

Master's Programme in Building Technology

Tuotetoimitusketjut osana rakentamisen tahtituotantoprosessia

Visa Koskela

Diplomityö
2023

Copyright ©2023 Visa Koskela

Tekijä Visa Koskela

Työn nimi Tuotetoimitusketjut osana rakentamisen tahtituotantoprosessia

Koulutusohjelma Master's Programme in Building Technology

Työn valvoja Professori Antti Peltokorpi

Työn ohjaaja DI Hannes Ilveskoski

Yhteistyötaho Fira Rakennus Oy

Päivämäärä 08.07.2023 **Sivumäärä** 133 + 2

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Tässä diplomityössä tutkittiin tuotetoimitusketjuja osana asuntorakentamisen tahtituotantoprosessia. Tutkimuksen tarve perustui rakentamisen tuottavuuden kehittämiseksi tuotetoimitusketjun hallinnan avulla, millä mahdollistetaan läpimenoajan lyhentämisen toimet tahtituotantoa toteuttavissa rakennushankkeissa. Tavoitteena oli löytää ja luoda käsitys sisävalmistusvaiheen tahtilogistiikan toimintamallista, jotta tuotetoimitusketjuilla voidaan tukea läpimenoajan lyhentämisen tavoitteita tahtiaikojen ja -alueiden pienentyessä. Työn tavoitteena oli myös vastata tutkimuskysymyksiin nykyisessä tahtilogistiikassa havaituista hyödyistä ja haitoista, sekä materiaalivirran suhteutumisesta tuotantoprosessin virtaukseen.

Tutkimuksessa tarkasteltiin aiheeseen pohjautuvaa aiempaa tutkimuskirjallisuutta. Kirjallisuuskatsauksen pääpainona oli Lean-rakentamisen, tahtituotannon ja tuotetoimitusketjujen aiemmat tutkimustulokset. Tahtituotannon havaittiin olleen laajemmin tutkittua ja tuotetoimitusketjujen tutkimuksen jääneen vähemmälle tarkastelulle. Kirjallisuuskatsaus vahvisti tutkimusaukon olemassaoloa ja nosti esiin eri näkökulmia empiirisen osuuden tutkimuksen toteutusta varten.

Työn empiirisessä osuudessa toteutettiin tapaustutkimus, jossa rakennustyömaalta kerättiin tutkimuksen ilmiöille merkityksellistä aineistoa ja haastatteluilla syvennyttiin aineiston havaintoihin. Tahtiaikojen ja -alueiden pienentymisen havaittiin asettavan entistä enemmän vaatimuksia rakennustyömaan logistiikan suunnittelulle, toimivuudelle ja luotettavuudelle. Rakennustyömaalla oikein toteutetun väli-varastoinnin todettiin mahdollistavan tahtituotantoprosessin virtauksen. Toisaalta materiaalipuskureita tarvittiin rakennustyömaalle, johtuen täsmätoimitusten vaihtelusta ja heikosta vasteajasta. Tahtialueilla huomattiin olevan hyödyntämättömiä väli-varastointimahdollisuuksia ja edeltävien tahtien jättämien tilojen mahdollistamat toimitusaikaikkunat olivat oletettua suurempia.

Avainsanat rakentaminen, tuotetoimitusketju, tahtituotanto, virtaus

Author Visa Koskela

Title of thesis Product supply chains as part of the takt production process of construction

Programme Master's Programme in Building Technology

Thesis supervisor Professor Antti Peltokorpi

Thesis advisor Hannes Ilveskoski, M.Sc. (Tech.)

Collaborative partner Fira Rakennus Oy

Date 08.07.2023 **Number of pages** 133 + 2 **Language** Finnish

Abstract

This master's thesis studied product supply chains as part of the takt production process of housing construction. The need for research was based on developing the productivity of construction with the product supply chain management, which enables shortening the lead time in construction projects that implement takt production. The aim was to find and create an understanding of the operating model of interior construction phase takt logistics so that product supply chains can support the objectives of shortening the lead time as takt times and takt areas reduce. The aim of the work was also to answer research questions on the benefits and disadvantages observed in current takt logistics and on the ratio of material flow to the production process flow.

The study was started by examining previous research literature based on the topic. The focus of the literature review was on previous research results from Lean construction, takt production and product supply chains. The findings showed that takt production was more widely studied, and that product supply chain research was not examined as much. The literature review strengthened the existence of a research gap and highlighted different perspectives for the implementation of the empirical research.

In the empirical part of the research, a case study was carried out in which data relevant to the survey phenomena was collected from the construction site and the interviews focused on the observations made in the data. The reduction in takt times and takt areas was found to place more demands on the planning, functionality, and reliability of logistics at the construction site. The interim storage at the construction site was found to enable the takt production process flow. On the other hand, material buffers were needed for the construction site due to variation in just-in-time deliveries and poor response time. It was noted that there were unexploited interim storage possibilities in the takt areas, and the delivery time windows that enabled the premises left by the previous takt wagons were larger than expected.

Keywords construction, product supply chain, takt production, flow

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Esipuhe	7
Lyhenteet	8
1 Johdanto	9
1.1 Tutkimuksen tausta	9
1.2 Tavoitteet, tutkimuskysymykset ja hypoteesit	12
1.3 Tutkimusmenetelmät	14
1.3.1 Asuntorakentamisen sisävalmistusvaihe	14
1.3.2 Tutkimuksen strategia ja tutkimuksen kulku	17
1.4 Tutkimuksen rakenne ja rajaukset	19
2 Kirjallisuuskatsaus	23
2.1 Lean-rakentaminen	23
2.1.1 Rakentamisen virtaus	26
2.1.2 Tuotannon virtauslajit	30
2.2 Tahtituotanto	34
2.2.1 Tahtituotanto rakennusalalla	34
2.2.2 Tahtituotannon suunnittelu ja ohjaus	36
2.2.3 Tahtituotannon teollistaminen	40
2.3 Tuotetoimitusketjun logistiikka	41
2.3.1 Tuotetoimitusketjun suunnittelu ja ohjaus	43
2.3.2 Tuotetoimitusketjun virtaus	44
2.3.3 Tuotetoimitukset ja tietovirrat	48
2.4 Johtopäätökset aiemmasta tutkimuksesta	54
3 Empiirinen tutkimus	59
3.1 Tutkimuskohteen kuvaus	59
3.2 Tiedonkeruu- ja analysointimenetelmät	61
3.2.1 Haastattelututkimus	63
4 Tutkimuksen tulokset	65
4.1 Tahtituotannon haasteet ja kehitysehdotukset	65
4.1.1 Tahtituotannon yleiset haasteet ja kehitysehdotukset	65

4.1.2	Työvaihekohtaiset haasteet ja kehitysehdotukset.....	69
4.2	Sisävalmistusvaiheen toteutuminen	76
4.3	Rakennustyömaan logistiikan haasteet ja hyvät käytännöt.....	82
4.3.1	Logistiikan virtauksen edellytykset	82
4.3.2	Tuotteiden toimituspisteet ja -aikaikkunat	85
4.3.3	Tuotetoimitusten kehitysehdotukset.....	97
4.4	Tilaus-toimitusketjun tiedonhallinta	99
4.5	Yhteistoiminta ja johtaminen tuotetoimituksessa.....	101
4.6	Kooste kehitysehdotuksista	102
5	Pohdinta ja yhteenveto	108
5.1	Tulosten pohdinta ja arviointi.....	108
5.2	Tulosten luotettavuus	118
5.3	Yhteenveto.....	119
5.4	Jatkotutkimusehdotukset	120
	Lähteet.....	122
	Liiteluettelo.....	133
	Liitteet	

Esipuhe

Haluan kiittää Hannes Ilveskoskea ja Otto Alhavaa työni mahdollistamisesta, ohjauksesta, neuvoista ja arvokkaista näkökulmista. Kiitos kaikesta avusta ja tuesta läpi tämän projektin. Kiitän professori Antti Peltokorpea työni valvomisesta, erinomaisista huomioista ja ammattitaidon esille tuomisesta lämpimästi. Peltokorpi on pitänyt mielenkiintoisia luentoja Aalto-yliopistossa ja ollut läsnä eri projekteissa koko opiskeluaikani.

Kiitän Firaa työni rahoittamisesta ja kaikkia mukana olleita Firalaisia ideoista, vastauksista, mukanaolosta ja juttutuokioista. Kiitokset kuuluvat myös kaikille muille tapaamisissa olleille ja ajatuksia vaihtaneille tutkijoille, projektitiimeille ja muille henkilöille.

Lisäksi haluan kiittää perhettä ja ystäviäni tuestanne tämän suuren projektin aikana.

Espoossa 8.7.2023
Visa Koskela

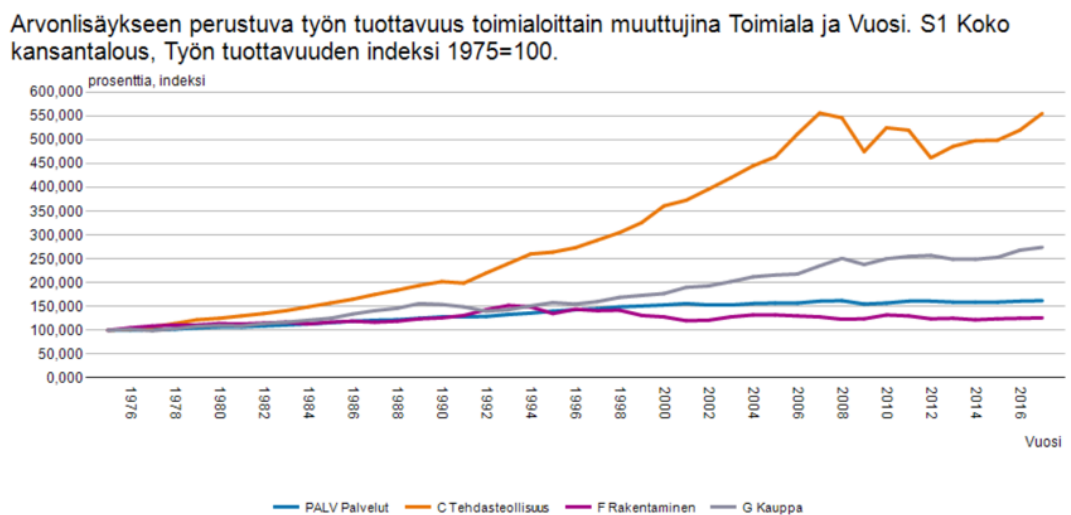
Lyhenteet

BIM	Building Information Model, rakennuksen tietomalli
ETO	Engineering-to-order, projektikohtaiset tuotteet
ISA95	International Society of Automation Standard 95
JIT	Just-in-time, täsmätoimitus
LBMS	Location Based Management System
LPS	Last Planner System
MES	Manufacturing Execution System
MOM	Manufacturing Operations Management
MTS	Make to Stock, vakiotuotteet
RIL	Rakennusinsinöörien liitto
SSCC	Serial Shipping Container Code, sarjatoimitusyksikkökoodi
TPS	Toyota Production System, Toyotan tuotantojärjestelmä

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennusalan tuottavuuskehitys on jäänyt jälkeen muista toimialoista, ja rakentamisen heikko tuottavuus on ollut alalla tiedossa vuosikymmeniä (Bølviken ja Koskela 2016, Seppänen 2022, Oinas 2022). Suomessa alan tuottavuus on pysynyt suurin piirtein samalla tasolla 1970-luvun jälkeen, eikä ole viimeisen 50 vuoden aikana kehittynyt kuten muut teollisuuden alat (Koskenvesa ym. 2010, Tilastokeskus 2021). Kuva 1 esittää toimialojen tuottavuuden kehityksen verrattuna muihin teollisuuden aloihin vuosina 1976–2017.



Kuva 1: Toimialojen tuottavuuden kehitys vuosina 1976–2017. (Tilastokeskus 2021)

Arvioiden mukaan rakennusala on muita teollisuuden aloja noin sata vuotta jäljessä tuottavuudessaan (Koskenvesa ym. 2010, McKinsey Global Institute 2017, Oinas 2022). Tätä tuottavuusongelmaa on aktiivisesti lähdetty ratkaisemaan muun muassa Building 2030 ja RAIN3 -konsortioiden toimesta. Building 2030 -konsortiossa on mukana Aalto-yliopisto ja 21 rakennusalan yritystä, ja sen tavoite on kehittää Suomen rakennusosalalle visio vuodelle 2030 ja edistää sen toteutumista. RAIN3 -konsortio on rakennusalan toimijoiden rahoittama hanke vuosille 2022–2025, jonka tavoitteena on jatkaa ja jalostaa rakennusalan muutosliikettä. Konsortioiden yhtenä vahvuutena nähdään alalla vallitsevien parhaiden käytäntöjen ja oppien jakaminen ja omaksuminen kansainvälisiltä kentiltä, niiden testaaminen Suomen rakennusalan ympäristössä ja lopulta tuottavuutta edistävien osien implementointi kotimaan rakentamisympäristöön. Konsortiot ovat tuoneet esiin jo merkittäviä yritysmaailman onnistumisia ja tulevat toimimaan jatkossa alan oppimisen ja kehityksen suunnannäyttäjinä.

Tämän diplomityön tavoitteen määrittely pohjautuu rakennusosalalla olevalle heikolle tuottavuudelle. Fira Rakennus Oy on tahtituotannon edelläkävijänä

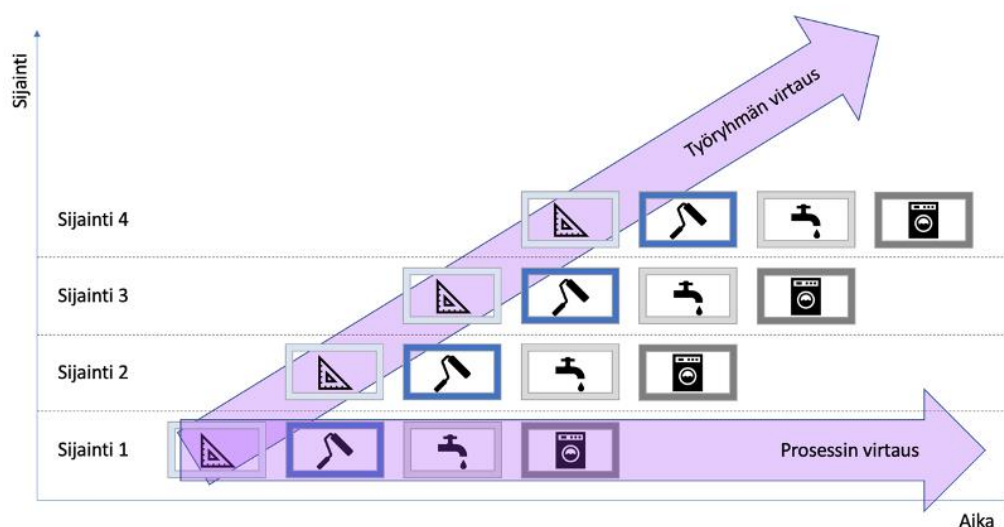
lyhentänyt rakennushankkeidensa läpimenoaikoja parantamalla työn ja prosessien virtausta, ja on näin parantanut hankkeidensa tuottavuutta. Työn ja prosessin virtausten parantuminen on tuonut esiin materiaalivirtaukseen liittyviä kehitystarpeita erityisesti Fira Rakennus Oy:n toteuttaessa tahtituotannolla asuinrakentamishankkeita. Tahtituotantoon rinnastuvan tahdissa tapahtuvan tahtilogistiikan tulee olla järjestettynä tuotantosysteemiin integroituna prosessina, jossa logistiikka (materiaalin virtaus) tukee tuotantoa (työryhmän ja prosessin virtaus). Fira Rakennus Oy käyttää Sitedrive -aika- tauluohjelmistoa muodostaessaan työvaiheiden prosessit sekä aikatauluttaessaan ne tahtituotantoon merkitykselliseksi.

Toimivien tuotetoiimitusketjujen merkitys ja materiaalien virtaus ovat vähän tutkittuja ja heikosti tunnettuja osa-alueita rakentamisessa ja erityisesti tahtituotannossa. Tämä siitä huolimatta, että materiaalivirtaus, materiaalin varastointi ja materiaalin siirtämisen minimointi ovat tärkeä osa valmistavan tuotannon Lean-järjestelmää (Vrijhoef ja Koskela 2000, Lee 2004, Thunberg ym. 2017). Logistiikan toimien tärkeys on tunnustettu rakennusalalla vasta viime vuosina (Tetik ym. 2021). Tutkimusaukon olemassaolo selittyy osin sillä, että materiaali ja työ hankitaan usein urakkaan sisältyvänä aliurakoitsijalta, minkä seurauksena pääurakoitsijalla ei ole operatiivista näkyvyyttä osto-, toimitus- ja valmistusprosessista eikä niiden logistisesta mallista.

Manufacturing Operations Management (MOM) kuvaa prosesseja ja järjestelmiä, joita valmistajat käyttävät tuotannon suunniteluun, toteuttamiseen ja ohjaukseen (Zhu ym. 2017). Se kattaa kaikki valmistusprosessin osa-alueet, mukaan lukien resurssien suunnittelun, aikataulutuksen, tuotannon seurannan, laadunvalvonnan ja varastonhallinnan. MOM on kriittinen osa valmistusprosessia, mikä sisältää edistyneiden ohjelmistojärjestelmien käytön tuotantoprosessien hallintaan ja eri lähteistä peräisin olevan tiedon integroimiseen. Manufacturing Execution System (MES) -järjestelmät tarjoavat yhteistä käyttöliittymää ja tiedonhallintajärjestelmää operaatioiden datalle, joka on ennen sijainnut useissa erillisissä järjestelmissä (Saenz de Ugarte ym. 2009). Rakennusalalle ei ole määritelty MOM-viitekehystä eikä alalla ole saatavilla siihen perustuvia pitkälle vietyjä MES-järjestelmiä, kuten on valmistavassa ja kokoonpaneavassa teollisuudessa. Tämä tarkoittaa materiaalin imuohjauksen, tehtaan (=rakennustyömaan) sisälogistiikan, materiaalinhallinnan tai näihin kehitettyjen ratkaisujen puutosta verrattuna esimerkiksi kokoonpaneavan teollisuuden järjestelmiin (MES) tai standardeihin (mm. ISA95). Rakennusalalla kehitetyt järjestelmät ovat keskittyneet pääasiassa työmaan asennustehtävien hallintaan. (Saenz de Ugarte ym. 2009, Zhu ym. 2017)

Tutkimuksen pääpainona on ollut tähän asti tahtituotannon osalta pääosin hukan poistaminen työn virtauksessa. Kuitenkin tahtituotannossa on tarkasteltava myös prosessin virtausta (process flow), jonka mittarina on keskenräisen työn määrä, ja työryhmän virtausta (operations flow), jonka mittarina on työryhmän tasainen tuotantorytmi, osana hankkeen läpimenoajan

lyhentämistä (Lehtovaara ym. 2021). Tämän diplomityön tutkimus keskittyy tarkastelemaan, mitä vaatimuksia prosessin ja työryhmän virtaukset (kuva 2) asettavat materiaalivirrälle. Kuvassa 2 on kuvattu työvaiheen työryhmän virtausta sijainnista seuraavaan ja sen jälkeisten työvaiheiden työryhmien osuutta prosessin ja työryhmän virtauksissa.



Kuva 2: Työryhmän ja prosessin virtaus tahtituotannossa. (Mukailtu: Lehtovaara ym. 2021)

Vallitsevien ratkaisujen puutteet huomataan myös siinä, että rakentamisen prosesseihin, kuten suunnitteluun, hankintaan ja tuotannosuunnitteluun, ei ole kehitetty menetelmiä niiden muodostaman kokonaisuuden hallitsemiseksi. Nykyisessä tuotantoaikataulussa ei oteta tosiasiallisesti huomioon sitä, milloin tuotetoimitukset saapuvat rakennustyömaalle, eikä tuotteiden toimituseräkokojen ja setitysten hyötyjä ja vaikutuksia rakennushankkeissa ole tutkittu perusteellisesti (Tetik ym. 2021). Tämän seurauksena rakennusteollisuuden ja rakennustuoteteollisuuden välillä ei ole samanlaista integraatiota ja tiedon käsittelyn automatisaatiota, joita on kehitetty lentokone-, auto- ja laivanrakennusteollisuuteen. Ilman integraatiota ala joutuu toimimaan hyvin pitkälle pelkästään digitoidun tiedon varassa. Muilla toimialoilla käytössä olevia toimitusketjujen digitalisaation tuomia etuja ei kyetä kunnolla hyödyntämään rakennusteollisuuden ja rakennustuoteteollisuuden tehostamiseksi.

Fira Rakennus Oy:n näkökulmasta tämä diplomityö tulee olemaan merkittävässä roolissa yrityksen kehitystyön kannalta, koska diplomityön tuloksena on tarkoitus tehdä näkyväksi toimitusketjun hallinnan nykytila suhteessa vallitsevaan tahtituotannon toteutustapaan. Tavoitteena on kuvata rajapinnan seuraavalle kehitysvaiheelle malli, joka mahdollistaa vuorovaikutuksen rakennustuoteteollisuuden ja rakennusteollisuuden välillä yhteisesti ymmärrettävällä tavalla.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää teorioita tahtituotannon ja siihen kytkeytyvän materiaalivirtauksen taustalla, sekä hyödyntää kirjallisuutta aihepiirin ymmärtämisessä, ja tuottaa uutta tietoa aiheen kehitykselle.

1.2 Tavoitteet, tutkimuskysymykset ja hypoteesit

Tutkimuksessani tarkastelen käytössä olevaa tahtituotantomallia ja siinä toteutettavia nykyisiä logistisia toimintatapoja. Tavoitteena on päästä kohti toistettavampia prosesseja pyrkimällä havainnoimaan, millaisia haasteita nykyisissä toimintamalleissa ja prosesseissa esiintyy. Rakentamisen tuotannon tavoitteena on lyhentää läpimenoaikaa tahtituotannon keinoilla huomioiden työn, työryhmien ja prosessin virtaukset. Näiden virtausten parantamiseksi vaaditaan tahdissa tapahtuvaa logistiikkaa tukemaan tahtituotannon virtauksia. Osoptimoinnin puutos tuotetoimitusketjuissa on ollut pitkään yksi ongelma rakentamisen tuottavuuden kasvulle, ja siksi läpimenoajan lyhentäminen edellyttää sitä, että rakentamisen toimitusketjut ovat hallinnassa.

Tutkimukseni tavoitteena on tahtituotannon logistisen tahdin määrittämisen kautta selvittää virtauksen toteutumisen tahtilogistiikassa suhteessa vaadittuihin tahtituotantoihin. Tutkimuskysymykset on muodostettu rakennusalalla ja sen tutkimuksissa esiintyvän tahtituotantologistiikan jättämän aukon täydentämiseksi. Tavoitteena on mallintaa nykytilanne, analysoida se, ja muodostaa tavoitetilan malli seuraavaa rakennusalan kehitykseltä varten.

Edellä kuvatun perusteella voidaan muodostaa ensimmäinen (1.) tutkimuskysymys ja siihen liittyvät näkökulmat. Työn tutkimuskysymys ja näkökulmat muodostuvat hypoteesista, jossa häiriöitä esiintyy nykyisessä tahtituotanto-tahtilogistiikka-prosessissa.

1. Miten asuntorakentamisen tahtituotantoa toteutetaan ja miten sen tahtialueisiin ja tahtiaikaan sidonnaisten työvaiheiden materiaalityypit voidaan logistiikan avulla ratkaista?
 - i. Millainen rakennustyömaa on logistisena ympäristönä ja miten se on huomioitava rakennustyömaan logistisissa ratkaisuissa?
 - ii. Mitkä tekijät vaikuttavat eri työvaiheiden materiaalien toimintuserien kokoihin ja toimitusaikaikkunoihin?
 - iii. Miten tahtituotannossa esiintyvä vaihtelu vaikuttaa rakennustyömaan logistiseen suunnitteluun ja logistiikan ohjaukseen?

Tahtituotannon tarkoituksena on lyhentää rakennuskohteen läpimenoaikaa. Kun tarkastelemme logistisen tahdin merkittävyyttä kokonaisprosessiin,

voimme hypoteesina olettaa tahdissa tapahtuvan logistiikan luovan edellytyksiä hankkeen läpimenoajan kokonaiskeston lyhentämiseen.

Ensimmäisen (1.) tutkimuskysymyksen jälkeen voimme tarkastella, mitä vaatimuksia tuotetoimitusketjuille muodostuu läpimenoaikoja lyhennettäessä, ja miten materiaalivirtaus tukee systeemistä muutosta siirryttäessä nykytilasta kohti tulevaisuuden läpimenoajan lyhentämisen tavoitteita. Toinen (2.) tutkimuskysymys vastaa tahtilogistiikan mahdollistamiin muutoksiin läpimenoajan lyhentämisessä. Kysymyksen avulla pyritään tunnistamaan tekijät, jotka tuotetoimitusketjuissa tulee huomioida lyhennettäessä läpimenoaika eri keinoilla.

2. Mitä vaatimuksia tuotetoimitusketjuille muodostuu, kun asuntorakentamisen läpimenoaikoja lyhennetään tahtituotannon avulla?
 - i. Miten tahtialueen ja tahtiajan muutokset pitää huomioida tuotetoimitusketjuissa lyhennettäessä läpimenoaika?
 - ii. Mitkä muut näkökulmat pitää ottaa huomioon tuotetoimitusketjuissa lyhennettäessä läpimenoaika?
 - iii. Onko lyhyemmän läpimenoajan tahtituotannolle muodostettavissa sitä palveleva tahtilogistiikan malli?

Tutkimuksen hypoteesit perustuvat tutkijan ja tutkittavan yrityksen havaintoihin ja kokemuksiin aiheesta. Hypoteeseissa on muodostettu lähtöolettamia ilmiöistä, jotka ovat ohjanneet diplomityössä valittuihin tutkimuskysymyksiin ja tapaustutkimuksen tutkimusasetelmaan.

Hypoteesi 1:

Rakentamisen teollistamisesta voidaan saavuttaa tuottavuushyötyjä. Tällöin oppi, tieto ja toimintatavat jaetaan hankkeiden kesken, eivätkä ne jää vain yhden hankkeen sisälle. Rakennusalan yritysten ja erityisesti rakennusalan kehitystä varten luotujen konsortioiden tavoitteena on tuoda valmistavasta teollisuudesta oppeja rakennusalan tuottavuuden kasvattamiseksi.

Hypoteesi 2:

Nykyiset logistiset järjestelyt tuotetoimitusketjuissa ja työmaan sisälogistiikassa eivät tue riittävässä määrin tahtituotannossa onnistumista.

Hypoteesi 3:

Työmaan välivarastointitilan oletetaan olevan hyvin rajallinen.

Hypoteesi 4:

Ennakoiva materiaalien varastointi asennussijainneissa aiheuttaa häiriötä työn virtaukselle.

Hypoteesi 5:

Materiaalivirtoihin liittyvää tiedon- ja tietovirtojen hallintaa pitää kehittää.

Hypoteesi 6:

Tuotetoimitusketjujen toimitustäsmällisyyden taso saattaa haitata työn vir-
tausta.

Hypoteesi 7:

Tahtituotannossa läpimenoajan lyhentämisen keinoina käytetään tah-
tialuekoon pienentämistä ja tahtiajat tulevat lyhentymään, jolloin tuotetoi-
mituksia tulee pystyä hallitsemaan pienemmissä erissä.

Hypoteesi 8:

Nopean läpimenoajan tahtituotanto tulee vaatimaan tahtivaunuihin suunni-
teltuja ja kohdennettuja toimitussisältöjä ja terminaalivälivarastojen merki-
tys korostuu, kun rakennustyömaan tuotetoimituksia pyritään optimoimaan.

Hypoteesi 9:

Lean-periaatteiden mukaiset tuotetoimitukset juuri oikeaan aikaan ja tar-
peeseen voivat johtaa logistiikkakustannusten merkittävään kasvuun. Ole-
tuksena on kuitenkin, että logistiikan toteuttamiseksi voidaan löytää kustan-
nustehokkaita ratkaisuja ottamalla huomioon terminaalivälivarastoinnin ja
jakelukuljetusten mahdollisuudet sekä työmaan rajalliset tilat materiaalipus-
kurivarastoinnille, samoin kuin työvaiheiden sallimat toimitus- ja haalausai-
kaikkunat.

1.3 Tutkimusmenetelmät

1.3.1 Asuntorakentamisen sisävalmistusvaihe

Asuntorakentamisessa voidaan erottaa eri vaiheita niiden keston, tapahtu-
maympäristön, materiaalien ja muiden vaiheeseen liittyvien rakennusosien
ja työsisällön perusteella. Asuntorakentaminen jaetaan pääsääntöisesti
maanrakennustöihin, runkotyövaiheeseen, julkisivutyövaiheeseen ja sisäval-
mistusvaiheeseen. Tämä diplomityö keskittyy tarkastelemaan asuntoraken-
tamisessa erityisesti sisävalmistusvaihetta, jota voidaan pitää merkittävänä
kokonaisuutena asuntorakentamisen virtauksen kannalta. Kylpyhuonetta ei
tarkastella tutkimuksen sisävalmistusvaiheena sen moduuliratkaisun vuoksi.

Asuntorakentamisen sisävalmistusvaihe koostuu useista eri osista, joista voi-
daan käyttää nimeä työvaihe. Työvaiheet suunnitellaan ja aikataulutetaan
yleisaikataulun pohjalta kohti pienempiä partikkeliyksiköitä. Näistä partik-
keleista voidaan havaita muodostuvan sisävalmistusvaiheen tuotantopro-
sessi. Fira Rakennus Oy käyttää Sitedrive -aikatauluohjelmistoa muodosta-
essaan työvaiheiden prosessit sekä aikatauluttaessa ne tahtituotantoon mer-
kitykselliseksi.

Yleisesti sisävalmistusvaihetta käytetään nimitykseksi työvaiheista, jotka pitää tehdä säältä suojattuna. Työvaiheet, jotka tehdään sen jälkeen, kun vesikatto on saatu vedenpitäväksi, voidaan luokitella kuuluvaksi sisävalmistusvaiheeseen. On huomattu, että rakennusalalla ei ole yleisesti määritettyä sisävalmistusvaiheen prosessikuvausta, vaan sisävalmistusvaiheen ja siihen kuuluvien työosien määrittely on yrityssidonnaista. Sisävalmistusvaihe on tässä tutkimuksessa luokiteltu Fira Rakennus Oy:n määrittelemien käsitteisin. Tässä tutkimuksessa sisävalmistusvaiheeseen luetaan kuuluvaksi rakennustyöt seinien tasoitustöistä viimeistelytöihin asti.

Taulukossa 1 esitetään sisävalmistusvaiheen työvaiheet kronologisessa toteutusjärjestyksessä. Joitakin sisävalmistusvaiheen rakennustöitä on yhdistetty toistensa kanssa, mikäli on todennäköistä, että yksittäinen (ja sama) alirakoitsija hoitaa koko työvaiheen rakennustyöt ja työt toteutetaan lähes yhtäaikaisesti.

Taulukko 1: Sisävalmistusvaiheen työvaiheet.

Sisävalmistusvaihe

1. Seinien tasoitustyöt
2. Seinien maalaustyöt
3. Lattian hiontatyöt
4. Kiintokalusteasennustyöt
5. Lattiapäällysteen asennustyöt
6. Välitilalaatoitustyöt
7. Oviasennustyöt ja listoitustyöt
8. Ovien lukitus ja heloitustyöt
9. Sähkökalustetyöt
10. IV-päätelaitetyöt
11. Kodinkoneiden ja LVIS-kalusteiden asennustyöt
12. Viimeistelytyöt

Asuntorakennuskohteessa tasoitustyöt kuvaavat huoneiston sisäpintojen tasoitustöitä. Tasoitustyöt toteutetaan kipsilevyseinien levytyksen jälkeen tarkoituksena tasoittaa levyjen risteymäkohdat ja muut seinissä (tai katossa) olevat epätasaisuudet. Tasoituksen jälkeen sijainnissa toteutetaan maalaus, jossa huoneiston sisäpinnat maalataan. Tämän jälkeen toteutetaan betonilattian hiontatyöt, jotta kiintokalusteet ja lattiapäällysteet voidaan asentaa tasaiselle pinnalle. On syytä huomioida, että huoneiston maalin tulee olla tarpeeksi kuivunutta ennen lattian hiontatöiden toteuttamista, jotta hionnasta syntynyt pöly ei tartu maalipintaan. Maalipinnat on myös mahdollista suojata lattian hiontatöiden aikana.

Kiintokalusteasennustyöt sisältävät huoneiston eteisen, makuuhuoneiden ja keittiön kiintokalusteet yhdessä kiintokalusteisiin liittyvien kokoonpano- ja asennustöiden kanssa. Kiintokalusteasennustyöt alkavat huoneiston mittauksilla ja merkinnöillä. Työvaiheeseen luetaan kuuluvaksi keittiökalu- kokonaisuus ja muiden kalusteiden asennukset sisältäen naulakon, vaatehuoneen hyllystön ja vaatekomeron asennustoimet. Keittiökalu- kokonaisuuteen sisältyy keittiön pöytäkaappien asennus, keittiön seinäkaappien asennus, keittiön komerokaappien asennus, keittiön varusteiden asennus; näistä esimerkkeinä pesualtaan upotus, tasolevyjen asennus ja listalevyjen asennus. Kiintokalusteasennustöihin sisältyy myös ennen asennustöitä suoritettava kokoaminen. (Talonrakennusteollisuus 2016)

Kiintokalusteasennustöiden jälkeen suoritetaan lattiapäällysteen asennustyöt. Lattiapäällysteen asennustyöt voivat pitää sisällään esimerkiksi maton, laminaatin, parketin tai lattialaattojen asennustöitä. Lattiapäällysteen asennustöiden jälkeen sisävalmistusvaiheen seuraavana työvaiheena toteutetaan yleensä välitilalaatoitustyöt tai välitilalevytystyöt keittiöön. Välitilalaatoitustöiden (tai levytystöiden) ja oviaasennus- ja listoitustöiden suoritusjärjestys voi vaihdella, sillä nämä työvaiheet eivät ole keskenään sidoksissa toisensa valmistumiseen tai valmistumatta olemiseen.

Oviasennustyöt sisältävät huoneiston sisäövet ja kerrostaso-övet karmeineen. Listoitustyöt pitävät sisällään ovien ja ikkunoiden karmilistat, huoneiston jalka- ja kattolistat ja niihin liittyvät asennustyöt. Ovien lukitus ja heloitustyöt sisältävät kerrostaso-ovien lukkojen asennustyöt ja heloitustyöt sekä sisäovien helojen asennustyöt. (Talonrakennusteollisuus 2016) Tämän jälkeen sisätyövaiheessa (taulukko 1) toteutetaan sähkökalustetyöt, jotka sisältävät pistorasioiden asennukset ja sähkölaitteiden viimeistelyn, esimerkiksi valaistuksen. Sähkökalustetöiden jälkeen tai mahdollisesti osin päällekkäin toteutetaan IV-päätelaitetyöt, jotka sisältävät ilmanvaihdon päätelaitteiden asennukset ja liesituulettimen asennuksen.

Kodinkoneiden asennustyöt sisältävät keittiön kiinteiden kodinkoneiden kytkentä- ja paikalleenasennustyöt. Kodinkoneisiin sisältyvät yleensä astianpesukone, jääkaappipakastin ja uuni sekä liesi. Tämän työvaiheen yhteydessä vuotokaukalot asennetaan jääkaappipakastimelle ja astianpesukoneelle. Ennen kodinkoneiden asennustöitä suoritetaan usein myös muita LVIS-kalusteiden asennustöitä, sisältäen hanojen ja muiden putkikalusteiden asennustyöt.

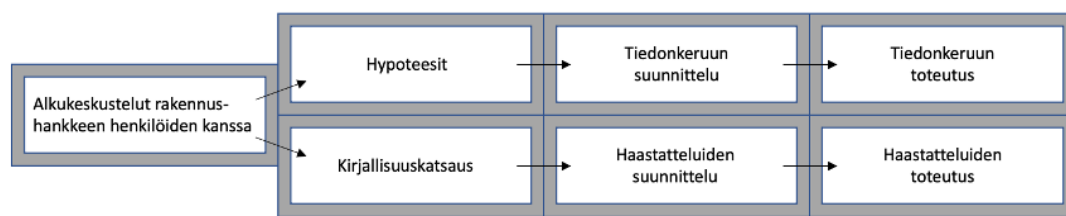
Lopuksi sisävalmistusvaiheessa toteutetaan viimeistelytöitä, joiden avulla varmistetaan hankkeen valmistuminen ja luovutus sen sovittuna ajankoh- tana. Mikäli kohteen käyttöönotto tapahtuu vaiheittain, on viimeistelyvai-heet suunniteltava ja jaettava alueittain toteutettaviksi. Viimeistelyvaiheessa tehdään osapuolten (urakoitsijat) omia tarkastuksia ja niiden perusteella mahdollisia korjaustoimia. Myös teknisiä kokeita, tarkastuksia ja mittauksia voidaan suorittaa tässä vaiheessa. Tärkeää on huomioida pölyävien

työvaiheiden päättäminen ennen edellä mainittuja toimintakokeita ja sää-
töjä. Lopuksi tuotteiden ja järjestelmien toimivuudet mitataan, jotta ne vas-
taavat suunniteltua ja vaadittua. Kun viimeistelyvaiheen asennus- ja tarkas-
tustyöt ovat valmiina, tehdään huoneistossa loppusiivous. (Rakennustieto
2016)

1.3.2 Tutkimuksen strategia ja tutkimuksen kulku

Diplomityön tutkimusstrategia määrittää työssä käytettävät tutkimusmene-
telmät. Menetelmät valitaan pohjautuen tutkimuksen tavoitteisiin ja tutki-
muskysymysiin. Menetelmien avulla ratkaistaan tarkoituksenmukaisesti ra-
kennusalan tuottavuuden ongelmaa suhteessa tuotetoimitusketjuihin. Tar-
koituksena on tutkimusmenetelmillä saavuttaa tutkimustuloksia, joita voi-
daan hyödyntää rakennusalan kehitykseen.

Tämän työn tutkimusmenetelminä käytetään teoriaosuudessa kirjallisuuskatsausta ja työn empiirisessä osuudessa tapaustutkimusta. Tapaustutkimuksessa hyödynnetään määrällisiä tiedonkeruumenetelmiä, kuten tilojen, työvaiheiden, aikataulujen ja toimitusten dokumentaatioita sekä laadullisia tiedonkeruumenetelmiä, kuten projektihenkilöiden haastatteluja, hankkeen suunnitelmia ja tutkijan havainnointipäiväkirjaa tutkimusajalta. Kuvassa 3 kuvataan tutkimuksen kulku.



Kuva 3: Tutkimuksen kulku.

Kirjallisuuskatsaus pohjautuu aiempaan tutkimustietoon aiheesta ja alalla vallitsevan tutkimusaukon tarkasteluun eri näkökulmista. Työn kirjallisuuskatsauksessa on selvitetty, miten asuntorakentamisen sisävalmistusvaiheen töiden ja prosessien virtaukset kytkeytyvät tahtituotantoon, miten tahtituotannolla pyritään kasvattamaan yrityksen asuntorakentamisen kokonaisvirtausta, ja miten tuotetoimitusketjujen logistiikka toimii suhteessa tahtialueeseen ja tahtiaikaan.

Tutkimuksen empiirinen osuus on toteutettu tapaustutkimuksena Fira Rakennus Oy:n työmaalla Espoon Finnoossa. Tutkimusstrategiaksi on valikoitunut tapaustutkimus, koska tutkimuksessa kartoitetaan ja tunnistetaan logistiseen viitekehykseen liittyviä ilmiöitä nykyistä tahtituotantomallia toteuttavassa asuntorakentamiskohteessa (Yin 2009). Tapaustutkimuksen tulokset tuovat rakennusosalalle lisää ymmärrystä asuntorakentamishankkeen logistisesta viitekehyksestä. Tapaustutkimuksen tutkimuskohteeksi

valikoituneen rakennustyömaan tavoitteena on lyhentää läpimenoaikaa suhteessa aikaisempiin hankkeisiin ja löytää eri tapoja tukea läpimenoajan lyhentämistä logistisilla järjestelyillä.

Työhön on valittu määrällisiä ja laadullisia menetelmiä yhdistävä tapaustutkimus, koska tutkittavien ilmiöiden oletetaan olevan moniulotteisia. Määrällisen ja laadullisen aineiston kerääminen eri lähteistä on soveltunut hyvin tapaustutkimuksen tutkimusmenetelmäksi, koska sillä saadaan useampiin eri lähteisiin perustuvia tuloksia samasta tutkittavasta ilmiöstä (Hirsjärvi ym. 2009). Tutkimuksessa käytetyt tutkimusmenetelmät ja näkökulmat mahdollistavat datan triangulaatiota. Triangulaation avulla pyritään löytämään samaan ilmiöön liittyviä joko yhdessä vahvistavia tai keskenään ristiriitaisia tutkimustuloksia, joiden avulla voidaan lisätä tutkimuksen luotettavuutta (Sarajärvi ja Tuomi 2017). Menetelmätriangulaatiolla, eli tutkimusaineiston hankinnassa käytetyillä useilla tiedonhankintamenetelmillä, on laajennettu ja syvennetty tutkimuskohteesta saatua tietoa. Useamman kuin yhden menetelmän käyttö tiedon keruussa voi paljastaa ristiriitaisuuksia, jotka eivät tule muuten esiin. (Sarajärvi ja Tuomi 2017, Hirsjärvi ym. 2009)

Tapaustutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa on muodostettu kirjallisuuden ja hankkeeseen sidonnaisten henkilöiden esiin nostaman problematiikan perusteella hypoteeseja ilmiöistä, joita voidaan pitää merkityksellisinä logistisen viitekehyksen ymmärtämiseen. Muodostuneet hypoteesit ovat tarkentaneet työn tutkimuskysymyksiä. Tapaustutkimuksen toisessa vaiheessa rakennustyömaalta on kerätty ensimmäisen vaiheen ilmiöihin liittyvää dataa.

Laadullisen aineiston kerääminen on tehty osin samanaikaisesti määrällisen aineiston keruun kanssa rakennustyömaalla. Tapaustutkimuksessa selvitin työvaiheiden töiden ja materiaalien viemää tilaa sekä vapaan tilan osuutta. Näiden lisäksi selvitin materiaalien mahdollista toimitus- tai haalusaikaikkunaa sekä työvaiheiden toteutumista suunnitellun aikataulun mukaisesti. Tapaustutkimuksessa on tarkasteltu määrällisenä aineistona työvaiheiden töiden ja materiaalien viemää tilaa sekä vapaan tilan osuutta, tuotetoimitusten täsmällisyyttä ja tuotetoimitusten eräkokoja. Näiden lisäksi tutkimuksessa on tarkasteltu laadullisena aineistona hankkeen eri osapuolten henkilöhaastatteluja ja muita haastatteluja (haalushenkilöstön ja työvaiheiden työntekijöiden) sekä kirjattu tuloksia rakennustyömaan toiminnasta. Haastattelukysymykset aihepiirin asiantuntijoille ovat perustuneet tapaustutkimuksen hypoteeseihin sekä siihen mennessä kerättyyn dataan. Rakennustyömaalla tehtyä havainnointia ja määrällisiä tuloksia on esitetty haastateltaville ja heiltä on haettu kommentointia tuloksiin.

Tässä diplomityössä haastateltaviksi on valittu Finnoon rakennustyömaan vastaava mestari, Finnoon rakennustyömaan sisävalmistusvaiheen työnjohtaja, Finnoon rakennustyömaan logistiikkakoordinaattori ja tuotantologian kehityksestä vastaava Firan projektipäällikkö. Tutkimuksen haastatellut henkilöt voidaan luokitella aihepiirin asiantuntijoiksi. Haastattelut on

toteutettu tutkimuksessa siten, että haastateltaville on toimitettu ennalta haastattelukysymykset, jotta kysymysten ja aihepiirin käsittely on haastattelun aikana substanssipainotteista ja näin vastauksia on saatu kohdennetummin tämän tutkimuksen tutkimuskysymyksiin. Haastattelu on toteutettu avoimina kysymyksinä nykyisestä rakennustyömaan logistiikan mallista ja vastauksiin on saatettu esittää tarkentavia kysymyksiä haastateltavalta moniulotteisemman näkökulman saamiseksi.

1.4 Tutkimuksen rakenne ja rajaukset

Tämä tutkimus rakentuu diplomityölle tyypilliseen tapaan aloittaen johdannosta tutkittavaan aiheeseen (kuva 4). Ensimmäisessä osassa taustoitan tutkimuksen syitä ja käyn läpi motiivit tutkimuksen teolle sekä tutkimuksen aiheen valinnalle. Tavoitteiden ja tutkimuskysymysten avulla luon tutkimukselle hypoteesit ja johdannossa esitän tutkimusmenetelmät diplomityön tavoitteiden saavuttamiseksi ja tutkimuskysymysten selvittämiseksi. Tutkimusmenetelmien läpikäynnin jälkeen siirryn tarkastelemaan tutkimuksen rakennetta ja rajaamaan aihetta tarpeenmukaisin rajauksen keinoin.



Kuva 4: Tutkimuksen rakenne.

Tutkimuksen toisessa osassa tarkastelen kirjallisuuskatsauksen muodossa tutkimuksen aiheesta aiemmin tutkittua tietoa ja löydöksiä. Kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on tutustuttaa lukija Lean-rakentamiseen ja siihen perustuvaan tahtituotantoon, jotta tutkimuksen aihetta on mahdollista tarkastella ja pohtia näihin kytkeytyvän tuotetoimitusketjun näkökulmasta. Kirjallisuuskatsauksessa on valittu tärkeäksi tarkasteltavaksi aiheeksi rakentamisen tuottavuuden ja virtauksen parantaminen ja logistiikan tarjoamat työkalut niiden mahdollistamiseksi. Tutkimuskysymyksiin vastaan aikaisempien tutkimusten perusteella löydettävästä tiedosta kirjallisuuskatsauksessa. Lopuksi tässä osiossa käyn läpi johtopäätökset aiemmista tutkimustiedoista.

Havainnollistaakseni tuotetoimituksia on ensin selvitettävä, mitä oikeastaan on Lean-rakentamiseen pohjautuva jatkuvan parantamisen ja tuottavuuden kasvattamisen tahtituotanto. Kun kirjallisuuskatsauksessa on keskitytty tarkastelemaan tahtituotantoprosessia ja siihen sidoksissa olevia tuotetoimitusketjuja, eli materiaalien virtausta, siirrytään tutkimuksessa empiirisen tutkimuksen osuuteen. Vaikka empiirinen tutkimus tuotetoimitusketjuista osana tahtituotantoprosessia on vielä puutteellista ja vähän tutkittua, on aihetta ja tutkimuskysymyksiä pidettävä erittäin merkittävänä tuottavuuden kasvun ja tahtituotannossa onnistumisen kannalta.

Tutkimuksen kolmas osa (kuva 4) rakentuu kuvaamaan aiheen empiiristä tutkimusta ja sen toteutustapaa. Tässä osiossa kuvaan tutkimuskohteen erityispiirteet, jonka jälkeen käyn läpi empiirisessä osuudessa käytetyt tutkimusmenetelmät. Valittujen tutkimusmenetelmien perusteluiden ja käsitteilyn jälkeen työssä kuvataan tutkimuksen toteutettavuuden piirteet sekä kuinka tutkimuskysymyksiin vastataan tutkimuksen empiirisellä tutkimusosuudella. Empiirisen tutkimuksen pohjustaminen luo perustaa käsitellä tutkimuksen tuloksia tutkimuksen seuraavassa rakenneosassa.

Tutkimuksen tuloksissa (kuva 4) keskityn empiiriseen tutkimukseen aiheesta ja tuloksissa vastataan tutkimuskysymyksiin edellä valittujen metodien avulla, jotta tutkimuksen tavoitteisiin päästään. Tutkimuksen tulosten käsittely aloitetaan tahtituotannon haasteista ja kehitysehdotuksista, jossa tarkastelen yleisesti tahtituotannosta tekemiäni havaintoja ja tämän jälkeen eri työvaiheista tekemiäni havaintoja. Luvussa 4.2 esitän sisävalmistusvaiheen toteutumista suunniteltuun sisävalmistusvaiheen aikatauluun verrattuna ja käyn läpi sen poikkeamia. Tässä osiossa tarkastelen tahtityömaan suunnitelmia verrattuna de facto rakennustyömaalla toteutuneisiin aikatauluihin, poikkeamiin, työvaiheisiin ja niiden tuotetoimituksiin.

Rakennustyömaan logistiikan haasteet ja hyvät käytännöt -osiossa käsittelen rakennustyömaan logistiikan ominaispiirteitä ja vertaan näitä kohteesta tehtyihin havaintoihin. Logistiikan virtauksen edellytyksien jälkeen käyn läpi tuotteiden toimituspisteitä- ja aikaikkunoita, joista muodostan tuotetoimituksille kehitysehdotuksia. Tuotteiden toimituspisteitä ja -aikaikkunoita rakennustyömaalla on tärkeää tarkastella, jotta sisävalmistusvaiheen tuotetoimituksista kyetään luomaan konsepti, joka huomioi tahtialueilla hyödynnettävissä olevan tilan yhdessä työryhmien ja prosessien virtauksien kanssa. Jokainen työvaihe tarvitsee tilaa materiaalilleen, työntekijöilleen sekä ajan toteuttaa kyseinen työvaihe.

Tutkimuksen tuloksissa seuraavaksi siirryn tarkastelemaan tilaus-toimitusketjun tiedonhallintaa. Tilaus-toimitusketjun tiedonhallinta tulee tärkeäksi osaksi tuotetoimitusketjujen stabilointia, jotta materiaalin virtaus onnistutaan säilyttämään siirryttäessä projektityöstä kohti prosessoitua työtä. Tässä osiossa käsittelen osapuolilla saatavilla olevia tietoja rakennustyömaan ja sen materiaalivirtauksen ohjaukseen eri tietojärjestelmien ja tuotetiedon kautta.

Tutkimuksen tuloksissa käsittelen yhteistoimintaa ja johtamista tuotetoimituksissa ennen kuin siirryn koostamaan tutkimuksen kehitysehdotuksia. Yhteistoiminnassa ja johtamisessa käyn läpi tuotetoimitusketjun hallinnan kynnyskysymyksiä ja nykyisen mallin vastuunjakoja sidosryhmien kesken. Tässä osiossa tarkastelen reaaliaikaisen tiedon ja johtamisen muotoja rakennustyömaan yhteistoiminnassa sekä järjestelmien ja sopimusten tarpeenmuokaista ylläpitoa. Tutkimusten tulosten lopussa koostan toiminnan kehityskohtia ja ehdotuksia niiden parantamiseksi.

Tutkimuksen viimeisessä osiossa vedän yhteen toteutetun tutkimuksen erityispiirteet sekä pohdin tutkimuksen tuloksia ja tutkimusmenetelmiä. Yhteenvedossa ja pohdinnassa arvioin tutkimusmenetelmien soveltuvuutta tutkimuksen tavoitteiden, tutkimuskysymysten ja hypoteesien kautta. Tutkimuksen tuloksia arvioin ja pohdin myös suhteessa aiempaan tutkimustietoon sekä luon mallia tulevaisuuden muutoksen toteutukselle tutkimuksen tulosten pohjalta. Tulosten luotettavuutta arvioin kriittisesti ja peilaan sitä mahdollisuuteen hyödyntää tutkimustuloksia aihetta käsittelevissä seuraavissa tutkimuksissa. Viimeisenä tarkastelen jatkotutkimusehdotuksia tulosten ja hyödynnettyjen metodien pohjalta.

Jotta tutkimuksessa voidaan keskittyä tarkastelemaan tuotetoimitusketjuja osana rakentamisen tahtituotantoprosessia ja tutkimuksesta saadaan alaa eteenpäin vieviä tuloksia, tulee aihepiiriä ja sen empiiristä tutkimusta rajata tutkimuksellisin keinoin.

Tämä tutkimus rajataan koskemaan asuinrakentamisen sisävalmistusvaihetta ja sen työvaiheiden tuotetoimitusketjuja. Vaikka tutkimuksen empiirinen osuus rajautuu asuinrakentamiseen ja sen sisävalmistusvaiheeseen, voi tutkimustuloksia hyödyntää myös muissa rakennushankkeissa ja rakennushankkeen osissa. Sisävalmistusvaihe rajataan tutkimuksessa tarkasteltavaksi seinien tasoitustöiden ja maalaustöiden jälkeisiin työvaiheisiin sisältäen niiden materiaalin tuonnin ja tilanviennin rakennustyömaalla. Sisävalmistusvaiheeseen määritellään kuuluviksi tarkemmin luvussa 1.3.1 mainitut työosat. Tutkimuksessa sisävalmistusvaiheeseen ei lueta kuuluviksi seinien kipsi- ja rankaosia, sillä ne on tuotu runkotäsmätoimituksina kohteen rakennustyömaalle. Tasoitustöitä ja maalaustöitä tarkastellaan osana tahtituotantoa, mutta niiden tuotetoimitukset on rajattu pois tutkimuksesta.

Sisävalmistusvaiheeseen luetaan kuuluviksi myös kylpyhuoneen laatoitus-työt ja vesi- sekä kalustetyöt, mutta tässä tutkimuksessa Fira Rakennus Oy on käyttänyt valmis-moduuli-ratkaisua kylpyhuoneeseen, joten siihen liittyvät työt rajataan pois tämän työn sisävalmistusvaiheen huomioista. Aihetta rajataan jättämällä runkotyövaihe empiirisen tutkimuksen tarkastelun ulkopuolelle, vaikka runkotyövaiheeseen olisi sovellettavissa osittain tästä tutkimuksesta saatuja tutkimustuloksia.

Työ rajataan tarkastelemaan Espoon Finnoon eri työvaiheiden toimitusajkoja tutkimuksen empiirisessä osiossa toteutetun yhden (1) kerroksen tahtityöalueella ja tahtiajalla. Tutkimuksen tavoitteiden mukaisesti saatuja tuloksia ja keinoja verrataan pienemmän tahtityöalueen ja tahtiajan, esimerkiksi huoneistokohtaisen toteutuksen tarkastelussa. Tahtialueen pienentämistä tullaan tarkastelemaan, sillä tutkimusta tahtialueen pienentämisen vaatimista logistiikkaan kohdistuvista muutoksista ja tahtilogistiikan vuorovaikutuksesta tahtityön kanssa on pidettävä merkittävänä. Tämä rajaus tarkentaa tutkimuskysymyksiä ja auttaa vastaamaan keskeisiin työn tutkimusongelmiin ja hypoteeseihin.

Työvaiheen osittaisia yksityiskohtaisia sisältötietoja on päätetty rajata tutkimuksen tarkastelun ulkopuolelle. Kuitenkin, mikäli nämä on osoitettu työjohtajien keskusteluiden perusteella vaikuttavan toimitusaikaikkunaan ja tuotetoimituksen sisältöön, on ne sisällytetty tutkimukseen. Asuinrakennuksen porraskäytävätiloja on rajattu osittain pois rakennustyömaalla toteutetun työn (tahtiaikataulu) toteutuksen tutkimuksen osuudesta. Käytävätilat on huomioitu kuitenkin tutkimuksen kohteen tuotetoimituksia tarkasteltaessa sekä tarkasteltu huoneistojen ja porraskäytävien mahdollisuutta eriyttää näiden tahtialueita.

2 Kirjallisuuskatsaus

2.1 Lean-rakentaminen

Lean-rakentamisessa on kyse hankkeissa syntyvän hukan, materiaalien, työajan, energian ja muiden resurssien käytön minimoimisesta ja sitä kautta hankkeen arvon tuoton maksimoinnista. Lean menetelmissä korostetaan erityisesti virtauksen merkitystä muutoksen mahdollistamassa arvon tuottamisessa ja tuotannonohjaus pyritään siirtämään hankkeiden perinteisestä työntöohjauksesta imuohjaukseen. Tärkeimmiksi Leanin osatekijöiksi voidaan nähdä projektinhallintajärjestelmät ja systeemit, jotka parantavat ja mahdollistavat parempaa yhteistoimintaa. Hukan eliminointi ja jatkuva parantaminen kumpuavat jo ensimmäisistä Lean-ideologian teorioista, 1900-luvun alun Gantt-kaaviosta ja Toyota Production Systemistä (TPS). (Gantt 1919, Ford ja Crowther 1922, Ford ja Crowther 1926, Koskela ym. 2009)

Rakennusalan työmailla on havaittu kolmannes tehdystä tuottavasta työstä hukkana, joka johtunee osaksi epävakaina ja määrittelemättömistä prosesseista (Pasila 2019, Gouett ym. 2011, Strandberg ja Josephson 2005, Christian ja Hachey 1995). Rakennustyömailla tapahtuva odottelu, siirtyminen ja varsinaisen työn rinnalla tehtävät työt, esimerkiksi kaluston siirtely, nähdään myös hukkana (Aapaoja ja Haapasalo 2014). Hormanin ja Kenleyn (2005) työajan sisältävää hukkaa tutkineen laaja-alaisen tutkimuksen tuloksista todettiin hukan osuudeksi työajasta 49,6 %. Jenkinsin ja Orthin (2004) tutkimustuloksista voidaan havaita työntekijöiden työajan hukan olleen 28 % työajasta, jossa vain noin 29 % ajasta käytettiin arvoa tuottavaan työhön kahdeksan tunnin työpäivästä. Valmistavan teollisuuden standardoituihin ja mallinnettuihin prosesseihin verrattuna rakennusalla on vielä paljon tekemistä ja kehittämistä, jotta teollisuuden kehityseroja saadaan kavennettua ja rakentamisen tuottavuutta lisättyä hukan vähentämisellä (Koskela 2000, Ballard ja Howell 1998).

Seppänen (2022) ja Oinas (2022) toteavat tuottavuuden lisäämisen hukkaa vähentämällä ja läpimenoaikoja lyhentämällä olevan rakentamisen strategisena päämääränä nyt ja tulevana vuosina. Rakennusalan voidaan siis nähdä havahtuneen alan ongelmaan. Tahtituotanto on muun muassa nostettu vuoden 2022 strategiseksi teemaksi alan korkeatasoisessa Rakennustekniikka -lehdessä.

Onnistumiset Suomessa laivojen hyttisaneeraushankkeissa sekä kansainväliset BMW:n rakennuttamat hankkeet ja Kaliforniassa toteutetut sairaalahankkeet ovat tuoneet rakentamisen alalle tietoa ja uskallusta lähteä kehittämään strategisesti tahtituotantoa osana omaa liiketoimintaa ja osana tuottavuuden lisäämistä hukkaa poistaen (Heinonen ja Seppänen 2016, Frandson ym. 2013, Seppänen 2022). Hellströmin (2022) tekstissä on todettu rakennusalan kuitenkin sisältävän vielä paljon hyödyntämättömiä mahdollisuuksia Suomessa ja mallia voitaisiin ottaa esimerkiksi Ruotsin

esivalmistuksesta, Yhdysvaltojen ja Japanin Lean-tuotannosta sekä Saksan tahtituotannosta.

Vaikka rakennusalalla on pitkään tunnistettu hukan olemassaolo, Bølvikenin ja Koskelan (2016) mukaan ala ei ole pyrkinyt tarvittavin keinoin vähentämään hukkaa osana yritysten strategiaa tuottavuuden parantamiseksi. Rakentamisen hukkaa vähennetään keskittymällä vahvemmin tahtimenetelmien tavoitteisiin (Fransson ym. 2013, Salerto 2019, Kujansuu ym. 2020). Fransson ym. (2013) toteavat tahtituotannon mahdollistaman rajatun työalueen voivan vähentää hukkaa, joka johtuu työntekijöiden tarpeettomasta liikkumisesta työalueella. Oinas (2022) esittää tahtituotannolla ennakkoon paremmin suunnitellun tuotantovaiheen sujuvuuden perinteiseen rakentamiseen verrattuna olevan jopa rauhallisempaa ja näin poistaen hukkaa hankkeessa. Materiaalihukan vähentymisen lisäksi rakentaminen nopeutuu ja laatu paranee. Laadun parantumisesta todisteena ovat muun muassa pienentyneet vastuukorjauskustannukset. (Oinas 2022)

Tuottavuutta kasvatetaan alueiden tasaisella virtauksella mahdollisimman pienillä aikataulukursureilla ja häiriöiden minimoimisella rauhoittamalla tahtialue vain yhdelle työvaiheelle kerrallaan. Salerto (2019) esittää tutkimuksessaan mahdollisuuden prosessin stabiloimiseksi jo itsessään hankkeen aikana tahtituotannon kehittämällä, esimerkiksi seuraaviin kerroksiin edettäessä. Tahtituotantoon toimintatavoiltaan ja toteutukseltaan tottuneita ja motivoituneita urakoitsijoita tulisi hyödyntää myös seuraavissa hankkeissa virtauksen parantamiseksi. (Salerto 2019)

Aapaoja ja Haapasalo (2014) tuovat esiin rakennustyömaan häiriöiden poistamisen standardoinnin avulla. Näin pystyttäisiin enemmän puuttumaan prosessien hajontaan ja rakennustyömaalla tapahtuvaan vaihteluun. Rakentamisen teollistuminen (teollinen rakentaminen) edellyttää tarkemmin suunniteltuja ja ohjattuja prosesseja kuin perinteisesti rakentamisessa on totuttu. Teollinen rakentaminen toteutetaan usein esivalmistuksen kautta. Esivalmistus nähdään yhtenä lupaavimmista keinoista parantaa rakennusteollisuuden tuottavuutta. Erityisesti Aapaoja ja Haapasalo (2014) mainitsevat esivalmistuksen edesauttavan virtaavan tuotantoprosessin toteuttamisessa vähentämällä rakennustyömaalla tehtävää työtä ja näin vähentämällä myös siitä syntyvää hukkaa. Aapaoja ja Haapasalo (2014) toteavat hukan ja jätteen määrän voivan vähentyä jopa 85 % esivalmistusta hyödyntämällä. (Aapaoja ja Haapasalo 2014)

Keskiniva ym. (2020) ja Oinas (2022) nostavat esiin tahtiaikaan ja esivalmistukseen perustuvan rakentamisen, joka tulee vaatimaan asennusta edeltävien toimien aikaisempaa suorittamista ja parempaa valmiusastetta. Esimerkiksi sisävalmistusvaiheen tuotetoimituksilta voidaan vaatia materiaaliopuskureita rakennustyömaalle enenevässä määrin, jotta haluttuun tahtiaikaan päästään. Myös esivalmistusasetta voi olla syytä nostaa monissa osatyövaiheissa (tästä esimerkkinä kiintokalusteasennukset). Suunnittelun, hankintojen ja

tuotetoimitusten oikea-aikaisen ajoituksen ja laadun roolit korostuvat tavoitellessamme tuottavampaa rakentamista, jotta rakennustyömaalla perinteisesti ilmentyviin ongelmiin löydetään jo aiemmin ratkaisu hukan minimoimiseksi (Oinas 2022). (Keskiniva ym. 2020)

Leanin pääajatuksena on vähentää tuotannon vaihtelua ja siinä esiintyviä poikkeamia (failures). Lean-rakentamisen suunnittelussa ja rakentamisen ohjauksessa mahdollisia poikkeamia ovat tuotantonopeuksien poikkeamat, työvaiheen käynnistymisen viiveet ja työn jakautuminen usealle alueelle. Vikatiloja (failure models) ovat edellisen työvaiheen myöhässä alkaminen, työntekijöiden vaihto toiselle työmaalle (johtuen usein tuotantoalueen puutteellisuudesta), työn keskeytys tai väärä työalueiden tai työjärjestyksen järjestys. (Seppänen ja Kankainen 2004) Mahdollisia ohjaustoimenpiteitä Lean-rakentamisen poikkeamille ovat tuotantonopeuden säätäminen (esimerkiksi resurssien lisääminen tai vähentäminen, työskentely ylitöinä), suunnitelman ohjaaminen (esimerkiksi prosessin muuttaminen, uuden työtehtävän luominen, työtehtävien jakaminen, töiden uudelleenjärjesteleminen, tehtävätietojen tarkistaminen) tai työtehtävän keskeyttäminen. (Kenley ja Seppänen 2010, Lehtovaara ym. 2022)

Materiaalien puuttuminen työalueelta, työalueen käyttö useampaan samanaikaiseen työtehtävään ja työn laadun korjaaminen aiheuttavat työmaalla ajallisesti mitattuna suurimpia viivästyksiä (Ng ym. 2004). Materiaalipuskureiden varmistus tahtituotannossa on tärkeässä osassa, jotta alkava työvaihe voi alkaa sille varatulla ajallaan, eikä tuotantovaunun tarvitse odottaa tarvittavaa materiaalia työvaiheen aloittamiseksi. Toisaalta Salerto (2019) esittää tutkimuksessaan Lean-periaatteiden mukaisia häiriöitä tapahtuvan tahtituotannon virtauksessa materiaalien tai tavaroiden säilytyksestä työmaalla.

Lean-rakentaminen on tuottanut erilaisia suunnittelumenetelmiä ja ohjausmenetelmiä rakentamisen tehokkaaseen tuotantoon, Last Planner Systemin (LPS; Ballard ja Tommelein 2021) ollessa niistä tutkituin. Last Planner System perustuu suunnittelun ja valvonnan suorittamiseen ajantasaisten näkökulmien kautta, kun työn toteutus lähestyy, ja tiiviiseen yhteistyöhön työn suorittajien kanssa. Last Planner Systemin etuja voidaan nähdä olevan rajoitusten paljastaminen ja poistaminen, luotettavien lupautusten antaminen sitoutumalla siihen, mitä on sovittu, luotettavien luovutusten luominen ja jatkuvan parantamisen tavoittelu hankkeen ongelmista oppimalla. (Ballard ym. 2009, Lehtovaara ym. 2022)

Toinen laajasti tutkittu Lean-rakentamisen suunnittelu- ja ohjausmenetelmän lähestymistapa on Location Based Management System (LBMS; Kenley ja Seppänen 2010). Kenley ja Seppänen (2010) toteavat LPS:n ja LBMS:n täydentävän toisiaan, kun ne otetaan samanaikaisesti käyttöön tuotannonohjauksessa. Kun LPS keskittyy keskustelujen aloitukseen ja luotettavasti lupautumiseen, LBMS tuottaa täydentävän vastineen tarjoamalla systemaattisen tietopohjaisen työn jäsentelymenetelmän ja tuotannonohjausmenetelmän.

LBMS:n seurantatiedot voivat tukea LPS:n ohjaustoimenpiteitä tarjoamalla ennusteita ja havaitsemalla aikaisen vaiheen varoituksia jäsennellyssä graafisessa ja numeerisessa muodossa. (Seppänen ym. 2010, Lehtovaara ym. 2022)

Tutkimuksissa on havaittu samankaltaisuuksia tahtituotannon ja muiden Lean-rakentamisen suunnittelun ja ohjauskeinojen kanssa. Frandson ym. (2014) vertaavat tahtituotannon hyödyntämistä samankaltaisesti LPS:n kanssa niin kuin LBMS:ää hyödynnetään, kumuloivasti yhteisedun saavuttamiseksi. Tahtituotanto tarjoaa reitin työn strukturoinnille, joka aktiivisesti tukee tuotannon virtausta, kun LPS tarjoaa hyvän tuotantojärjestelmän rakenteen, konkreettiset näkökulmat suunnitteluun, ohjaukseen ja jatkuvaan parantamiseen (Frandson ym. 2014, Ballard ja Tommelein 2021). Huolimatta useista samankaltaisuuksista tahtituotannon ja muiden Lean-ohjausmenetelmien suhteen, tahtituotannon ominaispiirteitä tulee ottaa huomioon ennen kuin LPS ja LBMS käytäntöjä sovelletaan tahtituotantoon. Näiden ominaispiirteiden vaikutukset havaitaan etenkin vikojen ilmaantuessa, vika-tiloissa ja niiden hallinnassa (Lehtovaara ym. 2022).

2.1.1 Rakentamisen virtaus

Virtaus kuvaa asioiden liikettä. Tehokkaassa virtauksessa asioiden liikkeen tulisi olla tasaista ja ennakoitavaa (Lehtovaara 2022). Virtaus tarkoittaa eri työvaiheiden toteuttamista peräkkäin niin, että työvaiheet etenevät hallitusti, resurssikuormitus pysyy tasaisena ja keskeneräiseksi jätettyä työtä ei esiinny (Tompuri ja Mölsä 2019). Yhtenä keskeisimpänä periaatteena virtauksen tavoittelun taustalla on hukan vähentäminen vaihtelun vähentämisenä. Virtaus kumpuaakin vahvasti rakentamisessakin hyödynnetyistä Lean-periaatteista, joissa rakennustuotanto ja suunnittelu ovat menossa kohti vakioitua suuntaa. Lehtovaara (2022) kuvailee virtausta haastavaksi, mutta hallittavaksi kokonaisuudeksi, jossa on huomioitava virtauksen monimuotoisuus, eri sidosryhmien tarkastelu suhteessa virtaukseen sekä rajoitteet rakentamisen ympäristössä. Keskiössä rakentamisen virtauksessa on tavoite siitä, miten yksittäinen rakennustyöntekijä saadaan refleктоimaan ja kehittämään omaa työskentelyään. (Lehtovaara 2022)

Rakentaminen on projektiluontoinen tuotantomuoto, jonka sisällä on useita eri virtauksia, jotka tulee huomioida hankesuunnittelussa ja Lean-rakentamisen toteutuksessa (Tommelein ym. 2022). Tärkeää on myös havainnoida, kenen näkökulmasta virtausta tarkastellaan. Urakoitsijalla, tilaajalla, kaupungilla ja asiakkaalla on eri tavoitteet hankkeen virtauttamiseksi. Virtauksessa on etsittävä kompromisseja eri sidosryhmien välille samalla, kun tarkastellaan yksilökohtaista virtaustasoa. Myös suunnittelun, kulttuurin, tekemisen ja yhteisen ymmärtämisen tulee tukea tuotannon virtausta (Lehtovaara 2022). Tässä luvussa tarkastellaan virtauksen termistöä ja määritellään virtaus osana rakentamisen tuottavuuden parantamista.

Koskelan (2000) mukaan rakentamisen virtauksessa on otettava huomioon kolme eri osa-aluetta: resurssitehokkuus, virtaustehokkuus ja arvonluonti. Resurssitehokkuuden keskiössä voidaan nähdä olevan resurssien muuttaminen lopputuotteiksi. Resurssitehokkuudessa tavoitellaan mahdollisimman pieniä kustannuksia työvaiheita itsenäisinä osina tarkastellen. Virtaustehokkuuden keskiössä on materiaalien ja työntekijöiden liike ja sen oikea-aikaisuus. Virtaustehokkuudessa tavoitteena on mahdollisimman pieni määrä hukkaa tarkasteltaessa työvaiheita suhteessa hankkeen kokonaisuuteen. Hukan minimoinnin tarkoituksena on maksimoida arvoa tuottava työ. Arvonluonnin eli hankkeen tuottavuuden keskiössä on asiakkaan tarpeiden täyttäminen. Virtauksen näkökulmasta arvonluonnilla tavoitellaan valmiiden rakennusosien tuottamista. Laadun ja asiakastyytyväisyyden nähdään luovan arvoa tuotetta (rakennusta) tarkasteltaessa kokonaisuuden oheistuotoksina.

Rakentamisen virtaustehokkuus parantaa hankkeen tuottavuutta ja vähentää hankkeen läpimenoaikaa (Sacks 2016, Lehtovaara ym. 2021, Lehtovaara 2022). Virtautettu rakennushanke on usein yhdistetty tahtituotannolla toteutettavaan rakennusprosessiin. Fira Rakennus Oy:n viime vuosien rakentamisesta syntyneitä dataa tutkimalla voidaan havaita tahtituotannon avulla saavutetun erinomaisia tuloksia rakennuskohteiden läpimenoaikojen lyhentämisessä. 76 asunnon talon rakentamisaika rungon rakentamisen aloituksesta luovutukseen on lyhentynyt keskimäärin 5,7 % vuodessa vuosina 2018–2022. Sisävalmistusvaiheen läpimenoaika on lyhentynyt keskimäärin 5 % vuodessa samalla tarkastelujaksolla. Myös rungon asennusnopeuden voidaan havaita kasvaneen keskimäärin 6,5 % tarkasteluvälillä tahtituotannon kehitykseen panostamisen takia.

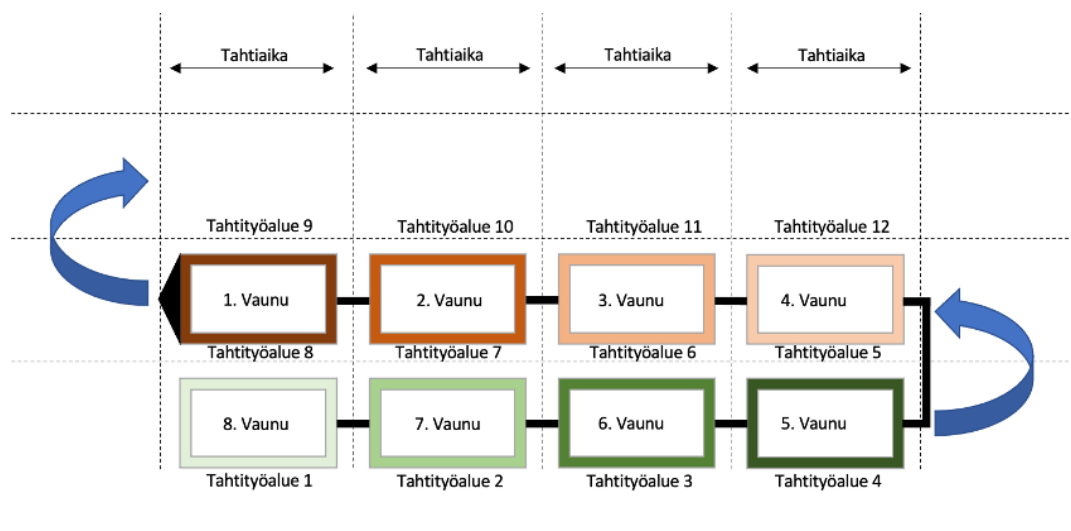
Läpimenoajan lyhentämisellä on huomattavia taloudellisia vaikutuksia. Ensin voidaan tarkastella yhden päivän kokonaiskustannuksia keskimääräisesti asuinrakennustyömaalla (Fira Rakennus Oy). Tällöin saadaan tulokseksi, että yhden (1) päivän hankkeen läpimenoajan lyhentyessä, yritys tekee säästöä jopa 10 000 € päivää kohden. Laskelma voi vaihdella huomattavasti yrityksittäin ja projekteittain sekä huomioon otettavien kustannusten mukaan. Kun kerrotaan summa esimerkiksi useiden viikkojen läpimenoaikojen lyhentämisen saavutuksilla hankkeessa, nousevat kustannussäästöt merkittävään osaan. Yrityksen kannalta pystytään perustelemaan läpimenoajan lyhentämisen kannattavuutta tarkastelemalla läpimenoajan lyhentämisestä syntyviä säästöjä ja vertaamalla niitä läpimenoajan lyhentämisen tukemisessa käytettäviin lisäkustannuksiin (investointeihin), kun huomioidaan vuositason katekertymän kasvu. Läpimenoajan lyhennyksellä voidaan siis tavoitella sekä korkeampia katteita että korkeampaa pääomatehokkuutta liiketoiminnassa.

Rakentamisessa virtausta voidaan parantaa minimoimalla hankkeen vaihtelun vaikutuksia tuotantoon. Vaihtelua voidaan minimoida puskureilla, joita ovat aikataulupuskurit, resurssipuskurit, materiaalipuskurit ja suunnitelmapuskurit, kuten aikataulun ulkopuolelle jätetyt työt. (Fransson ym. 2015) Oinas (2022) toteaa tahtiaikatauluhankkeiden aikapuskureiden olevan

parempia perinteiseen rakentamiseen verrattuna, jolloin tilanteenhallinta paranee. Tämä näkyy muun muassa aliurakoiden toimintaedellytysten täyttymisissä aiempaa varmemmin eli tuotantoalueen valmistumisessa seuraavalle työvaiheelle ajallaan (Oinas 2022). Perinteisen rakentamisen puskureiden käsittelyyn suhteessa tahtituotannon puskureihin palataan seuraavassa luvussa 2.2.2.

Koskela (2004) havainnoi rakennustuotannossa puskureiden käyttöä hukkana. Esimerkiksi materiaalien odottamisen työn aloituksen suhteen hän esittää olevan materiaalipuskuri. Toisaalta voidaan tarkastella making-do tilannetta, jossa työ aloitetaan ennen materiaalin saapumista, eli tuotetoimituksia joudutaan odottamaan ennen kuin työt voidaan sijainnissa aloittaa. Tällaisessa tapauksessa materiaalivirran odotusajan voidaan todeta olevan negatiivinen, mikä on yksi hukkan tyypeistä. Näin ollen hukalta ei voida välttyä, vaan prosessi on optimoitava hukkan pienentämiseksi. (Koskela 2004)

Tutkimuksissa (Dlouhy ym. 2018, Haghsheno ym. 2016) on kuvattu tahtituotantoprosessin työryhmän virtausta junan (train) ja yksittäistä työvaihetta junan yksittäisen vaunun (wagon) avulla (kuva 5). Junan vaunut muodostavat kokonaisprosessin junan virratessa hankkeen rakennuksen läpi ja työn virratessa työryhmien toteuttamien peräkkäisten työvaiheiden mukaisesti.



Kuva 5: Rakentamisen tahtituotanto kuvattuna virtauksena tahtityöalueiden läpi (juna ja junan vaunut).

Työryhmä virtaa vaunun sisällä sijaintipohjaisesti sijainnista seuraavaan ja kerroksesta seuraavaan kerrokseen. Tahtityöalueet jaetaan sijainneittain ja työt etenevät alimmasta kerroksesta kohti ylintä kerrosta (tai vastakkaiseen suuntaan). Työryhmän virtaus suunnitellaan tahtialueiden läpi ja työryhmä on saanut suoritetuksi urakan, kun kohteen viimeinen tahtityöalue valmistuu. Prosessi virtaa sijainniltaan vakioidussa tapahtumapaikassa poiketen työryhmän virtauksesta. Jokaisen sijainnin (tahtityöalueen) läpi virtaava prosessi saadaan valmiiksi, kun kaikki työvaiheet ovat kyseisessä sijainnissa

suoritettuina. Prosessin virtaus sisältää siis tietyllä alueella tapahtuvat peräkkäiset rakentamisen työvaiheet, kun työryhmän virtaus kuvastaa yhden työryhmän (esimerkiksi välitilalaatoitustöiden) etenemistä. (Dlouhy ym. 2018, Tommelein ym. 2022, Haghsheno ym. 2016, Frandson ym. 2013)

Perinteisesti työryhmän on ajateltu virtaavan kerroskohtaisesti, mutta tahtituotannossa läpimenoajan lyhentämisen saavuttamiseksi on tarkoituksenmukaista jakaa kerros pienempiin tahtialueisiin ja näin saada työryhmä virtaamaan myös kerroksen sisäisesti huoneisto tai aluekohtaisesti (Haghsheno ym. 2016, Faloughi ym. 2015). Tällöin rakennustyöntekijät siirtyvät seuraavalle tahtityöalueelle saadessaan oman työn valmiiksi määrättyllä nykyisellä tahtityöalueella (Haghsheno ym. 2016). On otettava huomioon, kuinka pieneksi tahtityöalueet on tarkoituksenmukaista määrittää, ja mitkä tekijät rajoittavat tahtityöalueiden määrittystä (Binninger ym. 2018, Frandson ja Tommelein 2014). Tietyissä työvaiheissa voidaankin havaita eri rajoittavia tekijöitä sille, millaiseksi työvaiheen tahtityöalue on tarkoituksenmukaista rajata (Heinonen ja Seppänen 2016).

Logistisilla ratkaisuilla voi olla vaikutusta monin tavoin työn virtauksen luotettavuuteen ja työn tuottavuuteen (Seppänen ja Peltokorpi 2016). Esimerkiksi optimaalisella materiaalipuskurin koolla voidaan saada aikaan paras työn suorituksen tehokkuus rakentamistoimen näkökulmasta (Horman ja Thomas 2005). Urakoitsijat pitävät usein logistiikkaa ylimääräisenä kuluena, erityisesti kulujen noustessa työntekijän etsiessä materiaaleja rakennustyömaalla, mikä itsessään jo alentaa työn tuottavuutta (Seppänen ja Peltokorpi 2016, Arbulu ja Ballard 2004).

Rakennustyömaan työntekijöiden päivittäistä toimintaa koskevat tutkimukset osoittavat tuotetoimitusten olevan merkittävä tekijä työn virtauksen ja tuottavuuden parantamisessa (Vrijhoef ja Koskela 2000, Abdul Kadir ym. 2005). Rakennustyömaan tuotteet on saatava virtaamaan tahtituotannon tahtiin. Vaikka sisävalmistusvaiheeseen voidaan nähdä kuuluvan taulukon 1 mukaiset työvaiheet, on tahtilogistiikan tarkastelun kannalta merkittävää keskittyä tarkastelemaan seinien maalaamisen jälkeisiä sisävalmistusvaiheen työvaiheita ja niiden logistiikan virtausta suhteessa työryhmien ja prosessien virtaukseen. Tahtilogistiikan suhdetta työryhmän virtaukseen kuvaa tavarantoimitusten ja tarvittavien materiaalien oikea-aikainen toimitusajankohta tarkoittaen, että edellä mainittujen on oltava rakennustyömaalla ennen kyseisen työvaiheen toteutuksen aloitusajankohtaa. Tahtilogistiikan suhdetta prosessin virtaukseen voidaan hahmottaa tavarantoimitusten rajoittavilla toimitusaikaikkunoilla. Rakentamisen prosessit virtaavat tietyllä määritellyllä alueella tietyn ajanjaksoin (Dlouhy ym. 2018, Lehtovaara 2022). Tämä tarkoittaa, että valmiiksi tehdyn työvaiheen (wagon) jälkeen samalle sijainnille tulee toinen, rakennushankkeen seuraava vaunu (Haghsheno ym. 2016). Vaunu on tarkoitettu tietyn työvaiheen virtaukselle, ja nyt kyseisessä sijainnissa on mahdollista toteuttaa seuraavaa työvaihetta (wagon).

Tuottavuus ja kokoonpanon virtaus on pysynyt alhaisena rakennusalalla (mm. Fulford ja Standing 2014, Tetik ym. 2019). Tehokkaalla kokonaisvirtauksella saavutetaan systeeminen muutos, jolla on suora yhteys hankkeen tuottavuuteen. Lehtovaaran (2022) mukaan erityisesti prosessivirtaus vaikuttaa hankkeen tuottavuuteen. Virtaustehokkuus saavutetaan proaktiivisen ja systemaattisen johtamisen kautta 1. tunnistamalla skenaariot, 2. luomalla suunnitelma ja sitä mittaavan toteutuksen mittaristo ja 3. rakennustyömaalla havainnoimalla ja tarpeen vaatiessa ohjaustoimilla riskien realisoituessa. Toisaalta Lehtovaara (2022) toteaa rakennushankkeiden olevan kompleksisia, jolloin tulee ymmärtää, mitä asioida edes voidaan standardisoida ja virtauttaa.

Tommelein ym. (2022) ovat havainneet Lean-rakentamisen -kirjallisuudessa käytettävän laajasti käsitettä työn virtaamisesta (work flow) eikä käsite ole uusi rakennusalalla (mm. Birrell 1980). Kuitenkin kiinnittäessämme tarkempaa huomiota alan tutkimuksiin ja kirjallisuuteen, työn virtaaminen näyttääkin tarkoittavan eri asioita eri tutkijoilla (Tommelein ym. 1999, Kenley 2004, Kalsas ja Bølviken 2010, Sacks 2016) eikä termillä ole yleisesti hyväksyttyä määritelmää. Samat termistön ja tarkoituksen määrittelyn eroavaisuudet voidaan todeta myös muissa rakentamisen virtauksissa. Alan tutkimuksissa puuttuvat yleisesti hyväksytyt määritelmät eri virtauksille. Terminologiaa on syytä tarkastella ja määritellä se selväksi.

2.1.2 Tuotannon virtauslajit

Seuraavaksi määritellään rakennusalan eri virtauksia, jotka ovat havaittavissa rakentamisen tuotantosysteemeissä. Tommelein ym. (2022) mukaan termi virrata (to flow) kuvaa vapaata ja jatkuvaa liikettä ja termi virtaus (flow) kuvaa virtaavaa liikehdintää, toisin sanoen jonkun asian jatkuvaa virtaa (Kaalsas ja Bølviken 2010). Rakentamisessa virtaus usein ilmenee eri rakentamisen osissa, muun muassa työryhmän, työvaiheiden ja materiaalien virtauksena (Tommelein ym. 2022). Virtausta keskitytään tarkastelemaan samalla, kun muodostetaan käsitystä siitä, miten virtaus määritellään ja mitä se oikeasti pitää sisällään. Tommelein ym. (2022) pitävät tulkinallisena (hanke ja sidosryhmäkohtainen) asiana sitä, missä määrin jatkuva virtaus rakentamisessa saavutetaan. Virtauksen määrittelyn ja mittaamisen voidaan nähdä heijastuvan vahvasti rakennusyrityksen omaan rakentamisen kehityskulttuuriin.

Prosessin virtaus (process flow) kuvastaa alueella (sijainnissa) tapahtuvien toimien virtausta peräkkäisinä työpaketteina. Tämän virtaustyyppin vaihtelua lisää vahvasti, mikäli tila joutuu odottamaan työntekijää. Tärkeää on huomata, että tyhjä tila heikentää sijainnin prosessivirtaa, joten jo tämän kannalta tahtituotannossa tulisi olla mahdollisimman usealla sijainnilla työntekijöitä toteuttamassa työtään. Prosessin virtausta heikentää, mikäli

rakennustyömaan materiaaleja joudutaan odottamaan tai varastoimaan turhaan tahtialueella (esteenä työvaiheen toteutukselle). (Bølviken ym. 2014)

Työryhmän virtauksen (operation flow, trade flow) käsite on erityinen rakentamisen kontekstissa ja sen näkökulmasta tahtituotanto rakennustyömaalla eroaa perinteisestä valmistavasta teollisuudesta (tehdasteollisuus). Valmistavassa teollisuudessa kokoonpanolinjalla kappale tai tuote liikkuu linjastoa pitkin kokoonpanopisteeltä seuraavalle kokoonpanopisteelle prosessin virtauksen mukaisesti. Samaan aikaan perinteisessä valmistavassa teollisuudessa tuotantoyksiköt (työntekijät ja heidän työkalunsa) pysyvät paikallaan omalla sijainnillaan odottaen tuotteen saapuvan työpistelle. Nämä työntekijät tuottavat arvoa toimillaan jalostaessaan kokoonpanettavaa tuotetta kohti valmista tuotetta. Toisin kuin valmistavassa teollisuudessa, rakennustyömaalla työryhmät (tuotantoryhmät) siirtyvät seuraavaan tahtialueeseen, jolloin prosessivirtauksen lisäksi on huomioitava työryhmien virtaus (kuva 2). Yhtenäistä valmistavalla teollisuudella ja rakennusteollisuudella on se, että molemmissa työryhmä toteuttaa yleensä tiettyä työvaihetta, vaikka rakennusteollisuudessa työn toteutuksen sijainti vaihtelee. (Tommelein ym. 2022)

Työn virtaus (work flow) kuvaa työn sujuvaa etenemistä sijainnista seuraavaan. Usein työn virtaus ilmenee työvaihekohtaisina tahtivaunuina tai useita työvaiheita sisältävinä vaunuina, joissa työ on suoritettava tietyn ajanjakson sisällä. Työn virtausyksikköön voivat vaikuttaa useat työryhmät, vaikka käsitteet työryhmän virtauksesta ja työn virtauksesta kirjallisuudessa usein sekoittuvat keskenään. Lean-rakentamisessa ensimmäiset käytöt työn virtaukselle esiintyvät Last Planner Systemissä (LPS), jonka Ballard suunnittelei torjuakseen alhaista työn virtauksen luotettavuutta (Ballard 1994, Ballard and Howell 1994). LPS-järjestelmässä työn virtaus viittaa työn osien virtaan, jotka on suunniteltu ja jotka on osoitettava tuotantoyksiköille ja suoritettava annetussa aikamääreessä (tahtiajassa). (Tommelein ym. 2022, Ballard ja Howell 1994)

Tavoitteena Last Plannerissa on luoda tuotantoyksikölle tuleva luotettava työn virtaus, jotta hyödyt suunnittelusta ja riittävästä jatkuvasta oikeanlaisesta työstä saavutetaan. Tämä mahdollistaa työskentelyn täydellä kapasiteetilla tai ainakin hyvin lähellä sitä, jolloin hyöty saadaan maksimoitua käyttöasteen korkeana käyttönä. Korkea käyttöaste puolestaan johtaa korkeaan tuottavuuteen, kun työ tehdään hyvin eli työ on tehokasta ja tuloksellista. Toisaalta tarkoituksena ei ole aina toteuttaa työtä yksittäisen resurssin täydellä kapasiteetilla, mikäli se heikentää tuottavuutta kokonaisuuden kannalta tarkasteltuna (kokonaistuottavuus). Työn virtauksen ja resurssitehokkuuden kannattavuuden kasvuun vaikuttamisen ohella on mahdollistettava hyvä prosessin virtaus, joka johtaa tuottavuuden kasvuun. Last Planner säävuttaa tämän vakauttaen työympäristön tulovirtojen vaihtelua vähentämällä ja parantaen suorituskykyä oppimisen kautta tekemällä ja loppujen lopuksi

parantaen jatkuvasti sitä, kuinka työ toteutetaan. (Tommelein ym. 2022, Ballard ja Howell 1994)

Työntekijän virtaus (worker flow) tarkoittaa reittiä, jonka työntekijä kulkee työpäivänsä aikana. Tommelein ym. (2022) määrittelevät työntekijän virtauksen sisältävän työntekijän matkan kodistaan työpaikalleen, työtapaamiset, kulkemisen työsuorituspaikassa, tauot ja kotiinpaluumatkan. Alves ja Formoso (2000) näkevät tämän virtauksen olevan enemmän kytköksissä tuotantoyksiköihin, joissa yksittäinen työntekijä tai ryhmä työntekijöitä kulkevat toteuttaessaan työsuoritteitaan. Työntekijän virtaus voi pitää sisällään siis sekä työntekijän kulkua rakennustyömaalla että rakennustyömaiden (tai muiden sijaintien) välillä, jalostaen materiaaleja tuotteeksi (rakennukseksi). Toisinaan arvoa tuottava työ voi kärsiä oheistoiminnasta, mikä saattaa vaikuttaa prosessivirtaukseen. Näin voi olla esimerkiksi, kun työntekijä joutuu työaikanaan liikkumaan materiaalien, jätteiden tai työkalujen siirtotarpeiden takia. Keskiössä työntekijän virtauksessa nähdään työsuoritteen ennakoitavuus ja tasaisuus, huomioiden työntekijän yksilön ominaisuudet (Tommelein ym. 2022).

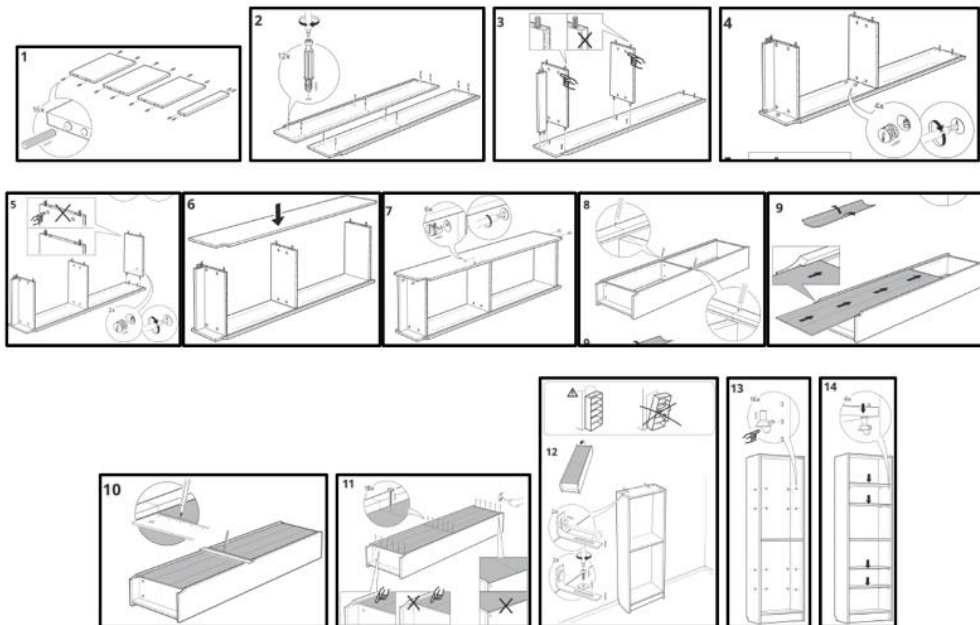
Materiaalien virtaus (material flow) tarkoittaa tuotteiden fyysistä liikettä, kun ne saapuvat rakennustyömaa-alueen ulkopuolelta työmaa-alueelle. Osa tuotteista kulutetaan tai asennetaan paikoilleen ja osa poistetaan työmaalta käytön jälkeen jätteenä tai muualla käytettäväksi. Materiaalien virtaus kuvaa yksinkertaistettuna materiaalien liikettä työmaalle, varastointia, jatkokäsittelyä (esimerkiksi kokoonpanovaihetta) ja asennusta. Mitä paremmin materiaali kulkee rakennustyömaalle ja rakennustyömaalla suunnitellusti (oikea-aikaisesti), sitä paremmin sen virtaus toteutuu. (Tommelein 1998, Tommelein ym. 2022)

Alves ja Formoso (2000) mainitsevat tutkimuksessaan vaihtelun ja resurssi-suunnittelun olleen tutkimustuloksissaan suurimpia materiaalin virtaukseen vaikuttavia tekijöitä. He mainitsevat isoksi ongelmaksi tuotetoimituksen jokaiselle työvaiheelle eri sijainteihin. Tällöin pienet eräkoot toimituksissa vaikuttavat myös siihen, että jokaisen työvaiheen jälkeen ylimääräinen materiaali on usein vietävä takaisin sijainnista varastoon. Näin ei olisi, mikäli materiaalia varastoitaisiin isommassa erässä, esimerkiksi kerroksen yhdessä huoneistossa. Koska työn virtausta ei ollut määritelty tutkimuksessa tarpeeksi, ylijäämämateriaalia ei voitu lähettää seuraavaan sijaintiin hyödynnettäväksi, vaan sijainnissa oli jo sinne suunniteltu materiaalierä (materiaalipuskureineen). Alves ja Formoso (2000) kiinnittivät huomiota tutkimuksessaan inventaarion vaikeaan hallintaan, kun tuotteita varastoitiin pienissä eräkoissa. (Alves ja Formoso 2000)

Työkalujen ja tarvikkeiden virtaus (tool flow and equipment flow) liittyy Tommeleinin ym. (2022) mukaan työntekijän virtaukseen ja materiaalien virtaukseen, mutta tätä virtausta voidaan tarkastella myös itsenäisinä suoritteina. Tarvikkeet (esimerkiksi nostolavat) ja niiden työntekijöiden

virtaukset ovat eri resursseja omilla virroillaan, mutta yhdistettyinä ne muodostavat tuotantoyksiköitä, jotka toimivat yhdessä tietyn ajan siirtäessään tai pitäessään materiaaleja. Työkalujen virtaus on samanlainen. Jotkut työkalut (esimerkiksi pöytäsahat) ovat paikallaan samalla sijainnilla pysyviä ja työntekijät tulevat niiden luokse käyttämään niitä. Toiset työkalut (esimerkiksi vasarat) voi työntekijä kantaa mukanaan liikkueensa sijainnista toiseen sijaintiin. (Tommelein ym. 2022)

Kokoonpano- ja asennusvirtaus (assembly flow) pitää sisällään materiaalien kokoonpanon virtauksen valmiiksi tuotteeksi (kuva 6). Virtauksessa kokoonpano usein tapahtuu työn asennussijainnissa tai sen läheisyydessä, mutta sen on mahdollista tapahtua myös esimerkiksi välivarastolla tai tehtaassa. Hyvänä esimerkkinä voidaan käyttää muun muassa asunnon kiintokalusteiden vaatimaa kokoonpanoa ennen itse paikalleenasennustöitä. Tässä virtauksessa tarkastelu siirretään laajemmalle pelkän rakennustyömaan tarkastelun lisäksi. Virtaus voidaan ulottaa tarkastelemaan esimerkiksi tuotteiden esivalmistusta tehtaalla. Kokoonpanoon voidaan käyttää eri työryhmää kuin asennustyöhön, jolloin virtaustakin on syytä tarkastella vaihtelun kautta riippuen siitä, tarkastellaanko virtausta ”valmiin” tuotteen osalta (esimerkiksi valmiiksi koottu kaluste) vai tarkastellaanko kokonaisprosessin virtausta eli kokoonpanon ja asennustöiden sulavuutta (vaihtelua) yhdessä. Tommelein ym. (2022) korostavat tämän virtauksen eroavan työryhmän ja prosessin virtauksesta. (Tommelein ym. 2022, Lehtovaara 2022)



Kuva 6: Kokoonpanon ja asennuksen virtaus kalusteasennustyössä. (IKEA 2021)

Tiedon ja osaamisen virtaus (information and knowledge flow) kuvaa tuotannolliseen prosessiin ja suunnitelmiin liittyvää usean suunnan

virtausta, jota voidaan pitää jokseenkin vaikeasti hallittavana nykyisillä ”työkaluilla”. Rakennustyömaalle ominaisia tunnuspiirteitä ovat yksilötason tai yksikkötason ammatillinen osaaminen ja tietotaito, mutta usein hankkeiden yli tapahtuva tiedon ja osaamisen virtaus on heikkoa johtuen yksinkertaisesti siitä, että yhteisesti sovittuja käytänteitä ja järjestelmiä ei ole tarpeeksi kehitetty tätä varten. Tiedon ja osaamisen virtauksella parannetaan yksilön potentiaalin hyödyntämistä ja muun muassa ongelman syntyjen ja niiden ratkaisuiden sekä kommunikoinnin väliin jäävää aikaa. (Tommelein ym. 2022)

Hankkeiden virtaus (portfolio flow) kuvaa kaikkien edellä mainittujen osavirtausten hallintaa hankkeiden välillä. Virtaus muodostuu hankkeiden ennakoitavuudesta ja tasaisesta etenemisestä jatkuvuudesta suhteessa toisiinsa nähden. Tähän voidaan nähdä kuuluvaksi myös hankkeiden jatkuvuus (hankkeet jatkuvat välittömästi toistensa perään ja työryhmät virtaavat hankkeiden yli) eli niin sanotun työkannan vaihtelevuuden minimointi. (Tommelein ym. 2022, Lehtovaara 2022)

2.2 Tahtituotanto

2.2.1 Tahtituotanto rakennusalalla

Tahtituotanto (takt production) on sijaintiperusteinen metodi suunnitella, ohjata ja jatkuvasti parantaa rakentamisen tuotantoprosessia (Lehtovaara ym. 2021). Tahtisuunnittelu (takt planning) lisää tuotannon virtausta, tehokkuutta ja laatua, joita tilaaja on rakennushankkeelta vaatinut (Dlouhy ym. 2016). Tahtituotanto on nostettu vuoden strategiseksi teemaksi monissa alaa eteenpäin vievissä toimijoissa, muun muassa rakennetun ympäristön toimialan valtakunnallisessa järjestössä (RIL). Tavoitteena on rakennusalan tuottavuuden parantaminen läpimenoaikoja lyhentäen, laadusta tinkimättä ja prosessin hukkaa poistaen.

Fransson ym. (2013), Binneringer ym. (2018) ja monet muut tutkijat ovat saaneet tutkimuksissaan vakuuttavia tutkimustuloksia tuotannon läpimenoaikojen lyhentymisestä hyödynnettäessä Lean-rakentamisesta kumpuavaa tahtituotantoa. Muun muassa Binneringer ym. (2018) ja Lehtovaara ym. (2019) ovat havainneet tutkimuksissaan saavutetun 55–70 % lyhyempiä läpimenoaikoja tahtituotantoa hyödynnettäessä. Fira ja YIT ovat saavuttaneet tahtituotannon avulla hankkeissaan sisävalmistustöissä jopa 30–50 % aikasäästöjä (Tompuri ja Mölsä 2019). Laivanrakennusteollisuudessa Heinonen ja Seppänen (2016) ovat mitanneet 76 % läpimenoajan lyhentymisen riskiteilylaivojen hyttisaneerauksissa. Oinas (2022) näkee asuntorakentamishankkeiden rakentamisaikojen lyhentyvän viidesosalla vuoteen 2025 mennessä.

Tahtituotannolla on myös onnistuttu parantamaan hankkeen laatua ja turvallisuutta (Heinonen ja Seppänen 2016), työntekijöiden tuottavuutta

(Kujansuu ym. 2020) sekä rakennustyömaan ohjauksen tehokkuutta (Linnik ym. 2013). Tahtituotanto keskittyy tuotannon tasaisen tahdin suunnitteluun etupainotteisesti, ohjatakseen aktiivisesti tuotannon rytmin ylläpitoa ja jatkuvasti parantaakseen systeemiä, kun ongelmia tai oppimismahdollisuuksia tulee ilmi (Frandsen ym. 2013). Hyötyjä on havaittu jo ensimmäistä kertaa tahtituotantoa hyödyntävillä rakennustyömailla ilman, että niillä on ollut aiempaa kokemusta tahtituotannolla rakentamisesta (Lehtovaara ym. 2019).

Tahtituotannon hyödyntäminen hankkeessa tuo monia etuja, muun muassa reaaliaikaisen tilannekuvan, rakennustyön parantuneen ohjauksen ja vakioinnin kautta (Lehtovaara 2022). Tompuri ja Mölsä (2021) toteavat tahtituotannon selvänä etuna olevan ongelmien aiemmin esiin nousemisen, jolloin niihin kyetään reagoimaan aikaisemmin ja nopeammin. Seppänen (2022) esittää useissa hankkeissa tuottavuusongelman ratkaistun, laadun kasvaneen ja rakentamisen nopeuden kasvaneen tahtituotannon avulla. Myös työntekijät ovat hyötäneet tuottavuuden kasvusta, sillä heidän tunti-työansionsa ovat kasvaneet tahtituotannolla onnistuneesti toteutetuissa rakennushankkeissa.

Lisääntynyt kiinnostus tahtituotantoa kohtaan on syntynyt useista aiemmista tutkimuksista, joissa on havaittu useita hyötyjä tahtituotannolla toteuttamisesta. Näitä hyötyjä ovat muun muassa tuotannon kasvanut läpinäkyvyys (transparent) ja luovutuksien stabiilisuus (Frandsen ym. 2014) sekä suurempi proaktiivinen toiminta ongelmien ratkaisemiseksi ja hallitsemiseksi (Linnik ym. 2013). (Lehtovaara ym. 2022)

Haghsheno ym. (2016) ovat todenneet tahtituotannon historiasta rakennusalalla, että tahtituotannon ensimmäisiä periaatteita on sovellettu jo ennen Toyotan kehittämää tahtituotantojärjestelmää. Ensimmäinen havainto tahtituotannon käytöstä on Sveitsissä sillanrakennusprojektissa vuonna 1857 ja Empire State Buildingin rakentamisesta vain 20 kuukaudessa vuonna 1930 (Haghsheno ym. 2016, Perälä 2022). Heinonen ja Seppänen (2016) esittävät tahtituotannon teoriaa sovelletun kuitenkin rakentamisessa tosiasiallisesti vasta vuonna 2014 Frandsenin ym. toimesta, vaikka tuotantomuotona tahtituotantoa onkin selvästi käytetty jo ennen tätä.

Tahtituotannossa työt perustuvat työn fyysiseen työsijaintiin eli tahtialueeseen, sekä sijainneissa toteutettavaan työhön eli työvaiheeseen, joka virtaa sijaintien läpi. Tahtituotannon perusideana on, ettei työalueiden tarvitse ikinä odottaa työntekijöitä tekemään töitä niille, eli niiden ei tarvitse seistä tyhjillään. Oinas (2022) mainitsee tahtialueen huolellisen suunnittelun mahdollistavan eri työvaiheiden virtauksen, hukan poistamisen ja materiaalien täsmälogistiikan (sujuva materiaalivirta). Tavoitteena on tasaisen virtauksen tuottama tasainen tuotanto, jossa työryhmällä ei ole katkoksia (työryhmän virtaus), toisin sanoen hukkaa. Tahtituotannon näkökulmasta jokaisessa kokonaisuuden kannalta tärkeässä tahtialueessa olisi syytä olla työt käynnissä jatkuvasti (prosessin virtaus), jotta virtauksella voidaan tuottaa hankkeelle

arvoa. Sitä toteutetaan ensisijaisesti aikapuskureista ja aloitusväleistä luopumalla. (Seppänen 2022)

Tahtituotannon toimivuuden kannalta ensisijaisen tärkeää on määrittää tahtiaika ja tahtialueet hankkeen ominaispiirteet huomioiden. Tärkeää on korostaa perusteltujen valintojen merkitystä myös alemmalle tasolle, työntekijöille, vaikka päätös tehdäänkin usein ylemmällä työnjohdon tai hankkeen johdon tasolla. Alhava ym. (2019) tuovat tutkimuksessaan esille valintojen noudattamisen tärkeyden. Tahtituotannon menestyksen on havaittu määräytyvän toteutuksessa: tahtituotanto on erityisen herkkä häiriöille, ja vaatii jatkuvaa huomion kiinnittämistä tuotannon ohjaukseen ja ohjaamiseen, jotta ennalta määritettyyn suunnitelmaan päästään (Alhava ym. 2019).

Tahtituotannon läpimenoaika lyhentyi samojen resurssien työskennellessä lähempänä toisiaan ja siitä saavutettavan hyödyn takia (Pound ym. 2014, Haghsheno ym. 2016, Seppänen 2022). Mitä pienemmiksi tahtialueet saadaan, sitä lyhyemmäksi tahtiaika muodostuu ja sen suurempaa hyötyä virtauksesta saadaan. Jatkuvaan parantamiseen ja työn tuottavuuden tehostamiseen pyrittäessä tahtiaikoja ja -alueita on pienennettävä aina, kun prosessi näyttää sujuvan ilman suurempia ongelmia. Seppänen (2022) toteaa kuitenkin liian lyhyen tahtiajan johtaneen monissa hankkeissa ongelmiin, kun prosessi ei ole tarpeeksi kykenevä suhteessa suunniteltuun tahtiaikaan. Prosessin kyvyttömyys ja liian lyhyeksi suunniteltu tahtiaika ovat aiheuttaneet lisäongelmia rakennustyömailla johtaen työnjohdollisen tarpeen lisääntymiseen.

Sopivaa tahtiaikaa onkin vaikea suunnitella, ellei työsisältö ja prosessin kyvykyys ole täysin selvillä. Toisaalta tahtiaika on määritettävä aina hankkekohtaisesti hankkeen sisältämien ominaisuuksien perusteella. Näihin ominaisuuksiin voidaan lukea kuuluvaksi muun muassa kohteen sijainti, koko, kompleksisuus, sidosryhmäyhteistyöt ja sijainti suhteessa logistiikkatoimijoihin. Fira Rakennus Oy on esittänyt kriittisimpänä asiana rakennustöiden tahdistamiselle (tahtiajan määrittäminen) betonin kuivumisvaiheen (Tompuri ja Mölsä 2019). On siis tarkasteltava myös yksittäisten työvaiheiden kestoja ja sitä, kuinka lyhyeen tahtiaikaan niiden prosessit soveltuvat ennen kuin prosesseista tulee tosiasiallisesti tehottomia.

2.2.2 Tahtituotannon suunnittelu ja ohjaus

Lehtovaara ym. (2022) korostavat tuotannonsuunnittelun ja tuotannonohjauksen merkitystä rakennushankkeessa, jotta hankkeen tilaajan odotukset voidaan täyttää. Tuotannonsuunnittelu asettaa rungon hankkeen toteutukselle, ja määrittelee mitä tulee tehdä, missä, milloin ja millä resursseilla (Vollman ym. 1997). Kiitettävä suunnittelu ei kuitenkaan takaa hankkeen onnistumista. Snowden ja Boone (2007) mainitsevat tutkimuksessaan ennalta arvaamattomuuden kuuluvan monimutkaisten systemien (muun muassa

rakennustuotannon) ominaisuuksiin, koska tällaisten systeemien käyttäytymistä ei voida koskaan tarkasti ennakoita etukäteen.

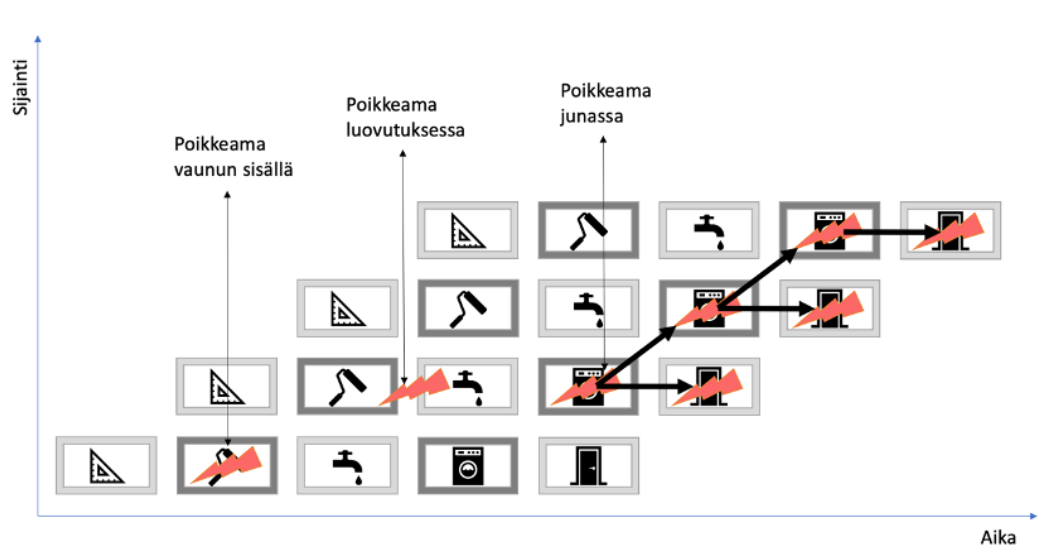
Tahtituotanto voidaan pitää rakennustyömaan proaktiivisella ohjauksella etenemässä oikeilla raiteillaan silloinkin, kun jotain suunnittelemaa tapahtuu. Vaikka tahtituotannosuunnittelu on välttämätöntä alkuperäisen tuotantosuunnitelman suunnan näyttämiseksi, voidaan suunnitelmia kuitenkin pitää vain ennusteina, jotka tulevat epäonnistumaan jossain vaiheessa toteutuksen aikana. Tämän takia rakennustyömaalla tarvitaan jatkuvaa tuotannonohjausta. Tuotannonohjaus tuo mukanaan kyvykkyyden tehdä muutoksia ennalta määritellyyn suunnitelmaan, kun jotain odottamatonta tai ennalta arvaamatonta tapahtuu, ja uusia mahdollisuuksia toteutukselle syntyy. (Lehtovaara ym. 2022) Arbulun ym. (2016) mukaan tuotannonohjauksen systeemien tulee jatkuvasti havaita ja analysoida ilmeneviä ongelmia sekä reagoida niihin, mikäli hankkeen halutaan olevan tehokas (virtautettu). Odottamattomat ja ennalta arvaamattomat tapahtumat rakennusympäristössä luovat poikkeaman hankkeen suunniteltuun toteutukseen. Seppänen (2022) mukaan tahtituotanto kannustaa ratkaisemaan ongelmat niiden ilmaantumisen hetkellä, lykkäämättä tai sivuuttamatta niitä. Näin päästään tahtituotannossa läpimenoajan lyhentämiseen ja tuottavuuden kasvuun (Seppänen 2022).

Tahtituotannossa esiintyvää virtauksessa tapahtuvaa vaihtelua kutsutaan häiriöksi, kun se aiheuttaa ongelmia tahtituotannon kyvykkyyteen edetä suunnitellusti. Dahlbergin ja Drevlandin (2021) tutkimuksessa huomattiin yhden tahtituotannon häiriöiden syntymisen pääsyyn olevan tuotetoimitusten myöhäinen saapuminen rakennustyömaalle. Tällaiset myöhästymiset työvaiheiden tuotetoimituksissa estävät työvaiheiden (tahtivaunu) loppuunsaattamista ennen vaunun siirtymistä seuraavaan tahtialueeseen. Erillisen varastoinnin (muualla kuin rakennustyömaa-alueella) voidaan todeta hidastavan logistiikkaa, koska tuotetoimitukset tarvitsevat enemmän siirtelyä verrattuna siihen, että ne toimitettaisiin suoratoimituksena rakennustyömaalle. Toisaalta tahtialueiden käytön varastotilana on havaittu häiritsevän tuotantoprosessin edistymistä. Varastointi rakennustyömaalla onkin suunniteltava ja toteutettava tahtituotannossa niin, että tuotantoprosessiin ei aiheudu tästä häiriöitä. (Dahlberg ja Drevland 2021)

Lehtovaara ym. (2022) esittävät tahtituotannonohjauksessa havaittavan poikkeamia (failures), jotka voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan: poikkeamat tahtivaunuissa (wagons), poikkeamat luovutuksissa (handoffs) ja poikkeamat tahtijunissa (trains). Poikkeama, esimerkiksi työvaiheen myöhässä valmistuminen, aiheutuu suunnitellun toiminnan poikkeavuudesta, kuten resurssien vajavuudesta suorittaa työvaihe valmiiksi suunnitellun ajanjakson sisällä.

Ensimmäinen poikkeama (1.) tahtivaunussa tapahtuu poikkeamana prosessin osavaiheessa. Toinen (2.) poikkeama työvaiheen luovutuksessa tapahtuu

poikkeamana prosessin osavaiheiden välillä ja kolmas (3.) poikkeama eli tahtijunan poikkeama vaikuttaa kokonaisprosessiin, mahdollisesti aiheuttaen myös kumuloituvia ongelmia. Vaunuja voidaan pitää yksittäisinä fundamentaalisina yksikköinä (asettavat pohjan tahtituotannon työn jäsentelyyn), ja niiden yhdistelmät muodostavat junia (Dlouhy ym. 2016, Lehtovaara ym. 2022). Haghsheno ym. (2016) toteavat onnistuneen työvaiheen (junan) sisällönhallinnan lisäävän tahtituotannon luotettavuutta ja vähentävän tuotannon kokonaisriskejä. Kuvassa 7 esitetään sijainti-aika-akselilla tahtituotannossa havaittavat poikkeamat, eli muutokset suunnitelmiin nähden.



Kuva 7: Vaunun, luovutuksen ja junan poikkeamat. (Mukaiillen Lehtovaara ym. 2022)

Tahtituotannon vaunu koostuu työvaiheesta, joka koostuu joukosta tehtäviä, jotka tulee suorittaa tietyllä tahtialueella tietyn tahtiajan sisällä. Ohjausmenetelmissä tahtivaunuissa tulee kiinnittää huomiota työvaiheen kaikkien osatyövaiheiden suoritukseen ja siihen, ettei myöhästymistä tapahdu. Myöhästymisen aiheuttaa työvaiheen luovutuksen myöhästymisen, mikä aiheuttaa seuraavan työvaiheen alkamisajankohdan myöhästymisen. Näin tahtivaunun poikkeama saattaa synnyttää poikkeaman tahtityövaiheen luovutukseen ja koko tahtijunaan. (Dlouhy ym. 2016, Lehtovaara ym. 2022)

Lehtovaara ym. (2022) toteavat työvaiheen (vaunun) lyhentämisen ajan suhteen olevan usein haluttua, vaikka se ei ole kuitenkaan tarpeellista tahtituotannon näkökulmasta. Toisaalta pieniä työvaiheiden kokoja voidaan käyttää ja hyödyntää paremmin prosessin nopeuden säätämiseen ja mahdollisuuksiin havaita rakennusprosessin kehittymismahdollisuuksia. Vaikka työvaiheen koon pienentäminen lisää tarvetta vaunun sisällön hallintaan, havaitsevat myös Haghsheno ym. (2016) tutkimuksessaan siinä tiettyjä etuja. Ongelmia tulee jatkuvasti esiin ja ongelmat ovat näkyvissä kaikille, mikä antaa mahdollisuuden puuttua niihin aktiivisesti vaunun sisällä ennen kuin niistä aiheutuu harmia seuraaville vaunuille ja muiden tuotantoprosessin osille. Vaunun

koon pienentyessä on tarpeen kiinnittää erityistä huomiota yhteistyössä tapahtuviin johtamiskäytäntöihin, jotka ovat välttämättömiä poikkeaman oikea-aikaisen tunnistamisen ja sen ohjauksen toteuttamiseksi. Tahtiajan lyhentyessä vaaditaan nopeampaa reagoimista tahdissa syntyneisiin ongelmiin ja nämä ongelmat on ratkottava tahdin sisällä, jotta virtaus prosessissa ei häiriinny yksittäisessä tahdissa tapahtuneen poikkeaman takia.

Tahtituotantohankkeista saadut tulokset ja aihepiirin tutkimustulokset esittävät tahtituotannon olevan varsin joustava rakentamisen järjestelmä. Tahtituotanto mahdollistaa lukuisia ohjauskeinoja prosesseissa havaittuihin poikkeamiin, kun asiat eivät suju alkuperäisen suunnitelman mukaisesti. Tahtituotannon joustavuus voidaan havaita tahtiaikapuskureiden hyödyntämisenä eli kapasiteettipuskureina. Perinteisesti rakentamisessa työvaiheiden väliin on jätetty aikapuskureita, kun tahtituotannossa vaunun sisällä on huomioitu puskuri jo itsessään. Tämä tarkoittaa esimerkiksi 20 % aikapuskurin jättämistä kuhunkin yksittäiseen tahtivaunuun ja työsisällön ja resurssien mitoittamista niin, että aikapuskuri toteutuu. Mikäli tahdissa ei ilmene poikkeamia, voidaan puskuriaika hyödyntää esimerkiksi seuraavien töiden valmistelemiseen tai työskentelyyn alueilla, joita ei ole huomioitu kuuluvaksi tahtituotannon piiriin. (Lehtovaara ym. 2022, Seppänen 2022) Oinas (2022) on todennut tahtituotannossa työnjohdon kykenevän reagoimaan rakennustyömaalla tapahtuviin häiriöihin päivätasoisena johtamisensa ansiosta ja näin hyödyntämään aikapuskureita virtauksen poikkeamien korjaamiseksi.

Tahtiaikataulun työpakettiin eli vaunuun jätetyn kapasiteettipuskurin lisäksi tuotannollista joustoa voidaan luoda myös muilla keinoin. Toisena puskurina tahtituotannossa voidaan havaita hankkeen loppuun jäävä puskuriaika ennen kohteen luovutusta tilaajalle. Mikäli tuotannossa syntyy poikkeamia, joiden ratkaisu kestää kauemmin kuin yhden tahdin, lisätään tällöin aikataulun ongelmakohtaan yksi tyhjä tahti, joka mahdollistaa poikkeamien korjaamisen suunnitelmien mukaisesti, ja jonka jälkeen rakentamisen jatkamisen normaalisti kyseisellä tahtialueella. Kolmantena puskurina tahtituotannossa toimivat alueet, joita ei ole huomioitu kuuluvaksi tahtituotannon piiriin. (Seppänen 2022) Rakennuksessa voi olla työalueita, esimerkiksi yleisiä tiloja, joita ei suunnitella osaksi tahtituotantoalueita.

Seppänen (2022) mainitsee perinteisessä paikka-aikakaavio -pohjaisessa tuotantosuunnitelmassa vähemmän tärkeiden työvaiheiden jättämisen pois, ja vain merkittävien tahdistavien työvaiheiden merkitsemisen ongelman. Tämän seurauksena noin 20 % hankkeen työtunneista on merkitsemättä tuotantosuunnitelmaan. Tehtävien merkitsemättä jättäminen luo tarpeen aikapuskureiden käytölle, jotta kaikki merkitsemättömät rakennustyötehtävät saadaan toteutettua sen jälkeen, kun muut aikataulutetut työt on tehty valmiiksi. Termistöä merkitsemättömille työvaiheille ei ole alan kirjallisuudessa määritelty, joten kutsun näitä tehtäviä tässä tutkimuksessa haamutehtäviksi.

2.2.3 Tahtituotannon teollistaminen

Perinteisessä teollisessa tuotannossa on jo pitkään keskitytty prosessin tehostamiseen (mm. Pound ym. 2014, Haghsheno ym. 2016). Rakennushankkeissa erilaiset tuotteet ja resurssit tulevat eri toimittajilta toisinaan kompleksisen lopputuotteen kokoamiseksi (Tetik ym. 2021). Rakentamisen siirtyminen kohti teollista prosessia pienentää prosessin vaihtelua. Teollinen rakentaminen on noussut ajankohtaiseksi rakennusyritysten keskittyessä enemmässä määrin tuottavuutensa parantamiseen (Oinas 2022).

Hasenson (2022) ehdottaa rakennusalan tuottavuuden parantamiseksi rakennusalan omaksuman projektiliiketoiminnan viemistä kohti prosessiliiketoimintaa. Rakennusalan tavoitteena on teollistaa rakentaminen eli siirtyä prosessimaiseen, korkeasti vakioituun tapaan rakentaa (Oinas 2022). Tämä tarkoittaa prosessia, jossa toimintamalli paranee jatkuvasti hankkeesta toiseen hyödyntäen hankkeesta saatua dataa ja oppeja (Oinas 2022). Tehdasteollisuudesta mallinoton ja talotehtaiden ratkaisuiden nähdään olevan lähimpänä ajatusmallia, jota voitaisiin hyödyntää myös suuremmassa mittakavassa prosessiliiketoiminnassa (Hasenson 2022).

Tahtituotantoa rakennusalalla voidaan verrata prosessiteollisuuden tehtaan liukuhihnatuotantoon, jossa yksittäisen koneen tehokkuuden sijaan keskitytään koko tuotantoketjun tehokkuuden virtauttamiseen, ja näin rakennuskohteen läpimenoajan lyhentämiseen (Oinas 2022). Virtautuksen tehostamisessa tärkeänä voidaan pitää pullonkaulojen tunnistamista. Seppänen (2022) on todennut tuottavuusongelman yhdeksi tärkeimmäksi ratkaisuksi olevan rakentamisen muuttamisen toteutettavaksi systemaattisena toimintana, jota voidaan kehittää hankkeesta toiseen. Tahtituotanto on osoittautunut tuotantojärjestelmäksi, jota soveltamalla mahdollistetaan rakennusalan kehitys.

Rakennusalan tahtituotannon kehityksen mahdollistajina tunnistetaan rakentamisen teollistaminen teollisella systeemimuutoksella ja siihen tarvittavilla työkaluilla muutosjohtamisella tuettuna. Teollistamisessa esivalmisteet siirtävät rakennustyömaalla tehtävän työn tehtaalle, jossa tuotantoprosessi on analysoitu ja hukkaa poistettu tai ainakin minimoitu sitä. Tuotannon tehostaminen vaatii riittävän suurta ja toistuvaa volyymia prosessissa, jolloin häiriöt saadaan esiin ja niitä voidaan analysoida. (Oinas 2022)

Rakentamisen tahtituotantoa on verrattu perinteisen teollisuuden liukuhihnatuotantoon, jossa tuotteen valmistusprosessi etenee tasaisella nopeudella ja työt toteutetaan suunnitellusti niille asetetuissa aikaikkunoissa. Teollisuudesta mallia otetulla tahtituotannolla on onnistuttu toteuttamaan muun muassa risteilyalusten hyttiremontteja, joissa tahtiaikaa on saatu lyhennettyä jopa 15 minuuttiin (Heinonen ja Seppänen 2016). Binninger ym. (2018) toteavat viikon tahtiajan olevan yleisin rakennusteollisuudessa käytetty tahtiaika. Toisaalta osassa projekteissa on onnistuttu toteuttamaan yhden päivän

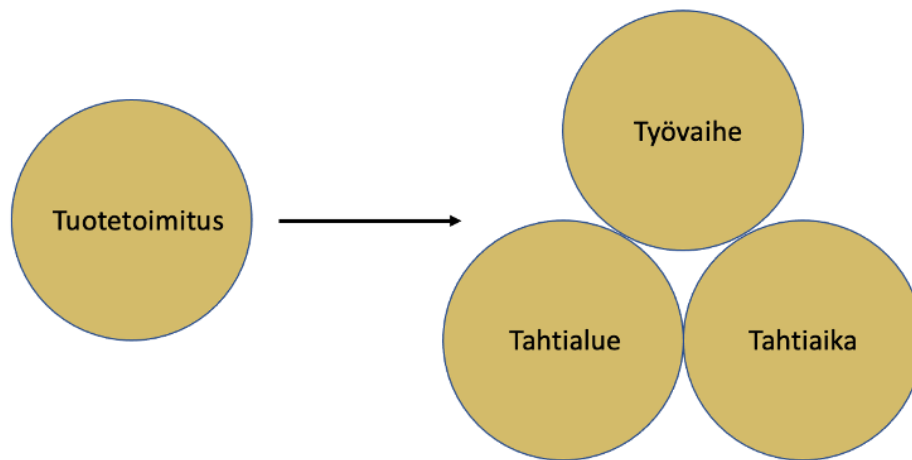
tahtiaikaa (Lehtovaara ym. 2019) ja esimerkiksi myymälän remonteissa on onnistuttu toteuttamaan yhden tunnin tahtiaikaa (Binninger ym. 2018). Suomeen tahtiaikatauluperiaatteen mukaan toteutettavat työt ovat saapuneet noin kymmenen vuotta sitten rakennusalan konsulttien ja pilottihankkeiden myötä (Oinas 2022).

Rakentamiselle ominaista on koko rakentamishankkeen aikana yhdessä kerroksessa toteutettava yhden työvaiheen työ kerrallaan. Rakentamisen työn hitaus nousee esiin, kun työntekijöitä saa olla vain muutama rakennuksen sisällä työskentelyalueellaan. Parannuskeinoina alan yhteisiin ongelmiin on tarjottu systeemistä teollistamista ja tahtiaikataulun hyödyntämistä rakentamishankkeissa (Oinas 2022).

Teollisen tuotannon prosessin tehostamisessa olisi tärkeää hyödyntää pääasiallisen tuotteen (päävirta) ohella syntynyttä materiaalivirtaa (sivuvirta) (Inkeröinen ja Alasaarela 2010). Sivuvirtojen laadunvaihtelun ja sen hallinnan todetaan olevan avainasemassa sivuvirtojen hyödyntämisessä, kuten raaka-aineiden hyöty- ja uusiokäytössä (Karhu 2020). Tehdastoiminnalle on ominaista sisäänrakennetut laaduntarkkailutoimet ja ohjaustoimet, joita ei kuitenkaan ole kyetty vielä hyödyntämään rakennusosalalla tuotantoprosessin tehostamiseksi. Myös rakennustyömaan sisäisen logistiikan mallit ja niiden kehittäminen eivät vielä ole saavuttaneet liukuhihnatuotannon asettamia raameja.

2.3 Tuotetoimitusketjun logistiikka

Ennen tuotetoimitusketjun tarkastelua on syytä ymmärtää tuotetoimituksen kytkös tahtituotantoprosessiin (kuva 8). Luvussa 2.2 käsitelty tahtituotanto koostuu kolmesta tekijästä: tahtialueesta, tahtiajasta ja niissä toteutettavasta työvaiheesta. Työvaiheiden työt jaetaan tahtialueittain yhdessä tai useammassa tahtiajassa toteutettaviin työpaketteihin (Lehtovaara ym. 2021). Tahtiaikataulu muodostuu näiden kolmen tekijän tasapainottamisesta suhteessa toisiinsa.



Kuva 8: Tuotetoimitus tukemassa tahtituotantoa.

Tahtituotantoa tukevat tuotetoimitukset ja tuotetoimitusketjulla tuetaan tahtituotantoprosessin virtausta. Tuotetoimitukset aiheuttavat useita haasteita rakennushankkeille (Tetik ym. 2021). Tuotteita tilataan liian myöhään tai liian aikaisin rakennustyömaalle, jolloin tuotetoimittajat joutuvat pitämään yllä korkeaa toimitustasoa toimituksen takaamiseksi tai rakennustyömaalla on pidettävä materiaalipuskureita (Vrijhoef ja Koskela 2000). Mikäli tahtituotannossa halutaan päästä parempiin tuloksiin tehden prosessista tuottavampaa niin, että rakennuskohteen läpimenoaika lyhenee, on tahtituotannon tuotetoimitukset sovitettava toteutettavaan tahtiin. Vaikka tuotetoimituksien avulla ei läpimenoaikaa saada yksinään lyhennettyä, tahtituotantoprosessin virtauksen tehostamiseen (ja siten läpimenoajan lyhentämiseen) tarvitaan ohjattua, oikea-aikaista ja toimitusvarmaa tuotetoimitusketjua (kuva 8).

Yhtenä tehokkaana tapana yhdistää tuotetoimitukset kokoonpanon operaatioihin nähden tehokkaiksi on tuotteiden setittäminen (kitting) (Tetik ym. 2021). Tetik ym. (2021) esittävät mahdollisuuden tuotetoimitusten setitysten hyödyntämiseen useimmissa rakennushankkeissa, erityisesti niiden sisävalmistusvaiheissa. Setittäminen voi myös auttaa työnjohtoa ohjaamaan työvaiheiden toimintaa koordinoitujen tuotetoimitusten avulla (Tetik ym. 2021).

Materiaalilistaa (Bill of Materials, BOM) ja yksityiskohtaista sekä päivitettävää aikataulua pidetään tärkeänä työn virtauksen ja tuottavuuden kasvun mahdollistajana, jonka setitetyn tuotetoimituksen tuominen rakennustyömaalle vaatii (Tetik ym. 2021). Tetik ym. (2021) toteavat setittämisen vaikutuksista työn suorikseen ja työmaan johtamistoimiin tarvittavan kuitenkin vielä kattavampaa tutkimustietoa.

2.3.1 Tuotetoimitusketjun suunnittelu ja ohjaus

Hankkeessa tavoiteltu tehokas tuottava työ vaatii tuotetoimituksilta huolellista suunnittelua ja tuotetoimitusketjujen ohjausta, jotka ovat usein ongelmallisia tarvittavien materiaalien suuren määrän, niiden monimuotoisuuden sekä aliurakoitsijoille hajautetun tuotteiden hankinnan ja ohjauksen vastuunjaon takia (Tetik ym. 2021). Tetik ym. (2021) näkevät ratkaisuksi ongelmaan keskitetysti hankittujen materiaalien setittämissä tuotetoimitusketjujen tehostamisessa. Tuotetoimitusten setitystä on mahdollista hyödyntää hankkeessa, jossa toteutetaan tahtituotantoa (Frandsen ym. 2013). Setittämisen tuottamaa tehokkuutta voitaisiin parantaa suunnittelemalla settien sisältö huolellisesti (Tetik ym. 2021). Tähän tarvitaan pääurakoitsijalta lisäantuvaa johtamista ja ohjausta, jotta tuotetoimitukset saadaan rakennustyömaalle oikea-aikaisesti ja oikean suuruisina.

Setittäminen on logistinen ratkaisu, jossa tuoteosat toimitetaan jo aikaisemmin muualla setitettynä rakennusosakokonaisuuksina rakennustyömaalle odottamaan niiden kokoonpanoa (Hanson ja Medbo 2012). Setityksellä voidaan lisätä työn tuottavuutta tuotteiden välivarastointipaikkojen tehokkaan käytön ansiosta, koska setit voidaan sijoittaa ja varastoida lähelle niiden lopullista kokoonpano- tai asennuspistettä. Näin setitys vähentää aikaa, joka muuten kulutettaisiin kokoonpano- ja asennustoimissa tarvittavien tuoteosien etsimiseen sekä lisää työalueiden käyttöastetta (Hua ja Johnson 2010, Tetik ym. 2018). Tetik ym. (2019) ovat esittäneet materiaalin saatavuuden setityksen avulla voivan johtaa korkeampiin tuotantomääriin, laadukkaan logistiikan ja hankinnan toiminnan avulla. Tuotteiden laatu voi parantua setityksen yhteydessä, kun aikaisemmassa vaiheessa huomataan vialliset tuotteet ja vain tarvittavat tuotteet setitetään ja kuljetetaan rakennustyömaalle (Tetik ym. 2021).

Valmistavassa teollisuudessa setittämisellä viitataan tuotteiden tai komponenttien järjestelyyn, pakkaamiseen ja toimittamiseen tiettyä kokoonpanon työvaihetta varten (Bozer ja McGinnis 1992, Tetik ym. 2021). Setti (kit) kuljetetaan laatikossa tai lavassa, joka sisältää osat yhteen kokoonpanon työvaiheeseen (Hanson ja Medbo 2012). Setitys suoritetaan usein logistiikkakeskuksessa (terminaali) tai muussa keskuksessa, jossa tuotteiden keräily on mahdollista suorittaa (Limère ym. 2012). Vaikka setityksestä aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia, muun muassa varaston vuokratkustannuksia, työntekijäkustannuksia tuotteiden poiminnasta ja pakkauksesta, suunnittelu- ja aikataulukustannuksia, kuljetuskustannuksia, haalaukskustannuksia ja hallinnointikustannuksia, tulisi rakennustyömaalla tehtävän työn tehokkuuden kasvaa setityksen myötä ja sitä kautta kattaa setityksestä aiheutuneet lisäkustannukset (Tetik ym. 2021). Toisaalta kirjallisuudessa mainitaan valmistavassa teollisuudessa setityksen alentavan inventaariokustannuksia, työntekijöiden määrää, paperityötä ja hankintakustannuksia (Vujosevic ym. 2012). Tetikin ym. (2021) tutkimuksen haastattelutulokset viittaavat kuitenkin

siihen, ettei perinteisen logistiikan ja setitettyjen tuotetoimitusten välillä havaittu kustannuseroja.

Tetik ym. (2021) vertasivat neljää (4) eri kylpyhuonesaneeraushanketta keskenään. Niissä puolessa oli hyödynnetty terminaalin setittämiä tuotetoimituksia ja puolessa perinteisempää rakennustyömaan logistisia toimituksia. Tutkimus indikoi setityksen säästävän työntekijöiden työskentelyaikaa verrattuna perinteisiin tuotetoimituksiin. Tulokset perustuvat muun muassa työntekijöiden ajansäästöllä, kun tuotteita ei tarvitse etsiä, ja työtä voi näin ollen suorittaa enemmän työvaiheelle määritetyssä sijainnissa. Setityksen ansiosta työvaiheen sijainnin käyttöaste mahdollisti korkeamman työn virtauksen. Työn tuottavuuden mitattiin olevan melkein kaksinkertainen hyödynnettäessä setitystä verrattuna ilman setitystä tehtävään työhön. Tutkimuksessa jäi kuitenkin epäluotettavaksi työn tuottavuuden kasvun mittaaminen, sillä tutkijat eivät täysin pystyneet sulkemaan pois muista seikoista, kuten työntekijäsidonnoista tekijöistä, johtuvan varianssin vaikutusta työn tuottavuuteen. Vaikka otettaisiin huomioon setityksen keräilyaika (terminaali) ja toimitusajat rakennustyömaalle, osoitti Tetikin ym. (2021) tutkimus lyhyempää läpimenoaikaa työvaiheelle, kun setitystä hyödynnettiin. Toisaalta tutkimuksessa huomattiin, ettei säästetylle ajalle tuotettu lisäarvoa, eli työntekijät eivät hyödyntäneet materiaalin keräilyä säästettyä aikaa muihin arvoa tuottaviin töihin.

Tetik ym. (2021) ovat todenneet tuotteiden setityksen olevan tehokas tapa järjestellä täsmätoimituksia (JIT). Tutkimuksessa on huomattu setityksellä olevan vaikutusta työn suorittamiseen ja työmaalla tapahtuvan johtamisen tarpeisiin (Tetik ym. 2021). Tutkimuksen löydökset ovat osoittaneet, että setitys voi pienentää vaihtelua kokoonpanevasssa työssä ja lisätä tahtityöalueen käyttöastetta ja työn tuottavuutta rakennustyömaalla (Tetik ym. 2021). Setityksestä saatavat hyödyt edellyttävät kuitenkin keskitettyä materiaalilogistiikkaa, sujuvaa tiedonvirtausta operaatioiden välillä ja aliurakoitsijoiden sitoutumista tuotantomalliin (Tetik ym. 2021). Tetik ym. (2021) osoittavat, että setitys tulisi kytkeä yleisen tuotantomallin uudelleensuunnitteluun, jotta päästään kohti synkronoitua tahtipohjaista tuotantojärjestelmää.

2.3.2 Tuotetoimitusketjun virtaus

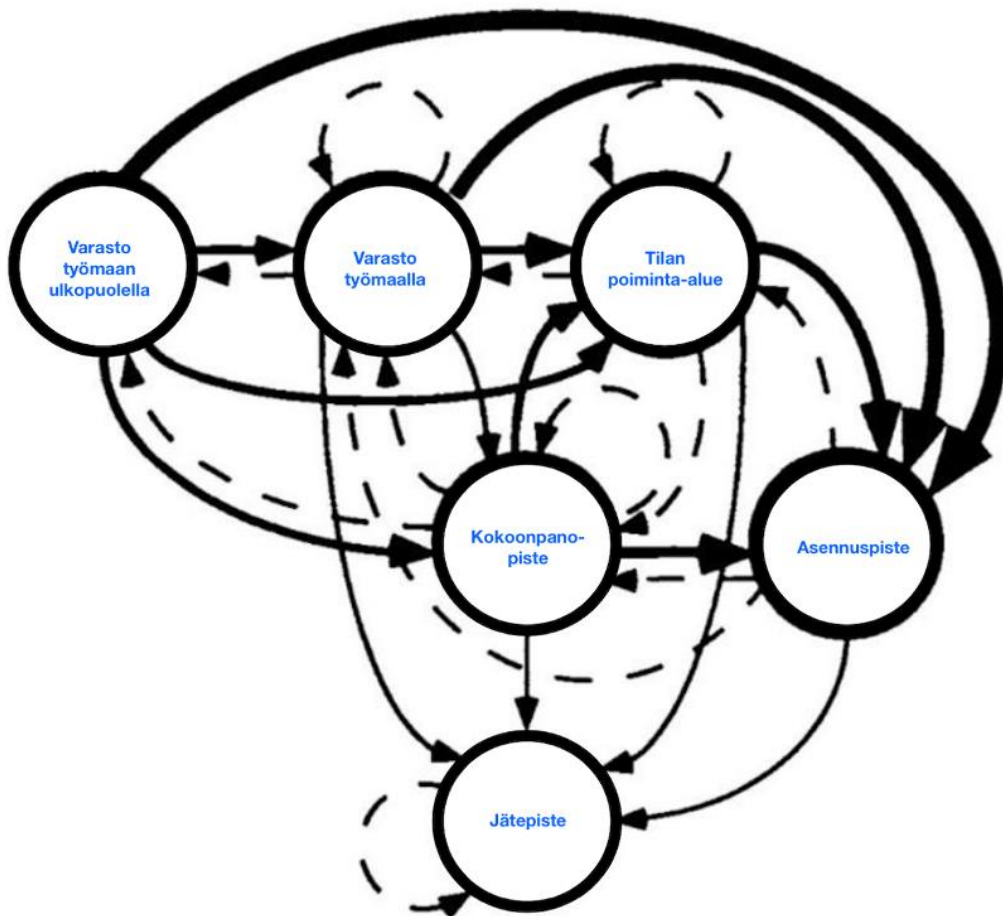
Materiaalivirtaus tukee tahtituotantoa. Rakennusalalla materiaalien varastointi ja käsittely ovat olleet prosesseina selvästi tehottomia jo pidemmän aikaa (Tommelein 1994). Tuotetoimituksen myöhästymisen on havaittu olevan yksi suurimmista syistä rakennushankkeen myöhästymiselle (Assaf ja Al-Hejji 2006). Kun työvaihe myöhästyy myöhästyneen tuotetoimituksen takia, vaikuttaa se seuraaviin työvaiheisiin niitä myöhästyttävästi, ellei ongelmaa ratkaista (Vrijhoef ja Koskela 2000). Yksityiskohtaiset tuotetoimitusten suunnitellut aikataulut, niiden hyödyntäminen, työmaalla välivarastointi ja

sujuvat säännölliset materiaalivirrat parantavat työmaalla tapahtuvan työn tuottavuutta (Banik 1999).

Thunberg ym. (2017) määrittelevät tuotetoimitusketjuissa esiintyvän keskeisiä ongelmia; 1. toimitusten suunnitelluissa ajankohdissa verrattuna tosiasiallisesti toteutuneisiin (prosessin varianssi), 2. materiaalivirtauksen suunnittelussa ja 3. tiedonkulussa. Noin 70 prosenttia rakennushankkeen kustannuksista syntyy muualla kuin itse rakennustyömaalla tehtävistä rakennustöistä (Rakennusteollisuus 2009). Muun muassa materiaalien hankinta ja niiden toimittaminen rakennustyömaalle vaikuttavat merkittävästi rakennushankkeen tuottavuuteen ja kannattavuuteen (Rakennusteollisuus 2009). Lee (2004) toteaa materiaalinhallinnan kustannusten nousevan jopa yli 40 prosenttiin hankkeen kokonaiskustannuksista. Myös materiaalien kustannuksiin vaikuttaa huomattavasti materiaalinhallinnan tehottomuus. Vrijhoef ja Koskela (2000) ovat esittäneet tutkimuksessaan näiden kustannusten muodostavan jopa 50 prosenttia materiaalin hinnasta. Tutkimukset ovat ehdottaneet eri ratkaisuja rakennustyömaan tuotetoimitusten parantamiseksi, esimerkiksi terminaalien avulla (Hamzeh ym. 2007), täsmätoimituksilla (JIT) (Arbulu ja Ballard 2004, Hamzeh ym. 2007) ja materiaalipuskureilla (Caron ym. 1998).

Materiaalin varastoinnin ja käsittelyn tehottomuus johtuu usein epävarmuustekijöistä materiaalin virtauksessa, kun suunnitelmat on tehty hyvissä ajoin etukäteen, mutta ajantasaista tietoa ja ohjausta ei kyetä saamaan tai toteuttamaan työmaalla. Tehottomuuteen vaikuttaa myös se, kun tuotetoimitusketjun materiaaleja toimittavat ja käsittelevät useat eri ihmiset rakentamisprosessin eri osavaiheissa. Rakennustyömaan dynaaminen luonne rajoittaa sitä, missä määrin haalaustoimintaa voidaan suunnitella etupainotteisesti. Toisaalta olemassa olevien työkalujen kyvyttömyys kerätä ja päivittää ajantasaista tietoa työmaalta tuotetoimitusketjua hallitseville henkilöille luo epävarmuutta ja vaikuttaa sitä kautta myös virtauksen ylläpitämiseen. Täten ei ole olemassa tietoja, joita voisi hyödyntää haalauspaikan vaatimiin muutoksiin rakennusprosessin edetessä. (Tommelein 1994)

Kaavio 1 kuvaa materiaalien virtausta rakennustyömaan ja rakennustyömaan ulkopuolella sijaitsevan alueen välillä. Nuolten paksuudella pyritään kuvaamaan materiaalivirran toivottavuutta kokonaisvirtauksen parantamiseksi. Mitä paksumpi nuoli on, sitä tehokkaammin se vaikuttaa kokonaisvirtaukseen parantavasti. Materiaalivirtaa tulisi tarkastella kaavion reittien mukaisesti, jotta turhista materiaalivirtaukseen vaikuttavista siirroista päästäisiin eroon. Katkoviivanuolet ja silmukat ovat vähiten haluttuja reitityksiä kaikista, jotka indikoivat uudelleen käsittelyä eli hukkana pidettävää haalaustoimintaa. Jokainen ympyrä kuvaa toimintoa, joka toteutetaan tietyssä paikassa tietyn ajan kestoisesti, ja jossa paikka voi itsessään toteuttaa useita toimintoja. (Tommelein 1994, Tommelein ym. 2022)



Kaavio 1: Rakentamisen materiaalin virtauskaavio. (Mukailtu: Tommelein 1994)

Työmaalla sijaitsevan varaston (kaavio 1) käyttö on varattu pitkäkestoiseen käyttöön, vaikka siellä sijaitsevien materiaalien varastokiertoa yritetään pitää tehokkaana, jotta yksittäinen tuote ei ole varastossa pitkää aikaa. Jokaisella työmaan varastolla on yleensä olemassa tietyt ominaispiirteet, esimerkiksi varastossa säilötään tietyn alihankkijan tuotteita tai siellä sijaitsevat tuotteet kuuluvat samaan tuotekategoriaan tai samaan työvaiheeseen. (Tommelein 1994)

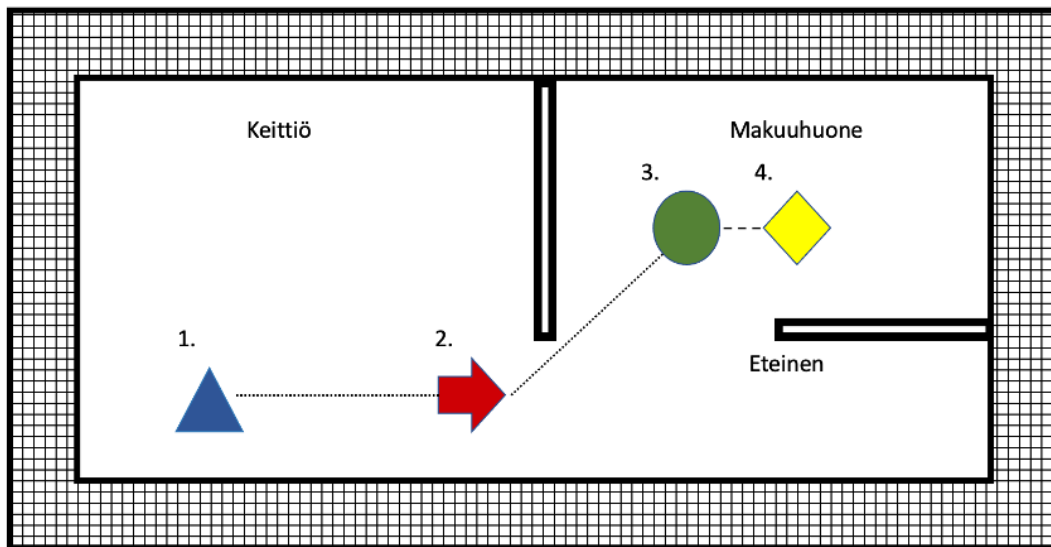
Tilan poiminta-alue on työmaalla sijaitsevasta varastosta poiketen määrätty vain lyhytaikaiseen käyttöön ja säilytykseen. Tätä aluetta joudutaan usein koordinoimaan monien eri osapuolten toimesta. Poiminta-alueella tapahtuu muunnosprosessia, joista yksinkertaisimpana on pakkauksen vaihto; esimerkiksi tuotteiden ottaminen yksi kerrallaan pois lavalta. (Tommelein 1994)

Kokoonpanopiste kaaviossa 1 kuvaa sijaintia, jossa tuoteyksiköt kootaan yhteen suuremmiksi asennettaviksi osatuotteiksi. Tuotteet voidaan tuoda suoraan työmaan ulkopuolelta, haalauspaikasta, esivalmistusalueelta tai

kokoonpanoalueelta asennettavaksi niiden viimeiselle sijainnilleen (asennuspiste kaaviossa 1). (Tommelein 1994)

Muunnosprosessit kussakin edellä mainitussa sijainnissa voivat synnyttää jätettä, joka on vietävä hävitettäväksi jätepisteeseen, esimerkiksi kerroskoh-
taiseen jäteastiaan tai pihalle jätteiden koontiastiaan. On tärkeää huomioida, että mikä tahansa kaavion toiminto voi sijaita samassa fyysisessä paikassa. Tommelein (1994) toteaa useiden toimintojen hyödyntämisen samalla sijainnilla näyttävän kuitenkin ei-toivotulta materiaalin virtauksen optimoinnin kannalta, koska materiaalien ei haluta seisovan samalla sijainnilla pitkään. Sijaintipaikkojen muuttumattomuudesta voi aiheutua työntekijöiden lyhytaikaisen haalaustoiminnan lisääntymää ja riski materiaalien pakkautumiseen rakennustyötoimien hankaloittamiseksi kasvaa (Tommelein 1994). Bølviken ym. (2014) näkevätkin työryhmän virtaukseen vaikuttavan heikentävästi pääasiassa työntekijöiden tarpeettomat liikkumiset rakennustyömaalla yhdessä tarpeettoman työn teon ja odottamisen kanssa. Tämä aiheuttaa työntekijän kannalta työn katkonaisuutta, kun hän joutuu odottamaan päätökseen sijaintiin toteuttamaan oman työvaiheensa (Bølviken ym. 2014).

Alves ja Formoso (2000) esittävät tutkimuksessaan materiaalin virtauksen huoneiston sisällä (kuva 9). Tommelein (1994) on tutkimuksessaan sanallisesti kuvaillut samantapaista virtausta. Sijainti yksi (1) kuvaa materiaalia huoneistoon tuotuna valmiina käytettäväksi kaavion seuraaviin vaiheisiin. Tommelein (1994) kuvaa samaista sijaintia tilan poiminta-alueena. Numero kaksi (2) (nuoli) kuvastaa kaaviossa työntekijöiden toteuttamaa haalaustyötä poiminta-alueelta kokoonpanopisteelle (Alves ja Formoso 2000, Tommelein 1994). Kolmantena (3) on materiaalin tai tuotteen kokoonpanopiste, jossa yksiköt kasataan suuremmaksi kokonaisuudeksi ennen sijainnissa neljä (4) tapahtuvaa asennustoimea (asennuspiste) (Alves ja Formoso 2000, Tommelein 1994). Alves ja Formoso (2000) ovat selvästi esittäneet tutkimuksessaan varastoinnin mahdollisuuden huoneistojen tyhjillä oleviin tiloihin. Esimerkiksi kiintokalusteasennuksissa toteutuu kaavion kaksi (2) mukainen materiaalikulku huoneistossa.



Kuva 9: Materiaalin virtaus huoneistossa. (Mukailtu: Alves ja Formoso 2000)

Salagnacin ja Yacinen (1999) mukaan rakennustyömaan logistiikka tarkoittaa materiaalivirtojen ja tietovirtojen hallintaa ja niiden ohjausta. Logistiikan toimilla oikeiden tuotteiden toimittaminen oikea-aikaisesti oikeisiin sijainteihin rakennustyömaalla on erittäin tärkeää (Tetik ym. 2021, Sullivan ym. 2011, Salagnac ja Yacine 1999). Onnistuminen mahdollistetaan resurssien saatavuudella toimitusketjun seuraavalle käyttäjälle siinä ajassa, jossa tiedon ja resurssien saaminen on välttämätöntä (Tetik ym. 2021, Sullivan ym. 2011). Salagnac ja Yacine (1999) tuovat esiin ideaalitulanteen tehdasteollisuudesta, missä toimitetut tuotteet saataisiin heti otettua käyttöön niiden työvaiheessa. Kuitenkaan rakennusteollisuudessa vastaava tilanne ei ole usein mahdollinen (Salagnac ja Yacine 1999).

2.3.3 Tuotetoimitukset ja tietovirrat

Tietoa materiaalien saatavuudesta tarvitaan tuotetoimitusten suunnitteluun ja niiden tilaukseen (Ala-Risku ja Kärkkäinen 2006). Oikean tuotemäärän tilaamiseen oikea-aikaisesti liittyy kuitenkin hankaluuksia, joka johtuu usein puutteellisesta tiedosta materiaalin saatavuudesta ja aikataulumuutosten vaatimista lyhyistä reagointiajoista (Tetik ym. 2021). Tiedon virtauksen edistämiseksi logistiikan suunnittelussa ja toteutuksessa (Tetik ym. 2021) on ehdotettu hyödynnettävän muun muassa rakennuksen tietomallia (Building Information Model, BIM) (Said ja El-Rayes 2013, Said ja El-Rayes 2014, Bortolini ym. 2015), simulaation ja optimisoinnin työkaluja (Voigtmann ja Bargstädt 2010, Said ja El-Rayes 2013, Said ja El-Rayes 2014) ja verkkoon pohjautuvia järjestelmiä (Elfving ym. 2010, Arbulu ym. 2005).

Teollisuudessa käytössä olevat tietojärjestelmät toimivat prosessiteollisuudessa tehokkaana tapana hyödyntää suurta määrää tietoa erilaisissa

tietojärjestelmissä, kuten materiaalinhallintajärjestelmässä (Seilonen 2003). Nämä järjestelmät mahdollistavat tehokkaan tavan koota, hallita ja esittää tuotetietoa (Koskinen 2003). Tärkeintä on tehdä järjestelmä käyttäjäkunnalleen sopivaksi, eikä sisällyttää siihen kaikkia eri ominaisuuksia, joista osalle ei ole käyttöä. Materiaalinhallintajärjestelmän avulla materiaalinvirroista analysoitu tieto on tallessa niin, että eri käyttäjien tietotarpeet voidaan täyttää. Tiedon tallentamisessa ei ole havaittu olevan juurikaan arvoa, vaan arvo syntyy tiedon esittämisestä tiedon käyttäjälle selkeästi ja ymmärrettävästi. Materiaalinhallintajärjestelmien voidaan todeta parantavan huomattavasti tehdasteollisuuden tuotannon kykyä älykkyyden rakentamiseen ja operaattorien kykyä tuotannon hallitsemiseen (Wolski ym. 1999).

Rakennustyömaan logistiikan hallinta kuuluu tärkeänä osana rakentamishankkeisiin ja tahtituotannon soveltamisen edellytyksiin. Vatne ja Drevland (2016) ovat todenneet tutkimuksessaan toimivan logistiikan olevan olennaista tahtisuunnitelman onnistumisen kannalta. Tahtisuunnitelman mukaan toteutettavaa logistiikkaa voidaan kutsua tahtilogistiikaksi. Tahtilogistiikalle on suunniteltava ja määritettävä toimituspisteet ja palautuville materiaaleille ja jätteelle on suunniteltava ja määritettävä noutopisteet (Heinonen ja Seppänen 2016).

Tutkimuksissa on havaittu logistiikan olevan merkittävässä roolissa tahtityömaalla työvaiheiden virtauksessa ja toiminnassa (Heinonen ja Seppänen 2016, Kajander 2021, Seppänen 2022). Täsmällistä logistiikkaa on tärkeää hallita ja suunnitella, jotta rakentamisessa kyetään toteuttamaan tahtituotantoa (Oinas 2022). Toimitukset on suunniteltava ja niitä on ohjattava erityisen tarkasti, mikäli niihin liittyy rakentamisvaiheen kriittisiä tuotteita tai toteutuksessa, esimerkiksi rakennuspaikassa, on muita erityisrajoituksia (Koski ym. 2009). Tompuri ja Mölsä (2019) ovat todenneet, että tahtituotannon logistiikassa on vielä paljon kehitettävää.

Rakennustyömaan tuotetoimituksen suunnittelun ja ohjauksen avulla varmistetaan, että työmaalla tarvittavat rakennusosat saadaan sinne oikea-aikaisesti, oikean määräisenä, pienin kustannuksin ja sopivina toimituserinä. Tärkeänä voidaan nähdä oikea-aikaisuuden rinnalla tuotteiden varastointi ja haalaustoiminta, jotta tuote pysyy alkuperäisessä kunnossaan ja toimituksissa vältytään materiaalihukalta. Logistiikkasuunnittelu tulee aloittaa jo hyvissä ajoin suunnittelu- ja hankintavaiheessa ja se jatkuu hankkeen rakentamistoimien sekä siihen liittyvien tuotetoimitusten läpi. Työmaavaiheessa päivittäistä logistiikkaa ohjaa työnjohto tai työmaalle nimetty logistiikka-koordinaattori. (Koski ym. 2009)

Tuotetoimitusten järjestykset ja toimitusreitit (kohteeseen ja pois kohteesta) tulee huomioida tahtilogistiikan suunnittelussa. Heinonen ja Seppänen (2016) osoittavat juuri ajallaan toimitettavien (just-in-time, JIT) tuotteiden tahtiaikataulun perusteella tehtävän aikataulutuksen olevan olennaista. Mikäli rakennustyömaalla ei ole tilaa varastoida tarvittavia materiaaleja,

täsmätoimituksia (JIT) on syytä hyödyntää (Heinonen ja Seppänen 2016). Täsmä-toimitukset vähentävät tarvetta tuotteiden varastoinnille rakennustyömaalla (Jaillon ja Poon 2014) ja kasvattavat toimituksen laatua ja tehokkuutta (Pheng ja Hui 1999).

Myös tuotetoimitusten hankintamenettelyn suunnittelu korostuu. Tetik ym. (2021) ovat esittäneet huomiona aliurakoitsijoiden vastuun materiaalinhankinnasta tekevän logistiikan johtamisesta rakennustyömaalla kompleksisen tehtävän. Hankintamenettelyn valintaan voidaan nähdä vaikuttavan yrityksen sisäisen hankintapolitiikan lisäksi rakennettava kohde, tilaajan vaatimukset ja markkinatilanne (Koski ym. 2009). Koski ym. (2009) toteavat pääurakoitsijan velvollisuuden osallistua aliurakoitsijan tuotetoimituksen päätöksentekoon ja toteutuksen valvontaan, mutta avoimeksi jää, miten suunnittelu ja toteutus tulisi hoitaa yhteistoimintana pääurakoitsijan ja aliurakoitsijan välillä.

Kaikkia työmaalla tapahtuvia tilanteita ei kuitenkaan voida ottaa huomioon ennakkosuunnitelmilla, joten työnjohdon täytyy luoda haalaussuunnitelmat karkeammalla tasolla, ottaen huomioon suurimmat ja staattisimmat resurssit muun muassa kulkureitit, pysäköintialueet ja suurimmat laitteistot, joiden oletetaan pysyvän muuttumattomina rakennusvaiheiden aikana (Tommelein 1994). Heinonen ja Seppänen (2016) ovat todenneet tutkimuksessaan ongelmallisuuden erityisesti alihankkijoiden materiaalihankinnoilla, jolloin tuotetoimitusketjun ohjaustoimet tulevat haastavammiksi eri urakalajien toimitusten kesken.

Kosken ym. (2009) mukaan hyvin suunniteltujen ja ohjattujen tuotetoimitusten ansiosta rakennustyömaan häiriökustannukset vähenevät, tuottavuus kasvaa ja materiaalin toimituskustannukset ja varastointikustannukset alenevat. Junnonen ja Kankainen (2012) ovat todenneet logistiikan suunnittelun yhdeksi tärkeäksi tavoitteeksi oikea-aikaisuuden ja kustannustehokkuuden saavuttamisen. Mikäli suunnittelu ja ohjaustoimet ovat vajavaisia, saattaa tuotetoimituksiin syntyä viivästyksiä ja hukkaa. Tuotetoimitusten viivästyminen voivat aiheuttaa seuraavan työvaiheen olennaista myöhästymistä työvaiheen aloitusedellytysten jäämättä täyttymättä (Vatne ja Drevland 2016). Materiaalitoimittajan toimitusvarmuuden ja oikea-aikaisuuden merkitykset kasvavatkin olennaisesti, mitä tiukempaa tahtituotantoa pyritään rakennustyömaalla toteuttamaan (Vatne ja Drevland 2016).

Rakennustyössä tapahtuva työaikainen liikkuminen aiheuttaa hukkaa, jota voidaan vähentää tahtityöalueen kokoa pienentämällä. Logistiikan kehittäminen tahtityön rinnalle tahtilogistiikaksi niin, että tarvittavat materiaalit ovat tahtialueella oikea-aikaisesti ja oikean määräisesti saatavilla, vähentää työntekijöiden aikaa turhaan liikkumiseen ja materiaalien etsimiseen rakennustyömaalla. (Tetik ym. 2019) Työntekijöiden liikkuminen lisää hukkaa noutaessaan tarvitsemiaan materiaaleja ja tarvikkeita. (Tompuri ja Mölsä 2019).

Rakennushankkeen logistiikkaratkaisuilla voidaan todeta olevan merkittävä vaikutus hankkeen materiaalipuskureihin. Materiaalipuskureilla varmistetaan tuotteiden saatavuus silloin, kun työvaihe niitä tarvitsee. Nämä puskurit voidaan nähdä osittain välttämättöminä johtuen rakennushankkeiden kompleksisuudesta ja sen aiheuttamasta vaihtelusta. Toisaalta puskurit lisäävät aina hankkeen kustannuksia, joita olisi syytä välttää. (Hamzeh ym. 2007)

Tahdin pituudella on todettu olevan olennaista vaikutusta tahdissa toteutettavaan logistiikkaan. Mitä lyhyemmäksi tahtiaika on määritelty, sitä tarkemmin materiaalitoimitukset tulee suunnitella ja toteuttaa (Heinonen ja Seppänen 2016). Heinonen ja Seppänen (2016) ovat tuoneet esiin ajatuksen yksittäisten vaunujen lisäämisestä tahtiaikatauluun tuotetoimituksille, kun tahtiaikataulu viedään tuntitasolle.

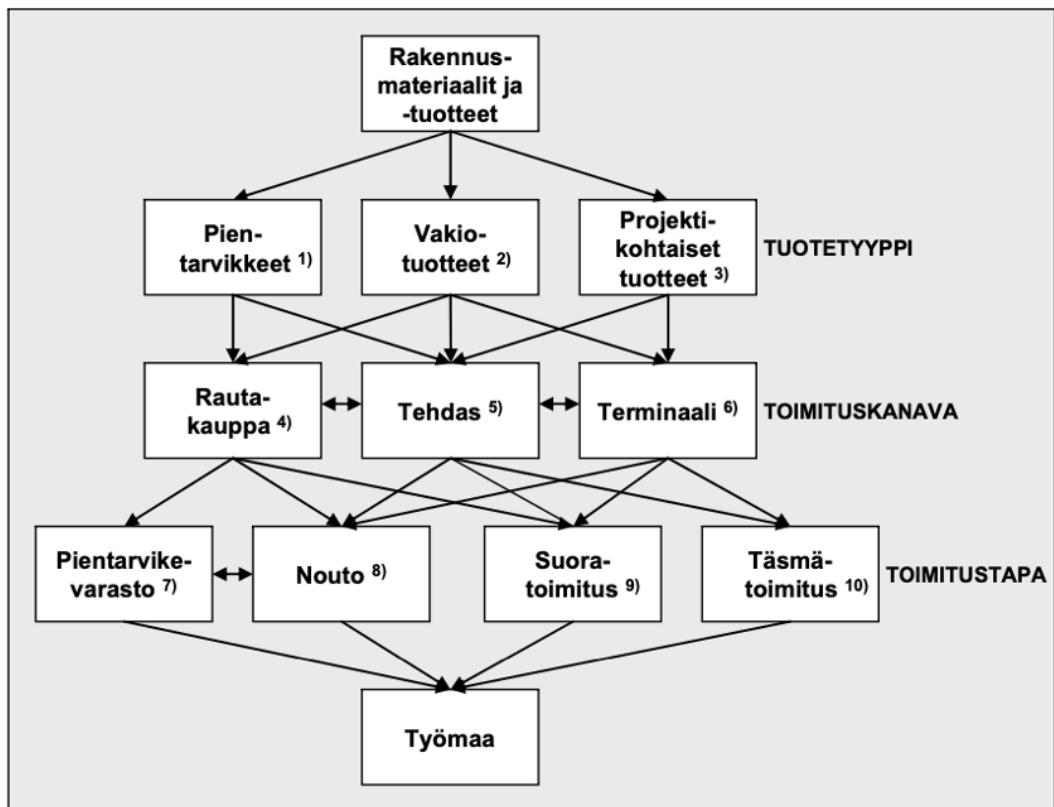
Rakennusalalla on nykyään valittavissa työmaan tarpeiden mukaisia toimitusvaihtoehtoja. Tuotteet voidaan ottaa perinteisesti työmaalle suoratoimituksena tai tuotteet voidaan ottaa terminaaliin, josta ne toimitetaan oikea-aikaisesti (täsmätoimituksina) terminaalitoimituksina työmaalle, mahdollisesti setitettynä ja merkittyinä kerroksittain tai työkohteittain sopivan suuruisiksi kokonaisuuksiksi virtauksen edistämiseksi. Koski ym. (2009) ovat todenneet toimitusten suunnittelun ja ohjauksen tärkeyden ymmärtämisen olevan keskiössä siinä, kuinka hyvin tai huonosti logistiikka työmaalla tulee rakennushankkeessa onnistumaan. Epätasälliset toimitussopimukset, puutteellinen suunnittelu ja ongelmat toimitusten valvonnassa kulminoituvat rakentamisen aikana. Edellä mainittu ongelmallisuus aiheuttaa tyypillisesti virtausta haittaavia seurauksia rakennustyömaalle. Näitä seurauksia voivat olla viivästyneen toimituksen aiheuttama työvaiheen viivästyminen, tuotteen vaurioituminen virheellisen varastoinnin (usein ulkotila tai kylmätila) yhteydessä, ylimääräiset työmaalla tapahtuvat haalaukset, työnjohdon tai muun työmaahenkilöstön ajan kulumisen ongelmien ratkaisemiseksi ja ylimääräiset kustannukset hankkeelle. (Koski ym. 2009)

Hamzeh ym. (2007) ovat maininneet logistiikkakeskukset välivarastoinnin ratkaisuna, jota kyetään hyödyntämään enenevässä määrin teknologian ja toimitusketjun hallinnan kehittyessä. Logistiikkakeskukset helpottavat hankkeen tuotetoimitusketjun hallintaa optimoimaan materiaalivirtoja, jotta ne vastaisivat paremmin hankkeen oikeaa materiaalitarvetta. Hamzeh ym. (2007) ovat todenneet hankkeen kokonaiskustannuksien mahdollisesti laskevan, kun logistiikkakeskusta hyödynnetään rakentamisen tukitoimintona. Palolahden ja Sahlstedtin (2010) mukaan logistiikkakeskuksen käyttökustannuksia siitä saavutettaviin hyötyihin nähden ei olla vielä saatu tarpeeksi läpinäkyväksi, jotta osattaisiin arvioida logistiikkakeskuksen käytön kannattavuutta. Tämä johtunee siitä, että kustannukset ja hyödyt jakautuvat eri hankkeille ja sidosryhmille logistiikkakeskusta hyödynnettäessä verrattuna tavarantoimittajan suoratoimitukseen. Selvää on kuitenkin, että

toimitusvarmuus paranee huomattavasti hyödynnettäessä logistiikkakeskuksia rakennustyömaan tuotetoimituksissa. (Palolahti ja Sahlstedt 2010)

Kolmannen osapuolen tuottamia logistiikkapalveluita (logistiikkakumppani) voidaan hyödyntää tuotetoimituksissa, mikä voi vaikuttaa rakennustyöntekijöiden kokonaistyömäärään positiivisesti (Ekeskär ja Rudberg 2016). Koski ym. (2009) mainitsevat logistiikkakeskuksesta käytettävän toisinaan myös nimitystä terminaali. Terminaali toimii välivarastona tuotevalmistajien, tavarantoimittajien ja urakoitsijan välillä. Yhtenä erityispiirteenä terminaali mahdollistaa tuotteiden uudelleen merkitsemisen, uudelleen setityksen ja täsmätoimitukset rakennustyömaalle. (Koski ym. 2009) Logistiikkakeskus toimii puskurina (välivarastona) tuotteille, joilla on esimerkiksi toimitusaikei-veitä tai muuten toimitusvarmuus tuotetoimittajalla ei ole tarpeeksi luotettavaa suhteessa rakennustuotantoon. Yrityksen kannattaa yhdistellä eri projektin tarpeita saman logistiikkakeskuksen sisään, jolloin varastointitilaa ja tästä aiheutuvia kustannuksia säästyy (Hamzed ym. 2007). Hamzed ym. (2007) ovat maininneet tietovirran kulun materiaalitärkeistä ja ajankohdasta helpottuvan ja nopeutuvan, kun logistiikkakeskusta hyödynnetään.

Rakentamisessa toimitusvaihtoehdot rakennusmateriaaleille ja -tuotteille voidaan jaotella kaavion 2 osoittamalla tavalla tuotetyypin, toimituskanavan ja toimitustavan mukaan. Tuotetoimitusketjussa tuotteet voidaan hankkia joko omina hankintoina tai vaihtoehtoisesti tuotteet voivat sisältyä solmittuun sopimukseen aliurakoitsijan kanssa aliurakoitsijan hankittaviksi. (Koski ym. 2009)



Kaavio 2: Toimitusten jaottelu tuotetyypin, toimituskanavan ja toimitustavan mukaan. (Koski ym. 2009)

Tuotteet eli hankkeen rakennusmateriaali voidaan jakaa tuotetyypeittäin pientarvikkeisiin, vakiotuotteisiin ja projektikohtaisiin tuotteisiin. Kaaviosta voidaan nähdä, että rakennustyömailla käytetään kolmea eri toimituskanavaa: rautakauppaa, tehdasta ja terminaalia. Toimitustapana työmaalle valitaan toimituksen työvaiheen ominaisuuksille ja työmaan vallitseville olosuhteille sopiva vaihtoehto. Toimitustapana voidaan toimittaa pientarvikevarastoon, suora-toimituksena tai täsmätoimituksena. Toimitustapoihin voidaan lukea kuuluvaksi myös nouto tuotetoimittajan ilmoittamasta sijainnista. (Koski ym. 2009)

Alla esitetään Kosken ym. (2009) mukaisesti kaavion 2 tuotetyypit, toimituskanavat ja toimitustavat.

- 1) **Pientarvikkeet** ovat tuotteita, joiden menekkiä ja tarveajankohtaa ei normaalisti suunnitella tarkasti ennalta, vaan ne joko noudetaan rautakaupasta tai työmaan pientarvikevarastosta. Esimerkiksi erikoiskiinnikkeet suunnitellaan ja tilataan rakennuskohteen vaatimusten mukaisesti.
- 2) **Vakiotuotteet (MTS)** ovat tehtaan tai maahantuojan tuotteita, joiden ominaisuuksia ei muuteta yksittäistä kohdetta varten. Vakiotuotteet jakaantuvat kahteen ryhmään: varastoon toimitettavat tuotteet

(esimerkiksi laminaatit ja parketit) ja tilauksesta toimitettavat tuotteet (esimerkiksi väliovet).

- 3) **Projektikohtaiset tuotteet (ETO)** suunnitellaan ja valmistetaan tiettyyn kohteeseen. Tyypillisiä projektikohtaisia tuotteita ovat tarkemitatut kiintokalusteet.
- 4) **Rautakauppa** on vähittäiskauppa, josta sekä yritys- että yksityisasiakkaat hankkivat rakennustuotteita.
- 5) **Tehdas** on rakennusmateriaaleja tai -tuotteita valmistava tuotantolaitos.
- 6) **Terminaali** eli logistiikkakeskus on materiaalien käsittely-yksikkö, johon rautakauppa, tukkuliikkeet, maahantuojat ja tehtaot toimittavat tuotteita välivarastoitavaksi ja toimitettavaksi edelleen työmaille haluttuina erinä ja ajankohtina. Terminaalipalveluja ovat muun muassa tuotteiden kokoonpano, erilaiset käsittelyt, uudelleen pakkaaminen ja setitys. Terminaalipalveluja tuottavat tähän erikoistuneet logistiikkayritykset ja esimerkiksi rautakauppakettajien logistiikkayksiköt.
- 7) **Pientarvikevarasto** on työmaalla sijaitseva varasto, jonka ylläpidosta vastaa työmaa tai sopimuskumppanina toimiva rautakauppa tai muu tarvintoimittaja.
- 8) **Nouto** on työmaahenkilöstön tekemä tuotehaku rautakaupasta tai muulta toimittajalta.
- 9) **Suoratoimitus** on rautakaupasta, tehtaalta tai terminaalista lähtenyt toimitus, jonka tarkkaa toimituskohdetta (esimerkiksi huoneisto) ei välttämättä ole sovittu.
- 10) **Täsmätoimituksessa** toimitusajankohta tai aikaikkuna toimitukselle on sovittu tarkasti. Lisäksi täsmätoimituksessa tuotteet on usein pakattu ja merkitty rajatun toimituskohteen (esimerkiksi huoneisto) edellyttämällä tavalla. Täsmätoimitukset lähtevät joko terminaalista tai tehtaalta. Täsmätoimitusta ei ole määritelty yksiselitteisesti, vaan se ymmärretään yrityksissä ja asian kontekstissa eri tavalla.

2.4 Johtopäätökset aiemmasta tutkimuksesta

Kirjallisuuskatsauksessa on havaittu tahtituotannosta ja sen tehostamismenetelmistä olevan verrattain paljon aiempaa tutkimustietoa. Aiemmissä tutkimuksissa ei juurikaan ole käsitelty tuotetoimitusten ja logistiikan ratkaisujen riippuvuutta tahtiajan määrittämiseen. Vaikka rakennustyömaalla varastoinnista on aiempaa tutkimustietoa, ja sitä on osittain myös tarkasteltu suhteessa tahtituotannon virtaukseen ja varastoinnin vaikuttamista

tuottavuuden hukkaan, ei tuotteiden varastoinnin viemää tilaa ole tarkasteltu tahtituotannon viitekehysessä.

Rakennustyömaan logistiikkaa ja sen toimivuutta rakennusprojektissa, tuotteiden toimituskanavia ja tuotteiden toimitustapoja on tutkittu aiemmissa tutkimuksissa. Kirjallisuudesta on löydettävissä viitteitä tahtituotannon tarvitsemiin täsmätoimituksiin (JIT) sekä varastoinnin puskureihin. Toisaalta kantaa ei ole otettu aiemmassa tutkimustiedossa tuotetoimitusten toimitusajankohdista tai määristä. Tässä tutkimuksessa keskityn tarkastelemaan ja löytämään tahtituotantoa tukevia ajankohtia tuotetoimituksille ja tuotetoimitusten sopivia eräkokoja tuotannon virtauksen tukemiseksi.

Rakennusalan tuottavuuskehitys on jo pitkän aikaa seisonut paikallaan ja siihen on yritetty löytää ratkaisua Lean-rakentamisesta kumpuavalla hukan eliminoinnilla ja jatkuvan parantamisen metodeilla (Koskela ym. 2009). Bølvikenin ja Koskelan (2016) mukaan ala ei ole kuitenkaan tarvittavin keinoin keskittynyt tuottavuuden parantamiseen hukan poistamiseksi. Aikaisemmat tutkimukset osoittavat rakentamisen hukan vähentyvän keskittymällä vahvemmin tahtimenetelmien tavoitteisiin (Fransson ym. 2013, Kujansuu ym. 2020). Erityisesti virtausta on korostettu alan tutkimuksissa tärkeänä tekijänä mahdollistaa arvon tuottaminen rakennushankkeissa (Lehtovaara 2022, Salerto 2019).

Rakennushankkeiden tuottavuutta on kasvatettu alueiden tasaisella virtauksella mahdollisimman pienillä aikataulupuskureilla ja häiriöiden minimoimisella (mm. Fransson ym. 2013, Binniger ym. 2018, Lehtovaara ym. 2019, Heinonen ja Seppänen 2016). Virtauksen peruspilarit pohjautuvat työvaiheiden etenemisen toteuttamiseen hallitusti resurssikuormituksen pysyessä tasaisena ja keskeneräistä työtä välttämällä (Tompuri ja Mölsä 2019). Virtaukseen vaikuttaa keskeisesti vaihtelu ja hukan vähentämisen toteuttamiseksi vaihtelun tulee vähentyä, jotta tehokas virtaus eli asioiden liike on tasaista ja ennakoitavaa (Lehtovaara 2022).

Tahtituotannon tuottavuuden parantamiseksi on ehdotettu prosessien vakioidusta projektiliiketoiminnan viemiseksi kohti prosessiliiketoimintaa (Heinonen ja Seppänen 2016, Oinas 2022). Tähän vaihtoehtona on esitetty muun muassa tehdasteollisuudesta mallinottoa ja tilaus-toimitusketjun tiedonhallinnan parantamista esimerkiksi tuotetietoa lisäämällä (Hamzed ym. 2007, Lehtovaara ym. 2019, Oinas 2022). Aikaisempi tutkimusaineisto ei ole kuitenkaan tarkastellut, mitä tietoa on tällä hetkellä tosiasiallisesti tuotetoimitusketjujen sidosryhmillä saatavilla, ja miten tietoa ohjataan ja johdetaan. Tämän tutkimuksen empiirisessä osiossa luon näkemystä nykyisen projektiliiketoiminnan heikkouksista ja saatavilla olevasta tai saatavilla olemattomasta datasta.

Virtaustehokkuus materiaalien ja työntekijöiden liikkeen oikea-aikaisuutena on nähty ratkaisuna hankkeen tuottavuuden maksimoimisessa (Koskela

2000). Rakentamisen virtaustehokkuus parantaa hankkeen tuottavuutta ja vähentää hankkeen läpimenoaikaa (Koskela 2000). Virtaustehokkuutta parantamalla on onnistuttu saavuttamaan erinomaisia tuloksia muun muassa Fira Rakennus Oy:n yksittäisissä hankkeissa, ja läpimenoajan lyhentyessä on saatu huomattavia taloudellisia vaikutuksia aikaan.

Tahtituotannon läpimenoajan lyhentämisen saavuttamiseksi on tarkoituksenmukaista jakaa kerros pienempiin tahtialueisiin ja näin saada työryhmä virtaamaan myös kerroksen sisäisesti (Haghsheno ym. 2016, Faloughi ym. 2015). Aiemmissä tutkimuksissa on todettu tärkeäksi selvittää, mitkä tekijät rajoittavat tahtityöalueiden koon määrittäystä (Binninger ym. 2018, Heinonen ja Seppänen 2016, Frandson ja Tommelein 2014). Alan tutkimuksissa on kuitenkin vielä selvittämättä tarkemmin tahtialueen kokoon vaikuttavia tekijöitä ja niiden muodostumista. Tutkimuksen empiirisessä osiossa selvitän hankkeen eri tekijöitä, jotka vaikuttavat tahtialueen koon määrittäykseen ja koon synnyttämiin etuihin tai haittoihin rakennushankkeen eri vaiheissa.

Tahtituotannon virtausta voidaan kuvata sijainneissa etenevillä vaunuilla, jotka kuvaavat työvaiheiden työryhmien etenemistä (Haghsheno ym. 2016). Tahtilogistiikan suhdetta hallittavaan prosessivirtaukseen on aiemmissä tutkimuksissa pidetty tärkeänä, vaikka tavarantoimituksia rajoittavien toimitusaikaikkunoiden tarkastelu onkin jäänyt vähemmälle osalle (Tommelein ym. 2022, Haghsheno ym. 2016). Materiaalien virtausta eli liikettä rakennustyömaan alueella on kuvattu aiemmissä tutkimuksissa (mm. Tommelein 1998, Tommelein ym. 2022) ja suurimpia materiaalien virtaukseen vaikuttavia tekijöitä on havaittu olevan vaihtelun toteutuminen ja resurssisuunnittelu (Alves ja Formoso 2000). Alves ja Formoso (2000) ovat havainneet tutkimuksessaan liian pienten toimituseräkokojen vaikuttavan negatiivisesti materiaalien virtaukseen. Tämän tutkimuksen empiirisessä osiossa kiinnitetään erityistä huomiota siihen, kuinka eräkoot tulisi optimoida suhteessa tahtiaikaan ja -alueeseen. Materiaalin virtausta huoneistossa, logistiikan suunnittelua, toimitusvaihtoehtoja ja niiden häiriöitä kartoitetaan tapaustutkimuksen ja haastatteluiden avulla, jotta rakentamisessa päästäisiin tulevaisuudessa lyhyempiin läpimenoaikoihin, ja sitä kautta rakentamisen tuottavuuden kasvuun.

Materiaalien puuttumisen työmaalta on todettu olevan ajallisesti mitattuna yksi suurimmista viivästyksien aiheuttajista (Ng ym. 2004). Toisaalta useat tutkimukset (mm. Frandson ym. 2015, Koskela 2004) ovat esittäneet materiaalipuskureiden aiheuttavan hukkaa rakennustyömaalla. Aikaisemmissä tutkimuksissa ei ole kuitenkaan otettu huomioon, milloin rakennusmateriaalien (tuotteiden) tulisi olla saatavilla työmaalla, mikäli hukkaa halutaan vähentää varastoimalla vähemmän materiaalia tuotantoalueiden välivarastoihin.

Sisävalmistusvaiheen tuotetoimitusten tuominen rakennustyömaalle materiaalipuskureiksi on nähty alalla mahdollisuudeksi tukea läpimenoajan

lyhentämisen tavoitteita, jotta päästään haluttuun tahtiaikaan (Oinas 2022). Välivarastoinnin materiaalipuskureiden (hukan) ja työn odottamisen (hukan) suhdetta ei ole aiemmin määritetty alan tutkimuksissa. Tämän tutkimuksen empiirisessä osiossa halutaan luoda ymmärrys ja löytää optimaalisimmat tuotetoimitusvaihtoehdot tahtituotannon läpimenoajan lyhentämisen tukemiseksi.

Tuotetoimitusketjuilla on todettu olevan vahva kytkös tahtituotantoprosessin tahtialueeseen, tahtiaikaan ja niissä toteutettavaan työvaiheeseen (Lehtovaara ym. 2021). Aikaisempi tutkimusaineisto osoittaa kuitenkin rakennusalalla materiaalien varastoinnin ja käsittelyn olleen prosesseina tehottomia jo pidemmän aikaa (mm. Thunberg ym. 2017, Tommelein 1994). Keskeisiä ongelmia on määritelty olevan tuotetoimitusten prosessin varianssissa (suunnitellut ajankohdat verrattuna tosiasiallisesti toteutuneisiin), materiaalivirtauksen suunnittelussa ja tiedonkulussa (Thunberg ym. 2017). Tehottomuuden aiheuttamista kustannusten synnyistä on esitetty aiempaa tutkimustietoa ja niiden on todettu olevan suurena tekijänä rakennushankkeen tuottavuudessa ja kannattavuudessa (Lee 2004, Vrijhorf ja Koskela 2000, Rakennusteollisuus 2009, Thunberg ym. 2017).

Toimitusketjun hallinnan ajantasaisissa tiedoissa, niiden saatavuudessa ja materiaalin virtauksen ohjauksessa on havaittu tehottomuutta ja jatkuvia ongelmia prosessin eri osavaiheissa (Tommelein 1994). Vaikka aiemmissa tutkimuksissa on havaittu tuotetoimitusketjuissa varianssia ja tilaus-toimitusketjun tiedonhallinnan ongelmia, ei alan kirjallisuudessa ole tutkittu ja selvitetty sitä, mitä tietoa ei ole tarpeeksi saatavilla, millaisia poikkeamia esiintyy, ja miten varianssi vaikuttaa tahtituotannon toteutukseen. Tämän tutkimuksen empiirisessä osiossa luon kuvaa tuotetoimitusketjujen logistiikan nykytilasta rakennustyömaalla ja sen vaikutuksista tahtituotantoprosessin suunniteltuun etenemiseen.

Toimituserien ja setityksen tulee palvella työn edistämistä ja poistaa tarpeeton selvitystyö, käsittely ja varastointi rakennustyömaalla. Tuotetoimitukset tulisi kytkeä prosessimaiseen tahtituotantoon, eli tuotetoimitusten toimitus- ja pakkauserät tulisi myös vakioida ja niitä tulisi yhdistellä rakennustyömaan tulo- ja sisälogistiikan optimoimiseksi. Nykyisessä valmistusprosessissa kiinnitetään pääosin huomiota työvaihekohtaiseen prosessitarkasteluun. Rakentamisen tuottavuuden kasvattamiseksi tarvitaan tahtituotannon sujuvaa prosessia projektituotannon sijasta, jossa asiat opitaan ja tehdään jokaisessa projektissa uudestaan. Tuotetoimitukset ovat merkittävässä osassa prosessin tuotannon edistämisessä, sillä työvaiheet vaativat tuotteet oikea-aikaisesti oikealle sijainnille oikean työntekijän käyttöön.

Selvitettäessä tuotetoimituksille mahdollisia toimituseräkokoja ja toimitusten aikaikkunoita suhteessa tahtiaikatauluun, on tarkasteltava myös mahdollisia haittoja ja häiriöitä, joita tuotteiden toimittaminen aikaisemmin voi aiheuttaa verrattuna tahtituotannon täsmätoimituksiin. Liian isot aikaikkunat

tuotetoimituksille saattavat aiheuttaa kirjallisuuskatsauksesta ilmeten hukkaa ja sitä kautta tehottomuutta prosessiin. Työn ja prosessin virtauksen tulee olla optimaalisessa suhteessa tuotetoimituksiin. Tuotetoimitukset ovatkin optimointia, niin ajallisesti kuin määrällisesti, kuljetusten, kustannusten, häiriöiden, varastoinnin ja tilankäytön näkökulmista. Tuotetoimitukset eivät voi häiritä rakentamisen läpimenoaikaa, vaan niiden tulee edistää tuotannon toteutusta tahtiajan lyhentämiseen ja sitä kautta läpimenoajan lyhentämiseen.

Kun tahtiaika lyhenee, korostuu prosessissa työryhmän esteetön siirtyminen seuraavaan sijaintiin oikea-aikaisesti. Tehollisesti pisin työvaihe määrittää tahdin, ellei työvaiheiden osia ole jaettu työkokonaisuuksiin, joiden mukaisesti tahtiajat on muodostettu. Pisintä työvaihetta tulisi pienentää, jotta muut työvaiheet voivat nauttia resurssivirtauksesta. Tämä tarkoittaisi pulonkaulan poistamista tuotantotahdista muun muassa tehokkaammalla tai nopeammalla työvaiheen toteuttamisella. Toisaalta mahdollista olisi myös yhdistellä työvaiheita juniin tai toisinpäin ajateltuna, purkaa työvaiheita osatyövaiheisiin, eli pienempiin työosiin.

3 Empiirinen tutkimus

Tutkimuksen empiirisen osuuden avulla selvitetään keinoja tahtituotannon prosessin parantamiseksi logistiikan avulla. Kirjallisuuskatsauksesta käy ilmi, että rakentamisen tuottavuus parantuu lisäämällä vakiointia ja poistamalla vaihtelua. Läpimenoajan lyhentäminen on mahdollista virtauttamalla työvaiheet ja lyhentämällä tahtiaikaa pienentämällä virtausyksiköitä. Tuotetoimituksilla voidaan tukea prosessien, työvaiheiden ja itse työn virtauksia ja jopa mahdollistaa työn tehostamista sekä lisäksi lyhentää läpäisyäikää. Kun rakennustyömaiden läpimenoaika saadaan lyhennettyä, yritys pystyy kasvattamaan kapasiteettiaan samoilla resursseilla. Tämä voi mahdollistaa yritykselle liikevaihdon ja liikevoiton kasvattamisen. Tärkeänä voidaan pitää tapaututkimuksen tulosten pätevyyttä hankekohtaisuuden lisäksi myös toisissa uudiskerrostalokohteissa, joissa konseptia voidaan toteuttaa prosessin stabiloimiseksi. Vaikka rakentamisessa on totuttu tarkastelemaan projekti-kohtaista virtausta, olisi katse käännettävä tahtituotannon prosessikohtaiseen tarkasteluun. Empiirisessä osiossa käydään läpi tuotetoimitusketjujen kytkeytymistä tahtituotantoprosessiin.

3.1 Tutkimuskohteen kuvaus

Tämän työn tutkimuskohteeksi on valikoitunut Fira Rakennus Oy:n talonrakennustyömaa Espoon Finnoossa (kuva 10). Finnoossa rakennetaan uutta Espoota länsimetron radan jatkeen varrelle. Fira Rakennus Oy toimii kohteessa pääurakoitsijana (KVR-urakoitsijana) ja rakentaa kohteen erilliselle rakennuttajalle. Rakennuskohteessa sisävalmistusvaiheen rakennustyöt suoritettiin vuoden 2022 huhtikuusta joulukuuhun.

Työn tutkimuskohteeksi valikoitui kyseinen rakennushanke, koska siellä noudatettiin tahtituotantoprosessia. Finnoon rakennushankkeessa rakennettiin kolme asuinkerrostaloa, joista jokainen on kuusikerroksinen ja yksirappuinen. Rakennukset sisältävät yhteensä 113 vuokra-asuntoa, joiden koot vaihtelevat 27 m² yksiöistä 57,5 m² kolmioihin. Rakennukset sisältävät yleisiä tiloja, joihin kuuluu sisääntulokerroksessa (1. kerros) sijaitsevat pyykkitupa, varastohäkkätilat ja muita varastointi- ja teknisiä tiloja.



Kuva 10: Havainnekuva Finnoon rakennushankkeesta.

Rakennushanke toteutettiin kolmessa lohko-osassa, A, B ja C-taloina. Tämän työn empiirinen tutkimus kohdistuu tarkastelemaan A-talon sisävalmistusvaihetta, jonka rakentamisen kesto oli noin neljä (4) kuukautta.

Rakennuskohteessa tuotantoa toteutettiin puolen kerroksen (neljän huoneiston) tahtialueena, jossa tahtiajaksi oli valittu neljä (4) työpäivää. Toisaalta tapaustutkimuksessa havaitsin tahtiaikataulun viedyn osittain kerrokselle alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen. Tähän vaikutti työvaiheen ominaispiirteet ja se, miten urakoitsijoita saatiin heidän tahtialueelleen toteuttamaan omia rakennustöitään oikea-aikaisesti. Tahtiaikataulun tekijöiden haastattelujen perusteella kerroskohtaiseen tahtiaikatauluun päädyttiin myös, koska rakennustyömaalla todettiin, että työnjohdolle oli selkeämpää toteuttaa tahtialuetta ja tahtiaikaa kohteen sisävalmistusvaiheessa yhden kerroksen mukaisesti. Tutkimuksen kohteessa tahtivaunut koostuivat yksiselitteisesti yhden työvaiheen tehtävistä eikä junan vaunuissa ollut yhdisteltyinä eri työvaiheiden tehtäviä.

Hankkeessa rakennettiin vuokra-asuntoja, jotka sisälsivät pääasiallisesti samat tuotteet lattiapäällysteistä kodinkoneisiin. Poikkeuksen muodostivat astianpesukoneet, jotka olivat yksioissa kapeammat (45 cm) ja isoimmista huoneistoissa leveämmät (60 cm). Myös jääkaappipakastimien ja puuvien käti-syydet sekä sisäovien määrät vaihtelivat huoneistoittain. Muiden rakennuskohteiden omistusasunnoissa ja vuokra-asunnoissa tuotetoimitusten merkinnät saattavat olla tarkempia silloin kun materiaalit vaihteleva huoneistojen välillä. Tämän tutkimuksen kohteessa riitti esimerkiksi lattiapäällysteen

merkitseminen vain kerroskohtaisella tarkkuudella, koska ne tuotiin kerroksittain ja olivat yhtenevää materiaalia. Rakennuksiin asennettiin valmiit kylpyhuonemoduuliratkaisut, joten kylpyhuoneiden tuotetoimituksia suhteessa tahtituotantoon ei tarkastella tutkimuksessa sen tarkemmin.

3.2 Tiedonkeruu- ja analysointimenetelmät

Tutkimuksessa keräsin tietoa Fira Rakennus Oy:n rakennustyömaalla Espoon Finnoossa, jossa rakennustyömaan tavoitteena oli lyhentää hankkeen läpimenoaikaa logistisia keinoja hyödyntäen. Tutkin tiedonkeruu- ja analysointimenetelmillä tuotetoimitusketjuihin liittyvää dataa. Kävin rakennustyömaalla tarkastelemassa ja dokumentoimassa tuotetoimituksia niiden saapuessa rakennustyömaalle sekä tuotetoimituksia haalattaessa huoneistoihin. Tuotetoimitukset saapuivat rakennustyömaalle keskimäärin kaksi tai kolme kertaa viikossa, jolloin rakennustyömaalla dokumentointiin tuotetoimituksia ja niiden sisältöä, haalauksia, varastointia ja työvaiheiden etenemistä.

Fira Rakennus Oy:n logistiikkakoordinaattori hyödynsi erillisiä järjestelmiä (Airtable) sekä Sitedrive tuotetoimitusten ohjaustoimissa, joiden tietoa seurasin ja dokumentoin suhteessa Sitedriven työaikatauluun ja hankkeen suunnitelmanmukaiseen edistymiseen. Rakennustyömaata dokumentoitiin valokuvilla, haastatteluilla ja huomioiden ja havaintojen kirjauksilla. Tietoa pääurakoitsijan puolelta oli saatavilla runsaasti ja sitä kykeni hyödyntämään erityisesti prosessin virtauksen ja sen tuotetoimitusketjujen tarkastelussa. Tuotetoimitukset toimitettiin rakennustyömaalle kuorma-autolla rakennuksen eteen, josta kolmannen osapuolen haalausryhmä haalasi tuotteet työnjohtajan esittämiin sijainteihin aina työvaiheesta ja työn edistymisestä riippuen. Tuotetoimitukset tulivat joko suoraan tavarantoimittajalta (mm. kiintokalusteet) tai logistiikkakeskuksesta (mm. laminaatit). Tuotteet olivat setitettyinä lavoille kunkin tuotetoimituksen tarpeen mukaisesti, ja eri työvaiheiden tuotteita oli usein yhdistelty toistensa kanssa samaan toimitukseen eli toimitus ei noudattanut tahtialuejakoa.

Tiedonkeruu- ja analysointimenetelmät on valittu tutkimuskysymyksiin sopiviksi, jotta työvaiheiden materiaaliarpeisiin löydettäisiin ratkaisu logististen keinojen avulla ja näin voitaisiin saavuttaa asuntorakentamisen läpimenoajan lyhentymistä. Rakennustyömaalta dokumentoin työvaiheiden ja niiden viemän tilan, materiaalien viemän tilan, tyhjän tilan osuuden, aikaikkunoiden, suunnitellun ja tosiasialisesti toteutuneen eron, tuotetoimitusten täsmällisyyden, ja tarkastelin niiden eräkokoja. Rakennustyömaan henkilöhaastattelut tuottivat tuloksia, jotka täsmensivät tai olivat osin ristiriidassa rakennustyömaalta kerättyyn dataan ja tutkimuksessa saatuihin muihin tutkimustuloksiin.

Tutkimuksessa pyrin tarkastelemaan rakennustyön suunnitelmien paikkansapitävyyttä ja poikkeavuutta verrattuna tosiasialisesti toteutettuun

rakennustyöhön. Menetelmänä kävin rakennustyömaalla rakennuksen sisä- ja ulkopuolella hakemassa todistusaineistoa selittävästä syistä, miksi suunnitelmissa onnistutaan tai ei onnistuta pysymään. Suunnitelmia ja niiden toteutettavuutta tarkastelin tahtityövaihe- ja tahtialuekohteisesti tarkoituksena selvittää, mitkä ovat haastavimmat työvaiheet toteutuksen, siihen liittyvän tuotetoimituksen ja näiden johtamisen kannalta. Sitedrive -ohjelmistoa hyödynsin suunnitellun ja toteutuneen rakennustyön vertailuun ja seurantaan.

Tavoitteenani on ollut kerätyn tutkimusaineiston avulla tarkastella, mitä nykyinen tahtituotanto vaatii tuotetoimituksen logistiikalta, ja miten rakennustyömaan eri henkilöt näkevät tuotetoimitusketjujen kehityksen suhteessa tahtituotantoon. Asuntojen tyhjää tilaa ja tuotetoimitusten viemää tilaa on dokumentoitu ja näin kartoitettu ratkaisuja tuotetoimituksen ajallisille toimitusvaihtoehdoille, jotta tulevaisuudessa päästään kohti optimaalisempia tuotetoimituksia ja lisätään rakentamisen prosessin tuottavuutta. Tutkimusmenetelmillä on haluttu saada käsitystä myös siitä, miten rakennustyömaan työntekijät eri rooleissa näkevät materiaalitoimitusten aikaikkunat ja toimitusten tahtialuejaon setityksen mahdollisuudet.

Data-analyysissä rakennustyömaalla dokumentoitiin työalue ennen siinä tehtävää työvaihetta sekä työvaiheen suorituksen jälkeen. Sisätyönjohtajalta kerättiin samalla kommentteja havaituista poikkeamista sekä havaintoja tuotetoimitusten ja varastoinnin vaikutuksista. Rakennustyömaalla tarkasteltiin työn empiirisessä osuudessa myös prosessin etenemistä työvaiheen seuraavaan sijaintiin. Tahtiaikataulun poikkeamien vaikutukset työn toteuttamiseen ja niiden mahdollinen esteenä oleminen seuraavalle työvaiheelle oli tarkastelun alla, kun pyrittiin löytämään mahdollisia aikaikkunoita tuotetoimituksille huomioiden töiden vaatima tilankäyttö. Tutkimuksessa havainnointiin myös syntyneet poikkeamat, joilla ei ollut vaikutusta työn etenemiseen.

Työmaalta ottamaani kuviin kirjasin tiedot kerroksesta, asunnosta, kellonajasta ja tapahtumasta. Otin valokuvia rakennuksen edestä, johon tuotteet toimitettiin, rakennuksen käytäviltä, yleisistä tiloista ja huoneistoista. Ryhmittelin valokuvat kansioihin sen mukaan, sisältyvätkö ne tuotetoimitukseen, toimituksen haalaukseen vai tilankäyttöön ja muihin havaintoihin. Tarkoituksena oli dokumentoida tuotetoimitukset rakennustyömaalle määritettyyn sijaintiin purkualueella, tuotteiden haalustoimet, tuotteet haalattuna huoneistoihin, yleisiin tiloihin tai käytäville ja työvaiheiden esivalmistus- sekä kokoonpanotoimet. Tarkastelin tahtiaikataulua suhteessa tilassa toteutettavaan työhön ja dokumentoin poikkeamat.

Empiirisessä osuudessa tarkastelun ja dokumentoinnin keskiössä oli tuotetoimitusten kannalta työntekijän ja materiaalin tarvitseman tilan määrä työskentelyssä ja tuotteiden varastoinnissa. Näitä tarkastelin rakentamisen yksittäisten työvaiheiden osalta. Esivalmistus, esimerkiksi kalustelevyn

leikkaaminen, ja kokoonpano, esimerkiksi kiintokalusteiden kokoaminen, dokumentoitiin työvaiheittain ja tahtityöalueittain.

Toimituserien tietoja dokumentoimalla sain tuloksia siitä, miten toimituserät palvelevat rakennustyön edistämistä. Datasta sain selville toimituserille varattuina olevat tilat sekä tilat, jotka niille olisi mahdollista varata rakennustyömaalta. Toimituserien dokumentoimisella oli tarkoituksena ymmärtää muutosta siitä, miltä logistiikka näyttäytyy suhteessa läpimenoajan lyhentämisen muutoksiin. Tutkimuksessa tein havaintoja myös rakennustyömaan kulku- ja haalausreiteistä, mikäli niissä havaittiin merkityksellisyyttä prosessin tai tuotetoimituksen virtauksen kannalta. Rakennustyömaalla oli otettu käyttöön työmaalogistiikan koordinointi ja sen kokonaisuutta johti logistiikkakoordinaattori.

3.2.1 Haastattelututkimus

Muodostin tutkimuksen haastattelukysymykset (liite 1) tavoitteenani saada vastauksia diplomityön tutkimuskysymyksiin. Haastatteluiden avulla selvitin näkökulmia tuotetoimitusketjuihin osana tahtituotantoprosessia sekä hain selityksiä täydentämään rakennustyömaalta keräämääni dataa. Esitin neljälle (4) haastateltavalle kysymysten yhteydessä havaintojani ja tutkimustuloksia rakennustyömaalta.

Selvitin tahtityöalueiden ja tahtiaikojen kehitystä haastatteleamalla eri roolissa olevia Firan projektihenkilöitä. Tahtituotannon kehitykselle pyrin löytämään haastatteluilla tulevaisuuden mahdollistavia ja rajoittavia tekijöitä. Jo käyttöön otettuja kehityskohtia tahtituotannosta sekä tulevia kehityskoh- tia kartoitettiin haastateltavien vastauksista. Tahtituotannon kattava kirjallisuus ja teoriapohja auttoivat haastatteluissa syventämään keskustelua. Haastatteleamalla projektihenkilöitä halusin hakea todisteita siitä, kulkeeko rakennustyömaalla toteutettu tahtituotanto samassa linjassa teorian kanssa, vai löydäkö eroja näiden kahden välillä.

Haastatteluiden tärkeä teema oli vaihtelu rakentamisen ympäristössä. Rakennustyömaalla tapahtuva vaihtelu vaikuttaa logistisiin järjestelyihin, resursseihin, tilaan ja tuotetoimituksiin. Haastatteluiden kautta halusin tuoda esiin työvaiheiden nykytilaa ja niiden materiaalitarpeen käyttöä sekä niissä esiintyviä haasteita. Kysyin aikataulutuksesta ja materiaalijärjestyksestä haastateltavilta sekä kartoitin, onko alihankintana pelkkä toteutettava työ vai sisältykö alihankintaan työn lisäksi myös sen tuotteet. Haasteita ja hyötyjä tarkasteltiin myös pääurakoitsijan ja aliurakoitsijan tuotannollistaloudellisesti näkökulmasta.

Läpimenoajan lyhentämisen teemaa käsiteltiin haastatteluissa logististen ratkaisujen kautta. Esitin haastateltaville eri tapoja järjestää logistiikka ja tukea läpimenoajan lyhentämistä logistisin keinoin. Toimituseräkokojen

pienentäminen palvelemaan pienempiä tahtialueita herätti vaihtelevia näkökulmia haastateltavissa. Vastaukset olivat osin riippuvaisia tarkemmasta tahtialue- ja toimituseräkoon määrittämisestä. Eri rooleissa toimineet nostivat esiin erilaisia kokemuksia ja perusteluita. Tarkoituksena haastatteluilla oli saada heterogeenistä näkökulmaa tuotetoimitusten optimointiin haasteineen ja hyötyineen.

Kartoitin tahtituotannon johtamisen ja tuotannonohjauksen teemaa haastateltavien näkemyksillä. Vaihtelua ja poikkeamien hallintaa suunnitelmiin nähden käsiteltiin haastatteluissa konkreettisin esimerkein, kun esitin haastateltaville kuvia suunnitellusta tahtiaikataulusta sekä tosiasiallisesti toteutuneesta tahtiaikataulusta. Esitin haastateltaville myös havaintoja työvaiheiden tuotetoimitusten varastoinnista hankkeessa ja kysyin heiltä, ovatko toteutetut logistiset järjestelyt olleet hankkeen kannalta oikeasuhtaisia ja varastoinnissa toimivia sekä pystytäänkö niitä vielä kehittämään.

Tilaus-toimitusketjun haasteiden läpikäymisellä haastattelussa selvitettiin juurisyitä sille, miksi tuotteet eivät ole aina siellä missä niiden pitäisi olla. Esimerkiksi kuljetusten myöhästyminen, epäselvät ohjeet, haalaajien myöhästyminen, edellisen työvaiheen myöhästyminen tai sijainnin muut esteet vastaanottaa seuraavan työvaiheen tuotetoimituksia aiheuttivat poikkeamia tuotetoimituksille kohteessa.

4 Tutkimuksen tulokset

Tässä luvussa tarkastelen tämän tutkimuksen empiirisen osion tuloksia. Ensin käyn läpi tahtituotannon yleisiä haasteita ja kehitysehdotuksia. Tämän jälkeen tarkastelen sisävalmistusvaiheen virtauksen yksittäisiä työvaiheita ja niiden toteutusta rakennustyömaalla. Luvussa 4.2 tarkastelen sisävalmistusvaiheen toteutumista suunniteltuun verrattuna, jonka jälkeen siirryn luvussa 4.3 tarkastelemaan rakennustyömaan logistiikan haasteita ja hyviä käytäntöjä logistiikan virtauksen edellytysten ja tuotteiden toimituspisteiden ja -aikakunoiden kautta. Luvun 4.3 lopussa esitän tuotetoimitusten mahdollisuuksia tutkimuksen tulosten perusteella. Tämän jälkeen esitän tuloksia tilaus-toimitusketjun tiedonhallinnasta sekä yhteistoiminnasta ja johtamisesta tuotetoimituksessa. Luku 4.6 päättää tutkimuksen tulosten tarkastelun kehitysehdotusten koostamisella ja ehdottaa muutoksen seuraavia askeleita.

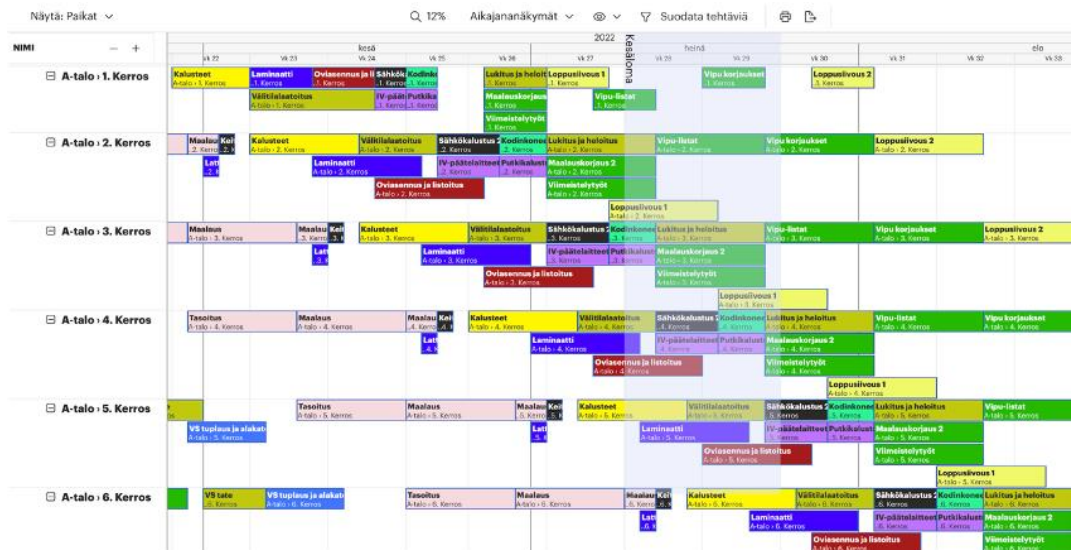
4.1 Tahtituotannon haasteet ja kehitysehdotukset

4.1.1 Tahtituotannon yleiset haasteet ja kehitysehdotukset

Tämän tutkimuksen tahtituotannon toteutuksessa esiintyi haasteita, jotka vaikuttivat tuotannolliseen toteutukseen. Saman tyyppiset haasteet toistuvat tuotannon edetessä ja osaan ilmenneistä ongelmista löydettiin ratkaisu, jota kyettiin hyödyntämään tuotannon virtauksen vaihtelun vähentämiseksi myöhemmissä vaiheissa.

Kuvassa 11 esitetään ote Finnoon suunnitellusta työvaiheaikataulusta ja tarkemmin suunnitellusta sisävalmistusvaiheen työvaiheaikataulusta. Talotekniikka-aikataulu (TATE) tehtiin kohteessa sisävalmistusvaiheen aikataulun rinnalle, mutta talotekniset työt rajattiin tutkimuksen tarkastelun ulkopuolelle. Yhteistyötä rakennus- ja talotekniikkaurakoitsijoiden kesken aikataulun laadinnassa on pidetty ensiarvoisen tärkeänä.

Sitedriveen laaditusta aikataulusta voidaan havaita, kuinka eri työvaiheet linkittyvät eteneväksi tahtityöprosessiksi. Tahtiaikataulussa tahtialueet on päätetty jakaa puolen kerroksen tahtialueisiin, vaikka lopullisessa sisävalmistusvaiheen toteutuksessa työt vietiin kerrostasoiseen toteutukseen. Tahtiaikataulussa (kuva 11) työvaiheet limittyvät osin päällekkäin mikä osoittaa, että osaa tahtiaikataulussa näkyvistä päällekkäisistä työvaiheista ei kuitenkaan ole tarkoitus toteuttaa tahtituotantona (muun muassa sähkökalustus, IV-päätelaitteet ja putkikalustus). Tahtiaikataulu on tehty työpaketeista, jotka virtaavat sijaintien läpi (rakennuksen kerros) kuvan 11 osoittamalla tavalla.



Kuva 11: Suunniteltu sisävalmistusvaiheen työvaiheaikataulu Si-tedrive:ssä.

Sijaintiperusteinen aikataulun laatiminen pohjautui vahvasti tahtituotannon perusideologiaan. Myös aikataulun tahtipaketit pyrittiin saattamaan ajallisesti yhtä pitkiksi. Tahtiaikataulun laatimisessa on kiinnitetty paljon huomiota tahtituotannon periaatteisiin, jakamalla eri työvaiheet tahtialueisiin ja -aikoihin, mutta huomiotta on jokseenkin jäänyt työvaiheiden pituuden tarkastelu, jotta tahtivaunut saataisiin saman pituisiksi. Tämä poikkeaa perinteisestä tahtituotantoajattelusta. Tahtiaikataulussa on esimerkiksi määritetty välitilalaatoitustyön työvaihe kestoltaan vastaamaan kiintokalusteiden asennustöitä. Tapaustutkimuksessa rakennustyömaalla on kuitenkin huomattu välitilalaatoituksen olevan kestoltaan huomattavasti lyhyempi kuin esimerkiksi kiintokalusteasennustöiden.

Tahtiaikataulun tahtit määritettiin seitsemän (7) työpäivän pituisiksi poiketen Haghsheno ym. (2016) suosittelemasta lyhyemmän tahtiajan toteutustavasta. Toisaalta aikapuskureita oli onnistuneesti jätetty tahtivaunujen sisään, niin kuin Lehtovaara ym. (2022) ja Seppänen (2022) ovat esittäneet. Tahtiaikataulussa kaikkia työvaiheita ei virtautettu, eli työvaihetta ei toistettu eri sijainneissa peräkkäin.

Havaitsin rakennustyömaalta tarkasteltujen tulosten perusteella, että tahtiaikataulusta puuttuu monia työtehtäviä, joita tässä työssä on kutsuttu haamutehtäviksi. Työvaiheaikatauluun merkittyjen työvaiheiden välissä voidaan havaita olevan haamutehtäviä, joita ei ole merkitty omiksi työvaiheiksi, eivätkä nämä työt sisälly aikataulussa esitettyihin työvaiheisiin. Haamutehtäviksi voidaan myös nähdä aikatauluun merkityt työvaiheet, joiden toteutuksen ajankohta kuitenkin vaihtelee ajallisesti, eli niitä ei toteuteta aikataulun mukaan, vaan ne toteutetaan usein aikapuskureissa tai kun muut työt on saatu valmiiksi. Esimerkiksi sähkökalustus oli aikataulutettuna

suoritettavaksi välitilalaatoitustöiden jälkeen, vaikka tosiasiassa sitä toteutettiin aliurakoitsijan resurssien mukaan vaihtelevissa ajankohdissa.

Usein työnjohto tai muu hankinta havaitsi haamutehtävän, jota ei ollut huomioitu työvaiheaikataulussa ja työvaiheiden aikataulutuksessa. Haamutehtävät saattavat olla sisältyneet työvaiheaikataulun laatijan aikataulutehtävien työpaketteihin, mutta työnjohtajalla ei kuitenkaan ollut niistä aktiivista tehtäväerittelyä käytössään. Näitä tehtäviä toteutettiin usein työvaiheaikataulusta poiketen muistinvaraisesti tai luottaen, että tehtävä oli jo hoidettu jonkin toisen tehtävän yhteydessä sen hoitaneen henkilön toimesta. Vaihtoehtoisesti oletettiin, että tehtävää kyettiin johtamaan ja ohjaamaan ilman merkintää työvaiheaikataulussa. Koska haamutehtäviä ei merkitty tarpeellisella tasolla, ei niitä välttämättä muistettu toteuttaa, jolloin niistä muodostui esteitä arvovirrassa. Tuotetoimituksen kannalta haamutehtävät olivat haasteellisia, sillä tuotteita ei välttämättä voitu toimittaa rakennustyömaan sijaintiin ennen kuin haamutehtävä oli saatu valmiiksi. Tämän takia haamutehtävät pienensivät tosiasiallisesti tuotetoimituksen mahdollista toimitusaikakunkunaa, kun suunniteltua toimitusaikaa ei voitu noudattaa.

Vaikka rakennustyömaalla tapahtuva työ aikataulutettiin tahtityöksi ja rakennustyömaalla noudatettiin tahtiaikoja, huomasin tässä diplomityössä keräämässäni aineistossa, ettei välitöntä reagointia ongelmiin tapahtunut. Työmaajohto ajautui helposti käsitykseen, jossa päivän tai kahden päivän viivästyksen ei todettu aiheuttavan poikkeamaa työn virtaukselle, vaikka tosiasiallisesti se aiheuttikin. Tahtituotannossa työntekijän on ymmärrettävä, että jokainen viivästys vaikuttaa seuraavaan työvaiheeseen, ja viivästyksiä aiheuttavat poikkeamat on kommunikoitava ja ratkottava välittömästi. Perinteisemmässä tuotannossa ongelmiin ei reagoida välittömästi, koska yhden päivän viivästyksen ei nähdä haittaavan seuraavan työvaiheen toteutusta, vaikka tosiasiallisesti se haittaisikin.

Tutkimuksessa havaitsin, että tavarantoimittajat eivät täysin ymmärtäneet tahtituotannon toteutusperiaatteita, esimerkiksi ehdottaessaan oman tuotetoimituksensa ajallista siirtämistä. Tämä tarkoitti koko tahtijunan pysähtymistä, mikä oli tahtituotannolle tuhoisa asia. Tutkimuksessa ilmeni, ettei muutos yhteistoiminnassa vaadi paljoa, vaan työkalut ovat jo osapuolilla käytössä.

Taulukkoon 2 on koostettu tahtituotantoprosessin ongelmien syntyminen ja sen vaikutukset tahtituotannon toteuttamiseen.

Taulukko 2: Tahtituotannon osatekijät ja niiden vaikutukset.

Tahtituotannon osatekijä	Havaittu ongelma	Vaikutus tahtituotannon toteuttamiseen
Sijaintiperusteinen aikataulu	Tahtivaunujen sisään on jätetty aikapuskureita, kun tahtivaunut on muodostettu ajallisesti yhtä pitkiksi	Ongelmia aiheutuu, kun kestoaltaan lyhyemmät työvaiheet on aikataulutettu yhtä pitkiksi pidempien työvaiheiden kanssa
Tahtiaikataulun pienemmät työvaiheet	Tahtiaikataulusta puuttuu pienempiä työvaiheita. Työvaiheiden välissä olevia haamutehtäviä ei ole merkitty tahtiaikatauluun	Työn virtaus häiriintyy, kun työnjohtaja havaitsee haamutehtävän, jota ei ole huomioitu tahtiaikataulussa
	Tahtiaikataulusta puuttuu pienempiä työvaiheita. On oletettu, että tehtävää voidaan johtaa ja ohjata ilman sen merkitsemistä tahtiaikatauluun	Haamutehtäviä toteutetaan muistinvaraisesti tai luottaen siihen, että tehtävä on jo toteutettu aiemman tehtävän yhteydessä
Tuotannon toteutus aikataulun mukaisesti	Tuotantoa ei toteuteta tahtiaikataulun mukaisesti. Haamutehtäviä on merkitty tahtiaikatauluun, vaikka niitä ei ole suunniteltu toteutettavaksi aikataulun mukaisesti	Haamutehtäviä toteutetaan aikapuskureiden sisällä tai muiden töiden valmistuessa suunniteltua aikaisemmin
	Tuotantoa ei toteuteta tahtiaikataulun mukaisesti. Työmaanjohto ei ole reagoinut välittömästi rakennustyömaalla havaittuihin ongelmiin	Ajaututaan virheelliseen käsitykseen, missä yhden tai kahden päivän työn viivästys ei aiheuttaisi ongelmia työn virtaukselle
Tahtiaikataulun tuotetoimitukset	Haamutehtävät pienentävät tosiasiallisesti tuotetoimitusten mahdollista toimitusaikaikkunaa	Tuotetoimitukset saattavat häiriintyä haamutehtävän ollessa vielä kesken, vaikka tahtiaikataulun mukaan sijainti olisi jo vapaana
	Tavarantoimittajat eivät aina ymmärrä tahtituotannon periaatteita	Työn virtaus häiriintyy, kun tuotetoimituksia siirretään ja työryhmä ei saa tarvitsemiaan materiaaleja

Tutkimuksessa kerätyn datan ja haastatteluiden perusteella kävi ilmi, että tahtituotannon nykyisellä mallilla talonrakentamisen kerrospinta-aloilla ja tahtialueilla ei useimmiten työskennellyt kukaan, ja alueet odottivat tyhjillään työntekijää tai työntekijöitä. Kohteessa toteutettiin lopulta yhden kerroksen viikkotahtia, jossa työryhmä varasi kokonaisen kerroksen, vaikka pääasiassa työryhmä keskittyi päiväkohtaiseen toteutukseen vain yksittäisissä huoneistoissa. Mikäli tahtialuetta olisi pienennetty kohteessa, olisi se mahdollistanut useamman työryhmän työskentelyn samassa kerroksessa samanaikaisesti.

Tutkimuksessa huomasiin tahtialueita ja tahtiaikoja muutettavan prosessin etenemisen mukaan. Tahtituotannossa on tahtialue ja tahtiaika, joiden pitäisi pysyä vakiona läpi koko prosessin. Valitun tahtialueen ja tahtiajan työsisällön ja resurssitarpeen olisi vastattava tahtituotannolle valittuja ominaisuuksia, mikä ei kohteessa toteutunut. Syyksi havaitsin puutteellisen tiedon tehtävien suorittamiseen kuluva ajasta ja niiden materiaalitarpeesta tahtiaikataulua suunniteltaessa.

Tutkimuksen talonrakentamisen sisävalmistusvaiheessa kaikkia työvaiheita ei saatu sovitettua samaan tahtialuejakoon ja tahtiaikaan: maalauksessa ja tasoituksessa voitiin havaita haasteita kerroskohtaisen tahtialueen koon pienentämisessä. Kun eri työvaiheille sallittiin poikkeavia tahtialueita ja tahtiaikoja, lisäsi tämä varianssia virtauksessa. Virtauksen varianssin lisääntyminen voitiin nähdä hukkana, joka vaikutti negatiivisesti läpimenoaikaan.

Rakennustyömaalta kerätyn dokumentaation avulla havaitsin Sitedriven tahtiaikataulua päivitetyn niin, että todellista aloitusajankohtaa ei kirjattu ja päättymisajankohta saatettiin kirjata päivän tai viikon päätteeksi vain työtehtävän valmiiksi kuittaamisen takia. Huomioonotettavaa oli myös toisinaan Sitedriven aikataulujen päivittäminen vastaamaan suunniteltua aikataulua eikä vastaamaan tosiallisesti totuudenmukaisesta aikataulua. Täten Sitedriveen kirjatut toteumatiedot työvaiheista eivät aina vastanneet todellista tapahtumaa ja todellista aikataulupoikkeamaa ei saatu. Tahtiaikataulun olemassaolosta huolimatta ei ollut kykyä tarkastella sitä, milloin tuotteet tulivat rakennustyömaalle ja milloin tosiasiallisesti työvaihe alkoi ja loppui.

4.1.2 Työvaihekohtaiset haasteet ja kehitysehdotukset

Kohteessa toteutettiin sisävalmistusvaiheen eri työvaiheita, joita tarkastelen tässä luvussa. Luvussa kiinnitän huomiota haasteisiin toteuttaa tahtituotannolla työvaiheita ja esitän työvaiheista esiin nousseita tuotannon mahdollistavia tekijöitä sekä toteutuksen poikkeamia suunniteltuun tuotantoprosessiin nähden.

Taulukkoon 3 on koostettu tahtituotannon työvaihekohtaisia haasteita ja ehdotettu ratkaisuja paremman virtauksen saavuttamiseksi ja tahtituotantoprosessin tehostamiseksi. Luvussa käydään läpi tarkemmalla tasolla työvaiheiden suhdetta tahtituotantoon ja työvaiheiden toteutuksessa esiin tulleita ilmiöitä.

Taulukko 3: Tahtituotannon työvaihekohtaisia haasteita ja niiden kehitysehdotuksia.

Työvaihe	Tahtituotannon haasteita	Kehitysehdotuksia
Tasointi ja maalaustyöt	Työt olivat pullonkaulana tahtialueen pienentämiseksi. Toteutuksen kannalta kerrosta pienempi tahtialue ei ollut tarkoituksenmukainen	Toteutetaan tuotantologiikkaa, jossa tahtialue ja tahtiaika suhteutetaan toteutettavaan työvaiheeseen tai usean tahtipaketin muodostamaan kokonaisuuteen
Lattian hiontatyöt	Kerroksittain toimitetut kiintokalusteet määrittivät lattian hiontatöiden toteutusajankohdan. Lattian hiontatöitä ei toteutettu aikataulun mukaisesti (haamutehtävä)	Aliurakoitsija on saatava rakennustyömaalle suunnitellun aikataulun mukaisesti maalaustöiden jälkeen
Keittiön rasioiden asennustyöt	Työvaiheen jälkeiset työt hankaloituivat ja myöhästivät, kun sähköpistorasioita ei päästy mittaamaan	Työvaihe tulee suorittaa ennen kiintokalusteasennustöitä ja rakennukseen on luotava hyvissä ajoin puitteet sähkömittausten toteutuksen mahdollistamiseksi
Kiintokalusteasennustyöt	Edellisten työvaiheiden poikkeamat aiheuttivat haasteita kiintokalusteasennustöiden virtaukselle	Lattian hiontatöiden tulee valmistua ajallaan, jotta kiintokalusteet voidaan toimittaa sijaintiin ja poikkeamia ei tapahdu
Välitilalaatoitustyöt	Työvaihe oli nopea tahtiaikaan nähden ja aliurakoitsijaa oli vaikeaa saada rakennustyömaalle toteuttamaan työvaihetta suunnitellusti	Välitilalaatoitustöistä ei ole tarpeellista tehdä tahdistavaa työvaihetta tai työvaihetta voidaan suorittaa samanaikaisesti toisen työvaiheen kanssa samassa sijainnissa
Lattiapäällysteen asennustyöt	Tahtiaikataulussa ei ollut huomioitu yleisten tilojen ja käytävätilojen lattiapäällysteen asennustöitä, jotka ilmenivät haamutehtävinä	Tahtituotannon periaatteen mukaisesti haamutehtävät tulee tahdistaa tahtiaikatauluun, eikä jättää toteutettavaksi puskurijallaa
Oviasennus ja listoitustyöt	Työsaavutus oli suunniteltua aikataulua nopeampi. Aliurakoitsija vaati suunniteltua suuremman tuotantoalueen, jotta se kykeni toteuttamaan töitensä yhtäjaksoisesti	Tarvitaan aliurakoitsija, joka tulee toteuttamaan töitensä rakennustyömaalle pistemäisesti. Työvaiheen tahdin tulee vastata paremmin suunniteltua tahtiaikataulua
Sähkökalustus ja -mittaustyöt	Työvaihe oli nopea tahtiaikaan nähden ja työvaiheeseen tarvittiin useita eri työryhmiä toteuttamaan pienempiä osatyövaiheita	Voidaan hyödyntää monitoimityöryhmää, jolla on kykenevyyttä toteuttaa useita osatyövaiheita oman ryhmän sisällä
Kodinkoneiden ja LVIS-kalusteiden asennustyöt	Työvaihe oli nopea tahtiaikaan nähden ja haasteellinen yhteensovitettavaksi muihin työvaiheisiin. Kaikkien alustavien töiden tuli olla valmiina ennen asentajan asennustöitä	Haalaysyryitys asentaisi kodinkoneet ja mausteakaapit haalustoimien yhteydessä

Työvaihe: Tasointi ja Maalaustyöt

Kohteessa toteutettiin tasointi ja maalaustöitä suunnitellussa seitsemän työpäivän tahtiajassa kerroskohtaisesti. Toisaalta kohteessa yleisiin tiloihin ei tullut tasointeja, joten tahdin kesto siellä oli lyhyempää.

Haastatteluissa tuli ilmi usealta eri henkilöltä, että tasointi ja maalaustyöt olivat pullonkaulana tahtiaikataululle. Haastateltavat olivat yhtä mieltä siitä, että näille työvaiheille kerroskohtaista pienempi tahtialue ei olisi toteutuksen kannalta tarkoituksenmukaista, sillä kerroksen suojaaminen, tuulettaminen ja rajaaminen osittain olisi haastavaa.

Työvaiheessa olisi voitu pohtia työvaiheriippuvaisia osatahtialueita ja tahtiaikoja, jolloin tahtialue ja tahtiaika vaihtelisivat toteutettavasta työvaiheesta tai tahtipaketin muodostamasta kokonaisuudesta riippuen. Tilanetta voidaan hahmottaa rakentamisen jaolla useaan eri rakentamisen vaiheeseen, joissa toteutetaan toisistaan poikkeavaa tahtituotantologiikkaa. Esimerkiksi tasointi ja maalaustyöt olisi voitu määrittää kerroskohtaiseksi tahtialueeksi, kun lattian hiontatöitä voitaisiin toteuttaa pienemmällä tahtialueella ja tahtiajalla huoneistokohtaisesti. Osittaiset tahtialueet ja tahtiajat

muodostavat tahtipaketin, jonka tulee täsmätä kohteessa toteutettavaan tahtituotantologiikkaan.

Työvaihe: Lattian hiontatyöt

Haastatteluiden ja kerätyn datan perusteella lattian hionta oli aikataulutettu tahtiaikatauluun, mutta suunniteltua aikataulua ei sinänsä noudatettu. Tämä edusti haamutehtävien toista kategoriaa työvaiheista, jotka olivat aikataulutettuja, mutta niitä ei toteutettu aikataulun mukaisesti. Lattiaa hiottiin kohteessa yhtä (1) päivää ennen kiintokalusteasennuksia, samana päivänä ennen kiintokalusteasennuksia tai toisinaan lattia oli hiomatta vielä, kun kiintokalusteasennustöiden oli määrä alkaa. Tällöin hiontavaihe viivästytti kiintokalusteasennustöiden alkamista. Lattian hiontatyöt oli suunniteltu alkuperäisessä aikataulusuunnitelmassa toteutettavaksi maalaustöiden loppuvaiheen kanssa samanaikaisesti, vaikka tosiasiansa ne toteutettiin rakennustyömaalla usein vain hieman ennen kiintokalusteasennustöitä.

Rakennustyömaalta kerätyn datan perusteella havaittiin kiintokalustetoimistusten määräävän lattian hiontätöiden toteutusajankohdat. Lattian hiontätöiden osalta ei noudatettu tahtituotannon periaatteita, kun sitä ei suunniteltu samaan tahtiin muiden töiden kanssa. Haastatteluiden perusteella lattian hionta on nopea työvaihe, joten ongelmana oli saada aliurakoitsija suorittamaan töitä oikea-aikaisesti työmaalle.

Työvaihe: Keittiön rasioiden asennustyöt

Tämän työvaiheen tuli olla valmiina ennen kiintokalusteasennustöitä, jotta keittiön kiintokalusteisiin osattiin leikata kolot oikeisiin kohtiin sähköpistorasioille asennustoimen yhteydessä. Haastatteluiden perusteella sähköpistorasioiden asennukset voidaan kuitenkin jättää tehtäväksi myös keittiön kiintokalusteasennuksien jälkeen, mutta tällöin voi olla hankalampaa leikata kiintokalustelevyn oikeaan kohtaan sopivan kokoinen aukko sähköpistorasiolle. Erityisesti pääurakoitsijan työnjohtaja totesi tavoitetasoksi rasioiden asennustoimet ennen kiintokalusteasennuksia. Sähköasentajaa haastateltaessa hänelle ei kuitenkaan tuota suuria ongelmia asentaa rasioita myös kiintokalusteiden asennustöiden jälkeen.

Kohteen aikataulusuunnitelmiin havaittiin poikkeama, kun lopullista sähköä ei saatu vedettyä rakennukseen, ja sähkömittaukset myöhästyivät noin kolme kuukautta. Tämä tarkoitti, että rasiat voitiin asentaa, mutta niitä ei kyetty mittaamaan. Rakennustyömaalta kerätyn aineiston perusteella havaitsin, että maustekaappia ei voitu asentaa suunnitellun aikataulun mukaisesti, koska sen takana sijaitsi sähköpistorasia, jota ei kyetty mittaamaan oikea-aikaisesti. Rakennustyömaalla tehtyjen haastattelujen tuloksista tuli ilmi, että kiintokalusteasentajille rasioiden asennus ennen kiintokalusteita on tärkeää, joten se oli huolehdittava suoritetuksi ennen kiintokalusteasennuksia, asennusprosessin nopeuttamiseksi. Työnjohto ei pitänyt rasioiden asennusta ennen kiintokalusteita yhtä tärkeänä kuin kiintokalusteasentajat.

Työvaihe: Kiintokalusteasennustyöt

Suunniteltua tahtityöaikataulua ja tosiasiallisesti toteutunutta aikataulua vertaamalla sekä haastatteluiden perusteella havaitsin, että kiintokalusteasennustyöt virtasivat melko hyvin. Kiintokalusteasennustyöt materiaaleineen tulivat suoraan aliurakoitsijalta, jolloin pääurakoitsijan tehtäväksi jäi yhteensovittaa haalausyrityksen haalustoimet kiintokalustetoimitusten suhteen sekä suunnitella sopivat tuotetoimituspäivät, jotta kiintokalusteasentajat pystyivät etenemään sopivalla tahdilla. Kiintokalusteasennustyöt toteutettiin kerroksittain, ja niiden aikataulu oli tavoitteena pitää vakiona. Myös kiintokalustetoimitukset haluttiin sopia kaksi (2) viikkoa etukäteen ja työnjohto totesi, että kiintokalustetoimituspäiviä siirretään vasta viimeisimpänä ratkaisuna. Kiintokalusteasennuksien toteutusaikataulu vastasikin melko tarkasti suunniteltua ja aikataulussa pysyttiin hyvin. Kommunikaation puutos korostui myös tässä työvaiheessa, kun kalusteasentajat eivät olleet tulleet aloittamaan rakennustöitä silloin, kun oli sovittu. Tämä aiheutti työnjohtolle lisätyötä ja selvitykseen kului aikaa.

Lattian hiontatyöt tuli olla suoritettuna ennen kun kiintokalusteasennustöitä kyettiin aloittamaan. Tutkimuksessa todettiin edellisten työvaiheiden loppuunsaattamisen myöhästymisen vaikuttaneen työvaiheen aloituksen ajankohtaan. Esimerkiksi kun kiintokalusteet tulivat rakennustyömaalle ja asennusten piti alkaa, huomattiin, että kolmessa asunnossa lattiat olivat hioimatta. Kiintokalusteasennustyöt oli suunniteltu toteutettavaksi tuotetoimitusta seuraavana päivänä. Lattian hiontatöiden tuli olla valmiina ennen kuin kiintokalusteet voitiin toimittaa kyseiselle sijainnille, sillä lattian hiontatöiden aikana maa-alan on oltava tyhjänä muista tuotteista. Tutkimuksessa havaitsin, että lattian hionta oli toisinaan aikataulutettu samalle päivälle kuin kiintokalustetoimitukset, jolloin näiden yhteensovittamisessa tuli esiin ongelmia.

Työvaihe: Välitilalaatoitustyöt

Haastattelujen sekä rakennustyömaalta kerätyn aineiston perusteella välitilalaatoitustyön sovittaminen tahtitaikatauluun oli hankalaa nykyisillä työvaihekohtaisilla tahtirajoilla. Työnjohton haastattelujen perusteella yhden kerroksen välitilalaatoitustöihin kului aikaa noin 1,5 työpäivää yhdeltä henkilöltä. Tutkimuksessa huomasin, ettei tuotantoaluetta ollut usein tarjolla aliurakoitsijalle tarpeeksi johtuen siitä, että työvaihe oli muita nopeampi eli vei tahtialuetta kohden vähemmän aikaa. Tämän takia aliurakoitsija tuli toteuttamaan työtänsä pidemmissä aikaikkunoissa tehden useamman kerroksen kerrallaan, eikä se siten noudattanut tahtituotannon periaatteita ja suorittanut asennustoimia jokaisessa tahdissa. Toteutus ei vastannut tahtiaikataulun määrittämää periaatetta välitilalaatoituksen työn suoritukselle. Haastatteluiden perusteella useat henkilöt ehdottivat, ettei välitilalaatoitustöistä olisi tarpeellista tehdä tahdistavaa työvaihetta, koska aliurakoitsijan työn virtaus tahtituotantologiikan mukaan on hyvin haasteellista. Toisaalta oikeanlaisten urakkakumppanien kanssa välitilalaatoitus olisi saatu toteutettua myös tahdistavana työvaiheena.

Koska välitilalaatoituksen tahtiaika oli lyhyt muihin työvaiheisiin verrattuna, oli sen sovittaminen tahtiaikatauluun haasteellista muiden työvaiheiden kanssa. Haastatteluissa nousi esiin myös yleisten tilojen töiden hyödyntäminen, mikäli laatoitusta tekeväälle henkilölle ei ole esittää lisää tuotantoaluetta. Tätä hyödynnettiin tutkimuksen kohteessa, kun yleisissä tiloissa oli aikatauluttamattomia laatoitustöitä, esimerkiksi pesuhuoneissa (haamutehtävä).

Toisaalta keittiön kiintokalusteiden asennustoimien jälkeen välitilalaatoitus voitaisiin suorittaa lähes milloin vain niin, että se kulkisi sijainnissa rinnan toisen työvaiheen kanssa ja ohittaisi sen. Tutkimuksen perusteella esimerkiksi ovi-asennukset ja välitilalaatoitukset voisi suorittaa ilman ongelmia samassa huoneistossa samanaikaisesti.

Työvaihe: Lattiapäällysteen asennustyöt

Kohteessa huoneistojen lattiaan asennettiin laminaattia ja kerroskäytävälle asennettiin lattiamattoa. Haastatteluiden perusteella lattiapäällysteen asentaja kykeni asentamaan laminaattia noin 50 neliometriä yhden (1) työpäivän aikana ja halusi vapaata tuotantotilaa noin 200 neliometriä. Toisaalta henkilöhaastatteluissa kävi myös ilmi, että asennusajat vaihtelevat huomattavasti riippuen asentajasta.

Tahtiaikataulussa ei ollut huomioitu yleisten tilojen ja käytävätilojen lattialaatoituksia ja maton asentamista. Näitä haamutehtäviä ei ollut tahdistettu tahtiaikatauluun ja ne jätettiin toteutettavaksi puskurijalla, vastoin tahtituotannon yleisiä periaatteita (mm. Dlouhy ym. 2016, Lehtovaara ym. 2022).

Lattiapäällysteen asennustöissä tuli huomioida, ettei lattiapäällystettä voitu asentaa ennen kuin alapuolella oleva betonielementti oli kuivunut. Kohteessa tuli poikkeama suunniteltuun, kun rakennustyömaa joutui odottamaan betonin kuivumista, eikä lattiapäällysteen asennusta kyetty aloittamaan suunnitellusti. Kuivumisen viivästys myöhästytti seuraavia työvaiheita kohteessa.

Tutkimuksessa havaitsin, että lattiapäällysteen asennustyöt pääsivät alkamaan kerroksen toisessa päädyssä, vaikka toisella puolella kerrosta oli vielä kiintokalusteasennukset kesken. Lattiapäällysteen asennustöiden aikana huoneiston tuli olla tyhjillään muiden työvaiheiden tuotteista eikä muita työvaiheita voitu suorittaa lattiapäällysteen asennuksen kanssa samassa tilassa samanaikaisesti. Lattiapäällysteen asennustöiden jälkeen ovien ja listoitusten asennustyöt voitiin aloittaa.

Työvaihe: Ovi-asennus ja listoitustyöt

Tutkimuksessa huomasi ovi-asennustöiden olevan nopea työvaihe varattuun tahtiaikaan nähden. Ovi-asennustyöt (sisältäen ovenkarmien asennustyöt) kestivät rakennustyömaalla mitattujen tulosten mukaan yhdestä kahteen päivään yhdessä (1) kerroksessa. Myös tuotantologiikan kehityksestä

vastaavan haastattelun mukaan oviasennustyöt yhdessä kerroksessa kestävät noin yhden päivän, jolloin työsaavutus poikkeaa huomattavasti suunnitellusta tuotantotahdista. Havaintojen mukaan listoitustöitä oli mahdollista toteuttaa työjärjestyksessä sen jälkeen, kun oviasennustyöt saatiin valmiiksi. Oviasentajat ja listoittajat olivat kohteessa eri työryhmiä.

Listoitustyöt olivat kestoiltaan pidempiä kuin oviasennustyöt. Tuotantologiikan kehityksestä vastaava totesi listoitustöissä olleen samanlaisia ongelmia työntekijöiden työsaavutusten suhteen, kuin lattiapäällysteen asennustöissä. Näissä töissä asennusajat vaihtelevat huomattavasti riippuen asentajan nopeudesta.

Oviasennustöissä havaitsin poikkeaman, kun aliurakoitsija (oviasentaja) ei päässyt tulemaan rakennustyömaalle ajallaan. Oviasennustöitä olisi tarvittu toteuttamaan aliurakoitsija, joka olisi tullut toteuttamaan asennustöitensä rakennustyömaalle kerran viikossa.

Listoitustöistä nousi tuotantologiikan kehityksestä vastaavan haastattelussa esiin havainto, että niissä jäätin jälkeen suunniteltuun tahtiaikatauluun nähden. Työnjohdon haastattelussa tuli ilmi, että aliurakoitsija ei kyennyt antamaan resursseja oviasennus- ja listoitustöihin, jolloin niistä syntyi suunniteltuun aikatauluun nähden työvaiheista isoimmat poikkeamat. Kun tuotantoaluetta oli aliurakoitsijan mielestä tarpeeksi tarjolla, kurottiin viive umpeen. Tämän jälkeen aliurakoitsija poistui rakennustyömaalta odottamaan tarpeeksi suurta vapautuvaa tuotantoaluetta. Tuotantologiikan kehityksestä vastaavan mukaan listoittajista tuntuu olevan alalla pulaa, joten pääurakoitsijan on haasteellista ohjata heitä suorittamaan haluttua tahtia suunnitellulla tuotantoalueella. Kohteessa työvaihetta ei onnistuttu toteuttamaan sille suunnitelluissa tahtiaikaikkunoissa.

Työvaihe: Sähkökalustus ja -mittaustyöt

Sähkökalustuksen työvaihe kesti noin kaksi päivää yhdessä kerroksessa yhdeltä henkilöltä. Sähkökalustustöihin sisältyi muun muassa huoneiston valaisimien, led-nauhojen ja muiden sähköpistorasioiden asennustyöt.

Sähkökalustuksen mittauksessa tuli mitata liesituulettimen ja uunin sähköjen jännitteet. Tätä ei voitu toteuttaa ennen kuin rakennukseen saatiin sähköt. Kohteessa rakennuksen sähköjen kytkentä viivästyi, ja huomasin tämän aiheuttavan poikkeamaa sähköjen mittaustoimille. Rakennuksen sähköjen kytkentä viivästytti työvaihetta suhteessa suunniteltuun aikatauluun.

Liesituulettimen ja uunin sähköihin kytkentään tarvittiin sähköasentaja, mikä tuli huomioida niiden asennustoimissa. Myös liesitaso oli kytkettävä uuniin sähköasentajan toimesta ennen kodinkoneasennusta. Kohteessa tapahtui ensin (1) yhdellä työryhmällä liesituulettimien ja uunin haalaus, seuraavaksi (2) ne kytkettiin toisen työryhmän toimesta sähköihin ja kolmanneksi (3) ne asennettiin paikalleen kolmannen työryhmän toimesta.

Tutkimuksessa huomasi, että varsinkin kaksi viimeistä vaihetta olivat kes-
toltaan nopeita, eikä siksi ollut järkevää jakaa näitä pieniä työvaiheosia eri
työryhmille.

Työvaihe: Kodinkoneiden ja LVIS-kalusteiden asennustyöt

Tätä työvaihetta voitiin tutkimuksen perusteella pitää mielenkiintoisena,
sillä työvaiheessa useat eri työryhmät toteuttivat pienempiä osatyövaiheita.
Kodinkoneasennustöissä tuli huomioida sähköpistorasioiden mittaamiset
ennen asennustöitä, jotta kodinkoneet kytkettiin toimiviin pistorasioihin.
Haastatteluiden ja rakennustyömaalla tehtyjen havaintojen mukaan kaksi
kodinkoneasentajaa asensi päivässä kodinkoneet noin yhteen kerrokseen.
Tahtiaikaan verrattuna tämä työvaihe esiintyi nopeana ja oli siksi haasteelli-
nen yhteensovittaa muihin työvaiheisiin. Toisaalta haastatteluissa kävi ilmi,
että kodinkoneet voitiin tuoda melko aikaisin rakennustyömaalle ja ne voi-
tiin asentaa myöhemmin niille suunnitellun aikataulun mukaisesti. Astian-
pesukoneen asennustöiden jälkeen putkiasentajan (uusi työryhmä) tuli kyt-
keä astianpesukone vesi- ja viemäriverkostoon.

Viimeiset työvaiheet koostuivat IV-päätelaitetoista ja viimeistelytoista. En-
siksi mainitussa asennettiin loput IV-päätelaitteista huoneistoon ja viimeis-
telytyövaihe sisälsi kohteen virheiden ja puutteiden korjaustyöt, siivoustyöt
sekä itselleluovutuksen. Myös tapaustutkimuksen viimeiset työvaiheet toteu-
tettiin rakennuskohteen tahtiaikataulun tuotantotahdissa.

Tutkimuksessa havaitsin työvaiheiden viivästymisen vaikuttaneen siten, että
tuotteiden toimitusaikoja jouduttiin siirtämään myöhemmäksi. Tämä kuor-
mitti rakennustyömaan työnjohtoa, sillä he joutuivat koko ajan tarkkaile-
maan, milloin tuotetoimitukset voitiin tuoda rakennustyömaalle.

Kun valmistusprosessista (tahdin sisäinen tieto) ei ollut tietoa kuin aliura-
koitsijalla, saattoi yllättäviä haamutehtäviä tulla vastaan, jolloin pääurakoit-
sija ei kyennyt ottamaan rakennustyömaalle tuotetoimitusta suunnitellusti.
Täsmätoimituksissa havaitsin niiden toimitusvarmuuden heikkouden olevan
ongelmallista, johtuen usein lähettävästä päästä. Ongelmia aiheutui, kun
tuotteet otettiin täsmällisesti rakennustyömaalle, eli pienennettiin tuottei-
den toimitusaikaikkunaa alku- ja loppupäästä, mutta tuotteita ei voitukaan
toimittaa rakennustyömaalle silloin, kuin ne olivat pienempään aikaikku-
naan (täsmätoimitus) suunniteltuina.

Tässä tutkimuksessa nousi esiin myös ontelon kuivauksen huomioonottami-
nen rakentamisen vaiheissa tahtia määräävänä (tahdistava) tekijänä, sillä
tahtiaikaa ei saada lyhennettyä kuivauksen keston takia. Kuivauksen keston
lyhentämiseen ei ollut saatavilla merkittäviä työn nopeuttamisen keinoja, ku-
ten lisäresursseja hyödyntämällä. Tahtia rajaaville tekijöille (työvaiheet) voi-
taisiin kartoittaa ja määrittää jo suunnittelussa eri pituiset tahtiajat verrat-
tuna toisiin työvaiheisiin.

4.2 Sisävalmistusvaiheen toteutuminen

Tutkimuksessa huomasin tuotteiden sijoittelun huoneistossa mahdollistavan suurempaa välivarastointia. Tuotteiden varastojen sijainti ja niiden koko määrittivät tahtituotannon virtauksen etenemistä. Tutkittavan kohteen kerroskohtaisista isoimmista huoneistoista jäi hyödyntämättä osa tiloista, joissa olisi mahdollista varastoida tulevien työvaiheiden tuotteita toteutettavan työvaiheen tahtialueella. Osassa tuotteissa huomasin tuotetoimituksen tarpeen huoneistokohtaisella tasolla, kun taas toisissa tuotetoimituksissa lohkokerroskohtaista tuotetoimitustasoa voidaan pitää tehokkaampana vaihtoehtona. Tutkimustulosten perusteella tuotteiden sijoittelua tulisi suunnitella tarkemmin ja hyödyntää enemmän olemassa olevia lattiapinta-aloja ja huonekorkeutta. Pääsääntöisesti järkevänä toimintatapana voitiin nähdä tuotetoimitusten välivarastoinnin isompiin huoneistoihin, joissa välivarastoinnin yhteydessä voitiin silti vielä suorittaa huoneistossa toteutettavia työvaiheita samanaikaisesti.

Tutkimuksen kohteen tahtiaikataulussa huomioitiin kerrosten huoneistojen rakentaminen ja yleiset tilat jätettiin toteutettavaksi tahtiaikataulun ulkopuolella. Haastatteluiden mukaan suunnitelmana rakennustyömaalla oli saada tuotteet rakennustyömaalle yhtä (1) tai kahta (2) työpäivää aikaisemmin ennen kerroskohtaista työvaiheen aloitusta. Mikäli tuotetoimitukset oli suunniteltu kulkemaan terminaalin kautta, oli tavoitteena saada tuotteet terminaaliin vähintään kahta (2) viikkoa ennen työvaiheen tarvetta niille. Tosi-asiassa tässä tutkimuksessa havaitsin tuotetoimitusten toteutetun niin, että usein tuotteet toimitettiin rakennustyömaalle yhtä (1) päivää aikaisemmin ennen työvaiheen töiden aloitusta. Osa tuotetoimituksista toimitettiin rakennustyömaalle samana päivänä kyseisen työvaiheen kanssa. Esimerkiksi kiintokalusteiden tuotetoimituksissa toteutustapana oli pääsääntöisesti tuotetoimitus aamulla noin viiden aikaan rakennustyömaalle ja haalustoimet kellonaikojen seitsemän ja yhdeksän välillä. Tämän jälkeen kiintokalusteasentajat aloittivat omissa työvaunussa työskentelyn kello yhdeksän jälkeen. Mikäli kiintokalusteet olisivat olleet haalattuina jo aiemmin rakennustyömaalla niiden sijainteihin, olisi kiintokalusteasennukset voitu aloittaa oikea-aikaisesti.

Kodinkoneita, ovia ja ovenkarmeja ei voitu tuoda huoneistoon ennen kuin lattiapäällysteen asennustyöt olivat valmistuneet. Rakennustyömaan aikataulussa havaittiin poikkeama lattiapäällysteen asennustöiden viivästyessä, mikä vaikutti kodinkoneiden, ovien ja ovenkarmien toimitusajankohdan siirtämiseen myöhemmäksi. Lattiapäällysteen asennustöiden tulee olla valmiina ennen seuraavien työvaiheiden tuotteiden toimittamista huoneistoon.

Haastatteluiden ja rakennustyömaalta kerätyn aineiston perusteella huomasin vaihtelua tuotetoimituksissa terminaaliin. Pääsääntöisesti tutkimuksessa huomasin tuotetoimitusten toimitetun (kotiinkutsutun) terminaaliin silloin, kun tuotteiden tarvitsemien työvaiheiden aloitusajankohta oli vahvistettu

eikä siihen tullut enää muutoksia. Havaittiin terminaaliin kotiinkutsutuissa tuotetoimituksissa ja rakennustyömaan tuotetoimituksissa useita poikkeamia suunniteltuihin toimitusajankohtiin, jotka aiheuttivat ongelmia työvaiheiden materiaalitarpeisiin. Tämä aiheutti hankaluutta virtauksen ylläpitämisessä, kun tavoitteena oli saada läpimenoaikaa lyhennettyä työryhmän virtauksen keinoin.

Terminaaliin toimitettiin tuotetoimitukset muutamaa päivää aikaisemmin tai myöhemmin ennen työvaiheen suunniteltua aloittamista. Terminaaliin toimitettujen tuotteiden ajankohdissa oli kuitenkin suurta vaihtelua, kun tarkastelin materiaalipuskuriaikoja. Osassa tapauksista jokseenkin myöhäinen tuotteiden toimitus terminaaliin ei näkynyt jälkeempään tarkasteltavassa dataassa, sillä itse työvaiheen aloitus saattoi venähtää. Tällaisessa tapauksessa tuotteet olivat terminaalissa ajoissa myöhästyneen työvaiheen aloitukseen verrattuna. Tosiasiallisesti tuotteiden kotiinkutsu terminaaliin oli ollut kuitenkin myöhässä.

Logistiikkayritys oli kohteessa ohjeistanut viiden (5) työpäivän varoitusajan, jolla kyettiin vielä hyvin järjestelemään kuljetus- ja haalausresurssit rakennustyömaalle. Tuotetoimituksien ajankohdat pyrittiin vahvistamaan viimeistään edellä mainitun ajan sisällä ennen työvaiheen tuotetoimitusta, mikäli toimitus tuli terminaalista ja logistiikkakumppani järjesti haalausresurssit rakennustyömaalle. Haastattelujen perusteella kävi ilmi, että mahdollisuudet työvaiheiden tuotetoimitusten täsmälliselle toimitusajankohtien varmistamiselle on jopa kuukautta aikaisemmin ennen työvaiheen alkua. Mitä aikaisemmin tuotetoimituksien ajankohta voitiin määrittää, sitä enemmän varmuutta se loi tahtituotannon prosessin etenemiselle.

Työnjohdon ohjaustoimilla pyrittiin huolehtimaan siitä, että sovitut toimitusajankohdat tuotteille olivat pitäviä. Tahtituotannossa materiaalien toimitusajankohdat oli suunniteltava jo hyvissä ajoin ennen työvaiheen toteutusta ja materiaalitarvetieto sijainneittain aikataulutettuna tuli olla eri sidosryhmien saatavilla. Mikäli tuotteiden toimitusajankohtiin jouduttiin tekemään muutoksia, oli tämä huomioitava muissa tuotetoimituksissa sekä mahdollisesti työvaiheiden prosessinkulussa.

Kuvassa 11 esitetään hankkeen suunniteltu tahtiaikataulu ennen sisävalmistusvaiheen tuotetoimitusten aloitusta. Tutkimuksessa havaittiin yleisaikataulun sisältäneen enemmän aikapuskureita verrattuna suunniteltuun ja lukittuun sisävalmistusvaiheen aikatauluun (kuva 11), jonka mukaisesti työvaiheet ja niiden tuotetoimitukset rakennustyömaalle suunniteltiin. Kuvassa 11 aikapuskureita työvaiheiden välillä ei juurikaan ole. On kuitenkin huomioitava, että osa työvaiheista toteutettiin tosiasiallisesti nopeammin kuin tahtiaikataulussa työvaiheelle määritelty tahti, jolloin tahdin sisään saattoi jäädä aikapuskuria (Fransson ym. 2015, Lehtovaara ym. 2022, Seppänen 2022).

välitilalaatitustyöt voidaan havaita aikataulutetun viikolle 27, mutta tosiasias-
assa työt saatiin toteutettua vasta viikolla 30. Kohteen suunniteltu tahtiaika-
taulu ei kuitenkaan haastatteluiden mukaan kuvannut täysin todellisuutta
siitä, miten työvaiheet tulitiin rakennustyömaalla toteuttamaan.

Rakennustyömaalla tehdyistä havainnoista ja työnjohdon haastatteluista sel-
visi, että suurimmat poikkeamat aikatauluun syntyivät oviasennus- ja listoi-
tustöiden sekä välitilalaatitustöiden takia, kun aliurakoitsija ei kyennyt an-
tamaan pääurakoitsijalle tarpeeksi resursseja, jotta suunnitellussa tahtiaika-
taulussa voitaisiin pysyä. Tästä syystä aikataulu rupesi laahaamaan ja poik-
keamia suunniteltuun tahtiaikatauluun ilmeni. Työnjohdon haastattelun
mukaan kaikki työvaiheet olivat toteutuneet lopulta vähintäänkin hieman
myöhässä suunniteltuun nähden.

Kohteen urakoitsijapalaverissa varmistettiin lattiapäällysteen asennustöi-
den toteutus seuraamaan kiintokalusteasennustöitä. Havainnoissa ja haas-
tatteluissa tuli esiin, että kiintokalusteasennustöissä urakoitsija oli mukau-
tunut tahtiaikataulun toteutukseen. Kiintokalusteasennustyöt kulkivat lo-
pulta yhden kerroksen viikkotahdissa. Logistiikkakoordinaattorin haastatte-
lun mukaan kiintokalusteasennustyöt ja lattiapäällysteen asennustyöt kulki-
vat sisävalmistusvaiheista parhaiten tahdissa. Seuraavien työvaiheiden töi-
den etenemisjärjestys jätettiin aliurakoitsijoiden päätettäväksi, kuitenkin
niin, että aliurakoitsijat työskentelivät yhden kerroksen tahtialueen sisällä.
Tutkimuksessa huomasi, että työn toteutuksen todellisuus ei vastannut
suunniteltua tahtiaikataulua, esimerkiksi lattiapäällysteen asennustöille oli
tahtiaikataulussa varattu liian paljon aikaa. Kun aiempi työvaihe ei ollut val-
mis, lattiapäällysteen asentaja ei päässyt etenemään. Tästä esteestä syntyi
hukkaa, kun tuotantोजना ei virrannut suunnitellusti.

Kohteen suunniteltu sisävalmistusvaiheen aikataulu toimi kiintokalus-
teasennustöihin asti hyvin, mutta aikataulun mukainen toteutus hankaloitui
sen jälkeen. Tuotantologiikan kehityksestä vastaavan mukaan sisävalmistus-
vaiheen loppuvaiheen työt lattiapäällysteen asennustöiden jälkeen osuivat
huonosti toteutettavaan tahtiaikaan, sillä niiden työsaavutus oli liian nopea.
Tutkimuksesta selvisi, että väliseinätyöt, tasoitustyöt ja maalaustyöt olivat
edenneet hyvin suhteessa suunniteltuun tahtiaikatauluun, viikon kerrostah-
dilla. Myös kiintokalusteasennustyöt sopivat hyvin tähän tahtiin, mutta
muut työvaiheet kulkivat nopeammin.

Työntekijöiden töiden osalta tutkimuksessa nousi esiin heidän saavutuk-
sensa vaihtelu. Esimerkiksi nopea lattiapäällysteen asentaja asentaa noin
kaksi huoneistoa (80 neliometriä) laminaattimateriaalia työpäivän aikana,
kun hitaampi asentaja asentaa laminaattimateriaalia tehokkuudellaan yhden
huoneiston päivässä tai vähemmän.

Kodinkoneiden asennustyöt oli lyhyt työvaihe, jolloin sen aikataulutuksessa
käytettiin enemmän rakennustyömaalla tapahtuvaa ohjausta, kun että sitä

oltaisiin suunniteltu etukäteen ja noudatettu tahtiaikataulua. Logistiikkakoordinaattorin haastattelun mukaan liesituuletinasennuksien aikataulutuksessa tulee huomioida niiden kytkennät sähköihin. IV-kalustustöiden toteutusajankohdat sovitettiin aikatauluun tosiasiallisesti suunniteltua tahtiaikataulua vapaammin.

Välitilalaatoitustöiden tuli olla valmiina ennen kodinkoneiden asennustöitä. Poikkeamia suunniteltuun aikatauluun esiintyi, kun välitilalaatoitustöiden urakoitsijaa ei saatu suunnitellun tahtiaikataulun mukaisesti reagoimaan ja työskentelemään rakennustyömaalle. Ongelmaksi muodostui haastavuus saada työvaihe tehtyä pääurakoitsijan tavoitteiden mukaisesti. Siksi toteutus siirtyi usein enemmän kohti aliorakoitsijan tahtotilaa ja aliorakoitsijan haluamaa aikataulua. Kohteen välitilalaatoituksen asentaja toivoi laajempaa tuotantoaluetta omalle toiminnalleen, jolloin välitilalaatoitustyöt olisi yhteensovitettava yleisten tilojen laatoitustöiden kanssa. Välitilalaatoitustöiden tekijöistä on tuotantologiikan kehityksestä vastaavan haastattelun mukaan rakennusalalla pulaa, mikä aiheuttaa haasteita toteutukselle.

Resurssien puute aiheutti tahtituotannon virtaukseen suurimmat poikkeamat. Vastaava mestarin mukaan suurin vaikuttava tekijä tahtiaikataulun toteuttamisesta suunnitellusti oli se, miten aliorakoitsija saatiin toteuttamaan aikataulua. Aliorakoitsijoilla on tyypillistä sanoa, että he onnistuvat toteuttamaan töitensä tahtituotannon periaatteiden mukaisesti, vaikka se ei urakoitsijalta onnistuisikaan. Suunnitellun ja toteutuneen sisävalmistusvaiheen aikataulun erot johtuivat pääasiassa aliorakoitsijoista, sillä heitä oli vaikeaa saada toteuttamaan aikataulua tahtiperiaatteiden mukaisesti.

Tutkimuksessa huomasin eri työvaiheiden omaavan eri optimaalisen tahtialueen työpaketteihin nähden ja muiden työvaiheiden kuin kiintokalusteasennustöiden ja lattiapäällysteen asennustöiden kannalta tahtiaika ja tahtialue ei kohteessa ollut optimaalinen. Työryhmän virtaus ei toteudu optimaalisella tavalla logistiikkakoordinaattorin mukaan, sillä aliorakoitsijat toteuttaisivat vajaan työviikkoa, mikäli he työskentelisivät tahtiaikataulun mukaisesti. Työryhmän virtautuksen tekee haastavaksi se, että eri työpaketteja ei voida toteuttaa viikon tahdilla toteutettavassa tahtiaikataulussa, vaikka urakat toteutetaan viikoittain. Työpakettien tulisi olla mitoitettuina tahtipakettiin (tahtiaika ja tahtialue) nähden. Logistiikkakoordinaattorin haastattelussa nousi kuitenkin esiin, voidaanko työryhmää rikkoa ja millaisissa työpaketeissa työskentely on optimaalisinta. Vastaava mestari korosti haasteena alueen pilkkomista liian pieniin osiin, sillä silloin aliorakoitsija on haasteellista saada työskentelemään tahtiaikataulun mukaisesti oikea-aikaisesti suunnitellussa sijainnissa. Ratkaisuehdotuksena olisi muuttaa aliorakoitsijoiden resurssien siirtelyä niin, että työpaketeista saataisiin järkevä kokoisia suhteissa tahtialueeseen.

Aliorakoitsijoiden resursseja oli vaikeaa hallita, eli kontrolloida sitä, kuka työskentelee missäkin työmaalla ja milloin. Lisäksi tiedonkulku oli

aliurakoitsijoiden haasteena tahtiaikataulun toteutuksessa, sillä usein aliurakoitsijan työnjohto ymmärsi tahtituotannon toteutuksen periaatteet, toisin kuin rakennustyömaalla työskentelevä henkilöstö. Haastatteluissa ratkaisuksi ehdotettiin esimerkiksi tahtituotannon toteutustavan kirjaamista aliurakoitsijoiden urakkasopimuksiin ja parempaa kommunikaatiota tahtiaikataulun huomioon ottamisesta ennen rakennustöiden aloitusta.

Työryhmän virtauksen huomasi haasteelliseksi urakkamallilla, jossa tehtiin vain yksittäistä työvaihetta. Kun aliurakoitsijalla oli töitä vain yhdelle päivälle viikossa, joutui se järjestelmään projektien resursseja yli rakennustyömaiden. Rakennustyömaa ei myöskään kokenut riittävän tarpeelliseksi ajaa toteutusta tahtiaikatauluun, jolloin aliurakoitsijalle annettiin liikaa vapauksia. Näin aliurakoitsijalla ei ollut tarpeeksi velvoitteita toteuttaa suunniteltua tahtia. Huomio kiinnittyi myös aliurakoitsijoiden taloudellisesti järkevään toteutukseen, mikäli rakennustyömaat toteuttavat tuotantoaan eri malleilla. Tällöin aliurakoitsijoille saattaa olla liian haasteellista palvella haluttua tahtituotantomallia.

Tutkimuksessa havaitsin, ettei pieniä työvaiheita (haamutehtäviä) otettu huomioon tahtiaikataulussa ja haamutehtävät oli suunniteltu sijoitettavaksi sopiviin työväleihin hieman pakottaen. Kokonaistoteutusajassa olisi tullut huomioida esimerkiksi porraskäytävöiden ja yleisten tilöiden rakennustöiden toteuttaminen. Kohteen tahtitarkastelussa (tahtiaikataulu) nämä työt oli rajattu pois. Mahdollisuutena olisi ollut muodostaa yhden tai kahden päivän puskuriaikoja tahtiaikatauluun, joiden sisällä haamutehtävät olisi toteutettu. Toisin sanoen, haamutehtävät olisi otettu huomioon jo tahtiaikataulun laadinnassa. Mahdollista on myös jättää yleiset tilat ja porraskäytävätilat toteutettavaksi tahtituotannon tilapuskureina tai vaihtoehtoisesti tehdä niistä oma tahtialueensa.

Kohteen tahtiaikataulu suunniteltiin ja laadittiin liian optimaalisesti. Kohteen tahtiaikataulu oli suunniteltu niin, että kaikki menisi täydellisesti eikä poikkeamille jätetty tilaa. Tahtiaikatauluun oli tuotantologiikan kehityksestä vastaavan mukaan jätetty loppuun aikapuskuria, jota käytetään häiriöiden korjaamiseen, mikäli niitä toteutuksessa tulee vastaan. Tietokatkokset pääurakoitsijan ja aliurakoitsijoiden sekä tuotetoimitusten välillä aiheuttivat häiriöitä kohteessa. Viestintäongelmaa voi haastatteluiden mukaan selittää myös pääurakoitsijalla ollut vaihtuvuus kohteen työnjohdossa, jolloin vastualueet työnjohdolla eivät olleet koko ajan täysin selvillä. Myös aliurakoitsijoiden suuntaan viestintä tahtituotannon toteutuksen periaatteista ja tahtiaikataulusta olisi ollut syytä olla selvempää.

4.3 Rakennustyömaan logistiikan haasteet ja hyvät käytännöt

4.3.1 Logistiikan virtauksen edellytykset

Tutkimuksessa tarkastelin hankkeen logistiikkaa ja sen toteutusta sekä selvitin ja tunnistin siinä esiintyviä haasteita ja hyviä käytäntöjä. Kohteessa toteutetussa logistiikan mallissa materiaalia ei ollut toisinaan saatavilla tarpeeksi ajoissa työvaiheen aloitusajankohtana johtuen tuotetoimituksien epätarkkuudesta. Toisaalta kohteessa pyrittiin välttämään materiaalin välivarastointia rakennustyömaalle isommissa erissä, jotta varastointi ei haittaa seuraavan työvaiheen aloitusta. Taulukossa 4 esitetään tutkimuksen keskeisimmät havainnot logistiikan virtauksesta. Fira Rakennus Oy:n tuotetoimitusketjun logistiikan kehityksen taustalla on lisääntynyt tarve hankkeen kokonaisvirtauksen parantamiseksi.

Taulukko 4: Logistiikan virtauksen keskeisimmät havainnot.

Logistiikan virtauksen keskeisimmät havainnot	
Materiaalia ei ollut saatavilla tarpeeksi ajoissa työvaiheen aloitusajankohtana johtuen tuotetoimituksien epätarkkuudesta. Työvaiheen työllä aiheutui este ja junan vaunuun syntyi häiriö	Tuotannon viivästyminen synnytti tarpeen tuotetoimitusten nopeammalle reagoinnille. Tuotantotahdin poikkeamissa korostui häiriöttömien tuotetoimitusten tärkeys
Välivarastointi on toteutettava niin, ettei se haittaa seuraavan työvaiheen aloitusta	Välivarastointi, siihen käytettävät alueet ja aikataulut on suunniteltava mahdollisimman hyvin etukäteen
Tuotetoimituksia toimitettaessa pienissä toimituserissä on otettava huomioon rakennustyömaan ruuhkaisuus	Tuotetoimitukset on optimoitu suhteessa setityskustannuksiin, rahtikustannuksiin, välivarastointikustannuksiin ja haalaukustannuksiin
Rakennustyömaalla oli epätietoisuutta siitä, missä materiaalit ovat ja milloin tuotetoimitukset toimitetaan rakennustyömaalle	Kun alirakoitsijat vastasivat omista tuotetoimituksista, aiheutui siitä haasteita rakennustyömaalla
Haalajien määrää ei ollut optimoitu suhteessa tehtävään työhön, mikä vaikutti haalaukustannusten kasvuun	Haalajille ei ollut muodostettu selviä ohjeita ja heidän toimintatapansa muuttui hankkeen edetessä
Kiintokalusteasentajien asennustyövaiheen aikaa saadaan lyhennettyä noin neljännes, kun kiintokalustepakettien ja kalustesuunnitelmien merkinnät ovat selkeitä	Häkkivarastojen asennusajat on suunniteltava mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Niiden tulisi valmistua ajoissa, jotta tila voidaan rauhoittaa välivarastointitarkoituksiin

Tutkimuksessa havaitsin nykyisellä mallilla toimittaessa ongelmia. Tahtituotantoprosessissa ei välttämättä voitu varmistaa materiaaleja työvaiheille oikeaan paikkaan oikea-aikaisesti. Tästä aiheutui työvaiheen työlle esteitä, viivästyksiä tai muita häiriöitä. Kun junan vaunussa syntyi häiriö, vaikutti se koko junan etenemiseen tutkimuksen rakennuksessa. Tahtituotannossa

toimitusketjun hallinnan tulee vastata tahtituotannon tarpeita, sillä työvaiheet eivät voi keskeytyä ja prosessi pysähtyä tuotantojunan liikkeessä eteenpäin.

Tutkimuksessa tarkastelin mitä tahtiajan lyhentäminen tarkoittaa tuotetoimitusten näkökulmasta. Vaikka tuotetoimitukset järjestettiin tuotannollisen etenemisen tahtiin, syntyi tuotannon viivästymisessä tarve nopeammalle reagoinnille tuotetoimitusten suhteen. Sisävalmistusvaiheen kannalta tulee tutkimuksen havaintojen mukaan huomioitavaksi rakennustyömaan ruuhkaisuus, mikäli tuotetoimituksia toimitetaan hyvin pienissä eräkoissa ja usein. Työjohtaja totesi haastattelussa eräkoon pienentämisellä nykyisestä olevan negatiivisia vaikutuksia. Tulosten mukaan häiriöttömät toimitukset korostuvat tuotantotahdin poikkeamien aiheuttamissa tilanteissa.

Havaintojen mukaan rakennustyömaan logistiikkaa suunniteltaessa ja sitä toteutettaessa tulee ottaa huomioon työmaan varastointimahdollisuudet, setityshyödyt, välivarastointihyödyt sekä yhdistettyjen toimitusten ja pienempien toimituserien hyödyt. Tuotetoimituksia on optimoitava suhteessa setityskustannuksiin, rahtikustannuksiin, välivarastointikustannuksiin ja haa-lauskustannuksiin. Logistiikassa on optimoitava tuotetoimitukset myös suhteessa tuotantologiikkaan, kun tavoitteena on tahtialueen ja tahtiajan pienentäminen läpimenoajan lyhentämisen keinoina.

Rakennustyömaalla havaitsin epätietoisuutta siitä, missä ovat tarvittavat materiaalit, ja milloin niiden tuotetoimitukset ovat tulossa rakennustyömaalle. Kysymykset, kuka tarvitsee materiaaleja, milloin niitä tarvitaan ja missä niitä tarvitaan, nousivat viikoittain puheenaiheeksi rakennustyömaan suunnitelmassa tuotetoimituksia. Haastatteluissa korostui ihmisten johtaminen rakennustyömaan logistiikassa. Tutkimuksen empiirisessä osuudessa huomasin rakennustyömaan henkilökunnan toistavan täysin samoja kysymyksiä kuin Tommeleinin (1994) tutkimuksessa materiaalin virtauksesta. Tutkimuksessa havaitsin mahdollisuuden suunnitella ennalta rakennustyömaan logistiikkaa nykyistä tilannetta huomattavasti paremmin. Henkilöhaastatteluissa korostettiin myös varastoinnin ja siihen käytettävien alueiden ja aikataulujen suunnittelua mahdollisimman hyvin etukäteen.

Tuotannon virtaus vaikutti logistiikan virtaukseen. Kohteen rakennustyömaan logistinen malli käytti oletustietona materiaalipuskurin olemassaoloa jokaisessa tahtityövaiheessa. Haastatteluiden mukaan täten niillä ei ollut kykeneväisyyttä kytkeytyä tuotetoimitusketjujen ohjaukseen, jolla olisi saatu ajantasaista tietoa rakennustyömaan tuotetoimituksista. Nykyisellä mallilla työnjohto totesi heiltä vaadittavan tarkkaa ohjausta ja resursseja, sillä tuotetoimituksia ei ollut suunniteltu tarpeeksi. Materiaali- ja tehtäväpaketteihin toivottiin tarkemmat tehtävätason käsitykset, jotta kyettäisiin pääsemään logistiseen tahtiin. Kun rakennustyömaalla aliurakoitsijat suunnittelivat, tilasivat ja ohjasivat itsenäisesti oman logistiikkaprosessinsa, aiheutti se haastatteluiden mukaan välivarastointia ja aikataulutus- ja resurssihaasteita

rakennustyömaalla. Tutkimuksen kohteessa toteutetussa viikon tahtiajassa ei puututtu aliurakoitsijan valmistusprosessiin.

Rakennustyömaalla havaitsin logistiikkapalveluyrityksen haalauksessa tapahtuvan suuren varianssin. Haalajien määrää ei optimoitu suhteessa tehtävään työhön, jolloin kustannukset saattoivat nousta suuriksi pienen erän haalaamisessa suhteessa haalajien lukumäärään. Koska logistiikkapalveluyritys veloitti minimipalkkion tehdystä työstä, ei ollut aina kannattavaa kutsua paikalle erillistä haalaustyöryhmää toteuttamaan pienehköjä haalaustoimia. Rakennustyömaalla toteutetussa tarkastelussa havaitsin, että toisinaan haalausporukassa oli kolme henkilöä, jotka työskentelivät haalaustoimissa alle puoli päivää. Vaikka haalaustoimet toteutuivat nopeammin edellä mainitulla haalaustyöryhmällä, ei se välttämättä ollut taloudellisesti kannattavaa.

Tehostettua haalaustyötä voitiin haastatteluiden mukaan toteuttaa, mikäli aikataulu oli tiukka ja sen kannalta oli tarkoituksenmukaista tehostaa haalauksen nopeutta haalausresursseja (ja haaluskustannuksia) lisäämällä. Logistiikkakoordinaattorin haastattelusta ilmeni, ettei nykyisellä mallilla ollut järkevää ottaa henkilöitä haalaamaan alle puoleksi päiväksi rakennustyömaalle ja maksaa heille korvaukset täydestä päivästä. Haalausresurssien varaukset tulee ottaa paremmin huomioon myös haalauksyrityksen osalta, jotta kustannusten turhalta nousulta vältytään ja resurssit suoritettaviin haalaustoimiin mitoitetaan oikein.

Haalajille oli annettava selvät ohjeet heidän toimintaansa. Rakennustyömaalla huomasin haalajahenkilöstölle alemmassa kerroksessa annettujen ohjeiden toteutuneen oikeamääräisesti ja ohjeiden mukaisesti, mutta ylempään kerrokseen siirryttäessä haalushenkilöstö alkoi toimia eri tavoin, koska ohjeita ei ollut täsmennetty erikseen kyseistä kerrosta varten. Kun yleiset ohjeet muodostetaan, prosessista tulee yhtenäisempi yli työmaarajojen, vaikka työnjohto tarkentaakin yksityiskohtaisesti haalaus- ja purkupaikkoja riippuen työmaan olosuhteista.

Logistiikkakoordinaattorin haastattelussa tuli esiin tavoite toimittaa viittä (5) päivää aikaisemmin tieto tuotetoimituksista ja haalausresurssien tarpeesta terminaaliin. Tutkimuksessa kävi ilmi, että tähän ei aina kohteessa päästy, mutta olisi ollut mahdollista päästä. Tuotetoimitusten ohjaustoimia tarkastellessani huomasin, että pääsääntöisesti tavarantoimittajille ilmoitettiin ja heitä ohjattiin toimittamaan tiettyyn aikaan terminaaliin tavaransa. Toisin sanoen tuotetoimituksia toteutettiin myös tavarantoimittajan ja terminaalin välisenä ohjaustoimena, jossa on ilmoitettava erikseen aikataulujen poikkeustilanteet tai muut mahdolliset poikkeamat. Rakennustyömaalla havaitsin tiedon puutteita siitä, tulevatko alihankkijan tavarat rakennustyömaalle yhden, kahden vai kolmen päivän sisällä. Kun kohteen haalaus oli sovittu pääurakoitsijan vastuulle, tuli ongelma oikeanaikaisesta haalauksen

koordinoinnista ja resurssien löytämisestä työmaalle, kun tuotetoimitus alihankkijalta tosiasiaassa saapui rakennustyömaalle.

Tutkimuksessa kävi ilmi, että häkkivarastojen asennusajat olisi tullut suunnitella jo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ja pitäytyä suunnitelmassa. Työnjohtajat toivovat haastattelujen perusteella häkkivarastojen aikaisen valmistumisen, jotta tila voidaan rauhoittaa välivarastointitarkoituksiin. Valmiissa tilassa välivarastoinnissa on otettava huomioon häkkivarastojen rajaavat tilat, jolloin esimerkiksi listoja ei kyetä varastoimaan pituutensa takia siinä sijainnissa. Toisaalta välivarastointi saattaa vaurioittaa yleisten tilojen pintoja, jolloin siihen joudutaan tekemään uusia korjaustoimia (hukkatyö) vielä välivarastoinnin jälkeen, mikäli välivarastointitila on tehty valmiiksi ennen suoritettavaa varastointia. Mahdollista pommisuojausta voidaan hyödyntää välivarastona yhtä lailla kuin kellari-, varasto- ja muita yleisiä (tyhjiä) tiloja. Tarkka yleisten tilojen toteutusaikataulu, sisältäen lattioiden maalaustyöt, seinien maalaustyöt, laatoitus- tai kaakelointityöt ja häkkien asentamistoimet vaikuttavat kykyyn hyödyntää yleisiä tiloja tavaransäilytyksessä. Esimerkiksi maalauksen aikana näissä tiloissa ei voida välivarastoida tuotteita.

Kohteen kiintokalusteiden osat toimitettiin kerroksittain ja huoneistoittain kalustesuunnitelmassa merkittyihin sijainteihin. Rakennustyömaalla toteutettujen haastatteluiden perusteella havaitsin, että kiintokalusteasentajien asennustyövaiheen aikaa saataisiin lyhennettyä noin neljännes, mikäli kiintokalustepaketeissa ja kalustesuunnitelmissa olisi merkinnät siitä, mihin huoneisiin tuoteosat tulisi haalata. Mikäli kiintokalusteosat haalattaisiin valmiiksi oikeisiin tarkempiin sijainteihin, säästäisi se huomattavasti kiintokalusteasentajien aikaa, sillä heidän ei enää tarvitsisi katsoa merkintöjen perusteella, mikä tuoteosa kuuluu mihinkin asunnossa sijaitsevaan sijaintiin eli huoneeseen tai huoneen osaan.

Haastatteluiden mukaan rakennustyömaan logistiikassa oli myös huomiotava paluuliikenne. Jätepuristimen sijainnin oli hyvä olla mahdollisimman lähellä sisäänmenoa, jotta jätteiden haalausajasta ei tullut merkittävää suhteessa työvaiheen työaikaan.

Työsuunnittelu yhdessä tuotetoimitusten suunnittelun kanssa on tärkeää. Tuotetoimituksissa on määritettävä tahtiaikatauluun perustuen tuotteiden toimitukset rakennustyömaalle asuntokohtaisesti, kerroskohtaisesti tai muuna ennalta määriteltynä määränä. Mitä pienempiin tahtialueisiin siirrytään, sitä täsmällisempiä ja varmempia tuotetoimitusten tulee olla.

4.3.2 Tuotteiden toimituspisteet ja -aikaikkunat

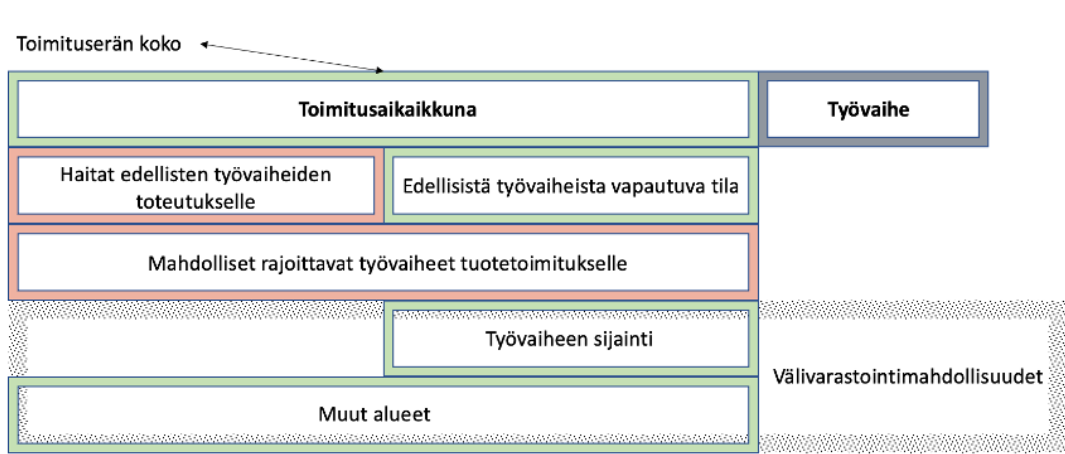
Tässä luvussa tarkastelen, millaisissa aikaikkunoissa tavarantoimituksia voidaan toimittaa eri tahtituotannon työvaiheille. Luvussa tarkastelen tuotetoimituksen aikaisinta ja myöhäisintä toimitusaikaa. On syytä kiinnittää

huomiota, että toimitusaikaikkunat ovat aina sidoksissa valittuun tahtialueeseen.

Tutkimuksessa olen tarkastellut tuotetoimituksia lohkokerroskohtaisesti ja huoneistokohtaisesti sekä havainnut rakennustyömaalta kerätyn datan ja haastattelujen perusteella aikaikkunoita tuote-erien toimituksille rakennustyömaalle. Samalla tutkimuksessa olen tarkastellut, kuinka suurissa erissä näitä tuotetoimituksia olisi järkevää toimittaa rakennustyömaalle.

Sisävalmistusvaiheen tuotetoimituksissa tarkastelin konseptia, joka huomioi tahtialueilla hyödynnettävissä olevan tilan sekä työryhmien ja prosessien virtaukset. Jokainen sisävalmistusvaiheen työvaihe tarvitsi tilan materiaalilleen, työskentelytilan työntekijälleen tai työntekijöilleen ja ajan toteuttaa työ. Toimitusaikaikkuna kuvaa väliä, jonka sisällä yhden työvaiheen tavarantoimitusten tulee saapua työmaalle. Tärkeitä tekijöitä tuotetoimituksen aikaikkunalle ovat sitä määrittävät tehtävät, rajoitukset ja keskinäisriippuvuudet. Tahtituotannossa on huomioitava miten työvaiheen tuotannon muutokset vaikuttavat työvaiheen logistiseen aikaikkunaan.

Kuvassa 13 esitetään työvaiheen tuotetoimituksen toimitusaikaikkunaan vaikuttavia tekijöitä. Tuotetoimituksen optimaaliseen toimitusaikaikkunaan vaikuttavat merkittävästi toimituserän koko ja hankkeessa käytössä olevat välivarastointimahdollisuudet.



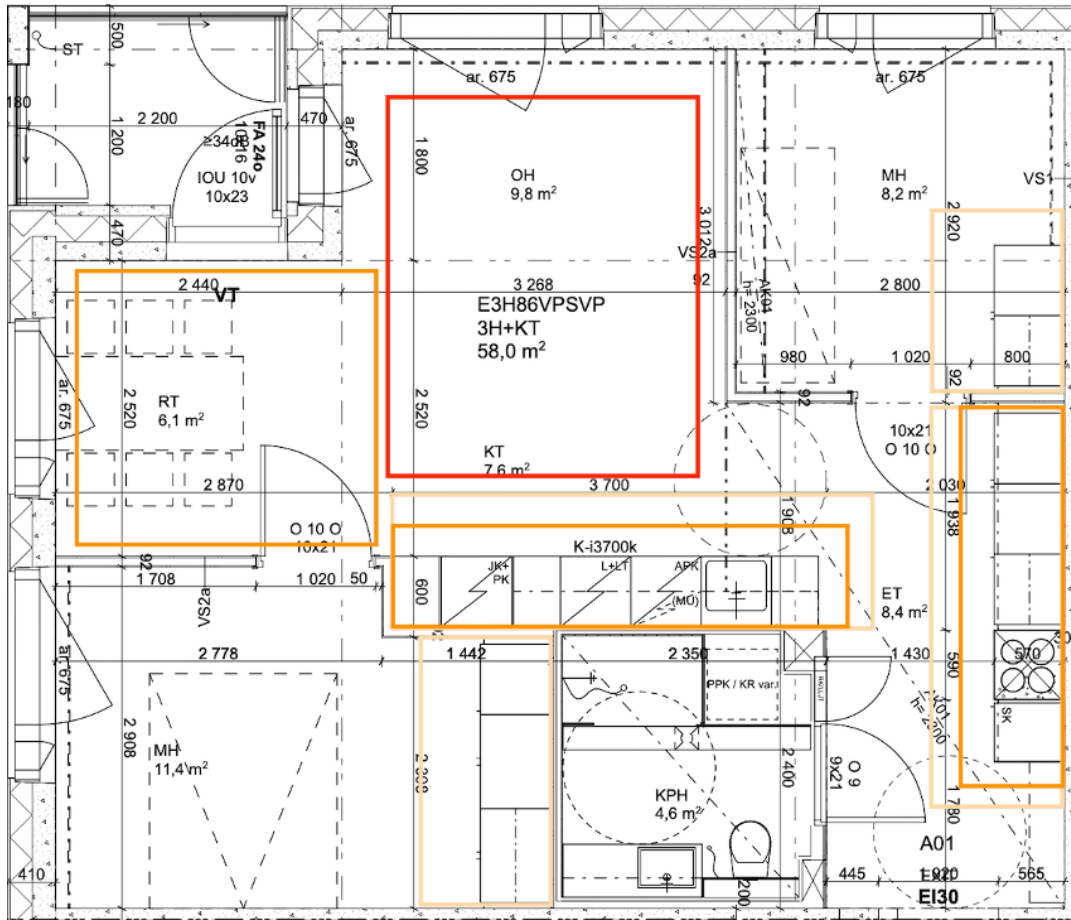
Kuva 13: Toimitusaikaikkunaan vaikuttavia tekijöitä.

Jotta päästään tuottavuuden kasvuun tahtituotannossa, tulee siihen liittyvien tuotetoimitusten eli tahtilogistiikan olla kunnossa. On siis tarkasteltava sisävalmistusvaiheen kunkin työvaiheen viemää tuotantotilaa työvaiheen sijainnissa eli tahtialueella. Toteutettavan tahtituotannon työvaiheen tarvitsemaan tilaan kuuluu ensiksi rakennusmateriaalin toimittaminen haluttuun sijaintiin eli tuotetoimitus työvaihetta varten. Useat työvaiheet tarvitsevat esivalmistusvaiheen tai kokoonpanovaiheen ennen kuin itse työvaihe (tai asennustoimenpide) voidaan suorittaa sijainnissa. Seuraavaksi on tarkasteltava tarvittu tilan suuruus haalaustoimien jälkeen ennen asennusta, mikäli

työvaiheen esivalmistusvaihe tai kokoonpanoprosessi tarvitsevat tilaa (jatkojalostusprosessi). Esimerkiksi kiintokalusteet on kokoonpantava ennen kuin ne voidaan asentaa asuntoon. Kolmantena voidaan tarkastella itse työn viemää tilaa, eli kuinka paljon tilaa työntekijä vie materiaaleineen toteutettaessa työvaiheen rakennustoimenpiteitä. Joskus tuotteita joudutaan leikkaamaan tai käyttämään asennuksessa työkaluja, jotka vievät tilaa. Tutkimuksessa ilmeni leikkaustoimenpiteiden (kiintokalusteasennukset) toteutetun käytävällä sijainneessa leikkauspisteessä. Toisinaan asennukseen käytettyjä työkaluja käytettiin huoneistoissa, mutta niiden viemä tila on ollut suhteellisen pientä, joten alempana tarkasteltaviin kerros- ja huonepohjiin on jätetty nämä merkitsemättä. Usein työkaluja pidettiin esimerkiksi huoneiston tason päällä.

Tutkimuksen empiirisessä osiossa tarkastelin seuraavia sisävalmistusvaiheen työvaiheita: kiintokalusteasennustyöt, lattiapäällysteasennustyöt, välitilalaatoitustyöt, oviasennus- ja listoitustyöt (sisältää ovenkarmien asennustyöt), IV-päätelaitetyöt ja kodinkoneiden asennustyöt. Tutkin näiden työvaiheiden kolmea eri osavaihetta ja dokumentoin vaiheet. Kuvaan punaisella on merkitty ensimmäisen (1.) osavaiheen; tuotetoimituksen viemä tila työvaiheen sijainnissa. Mikäli työvaiheeseen sisältyy toinen (2.) osavaihe, esimerkiksi kiintokalusteasennustyön sisältämän kiintokalusteiden kokoonpanovaiheen työvaiheen osana, on sen viemä tila merkitty kuvaan oranssilla. Kolmas (3.) osavaihe eli asennustyön viemä tila on merkitty kuvaan kellertävällä. Työvaiheen mahdollinen esivalmistusalue on merkittynä, mikäli sillä on tilan viennin kannalta tutkimuksessa merkittävyyttä.

Ensimmäinen työvaihe sisävalmistusvaiheessa oli maalaus- ja tasoitustöiden jälkeiset kiintokalusteasennustyöt. Kuvassa 14 on havainnollistettu kiintokalusteasennustöiden tarvitsemaa tilaa rakennuksen yksiössä (28,5 m²). Kuvan perusteella havaitsin, että kiintokalusteasennustöiden aikana rakennuksen yksiöissä ei ollut tilaa tuoda ja varastoida seuraavan työvaiheen tuotteita ennen kiintokalusteasennustöiden valmistumista.



Kuva 15: Kiintokalusteasennustöiden tarvitsema tila kolmiossa (58,0 m²). Kuvaan punaisella on merkitty tuotetoimituksen viemä tila työvaiheen sijainnissa. Kuvaan oranssilla on merkitty kokoonpanovaiheen viemä tila ja kellertävällä asennustyön viemä tila.

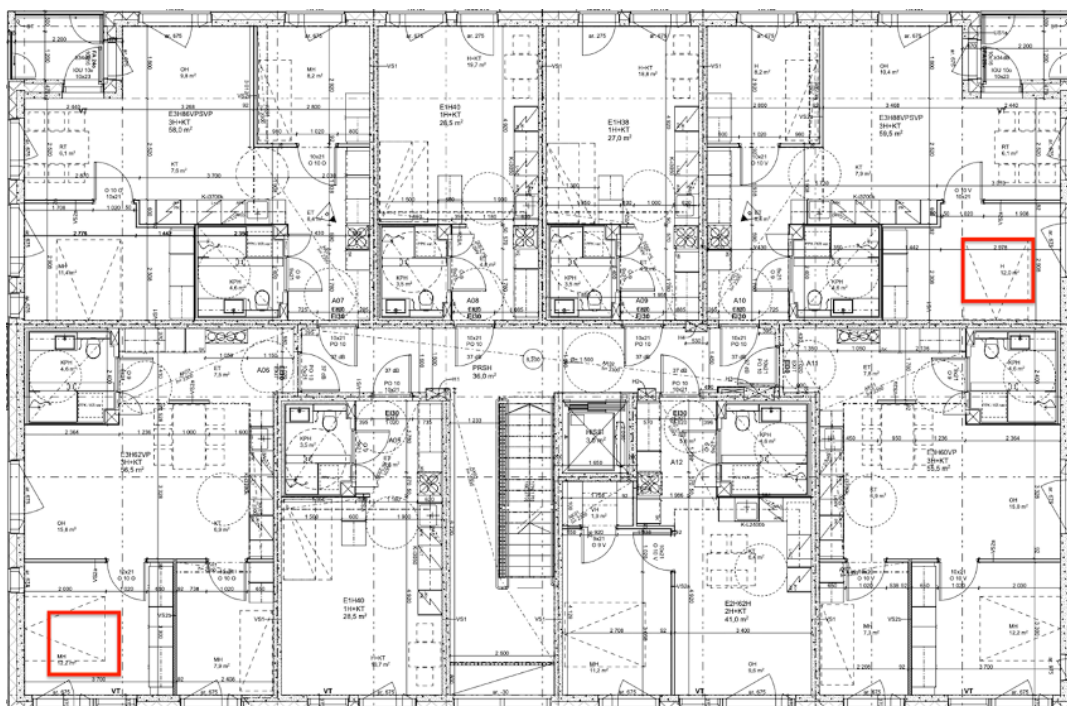
Tutkimuksen seuraavana työvaiheena oli lattiapäällysteen asennustyöt. Kiintokalusteet tulee olla sijaintiin asennettuna ennen kuin lattiapäällysteen asennustyöt voidaan sijainnissa aloittaa. Lattiapäällysteen asennustyöt veivät koko lattia-alueen pinta-alan, joten asennusvaiheessa ei voitu varastoida muita tuotteita asennustöiden sijainnissa.

Lattiapäällysteen asennustöiden logistiikassa havaitsin suuren eron kiintokalusteasennustöiden logistiikkaan. Vaikka lattiapäällysteen asennustyöt veivät koko alueen, esimerkiksi huoneiston, eivät niiden tarvitsemat tuotteet vieneet niin paljoa tilaa (kuva 16). Näin ollen lattiapäällysteitä, kohteessa laminaatteja, voitaisiin varastoida jo kiintokalusteasennuksia tehdessä. Kiintokalusteasennustöiden kiintokalustemateriaalit varastoitiin jokaiseen huoneistoon huoneistokohtaisesti, kun taas lattiapäällysteen asennustöiden materiaaleille riitti kaksi huonetta yhdessä kerroksessa. Tämä tarkoittaa, että lattiapäällysteet voitaisiin säilöä yhdessä huoneistossa yhden tai kahden lavan päälle, toisin kuin kiintokalusteasennustöiden materiaalit, koska lavan päälle välivarastoidun lattiapäällystepinon korkeutta voidaan säädellä

tarpeen mukaisesti. Lattiapäällysteen asentajan on helppo ottaa tarvitsemansa lattia materiaali asennuspaikalle ja aloittaa lattiapäällysteen asennustyöt makuuhuoneeseen välivarastoiduista laminaattipaketeista.

Mikäli tahtituotantoa toteutettaisiin huoneistokohtaisesti niin, että tahtialueena olisi yksi huoneisto, voitaisiin yhden kerroksen lattiapäällysteet tuoda kerrokseen yhden huoneiston kiintokalusteasennustöiden valmistuttua. Lattiapäällysteen asentaja kykenisi ottamaan tarvitsemansa tahtialueen työvaiheen laminaattipaketit huonevarastosta, ja toteuttaisi työvaiheensa näillä materiaaleilla. Tällä periaatteella hän voisi edetä läpi kerroksen. Tutkimuksessa havaitsin, ettei lattiapäällysteen varastoiminen haittaa seuraavia sisävalmistustyövaiheita.

Havaitsin tutkimuksessani, että lattiapäällysteet toimitettiin kerrokseen kahdessa lavassa, jotka sijoitettiin eri puolille kerrosta ja näin saatiin pienennettyä asennustyöntekijälle aiheutuvaa kerroskohtaista vaakahaalausta. Lattiapäällystelava koostui laminaattipaketeista ja yksi lava sisälsi noin 110 neliometriä laminaattimateriaalia. Lattiapäällystelavojen lisäksi lattiapäällystetöiden alusmateriaali varastoitiin rullina lavojen viereen sijoitettuna. Lattiapäällysteitä leikattiin leikkurilla, joka ei vie itsessään juuri tilaa ja on helposti siirreltävässä, joten tämä on päätetty jättää huomiotta.



Kuva 16: Lattiapäällysteen (laminaatti- ja alusmateriaali) tilan vienti asuinrakennuksessa kerroskohtaisesti. Kuvaan punaisella on merkitty tuotetoimituksen viemä tila työvaiheen sijainnissa.

Ovien asennustöihin kuului ovenkarmien asentaminen sekä itse ovien asentaminen paikoilleen. Tätä on tarkasteltava kerroskohtaisella tasolla, sillä ovia

ja ovenkarmeja varastettiin kerroksen kahdessa huoneistoissa (kuva 17). Kuvaan punaisella on merkittynä väliovien, plaaniovien ja ovenkarmien tuotetoimituksen viemän tilan työvaiheen sijainnissa. Oranssilla kuvaan on merkitty ovenkarmien kokoonpanon viemä tila. Kolmas (3.) osavaihe eli ovien asennustyön viemä tila on merkitty kuvaan kellertävällä.

Vaikka oviasennustyövaiheen ovet ja asennustyöt veivät jonkin verran tilaa, huomattiin tutkimusaineiston perusteella, että kerroksessa oli vielä paljon hyödyntämätöntä tilaa, jota kyettiin hyödyntämään seuraavan työvaiheen materiaaleja varten. Tässä on kuitenkin otettava huomioon listoitustöiden asentajan tarvitsema työtila asunnon listojen kohdille, eli seinän vieruksille.

Ovien ja ovenkarmien suhteen haalaustoimissa tulee olla tarkkana, mikäli ne eivät mahdu rakennuksen hissiin. Listat joudutaan usein haalaamaan kerrokseen porraskäytävää pitkin tai esimerkiksi parvekkeen kautta. Ovet, ovenkarmit ja listat olivat huoneistoihin samat, mikä helpotti tuotteiden merkittämistä ja haalaustoimintaa. Isompiin huoneistoihin määrät ovat usein suuremmat kuin pienempiin huoneistoihin. Ovet ja ovenkarmit olivat tutkimuksessa merkittynä kerroksittain. Listat säilytettiin yhdessä joukossa yleisissä tiloissa, josta aliurakoitsija teki haalaukset kerrokseen suorittaessaan kerroksen työvaiheita.

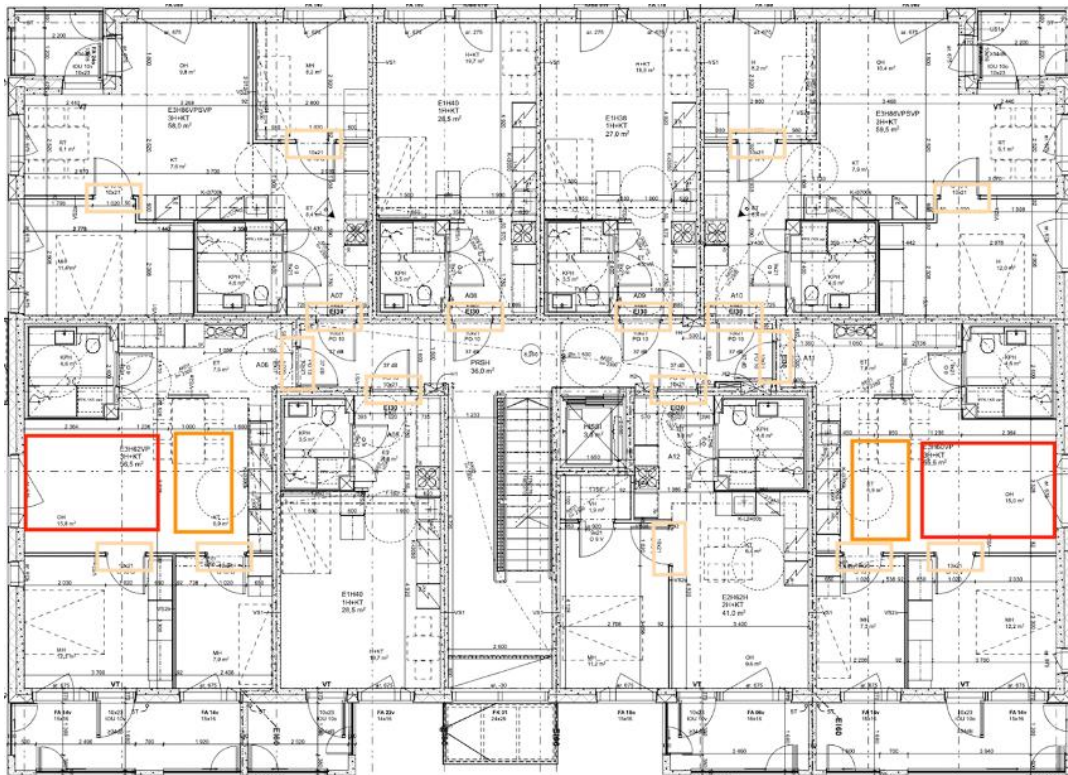
Rakennustyömaalta kerätyn datan ja haastatteluiden perusteella ovet ja ovenkarmit voitaisiin toimittaa heti, kun lattiapäällysteitä on asennettu tarpeeksi tuotetoimitusta varten. Käytännössä tämä tarkoittaisi yhden isomman huoneiston tai kahden pienemmän huoneiston lattiapäällysteen asennustyövaiheen valmistumista (kuva 17).

Tutkimuksessa on tullut esiin plaaniovien asentamisen mahdollisuus suoraan, mikäli oviasentaja olisi samaan aikaan paikalla tuotetoimituksen tullessa (täsmätoimitus). Tämä voisi olla vaihtoehtona tahtilogistiikassa, jotta tuotteiden varastointia kyettäisiin vähentämään. Tällöin ovenkarmit tulisi olla asennettuna jo ennen ovien tuotetoimituksia rakennustyömaalle. Karmien asennustoimien ja ovenasennustoimien jakaminen pienemmiksi tahtipaketeiksi tukisi myös haastatteluiden perusteella pyrkimystä lyhyempiin tahtiaikoihin ja sitä kautta pienempiin tahtipaketteihin.

Ovet ja ovenkarmit toimitettiin rakennustyömaalle pääurakoitsijan ohjajana ja ne haalattiin rakennuksen kerrokseen pääurakoitsijan tilaaman logistiikkayrityksen avulla. Kohteen listat kuuluivat hankintana aliurakoitsijalle, ja aliurakoitsija toimitti listat rakennustyömaalle rakennuksen ulkopuolelle, josta pääurakoitsijan työntekijät haalasivat ne sisälle rakennukseen. Havaitsin tutkimuksessani ongelmaksi sen, että pääurakoitsijalla ei ollut tosiasiallista ohjausta aliurakoitsijan tuotetoimituksista. Kohteessa ei ollut tietoa listojen täsmällisestä toimitusajasta, jolloin pääurakoitsijan haalausressit olivat varattuina pitkän aikaa listojen haalaustoimille. Loppujen lopuksi havaitsin, että listat eivät saapuneet oletettuna päivämääränä

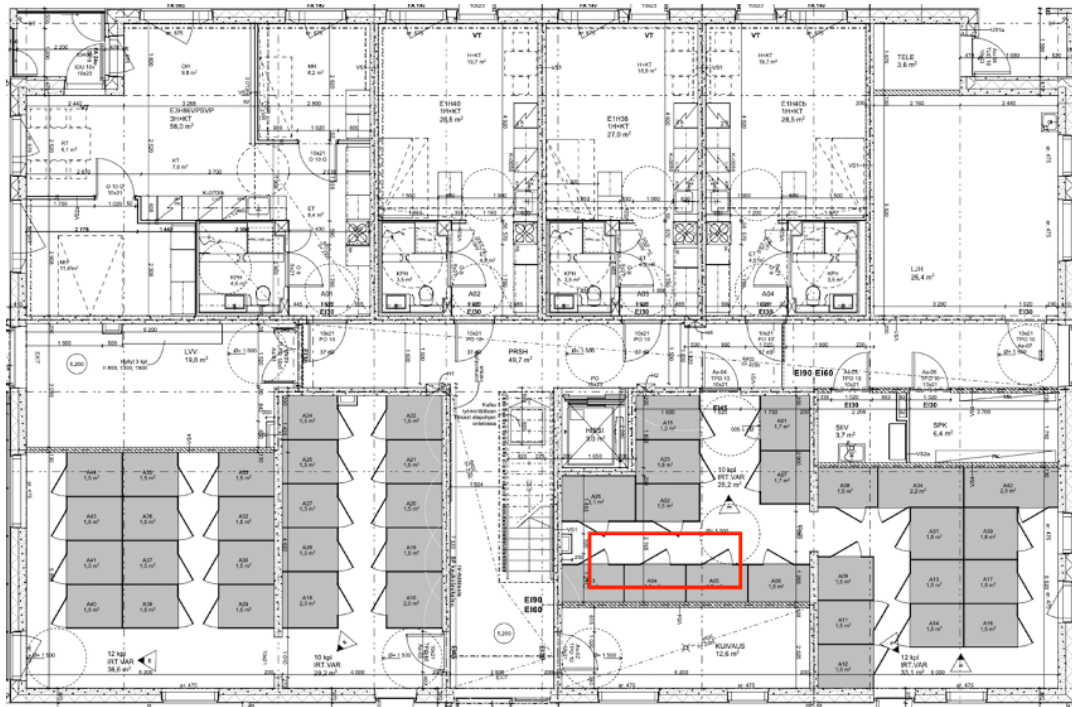
rakennustyömaalle, jolloin työnjohdolta ja haalauhenkilöiltä kului ylimääräisiä resursseja. Tuotetoimituksia tulisi haastattelujen perusteella saada pääurakoitsijan hankintojen tai ohjauksen alle, jotta resurssit ja muu logistiikka voitaisiin sovittaa tuotetoimitusten kanssa.

Puuovissa ja ovenkarmeissa havaittiin poikkeamia niiden suunnitelluissa toimitusajoissa verrattuna tosiasiallisiin toimitusaikoihin, jolloin ovet ja ovenkarmit tilattiin suoraan työmaalle. Kerroksiin, joihin tuotetoimittajan tuotteet tulivat aikataulussa, otettiin ovet ja ovenkarmit terminaalin kautta rakennustyömaalle. Poikkeamat ja myöhästymiset ovien ja ovenkarmien saannissa olivat pääurakoitsijasta riippumattomista seikoista johtuvia tuotetoimittajan oman tuotannon viivästyksen syytä. Tällaiset jopa viikkojen tuotetoimitusten myöhästymiset aiheuttavat vakavan häiriön tahtituotannon virtaukselle, mikäli ovet ja ovenkarmit tilataan rakennustyömaalle vasta juuri ennen niiden työvaihetta. Koska toimitusvarmuus on nykyisellä tasolla hyvinkin heikkoa, tukevat myös haastateltavien näkökulmat sitä, että tuotteet tulisi saada tarpeeksi ajoissa rakennustyömaalle materiaalipuskureiksi, jotta tahtijunan häiriöt vältetään. Erityisesti lyhyempiin tahtiaikoihin siirryttäessä tuotteiden saatavuus työvaiheelle nousee ensisijaisen tärkeäksi, jotta rakennuksen prosessin virtaus säilyy.



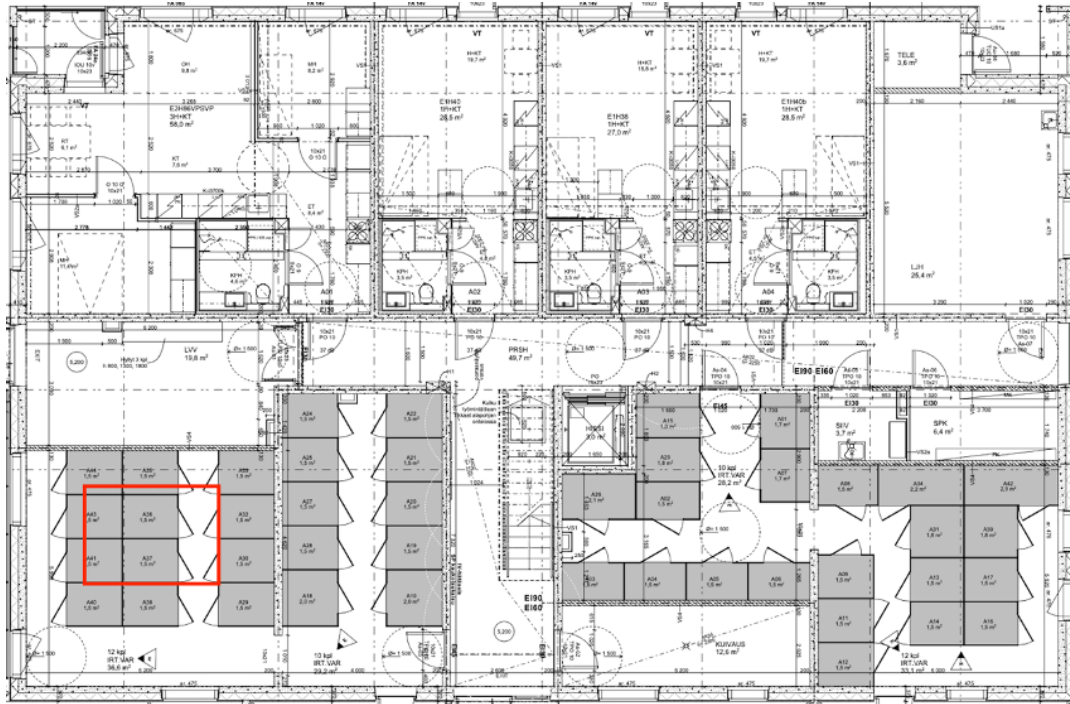
Kuva 17: Ovien ja ovenkarmien asennustöiden viemä tila kerroskohtaisesti. Kuvaan punaisella on merkitty tuotetoimituksen viemä tila työvaiheen sijainnissa. Kuvaan oranssilla on merkitty kokoonpanovaiheen viemä tila ja kellertävällä asennustyön viemä tila.

Tutkimuksen kohteessa koko rakennuksen listat varastoitiin sisääntulokerroksen yleisiin tiloihin, häkkivarastotilaan. Pohjakuvasta (kuva 18) poiketen yleisissä tiloissa ei ollut häkkikomeroita rakennettuna, joten varastointi kyettiin toteuttamaan listoitustyövaiheessa helposti. Tutkimuksen datan avulla huomasi, että yleiset tilat olivat sisävalmistusvaiheessa pääosin tyhjiällä ja hyödyntämättä. Ensimmäisen kerroksen ovia ja ovenkarmeja sekä talon listoja varastoitiin hetkellisesti yleisissä tiloissa, mutta muuten siellä oli havaittavissa hyödyntämätöntä tyhjää tilaa. Haastattelujen perusteella kävi kuitenkin ilmi, että yleisissä tiloissa varastoinnissa tulee ottaa huomioon häkkikomeroitten asennusaika, sekä muut tiloissa toteutettavat rakennustekniset työt, esimerkiksi maalaus- ja lattiatyöt. Kohteen listat mitattiin noin 3,5 metriä pitkiksi, jonka ansiosta listojen haalaus kellarista kerrokseen onnistui listoitustyövaiheen alkaessa suhteellisen helposti. Toisissa kohteissa listojen pituudet saattavat aiheuttaa hankaluutta taittua huoneistoihin, jolloin haalaus tai esivalmistusvaihtoehtoja tulee pohtia uudestaan.



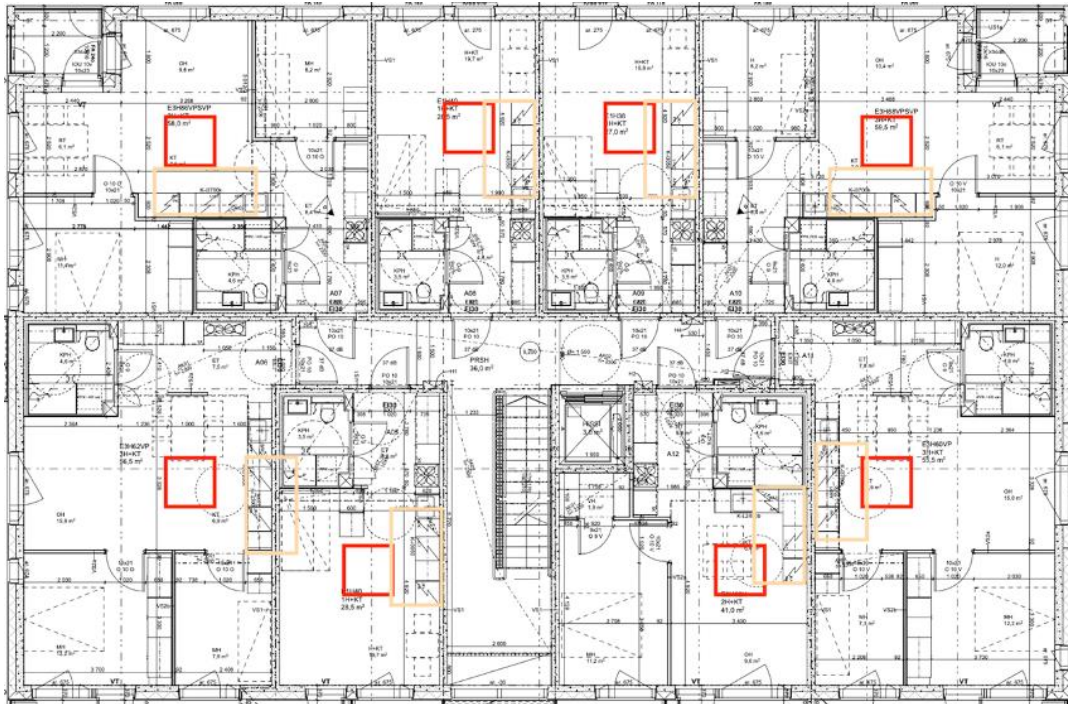
Kuva 18: Listojen varastoinnin viemä tila ensimmäisessä kerroksessa. Kuvaan punaisella on merkitty tuotetoimituksen viemä tila työvaiheen sijainnissa.

Kohteen koko rakennuksen liesituulettimet haalattiin sisääntulokerroksen yleisiin tiloihin (kuva 19) odottamaan ylempien kerrosten edellisten työvaiheiden valmistumista ja liesituulettimien asennustöiden alkamista. Vaikka koko rakennuksen liesituulettimet mahdollittiin varastoimaan hyvin kohteen yleisiin tiloihin, voitaisiin liesituulettimet haalata suoraan huoneistoihin. Yksi liesituulettinipaketti ei vienyt kovin paljoa tilaa ja se voidaan toimittaa paketissa huoneistoon kodinkoneiden kanssa samanaikaisesti.



Kuva 19: Liesituulettimien varastoinnin viemä tila ensimmäisessä kerroksessa. Kuvaan punaisella on merkitty tuotetoimituksen viemä tila työvaiheen sijainnissa.

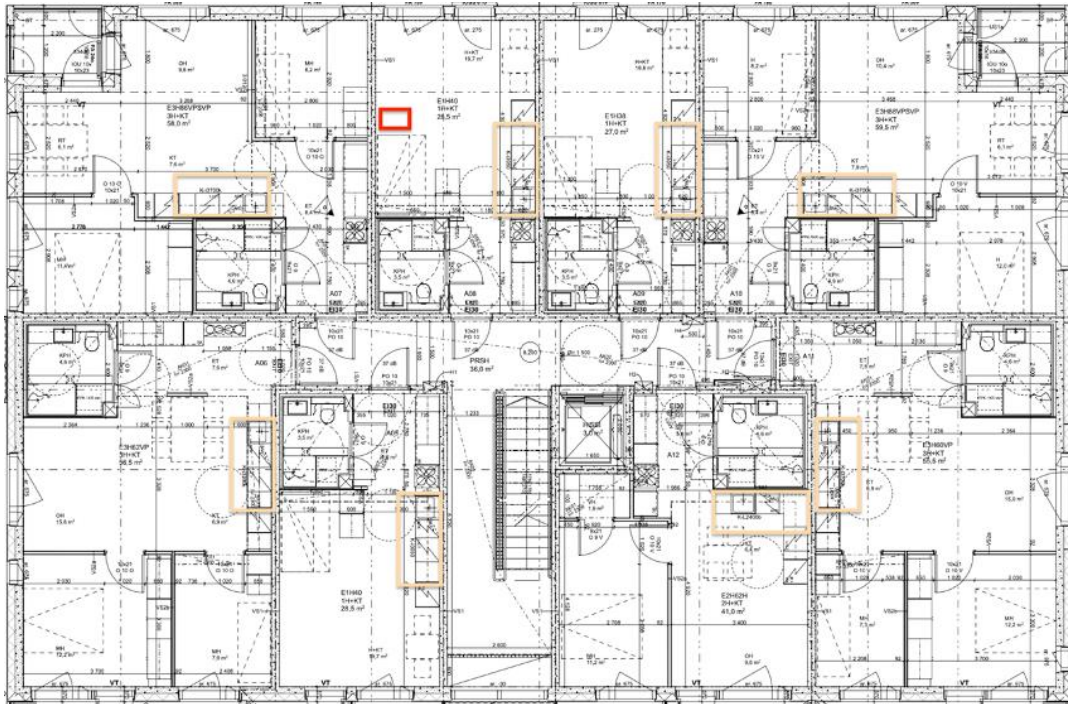
Huoneistojen kodinkoneet toimitettiin ja haalattiin jokaiseen kerrostason huoneistoon (kuva 20). Kodinkoneet toimitettiin ja haalattiin kerroksittain työnjohdon sopivaksi katsomana ajankohtana. Tutkimuksessa havaitsin kodinkoneiden (jääkaappi, astianpesukone, uuni ja liesi sekä vuotokaukalot) mahtuvan noin yhden eurolavan kokoiselle alueelle. Kodinkoneasennuksissa on huomioitava asennustöiden viemä tila, mutta itse huoneisossa tapahtunut kodinkoneiden välivarastointi ei juurikaan vienyt tilaa. Mikäli kodinkoneet varastoidaan lavassa keskelle huoneistoa tai keskelle huoneistojen makuuhuoneita, kyetään oviasennustöitä, listoitustöitä ja muita tarpeellisia työvaiheita toteuttamaan, vaikka kodinkoneet olisivatkin jo materiaalipuskureina tahtialueen sijainnissa, odottamassa omaa työvaihettaan toteutuvaksi.



Kuva 20: Kodinkoneiden asennustöiden viemä tila kerroskohtaisesti. Kuvaan punaisella on merkitty tuotetoimituksen viemä tila työvaiheen sijainnissa. Kuvaan kellertävällä on merkitty asennustyön viemä tila.

Välitilalaatoitustöiden materiaalit, välitilalaatat, tilattiin työmaalle terminaalien kautta. Välitilalaatat välivarastoitiin kerroksittain yhteen huoneistoon, huoneistoihin pienemmissä erissä tai kerroskäytävätiloihin. Kuvassa 21 esitetään välitilalaatoitustöiden viemä tila kerroskohtaisesti, kun kerroksen välitilalaatat on välivarastoitu yhteen huoneistoon. Tutkimuksessa huomasi, etteivät huoneistojen välitilalaatat vie kerroksista tai huoneistoista paljoa tilaa. Tarpeen mukaan välitilalaattoja kytetään varastoimaan jopa käytävälueille. Välitilalaatoitustöiden välivarastointia voidaan toteuttaa muun muassa huoneistoissa valmiiden kalusteiden päällä, esimerkiksi keittiön tason päällä.

Mikäli välitilalaatoituksen materiaali välivarastoidaan rakennustyömaalle huoneistokohtaisesti, voidaan tutkimuksen perusteella materiaali välivarastoida välittömästi kalusteasennustöiden jälkeen. Välivaraston sijainti kytetään määrittämään kerroksessa hyvinkin vapaasti rakennustyömaan ja työnjohdon sekä työvaiheiden tarpeiden mukaisesti. Mikäli koko kerrostason välitilalaatoitusmateriaalit välivarastoidaan samaan sijaintiin, tulee kiinnittää enemmän huomiota niiden viemän tilan kokoon, vaikka sitä ei voidakaan pitää merkittävän suurena. Laatoituksen asentaja toteuttaa työt asennettavien välitilalaatoitusten edessä, eikä isoja työkaluja käytetä työhön. Laatoitukseen käytettävä laasti voidaan sekoittaa käytävällä, ulkona tai muussa rakennustyömaalle sopivassa sijainnissa.



Kuva 21: Välitilalaatoitustöiden viemä tila kerroskohtaisesti. Kuvaan punaisella on merkitty tuotetoimituksen viemä tila työvaiheen sijainnissa. Kuvaan kellertävällä on merkitty asennustyön viemä tila.

Tässä tutkimuksessa on havaittu, että tuotetoimitukset tulisi optimoida eräkokojen, setityksen ja aikataulujen avulla. Tutkimuksen tulosten perusteella tuotetoimituksen täsmätoimitus rakennustyömaalle on aikataullisesti paras ratkaisu, mutta prosessin varmuuden ja mahdollisesti myös taloudellisen näkökulman takia tuotteita tulisi ottaa rakennustyömaalle tätä aiemmin. Materiaalipuskurin näkökulmasta täsmätoimitukset eivät aina tue ajatusta parhaasta toimitusajankohdasta, sillä haastattelujen perusteella toimituksissa esiintyy vielä liikaa epävarmuustekijöitä, jotka tulisi saada hallintaan tuotetoimitusketjuja kehitettäessä. Haastatteluista ilmeni, että tietyissä tuotteissa on kannattavaa mennä huoneistokohtaiseen tuotetoimituksen tasoon ja tietyissä tuotteissa lohkokerrostarkastelu on riittävä.

Haastattelujen perusteella kerroksen tilojen asennusjärjestys tulisi järjestää niin, että materiaalien sijoitus kerrokseen voitaisiin toteuttaa mahdollisimman aikaisin. Tämä tarkoittaa usein isompien asuntojen valmistamista ensiksi, jolloin asuntojen huoneisiin tai muuten tyhjiällä olevaan riittävään tilaan voidaan sijoittaa materiaaleja seuraavia kerroksessa toteutettavia työvaiheita varten.

Tuotteiden toimitusaikaikkunoissa korostuvat kustannusten ja tuotannon virtauksen optimointi. Mitä tarkempia ja pienemmällä eräkoilla toteutettavia tuotetoimituksia suunnitellaan, sitä suuremmiksi tekijöiksi toimitusvarmuus ja toimituskustannukset muodostuvat.

4.3.3 Tuotetoimitusten kehitysehdotukset

Kun tarkastellaan tuotetoimitusten, niiden varastoinnin, esivalmistuspisteiden, kokoonpanopisteiden ja asennuspisteiden sekä työn viemän tilan kokoa suhteessa työvaiheisiin, saadaan tutkimuksesta raamit tuotetoimitusten mahdollistamiseksi. Seuraavaksi tutkimuksessa esitetään tuotetoimitusten aikaikkunat tahtiajan pienentämisen mahdollistamiseksi tulevissa rakennushankkeissa. Tuloksia voidaan hyödyntää materiaalipuskureiden tarkasteluun suhteessa suunniteltuun tahtiaikaan.

Kiintokalusteasennustyöt:

Ensimmäinen kiintokalusteiden tuotetoimitusaika työmaalle on mahdollista välittömästi lattian hiontatöiden jälkeen. Kiintokalusteet vievät suuren määrän tilaa, joten niiden varastointia ei ole järkevää yhdistellä. Kiintokalusteet tulisi varastoida jokaiseen huoneistoon. Viimeinen tuotetoimitusaika on määriteltävä niin, että tuotteet kyetään haalaamaan huoneistoon ennen kalusteasennustöitä, jotta kiintokalusteasentajilla on tarvittavat materiaalit valmiina aloittaessaan työnsä.

Lattiapäällysteen asennustyöt:

Ensimmäinen lattiapäällysteen tuotetoimitusaika työmaalle on mahdollista välittömästi lattian hiontatöiden jälkeen. Lattiapäällysteet tulisi varastoida kerrosten isompien huoneistojen makuuhuoneisiin, mistä asentaja noutaa huoneistokohtaiset paketit. Näin ollen välivarastointitilana toimivan makuuhuoneen lattiapäällysteen asennustyöt on toteutettava viimeisenä, jotta tuotteet eivät ole asennuksen tiellä. Makuuhuoneiden tuotetoimitukset tulee asettaa niin, etteivät ne ole tiellä makuuhuoneiden vaatekaappien asennustöissä. Tutkimuksessa ilmeni, että yhteen makuuhuoneeseen voidaan varastoida jopa koko kerroksen lattiapäällysteet. Viimeinen tuotetoimitusaika on määriteltävä niin, että lattiapäällyste on valmiina lattiapäällysteen asennustöihin. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi aamulla tuotetoimitusta ja tuotteiden haalausta, jotta myöhempanä ajankohtana lattiapäällysteen asentaja pääsee asennustoimiin.

Ovien ja ovenkarmien asennustyöt:

Ensimmäinen ovien ja ovenkarmien tuotetoimitusaika rakennustyömaalle on mahdollista toteuttaa, kun lattiapäällyste on huoneistossa asennettuna. Tutkimuksen tulosten mukaan puolen (1/2) kerroksen ovet ja ovenkarmit voidaan varastoida yhteen isompaan huoneistoon. Tämä tukee sitä, että lattiapäällysteen asennustöiden tulisi alkaa isoimmista huoneistoista, jotta materiaalipuskureita saadaan rakennustyömaalle mahdollisimman ajoissa. Viimeinen toimitusaika tuotteille on ennen ovien ja ovenkarmien työvaihetta niin, että tuotetoimitus ei häiritse työvaiheen alkamista.

Listoitustyöt:

Mikäli listat toimitetaan rakennuksen yleisiin tiloihin, voidaan ne toimittaa jo aikaisemmin verrattuna työvaiheen sijainnissa toteutettavaan

välivarastointiin. Ensimmäinen tuotetoimitusaika huoneistoon on mahdollista toteuttaa, kun lattiapäällyste on huoneistossa asennettuna. Pääsääntöisesti listat voidaan toimittaa ja välivarastoida samanaikaisesti ovien ja ovenkarmien kanssa. Listoituksen materiaali tulisi kuitenkin sijoittaa isompiin huoneistoihin, sillä listojen pituus saattaa haitata esimerkiksi oven ja ovenkarmien asennustöitä. Lähtökohtaisesti listoitustöitä voidaan toteuttaa samanaikaisesti oven ja ovenkarmien asennustöiden kanssa. Viimeinen toimitusaika tuotteille on ennen työvaiheen alkamista.

Liesituulettimien asennustyöt:

Liesituulettimet voidaan toimittaa aiemmin rakennuksen yleisiin tiloihin, kun huoneistojen sijainteihin. Mikäli liesituulettimet toimitetaan huoneistoihin, on ensimmäinen tuotetoimitusaika ovien, ovenkarmien ja listoituksen kanssa samanaikaisesti mahdollista. Tässä tapauksessa liesituulettimet tulee toimittaa huoneistokohtaisesti yksitellen. Kun liesituulettimia toimitetaan ja välivarastoidaan huoneistokohtaisesti, voidaan liesituulettimen tuotetoimitus ajoittaa samanaikaisesti ovien, ovenkarmien ja listoitusten kanssa. Mikäli liesituulettimet välivarastoidaan kerroskohtaisesti esimerkiksi yhteen isompaan huoneistoon, voi vapaasta tilasta tulla puutetta, ja näin tuotetoimitus voidaan toteuttaa vasta ovien, ovenkarmien ja listojen asennustöiden jälkeen. Viimeinen toimitusaika tuotteille on ennen työvaiheen alkamista.

Kodinkoneiden asennustyöt:

Kodinkoneet voidaan toimittaa huoneistokohtaisesti samanaikaisesti ovien, ovenkarmien, listojen ja liesituulettimien kanssa. Kodinkoneet eivät itsessään vie juuri tilaa huoneistossa eivätkä ole esteenä muiden töiden toteuttamiselle. Kodinkoneet tulisi haalata suoraan huoneistokohtaisesti ja haalauksen aikaikkunassa tulee varmistua siitä, että esimerkiksi yksiö ei täyty liiallisesta tuotemäärästä, vaan tilaa jää myös työvaiheiden asennustöille. Mikäli pienempään yksiöön toimitetaan ovet, ovenkarmit, listat, liesituuletin ja kodinkoneet samanaikaisesti ennen edellä mainittujen työvaiheiden alkamista, haittaa siitä aiheutuva liiallinen tuotteiden välivarastointi työvaiheiden virtauksen etenemistä. Kodinkoneet tulee toimittaa sijainnilleen viimeistään ennen työvaiheen asennustöiden alkamista.

Välitilalaatoitustyöt:

Välitilalaattojen ensimmäinen tuotetoimitusaika huoneistokohtaisesti on huoneiston kiintokalusteasennustöiden valmistuttua. Välitilalaatat voidaan toimittaa esimerkiksi keittiön tasojen päälle odottamaan välitilalaatoitustöiden alkamista. Toisin kuin ovien, ovenkarmien, listojen, liesituulettimen ja kodinkoneiden viemä tila huoneiston lattiatasolla ja sen aiheuttama mahdollinen haitta työvaiheiden toteutukselle, välitilalaattojen välivarastointi voidaan toteuttaa niin, että se ei häiritse työvaiheiden toteutusta. Välitilalaatat eivät vie juurikaan tilaa ja ne voidaan toimittaa materiaalipuskuriksi rakennustyömaalle jo hyvissä ajoin. Välitilalaattojen tulee olla toimitettuna rakennustyömaalle viimeistään ennen välitilalaatoituksen asennustoimia.

Vaikka tuotetoimitukset ja välivarastointi toteutettiin kohteessa tutkimuksessa kuvatusti, voitaisiin sitä toteuttaa paremmin suhteessa rakennuskohteen logistiseen tahtiin. Vaihtoehtoisesti tuotantotahtiin vaikuttavat tuotetoimitukset, esimerkiksi lattiamateriaalit, voitaisiin suunnitella tuotavaksi makuuhuoneisiin makuuhuoneiden kiintokalusteasennustöiden valmistuttua, vaikka kerroksen muut kiintokalusteasennukset olisivat kesken. Tämän tutkimuksen tuotetoimitukset edustivat tapaustutkimuksen asuinkerrostalokohteen rakentamista. Tuotetoimituksia ei välttämättä kyetä suunnittelemaan ja toteuttamaan esimerkiksi vain pieniä yksioita sisältävään asuinkerrostaloon vastaavasti kuin tässä tutkimuksen kohteessa olleeseen myös isompia huoneistoja sisältäneeseen asuinkerrostaloon.

4.4 Tilaus-toimitusketjun tiedonhallinta

Tutkimuksessa kerätyn datan perusteella huomasi haasteelliseksi tiedon hallinnan tuotetoimitusketjuja ohjattaessa. Rakentamisen toimitusketjun kommunikaatio tapahtui manuaalisilla välineillä automatisoitujen sijasta. Kun tieto (tiedonvaihto) tilaus-toimitusketjussa oli pääasiassa puhelimitse tai sähköpostilla välitettyä, aiheutui siitä tiedonkatkoksia ja toimitusvarmuus pieneni. Rakennustyömaalla havaitsin osan tuotetoimituksista saapuneen sovitusta toimitusajasta poiketen, koska tieto ei ollut saapunut osapuolille tai saapunutta tietoa ei ollut jatkojalostettu omiin ohjelmistoihin. Rakennustyömaan eri tuotetoimituksiin ei ollut olemassa reaaliaikaista ja läpinäkyvää kokonaiskuvaa, jotta tilaus-toimitusketjua olisi kyetty hallitsemaan reaaliaikaisesti. Havaitsin myös tuotetiedon hallinnan olevan tärkeänä osana toimitusketjun hallintaa. Kun tuotetietoja ei ollut järjestelmissä saatavilla, pääurakoitsijan kyky suunnitella muun muassa tuotteiden setitykset, haalausreitit ja purkupaikat heikentyi.

Tutkimuksessa tuli esiin puute vakiintuneesta järjestelmästä, johon voidaan kirjata tuotetoimitusten suunnitellut logistiikka-aikataulut ja varmistaa toimitusajankohdat. Tämä aiheutti tapaustutkimuksen kohteessa heikkoa tiedonkulkua, johtuen osin sidosryhmien omasta tiedonhallinnasta tai sen puutteesta. Haastattelut puolsivat järjestelmän tarvetta ja yhteisen järjestelmän hyötyjä. Järjestelmää olisi tarvittu prosessiluontoisessa toteutuksessa ja kaikilla tarvittavilla osapuolilla olisi tullut olla pääsy järjestelmään. Järjestelmän ohjeet ja toimintatavat tulee olla koulutettuina tai käytyinä läpi tuotetoimitusketjun osapuolille.

Nykyisessä prosessissa havaitsin puutteellisuuksia tilausvahvistustiedoissa, sillä materiaalien saapumisesta rakennustyömaalle ei tosiasiallisesti tiedetty tai sitä ei muuten tarkastettu. Tämä johtui puutteellisista standardeista tilaus-toimitusketjun tiedonhallinnassa. Rakennustyömaan olisi ollut ehdottoman tärkeää saada ja päästä käsiksi tietoihin; mitkä tuotteet toimitettiin rakennustyömaalle, minkä tuotteiden olisi pitänyt tulla, mitkä ovat

tuotteiden eräkoot ja mihin välivarastointisijaintiin tuotteet toimitetaan tuotetoimituksen saavuttua.

Huomionarvoista oli, ettei aliurakoitsijoiden tuotetoimituksen tilaukselta toimitettu pääurakoitsijalle lähetysvahvistuksia. Tämä hankaloitti pääurakoitsijan kykyä ohjata ja järjestellä haalausresurssit ja tuotetoimitukselle vaadittava tila rakennustyömaalla tiedon puutteen takia. Empiirisessä osiossa havaitsin useissa tuotetoimituksissa löytyvän tiedot tilausvahvistuksesta, mutta lähetysvahvistuksia ei toimitettu pääurakoitsijalle. Logistiikka-koordinaattorin haastattelusta tuli ilmi vaatimus rakennustyömaalle ilmoitettavista lähetysvahvistuksista. Myös työnjohtajat pitivät tietoa tärkeänä. Saapumisvahvistukset rakennustyömaalle on oltava aktiivisesti käytössä jokaisella rakennustyömaan tuotetoimittajalla, jotta voidaan varmentaa tarkemman tuotetiedon ja sen määrän suunnitelmanmukaisuus.

Tuotetoimitusketjujen stabiloimiseksi tarvitaan parempaa tilannekuvaa materiaalin virtauksesta ja yli yksittäisen rakennustyömaan tapahtuvaa tuotetoimitusketjujen ohjausta. Tilaus-toimitusketjun tiedonhallinta on merkityksellisessä osassa mahdollistaessa eri sidosryhmien toiminta tuotetoimitusketjuissa. Sähköinen tiedonvaihto korostuu kompleksisten hankkeiden läpimenon toteuttamisessa suunnitelmien mukaisesti.

Setityksissä on tärkeää saada lavakohtainen tieto, millä mitoilla tuotteita voidaan sijoittaa toimituslavoihin ja kuinka monta lavaa on tarkoituksenmukaista toimittaa missäkin tuotetoimitusketjun vaiheessa. Lavatietojen ja tuotteiden koko- ja määrätietojen avulla valitaan haalaukseen käytettävät kulkureitit. Tietokantaan vietyjen tietojen kautta tuoteyksilöinteihin päästäisiin helpommin käsiksi ja poikkeamien ohjaustoimia voidaan toteuttaa nopeammin. Esimerkiksi tiedot tuotteiden korvattavuuksista ja vaihdettavuuksista ovat tärkeitä, mikäli tuotetta ei ole enää saatavilla tavarantoimittajasta johtuvasta syystä. Logistiikan virtauksen kannalta pysyvistä varastoista, liikkuvista varastopaikoista, paluuvirtavarastoista ja tuotteiden menekistä (esimerkiksi yhdessä huoneistossa) tulee saada saldotietoa yhteisiin järjestelmiin, jotta prosessin oppiminen ei jää yhteen rakennettavaan kohteeseen. Tuotetoimitusketjua tulee johtaa tiedolla, jota kerätään ja kootaan eri rakennushankkeista.

Tuotannon suunnitteluvaiheessa syntyy rakentamisen prosessikuvaus tuotannon työvaiheista. Kun tahtituotantoa toteutetaan, tulee materiaaliluettelon koostua työvaiheiden tiedoista, joista saadaan tiedot materiaaliluettelon syntyyn tahtivaunuittain. Tämä mahdollistaa prosessin virtauksen parantamisen. Rakentamisen prosessissa jo hankinnassa tulee yksilöidä vaunujen tuotteet, jotta oikeat materiaalit ja niiden tuotetiedot saadaan ajallaan työvaiheelle, eikä hukkaa synny työn odottaessa materiaalejansa.

Sisävalmistusvaiheen terminaalin sijainti ja tuotetoimitusyksiköt vaikuttavat rakennustyömaan logistiikan suunnitteluun. Rakennustyömaalla logistiikan

suunnitteluun tarvitaan lähtötietoina tietoa muun muassa käyttöyksiköstä, pakkauksesta ja logistisesta yksiköstä (esimerkiksi lavan sisältö). Näiden kaikkien sisältö tulee merkitä selvästi hankekohtaisesti, ja mahdollisesti kerros-, huoneisto- tai jopa huonekohtaisesti. Logistiikkamallin on sitoutettava logistiikkakumppanit ja tavarantoimittajat noudattamaan yhteisiä käytäntöjä, jotta tilaus-toimitusketjua kyetään hallitsemaan reaaliaikaisesti.

Materiaalitarpeen ja tietovirtojen hallinnan on ulotuttava tilauksentekovaiheeseen, jossa tilausriveillä kerrotaan mitä tilataan. Tuotteiden kotiinkutsuista tulisi olla saatavilla tiedot kellonajasta, päivämäärästä, määrästä, materiaalista sekä rakennustyömaan ja siitä vastaavan työnjohtajan tai tuotetoimituksesta tai työvaiheesta vastaavan työnjohtajan yhteystiedot, jotta materiaalivirran ja tietovirran kulku voidaan varmistaa tuotetoimitusketjuissa. Mikäli aliurakoitsija tekee omat tuotetilauksensa, on niiden oltava ajoissa tehtyinä. Aliurakoitsijoiden työnjohtajien tulisi olla mukana tuotetoimitusketjun tiedonjaossa sidosryhmille, sillä materiaalivirtaan vaikuttaa aliurakoitsijoiden toteuttamat omat hankinnat.

4.5 Yhteistoiminta ja johtaminen tuotetoimituksessa

Havaintojen ja haastatteluiden perusteella tahtituotannossa nousi ongelmaksi johtamisen ja sopimusten puute. Aliurakoitsijoita ja heidän työntekijöitään ei saatu tarpeeksi ymmärtämään tahtituotannon periaatteita, joihin hankkeessa oltiin ryhtymässä. Tutkimuksessa huomasin, että erityisesti lattiapäällysteen asennustöissä korostuivat tahtiaikataulun vaatimusten ja asentajan tahdon polarisoituminen. Ongelmaksi tahtituotannon tavoitteissa ja toteutuksessa havaitsin sen, ettei aliurakoitsijoiden kanssa tehty selväksi ja saatettu sopimukselliseen muotoon hankkeen tahtituotannon periaatteita, jotta päästäisiin prosessin vakiointiin. Pääurakoitsijan motivaatio ja asenne toteuttaa tahtituotantoa nousi haastatteluissa tärkeäksi tuotannon mahdollistavaksi tekijäksi. Varsinkin vastaavan työnjohtajan ja työmaainsinöörin sekä muun työmaahenkilöstön tuki ja halukkuus voivat mahdollistaa tai vastaavasti pilata tahtituotannon onnistumisen. Myös työntekijä tai työryhmä on saatava paremmin motivoitua suorittamaan tahtituotantoa ja etenemään huoneisto kerrallaan eikä suorittamaan liian isoa aluetta kerrallaan.

Nykyisellä mallilla pääurakoitsija usein kilpailutti urakan ja aliurakoitsija laski toteutuksen hinnan, joka sisälsi materiaalien massoitteuhinnan. Haastatteluiden perusteella pääurakoitsija näki, että mallista tulisi päästä eroon kohti teollisempaa prosessia, jossa työntekijät toteuttavat työn ja pääurakoitsija vastaa tuotetoimitusketjun hallinnasta. Varsinkin tahtiajan ja -alueen pienentyessä nykyisen mallin nähdään luovan ongelmia. Vastuunjako tulisi tehdä selväksi jo urakoista neuvoteltaessa ja aliurakkasopimuksia tehtäessä, jotta neuvotteluihin voidaan tarvittaessa tukeutua tilanteen hankaloituessa rakennustyömaalla.

Toimiva virtaus edellytti panostusta koko tuotetoimitusketjun hallintaan. Tuotetoimitusketjuissa voi tapahtua kognitiivista ylikuormitusta, mikäli tiedonvaihto tapahtuu sähköpostin tai muun manuaalisen kommunikaation välityksellä. Tämä tarkoittaa sitä, että ilman järjestelmiä rakennustyömaalla ei kyetä käsittelemään tarvittavaa tietomäärää. Toimitusketjun sujuvoittamiseksi on siirryttävä kohti digitaalista johtamista, koska työn ja materiaalin virtaus edellyttää tiedon reaaliaikaisuutta ja sen reaaliaikaista saantia, eli tiedon virtausta. Mikäli tieto ei ole helposti saatavilla ja luettavissa, esimerkiksi yhteisissä järjestelmissä (koneellistettu tiedon virtaus), on virtaus häiriöherkkä ja hankala ylläpitää.

Kohteessa ei hyödynnetty logistiikkakumppanuutta, mutta sen pilotointia suunniteltiin muissa kohteissa pohjautuen tämän tutkimuksen tuotetoimitusketjuista saatuihin havaintoihin. Pääurakoitsija voi tehdä yhteistyötä logistiikkaan erikoistuneen yrityksen kanssa, joka suunnittelee, ohjaa ja toteuttaa tuotetoimituksia työvaiheiden vaatimissa aikatauluissa ja määrissä. Tässä tutkimuksessa kävi ilmi, että logistiikkakumppanuus katsotaan hyväksi tavaksi järjestää työmaalogistiikkaa ja siitä on muodostumassa tulevaisuudessa yhä enenevässä määrin käytetty toimintatapa. Logistiikkatoimija voi itse huolehtia toimitusvahvistuksista tai toimitusvahvistuksia voidaan määrittää kulkeväksi myös pääurakoitsijan kautta. Logistiikkakumppanuus on tapa ulkoistaa rakennustyömaan logistiikka alihankkijalle tai alihankkijoille. Logistiikkasuunnittelu tulee tällöin muodostaa logistiikkakumppanin kanssa, jotta molemmille osapuolille on selvää, miten tuotteet setitetään ja haalataan, millaisella aikataululla ja kenen vastuulle ne kuuluvat.

Logistiikkakumppanin kanssa tulee kommunikoida tuotetilauksia hoitavasta vastuuhenkilöstä. Yhteisiä järjestelmiä logistiikkakumppanin, urakoitsijoiden, tavarantoimittajien ja terminaalin kanssa on kehitettävä, jotta rakennustyömaan ajantasainen tieto saadaan jokaiselle. Myös logistiikkaan liittyvät ohjeet on saatava tilauksiin ja aliurakkahankintoihin ja sopimuksiin mukaan, jotta varmistutaan logistiikkakumppanin, urakoitsijoiden ja tavarantoimittajien tietoisuudesta ja kykeneväisyydestä tahtituotannon periaatteisiin. Sisävalmistusvaiheen logistiikkasuunnitelma, sisältäen rakennustyömaan sisälogistiikan toimintamallin, vastuunjaon, tarkennukset ja ohjeet, on käytävä huolellisesti läpi sidosryhmien kanssa. Hankintapaketit ja toimituserät tulee suunnitella yhdessä logistiikkakumppanin kanssa ja muodostaa ne toteutettavan tahtiaikataulun työvaiheiden materiaalintarpeen mukaisesti.

4.6 Kooste kehitysehdotuksista

Tämän tutkimuksen kehitysehdotuksissa tarkastelen tuotetoimitusketjujen nykyistä tilaa osana tahtituotantoprosessia ja ehdotan muutoksen seuraavia askeleita prosessien parantamiseksi. Tutkimuksen empiirisen osion haastattelututkimuksessa olen havainnut samojen ongelmien toistuvan hankkeesta toiseen. On löydettävä keino parantaa vallitsevan prosessin tilaa. Olen

havainnut nykyisen tilan estävän tai vähintäänkin heikentävän läpimenoajan lyhentämisen tavoitteita. Tutkimuksen kehitysehdotuksilla voidaan parantaa asuntorakentamisen tuotetoimitusketjuja tahtituotannossa ja sen kautta mahdollisuuksia lyhentää hankkeen läpimenoaikaa ja vaikuttaa rakentamisen tuottavuuden kasvuun. Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty tutkimuksessa tunnistettuja ongelmia ja ehdotettu niitä korjaavia kehitysehdotuksia.

Taulukko 5: Tunnistettuja ongelmia ja niiden kehitysehdotuksia, 1.

Tunnistettu ongelma	Kehitysehdotus
Tuotetoimitusketjun tietovirta oli heikkoa ja tuotetietoa ei ollut saatavilla, mikä heikensi pääurakoitsijan kykyä suunnitella tuotteiden setitykset, haalausreitit ja purkupaikat	Tuotetoimituksessa tulee olla kollitiedot, toimitusrivit ja riveillä tuotetiedot. Rakennustyömaan vastaanottotiedoissa ja varastosaldoissa tulee löytyä tiedot tuotenimikkeistä
Yhteisten tietojärjestelmien puute aiheutti suunnitelmapoikkeamia, sillä päivitetty tieto ei ollut saatavilla sidosryhmille tai sitä ei muuten havaittu. Kommunikaatio tapahtui pääosin manuaalisilla välineillä	Logistiikkakumppanin tai tuotetoimittajan kanssa tulee kehittää yhteinen järjestelmä, josta tiedot ovat automaattisesti luettavissa ja varmennettavissa
	Yhteisen järjestelmän kautta voidaan parantaa tuotetoimitusten oikea-aikaisuutta ja niiden oikeaa sisältöä, jotta tiedonkulku helpottuu ja tietoa ei pääse hukkumaan
Materiaalien saapumisesta rakennustyömaalle ei ollut tietoa. Tilaus-toimitusketjun tiedonhallinta oli heikkoa ja aiheutti rakennustyömaalle haasteita	Lähetys- ja tilausvahvistukset tulee taltioida yhteiseen järjestelmään, josta on löydettävissä tietosettien sisällöstä ja niiden saapumisaikataulusta
Haalaustyötä toteutettiin osin pistemäisesti, joka lisäsi kustannuksia	Terminaalista ja muualta tulevat tuotetoimitukset ja niiden haalaustyöt on pyrittävä yhteensovittamaan samalle päivälle tai samanaikaisesti
Rakennustyöt häiriintyivät tuotetoimituksista ja päinvastoin tuotetoimitukset rakennustöistä	Mahdollisuutena tuoda tavarantoimituksia rakennustyömaalle työaikojen ulkopuolella
Useampi työvaihe koostui pienemmistä osatyövaiheista, jotka vaativat eri aliurakoitsijoiden pistemäisiä töitä	Voidaan hyödyntää monitoimityöryhmää, jolla olisi kykenevyyttä toteuttaa monia osatyövaiheita oman ryhmän sisällä

Taulukko 6: Tunnistettuja ongelmia ja niiden kehitysehdotuksia, 2.

Tunnistettu ongelma	Kehitysehdotus
Työvaiheiden työryhmien ja haalausryhmän töitä hidastivat osittain heikot merkinnät ja tiedot tuotteiden pakkauksissa	Pakkauksiin on selkeästi merkittävä yksityiskohtaiset tiedot huoneistosta ja huoneiston osasta, jotta haalausryhmä voi haalata tuotteet halutuille sijainneille
Työnjohdolle oli hankalaa seurata ja ohjata päivakohtaisen tahdin toteutusta	Sitedriven kautta tulisi saada yksityiskohtaisempaa tietoa tuotetoimitusten suhteutumisesta tahtiaikatauluun
	Pienemmät haamutehtävät tulisi myös löytyä Sitedrivesta, jotta työvaiheiden aikataulusuhteutuminen helpottuisi. Työvaiheiden työ- ja tuotelistausten tulisi löytyä tahtipakettien sisältä Sitedrivesta
Sitedriveen ei aina tehty oikea-aikaisia tai totuudenmukaisia kirjauksia toteutumista	Tuotannosta saadaan parempaa tietoa ja tahtilogistista prosessia voidaan kehittää, kun Sitedriveen kirjataan jatkuvasti oikea-aikaisesti ja totuudenmukaisesti
Lyhyempiä työvaiheita ei toteutettu tahtiaikataulun mukaisesti ja aliurakoitsijoilla oli haasteita noudattaa tahituotannon periaatteita	Aliurakkasopimuksiin ja hankintoihin tulisi määrittää työn etenemistahti, jotta työnjohto voi ohjata työskentelyä tahtialueilla ja tarvittaessa puuttua siihen
Osa toteutetuista työvaiheista sopi valittuun tahtialueeseen ja tahtiaikaan ja osan tuotannollinen toteuma oli huomattavasti nopeampi suunniteltuun tahtiin nähden	Tahtialueen ja tahtiajan on mahdollista olla työvaiheriippuvaisia, jolloin kysymykseen voi tulla eri suuruisen tahdin noudattaminen suhteessa tehtyyn työhön ja työn sijaintiin
Betonin kuivuminen aiheutti ongelmia ja viivästytti työvaiheiden aloitusta	Betoni kuivuu ensimmäisessä kerroksessa heikoiten, joten tahtiaikataulu tulisi suunnitella aloitettavaksi toisesta kerroksesta

Tuotetoimitusketjujen hallinnassa on hallittava eri sidosryhmien tuotenimiketason tietovirtoja. Työvaihekohtaiset ja sijaintikohtaiset materiaalitarpeet määräytyvät hankkeen tahdituotannon ominaisuuksien perusteella. Tuotetoimitusketjun tietovirran tulisi sisältää tilauksella tiedot tuotetietomallin tuotetiedoista (tuotenimikkeet) ja tilausriveistä. Rakennuksen digitaalisen kaksosen kehitys parantaa tuotetietomallin hallintaa. Toimituksessa tulee olla kollitiedot, toimitusrivit ja riveillä tuotetiedot. Välivaraston tiedoissa tulee olla saldotiedot kolleina ja tuotenimikkeinä. Kun tehdään kotiinkutsu tuote-erälle, tulee siinä näkyä tiedot kolleista ja tuotenimikkeistä. Rakennustyömaalla vastaanotetaan tuote-erä, jolloin työmaan vastaanottotiedoissa tulee olla tiedot kolleista ja tuotenimikkeistä. Lopuksi työmaan varastosalidoissa (tuotetoimitus haalattuna sijaintiin) tulee löytyä tiedot tuotenimikkeistöstä.

Logistiikkakumppanin tai tuotetoimittajan kanssa tulisi kehittää yhteinen järjestelmä, jonne kirjataan halutut toimitusajankohdat. Tiedon tulisi olla automaattisesti luettavissa sekä varmennettavissa niin työmaan kuin logistiikkakumppanin puolelta. Jatkossa terminaali tai logistiikkakumppani

hoitaisi kotiinkutsun terminaaliin tai muuhun välivarastoon tiettyä aikaa ennen rakennustyömaan tarvitsemaa toimitusajankohtaa ja pääurakoitsija tai logistiikkakumppani vastaisi kotiinkutsusta terminaalista rakennustyömaalle.

Tuotetoimitusten oikeaa sisältöä ja toimitusten oikea-aikaisuutta on parannettava muun muassa tavarantoimittajan ja pääurakoitsijan yhteisillä järjestelmillä, jotta tiedonkulku helpottuu ja tietoa ei pääse hukkumaan. Yhteisten tietojärjestelmien puute aiheuttaa suunnitelmapoikkeamia, sillä päivitetty tieto ei ole välttämättä eri sidosryhmien saatavilla tarpeenmukaisesti tai päivitetty tieto on saatavilla, mutta siihen ei ole reagoitu tai tiedon ei ole havaittu muuttuneen. Myöhästyneet tuotetoimitukset aiheuttavat häiriöitä tuotannolle. Tässä tulisi päästä toimintatapaan, jossa toimitukset kuitattaisiin vahvistetuksi ja varmistetuksi.

Lähetteet ja tilausvahvistukset tulisi taltioida yhteiseen järjestelmään, josta olisi löydettävissä tieto settien sisällöstä ja niiden saapumisaikataulusta. Mahdollinen paikkaseuranta parantaisi kykyä seurata tuotteiden liikkumistietoja. Terminaalilla tulisi olla pääsy yhteiseen järjestelmään, jonne terminaali merkitsisi lähetysvahvistuksen tiedot saapumisajankohdasta ja tuotetoimituksen sisällöstä.

Terminaalista tulevat tuotetoimitukset ja niiden haalaustyöt olisi pyrittävä yhteensovittamaan samalle päivälle tai samanaikaisesti. Mikäli toinen tuotetoimitus tulee terminaalista ja toinen suoratoimituksena, olisi haalaustyön jatkuvuuden kannalta ajankohdat yhteensovitettava kustannusten vähentämiseksi.

Mahdollisuutena on toimittaa tuotteet rakennustyömaalle esimerkiksi aamulla ennen töiden aloitusta ja illalla töiden päätyttyä, jotta yksittäiset tuotetoimitukset eivät häiritse työryhmän työskentelyä sijainnissa. Tahtituotannon tuotannosuunnittelun kannalta tuotetoimituksille ajankohta työaika-
jen ulkopuolella saattaisi olla paras vaihtoehto, sillä rakennustyöt eivät häiriintyisi tuotetoimituksista ja päinvastoin tuotetoimitukset rakennustöistä.

Tuotannossa voitaisiin hyödyntää monitoimityöryhmää, jolla olisi kykeneväisyyttä toteuttaa monia osatyövaiheita oman ryhmän sisällä, jolloin niitä ei tarvitsisi jakaa niin monelle aliurakoitsijalle. Tällöin esimerkiksi sähköasentajan työvaunuun olisi mahdollista lisätä myös muita rakennustöitä, mikä tarkoittaisi, ettei tuotantoaluetta tarvitsisi olla niin paljon saatavilla sähköasentajalle.

Huoneistojen tiedot tulisi saada näkyville jo suojapakkauksiin, kuten pahvikoteloihin, jotta tuotteet voitaisiin pitää suojattuina niiden asentamiseen asti. Kerroksen ja huoneiston numeron lisäksi tarvittaisiin selkeästi merkittyä tietoa yksittäiseen pakettiin, josta ilmenisi mihin osaan huoneistoa tuote tulee, mikäli asennussijainnilla on merkitystä. Muun muassa

kiintokalusteasennustöissä asennussijainnilla on merkitystä. Yhden huoneiston samaan huoneiston osaan tulevat tuotteet voitaisiin valmiiksi pakata jo samaan pakettiin kalustetoimittajan toimesta, jolloin haalausryhmällä olisi helppoa haalata tuotteita huoneistoon huonekohtaisesti.

Haalausryhmälle tulisi muodostaa ohjeistukset toiminnasta, jotta työnjohtajien tarve puuttua ja ohjata haalausryhmän tekemistä keventyisi. Haalaustoiminnan ohjauksesta tulisi siirtyä mikrojohtamisen tasolta kohti yleispätevää ohjeistusta, johon työnjohto puuttuu vain silloin, kun tuotteiden haalaustoiminnassa on ohjaustoimia vaativia poikkeavuuksia.

Mahdollisuutta tahtiaikataulun tarkasteluun tarkemmalla tasolla työnjohdollisissa toimissa tulisi kehittää, jotta päiväkohtaista tahtia voidaan ohjata. Sitedrivessa ei ole ominaisuutta, josta saataisiin yksityiskohtaisemmin tietoa tuotetoimitusten suhteutumisesta tahtiaikatauluun tai ehdotuksia tuotetoimitusten setityksen sopiviin kokoihin.

Myös pienemmät haamutehtävät tulisi löytyä Sitedrivesta, jotta työvaiheiden aikataulutus helpottuisi. Työvaiheen työ- ja tuotelistausten tulisi olla helposti saatavilla, jotta työnjohto voisi varmistaa olennaiset työt tehdyksi ja niiden tuotteet toimitetuksi. Esimerkiksi työvaiheisiin liittyvien tahtipakettien (tahtiaika ja tahtityöalue) löytyminen Sitedrivesta voisi tuoda selkeyttä tahtityöskentelyn periaatteille, jotta rakennustyömaan työnjohdolla olisi helpompaa saada käsitys siitä, mikä työvaihe ja sen osa kuuluu mihinkin tahtipakettiin.

Sitedriven kehitystä tulisi tukea kytkemällä siihen toimitusketjun hallinnan ja hankinnan tiedot, jotta tuotetoimituksilla olisi kyky tukea virtaavien työryhmien töitä rakennustyömaalla. Jotta logistinen tahti saataisiin vastaamaan työn etenemistä, tulisi Sitedriveen sisällyttää tuotetoimitukset ja niiden suunnittelu nykyistä paremmin. Työnjohdon näkymää materiaalitöimituksista suhteessa työvaiheisiin tulisi parantaa, koska nykyisellä toimintatavalla materiaalitöimituksien hallintaa toteutettiin erillisellä työkalulla (Airtable). Sitedriveen voitaisiin merkitä liikennevalotasolla, onko tahtiin tuleva tuotetoimitus ajoissa, ja mikä on tuotetoimituksen tila.

Oikea-aikaiseen, jatkuvaan ja totuudenmukaisten kirjaamiseen tulisi kiinnittää yhä enemmän huomiota hyödynnettäessä Sitedriven tarjoamia mahdollisuuksia prosessien tiedonkeruuseen ja niiden edelleen kehittämiseen. Näin tuotannosta saataisiin parempaa tietoa aikamääreistä ja aikaväleistä, jotka auttaisivat kehittämään tahtilogistista prosessia.

Lyhyemmät työvaiheet tulisi suunnitella aikatauluun niin, että ne toteutetaan ajallaan, mikä mahdollistaa työn virtauksen. Koska nykyinen tuotantotapa ei noudattanut tahtituotannon periaatteita, tulisi jo aliurakkasopimuksiin ja hankintoihin määrittää työn etenemistahti. Tällä voitaisiin saada työnjohdolle varmuutta puuttua ja ohjata työskentelyä halutuilla alueilla oikea-aikaisesti.

Tahtialueen ja tahtiajan on mahdollista olla työvaiheriippuvaisia, jolloin kysymykseen voi tulla eri suuruisen tahdin noudattaminen suhteessa tehtyyn työhön ja työn sijaintiin. Tahtialueesta voitaisiin muodostaa työvaiheriippuvaisia osatahtialueita, joiden tahtiaika vertautuu tahtialueen muuttuneeseen kokoon nähden esimerkiksi pilkkomalla tahtialue puoliksi ja näin puolittamalla alkuperäinen tahtiaika kummassakin osatahtialueessa.

Tämän tutkimuksen empiirisessä osuudessa havaitsin työvaiheiden myöhästyneen suunnitellusta aikataulustaan, koska betoni ei ollut vielä kuivunut tarpeeksi lattiapäällysteen asennustöitä varten. Betonin kuivumisen on todettu olleen jo aiemmassakin tutkimuksessa kriittisin vaihe töiden tahdistamisessa ja tahtia on jouduttu hidastamaan betonin kuivumista odottaessa (mm. Tompuri ja Mölsä 2019). Tahtiaikataulu tulisi muodostaa niin, että varmistetaan betonin kuivuminen ennen lattiapäällysteen asennustöitä. Betoni kuivuu ensimmäisessä kerroksessa heikoiten, joten tahtiaikataulu olisi ollut syytä suunnitella aloitettavaksi toisesta kerroksesta, jotta lattiapäällysteen asennustyöt olisi voitu suorittaa suunnitellussa sijainnissa oikea-aikaisesti.

5 Pohdinta ja yhteenveto

5.1 Tulosten pohdinta ja arviointi

Asuntorakentamisen tahtituotantoprosessi on siirtymässä kohti pienempiä tahtialueita, tavoitteenaan saada yhden huoneiston tahtituotantomalli toimivaksi. Tulevaisuuden tahtituotantomallissa asuntorakentamisen sisävalmistusvaiheessa voidaan nähdä jakautumista kahteen eri tuotantosysteemiin. Työvaiheille voidaan määrittää eri tahtituotantomallit riippuen niiden ominaisuuksista. Esimerkiksi kiintokalusteasennustöiden ja väliseinien maalausten tahtialueita ei välttämättä ole tarkoituksenmukaista määrittää samankokoisiksi tahtituotantoprojektissa. Näin ollen asuntorakentamisessa tulee harkittavaksi tahtialueiden jakoa esimerkiksi huoneistokohtaisiin ja lohkokerroškohtaisiin tahtialueisiin. Tahtia rajaaville työvaiheille, muun muassa tasoitus ja maalaustöille, voidaan jo suunnittelussa määrittää pidemmät tahtiajat, ottaen huomioon työvaiheen tuotantoprosessin tehokkuus, optimaalinen tuotantotila ja tuotetoimitusketjut. Taulukoissa 7, 8 ja 9 esitetään tutkimuksen tulosten pohdinnan ja arvioinnin pääkohdat.

Taulukko 7: Tuotetoimitusten tulosten pohdinnan ja arvioinnin pääkohdat.

Tuotetoimitukset
Tuotetoimitusketjuissa oli keskeisiä ongelmia toimitusten toteutuneissa ajankohdissa suunniteltuun verrattuna, materiaalin virtauksen suunnittelussa ja tiedonkulussa
Tuotetoimitusten määriä ja ajankohtia ei täsmällisesti voida määrittää hankkeen suunnitteluvaiheessa, vaan tuotetoimitusketjuihin joudutaan tekemään ohjaustoimia rakennustöiden edetessä
Tutkimuksen tuotetoimitusketjuilla ei ollut kyvykkyyttä reagoida nopeasti rakennustyömaan materiaalitarpeisiin. Tuotteiden täsmätoimitusten vasteajan pullonkaulaksi muodostui aliurakoitsijan haalausresurssien saaminen rakennustyömaalle
Pääurakoitsijalla ei ole tarpeeksi tietoa aliurakoitsijan tuotetoimituksista, mikä varaa ja kuluttaa pääurakoitsijan resursseja
Isoina erinä ajoissa terminaaliin otettavat tuotteet ja niiden imuohjaus rakennustyömaan tarpeiden mukaisesti vähentävät työn virtauksen vaihtelun vaikutusta rakennustyömaan tuotteiden toimitusaikoihin
Tahtiajan lyhentäminen puoltaa pienempiä tuotetoimituksia, mikäli rakennustyömaalla varastointi aiheuttaa häiriöitä työn virtaukselle
Rakennustyömaalle voidaan toimittaa suurempia tuotetoimituksia harvemmin, joissa pistemäisiä haalausresursseja hyödynnetään samalla, kun rakennustyömaalla olevaa tilaa hyödynnetään materiaalipuskureiden saavuttamiseksi
Rakennustyömaalle voidaan toimittaa pienempiä tuotetoimituksia useammin silloin, kun haalausresurssit ovat jatkuvasti hyödynnettävissä rakennustyömaalla
Tahtilogistiikan kannalta kaikkia tuotteita ei ole kannattavaa toimittaa vain yksittäisissä huoneistokohtaisissa toimituksissa. Tahtialueiden toimituseriä yhdistelemällä vältetään korkeilta kustannuksilta
Tuotteiden setitys tahtialueittain terminaalissa mahdollistaa useamman peräkkäisen tahtialueen toimituserän toimittamisen samassa tuotetoimituksessa, josta tuotteet haalataan eri sijainteihin rakennustyömaalla
Tahtilogistiikan onnistuminen vaatii suunnitelmien mukaisesti toteutettavaa oikea-aikaista täsmätoimittamista tai tarvittavia materiaalipuskureita rakennustyömaalle
Tahtiaikatauluun voidaan määrittää yksi tai kaksi tahtivaunua tuotetoimituksille yhden päivän aikana logistisen tahdin saavuttamiseksi
Reaaliaikainen tilannekuva tuotetoimitusketjujen suoriutumisesta järjestelmien ja koodistojen avulla luo kyvykkyyden virtaavan prosessin tiedon tarpeisiin

Taulukko 8: Välivarastoinnin tulosten pohdinnan ja arvioinnin pääkohdat.

Välivarastointi
Rakennustyömaalla varastoinnissa on hyötyjä ja haittoja. Hukkaa aiheutuu, kun varastointi häiritsee työn virtausta. Toisaalta varastointi pienentää vaihtelun merkitystä tuotetoimitusketjuissa luoden tarvittavat materiaalipuskurit tuotannon mahdollistamiseksi
Välivarastointi rakennustyömaalla on tärkeä tekijä tahtituotannon virtauksen parantamiseksi ja läpimenoajan lyhentämisen mahdollistamiseksi
Materiaalipuskureita tarvitaan, sillä tuotetoimituksissa esiintyy vielä liiallista vaihtelua. Ongelma on ratkaistavissa yhden tai kahden työvaiheen vaunun materiaalipuskureiden löytymiseltä rakennustyömaalta
Materiaalipuskureita optimoidaan kustannuksia ja prosessin virtausta tarkastelemalla, sillä häiriöt työn virtauksessa vaativat nopeaa reagointikykyä myös logistisesta näkökulmasta
Rakennustyömaalla on mahdollista varastoida materiaalipuskureita huomattavasti enemmän, kuin niitä nykyisellä mallilla välivarastoidaan
Teoreettisella tasolla välivarastointia rakennustyömaalla ei tarvittaisi, mikäli tuotetoimituksissa ja työn virtauksessa ei esiintyisi yhtään vaihtelua

Taulukko 9: Tuotannon tulosten pohdinnan ja arvioinnin pääkohdat.

Tuotanto
Työvaiheiden aloittaminen tahtiaikataulun mukaisessa sijainnissa oikea-aikaisesti on merkittävää tahtituotannon virtauksen kannalta
Tuotetoimituksen myöhästyminen lisää rakennustyömaan ongelmia, sillä tuotantojonan edetessä sen tahtivaunusta puuttuvat tarvittavat tuotteet
Työryhmien heikko virtaus tuotti suurempia ongelmia prosessin virtauksen kannalta kuin tuotteiden puuttuminen työvaiheilta
Rakennuksen kerrokset olivat pääosin tyhjillään, ja niissä työskenteli vain yksittäisiä henkilöitä. Huoneistokohtainen tahtialue ja neljän tunnin tahtiaika luovat mallin, jossa jokaisessa rakennuksen huoneistossa työskennellään suunnitellun tahtiaikataulun mukaisesti
Aliurakoitsijoille tulee olla vapaata tuotantoaluetta, jotta heidät kyetään pitämään rakennustyömaalla. Tuotantoalueen puuttuessa aliurakoitsijat voidaan pitää rakennustyömaalla maksamalla heille normaalit päivä- tai tuntikohtaiset korvaukset
Neljän tunnin tahtiaika ohjaa aliurakoitsijan työryhmää virtaamaan tehokkaammin, kun tahdin sisällä oleva aikapuskuri pienenee
Tahtialueita voidaan jakaa huoneistokohtaisiin ja lohkokerroksikohtaisiin tahtialueisiin
Tahtialuetta pienennettäessä aliurakoitsijan työryhmältä vähentyy pistemäiset työtehtävät
Teollinen rakentaminen, vakioidut toimintatavat ja valmistusprosessin tieto lisäävät rakennusten laatua ja säästävät kustannuksia

Tässä tutkimuksessa ja erityisesti tutkimuksen empiirisessä osassa keskityin olennaisesti tarkastelemaan Finnin rakennustyömaan tuotetoimitusten toteutusta ja niiden ohjaustoimia. Kun tahtialueita ja -aikaa pyritään pienentämään ja lyhentämään, edellyttävät ne yhä tarkempaa tahtilogistiikkaa rakennustyömaalle. Jotta tahtilogistiikassa onnistutaan suhteessa vallitsevaan tahtiin, vaatii tämä suunnitelmien mukaisesti toteutettavaa oikea-aikaista täsmätoimittamista tai tarvittavia materiaalipuskureita rakennustyömaalle.

Työn ensimmäinen tutkimuskysymys liittyi asuntorakentamisen tahtituotannon toteutukseen ja sen työvaiheiden materiaalitarpeiden ratkaisuun logistiikan avulla. Analyysin perusteella rakennustyömaalla varastoinnissa havaittiin olevan sekä hyötyjä että haittoja. Rakennustyömaalla tuotteita voidaan varastoida erillisiin varastoihin, häkkivarastoihin, huoneistoihin ja keroksiin. Nämä kaikki kuuluvat osana rakennustyömaalla toteutettavaan

välivarastointiin. Varastointia rakennustyömaalla voidaan osittain kuitenkin pitää hukkana (materiaalipuskuri), joka voi häiritä työn virtausta, mikäli rakennustyömaalla toteutetaan tarpeetonta varastointia (mm. Frandson ym. 2015, Koskela 2004). Ylimääräistä varastointia voi olla liian suuret materiaalipuskurit sijainneissa, joissa varastointi hidastaa työn toteutuksen etenemistä tai aiheuttaa estettä työn toteutukselle.

Tässä tutkimuksessa välivarastointi tosiasiallisesti pienensi vaihtelun merkitystä tuotetoimitusketjussa, sillä materiaalipuskurit olivat helpommin saatavilla. Koska tahtituotannossa esiintyvää vaihtelua ja häiriöitä ei voida täysin poistaa (Lehtovaara ym. 2022), pohdittavaksi muodostuu tarpeellisten materiaalipuskureiden hyödyntäminen prosessin virtauksen mahdollistamiseksi. Kun terminaaliin otetaan isoina erinä riittävän ajoissa tuotteet ja sieltä imuohjataan rakennustyömaan tarpeiden mukaisesti tuotetoimituksia, pienentyy työn virtauksen vaihtelun vaikutus rakennustyömaan tuotteiden toimitusaikoihin. Ensisijaisena tavoitteena tulisikin olla virtaustehokkuuden kehittäminen, jossa osa häiriöistä otetaan huomioon jo suunnitteluvaiheessa, jotta tahtijuna voi joustaa häiriön tapahtuessa.

Työn empiirisessä osuudessa tutkin, kuinka suuren alueen asentajat ja työvaiheiden materiaalit tosiasiallisesti varaavat tahtityöalueelta. Näin saatiin tietoa siitä, kuinka aikaisin tietyn tahtialueen materiaalit voidaan tuoda etukäteen edeltävien työvaiheiden (tahtivaunujen) aikana. Yllättävää tuloksissa oli, että rakennustyömaalla on mahdollista välivarastoida materiaalipuskureita huomattavasti enemmän, kuin niitä nykyisellä mallilla välivarastoitiin.

Tuotetoimituksen myöhästyminen lisää rakennustyömaan ongelmia, sillä tuotantoajan edetessä sen tahtivaunusta puuttuvat tarvittavat tuotteet. Näin ollen työryhmä ja työ joutuvat odottamaan tuotetoimitusta (mm. Dahlberg ja Drevland 2021, Ng ym. 2004). Kokonaisprosessin virtaukseen on huomioitava myös aliurakoitsijoiden tuotetoimitukset, jotka eivät välttämättä ole varsinaisesti myöhässä, mutta pääurakoitsijalla ei ole tietoa, milloin aliurakoitsijan tuotetoimitukset saapuvat. Toisinaan myöskään aliurakoitsijoilla ei ole tietoa tästä. Ongelmaksi ilmiössä muodostuvat esimerkiksi haalauksen järjestäminen, haalauspaikan varaaminen ja odottelu. Nämä varaavat ja kuluttavat työnjohdolta ja työhön varatuilta haalauhenkilöiltä resursseja.

Tahtituotannon virtauksen varmistamisen kannalta merkittäväksi tekijäksi havaitsin rakennustöiden aloittamisen tahtiaikataulun mukaisessa sijainnissa oikea-aikaisesti. Havaintoa tukee myös Alhavan ym. (2019) tutkimuksen tulokset. Edelliset työvaiheet on täsmättävä niin, että seuraavat työvaiheet voidaan aloittaa suunnitellusti vaihtelua minimoiden. Tutkimuksessa merkittäväksi muodostui aliurakoitsijoille vapaana oleva tuotantoalue, jotta heidät kyetään pitämään rakennustyömaalla. Usein seuraavaa tuotantoaluetta ei ole tarjolla, ja työryhmä joutuu siirtymään pois työmaalta. Tuotantoalueen on oltava tyhjillään aliurakoitsijan sinne siirtyessä, jotta välttyään

tahtijunan häiriöltä. Ratkaisuna on aikapuskureiden muodostaminen tahtijunan vaunuihin, jotta työt saadaan tahtiajan sisällä täysin valmiiksi (Lehtovaara ym. 2022, Seppänen 2022, Frandson ym. 2015). Myös monitoimityöryhmä olisi vaihtoehtoinen tapa toteuttaa lyhyemmän ajan työvaiheita, jotta prosessit etenisivät tahtiaikataulussa suunnitellusti ilman poikkeamia.

Tutkimuksen havaintojen mukaan aliurakoitsijoille ei ole ongelmaa tuotantoalueen puutoksesta, kunhan he saavat täyden korvauksen työstään. Käytännössä tämä tarkoittaa pääurakoitsijan aliurakoitsijalle maksamaa täyttä korvausta koko päivästä tai tietyistä tunteista, vaikka työt kestävätkin todellisuudessa vain osan ajasta, sillä hyvin virtaavan prosessin läpimenoajan lyhentämisen säästöt saattavat kattaa nämä kulut. Pohdittavaksi muodostuu, tulisiko aliurakoitsijoita palkita esimerkiksi bonusjärjestelmällä tahtituotannon suunnitelmallisesta toteutuksesta ja pääurakoitsijan vaatiman tahdin toteutuksesta.

Rakennustyömaalle voidaan toimittaa suurempia tuotetoimituksia harvemmin, joissa pistemäisiä haalausresursseja hyödynnetään ja rakennustyömaalla olevaa tilaa hyödynnetään materiaalipuskurien saavuttamiseksi. Toisena vaihtoehtona voidaan kehittää materiaalin jatkuvaa virtausta niin, että pienempiä tuotetoimituksia toimitetaan useammin ja haalausresurssit ovat jatkuvasti hyödynnettävissä rakennustyömaalla. Näin tuotteita välivarastoidaan rakennustyömaalla pienemmissä erissä sekä vähemmän aikaa (JIT). Hankkeen läpimenoajan lyhentäminen tahtituotannon keinoin puoltaa pienempiä tahtiaikaikkunoita (tahtivaunu), jotka vaativat useampia pienempiä tuotetoimituksia, mikäli rakennustyömaalla varastointi aiheuttaa häiriötä työn virtaukselle. Materiaalipuskureita on optimoitava kustannuksia ja prosessin virtausta tarkastelemalla, sillä häiriöt työn virtauksessa vaativat usein nopeaa reagoitukykyä muutoksiin myös logistisesta näkökulmasta.

Nykyisessä mallissa tuotetoimitukset tilataan rakennustyömaalle useita viikkoja etukäteen ja toimituspäivämäärä pyritään vahvistamaan viimeistään noin yhtä viikkoa aikaisemmin terminaalitoimituksissa ja muissa toimituksissa noin kahta viikkoa aikaisemmin. Mikäli rakennustyömaalla olisi jatkuvasti käytössä logistiikkaresurssit ja tuotetoimituksia suoritettaisiin pienemmällä resurssimäärällä (kalusto ja henkilöstö) päivittäin, voisi logistiikan malli siirtyä kohti imuohjattuja tuotetoimituksia. Tämä tarvitsisi kuitenkin paljon pienemmän vasteajan nykyiseen tuotteiden tilaukseen ja toimitukseen nähden. Jos tahtivaunujen tuotetarpeista olisi tietojärjestelmissä ajantasaista päivitettyä tietoa ja tuotetoimitusketjuissa tai terminaalissa varmistettu tuotteiden saatavuus, voitaisiin tuotantoaikataulun mukaan ennustaa materiaalipuskureiden tarpeet yhä enenevässä määrin. Tällaisessa tilanteessa tuotantovaunun tarvitsema tuotetoimitus voitaisiin saada rakennustyömaan tahtialueelle lyhyellä vasteajalla, esimerkiksi saman tai seuraavan päivän aikana.

On syytä huomioida, että materiaalipuskureita tarvitaan, sillä tuotetoimituksissa esiintyy vielä liiallista vaihtelua. Ongelma olisi ratkaistavissa esimerkiksi yhden tai kahden työvaiheen vaunun materiaalipuskureiden löytymiseltä rakennustyömaalta. Osalla materiaalintoimittajista on käytössään omia terminaaleja ja materiaalipuskurivarastoja, joita on mahdollista hyödyntää, kun tuotetoimituksissa siirrytään kohti pienempiä eräkokoja ja poikkeamien aiheuttavat ongelmat vaikuttavat yhä enenevässä määrin tuotannon virtaukseen.

Vaikka tutkimuskirjallisuudessa (mm. Frandson ym. 2015, Koskela 2004) on esitetty rakennustyömaalla välivarastoinnin luovan hukkaa, voidaan tämän tutkimuksen mukaan välivarastointi rakennustyömaalla nähdä yhtenä tärkeänä tekijänä parantaa tahtituotannon virtausta ja luoda edellytykset läpimenoajan lyhentämiseksi. Materiaalipuskurit ja tuotetoimitukset on optimoitava toteutettavan tuotantotahdin mukaisesti, ja näin löydettävä paras ratkaisu juuri kyseiselle hankkeelle. Toisaalta on luotava ohjeita ja toimintatapoja, jotka kattavat useita rakennustyömaita, jotta rakentamisen projekti-tuotannosta päästään siirtymään kohti prosessituotantona.

Työn toinen tutkimuskysymys liittyi tuotetoimitusketjuille muodostuviin vaatimuksiin asuntorakentamisen läpimenoaikoja lyhennettäessä tahtituotannon avulla. Tutkimuksessa ilmeni, että tavoiteltuun neljän tunnin tahtiaikaan pääseminen aiheuttaa isoja vaatimuksia tuotetoimitusketjuilta. Tutkimuksessa tuotiin ilmi tuotetoimitusketjun suurimpana ongelmana siinä esiintyvä vaihtelu. Varsinkin aliurakoitsijoiden vastuulla olevissa tuotetoimituksissa havaittiin poikkeamia ja ne synnyttivät ongelmia rakennustyömaalla. Pääsääntöisesti pääurakoitsijan vastuulla olevat tuotetoimitukset eivät merkittävästi hidastaneet työn virtausta, vaikkakin tuotetoimitusketjuja tehostamalla työn virtausta voitaisiin huomattavasti parantaa.

Tuotetoimitusketjuilla ei ollut kyvykkyyttä reagoida nopeasti rakennustyömaan materiaalitarpeisiin. Tämän diplomityön tapaustutkimuksessa havaittiin terminaalissa toteutettavan välivarastoinnin mahdollistavan tuotetoimituksen tilauksen rakennustyömaalle viimeistään muutamaa päivää ennen työvaiheen kokoonpanotoimia. Tetikin ym. (2021) tutkimuksessa työmaan johdon tuli suunnitella settien sisältö ja tehdä tuotetoimitusten tilaukset kaksi (2) viikkoa ennen työvaiheen kokoonpanotoimia. Tutkimuksessani käytössä ollut terminaali olisi ollut kykenevä toimittamaan tuotteita lyhyemmällä vasteajalla, mutta pullonkaulaksi muodostui aliurakoitsijan haalausresurssien saaminen rakennustyömaalle. Näin terminaalin täsmätoimitusten vasteaika oli eri kuin haalausresurssien vasteaika, jolloin vasteaika kulki hitaamman mukaan. Haalausresurssien vasteajan tulee vastata terminaalin vasteaika, jotta tosiasialliseen täsmätoimittamiseen päästään. Pääurakoitsijan hyödyntäessä omia resurssejaan haalustoimiin, voidaan mahdollistaa entistä lyhyempi vasteaika tuotteiden täsmätoimituksiin terminaalista rakennustyömaalle. Myös pienemmistä toimituseristä muodostuvat

haalaukustannukset tukevat ajatusta rakennustyömaalla jatkuvasti saatavilla olevista haalausresursseista.

Tutkimuksen tuloksista huomataan tahtituotannon huoneistokohtaiselle tasolle vietyä vaativan tuotetoimituksilta täsmällisyyttä. Tuotetoimitusketjuissa nähtiin olevan keskeisiä ongelmia toimitusten toteutuneessa ajankohdassa suunniteltuun verrattuna, materiaalin virtauksen suunnittelussa ja tiedonkulussa. Havaitut ongelmat tässä tutkimuksessa vertautuvat vahvasti Thunbebergin ym. (2017) tutkimukseen tuotetoimitusketjun ongelmista rakennushankkeessa. Toisaalta työryhmien heikon virtauksen havaittiin tuotavan suurempia ongelmia prosessin virtauksen kannalta kuin esimerkiksi tuotteiden puuttuminen työvaiheilta. Mikäli vaihtelua ei saada pienennettyä ja tuotetoimituksia oikea-aikaisiksi ja sisältöisiksi, ei tahtituotannossa onnistuta saavuttamaan lyhyempiä läpimenoaikoja.

Empiirisen tutkimuksen perusteella rakennuksen kerrokset olivat pääosin tyhjillään, ja niissä työskenteli vain yksittäisiä henkilöitä. Kun läpimenoaika lyhennetään tahtialueen ja tahtiajan pienentämisen keinoilla, tavoitteena päästä huoneistokohtaiseen tahtialueeseen ja neljän tunnin tahtiaikaan, nähdään jokaisessa rakennuksen huoneistossa työskentelevän työntekijöitä suunnitellun tahtiaikataulun mukaisesti.

Tahtilogistiikan kannalta kaikkia tuotteita ei ole kuitenkaan resurssien ja kustannusten perusteella kannattavaa toimittaa vain esimerkiksi yksittäisissä huoneistokohtaisissa toimituksissa. Toimituserän koko tahtialueelle pienenee tahtialuetta pienennettäessä, mutta tuotetoimitus ei voi tulla yksinään pienessä erässä rakennustyömaalle nykyisellä tuotantomuodolla. Työvaiheiden toimituseriä on yhdisteltävä, sillä pienten erien toimittaminen ei ole kannattavaa eikä vastuullista. Hankkeen kustannusten näkökulmasta parhaaksi nähdään ratkaisu, jossa kerrosten ja huoneistojen tuotetoimituksia yhdistetään optimaalisesti, jotta pienten toimituserien korkeilta kustannuksilta vältytään. Jos tuotteet ovat setitettyinä tahtialueittain jo terminaalissa, voidaan samaan toimitukseen koota useamman peräkkäisen tahtialueen toimituserät, jotka haalataan eri sijainteihin rakennustyömaalla. Tetikin ym. (2021) mukaan mikäli tuotetoimitusten suunnittelutyötä ei toteuteta huolellisesti ennen niiden ohjaamista rakennustyömaalle, saattavat muun muassa setittämisen aiheuttamat hyödyt rajoittua.

Tahtiaikatauluun voidaan määrittää yksittäinen tahtivaunu tuotetoimituksille, jossa tuotteet toimitetaan niiden työvaiheelle (Heinonen ja Seppänen 2016). Jopa kahden tahtivaunun lisäämistä tuotetoimituksille yhden päivän aikana voidaan pitää toimivana ratkaisuna logistisen tahdin saavuttamiseksi. Tuotetoimituksen tahtivaunun koko ja vaunujen määrät ja sijainnit aikataulussa on määritettävä suhteessa hankkeen tuotantologiikkaan.

Työn virtausta heikentävää materiaalivirtaa on minimoitava kiinnittämällä huomiota asentajien haalauksiin, haalausten sijainteihin, varastointiin,

tuotteiden järjestelyyn ja merkintöihin sekä paluu- ja jätelogistiikkaan. Lajojen kierrätystä tai niiden palautusta terminaaliin tukevat vastuullisuuden lisäämisen ja kustannusten vähentämisen näkökulmat. Optimaalisessa tilanteessa paluulogistiikka kyetään minimoimaan suunnittelun avulla niin, ettei sitä juuri tapahdu.

Tuotanto tulisi saada haltuun niin, että täsmätoimituksia voitaisiin toteuttaa ja tuotetoimitusketjuja kehittää kohti imuohjattavuutta. Teoreettisella tasolla välivarastointia rakennustyömaalla ei tarvittaisi, mikäli tuotetoimituksissa ja työn virtauksessa ei esiintyisi yhtään vaihtelua. Vaikka tuotetoimitusten poikkeamat (vaihtelu) saadaan minimoitua, aiheuttaa työn virtaus muuttuvia tekijöitä tuotetoimitusten ohjauksen tarpeelle. Toisaalta tuotetoimitusten määriä ja ajankohtia ei täsmällisesti voida määrittää hankkeen suunnitteluvaiheessa, vaan vaihtelun takia rakennustyömaalla joudutaan aina tekemään ohjaustoimia tuotetoimituksiin työn virtauksen takia.

Tahtiajan lyhentyessä on myös syytä tarkastella aliurakoitsijan näkökulmaa. Lyhyt, esimerkiksi neljän tunnin, tahtiaika ohjaa aliurakoitsijan työryhmää virtaamaan tehokkaammin, kun tahdin sisällä oleva aikapuskuri pienenee. Tällöin aliurakoitsijalla ei ole niin suurta kannustinta etsiä välissä muuta työtä, vaan heidän tulee siirtyä nopeammin seuraavan vaunun työhön. Ongelmana voi kuitenkin edelleen olla, että työmäärää on vähemmän kuin tahtiaika sallisi. Mikäli ylimääräistä aikaa jää, voidaan mahdollisia työvaiheikataulun ulkopuolisia töitä toteuttaa, mikäli niitä on tarjolla. Mitä lyhyempi tahtiaika on, sitä vähemmän työmäärää jää tahdin sisään ja sitä todennäköisemmin vain yhden aliurakoitsijan työryhmä työskentelee tahtivaunun sisällä. Tämä vähentää tahdissa tapahtuvia ongelmia, kun tahdin sisäistä yhteensovitettavaa ei ole.

Hankkeen läpimenoaikaa lyhennettäessä on tarkasteltava yksittäisen tahtialueen tasoa. Nykyisessä mallissa tahtialueen koko on liian suuri suhteessa tahtialueen kokonaistyömäärään. Ongelma ilmeni, kun työryhmän siirtymistä tahtialueelta seuraavalle ei kyetty virtauttamaan, sillä tahtialueen työt olisivat vaatineet aliurakoitsijalta pistemäisiä käyntejä rakennustyömaalla jatkuvan työskentelyn sijasta. Kun tahtialuetta pienennetään, vähennetään työtä odottavien virtausyksiköiden (huoneistojen) määrää. Tämä tarkoittaa, että työskentelevien työryhmien määrä lisääntyy esimerkiksi yhdessä kerroksessa. Työryhmien määrän lisääntyessä työvaiheita voidaan toteuttaa vanhalla tahtialueella enemmän. Tutkimuksessa havaitsin noin yhdestä kolmeen työryhmän työskennelleen samanaikaisesti kerroksen sisällä. Usein työryhmät toteuttivat vain pistemäisiä lyhyitä työtehtäviä, eikä ongelmia syntynyt työryhmien kesken tahtialueen käytöstä.

Valmistusprosessin tieto (materiaaliluettelo) on kriittinen edellytys teollisen tahdin saavuttamiseen rakennusosalalla. Teollinen rakentaminen tekee prosesseista toistettavampia, joka itsessään lisää lopputuotteiden (rakennusten) laatua ja säästää kustannuksia. Henkilö- ja työmaariippuvaisesta

tuotetoimitusten hallinnasta ja ohjauksesta tulisi päästä kohti vakioitua työmaiden yli toteutettavaa konseptia, joka kuitenkin huomioi tarvittavissa määrin hankekohtaiset erityispiirteet. Tätä voidaan verrata esimerkiksi valmistavaan teollisuuteen, jossa yksittäisen työntekijän ei ole edes välttämättä mahdollista lähteä hakemaan puuttuvia tuotteita sijaintinsa ulkopuolelta tahtiajan puitteissa. Väliavarastoinnin käytöstä tulisi tehdä työmaiden yli toteutettava konsepti ja tarvittaville sidosryhmille ohjeistukset sen käytöstä. Tätä mallia tulisi toteuttaa systemaattisesti jokaisella rakennustyömaalla.

Sopimusten ja kulttuurinmuutoksen kautta tahtiajan ja -alueen pienentäminen nykyisillä työkaluilla on jo täysin mahdollista, vaikka aliurakoitsijoiden suhteen on havaittu ongelmia tahtiajan lyhentämisessä, kun aliurakoitsijat joutuvat toimimaan pienemmissä tahdeissa. Myös työnjohtajille pitää saada valmiudet toimia pienempien tahtialueiden kanssa, jotta ohjaustoimet eivät muodostu esteeksi tahdin pienentämiselle. Tahtituotannon ongelmia voitaisiin siirtää aliurakoitsijoiden liiketoimintaa koskeviksi pois pääurakoitsijan täydeltä ohjauksivastuulta. Näyttää kuitenkin siltä, että yhteistoimintaa pää- ja aliurakoitsijan välillä työryhmän virtauksesta ja työryhmälle varatusta tuotantoalueesta tarvitaan jatkossa vielä nykyistä enemmän.

Havaitsin tutkimuksessani, että tällä hetkellä tiedot rakennustyömaan ongelmista ovat osapuolille saatavilla liian myöhään prosessin virtaukseen ja tavoiteltuun tahtiaikaan nähden. Seuraavassa vaiheessa tuotetoimitusketjujen hallinnassa tulee kehittää sidosryhmille yhteisiä järjestelmiä ja koodistoa, joista saadaan osapuolille reaaliaikaista tilannekuvaa suoriutumuksesta toimitusketjuittain. Järjestelmissä on otettava huomioon myös toimitusketjun tilannekuvan sisältämä varastoarvojen taso, jotta rakennustyömaan suunnittelua kyetään ennakoimaan paremmin. Koski ym. (2009) ovat todenneet rakennustyömaan tuottavuuden kasvaneen tuotetoimitusten ohjauksen ja tuotetoimituksissa vähentyneiden häiriöiden seurauksena. Virtaava prosessi tarvitsee tietoa ja tulevaisuuden haasteena tulee olemaan kyvykyys saada tieto prosessin tarpeista kulkemaan prosessiketjun läpi.

Tuotannollisen prosessin ongelmana tuotetoimitusketjuissa voidaan nähdä olevan tiedonvaihto, toisin sanoen tietojen puutos osapuolilta. Tuotetoimitusketjun hallinnan mallissa järjestelmätiedot tulisi saada eri sidosryhmille saataville tuotteista, esimerkiksi SSCC-koodiston kautta. Kun logistiikka ulkoistetaan aliurakoitsijalle, ei pääurakoitsijalla ole täyttä hallintaa valmistusprosessista. Yhtenä tuottavuuden parantamisen keinona voidaan nähdä olevan tuotetoimitusketjujen haltuun ottaminen pääurakoitsijan toimesta.

Toimiva virtaus edellyttää panostusta koko tuotetoimitusketjun hallintaan, jossa muun muassa tuotteiden fyysiset ominaisuudet ja mitat määrittävät kuljetusyksikön ja toimituserien kokoja ja määriä. Myös rakennushankkeen hankintaprosessiin tulee tulevaisuudessa kiinnittää suunnittelussa ja sopimuksissa huomiota ja selkeyttää koordinointi- ja hankintavastuuta työvaiheiden tuotteiden hankinnassa, jotta vastuut ovat selvillä hyvissä ajoin

tahtiaikataulua suunniteltaessa. Työnjohdolle tulisi jatkuvien suunnittelu- ja ohjaustoimien sijaan jäädä toteutettavaksi vain rakennustyömaalla tapahtuvien tuotetoimitusketjujen poikkeamien mukaiset ohjaustoimenpiteet. Tutkimuksen mukaan hankinnan merkitys tulee olemaan yhä vahvemmassa roolissa tahtilogistiikkaa suunniteltaessa ja toteutettaessa.

5.2 Tulosten luotettavuus

Tutkimustulosten luotettavuutta voidaan tarkastella tutkimustulosten reliabiliteetin ja tutkimustulosten validiteetin kautta. Reliabiliteetti ilmaisee tutkimuksen toistettavuuden näkökulman siitä, miten tutkimusmenetelmät toimivat aineiston analysoinnissa. Tutkimustulosten validiteettia arvioidaan puolestaan mittaustulosten sisällön oikeellisuutta tarkasteltaessa. Validiteetissa arvioidaan tutkimuksessa käytettyjen mittareiden tarkoituksenmukaisuutta mittaamaan tutkimuksen ilmiötä. (Hirsjärvi ym. 2009)

Tämän diplomityön tulokset perustuvat Fira Rakennus Oy:n rakennustyömaalta kerättyyn tietoon ja Fira Rakennus Oy:n henkilöhaastatteluihin. Tuloksia voidaan pääsääntöisesti pitää luotettavana tutkimustietona, huomioiden kohteen ominaispiirteet. Tutkimuksen luotettavuuden haasteena voidaan kuitenkin nähdä tutkimuksen rajoittuminen tarkastelemaan yhden asuinrakennuksen sisävalmistusvaiheen tuotetoimituksia ja sisävalmistusvaiheen työvaiheiden töitä suhteessa tuotetoimituksiin.

Tutkimuksen empiirisessä osiossa käytiin läpi ratkaisuperusteita kirjallisuuskatsauksesta havaittuihin ilmiöihin. Tutkimuksessa saatiin kerättyä paljon dataa rakennustyömaalta ja sitä täydensi laadullisesta tapaustutkimuksesta saadut tutkimustulokset. Datan tarkkuustaso yksittäisen osa-alueen yksityiskohtaisessa tiedossa jäi osittain epätarkaksi, johtuen tutkittavan aiheen datan määrästä. Mikäli tutkimuksessa olisi keskitytty yhteen tutkimuksen osa-alueeseen tarkemmin, olisi siitä ollut syytä kerätä vielä yksityiskohtaisempia tietoja. Esimerkiksi rakennustyömaata jatkuvasti videotallentamalla tai osapuolten järjestelmäkirjauksilla olisi saatu tarkennettua tuotetoimitusten haasteita ja poikkeamia. Tutkimuksessa ei ollut käytössä sidosryhmien hyödyntämiä järjestelmiä, joista olisi voitu saada vielä tarkempaa dataa. Tarkastellun laajan kokonaisuuden näkökulmasta tutkimuksen data on laadukasta, ja dataa saatiin kuvaamaan tutkimuksen eri ilmiöitä tarpeenmukaisella tarkkuustasolla. Laadukasta dataa saatiin tapaustutkimuksen eri tutkimusmenetelmien hyödyntämisellä, jotka osittain täydensivät ja vahvistivat toisiaan.

Tulosten luotettavuuteen vaikuttivat ammatilliset näkemykset haastattelu- tutkimuksessa. Haastattelun laajentamisella ja haastateltavan ryhmäkoon kasvattamisella olisi voinut saada lisää dataa näkemyserojen yleisyydestä, ja siitä kuinka monen haastateltavan näkemykset tukevat yhtäläisiä ilmiöiden ratkaisuperusteita. Tutkimus onnistui vastaamaan luotettavasti asetettuihin

tutkimuskysymyksiin ja tutkimuksessa saatua dataa sovellettiin kehitysehdotusten ja ongelmien ratkaisujen muodostamiseen.

Tämän diplomityön tutkimus rajattiin tarkastelemaan asuinrakentamisen sisävalmistusvaihetta ja sen tahtituotantoa tukevaa tahtilogistiikkaa. Tuotetoimitusketjujen tarkastelulla yritettiin löytää mahdollisuudet parantaa rakennusalan tuottavuutta läpimenoajan lyhentämistä tukevilla keinoilla. Aiheen kirjallisuuskatsauksen teoriaa sovellettiin tahtituotannon periaatteisiin ja tuotetoimitusketjuihin rakentamisessa.

Tiedonkeruu- ja analysointimenetelminä käytin kirjallisuuskatsausta ja tutkimuskysymyksiä selvittäviä tutkimusmetodeja; haastattelututkimusta ja tiedon keruuta rakennustyömaata dokumentoimalla. Tapaustutkimuksessa valitut määrälliset ja laadulliset menetelmät loivat kattavan aineiston tutkimuksen tulosten saamiseen. Eri lähteisiin perustuvat tulokset samasta tutkittavasta ilmiöstä saivat aikaan datan triangulaatiota, mikä mahdollisti laajennetun ja syvennetyn tutkimuksen aiheesta sekä lisäsi tutkimuksen luotettavuutta. Tutkimusdatan triangulaation avulla tutkimuksessa saatiin esiin aiheen sisältämiä ristiriitaisuuksia, jotka eivät tule muuten esiin. (Sarajärvi ja Tuomi 2017, Hirsjärvi ym. 2009)

Tutkimusta olisi voinut laajentaa ja tarkastella koko asuinrakennusvaiheen tuotetoimitusketjujen näkökulmasta, mutta tämän laajuuden takia tutkimus päätettiin rajata sisävalmistusvaiheeseen. Tutkimuksessa saatiin tuloksia tuotteiden viemästä tilasta kerros- ja huoneistokohtaisesti. Jatkotutkimuksissa tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää sovitettaessa tuotetoimituksia ja niiden materiaalipuskureita prosessin virtauksen parantamisen tavoitteisiin.

5.3 Yhteenveto

Tutkimuksen hypoteeseja saatiin vahvistettua tutkimuksen tuloksilla siitä, että nykyiset logistiset järjestelyt tuotetoimitusketjuissa ja työmaan sisälogistiikassa eivät tukeneet riittävässä määrin tahtituotannossa onnistumista. Toisaalta hypoteeseja, kuten rakennustyömaalla oletettua välivarastointitilan merkittävää rajallisuutta ja välivarastoinnin aiheuttamia häiriöitä työn virtaukselle, kumottiin tutkimuksen tuloksilla. Tahtialueilla huomattiin olevan paljon hyödyntämättömiä välivarastointimahdollisuuksia ja edeltävien tahtien jättämien tilojen mahdollistamat toimitusaikaikkunat olivat oletettua suurempia.

Rakennustyömaalla välivarastoinnin todettiin voivan haitata työvaiheiden toteutusta, vaikka toisaalta oikein toteutettuna se myös mahdollistaa tahtituotantoprosessin virtauksen. Erityisesti tahtiaikaa pienennettäessä materiaalipuskureiden merkitys kasvoi, sillä tuotetoimituksissa esiintyviä häiriöitä ei kyetty poistamaan. Työvaiheiden toimituseriä onnistuttiin yhdistelemään

niin, etteivät yksittäisten työvaiheiden toimituskustannukset nousseet liian suuriksi.

Tahtilogistiikassa onnistumisen havaittiin parantavan rakennustyömaan virtausta ja lisäävän rakennushankkeen tuottavuutta. Tuotetoimitusketjuissa esiintyvän vaihtelun todettiin syntyneen pääasiassa tuotetoimitusten heikosta toimitusvarmuudesta ja suunnitelmamuutoksista. Tuotannon poikkeamiin ei kyetty reagoimaan tuotetoimitusketjuilla, sillä vasteaika täsmätoimituksissa oli heikko, mikä johtui aliurakoitsijan haalausryhmän vaatimuksista. Ratkaisuna ongelmaan havaittiin olevan pääurakoitsijan hallinnassa olevat tuotetoimitusketjut, jotta tahtituotannossa päästään kohti teollista tuotantoprosessia. Tutkimuksen perusteella tahtilogistiikkaan ei päästä kivuttomasti, jos tuotantoa ei saada vastaamaan suunniteltua tahtia eikä kaikkea työtä täysin aikataulutettua.

5.4 Jatkotutkimusehdotukset

Koska tahtituotantoprosessiin kytkeytyvä tuotetoimitusketjujen tahtilogistiikka on tullut rakennusosalalla ajankohtaiseksi kehityskohteeksi, on tulevaisuudessa tärkeää kerätä lisätietoa tuotetoimitusketjujen mahdollistamasta tuottavuuden parantamisesta läpimenoaikoja lyhentäen. Turvallisuuden ja vastuullisuuden teemat ovat kasvaneet merkittäväksi rakennusosalalla, ja niitä tulee yhä enemmän pohtia tuotetoimitusketjuja kehittäessä kohti tulevaisuuden mallia. Tuotteiden uudelleenhyödyntäminen ja tuotelavojen kierrätyksen hyödyntäminen vaativat lisäselvitystä.

Vaikka tuotetoimitusketjut optimoitaisiin suhteessa tahtituotannon etenemiseen, on tuotetoimitusketjujen kokonaiskustannusten muutosta tarkkailtava. Optimointia kokonaiskustannusten kannalta tulisi tarkastella jatkotutkimuksissa, sillä pitkällä aikavälillä rakennusliikkeiden tavoitteena on toteuttaa töitä mahdollisimman kustannustehokkaasti. Tällä hetkellä tuotetoimitusketjuja pyritään sovittamaan ja optimoimaan suhteessa tahtituotannon etenemiseen, joka saattaa näkyä jopa kustannusten nousuna esimerkiksi pilotiprojektien muodossa. Myös kuljetusyksiköiden tilankäytön optimointia olisi mahdollista mitata tarkemmin.

Tuotetoimitusten purkutiedoista olisi hyvä saada jatkotutkimusta, kun väli-varastointia ja eri työvaiheiden tuotetoimitusten yhdistämistä jalostetaan. Setityksen kokoja, kuljetusten purkujen aloitusajankohtia ja kestoja olisi hyödyllistä tarkastella, jotta rakennustyömaan logistiikan virtausta saataisiin kehitettyä. Sijaintipohjaisen datan hyödyntämistä tulisi jatkossa tarkastella enemmän, jotta olisi parempi kyky hyödyntää tuotetoimitusketjun ohjaustoimia. Sijaintipohjaisella datalla voitaisiin saada tuotetoimitusketjujen tuotteiden liikkeistä tarkempaa ja ajantasaisempaa tietoa.

Virtautettuun tuotetoimitusketjuun kuuluu työn ja materiaalin virtauksen lisäksi tiedon virtauttaminen. Tuotekoodi- ja standardointinimikkeistön käytön aihepiirin laajempaa empiiristä tutkimusta tulisi saada, jotta tuotetoimitusketjun virtausta voitaisiin parantaa. Tuotetoimitusketjun häiriöitä voitaisiin vähentää, mikäli tuotteet olisivat paremmin yksilöitävissä ja seurattavissa. Myös hankinnan ja työvaiheiden tahtipakettien kannalta tulisi saada tarkkaa tuotetietoa, joka mahdollistaisi esimerkiksi tuotteen korvattavuuden ja asennusteknisten ratkaisuiden saatavilla olemisen.

Jatkotutkimuksena voitaisiin tarkastella tahtituotannon tahtialueen pienentämisen seurauksia ja pienentämisestä aiheutuvia hyötyjä ja haittoja. Vaikka tahtiaika on suunniteltu lyhyeksi, tulee prosessin kyvykkyys varmistaa, jottei lisäongelmia rakennustyömaalla pääse syntymään. Mielenkiintoista olisi tarkastella hyötyjä jatkuvasta päivittäisestä logistiikka- ja haalustoiminnasta, mikäli rakennustyömaalla olisi käytössä jatkuvia haalausresursseja tuotetoimituksille.

Lähteet

Aapaoja, A., & Haapasalo, H. (2014). Standardointi ja esivalmistus teollisessa rakentamisessa. Viitattu 02.08.2022. Saatavissa: <https://www.rakenustieto.fi/Downloads/RK/RK150302.pdf>

Abdul Kadir, M. R., Lee, W. P., Jaafar, M. S., Sapuan, S. M., & Ali, A. A. A. (2005). Factors affecting construction labour productivity for Malaysian residential projects, *Structural Survey*. Vol. 23:1. S. 42–54.

Ala-Risku, T., & Kärkkäinen, M. (2006). Material delivery problems in construction projects: A possible solution, *International Journal of Production Economics*. Vol. 104:1. S. 19–29.

Alhava, O., Rinne, V., Laine, E., & Koskela, L. (2019). Can a Takt Plan Ever Survive Beyond the First Contact With the Trades On-Site? In: *Proceedings of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Dublin, Ireland, 3–5 Jul 2019. S. 453–464.

Alves, T. C. L., & Formoso, C. T. (2000). Guidelines for managing physical flows in construction sites. In: *Proceedings of the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. 17–19 July, Brighton, UK. Viitattu 23.10.2022. Saatavissa: <https://www.iglc.net/Papers/Details/93>

Arbulu, R. J., Choo, H. J., & Williams, M. (2016). Contrasting project production control with project controls, *Journal of Project Production Management*. Vol. 1.

Arbulu, R., & Ballard, G. (2004). Lean supply systems in construction. In: *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Arlington, VA: Lean Construction Institute.

Arbulu, R., Koerckel, A., & Espana, F. (2005) Linking production-level workflow with materials supply. In: *Proceedings of the 13th International Group for Lean Construction Conference*, edited by Kenley, R. Sydney, Australia: International Group for Lean Construction. S. 199–206.

Assaf, S. A., & Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects, *International Journal of Project Management*. Vol. 24:4. S. 349–357.

Banik, G. C. (1999). Construction productivity improvement. In: *Proceedings of the 35th Annual Conference of the Associated Schools of Construction*. San Luis Obispo: California Polytechnic State Univ. Vol. 10. S. 165–178.

Ballard, G. (1994). *The Last Planner*. Northern California Construction Institute, Monterey, Calif. S. 1–8.

Ballard, G., & Howell, G. (1994). Implementing Lean Construction: Stabilizing Workflow. Proceedings of the 2nd Annual Meeting of the International Group for Lean Construction, Santiago, Chile.

Ballard, G., & Howell, G. (1998). What Kind of Production Is Construction? In: Proceedings of the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Guarujá, Brazil, 13–15 Aug 1998.

Ballard, G., Hammond, J., & Nickerson, R. (2009). Production control principles. In: Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. S. 489–500.

Ballard, G., & Tommelein, I.D. (2021). 2020 Current Process Benchmark for the Last Planner(R) System of Project Planning and Control. Project Production Systems Laboratory, UC Berkeley.

Birrell, G. S. (1980). Construction planning: Beyond the critical path. Journal of the Construction Division, September. S. 389–407.

Binninger, M., Dlouhy, J., Müller, M., Schattmann, M., & Haghsheno, S. (2018). Short Takt Time in Construction – a Practical Study. In: Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18–20 July 2018. S. 1133–1143. Viitattu 19.10.2022. Saatavissa: <https://iglc.net>

Bortolini, R., Shigaki, J. S., & Formoso, C. T. (2015). Site logistics planning and control using 4D modeling: A study in a lean car factory building site. In: Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Perth, Australia: International Group for Lean Construction. S. 361–370.

Bozer, Y., & McGinnis, L. (1992). Kitting versus line stocking: A conceptual framework and a descriptive model. International Journal of Production Economics. Vol. 28:1. S. 1–19.

Bølviken, T., Rooke, J., & Koskela, L. (2014). The Wastes of Production in Construction – a TFV Based Taxonomy. In: Proceedings of the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Oslo, Norway, 25–27 June 2014. S. 811–822.

Caron, F., Marchet, G., & Perego, A. (1998). Project logistics: Integrating the procurement and construction processes. International Journal of Project Management. Vol. 16:5. S. 311–319.

Christian, J., & Hachey, D. (1995). Effects of delay times on production rates in construction. Journal of Construction Engineering and Management. Vol. 121:1. S. 20–26.

Dahlberg, T. Ø., & Drevland, F. (2021). Preventing the Parade of Delays in Takt Production. In: Proceedings of the 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC29), Alarcon, L.F. and González, V.A. (eds.), Lima, Peru. S. 777–786. Viitattu 12.08.2022. Saatavissa: <https://iglc.net/Papers/Details/1926>

Dlouhy, J., Binninger, M., Oprach, S., & Haghsheno, S. (2016). Three-Level Method of Takt Planning and Takt Control – a New Approach for Designing Production Systems in Construction. In: Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. S. 13–22.

Dlouhy, J., Oprach, S., Binninger, M., & Haghsheno, S. (2018). Using Takt planning and Takt control in production projects – Comparison of Construction and Equipment Phases. In: Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India. S. 890–898.

Elfving, J. A., Ballard, G., & Talvitie, U. (2010). Standardizing logistics at the corporate level towards lean logistics in construction. In: Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Haifa, Israel: International Group for Lean Construction.

Ekeskär, A., & Rudberg, M. (2016). Third-party logistics in construction: The case of a large hospital project. *Construction Management and Economics*. Vol. 34:3. S. 174–191.

Faloughi, M., Linnik, M., & Murphy, D. (2015). WIP Design in a Construction Project Using Takt Time Planning. In: Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Perth, Australia. S. 163–172.

Frandsen, A., Berghede, K., & Tommelein, I.D. (2013). Takt Time Planning for Construction of Exterior Cladding. In: Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Fortaleza, Brazil. S. 527–536.

Frandsen, A., Berghede, K., & Tommelein, I.D. (2014). Takt-Time Planning and the Last Planner. In: Proceedings of the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. S. 571–580.

Frandsen, A., Seppänen, O., & Tommelein, I.D. (2015). Comparison Between Location Based Management and Takt Time Planning. In: Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. S. 3–12.

Frandsen, A., & Tommelein, I.D. (2016). Takt Time Planning of Interiors on a Pre-cast Hospital Project. In: Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, MA, USA.

Ford, H., & Crowther, S. (1922). *My Life and Work*. Garden City Publishing Company. 280 S.

Ford, H., & Crowther, S. (1926). *Today and Tomorrow*. Doubleday, Page & Company. 281 S.

Fulford, R., & Standing, C. (2014). Construction industry productivity and the potential for collaborative practice. *International Journal of Project Management*. Vol. 32:2. S. 315–326.

Gantt, H. (1919). *Organizing for Work*. Harcourt, Brace and Howe. 113 S.

Gouett, M.C., Haas, C.T., Goodrum, P.M., & Caldas, C.H. (2011). Activity analysis for direct-work rate improvement in construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 137:12. S. 1117–1124.

Haghsheno, S., Binninger, M., Dlouhy, J., & Sterlike, S. (2016). History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control. In: *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. S. 53–62.

Hanson, R., & Medbo, L. (2012). Kitting and time efficiency in manual assembly. *International Journal of Production Research*. Vol. 50:4. S. 1115–1125.

Hamzeh, F., Tommelein, I., Ballard, G., & Kaminsky, P.M. (2007). Logistics centers to support project-based production in the construction industry. In: *Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Michigan, USA. S. 181–191.

Hasenson, J. (2022). Konsultti: Ota oppia talotehtaista! Rakennustekniikka. Viitattu 10.10.2022. Saatavissa: <https://www.ril.fi/fi/rakennustekniikka/teemat/konsultti-ota-oppia-talotehtaista.html>

Heinonen, A., & Seppänen, O. (2016). Takt Time Planning in Cruise Ship Cabin Refurbishment: Lessons for Lean Construction. In: *Proceedings of the Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. S. 23–32.

Hellström, H. (2022). Vuoden DI Jyrki Keinänen: ”Itsensä kannattaa tartuttaa kv-vaikutteilla”. *Rakennustekniikka*. Viitattu 25.01.2023. Saatavissa: <https://www.ril.fi/fi/rakennustekniikka/vuoden-di-jyrki-keinanen-itsensa-kannattaa-tartuttaa-kv-vaikutteilla.html>

Hirsjärvi, S., Remes, P., & Sajavaara, P. (2009). *Tutki ja kirjoita*. Helsinki: Tammi. ISBN 978-951-31-4836-2.

Horman, M.J., & Kenley, R. (2005). Quantifying levels of wasted time in construction with meta-analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 131:1. S. 52–61.

Horman, M.J., & Thomas, H.R. (2005). Role of inventory buffers in construction labor performance. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 131:7. S. 834–843.

Hua, S., & Johnson, D. (2010). Research issues on factors influencing the choice of kitting versus line stocking. *International Journal of Production Research*. Vol. 48:3. S. 779–800.

IKEA. (2021). BILLY. Viitattu 03.08.2022. Saatavissa: https://www.ikea.com/us/en/assembly_instructions/billy-bookcase-white__AA-1823127-8.pdf

Inkeröinen, J., & Alasaarela, E. (2010). Ympäristöministeriö. Uusiomateriaalien käyttö maanrakentamisessa, Tuloksia UUMA-ohjelma 2006–2010. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 18.09.2022. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41387/YMra_13_2010.pdf?sequence=1

Jaillon, L., & Poon, C.S. (2014). Life cycle design and prefabrication in buildings: A review and case studies in Hong Kong. *Automation in Construction*. Vol. 39. S. 195–202.

Jenkins, J.L., & Orth, D.L. (2004). Productivity improvement through work sampling. *Cost Engineering*. Vol. 46:3. S. 27–32.

Junnonen, J.-M., & Kankainen, J. (2012). Rakennusurakoitsijoiden hankintakäsikirja. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy. Viitattu 21.07.2022. Saatavissa: <https://research.aalto.fi/fi/publications/rakennusurakoitsijoiden-hankintak%C3%A4sikirja>

Kajander, J. (2021). Prosessien virtauksen mittaaminen tahtituotannossa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Espoo.

Kalsaas, B.T., & Bølviken, T. (2010). The flow of work in construction – a conceptual discussion. In: *Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Haifa, Israel. S. 52–62. Viitattu 20.07.2022. Saatavissa: <https://www.iglc.net/Papers/Details/718>

Karhu, M. (2020). Utilization of Mineral Side Streams in High Temperature Ceramic Materials.

Kenley, R. (2004). Project micro-management: practical site planning and management of work flow. In *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Helsingør, Denmark: Int.

Group for Lean Constr. Viitattu 15.09.2022. Saatavissa:
<https://www.iglc.net/Papers/Details/310>

Kenley, R., & Seppänen, O. (2010). Location-based management for construction: planning, scheduling and control. New York, NY: Routledge.

Keskiniva, K., Junnonen, J. M., & Saari, A. (2020). Teolliset esivalmisteet tahtituotantomallilla toteutettavalla korjausrakennustyömaalla: NOHEVA-tutkimuksen raportti.

Koskela, L. (2000). An exploration towards a production theory and its application to construction. VTT Technical Research Centre of Finland.

Koskela, L., Koskenvesa, A., & Sipi, J. (2009). Työmaan toimiva tuotannon-ohjaus, Opas Last Planner™ -menetelmään. 2. painos. Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy. 42 S.

Koskenvesa, A., Koskela, L., Tolonen, T., & Sahlstedt, S. (2010). Waste and Labor Productivity in Production Planning Case Finnish Construction Industry. In 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Haifa, Israel.

Koski, H., Kiviniemi, M., Palolahti, M., & Sahlstedt, S. (2009). Rakennustyömaan toimitusten ohjaus. VTT. Ketju-raportti. Viitattu 02.08.2022. Saatavissa: https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/Rakennustyomaan_toimitusten_ohjaus_091116.pdf

Koskinen, K. (2003). Laajennetun tuotteen käsite, TKK, AS-116.190 Laajennetun tuotteen tietotekniikka.

Kujansuu, P., Lehtovaara, J., Salerto, S., Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2020). How does takt production contribute to trade flow in construction? In Annual Conference of the Group for Lean Construction, Berkeley, CA. S. 445–454.

Lehtovaara, J., Mustonen, I., Peuronen, P., Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2019). Implementing takt planning and takt control into residential construction. In Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Pasquire C. and Hamzeh F.R. (Eds.), Dublin, Ireland. S. 417–428. Viitattu 07.08.2022. Saatavissa: <https://iglc.net>

Lehtovaara, J., Seppänen, O., Peltokorpi, A., Kujansuu, P., & Grönvall, M. (2021). How takt production contributes to construction production flow: A theoretical model. Construction Management and Economics. Vol. 39:1. S. 73–95.

Lehtovaara, J., Tommelein, I. D., & Seppänen, O. (2022). How A Takt Plan Can Fail: Applying Failure Modes And Effects Analysis In Takt Control. In

Proceedings of the 30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC30). S. 715–726.

Lehtovaara, J. (2022). Virtaus – teoriasta käytäntöön. Lean Construction Institution FI. Viitattu 21.10.2022. Saatavilla: <https://lci.fi/wp-content/uploads/2022/09/Lehtovaara-2022-08-12-RAIN3-ja-virtaus.pdf>

Lee, S. B. (2004). A study on optimal lead time selection measures of the construction materials. *Journal of The Korea Institute of Building Construction*. Vol 4:1. S. 105–110.

Limère, V., Landeghem, H., Goetschalckx, M., Aghezzaf, E., & McGinnis, L. (2012). Optimising part feeding in the automotive assembly industry: Deciding between kitting and line stocking. *International Journal of Production Research*. Vol. 50:15. S. 4046–4060.

Linnik, M., Berghede, K., & Ballard, G. (2013). An experiment in takt time planning applied to non-repetitive work. In *Proceedings of 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. S. 609–618.

McKinsey Global Institute. (2017). *Reinventing Construction: a Route to Higher Productivity*. Viitattu 11.12.2022. Saatavissa: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>

Ng, S. T., Skitmore, R. M., Lam, K. C., & Poon, A. W. (2004). Demotivating factors influencing the productivity of civil engineering projects. *International Journal of Project Management*. Vol. 22:2. S. 139–146.

Oinas, M. (2022). Eläköön rakentamisen vallankumous! *Rakennustekniikka*. ISSN 0033-913X. Vol. 2. S. 15–17.

Palolahti, T., & Sahlstedt, S. (2010). *Toimitusten ohjaus työmaalla*. Mittaviiva Oy. S. 457–464.

Pasila, H. (2019). *Impact of Lean-Intervention on Productivity*. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Espoo.

Peltokorpi, A. (2022). *Toimitusketjujen hallinta: Tutkimuksen taustat ja tavoitteet*. *Building 2030*. 16.09.2022.

Perälä, K. (2022). *Tahtituotantomennettely haastavissa liike- ja toimitilakoh-teissa*. Diplomityö. Tampereen yliopisto, Tampere.

Pheng, L. S., & Hui, M. S. (1999). The application of JIT philosophy to construction: A case study in site layout. *Construction Management and Economics*. Vol. 17:5. S. 657–668.

Pound, E., Bell, J., & Spearman, M. (2014). *Factory Physics for Managers: How Leaders Improve Performance in a Post-Lean Six Sigma World*. New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto: McGraw-Hill Education.

Rakennusteollisuus. (2009). Toimitusketjun hallinta talonrakentamisessa. Ketju-yhteenveto. Viitattu 22.12.2022. Saatavissa: <http://www.rakennusteollisuus.fi/ketju>

Rakennustieto. (2016). Talonrakennushankkeen kulku: Rakennushankkeen kesto ja aikataulut.

Sacks, R. (2016). What constitutes good production flow in construction? *Construction Management and Economics*. Vol. 34:9. S. 641–656.

Saenz de Ugarte, B., Artiba, A., & Pellerin, R. (2009). Manufacturing execution system – a literature review. *Production Planning and Control*. Vol. 20:6. S. 525–539.

Said, H., & El-Rayes, K. (2014). Automated multi-objective construction logistics optimization system. *Automation in Construction*, 43 July. S. 110–122.

Said, H., & El-Rayes, K. (2013). Optimal utilization of interior building spaces for material procurement and storage in congested construction sites. *Automation in Construction*, 31 May. S. 292–306.

Salagnac, J.-L., & Yacine, M. (1999). Logistics: A Step Towards Lean Construction. 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Berkeley, California, USA, 26–28 July 1999. S. 121–132. Viitattu 23.07.2022. Saatavissa: <https://iglc.net/Papers/Details/81>

Salerto, S. (2019). Hukan mittaaminen tahtihankkeessa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Espoo.

Sarajärvi, A., & Tuomi, J. (2017). Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi: Uudistettu laitos. Tammi.

Seilonen, I. (2003). Yrityksen ja yritysverkoston tietojärjestelmien integrointi: teknisiä ratkaisuja, TKK, AS-116.111 Kappaletavarateollisuuden automaatio- ja informaatiojärjestelmät. Viitattu 12.08.2022. Saatavissa: https://www.automationit.hut.fi/opetus/as116111/Kalvoto3/Luentokalvot_270303.pdf

Seppänen, O., & Kankainen, J. (2004). Empirical research on deviations in production and current state of project control. In *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. S. 206–219.

Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2016). A new model for construction material logistics: From local optimization of logistics towards global optimization of on-site production system. In Proceedings of the 24th International Group for Lean Construction. Haifa, Israel: International Group for Lean Construction.

Seppänen, O. (2022). Tahtituotannolla parempaa laatua. Rakennustekniikka. Viitattu 07.06.2022. Saatavissa: <https://www.ril.fi/fi/rakennustekniikka/uutisarkisto/tahtituotannolla-parempaa-laatua.html?p2195=3>

Snowden, D.J., & Boone, M.E. (2007). A leader's framework for decision making. Harvard Business Review. Vol. 85:11. 68 S.

Strandberg, J., & Josephson, P. E. (2005). What do construction workers do? Direct observations in housing projects. Proceedings of 11th Joint CIB International Symposium Combining Forces - Advancing Facilities Management and Construction Through Innovation. Helsinki, 13–16 June 2005, Part 3. S. 184–193.

Sullivan, G., Barthorpe, S., & Robbins, S. (2011). Managing construction logistics. Hoboken, NJ: Wiley.

Talonrakennusteollisuus (2016). Ratu Aikataulukirja.

Tetik, M., Peltokorpi, A., Holmström, J., & Seppänen, O. (2018). Impacts of an assembly kit logistic solution in renovation projects: A multiple case study with camera-based measurement. In Proceedings of the 25th Annual EurOMA Conference. Brussels, Belgium: European Operations Management Association EurOMA.

Tetik, M., Peltokorpi, A., Seppänen, O., Viitanen, A., & Lehtovaara, J. (2019). Combining takt production with industrialized logistics in construction. In Proceedings of the 27th Conference of the International Group for Lean Construction. Dublin, Ireland: International Group for Lean Construction.

Tetik, M., Peltokorpi, A., Seppänen, O., Viitanen, A., & Lehtovaara, J. (2021). Kitting Logistics Solution for Improving On-Site Work Performance in Construction Projects.

Thunberg, M., Rudberg, M., & Gustavsson, T. K. (2017). Categorising on-site problems: A supply chain management perspective on construction projects. Construction Innovation. Vol. 17:1. S. 90–111.

Tilastokeskus (2021). Tilasto: Tuottavuustutkimukset. ISSN=2343-4317. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 08.08.2022. Saatavissa: <https://www.stat.fi/til/ttut/meta.html>

- Tommelein, I. D. (1994). Materials handling and site layout control. In D. A. Chamberlain (Ed.), *Automation and Robotics in Construction XI*. Elsevier Sci. S. 297–304.
- Tommelein, I. D. (1998). Pull-driven scheduling for pipe-spool installation: Simulation of lean construction technique. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 124:4. S. 279–288.
- Tommelein, I. D., Riley, D., & Howell, G. A. (1999). Parade game: Impact of work flow variability on trade performance. *ASCE, Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 125:5. S. 304–310.
- Tommelein, I. D., Singh, V. V., Coelho, R. V., & Lehtovaara, J. (2022). So Many Flows! Proceedings of the 30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC30). S. 878–889.
- Tompuri, T., & Mölsä, J. (2019). Asuntorakentamisen sisätyöt nopeutuivat kolmanneksella autoteollisuuden opeilla. *Rakennuslehti*. Viitattu 12.08.2022. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2019/01/asuntorakentamisen-sisatyot-nopeutuivat-kolmanneksella-autoteollisuuden-opeilla/>
- Vatne, M. E., & Drevland, F. (2016). Practical Benefits of Using Takt Time Planning: A Case Study. In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, Massachusetts, USA, 20–22 July 2016. S. 173–182. Viitattu 12.08.2022. Saatavissa: <https://www.iglc.net/Papers/Details/1327>
- Vojgtmann, J., & Bargstädt, H. J. (2010). Construction logistics planning by simulation. In *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*. New York: IEEE.
- Vollmann, T. E., Berry, W. L., & Whybark, D. C. (1997). *Manufacturing Planning and Control for Systems* (4th ed.). Homewood, IL: Irwin.
- Vrijhoef, R., & Koskela, L. (2000). The Four Roles of Supply Chain Management in Construction. *European Journal of Purchasing & Supply Management*. Vol. 6. S. 169–178.
- Vujosevic, R., Ramirez, J. A., Hausman-Cohen, L., & Venkataraman, S. (2012). *Lean kitting: A case study*. Austin, TX: Mechanical Engineering Department, University of Texas.
- Wolski, A., Arminen, J., & Pesonen, A. (1999). Relaatiotemporaalinen tietomalli mittaustiedon hallintaa varten. In *Proceedings of the Automaatio 1999*. Helsinki, Suomi, 14.–16.9.1999.
- Yin, R. (2009). *Case Study Research: Design and Methods* (4th ed.). California, USA: SAGE Publications Inc.

Zhu, L., Johnsson, C., Mejvik, J., Varisco, M., & Schiraldi, M. (2017). Key performance indicators for manufacturing operations management in the process industry. In 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). S. 969–973.

Liiteluettelo

Liite 1. Haastattelukysymykset.

Liite 1. Haastattelukysymykset.

Ensimmäinen teema:

1. Miten suunniteltu sisävalmistusvaiheen tahtiaikataulu kuvaa todellisuutta verrattuna siihen, miten työt etenevät tosiasiasa rakennustyömaalla?
2. (Esitetään suunniteltu ja toteutunut sisävalmistusvaiheen aikataulu Sitdrive -aikatauluohjelmistosta) Mitkä tekijät estävät toteuttamasta tahtiaikataulun mukaisesti? Onko suunnittelussa vai toteutuksessa havaittu enemmän puutteita, kun katsotaan suunniteltua tahtiaikataulua ja verrataan sitä toteutuneeseen?
3. Miten sisävalmistusvaiheen eri työvaiheet istuvat tahtituotantoon? Onko esimerkiksi tietyille työvaiheille optimaalista tahtialuekokoa? Millaiset näkökulmat vaikuttavat työvaiheisiin suhteessa tahtialueen kokoon?
4. Mitkä tekijät vaikuttavat eri työvaiheiden materiaalitoimitusten toimituserien kokoihin ja niiden aikaikkunoihin?
5. (Esitetään sisävalmistusvaiheen työvaiheittain huomioidut rakennustyömaalla tilan käytöstä ja vapaasta tilasta kerroksittain ja huoneistoittain) Mitkä olisivat järkeviä toimituseräkokoja huomioiden vapaa tila tahtialueilla? Miten näet eri työvaiheiden tuotteiden mahdollisen toimitusaikakunan? Mikä tai mitkä rajaavat aikaisinta mahdollista toimitusajankohdtaa ja mikä tai mitkä myöhäisintä toimitusajankohtaa?

Toinen teema:

1. Millainen rakennustyömaa on logistisena ympäristönä ja miten se on huomioitava rakennustyömaan logistisissa ratkaisuissa?
2. Mitä näkemyksiä sinulla on rakennustyömaalla varastoinnista? Onko työmaalla tilaa tahtialueilla tai muissa tiloissa toteuttaa varastointia vai aiheutuuko tästä merkittävää haittaa työnsuunnittelulle tai rakennustyön toteuttamiselle? Millaista hyötyä koet saatavan siitä, että esimerkiksi laminaattiasennusten materiaalit olisivat saatavilla koko kerrokseen?
3. Miten tahtituotannossa esiintyvä vaihtelu vaikuttaa rakennustyömaan logistiseen suunnitteluun ja logistiikan ohjaukseen? Mitkä ovat sisävalmistusvaiheen työvaiheet, jotka ovat logistiikan kannalta helpompia suunnitella ja järjestää? Mitkä ovat sisävalmistusvaiheen työvaiheet, joissa esiintyy eniten vaihtelua ja haasteita?

4. Onko työvaiheista aiheutunut ongelmia toimitusten järjestelyihin? Kuinka aikaisin eri työvaiheiden osalta on pystytty varmistamaan toimitusajankohdat?

Kolmas teema:

1. Millaiset ovat läpimenoajan lyhentämisen tavoitteet tulevaisuudessa? Millä keinoilla läpimenoajan lyhentämiseen päästään (muun muassa tahtialuekoot ja tahtiajat)?
2. Mitä vaatimuksia läpimenoajan lyhentäminen asettaa tuotetoimitusketjuille ja miten muutokset näkyvät eri työvaiheissa? Muun muassa välivaraston käytön tarpeellisuus, haalauksen tehokkuus ja optimaalinen tuotetoimituserän koko?
3. Tulisiko toimituseräkokoja muuttaa joihinkin työvaiheisiin nykyisestä? Mihin työvaiheisiin?
4. Missä työvaiheissa tuotetoimitusten setityksen tarkentaminen merkintöineen on merkityksellistä?
5. Miten tuotetoimitusten aikaikkunavaatimukset muuttuvat lyhennettäessä läpimenoaikaa?
6. Mitkä muut näkökulmat olisi hyvä ottaa huomioon tuotetoimitusketjuja kehittäessä?