



Aalto-yliopisto
Insinöörیتieteiden
korkeakoulu

Jami Kajander

Prosessien virtauksen mittaaminen tahtituotannossa

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Helsingissä 22.11.2021
Valvoja: Professori Olli Seppänen
Ohjaaja: DI Joonas Lehtovaara

Tekijä Jami Kajander

Työn nimi Prosessien virtauksen mittaaminen tahtituotannossa

Maisteriohjelma Building Technology**Koodi** ENG27

Työn valvoja Prof. Olli Seppänen

Työn ohjaaja(t) DI Joonas Lehtovaara

Päivämäärä 22.11.2021**Sivumäärä** 62 + 16**Kieli** Suomi

Tiivistelmä

Rakennustuotannon virtauksen kehittämiseksi, perinteisiä tuotannonhallintamenetelmiä on alettu korvaamaan virtausajattelua edistävillä sijaintipohjaisilla menetelmillä. Näistä menetelmistä tahtituotanto on viime vuosina ollut tutkijoiden ja yritysten mielenkiinnon kohteena. Tahtituotannon tavoitteena on luoda nopeasti ja tasaisesti virtaava tuotanto, ja tuotannon virtauksista, tahtituotannon voidaan todeta priorisoivan prosessien virtausta.

Diplomityön tavoitteena oli tutkia kirjallisuuden perusteella esiintyvää tutkimusaukkoa, prosessien virtauksen mittaamista tahtituotannossa. Mittaamalla työntekijöiden liikkumista ja toimintaa tahtialueella, pyrittiin selvittämään sisävaiheen toteutumista tahtituotannossa, turhan liikkeen ja keskeytymättömän työn määrää, sekä paluuvirtauksen ja työvaiheiden uudelleentyöstön määrää tahtituotantokohteessa.

Diplomityön empiirinen osuus toteutettiin tapaustutkimuksena, jossa suoritettiin kattava ja tarkka sisävaiheen videokuvaus, tahtialueena toimivan asuinkerroksen osalta. Videokuvauksella kerätty data työntekijöiden liikkumisesta ja toiminnasta lajiteltiin päivittäisiin ja viikoittaisiin taulukkoihin sekä analyyseihin, joiden avulla arvioitiin mittareiden arvoja kohteen prosessien virtauksesta.

Tutkimuksessa havaittiin, että videokuvaus on oiva menetelmä prosessien virtauksen mittaamiseen, menetelmän mahdollistaessa tarkan ja sisältörikkaan datankeräyksen. Menetelmän käytössä tulee kuitenkin huomioida videokuvaukseen liittyviä haasteita, joista varsinkin suurien tiedostokokojen luomat haasteet huomattiin tämän työn osalta.

Työvaiheiden liike ja toiminta tahtialueella vaihteli merkittävästi. Tutkimuksessa huomattiin, että vaikka liikkeen määrä ja tahtialueella vietetty aika vaihtelee merkittävästi työvaiheiden välillä, seuraavat nämä samaa suuntaviiva, kun niitä vertailtiin toisiinsa. Keskeyttämättömän työn määrä oli kohteessa useiden urakoitsijoiden osalta noin 80 %. Tutkimuksessa havaittiin, että logistiikalla on erittäin suuri merkitys työvaiheiden liikkumiseen sekä toimintaan. Tahtialueella esiintyi runsaasti suunniteltua paluuvirtausta sekä huomattava määrä suunnitelmatonta paluuvirtausta. Tahtialueella ei maalauksen korjauskierrosten lisäksi havaittu merkittävää työvaiheiden uudelleentyöstöä. Tulee kuitenkin huomioida, että tutkimuksessa ei tutkittu viimeistelyvaihetta, jossa uudelleentyöstöä olisi oletettavasti esiintynyt enemmän.

Avainsanat Virtaus, Tahtituotanto, Rakentaminen, Prosessien virtaus

Author Jami Kajander

Title of thesis Measuring process flow in takt production

Master programme Building Technology**Code** ENG27

Thesis supervisor Prof. Olli Seppänen

Thesis advisor(s) M.Sc. (Tech.) Joonas Lehtovaara

Date 22.11.2021**Number of pages** 62 + 16**Language** Finnish

Abstract

The need to increase the flow of construction has caused, that traditionally used production systems are being replaced by location-based methods, which promote the thought of flow. Of these methods, takt production has been in growing interest of both researchers and construction companies. The goal of takt production is to create and contain swift and even flow of production, and takt production can be seen to promote the flow of processes.

This thesis aimed to study the research gap found in literature, to measure processes flow in takt production. By measuring the movement and activities of workers, an attempt was made to assess the fulfillment of production, the amount of unnecessary movement and uninterrupted work, and the amount of re-entrant flow and rework.

The research was carried out as a case-study, which included a comprehensive and precise video recording of a single takt area during the inner phase of construction. The data collected from the video surveillance was sorted to daily and weekly tables and analyzed, from which the process flow was evaluated.

In the study, it was found that video recording is a suitable method to measure the amount of flow, as the method enables accurate and content-rich data collection. However, the challenges associated with video recording must be considered, of these the challenges posed by large files were noted in this work.

The amount of movement and activities varied significantly. It was noted that even though the amount of movement and the time spent varied a lot between contractors, they followed the same trendline when compared to each other. The amount of uninterrupted work was about 80 % for most contractors. It was noted that logistics had a major impact on the amount of movement and activities of contractors. The amount of planned re-entrant flow was significant, while the amount of accidental re-entrant flow was notable. The amount of rework, excluding the repair of paintwork, was not significant in the study. However, it should be observed, that this study didn't include the finishing phase of the project, that would include significantly more rework.

Keywords Flow, Takt production, Construction, Process flow

Alkusanat

Tämän työn aihe sai alkunsa keväällä 2020 työskennellessäni työnjohtoharjoittelijana Firan tahtityömaalla, kun Firan edustajien ja Professori Olli Seppäsen kanssa tuumittiin, että tahtituotantoon liittyvä diplomityö olisi kaikkien osapuolien mielestä hyvä, hyödyllinen ja kiinnostava diplomityön aihe. Siitä asia lähti kehittymään, ja lopulta työn aiheeksi valikoitui prosessien virtauksen mittaaminen tahtituotannossa

Iso kiitos työn valvojalle Professori Olli Seppäsellemä sekä työn ohjaajalle DI Joonas Lehtovaaralle työn aktiivisesta ja auttavasta ohjauksesta sekä valvonnasta. Kiitokset Firalle työni rahoittamisesta, sekä kiitokset Firan porukalle; Otto Alhavallemä sekä Kasperi Koi-vulle, jotka olivat mukana auttamassa työn ohjauksessa sekä ideoinnissa; Vili Rinteelle, Alina Leppäsellemä sekä koko Postipuiston tiimille, empiirisen tutkimuksen toteutuksen mahdollistamisessa.

Kiitokset myös kaikille ystäville ja perheenjäsenille, sekä eritoten Pinkulle, olette olleet korvaamaton apu ja tuki tämän rupeaman aikana.

Helsingissä 22.11.2021

Jami Kajander

Sisällysluettelo

| | |
|--|----|
| Tiivistelmä | |
| Abstract | |
| Alkusanat | |
| Sisällysluettelo | 1 |
| Lyhenteet | 2 |
| 1 Johdanto | 3 |
| 1.1 Diplomityön tausta | 3 |
| 1.2 Tavoite ja tutkimuskysymykset..... | 5 |
| 1.3 Tutkimusmenetelmät | 6 |
| 1.4 Työn rakenne ja rajaukset | 7 |
| 2 Kirjallisuuskatsaus | 9 |
| 2.1 Rakentamisen ominaisuudet ja erityispiirteet | 9 |
| 2.2 Lean-tuotanto | 11 |
| 2.3 Virtaus | 12 |
| 2.3.1 Virtaus tuotannossa..... | 12 |
| 2.3.2 Virtaus rakennustuotannossa | 12 |
| 2.4 Sijaintipohjaiset tuotannonhallintamenetelmät | 17 |
| 2.5 Tahtituotanto | 18 |
| 2.5.1 Tahtituotannon tausta..... | 18 |
| 2.5.2 Tahtisuunnittelu ja -ohjaus..... | 18 |
| 2.5.3 Tahtituotannon tapaustutkimuksien tuloksia | 19 |
| 2.5.4 Virtaus tahtituotannossa..... | 21 |
| 2.6 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto | 23 |
| 3 Empiirinen tutkimus: tutkimusmenetelmät ja toteutus | 26 |
| 3.1 Tutkimuskohteen esittely | 26 |
| 3.2 Tutkimusmenetelmien valinta | 27 |
| 3.3 Laitteiston valinta..... | 29 |
| 3.4 Tutkimuksen toteutus | 30 |
| 3.5 Datan esittely..... | 32 |
| 4 Tutkimuksen tulokset..... | 36 |
| 4.1 Tahtituotannon toteutuminen ja prosessikuvat..... | 36 |
| 4.2 Työntekijöiden liikkeen sekä keskeytymättömän työn määrä | 41 |
| 4.3 Tuotannossa esiintyvä paluuvirtaus ja uudelleentyöstö | 44 |
| 5 Tutkimuksen yhteenveto ja pohdinta | 47 |
| 5.1 Tutkimusmenetelmien arviointi | 47 |
| 5.2 Tulosten pohdinta..... | 50 |
| 5.3 Tutkimuksen kontribuution arviointi | 55 |
| 5.4 Tutkimuksen luotettavuus | 56 |
| 5.5 Jatkotutkimusehdotukset..... | 57 |
| 6 Lähdeluettelo | 58 |
| Liitteet | |

Lyhenteet

| | |
|------|---|
| BLE | Bluetooth Low Energy |
| CPM | Critical Path Method |
| IGLC | International Group for Lean Construction |
| LBMS | Location Based Management System |
| JOT | Juuri Oikeaan Tarpeeseen |
| KPH | Kylpyhuone |
| LCI | Lean Construction Institute |
| LOB | Line of Balance |
| LVIS | Lämmitys, Vesi, Ilmanvaihto, Sähkö |
| PPO | Portfolio, Processes and Operations |
| TFV | Transformation Flow Value |
| TPS | Toyota Production System |
| TPTC | Takt Planning and Takt Control |
| TTP | Takt Time Planning |
| VS | Väliseinä |

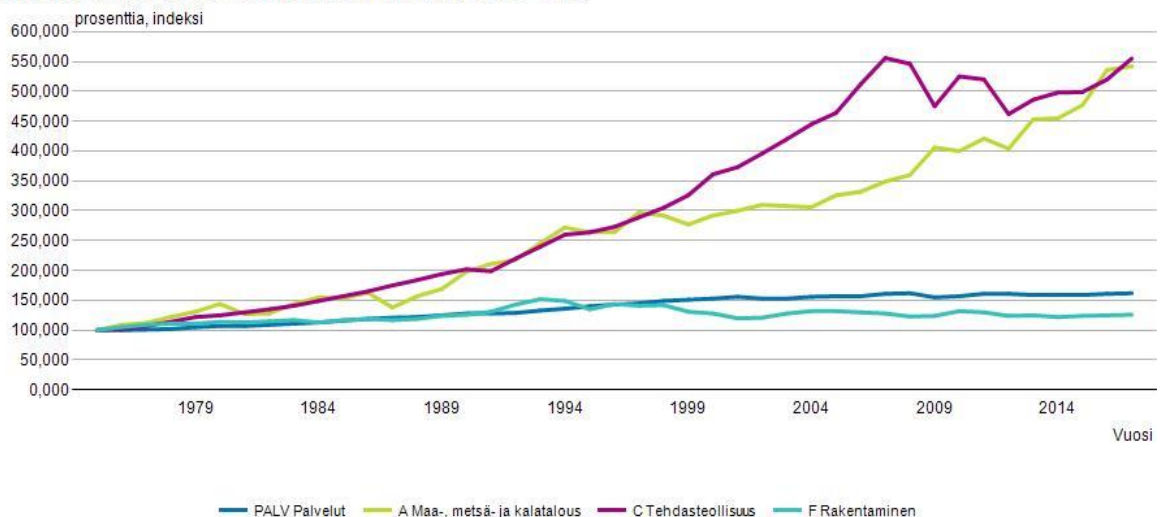
1 Johdanto

Diplomityön ensimmäisessä luvussa esitellään diplomityön taustaa, tutkimuksen tavoitetta ja työn tutkimuskysymyksiä, diplomityön tutkimusmenetelmiä, sekä tutkimuksen rakennetta ja rajauksia. Johdannon avulla pyritään alustamaan diplomityön kokonaiskuvaa sekä lyhyesti esittämään diplomityön keskeisimmät aiheet.

1.1 Diplomityön tausta

Rakennusala on maailmanlaajuisesti yksi suurimmista teollisuudenaloista, ja keskeinen toiminto taloudessa. Rakennusala vaivaa kuitenkin huono tuottavuus sekä tuottavuuden kehityksen puute (Koskenvesa et al. 2010). Alan tuottavuus on Suomessa pysynyt kutakuinkin samalla tasolla sitten 1970-luvun, ja tuottavuus on tehdasteollisuuteen verrattuna moninkertaisesti heikommalla tasolla, katso kuva 1 (Tilastokeskus 2020). Rakentamisen tuottavuuden kehittämiseksi on siis suuri tarve, ja tällä olisi myös merkittävä vaikutus maailmantalouteen (Koskenvesa et al. 2010). Yksi oleellinen tekijä rakennusalan sekä tehdasteollisuuden tuottavuuden eroihin on tuotannoissa esiintyvien virtauksien erot.

Arvonlisäykseen perustuva työn tuottavuus toimialoittain muuttujina Toimiala ja Vuosi. S1 Koko kansantalous, Työn tuottavuuden indeksi 1975=100.

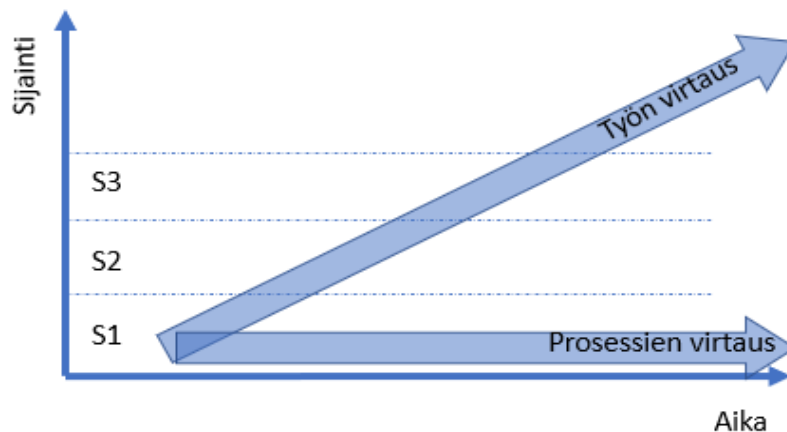


Lähde: Tilastokeskus, Tuottavuustutkimukset

Kuva 1. Työn tuottavuus toimialoittain, 1975–2017 (Tilastokeskus 2020).

Virtaus on olennaisessa osassa tuotannon prosesseja (Lehtovaara et al. 2021). Tehdasteollisuudessa virtaus määritellään joko tuotantoprosessien polkuna, jonka läpi tuote kulkee, tai tuotteen fyysisenä liikkeenä polkua pitkin (Sacks 2016). Virtauksen polku tunnetaan nimellä arvovirta (Rother et al. 2003), joka optimaalisessa tapauksessa sisältää mahdollisimman vähän arvoa tuottamatonta toimintaa, eli hukkaa (Womack & Jones 2003). Virtauksen tehostaminen vähentää tuotannossa esiintyvää hukkaa, täten virtauksen tehostaminen parantaa tuotannon tuottavuutta.

Virtaus on käsitteenä hyvin määritelty tehdasteollisuudessa, kun taas rakentamisen osalta virtauksesta ei ole ollut selkeätä ja yhteistä käsitettä, osittain johtuen virtauksien perusteellisesta erosta (Sacks 2016). Tehdasteollisuudessa tuote etenee liukuhihnaa pitkin työpisteeltä toiselle, kun rakentamisessa tuote pysyy paikoillaan, ja työntekijät liikkuvat tuotteen sisällä suorittaen työtehtäviään (Sacks 2016, Lehtovaara et al. 2021). Tuotannon virtaus koostuu tehdasteollisuudessa perinteisesti kahdesta osasta, työn virtauksesta sekä prosessien virtauksesta (Shingo ja Dillon 1989). Työn virtauksella tarkoitetaan tuotteeseen kohdistuvien työtehtävien virtausta, ja prosessien virtauksella tarkoitetaan itse tuotteen virtausta (Sacks 2016). Työn ja prosessien virtaukset voidaan määrittellä rakentamisen osalta niin, että työn virtauksella tarkoitetaan työvaiheiden ja urakoitsijoiden etenemistä sijainnilta toiselle, kun prosessien virtauksella tarkoitetaan työvaiheiden virtausta yhden sijainnin osalta (Sacks 2016, Lehtovaara et al. 2021). Kuvan 2 (Lehtovaara et al. 2021) perusteella voidaan helposti havainnoida työn ja prosessien virtauksen erot aika- ja sijaintiakseleiden avulla.



Kuva 2. Työn ja prosessien virtaus rakentamisessa. (mukailtu Lehtovaara et al. 2021)

Prosessien virtaus on perinteisesti jäänyt rakentamisessa pienemmälle huomiolle, tuotannon-ohjauksen kohdistuessa aliurakoiden ja sopimusten hallintaan, eli työn virtauksen ohjaukseen (Sacks 2016). Sacks (2016) näkee, että prosessien virtaus olisi ensisijainen virtaus rakentamisessa, ja että prosessien virtauksen optimoinnissa olisi eniten potentiaalia. Sacks (2016) esittää kahdeksan optimaalisen prosessien virtauksen ehtoa, jotka liittyvät muun muassa hukan ja vaihtelun vähentämiseen, ehtoina ovat esimerkiksi, että tuotannossa ei esiinny paluuvirtausta tai uudelleentyöstöä. Vaikka prosessien virtaus on yleisesti laiminlyötyä, on prosessien virtauksen optimointi yksi tahtituotannon tavoitteista (Lehtovaara et al. 2021).

Tehokkaampi virtaus parantaa tuottavuutta. Tuotannossa esiintyvän virtauksen tehostamiseksi, perinteisiä rakentamisen tuotantomenetelmiä on alettu korvaamaan virtausajattelua edistävillä sijaintipohjaisilla menetelmillä (Lehtovaara et al. 2021). Tahtituotanto on yksi sijaintipohjaisista menetelmistä, joka on viime vuosien aikana ollut tutkijoiden ja yritysten mielenkiinnon kohteena. Tahtituotannon avulla onkin saatu merkittäviä läpimenoajan lyhennyksiä rakennusprojekteissa (Frandsen et al. 2013, Binninger et al. 2018, Lehtovaara et al. 2019). Tahtituotanto on myös lisännyt muun muassa tuotannon läpinäkyvyyttä (Lehtovaara et al. 2019), visualisuutta (Dlouhy et al. 2016) sekä työntekijöiden tuntikohtaisia ansiota (Vatne & Drevland 2016).

Virtauksen tutkiminen rakentamisen tahtituotannossa on kohtalaisen uusi ja tutkimaton aihe (Binninger et al. 2019). Tahtituotannossa esiintyvistä virtauksesta, sekä tahtituotannon vaikutuksesta tuotannon virtauksiin on viime vuosina tehty muutamia tapaustutkimuksia (Ruohomäki 2019, Salerto 2019, Kujansuu et al. 2020), sekä 40 tutkimuskohteen avulla on luotu pohjaa virtauksen ja tahtituotannon tutkimiselle (Binninger et al. 2019). Tahtituotannon virtaukselle on myös luotu teoreettinen malli (Lehtovaara et al. 2021). Tutkimukset ovat kuitenkin yleisesti perustuneet laadullisiin tutkimusmenetelmiin (Binninger et al. 2019, Lehtovaara et al. 2021), perustuen haastatteluihin sekä valmistuneiden hankkeiden dokumenttien läpikäyntiin, tai määrällisen tutkimuksen mittausjaksot ovat olleet kohtalaisen rajattuja (Ruohomäki 2019, Salerto 2019, Kujansuu et al. 2020). Täten, alan tutkimuksessa on olemassa tutkimusaukko, virtauksen laajempi tutkiminen ja mittaaminen tahtituotannossa, käyttäen määrällisiä tutkimusmenetelmiä. Tämä diplomityö pyrkii vastaamaan tähän tutkimusaukkoon, vastaamalla Lehtovaara et al. (2021) esittämään jatkotutkimusaiheeseen, prosessien virtauksen mittaamisesta tahtituotannossa. Tämä työ hyödyntää Lehtovaara et al. (2021) mainitsemaa ja ehdottamaa videokuvausta aiheen tutkimusmenetelmänä.

1.2 Tavoite ja tutkimuskysymykset

Tämän diplomityön tavoitteena on siis tutkia kirjallisuuden perusteella löytyvää tutkimusaukkoa, Lehtovaara et al. (2021) esittämää jatkotutkimusaihetta, prosessien virtauksen mittaamista tahtituotannossa. Tutkimus toteutetaan tapaustutkimuksena, asuntorakentamisen sisävaiheen osalta. Asuntorakentamisen sisävaiheen valinta diplomityön tutkimuskohdeeksi perustellaan luvussa 1.4. Tavoitteen saavuttamiseksi, työ hyödyntää tutkimusmenetelmänä Lehtovaara et al. (2021) ehdottamaa videokuvausta, sekä perustaa tutkimuskysymyksiä niihin Sacksin (2016) esittämiin optimaalisiin prosessien virtauksen ehtoihin, joita videokuvausten avulla voidaan yhden tahtialueen osalta tutkia.

Mittaamalla prosessien virtausta tarkalla sekä laajalla mittausjaksolla, tässä tutkimuksessa tahtialueena toimivan asuinkerroksen osalta, pyritään luomaan tarkka kuva prosessien virtauksien tasosta tahtituotantokohteessa. Tutkimalla tahtialueella esiintyvää työntekijöiden ja työvaiheiden toimintaa ja liikkumista, sekä mittaamalla tahtialueella esiintyvää paluuvirtausta ja työvaiheen uudelleentyöstöä, voidaan arvioida prosessien virtauksen tasoa tahtituotantokohteessa (Lehtovaara et al. 2021). Diplomityön tavoitteeseen pyritään päästä vastaamalla yhteen päätutkimuskysymykseen, sekä kolmeen alatutkimuskysymykseen.

Päätutkimuskysymys: Miten prosessit virtaavat tahtituotantokohteessa?

Diplomityön tavoitteen ollessa prosessien virtauksen mittaaminen tahtituotannossa, on yllä oleva päätutkimuskysymys perusteltu tutkimuksen tavoitteen täyttymistä varten. Tutkimalla työntekijöiden toimintaa ja liikkumista, voidaan selvittää prosessien virtauksen toteutumista tahtituotantokohteessa (Lehtovaara et al. 2021). Vastaamalla esitettyyn päätutkimuskysymykseen pyritään selvittämään prosessien virtausta tahtituotantokohteessa, ja samalla täyttämään kirjallisuudesta löytyvää tutkimusaukkoa. Seuraavaksi esitettävien alatutkimuskysymysten avulla pyritään selvittämään tahtituotannon ja prosessien virtauksien osa-alueita, joiden avulla voidaan vastata päätutkimuskysymykseen.

1. Mikä on tahtituotantokohteen sisävaiheen prosessikuva?

Tahtituotannon prosessien virtauksen tutkimisen kannalta on oleellista selvittää, miten tahtituotanto on kohteessa toteutunut, eli mitä toimintoja ja prosesseja sisävaiheen aikana tahtialueella esiintyy, sekä luoda tästä havainnollistava kuva, niin sanottu tuotannon prosessikuva. Prosessikuva havainnollistaa myös alueella esiintyvää tyhjän tilan hukkaa, kun alueella ei ole sisävaihetta edistävää toimintaa. Luomalla prosessikuva sisävaiheesta, niin alueella esiintyvistä toiminnasta kuin tyhjän tilan hukasta, saadaan selvitettyä mitä prosesseja tahtialueella esiintyy sisävaiheen aikana, mikä on oleellinen tieto prosessien virtauksen mittaamisen kannalta.

2. Miten paljon liikkumista ja keskeytymättömiä töitä esiintyy tahtialueella?

Tahtituotantokohteen prosessien virtausta voidaan mitata tutkimalla työntekijöiden liikkumista tahtialueella (Lehtovaara et al. 2021), eli prosessien virtauksen kannalta oleellinen mittari on tahtialueella esiintyvä liikkeen määrä. Optimaalisessa prosessien virtauksessa ei esiinny ylimääräisiä toimintoja (Sacks 2016), eli tuotannossa ei tulisi esiintyä työntekoa keskeyttävää turhaa liikkumista, esimerkiksi materiaalien siirtelyn takia. Mittaamalla työntekijöiden liikkumisen määrää ja tutkimalla turhan liikkumisen syitä, sekä arvioimalla liikkumisen muodostamaa keskeytymättömän työn määrää, voidaan selvittää kohteen prosessien virtauksen laatua.

3. Miten paljon paluuvirtausta sekä uudelleentyöstöä esiintyy tahtialueella?

Tahtituotantokohteen prosessien virtausta voidaan mitata tutkimalla tahtialueella esiintyvää paluuvirtausta ja työvaiheiden uudelleentyöstöä (Lehtovaara et al. 2021). Prosessien virtauksen kannalta on optimaalista, että tahtialueella esiintyy mahdollisimman vähän paluuvirtausta sekä työvaiheiden uudelleentyöstöä (Sacks 2016). Tutkimalla työntekijöiden liikkumista ja toimintaa tahtialueella, voidaan selvittää työntekijöiden paluuvirtauksen sekä työvaiheiden uudelleentyöstön määriä sekä syitä, joiden avulla voidaan selvittää kohteen prosessien virtauksen laatua.

Yllä esitettyjä tutkimuskysymyksiä tarkennetaan kirjallisuuskatsauksen pohjalta.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Diplomityön tutkimusstrategiana toimii diplomityön empiirisen osuuden tapaustutkimus, joka toteutetaan Firan työmaalla Helsingin Postipuistossa. Diplomityön kirjallisuuskatsauksella luodaan pohjaa työn tutkimukselle sekä perehdytään empiirisen osuuden kannalta tärkeisiin aiheisiin. Diplomityön empiirisessä osuudessa tutkitaan prosessien virtausta tahtituotannossa, asuntorakentamisen sisävaiheen osalta. Työn empiirisen osuuden tutkimus toteutetaan tapaustutkimuksena, jonka päämuotoisena tutkimusmenetelmänä toimii videokuvaus.

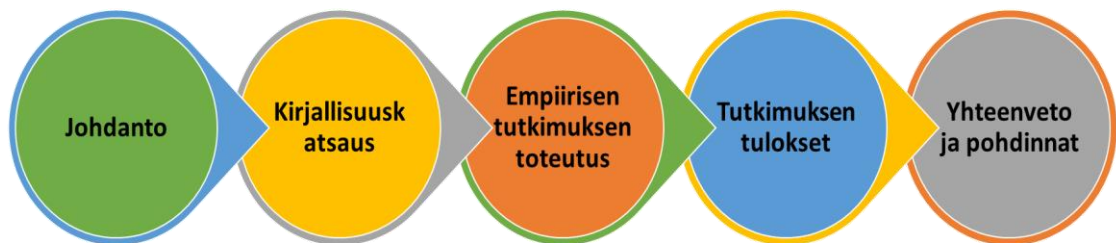
Diplomityön tutkimusstrategia sekä tutkimusmenetelmät perustuvat työn toteutukseen, tavoitteeseen ja tutkimuskysymyksiin. Työn tutkimusstrategiaksi valikoitui määrällinen tapaustutkimus. Tapaustutkimus on perinteinen tutkimusstrategia, jossa kerätään yksityiskohdista ja intensiivistä tietoa, yksittäisestä tai useammasta tapauksesta (Hirsjärvi et al. 2007).

Tapaustutkimus on käytännöllinen tutkimusstrategia, kun tutkitaan tosielämän kontekstia vastaavia ajankohtaisia ilmiöitä, tapaustutkimus on myös luonnollinen valinta tutkimusstrategiaksi, tutkimuskysymysten ollessa muodossa ”miten” ”tai miksi” (Yin 2009). Lisäksi tapaustutkimusta käytetään tutkimuksissa, joissa tutkimuksen toteuttajalla ei ole merkittävä mahdollisuutta vaikuttaa tutkimuksen tapahtumiin (Yin 2009). Tutkimuskysymysten ollessa muodossa ”miten”, tahtituotannon prosessien virtauksen ollessa tosielämän kontekstia vastaava ajankohtainen ilmiö, sekä tutkijan toimiessa ulkopuolisena tarkkailijana, voidaan tapaustutkimusta pitää perusteltuna tutkimusstrategiana työn empiiristä osuutta varten.

Työn empiirinen tutkimus toteutetaan käyttäen yhtä pääasiallista tutkimusmenetelmää, tahtituotannon sisävaiheen kattavaa videokuvausta. Videokuvaus on yksi Lehtovaara et al. (2021) ehdottamista tutkimusmenetelmistä prosessien virtauksen mittaamista varten, ja videokuvaus toimii tutkimuksen tavoitteen ja tutkimuskysymysten pohjana. Videokuvaus valittiin tämän työn tutkimusmenetelmäksi sen sopiessa hyvin prosessien virtauksen mittaamista varten. Videokuvauksen valinta perustellaan syvemmin luvussa 3.2

1.4 Työn rakenne ja rajaukset

Diplomityön rakenne esitellään kuvassa 3. Diplomityön rakenne koostuu johdannosta, kirjallisuuskatsauksesta, empiirisen tutkimuksen toteutuksesta, tutkimuksen tuloksista, sekä lopuksi tutkimuksen yhteenvedosta, pohdinnoista, johtopäätöksistä sekä jatkotutkimusehdotuksista.



Kuva 3. Diplomityön rakenne.

Työn ensimmäisessä luvussa esiteltiin diplomityön johdantoa. Luvussa pohjustettiin diplomityötä sekä esiteltiin työn kannalta tärkeimmät aiheet. Johdanto sisälsi diplomityön taustan, työn tavoitteet sekä tutkimuskysymykset, työn tutkimusmenetelmät sekä työn rakenteen ja rajaukset. Luvussa 2 käsitellään diplomityön kirjallisuuskatsausta. Kirjallisuuskatsauksessa syvennytään diplomityön kannalta tärkeimpiin aiheisiin, ja luvun lopussa luodaan teoriaosuuden yhteenveto. Yhteenvedossa käydään myös kirjallisuuskatsauksen pohjalta syvemmin läpi luvussa 1.2 esitellyt tutkimuskysymykset. Kolmannessa luvussa käsitellään empiirisen tutkimuksen toteutusta. Luku sisältää empiirisen osuuden pohjustuksen, tutkimuskohteen esittelyn, tutkimusmenetelmien syvemmän läpikäynnin, sekä tutkimusmenetelmäksi valitun videokuvauksen laitteiston esittelyn. Luvussa esitellään myös tutkimuksen toteu-

tusta, datankeräystä sekä datankäsittelyä, videokuvauksessa syntynyttä dataa, ja kuinka dataa on tutkimuksessa lähdetty työstämään. Luvussa 4 käsitellään empiirisessä tutkimuksessa saatuja tuloksia. Viides ja viimeinen luku sisältää diplomityön yhteenvedon, tulosten pohdinnat, diplomityön johtopäätökset sekä diplomityön pohjalta esille nousseet jatkotutkimusehdotukset.

Diplomityön empiirisen osuuden tapaustutkimus on rajattu koskemaan yhtä hanketta. Tutkimus on lisäksi rajattu kohteen tuotantovaiheeseen, tarkemmin rajattuna, asuinrakennuskohteen sisävaiheeseen. Tutkimuksen tapauskohteeksi valikoitui asuinrakennuskohde, mikä sovittiin yhdessä Firan sekä Aalto-yliopiston kanssa. Tutkimuksessa haluttiin tutkia prosessien virtausta tahtituotannossa, ja oman asuinrakentamisen taustani sekä yhdessä sovittujen tavoitteiden myötä tutkimuskohteeksi valikoitui tahtituotannolla toteutettava asuinrakennuskohde. Diplomityön tutkimus oli alun perin suunniteltu työmaalle, jossa olin diplomityön suunnitteluvaiheen aikana töissä, mutta aikataulullisista syistä johtuen, kohde vaihdettiin toiseen asuinrakennuskohteeseen. Kohteen valintaan vaikutti datan hyvä saatavuus sekä vaivaton pääsy tutkimuskohteeksi valitulle työmaalle. Tutkimuksen sijoittuminen kohteen sisävaiheeseen perustui osittain aikataulullisiin syihin, sekä yhdessä sovittuun tutkimussuunnitelmaan.

2 Kirjallisuuskatsaus

Diplomityön kirjallisuuskatsauksessa luodaan pohjaa empiirisen osuuden tutkimusaiheelle, katsauksessa käsitellään diplomityön pääteemoja sekä diplomityön empiiristä tutkimusta vastaavien julkaisujen tuloksia. Katsauksen aluksi käsitellään rakentamisen erityispiirteitä ja ominaisuuksia, ja mihin nämä johtavat rakennustuotannon osalta. Lean-tuotanto esitellään lyhyesti ennen siirtymistä yhteen työn pääteemoista, virtaukseen. Virtauksen jälkeen esitellään sijaintipohjaiset tuotantomenetelmät, minkä jälkeen käsitellään työn toinen pääteema, tahtituotanto. Tahtituotannon kappaleessa käydään myös läpi, miten virtaus liittyy tahtituotantoon, ja miten näiden yhdistelmää on tutkittu kirjallisuudessa. Lopuksi luodaan kirjallisuuskatsauksen yhteenveto sekä syvennyttään työn tutkimuskysymyksiin.

2.1 Rakentamisen ominaisuudet ja erityispiirteet

Rakennusalan tuottavuus sekä tuottavuuden kehitys ovat moniin muihin tuotannonaloihin verrattuna, kuten esimerkiksi tehdasteollisuuteen, selvästi heikommalla tasolla (Koskenvesa et al. 2010, Tilastokeskus 2020). Mutta mistä tuottavuuden ongelmat johtuvat? Tässä luvussa käydään läpi rakentamisen ominaisuuksia ja erityispiirteitä, sekä näiden vaikutuksia rakennusalan tuotantoon.

Rakentaminen sisältää laajan kattauksen projekteja, joiden ominaisuudet eroavat muiden teollisuuksien projektien lisäksi, usein myös merkittävästi toisista rakennusprojekteista. Ballard ja Howell (1998) toteavat, että rakentaminen kattaa laajan skaalan erilaisia projekteja, hitaista ja yksinkertaisista projekteista, nopeisiin ja epävarmoihin dynaamisiin projekteihin. Ballardin ja Howellin (1998) mielestä hitaille ja yksinkertaisille projekteille on mahdollista kehittää toimintatapoja, kuten standardisointia, jotka toisivat rakennustuotannon lähemmäksi tehdasteollisuutta, kun taas dynaamisille projekteille tämä ei olisi yhtä hyödyllistä.

Rakentamisen ominaisuuksista, erityispiirteisistä ja eroavaisuuksista muista aloista on olemassa hieman eriäviä käsityksiä. Koskela (2000) esittää rakentamisen erityispiirteiden johtavan tuotannon monimutkaisuuteen, vaihteluun sekä läpinäkyvyyden puutteeseen, sekä näkee erityispiirteiden olevan yksi juurisyistä rakentamisessa esiintyvään hukkaan sekä arvomenetykseen. Koskelan (2000) esittämät rakennusalan erityispiirteet ovat: rakennusprojektien ainutlaatuisuus, työmaatuotanto sekä tilapäiset organisaatiot. Ballardin ja Howellin (1998) mukaan nämä erityispiirteet eivät olisi pelkästään rakennuslalle ominaisia, sekä että rakennusprojekteilla ei ole yhtä ainutlaatuista ominaisuutta, vaan, että alan ja projektien ainutlaatuisuus johtuu rakentamisen sekä rakennetun tuotteen paikkaan sitoutumisesta. Työmaatuotanto on perusteellinen osa rakentamista, sillä rakentaminen on paikallisesti sidottua ja toteutetaan aina tietyllä sijainnilla, oli sitten kyseessä esivalmistuksesta tai paikallarakennetun rakennuksen pystytyksestä (Vrijhoef ja Koskela 2005). Dubois ja Gadde (2002) näkevät rakentamisen paikkaan sidotun ja projektimaisen tuotannon luovan talonrakentamiselle kaksi keskeistä ominaisuutta, keskittymisen yksittäisiin projekteihin sekä paikallisen järjestyksen tarpeen työmaalla. Vrijhoefin ja Koskelan (2005) mielestä rakentamisen erityispiirteitä löytyy kolmelta tasolta: tuotteen, tuotannon (projektin) sekä teollisuuden tasolta. Koskelan (2000) esittämät erityispiirteet sijoittuvat tuotannon tasolle, ja erityispiirteillä on linkkejä toisiinsa tasojen yli, mikä luo monimutkaisen vuorovaikutuksen, jonka vuoksi rakentamisen erityispiirteiden ja alan ongelmien rajoittaminen on hankalaa (Vrijhoef ja Koskela 2005).

Rakennusprojektit ovat lähtökohtaisesti ainutlaatuisia projekteja (Koskela 2000), joissa suunnitellaan ainutlaatuinen tuote, minkä lisäksi tuotteiden toteutus ja konteksti vaihtelee muun muassa sijainnin, olosuhteiden, sekä tuotantotavan osalta (Vrijhoef ja Koskela 2005). Ballard ja Howell (1998) näkevät kuitenkin projektien ainutlaatuisuuden olevan suhteellista, sillä osa rakennusprojekteista toteutetaan massatuotantona. Rakennusosalalle ominainen työmaatuotanto erottaa rakennusalan useimmista aloista, mutta on kuitenkin oleellinen osa esimerkiksi kaivosteollisuutta (Ballard & Howell 1998, Vrijhoef ja Koskela 2005). Rakentamisen paikkaan sitoutuminen luo tuotantoon epävarmuutta sekä vaihtelua. Rakentaminen on riippuvainen maaperän sekä ilmaston paikallisista olosuhteista (Vrijhoef ja Koskela 2005), ja fyysiset ympäristöt sekä niiden tuomat mahdolliset erot määrääksiin luovat epävarmuutta ja vaihtelua (Ballard & Howell 1998). Tuotannon yhtenäisyyden sekä täydellisen määrittelyn puute ja arvaamaton ympäristö luovat edellytykset, joiden mukaan työmaiden paikallinen järjestely on tarpeellista (Dubois ja Gadde 2002). Rakennusprojektien ainutlaatuisuuden sekä työmaatuotannon ominaisuuksien myötä rakennusprojektit toteutetaan usein projekteja varten muodostetuilla tilapäisillä organisaatioilla (Vrijhoef ja Koskela 2005). Tilapäiset organisaatiot eivät ole Ballard ja Howell (1998) mielestä ominaista vain rakentamisessa, sillä projektimainen tuotanto on rakentamista laajakäyttöisempää. Tilapäisten organisaatioiden myötä, projektien aikana saatu tieto ei välttämättä pääse virtaamaan seuraaviin projekteihin, ja täten rakentamisen jatkuva kehitys ei pääse toteutumaan. (Dubois ja Gadde 2002).

Rakentamisen erityispiirteet ja ominaisuudet ovat siis hukan juurisyitä. Näiden lisäksi, rakentamisessa esiintyviä johtamisen käytäntöjä pidetään juurisyinä rakentamisen tuottavuuden heikkouteen (Dubois ja Gadde 2002, Koskela et al. 2002), ja Koskelan (2000) mukaan johtamisen käytännöt ovat yleisesti hukan juurisyinä. Rakentamisessa on perinteisesti keskitytty projektien jakamiseen pienempiin optimoitaviin osiin, sekä tuotannon panosten ja tuotosten muodonmuutokseen (Koskela et al. 2002). Tämä johtaa usein heikkoon ja tehottoomaan tuotantoon, jossa ei pystytä huomioimaan resurssien hukkaa sekä optimoimaan tuotantoa vastaamaan asiakkaan vaatimuksia (Koskela et al. 2002). Perinteisessä tuotannonohjauksessa on usein päädytty työntöohjaukseen, työnjohdon pyrkiessä aloittamaan työvaiheet mahdollisimman aikaisin, ja tuotannon ongelmien ohjaaminen on usein reaktiivista, kun ongelmiin reagoidaan vasta niiden syntyessä (Koskela et al. 2002). Ohjaamisen perinteisiin toimenpiteisiin kuuluvat tehtävien nopeutus tai uudelleenjärjestely, ja usein päädytään lisäresurssien tuontiin työmaalle, mikä vähentää tuotannon tuottavuutta (Koskela et al. 2002).

Yksi merkittävä vaikuttaja rakennusalan tuottavuuteen, liittyen johtamisen ja ohjaamisen käytäntöihin, on rakennustuotannossa keskeisessä osassa oleva aliurakointi (Bertelsen et al. 2007, Koskenvesa et al. 2010, Binninger et al. 2016, Sacks 2016). Aliurakoinnin myötä tuotannossa on useita omiin aloihinsa erikoistuneita yksittäisiä toimijoita, jotka keskittyvät pelkästään omiin tehtäviinsä, ja joiden tavoitteena on oman toiminnan optimointi, mikä on harvemmin kokonaisen projektin kannalta optimaalista (Binninger et al. 2016). Aliurakoinnin myötä tuotannon ohjaaminen on keskittynyt sopimusten ohjaamiseen ja hallintaan, ja tuotannossa esiintyvät epävarmuudet sekä ristiriidat saattavat johtaa ongelmiin työmaan resursseissa, heikentäen rakentamisen tuottavuutta (Bertelsen et al. 2007, Sacks 2016).

Rakennusalan tuottavuuden parantamiseksi, virtauksen tehostamiseksi, sekä hukan vähentämiseksi, rakennusalan toimijat ovat alkaneet hyödyntämään tehdasteollisuudesta tuttuja tuotantostrategioita ja -järjestelmiä. Näitä ovat esimerkiksi tässä työssä esiteltävät lean-tuotanto ja sijaintipohjaiset tuotannonhallintamenetelmät, joista työn keskiössä on tahtituotanto. Seuraavassa kappaleessa esitellään lean-tuotantoa, sekä sen soveltamista rakentamisen osalta.

2.2 Lean-tuotanto

Japanin autoteollisuudesta peräisin oleva lean-filosofia, on asiakasarvon maksimointiin pyrkivä toimintastrategia (LCI Finland 2021). Lean-ajattelu perustuu Toyotan kehittämään tuotannon johtamismenetelmään ja filosofiaan, nimeltään Toyota Production System (TPS), Taiichi Ohno kehitti TPS:än Henry Fordin luoman liukuhihnamallin perusteella, Ohnon tuodessa esille virtaukseen perustuvan tuotannon hallinnan sekä asiakasarvon (Howell 1999). Lean-filosofia pyrkii tavoitteisiinsa jatkuvalla prosessien virtaustehokkuuden parantamisella, vähentämällä prosessissa esiintyvää materiaalien, ajan sekä toimintojen resurssien hukkaa (Koskela et al. 2002, LCI Finland 2021). Virtaustehokkuus mittaa tuotannon prosessien virtauksen tehokkuutta, vertaamalla tuottavan työn määrän osuutta tuotannon läpimenoaikaan (LCI Finland 2021). Lean pyrkii siis vähentämään kaikkia tuotannon käyttämiä resursseja (Howell 1999), mistä myös ”lean”, suomeksi laiha tai niukka, on saanut nimensä.

Lean-ajattelun esilletuonti rakentamisessa, niin kutsuttu lean-rakentaminen, alkoi 1990-luvun keskivaiheilla, International Group of Lean Construction (IGLC) sekä Lean Construction Institute (LCI) perustamisilla. Lean-rakentamisen perustana toimii tehdasteollisuuden tavoitin asiakasarvon maksimointi, jonka tavoitteena on vähentää tuotannossa esiintyvää hukkaa (Howell 1999). Lean-ajattelun soveltamisesta rakentamiseen on olemassa kaksi eriävää tulkintaa (Koskela et al. 2002), lean-tuotannon menetelmien soveltaminen tehdastuotannosta rakennustuotantoon, sekä lean-tuotannon näkeminen teoreettisena inspiraationa uuden teoriapohjaisen rakentamisen metodologian luomisessa, joka tunnetaan nimellä lean-rakentaminen. Myöhemmin mainittu tulkinta on ollut hallitsevassa asemassa IGLC yhteisön toiminnassa ja julkaisuissa (Koskela et al. 2002). Lean-rakentamisesta ei ole olemassa yleisesti hyväksyttyä määritelmää, ja määritelmän tarpeesta on myös olemassa eriäviä mielipiteitä (Mossman 2018). Mossmanin (2018) kyselytutkimus osoittaaakin lean-rakentamisen näkemyksen olevan luonteeltaan, laajuudeltaan ja merkitykseltään monimuotoinen. Baijou ja Chafi (2018) tunnistavat kirjallisuudesta löytyvien lean-rakentamisen toimintamallien pohjalta, yhdeksän lean-rakentamisen pääperiaatetta, jotka voidaan jakaa eteenpäin kolmeen ensisijaisen pylvääseen. Pylväät perustuvat lean-filosofian keskeiselle ajatukselle, hukan poistamiselle. Pylväät sekä niiden sisältämät pääperiaatteet ovat esitettyinä kuvassa 4 (Baijou ja Chafi 2018).

| Lean-rakentaminen | | | |
|---|--|--|--|
| Systeemien johtaminen | | Teknologian johtaminen | Kulttuuri ja käyttäytymine |
| <ul style="list-style-type: none"> • Asiakaslähtöisyys • Toimitukset • Suunnittelu ja aikataulutus | | <ul style="list-style-type: none"> • Läpinäkyvyys • Standardointi • Laatu | <ul style="list-style-type: none"> • Ihmisten osallistaminen • Jatkuva kehitys |
| Hukan poistaminen | | | |

Kuva 4. Lean-rakentamisen pääperiaatteet ja peruspilarit. (mukailtu Baijou ja Chafi 2018).

Virtaus voidaan siis nähdä olevan yksi lean-filosofian keskeisimmistä käsitteistä. Virtaus on yksi lean-filosofian viidestä periaatteesta (Womack ja Jones 2003), lean-filosofian keskiössä on virtaustehokkuuden jatkuva parantaminen (LCI Finland 2021), ja sen perustana toimii hukkan eliminointi virtauksen prosesseista. Virtaus, joka on yksi tämän työn pääteemoista, käsitellään syvemmin seuraavassa kappaleessa.

2.3 Virtaus

Tässä luvussa käsitellään ensimmäinen diplomityön pääteemoista, virtaus. Virtaus esitellään aluksi yleisesti tuotannon osalta, minkä jälkeen syvennyttään virtaukseen rakentamisessa. Virtauksen eri termejä kutsutaan kirjallisuudessa hieman eriävästi, ja selkeyden vuoksi tässä diplomityössä käytetään termejä työn virtaus sekä prosessien virtaus.

2.3.1 Virtaus tuotannossa

Virtaus on keskeisessä asemassa tuotantoa ja sen prosesseja, ja virtaukseen viitataan tuotannon lisäksi myös laajalti logistiikan sekä toimitusketjujen hallinnan osalta (Kalsaas ja Bolviken 2010, Lehtovaara et al. 2021). Tuotannon virtausnäkyminen on alkuja aikaisen teollisuustekniikan rakenteesta, ja aikainen virtausnäkyminen on toiminut pohjana muun muassa JOT-menettelyn (Juuri Oikeaan Tarpeeseen) sekä lean-tuotannon kehityksille (Koskela et al. 2002).

Virtaus on käsitteenä hyvin määritelty tehdasteollisuudessa, jossa virtaus voidaan nähdä joko tuotantoprosessien polkuna, jonka läpi tuote kulkee, tai tuotteen fyysisenä liikkeenä polkua pitkin (Sacks 2016). Virtauksen polku tunnetaan nimellä arvovirta, ja sen varrella suoritettavat toimet määritellään joko arvoa tuottaviksi tai arvoa tuottamattomiksi toimiksi (Rother et al. 2003). Lean-filosofiassa, optimaalinen virtauksen arvovirta sisältää mahdollisimman vähän hukkaa (Womack & Jones 2003). Shingo ja Dillon (1989) korostavat tehdasteollisuudessa esiintyvän kahden virtauksen, prosessien virtauksen sekä työn virtauksen eroja. Prosessien virtauksella tarkoitetaan tuotteen etenemistä tuotantolinjalla, ja työn virtauksella tarkoitetaan suoritettuja toimia yhdellä työpisteellä, tällä jaolla mahdollistetaan virtausten erillinen optimointi (Sacks 2016). Prosessien virtausta optimoidaan vähentämällä hukkaa sisältäviä vaiheita, kuten odottelua ja liikkumista, sekä minimoimalla työvaiheiden pystytysaikoja sekä uudelleentyöstöä, ja työn virtausta optimoidaan tasapainottamalla työmääriä sekä kehittämällä muun muassa työtapoja sekä työkaluja (Shingo ja Dillon 1989).

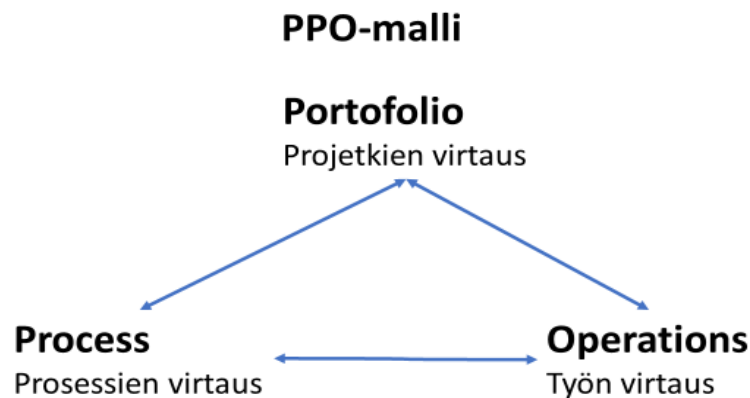
2.3.2 Virtaus rakennustuotannossa

Toisin kuin tehdasteollisuudessa, rakennusteollisuudessa ei ole ollut yhteistä ja selkeätä ymmärrystä virtauksesta, ja etenkin hyvän virtauksen määritelmästä ja sen sisällöstä ei ole ollut yhteistä linjaa (Sacks 2016). Lean-rakentamisen näkyminen virtauksesta alkoi Koskelan (2000) luomasta TFV-teoriasta, jossa virtaus perustuu Shingon ja Dillonin (1989) prosessien- ja työnvirtaus jakoon. IGLC:n julkaisuissa keskittyminen oli alussa työn virtauksessa, ja täten, Bertelsen et al. (2006) tekivät tutkimusehdotuksen rakentamisen virtausmallista, virtauksen syvemmän ymmärryksen luomiseksi. Bertelsen et al. (2007) nimeävät rakentamisen prosessien syvemmän ymmärtämisen virtauksen osalta, rakentamisen fysiikaksi, ”Construction Physics”. Kehityksen motivaationa toimi Hoppin ja Spearmanin (1996) luoma ”Factory Physics”, joka yhdistää virtauksen, vaihtelun ja jonoteorian aloja, sekä matemaattisia malleja

virtauksen ymmärtämiseksi. Bertelsen et al. (2007) tarkoituksena oli luoda samanlainen malli projektituotannolle, katsoen koko rakentamisen prosessia, monen virtauksen syöttämänä. Sijaintipohjaisten menetelmien näkökulmasta, prosessien virtauksessa on kyseessä sijaintien virtauksesta. Vaikka sijainti pysyy paikallaan, on sijaintien vaihtelu työntekijälle pääasiallinen tuotannossa esiintyvä virtaus (Kenley ja Seppänen 2009). Rakentamista on yleisesti pidetty projektiluontoisena ainutlaatuisena tuotantomenetelmänä, jossa on sekalainen virtaus ja prosessisegmentit on löyhästi yhdistetty (Seppänen 2009). Sacks (2016) pitää tätä näkemää kuitenkin kapeana, sillä prosessinäkymän osalta rakennusprojekti koostuu monesta tilasta, joiden yhtenäisyys vaihtelee. Työnäkemyksen osalta, aliurakoitsija tuottaa suuren volyymin samankaltaisia tuotteita useiden hankkeiden osalta (Sacks 2016).

Vaikeus luoda yhteinen ja selkeä käsite rakentamisen virtauksen osalta, johtuu osittain tehdasteollisuuden ja rakentamisen välisestä perusteellisesta erosta virtauksien osalta (Sacks 2016). Tehdasteollisuudessa valmistettava tuote etenee liukuhihnaa pitkin työpisteeltä toiselle, jossa työntekijät odottavat tuotetta, kun taas rakentamisessa tuote (lähtökohtaisesti rakennus) pysyy paikoillaan, ja työntekijät sekä työtehtävät liikkuvat tuotteen sisällä (Sacks 2016, Lehtovaara et al. 2021). Yksittäinen sijainti, kuten esimerkiksi asunto tai kylpyhuone, toimii täten rakentamisessa työpisteenä sekä tuotteena, minkä vuoksi sijaintien hallinta on keskeisessä osassa rakennusvirtauksen mahdollistamisessa (Kenley ja Seppänen 2010). Sacks (2016) näkee kolmen tehdastuotantoa sekä rakentamisen työmaatuotantoa erottavan tekijän olevan merkityksellisimmät virtauksen osalta. Virtauksien perusteellisen eroavaisuuden lisäksi, työskentely väliaikaisilla työmailla sekä aliurakointi vaikuttavat merkittävästi alojen virtauksien eroihin (Sacks 2016). Aliurakoinnin myötä keskittyminen on perinteisesti ollut työn ohjaamisessa, ohjaamisen keskittyessä sopimuksiin, ja tuotannossa esiintyvien epävarmuuksien ja ristiriitojen takia urakoitsijat saattavat esimerkiksi olla panostamatta täysissä resursseja, mikä muun muassa heikentää prosessien virtausta ja tuottaa hukkaa (Bertelsen et al. 2007, Sacks 2016).

Tuotannon virtaukset voidaan määrittää rakennustuotannon osalta niin, että työn virtauksella tarkoitetaan työvaiheiden ja urakoitsijoiden etenemistä sijainnilta toiselle, kun prosessien virtauksella tarkoitetaan eri työvaiheiden ja urakoitsijoiden virtausta yhden sijainnin osalta (Sacks 2016). Sacksin (2016) kehittämässä rakentamisen virtauksien mallissa, PPO:ssa (Portfolio, Process and Operations), on kolme toiseensa liittyvää akselia: portfolion, prosessien sekä työn akselit, katso kuva 5. Näiden kolmen akselin näkökohdat eriävät monessa asiassa, muun muassa liittyen tuotantoon, ohjaamiseen ja hukkaan. Portfolion lisäys perinteiselle kahden akselin virtausmallille tuo esille sen, että suunnittelu ja rakentaminen toteutuvat samanaikaisesti usean projektin osalta, ja että monet rakennusprojektit ovat riippuvaisia samoista urakoitsijoista ja resursseista, jotka virtaavat usean projektin välillä (Sacks 2016). Tuotannon ohjaamisen keskittyessä sopimusten hallintaan, on prosessien virtaus rakentamisessa perinteisesti laiminlyöty, ja Sacks (2016) näkeekin, että prosessien virtauksen kehityksellä on suurin potentiaali, tämä edistäisi samalla myös muita virtauksia, virtauksien syklisen kytköksen myötä.



Kuva 5. PPO-malli, mukailtu Sacks (2016).

Jotta tuotannossa esiintyvät virtaukset toimisivat optimaalisesti, tulee usean ennakkoodellytyksen sekä ihanteellisen olosuhteen täytyä. Koskela (2000) esittää, että jotta työvaihe toimisi järkevästi, tulisi seitsemän eri virtauksen ennakkoodellytyksen täytyä. Taulukossa 1 listataan, PPO-mallin mukaan, 14 Sacksin (2016) esittämää lean-filosofiaan perustuvaa rakentamisen ihanteellista olosuhdetta, taulukossa esitellään myös Sacks et al. (2017) esittämät yhdeksän ehtoa, jotka perustuvat Sacksin (2016) ehtoihin. Vaikka olosuhteet ovat ihanteellisia, ja täten myös lähtökohtaisesti kokonaisuudessaan saavuttamattomissa yksittäisten projektien osalta, tulisi näihin pyrkiä mahdollisimman laajalti ja hyvin (Sacks 2016). Hyvän kokonaisvirtauksen kannalta on olennaista, että kaikkien akseleiden virtaukset ovat hyvällä tasolla (Sacks 2016). Samanaikaisen hyvän virtauksen saavuttaminen työn ja prosessien osalta on hankalaa, tuotannon vaihtelun ja epästabiilien hankintaketjujen lisäksi, myös eriävien intressien takia (Sacks 2016). Sacks et al. (2017) toteaaakin, että poislukien toistuvimpia hankkeita, on epätodennäköistä, että tuotannossa on samaan aikaan korkea virtaus sekä optimaalinen tuottavuus kaikilla työvaiheilla, johtuen tuotannossa esiintyvistä vaihteluista.

Tuotannossa esiintyvä vaihtelu, eli tuotantoprosessien toteutumien poikkeama suunnitelluista tavoitemääristä, on siis olennainen vaikuttaja rakentamisen virtauksiin (Hopp ja Spearman 2011). Vaihtelun vähentäminen on merkittävässä asemassa virtauksen optimoinnissa (Lehtovaara et al. 2021), sillä ylimääräinen vaihtelu luo tuotantoon virtausta heikentävää epätasaisuutta ja epävarmuutta (Hopp ja Spearman 2011). Vaihtelua voidaan todeta olevan kahta eri tyyppiä: tuotannon virtauksen vaihtelua, sekä työtehtävien prosessiajan vaihtelua (Hopp ja Spearman 2011). Vaihtelun määrää voidaan vähentää, muun muassa, vähentämällä paluuvirtausta sekä työvaiheiden uudelleentyöstöä, sekä vähentämällä prosessien sisäistä hukkaa, vaihtelua ei kuitenkaan voida kokonaan poistaa, sillä vaihtelu on aina läsnä tuotannon prosesseissa (Lehtovaara et al. 2021). Brodetskaia ja Sacks (2007) tutkimuksessa huomattiin, että vaihtelua esiintyi, vaikka kaikki ennakkoodellytykset olivat kunnossa, johtuen työn määrän sekä tehtävien vaikeuden vaihtelusta eri sijaintien välillä. Tämä alleviivaa vaihtelun läsnäoloa tuotannon prosesseissa. Korkea vaihtelu tuotantomäärissä on yleistä rakentamisessa (Brodetskaia ja Sacks 2007), ja rakentamisen erityispiirteiden myötä, rakentamiseen liittyy merkittävä määrä vaihtelua (Lehtovaara et al. 2021).

Taulukko 1. Sacks (2016) sekä Sacks et al. (2017) optimaalisen virtauksen ehdot (mukailtu).

| Sacks (2016) Optimaalisen virtauksen olosuhteet. | Sacks et al. (2017) Optimaalisen virtauksen olosuhteet. |
|--|--|
| Portfolio: 1.1) Projektien jaksoajat on minimoitu. | 1) Lähes identtiset tahtiajat jokaiselle työryhmälle. |
| 1.2) Keskeneräisen työn inventaario on yhtiössä minimoitu. | 2) Stabiili työtahti jokaiselle työryhmälle (pieni vaihtelu). |
| 1.3) Työnjohdon johtamien projektien määrä on yksi. | 3) Pienet eräkoot. |
| 1.4) Projektit siirtyvät kehityksestä tuotantoon mahdollisimman myöhään. | 4) Minimoitu odottelu/aikapuskuri työvaiheiden välillä. |
| Prosessit: 2.1) Tuotannon tasapaino: läpimenoajan ero sijaintien välillä tulee kaikkien työryhmien osalta olla nolla. | 5) Minimoitu hukan määrä työvaiheissa. |
| 2.2) Erä koko: työntekijän tai työryhmän varaamien alueiden määrä on yksi. | 6) Tyydyttävä työnlaatu, jotta vältetään uudelleen-työstön viivästyksiltä. |
| 2.3) Aikapuskureiden määrä tehtävien välillä nolla. | 7) Operaatioiden määrän minimointi. |
| 2.4) Operaatioiden määrä minimoitu. | 8) JOT-toimitukset esivalmistetuille osille. |
| 2.5) Ei paluuvirtausta. | 9) JOT-toimitukset materiaaleille. |
| 2.6) Ei uudelleentyöstöä | |
| 2.7) Virtaus on luotettava: vain ennakoedellytykset täyttävät tehtävät suoritetaan. | |
| 2.8) Keskeneräisten alueiden määrä on yhtä kuin työryhmien määrä. | |
| Työ: 3.1) Tasaiset tuotantonopeudet: variaatio on nolla. | |
| 3.2) Tehtävään käytettävä aika minimoitu. | |

Tuotannossa esiintyvän vaihtelun hallitsemiseksi, tuotannon suunnittelussa ja toteutuksessa hyödynnetään puskureita, jotka toimivat tuotantoon sisäänrakennettuna joustona. Rakentamisen suunnittelussa voidaan käyttää neljää erilaista puskuria: aika-, kapasiteetti-, tila- sekä suunnittelupuskureita (Frandsen et al. 2015). Kapasiteettipuskurissa työtehtävä alikuormitetaan, jotta voidaan mahdollistaa työtehtävien reagointi tuotannossa syntyvään vaihteluun. Aikapuskureiden avulla lisätään työtehtävien välisiä aloitus- ja lopetusaikoja, jotta voidaan reagoida vaihteluun ilman että työtehtävät risteävät. Tilapuskuri toimii aikapuskurin tavoin, tehtävien välille lisätään tyhjä tila vaihtelulta suojautumiseen. Suunnittelupuskurissa käytetään hyväksi aikataulun ulkopuolelle jätettyjä työtehtäviä, joita voidaan työstää vapaa-aikana. Puskureiden käyttö on kuitenkin paradoksaalista, sillä puskurit suojelevat tuotantoa ja sen virtausta tuotannossa esiintyvältä vaihtelulta, vaikka ne itsessään heikentävät virtausta ja tuottavuutta lisäämällä tuotannon hukkaa, esimerkiksi tyhjän tilan ja odottelun muodossa (Lehtovaara et al. 2021). Puskureiden käyttöön tulisi siis huomioida varovaisuutta, rakentamisessa puskureiden käyttö on usein liiallista, ja niiden käytön välttämättömyyttä ei analysoida tai kyseenalaisteta (Lehtovaara et al. 2021).

Tarkastellaan seuraavaksi hiukan vaihteluun ja täten myös virtaukseen vaikuttavaa paluuvirtausta sekä siihen liittyvää työvaiheiden uudelleentyöstöä, joiden poistaminen tuotannosta kuuluu myös Sacksin (2016) esittämiin optimaalisiin prosessien virtauksen ehtoihin. Paluuvirtaus, (”re-entrant flow”) eli työntekijän tai työvaiheen palaaminen aikaisemmin prosoidulle mestalle, vaikuttaa virtauksen ja tuottavuuden tasapainoon, heikentäen työn sekä prosessien virtausta (Sacks 2016). Paluuvirtaus on yleistä rakentamisessa (Brodetskaia ja Sacks 2007, Sacks et al. 2017), ja sitä voidaan pitää pikemmin sääntönä kuin poikkeuksena (Sacks 2016). Paluuvirtausta esiintyy suunniteltuna sekä suunnittelemattomana. Suunniteltua paluuvirtausta esiintyy, kun työntekijä tai urakoitsija palaa mestalle suorittamaan uusia työvaiheita tuotannon eri vaiheissa, ja esimerkiksi LVIS- sekä väliseinäurakoitsijoiden osalta suunniteltua paluuvirtausta voidaan pitää luontaisena osana rakentamista, (Brodetskaia et al. 2013). Suunnittelematonta paluuvirtausta esiintyy, kun mestalle joudutaan palaamaan suorittamaan kesken jäänyt työvaihe, johtuen esimerkiksi aikaisemman toteutuksen edellytyksien puutteesta, tai kun mestalle palataan korjaamaan puutteellinen työsuorite tai vaurioitunut tuote, tällöin on kyse työvaiheen uudelleentyöstöstä (”rework”). Paluuvirtaus ja työvaiheiden uudelleentyöstö luovat tuotannon virtauksiin hukkaa, joka näkyy muun muassa työntekijöiden turhana liikkeenä ja työn keskeytymisellä.

Työntekijöiden turha liikkuminen sekä Zhao et al. (2019) esittämä keskeytymättömän työn määrä voidaan nähdä toimivina mittareina, joilla voidaan arvioida virtauksen laatua. Optimaalisessa prosessien virtauksessa tuotannon operaatioiden määrä on minimoitu (Sacks 2016), eli tuotannossa ei tulisi esiintyä turhaa liikkumista, esimerkiksi materiaalien ja välineiden haun takia, turha liike keskeyttää samalla työnteon ja vähentää keskeytymättömän työn määrää. Zhao et al. (2019) toteavat, että läsnäolo mestalla on välttämätön, mutta samalla riittämätön edellytys arvoa tuottavan työn laskemiseksi. Keskeytymättömän läsnäolon perusteella voidaan kuitenkin todeta, kuinka hyvät edellytykset virtauksella on kohteessa, mitä vähemmän työnteko mestalla keskeytyy, sitä parempi virtaus on tuotannossa. Zhao et al. (2019) esittävät, että kymmenen minuutin läsnäoloa mestalla tulisi käyttää arvona, joka mahdollistaa arvoa tuottavan työn. Tutkimuksessa käytettiin myös viiden minuutin raja-arvoa (29–42 %), jonka tulokset eivät paljoa eronneet kymmenen minuutin arvoista (25–36 %). Täten voidaan olettaa, että myös viiden minuutin läsnäoloa voitaisiin käyttää arvona, joka mahdollistaa arvoa tuottavan työn. Ruohomäki (2019) käytti diplomityössään tuottavalle työlle viiden minuutin raja-arvoa, sillä tutkimuksessa huomattiin, että myös alle kymmenen minuutin käynneillä tehtiin arvoa tuottavaa työtä.

Yhteenvedona voidaan todeta, että virtaus on keskeinen osa rakennustuotantoa sekä tuotannon virtauksen tasolla on merkittävä vaikutus tuottavuuteen. Rakentamisen virtauksen määrittely on rakentamisen ominaisuuksien ja erityispiirteiden myötä ollut hankalaa, mutta esimerkiksi Sacksin (2016) luomaa PPO-mallia voidaan hyödyntää virtauksen ymmärtämiseen, ja optimaalisen virtauksen tavoitteluun. Rakentamisessa esiintyy muun muassa paljon vaihtelua sekä paluuvirtausta, jotka vaikuttavat merkittävästi tuotannon virtaukseen sekä ovat luonnollisia osia rakennustuotantoa. Virtauksen vahvemman esilletuonnin vuoksi, rakentamisessa on alettu hyödyntämään sijaintipohjaisia tuotannonhallintamenetelmiä. Seuraavassa luvussa esitellään lyhyesti sijaintipohjaiset tuotannonhallintamenetelmät, minkä jälkeisessä luvussa syvennytetään niistä yhteen tämän työn kannalta keskeisimpään, tahtituotantoon.

2.4 Sijaintipohjaiset tuotannonhallintamenetelmät

Rakennusosalalla on perinteisesti käytetty toimintaan ja muodonmuutosnäkömään perustuvia tuotannonhallintamenetelmiä, joista yleisimpänä on käytetty kriittisen polun menetelmää (Critical Path Method, CPM) (Koskela et al. 2002, Seppänen et al. 2014). Perinteiset tuotannonhallintamenetelmät epäonnistuvat huomiomaan ja edistämään tuotannossa esiintyvää virtausta, ja tuotannon virtauksen tehostamiseksi, perinteisiä rakentamisen tuotantojärjestelmiä on alettu korvaamaan virtausajattelua edistävillä sijaintipohjaisilla tuotannonhallintamenetelmillä (Lehtovaara et al. 2021). Yksittäinen sijainti on keskeisessä osassa rakennusvirtauksen mahdollistamisessa (Kenley ja Seppänen 2010), ja vaikka sijainti pysyy paikallaan, on sijaintien vaihtelu työntekijälle pääasiallinen tuotannossa esiintyvä virtaus (Kenley ja Seppänen 2009). Sijaintipohjaiset menetelmät siis hyödyntävät rakentamiselle keskeisen resurssin, sijainnin (asunnot, alueet ja tilat), tuotannon suunnittelussa sekä ohjaamisessa. Sijainnit ja niiden hallinta ovat usein unohdettuja, vaikka ne ovat alati läsnä rakennustuotannossa (Frandsen et al. 2015).

Sijaintipohjaisilla menetelmillä on pitkä historia rakennusosalalla (Frandsen et al. 2015). Ensimmäisiin sijaintipohjaisiin menetelmiin kuuluvat Line of Balance (LOB) sekä virtausviivojen menetelmä (Flowlines), uudempiin 2010-luvulla esille nousseihin menetelmiin kuuluvat Location Based Management System (LBMS) (Kenley ja Seppänen 2010) sekä tahtituotannon menetelmät (esim. Frandsen et al. 2013, Binninger et al. 2017). LOB-menetelmä luotiin teollista ohjelmointia varten, josta se sovellettiin rakennusosalalle, LOB vaatii toimiakseen täsmälleen toistuvia työvaiheita, kuten modulaarista rakentamista (Seppänen et al. 2014, Frandsen et al. 2015). Virtausviivojen menetelmä ei LOB:n tavoin vaadi täsmällistä toistuvuutta, menetelmä vaatii kuitenkin täsmällisempää suunnittelua ja sisäistää sijainnit paremmin kuin LOB (Seppänen et al. 2014, Frandsen et al. 2015). Virtausviivojen menetelmän heikkoutena on, että se ei käytä joustavaa sijaintijakoa (Seppänen et al. 2014).

Kenleyn ja Seppäsen (2010) luoma LBMS, on uuden sukupolven sijaintipohjainen tuotannonhallintamenetelmä (Seppänen et al. 2014), joka on kehitetty aiempien tuotantohallintamenetelmien pohjalta. LBMS-menetelmän merkittävin panos on joustavan sijaintijakorakenteen käyttö, joka yhdistää CPM-menetelmän algoritmeja ja sijaintipohjaisia menetelmiä, käyttäen avuksi kerrostettua logiikkaa (Kenley ja Seppänen 2010). LBMS sisältää sekä sijaintipohjaisen tuotannosuunnittelun, että sijaintipohjaisen tuotannonohjauksen (Seppänen et al. 2014). LBMS pohjautuu joustavaan sijaintijakoon, jossa rakennus jaetaan tiloihin, kuten lohkoihin, kerroksiin sekä asuntoihin. Tuotantotehtävät sijoitetaan sijaintijaon tiloihin, ja niille määritetään muun muassa tuotantomäärät, tuotantonopeus, läpimenoaika sekä etenemisjärjestys (Kenley ja Seppänen 2010).

Yksi sijaintipohjainen tuotannonhallintamenetelmä, joka on viime vuosien aikana ollut tutkijoiden ja rakennusalan yritysten mielenkiinnon kohteena, on lean-filosofiasta peräisin oleva tahtituotanto. Tämän työn kannalta keskeiset aiheet, tahtituotanto ja virtaus tahtituotannossa, käsitellään syvemmin seuraavassa luvussa.

2.5 Tahtituotanto

Tässä luvussa esitellään diplomityön toinen pääteema, tahtituotanto. Luvussa esitellään aluksi tahtituotannon taustaa sekä menetelmän pääpiirteitä ja toteutusta, minkä jälkeen esitellään tapaustutkimuksilla saatuja tuloksia tahtituotannosta. Lopuksi syvennytään yhteen tämän työn kannalta keskeisimpään teemaan, virtaukseen tahtituotannossa.

2.5.1 Tahtituotannon tausta

Tahtituotannon keskeinen termi ”takt”, tarkoittaa rytmiiä tai tahtia, minkä säännöllisyyden mukaan asioita tapahtuu, ja tahtiaika (”takt-time”) on kahden tahdin välinen aika, jonka sisällä tuote tulisi valmistaa, jotta tuotteen valmistus vastaisi tuotteen kysyntää (Frandsen et al. 2013, Haghsheno et al. 2016). Rakentamisessa tahdilla tarkoitetaan työvaiheiden ja tehtävien jakoa niin, että ne virtaavat ja valmistuvat tuotannossa tasaiseen tahtiin. (Frandsen et al. 2013)

Tahtituotanto on sijaintipohjainen tuotannonhallintamenetelmä sekä yksi lean-filosofian työkaluista, joka on viime vuosina ollut mielenkiinnon kohteena rakennusosalalla. Rakennusteollisuudessa tahdin käytöstä on näytteitä 1800- ja 1900-luvulta (Haghsheno et al. 2016), ja Saksassa tahtituotannon perusteita on käytetty rakennusteollisuudessa 1970-luvulta lähtien (Binninger et al. 2017). Tahtituotannon rooli rakennusteollisuudessa on kasvanut huomattavasti 2010-luvulla, ja tahtituotantoon liittyviä tutkimuksia sekä tahtituotantoon liittyviä prosesseja on julkaistu runsain määrin viimeisen kymmenen vuoden aikana. Suomessa tahtituotanto suosio on viimeisten vuosien aikana ollut kasvavan mielenkiinnon kohteena, niin tutkimuksen kuin myös rakennusalan yritysten osalta, ja viimeisen viiden vuoden aikana tahtituotantoa on hyödynnetty kymmenissä rakennusprojekteissa (Lehtovaara et al. 2020).

2.5.2 Tahtisuunnittelu ja -ohjaus

Muiden sijaintipohjaisten tuotannonhallintamenetelmien tapaan, tahtituotanto sisäistää sijaintien hallinnan sekä edistää tuotannon virtausajattelua, pyrkien mahdollistamaan virtaus-
tehokkaan tuotannon. Tahtisuunnittelu on työnsuunnittelumenetelmä, joka sovittaa työvaiheiden tuotantomääriä työjonossa määrättyjen sijaintien läpi, luoden jatkuvaa virtausta, luotettavia työvaiheiden luovutuksia sekä mahdollistaen jatkuvan tuotannon kehityksen (Frandsen 2019). Tasapainottamalla työvaiheiden työmääriä, voidaan mahdollistaa tahtituotannon hyödyntäminen myös niissä hankkeissa, joissa ei ole selvää toistuvuutta (Frandsen 2019).

Tahtisuunnittelu on monivaiheinen prosessi, jonka tarkoituksena on luoda tuotannolle tahtiaikataulu, joka hyödyntää tuotannon tasaista tahtia ja jatkuvaa virtausta. Kirjallisuuden perusteella voidaan todeta, että rakennusosalalla on pääsääntöisesti ollut käytössä kaksi tahtisuunnittelun menetelmää, Yhdysvalloissa kehitetty Takt Time Planning, TTP, (esim. Frandsen et al. 2013) sekä Saksassa kehitetty Takt Planning and Takt Control, TPTC (esim. Binninger et al. 2017). Vertailtaessa tahtisuunnittelun malleja, voidaan todeta suunnittelurungon pohjautuvan samoihin tahtisuunnittelun piirteisiin, malleissa on kuitenkin myös huomattavia eroja. Molempien mallien tahtisuunnittelu alkaa datan keräyksellä sekä alustavalla suunnittelulla, tämän jälkeen alkaa yksityiskohtaisempi tahtituotannon suunnittelu, jossa määritellään muun muassa tarkemmat työpaketit sekä työvaiheet, eräkoot sekä puskurit (Lehtovaara et al. 2021). Malleissa tunnistetaan ja eritellään tahtia varten sopivat työmäärät, alueet ja työtehtävät, sekä määritellään työvaiheiden ja työpakettien työjono (tahtivaunu ja tahtijuna)

sekä jonon etenemisnopeus, tahti. Menetelmien suurimmat eroavaisuudet voidaan havaita menetelmien tavassa luoda tahtialueet sekä kuinka yhteistyö on sisäistetty menetelmiin (Lehtovaara et al. 2021). TTP-mallissa tahtialue luodaan määrittelemällä työvaiheille tasaiset työmäärät, ja yhteistyö urakoitsijoiden kanssa on tärkeässä osassa tahdin luontia (Tommelein 2017). TPTC-mallissa tahtialue luodaan määrittelemällä pienin mahdollinen toistuva sijainti (esimerkiksi asunto tai huone). Menetelmässä yhteistyö ei ole yhtä suuressa roolissa, sillä tahdin luonti perustuu asiakkaan vaatimukseen (Binneringer et al. 2017).

Tahtituotannon suunnittelussa suositaan kapasiteettipuskureiden käyttöä, mikä erottaa menetelmän LBMS-menetelmästä, jossa suositaan aikapuskureiden käyttöä (Frandsen et al. 2015). Molemmissa menetelmissä käytetään lisäksi tila- sekä suunnittelupuskureita (Frandsen et al. 2015). Tahtituotanto suosii kapasiteettipuskureita kasvattaakseen kokonaisvaltaisesti virtausta ja ylläpitääkseen tasaista tahtia, kun LBMS tähtää aikapuskureiden avulla jatkuvaan resurssien hyödyntämiseen (Frandsen 2019). Tahtituotanto eroaa myös muista sijaintipohjaisista menetelmistä, kun katsotaan käsitteitä ”työntekijä odottaa työtä”, sekä ”työ odottaa työntekijää” (Linnik et al. 2013). Tahtituotanto priorisoi näistä jälkimmäistä, sen tavoitellessa prosessien kannalta optimaalista virtausta.

Suunnitellun tahtiaikataulun ja tahtituotannon onnistumisen kannalta, on tahtiohjaus tärkeässä asemassa. Onnistunut tahtituotanto vaatii, että työvaiheet pysyvät tahdissa, ja tämä vaatii aktiivista tahtiohjausta (Frandsen et al. 2015). Optimaalinen tahtiohjaus perustuu lyhytsykliseen ja aktiiviseen päivittäisjohtamiseen, jossa ennakoedellytyksiä työvaiheiden ja tuotannon etenemiselle tarkkaillaan ja varmistetaan (Hagsheno et al. 2016, Lehtovaara et al. 2021). Tahtituotannon päivittäisjohtaminen sisältää muun muassa päivittäisiä tapaamisia ja kokouksia urakoitsijoiden kanssa (Hagsheno et al. 2016), sekä aktiivisen visuaalisen tiedottamisen tuotannon tilannekuvasta sekä suunnittelemista (Frandsen et al. 2015). Tahdin myötä tuotannossa esiintyvät poikkeamat tulevat aikaisin esille, sillä yhden työvaiheen poikkeama vaikuttaa seuraavaan työvaiheeseen (Hagsheno et al. 2016). Täten, tahtituotanto mahdollistaa aikaisemman reagoinnin ja ohjauksen tuotannossa esiintyvillä poikkeamilla. Tahtisuunnitelman onkin tarkoitus olla jatkuvasti kehittyvä toteutus suunnitelma (Hagsheno et al. 2016), jonka poikkeamiin voidaan reagoida tahtiohjauksessa hyödynnettävillä ohjaustoimenpiteillä. Binneringer et al. (2017) esittävät, että tahtituotanto sisältää kymmeniä mahdollisia ohjaustoimenpiteitä, joista viisi yleisintä ovat: tahtialueen irtikytkentä, vaunupuskuri, työvaiheiden yhdistäminen, pehmeä aloitus sekä junan pysäytys.

2.5.3 Tahtituotannon tapaustutkimuksien tuloksia

Tahtituotannon käyttö rakentamisessa on yleistynyt 2010-luvulla, ja viimeisten vuosien aikana on tehty useita tahtituotantoon liittyviä tapaustutkimuksia. Taulukossa 2 esitellään muutamia tapaustutkimuksia, sekä kyseisten tutkimusten keskeisiä tuloksia. Rakennusalan yritysten ensisijaisena syynä tahtituotannon käytölle on useimmiten ollut tuotannon läpimenoaikojen lyhentäminen (Lehtovaara et al. 2021), ja kirjallisuuden perusteella voidaankin todeta, että tahtituotannon avulla on onnistuttu, jopa radikaalisti, lyhentämään läpimenoaikoja, minkä lisäksi on esimerkiksi saavutettu parempaa tuotannon läpinäkyvyyttä sekä tilannekuvaa.

Taulukko 2. Tahtituotannon tapaustutkimuksien tuloksia

| Tapaustutkimus | Tutkimuksen tulokset |
|---|---|
| 7-kerroksisen asuinrakennuksen sisävaihe Suomessa (Lehtovaara et al. 2019). | 30 % läpimenoajan lyhennys ja lisääntynyt läpinäkyvyys. |
| Viiden puukerrostalon ja lastentarhan projekti Norjassa (Vatne ja Drevland 2016). | Tuntikohtainen palkannousu noin 18 %, sekä läpinäkyvyyden lisääntyminen. |
| Risteilyalusten hyttien kunnostus (Heinonen ja Seppänen 2016). | Muun muassa tuottavuuden kasvu 380 % ja läpimenoajan lyheneminen 73 %. |
| Terveystieteiden laitoksen julkisivu Kaliforniassa (Frandsen et al. 2013). | Läpimenoajan lyheneminen 11 kuukaudesta viiteen, sekä läpinäkyvyyden lisääntyminen. |
| Autotehdas Brasiliassa (Dlouhy et al. 2016). | Läpimenoajan lyheneminen viidellä kuukaudella, sekä parantunut visuaalisuus. |
| Liiketilän sisävaihe Saksassa (Binninger et al. 2018). | Läpimenoajan lyheneminen 70 %. |

Tuotannon läpimenoaikoja on onnistuttu lyhentämään laajalla skaalalla projekteissa, joissa on käytetty erilaisia versioita tahtituotannosta. Lehtovaara et al. (2019) tutkivat tahtituotannon toteutusta asuinrakennuskohteen sisävaiheen osalta. Yhden päivän ja yhden asunnon tahdilla onnistuttiin lyhentämään alkuperäinen 18 viikoksi suunniteltu sisävaiheen aikataulu kahdella kuukaudella (30 %) (Lehtovaara et al. 2019). Binninger et al. (2018) tutkimuksessa ei ollut havaittavissa selkeää toistuvuutta, ja käyttämällä yhden tunnin tahtia, läpimenoaikaa onnistuttiin lyhentämään 70 %. Heinonen ja Seppänen (2016) tutkivat tahtituotannon toteutusta risteilyalusten hyttien kunnostamisen alalla, jossa tuotantoa onnistuttiin kehittämään radikaalisti tahdin avulla. 15 minuutin tahdilla onnistuttiin lyhentämään muun muassa projektin läpimenoaikaa 73 %, minkä lisäksi tuottavuus kasvoi 380 % (Heinonen ja Seppänen 2016). Vaikka alojen välillä on yhtäläisyyksien lisäksi huomattavia eroja, on tämä osoitus tahtituotannon mahdollisuuksista rakentamisen osalta (Heinonen ja Seppänen 2016). Frandsen et al. (2013) tutkivat tahtituotannon toteutusta terveydenhoitolaitoksen julkisivutöiden osalta Kaliforniassa, ja kohteessa toteutetun tahtituotannon avulla saatiin julkisivutöiden läpimenoaika lyhennettyä 11 kuukaudesta viiteen kuukauteen. Dlouhy et al. (2016) kehittivät kolmitasoisien menetelmän tahtisuunnittelulle ja tuotannolle, jonka käyttö sovellettiin autotehdashankkeessa. Dlouhy et al. (2016) tutkimuksen projekti toteutettiin viiden päivän tahdilla, ja tahtituotanto oli yksi osasy sille, että projektin läpimenoaika onnistuttiin lyhentämään viidellä kuukaudella.

Läpimenoajan lyhenemisen lisäksi, useassa projektissa tahtituotanto edisti selvästi tuotannon läpinäkyvyyttä sekä tuotannon tilannekuvaa. Frandsen et al. (2013) toteavat, että tahtituotanto luo selkeän päivittäisen tavoitteen, ja että tahtituotannon avulla ylösnoussut ongelmat täytyy hoitaa välittömästi. Lehtovaara et al. (2019) tutkimuksessa huomattiin, että tahtituotanto lisäsi läpinäkyvyyttä ja ongelmien havaitseminen sekä proaktiivisuus helpottivat. Dlouhy et al. (2016) havaitsivat tahtituotannon parantaneen rakennusprosessin visuaalisuutta. Vatne ja Drevland (2016) toteavat että tahdin avulla oli helppo huomata ongelmia, ja tahdin avulla ongelmat päästiin hoitamaan nopeasti, myös odottamisesta johtunut hukka oli selvästi vähentynyt, mikä oli lisännyt tuottavaa työtä, nostaten työntekijöiden tuntikohtaisia palkkoja noin 18 % edeltäviin projekteihin verrattuna.

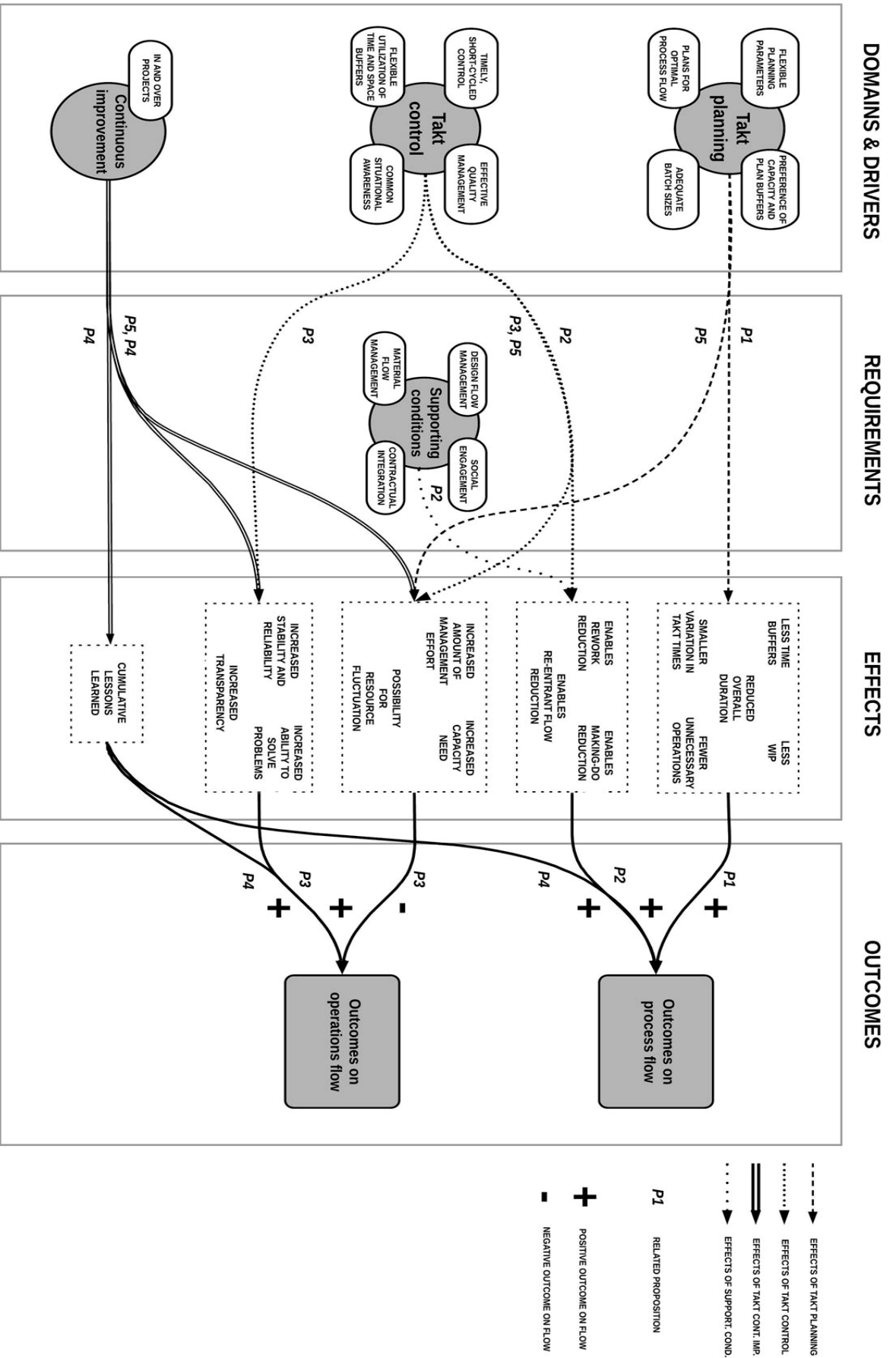
Tahtituotantoa on siis käytetty rakennusosalalla ensisijaisesti lyhentämään projektien läpimenoaikoja, ja tutkimuksien perusteella tahtituotanto näyttää soveltuvan tähän tarkoitukseen hyvin (Lehtovaara et al. 2021). Vaikka tahtituotanto onnistuukin lyhentämään läpimenoaikoja, on menetelmän lähtökohtaisena tavoitteena luoda nopeaa ja tasaista virtaavaa tuotantoa, joka vastaa asiakkaan vaatimukseen (Lehtovaara et al. 2021). Tästä päästäänkin tämän tutkimuksen ja tavoitteen täyttymisen kannalta keskeisimpään aiheeseen, virtaukseen tahtituotannossa.

2.5.4 Virtaus tahtituotannossa

Virtauksen tutkiminen tahtituotannossa on rakentamisen osalta kohtalaisen uusi tutkimusalue, ja Binninger et al. (2019) mukaan, aiheeseen keskittyviä tutkimuksia ei löydy kirjallisuudesta ennen vuotta 2019. Tahtituotannon tavoitteena on havainnoida ja tasapainottaa tuotannossa toistuvat prosessit (Dlouhy et al. 2016), ja luoda sekä ylläpitää tuotannon tasainen ja jatkuva virtaus, pyrkien mahdollistamaan rakentamisen tehokkaan toteuttamisen (Binninger et al. 2019, Frandson 2019). Tasaisen tuotannon virtauksen luomiseksi, tahtituotanto keskittyy optimoimaan prosessien virtausta, suosien kapasiteettipuskureita (Frandson et al. 2015), ja minimoiden työntekijöitä odottavaa työtä (Linnik et al. 2013). Samalla on esitetty, että mahdollistaessaan paremman prosessien virtauksen, tahtituotanto saattaa kuitenkin samalla heikentää työn virtausta, haitaten työntekijöiden tehokkuutta (Kujansuu et al. 2020). Toisaalta tutkimukset osoittavat tahtituotannon lisäävän läpinäkyvyyttä sekä työntekijöiden tehokkuutta (Kujansuu et al. 2020).

Tarkastellaan seuraavaksi virtausta tahtituotannossa Lehtovaara et al. (2021) luoman teoreettisen mallin myötä, joka on esitetty kuvassa 6. Lehtovaara et al. (2021) luoma teoreettinen malli esittää, että tahtituotanto tavoittelee asiakkaan vaatimukset täyttävää tasaisesti ja nopeasti virtaavaa tuotantoa, malli jakaa tahtituotannon kolmeen osaan; tahtisuunnitteluun, tuotantoon ja jatkuvaan kehitykseen. Mallin mukaan, tahtituotanto vaikuttaa positiivisesti prosessien virtaukseen, mutta ristiriitaisesti työn virtauksen osalta. Korkean kypsyysasteen kohteissa tahtituotanto lisää tuottavuutta sekä kokonaisvirtausta, mutta alemmalla kypsyysasteen tasolla työn virtauksen haitat ovat isompia, ja hyödyt eivät ole niin selviä (Lehtovaara et al. 2021). Keskitytään seuraavaksi prosessien virtaukseen, hyödyntäen teoreettista mallia.

Lehtovaara et al. (2021) esittävät, että tahtisuunnittelulla tähdätään optimaaliseen prosessien virtaukseen, hyödyntämällä joustavia suunnitteluparametreja, riittäviä eräkojoja, sekä kapasiteetti- ja suunnittelupuskureita. Tämä tarkoittaisi tuotannon osalta, muun muassa, läpimenoaikojen lyhenemistä ja vaihtelun sekä turhan toiminnan vähenemistä (Lehtovaara et al. 2021). Tahtisuunnittelussa luotua aikataulu ei ole tarkoitus seurata täsmällisesti, vaan sitä voidaan pitää tahtituotannon alkupisteenä, jota lähdetään edistämään tuotannossa tahtiohjauksen avulla (Hagsheno et al. 2016, Binninger et al. 2019, Lehtovaara et al. 2021). Oikea-aikainen, lyhytsyklinen ja visuaalinen tahtiohjaus painottaa tehokasta laadunvalvontaa, ja hyödyntää joustavasti aika- ja tilapuskureita (Lehtovaara et al. 2021).



Kuva 6. Lehtovaara et al. (2021) luoma virtauksen teoreettinen malli tahtituotannossa.

Tahtituotannossa jokaisen työvaiheen edistyminen on tärkeässä asemassa, sillä poikkeaman esiintyminen vaikuttaa seuraavaan työvaiheeseen (Hagsheno et al. 2016). Täten tahtituotanto pakottaa tuotannon jatkuvaan tilannetietoon, läpinäkyvyyteen ja ongelmienratkaisuun estäen poikkeamien kasaantumisen (Lehtovaara et al. 2021). Tahtiohjaus luo joustavamman ja läpinäkyvän tuotannonohjauksen, joka samalla vähentää kapasiteettipuskurin heikkouksia (Lehtovaara et al. 2021). Tahtituotannon eräkokojen pienentämisen on todettu edistävän läpimenoajan lyhentämistä (Binninger et al. 2018), mutta Lehtovaara et al. (2021) mukaan eräkokojen pienentäminen ei merkittävästi hyödynnä tuotannon virtausta, tuotannossa esiintyvän vaihtelun myötä. Esimerkiksi viiden päivän tahti seuraa luontaisia viikkotoimintoja ja -rytmejä, ja tämän on havaittu helpottavan urakoitsijoiden mukautumista sekä työmaan materiaalityömituksia ja logistiikkaa (Lehtovaara et al. 2021). Tahtituotanto tulisi nähdä kokonaisvaltaisena muutoksena, jossa suunnittelun ja ohjauksen lisäksi, myös tuotantoa tukevat olosuhteet ovat tärkeässä asemassa (Lehtovaara et al. 2021). Suunnittelutiedon ja materiaalityövirtojen hallitseminen, sosiaalinen osallistuttaminen sekä sopimusten integrointi nähtiin tärkeimpinä tuotantoa tukevina olosuhteina, jotka tahtiohjauksen ohella lisäävät tuotannon virtausta, vähentäen tuotannossa esiintyvää suunnittelematonta paluuvirtausta sekä työvaiheiden uudelleentyöstöä (Lehtovaara et al. 2021).

Lehtovaara et al. (2021) tutkimissa kohteissa esiintyi suunnittelematonta paluuvirtausta, kun työvaiheet vaihtelivat sijainteja, jättäen taaksensa viimeistelemätöntä työtä, ja tilannetiedon tarve sekä tieto valmiin työsuorituksen vaatimuksista nostettiin esille paluuvirtauksen vähentämiseksi. Oikea-aikainen ja jatkuva laadunvalvonta, työvaiheiden ennakoedellytysten varmistaminen sekä keskittyminen työvaiheiden luovutuksiin tahtituotannossa vähentävät tuotannossa esiintyvää paluuvirtausta ja uudelleentyöstöä (Lehtovaara et al. 2021). Tahtituotanto antaa edellytykset suunnitelmattoman paluuvirtauksen ja uudelleentyöstön vähentämiseksi, tätä kuitenkin takaamatta (Lehtovaara et al. 2021). Kujansuu et al. (2020) ja Salerto (2019) eivät havainneet uudelleentyöstöstä esiintyvää paluuvirtausta tahtituotannossa, osittain johtuen lyhyen tutkimusajan sekä toiminnan toteamisen vaikeuden myötä. Paluuvirtausta kuitenkin esiintyi (Salerto 2019), mutta tätä ei tutkimuksessa mitattu. Kujansuu et al. (2020) ja Salerto (2019) havaitsivat kuitenkin, että tahtituotannon avulla voidaan vähentää tuotannossa esiintyvää turhaa liikkumista. Tuotannossa esiintyvä turha liikkuminen vähentää keskeytymättömän työn määrä, kirjallisuudesta ei kuitenkaan onnistuttu löytämään tutkimusta, joka olisi tutkinut keskeytymättömän työn määrää tahtituotannossa.

2.6 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto

Rakennusalan heikon tuottavuuden juurisyinä voidaan pitää rakennustuotannon erityispiirteitä ja ominaisuuksia, sekä johtamisen käytäntöjä (Koskela 2000). Esimerkiksi rakennuslalle olennaisessa osassa oleva aliurakointi on vahvasti vaikuttamassa tuotannossa esiintyvään hukkaan sekä virtaukseen (Bertelsen et al. 2007, Binninger et al. 2016, Sacks 2016). Virtaus on yksi lean-filosofian keskeisimmistä käsitteistä ja periaatteista, ja virtaustehokkuuden jatkuva parantaminen on yksi lean-filosofian tavoitteista (Koskela et al. 2002). Virtaus on keskeisessä osassa tuotannon prosesseja (Lehtovaara et al. 2021), ja virtaus linkittyy vahvasti tuotannossa esiintyvään hukkaan sekä tuotannon tuottavuuteen.

Yksittäisen rakennusprojektin pääasiallisina virtauksina voidaan pitää työn virtausta sekä prosessien virtausta (Sacks 2016). Rakentamisessa usein laiminlyöty prosessien virtaus, eli työvaiheiden ja urakoitsijoiden virtaus yksittäisten sijaintien osalta, on näistä keskeisessä roolissa (Sacks 2016). Rakentamisen optimaalinen prosessien virtaus sisältää muun muassa ehdot siitä, että tuotannossa tulisi esiintyä mahdollisimman vähän turhaa toimintaa, ja että

tuotannossa ei tulisi esiintyä paluuvirtausta eikä työvaiheiden uudelleentyöstöä (Sacks 2016). Paluuvirtaus ja uudelleentyöstö luovat tuotantoon virtausta heikentävää vaihtelua, jota rakentamisessa myös esiintyy myös luonnollisena (Brodetskaia ja Sacks 2007), ylimääräisen vaihtelun poistaminen on kuitenkin merkittävä tekijä virtauksen optimoinnissa (Hopp ja Spearman 2011). Vaihtelun määrää voidaan hallita muun muassa hyödyntämällä tuotannon puskureita, kuten esimerkiksi kapasiteettipuskuria (Frandsen et al. 2015). Tuotannon virtausajattelun edistämiseksi, rakennusalalla on alettu hyödyntämään sijaintipohjaisia tuotannonhallintamenetelmiä, kuten tahtituotantoa.

Tahtituotanto on lean-filosofiasta peräisin oleva tuotannonhallintamenetelmä, ja tahtituotanto viime vuosina ollut suuren mielenkiinnon kohteena rakennusalalla, suosio selittyy esimerkiksi sillä, että menetelmä on toiminut hyvin rakennusprojektien läpimenoaikojen lyhentämiseen. Tahtisuunnittelun tarkoituksena on luoda tasaista tahtia ja jatkuvaa virtausta hyödyntävä aikataulu (Frandsen 2019). Tahtiohjaus perustuu lyhytsykliseen päivittäisohjaimiseen (Frandsen et al. 2015, Hagsheno et al. 2016), jonka tarkoituksena on nopeasti reagoida tuotannossa esiintyviin poikkeamiin. Tarkastellaan seuraavaksi kirjallisuuskatsauksen yhteenvettoa tutkimuskysymysten pohjalta.

Miten prosessit virtaavat tahtituotantokohteessa?

Tahtituotannon tavoitteena on luoda sekä ylläpitää tuotannon nopeaa, tasaista ja jatkuvaa virtausta, ja jatkuvasti kehittää tuotantoa, joka vastaa asiakkaan vaatimukseen (Binner et al. 2019, Lehtovaara et al. 2021). Tahtituotanto vaikuttaa positiivisesti prosessien virtaukseen, mutta samalla menetelmä vaikuttaa ristiriitaisesti työn virtaukseen (Kujansuu et al. 2020, Lehtovaara et al. 2021). Tahtituotanto pyrkii optimaaliseen prosessien virtaukseen, muun muassa hyödyntämällä kapasiteettipuskureita (Frandsen et al. 2015), sekä priorisoidulla ”työ odottaa työntekijää” käsitettä (Linnik et al. 2013), sekä hyödyntämällä oikea-aikaista, lyhytsyklistä ja visuaalista tahtiohjausta (Lehtovaara et al. 2021). Kokonaisvaltainen tahtituotanto, eli tahtisuunnittelu, tahtiohjaus ja tuotantoa tukevat olosuhteet lisäävät tuotannon virtausta, vähentäen tuotannossa esiintyvää suunnittelematonta paluuvirtausta sekä työvaiheiden uudelleentyöstöä (Lehtovaara et al. 2021).

Miten paljon liikkumista ja keskeytymätöntä työtä esiintyy tahtialueella?

Yksi optimaalisen prosessien virtauksien ehdoista on, että tuotannossa tulisi esiintyä mahdollisimman vähän turhaa toimintaa (Sacks 2016), eli tuotannossa ei tulisi esiintyä turhaa liikkumista, joka samalla keskeyttää työntekoa mestalla. Läsnäolo mestalla on välttämätön, mutta samalla riittämätön edellytys arvoa tuottavan työn laskemiseksi (Zhao et al. 2019). Keskeytymättömän läsnäolon perusteella voidaan kuitenkin todeta, kuinka hyvät edellytykset virtauksella on kohteessa. Kujansuu et al. (2020) ja Salerto (2019) havaitsivat, että tahtituotannon avulla voidaan vähentää tuotannossa esiintyvää turhaa liikkumista, mutta kirjallisuudesta ei kuitenkaan onnistuttu löytämään tutkimusta, joka olisi tutkinut keskeytymättömän työn määrää tahtituotannossa.

Miten paljon paluuvirtausta sekä uudelleentyöstöä esiintyy tahtialueella?

Paluuvirtauksen ja uudelleentyöstön poistaminen ovat optimaalisen prosessien virtauksen ehtoja (Sacks 2016). Paluuvirtaus on yleistä rakentamisessa (Sacks 2016), ja suunniteltua paluuvirtausta voidaan pitää tiettyjen urakoitsijoiden osalta luontaisena osana rakentamista (Brodetskaia et al. 2013). Suunnittelematonta paluuvirtausta voi esiintyä esimerkiksi, kun

puutteellista työvaihetta joudutaan uudelleentyöstämään. Oikea-aikainen ja jatkuva laadunvalvonta, työvaiheiden ennakoedellytysten varmistaminen sekä keskittyminen työvaiheiden luovutuksiin tahtituotannossa antavat edellytykset suunnittelemattoman paluuvirtauksen ja uudelleentyöstön vähentämiseksi, tätä kuitenkin takaamatta (Lehtovaara et al. 2021). Paluuvirtausta esiintyy tahtituotannossa (Salerto 2019, Lehtovaara et al. 2021), mutta tarkempia mittauksia ei tästä löydy. Kujansuu et al. (2020) ja Salerto (2019) eivät havainneet uudelleentyöstöstä esiintyvää paluuvirtausta tahtituotannossa, osittain johtuen lyhyen tutkimusajan sekä toiminnan toteamisen vaikeuden myötä.

3 Empiirinen tutkimus: tutkimusmenetelmät ja toteutus

Diplomityön empiirinen tutkimus käsittelee prosessien virtauksen mittaamista tahtituotannossa. Tutkimus toteutetaan tapaustutkimuksena, jossa prosessien virtausta mitataan asuntorakentamisen sisävaiheessa. Tässä luvussa esitellään aluksi tapaustutkimukseen valittu kohde sekä kohteeksi valitun työmaan toteutusta. Luvussa esitellään sekä perustellaan tapaustutkimuksen tutkimusmenetelmän valintaa, ja luvussa esitellään tutkimuksessa käytetyn videokuvauksen laitteistoa sekä laitteiston valintaprosessia. Luvun lopussa esitellään tutkimuksen toteutusta kohteessa sekä kuinka tutkimuksessa kerättyä dataa on lähdetty työstämään.

3.1 Tutkimuskohteen esittely

Diplomityön empiirisen tutkimuksen tutkimuskohteeksi valikoitui Firan rakennuskohde Postipuistossa, Helsingin Pasilassa. Postipuisto on uusi asuinalue Pasilan kaupunginosassa, jossa entisen Maaliikennekeskuksen alue kehitetään asuinalueeksi, havainnekuva Postipuistosta esitetään kuvassa 7 (Fira 2021). Tutkimukseen valittu kohde on Firan ensimmäinen rakennuskohde Postipuiston alueella. Fira toimi kohteessa KVR-urakoitsijana ja kohteen rakennuttajan toimi Avara oy. Rakennuskohde valmistui ja luovutettiin tilaajalle tammikuussa 2021.

Työmaa valikoitui diplomityön tutkimuskohteeksi, sillä työmaan aikataulu sopi hyvin diplomityön tutkimuksen aikatauluun, ja työmaan sekä tuotannon ominaisuudet sopivat hyvin prosessien virtaukseen mittaamiseen tahtituotannossa, asuntorakentamisen sisävaiheen osalta. Tutkimukseen valittu kohde on 6-kerroksinen ja 2-rappuinen asuinrakennus, joka sisältää 60 vuokra-asuntoa. Kohteen asuntojen koko vaihtelee yksiöstä kolmioon, ja kohteen asuinkerrokset ovat lähes identtisiä. Tutkittavan työmaan rakentaminen toteutettiin kahdessa



Kuva 7. Havainnekuva Postipuistoon alueelta (Fira 2021).

lohkossa, jaettuna kohteen A- ja B-rappuihin. Työn empiirinen tutkimus toteutettiin myöhemmin alkaneessa A-rapussa, sillä tutkimalla prosesseja A-rapussa oli mahdollista sisältää laajempi osa sisävaiheesta mukaan tutkimukseen.

Forsellin (2021) diplomityön haastatteluista selviää, että kohteen tahtiajaksi valittiin 5-päivän tahti, sillä tämä seuraa perinteistä työviikkoa, ja tämä nähtiin luovan tuotantoon selkeyttä ja joustoa, sekä helpottavan logistiikan suunnittelua. Kohteen tahtialueena toimii asuinkerros, joka sisältää 6 asuntoa sekä porraskäytävän. Firalla on ennestään kokemusta tahtituotannosta, ja kohteessa suunniteltu aikataulu on tahtiaikatauluun pohjautuva, jossa on hyödynnetty TPTC:n periaatteita. Tutkimuskohteen suunnittelussa on hyödynnetty vakioituja suunnitteluratkaisuja, joista erityisenä voidaan pitää kohteessa käytettyjä LVIS-tekniikan nousuhormeja, joiden myötä saatiin luotua kustannustehokas, turvallinen sekä toistuvuutta luova suunnitteluratkaisu, jonka myötä asuntojen keittiöt ja kylpyhuoneet ovat lähtökohtaisesti identtisiä (Forsell 2021). Asuntojen ja suunnitteluratkaisujen toistuvuus vähentää tuotannossa esiintyvää vaihtelua ja täten antaa paremmat edellytykset tahtituotannon sekä prosessien virtauksen onnistumiselle kohteessa. Kohteen työmaaorganisaatio on ollut kohdalaisen kokematon, ja työnjohdolla ei ollut merkittävää kokemusta tahtituotannon toteutuksesta.

Datankeruu ja datan hyödyntäminen on ollut merkittävässä asemassa tutkimuksen rakennuskohteessa, ja työmaalla on pilotoitu useita kehityshankkeita. Kohteessa on muun muassa pilotoitu työmaan ohjaamo, joka luo yhteenvedoa työmaalla kerätystä datasta, ohjaamo hyödyntää esimerkiksi asuntojen olosuhteiden reaaliaikaista seurantaa. Työmaalla on kerätty myös runsaasti dataa erilaisia tutkimuksia varten. Kohteessa on tämän diplomityön kanssa samaan aikaan toteutettu toinen diplomityö (Forsell 2021), jossa on tämän työn tavoin käsitelty tahtituotannon virtauksen mittaamista asuntorakentamisen sisävaiheessa. Forsellin (2021) diplomityön näkökulma eroaa tästä työstä siinä, että se mittaa virtausta koko kohteen sisävaiheen osalta, ja käyttää videokuvan sijaan muita tutkimusmenetelmiä.

3.2 Tutkimusmenetelmien valinta

Diplomityön empiirisen osuuden tutkimusstrategiana toimi tapaustutkimus, jonka pääasiallisena tutkimusmenetelmänä toimi videokuvaus. Diplomityön tutkimusmenetelmäksi oli myös pohdittu sisäpaikannusta, mutta kohteessa esiintyneiden yhteysongelmien takia, sisäpaikannusta ja sen tuloksia ei pystytty hyödyntämään tämän työn osalta. Tapaustutkimuksen toteutukseen ja aineistonkeruun on olemassa useita menetelmiä, ja tapaustutkimuksissa usein yhdistellään eri menetelmiä. Yleisiä aineistonkeruunmenetelmiä ovat kyselyt, haastattelut, havainnoinnit sekä dokumenttien tarkastelu (Hirsjärvi et al. 2007).

Kyselyt ja haastattelut ovat laadullisia tiedonkeruumenetelmiä, joiden avulla saadaan tutkittua osallistujien mielipiteitä, pohdintoja sekä oletuksia tukittavasta aiheesta. Menetelmiä on käytetty aiemmin tämän diplomityön aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa, Lehtovaara et al. (2021) sekä Kujansuu et al. (2020) käyttivät teemahaastatteluja osana tutkimuksiaan. Kyselyiden sekä haastatteluiden ongelmana on kuitenkin, että kyselyihin ja haastatteluihin osallistuvien havainnot ja mielipiteet eivät välttämättä vastaa todellisuutta, menetelmät ovat herkkiä osallistujien ennakkoluuloille (Hirsjärvi et al. 2007, Yin 2009, Zhao et al. 2019, Lehtovaara et al. 2021). Täten, kyselyt ja haastattelut eivät ole sopivia tämän diplomityön tapaustutkimuksen vaatimukselle, määrällisen tutkimukseen soveltuvista menetelmistä.

Havainnointi on tiedonkeruunmenetelmänä soveltuvampi määrällisen tutkimuksen toteutuksen osalta. Havainnoinnilla voidaan kerätä aineistoa ilman, että tutkimukseen osallistuvien ennakkoluulot vaikuttavat tuloksiin. Havainnointi voidaan jakaa eteenpäin systemaattiseen havainnointiin sekä osallistuvaan havainnointiin. Systemaattisessa havainnoinnissa tutkimuksen havainnoija on ulkopuolinen toimija, kun osallistuvassa havainnoinnissa havainnoija osallistuu tutkittavan ryhmän toimintaan (Hirsjärvi et al. 2007). Havainnoinnilla pyritään mittaamaan tarkasti havainnon alaiseksi valittu tutkimusaihe, ja toteutuksen helpottamiseksi on luotu apukeinoja, kuten ”tsekkauksista” (Hirsjärvi et al. 2007). Ruohomäki (2019) hyödynsi systemaattista havainnointia diplomityössään, jossa tehtiin pistokoemaisia käynnejä työmaalle sekä havainnointiin työmaalla pidettäviä palavereita. Havainnoin heikkoutena on kuitenkin, että havainnointi vaatii suuren työmäärän, minkä vuoksi laajojen tutkimuksien suorittaminen on hidasta ja työlästä (Hirsjärvi et al. 2007, Yin 2009, Salerto 2019, Zhao et al. 2019). Täten, tämän työn tapaustutkimuksen mittausjakson ollessa erittäin laaja ja pitkä, on havainnointi epäsoveltuva tutkimusmenetelmä tutkimusta varten.

Dokumenttien käyttö aineistonkeruunmenetelmänä on olennaista useimmissa tapaustutkimuksissa (Yin 2009). Dokumenttien hyödyntämisen vahvuuksiin kuuluu aineiston stabiilius, minkä vuoksi dokumentteja voidaan tulkita uudelleen, dokumentteja ei ole myöskään tehty pelkästään tutkimuksia varten, minkä vuoksi sisältöä ei ole vääristetty tutkimusta varten (Yin 2009). Binninger et al. (2019) sekä Lehtovaara et al. (2021) ovat hyödyntäneet dokumentteja tutkimuksissaan, tutkiessaan dokumentteja useiden työmaiden osalta. Dokumentit ovat kuitenkin avoimia puolueellisuudelle sekä ennakkoasenteille, sekä oikeiden dokumenttien löytäminen ja niihin kiinni pääseminen saattaa olla vaikeata (Yin 2009).

Videokuvaus on jatkuvaa havainnointia korvaava tutkimusmenetelmä, jota on käytetty viime vuosina useissa eri tutkimuksissa sekä diplomitöissä (Salerto 2019, Ruohomäki 2019, Pasila 2019, Kujansuu et al. 2020). Videokuvaus on luotettava tutkimusmenetelmä, jonka aineiston tuottamiseksi tutkijan ei tarvitse olla aktiivisesti tutkimuskohteessa, ja jonka tuottamaa aineistoa voidaan tutkia erittäin tarkasti. Videokuvauksen toteutukseen on käytetty useita eri menetelmiä, Salerto (2019) hyödynsi käytävään asennettua jatkuvaa videokuvausta, Pasila (2019) hyödynsi kamerakypäriä ja Ruohomäki (2019) hyödynsi tutkimuksessaan liikkeen-tunnistimella toimivaa kameramallia. Videokuvaus ei kuitenkaan ole ongelmaton tutkimusmenetelmä. Muun muassa, Salerto (2019) huomasi kameravalinnan luovan hankaluuksia, kameroita saatettiin myös liikuttaa, tai niiden virta saattoi katketa tutkimuksen aikana, luoden tutkimukseen aukkoja. Lisäksi videokuvaus tuottaa suuren määrän tukittavaa aineistoa, jonka läpikäyminen vie runsaasti aikaa (Salerto 2019). Videokuvauksella voidaan siis tutkia tarkasti kuvausalueen tapahtumia, kuten työntekijöiden liikkumista, minkä vuoksi videokuvaus on oiva tutkimusmenetelmä prosessien virtauksen mittaamiseen tahtituotannossa. Videokuvaus onkin Lehtovaara et al. (2021) suosittama menetelmä prosessien virtauksen mittaamista varten.

Tutkimuksissa on viime vuosina alettu hyödyntämään reaaliaikaisia seurantamenetelmiä, joiden avulla pyritään reaaliaikaistamaan sekä automatisoimaan tutkimuksen tiedonkeruu, vähentäen aktiivista oleskelua ja tutkimista työmaalla, täten keventäen tutkimuksen työmäärää. Zhao et al. (2019) kehittivät BLE-teknologiaan (Bluetooth Low Energy) perustuvan iCONS-seurantajärjestelmän, jonka avulla voidaan seurata työntekijöiden liikkumista työmaalla. Sisäpaikannukseen on olemassa useita eri menetelmiä, joista Zhao et al. (2019) päätyivät BLE-teknologiaan, sen ollessa kustannustehokkain sekä riittävän tarkka liikkumisen seuraamiseen. Zhao et al. (2019) tutkivat työntekijöiden liikkumista työmaalla, työntekijöi-

den kantamien pienien sekä kevyiden lähettimien, sekä työmaalle asennettujen väylälaitteiden avulla. Tutkimuksessa pyrittiin työntekijöiden liikkumisen ja oleskelun perusteella tutkia työntekijöiden keskeytymättömän työn määrää (Zhao et al. 2019). Zhao et al. (2019) toteavat, keskeytymätön työ on välttämätön, mutta samalla riittämätön edellytys arvoa tuottavan työn laskemiseksi. Keskeytymättömän työn perusteella voidaan kuitenkin todeta, kuinka hyvät edellytykset tuottavuudella on kohteessa. Sisäpaikannus on oiva määrällinen menetelmä tutkia työntekijöiden liikkumista, sekä keskeytymättömän työn määrää. Liikkumisen ja keskeytymättömän työn ollessa oleellinen osa virtausta, on sisäpaikannus mahdollinen tutkimusmenetelmä virtauksen mittaamista varten.

Tapaustutkimuksen toteutusta varten päädyttiin videokuvakseen tutkimusmenetelmään, tämän sopiessa parhaiten prosessien virtauksien määrälliseen mittaukseen. Videokuvaus on Lehtovaara et al. (2021) ehdottama menetelmä prosessien virtauksen mittaamista varten, ja tämän myötä tutkimusta lähdettiin edistämään videokuvakseen pohjalta. Videokuvauksella voidaan saada erittäin tarkka kuva tahtialueen tapahtumista ja alueella syntyvästä prosessien virtauksesta. Videokuvauksen avulla voidaan vastata kaikkiin esitettyihin tutkimuskysymyksiin, sillä tutkimuskysymykset perustuvat videokuvauksella tutkittaviin aiheisiin. Videokuvaus mahdollistaa myös sen, että tutkimuksen toteuttajan ei tarvitsisi pitkän mittausjakson aikana viettää suurta aikaa työmaalla tutkimuksen toteutuksen puolella. Videokuvaus on osoittautunut aikaisemmissa tutkimuksissa toimivaksi menetelmäksi, tämän työn toteutuksessa tulee kuitenkin huomioida sekä ennaltaehkäistä aikaisemmissa tutkimuksissa nousseita haasteita.

Videokuvauksen lisäksi, muutamaa tutkimuskohteen aikatauluun liittyvää dokumenttia, hyödynnettäisiin tutkimuksessa. Dokumenttien tarkastelu on olennainen osa useimmissa tapaustutkimuksissa, mutta tässä työssä dokumenteilla ei kuitenkaan olisi niin merkittävää painoarvoa. Tutkimukseen pohdittu sisäpaikannus jouduttiin jättämään pois työn tutkimusmenetelmistä, kohteessa esiintyneiden yhteysongelmien myötä. Kyselyitä ja haastatteluita on aiemmin hyödynnetty työn aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa (Kujansuu et al. 2020, Lehtovaara et al. 2021). Menetelmien ollessa laadullisia, eivät ne kuitenkaan sovi työn määrällistä tutkimusta varten. Havainnointi olisi sopivampi menetelmä, joka voisi toimia Ruohomäki (2019) työn tapaan videokuvauksen tukena. Tämän diplomityön mittausjakso oli kuitenkin Ruohomäki (2019) työtä huomattavasti pidempi, minkä vuoksi työmäärältään raskas havainnointi ei sopinut työn tutkimusmenetelmäksi.

3.3 Laitteiston valinta

Videokuvauksen suunnittelu ja laitteiston valinta oli aikaa vievä prosessi, jossa hyödynnettiin aiemmissa tutkimuksissa nousseita pulmia ja pohdintoja. Ruohomäki (2019) ja Salerto (2019) käyttivät diplomitöissään videokuvausta, ja näiden töiden, sekä Ruohomäelle ja Salertolle sähköpostitse lähetettyjen kysymysten perusteella, päädyttiin tämän tutkimuksen osalta siihen lopputulokseen, että jatkuvan videokuvuksen kameratallennin olisi liiketunnistimella toimivaa kameranysteemiä parempi. Merkittävimmät syyt valintaan olivat, että liiketunnistimella toimiva systeemi olisi ollut jatkuvan kuvauksen mallia työläämpää, epäluotettavampi sekä laitteen videokuva heikkolaatuisempaa. Liiketunnistimen kantama ei välttämättä olisi tarpeeksi pitkä käytävän toisessa päädyssä tapahtuvan liikkeen kuvaamiseen, ja liiketunnistimen luotettavuus olisi jatkuvaa kuvausta heikompi. Lisäksi kuvanlaatu liiketunnistimien-kamerassa oli todettu heikommaksi. Myös aikaleima, joka oli tutkimuksen kannalta

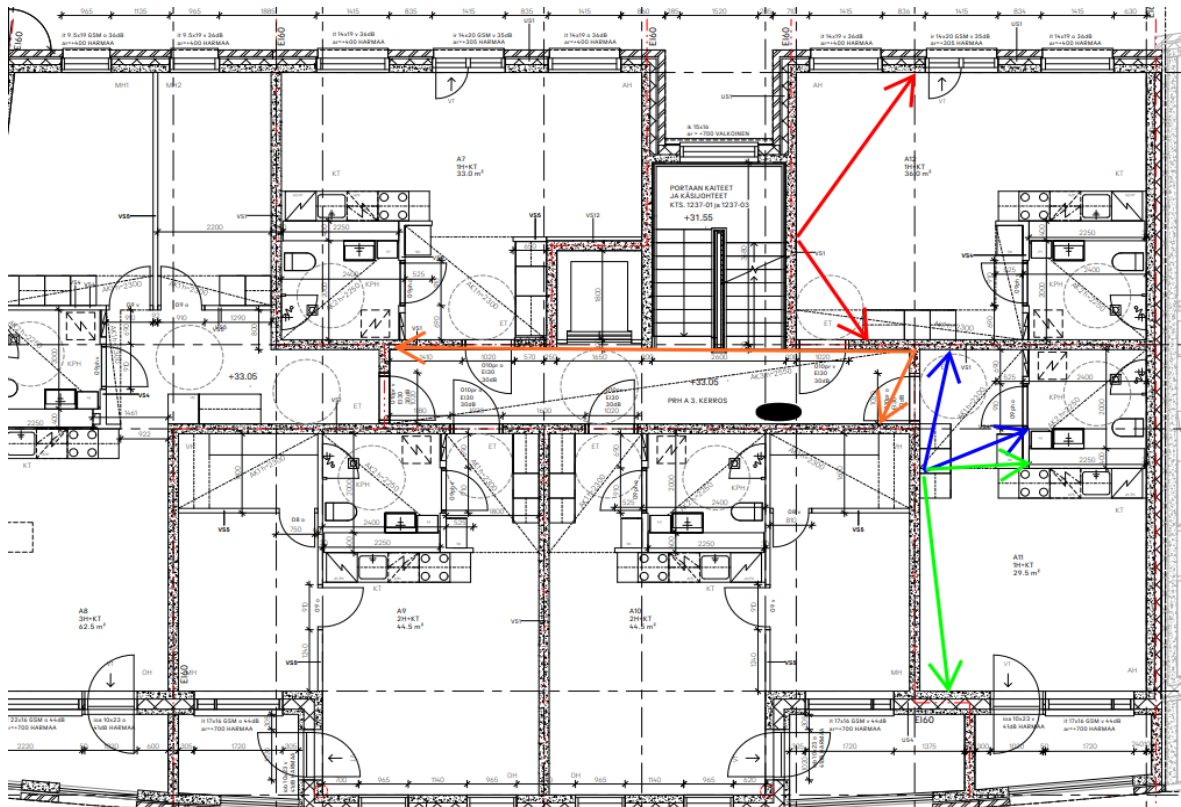
tärkeässä osassa, ei ollut toiminut kunnolla liiketunnistimella toimivassa kamerassa. Kameratyypin valinnan lisäksi Ruohomäeltä ja Salertolta saatiin arvokkaita neuvoja videokuvauksen toteutusta varten. (Ruohomäki 2019, Salerto 2019).

Videokuvauksen laitteiston hankinta tehtiin yhteistyössä Firan kanssa. Laitteiston hankinnan vaihtoehtoina olivat oman laitteiston hankkiminen ja operointi, tai näiden hankkiminen palveluna. Palvelut osoittautuivat kalliiksi ja osittain myös logistisesti hankaliksi diplomityön toteutuksen kannalta, joten kamerat ja niiden operointi päätettiin hankkia ja toteuttaa itse. Laitteiston valinnassa tärkeät ominaisuudet olivat videon kuvanlaatu, kameroiden ja tallentimen käytettävyys, datan käsittelyn helppous, sekä laitteiston edullisuus. Lopulta valinta päätyi laitteistoon, johon kuului neljä asennettavaa kameraa, jotka kytkettiin yhteiseen tallentimeen. Tallentimesta tehtiin kuvaukseen liittyvät säädöt ja asennukset, sekä myös datan muistinsiirrot.

3.4 Tutkimuksen toteutus

Diplomityön empiirinen tutkimus toteutettiin videokuvaamalla yhtä tutkimuskohteen tahtialuetta, tuotannon sisävaiheen aikana. Videokuvaus suoritettiin kahdessa eriävissä ympäristössä A-rapun kolmannessa kerroksessa, tahtialueen porraskäytävässä, sekä kahdessa asunnossa samaisella tahtialueella. Yksi kamera asennettiin porraskäytävään, ja kolme kameraa asennettiin tutkittaviin asuntoihin. Kaksi asuntojen kameroista asennettiin asuntoon A11 ja yksi kamera asennettiin asuntoon A12. Videokameroiden (eriväriset nuolet) ja tallentimen (musta ovaali) sijoittelu ja näkökentät tahtialueella näkyvät kuvassa 8.

Tutkittavat alueet ja kameroiden sijoittelu valikoituivat työn tavoitteen, tutkimuskysymysten, sekä logististen mahdollisuuksien perusteella. Kameroiden sijoittelulla pyrittiin maksimoimaan mitattavan prosessien virtauksen määrää. Käytävän kameralla saataisiin tutkittua koko tahtialuetta koskevaa prosessikuvaa sekä tahtialueella esiintyvää prosessien virtausta, seuraamalla työntekijöiden liikettä ja toimintaa tahtialueella. Asuntoihin sijoitetuilla kameroilla saataisiin asuntokohtaista tietoa toiminnasta sekä prosessien virtauksesta, sekä näiden mahdollisista vaikutuksista kokonaisen tahtialueen prosessien virtaukseen ja prosessikuvaan. Valitsemalla kaksi videokuvattavaa asuntoa yhden sijaan, saatiin mahdollistettua, että asuntojen välinen vaihtelu tuotannossa ja prosessien virtauksessa saataisiin mitattua. Asuntoihin sijoitettujen kameroiden oli oltava lähellä vastaanotinta, joka logistisista syistä johdun asennettiin kerroksen työmaa-aikaisen sähkölinjan kohdalle, täten kamerat asennettiin asuntoihin A11 ja A12. Tutkimukseen valitut asunnot ovat yksiöitä, asunnot ovat keittiöiden, kalusteiden sekä kylpyhuoneiden osalta lähes identtisiä. Erot asunnoissa tulevat hieman eriävistä asuntojen pinta-aloista sekä pohjista, yksi merkittävimmistä eroista on, että asunnossa A11 on parveke, kun asunnossa A12 on ranskalainen parveke.



Kuva 8.A-3.kerroksen pohjakuva, mihin on merkattu kameroiden näkökentät ja tallentimen sijoitus.

Ennen mittauksen alkamista kohteessa, suoritettiin kameroiden ja tallentimen asennus, sekä toimivuuden tarkistukset ja säädöt. Videokuvauksen toimivuuden tarkistuksessa huomattiin, että videokuvaus tuottaa erittäin suuren määrän dataa, ja että tallentimen muisti täyttyy nopeasti. Tiedonsiirto tallentimelta ulkoiselle kovalevyllä oli myös suurien tiedostokokojen myötä erittäin hidasta. Jotta tiedonsiirto tallentimelta ulkoiselle kovalevyllä saataisiin suoritettua niin, että tiedonsiirto häiritseisi mittauksia mahdollisimman vähän, säädettiin kaikki kamerrat kuvaamaan 6.00–18.00 välisenä aikana. Työmaan virallinen työaika oli 7.30–15.30, joten voitiin olettaa, että videokuvan ulkopuolelle ei jäisi merkittävää määrää dataa. Tällä valinnalla saatiin mahdollistettua videokuvan tiedonsiirto viikonloppuisin, vähintään kahden viikon välein. Tiedonsiirto suoritettiin vaihtelevasti yhden tai kahden viikon välein, riippuen logistisista sekä henkilökohtaisista mahdollisuuksista tiedonsiirrolle, sekä työmaalta saadusta tiedosta, olisiko tahtialueella toimintaa viikonlopun aikana.

Empiirisen tutkimuksen mittausjakso sijoittui vuoden 2020 elo-marraskuulle, kattaen viikot 34–46. Videokuvaus kattoi käytävän kamerasalalta koko mittausjakson, ja asuntoihin sijoitettujen kameroiden osalta viikot 34–45. Videokuvaus alkoi tahtialueella väliseinäasennuksen alkaessa ja päättyi käytävän desibelikattoasennuksen alkaessa. Asuntoihin sijoitetut kamerrat poistettiin lukitus- ja heloitus työvaiheen jälkeen, kun virtajohtojen veto tallentimelta kameroille ei enää ollut mahdollista. Diplomityön empiirinen tutkimus on rajattu koskemaan työmaalla työskenteleviä aliorakoitsijoiden työntekijöitä sekä avustavia töitä tekeviä tunti-työntekijöitä. Työnjohtoa ja muita mahdollisia tutkimus- tai asiantutijatoimia tekeviä henkilöitä ei seurata, sillä heidän työnkuvansa eroaa huomattavasti työntekijöiden työkuvasta, mikä tuottaisi vaikeuksia prosessien virtauksen määrittelyyn.

Yksi huomioitava aspekti videokuvauksessa sekä työmaalla toteutetusta, mutta tutkimuksesta poisjääneestä sisäpaikannuksesta, on tutkimukseen osallistuvien työntekijöiden yksityisyyden suoja sekä tietoturva. Tutkimuksen videokuvasta on mahdollista tunnistaa yksittäiset henkilöt, minkä vuoksi videokuvien käsittelyssä ja säilytyksessä, sekä tuloksien esittelyssä tulee huomioida yksittäisen työntekijän anonymiteetti. Työmaalla on selkeästi ilmoitettu urakoitsijoille kohteessa suoritettavasta tutkimustyöstä, sähköpostien, työmaalle ja tahtialueelle asennettujen ilmoitusten, sekä työmaan perehdytysaineistoon lisättyjen ilmoitusten myötä. Sisäpaikannukseen osallistuneiden työntekijöiden osalta allekirjoitettiin myös erillinen suostumuslomake, jossa esiteltiin tutkimuksen luonnetta ja tavoitetta.

3.5 *Datan esittely*

Empiirisessä tutkimuksessa mitattiin prosessien virtausta eroavissa ympäristöissä, tahtialueen porraskäytävässä sekä kahdessa tahtialueen asunnossa, joissa tutkittiin ja mitattiin osittain eroavia asioita. Tämän vuoksi käytävän sekä asuntojen osalta kerätyssä ja analysoidussa datassa on joitain eroavaisuuksia. Tutkimuksessa saatiin kerättyä dataa muun muassa seuraavista aiheista: tuotannon edistymien ja tahtituotannon toteutuminen (tahtialueen sekä asuntojen A11 ja A12 prosessikuvat), työvaiheiden kesto ja vietetty aika tahtialueella, tahtialueella liikuttu määrä, keskeytymättömän työn määrä, sekä paluuvirtauksen ja uudelleen-työstön määrät.

Tutkimuksessa kerätyn videokuvan läpikäynti suoritettiin päiväkohtaisesti, aloittamalla videokuvan läpikäynti käytävän kameran tiedostoista. Videokuvaa lähdettiin kelaamaan päivän ensimmäisestä tiedostosta eteenpäin, kun alueella ei ollut toimintaa, kelaus oli 16-kertaisella nopeudella, ja kun toimintaa esiintyi alueella, hidastettiin kuva neljä- tai kahdeksankertaiselle nopeudelle. Kun työntekijä siirtyi tahtialueen tilasta toiseen, kuva pysäytettiin ja tieto lisättiin Excel-taulukkoon. Käytävän kameran tietojen perusteella, saatiin selvitettyä milloin videokuvatuissa asunnoissa A11 ja A12 oli toimintaa, minkä vuoksi asuntojen tiedostoissa voitiin suoraan kelata toimintaa sisältäviin kohtiin. Asuntojen videokuva pysäytettiin ja tieto merkittiin ylös, kun työntekijän toiminta vaihtui, kun työntekijä tuli alueelle tai kun hän poistui alueelta. Jos käytävän tai asuntojen videokuvassa oli puutteita, esimerkiksi viallisen tiedoston tai sähköjen siirron takia, pyrittiin muiden tiedostojen perusteella todeta, oliko alueella esiintynyt toimintaa.

Käytäväkameran data: Käytävään sijoitetulla kameralla haluttiin mitata tahtialueella syntyvää prosessien virtausta, tutkimalla työntekijöiden ja työvaiheiden liikkumista ja toimintaa tahtialueella. Kerätty data käsiteltiin merkitsemällä Excel-taulukkoon työntekijöiden toimintaa ja liikkumista tahtialueella. Esimerkki datan merkitsemisestä näkyy taulukossa 3. Kerätty data lajiteltiin viikoittaisiin taulukkoihin, joihin merkittiin tapahtumat päiväkohtaisesti. Taulukkoon merkittiin työntekijän saapuminen, poistuminen ja vietetty aika tahtialueen tiloissa, joihin kuuluivat asunnot A7-A12 sekä kerroksen porraskäytävä. Työntekijän toiminta alueella lisättiin, jos tämä oli videokuvan perusteella todettavissa. Näillä tiedoilla voidaan selvittää työntekijöiden päivittäin viettämä aika sekä mahdollinen toiminta tahtialueen eri tiloissa, sekä liikuttu määrä tahtialueen eri tilojen välillä.

Viikon ajan kerätty data koottiin viikoittaiseen analyysiin, johon kuluneen viikon data merkittiin työntekijöittäin. Esimerkki viikoittaisesta analyysistä näkyy taulukossa 4. Viikoittaiseen analyysiin merkittiin ensimmäinen ja viimeinen käynti tahtialueella sekä näiden erotus, työntekijän viettämä aika tahtialueen eri tiloissa sekä näiden kokonaissumma, sekä käyntien määrä tahtialueen eri tiloissa (liikuttu määrä tahtialueen tilojen välillä). Perustuen Zhao et

al. (2019) sekä Ruohomäki (2019) tutkimuksiin, päätettiin, että keskeytymättömän työn raja-arvona käytettäisiin Ruohomäki (2019) käyttämää viiden minuutin arvoa, Zhao et al. (2019) käyttämä 10 minuutin arvo nähtiin Ruohomäki (2019) tavoin turhan suurena. Samalla arviointiin, että alle yhden minuutin raja-arvon käynnit voitaisiin suoraan arvioida hukaksi laskeviksi käynneiksi, ja että yhden ja viiden minuutin väliset käynnit voitaisiin arvioida työtä tukevinä käynteinä, sillä alle viiden minuutin käyntien aikana on havaittu esiintyvän tuottavaa työtä (Ruohomäki 2019). Täten, käyntien määrät jaettiin eteenpäin käyntien pituuksien perusteella (alle 1 minuutti, 1–5 minuuttia, sekä yli 5 minuuttia), ja nämä pituusluokkaiset käynnit summattiin ja vertailtiin kokonaisaikaan.

Taulukko 3. Esimerkit päivittäisistä merkitsemisistä.

| A12 | | | | | | | |
|----------|------------|---------|-------------|-----------------|------|-----------------|-------------|
| Alku | Loppu | Kesto | Urakotisija | Toiminta | | | |
| 16:10:20 | 16:12:00 | 0:01:40 | Kaluste 1 | kalusteasennus | | | |
| 16:12:00 | 16:12:45 | 0:00:45 | Kaluste 1 | pakettien avaus | | | |
| 16:12:45 | 16:16:00 | 0:03:15 | Kaluste 1 | kalusteasennus | | | |
| 16:16:00 | 16:21:30 | 0:05:30 | Kaluste 1 | oma aika | | | |
| 16:21:30 | 16:21:50 | 0:00:20 | Kaluste 1 | kalusteasennus | | | |
| Käytävä | | | | | | | |
| Viikko | Päivämäärä | Alku | Loppu | Kesto | Alue | Toiminta | Urakoitsija |
| 42 | 12.loka | 7:06:40 | 7:09:55 | 0.03.15 | A11 | oma aika | Kaluste 1 |
| | | 7:09:55 | 7:10:15 | 0.00.20 | A8 | välineen siirto | Kaluste 1 |
| | | 7:10:15 | 7:10:30 | 0.00.15 | A11 | välineen siirto | Kaluste 1 |
| | | 7:10:30 | 7:10:50 | 0.00.20 | A8 | välineen siirto | Kaluste 1 |
| | | 7:10:50 | 7:11:55 | 0.01.05 | A11 | välineen siirto | Kaluste 1 |
| | | 7:11:55 | 7:12:25 | 0.00.30 | K | välineen siirto | Kaluste 1 |

Asuntojen kameroiden data: Asuntoihin A11 ja A12 sijoitetuilla kameroilla haluttiin selvittää tahtituotannossa syntyvää virtausta hieman kokonaista tahtialuetta pienemmällä tasolla. Tällä haluttiin tutkia ja mitata asuntokohtaisia toimintoja ja prosessien virtausta, ja miten nämä mahdollisesti vaikuttavat koko tahtialueen prosessien virtaukseen.

Data merkattiin Excel-tilukkuun samanlaisesti kuin käytävän kameran data, muutamalla eroavaisuudella, esimerkki näkyy taulukossa 3. Taulukkuun merkittiin asunnon tapahtumat jokaisen käynnin osalta, ja yksi työntekijän käynti alueella saattoi sisältää monta tapahtumaa. Lisäksi tapahtuma selitettiin tai määriteltiin lyhyesti. Viikon ajan kerätty data koottiin taulukon lopuksi viikoittaiseen analyysiin, johon kuluneen viikon data merkittiin työntekijöittäin. Esimerkki viikoittaisesta analyysistä näkyy taulukossa 4. Viikoittaiseen analyysiin merkittiin ensimmäinen ja viimeinen käynti mestalla sekä näiden erotus, työntekijän viettämä aika mestalla, sekä tapahtumien määrän tahtialueella. Tapahtumien määrät jaettiin vielä eteenpäin näiden tapahtumien pituuksien perusteella.

Taulukko 4. Esimerkit viikoittaisen analyysin merkitsemisistä.

| Käytävän kameran Excel-esimerkki | | | |
|----------------------------------|------------------------------|------------------|-----------|
| Viikon analyysi | Urakoitsija | 12.loka | |
| | Urakoitsija | Eristäjä 2 | Kaluste 1 |
| | Ensimmäinen käynti | 7.13.55 | 7.06.40 |
| | Viimeinen käynti | 7:16:10 | 18:00:00 |
| | erotus | 0:02:15 | 10:53:20 |
| Vietetty aika (tot) | A7 | 0:00:00 | 0:03:50 |
| | A8 | 0:00:00 | 0:55:42 |
| | A9 | 0:00:00 | 0:02:50 |
| | A10 | 0:00:00 | 0:09:40 |
| | A11 | 0:00:00 | 5:28:34 |
| | A12 | 0:00:00 | 2:32:26 |
| | K | 0:00:00 | 0:06:16 |
| | Kaikki/ useampi | 0:02:15 | 0:01:55 |
| | Summa | 0:02:15 | 9:21:13 |
| | käynnit/siirtymiset mestalla | käynnit mestalla | 1 |
| lyhyt (alle 1 min) | | 0 | 58 |
| keski (1-5min) | | 1 | 35 |
| pitkä (yli 5 min) | | 0 | 27 |
| lyhyt summa | | 0.00.00 | 0.26.54 |
| pitkä summa | | 0.00.00 | 7.30.56 |
| keskisumma | | 0:02:15 | 1:23:23 |

| A12 kameran Excel-esimerkki | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|------------|-----------|
| Viikon analyysi | Urakoitsija | 12.loka | |
| | Urakoitsija | Eristäjä 2 | Kaluste 1 |
| Aika mestalla | Ensimmäinen käynti | 7.14.55 | 7.21.30 |
| | Viimeinen käynti | 7:15:10 | 18:00:00 |
| | erotus | 0:00:15 | 10:38:30 |
| Tapahtumat mestalla | Vietetty aika | 0:00:15 | 2:32:26 |
| | Tapahtumat lyhyt (alle 1 min) | 1 | 78 |
| | keski (1-5min) | 1 | 33 |
| | pitkä (yli 5 min) | 0 | 39 |
| | | 0 | 6 |

Käytävän ja asuntojen videokuvan perusteella saatiin siis kerättyä runsaasti dataa, jonka perusteella voitiin mitata useita eri prosessien virtauksen mittareita, joiden perusteella voitaisiin vastata tutkimuksen tutkimuskysymyksiin. Taulukossa 5 on listattu mihin tutkimuskysymykseen milläkin kerätyllä ja analysoidulla datalla voidaan vastata. Tutkimuksen mittausjakson ollessa erittäin laaja, on kerätty datan tarkkuus päiväkohtaisesta, sillä tätä tarkempi raja-olisi tuottanut diplomityön vaatimuksia reilusti suuremman työmäärän. Täten, työn tutkimuskysymyksiin voidaan vastata päiväkohtaisella tarkkuudella, käyttämällä taulukossa 5 listattujen mittareiden päiväkohtaisia tuloksia.

Taulukko 5. Kerätty data ja tutkimuskysymykset.

| Päätutkimuskysymys: Miten prosessit virtaavat tahtituotantokohteessa? | |
|--|--|
| Tutkimuskysymys | Kerätty ja analysoitu data, jolla voidaan vastata tutkimuskysymykseen. |
| 1. Mikä on tahtituotantokohteen sisävaiheen prosessikuva? | <ul style="list-style-type: none"> Käytävän sekä asuntojen datasta selviävä päivittäinen ja viikoittainen toiminta tahtialueella (kuka tekee mitä työvaihetta?), työvaiheiden kesto, sekä työntekijöiden viettämä aika tahtialueella. |
| 2. Miten paljon liikkumista ja keskeytymätöntä työtä esiintyy tahtialueella? | <ul style="list-style-type: none"> Käytävän kameran avulla kerätty tieto työvaiheiden työntekijöiden käyntien/liikkumisen määrästä tahtialueella. Työvaiheiden työntekijöiden yli viiden minuutin käyntien määrä ja niiden summa antaa tietoa keskeytymättömän työn määrästä ja suhteesta. |
| 3. Miten paljon paluuvirtausta sekä uudelleentyöstöä esiintyy tahtialueella? | <ul style="list-style-type: none"> Käytävän (ja asuntojen) videokuvan perusteella todettava työntekijän palaaminen tahtialueelle. Asuntojen ja käytävän videokuvan perusteella todettavissa oleva työvaiheiden uudelleentyöstö. |

Taulukko 6. Työvaiheiden viettämä aika ja kesto tahtialueella.

| Työvaiheiden viettämä aika ja kesto tahtialueella | | Vietetty aika | Aloitus verrattuna suunniteltu | Lopetus verrattuna suunniteltu | Kesto toteutunut (h) | Kesto suunniteltu (h) |
|---|------------------------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Työvaihe | Työntekijät | | | | | |
| VS työpuoli | VS | 7:37:41 | +1 päivä | 0 | 11 | 16 |
| Patteriasennus | Hitsari | 15:31:52 | ? | +1 päivä | ? | 48 |
| Asuntojen kaapelointi | Sähköri 1 ja Sähköri 3 | 32:30:33 | 0 | +1 päivä | 39 | 32 |
| VS tuplaus ja alakatot | VS | 10:28:44 | 0 | 0 | ? | 24 |
| Tasoitus | Tasoittaja 1 ja Tasoittaja 2 | 21:06:32 | 0 | -1 päivä | ? | 32 |
| KPH valmistelu | Aret | 1:46:42 | +3 päivää | +3 päivää | 6 | 16 |
| Vesijohtohajotukset | Putkari | 10:20:26 | 0 | +3 päivää | 30 | 16 |
| Maalaus | Maalari | 36:08:52 | -1 päivä | +1 päivä | 48 | 40 |
| Laatoitus seinä | L1 ja L2 | 34:42:46 | -3 päivää | -5 päivää | 22 | 40 |
| Laatoitus lattia | L1 ja L2 | 19:15:19 | -3 päivää | ? | ? | 24 |
| Sähkökalustus | Sähköri 4 ja Sähköri 1 | 28:55:22 | -9 päivää | -2 päivää | 61 | 24 |
| Kromit | Putkari | 8:55:03 | -1 päivä | 0 | 19 | 16 |
| Verhokiskot | Verho | 1:50:15 | 0 | 0 | 2 | 8 |
| Alakatto, KPH | KPH katto | 7:51:00 | + 2 päivää | -1 päivä | 9 | 16 |
| Kalusteet | Kaluste 1,2,4 | 92:56:36 | -1 päivä | -1 päivä | 62 | 40 |
| IV-kalustus | IV | 1:51:15 | +7 päivää | +2 päivää | 9 | 24 |
| Laminaatti | Laminaatti | 19:34:30 | +1 päivä | +1 päivä | 27 | 32 |
| Listoitus ja oviaisennus | Ovi, Ovi 2, lista | 30:04:40 | 0 | +1 päivä | 39 | 40 |
| LV-kalustus | Putkari | 10:45:40 | -2 päivää | 0 | 23 | 16 |
| Kodinkoneet | 4 työntekijää | 8:36:25 | 0 | 0 | 10 | 8 |
| Kodinkonekytkentä | APK | 1:25:30 | +1 päivä | +1 päivä | 2 | 8 |
| Plaanioviaisennus | Ovi ja Ovi 2 | 6:07:53 | -1 päivä | 0 | 20 | 16 |
| Lukitus ja heloitus | Lukko | 1:19:35 | -1 päivä | -2 päivää | 5 | 16 |
| Suihkuseinät | S ovi | 2:27:00 | +1 päivä | +2 päivää | 8 | 8 |
| Alakatto, käytävä | Käytävän katto | 1:57:45 | +1 päivä | ? | ? | 40 |

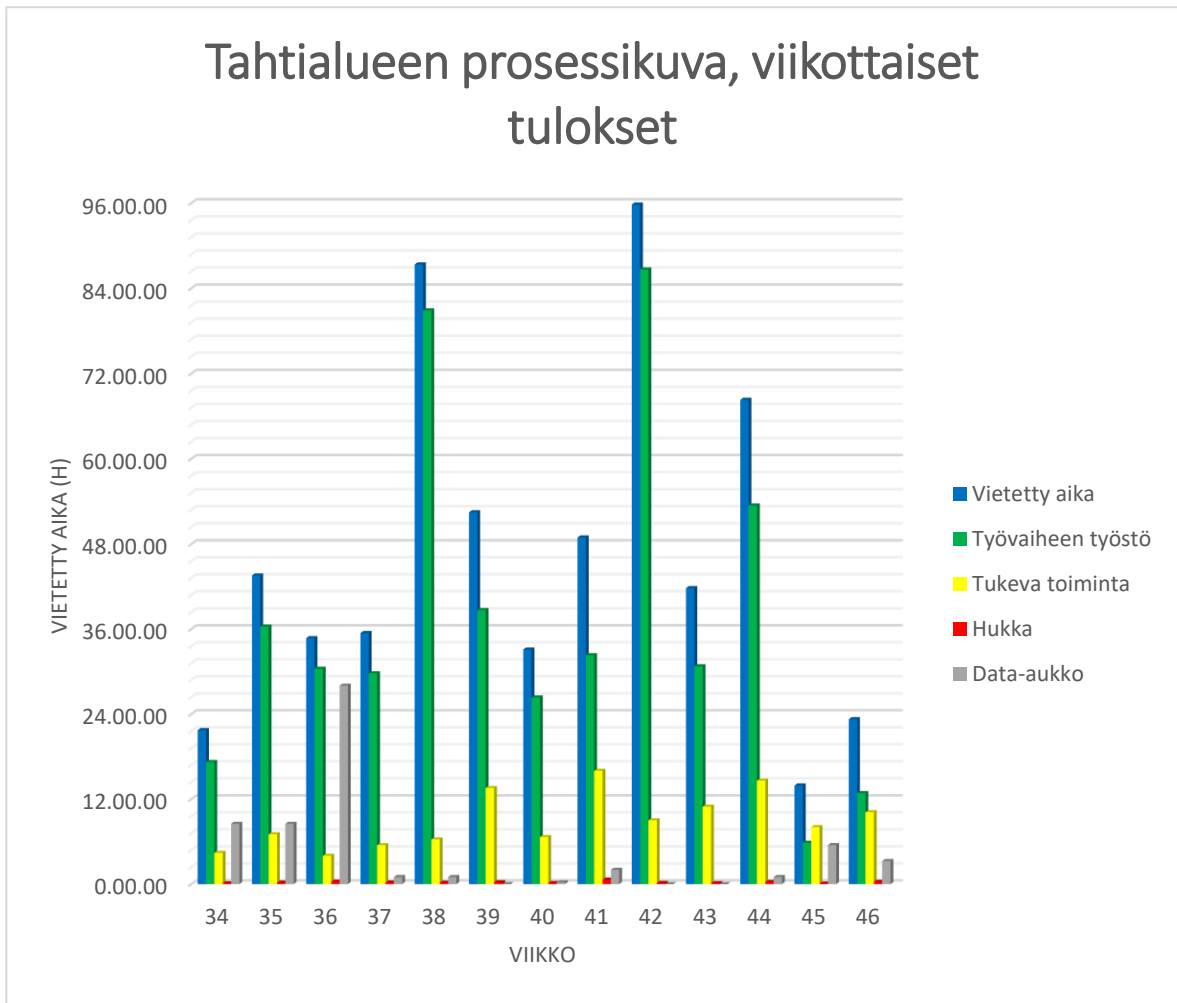
Yksi diplomityön tavoitteen toteutumisen kannalta tärkeä tulos oli työn ensimmäisen alatutkimuskysymyksen mukaan, luoda kattava prosessikuva tahtituotannon sisävaiheen osalta, niin tahtialueena toimivan asuinkerroksen, kuin myös videokuvattujen asuntojen osalta. Prosessikuvaa lähdettiin luomaan merkkamalla jokaisen työntekijän toimintaa ja vietettyä aikaa tahtialueella sekä asunnoissa A11 ja A12. Tahtialueen sekä asuntojen prosessikuvat ovat diplomityön liitteinä 1–3. Taulukossa 7 on esitettyä osa liitteestä 1, viikko 34 käytävän prosessikuvasta. Prosessikuvat on lajiteltu viikoittain, ja niihin on jokaisen työntekijän osalta merkattu päiväkohtainen tahtialueella vietetty aika, sekä värikoodilla merkitty toiminnan laatu. Vihreä merkintä tarkoittaa pääprosessisen sisätyövaiheen toteutusta tutkimusalueella, keltainen merkintä tarkoittaa tukevaa työvaihetta tai toimintaa, ja punainen merkintä tarkoittaa tutkimusalueella esiintyvää turhaa toimintaa tai liikkumista, eli hukkaa.

Taulukko 7.Osa liitteen 1 prosessikuvasta.

| Työntekijöiden esiintyminen tahtialueella (A-3.kerros) | | 34 | | | | | |
|--|---------------------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | | Viikko | 18.elo | 19.elo | 20.elo | 21.elo | 22.elo |
| Työvaiheet | | PVM | | | | | |
| VS | Väliseinä 1-puoli | | 0:22:52 | 5:14:09 | 1:57:36 | | |
| Sähköri 1 | Runkokaapelointi | | | 0:25:09 | 0:24:01 | 0:02:17 | |
| Sähköri 2 | Runkokaapelointi | | | 0:28:05 | 0:41:02 | 0:56:41 | |
| Sähkö työnjohto | Tarkastus | | | | 0:01:00 | | |
| Putkari | Patteriasennukset | | 2:12:44 | 0:18:16 | | | |
| Kuivaus | Kuivausmittaus yms. | | | | | 0:20:47 | |
| Hissi | Hissiasennus | | 0:01:25 | | 0:03:15 | | |
| Etuputsi | Etuputsi | | 2:42:41 | 0:01:50 | 0:02:40 | 1:48:30 | |
| Parveke | Parveketöitä | | | | 0:04:55 | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | 0:06:53 | 0:01:55 | | | |
| tuntimies | Kuivauskalusto | | 2:11:41 | | | | |
| piikkaus | Piikkaus | | 0:13:50 | | | | |
| siivooja | Siivous | | 0:10:45 | 0:05:30 | | | |
| Aret | Yleiset työt | | 0:06:35 | 0:01:50 | | 0:32:35 | |
| duunari | Kiertely | | | | 0:01:54 | | |

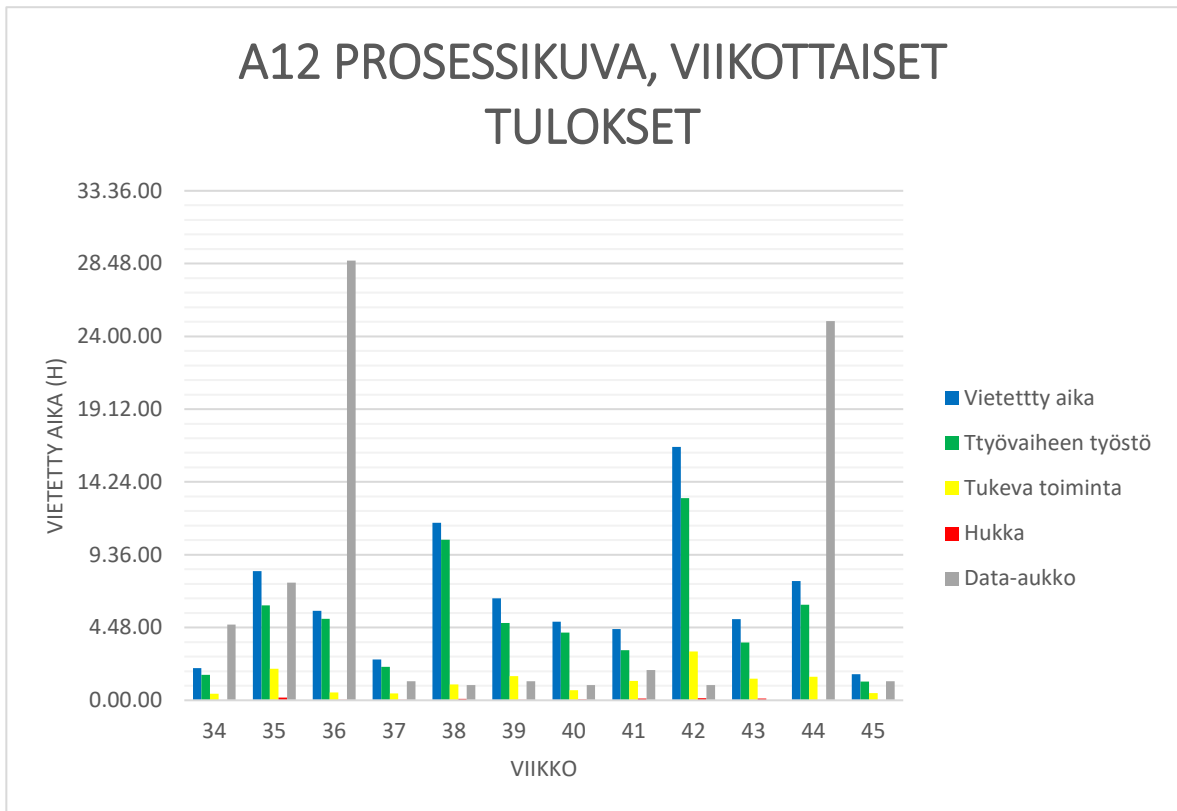
Tarkastellessa koko tahtialuetta koskevaa prosessikuvaa, kuva 10, voidaan huomata merkittävää vaihtelua viikoittaisten toimintojen osalta. Lähes jokaisena päivänä alueella on sisätyövaiheita edistävää toimintaa, tämän määrä kuitenkin vaihtelee reilusti, ja lisäksi, avustavan toiminnan määrä vaihtelee huomattavasti. Alueella esiintyvä hukka on prosessikuvissa pientä, sillä prosessikuviin ei ole huomioitu työvaiheen sisällä esiintyvää hukkaa, vaan prosessikuviin toiminta on laskettu hukkana, jos työntekijän päivän aikana suorittama toimintaa on pelkästään tahtialueella esiintyvää kiertelyä tai oleskelua. Tarkempi prosessikuvien määrittely, joka erittelisi ja mittaisi päivän aikana esiintynyttä hukkaa/tuottavaa työtä, ei ollut tämän työn osalta mahdollista, sillä erittäin suuren datan myötä, työn määrä olisi ollut kohtuuttoman suuri diplomityön osalta.

Kuvasta 10 voidaan huomata, että viikoilla 38 (maalaus ja seinän laatoitus) ja 42 (kalusteasennus) tahtialueella on esiintynyt huomattavasti enemmän toimintaa, ja että viikon 44 jälkeen, listoituksen valmistuttua ja sisävaiheen loppuessa, toiminta alueella väheni selvästi. Lisäksi kuvausjakson alussa, viikolla 34, toimintaa on esiintynyt vähemmän, mikä data-aukkojen lisäksi selittyy osittain lyhyemmän kuvausviikon myötä. Prosessikuvan esittämä toiminnan määrän vaihtelu käy myös yhteen ylempänä esitettyjen työvaiheiden keston ja vietetyn ajan tuloksien kanssa. Kuvaan on lisätty videokuvauksessa esiintyneet data-aukot, ja tästä voidaankin huomata, että tutkimuksen alussa, varsinkin viikon 36 aikana (kameroiden peitto tasoitustöitä varten), esiintyi huomioitava määrä aukkoja datassa. Työvaiheita ja tuotantoa tukevaa toimintaa on esiintynyt enemmän viikkoina 39, 41 ja 44, kun alueella on esiintynyt normaalia enemmän siivousta ja materiaalien haalausta (esimerkiksi viikolla 41 ennen viikon 42 kalusteasennusta). Muuta merkittävää avustavaa toimintaa on ollut kuivauskaluston operointi ja kosteusmittausten suorittaminen tahtialueella.

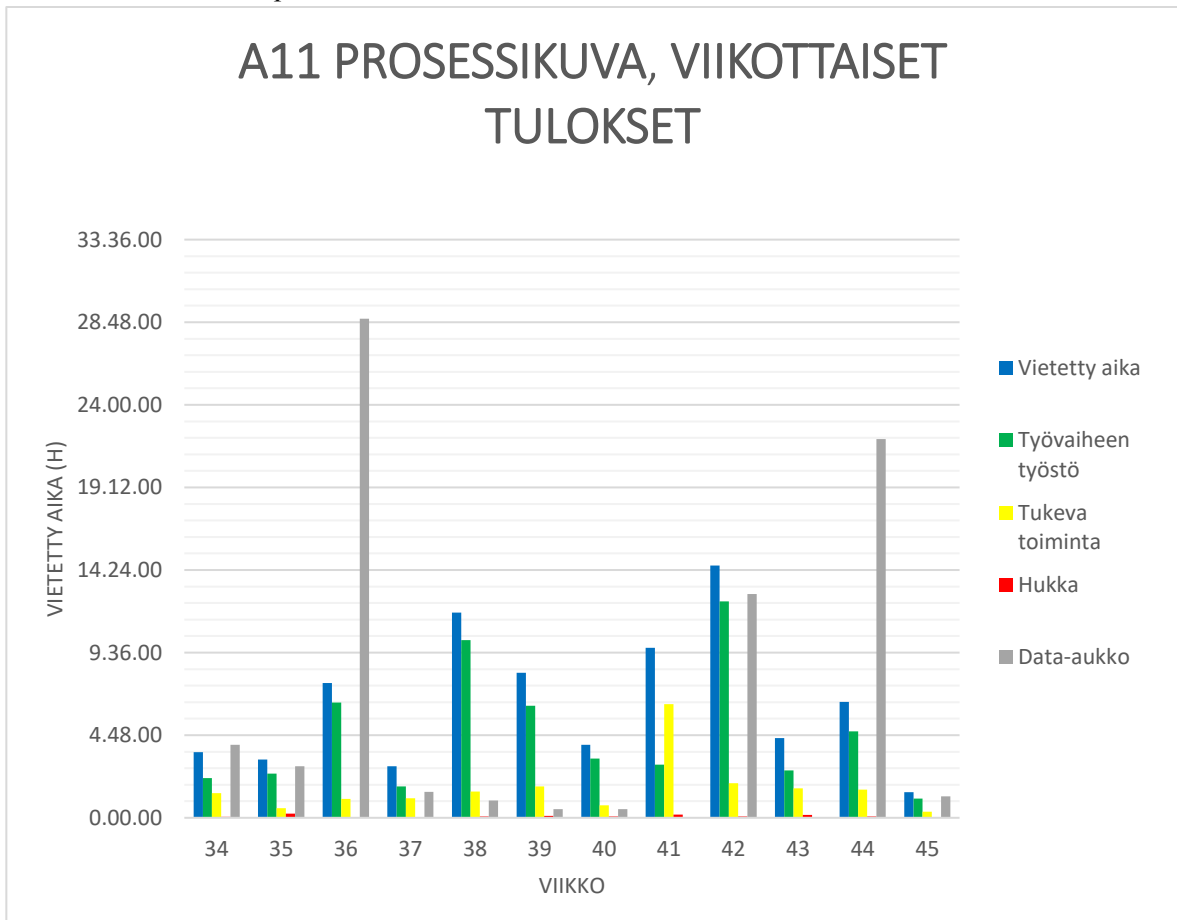


Kuva 10. Tahtialueen prosessikuva.

Tarkastellessa asuntojen A11 sekä A12 prosessikuvia, kuvat 11 ja 12, voidaan huomata suurempaa osuutta avustavan toiminnan osalta. Asuntojen toiminnan suhteet seuraavat osittain tahtialueen arvoja, mutta suurempaa vaihtelua viikoittaisten määrien suhteen on kuitenkin nähtävissä. Kuten tahtialueen osalta, viikkoina 38 ja 42 on eniten toimintaa alueella, mutta muuten toiminnan määrä vaihtelee suuremmin viikkojen välillä, kuin mitä se vaihteli kokonaisen tahtialueen osalta. Asuntojen välillä on myös huomattavia viikoittaisia eroja, johtuen työmäärien ja toteutuksen vaihtelusta. Esimerkiksi, A11 on parvekkeellinen asunto, joka tuo hieman lisää työvaiheita asuntoon, ja asuntoa käytettiin myös materiaalien haalausta ja varastointia varten, mikä esimerkiksi viikolla 41 selittää suuren eron asuntojen toiminnan välillä, sekä A11 suuren avustavaan työn määrän kyseisellä viikolla. Data-aukkoja esiintyi myös asuntojen osalta merkittävästi tutkimuksen alussa, mutta myös erittäin merkittävästi viikon 44 listoituksen ja oviaasennuksen yhteydessä sekä viikon 42 aikana asunnossa A11, kun johtoja jouduttiin irrottamaan asennusten tieltä. Käytävän kameran avulla saatiin kuitenkin hyvin seurattua ja mitattua asunnoissa A11 ja A12 vietettyä aikaa näiden data-aukkojen aikana, minkä myötä asuntojen prosessikuvan tieto vastaa lähelle totuutta. Asuntojen videokuvassa esiintyi myös reilusti enemmän puutteellisia tiedostoja verrattuna käytävän kameran tiedostoihin. Käytävän kameran avulla pystyttiin kuitenkin tässäkin seuraamaan hyvin työntekijöiden viettämää aikaa (ja toiminnan päiväkohtaista laatua) asunnoissa.



Kuva 11. Asunnon A12 prosessikuva.



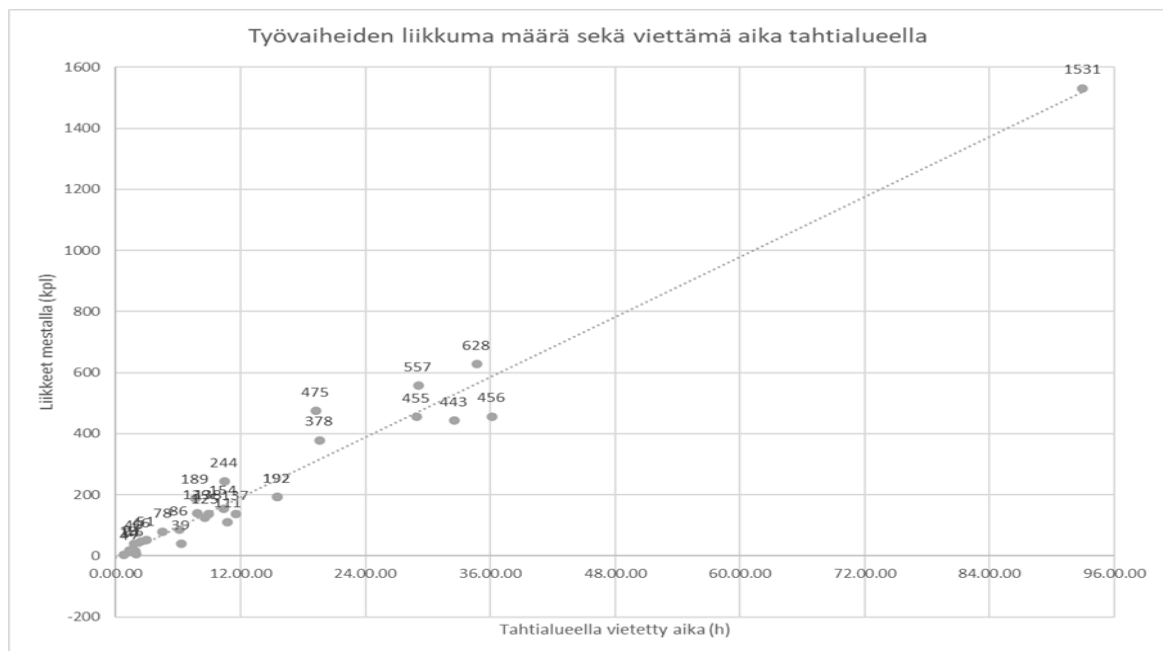
Kuva 12. Asunnon A11 prosessikuva.

4.2 Työntekijöiden liikkeen sekä keskeytymättömän työn määrä

Työn toinen alatutkimuskysymys, ”Miten paljon liikkumista ja keskeytymätöntä työtä esiintyy tahtialueella?”, liittyy Sacksin (2016) esittämään optimaalisen prosessien virtauksen ehtoon, jonka mukaan tuotannossa tulisi esiintyä mahdollisimman vähän turhaa toimintaa. Ylimääräinen liikkuminen tahtialueella on turhaa toimintaa, ja liike myös samalla vähentää keskeytymättömän työn määrää. Täten, työntekijöiden liikkumisen ja keskeytymättömän työn määrän mittaaminen ovat tutkimuksen kannalta keskeisiä mittareita.

Liikkumisen sekä keskeytymättömän työn määrän tuloksiin on merkitty tahtityövaiheiden, sekä aikataulun ulkopuolella olevien selkeiden työvaiheiden tuloksia. Tuloksiin ei ole lisätty työntekijöitä, joilla ei ole selkeätä ja ajallisesti merkittävää toimintaa tahtialueella, sekä työvaiheiden ulkopuolisia tuntityöntekijöitä, sillä näiden työntekijöiden tehdessä tukevia töitä, ei heidän liikkeensä ja keskeytymättömän työn määrää nähdä tämän työn kannalta oleellisena. Liikkumisen ja keskeytymättömän työn määrän tulokset on listattu taulukkoon 8. Taulukkoon on merkitty työvaiheittain tahtialueella mitatun liikkeen sekä oleskelun määrä, käynnit on lajiteltu niiden pituuksien perusteella, ja keskeytymättömän työn määrä (yli viiden minuutin käynnit) on laskettu sekä sen osuutta on verrattu tahtialueella vietettyyn aikaan. Taulukon perusteella voidaan nähdä selkeitä eroavaisuuksia liikkumisen sekä keskeytymättömän työn määrässä eri työvaiheiden välillä.

Kuten taulukosta 8 voidaan nähdä, esiintyi tutkitulla tahtialueella suurta vaihtelua, kun tarkastellaan työntekijöiden ja urakoitsijoiden liikkumisen määriä työvaiheiden aikana. Kalusteasennuksessa esiintyi reilusti eniten liikehdintää (yli 1500 liikettä), kun suurimassa osassa työvaiheista liikkuttiin muutamia satoja kertoja, ja osalla työvaiheista liikkumisen määrä jäi jopa alle sataan. Kuitenkin verrattessa näitä arvoja tahtialueella vietettyyn aikaan työvaiheittain, seuraavat arvot suureksi osaksi samaa suuntaviivaa, katso kuva 13. Tämä indikoi, että liikkeen määrä verrattuna tahtialueella vietettyyn aikaan pysyy työvaiheesta riippumatta lähes vakiona.



Kuva 13. Liikkumisen ja vietetyn ajan määrien suuntaviiva.

Taulukko 8. Liikkumisen sekä keskeytymättömän työn määrä.

| Työvaiheen liikkuminen ja keskeytymättömän työn määrä | | vietetty aika | Käynnit/ liikkeet mestalla | Lyhyt (alle 1 min) | Keski (1-5min) | Pitkä (yli 5 min) | Pitkä-summa | Pitkä osuus |
|---|------------------------------|---------------|----------------------------|--------------------|----------------|-------------------|-------------|-------------|
| Työvaihe | Työntekijät | | | | | | | |
| Asuntojen runkokaapelointi | Sähköri 1 ja Sähköri 2 | 2:54:58 | 51 | 27 | 9 | 15 | 2:24:19 | 82 % |
| Etuputsi | Etuputsi | 4:31:11 | 78 | 34 | 26 | 18 | 3:10:38 | 70 % |
| VS työpuoli | VS | 7:37:41 | 189 | 99 | 67 | 23 | 4:18:07 | 56 % |
| Patteriasennus | Hitsari | 15:31:52 | 192 | 89 | 62 | 41 | 12:05:34 | 78 % |
| Asuntojen kaapelointi | Sähköri 1 ja Sähköri 3 | 32:30:33 | 443 | 240 | 100 | 103 | 26:36:23 | 82 % |
| VS tuplaus ja alakatot | VS | 10:28:44 | 244 | 90 | 119 | 35 | 5:10:40 | 49 % |
| Tasoitus | Tasoittaja 1 ja Tasoittaja 2 | 21:06:32 | 302 | 98 | 127 | 77 | 15:16:17 | 72 % |
| KPH valmistelu | Aret | 1:46:42 | 40 | 13 | 21 | 6 | 0:49:10 | 46 % |
| Vesijohtohajotukset | Putkari | 10:20:26 | 154 | 101 | 33 | 20 | 8:19:17 | 80 % |
| Maalaus | Maalari | 36:08:52 | 456 | 284 | 97 | 75 | 30:44:46 | 85 % |
| Laatoitus seinä | L1 ja L2 | 34:42:46 | 628 | 392 | 150 | 86 | 26:18:19 | 76 % |
| Laatoitus lattia | L1 ja L2 | 19:15:19 | 475 | 341 | 86 | 48 | 13:50:51 | 72 % |
| Sähkökalustus | Sähköri 4 ja Sähköri 1 | 28:55:22 | 455 | 263 | 102 | 90 | 22:42:16 | 79 % |
| Kromit | Putkari | 8:55:03 | 138 | 96 | 17 | 25 | 7:38:12 | 86 % |
| Verhokiskot | Verho | 1:50:15 | 16 | 4 | 5 | 7 | 1:37:51 | 89 % |
| Alakatto, KPH | KPH katto | 7:51:00 | 139 | 73 | 37 | 29 | 5:47:12 | 74 % |
| Kalusteet | Kaluste 1,2,4 | 92:56:36 | 1531 | 799 | 454 | 278 | 69:24:59 | 75 % |
| IV-kalustus | IV | 1:51:15 | 53 | 24 | 21 | 8 | 0:53:00 | 48 % |
| Laminaatti | Laminaatti | 19:34:30 | 378 | 244 | 91 | 43 | 14:20:10 | 73 % |
| Listoitus ja ovi-asennus | Ovi, Ovi 2, lista | 30:04:40 | 587 | 257 | 232 | 98 | 18:33:50 | 62 % |
| LV-kalustus | Putkari | 10:45:40 | 111 | 63 | 14 | 34 | 9:48:30 | 91 % |
| Kodinkoneet | neljä asentajaa | 8:36:25 | 125 | 47 | 43 | 35 | 6:22:10 | 74 % |
| Kodinkonekytkentä | APK | 1:25:30 | 14 | 4 | 4 | 6 | 1:14:30 | 87 % |
| Plaaniovien asennus | Ovi ja Ovi 2 | 6:07:53 | 86 | 27 | 35 | 24 | 4:30:38 | 74 % |
| Lukitus ja heloitus | Lukko | 1:19:35 | 19 | 5 | 7 | 7 | 1:04:25 | 81 % |
| Suihkuseinät | S ovi | 2:27:00 | 46 | 20 | 15 | 11 | 1:48:50 | 74 % |
| Alakatto, käytävä | Käytävän katto | 1:57:45 | 7 | 3 | 1 | 3 | 1:52:20 | 95 % |
| Käytävän sähköt | Sähköri 3 | 0:48:38 | 4 | 0 | 2 | 2 | 0:44:10 | 91 % |
| Tele | Tele 1 ja Tele 2 | 6:17:55 | 39 | 17 | 4 | 18 | 6:01:25 | 96 % |
| Eristys | Eristäjä ja Eristäjä 2 | 11:30:42 | 137 | 86 | 25 | 26 | 10:02:43 | 87 % |

Tarkastellessa keskeytymättömän työn osuuksia tahtialueella (yli viiden minuutin käyntien summa verrattuna tahtialueella vietettyyn aikaan), on vaihtelu hieman pienempää. Joidenkin pienten työvaiheiden osalta päästään yli 90 % osuuteen, kun suurin osa työvaiheista on hie-

man 80 % tason molemmin puolin. Vain väliseinäasennuksilla sekä KPH valmistelun työvaiheella oli alle 60 % taso. Merkitsevimmät syyt liikkeen ja keskeytymättömän työn vaihtelulle ovat tutkimuksen mukaan: työvaiheen ominaisuudet, logistiikan toteutus sekä työntekijöiden määrä.

Työvaiheen ominaisuudet vaikuttivat merkittävästi tahtialueella esiintyneeseen työvaiheiden toimintaan. Merkitsevimpinä ominaisuuksina esiintyivät työvaiheen vaaditun työn määrä, eli kuinka isosta työsuoritteesta on kyse, sekä materiaalien kuivumisen vaikutus työvaiheen toteutustapaan. Suuremman työsuorituksen työvaiheet, kuten kalusteasennus sekä laatoitukset, jotka lisäksi suoritetaan useamman työntekijän työryhmillä luovat luonnollisesti enemmän liikettä ja vietettyä aikaa tahtialueella, kuin pienemmät työvaiheet. Kuivumisajat vaikuttavat merkittävästi työvaiheen toteutustapaan, esimerkiksi tasoituksen ja maalauksen sekä laatoituksen osalta. Kuivumisen myötä työvaiheen työosat suoritetaan vaiheittain koko alueen osalta sen sijaan, että koko työvaihe suoritettaisiin valmiiksi asuntokohtaisesti. Tämä luo työvaiheeseen ylimääräistä liikkumista ja keskeytymättömän työn katkeamista, kun asuntojen välillä joudutaan liikkumaan useammin.

Logistiikka, sisältäen materiaalien haalauksen sekä säilytyksen kuin myös materiaalien työstön toteutuksen, vaikuttaa merkittävästi tahtialueella esiintyvään liikkumiseen ja keskeytymättömän työn osuuteen. Materiaalien säilytyksen vaikutus liikkeeseen huomattiin erityisesti väliseinäasennuksen osalta, jossa kipsilevyt ja rangat oli varastoitu kahteen asuntoon, ja joista niitä haettiin lähestulkoon kipsi kerrallaan asuntoon, jossa työvaihetta työstettiin. Kehnosti toteutetun logistiikan myötä, väliseinäasennusten keskeytymättömän työn osuus onkin reilusti muita työvaiheita heikompi. Myös laminaattiasennuksen sekä listoituksen osalta oli sama materiaalien säilytystapa, näissä työvaiheissa materiaalit kuitenkin siirrettiin suuremmissa määrissä asuntoihin, joissa asennus tapahtui, ja liikettä ja työn keskeytymistä ei täten esiintynyt yhtä paljon. Kalusteet, ovet sekä laatat haalattiin ennen työvaiheen alkamista asuntoihin, joten näiden työvaiheiden osalta ei esiintynyt suurta materiaalien siirtelyä asuntojen välillä. LVIS-töiden osalta materiaalit siirtyivät enimmäkseen työntekijän mukana asunnosta toiseen, lisäksi ylimääräisenä materiaalivarastona toimi usein asunto A12, josta materiaaleja haettiin tarpeen vaatiessa. Asunnossa A12 tehtiin myös materiaalien työstöä, kuten esimerkiksi sähkörasioiden ja putkiosien valmistelua.

Myös materiaalien työstöalue vaikutti liikkumisen määrään ja keskeytymättömän työn osuuteen. Useimmissa työvaiheissa materiaalit työstettiin asunnoissa, joissa työvaihe suoritettiin, tai alueella, jossa materiaali säilytettiin. Täten, näissä työvaiheissa ei esiintynyt ylimääräistä liikettä, joka johtuisi pelkästään materiaalien työstöstä. Toisaalta jos materiaalit olisi säilytetty valmiiksi asunnoittain, ei materiaalien työstöstä olisi syntynyt liikettä ja työn keskeytymistä. Kalusteasennuksessa, laatoituksessa sekä listoituksessa oli kuitenkin olemassa oma materiaalien työstölle varattu tila. Listoituksessa käytetty suuri sirkkelitaso oli sijoitettu käytävään, kalusteasennuksen sirkkeli asuntoon A12 ja laatoittajat siirsivät omaa laattojen leikkuupistettä muutaman asunnon välillä. Näissä työvaiheissa esiintyi huomattava määrä lii-

kettä, joka johtui materiaalien työstöstä. Toisaalta varsinkin listoituksen osalta, suuri sirkkelitaso ei olisi mahtunut huoneisiin, joten materiaalien työstö käytävällä oli järkein vaihtoehto. Kalusteasennuksessa kolme työntekijää jakoi yhtä sirkkeliä, minkä myötä sirkkelin pitäminen yhdessä pisteessä voidaan pitää järkeväenä, toki jokaisella asentajalla voisi olla oma sirkkeli.

Myös työvaiheen sisältämä työntekijöiden määrä, eli työryhmän koko, vaikuttaa videokuvan perusteella tutkittuun liikkumiseen. Tämä oli huomattavissa laatoituksen sekä kalusteasennuksen osalta, joissa työryhmän koko loi enemmän sosiaalista kanssakäyntiä työvaiheen suorituksen aikana. Varsinkin kalusteasennuksen osalta, jossa työryhmään kuului kolme asentajaa (ja yksi työnjohtaja), oli huomattavissa, että tahtialueella tapahtui välillä jopa runsasta liikkumista työntekijältä toiselle. Liikkumisen syihin kuuluivat asennukseen liittyvät avun- tai neuvonpyynnöt, työvälineiden tai materiaalien haku toiselta työntekijältä, seuran hakeminen tauoille, sekä yleinen sosiaalinen kanssakäynti.

4.3 Tuotannossa esiintyvä paluuvirtaus ja uudelleentyöstö

Työn kolmas alatutkimuskysymys, ”Miten paljon paluuvirtausta sekä uudelleentyöstöä esiintyy tahtialueella?”, liittyy Saksin (2016) esittämiin optimaalisen virtauksen ehtoihin, joista kaksi prosessien optimaalista virtausta käsittävää ehtoa on, että tuotannossa ei esiinny paluuvirtausta eikä tuotannossa esiinny työvaiheiden uudelleentyöstöä. Urakoitsijoiden ja työntekijöiden paluuvirtauksen sekä työvaiheiden uudelleentyöstön määrän mittaaminen ovat siis tämän tutkimuksen kannalta keskeisiä mittareita.

Prosessikuvien perusteella, liitteet 1–3, voidaan todeta usean urakoitsijan osalta kohtalaista, ja tiettyjen urakoitsijoiden osalta runsasta paluuvirtausta. Työvaiheiden uudelleentyöstöä esiintyi vähäisesti, ja uudelleentyöstön toteaminen oli hieman hankalampaa, sillä videokuvasta oli välillä vaikea todeta, onko kyseessä uudelleentyöstöstä tai esimerkiksi kesken jääneen työsuorituksen työstöstä. Näiden mittareiden osalta, tuloksia arvioitiin selkeiden työvaiheiden ja tahtityövaiheiden työntekijöiden osalta, sillä tuntityöntekijöiden, kuten esimerkiksi siivojaan työnkuvaan kuuluu viikoittainen oleskelu ja paluuvirtaus tahtialueella, tuotantoa tukevan toimintaa suorittaessa.

Tahtialueella esiintynyt paluuvirtaus on esitettyinä taulukossa 9. Taulukkoon on listattu ne työvaiheiden työntekijät, joilla on esiintynyt paluuvirtausta tahtialueella, ja taulukkoon on laskettu ensimmäisen työvaiheen jälkeisen paluuvirtauksen määrä, sekä kuinka paljon paluuvirtauksesta on ollut suunniteltua, uuden työvaiheen suorittamista. Paluuvirtauksen laatu on määritelty prosessikuvan päivänkohtaisten tietojen perusteella, eli jos päivän aikana esiintyneen työntekijän paluuvirtauksen pääasiallinen syy on ollut esimerkiksi uuden työvaiheen suorittaminen, on tämä laskettu kyseiseen kategoriaan. Tarkempi jako, jossa olisi määritelty jokainen tahtialueella tehdyn paluuvirtaukseen kuuluvan käynnin syy, ei ollut tämän työn osalta mahdollista, sillä erittäin suuren datan myötä, työn määrä olisi ollut kohtuuttoman suuri diplomityön osalta. Taulukosta voidaan nähdä, että usean työvaiheen osalta paluuvirtaus on suunniteltua, kun työntekijä palaa toteuttamaan uutta työvaihetta. Paluuvirtausta esiintyi myös merkittävästi, kun mestalle palattiin suorittamaan kesken jäänyt työvaihe valmiiksi, sekä myös vähäisesti työvaiheen uudelleentyöstön osalta.

Taulukko 9. Tahtialueella esiintynyt paluuvirtaus

| Paluuvirtaus | | | | |
|--------------|----------------------------------|-----------------------|--|--------|
| Työntekijä | Työvaiheet | Paluuvirtauksen määrä | Suunniteltu paluuvirtaus (uusi työvaihe) | Osuus |
| VS | 1-puoli + tuplaus ja alakatot | 10:36:37 | 10:28:44 | 98,8 % |
| Sähköari 1 | Sähkötyöt | 20:55:35 | 19:26:51 | 92,9 % |
| Sähköari 3 | Sähkötyöt | 5:38:53 | 5:09:43 | 91,4 % |
| Sähköari 4 | Sähkötyöt | 11:55:41 | 11:17:55 | 94,7 % |
| Putkari | LV-työt | 32:14:41 | 30:39:12 | 95,1 % |
| Hitsari | Hitsaukset | 4:07:44 | 4:03:56 | 98,5 % |
| Tasoittaja 1 | Tasoitus | 0:34:47 | 0 | 0,0 % |
| Tasoittaja 2 | Tasoitus | 0:18:54 | 0 | 0,0 % |
| Maalari | Maalaus | 4:01:23 | 0 | 0,0 % |
| IV | IV-asennukset | 2:02:48 | 1:51:15 | 90,6 % |
| L1 | Laatoitus | 8:47:10 | 8:40:25 | 98,7 % |
| L2 | Laatoitus | 10:58:30 | 10:34:54 | 96,4 % |
| Tele 1 | Teleasennus | 1:48:34 | 0 | 0,0 % |
| Tele 2 | Teleasennus | 0:31:19 | 0 | 0,0 % |
| KPH katto | KPH kattoasennus | 0:08:20 | 0 | 0,0 % |
| Kaluste 1 | Kalusteasennus | 3:05:42 | 0 | 0,0 % |
| Kaluste 2 | Kalusteasennus | 0:10:05 | 0 | 0,0 % |
| Kaluste 4 | Kalusteasennus | 0:35:15 | 0 | 0,0 % |
| Laminaatti | Laminaattiasennus | 0:45:30 | 0 | 0,0 % |
| Ovi | Oviasennus | 2:28:18 | 2:02:38 | 82,7 % |
| Ovi 2 | Oviasennus | 4:06:15 | 4:05:15 | 99,6 % |
| Lista | Listoitus | 1:54:45 | 0 | 0,0 % |

Taulukosta 9 voidaan nähdä, että suunniteltu paluuvirtausta esiintyi LVIS-töissä, väliseinä-asennuksessa, laatoituksessa sekä ovi-asennuksessa, ja että kyseisten työntekijöiden osalta lähes kaikki päiväkohtainen paluuvirtaus oli suunniteltua. LVIS-töiden työntekijöillä oli erityäin runsasta paluuvirtausta tahtialueella, erityisesti työntekijöiden ”Sähköari 1” ja ”Putkari” osalta. Ainakin yksi sähköasentaja kävi, tai suoritti työtä tahtialueella jokaisen tutkittavan viikon aikana, ja LVV-työntekijöillä oli toimintaa alueella lähes jokaisella tutkimusviikolla. Muita syitä paluuvirtaukselle tutkimuskohteessa ovat, kesken jääneen työvaiheen viimeistely, työvaiheen uudelleentyöstö, materiaalien ja välineiden haku, tuonti tai etsiminen tahtialueella. Paluuvirtausta aiheuttivat lisäksi lyhyet käynnit ja kiertely alueella, jotka useimmiten liittyvät materiaalien, välineiden tai henkilöiden etsimisien lisäksi, yleiseen kiertelyyn ja tilanteen seurantaan työmaalla. On kuitenkin huomioitava, että välillä videokuvan perusteella ei voitu päätellä tahtialueella oleskelun ja liikkumisen syitä, varsinkin jos kyseessä oli tunnistamaton työntekijä. Kesken jääneen työvaiheen toteutuksen luomaa paluuvirtausta esiintyi teleasentajien, kalusteasentajien, listoittajan sekä laminaattiasentajan kohdalla, laminaattiasentajan paluuvirtaus johtui A7-asunnon märän lattiaosuuden asennuksista. Lyhyempiä käyntejä mestalla esiintyi lähes kaikkien työntekijöiden tai urakoitsijoiden osalta, kun esimerkiksi materiaaleja tai välineitä tuotiin tai haettiin tahtialueelta.

Työvaiheiden uudelleentyöstön määrän toteaminen oli paluuvirtausta hankalampaa, sillä videokuvan perusteella oli ajoittain vaikea todeta, onko kyseessä työvaiheen uudelleentyöstöä. Arvioinnin vaikeus korostui, jos toiminta ei kohdistunut videokuvattaviin asuntoihin A11 ja A12, joiden videokuvan perusteella olisi ollut helpompaa todeta toiminnan laatu.

Lisäksi joidenkin työvaiheiden osalta, kuten esimerkiksi sähköurakoitsijan eri työsuoritteiden osalta, on videokuvan perusteella vaikeata todeta, onko kyse uudelleentyöstöstä. Selkein ja merkittävin tahtialueella esiintynyt uudelleentyöstö oli maalauksen korjauskierrokset, joita esiintyi tahtialueella kahteen otteeseen. Uudelleentyöstöä esiintyi myös hieman laatoituksessa. Muita mahdollisia uudelleentyöstön vaiheita olivat kalusteasentajien paluuvirtauksen aikaiset toiminnot, mutta tätä ei voitu varmentaa kamerakuvan perusteella. Videokuvan perusteella todetut uudelleentyöstön määrät on listattu taulukkoon 10.

Taulukko 10. Tahtialueella esiintynyt uudelleentyöstö.

| Työvaiheen uudelleentyöstö | | Määrä |
|--|-----------------------------|----------------|
| Työvaihe | Työntekijät | |
| Maalauksen korjaus | Maalari ja Maalari 2 | 7:21:00 |
| Laatoituksen korjaus (reiän leikkaus) | L2 | 0:20:52 |

5 Tutkimuksen yhteenveto ja pohdinta

Tämän työn viimeinen luku alkaa diplomityön tutkimusmenetelmien arvioinnilla. Tämän jälkeen pohditaan tutkimuksesta saatuja tuloksia, ja niitä verrataan työn kirjallisuuskatsaukseen sekä työn tutkimuskysymyksiin. Tulosten jälkeen luvussa käsitellään tutkimuksen konttribuution sekä tutkimuksen luotettavuuden arviointi. Luvun ja koko työn lopuksi käsitellään tutkimuksen pohjalta syntyneitä jatkotutkimusehdotuksia.

5.1 Tutkimusmenetelmien arviointi

Diplomityön empiirisen osuuden pääasiallisena tutkimusmenetelmänä toimi tutkimuskohteessa suoritettu kattava ja pitkäkestoinen tahtialueen videokuvaus, jonka tukena hyödynnettiin muutamaa tutkimuskohteen dokumenttia. Tutkimukseen oli myös pohdittu sisäpaikannuksen hyödyntämistä, mutta yhteysongelmien takia menetelmää ei tässä työssä pystytty hyödyntämään. Videokuvauksella sekä sisäpaikannuksella on omat vahvuutensa sekä haasteensa toteutuksen sekä datankeräyksen ja datankäsittelyn suhteen. Molemmat menetelmät tuottavat huomattavan määrän dataa, mutta datassa on paikoitellen suuriakin aukkoja, mikä myös lopulta johti siihen, että sisäpaikannusta ei käytetty tutkimuksessa.

Empiirisen osuuden pääasiallisena tutkimusmenetelmänä toiminut videokuvaus sopii hyvin empiirisen osuuden tutkimusmenetelmäksi, kun tavoitteena on tarkasti selvittää tietyllä alueella tapahtuvaa liikehdintää ja toimintaa. Täten, tarkastellessa työn päätutkimuskysymystä, ”Miten prosessit virtaavat tahtituotantokohteessa”, on videokuvaus erittäin toimiva menetelmä tutkimaan prosessien virtausta. Videokuvan perusteella voidaan useimmiten, helposti ja selvästi seurata sekä todeta sekuntien tarkkuudella mitä kuvatulla alueella tapahtuu koko mittausperiodin ajan. Myös päätutkimuskysymyksen alla olleita tutkimuskysymyksiä varten videokuvaus on oiva tutkimusmenetelmä. Videokuvan perusteella saadaan luotua kattava ja tarkka prosessikuva koko sisävaiheen toiminnasta, videokuvan perusteella voidaan todeta tahtialueella esiintyvää liikettä sekä keskeytymättömän työn määrää, sekä todeta tutkimusalueella esiintyvää paluuvirtausta ja työvaiheen uudelleentyöstä. Vaikka videokuvaus on oiva menetelmä prosessien virtauksen tutkimiseen ja mittaamiseen, on menetelmän toteutuksessa ja datankäsittelyssä myös haasteita.

Videokuvauksen suunnittelu ja laitteiston hankinta kestivät yllättävän kauan, vaikka suunnittelun ja laitteiston hankinnan haasteista oltiin tietoisia Ruohomäki (2019) ja Salerto (2019) diplomitöiden, ja heiltä saatujen neuvojen perusteella. Suurin haaste tältä osalta oli, sopivan jatkuvaa videokuvausta hyödyntävän kamerajärjestelmän löytäminen. Haasteena oli eritoten löytää sopiva kameroiden ja tallentimen yhdistelmä, jonka avulla kameroiden opeointi ja tiedonsiirto olisi mahdollisimman mutkatonta. Lopulta Firan yhteistyön avulla, sopiva kamerajärjestelmä löytyi, joka täytti tutkimuksen kannalta videokuvauksen tärkeimmät vaatimukset. Ruohomäki (2019) ja Salerto (2019) diplomitöiden perusteella, oli selvää, että videokuvauksen testaukseen ja toteutuksen muokkaukseen ja säätöihin oli varattava tarpeeksi aikaa. Tämä onnistui tutkimuksen osalta, viikolla ennen mittauksen alkamista tutkimusalueella suoritettiin järjestelmän ja kameroiden testaukset sekä toiminnan varmistus. Kamerat ja tallennin asennettiin ja hienosäädettiin lopullisiin paikkoihinsa päivä ennen tutkimuksen aloittamista. Mittauksen alettua huomattiin kuitenkin videokuvauksen ylivoimaisesti suurin haaste tämän diplomityön osalta, suurien tiedostokokojen luomat haasteet muistintäytymisen ja muistinsiirron osalta.

Videokuvauksen tiedettiin tuottavan suuren määrän dataa (Salerto 2019), mutta muistintäyttymisen nopeus sekä etenkin muistinsiirron hitaus pääsi yllättämään tutkimuksessa. Aiemmissä tutkimuksissa on käytetty huomattavasti lyhyempiä kuvausjaksoja ja pienempiä tutkimusalueita, jonka myötä muistintäyttymisen ja muistinsiirron ongelmat ovat saattaneet jäädä huomaamatta. Nämä ongelmat loivat valtavan haasteen tutkimuksen toteutuksen kannalta, sillä kyseisiä ongelmia ei osattu odottaa, ja aluksi oli vaikea havainnoida mitä ongelmat tarkoittaisivat videokuvauksen toteutuksen sekä tutkimuksen onnistumisen kannalta. Ongelman selvittämiseksi, arvioitiin aluksi tallentimen muistintäyttymisen nopeus, kun videokuvauksen kuvausjaksoksi asetettiin 6.00–18.00. Työmaan virallisen työajan ollessa 7.00–15.30, voitiin asetetun kuvausjakson olettaa kattavan työmaan toiminnan sen verran hyvin, että videokuvauksen kuvausjakson ulkopuolella ei tapahtuisi tutkimuksen kannalta merkittäviä tapahtumia tutkimusalueella. Tällä valinnalla tallentimen muisti täytyisi kahden viikon aikana.

Muistintäyttymisen lisäksi, suuren ongelman loi erittäin hidas muistinsiirto videokuvauksen tallentimelta ulkoiselle kovalevyllä. Muistin täyttämä kahden viikon kuvausaineiston muistinsiirto kesti noin 48 tuntia, eli lähes kokonaisen viikonlopun. Tämä tuotti ajallisen sekä logistisen ongelman videokuvauksen toteutuksen kannalta, sillä muistinsiirron aikana ei voitu toteuttaa videokuvausta. Muistinsiirto jouduttiin suorittamaan kotona, missä siirron toteutumista ja onnistumista pystyttiin seuraamaan. Tutkijan oman ehtimisen, logististen syiden sekä työmaalla tapahtuvan toiminnan perusteella, videokuvauksen muistinsiirto toteutettiin joko yhden tai kahden viikon välein. Tutkija selvitti työmaalta, olisiko tahtialueella toimintaa viikonloppujen aikana, ja pyrki mahdollistamaan muistinsiirron niin, että kun tahtialueella olisi toimintaa viikonlopun aikana, olisi myös videokuvaus silloin käynnissä. Tässä onnistuttiin aika hyvin mittausjakson aikana, ja vain yhtenä viikonloppuna voidaan varmuudella todeta, että muistinsiirron myötä jäi merkittävä toiminta työmaalla mittaamatta (lattioiden laatoitus muutaman asunnon osalta). Lisäksi valittu kuvausjakso (6.00–18.00) toimi hyvin, ja vain muutamina päivinä voitiin todeta, että kuvausjakson ulkopuolella oli esiintynyt toimintaa.

Tarkastellessa itse videokuvausta ja sen onnistumista, oli se suurimmaksi osaksi onnistunutta. Toisin kuin Salerto (2019) ja Ruohomäki (2019) tutkimuksissa, työn tutkimuksessa kameroita ei merkittävästi peitelty tai siirretty ilman lupaa, ja tapahtuneet siirrot liittyivät työvaiheen toteutuksen edellytyksiin. Kameroita peiteltiin tai siirrettiin muutaman työvaiheen kohdalla (väliseiniä tuplaus, tasoitus, kalusteasennus sekä listoitus- ja oviaasennus). Työssä huomattiin, että hyvän kommunikaation ylläpito työnjohdon, työntekijöiden sekä tutkijan välillä on tärkeää, jotta tulevat kameroiden siirrot ja peittelyt voidaan suunnitella hyvin, vähentäen dataan muodostuvaa aukkoa. Tämä huomattiin varsinkin tasoitustöiden osalta, kun kamerat jouduttiin suojaamaan, ja hieman huonon kommunikaation ja kiireen myötä kamerat peitettiin turhan aikaisin, mikä johti turhan suureen data-aukkoon muun muassa väliseinätöiden tuplauksen osalta. Videokuvauksessa oli myös joitakin aukkoja, jotka johtuivat viallisista tiedostoista sekä työmaasähköjen siirtämisestä tai niiden hetkellisestä katkaisemisesta. Ensimmäisen kahden viikon aikana oli huomattava määrä aukkoja, johtuen viallisista tiedostoista, jossa videokuvan viimeinen osa, useimmiten 15 min pätkä 60 min tiedostosta oli viallinen. Tämä ongelma saatiin kuitenkin korjattua, ja seuranneen mittausjakson aikana oli vain muutamia ongelmia tiedostojen kanssa, kun asuntojen A11 ja A12 kameroissa oli hieman viallisia tiedostoja sekä kun työmaan sähköjä siirrettiin. Lisäksi asuntojen kameroiden näkökentät eivät kattaneet aivan kokonaan asuntoja, minkä vuoksi osaa toiminnasta ei voitu varmuudella todeta.

Vaikka videokuvaus antaa tarkkaa ja vääristämätöntä tietoa, niin tutkimuksessa huomattiin tiettyjen tehtävien, eritoten LVIS-asennusten osalta, että pelkän videokuvan perusteella oli välillä hieman vaikea todeta, mistä työvaiheesta tai toiminnasta oli kyse. Toteamisen vaikeus johtui myös siitä, että tutkijalla on rajattu tieto talotekniikan osa-alueista. Täten, kyseisissä tapauksissa olisi jatkossa hyödyllistä tukea videokuvausta jonkin toisen tutkimusmenetelmän avulla. Esimerkiksi, kyseisistä työvaiheista ja tehtävistä perillä olevien henkilöiden haastatteluilla tai kyselyillä voitaisiin selvittää videokuvausella määrittelemättömäksi jäävä tieto, sekä myös syventää videokuvasta saatavaa tietoa.

Kuten Salerto (2019) huomautti, videokuvaus tuottaa suuren määrän dataa. Muistintäytty-misen sekä muistinsiirtojen ongelmien lisäksi, videokuvan läpikäynti, datan merkkäminen sekä tulosten analyysi ovat erittäin pitkäkestoinen sekä työmäärältään suuri prosessi. Varsinkin tämän työn erittäin laaja ja tarkka mittausjakso, usealla kameralla eri ympäristöissä, johti erittäin suureen työmäärän datankäsittelyn osalta. Täten, tutkimuksissa tulisi huomioida ja suunnitella videokuvaus ja videokuvan käsittely niin, että datankäsittelyyn ei kuluisi kohtuuttoman suurta työmäärää. Videokuvan datankäsittelyn työmäärän vähentämiseksi voisi myös tutkia automaattisten datankäsittelymenetelmien toimivuutta videokuvan käsittelyn osalta.

Tutkimukseen pohditun ja myöhemmin yhteysongelmien takia kuopatun sisäpaikannuksen osalta, ongelmia syntyi heti mittauksen alussa. Sisäpaikannuksessa käytetty iCONS-laitteisto päästiin asentamaan vasta väliseinäsennuksen alettua kohteessa, ja täten laitteistoa ei ehditty kunnolla testaamaan ennen mittauksen aloittamista. Työmaalla olleen heikon verkko-yhteyden takia välilaitteet jouduttiin siirtämään ensimmäisen viikon jälkeen käytävien katosta ovenaukkoihin, jossa signaali saatiin toimimaan hieman paremmin. Myös laitteiston kiinnitys kattoon oli osittain epäonnistunut ja osa tippuneista välilaitteista jouduttiin vaihtamaan. Sisäpaikannuksessa syntyvät data-aukot ovat selkeästi videokuvausaukkoja vaikeampi hahmottaa, sillä datasta ei voida helposti päätellä onko laitteisto ollut koko ajan toiminnassa ja onko työntekijöiden merkattu sijainti oikea. Yksi merkittävä aukko datassa oli kuitenkin havaittavissa, sillä yksi kolmannen kerroksen välilaitteista ei ole ollut toiminnassa mittausjakson aikana. Muuten datassa olevien aukkojen tai virheiden määrä voidaan selvittää vertaamalla sisäpaikannuksen dataa videokuvaukseen tai muihin työmaalla tehtyihin havaintoihin. Lopulta, laajojen yhteysongelmien myötä, sisäpaikannuksen dataa ei voitu käyttää tutkimuksessa. Tämän työn ongelmista huolimatta, sisäpaikannuksen hyödyntäminen jatkossa on mahdollista, sillä markkinoilla on olemassa useita palveluntarjoajia sekä laitteistoja, joissa tämän työn kaltaiset yhteysongelmat voidaan välttää.

Tutkimusmenetelmien yhteenvetona voidaan todeta, että videokuvaus sopii hyvin vastaavanlaisiin tutkimuksiin, joissa halutaan tutkia ja mitata laajalti sekä tarkasti työmaan tapahtumia, sekä että videokuvaus avulla pystyttiin vastaamaan diplomityön tutkimuskysymyksiin. Videokuvaus osalta tulee kuitenkin huomioida useita menetelmän sekä sen toteutuksen ominaisuuksia, jotka saattavat aiheuttaa ongelmia sekä suurta työmäärää tutkimuksessa. Laitteiston valintaan ja hankintaan sekä videokuvaus testaukseen tulee varata tarpeeksi aikaa, jotta mahdollisin yllätyksiin ja ongelmiin ehditään reagoida. Tässä työssä nousi esille videokuvaus suurien tiedostokokojen luomat ongelmat muistintäytty-misen, muistinsiirron sekä datankäsittelyn osalta. Jatkossa nämä ongelmat tulee huomioida, ja videokuvaus toteutus tulee suunnitella niin, että muistintäytty-misen ja muistinsiirron hallinta on huomioitu, ja että datankäsittelyn suuri työmäärä on huomioitu tutkimuksen osalta. Myös automaattisten videokuvan datankäsittelymenetelmien esilletuonti on tämän työn poh-

jalta huomioitava asia. Vaikka videokuvaus antaa tarkan kuvan tutkittavan alueen tapahtumista, saattaa kuvattu toiminta tiettyjen tehtävien osalta olla vaikeasti todettavissa. Näiden aukkojen tueksi, tutkimuksissa voitaisiin videokuvauksen lisäksi hyödyntää tutkimusmenetelmiä, kuten kyselyitä tai haastatteluja, joiden avulla voidaan saada lisätietoa toiminnasta ja sen laadusta. Sisäpaikannus on käytännöllinen tutkimusmenetelmä, joka tässä työssä epäonnistui tutkimukseen valitun laitteiston yhteysongelmien takia. Markkinoilla on kuitenkin useita toimivia järjestelmiä ja palveluita, joiden avulla tämän työn kaltaiset ongelmat voidaan välttää.

5.2 Tulosten pohdinta

Diplomityön tavoitteena oli tutkia kirjallisuuden perusteella löytyvää tutkimusaukkoa, Lehtovaara et al. (2021) esittämää jatkotutkimusaihetta, prosessien virtauksen mittaaminen tahtituotannossa. Työn empiirinen osuus toteutettiin tapaustutkimuksena, jossa prosessien virtausta mitattiin asuntorakentamisen sisävaiheessa, hyödyntäen tahtialuetta koskevaa videokuvausta. Tutkimalla työntekijöiden toimintaa ja liikkumista, voidaan selvittää prosessien virtauksen toteutumista tahtituotantokohteessa (Lehtovaara et al. 2021). Aloitetaan tulosten pohdintaa diplomityön alatutkimuskysymyksistä, minkä jälkeen tulosten pohdinta vedetään yhteen päätutkimuskysymyksen avulla.

1. Mikä on tahtituotantokohteen sisävaiheen prosessikuva?

Jotta työn päätutkimuskysymykseen voidaan vastata, on oleellista selvittää mitä toimintoja ja prosesseja tahtituotantokohteen sisävaihe sisältää, eli selvittää miten tahtituotanto on toteutunut tutkimusalueella. Luomalla tahtialueen sekä asuntojen A11 sekä A12 prosessikuvat, saadaan luotua visuaalinen kuva sisävaiheen edistymisestä tahtialueella, jonka tietoja voidaan hyödyntää muun muassa prosessien virtauksen tarkastelemiseen. Kirjallisuudesta ei löytynyt muita tutkimuksia, joissa olisi luotu prosessikuvia. Tahtituotannon toteutumista on toki tutkittu ja visualisoitu (esimerkiksi Salerto 2019, Forsell 2021), mutta päivittäisiä, useiden työntekijän ajallista toimintaa mittaavaa prosessikuvaa ei löytynyt kirjallisuudesta.

Tutkimuskohteen suunniteltu (viimeisin versio) ja toteutunut aikataulu ei täysin seuraa optimaalista tahtiaikataulua, ja työvaiheiden kestoissa sekä tahtialueella vietetyssä ajassa oli vaihtelua suurta vaihtelua. Toteutuman voidaan kuitenkin todeta seuraavan isoksi osaksi suunniteltua aikataulua. Tahtisuunnittelussa alun perin luotua aikataulua ei olekaan tarkoitus seurata täsmällisesti, sillä tämä toimii tuotannon lähtöpisteenä, jota päivitetään ja muokataan tuotannon edetessä (Hagsheno et al. 2016, Binninger et al. 2019, Lehtovaara et al. 2021). Aiemmissa tutkimuksissa onkin huomattu, että tuotannossa esiintyneiden poikkeamien ja ongelmien myötä, toteutunut tahtituotanto lähtee eroamaan suunnittelusta (esimerkiksi Lehtovaara et al. 2019, Salerto 2019, Kujansuu et al. 2020, Forsell 2021).

Tarkasteltaessa luotuja prosessikuvia, voidaan huomata merkittävää päivittäistä vaihtelua sisätyövaiheita edistävän toiminnan sekä avustavan toiminnan osalta. Asuntojen toiminnan

määrä vaihtelee suuremmin viikkojen välillä, ja asuntojen välillä on myös huomattavia viikoittaisia eroja, johtuen työmäärien ja toteutuksen vaihtelusta. Prosessikuvien osoittama vaihtelu on myös kirjallisuudessa hyvin tunnettu rakennustuotannon ominaisuus. Vaihtelua voidaan pitää luonnollisena osana rakentamista (Brodetskaia ja Sacks 2007), ja vaihtelua esiintyykin rakentamisen omaisuuksien myötä runsaasti (Lehtovaara et al. 2021). Muun muassa Ruohomäki (2019) huomasi, että tahtituotannossa oli esiintynyt suurta vaihtelua työvaiheiden kestoissa.

Prosessikuvien yhteenvedona voidaan todeta, että tutkimuskysymykseen ei onnistuttu vastaamaan toivotulla tavalla. Pitkän mittausjakson ja suuren datamäärän myötä, diplomityössä ei pystytty määrittämään prosessikuvia toivotun tarkasti. Päivittäiset tiedot prosessikuvissa antavat yleistä tietoa tuotannon edistymisestä, mutta esimerkiksi tarkempaa tietoa esiintyneestä tyhjän tilan hukasta, turhan toiminnan määrästä tai työvaiheiden tarkemmasta edistymisestä ei pystytty prosessikuvien myötä esittämään. Luodut prosessikuvat, ja niiden sisältämä data toimivat kuitenkin muiden tutkimuskysymysten tukena, sillä prosessikuvien avulla voidaan todeta muun muassa paluuvirtauksen sekä uudelleentyöstön määrää. Tutkimuksen perusteella voidaankin todeta, että päivän tarkkuudella toimiva prosessikuva ei itsessään tarjoa merkittävää tietoa prosessien virtauksesta, mutta toimii kelvollisena tukena prosessien virtausten mittareille.

2. Miten paljon liikkumista ja keskeytymättömyyttä työtä esiintyy tahtialueella?

Virtaukseen liittyä keskeisenä käsitteenä liike, joten prosessien virtauksen kannalta oleellisena mittarina voidaan pitää tahtialueella esiintyvä työntekijöiden ja urakoitsijoiden liikkumisen määrää, sekä liikkumisen muodostamaa keskeytymättömän työn määrää. Optimaalinen prosessien virtaus sisältää mahdollisimman vähän turhaa toimintaa (Sacks 2016), tähän sisältyy tahtialueella esiintyvä ylimääräinen liikehdintä, joka johtuu esimerkiksi materiaalien tai työvälineiden siirtelystä tahtialueen eri sijaintien välillä. Ylimääräinen liikkuminen vähentää työvaiheiden keskeytymättömän työn määrää, täten heikentäen prosessien virtausta sekä tuotannon tuottavuutta.

Tahtituotannon visuaalisen tilannekuvan ja läpinäkyvän tuotannon voidaan todeta edistävän työntekijöiden turhan liikkumisen vähentämistä, sillä tällöin työntekijöiden ei tarvitse liikkua työmaalla etsien vapaata mestaa. Kujansuu et al. (2020) ja Salerto (2019) ovatkin havainneet, että tahtituotannon avulla voidaan vähentää tuotannossa esiintyvää turhaa liikkumista. Ruohomäki (2019) videokuvasi diplomityössään kahta tahtialueena toiminutta huonetta, joissa esiintyi paljon liikettä, noin 80 käyntiä päivässä. Suuri osa käynneistä olivat lyhyitä käyntejä vapaata mestaa etsiessä, tämä voidaan nähdä työn virtaukseen puutteesta johtuvana liikkeenä (Ruohomäki 2019). Tämän työn tutkimuksessa huomattiin, että työntekijöiden ja urakoitsijoiden liikkumisen määrä tahtialueella vaihteli huomattavasti. Kuitenkin verratessa näitä arvoja tahtialueella vietettyyn aikaan työvaiheittain, seuraavat arvot suureksi osaksi samaa suuntaviivaa, indikoiden, että liikkeen määrä verrattuna tahtialueella vietettyyn aikaan pysyy työvaiheesta riippumatta lähes vakiona. Merkkitsevimmät syyt liikkeen määrän

vaihtelulle ovat tutkimuksen mukaan: työvaiheen ominaisuudet, logistiikan toteutus sekä työntekijöiden määrä.

Keskeytymättömän työn määrä on aiemmin tutkittu Zhao et al. (2019) osalta, heidän tuodesaan esille, että mittarin avulla voitaisiin arvioida tuottavan työn määrää rakennuskohteessa. Läsnaolo on välttämätön, mutta riittämätön edellytys arvoa tuottavan työn laskemiseksi (Zhao et al. 2019), keskeytymättömän läsnäolon perusteella voidaan kuitenkin todeta prosessien virtauksen tasoa, sillä mitä vähemmän työnteko keskeytyy, sitä paremmin prosessit virtaavat tuotannossa. Kirjallisuudesta ei löydetty muita tutkimuksia, joissa keskeytymättömän työn määrää olisi arvioitu, ja koska Zhao et al. (2019) tutkimuksissa ei tutkittu tahtituotantokohteita, ei kirjallisuudesta löytynyt vertailuarvoja tahtituotannosta.

Zhao et al. (2019) tutkivat keskeyttämättömän työn määrää kolmessa kohteessa (putkiremontti, toimistotilaremontti, sekä asuinrakennuskohde), hyödyntäen BLE-teknologista sisäpaikannusta. Zhao et al. (2019) esittävät, että 10 minuutin läsnäoloa mestalla tulisi käyttää arvona, joka mahdollistaa arvoa tuottavan työn. Tutkimuksissa on kuitenkin huomattu, että myös alle 10 minuutin käyntien aikana suoritetaan tuottavaa työtä, Ruohomäki (2019) käytti diplomityössään tuottavalle työlle viiden minuutin raja-arvoa, ja lisäksi, Zhao et al. (2019) tutkimuksessa käytettiin myös viiden minuutin raja-arvoa (29–42 %), jonka tulokset eivät paljoa eronneet kymmenen minuutin arvoista (25–36 %). Myös tässä tutkimuksessa huomattiin, että huomattava määrä tuottavaa työtä suoritettiin alle 10 minuutin läsnäololla, minkä vuoksi tutkimuksessa päädyttiin viiden minuutin raja-arvoon. Zhao et al. (2019) tutkimassa asuinrakennuskohteessa keskeytymättömän työn osuudeksi saatiin viiden minuutin raja-arvolla 41,3 % (10 minuutin raja-arvolla oli 35,5 %), tutkimuksessa ei esitellä tarkemmin mitä työvaiheita seurattiin, eikä minkälainen vaihtelu mittarilla oli työntekijöiden kesken.

Tämän työn tulokset keskeytymättömälle työlle ovat huomattavasti suuremmat. Keskeytymättömän työn osuus oli suurimmassa osassa työvaiheista hieman 80 % tason molemmin puolin, ja jopa yli 90 % muutaman työvaiheen osalta. Vain väliseinäasennuksilla sekä KPH valmistelun työvaiheella oli alle 60 % taso, ja jopa nämä ovat reilusti suuremmat arvot kuin Zhao et al. (2019) tutkimuksessa. Tutkimusten välinen suuri ero selittyy sillä, että Zhao et al. (2019) tutkimuksessa tutkittiin keskeytymättömän työn osuutta koko kohteen osalta, ja tässä työssä vain tahtialueen osalta, eli esimerkiksi työntekijän kiertely ympäri työmaata (tahtialueen ulkopuolella) ei vaikuttanut tämän tutkimuksen tuloksiin, kun se taas suoraan vaikutti Zhao et al. (2019) tuloksiin. Tarkastellessa keskeytymättömän työn osuuksia kohteessa, voidaan huomioda, että varsinkin väliseinäasennuksen kohdalla esiintyi paljon mitaria heikentävää liikkumista, joka johtui materiaalien siirtelystä. Tutkimuksen perusteella voidaankin todeta, että logistiikan toteutuksella vaikuttaa olevan suurin merkitys, kun tarkastellaan työvaiheiden keskeytymättömän työn suhteita.

Työvaiheen ominaisuudet, logistiikka, sekä työryhmän koko, vaikuttivat merkittävästi tahtialueella esiintyneeseen työvaiheiden liikkumisen määrään sekä työvaiheiden uudelleen-

työstöön. Suuren mittausaineiston myötä, näiden tarkempaa määrää ja osuuksia ei kuitenkaan voitu määrittää, sillä työn määrä olisi kasvanut liian isoksi diplomityön osalta. Logistiikka ja materiaalien hallinta ovatkin tärkeässä asemassa oleva tuotantoa tukeva olosuhde (Lehtovaara et al. 2021). Logistiset ratkaisut parantavat tahtituotannon toteutumista (Tetik et al. 2019), ja Koivumäki (2020) havaitsi, että logistiikkaratkaisujen myötä, työntekijän materiaaliensiiro sekä liikkeen määrä väheni. Tässäkin tutkimuksessa huomattiin selkeästi, että muun muassa väliseinäasennuksen heikko logistiikka loi huomattavan määrän materiaalien siirtelystä johtuvaa turhaa liikettä, joka myös näkyy hyvin väliseinäasennuksen heikossa keskeytymättömän työn osuudessa. Yhdistäessä liikkumisen ja keskeytymättömän työn mitareita, voidaankin todeta, että mainituista vaikuttajista logistiikan toteutuminen näyttää vaikuttavan merkittävimmin prosessien virtauksen tasoon.

3. Miten paljon paluuvirtausta sekä uudelleentyöstöä esiintyy tahtialueella?

Paluuvirtaus voidaan nähdä rakentamisessa pikemmin sääntönä kuin poikkeuksena (Sacks 2016), kun työntekijää tai urakotisijaa joutuu palaamaan samalle mestalle suorittamaan uutta tai kesken jäänyttä työvaihetta, tai uudelleentyöstämään virheellistä suoritusta. Paluuvirtausta voidaan pitää esimerkiksi LVIS- sekä väliseinäurakoitsijoiden osalta luontaisena osana rakentamista (Brodetskaia et al. 2013). Tahtituotannon on havaittu mahdollistavan, mutta ei takaavan, vahingossa esiintyvän paluuvirtauksen sekä uudelleentyöstön vähentämistä (Lehtovaara et al. 2021). Sacksin (2016) esittämissä optimaalisen virtauksien ehdoissa, optimaalinen prosessien virtaus sisältää mahdollisimman vähän paluuvirtausta sekä työvaiheiden uudelleen työstöä. Täten, mittaamalla tahtialueella esiintyvää paluuvirtausta sekä uudelleentyöstöä saadaan keskeistä tietoa prosessien virtauksen tasosta tahtituotantokohteessa.

Lehtovaara et al. (2021) havaitsivat suunnittelematonta paluuvirtausta tahtituotantokohteissa, kun työvaiheet vaihtelivat sijainteja, jättäen taaksensa viimeistelemättömiä työtä. Tämä johtui suureksi osaksi puutteista tilannetiedossa sekä tiedossa valmiin työsuorituksen vaatimuksista. Lehtovaara et al. (2021) toteavat, että oikea-aikainen ja jatkuva laadunvalvonta, työvaiheiden ennakoedellytysten varmistaminen sekä keskittyminen työvaiheiden mestan luovutuksiin tahtiohjauksessa vähentävät tuotannossa esiintyvää paluuvirtausta ja uudelleentyöstöä. Tahtituotanto antaa siis edellytykset suunnitelmattoman paluuvirtauksen ja uudelleentyöstön vähentämiseksi, tätä kuitenkin takaaamatta (Lehtovaara et al. 2021). Myös Salerto (2019) havaitsi diplomityössään paluuvirtausta, mutta Salerto (2019) tai Lehtovaara et al. (2021) eivät mitanneet paluuvirtauksen määrää. Kirjallisuudesta ei löytynyt tutkimusta, jossa olisi mitattu paluuvirtauksen määrää tahtituotannossa, joten tämän tutkimuksen tuloksille paluuvirtauksesta ei löydy vertailuarvoja.

Paluuvirtaus voidaan pitää luontaisena osana rakentamista LVIS- ja väliseinäurakoitsijoiden osalta (Brodetskaia et al. 2013), mikä myös nousi tässä työssä esille. Suunniteltua paluuvirtausta esiintyi LVIS-työntekijöiden ja väliseinäasentajan lisäksi laatoittajien sekä oviasentajien osalta. LVIS-töissä esiintyi runsaasti paluuvirtausta, mutta tässä tulee huomioida, että

varsinaisten asennustöiden lisäksi, nämä työt vaativat huomattavan määrän taloteknisiä mittauksia, kokeita, säätöjä sekä tarkastuksia, minkä vuoksi asunnoissa joudutaan käymään useampaan otteeseen tekemässä lyhyempiä käyntejä, joiden aikana ei välttämättä suoriteta näkyviä asennuksia. Näkyvän ja selkeästi videokuvan perusteella puuttuvan asennuksen myötä, toiminnan toteaminen on myös vaikeampaa näiden töiden osalta, tämän myös Salerto (2019) huomasi diplomityössään. Suunnitellun paluuvirtauksen lisäksi, noin kymmenellä työntekijällä oli huomattava määrä suunnittelematonta paluuvirtausta

Suunnittelematonta paluuvirtausta esiintyi muun muassa kalusteasentajien, listoittajan sekä laminaattiasentajan kohdalla, joista laminaattiasentajan paluuvirtaus johtui A7-asunnon koston lattiaosuuden asennuksista. Lyhyempiä käyntejä mestalla esiintyi lähes kaikkien työntekijöiden osalta, kun esimerkiksi materiaaleja ja välineitä tuotiin tai haettiin tahtialueelta. Tahtituotannon on esitetty mahdollistavan suunnittelematon paluuvirtauksen vähentämistä (Lehtovaara et al. 2021). Suunnittelematonta paluuvirtausta voitaisiin tämän tutkimuksen tulosten mukaan vähentää: paremmalla logistikalla (lähes kaikki työvaiheet, eritoten listoitus), huolehtimalla, että työvaihe suoritetaan valmiiksi ennen mestalta poistumista (kalusteasennus), sekä rakenteiden ajallisen kuivumisen myötä (laminaattiasennus). Paremmalla työvaiheiden suunnittelulla sekä yhdistämällä työvaiheita, voitaisiin pyrkiä vähentämään myös luontaista paluuvirtausta. Varsinkin LVIS-töiden osalta olisi mahdollista parantaa paluuvirtausta, jotta tahtialueella ei jokaisella viikolla esiintyisi toimintaa, esimerkiksi säätötöiden ja mittauksien virtausta voisi pohtia tarkemmin. Myös laatoittajien ja ovia asentajien paluuvirtauksen määrää olisi pystytty vähentämään reilusti, jos olisi pidetty huolta, että näiden peräkkäiset työvaiheet olisivat jatkuneet ilman ajallista taukoa.

Kujansuu et al. (2020) ja Salerto (2019) eivät havainneet uudelleentyöstöstä esiintyvää paluuvirtausta tahtituotannossa, osittain johtuen lyhyen tutkimusajan sekä toiminnan toteamisen vaikeuden myötä. Kirjallisuudesta ei löytynyt tutkimusta, jossa olisi mitattu uudelleentyöstön määrää tahtituotannossa, joten myös uudelleentyöstöstä ei löydy vertailuarvoja. Uudelleentyöstön määrän toteaminen oli paluuvirtausta hankalampaa, sillä videokuvan perusteella ei aina pysty tarkalleen todeta, mitä toimintaa työntekijää suoritettiin alueella, myös Salerto (2019) havaitsi tämän. Maalauksen korjauskierrosten lisäksi tahtialueella ei esiintynyt ajallisesti tai vaikutukseltaan merkittävää työvaiheiden uudelleentyöstä. Tässä työssä tulee kuitenkin huomioida, että tutkimuksen videokuvaus ei sisältänyt kohteen viimeistely- ja luovutusvaihetta. Viimeistely- ja luovutusvaiheessa voidaan olettaa, että tarkastuskierrosten ja niissä löydettyjen virheiden myötä, uudelleentyöstön määrän olevan huomattavasti suurempaa, kun esimerkiksi kalusteasennuksen sekä listoituksen puutteita käydään korjaamassa. Täten, tutkimuskohteen virheellisten toteutuksien ja niistä johtuvan uudelleentyöstön määrää ei pelkästään tutkimusten tulosten perusteella voida varmuudella todeta. Tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että sisävaiheen aikana ei esiintynyt maalauksen korjauskierrosten lisäksi merkittäviä työvaiheiden uudelleentyöstöä, mikä antaa viitteitä, että sisävaiheen aikana ei esiintynyt merkittäviä virheellisiä työsuorituksia, jotka olisivat vaatineet välitöntä korjausta. Täten, tämän tahtituotantokohteen osalta, onnistuttiin hillitsemään työvaiheen uudelleentyöstön määrää sisävaiheen osalta.

Miten prosessit virtaavat tahtituotantokohteessa?

Tarkastellaan vielä lopuksi yhteenvetona tulosten pohdintaa päämääräisen tutkimuskysymyksen avulla. Tahtituotannon tavoitteena on luoda nopea, tasainen ja jatkuva virtaus, joka vastaa asiakkaan vaatimukseen (Lehtovaara et al. 2021). Tahtituotanto pyrkii optimaaliseen prosessien virtaukseen, muun muassa hyödyntämällä kapasiteettipuskureita (Frandsen et al. 2015), sekä priorisoimalla ”työ odottaa työntekijää” käsitettä (Linnik et al. 2013), sekä hyödyntämällä oikea-aikaista, lyhytsyklisiä ja visuaalista tahtiohjausta (Lehtovaara et al. 2021). Kokonaisvaltainen tahtituotanto, tahtisuunnittelu, tahtiohjaus, sekä tuotantoa tukevat olosuhteet lisäävät tuotannon virtausta, vähentäen tuotannossa esiintyvää suunnittelematonta paluuvirtausta sekä työvaiheiden uudelleentyöstöä (Lehtovaara et al. 2021). Tahtisuunnittelussa luotu aikataulu toimii tuotannon lähtöpisteenä, joka muokataan tahtiohjauksen avulla tuotannon edistyessä ja poikkeamien esiintyessä. (Hagsheno et al. 2016, Binner et al. 2019, Lehtovaara et al. 2021). Poikkeamien ja ongelmien myötä, toteutunut tahtituotanto lähtee eroamaan suunnittelusta (esimerkiksi Lehtovaara et al. 2019, Salerto 2019, Kujansuu et al. 2020, Forsell 2021).

Prosessien virtauksessa tulisi esiintyä mahdollisimman vähän työtä keskeyttävää turhaa liikkumista (Sacks 2016). Visuaalinen ja läpinäkyvä tahtituotanto edistää turhaa liikkeen vähenemistä, varmistamalla, että työntekijät tietävät missä heidän kuuluisi olla. Tutkimuksessa seurattujen työvaiheiden liikkumisen määrät sekä keskeytymättömän työn määrät ja osuudet vaihtelivat runsaasti tahtituotantokohteessa. Työvaiheiden ominaisuudet, logistiikka sekä työryhmien koko vaikuttivat merkittävästi työvaiheiden sisältämän liikkeen ja keskeytymättömän työn määrään. Logistiikkaratkaisut vähentävät työntekijän materiaaliensirtoa sekä liikkeen määrää (Koivumäki 2020). Tutkimuksessa huomattiin, että heikko logistiikka loi huomattavan määrän materiaalien siirtelystä johtuvaa turhaa liikettä. Yhdistäessä liikkumisen ja keskeytymättömän työn mittareita, voidaan todeta, että logistiikka toteutumisen näyttää vaikuttavan merkittävimmin prosessien virtauksen tasoon.

Prosessien virtauksessa tulisi esiintyä mahdollisimman vähän paluuvirtausta sekä uudelleentyöstöä (Sacks 2016), ja tahtituotannon on todettu mahdollistavan suunnittelematon paluuvirtauksen sekä uudelleentyöstön vähentämisen (Lehtovaara et al. 2021). Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että tahtituotantokohteessa esiintyi runsaasti suunniteltua sekä huomattava määrä suunnitelmatonta paluuvirtausta, ja maalauskierron lisäksi työvaiheiden uudelleentyöstöä ei esiintynyt merkittävästi.

5.3 Tutkimuksen kontribuution arviointi

Logistiikka ja materiaalien hallinta ovat tärkeitä tahtituotantoa tukevia olosuhteita (Lehtovaara et al. 2021), ja logistiikkaratkaisujen on havaittu edistävän tuotantoa, ja vähentävän materiaalien siirtelystä johtuvaa liikkumista (Tetik et al. 2019, Koivumäki 2020). Tutkimuksessa havaittiin, että logistiikalla on erittäin suuri merkitys työvaiheiden liikkumiseen ja toimintaan tahtialueella, ja logistiikan toteutuminen voidaan nähdä vaikuttavan merkitse-

vämmin prosessien virtauksessa esiintyvään liikkumiseen ja keskeytymättömän työn määrään. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin, että vaikka liikkeen määrä vaihteli reilusti työvaiheiden välillä, pysyi liikkeen määrä verrattuna tahtialueella vietettyyn aikaan lähes vakiona. Tämä tutkimus on kirjallisuuden perusteella ensimmäinen tahtituotannon tapaustutkimus, joka hyödyntää Zhao et al. (2019) esittämää keskeytymättömän työn määrää, ja täten työn tulokset toimivat aiheen lähtötietoina. Tutkimuksessa havaittiin, että käyttämällä viiden minuutin raja-arvoa, on useimpien työvaiheiden keskeytymättömän työn osuus noin 80 %.

Tahtituotannon on todettu mahdollistavan suunnittelemtoman paluuvirtauksen sekä työvaiheen uudelleentyöstön vähentämisen (Lehtovaara et al. 2021). Kirjallisuudessa esiintyi kuitenkin aukko, sillä näitä paluuvirtauksen ja uudelleentyöstön määrä ei ollut ennen mitattu tahtituotantokohteessa (Lehtovaara et al. 2021), ja tämän tutkimuksen tuloksia voidaankin täten pitää tämän tiedon lähtöarvoina. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että tahtituotantokohteessa esiintyi runsaasti suunniteltua sekä huomattava määrä suunnitelmatonta paluuvirtausta, ja maalauskierroksen lisäksi työvaiheiden uudelleentyöstöä ei esiintynyt merkittävästi tahtituotannon sisävaiheessa.

Tutkimusmenetelmänä toiminut videokuvauksen antoi tutkimuksessa hyvän kuvan menetelmän toimivuudesta, vahvuuksista sekä myös menetelmän ongelmista ja haasteista. Tämä tutkimus nosti varsinkin esille sen, että videokuvauksen tiedostokokojen suuruus luo haasteita tutkimuksen toteutuksen, tiedonsiirron ja datankäsittelyn osalta. Myös videokuvauksen automattisen ja reaaliaikaisen hyödyntämisen esille nosto voidaan pitää tulevaa tutkimusta varten tärkeänä pohdintana. Tutkimuksen kontribuutiona voidaan nähdä, että työ antaa hyvän kuvan tulevia tapaustutkimuksia varten, mitä videokuvauksen toteutuksessa tulee huomioida.

5.4 Tutkimuksen luotettavuus

Arvioidessa tutkimuksen luotettavuutta, arvioidaan tutkimuksen reliabelisuutta sekä validiutta. Reliabelisuus arvioi tutkimuksen ja mittaustulosten toistettavuutta, kun validiutus arvioi tutkimuksen oikeellisuutta, eli tutkimuksen ja sen sisältämien menetelmien sekä mittareiden tarkoituksenmukaisuutta mitata tutkimuksessa tutkittavia aiheita (Hirsjärvi et al. 2007). Työn tutkimusstrategiana toimi tapaustutkimus, mikä jo itsessään rajoittaa työn reliabelisuutta, sillä tapaustutkimukset ovat lähtökohtaisesti ainutkertaisia tapauksia. Tapaustutkimuksista saatujen tutkimustulosten toistettavuus on epätodennäköistä vastaavissa tutkimuksissa, sillä tutkimusta ei voida toistaa täysin samassa ympäristössä. Kolmannessa luvussa esiteltiin empiirisen osuuden tutkimuskohdetta, tutkimuksessa käytettyä tutkimusmenetelmää ja laitteistoa, tutkimuksen toteutusta, sekä kuinka tutkimuksessa syntynyttä dataa on lähdetty työstämään. Näiden tietojen hyvän esittelyn myötä, pyritään mahdollistamaan, että tutkimus olisi mahdollisimman hyvin toistettavissa.

Tutkimusta voidaan pitää validina. Videokuvan avulla voidaan seurata työntekijöiden liikkumista ja toimintaa tahtialueella, eli täyttää työn tavoite, prosessien virtauksen mittaaminen tahtituotannossa. Videokuvauksen avulla pystyttiin myös vastaamaan työn tutkimuskysymyksiin. Videokuvauksessa esiintyi kuitenkin data-aukkoja, ja tutkimuksen datankäsittelyssä on voinut esiintyä yksittäisiä merkkauksivirheitä, sillä tutkimuksessa on käsitelty manuaalisesti erittäin laajaa videokuvamateriaalia, ja yksittäisten näppäily- tai toteamisvirheiden mahdollisuus on olemassa. Näitä puutteita voidaan kuitenkin pitää tutkimuksen erittäin laajaan mittausjaksoon verrattuna varsin pienessä osassa, joten analysoitavaksi saatu videokuva

ja työstetty data voidaan päätellä vastaavan hyvin tahtialueen todellisia tapahtumia ja tuloksia. Niissä työvaiheissa ja tehtävissä, joissa aukot ovat vaikuttaneet tuloksiin merkittävästi, on tämä otettu huomioon tuloksien esittelyssä. Työn tutkimusta voidaan siis pitää luotettavana kokonaisuutena.

5.5 Jatkotutkimusehdotukset

Tämän diplomityön perustella esiin nousseet jatkotutkimusehdotukset perustuvat työn tutkimusmenetelmänä toimineen videokuvauksen hyödyntämisen kehitykselle, sekä tuotannon virtauksien mittaamiselle tahtituotannossa. Tutkimuksen perusteella nousseet kolme jatkotutkimusehdotusta esitellään seuraavaksi hieman syvemmin.

1. Videokuvauksen ja datankäsittelyn automatisointi (reaaliaikainen).

Videokuvaus on tutkimusmenetelmänä oiva väline prosessien virtauksen mittaamiseen, sillä sen perusteella voidaan tarkasti ja luotettavasti selvittää kuvausalueen liikettä ja tapahtumia. Videokuvaus voi kuitenkin olla tutkimusta suorittavalle henkilölle raskas työkalu, sillä suunnittelun ja toteutuksen haasteiden lisäksi, datan läpikäynti on hidasta sekä raskasta. Täten, videokuvauksen ja sen tuottaman datan läpikäynnin automatisointi ja reaaliaikainen hyödyntäminen, olisi kiinnostavaa ja hyödyllinen tutkimuskohde tämän tutkimusmenetelmän hyödyntämisen osalta.

2. Työn virtauksen mittaaminen tahtituotannossa.

Tutkimukseen alun perin pohdittu sisäpaikannus sekä sen myötä suoritettava työn virtauksen mittaaminen tahtituotannossa epäonnistuivat yhteysongelmista johtuneen datan epäluotettavuuden takia. Täten, Lehtovaara et al. (2021) esittämä ja tähän työhön alkuperäisesti pohdittu työn virtauksen mittaaminen tahtituotannossa on selkeä jatkotutkimusehdotus tämän diplomityön osalta.

3. Virtauksien mittaaminen tahtituotannossa, eri rakennusvaiheiden osalta.

Tutkimuksen toteutuksen aikana, keskusteluissa Firan henkilöstön kanssa, nousi esille vaihtoehto virtauksen mittaamisesta sisätyövaiheen lisäksi, muissa rakentamisen vaiheissa. Päälimmäisinä esiin nousivat vaiheet elementtiasennuksen ja sisävaiheen välissä (ennen väliseinäasennuksen alkamista), sekä viimeistely- ja luovutusvaihe. Näissä vaiheissa on heikompi ymmärrys työmaalla tapahtuvasta toiminnasta sekä tuotannon virtauksesta, ja näiden vaiheiden työn sekä prosessien virtauksen mittaaminen antaisi arvokasta tietoa kyseisistä vaiheista, vaiheiden tuotannon virtauksien tasoista sekä kehityskohteista.

6 Lähdeluettelo

Bajjou, M. & Chafi, A. (2018). *The potential effectiveness of lean construction principles in reducing construction process waste: an input-output model*. Teoksessa: *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 12(4).

Ballard, G. & Howell, G. (1998). *What Kind of Production Is Construction?* Teoksessa: *6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Guarujá, Brazil.

Bertelsen, S., Koskela, L., Henrich, G. & Rooke, J. (2006). *Critical Flow – Towards a Construction Flow Theory*. Teoksessa: *14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Santiago, Chile.

Bertelsen, S., Henrich, G., Koskela, L. & Rooke, J. (2007). *Construction Physics*. Teoksessa: *15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Michigan, USA.

Binninger, M., Dlouhy, J., Oprach, S. & Haghsheno, S. (2016). *Methods for production leveling - Transfer from lean production to lean construction*. Teoksessa: *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA.

Binninger, M., Dlouhy, J., Steuer, D. & Haghsheno, S. (2017). *Adjustment Mechanisms for Demand Oriented Optimisation in Takt Planning and Takt Control* Teoksessa: *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece.

Binninger, M., Dlouhy, J. & Haghsheno, S. (2017). *Technical Takt Planning and Takt Control in Construction*. Teoksessa: *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece.

Binninger, M., Dlouhy, J., Muller, M., Schattmann, M. & Haghsheno, S. (2018). *Short Takt Time in Construction – A Practical Study*. Teoksessa: *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Chennai, India.

Binninger, M., Dlouhy, J. & Haghsheno, S. (2019). *Flow in Taked Projects – A Practical Analysis of Flow and Resource Efficiency*. Teoksessa: *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, Ireland.

Brodetskaia, I. & Sacks, R. (2007). *Understanding flow and micro-variability in construction: theory and practice*. Teoksessa: *15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Michigan, USA.

Brodetskaia, I., Sacks, R. and Shapira, A. (2013). *Stabilizing production flow of finishing works in building construction with re-entrant flow*. Teoksessa: *Journal of Construction Engineering and Management*, 139.

Dlouhy, J., Binninger, M., Oprach, S. & Haghsheno, S. (2016). *Three-level Method of Takt Planning and Takt Control – A New Approach For Designing Production System in Construction*. Teoksessa: *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA.

Dubois, A. & Gadde, L. (2002). *The construction industry as a loosely coupled system: implications for productivity and innovation*. Teoksessa: *Construction Management and Economics*, 20:7.

Elinkeinoelämän tutkimuslaitos. (2020). *Rakennusalalla on merkittävä rooli Suomen kansantaloudessa, mutta alan tuottavuus polkee paikallaan*. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.etla.fi/ajankohtaista/rakennusalalla-on-merkittava-rooli-suomen-kansantaloudesta-mutta-alan-tuottavuus-polkee-paikallaan/>

Fira Oy. (2021). *Postipuisto asuinalueena*. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.fira.fi/palvelut/ryhmarakentaminen/postipuisto/>

Frandsen, A., Berghede, K., and Tommelein, I. (2013). *Takt-time planning for construction of exterior cladding*. Teoksessa: *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Fortaleza, Brazil.

Frandsen, A.G., Seppänen, O., & Tommelein, I.D. (2015). *Comparison between location-based management and Takt Time Planning*. Teoksessa: *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Perth, Australia.

Frandsen, A. (2019). *Takt time planning as a work structuring method to improve construction work flow*. Väitöskirja. UC Berkeley.

Forsell, J. (2021). *Tahtituotannon virtauksen mittaus asuntorakentamisen sisävalmistusvaiheessa*. Diplomityö. Tampereen Yliopisto.

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

Heinonen, A., & Seppänen, O. (2016). *Takt Time Planning: Lessons for Construction Industry from a Cruise Ship Cabin Refurbishment Case Study*. Teoksessa: *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (2007). *Tutki ja kirjoita*. (15 painos.) Helsinki, Suomi. Tammi.

Hopp, W. J. & Spearman, M. L. (1996). *Factory physics: Foundations of manufacturing management*. Boston, Massachusetts. Irwin/McGraw-Hill

Hopp, W.J. & Spearman, M.L. (2011). *Factory physics*. Long Grove, Illinois. Waveland Press.

Howell, G. A. (1999). *What Is Lean Construction – 1999*. Teoksessa: *7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. California, USA.

Kalsaas, B. T. & Bolviken, T. (2010). *The Flow of Work in Construction: A Conceptual Discussion*. Teoksessa: *18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Haifa, Israel.

Kalsaas, B.T., Gundersen, M., Berge, T.O., Koskela, L. & Saurin, T.A. (2014). *To measure workflow and waste. A concept for continuous improvement*. Teoksessa: *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Oslo, Norway.

Kenley, R., & Seppänen, O. 2009. *Location-based management of construction projects: Part of a new typology for project scheduling methodologies*. Teoksessa: *41st Winter Simulation Conference*. Austin, Texas.

Kenley, R. & Seppänen, O. (2010). *Location-Based Management System for Construction: Planning, Scheduling and Control*. London and New York: Spon Press.

Koivumäki, T. (2020). *Rakennustyömaan perinteisen ja ulkoistetun logistiikan hallinnan vertailu*. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

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

Koskela, L., Ballard, G., Howell, G. & Tommelein, I. (2002). *The foundations of lean construction - Chapter 14*. Teoksessa: *Design and Construction: Building in Value*.

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

Kujansuu, P., Lehtovaara, J., Salerto, S., Seppänen, O. & Peltokorpi, A. (2020). *How Does Takt Production Contribute to Trade Flow in Construction?* Teoksessa: *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Berkeley, California, USA.

LCI Finland ry. (2021). *Mitä on lean?* Verkkosivu. Saatavissa: <http://lci.fi/mita-on-lean-rakentaminen/>

Lehtovaara, J., Mustonen, I., Peuronen, P., Seppänen, O. & Peltokorpi, A. (2019). *Implementing Takt Planning and Takt Control Into Residential Construction*. Teoksessa: *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Dublin, Ireland.

Lehtovaara, J., Heinonen, A., Lavikka, R., Ronkainen, M., Kujansuu, P., Ruohomäki, A., Örmä, M., Seppänen, O. & Peltokorpi, A. (2020). *Takt Maturity Model: From Individual Successes Towards Systemic Change in Finland*. Teoksessa: *28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Berkeley, California, USA.

Lehtovaara, J., Seppänen, O., Peltokorpi, A., Kujansuu, P. & Grönvall, M. (2021). *How takt production contributes to construction production flow: a theoretical model*. Teoksessa: *Construction Management and Economics, vol. 39, no. 1*.

Linnik, M. & Berghede, K. (2013). *An Experiment in Takt Time Planning Applied to Non-Repetitive Work*. Teoksessa: *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Fortaleza, Brazil.

Mossman, A. (2018). *What is lean construction: another look*. Teoksessa: *26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Chennai, India.

- Pasila, H. (2019). *Impact of Lean-Intervention on Productivity*. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- Rother, M., Shook, J. & Womack, J. (2003). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda. A Lean Tool Kit Method and Workbook*. Abingdon, UK. Taylor & Francis.
- Ruohomäki, A. (2019). *Hukan mittaaminen tahtituotannossa*. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- Sacks, R. (2016). *What constitutes good production flow in construction?* Teoksessa: *Construction Management and Economics*, 34:9.
- Sacks, R., Seppänen, O., Priven, V., & Savosnick, J. (2017). *Construction flow index: a metric of production flow quality in construction*. Teoksessa: *Construction management and economics*. Vol. 35:1–2.
- Salerto, S. 2019. *Hukan mittaaminen tahtihankkeessa*. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- Seppänen, O. (2009). *Empirical research on the success of production control in building construction projects*. Helsinki. Helsinki University of Technology.
- Seppänen, O., Evinger, J. & Mouflard, C. (2014). *Effects of the location-based management system on production rates and productivity*. Teoksessa: *Construction management and economics*, 32 (6).
- Shingo, S. & Dillon, A.P. (1989). *A study of the Toyota production system: from an industrial engineering viewpoint*. New York, USA. Taylor & Francis.
- Tetik, M., Peltokorpi, A., Seppänen, O., Viitanen, A. & Lehtovaara, J. (2019). *Combining Takt Production With Industrialized Logistics in Construction*. Teoksessa: *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, Ireland.
- Tilastokeskus. (2020). *Arvonlisäykseen perustuva työn tuottavuus toimialoittain 1975–2017*. Verkkosivu. Saatavissa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__kan__ttut/statfin_ttut_pxt_002.px/
- Tommelein, I. D. (2017). *Collaborative Takt Time Planning of Non-Repetitive Work*. Teoksessa: *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece.
- Vatne, M. & Drevland, F. 2016. *Practical Benefits of Using Takt Time Planning: A Case Study*. Teoksessa: *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Boston, USA.
- Vrijhoef, R. & Koskela, L. (2005). *Revisiting the Three Peculiarities of Production in Construction*. Teoksessa: *13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Sydney, Australia.
- Womack, J. & Jones, D. (2003). *Lean Thinking – Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York, USA. Simon and Schuster.

Yin, R. (2009). *Case Study Research. Design and Methods. Fourth Edition.* (5 painos). California, USA. SAGE Publications Inc.

Zhao, J., Seppänen, O., Peltokorpi, A., Badihi, B. & Olivieri, H. (2019). *Real-time resource tracking for analyzing value-adding time in construction.* Teoksessa: *Automation in Construction.* Vol. 104.

Liiteluettelo

Liite 1. Tahtialueen ja asuntojen prosessikuvat. 16 sivua.

Liite 1. Tahtialueen prosessikuva

| Työntekijöiden esiintyminen tahtialueella (A-3.kerros) | | Viikko | 34 | | | | | |
|--|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| Työvaiheet | | PVM | 18.elo | 19.elo | 20.elo | 21.elo | 22.elo | 23.elo |
| VS | Väliseinä 1-puoli | | 0:22:52 | 5:14:09 | 1:57:36 | | | |
| Sähköri 1 | Runkokaapelointi | | | 0:25:09 | 0:24:01 | 0:02:17 | | |
| Sähköri 2 | Runkokaapelointi | | | 0:28:05 | 0:41:02 | 0:56:41 | | |
| Sähkö työnj? | Tarkastuksia? | | | | 0:01:00 | | | |
| Putkari | Patteriasennukset | | 2:12:44 | 0:18:16 | | | | |
| Kuivaus | Kuivasmittaus yms. | | | | | 0:20:47 | | |
| Hissi | Hissiasennus | | 0:01:25 | | 0:03:15 | | | |
| Etuputsi | etuputsi | | 2:42:41 | 0:01:50 | 0:02:40 | 1:48:30 | | |
| Parveke | Parveketöitä | | | | 0:04:55 | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | 0:06:53 | 0:01:55 | | | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | 2:11:41 | | | | | |
| piikkaus | piikkaus | | 0:13:50 | | | | | |
| siivooja | siivous | | 0:10:45 | 0:05:30 | | | | |
| Aret | yleiset työt | | 0:06:35 | 0:01:50 | | 0:32:35 | | |
| duunari | yleiset työt | | | | 0:01:54 | | | |
| | | | 35 | | | | | |
| Työvaiheet | | 24.elo | 25.elo | 26.elo | 27.elo | 28.elo | 29.elo | 30.elo |
| Sähköri 3 | Asuntojen kaapelointi | 0:10:13 | 0:00:52 | 4:32:32 | 5:28:18 | 6:25:04 | | |
| Sähköri 1 | Asuntojen kaapelointi | | | 0:07:52 | 0:27:18 | 0:04:16 | | |
| Sähkö työnj? | Tarkastuksia? | | | 0:06:30 | 0:04:15 | | | |
| Hitsari | Patteriasennukset | 3:19:32 | 3:27:20 | 4:43:25 | 1:30:35 | | | |
| H2 | Patteriasennukset | 0:05:14 | 0:09:30 | 0:29:43 | 0:21:51 | | | |
| Parveke | Parveketöitä | 4:13:10 | | 0:00:40 | | | | |
| Julkisivu 1 | Parveketöitä | | 0:45:25 | | | | | |
| Julkisivu 2 | Parveketöitä | | 0:32:50 | | | | | |
| Hissi | Hissiasennus | | 0:41:40 | | | | | |
| VS | välineen siirto | | | | 0:07:16 | | | |
| putkari | Patteriasennukset | | | | 0:03:00 | 0:22:32 | | |
| palokatko | palokatko | | | 0:17:30 | | | | |
| LTU tj | Mestalla kiertely | | | | | 0:03:22 | | |
| Tasoittaja 1 | Mestalla kiertely | | | | | 0:03:22 | | |
| Tasoittaja 2 | Mestalla kiertely | | | | | 0:03:22 | | |
| Etuputsi | Katon saumat | | | 0:10:50 | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | | 0:33:15 | | 0:49:10 | 0:22:10 | | |
| duunari | yleiset työt | | 0:10:40 | 0:24:10 | 0:27:00 | 0:00:45 | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | 0:01:00 | 0:08:35 | 0:20:54 | 0:06:25 | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | | | 0:19:55 | | | |
| timpuri | yleiset työt | | | | 0:49:40 | | | |
| | | | 36 | | | | | |
| Työvaiheet | | 31.elo | 1.syys | 2.syys | 3.syys | 4.syys | 5.syys | 6.syys |
| Sähköri 3 | Asuntojen kaapelointi | 6:42:15 | 5:09:25 | | | | | |
| Sähköri 1 | Asuntojen kaapelointi | 3:02:29 | 0:43:12 | 0:01:24 | | | | |
| Sähkö työnj? | Tarkastuksia? | | 0:31:00 | | | | | |
| Sähköri 4 | kiertely | 0:10:20 | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Julkisivu | Parveketöitä | 0:45:10 | | | | | | |
| Tasoittaja 1 | välineen siirto | 0:14:35 | 0:01:12 | 0:07:19 | | | | |
| Tasoittaja 2 | välineen siirto | 0:02:25 | 0:03:20 | 0:08:34 | | | | |
| VS | VS tuplaus ja alakatot | | 4:20:28 | 6:08:16 | | | | |
| Hitsari | painekokeet? | | 0:01:05 | 1:21:00 | | | | |
| KPH Putkari | KPH putiken työstö | | | 2:10:48 | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Aret | yleiset työt | 0:03:05 | 0:02:10 | 0:08:07 | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | 0:01:00 | | 0:11:10 | | | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | 1:19:35 | | | | | |
| Siivooja | siivous | | 0:09:35 | 0:02:45 | | | | |
| duunari | yleiset työt | | 0:41:45 | | | | | |
| timpuri | yleiset työt | | | 0:19:22 | | | | |
| | | 37 | | | | | | |
| Työvaiheet | | 7.syys | 8.syys | 9.syys | 10.syys | 11.syys | 12.syys | 13.syys |
| Tasoittaja 1 | Tasoitus | 7:02:36 | 3:26:35 | 0:02:09 | | 0:07:33 | | |
| Tasoittaja 2 | Tasoitus | 7:03:49 | 3:33:32 | 0:00:21 | | 0:03:16 | | |
| Maalari | maalauk | 0:03:44 | | 0:04:16 | 0:00:14 | 2:54:16 | | |
| Putkari | putkien ssätö? | 0:00:37 | 0:01:12 | | | 0:11:58 | | |
| Hitsari | painekokeet? | 2:42:56 | 0:02:43 | | | | | |
| VS | käynti | 0:00:37 | | | | | | |
| Sähköri 1 | | | 0:07:34 | | 0:00:48 | 0:01:02 | | |
| Sähköri 3 | | | 0:14:34 | | | 0:01:02 | | |
| Porrassähköt? | Porrassähköt? | | | 0:02:02 | 0:08:17 | | | |
| IV | kiertely | | | 0:02:18 | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | 0:00:54 | | | 0:03:54 | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | 0:01:54 | | | 0:23:03 | 0:17:26 | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | 1:30:08 | 1:20:07 | 0:02:32 | | | |
| Aret | KPH etuputsi | | 3:00:31 | 0:02:25 | | | | |
| duunari | yleiset työt | | 0:04:26 | 0:00:51 | | 0:19:15 | | |
| ?? | ?? | | | 0:18:44 | | | | |
| | | 38 | | | | | | |
| Työvaiheet | | 14.syys | 15.syys | 16.syys | 17.syys | 18.syys | 19.syys | 20.syys |
| Maalari | maalauk | 7:12:14 | 4:49:29 | 5:16:54 | 5:58:43 | 8:33:40 | 1:23:36 | |
| LTU tj | Tarkastuksia? | 0:01:35 | | 0:02:29 | | | | |
| Tasoittaja 1 | välineen siirto | | | 0:01:45 | 0:01:25 | 0:01:42 | 0:02:04 | |
| Tasoittaja 2 | välineen siirto | | | 0:05:40 | 0:01:25 | 0:01:42 | | |
| Putkari | | 1:35:27 | 6:41:29 | 1:28:46 | | 0:34:44 | | |
| Assembly | käynti | 0:01:07 | | | | | | |
| L1 | laatoitus | | | 0:02:59 | | 0:03:15 | 8:43:56 | 7:52:34 |
| L2 | laatoitus | | | 0:06:15 | | 3:50:25 | 8:48:07 | 5:27:44 |
| Sähköri 3 | Käytävän sähkököt | | | | 0:00:08 | 0:48:38 | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| timpuri | yleiset työt | 0:05:08 | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | 0:02:36 | 0:05:14 | | 0:01:50 | 0:15:41 | | |
| Siivooja | siivous | 0:00:59 | | 0:01:03 | 0:00:36 | | | |
| Aret | KPH etuputsi | 0:15:35 | 0:35:01 | 1:11:41 | | | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | | 0:29:36 | | | | |
| Kuivaus | kuivausmittaus | | | 2:57:44 | 0:05:42 | | | |
| duunari | yleiset työt | | | | 0:05:02 | | | |
| Kahva1 | laattojen haalaus | | | | | 0:42:46 | | |
| Kahva2 | laattojen haalaus | | | | | 0:45:17 | | |

| | | 39 | | | | | | |
|------------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Työvaiheet | | 21.syys | 22.syys | 23.syys | 24.syys | 25.syys | 26.syys | 27.syys |
| Maalari | välineen siirto | 0:04:59 | 0:00:45 | 0:02:15 | 0:05:46 | 0:02:15 | | |
| Sähköari 4 | sähkökalustus | 6:20:26 | 4:58:05 | 0:40:02 | 0:21:05 | 0:22:05 | | |
| Sähköari 1 | sähkökalustus | 0:03:57 | 4:09:09 | 0:06:20 | 0:39:00 | | | |
| Sähköari 3 | käynti | | | | 0:03:15 | 0:08:00 | | |
| Patteri | patterien kytkentä | 1:54:50 | | | | | | |
| L1 | laatoitus | 0:00:15 | | 0:05:00 | 1:18:35 | 7:21:50 | | |
| L2 | laatoitus | | 2:35:05 | 6:08:03 | 0:59:49 | 0:51:57 | | |
| Tasoittaja 1 | välineen siirto | | | 0:06:34 | | | | |
| Tasoittaja 2 | välineen siirto | | | 0:06:30 | | | | |
| LTU tj | Tarkastus | | | | 1:37:45 | | | |
| LVIS TJ? | Tarkastuksia? | | | | 0:13:31 | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | 6:42:59 | 2:20:44 | 0:01:25 | 0:16:10 | | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | 1:11:47 | | | | | |
| Kuivaus | käynti | | 0:02:32 | | | | | |
| duunari | käynti | | 0:00:37 | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | | | 0:02:35 | 0:07:45 | | |
| Nikkarit | kiertely | | | | | 0:03:28 | | |
| ? | ? | 0:03:53 | | | | 0:01:19 | | |
| ?? | ? | 0:01:59 | | | | | | |
| ???? | ? | | 0:03:28 | | | | | |
| | | 40 | | | | | | |
| Työvaiheet | | 28.syys | 29.syys | 30.syys | 1.loka | 2.loka | 3.loka | 4.loka |
| Sähköari 4 | sähkökalustus | 3:17:39 | 0:53:00 | 0:08:06 | 0:04:20 | 0:02:10 | | |
| Sähköari 1 | sähkökalustus | 4:21:14 | 2:32:57 | 0:20:40 | 0:01:26 | | | |
| L1 | käynti | | 0:00:58 | | 0:00:32 | | | |
| L2 | laattojen leikkaus (re-work) | 0:20:52 | 0:02:30 | | | | | |
| Putkari | Kromit | 0:08:33 | | 0:18:44 | 2:18:59 | 6:17:20 | | |
| Tele 1 | teleasennus | | | 0:11:00 | 1:35:20 | | | |
| Tele 2 | teleasennus | 2:14:45 | | 0:21:10 | 1:55:40 | | | |
| Maalari | käynti | 0:01:22 | | 0:00:45 | 0:00:20 | 0:00:37 | | |
| Sähkö työnj? | Tarkastuksia? | | 0:04:12 | | | | | |
| palokatko | palokatko | | 0:07:40 | | | | | |
| Tasoittaja 1 | käynti | | | 0:00:45 | | | | |
| KPH katto | välineen siirto | | | | 0:07:03 | 0:01:42 | | |
| IV | mittaus | | | | | 0:08:10 | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Aret | yleiset työt | 0:00:40 | | 0:06:40 | | 0:02:21 | | |
| Siivooja | siivous | 0:03:33 | 3:40:46 | 0:05:08 | 0:09:25 | 0:02:20 | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | 0:38:20 | | | | | |
| timpuri | yleiset työt | | 0:00:35 | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | 0:11:07 | | 0:02:39 | 0:01:58 | | |
| | | 41 | | | | | | |
| Työvaiheet | | 5.loka | 6.loka | 7.loka | 8.loka | 9.loka | 10.loka | 11.loka |
| Maalari | Maalauksen korjaus | 1:14:19 | | | | | | |
| Maalari 2 | Maalauksen korjaus | 1:53:41 | 1:48:10 | | | | | |
| Sähköari 4 | välineen siirto + keittiön | 0:03:05 | 0:03:50 | | 0:04:55 | 0:01:20 | | |
| Sähköari 1 | välineen siirto | 0:03:50 | | | | 0:01:45 | | |
| Sähköari 3 | käynti | | | 0:00:11 | | | | |
| Eristäjä | eristys | 5:51:49 | | | 0:00:22 | | | |
| Eristäjä 2 | eristys | 5:38:53 | 0:04:20 | | 0:00:14 | 0:02:40 | | |

| | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|----------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Eristäjä 3? | eristys | 0:08:35 | | | | | | | |
| IV | IV asennus | 0:53:39 | | | | | | | |
| Parveke??? | Parveketöitä | | | 0:04:20 | | | | | |
| Putkari | Porraskäytävän nousu | | | 0:00:55 | 0:34:15 | | | | |
| Kaluste 1 | kalusteasennus | | | | 0:08:49 | 0:00:50 | 0:02:15 | 6:00:30 | |
| Kaluste 2 | kalusteasennus | | | | | 0:00:50 | | 0:05:45 | |
| Kaluste 3 | kalusteasennus | | | | 0:06:30 | | | 0:13:30 | |
| Kaluste 4 | kalusteasennus | | | | | | | 3:33:04 | |
| KPH katto | KPH katto | | | | | | | 7:51:00 | |
| Verho | Verhokiskot | | | | | 1:50:15 | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | 0:03:35 | 0:47:32 | 0:19:10 | 0:07:55 | 1:14:00 | | | |
| Fira | yleiset työt | 0:04:06 | | | | 0:14:40 | | | |
| duunari | yleiset työt | 0:01:10 | | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | 0:04:35 | | 0:01:50 | 0:07:44 | 0:17:20 | | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | | 0:21:22 | | | | | |
| Kahva | haalaus | | | | 2:38:20 | | | | |
| duunari | yleiset työt | | | | 0:58:33 | | | | |
| Bolt | haalaus | | | | 2:21:05 | | | | |
| ??? | ? | | | | 0:01:18 | | | | |
| ??? | ? | | | | 0:01:18 | | | | |
| Kuivaus | Kuivaus | | | | 0:23:10 | | | | |
| ???? | ? | | | | | 0:15:30 | | | |
| ?1 | ? | | | | | 0:01:15 | | | |
| ?2 | ? | | | | | 0:01:15 | | | |
| | | | 42 | | | | | | |
| Työvaiheet | | | 12.loka | 13.loka | 14.loka | 15.loka | 16.loka | 17.loka | 18.loka |
| Kaluste 1 | kalusteasennus | 9:21:13 | 4:13:06 | 10:12:55 | 2:12:45 | | | | |
| Kaluste 2 | kalusteasennus | 7:03:28 | 7:56:53 | 7:40:05 | 0:03:25 | 0:00:20 | | | |
| Kaluste 3 | kalusteasennus | 0:12:10 | 0:16:45 | 0:16:00 | | | | | |
| Kaluste 4 | kalusteasennus | 10:32:15 | 9:41:40 | 9:45:40 | 2:15:10 | | | | |
| Eristäjä 2 | käynti | 0:02:15 | | | | | | | |
| Eristäjä? | porrasnousun eristys | | | | | 0:17:50 | | | |
| Sähköri 4 | Keittiö/Käytävän sähköt | 0:01:25 | 0:19:50 | | 0:01:45 | 3:35:00 | | | |
| Sähköri 1 | kiertely | | | 0:01:15 | 0:02:25 | | | | |
| L2 | käynti | | | 0:00:14 | | | | | |
| Tele 1 | teleasennus | | 0:05:24 | | 1:31:25 | | | | |
| Tele 2 | teleasennus | | 0:01:29 | | | | | | |
| Kaide 1 | Porraskaide | | | 0:18:09 | | | | | |
| Kaide 2 | Porraskaide | | | 0:07:24 | | | | | |
| Laminaatti | Lattian paikkaus | | | | | 0:31:35 | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| timpuri? | välineen siirto | 0:01:25 | | | | | | | |
| kuivaus? | kuivaus | 0:30:15 | 1:13:40 | | | | | | |
| Siivooja | siivous | | 0:16:55 | | 4:01:25 | 0:13:06 | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | 0:05:20 | 0:05:20 | 0:26:10 | 0:06:50 | | | |
| Kahva | välineen siirto | | | | 0:00:35 | | | | |
| Fira | kiertely | | | | 0:01:05 | 0:04:00 | | | |
| | | | 43 | | | | | | |
| Työvaiheet | | | 19.loka | 20.loka | 21.loka | 22.loka | 23.loka | 24.loka | 25.loka |
| Kaluste 1 | kalusteasennus | 2:27:52 | | | | | | | |
| Kaluste 2 | kiertely | 0:00:30 | | | | | 0:01:15 | 0:01:15 | |
| Kaluste 3 | kalusteasennus | 0:14:10 | | | | 0:14:35 | | | |

| | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| Sähkökäri 4 | sähkökalustus | 4:34:40 | 0:02:05 | 1:11:05 | 0:33:10 | 0:03:20 | | | |
| Sähkökäri 3 | kiertely | 0:02:00 | | | | | | | |
| Sähkökäri 1 | käynti | | 0:01:40 | 0:02:45 | | | | | |
| Putkari | patterin säätö | 0:22:00 | | | | | | | |
| Laminaatti | laminaattiasennus | 0:26:00 | 5:39:05 | 5:11:25 | 5:28:00 | 2:18:25 | | | |
| IV | IV asennus | 1:22:20 | 0:28:55 | | | | | | |
| Tele 1 | telemittaus | | | 0:11:45 | | | | | |
| Tele 2 | telemittaus | | 0:07:15 | 0:15:55 | | | | | |
| Lista | käynti/haalaus | | | | | 0:03:50 | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| timpuri? | yleiset työt | 0:01:00 | | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | 0:01:35 | 0:02:45 | 0:04:10 | | 0:03:00 | | | |
| Siivooja | siivous | 0:56:10 | 0:13:05 | 1:09:55 | 0:23:10 | 3:28:35 | | | |
| Kuivaus? | kuivaus | 0:40:40 | | | | | | | |
| Kahva | haalaus | | 1:21:40 | | | 0:21:30 | | | |
| duunari | yleiset työt | | | 0:04:25 | | | | | |
| Fira | viimeistely työt | | | | | 1:29:35 | | | |
| | | 44 | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 26.loka | 27.loka | 28.loka | 29.loka | 30.loka | 31.loka | 1.marras | |
| Lista | listoitus | 0:00:40 | 0:03:10 | 0:01:40 | 4:57:55 | 5:26:45 | | | |
| Ovi | oviasennus | 1:00:35 | 6:20:50 | 1:21:35 | | 1:41:55 | | | |
| Ovi 2 | oviasennus | | 5:22:10 | 2:51:30 | | 4:05:15 | | | |
| Laminaatti | välineen siirto | 0:12:40 | | | | | | | |
| Putkari | LVI-kalustus | 0:03:00 | 1:55:35 | 2:20:40 | 4:23:50 | 2:05:35 | | | |
| Tele 2 | telemittaus | | | 0:06:40 | | | | | |
| Kaluste 1 | välineen siirto | | | 0:00:40 | | 0:01:40 | | | |
| Kaluste 2 | välineen siirto | | | | | 0:03:20 | | | |
| Kaluste 4 | välineen siirto | | | | | 0:03:20 | | | |
| Kodinkone | kodinkone | | | | 3:18:05 | | | | |
| KK1 | kodinkone | | | | 2:24:40 | | | | |
| KK 2 | kodinkone | | | | 1:52:20 | | | | |
| KK TJ? | kodinkone | | | | 1:01:20 | | | | |
| LVI TJ? | kiertely | | | | 0:02:40 | | | | |
| KPH katto | Katon säätö | | | | 0:01:55 | 0:04:35 | | | |
| Sähkökäri 4 | sähkökalustus | | | | 0:59:15 | | | | |
| Sähkökäri 1 | kiertely | | | | 0:01:45 | | | | |
| käytävän katto | mittaus | | | | | 0:01:15 | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | 2:01:50 | 1:19:15 | 0:03:45 | 0:57:45 | 0:45:10 | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | 0:03:00 | 0:09:00 | 0:09:30 | | | | | |
| Fira | yleiset työt | | 0:03:45 | 0:54:20 | 0:33:40 | | | | |
| duunari | yleiset työt | | 0:32:50 | | 0:01:15 | | | | |
| pelti? | peltiasennus? | | 0:56:25 | | | | | | |
| Kuivaus? | kuivaus | | 0:15:45 | | | | | | |
| timpuri? | Parveketöitä | | 1:54:25 | 1:59:25 | 0:05:45 | 0:11:10 | | | |
| Kahva | haalaus | | | | | 0:20:30 | | | |
| Kahva 2 | haalaus | | | | | 0:18:00 | | | |
| Assem? | kiertely | | | 0:01:15 | 0:01:00 | | | | |
| ???? | ? | | | | | 0:20:10 | | | |
| | | 45 | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 2.mar-ras | 3.marras | 4.marras | 5.marras | 6.marras | 7.marras | 8.marras | |
| Lista | listoitus | 2:43:20 | 0:00:50 | | | | | | |
| Ovi | oviasennus | | 0:20:43 | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Ovi 2 | välineen siirto | 0:01:00 | | | | | | |
| APK | kodinkone kytkentä | 1:25:30 | | | | | | |
| Sähköari 1 | sähköjen säätö | | | | 0:01:20 | 0:07:20 | | |
| Sähköari 4 | sähköjen säätö | 0:03:00 | | | | 0:02:05 | | |
| IV | välineen siirto | | 0:01:05 | | | | | |
| Lukko | lukitus ja heloitus | | | 1:19:35 | | | | |
| Tasoittaja 1 | Käytävän tasoitus | | | 0:07:00 | | 0:03:50 | | |
| Putkari | LVI-kalustus | | | | | 0:25:30 | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | 1:33:45 | 1:43:05 | | 0:45:50 | 0:23:10 | | |
| timpuri? | Parveketöitä | 0:06:05 | 0:01:05 | 0:01:35 | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | 0:05:20 | 0:10:50 | | 0:19:25 | 0:09:37 | | |
| Fira | yleiset työt | 0:10:25 | 0:00:30 | | 0:00:25 | | | |
| ?? | ? | | 1:19:25 | | | | | |
| kuivaus? | kuivaus | | 0:16:45 | | | | | |
| kahva | haalaus | | | 0:04:20 | | | | |
| duunari | yleiset työt | | | | | 0:01:10 | | |
| 46 | | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 9.mar-ras | 10.mar-ras | 11.mar-ras | 12.mar-ras | 13.mar-ras | 14.mar-ras | 15.mar-ras |
| Lista | materiaalin työstö | 0:01:00 | | 0:54:15 | 0:59:30 | | | |
| Käytävän katto | käytävän katto | 0:01:50 | 1:57:45 | | | | | |
| Maalari | Maalauksen korjaus | | 0:01:00 | 0:01:50 | 0:00:20 | 2:24:50 | | |
| Maalari 2 | Maalauksen korjaus | | | 0:01:50 | | | | |
| Maalari 3 | kiertely | | | | 0:09:55 | | | |
| LTU tj | kiertely | | 0:01:25 | | | | | |
| Sähköari 1 | sähkökalustus | | 2:54:15 | 0:29:45 | 0:00:25 | 0:14:10 | | |
| Sähköari 3 | sähkökalustus | | 2:14:25 | 1:12:25 | | 0:54:15 | | |
| Sähköari 4 | kiertely | | 0:01:15 | | | | | |
| S ovi | suihkuseinä | | 0:56:30 | 1:30:30 | | | | |
| Ovi | ovitulpat | | | 0:25:40 | | | | |
| Laminaatti | laminaattiasennus | | | 0:26:10 | 0:19:20 | | | |
| Kaluste 1 | kalusteasennus | | | | 0:35:30 | | | |
| Kaluste 4 | kalusteasennus | | | | 0:31:55 | | | |
| LVIS TJ? | tarkastuksia | | | | 0:08:20 | | | |
| KPH katto | katon säätö | | | | | 0:01:50 | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | 0:13:00 | 0:05:40 | 0:54:25 | 0:30:37 | 0:35:25 | | |
| Fira | yleiset työt | 0:01:10 | | | | 0:11:00 | | |
| timpuri? | yleiset työt | 0:03:40 | 0:03:40 | 0:37:15 | | | | |
| duunari | yleiset työt | 0:07:05 | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | 0:02:50 | | 0:03:05 | 0:11:15 | | |
| Riikku | välineen siirto | | | 0:01:30 | | | | |
| ??? | ? | | | 0:01:00 | | | | |
| ? | ? | | | | 0:01:20 | | | |

Asunnon A11 prosessikuva

| Työntekijöiden esiintyminen A11 | | Viikko | 34 | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| Työvaiheet | | PVM | 18.elo | 19.elo | 20.elo | 21.elo | 22.elo | 23.elo | |
| VS | Väliseinä 1-puoli | | 0:09:47 | 0:57:35 | 0:03:58 | | | | |
| Sähköri 1 | Runkokaapelointi | | | 0:08:12 | 0:00:32 | 0:00:23 | | | |
| Sähköri 2 | Runkokaapelointi | | | 0:10:36 | 0:00:13 | 0:10:55 | | | |
| Putkari | Patteriasennukset | | 0:00:14 | 0:12:54 | | | | | |
| Kuivaus | Kuivasmittaus yms. | | | | | 0:03:50 | | | |
| Etuputsi | etuputsi | | 0:12:57 | | | 0:25:18 | | | |
| Parveke | Parveketöitä | | | | 0:01:00 | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | 0:06:13 | 0:00:20 | | | | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | 1:00:58 | | | | | | |
| piikkaus | käynti | | 0:00:30 | | | | | | |
| siivooja | käynti | | 0:01:00 | 0:00:40 | | | | | |
| Aret | käynti | | 0:00:20 | | | 0:00:10 | | | |
| | | | 35 | | | | | | |
| Työvaiheet | | | 24.elo | 25.elo | 26.elo | 27.elo | 28.elo | 29.elo | 30.elo |
| Sähköri 3 | Asuntojen kaapelointi | | | | 0:14:13 | 0:00:10 | | | |
| Sähköri 1 | Asuntojen kaapelointi | | | | 0:01:11 | | | | |
| Sähkö työnj? | käynti | | | | 0:00:10 | | | | |
| Hitsari | Patteriasennukset | | 0:01:17 | 0:00:55 | 0:46:04 | 1:07:21 | | | |
| H2 | Patteriasennukset | | | 0:00:31 | 0:00:38 | 0:05:39 | | | |
| Parveke | välineen siirto | | | | 0:00:40 | | | | |
| Julkisivu 1 | Parveketöitä | | | 0:17:55 | | | | | |
| Julkisivu 2 | Parveketöitä | | | 0:06:50 | | | | | |
| VS | välineen siirto | | | | | 0:01:32 | | | |
| putkari | Patteriasennukset | | | | | 0:00:45 | 0:05:32 | | |
| palokatko | palokatko | | | | 0:01:50 | | | | |
| LTU tj | Mestalla kiertely | | | | | | 0:00:23 | | |
| Tasoittaja 1 | Mestalla kiertely | | | | | | 0:00:23 | | |
| Tasoittaja 2 | Mestalla kiertely | | | | | | 0:00:23 | | |
| Etuputsi | Katon saumat | | | | 0:01:05 | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | | | 0:05:55 | | 0:00:30 | 0:00:30 | | |
| duunari | yleiset työt | | | | 0:02:35 | 0:08:45 | 0:00:20 | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | | | 0:00:55 | | | | |
| tuntimies | käynti | | | | | 0:01:30 | | | |
| timpuri | oma aika | | | | | 0:06:30 | | | |
| | | | 36 | | | | | | |
| Työvaiheet | | | 31.elo | 1.syys | 2.syys | 3.syys | 4.syys | 5.syys | 6.syys |
| Sähköri 3 | Asuntojen kaapelointi | | 0:21:13 | 2:49:10 | | | | | |
| Sähköri 1 | Asuntojen kaapelointi | | 0:25:23 | 0:16:10 | | | | | |
| Sähkö työnj? | Tarkastuksia? | | | 0:08:15 | | | | | |
| Julkisivu | Parveketöitä | | 1:41:55 | | | | | | |
| Tasoittaja 1 | välineen siirto | | 0:00:30 | | 0:00:25 | | | | |
| Tasoittaja 2 | välineen siirto | | | | 0:00:30 | | | | |
| VS | VS tuplaus ja alakatot | | | 0:10:52 | 1:09:20 | | | | |

| | | | | | | | | |
|------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Hitsari | painekokeet? | | | 0:15:23 | | | | |
| KPH Putkari | käynti | | | 0:00:08 | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Aret | yleiset työt | 0:01:15 | | | | | | |
| Log | käynti | 0:00:10 | | | | | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | 0:12:00 | | | | | |
| Siivooja | siivous | | | 0:00:30 | | | | |
| duunari | yleiset työt | | 0:16:35 | | | | | |
| 37 | | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 7.syys | 8.syys | 9.syys | 10.syys | 11.syys | 12.syys | 13.syys |
| Tasoittaja 1 | Tasoitus | 0:35:42 | 0:25:40 | | | 0:05:57 | | |
| Tasoittaja 2 | Tasoitus | 0:26:54 | 0:08:48 | | | 0:01:21 | | |
| Maalari | maalaukset | 0:00:20 | | 0:00:53 | 0:00:14 | 0:12:15 | | |
| Putkari | putkien ssätö? | | 0:00:08 | | | 0:02:32 | | |
| Hitsari | käynti | 0:00:45 | | | | | | |
| IV | kiertely | | | 0:00:05 | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | | | 0:05:37 | 0:00:50 | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | 0:01:57 | 0:23:20 | | | | |
| Aret | KPH etuputsi | | 0:17:46 | 0:00:23 | | | | |
| duunari | yleiset työt | | 0:00:44 | 0:00:07 | | 0:06:32 | | |
| ?? | ?? | | | 0:00:22 | | | | |
| 38 | | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 14.syys | 15.syys | 16.syys | 17.syys | 18.syys | 19.syys | 20.syys |
| Maalari | maalaukset | 0:47:10 | 0:23:48 | 2:03:40 | 0:00:34 | | 0:01:01 | |
| LTU tj | käynti | | | 0:00:15 | | | | |
| Tasoittaja 1 | käynti | | | 0:00:06 | | | | |
| Tasoittaja 2 | välineen siirto | | | 0:01:02 | | | | |
| Putkari | vesihajoitukset | 0:35:29 | 0:08:06 | | | 0:03:58 | | |
| L1 | laatoitus | | | 0:00:32 | | 0:00:05 | | 3:01:51 |
| L2 | laatoitus | | | 0:01:02 | | | 1:55:42 | 0:54:59 |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| timpuri | käynti | 0:00:27 | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | 0:01:13 | | 0:00:11 | 0:01:24 | | |
| Aret | KPH etuputsi | 0:00:20 | 0:04:36 | 0:19:56 | | | | |
| tuntimies | käynti | | | 0:00:52 | | | | |
| Kuivaus | kuivausmittaus | | | 0:18:59 | 0:01:12 | | | |
| duunari | välineen siirto | | | | 0:00:13 | | | |
| Kahva1 | laattojen haalaus | | | | | 0:40:15 | | |
| Kahva2 | laattojen haalaus | | | | | 0:26:32 | | |
| 39 | | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 21.syys | 22.syys | 23.syys | 24.syys | 25.syys | 26.syys | 27.syys |
| Maalari | käynti | 0:00:13 | | | 0:00:10 | | | |
| Sähköari 4 | sähkökalustus | 0:47:46 | 0:35:57 | 0:00:07 | 0:00:19 | | | |
| Sähköari 1 | sähkökalustus | | 0:30:23 | | 0:04:49 | | | |
| Sähköari 3 | käynti | | | | 0:03:15 | | | |
| Patteri | patterien kytkentä | 0:05:57 | | | | | | |
| L1 | laatoitus | | | 0:00:50 | 0:18:58 | 2:48:34 | | |
| L2 | laatoitus | | 0:03:58 | 1:28:37 | 0:16:46 | 0:10:00 | | |
| Tasoittaja 1 | käynti | | | 0:00:12 | | | | |
| LTU tj | Tarkastus | | | | 0:07:40 | | | |
| LVIS TJ? | Tarkastuksia? | | | | 0:01:15 | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|------------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| Siivooja | siivous | 0:34:44 | 0:16:40 | | | | | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | 0:06:52 | | | | | | |
| Kuivaus | käynti | | 0:00:10 | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | | | 0:00:20 | | | | |
| Nikkarit | kiertely | | | | | 0:00:22 | | | |
| ? | käynti | 0:00:13 | | | | | | | |
| ?? | käynti | 0:00:18 | | | | | | | |
| ???? | käynti | | 0:00:14 | | | | | | |
| 40 | | | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 28.syys | 29.syys | 30.syys | 1.loka | 2.loka | 3.loka | 4.loka | |
| Sähköri 4 | sähkökalustus | 0:36:12 | | | | | | | |
| Sähköri 1 | sähkökalustus | 0:35:07 | 0:24:57 | | | | | | |
| L1 | käynti | | | | 0:00:15 | | | | |
| L2 | laattojen leikkaus (re-work) | 0:03:19 | 0:00:22 | | | | | | |
| Putkari | Kromit | 0:00:45 | | 0:01:06 | 0:18:40 | 0:55:22 | | | |
| Tele 1 | teleasennus | | | | 0:18:28 | | | | |
| Tele 2 | teleasennus | 0:16:28 | | | 0:00:55 | | | | |
| Sähkö työnj? | Tarkastuksia? | | 0:01:52 | | | | | | |
| palokatko | palokatko | | 0:01:51 | | | | | | |
| KPH katto | välineen siirto | | | | 0:00:17 | | | | |
| IV | käynti | | | | | 0:00:25 | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| Aret | käynti | 0:00:40 | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | 0:00:10 | 0:34:45 | 0:00:05 | 0:00:35 | | | | |
| tuntimies | käynti | | 0:00:42 | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | 0:01:17 | | 0:00:15 | 0:00:05 | | | |
| 41 | | | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 5.loka | 6.loka | 7.loka | 8.loka | 9.loka | 10.loka | 11.loka | |
| Maalari | Maalauksen korjaus | 0:14:49 | | | | | | | |
| Maalari 2 | Maalauksen korjaus | 0:03:09 | 0:06:00 | | | | | | |
| Sähköri 1 | käynti | 0:00:12 | | | | | | | |
| Eristäjä | eristys | 1:37:25 | | | 0:00:22 | | | | |
| Eristäjä 2 | eristys | 0:16:51 | 0:00:19 | | 0:00:14 | 0:00:08 | | | |
| Eristäjä 3? | eristys | 0:07:07 | | | | | | | |
| IV | IV asennus | 0:06:26 | | | | | | | |
| Putkari | putkien säätö | | | | 0:01:37 | | | | |
| Kaluste 1 | kalusteasennus | | | | 0:05:52 | | 0:02:15 | 1:03:55 | |
| Kaluste 2 | kalusteasennus | | | | | | | 0:01:45 | |
| Kaluste 3 | kalusteasennus | | | | 0:01:30 | | | 0:00:35 | |
| Kaluste 4 | kalusteasennus | | | | | | | 0:12:45 | |
| Verho | Verhokiskot | | | | | 0:17:05 | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | 0:00:06 | 0:03:20 | 0:00:50 | 0:00:10 | 0:02:50 | | | |
| Fira | käynti | | | | | 0:00:10 | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | | 0:00:10 | | 0:06:05 | | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | | 0:08:25 | | | | | |
| Kahva | haalaus | | | | 2:38:10 | | | | |
| duunari | yleiset työt | | | | 0:10:35 | | | | |
| Bolt | haalaus | | | | 2:21:05 | | | | |
| ?1 | käynti | | | | | 0:00:10 | | | |
| 42 | | | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 12.loka | 13.loka | 14.loka | 15.loka | 16.loka | 17.loka | 18.loka | |
| Kaluste 1 | kalusteasennus | 5:28:49 | 0:26:53 | 0:13:29 | 0:02:45 | | | | |

| | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------|--|
| Kaluste 2 | kalusteasennus | 0:06:30 | 0:05:20 | 0:00:50 | | | | | |
| Kaluste 3 | kalusteasennus | 0:06:51 | 0:01:45 | | | | | | |
| Kaluste 4 | kalusteasennus | 2:35:48 | 3:14:18 | 0:00:30 | 0:01:42 | | | | |
| Eristäjä 2 | käynti | 0:00:15 | | | | | | | |
| Sähköri 4 | Keittiö/Käytävän sähköt | | | | | | 0:32:40 | | |
| Sähköri 1 | kiertely | | | | 0:00:10 | | | | |
| L2 | käynti | | 0:00:14 | | | | | | |
| Tele 1 | teleasennus | | | | 0:16:15 | | | | |
| Kaide 1 | käynti | | 0:00:10 | | | | | | |
| Laminaatti | Lattian paikkaus | | | | | | 0:09:45 | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| kuivaus? | kuivaus | 0:09:30 | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | | | | 0:55:05 | 0:03:40 | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | 0:00:40 | 0:00:10 | 0:00:30 | 0:05:00 | | | | |
| Fira | kiertely | | | | 0:00:10 | | | | |
| 43 | | | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 19.loka | 20.loka | 21.loka | 22.loka | 23.loka | 24.loka | 25.loka | |
| Kaluste 1 | kalusteasennus | 0:10:05 | | | | | | | |
| Kaluste 3 | kalusteasennus | 0:06:10 | | | | 0:04:05 | | | |
| Sähköri 4 | sähkökalustus | 0:31:55 | | 0:15:15 | 0:00:10 | | | | |
| Sähköri 1 | käynti | | | 0:02:30 | | | | | |
| Putkari | patterin säätö | 0:01:35 | | | | | | | |
| Laminaatti | laminaattiasennus | 0:03:10 | 1:33:25 | 0:08:05 | | 0:09:40 | | | |
| IV | IV asennus | 0:14:35 | 0:00:10 | | | | | | |
| Tele 1 | telemittaus | | | 0:00:50 | | | | | |
| Tele 2 | telemittaus | | 0:01:30 | 0:01:30 | | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | | 0:00:15 | | | | | |
| Siivooja | siivous | 0:07:55 | 0:05:55 | 0:35:15 | 0:04:35 | 0:05:55 | | | |
| Kahva | haalaus | | 0:00:20 | | | | | | |
| Fira | viimeistely työt | | | | | 0:13:35 | | | |
| 44 | | | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 26.loka | 27.loka | 28.loka | 29.loka | 30.loka | 31.loka | 1.mar- ras | |
| Ovi | oviasennus | 0:06:05 | 0:38:10 | 0:30:43 | | 0:00:10 | | | |
| Ovi 2 | oviasennus | | 0:27:10 | 0:30:13 | | 0:23:30 | | | |
| Laminaatti | välineen siirto | 0:00:10 | | | | | | | |
| Putkari | LVI-kalustus | 0:00:15 | 0:40:00 | 0:00:35 | 0:30:55 | 0:23:55 | | | |
| Tele 2 | telemittaus | | | 0:01:05 | | | | | |
| Kaluste 4 | käynti | | | | | | 0:00:10 | | |
| Kodinkone | kodinkone | | | | 0:07:25 | | | | |
| KK1 | kodinkone | | | | 0:33:40 | | | | |
| KK 2 | kodinkone | | | | 0:15:35 | | | | |
| KK TJ? | kodinkone | | | | 0:08:00 | | | | |
| KPH katto | käynti | | | | 0:00:05 | | | | |
| Sähköri 4 | sähkökalustus | | | | 0:09:15 | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | 0:19:40 | 0:05:50 | | 0:04:15 | 0:04:50 | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | 0:00:15 | | 0:00:30 | | | | | |
| Fira | yleiset työt | | 0:00:15 | 0:07:00 | 0:03:50 | | | | |
| duunari | käynti | | 0:00:50 | | 0:00:05 | | | | |
| pelti? | peltiasennus? | | 0:26:45 | | | | | | |
| timpuri? | Parveketöitä | | 0:00:15 | | | | | | |
| Kahva | käynti | | | | | | 0:00:20 | | |

| | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| ???? | ? | 0:02:25 | | | | | | |
| | | 45 | | | | | | |
| Työvaiheet | | 2.mar- ras | 3.mar- ras | 4.mar- ras | 5.mar- ras | 6.mar- ras | 7.mar- ras | 8.mar- ras |
| Lista | listoitus | 0:51:10 | | | | | | |
| Ovi | kameran siirto | | 0:00:25 | | | | | |
| Ovi 2 | välineen siirto | 0:00:10 | | | | | | |
| APK | kodinkone kytkentä | 0:14:15 | | | | | | |
| Sähköari 4 | käynti | 0:00:05 | | | | | | |
| Lukko | lukitus ja heloitus | | | 0:02:00 | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | 0:09:50 | 0:09:25 | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | 0:00:35 | | | | | |
| Fira | yleiset työt | 0:01:10 | | | | | | |
| kahva | käynti | | | 0:00:10 | | | | |

Asunnon A12 prosessikuva

| Työntekijöiden esiintyminen A-12 | | 34 | | | | | | |
|----------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| Työvaiheet | | PVM | 18.elo | 19.elo | 20.elo | 21.elo | 22.elo | 23.elo |
| VS | Väliseinä 1-puoli | | | 0:36:31 | | | | |
| Sähköri 1 | Runkokaapelointi | | | | 0:09:50 | | | |
| Sähköri 2 | Runkokaapelointi | | | | 0:11:04 | 0:14:34 | | |
| Putkari | Patteriasennukset | | 0:17:13 | | | | | |
| Kuivaus | Kuivausmittaus yms. | | | | | 0:05:12 | | |
| Etuputsi | etuputsi | | 0:11:31 | | | 0:00:21 | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | | 0:00:10 | | | | |
| piikkaus | piikkaus | | 0:12:50 | | | | | |
| siivooja | siivous | | 0:07:30 | | | | | |
| Aret | välineen siirto | | | 0:00:30 | | 0:00:20 | | |
| | | 35 | | | | | | |
| Työvaiheet | | 24.elo | 25.elo | 26.elo | 27.elo | 28.elo | 29.elo | 30.elo |
| Sähköri 3 | Asuntojen kaapelointi | | 0:00:48 | 3:36:33 | 0:11:32 | 0:25:09 | | |
| Sähköri 1 | Asuntojen kaapelointi | | | 0:03:33 | | | | |
| Sähkö työnj? | Tarkastuksia? | | | 0:05:05 | | | | |
| Hitsari | Patteriasennukset | 0:03:47 | 0:00:19 | 2:38:30 | 0:00:39 | | | |
| H2 | Patteriasennukset | 0:00:26 | 0:00:51 | 0:00:54 | | | | |
| putkari | Patteriasennukset | | | | 0:02:10 | 0:03:13 | | |
| palokatko | palokatko | | | 0:01:00 | | | | |
| LTU tj | Mestalla kiertely | | | | | 0:00:15 | | |
| Tasoittaja 1 | Mestalla kiertely | | | | | 0:00:15 | | |
| Tasoittaja 2 | Mestalla kiertely | | | | | 0:00:15 | | |
| Etuputsi | Katon saumat | | | 0:01:10 | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | | | | 0:08:15 | 0:14:25 | | |
| duunari | yleiset työt | | | 0:01:30 | 0:03:50 | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | | | 0:00:50 | | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | | | 0:02:55 | | | |
| timpuri | piikkaus | | | | 0:42:55 | | | |
| | | 36 | | | | | | |
| Työvaiheet | | 31.elo | 1.syys | 2.syys | 3.syys | 4.syys | 5.syys | 6.syys |
| Sähköri 3 | Asuntojen kaapelointi | 0:17:22 | 0:23:23 | | | | | |
| Sähköri 1 | Asuntojen kaapelointi | 0:20:34 | 0:01:28 | | | | | |
| Sähkö työnj? | käynti | | 0:00:25 | | | | | |
| VS | VS tuplaus ja alakatot | | 1:12:28 | 0:02:36 | | | | |

| | | | | | | | | |
|------------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Hitsari | painekokeet? | 0:00:30 | 1:04:16 | | | | | |
| KPH Putkari | KPH putiken työstö | | 2:04:23 | | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Aret | käynti | | 0:00:45 | | | | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | 0:26:05 | | | | | | |
| Siivooja | käynti | | 0:00:25 | | | | | |
| | | 37 | | | | | | |
| Työvaiheet | | 7.syys | 8.syys | 9.syys | 10.syys | 11.syys | 12.syys | 13.syys |
| Tasoittaja 1 | Tasoitus | 0:42:23 | 0:30:28 | | | | | |
| Tasoittaja 2 | Tasoitus | 0:30:37 | 0:09:33 | | | | | |
| Maalari | maalauk | | | | | 0:19:34 | | |
| Putkari | putkien ssätö? | | 0:00:08 | | | 0:00:30 | | |
| Hitsari | käynti | 0:00:36 | | | | | | |
| Porrassähköt? | käynti | | | 0:00:08 | | | | |
| IV | käynti | | | 0:00:08 | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | | | 0:00:10 | 0:00:12 | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | 0:04:26 | 0:02:11 | | | | |
| Aret | KPH etuputsi | | 0:18:04 | 0:00:17 | | | | |
| duunari | yleiset työt | | | | | 0:02:05 | | |
| ?? | käynti | | | 0:00:38 | | | | |
| | | 38 | | | | | | |
| Työvaiheet | | 14.syys | 15.syys | 16.syys | 17.syys | 18.syys | 19.syys | 20.syys |
| Maalari | maalauk | 0:50:19 | 0:33:53 | 2:09:45 | 0:01:06 | | 0:00:10 | |
| LTU tj | käynti | | | 0:00:17 | | | | |
| Tasoittaja 2 | välineen siirto | | | 0:02:57 | | | | |
| Putkari | vesijohtohajoitukset | 0:51:16 | 0:08:37 | | | 0:10:56 | | |
| Assembly | käynti | 0:00:29 | | | | | | |
| L1 | laatoitus | | | 0:00:14 | | | | 2:35:29 |
| L2 | laatoitus | | | 0:00:36 | | | 1:30:24 | 1:23:30 |
| Sähköri 3 | mittaus | | | | 0:00:08 | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| timpuri | käynti | 0:00:39 | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | | | 0:00:06 | 0:00:26 | | |
| Siivooja | siivous | | | | 0:00:10 | | | |
| Aret | KPH etuputsi | 0:01:52 | 0:05:50 | 0:15:02 | | | | |
| tuntimies | kiertely | | | 0:01:27 | | | | |
| Kuivaus | kuivausmittaus | | | 0:55:29 | 0:00:39 | | | |
| duunari | välineen siirto | | | | 0:00:20 | | | |
| Kahva2 | laattojen haalaus | | | | | 0:00:45 | | |
| | | 39 | | | | | | |
| Työvaiheet | | 21.syys | 22.syys | 23.syys | 24.syys | 25.syys | 26.syys | 27.syys |
| Maalari | kiertely | 0:00:07 | | 0:00:05 | 0:00:45 | | | |
| Sähköri 4 | sähkökalustus | 0:31:47 | 0:26:01 | 0:04:10 | 0:00:48 | | | |
| Sähköri 1 | sähkökalustus | 0:00:07 | 0:28:09 | | 0:00:39 | | | |

| | | | | | | | | | |
|------------------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| Patteri | patterien kytkentä | 0:11:05 | | | | | | | |
| L1 | laatoitus | | | | 0:10:44 | 2:00:35 | | | |
| L2 | laatoitus | | 0:01:40 | 1:13:44 | 0:07:40 | 0:02:29 | | | |
| LTU tj | Tarkastus | | | | 0:10:56 | | | | |
| LVIS TJ? | Tarkastuksia? | | | | 0:02:40 | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | 0:49:40 | 0:13:48 | | | | | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | 0:03:19 | | | | | | |
| Kuivaus | käynti | | 0:00:52 | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | | | 0:00:10 | | | | |
| ? | ? | 0:00:14 | | | | | | | |
| ?? | ? | 0:00:10 | | | | | | | |
| ???? | ? | | 0:00:28 | | | | | | |
| | | 40 | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 28.syys | 29.syys | 30.syys | 1.loka | 2.loka | 3.loka | 4.loka | |
| Sähköri 4 | sähkökalustus | 0:39:25 | | | | | | | |
| Sähköri 1 | sähkökalustus | | 0:50:32 | | | | | | |
| L1 | käynti | | 0:00:11 | | | | | | |
| L2 | laattojen leikkaus (re-work) | 0:05:03 | | | | | | | |
| Putkari | Kromit | 0:00:50 | | 0:00:58 | 0:56:17 | 1:17:35 | | | |
| Tele 2 | teleasennus | 0:17:27 | | | 0:23:59 | | | | |
| Maalari | käynti | 0:00:18 | | 0:00:45 | | | | | |
| palokatko | palokatko | | 0:03:01 | | | | | | |
| Tasoittaja 1 | käynti | | | 0:00:45 | | | | | |
| KPH katto | välineen siirto | | | | 0:00:25 | | | | |
| IV | mittaus | | | | | 0:01:50 | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | 0:00:43 | 0:28:31 | | 0:00:20 | 0:00:10 | | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | 0:01:03 | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | 0:00:54 | | 0:00:11 | | | | |
| | | 41 | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 5.loka | 6.loka | 7.loka | 8.loka | 9.loka | 10.loka | 11.loka | |
| Maalari | käynti | 0:00:13 | | | | | | | |
| Maalari 2 | Maalauksen korjaus | 0:23:54 | 0:16:25 | | | | | | |
| Sähköri 4 | välineen siirto + keittiön | | 0:00:10 | | 0:04:55 | | | | |
| Sähköri 1 | välineen siirto | 0:00:15 | | | | 0:01:10 | | | |
| Sähköri 3 | käynti | | | 0:00:11 | | | | | |
| Eristäjä | käynti | 0:00:23 | | | | | | | |
| Eristäjä 2 | käynti | 0:01:25 | 0:00:32 | | | 0:00:35 | | | |
| IV | IV asennus | 0:02:39 | | | | | | | |
| Putkari | Porraskäytävän nousu | | | 0:00:15 | 0:03:02 | | | | |
| Kaluste 1 | kalusteasennus | | | | | | | 0:49:53 | |
| Kaluste 2 | käynti | | | | | | | 0:00:20 | |
| Kaluste 3 | käynti | | | | 0:00:15 | | | 0:00:30 | |
| Kaluste 4 | kalusteasennus | | | | | | | 0:26:46 | |

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| KPH katto | KPH katto | | | | | | | 1:38:10 |
| Verho | Verhokiskot | | | | | 0:15:58 | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | | 0:02:35 | 0:01:50 | 0:00:10 | 0:13:25 | | |
| Fira | käynti | 0:01:46 | | | | 0:00:15 | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | | 0:00:10 | | | | |
| tuntimies | kuivauskalusto | | | 0:01:12 | | | | |
| Kahva | haalaus | | | | | 0:03:28 | | |
| duunari | yleiset työt | | | | | 0:06:33 | | |
| Bolt | haalaus | | | | | 0:02:35 | | |
| ?1 | ? | | | | | 0:00:10 | | |
| ?2 | ? | | | | | 0:00:10 | | |
| 42 | | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 12.loka | 13.loka | 14.loka | 15.loka | 16.loka | 17.loka | 18.loka |
| Kaluste 1 | kalusteasennus | 2:32:26 | 3:39:33 | 0:38:16 | 0:00:20 | | | |
| Kaluste 2 | kalusteasennus | 0:18:05 | 0:30:42 | 0:14:00 | | 0:00:20 | | |
| Kaluste 3 | kalusteasennus | 0:01:54 | 0:13:30 | | | | | |
| Kaluste 4 | kalusteasennus | 0:53:31 | 4:34:26 | 0:21:25 | 0:00:40 | | | |
| Eristäjä 2 | käynti | 0:00:15 | | | | | | |
| Sähköri 4 | Keittiö/Käytävän sähköt | | 0:00:05 | | | 1:41:10 | | |
| Sähköri 1 | kiertelä | | | | 0:00:30 | | | |
| Tele 1 | teleasennus | | 0:01:05 | | 0:14:20 | | | |
| Laminaatti | Lattian paikkaus | | | | | 0:01:15 | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| timpuri? | välineen siirto | 0:01:15 | | | | | | |
| kuivaus? | kuivaus | | 0:10:55 | | | | | |
| Siivooja | siivous | | | | 0:26:25 | 0:00:10 | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | 0:04:20 | 0:00:20 | | | | |
| Fira | välineen siirto | | | | | 0:00:55 | | |
| 43 | | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 19.loka | 20.loka | 21.loka | 22.loka | 23.loka | 24.loka | 25.loka |
| Kaluste 1 | kalusteasennus | 0:36:20 | | | | | | |
| Kaluste 3 | kalusteasennus | 0:06:10 | | | | 0:03:05 | | |
| Sähköri 4 | sähkökalustus | 0:35:55 | 0:01:20 | 0:12:30 | 0:15:45 | | | |
| Sähköri 1 | käynti | | | 0:00:10 | | | | |
| Putkari | patterin säätö | 0:03:40 | | | | | | |
| Laminaatti | laminaattiasennus | 0:00:40 | 1:48:35 | 0:08:10 | 0:00:20 | 0:00:10 | | |
| IV | IV asennus | 0:20:00 | | | | | | |
| Tele 1 | telemittaus | | | 0:01:20 | | | | |
| Tele 2 | telemittaus | | 0:00:55 | 0:01:55 | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | | | 0:00:50 | | | | |
| Siivooja | siivous | 0:06:50 | 0:04:20 | 0:25:40 | 0:10:10 | 0:07:40 | | |
| Fira | viimeistely työt | | | | | 0:08:35 | | |
| 44 | | | | | | | | |

| Työvaiheet | | 26.loka | 27.loka | 28.loka | 29.loka | 30.loka | 31.loka | 1.mar-ras | |
|------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| Lista | listoitus | | | | 0:00:05 | 0:10:05 | | | |
| Ovi | oviasennus | 0:06:15 | 0:39:30 | 0:05:57 | | | | | |
| Ovi 2 | oviasennus | | 0:21:35 | 0:16:52 | | 0:36:40 | | | |
| Laminaatti | käynti | 0:00:05 | | | | | | | |
| Putkari | LVI-kalustus | 0:00:15 | 0:37:20 | 0:01:25 | 1:14:25 | 0:21:20 | | | |
| Tele 2 | telemittaus | | | 0:01:15 | | | | | |
| Kaluste 2 | välineen siirto | | | | | 0:00:20 | | | |
| Kaluste 4 | välineen siirto | | | | | 0:00:10 | | | |
| Kodinkone | kodinkone | | | | 0:58:15 | | | | |
| KK1 | kodinkone | | | | 0:25:20 | | | | |
| KK 2 | kodinkone | | | | 0:30:50 | | | | |
| KK TJ? | kodinkone | | | | 0:22:05 | | | | |
| KPH katto | Katon säätö | | | | 0:00:50 | 0:03:15 | | | |
| Sähköri 4 | sähkökalustus | | | | 0:10:50 | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | 0:02:50 | 0:17:20 | 0:00:20 | 0:06:55 | 0:08:25 | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | 0:00:10 | 0:00:45 | 0:00:10 | | | | | |
| Fira | yleiset työt | | | 0:04:05 | 0:03:25 | | | | |
| duunari | yleiset työt | | 0:00:40 | | | | | | |
| pelti? | peltiasennus? | | 0:02:15 | | | | | | |
| ???? | ? | | | | | 0:00:10 | | | |
| | | 45 | | | | | | | |
| Työvaiheet | | 2.mar-ras | 3.mar-ras | 4.mar-ras | 5.mar-ras | 6.mar-ras | 7.mar-ras | 8.mar-ras | |
| Lista | listoitus | 0:40:05 | | | | | | | |
| Ovi | kameroiden siirto | | 0:00:23 | | | | | | |
| APK | kodinkone kytkentä | 0:15:05 | | | | | | | |
| Sähköri 4 | sähköjen säätö | 0:01:35 | | | | | | | |
| Lukko | lukitus ja heloitus | | | 0:19:00 | | | | | |
| Tuntityöntekijät | | | | | | | | | |
| Siivooja | siivous | 0:07:05 | 0:18:15 | | | | | | |
| Log | Logistiikka ja TR | 0:00:10 | 0:00:30 | | | | | | |
| Fira | yleiset työt | 0:01:00 | | | | | | | |