aikaisia työtunteja, mikä lisää kustannuksia. Ruotsalaisen E4-tiehen liittyvän sillanrakennushankkeen kokonaisrakennuskustannuksista noin 6 % koostui muottien materiaalikustannuksista ja 17 % työvoiman kustannuksista. Väliaikaisten muottien tekemiseen liittyy toisinaan myös laatuongelmia, esimerkiksi betonin vuotamisen sattuessa. (Rwamamara et al. 2010)

Käyttämällä talonrakennuksessa yleisempiä pysyviä muottirakenteita voidaan sillanrakennuksen kustannuksia pienentää ja saada sillanrakennushankkeesta virtaavampi. Pysyvä muottirakenne voi olla esimerkiksi esivalmistettu kuorielementti, joka toimii muottina muille rakenteen osien valuille. Toinen vaihtoehto on käyttää esivalmistettuja betonilaattoja yhdessä esivalmistettujen reunapalkkien kanssa, jotka muodostavat yhdessä muotin päällysrakenteelle. Esijännitetyt elementit, esimerkiksi ontelo- tai massiivilaatat voivat ohentaa sillan kansirakennetta, joka vähentää penkereen täytön määrää. (Rwamamara et al. 2010)

Muita sillanrakentamiseen liittyviä elementtirakenteiden etuja ovat muun muassa (Betoniteollisuus ry 2017):

- Elementtirakenteiden suurempi betonin puristuslujuus tarvittaessa (C60 – C100)
- Lisäaineiden ja jälkihoidon hallinta tehdasolosuhteissa.
- Mittatarkkuus, tiiviys ja kestävyys.
- Tukipaalutusten, telineiden ja muottien aiheuttamat ympäristökuormitukset pienenevät.
- Rasitetuimmissa sillan osissa voidaan käyttää vaihdettavia elementtikeruoria.
- Sillan ulkonäköä voidaan parantaa elementtiratkaisuja räätälöimällä (esim. väribetoni tai pintarakenteet).
- Rakentamisaika lyhenee.
- Siltatyömaiden työturvallisuus paranee.
- Vähemmän liikenteen häiriöitä.

Esivalmisteteiden haasteena ovat muun muassa korkeammat materiaalikustannukset ja logistiset haasteet. Siltaelementit ovat usein suurikokoisia, joten ne tulisi tuoda työmaalle juuri oikeaan aikaan asennettavaksi. (Rwamamara et al. 2010)

Itsetiivistyvä betoni

Tavallista tärisytettävää betonia käytetään nykyään yleisesti sekä talon- että infrarakentamisessa. Itsetiivistyvää betonia voidaan käyttää valussa valujen nopeuttamiseksi, vähemmän työvoiman ja työtuntien käyttämiseksi ja työolosuhteiden parantamiseksi. Itsetiivistyvän betonin ongelmia on ollut perinteisesti vaihteleva laatu sekä betonin erottuminen. Rwamamara et al:n (2010) mukaan näistä ongelmista on päästy eroon ja haasteena on urakoitsijoiden kouluttaminen itsetiivistyvän betonin hyödyntämiseksi laajemmin.

Raudoitteet

Raudoitteita käytetään vahvistamaan betonirakenteen kykyä vastaanottaa jännityksiä murtumatta. Raudoitteet toimitetaan yleensä leikattuina ja taivutettuina oikeissa määrissä, mutta raudoitteita täytyy silti säätää työmaalla. Tämä työ on raskasta ja tehdään usein

huonoissa työasunnoissa. Raudoitusten valmistelu on myös osittain sääriippuvaista ja työvoiman tehokkuus voi vaihdella olosuhteista riippuen. (Rwamamara et al. 2010)

Esivalmistetut raudoiteverkot voivat mahdollistaa jatkuvat raudoitusten toimitukset työmaaolosuhteista riippumatta, koska verkot valmistetaan hallituissa olosuhteissa. Raudoiteverkot vähentävät kyseisen työvaiheen työvoiman tarvetta, nopeuttavat raudoitusta, vastaavat tarkkoihin mittatoleransseihin ja helpottavat raudoitteiden käsittelyä sekä kuljetuksia. Lisäksi esivalmistetut raudoitteet vähentävät työmaalla säilömisestä tarvetta. (Rwamamara et al. 2010)

5. HAASTATTELUT

5.1 Haastattelujen suoritus

Haastattelut suoritettiin teemahaastatteluina. Teemahaastattelun kysymykset eivät ole muodoltaan ja järjestykseltään tarkkoja, mutta haastattelu ei ole kuitenkaan täysin vapaa. Teemahaastattelu noudattelee tiettyjä ennaltamääriteltyjä teemoja, joihin keskustelua ohjataan määriteltyjen kysymysten avulla. Teemahaastattelulla saadaan huomioitua haastateltavien subjektiiviset kokemukset sekä tulkinnat, mikä soveltuu hyvin virtauttamisen kaltaisen uuden asian tutkimiseen. (Hirsjärvi & Hurme 2000)

Teemahaastattelujen tavoitteena on selvittää haastatteludatan ja mahdollisten tuotantosuunnitelmien analysoinnin avulla eri rakennusalan sektorien yritysten virtauttamisen sovelluksia. Haastatteluihin laaditaan muutamia keskustelua ohjaavia kysymyksiä, joiden pohjalta haastattelut etenevät. Tarkoituksena on kuitenkin antaa haastateltaville mahdollisuus kertoa yrityksensä toiminnasta vapaasti ilman liikaa kysymysten asettamia rajoja. Käytetty haastattelulomake on esitetty liitteessä 2 työn lopussa.

Haastattelujen ja mahdollisten tuotantosuunnitelmien pohjalta pyritään luomaan malli virtauttamisen ja siihen liittyvien periaatteiden osoittamiseksi niille hanketyypeille, joille virtauttaminen soveltuu. Haastatteluista saatua informaatiota verrataan saatavilla olevaan teoriaan, jonka perusteella virtauttamisen nykytilan malli luodaan. Haastateltaviin kuuluu asiantuntijoita infra-alalta, korjausrakentamisesta, suunnittelusta sekä uudisrakentamisesta.

Tähän työhön liittyen haastateltiin yhteensä neljäätoista haastateltavaa monista suurista tai keskisuurista suomalaisista rakennusalan yrityksistä. Haastateltavia valikoitui suunnittelusta, korjausrakentamisesta, talonrakentamisesta ja infrasta. Pääosa haastateltavista valittiin yrityksistä, jotka ovat osallisia Rain-hankkeessa, johon myös tämä diplomityö liittyy. Myös muutamia Rain-hankkeen ulkopuolisia yrityksiä osallistui haastatteluihin. Haastateltavat henkilöt tarkentuivat pääasiassa ottamalla yhteyttä yritysten kehitystoiminnasta vastaaviin tai tämän diplomityön kannalta tarkoituksenmukaisista projekteista vastaaviin henkilöihin sähköpostilla, joiden kautta yritykset määrittivät haastateltavaksi sopivat henkilöt. Liitteessä 1 on eritelty tarkemmin haastateltavien henkilöiden nimet ja näkökulmat, joita he edustivat.

Haastattelut suoritettiin kasvotusten yritysten tiloissa teemahaastattelun periaatteiden mukaisesti keskustelemalla ennalta määritetyistä teemoista (haastattelulomake liite 2). Vaihtoehtona olisi ollut myös puhelinhaastattelu, mutta kasvotusten haastattelemalla erityisesti dokumenttien tarkasteleminen oli merkittävästi helpompaa. Kolmessatoista

haastattelussa haastateltiin kerrallaan yhtä henkilöä ja yhdessä haastattelussa paikalla oli kaksi henkilöä kerralla. Muistiinpanovälineinä toimi älypuhelimien ääninauhuri, sekä vihko jonka avulla haastattelun etenemistä oli helpompi seurata ja esittää jatkokysymyksiä. Haastattelut kestivät noin puolesta tunnista kahteen tuntiin. Haastattelun purkaminen suoritettiin äänityksen perusteella haastattelun jälkeisinä päivinä.

5.2 Haastattelun tulokset

Haastateltavat ovat esittäneet virtauttamiselle useita määritelmiä. Osa haastateltavista pitää virtauttamista uutena terminä vanhoille toimintatavoille: ”kokeneilla mestareilla on selkeä logiikka suunnittelussa, vaikkei virtauttamisesta ole puhuttu”. Tätä mieltä olevat haastateltavat kokevat kuitenkin virtauttamiseen panostamisen kehittävän nykyisiä toimintatapoja entistä tehokkaammiksi. Toiset näkevät virtauttamisen olevan tarkempaa toiminnan suunnittelua, jonka seurauksena toiminta myös usein nopeutuu ja tehostuu. Tällöin myös asiakkaalle saadaan tuotettua tehokkaammin arvoa, mikä on virtausajattelun ydinasiaa.

Tuotannon virtauttamiseksi koetaan erityisesti tuotannon tarkempi suunnittelu. Tarkempaan suunnitteluun liittyy usein Last Plannerin käyttäminen. Tarkemman suunnittelun seurauksena tuotannosta saadaan ennustettavampi ja vähemmän epävarmuutta sisältävä. Virtauttamisesta seuraa usein tuotannon läpimenoajan lyheneminen. Tuotannon ennustettavuuden nähdään parantavan tuotteiden laatua. Lisäksi virtauttamisen odotetaan vähentävän työmaalla nykyisin paljon tapahtuvaa kaoottista ”palojen sammuttelua”, minkä seurauksena myös työhyvinvoinnin odotetaan kohoavan. Toisaalta kiireisimmissä linjasaneeraushankkeissa on virtauttamiskokeiluista seurannut haastateltavien mukaan myös lisää stressiä työntekijöille, koska ylimääräistä aikaa ei ole ollut kuten on totuttu. Stressiä pyritään vähentämään vakioratkaisuja oppimalla, ennakoitavuutta lisäämällä esimerkiksi suunnitteluvaiheeseen aktiivisemmin osallistumalla ja konseptia kehittämällä stabilimpaan suuntaan.

Suunnittelun virtauttamisessa tavoitellaan suunnitteluprosessin tehostamista hankkeiden kokonaisuuden virtaukseen keskittyen. Suunnittelutehtävien sisältö ja aikataulutus suunnitellaan entistä tarkemmin ja tehtävien edellytykset ja riippuvuudet pyritään ottamaan huomioon. Suunnitelmaratkaisujen toteutettavuuden ja oikea-aikaisuuden parantamiseksi pyritään tekemään enemmän yhteistyötä urakoitsijoiden kanssa. Lähtötietojen riittävyys ja pätevyys pyritään varmistamaan tilaajan suunnalta. Suunnittelijoiden ja muiden projektin jäsenten yhteistyötä ohjataan käytännössä erityisesti säännöllisin Big Room –sessioin.

Suuri osa virtauttamishankkeista on pilottiasteella, mikä näkyy myös virtauttamisen teorian ja käytännön eroina. Kansainvälisen Lean-teorian ja suomalaisen käytännön välillä yhteistä on erityisesti erilaiset työkalut, kuten Big Room tai Last Planner.

Käytännössä virtauttamishankkeissa keskitytään toisinaan pelkästään työn tarkempaan suunnitteluun esimerkiksi Last Plannerin avulla ja tahtiaikaa ei implementoida. Suunnittelussa taas voidaan esimerkiksi järjestää säännöllistä Big Room –työskentelyä, vaikkei se suunnittelun virtaamisen kannalta olisikaan samassa laajuudessa tarkoituksenmukaista. Lean–teorian mukaan käytännössä usein erehdytäänkin käsittelemään Leania ainoastaan joukkona työkaluja. (Liker 2004)

Lean–filosofiaa tai virtauksen tavoittelua ei implementoida kattavasti, koska jokaiselle yritykselle on rakentunut tietynlaiset toimintaperiaatteet, joita ne noudattavat. Suuret muutokset sisältävät suuria riskejä, joita ei olla valmiita ottamaan, koska nykyinen toimintakin on tuottavaa. Sen sijaan yritykset keskittyvät erityisesti ottamaan tai mukauttamaan Leanista tuttuja työkaluja oman toimintansa tarpeisiin. Seurauksena on helposti terminologian häilyvä käyttö, koska esimerkiksi Lean on trendikästä ja myyvää. Tämä vaikeuttaa myös käytännön tutkimista, koska yrityksiä käytännön toiminnasta jaetaan rajallisesti tietoa. Toinen haaste on uusiin menetelmiin luottaminen ongelmien ilmaantuessa. Esimerkiksi tahtiaikakokeiluja on ollut uudisrakentamishankkeissa, mutta käytännössä tahtiajasta on luovuttu kesken hankkeen ongelmien sattua ja tuotanto on palannut perinteiseen tulipalojen sammuttamiseen.

”Rakennusyritykset eivät ole lähtökohtaisesti semmoisessa asemassa, että tarvitsisi lähteä hakemaan [kattavampaa] virtauttamista. Työt eivät ole loppumassa, vaikkei virtauteta. ’Don’t fix it if it ain’t broken’. Vaatii paljon rohkeutta, jos ei olla pakon edessä.”

5.2.1 Suunnittelun virtauttaminen

Suunnittelun virtauttaminen on haastattelujen perusteella alkutekijöissä. Virtauttamisen avulla tavoitellaan suunnittelun sisäisen tuottavuuden kehittämistä huomioimalla lisäksi koko hankkeen virtaaminen. Sisäistä tuottavuutta kehitetään tarkemmalla ”suunnittelun suunnittelulla”, jossa suunnittelutyötä aikataulutetaan ja edellytyksiä sekä riippuvuuksia otetaan entistä paremmin huomioon. Toisinaan suunnittelun virtaamisen osaoptimoiminen voi olla ristiriidassa hankkeen virtaamisen optimoinnin kanssa. Käytännössä tällöin suunnittelun virtaavuudessa joustetaan ensimmäisenä, koska ylimääräinen suunnittelutyö on suhteellisen halpaa esimerkiksi työmaan viivästymiseen verrattuna. Kokonaisuuden virtauksen maksimointi vaatiikin hankkeen eri osapuolten yhteistyötä.

Erään haastateltavan mukaan talotekniset suunnitelmat luodaan usein hankkeen urakalaskentaa ja taloteknisten urakoiden kilpailutusta varten vailla kaikkia tarpeellisia lähtötietoja, kun arkkitehti- ja rakennesuunnittelu on vielä kesken. Tämä johtuu haastateltavan mukaan siitä, että talotekniset urakat hankitaan lähes aina kiinteähintaisina urakoina, joiden kilpailuttamiseen tarvitaan suunnitelmat. Suunnitelmat sisältävät arvauksia talotekniikan sijaintiin liittyen, minkä vuoksi suunnitelmat joudutaan

todennäköisesti uusimaan hankkeen edetessä ja rakenteiden varmistuessa. Kahteen kertaan suunnittelu on suunnitteluprosessin näkökulmasta hukkaa, josta tulisi päästä teorian mukaan eroon.

Kahteen kertaan suunnittelu hyväksytään kuitenkin osaksi hankkeita, mikäli sen koetaan olevan kokonaisprojektin parhaaksi. Vaihtoehtona olisi haastateltavan mukaan talotekniikkaurakoiden tekeminen projektinjohtourakkana, mikä tulisi todennäköisesti hankkeelle kalliimmaksi kuin suunnitelmien muokkaaminen tarjouskilpailun jälkeen. Haastateltavat kokevat kuitenkin talotekniikkaurakoiden rajaamisen allianssihankkeiden päätöksenteon ulkopuolelle ongelmalliseksi.

”Näkisin ehdottomasti hyödylliseksi, että talotekniikkaurakoitsijat olisivat allianssikumppaneina.”

Lisäksi talotekniikkasuunnittelun kilpailutusprosessi koetaan haasteelliseksi kahteen kertaan suunnittelun vuoksi. Tarjous tehdään epärealistiseksi ”kuten muutkin” ja kahteen kertaan suunnittelusta koituvat lisäkustannukset neuvotellaan usein tilaajan kanssa lisäkustannuksina tarjouksen ulkopuolella. Tilaajan tulisikin ymmärtää ja mielellään osata ottaa huomioon kahteen kertaan suunnittelusta aiheutuvat kustannukset jo tarjouspyynnössä. Haastateltavat toivovatkin lisätutkimusta järkevistä tavoista saada urakoitsija mukaan ilman perinteisiä raskaita taloteknisiä urakkalaskelmia, jotta kahteen kertaan suunnittelua saataisiin vähennettyä.

Big Room osana suunnittelua

Big Room on haastateltavien mukaan keskeinen virtauttamisen työkalu ja tulee olemaan käytössä hankkeissa enenemässä määrin. Big Roomista on ollut apua lähtötietojen hankkimiseen, suunnitelmista keskustelemiseen sekä olennaisen tiedon jakamiseen eteenpäin. Oikein järjestetty Big Room lisää kasvokkain kommunikointia tietomallia ja luonnoskuvia apuna käyttäen, mikä vähentää sähköpostien käyttöä ja helpottaa asioiden ymmärtämistä. Menetelmää pidetään oikein järjestettynä hyvänä päätöksenteon ja tiedon välittämisen työkaluna.

Toisaalta Big Room koetaan myös haasteelliseksi. Big Roomiin valikoituu tyypillisesti kokeneempia projektipäälliköitä, joilla on useita hankkeita ja niihin liittyviä tehtäviä hoidettavana. Muiden työtehtävien tehokas tekeminen taas koetaan vaikeaksi Big Roomissa ollessa, eikä Big Roomiin eristäytymistä muiden töiden tekemiseksi koeta tarkoituksenmukaiseksi. Tällöin esimerkiksi kokemattomien suunnittelijoiden ohjaaminen on haasteellista. Lisäksi kokouksia on kokemuksen mukaan aluksi liian usein.

”Big Room on itseoppiva prosessi. Aluksi hankkeessa oli Big Roomia kolme kertaa viikossa. Määrä typistyi lopussa yhteen iltapäivään viikossa.”

Eräs haastateltava kokee säännöllisen Big Room -käytännön turhaksi, koska se sitoo kokeneimpia osaajia ja voi häiritä muuta tekemistä. Hänen mukaansa tarvittavat ihmiset voidaan kutsua yhteen Big Room -tyyppisesti ongelmien ilmetessä, mutta säännöllisyydelle ei ole tarvetta. Tällainen tarvittaessa kokoontuminen tunnetaan teoriassa myös nimellä solmutyöskentely (Kerosuo et al. 2013)

Fasilitaattorin osaamisen koetaan olevan kriittisen tärkeä Big Roomin onnistumisen kannalta. Fasilitaattori toimii kokousten valmistelijana, vetäjänä ja varmistaa tavoitteiden saavuttamisen sessioiden osalta. Osaavan fasilitaattorin avulla jokaisen osallistujan tulisi tietää miten heidän tulee valmistautua kokoukseen ja mitä tietoa he saavat kokouksesta. Alalla tarjotaankin nykyisin Big Room -koordinoitua erillisenä palveluna.

Suunnittelutehtävien hallitseminen osana virtauttamista

Erään haastateltavan mukaan yrityksen toiminnan haasteena on ollut suunnittelutyön leviäminen tarjousvaiheen jälkeen. Yksi virtauttamisen periaatehan on pilkkoa prosessit pieniin osiin, mikä hallitaan suunnittelun tehtäväluetteloita tehdessä tarjousvaiheessa. Suunnittelutyön alkaessa tehtäväluettelot kuitenkin helposti unohtuvat ja suunnittelu voi levitä. Tämä on ongelmallista, koska hajanaista suunnittelutyötä on vaikea seurata ja täten myös ohjata. Suunnitelmien valmiusaste voi olla 35 %, mutta ei tiedetä onko kolme suunnitelmaa valmiina, vai jokaisesta suunnitelmasta tehty kolmasosa. Lisäksi tällaisesta suunnittelemattomasta tekemisestä seuraa helposti ylitekeminen liian aikaisin, erityisesti hankkeissa joissa lähtötietoja joudutaan odottelemaan. Haastateltavan mukaan ylitekeminen onkin suuri hukan aiheuttaja suunnittelualalla.

”Tuntuma toimialalta on, että aikaa ei ole suunnitella suunnittelua, mutta jostain löytyy silti muka aikaa korjata jättimäinen määrä suunnittelemattoman työn virheistä jälkikäteen.”

Toisen haastateltavan mukaan suunnittelun virtauttamisen yhtenä ydinajatuksena onkin juuri suunnittelutyön aikatauluttaminen suunnittelijakohtaisesti työn leviämisen estämiseksi. Työvaiheille määritetään kestot ja kustannukset ja määritelmien pohjalta luodaan työntekijäkohtainen aikataulu. Lisäksi suunnittelijoille tulee jakaa tieto siitä, mitä on tarjottu, mitä tilaaja on halunnut ja toisaalta mitä on laskettu. Tällöin suunnittelija osaa paremmin ilmoittaa, jos ilmenee jotain yllättävää, mitä ei ollut mainittu dokumenteissa. Myös ylitekemisen määrä vähenee, kun suunnittelijalla on tieto esimerkiksi tulevalle viikolla päivitettävistä asioista, joiden pohjalta tiettyä suunnitelmaa voidaan jatkaa.

”Meilläkin levisi suunnittelu aina aikaisemmin, johtui siitä, ettei suunnittelija tiennyt mitä on tarjottu tai ajateltu. Yrityksen tulos on parantunut sillä, että on alettu tekemään suunnitelmallisemmin.”

Eräs haastateltava suosittelee prosessikaavioiden käyttöä osana suunnittelun ja rakennushankkeiden virtauttamista. Prosessikaaviossa tulisi olla selkeästi esitettyinä tehtävien edellytykset ja edellytyksiin tulisi tarvittaessa liittyä katselmuksia, joiden perusteella päätetään yhteisesti edetä tehtävästä toiseen. Samalla hyväksytään, että tehtäviin palaaminen uudelleen tulee viemään aikaa ja rahaa. Prosessikaavio paljastaa oikein tehtynä tehtävien riippuvuudet. Tällöin myös jokaisen tehtävän edellytykset voidaan todeta ja pyrkiä varmistamaan, mikä on kriittistä virtautuksen onnistumiseksi. Edellytyksien laiminlyönti onkin haastateltavan mukaan yleinen ongelma rakennusalalla.

”Virtauttaminen tarkoittaa asioiden rullaamista jouhevasti kronologisessa järjestyksessä. Usein käytännössä riippuvuuksista ei välitetä tai niitä ei ymmärretä. Ala sortuu lähes aina tähän.”

Harjoittelemalla tekemään ja kehittämällä tietynlaisten hankkeiden suunnittelukonsepteja yritys voi hankkia itselleen merkittävän kilpailuedun. Erään suunnittelutoimiston suunnitelmallinen konseptien kehittäminen on nostanut kyseisen toimiston kykyä tehdä kilpailukykyisiä tarjouksia ja jäädä hankkeista voitolle. Konseptien kehittäminen on perustunut suunnittelun palasteluun tehtäviin ja palastelun järjestelmälliseen noudattamiseen samantyyppisissä hankkeissa. Haastateltava ei maininnut prosessikaavioiden tekemistä konseptointiin liittyen, mutta prosessikaaviot voivat auttaa haastateltavan mainitsemaan suunnittelun palasteluun pienempiin osiin.

”Oli asiakkaita, joille tehtiin samankaltaisella konseptilla suunnitelmia. Aluksi hankkeista ei jäänyt mitään käteen. Nyt ne ovat hyvin tuottavia hankkeita. Heti kun toiminta alkaa, tiedetään mitä tehdä ja aletaan toimeen. Tyhjä tekeminen on jäänyt välistä pois.”

Yksi prosessikaavion suuri haaste on kokonaisuuden ymmärtäminen realistisen prosessikaavion tuottamiseksi. Prosessikaavion sisältö vaihtelee hankekohtaisesti. Realististen ja toimivien prosessikaavioiden luominen vaatii hankkeen kokonaisuuden hallitsemisen, mikä on usean haastateltavan mukaan harvinainen taito rakennusalalla. Suunnitelmien tulisi valmistua oikea-aikaisesti esimerkiksi hankinnan tai tuotannon tueksi, mikä tulisi näkyä riippuvuussuhteena prosessikaaviossa. Käytännössä suunnittelulle kuitenkin varataan haastateltavien mukaan usein liian vähän aikaa, mikä vaikeuttaa riittävien suunnitelmien luomisen oikea-aikaisesti. Työmaat tekevät toisinaan suunnitelmatarveaikataulun imuohjaamaan suunnittelua. Erään suunnittelualan haastateltavan mukaan suunnitelmatarveaikatauluissa ei kuitenkaan tyypillisesti oteta huomioon esimerkiksi hankintojen aikaa, tilaajan päätösaikaa (helposti 1 – 2 viikkoa) tai virastojen hyväksymisaikoja (2 viikkoa kommentointiaikaa, työmaalle ei mennä ilman hyväksyntää). Kokonaisuuden ymmärtäminen on siis puutteellista.

Haastateltavan mukaan toinen prosessikaavioiden ongelma liittyy niiden noudattamatta jättämiseen. Prosessikaavioita voidaan noudattaa näennäisesti, mutta jo päätettyjä asioita

revittää kuitenkin auki myöhemmissä vaiheissa, ”koska aiempi vaihe oli vain katselua ja nyt meillä on tarkempaa tietoa”. Sinänsä suunnitelmien iterointi on rakennusalan nykytilassa ymmärrettävää, tilaajan päätöksenteko voi viivästyä, virheitä voi esiintyä, tai projektiosapuolten välinen yhteistyö voi olla puutteellista. Haastateltavan mukaan tärkeintä on kuitenkin ymmärtää mitä prosesseihin palaaminen tarkoittaa aikataulun ja kustannusten näkökulmasta, ”pitäisi ymmärtää, että prosessista poikkeamalla aiheutat itsellesi ylimääräistä työtä”. Tähän voisi haastateltavan mukaan tulevaisuudessa käyttää todennäköisyyksiin perustuvia simulointeja, joiden avulla voitaisiin arvioida hankkeen yhden tehtävän myöhästymisen vaikutusta muiden tehtävien tai koko hankkeen myöhästymiseen. Nykyään haasteena on, että hankkeen alun myöhästymistä ei pidetä vielä vakavana signaalina ongelmista ja myöhästymisiin ei reagoida ajoissa. Simuloinnin perusteella voitaisiin esittää kerrannaisvaikutusten merkitys kustannuksiin ja aikatauluihin, mikä toimisi ohjaavana työkaluna.

Eräs suunnittelualan haastateltava koki tiedonsiirron ja vastuuasioden olevan haaste projektin virtauttamisessa. Haastateltava kertoi hieman kärjistetyn esimerkin tiedonsiirron haasteista. Tarvittava tieto on usein mitattavissa jaetuissa dokumenteissa tai malleissa, mutta kuvista mittaaminen tarkoittaisi vastuun siirtymistä suunnitelman tekijältä mittaavalle. Tämän vuoksi esimerkiksi työmaa pyytää mielummin sähköpostilla dokumentin puuttuvasta mitasta, kuin mittaa mitan itse mallista. Suunnittelija taas palaa asiaan myöhemmin sähköpostit luettuaan ja ilmoittaa mitan. Lisäksi hieman keskeneräisiä malleja ei uskalleta jakaa puolin ja toisin, jottei vahingossakaan jaettaisi väärää tietoa. Aikaa koko prosessiin kuluu luonnollisesti huomattavasti enemmän, kuin jos mallia olisi uskallettu tulkita.

”Jos kuvassa ei ole mittaa, työmaa ei lähde ’arvaamaan’. Vastaavasti myös suunnittelussa. Halutaan paperidokumentti, jossa kerrotaan mitta. Ei lähdetä arvaamaan ja oteta vastuuta. Mallit on olemassa, mutta niistä ei saa ottaa ja jos otetaan, niin juridisesti omalla vastuulla. Miksi toimitaan toisinaan näin?”

Juridisesti vastuuasiat liittyvät usein käytettyjen KSE 1995 ja YSE 1998:n sopimusehtoihin. Suunnittelijat ovat vastuussa omista suunnitelmistaan, mutta suunnitelmien tarkastaminen jää usein pääurakoitsijan tehtäväksi, vaikka tilaajalla on velvollisuus tarkistaa suunnitelmat ennen niiden jakamista urakoitsijalle. Urakoitsijalla on velvollisuus reklamoida suunnitelmapuutteista tilaajalle. Jos urakoitsija ei ilmoita ajoissa sellaisista puutteista tilaajalle, jotka urakoitsijan olisi ammattitaidon nojalla tullut huomata, vastaa urakoitsija omaa tuottamustaan vastaavalta osin näistä virheellisyyksistä (Kankaanpää 2016). Virheiden vastuuasioden käsittelytapaa voi sinänsä pitää oikeudenmukaisena, mutta vastuunottamisen pelko voi jäykistää rakentamisprosessin etenemistä, mikä hidastaa virtausta (kuten edellä esitetyn mittojen varmistamisen esimerkissä). Haastateltava kokee vastuuasioden olevan haasteellisia erityisesti talonrakentamisessa useiden osapuolien vuoksi. Taulukossa 5.1. on esitetty haastattelujen perusteella suunnittelun virtauttamisen keskeiset ominaisuudet ja niihin liittyvät haasteet.

Taulukko 5.1. Suunnittelun virtauttamisen haastattelutulokset.

<p>Suunnitteluprosessin aikataulutaminen ja resurssointi suunnittelijakohtaisesti: suunnittelun leviämisen välttäminen ja sisäisen tuottavuuden parantaminen</p>	<p>Esille tulleet haasteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lähtötietojen saaminen • Tiedon kulkeutuminen rivisuunnittelijalle • Suunnittelukokonaisuuksien vaatiminen epärealistisilla aikatauluilla
<p>Tehtävien riippuvuuksien ja järjestyksen ymmärtäminen ja hallinta: prosessikaaviot</p>	<p>Esille tulleet haasteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kokonaisuuden hallitsevia ihmisiä on vähän • Käytännössä ajetaan lopputuotetta, eikä välitetä edellytyksistä • Suunnittelukokonaisuuksien vaatiminen epärealistisilla aikatauluilla (tarveaikataulut epärealisen tiukkoja toteuttaa)
<p>Big Room -sessiot: suunnittelukokoukset ja lähtötietojen saaminen, suunnittelutyön yhteensovittaminen ja tiedonjakaminen</p>	<p>Esille tulleet haasteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sitoo resursseja varsinkin hankkeen alkuvaiheessa turhan usein, voi olla turhia sessioita • Soveltuu huonosti muun suunnittelutyön tekemiseen
<p>Kahteen kertaan suunnittelu: sekä hankinnan että rakentamisen tueksi, mikä on nykytilassa usein kokonaisvirtauksen parhaaksi</p>	<p>Esille tulleet haasteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kahteen kertaan suunnittelu ei optimaalisinta sisäisen suunnittelutyön sisäisen tuottavuuden kannalta • Kahteen kertaan suunnittelua ei oteta usein huomioon tarjousissa, vaan joudutaan neuvottelemaan erikseen • Kuinka saada kilpailutus tehtyä kevyemmällä suunnitelmillä
<p>Muut esille tulleet haasteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Talotekniikan rajaaminen allianssihankeiden päätöksenteon ulkopuolelle • Suunnittelun ja tuotannon välinen kuilu: suunnitelmatarveaikataulut ovat epärealistisia, "kaikki halutaan heti" 	

5.2.2 Tuotannon virtauttaminen

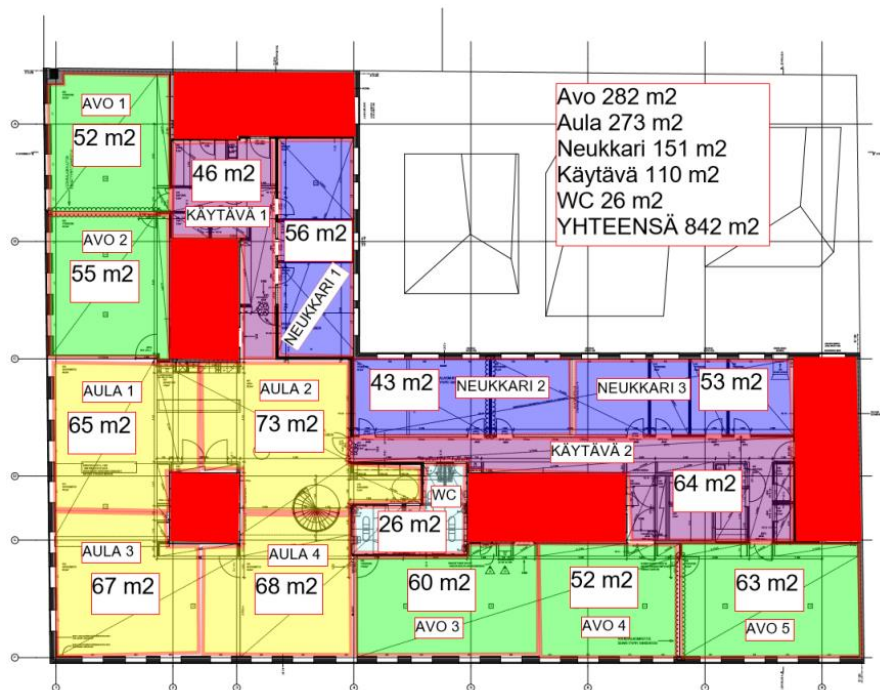
Haastateltavat ovat yhtä mieltä siitä, että tuotannon virtauttamiseen kuuluu tarkempi työn suunnittelu. Hukan poistamiseksi ja tehokkaan virtauksen ylläpitämiseksi tulee laatia toteutuskelpoiset suunnitelmat. Toteutuskelpoisuuden kriittisyys korostuu tarkkaan suunnittelussa tuotannossa, erityisesti jos suunnitelmiin ei ole sisällytetty puskuriaikaa viivästysten tai muutosten varalle: ”perinteisessä mallissa on kuitenkin aikaa setviä ongelmia ja se on hyväksytty osaksi hankkeita”. Puskuriaikoja optimaalisempi tapa on luoda varasuunnitelmia (esim. tiedostaa varamestat kussakin vaiheessa) virtauksen ylläpitämiseksi viivästysten sattuessa.

Tuotannon virtauttaminen on haastattelujen perusteella pisimmällä haastatelluilla korjausrakentamiseen keskittyvillä yrityksillä. Tulosta voisi sinänsä pitää yllättävä, koska korjausrakentamisen ajatellaan tyypillisesti sisältävän uudisrakentamista enemmän epävarmuutta. Toisaalta epävarmuuden merkitystä on vähennetty joko lisäämällä resurssien määrää tai keskittymällä virtauttamaan tuotannonosia, joissa epävarmuuden merkitys on vähäisempi ja toistuvuutta on runsaasti. Esimerkiksi alun purkutyö voidaan hankkia alihankintana, jolloin se saadaan hoidettua erikoistuneen aliurakoitsijan tekemänä eikä se noudattele tahtiaikaa. Purun yhteydessä saatavat lisätiedot voidaan implementoida tuotantosuunnitelmiin helpommin, kun purku on irroitettu tahtiajasta. Lisätietojen avulla virtautettu tuotannonosa saadaan sujumaan jouhevammin, kun purkuvaiheen aikaiset yllätykset eivät pääsee keskeyttämään virtausta alkuunsa.

Uudisrakentamisessakin virtauttamiskokeiluista on tehty vaihtelevalla menestyksellä. Varsinaisista tahtiaikakokeiluista ei ole haastateltavien mukaan saatavilla tarkempaa tietoa, mutta tahtiaikatuotanto koetaan yleisesti haastavaksi saada toimimaan käytännössä. Haasteelliseksi koetaan osapuolten runsas lukumäärä, alihankinnan haasteet ja toistuvuutta sisältävien virtautettavien tuotannonosien löytäminen.

”On helppoa mennä sen taakse, että toimitaan tosi muuttuvassa ympäristössä. Kuvaa ehkä sitä, että asiat eivät tapahdu vielä kovin hallitussa ympäristössä, vaan on totuttu kaaoksen hallintaan. Toiminta on liikaa palojen sammuttamista.”

Tahtiaika-ajattelua oli kokeiltu eräällä haastatelluista työmaista siten, että sisätyöaikataulu oli tahdistettu viikon tahdeiksi (kerros per viikko) tietynlaisessa rakennusjärjestyksessä. Tämä ei kuitenkaan ollut toiminut käytännössä, vaan tahtien ja tuotannon hallitsemisen vaikeus oli ajanut ohjaamisen takaisin ”perinteisiin tapoihin”. Eräs haastateltava mainitsi oikeankokoisten ja toistoa sisältävien lohkojen määrittämisen olevan äärimmäisen tärkeää tahtiaikatuotannon onnistumiseksi. Tahtiaikaa noudattavilla lohkoilla tulisi olla käynnissä yksi työvaihe kerralla, joten liian suuri lohkojako aiheuttaa aikataulujen venymisen tarpeettoman pitkiksi. Liian tiheä lohkojako taas voi muun muassa lisätä resurssien määrän tarvetta ja vaikeuttaa seurantaa tai olla tarkoituksenmukaiseton esimerkiksi kokonaisuikataulun tai kustannushyödyn kannalta. Lisäksi kohteisiin sisältyy tyypillisesti lohkoja, joiden tahdistaminen tahtiaikaan ei ole tarkoituksenmukaista. Kuvassa 5.1 on esitetty käytännön esimerkki korjauskohteen lohkojaosta. Punaisella merkityjä alueita ei tahdisteta tahtiaikaan.



Kuva 5.1. Tahtiaikatuotantoon liittyvän lohkojaon esimerkki käytännön kohteessa (LCI.fi 2017).

Onnistumisia uudisrakentamisen puolella on saatu yleisesti erityisesti yhteistä ja tarkempaa tuotannosuunnittelua avustavan Last Plannerin avulla. Työmailla myös todetaan olevan jonkin asteista virtauttamista siellä täällä, esimerkiksi muottikiertoa paikasta toiseen. Tämänkaltainen virtauttaminen on kuitenkin liikaa yksilöiden varassa ja tällaisten prosessinpätkien osaoptimointia ei ole usein mietitty tarpeeksi kokonaisuuden kannalta. Toisaalta korjausrakentamisessakin tahtiaikaa on sovellettu ainoastaan tiettyihin osaprosesseihin, joissa on riittävästi toistoa ja joita voidaan hallita tyydyttävästi.

Last Planner

Last Planner on kehitetty vuosituhaten vaihteessa ja onkin ehtinyt yleistyä käytössä myös Suomessa. Last Planneria käytetään infratuotannossa ja talonrakentamisessa useissa hankkeissa tarkemman suunnittelun työkaluna. Last Planner koetaan yleisesti osaksi virtauttamista. Last Plannerin avulla työntekijät on saatu puhumaan ja miettimään tehtävien sisältöä. Päivittäiset muutokset ja konfliktit ovat vähentyneet ja reaktio virtauttamiseen on ollut positiivisempi. Last Plannerin käytön seurauksena myös läpimenoaikoja on saatu lyhennettyä, kun työvaiheiden suunnittelu on tehty yhdessä aliurakoitsijoiden kanssa. Last Plannerista on kerrottu tarkemmin luvussa 4.1.2.

Tahtiaika

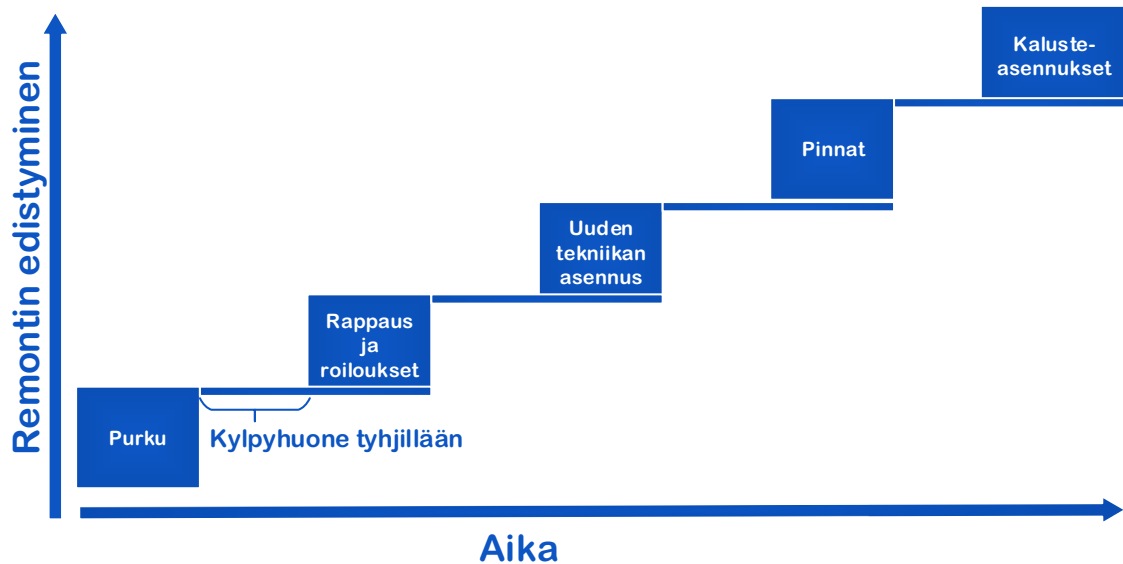
Tahtiaikaa on kokeiltu pilotteina infrahankkeissa, talonrakentamisessa ja erilaisissakorjaushankkeissa. Yksinkertaisten korjaushankkeiden tahtiaikakokeilut vaikuttavat lupaavimmilta, kun taas infrassa ja talonrakentamisessa kokeiluista ei joko haluta jakaa tietoa, tai käytännön toteuttaminen on ollut haasteellista. Haasteiksi koetaan virtautettavien osien löytäminen ja tahtiaikatuotannossa pysyminen ongelmien ilmetessä. Runsaasti osapuolia sisältävät hankkeet koetaan haasteellisiksi hallita virtauttamisen edellyttämällä tarkkuudella, erityisesti mikäli käytetään aliurakointia, jolloin urakkarajat määritellään jo hankintoja tehdessä. Tästä seuraa, että tahtiaikatuotannosta luovutaan herkemmin ongelmien ilmetessä kesken hankkeen.

Tahtiaikatuotanto soveltuu parhaiten hankkeisiin, joissa on vähän epävarmuutta ja runsaasti toistoa. Korjausrakentamisen tapauksessa tällaisia hankkeita ovat muun muassa facelift-tyyliset pintakorjaukset ja julkisivuremontit. Linjasaneerauksissa toistuvuutta löytyy esimerkiksi kylpyhuone-, makuuhuone- ja keittiökohtaisesti. Tällaisiin toistuviin osiin voidaan soveltaa tahtiaikaa noudattelevia tuotantोजना, joissa jokainen työryhmä, tai ”vaunu”, tekee toistuvasti samoja tehtäviä. Kuivumisajat otetaan tarvittaessa huomioon tyhjinä vaunuina ja pitkäkestoiset työt, kuten laatoitus voidaan jakaa useampaan vaunuun.

Tuotannon virtauttaminen case putkiremontit

Kuvassa 5.2 on esitelty yksittäisen kylpyhuoneen korjauksen edistyminen perinteisessä linjasaneerausmallissa. Fira Palvelujen tutkimuksen mukaan kylpyhuoneet voivat olla

tyhjiällä jopa 82 prosenttia korjausajasta (Vuorio 2016). Kyseinen tulos mitattiin hankkeessa, jossa linjasaneerauksen vaiheet aikataulutettiin linjakohtaisesti. Perinteisessä Hankemallissa suunnittelu ja tuotanto on eriytetty eri osapuolille, jolloin suunnitelmien toteutuskelpoisuuden takaamiseksi ei tyypillisesti hyödynnetä urakoitsijan osaamista. Sisällyttämällä urakoitsija suunnitteluvaiheeseen saadaan suunnitelmista ”kilpailutuksen välineen sijaan aidosti toteutettava suunnitelma”.



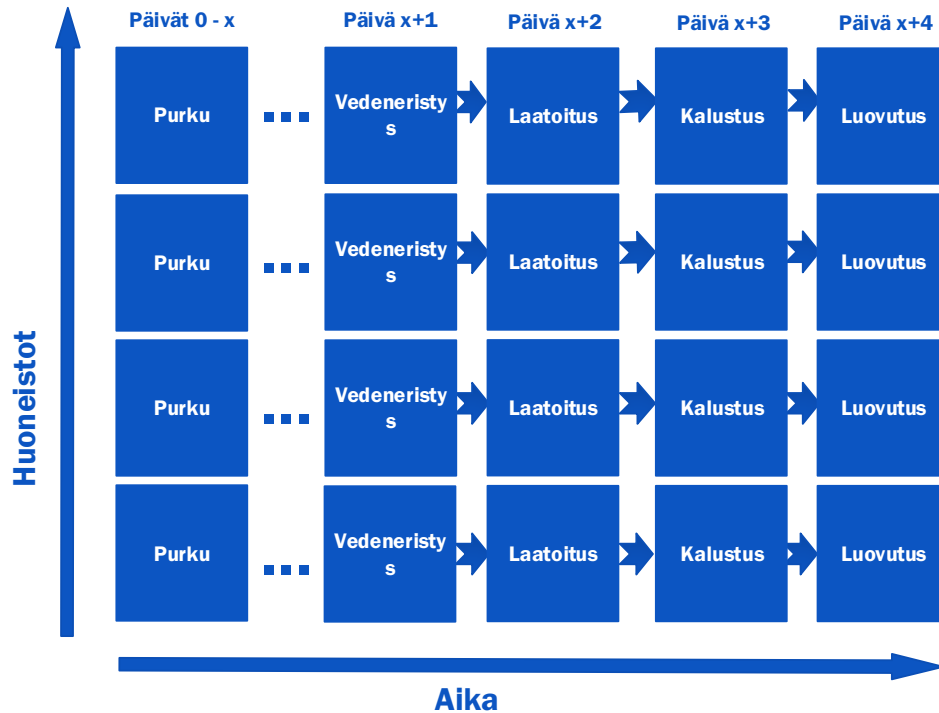
Kuva 5.2. Virtauttamisen lähtötilanne linjasaneerauksissa (mukailtu LCI.fi 2016)

Alalla on havaittavissa ainakin kaksi toisistaan selkeästi eroavaa lähestymistapaa perinteisin menetelmin tehtävien linjasaneerausten virtauttamiseksi. Tavoitetilana voidaan molemmissa tapauksissa pitää taloudellisesti kannattavaa ja tehokkaasti virtaavaa (suuren virtaustehokkuuden omaavaa) tuotantoa, jonka seurauksena tuotannon läpimenoaika on saatu lyhennettyä. Tavoitetilaa kuitenkin lähestytään resurssien käytön näkökulmasta vastakkaisista suunnista.

Lähestymistavassa 1 tuotannon virtaus perustuu haastateltavan mukaan Goldrattin (1999) kapeikkoajatteluun. Kapeikkoajattelun mukaan muun muassa multitaskingista tulisi päästä eroon. Projektisalkkutasolla tämä tarkoittaa yhtäaikaisten hankkeiden lukumäärän vähentämistä. Tällöin käytettävissä olevat resurssit saadaan keskitettyä muutamiin hankkeisiin. Lähestymistavan ajatuksena onkin hankekohtaisen tuotannon resurssien (työntekijöiden määrän) kasvattaminen ja hankkeiden kestojen merkittävä lyhentäminen. (Goldratt 1999)

Lähestymistavassa 1 työt etenevät suurelta osin samassa vaiheessa joka asunnossa, mutta pidempikestoisia työvaiheita myös porrastetaan jonkin verran. Etuna on merkittävä läpimenoajan lyhentäminen, jonka seurauksena myös työmaatekniset kustannukset pienenevät. Tilaajan näkökulmasta vuokratuottojen menetys on pienempi. Urakoitsija voi hyötyä säästetyistä vuokratuotoista, mikäli niin on sovittu kannustimena. Toisaalta

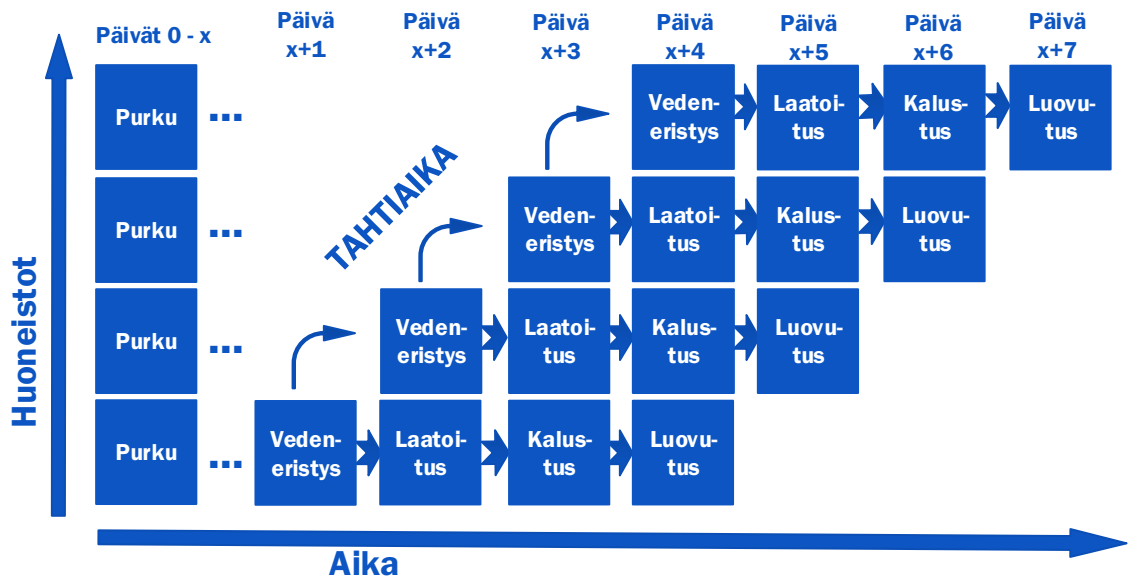
työntekijöiden määrä on suurempi, mikä kasvattaa kustannuksia. Kuvassa 5.3 on havainnollistettu lähestymistavan 1 mukaista nopeaa putkiremonttia.



Kuva 5.3. Lähestymistavan 1 yksinkertaistettu tuotantomalli. Lähestymistavan työt etenevät suurelta osin samassa vaiheessa samanaikaisesti huoneistosta toiseen. Huoneistot myös valmistuvat samanaikaisesti.

Lähestymistavassa 1 jokaisessa virtausyksikössä (esimerkiksi kylpyhuoneessa) tapahtuu arvoa lisäävää toimintaa lähes samanaikaisesti työvaiheesta toiseen. Virtaustehokkuus on sitä suurempi, mitä tiheämpään arvon siirto tapahtuu ja mitä vähemmän hukkaa esiintyy. Tämän vuoksi Lähestymistavan 1 virtaustehokkuus on lähestymistapaa 2 suurempi. Lyhyttä läpimenoaikaa voidaan myös itsessään pitää arvon indikaattorina: mitä lyhyempi läpimenoaika, sen parempi (Modig & Åhlström 2012). Lisäksi runsaalla resurssien määrällä voidaan vastata paremmin epävarmuuteen, joten virtaustehokkuuden pitäminen korkeana on helpompaa.

Lähestymistavassa 2 virtaustehokkuutta pyritään parantamaan erityisesti tarkemman työsuunnittelun kautta pitämällä resurssit ennallaan, tai kasvattamalla niitä maltillisesti. Resursseja kasvatetaan, mikäli tarkempi työsuunnittelu osoittaa sen tarpeelliseksi. Tuotannossa hyödynnetään toistuvien kokonaisuuksien osalta tahti-aikaa noudattavia tuotantojunia. Lähestymistavassa 2 työmaan ylläpitämisen kustannukset ovat lähestymistapaa 1 suuremmat pidemmän keston vuoksi. Tilaaja menettää pidemmän keston vuoksi enemmän vuokratuloja. Toisaalta työntekijöitä tarvitaan lähestymistapaa 1 vähemmän, mikä pienentää kustannuksia. Lähestymistavan 2 nykytila on suurempaan virtaustehokkuuteen pyrkiminen resurssitehokkuus huomioiden. Kuvassa 5.4 on havainnollistettu lähestymistavan 2 mukaista tahti-aikaa noudattelevaa putkiremonttia.



Kuva 5.4. Lähestymistavan 2 yksinkertaistettu tuotantomalli. Alun vaiheet kuten purku eivät noudattele tahtiaikaa. Tahtiaikaa noudattavan osuuden (kuvassa vesieristys > laatoitus > kalustus > luovutus) työt suoritetaan huoneistokohtaisesti tuotantojunamallilla. Työntekijät tai -ryhmät siirtyvät huoneistosta toiseen tahtiajan määrittämin väliajoin ja toistavat työsuorituksen seuraavassa huoneistossa. Huoneistot valmistuvat tahtiajan kestoisin väliajoin.

Linjasaneerauksien virtauttaminen erityisesti kahden viikon putkiremonttien muodossa on saanut huomiota Suomessa, mikä on lisännyt alan yritysten asemaa päästä hankkeiden suunnitteluvaiheeseen mukaan. Tämä on haastateltavan mukaan parantanut suunnitelmien toteutettavuutta, mikä on edellytys virtauttamisen onnistumiselle. Muiden tekemät suunnitelmat ovatkin yksi syy, miksi kahden viikon putkiremontteja ei tehdä useammassa hankkeessa.

Aliurakointi koetaan haasteelliseksi virtautuksen kannalta. Erään haastateltavan mukaan aliurakoinnista saadaan erikoistumishyötyä, mutta menetetään käytännössä kontrolli. Aliurakoitsijoille tulee siis osata esittää tarjouspyynnössä, miten hanketta on tarkoitus virtauttaa ja mitä virtauttaminen tarkoittaa. Mitä luotettavammin aliurakoitsijoille kerrotaan mitä tehdä, sitä edullisemmat tarjoukset saadaan. Tämä vaatisi haastateltavan mielestä alusta alkavaa yhteistyötä aliurakoitsijoiden kanssa, jotta sopimuksista saataisiin laadittua tuotantotapaa paremmin palvelevia. Aliurakoinnin urakkarajoja pidetäänkin haasteellisen jäykkänä virtauttamisen onnistumisen kannalta.

”Jos yritetään tehdä sopimusta, missä on isot sanktiot myöhästymisestä, niin aliurakoitsijat menevät muualle töihin, koska töitä riittää.”

Aliurakointi koetaan haasteelliseksi erityisesti korjaushankkeissa, joissa epävarmuutta esiintyy tyypillisesti uudisrakentamista enemmän. Toisaalta epätasainen tilauskanta voi pakottaa yrityksiä käyttämään enemmän aliurakointia, koska runsas omien miehen pitäminen tulee erityisesti hiljaisempina aikoina haastavaksi.

Aliurakoinnin haasteista on pyritty pääsemään eroon muun muassa partneroitumalla tiettyjen aliurakoitsijoiden kanssa, jolloin he oppivat toimimaan käytettävän tuotantomallin mukaisesti. Erilaisia kannustinmalleja voidaan käyttää, toisaalta aliurakoitsijalle riittää usein tieto siitä, mitä virtauttamisessa tavoitellaan. Lisäksi hyvin suoriutuvia aliurakoitsija otetaan mielellään töihin tuleviinkin hankkeisiin. Osa haastateltavista toivoo uuden kaupallisen mallin luomista alihankintaan nykyisten ongelmien ratkaisemiseksi.

5.2.3 Virtauttamisen nykytila infrassa

Infrarakentamisen haastattelutulokset vastaavat suurelta osin talonrakentamisen tuloksia. Ihmisten kehittäminen koetaan tärkeimmäksi asiaksi virtauttamisen näkökulmasta. Ilman asennemuutosta virtauttaminen on vain yksi työkalu muiden joukossa ja siitä ei saada suurinta hyötyä irti. Lisäksi tuotannon tarkempi suunnittelu koetaan olevan virtauttamista ja Last Planner on kokemusten mukaan erityisen toimiva työkalu virtauttaa infratuotantoa. Tahtiakaa on kokeiltu joissakin hankkeissa, mutta tarkempaa tietoa ei haluta jakaa aiheesta. Lisäksi yksittäisvirtausta on kokeiltu implementoida, mutta vastaanotto on ollut negatiivista. Isojen toiminnanmuutosten koetaan vaikeaksi, koska työmailla on totuttu liikaa nykyään vallitsevaan palojen sammuttamiseen. Prosessia täytyy eheyttää tarkemman suunnittelun ja kokeilujen avulla, suoraan yksittäisvirtaukseen hyppääminen ei onnistu.

Infrahankkeiden koetaan sisältävän epävarmuutta, jota on vaikea hallita. Tiheilläkin kairauksilla ei saada täydellistä kuvaa maaperän koostumuksesta, kallioperän tai roudan syvyydestä tai pohjavedenpinnasta ja sen tason muuttumisesta, jolloin viivästysten vaara on aina olemassa. Tämän vuoksi eräs haastateltavista kokee virtaustehokkaan tuotannon vaativan avuksi lisäresursseja ainakin alussa. Lisäsatsauksen vuoksi virtauttamisen hyödyllisyys voi olla vaikeampi osoittaa taloudellisesta näkökulmasta. Haastateltava kokeekin resurssien lisäämisen olevan väärä lähtökohta virtauttamisessa.

”Yksi suurimpia syntejä rakennusalalla on, että ymmärretään virtaus sellaisena, että sitä lähdetään heti parantamaan resursseilla. Lisätään työtunteja päivään, lisätään työntekijöitä, otetaan viikonlopun käyttöön. Loppujen lopuksi ei ratkaista ongelmia, saavutetaan lisää kustannuksia ja ehkä monimutkaistetaan prosessia. Lähtökohta pitäisi olla niukkuus, tehdään niin hyvää kuin olemassa olevilla resursseilla saadaan, jolloin joudutaan miettimään mikä nykyisessä toiminnassa mättää.”

Infrapuolen haastateltavat ovat samaa mieltä muiden haastateltavien kanssa aliurakoinnin haasteista. Aliurakoitsijat vaihtuvat lähes projekti projektilta, mikä lisää kouluttamisen tarvetta ja vähentää partneroitumista. Infrarakentamisen yrityksillä ei ole tasaista projektivirtaa, mikä vaikeuttaa samojen aliurakoitsijoiden käyttämistä hankkeesta toiseen. Aliurakoitsijoita on otettu mukaan virtauttamisharjoituksiin, mutta aito aliurakoinnin virtauttaminen on yksi heikoimmista lenkeistä. Aliurakoitsijat saadaan virtauttamaan

lähinnä sopimusten kautta ”vietyinä”. Toisaalta esimerkiksi Last Plannerin avulla työntekijöiden reaktiot virtauttamiseen on saatu paremmaksi, koska Last Plannerissa työntekijät laitetaan itse miettimään toteuttamista.

Eräs haastateltava kokee digitalisaation tuovan lisämahdollisuuksia virtauttamiseen. Digitalisaatio kehittää seurantatiedon hankintaa, minkä avulla työtä voidaan suunnitella tarkoituksenmukaisemmaksi ja paremmin kokonaisprosessia palvelevaksi. Haastateltava kokee, että rakentaminen ei ole tällä hetkellä tarpeeksi päiväjohtamista tuntitasolla, vaan tähän pitäisi pyrkiä. Lisäksi hankkeista ja ratkaisuista pitäisi ottaa paremmin oppia ja toimintaa dokumentoida entistä kattavammin. Moni haastateltava kokeekin luotettavan seurantatiedon saamisen haasteelliseksi. Esimerkiksi digitaalista seurantatietoa analysoimalla voitaisiin kehittää ratkaisuja. Jatkuva henkilöstön vaihtuminen vaikeuttaa kuitenkin opin jalkauttamista.

Haastattelujen yhteydessä ei esitetty tarkempia virtauttamisen sovelluksia infrahankkeissa, mutta mainitessani muutamia teoriasta löytyviä esimerkkejä haastateltavat mainitsivat joitakin samankaltaisia kokeiluja olleen. Esimerkiksi luvussa 4.4.4 esitetyn virtautetun putkilinjahankkeen tapaista mallia on erään haastateltavan mukaan kokeiltu. Tällaisessa mallissa putkilinjaa rakennetaan siis tuotantoperiaatteen mukaisesti kohta kerrallaan sen sijaan että toiminta olisi hajautunut kilometrien laajuudelle koko linjan matkalle.

Logistiikan koettiin olevan erityisen tärkeä osa infrarakentamisen virtaa, koska massojen käsittelyssä ja materiaalitoimituksissa liikkuu valtavia määriä materiaalia. Massatalouden avulla tavoitellaan mahdollisimman pientä leikattavaa massaa, lyhyitä siirtomatkoja ja leikattavan massan hyötykäyttöä. Materiaalitoimitusten tulisi olla mahdollisimman oikea-aikaisia, jotta välttyttäisiin turhalta mestan odottelulta ja välivarastoinnilta.

Eräs haastateltava pohti perinteisen aliurakoinnin ja virtauttamisen yhdistämistä. Hän kertoi louhintojen olevan yksi tällaisen virtauttamisen soveltamiskohde. Haastateltavan mainitsema esimerkkiyritys teettää 90 % louhinnoista aliurakointina, jossa aliurakoitsija louhii louhinta-alueen isolla kalustolla reuna-alueita lukuun ottamatta. Tässä osassa korostuu aliurakoinnin kustannustehokkuus ja koska reuna-alueet jätetään louhimatta, ei epävarmuuden merkitys ole yhtä suuri. Reuna-alueet yritys louhii pienemmällä omalla kalustolla ja omilla miehillä. Reuna-alueilla epävarmuuden merkitys on suurempi ja omilla miehillä epävarmuuteen saadaan vastattua lisääntyneenä joustavuutena aliurakointiin verrattuna, mikä parantaa virtaavuutta. Haastateltava pohti soveltuisiko sama logiikka myös talonrakentamiseen. Talonrakentamishankkeen keskivaiheen selkeät ja toistuvat kokonaisuudet tehtäisiin aliurakointina ja luovutusvaihe omilla miehillä. Luovutusvaiheeseen sisältyy yleensä aliurakoitsijoille tuottamattomia pieniä työvaiheita, tai häntiä, joita varten aliurakoitsijoiden täytyy palata työmaalle muutamaksi tunniksi. Haastateltava pohti voisiko luovutusvaiheen saada paremmin haltuun tekemällä ”viimeiset 10 %” töistä omilla miehillä.

Yksi haastateltavista arvioi virtauttamista tapahtuvan jossain mittakaavassa kaikilla työmailla. Esimerkiksi työjärjestyksen optimointi (suunnan ja järjestyksen vakiointi) on jo haastateltavan mukaan virtauttamista. Esimerkkinä hän mainitsi betonivalut, joissa muottityö, rauditus ja valu seuraavat toisiaan ketjuna. Laajemmassa mittakaavassa eri työvaiheita, kuten kaivuita, pontittamista ja pilareiden valuja tapahtuu samanaikaisesti eri kohdissa työmaata. Tahtiaikaa ei kyseisessä kohteessa ole käytössä, mutta haastateltavalla on kokemusta myös tahtiaikatuotannosta aiemmasta kohteesta. Toisessakin haastattelussa mainittiin työjärjestyksen merkitys osana virtauttamista. Kyseisessä esimerkissä omat miehet muuttivat sokkelilaatoitusten tekemisen työjärjestystä. Alun perin koko sokkelilaatoituksen teki yksi ryhmä kokonaisuudessaan. Muutetussa tavassa sokkelilaatoitus pilkkottiin kolmeen vaiheeseen, joista jokaista toteutti oma ryhmä tuotantoperiaatteella. Seurauksena toiminta tehostui merkittävästi ja neliökustannukset saatiin puolitettua.

Taulukossa 5.2 on esitetty nykytilassa talonrakentamisen, korjausrakentamisen ja infran virtauttamisen sovellukset, sovelluskohteet Suomessa, sekä esille tulleet haasteet haastattelujen perusteella. Taulukko on kooste lukujen 5.2.2 ja 5.2.3 käsitellyistä asioista.

Taulukko 5.2. Talonrakentamisen, korjausrakentamisen ja infran virtauttamisen sovellukset, sovelluskohteet Suomessa, sekä esille tulleet haasteet haastattelujen perusteella.

Tuotannon tarkempi suunnittelu Last Plannerin avulla:	Sovelluskohteet Suomessa: <ul style="list-style-type: none"> • Useissa infra- ja talonrakentamishankkeissa 	Esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Aliurakoitsijoiden sitouttaminen oman osuutensa suunnitteluun
Tahtiaikatuotanto: toistoa sisältävissä tuotannon osissa	Sovelluskohteet Suomessa: <ul style="list-style-type: none"> • Saneerauskohteissa: kylpyhuoneet, makuuhuoneet, keittiöt, julkisivut, sokkelilaatoitukset • Kokeiluja talonrakentamisessa ja infrassa, tietoa ei saatavilla tai ei saatu toteuttua 	Esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Aliurakoinnin haasteet: urakkarajojen joustamattomuus, sopimusten teon haasteellisuus, varhainen hankinta --> tahtiaikatuotannon tulee olla suunniteltuna varhain • Infrassa ja talonrakentamisessa ei olla onnistuttu pysymään tahtiaikatuotannossa hankkeen edetessä • Epävarmuuden hallinta
"2 viikon putkiremontit": hankkeiden keston merkittävä lyhentäminen ja häiriöiden vähentäminen resursseja lisäämällä	Sovelluskohteet Suomessa: <ul style="list-style-type: none"> • Putkiremontit 	Esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Ongelmien ennakoinnin parantaminen yleisesti, koska vähemmän aikaa ratkaista ongelmia • Epävarmuuden hallinta • Työnjohtajat olleet tiukilla
Työjärjestyksen optimointi: (muotitus > rauditus > valu kolmella ryhmällä)	Sovelluskohteet Suomessa: <ul style="list-style-type: none"> • Jossain mittakaavassa kaikkialla 	Esille tulleet haasteet:
Logistiikka: mahdollisimman oikea-aikaiset toimitukset	Sovelluskohteet Suomessa: <ul style="list-style-type: none"> • Jossain mittakaavassa kaikkialla • Putkiremonteissa esim. joka ilta • Erityisesti infrassa, jossa massatalous 	Esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Varastointitilan puute, kumppanikohtaisuus • Tyypillisesti mietitty liian vähän • Just in time?
Teollinen rakentaminen:	Sovelluskohteet Suomessa: <ul style="list-style-type: none"> • Yleisesti talonrakentamisessa, jne. • Tunnelit • Kylpyhuoneet 	Esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Ei sovellu joka kohteeseen • Esivalmisteista ei oteta kaikkea ajallista hyötyä irti, vaan elementit odottavat työmaalla
Muut esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Suunnittelun ja tuotannon välinen kuilu: suunnitelmien toteutettavuus ja oikea-aikaisuus • Kokonaisuuden heikko hallitseminen • Vastuuasiat ja tulkinnanvaraisuus: tiedon jakaminen jäykkää 		

6. KEHITYSEHDOTUKSET

6.1 Teorian virtautusesimerkkien merkitys tässä työssä

Aiemmissä luvuissa on esitelty muutamia teoriasta löytyviä virtautettujen hankkeiden kokeiluja. Kyseiset hankkeet on esitelty tässä työssä, koska haastattelujen yhteydessä ei ilmennyt linjasaneerausten lisäksi esityskelpoisia malleja virtautetusta tuotannosta. Esitetyt virtautuskokeilut on esitetty potentiaalisina kokeiluehdotuksina suomalaiselle rakennusosalalle. Lisäksi esimerkit täydentävät haastatteluissa esitettyjä ideoita ja toteutuksia. Esimerkiksi haastattelujen perusteella esitettyjen virtautettujen linjasaneeraushankkeiden kautta ei välttämättä saa selkeää kuvaa tahtiaikatuotannosta, mitä ulkomaiset esimerkit täydentävät.

Logistiikan ja massatalouden virtauttamista on käsitelty teorian perusteella luvuissa 4.4.2 ja 4.4.3. Esimerkissä asfalttikoneen tuottavuutta parannettiin 66 % tahtiaikaa noudattavien toimitusten avulla. Logistiikka ei ole haastattelujen perusteella mietitty useinkaan kovin pitkälle rakennushankkeissa. Vastaavanlaisia kokeiluja voitaisiin tehdä siksi myös Suomessa.

Luvussa 4.4.4 esitettiin putkilinjahankkeen virtauttaminen tuotantojunamallin avulla. Erään haastateltavan mukaan jonkinlaista keskitettyä tuotantomallia on kokeiltu myös kyseisen yrityksen putkilinjahankkeissa. Haastattelun perusteella ei kuitenkaan ilmennyt sen tarkemmin, miten hanke on suoritettu.

Luvussa 4.4.1 Tierakentaminen esitettiin melko pintapuolisesti Ecuadorissa suoritettun tiehankkeen tunneliosuuden tahtiaikakokeilun tuloksia. Esimerkki osoitti ennen kaikkea, että tahtiaikatuotannosta voidaan saada ennakoitava myös tiehankkeissa. Lisäksi esimerkissä havainnollistettiin, miten pullonkauloja voidaan hallita tahtiaikatuotannon tehostamiseksi. Tämän haastattelun ja teorian perusteella voidaan kuitenkin todeta, että infrarakentamisen virtauttaminen ei vaikuta olevan kovin pitkällä.

Luvussa 4.1.4 Tahtiaikaesimerkki: putki- ja viemärijärjestelmien rakentaminen esitettiin tahtiaikatuotantoa noudatteleva ulkomainen uudisrakentamiskohde. Kyseisessä esimerkissä on havainnollistettu, miten yksittäisten tehtävien menekkien avulla voidaan laskea tehtäville tuotantotehokkuudet ja järjestää tahtiajan mukaisesti. Lisäksi pullonkauloihin reagoimalla ja työryhmiä säätelemällä tahtiaikatuotannon tehokkuutta saatiin nostettua. Lopputuloksena tuotantoaika puolittui. Esimerkkiä voitaneen soveltaa useissa erilaisissa rakennushankkeissa myös Suomessa.

Taulukossa 6.1 on listattu tässä työssä esitetyt ulkomaiset ja haastattelujen perusteella havaitut kotimaiset virtauttamisen sovelluskohteet tuotannon virtauttamisen menettelyittäin jaoteltuna.

Taulukko 6.1. *Haastattelujen perusteella havaitut kotimaiset ja teorian perusteella havaitut ulkomaiset virtauttamisesimerkit menettelyittäin.*

Tuotannon tarkempi suunnittelu Last Plannerin avulla:	Sovelluskohteet Suomessa: <ul style="list-style-type: none"> • Useissa infra- ja talonrakentamishankkeissa 	Sovellusesimerkit teorian mukaan: <ul style="list-style-type: none"> • Useissa infra- ja talonrakentamishankkeissa
Tahtiainkatuotanto: toistoa sisältävissä tuotannon osissa	Sovelluskohteet Suomessa: <ul style="list-style-type: none"> • Saneerauskohteissa: kylpyhuoneet, makuuhuoneet, keittiöt, julkisivut, sokkelilaatoitukset • Kokeiluja talonrakentamisessa ja infrassa, tietoa ei saatavilla tai ei saatu toteuttua 	Sovellusesimerkit teorian mukaan: <ul style="list-style-type: none"> • Tiehanke Ecuadorissa • Putkilinjanhanke Saksassa • Putki- ja viemärijärjestelmien rakentaminen uudiskohteessa • Yhdysvalloissa sarjatuohtantohankkeet
"2 viikon putkiremontit": hankkeiden keston merkittävä lyhentäminen ja häiriöiden vähentäminen resursseja lisäämällä	Sovelluskohteet Suomessa: <ul style="list-style-type: none"> • Putkiremontit 	Sovellusesimerkit teorian mukaan:
Työjärjestyksen optimointi: (muotitus > raudoitus > valu kolmella ryhmällä)	Sovelluskohteet Suomessa: <ul style="list-style-type: none"> • Jossain mittakaavassa kaikkialla 	Sovellusesimerkit teorian mukaan: <ul style="list-style-type: none"> • Jossain mittakaavassa kaikkialla
Logistiikka: mahdollisimman oikea-aikaiset toimitukset	Sovelluskohteet Suomessa: <ul style="list-style-type: none"> • Jossain mittakaavassa kaikkialla • Putkiremonteissa esim. joka ilta • Erityisesti infrassa, jossa massatalous 	Sovellusesimerkit teorian mukaan: <ul style="list-style-type: none"> • Tahtiainkaa noudattelevat toimitukset tiehankkeessa Saksassa
Teollinen rakentaminen:	Sovelluskohteet Suomessa: <ul style="list-style-type: none"> • Yleisesti talonrakentamisessa, jne. • Tunnelit • Kylpyhuoneet 	Sovellusesimerkit teorian mukaan: <ul style="list-style-type: none"> • Kuten Suomessa

6.2 Yhteistoiminnalliset mallit virtauttamisen helpottamiseksi

Uusille toimintatavoille on tyypillistä, että osaaminen on liikaa yksilöiden varassa. Saman koetaan pätevän myös virtauttamiseen. Koska virtauttamisessa on kyse ennen kaikkea kokonaisuuden optimoinnista, tulisi projektiosapuolten välistä yhteistoimintaa harjoitella hankkeissa, jotta yksilöiden osaaminen saataisiin yhdistettyä projektin parhaaksi. Suunnittelussa ja tuotannossa tunnustetaan sokean osatoptimoinnin välttämisen haasteellisuus. Virtauttamisen onnistuminen perustuu suurelta osin siihen, kuinka hyvin eri osapuolet toimivat yhdessä projektin parhaaksi. Tämän vuoksi alan tulisikin pyrkiä siirtymään entistä enemmän yhteistoimintaa tavoittelevaksi erityisesti runsaasti epävarmuutta sisältävissä hankkeissa. Toisaalta yksinkertaisemmissa hankkeissa

kokonaisuuden virtauttaminen ei välttämättä tulevaisuudessa vaadi laajamittaista yhteistyötä, kunhan osaaminen on riittävällä tasolla.

Yhteistoiminnallisten mallien koetaan siis olevan potentiaalinen ratkaisu virtautettavien hankkeiden sujuvammalle läpiviennille. Tämä on perusteltua, koska yhteistoiminnalla voidaan välttää edellä mainittu sokea osaoptimointi ja hyödyntää eri projektin osapuolten osaaminen kokonaisvirtauksen kehittämiseksi. Osaoptimointia voi tapahtua tietoisesti, mikäli eri osapuolten ansaintamallit ovat ristiriidassa keskenään. Haastateltavat suosittelivatkin allianssimalleista tuttua riskien ja hyötyjen jakamisen periaatetta, jossa palvelutoimittajien saama korvaus perustuu siihen, miten koko urakan toteutuksessa onnistutaan, eikä siihen, miten palvelutoimittajat onnistuvat omissa tehtävissään. Riskien jakamisella voidaan myös jouhevoittaa aiemmassa luvussa mainittua vastuunottamisen pelon aiheuttamaa kankeutta. Esimerkiksi linjasaneerauksissa nopeutettujen putkiremonttien saama huomio on lisännyt haastatellun toteuttajajärityksen mahdollisuuksia osallistua tuotannon lisäksi hankkeiden suunnitteluvaiheeseen, mikä on parantanut suunnitelmien toteutettavuutta ja pienentänyt täten työmaalla tapahtuvien virheiden ja epävarmuuden määrää, mikä on tehostanut virtausta.

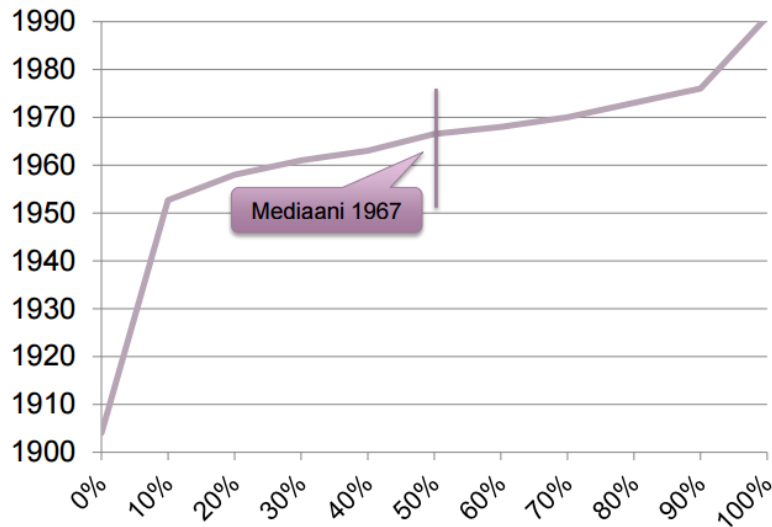
Edellisessä luvussa mainittiin osan haastateltavista kokevan aliurakoinnin olevan haaste virtauttamisen sujumiselle. Yleensä edes allianssimallin yhteistyön ja kehittämisen tavoitteet eivät ulotu aliurakoitsijoille asti, vaan aliurakoitsijat jätetään pääallianssin ulkopuolelle. Aliurakoitsijoiden integroimisesta allianssiin on kuitenkin kokemusten mukaan seurannut työmaaprosessien parantuminen (Ristola 2017). Esimerkiksi kahden viikon putkiremontit tehdään taloyhtiömaailmalle poikkeuksellisesti allianssina, johon kuuluu pääurakoitsija, suunnittelija, putki- ja sähköurakoitsijat sekä asunto-osakeyhtiö. Haastateltavan mukaan yritys käyttää hankkeissa käytännössä pelkästään aliurakoitsijoita. Työmaaprosessien parantumisen vastakkainasetteluna on tiiviimmän yhteistyön kalleus. Toisaalta työmaaprosessien parantuminen voi itsessään pienentää työmaakustannuksia. Tulevaisuus näyttäne, kuinka taloudellisesti kannattavia esimerkiksi kahden viikon putkiremontit ovat nykyisellä mallilla.

Erityisesti hankkeissa, joissa on haastateltavien mukaan ollut vaikea havaita virtauttamiskelpoisia elementtejä, voi yhteistoiminnasta olla hyötyä virtauttamisen suunnittelemiseksi. Eräs haastateltava pitikin aliurakoitsijoiden oman osuuden suunnittelua yhtenä heikoimmista lenkeistä. Aliurakoitsijoiden työnjohtoa voidaan ottaa mukaan resurssien suunnitteluun konsulttiavuksi, jotta aikatauluista saadaan mahdollisimman toteutuskelpoisia ja oikeudenmukaisia. Yhdessä suunnitellen ja toimivien motivointikeinojen avulla voidaan virtausta kehittää yhteistyössä aliurakoitsijoiden kanssa. Tällaisia motivointikeinoja ovat haastateltavien mukaan tyyppillisesti jatkokeikat sekä harjoittelu harjoitustehtävien ja kokeilujen avulla, joissa tekijät miettivät itse, miten asiat kannattaisi tehdä. Sopimusten sisällöllä on luonnollisesti suuri merkitys aliurakointiin liittyen. Eräs haastateltava mainitsi esimerkiksi, että aliurakoitsijoita jotka laskuttavat toteuman mukaan on yksinkertaisempaa auttaa

tavaroiden haalauksessa, kuin sellaisia aliurakoitsijoita joiden kanssa tehty sopimus edellyttää aliurakoitsijoilta omien tavaroidensa haalauksen (vältetään kahteen kertaan haalauksesta maksaminen).

Aliurakoitsijoiden vaihtuminen ja partneroitumisen vähäisyys voi kuitenkin tehdä tiiviimmästä yhteistoiminnasta haastavaa. Aliurakoitsijat voivat viedä tietoa virtauttamiskokeiluista kilpaileville yrityksille. Lisäksi kaikkia työntekijöitä ei yksinkertaisesti saada motivoitua tavoittelemaan yhteistoimintaa ja kokonaisprojektin parasta. (Koskela & Koskenvesa 2003) mainitsee aliurakoinnin ongelmien johtuvan usein myös työmailla vallitsevista viestintäongelmista. Viestintäongelmiin lasketaan itse viesti, sen ymmärtäminen ja oivaltaminen, mitä edellytyksiä jonkin tehtävän toteuttamiseen aikataulussa vaatii tai mitä tarkoittaa todellinen sitoutuminen ja mitkä ovat ne välineet sekä toimintatavat, joilla sitoutuminen aikaansaadaan. Suomalaisessa työmaa- ja johtamiskulttuurissa keskusteleminen ja sopiminen ovatkin paljon kehittämistä vaativia asioita. Yhteistoimintaa toivottaisiin löytyvän ilman sopimustekniikkaakin. (Koskela & Koskenvesa 2003)

Allianssimalli soveltuu huonosti hankkeisiin, joissa on suhteellisen vähän riskejä ja selkeät tavoitteet. Tällaisissa hankkeissa allianssiorganisaation raskaus ei välttämättä kompensoi allianssista saatavia hyötyjä. Allianssiurakan tarkoituksenmukaisuutta arvioitaessa tulee ottaa huomioon muun muassa hankkeen tavoitteiden ainutkertaisuuden ja siihen sisältyvän epävarmuuden (Ristola 2017). Herääkin kysymys, kuinka ainutlaatuisina esimerkiksi kerrostalojen linjasaneeraushankkeita voidaan pitää. Korjaushankkeet sisältävät tyypillisesti enemmän epävarmuutta kuin uudishankkeet. Toisaalta riittävillä kuntotutkimuksista ja alkuperäisillä piirustuksilla voidaan vähentää epävarmuutta. Tämän lisäksi valtaosa linjasaneerauksista tehdään vuoden 2015 Putkiremonttibarometrin mukaan 60- ja 70-luvun kerrostaloissa (kuva 6.1). Tällainen suuri elementtitalomassa todennäköisesti sisältää suuren määrän toistuvuutta kohteesta toiseen, mikä lisää ennakoitavuutta ja parantaa mahdollisuuksia hioa konsepteja virtautetusta linjasaneerausmallista. Voitaneen myös olettaa, että tarkempia ja paremmin paikkansa pitäviä dokumentteja ja piirustuksia löytyy uudemmissa rakennuksista.



Kuva 6.1. Putkiremonttien jakauma putkiremonttibarometri 2015 mukaan. (Saarinen 2016)

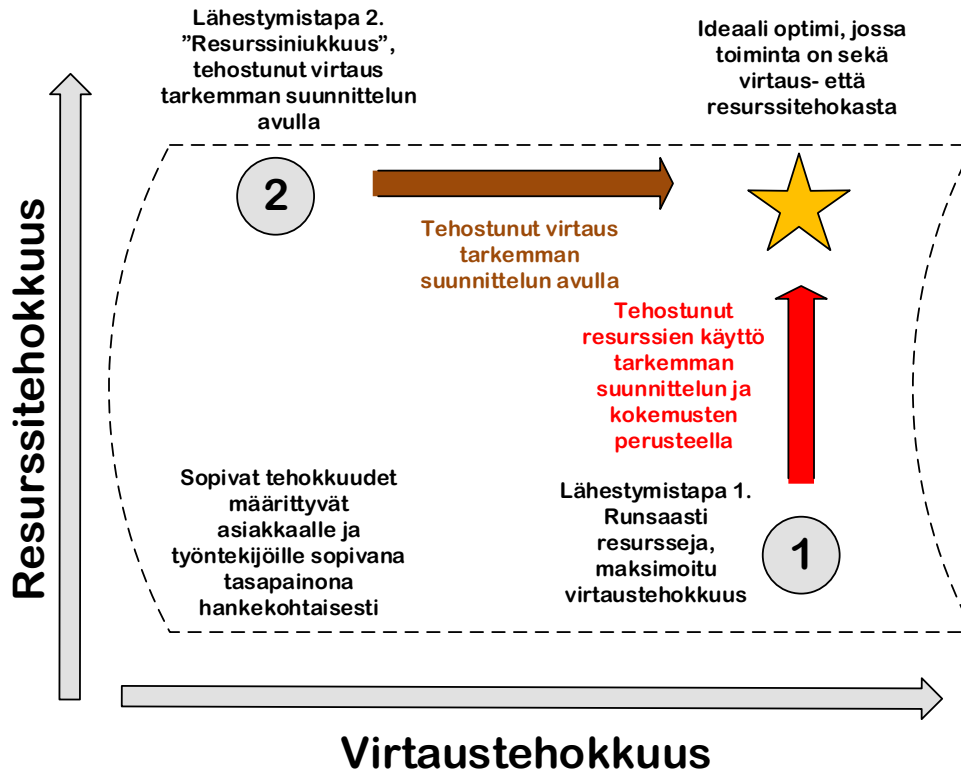
Edellä mainitut seikat vähentävät riskejä ja haasteita, mikä argumentoi täysimittaisen allianssimallin käyttämistä vastaan. Yhteistoiminnalla suunnitelmien toteutuskelpoisuuden varmistamiseksi ja tarkemmalla tuotannosuunnittelulla on kuitenkin varmasti paikkansa myös tällaisissa hankkeissa. Toistuvuus voi jopa helpottaa tarkempaa tuotannosuunnittelua, mikäli samankaltaisia konsepteja voidaan onnistuneesti implementoida hankkeesta toiseen ja kehittää kokemusten perusteella. Toistuvuus myös helpottaa aliurakoiden kilpailuttamista, koska tarjouspyynnöistä saadaan tarkempia ja paremmin paikkansa pitäviä.

6.3 Kahden esitetyn linjasaneerausten virtauttamistavan vertailu

Haastattelutulosten yhteydessä luvussa 5.2.2 esitettiin kaksi erilaista tapaa virtauttaa linjasaneerahankkeita. Tässä luvussa pohditaan tarkemmin, miten nämä lähestymistavat soveltuvat tilaajan arvomaailmaan ja millaiseen suuntaan lähestymistavat tulevat todennäköisesti kehittymään tulevaisuudessa.

Kuvassa 6.2 on esitetty nykytilat 1 ja 2, sekä tavoiteltava optimitila, jossa toiminta on sekä virtaus-, että resurssitehokasta. Tavoiteltava virtaustehokkuuden taso määräytyy hankekohtaisesti tilaajan arvomaailman ja hankkeen erityispiirteiden perusteella (maksukyky- ja halukkuus, läpimenoajan merkitys, kohteeseen liittyvä epävarmuus jne.). Modig & Ahlströmin (2012) mukaan oikea virtaustehokkuus on sopiva tasapaino sellaisien tehon arvojen kesken, jotka ovat sopivia sekä asiakkaalle että työntekijöille (Modig & Åhlström 2012). Esimerkiksi IS Mäkisen hyttikorjausten tapauksessa hankkeen läpimenoajalla on todella suuri merkitys asiakkaille, koska risteilijöiden joutilaana olo on erittäin kallista. Tämän vuoksi IS Mäkisen hyttiremonttien tapauksessa

asiakkaan arvon mukainen optimitaso painottaa erityisesti virtaustehokkuutta. Tuotantojunat liikkuvat hytistä toiseen 15 minuutin tahtiajoissa (Heinonen & Seppänen 2016). Linjasaneerausten tapauksessa läpimenoajalla taas voi olla tilaajakohtaisesti pienempi merkitys, kuin hankkeen kokonaiskustannuksilla.



Kuva 6.2. Linjasaneerausten virtautettujen lähestymistapojen 1 ja 2 yksinkertaistetut nykytilat resurssitehokkuuden ja virtaustehokkuuden näkökulmasta.

Lähestymistavassa 1 edellä kuvailtua tavoitetilaa voidaan ajatella lähestyttävän pilottikokeiluista saatavien kokemusten perusteella joutilaiden resurssien uudelleen kohdentamisella tai poistamisella, korkea virtaustehokkuus ylläpitäen. Suunnittelu- ja tuotantoratkaisuja kehitetään, jolloin myös epävarmuutta saadaan hallittua paremmin, minkä vuoksi joutilaiden resurssien luomaa puskuria ei tarvita samassa määrin. Seurauksena myös virtaustehokkuus voi laskea hieman, mikäli taloudellisesti kannattava toiminta tai tilaajien maksuhalukkuus sitä vaatii, eikä epävarmuutta saada hallittua muilla tavoilla kuin resursseilla.

Lähestymistavassa 2 resursseja lisätään ainoastaan, mikäli tarkempi suunnittelu ja pilottihankkeet osoittavat sen olevan esimerkiksi aikataulun kireyden vuoksi perusteltua. Seurauksena virtaustehokkuutta saadaan nostettua kohti tavoitetilaa, mutta resurssitehokkuuden huomioiminen saattaa rajoittaa saavutettavissa olevaa virtaustehokkuuden tasoa. Erityisesti mikäli hankkeiden epävarmuutta ei saada hallittua voi virtaustehokkuus heiketä resurssiniukkuuden vuoksi.

Edellä kuvatusta lähestymistavasta 1 voi saada vaikutelman, ettei tapaan kuulu tarkempaa työn suunnittelua (mikä on ytimessä lähestymistavassa 2). Haastattelun perusteella suunnittelussa on kuitenkin siirrytty linjakohtaisesta suunnittelusta asuntokohtaiseen, vaikkei ”tahtiaika-ajattelua ole ihan niin pitkälle viety, kuin hyttiremonteissa”. Toisaalta juuri tarkempi työnsuunnittelu antaa tarkemman kuvan tuotannon todellisesta resurssitarpeesta, minkä vuoksi on perusteltua olettaa, ettei ylimääräisiä resursseja tarvita kuin poikkeustapauksissa. Tarkempi työn suunnittelu myös vähentää tuotannon epävarmuutta. Epävarmuus taas on merkittävä virtaustehokkuuden heikentäjä, jota ylimääräisillä resursseilla (puskureilla) usein paikataan. Tämän vuoksi on perusteltua olettaa, että lähestymistavassa 1 resurssien määrä tulee todennäköisesti pienentymään ja resurssitehokkuus paranemaan tuotantosuunnitelmien kehittyessä.

6.4 Virtauttamisen kehittäminen talonrakentamisessa

Talonrakentamisesta ei tämän tutkimuksen haastattelujen perusteella löytynyt satunnaisia esimerkkejä merkittävämpiä virtauttamisen sovelluksia. Esimerkiksi valuja ja niihin liittyviä muottitöitä ja raudoituksia voidaan tehostaa limittämällä vaiheita. Samaa logiikkaa voidaan noudattaa myös esimerkiksi julkisivuissa. Linjasaneeraushankkeista voitaneen hyödyntää sisätyövaiheiden tuotantojuna myös uudistuotantoon. Makuuhuone- ja kylpyhuonekohtaisilla tuotantojunilla voidaan todennäköisesti saavuttaa vastaavanlaisia hyötyjä kuin linjasaneeraushankkeissa.

Eräässä talonrakennushankkeessa oli kokeiltu viikon ”tahtiajan” (kerros per viikko) implementointia. Tahtiajasta oli kuitenkin luovuttu tuotannon ja tahtien hallitsemiseen liittyvien vaikeuksien vuoksi. Haastattelussa ei selvinnyt miten kattavasti kohteen työvaiheet oli tahdistettu tahtiaikaan. Muutama muu haastateltava painotti tahtiajan olevan implementointikelpoinen erityisesti toistoa sisältäviin työvaiheiden sarjoihin. Tällöin tarkemmasta työn suunnittelusta saadaan suurin hyöty irti. Lisäksi tahtiaikaa noudattavat lohkot tulee jakaa tarkoituksenmukaisen kokosiin osiin (liian suuri lohkojako pidentää aikataulua, kun taas liian pienet lohkot voivat olla epätaloudellisia tai vaikeita hallita).

Eräs haastateltava pohti talonrakentamishankkeen luovutusvaiheen olevan potentiaalinen virtauttamiskohde. Lopun puutteet saataisiin paremmin hallintaan omien miehen mahdollistaman joustavuuden avulla, sen sijaan että kutsuttaisiin paikalle aliurakoitsijoita muutamaksi tunniksi kerralla reklamaatioiden kautta. Toisaalta saneraushankkeiden perusteella luovutusvaihetta edeltävät runsaasti toistoa sisältävät vaiheet ovat optimaalisimpia tahtiaikatuotannon mukaisia virtauttamisen soveltamiskohteita. Talonrakentamisessa tahtiaikatuotantoa taas ei olla saatu ylläpidettyä.

Talonrakentaminen sisältää runsaasti osapuolia, joista usea hankintaan alihankintana. Tällöin varhaisen tarkan suunnittelun merkitys korostuu erityisesti, mikäli tavoitellaan tahtiaikatuotantoa eikä käytetä yhteistoiminnallisia toteutusmuotoja. Periaatteessa usean

haastatteleman moittima kokonaisuuden hallinta voitaisiin saada paremmin haltuun erään haastateltavan suosittelemien prosessikaavioiden avulla, joita osapuolet sitoutuvat noudattamaan. Prosessikaavioiden tekoa ja seuranta taas helpottaisi standardoidut prosessit. Erityisesti runsaasti toistoa ja aliurakointia sisältävät vaiheet tulisi kartoittaa prosessikaavioiksi. Tarkempi suunnittelu helpottaisi tahtiaikatuotannon noudattamista toistuvuutta sisältävissä talonrakentamisen vaiheissa analogisesti korjausrakentamisen kanssa. Luovutusvaihe sisältää vähemmän toistoa ja vaiheen sisältö määrittyy osittain edeltävien vaiheiden perusteella (puutteet, virheet ja vastaavat). Luovutusvaihe voitaisiin täten tehdä haastateltavan ehdottamalla tavalla omilla miehillä, jolloin säilytettäisiin joustavuus ja kontrolli virtauksen ylläpitämiseksi.

Taulukossa 6.2 on listattu virtauttamisen sovelluksia tuotannossa, sovelluksiin liittyviä haastateltavien mainitsemissa haasteita ja teorian sekä haastattelujen perusteella esitettyjä ratkaisuehdotuksia.

Taulukko 6.2. haastattelujen ja teorian perusteella esitetyt ratkaisuehdotukset esille haastatteluissa tulleille haasteille tuotannon osalta

Tuotannon tarkempi suunnittelu Last Plannerin avulla:	Esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Aliurakoitsijoiden sitouttaminen oman osuutensa suunnitteluun 	Ratkaisuehdotukset haastattelujen tai teorian perusteella: <ul style="list-style-type: none"> • Motivoituneille aliurakoitsijoille jatkoikkujen mahdollisuus, voimaannuttaminen, virtauttamisen idean selkeyttäminen, kannustavat mallit, partneroituminen, Last Planner
Tahtiaikatuotanto: toistoa sisältävissä tuotannon osissa	Esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Aliurakoinnin haasteet: urakkarajojen joustamattomuus, sopimusten teon haasteellisuus, varhainen hankinta --> tahtiaikatuotannon tulee olla suunniteltuna varhain • Infraassa ja talonrakentamisessa ei olla onnistuttu pysymään tahtiaikatuotannossa hankkeen edetessä • Epävarmuuden hallinta 	Ratkaisuehdotukset haastattelujen tai teorian perusteella: <ul style="list-style-type: none"> • Opin ottaminen ulkomaisista case-hankkeista • Epävarmuuden vähentäminen tarkemman suunnittelun avulla • Puskureiden implementointi epävarmuutta sisältävien vaiheiden ympärille • Yhteistoiminnan lisääminen yhteistoiminnallisten mallien kautta, suunnitelmiin vaikuttaminen • Aliurakoinnin kehittäminen • Kokonaisuuden hallinnan kehittäminen esim. Prosessikaavioiden avulla
"2 viikon putkiremontit": hankkeiden keston merkittävä lyhentäminen ja häiriöiden vähentäminen resursseja lisäämällä	Esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Ongelmien ennakoinnin parantaminen yleisesti, koska vähemmän aikaa ratkaista ongelmia • Epävarmuuden hallinta • Työnjohtajat olleet tiukilla 	Ratkaisuehdotukset haastattelujen tai teorian perusteella: <ul style="list-style-type: none"> • Konseptin kehittäminen standardisoidumpaan suuntaan soveltuissa kohteissa • Työnjohdon osaamisen kehittäminen ja opin jalkauttaminen • Aliurakoinnin kehittäminen
Logistiikka: mahdollisimman oikea-aikaiset toimitukset	Esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Varastointitilan puute, kumppanikohtaisuus • Tyypillisesti mietitty liian vähän • Just in time? 	Ratkaisuehdotukset haastattelujen tai teorian perusteella: <ul style="list-style-type: none"> • Opin ottaminen ulkomaisista case-hankkeista • Tuotannosuunnittelun kehittäminen oikea-aikaisten toimitusten mahdollistamiseksi
Teollinen rakentaminen:	Esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Ei sovellu joka kohteeseen • Esivalmisteista ei oteta kaikkea ajallista hyötyä irti, vaan elementit odottavat työmaalla 	Ratkaisuehdotukset haastattelujen tai teorian perusteella: <ul style="list-style-type: none"> • Teollisten ratkaisujen aikatauluhyödyn huomioonottaminen tuotannosuunnittelussa • Teollisten ratkaisujen kehittäminen ja joustavuuden lisääminen, jotta teollisia ratkaisuja voitaisiin hyödyntää enemmän
	Muut esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Suunnittelun ja tuotannon välinen kuilu: suunnitelmien toteutettavuus ja oikea-aikaisuus • Kokonaisuuden heikko hallitseminen • Vastuuasiat ja tulkinnanvaraisuus: tiedon jakaminen jäyk 	Ratkaisuehdotukset haastattelujen tai teorian perusteella: <ul style="list-style-type: none"> • Kokonaisuuden hallinnan kehittäminen esim. Prosessikaavioiden avulla • Yhteistoiminnan lisääminen yhteistoiminnallisten mallien kautta, suunnitelmiin vaikuttaminen • Rakennuttajien osaamisen kehittäminen • SUKE:n suunnitelmapaketien käyttäminen

6.5 Suunnittelun rooli

Suunnittelun negatiivinen ja positiivinen iterointi tunnistettiin haastattelujen yhteydessä, vaikkei kyseisiä termejä käytettykään. Suunnittelutoimistot pyrkivät pääsemään eroon turhasta toiminnasta ja ylisuunnittelusta (negatiivisesta iteroinnista). Useampaan kertaan suunnittelua tehdään ainoastaan, mikäli se palvelee hankkeen kokonaisuutta (suunnitelmat hankintaan ja uudelleensuunnittelu tuotantoa varten), jolloin uudelleensuunnittelu on positiivista iterointia, koska se tuottaa lisäarvoa muille hankkeen osapuolille. Yhteistoiminnan lisäämisen koettiin olevan mahdollinen keino vähentää hukkaa suunnittelussa muun muassa paremman edellytysten varmistamisen kautta.

Big Roomien nähdään olevan toimiva työkalu yhteistoiminnan lisäämiseksi. Tämä vaatii kuitenkin osaavan fasilitaattorin, joka osaa sovittaa eri osapuolien tarpeet toimivaksi agendaksi Big Room -sessioille. Toimivan Big Room -session järjestämiseen ja fasilitointiin löytyy runsaasti oppaita Internetistä. Jouni Juntusen diplomityössä ”Big Room suunnittelun ohjauksen työkaluna” on esitetty prosessikuvaus Big Room – toiminnasta. Diplomityön mukaan yhden Big Room -session tavoitteet voidaan jakaa kolmeen osaan: aloitus– toiminta– ja lopetusedellytyksiin. Aloitusedellytykset sisältävät muun muassa Big Room -session tavoitteiden miettimisen, ennakkotehtävien jakamisen, käsiteltävien asioiden lähtötietojen hankinnan, asioihin tutustumisen ja oikeiden henkilöiden valitsemisen. Toimintaedellytykset sisältävät tarvittavat laitteet, kirjurit/fasilitaattorit, määritetyt Big Roomissa toimimisen mallit ja muut sessioiden toteuttamisen keinot ja välineet. Lopetusedellytyksiä ovat muun muassa agendalla olleiden asioiden ratkeaminen, suunnitelmien saaminen, jatkamiseen tarvittavien lähtötietojen saaminen sekä käyttäjän vaatimusten esiintuominen ja keskusteleminen niistä (Juntunen 2015)

Osa haastateltavista kokee säännölliset Big Roomit kuormittaviksi ja resursseja sitovaksi. Suunnitteluyrityksillä voi olla lukuisia hankkeita käynnissä samanaikaisesti, mikä lisää Big roomien kuormittavuutta. Eräs haastateltava mainitsi vaihtoehdoksi eräänlaiset ”alibigroomit”, joihin voidaan kokoontua projektikohtaisesti tarvittaessa. Teoriassa tällaisia tarpeenmukaisia ”Big Roomeja” kutsutaan solmutyöskentelyksi. Solmutyöskentelyssä kokoonnutaan yhteen ainoastaan tarvittaessa (Kerosuo et al. 2013). Tämä kuitenkin lisää osaavan fasilitaattorin merkitystä, koska säännöllistä Big Room – toimintaa on helpompi harjoitella. Lisäksi solmutyöskentelyn kokousten tulisi mielellään sopia tilaajan aikatauluun, jotta tilaajalta saataisiin tärkeää palautetta ja kommentteja.

Erityisen tärkeä rooli kokonaisuuden hallinnassa on rakennuttajalla. Kokonaisuuden hallitsevia ihmisiä on haastateltavien mukaan alalla vähän ja tämä voi helposti myös näkyä osapuolikohtaisina haasteina. Suunnittelulle varataan tyypillisesti liian vähän aikaa työmaan ehtojen perusteella, mikä näkyy suunnitelmien puutteellisuutena, kaikki suunnitelmat halutaan heti. Tämä johtuu haastateltavien mukaan siitä, etteivät urakoitsijat oikeasti tunne suunnitteluprosessia. Vastaavasti suunnittelijat eivät tunne hyvin hankintaa

ja urakointia. Haastateltavat toivovatkin kokonaisuuden hallintaan merkittävästi lisää osaamista.

Eräs haastateltava ehdotti kokonaisuuden hallinnan parantamiseksi prosessikaavioiden luomista ja noudattamista hankkeisiin. Prosessikaaviossa esitetään hankkeen tehtävien riippuvuudet, minkä perusteella myös edellytykset voidaan havaita ja varmistaa. Prosessikaavioissa tulisi olla hankekohtaisesti muuttuvia ”moduuliosia” (esimerkiksi perustustamistavan mukaan).

Toisaalta erään tutkimuksen mukaan keskikokoisessa hankkeessa on tunnistettu 4 000 ja suuressa hankkeessa 10 000 suunnittelun eri tehtävän riippuvuutta toisistaan (Kruus & Kiiras 2008) Tällaisen riippuvuuksien määrän hallinta ja seuranta prosessikaavion avulla voi olla haasteellista useasta syystä. Kattavan prosessikaavion luominen on aikaa vievää, jalkauttaminen ymmärrystä ja kaavion seuranta vaatii resursseja. Toisaalta voitaneen todeta, että rakennushankkeen esimerkillinen johtaminen on vaikeaa ilman vaivaa, ymmärrystä ja resursseja.

SUKE–mallin mukaiset suunnitelmapaketit

SUKE-mallin mukainen suunnittelun ohjaus tarkastelee rakennushanketta hieman eri näkökulmasta. Perinteisesti PJ-rakentamisessa suunnittelu-aikataulu noudattelee hankintapaketteja, jotka palvelevat työmaata, mutta soveltuvat huonosti suunnittelun ohjaukseen ja aikataulutukseen. SUKE:ssa suunnittelu tehdään suunnittelupaketeissa, joiden tarkoitus on palvella hankkeiden tavoitteiden mukaista suunnitelma- ja hankintajakoa sekä niiden aikataulutusta. (Kruus & Kiiras 2008)

Moni haastateltava kokeekin haasteelliseksi, että hankintapaketit määritellään työmaan ehdoilla, ottamatta suunnittelun toteutettavuutta riittävästi huomioon. Esimerkiksi eräs haastateltava totesi, että on arkipäivää, että elementtisuunnitelmat vaaditaan 3 kuukautta sähkösuunnitelmia ennen, vaikka elementteihin kuuluu olennaisesti sähköt. Suunnittelun näkökulmasta hankintapaketit muodostavat pieniä irrallisia ja vääriä osia. Yksittäisen toimituksen suunnitelmien tekeminen voi vaatia merkittävästi laajemman suunnittelukokonaisuuden ratkaisemisen kuin hankinta antaisi ymmärtää. Myös tähän haasteeseen SUKE:n mukaiset suunnitelmapaketit ehdottavat ratkaisua: suunnittelu tehdään sellaisina kokonaisuuksina, joiden keskinäiset riippuvuudet pakottavat ratkaisuihin yhtä aikaa. (Kruus & Kiiras 2008)

Talotekniikan suunnittelun haasteena koettiin kiinteähintaisten urakoiden yleisyys jopa allianssihankeissa. Kiinteähintaisten talotekniikkaurakat tarvitsevat suunnitelmat varhaisessa vaiheessa kilpailutusta varten. Edellä mainittu muoto soveltuukin huonosti rakennushankkeisiin, joissa tilaratkaisut tehdään rakennustöiden aikana. SUKE-mallissa hankintojen tarjoukset pyydetään alustavilla ohjeellisilla suunnitelmilla. Suunnitelmia voidaan täydentää laskenta-aikana ja kehittää sopimusneuvotteluissa toimittajien esitysten pohjalta. Suunnittelijat tarkastavat toimittajien tarjoukset ja sovittavat tarjotut

tuotteet liittyviin rakenteisiin yhteistyössä toimittajien kanssa. Haastateltavat arvelivat kiinteähintaisen talotekniikkaurakan olevan talotekniikan johtamisurakkaa halvempi ratkaisu, mutta painottivat yhteistyöstä olevan merkittävästi hyötyä projektinjohtomuotoisissa hankkeissa. (Kruus & Kiiras 2008)

Taulukossa 6.3 on listattu virtauttamisen sovelluksia suunnittelussa, sovelluksiin liittyviä haastateltavien mainitsemia haasteita ja teorian sekä haastattelujen perusteella esitettyjä ratkaisuehdotuksia.

Taulukko 6.3. haastattelujen ja teorian perusteella esitetyt ratkaisuehdotukset esille haastatelussa tulleille haasteille suunnittelun osalta.

Suunnitteluprosessin aikataulutuksen ja resurssointi suunnittelijakohtaisesti: suunnittelun leviämisen välttäminen ja sisäisen tuottavuuden parantaminen	Esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Lähtöetojen saaminen • Tiedon kulkeutuminen rivisuunnittelijalle • Suunnittelukokonaisuuksien vaatiminen epärealistisilla aikatauluilla 	Ratkaisuehdotukset haastattelujen tai teorian perusteella: <ul style="list-style-type: none"> • Lähtöedoitto tekemisen vähentäminen, lähtöetojen vaatiminen ennen tekemistä • Sähköpostin käytön vähentäminen, vaihtoehtoisten ratkaisujen löytäminen • Riittävät kuntotutkimukset korjaushankkeissa • Rakennuttajakonsulttien osaamisen lisääminen
Tehtävien riippuvuuksien ja järjestyksen ymmärtäminen ja hallinta: prosessikaaviot	Esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Kokonaisuuden hallitsevia ihmisiä on vähän • Käytännössä ajetaan lopputuotetta, eikä välitetä edellytyksistä • Suunnittelukokonaisuuksien vaatiminen epärealistisilla aikatauluilla (tarveaikataulut epärealisen tiukkoja) 	Ratkaisuehdotukset haastattelujen tai teorian perusteella: <ul style="list-style-type: none"> • Prosessikaavioiden käytön ja noudattamisen lisääminen • Rakennuttajakonsulttien osaamisen lisääminen • Yhteistoiminnan lisääminen yhteistoiminnallisten mallien kautta
Big Room -sessiot: suunnittelukokoukset ja lähtötietojen saaminen, suunnittelutyön yhteensovittaminen ja tiedonjakaminen	Esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Sitoo resursseja varsinkin hankkeen alkuvaiheessa turhan usein, voi olla turhia sessioita • Soveltuu huonosti muun suunnittelutyön tekemiseen 	Ratkaisuehdotukset haastattelujen tai teorian perusteella: <ul style="list-style-type: none"> • Osaavien fasilitaattorien kouluttaminen ja käyttäminen • Big Room -sessioiden määrän optimointi tai solmutyöskentelyyn (tarvittaessa kokoontumiseen)
Kahteen kertaan suunnittelu: sekä hankinnan että rakentamisen tueksi, mikä on nykytilassa usein kokonaisvirtauksen	Esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Kahteen kertaan suunnittelu ei optimaalisinta sisäisen suunnittelutyön sisäisen tuottavuuden kannalta • Kahteen kertaan suunnittelua ei oteta usein huomioon tarjouksissa, vaan joudutaan neuvottelemaan erikseen • Kuinka saada kilpailutus tehtyä kevyemmällä suunnitelmilla 	Ratkaisuehdotukset haastattelujen tai teorian perusteella: <ul style="list-style-type: none"> • Hankintatoimen kehittäminen kevyemmällä suunnitelmilla tehtäväksi • SUKE:n suunnitelmapakettien käyttäminen
Muut esille tulleet haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Talotekniikan rajaaminen allianssihankeiden päätöksenteon ulkopuolelle • Suunnittelun ja tuotannon välinen kulu: suunnitelmatarveaikataulut ovat epärealistisia, "kaikki halutaan heti" 	Ratkaisuehdotukset haastattelujen tai teorian perusteella: <ul style="list-style-type: none"> • SUKE:n suunnitelmapakettien käyttäminen 	

7. TUTKIMUKSEN ARVIOINTI

7.1 Tutkimusmenetelmän ja tulosten arviointi

Tutkimus tehtiin kvalitatiivisesti ja tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuusselvitystä sekä teemahaastatteluja. Kirjallisuusselvityksessä lähteet koostuivat tieteellisistä artikkeleista ja kirjallisuuslähteistä. Erityisesti Lean Construction Institutun englanninkielisistä lähteistä oli suuresti hyötyä tutkimuksen teossa. Kvalitatiivinen tutkimus soveltui hyvin uudehkon asian tutkimiseen, jonka määritelmäkin vaihteli runsaasti haastateltavien välillä.

Kirjallisuusselvityksen teemat (alaotsikot) valikoituivat teoriasta löytyvien virtauttamisen soveltamiskohteiden perusteella. Virtauttaminen terminä ei ole ulkomaisessa tutkimuksessa useinkaan Lean Construction –aiheisen tutkimuksen keskiössä, vaan tutkija joutui käyttämään jonkin verran mielikuvitusta hakusanoissa tutkimusten löytämiseksi. Tämä pienentänee jonkin verran tutkimuksen reliabiliteettia. Toisen tutkijan toistamana tutkimusaineisto voi vaihdella hakusanojen vaihtumisen perusteella, toisaalta käytetty tutkimusaineisto oli suurelta osin tieteellisiä artikkeleita.

Teemahaastattelut täydensivät hyvin kirjallisuusselvityksestä saatuja tietoja. Erityisesti koska teoriassa ei useinkaan puhuta virtauttamisesta, oli haastatteluista saatu informaatio korvaamattoman tärkeää. Suomalaisen rakennusalan tutkiminen valtaosin ulkomaisen teorian perusteella olisi ollut selkeästi riittämätöntä uskottavan tutkimuksen suorittamiseksi. Teemahaastattelujen otanta tulee olla riittävän suuri, mikä korostui näin laajassa tutkimuksessa. Haastatteluja olisi voinut olla enemmänkin riittävän otannan varmistamiseksi, toisaalta toistuvia teemoja löytyi riittävästi haastattelujen kesken valitullakin otannalla. Haastatteluissa ja teoriassa ilmenneiden toistuvuuksien perusteella tutkimusmenetelmät ja tulokset todetaan täten reliaabeleiksi.

7.2 Tutkimuksen toteutuksen arviointi

Tutkimuksen rajaaminen oli haastavaa, koska tavoitteena oli tarkastella talonrakentamista, infratuotantoa, korjausrakentamista ja suunnittelua virtauttamisen näkökulmasta. Tarkastelun kohteet limittyvät osittain toisiinsa, mutta usean virtauttamisen kohteen sisällyttäminen saman tutkimuksen sisälle oli haastava tehtävä. Syvä ja teoriaa kattavasti käsittelevä tutkimus oli vaikea tehdä diplomityön pituustavoitteet mielessä pitäen. Myös osa haastateltavista koki työni laajuuden haastavaksi ja suosittelivatkin laajuuden harkitsemista uudelleen.

Teemahaastattelut auttoivat rajaamaan tutkimuksen teoriaosuutta olennaisiin asioihin. Lisäksi haastattelujen edetessä tutkija hyödynsi edellisiltä haastateltavilta opittuja

näkökulmia myöhemmissä haastatteluissa. Haastateltavat pääsivät esittämään oman näkemyksensä aiempien haastattelujen aikana ilmenneistä huomioista, mikä helpotti synteesin luomista.

Lean Constructioniin liittyvää teoriaa löytyi uudisrakentamisesta riittävästi, kun taas korjausrakentaminen oli vähemmän käsitelty aihe. Mielenkiintoista onkin, että haastattelujen perusteella korjausrakentamisen virtauttaminen on viety Suomessa uudisrakentamista pidemmälle. Yksittäisten haastattelujen perusteella oli haastavaa saada kuvaa siitä, millaisia virtauttamisen sovelluksia alalla on tosiasiaassa tehty. Osittain tämä voi johtua riittämättömästä haastateltavien alustamisesta etukäteen tai huonoista haastattelukysymyksistä. Haastateltaville yrityksille olisi kannattanut tehdä ehdottoman selväksi, että haastatteluissa toivotaan käytännön esimerkkejä virtauttamisen sovelluksista. Tätä toki painotettiin haastattelupyynnöissä. Toisaalta osa haastateltavista epäili, ettei virtauttaminen yksinkertaisesti ole lastenkenkiä pidemmällä Suomessa, eikä tietoa täten ole juurikaan saatavilla. Kaikkea tietoa ei todennäköisesti myöskään haluttu jakaa yritysten ulkopuolelle kilpailukyvyyn säilyttämiseksi.

Virtauttamisen määritelmä vaihteli haastateltavasta toiseen tehtävästä ja yrityksen toimialasta riippuen. Tämä vaikeutti tulosten vertaamista keskenään, koska moni haastateltava ymmärsi virtauttamisen eri tavalla. Tämäkin alleviivaa sitä tosiasiaa, että virtauttaminen on terminä melko uusi.

7.3 Tutkimuksen uutuusarvo ja jatkotutkimusehdotukset

Tutkimuksen uutuusarvo syntyy erityisesti Suomalaisen rakennusalan nykytilan kuvauksesta virtauttamisen näkökulmasta. Haastattelututkimuksen tulokset kuvastavat millä tasolla virtauttamisajattelu on Suomessa ja missä virtauttamista on kokeiltu. Haastateltavat mainitsivat runsaasti virtauttamista haittaavia haasteita. Kyseiset haasteet eivät varmastikaan ole sellaisenaan uutta tietoa rakennusalan osapuolille, alan toimijat tietävät mikä rakennusprojektin saattamisessa maaliin on haastavaa. Haastattelujen ja teorian perusteella nämä haasteet tuotiin kuitenkin virtauttamisen kontekstiin. Lisäksi haasteille esitettiin haastattelujen ja teorian perusteella ratkaisuehdotuksia, tai suuntia joihin rakennusyriyten kannattaisi pyrkiä hankkeiden virtauttamiseksi. Kuten eräs haastateltava sanoi, virtauttamisen kaltaisia työkaluja löytyy, mutta tärkein on asianmukainen rakennushankkeen kokonaisuuden johtaminen, minkä seurauksena myös haastateltavien mainitsemiin asenteisiin voidaan vaikuttaa. Vastakkainasettelu ilmiselvästi rikkoo tehokasta kokonaisuuden virtaamista. Yhteistoimintaa täytyy lisätä. Tämä ei tarkoita välttämättä allianssimallin käyttöä, mutta hankkeen osapuolten täytyy löytää tapoja toimia kokonaisuuden parhaaksi.

Tutkimustulosten perusteella olisi mielenkiintoista tutkia, millaisia vaikutuksia linjasaneerausten virtautetuilla lähestymistavoilla on kustannuksiltaan, laadultaan, työhyvinvoinnilta tai vastaavilta arvon määritelmiltä hankkeisiin. Aliurakoinnin

ongelmista mainittiin runsaasti haastatteluissa. Aliurakoinnin kehittämisestä joustavampaan suuntaan olisi varmasti hyötyä rakennusalalle. Edellytyksien ja riippuvuuksien suunnittelua ja huomioonottamista erään haastateltavan mainitsemien prosessikaavioiden avulla kannattaisi tutkia lisää, jotta rakennushankkeet saataisiin paremmin haltuun. Lisäksi voitaisiin tutkia, miten työnjohto saadaan motivoitua virtauttamaan rakennushankkeita.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakennusalan tuottavuutta on pyritty kehittämään vuosikymmenien saatossa monin lähestymistavoin. Viime vuosina useiden suomalaisten rakennusalan yritysten tavoitteeksi on tullut lisätä yhteistoiminnallisten periaatteiden käyttöä, jotta hankekokonaisuuksia saataisiin optimoituja ja asiakkaan tavoitteet saataisiin täytettyä entistä paremmin. Tämä työ tehtiin osana yhteistoiminnallisia periaatteita edistävää RAIN (Rakentamisen integraatiokyvykkyys) –kehityshanketta. RAINin eräänä teema-alueena on virtauttaminen, eli nykyistä rakennushankkeen ohjaustapaa uudistava Lean-periaate (flow), jolla pyritään saavuttamaan tehokkuuden ja tuottavuuden parannuksia niin suunnittelu– kuin toteutusvaiheessa.

Virtaukselle esitettiin tässä työssä teoriapohja Lean ja Lean Constructionin –teorioista. Työssä määriteltiin virtauttamisen soveltamismahdollisuudet talonrakentamisen, suunnittelun, infratuotannon ja korjausrakentamisen konteksteissa. Keskeisiä soveltamismahdollisuuksia tuotannossa ovat muun muassa tahtiaikatuotanto, Last Planner, Just in time – toimitukset, teollinen rakentaminen sekä massatalouden virtauttaminen. Suunnittelun virtauttamisessa tulisi pyrkiä eliminoimaan hukkaa aiheuttava negatiivinen iterointi. Tätä varten tulee tunnistaa ja hallita tehtävien väliset riippuvuudet ja edellytykset, jotka voidaan havaita erilaisten prosessikaavioiden avulla ja joita voidaan hallita esimerkiksi esitetyn riippuvuusmatriisin avulla. Sähköisiä työkaluja, kuten jaettuja malleja tulee hyödyntää tarvittaessa yhteistyön helpottamiseksi.

Teoriaosuuden tehtävä oli ennen kaikkea tukea temahaastattelujen perusteella havainnoitua rakentamisen virtauttamisen nykytilaa Suomessa. Haastattelujen perusteella virtauttaminen ei ole terminä vakiintunut, vaan sen määritelmä vaihtelee haastateltavasta ja yrityksestä toiseen. Tämä kuvastaa myös havaintoa, ettei virtauttaminen ole Suomessa edennyt vielä kokeiluja pidemmälle. Virtauttamiseksi koettiin niin tahtiaikatuotanto, Last Planner, prosessien tarkempi hallinta kuin yhteistoimintakin. Virtauttamisen ytimessä onkin tarkempi ja entistä toteuttamiskelpoisempi suunnittelu ja tätä kautta hankkeiden parempi hallinta, jonka avulla hankkeet saadaan virtaamaan entistä tehokkaammin. Kokonaisuuden hallinnan merkitys on edelleen kriittisen tärkeää. Rakennushankkeisiin toivottiin lisää joustavuutta, jolle aliorakointi koetaan haasteeksi. Yhteistoimintaa toivottiin lisää, mikä liittyykin RAIN – hankkeen tavoitteisiin. Yhteistoiminnallisissa hankkeissa on tavoitteena luoda tilanne, missä kaikilla on yhteinen intressi onnistua mahdollisimman hyvin, esimerkiksi muodostamalla osapuolten välille yhteinen sopimus.

Tutkimuksessa esitettiin virtauttamisen soveltamiskohteet suunnittelussa ja tuotannossa, nykytilaan liittyvät koetut haasteet, sekä ratkaisuehdotukset haasteille ja koottiin kyseiset asiat taulukoiksi. Lisäksi tutkimuksessa esitettiin kansainvälisestä teoriasta löytyviä virtauttamisen case–esimerkkejä havainnollistamaan virtauttamismenettelyjä.

LÄHTEET

Aapaoja, A. & Haapasalo, H. (2014). The Challenges of Standardization of Products and Processes in Construction, Proceedings of the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean, pp. 983 – 993.

Aatsalo, J. (2016). Rakennusliikkeet kehittävät nopeita putkiremontteja, Rakennuslehti, (38), pp. 9-11.

Aziz, R.F. & Hafez, S.M. (2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement, Alexandria Engineering Journal, Vol. 52(4), pp. 679 – 695.

Ballard, G. (1999). Improving Work Flow Reliability, Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Berkeley, California; USA, 1999, pp. 275 – 286.

Ballard, G. (1998). Positive vs Negative Iteration in Design, Proceedings of the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Brighton, UK, July, 1998.

Ballard, G. & Howell, G. (1995). Towards construction JIT, Lean Construction, pp. 291 – 300.

Ballard, G. & Howell, G. (1998). What Kind of Production Is Construction, Proceedings of the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Brighton, UK, July, 1998.

Ballard, G., Tommelein, I., Koskela, L. & Howell, G. (2002). Lean construction tools and techniques, Chapter, Vol. 15pp. 227 – 255.

Bertelsen, S. (2002). Bridging the gap—towards a comprehensive understanding of lean construction, Proceedings of the 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Gramado, Brazil, 2002.

Betoniteollisuus ry Sillat, verkkosivu. Saatavilla (viitattu 6.2.2017)
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/infrarakentaminen/sillat>.

Binninger, M., Dlouhy, J., Oprach, S. & Haghsheno, S. (2016). Methods for Production Leveling - Transfer from Lean Production to Lean Construction, Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction. July 2016, IGLC, Boston, MA, USA, pp. 53 – 62.

Bryde, D.J. & Schulmeister, R. (2012). Applying Lean principles to a building refurbishment project: experiences of key stakeholders, Construction Management and Economics, Vol. 30(9), pp. 777 – 794.

Choo, H.J., Hammond, J., Tommelein, I.D., Austin, S.A. & Ballard, G. (2004). DePlan: a tool for integrated design management, Automation in Construction, Vol. 13(3), pp. 313 – 326.

Farrar, J.M., AbouRizk, S.M. & Mao, X. (2004). Generic implementation of lean concepts in simulation models, *Lean Construction Journal*, Vol. 1(1), pp. 1 – 23.

Fazinga, W., Saffaro, F., Isatto, E. & Kremer, A. (2016). Difficulties in Work Design in the Construction Sector, Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction. July 2016, IGLC, Boston, MA, USA, pp. 13 – 22.

Fiallo, M. & Howell, G. (2012). Using production system design and takt time to improve project performance, Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 20), San Diego, CA, USA.

Flow thinking at Fira Palvelut, LCI-Finland, verkkosivu. Saatavilla (viitattu 15.8.2017) http://lci.fi/wp-content/uploads/2016/05/Flow_thinking_at_Fira_Palvelut.pdf

Forbes, L. & Ahmed, S. (2010). *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 524 p.

Fransson, A., Berghede, K. & Tommelein, I. (2013). Takt Time Planning for Construction of Exterior Cladding, *Proceeding 21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.*, Aug 2013, Fortaleza, Brazil: International Group for Lean Construction, pp. 527 – 536.

Gaio, J. & Cachadinha, N. (2011). Suitability and benefits of implementing lean production on road works, IGLC-19, pp. 579 – 589.

Gao, S., Low, S.P. & SpringerLink (Online service) (2014). *Lean Construction Management: The Toyota Way*, Springer Singapore, Singapore.

Goldratt, E. (1999). *Theory of constraints*, North River Press, Great.

Heinonen, A. & Seppänen, O. (2016). TAKT TIME PLANNING IN CRUISE SHIP CABIN REFURBISHMENT: LESSONS FOR LEAN CONSTRUCTION, Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, IGLC, Boston, MA, USA.

Hermes, M. (2015). Prefabrication & Modularization as a Part of Lean Construction - Status Quo in Germany, Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction. July 2015, IGLC, Perth. Australia, pp. 235 – 245.

Hines, P., Holweg, M. & Rich, N. (2004). Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking, *International journal of operations & production management*, Vol. 24(10), pp. 994 – 1011.

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2000). *Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö*, Yliopistopaino.

Hovila, J. (2015). *Tuotantoprosessin virtauttaminen soluvalmistuksen avulla*, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. Konetekniikan laitos, Tampere, 115 p. Available: <http://URN.fi/URN:NBN:fi:tty-201511261815>.

Howell, G. (1999). What is Lean Construction, Berkeley, California, USA, 26-28 July 1999, IGLC, Berkeley, California, USA.

Introduction to Pull Planning, Lean Construction Institute, verkkosivu. Saatavilla (viitattu 17.1.2017) <http://leanconstruction.org/media/docs/deliveryGuide/Appendix7.pdf>.

Junnonen, J. (2010). Talonrakennushankkeen tuotannonhallinta, Helsinki, 148 p.

Juntunen, J. (2015). Big Room suunnittelun ohjauksen työkaluna, Master of Science, Tampereen teknillinen yliopisto, 73 p.

Kaiser, J. & Zikas, T. (2009). Lean Management in Road and Underground Construction, BauPortal, Vol. 121(5), pp. 290 – 293.

Kankaanpää, T. (2016). Yleisimmät suunnitelmapuutteet ja niiden vaikutukset korjausrakentamisessa, Insinööriyö, Metropolia AMK, 41 p.

Kemmer, S. & Koskela, L. (2014). Understanding Production Management of Refurbishment Projects of a Housing Association—an Exploratory Case Study, in: International Group for Lean Construction.

Kemmer, S., Koskela, L. & Nykänen, V. (2013). Towards a lean model for production management of refurbishment projects.

Kerosuo, H., Mäki, T. & Korpela, J. (2013). Knotworking-A novel BIM-based collaboration practice in building design projects, Proceedings of the 5th International Conference on Construction Engineering and Project Management ICCEPM, 9 – 11, January 2013.

Kivistö, G. & Ohlsson, H. (2013). Expanding Lean into Transportation Infrastructure Construction, Master of Science Thesis in the Quality and Operations Management Programme.

Koga, J., Waldron, C. & Shoemaker, D. (2016). Engaging Front Line Team Members to Improve Workflow, Chicago, Lean Construction Institute, Presentation for the 18th annual LCI Congress, 33 p.

Koskela, L. (1992). Application of the New Production Philosophy to construction, 72, CIFE, Stanford University, CA.

Koskela, L. (2000). An exploration towards a production theory and its application to construction; Tuotannon teorian hahmottelu ja sen soveltaminen rakentamiseen, construction managementproductiondesigntheoryutilizationthesis. Saatavilla (viitattu 10.8.2017) <http://urn.fi/urn:nbn:fi:tkk-001187> [urn].

Koskela, L. & Koskenvesa, A. (2003). Last Planner -tuotannonohjaus rakennustyömaalla, VTT Tiedotteita 2197, VTT, Espoo, 106 p.

Koskela, L., Bølviken, T. & Rooke, J. (2013). Which are the wastes of construction? Proceedings for the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction. pp. 3 – 12.

Kruus, M. & Kiiras, J. (2008). Suunnittelun ohjaus SUKE-mallissa, Rakennustieto Oy, Helsinki, verkkosivu. Saatavilla (viitattu 3.6.2017)
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK070203.pdf>.

Kruus, M., Kiiras, J., Raveala, J., Saari, A. & Salmikivi, T. (2006). SUKE–Malli suunnittelun ohjaukseen projektinjohtohankkeissa, Gummerus kirjapaino Oy, Helsinki. Rakennustieto Oy.

Kärnä, S. (2004). Analysing customer satisfaction and quality in construction – the case of public and private customers, *Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research*, Vol. 2pp. 67 – 80.

Lange, A. (ed.). 2016. *Lean-Construction: practical insights for innovating construction management*. Bod Third Party Titles. 148 p.

Liker, J.K. (2004). *The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*, McGraw-Hill, New York, xxii, 330 sivua p.

Lindgren, M. (2016). Suunnittelun virtauttaminen, 8.12.2016, LCI Finland, Helsinki, pp. 26.

Lindholm, M. & Junnonen, J. (2012). *Infrahankkeen tuotannonhallinta*, Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Lindstedt, L., Kärki, A., Palmu, T. & Junnonen, J. (2011). Teollisten korjausrakentamismenetelmien konseptointi, Aalto-yliopiston julkaisusarja TIEDE + TEKNOLOGIA 20/2011 Unigrafia Oy, Helsinki. Aalto-yliopiston Rakennustekniikan laitos. Rakentamistalous, 78 p.

Luckman, J. & Shuker, T. (2016). *Value Stream Improvement*, Chicago, Lean Construction Institute, Presentation for the 18th annual LCI Congress, 163 p.

Macomber, H., Howell, G.A. & Reed, D. (2005). Managing promises with the last planner system: closing in on uninterrupted flow, 13th International Group for Lean Construction Conference: Proceedings, International Group on Lean Construction, pp. 13.

Mariz, R., Picchi, F., Granja, A. & de Melo, R. (2013). A Review of the Standardized Work Application in Construction, Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, July 2012, San Diego, California, USA.

Mattila, E. (2016). *Teolliset korjausrakentamismenetelmät*, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 116 p.

Merikallio, L. & Haapasalo, H. (2009). Projektituotantojärjestelmän strategiset kehittämiskohteet kiinteistö- ja rakennusalalla, *Rakennusteollisuus Yhteisraportti*.

Mitropoulos, P. & Howell, G.A. (2002). Renovation projects: Design process problems and improvement mechanisms, *Journal of Management in Engineering*, Vol. 18(4), pp. 179 – 185.

Modig, N. & Åhlström, P. (2012). This is lean: Resolving the efficiency paradox, *Rheologica*.

Mossman, A. (2009). Creating value: a sufficient way to eliminate waste in lean design and lean production, *Lean Construction Journal*, pp. 13 - 23.

Picchi, F.A. & Granja, A.D. (2004). Construction sites: using lean principles to seek broader implementations, 12th Conference of the International Group for lean Construction.

Pyzdek, T. & Keller, P.A. (2014). *The Six Sigma Handbook*, McGraw-Hill Education.

Raatikainen, T. (2016). Linjasaneeraushankkeen läpivientiajan lyhentäminen Lean-filosofian avulla, *Insinööri*, Metropolia AMK, 77 p.

Rain-teematyöpaja 3.3, LCI-Finland, verkkosivu. Saatavilla (viitattu 15.8.2017) http://lci.fi/wp-content/uploads/2016/05/RAIN-teematy%C3%B6paja-3_3.pdf

Ratamäki, H. (2015). Moduulirakentaminen säästää aikaa ja rahaa Tampereen Rantatunnelissa, LCI-Finland, verkkosivu. Saatavilla (viitattu 3.1.2017) <http://lci.fi/blog/tuloskortti/moduulirakentaminen/>.

Ristola, K. (2017). Aliurakoitsijoiden sitouttaminen rakentamisen projektiallianssiin, Master of Science, Tampereen teknillinen yliopisto, 55 p.

Rwamamara, R., Simonsson, P. & Ojanen, J. (2010). Advantages of industrialized methods used in small bridge construction, *Annual Conference of the International Group for Lean Construction: 14/07/2010-16/07/2010*, Technion-Israel Institute of Technology, pp. 569 – 579.

Saarinen, S. (2016) Putkiremontti vasta kun vuodot herättävät, *Rakennustaito*, verkkosivu. Saatavilla (viitattu 3.7.2017) <http://rakennustaito.fi/mesta/putkiremontti-vasta-vuodot-herattavat/>.

Sacks, R. (2014). BIM and Lean Construction - Can BIM remove waste from construction processes? *Tekla European BIM Forum 2014*, 13. - 14.2.2014, Berlin, pp. 66.

Salminen, J. (2016). Tuotannon virtaus ja nopeutettu korjaaminen - Teoriaa, kokemuksia ja oppeja, 8.12.2016, LCI Finland, Helsinki, pp. 10.

Soto, L. (2007). *Construction Design as a Process for Flow: Applying Lean Principles to Construction Design*, Master of Science, Massachusetts institute of Technology.

Toikkanen, S. & Kiiras, J. (1994). Toistuvan korjaustyön suunnittelu ja ohjaus, *Teknillinen korkeakoulu, Rakentamistalouden laboratorio*, 63 p.

- Tommelein, I., Riley, D. & Howell, G. (1998). Parade Game: Impact of Work Flow Variability on Trade Performance, Proceedings of the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Brighton, UK, July, 1998.
- Törnroos, N. (2014). Location-based planning as a production optimization technique in linear heavy construction, Master of Science, Aalto yliopisto, 124 p.
- von Heyl, J. (2015). LEAN SIMULATION IN ROAD CONSTRUCTION: TEACHING OF BASIC LEAN PRINCIPALS, Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction. July 2015, IGLC, Perth. Australia, pp. pp. 403 – 412.
- Vuorio, V. (2016). Linjasaneerauksen pullonkaulat, Master of Science, Tampereen teknillinen yliopisto, 79 p.
- Winch, G. (2003). Models of manufacturing and the construction process: the genesis of re-engineering construction, Building Research & Information, Vol. 31(2), pp. 107 – 118.
- Womack, J.P. & Jones, D.T. (2003). Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation, Simon and Schuster.
- Yassine, T., Basha, B., Faek, F. & Hamzeh, F. (2014). Implementing Takt-Time Planning in Construction to Improve Work Flow, International Group for Lean Construction, IGCL 22, Oslo, Norway, June 2014, Oslo, Norway.

LIITE 1: HAASTATELTAVAT JA HEIDÄN EDUSTAMANSA NÄKÖKULMAT

Yritys	Toimenkuva
Granlund	Osastonjohtaja, sähkö
Granlund	Osastonjohtaja, LVI
Insinööritoimisto Leo Maaskola	Toimitusjohtaja
Sweco	Liiketoiminta-alueen johtaja
Ramboll	Kehitysjohtaja
Ramboll	Liiketoiminnan kehitysjohtaja
Consti	Kehitysjohtaja
Consti	Laatu- ja kehityspäällikkö
Fira Palvelut	Kehitysjohtaja
Fira	Työpäällikkö
Lemminkäinen Infra	Työpäällikkö
Lemminkäinen Infra	Kehitysjohtaja
SRV	Projekti-insinööri
YIT	Kehitysjohtaja

LIITE 2: HAASTATTELULOMAKE

- Perustiedot haastateltavasta: kuka olet ja mitä teet?
- Määritykset virtautukselle; mitä se on ja mitä ei?

Aiempi tausta:

- Millaisissa hankkeissa virtauttamista on kokeiltu?
- Kuinka pitkälle virtaututusta on viety erilaisissa hankkeissa?
 - Yksittäisiä pilotteja
 - Yleisempi tapa toimia
 - Alalla jo yleisesti käytössä
- Mitkä ovat ensiaskeleet virtautuksen käyttöönotossa?

Nykytila:

- Haastattelun tavoitteena on selvittää virtauttamisen toteutuksen periaatteet ja kokemukset toteutetun tai toteutuksen alla olevien case-hankkeiden avulla. Alustavan suunnitelman mukaan caseihin liittyy hankkeisiin laadittujen tuotantosuunnitelmien analysointi ja haastattelu. Haastattelu toteutetaan teemahaastatteluna, eli melko joustavana keskusteluna ennalta määritettyyn teemaan (rakennushankkeen virtauttaminen) liittyen. Haastattelussa haastateltava kertoo oman näkemyksensä ja kokemuksensa tarkasteltavien case-hankkeiden virtauttamiseen liittyen.
- Missä osissa tuotantoa/suunnittelua virtauttamista on kokeiltu tai tehdään yleisemmin? Suunnitelmia näihin liittyen? (Soveltuu esim. rakennushankkeen koko prosessin läpiviemiseen, toistuvien työvaiheiden tuotantoon, loppudokumentaation työstämiseen, tarjousvaiheen läpimenoajan lyhentämiseen, suunnitteluprosesseihin jne.)
 - Tuotannon suunnittelu
 - Tehtävien toteutus
 - Logistiikka
 - Oma porukka/aliurakoitsijat?
- Millaisia konkreettisia toimenpiteitä jonkin tuotannon/suunnittelun osan virtauttamiseksi on tehty?

- Kuinka virttaamisen kokeilut ovat menneet?
 - Onnistumisia
 - Epäonnistumisia
 - Miksi näin?

- Onko hankkeiden osapuolilta kantautunut korviisi palautetta tai kommentteja virtauttamiseen liittyen?
 - Miten työmaalla / suunnittelussa on otettu virtauttaminen vastaan?
 - Onko ollut vastarintaa?
 - Miten työmaahenkilöitä / suunnittelijoita on motivoitu asiassa?

- Onko hankkeen virtauttamisesta ollut mielestäsi (muiden mielestä) hyötyä? Missä asioissa on tullut onnistumisia?

- Onko virtauttamisen toteuttamisessa tai sen seurauksena ilmennyt haasteita tai ongelmia? Miten näitä on ratkaistu?

- Urakkamuodon merkitys virtauttamiseen liittyen?

Tulevaisuus:

- Millaiset tavoitteet alalla/yrityksessäsi on virtauttamiseen liittyen?

- Mitä pitäisi kehittää virtauttamisen näkökulmasta?

- Ajatuksia miltä tulevaisuuden virtautettu toiminta näyttää?