

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennusmestari (AMK)

2024

Niklas Kaamanen

# Tahtiaikataulun hyödyntäminen kerrostalorakentamisessa



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus

Rakennusmestari (AMK)

2024 | 51 + 2

Niklas Kaamanen

## Tahtiaikataulun hyödyntäminen kerrostalorakentamisessa

Tuotannon tehostamiseen keskittyvä tuotannosuunnittelun ja -ohjaamisen tapa, tahtituotanto, on viime vuosien aikana yleistynyt rakennusalalla. Se on osoittanut hyödyllisyytensä erityisesti rakennettaessa toistuvia tiloja, kuten kerrostaloja. Tässä opinnäytetyössä selvitetään tahtituotannon soveltumista kerrostalorakentamiseen. Opinnäytetyö toteutettiin Aura Rakennuksen Turun Pukkilan työmaalla. Opinnäytetyöhön haastateltiin viittä eri työnjohtoroolissa työskentelevää ihmistä.

Työssä perehdytään rakennushankkeen aikataulutuksen ja suunnittelun merkitykseen, Lean-filosofiaan sekä tahtituotantoon. Tahtituotantoon liittyen keskitytään erityisesti onnistuneen tahtituotannon edellytyksiin, tahtituotannolla saavutettuihin hyötyihin sekä mahdollisiin haasteisiin ja niiden ratkaisuihin. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, miten tahtituotanto soveltuu Pukkilan kerrostaloprojektiin ja nostaa esiin keskeisiä huomioitavia asioita sekä mahdollisiin haasteisiin ja riskeihin liittyviä kehitysehdotuksia.

Kaikki haastelluista kokivat tahtituotannon kerrostaloprojektissa erittäin hyödylliseksi tai hyödylliseksi suunnittelun ja ohjaamisen tavaksi. Tahtituotannon hyödyllisyydestä keskeisimmiksi tekijöiksi nostettiin mm. läpimenoajan lyhentyminen, toiminnan tehokkuuden kasvu, ohjattavuuden ja seurattavuuden parantuminen sekä aikataulun tarkkuutta parantavat syyt.

Tahtituotantoon liittyviksi haasteiksi ja riskeiksi opinnäytetyössä nousivat mm. erilaiset yhteistyöhön liittyvät tekijät, materiaalityöimien onnistuminen sekä puskureiden puute. Jokaisella työntekijällä tulisi olla ymmärrys tahtiaikataulusta ja sen toimintaperiaatteista. Päivittäisjohtamisen avulla voidaan vaikuttaa tiedonkulkuun ja nokkamiespalaverien merkitys korostui. Urakoitsijoilta toivottiin ennen kaikkea luottamusta, sitoutumista aikatauluun ja toimivaa yhteistyötä.

Asiasanat:

Lean, tahtiaika, tahtituotanto, tahtisuunnittelu, tahtiohjaus, rakentaminen

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Civil Engineering and Urban Infrastructure

Bachelor of Construction Management (AMK)

2024 | 51 + 2

Niklas Kaamanen

## Utilizing Takt Scheduling in Building Construction

A production planning and control approach focusing on enhancing production efficiency, known as flow production, has become increasingly common in the construction industry in recent years. It has proven to be beneficial particularly in the construction of repetitive spaces such as apartment buildings. This thesis explores the applicability of flow production to apartment building construction. The study was conducted at the Aura Building site in Pukkila, Turku. Data was collected through interviews involving five individuals working in various roles at the construction site.

The thesis delves into the importance of scheduling and planning in construction projects, Lean philosophy, and flow production. Specifically related to flow production, the focus is on the prerequisites for successful implementation, the benefits achieved through flow production, as well as potential challenges and their solutions. The purpose of the thesis is to assess how flow production suits the Pukkila project and to highlight key considerations as well as development suggestions related to potential challenges and risks.

All interviewees participating in the thesis considered flow production in the apartment project highly or somewhat useful as a planning and control method. Key factors contributing to the usefulness of flow production included shortened cycle times, improved operational efficiency, enhanced controllability and traceability, and improved schedule accuracy. Challenges and risks associated with flow production identified in the thesis included various factors related to collaboration, successful material deliveries, and lack of buffers. It was emphasized that all employees should have an understanding of the flow schedule and its principles. Daily management can influence information flow, and the importance of foremen's meetings was highlighted. Contractors were primarily expected to demonstrate trust, commitment to the schedule, and effective collaboration.

Keywords:

Lean, takt time, flow production, flow planning, flow control, construction

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>6</b>
<b>2 Tahtituotanto</b>	<b>8</b>
2.1 LEAN	9
2.2 LEAN tuotannonohjauksessa ja rakentamisessa	10
2.3 Tahtituotannon toimintatapa	12
<b>3 Tahtiaikataulun suunnittelu ja hyödyntäminen</b>	<b>14</b>
3.1 Tahtituotannon suunnittelu	15
3.2 Tahtiaika	17
3.3 Tahtiaikataulun suunnittelumenetelmät	19
3.4 Tahtituotannon toimivuus ja edut	22
3.5 Tahtiajan hyödyntäminen kerrostalokohteissa	24
3.6 Tahtituotannon haasteet, riskit ja niiden ratkaisut	26
<b>4 Tahtiaikataulun toteutus ja seuranta</b>	<b>29</b>
4.1 Kommunikointi ja yhteistyö eri sidosryhmien kesken <b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>	
4.2 Toteutuksen seuranta ja mahdollisten poikkeamien hallinta	29
4.3 Case-esimerkit erilaisista kerrostalokohteista	31
<b>5 Tulokset</b>	<b>33</b>
5.1 Kysely	33
5.2 Tiedonkeruumenetelmä	34
5.3 Aineiston käsittely	34
5.4 Mitkä ovat tahtituotannon hyödyt kerrostalorakentamisessa?	35
5.5 Miten vaikuttaa mahdollisiin haasteisiin kerrostalorakentamisen tahtituotannossa?	38
<b>6 Johtopäätökset tahtiaikataulun hyödyllisyydestä</b>	<b>42</b>
6.1 Suunnittelu ja tahtiaika työn keskeisinä teemoina	43
6.2 Yhteistyön toimivuus avainasemassa	44

6.3 Materiaalitoimitus ja resurssivalmius	45
6.4 Jatkotutkimusehdotukset	46

<b>Lähteet</b>	<b>47</b>
----------------	-----------

## **Liitteet**

Liite 1. Kyselylomake

## **Kuvat**

Kuva 1. Toyota Production System, TPS	10
Kuva 2. Tahtiajan suunnittelujärjestys	19
Kuva 3. Tahtiaikataulun vaunut excelissä	20
Kuva 4. Tahtiaikataulunäkymä Mestamasterissa	21
Kuva 5. Tahtiajan hyödyt eri rooleille	24
Kuva 6. Tahtialueiden jako Pukkilassa	25

## **Taulukot**

Taulukko 1. Tahtituotannon hyödyt Pukkilassa      **Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.**

# 1 Johdanto

Opinnäytetyö käsittelee tahtiaikataulun hyödyntämistä kerrostalokohteessa. Viime vuosien aikana rakennusosalalla on havaittu merkittävää tahtituotannon käytön lisääntymistä. Tahtituotanto onkin yksi nykyajan puhutuimmista teemoista rakennusalan tuottavuuden parantamiseen liittyen - eikä syyttä, sillä tahtituotanto on tuonut kaivattua kehitystä rakennustuotannon tehokkuuteen ja hallittavuuteen. Vaikka tahtituotannon soveltamisessa on kohdattu myös haasteita, myös hyviä tuloksia on saavutettu nopeastikin. Tahtituotannon päämääränä on hajottaa työvaiheet toistuviin, yhtä suuriin osiin, joiden avulla työ etenee tarkasti aikataulun rytmissä pysyen projektin kokonaisaikataulussa. Tavoitteen konkretisoimiseksi tahtituotannossa pyritään tehostamaan työvaiheiden suunnitelmallisuutta, minimoimaan työvaiheiden välistä aikaa ja supistamaan koko hankkeen läpimenoaikaa.

Tahtituotanto osoittaa tehokkuutensa erityisesti riittävän samanlaisissa ja toistuvissa tiloissa tai rakennusosissa, eli ennen kaikkea projekteissa, joissa on paljon toistuvia työkohteita, kuten hotellit, sairaalahuoneet, toimistot, asuntorakentaminen ja -korjaaminen sekä erilaiset infrastruktuurihankkeet. Olennaista on samankaltaisuus, jonka johdosta työt voidaan suorittaa tasaisina, työmäärältään samanpituisina paketteina, mikä mahdollistaa työn sujuvan etenemisen ja tehokkaan aikataulutuksen. Huolimatta siitä, että tahtituotannossa jatkuvasti toistuvat työvaiheet rajoittavat sen soveltuvuutta tiettyihin ympäristöihin, voidaan sitä soveltaa myös yhä monipuolisempiin työkohteisiin, kunhan valittavat alueet ovat tarkkaan harkittuja ja tehtävät mitoitettu kestoltaan samankaltaisiksi.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, miten tahtiaikataulua suunnitellaan, ohjataan sekä hyödynnetään kerrostalokohteessa. Lisäksi pyrittiin tunnistamaan tahtituotantoon liittyviä haasteita ja tarjoamaan niihin ratkaisu- ja kehitysehdotuksia. Opinnäytetyössä hyödynnettiin kyselypohjaa, jonka avulla selvitettiin, millaisia kokemuksia tahtiaikataulun käytöstä on ja mitkä tekijät koetaan keskeisiksi onnistuneessa tahtituotannossa.

Opinnäytetyö toteutettiin Aura Rakennus Oy:lle, joka on vuonna 2018 perustettu rakennusyhtiö, joka toimii tällä hetkellä Turun, Helsingin, Oulun sekä Tampereen talousalueilla. Opinnäytetyöllä kerätään tietoa erityisesti tahtituotannon hyödyntämisestä kerrostalorakentamisessa. Tarve kumpuaa yhtiön nopeasta kasvusta ja palvelulupauksesta ratkaista haasteet nopeasti ja tehokkaasti. Tahtituotannon tarkoituksena on myös vähentää työmaalla häiriöitä sekä hukkaa, jotta rakennusaika saadaan hyödynnettyä tehokkaammin. Opinnäytetyön kohde on Turun Pukkilan työmaa, johon rakentuu kolmen kerrostalon asuinkortteli sisältäen reilut 360 asuntoa.

## 2 Tahtituotanto

Tahtiaikataulu on hyvin aikataulutettu ja tehokas tapa viedä rakennusprojektien tuotantoa eteenpäin nyt ja tulevaisuudessa (Fira n.d.; LCI Finland n.d.) Se rakentuu tarkan suunnittelun, prosessien optimoinnin ja aikataulujen noudattamisen varaan. Tahtituotannossa rakennustyöt jaetaan karkeasti samanmittaisiin paketteihin eli vaunuihin. Jokaiselle vaunulle määritellään tuotantotavoitteet ja tarkka aikataulu. Työt etenevät jatkuvana virtana, ja eri työvaiheet yhdistyvät sujuvasti (Fira n.d.) Tahtituotannon avulla voidaan nopeuttaa projekteja ja parantaa niiden laatua. Sekä Suomessa että maailmalla tahtituotantokokeilut ovat osoittaneet rakentamisen läpimenoaikojen merkittävää lyhentymistä tinkimättä kuitenkaan rakentamisen laadusta. (LCI Finland n.d.)

Tahtituotannon keskeisiä piirteitä ovat suunnitelmallisuus, virtausperiaate sekä eri tahojen välinen tiivis yhteistyö. Suunnitelmallisuus edellyttää yksityiskoh- taista etukäteissuunnittelua, jotta tiedetään tarkasti mitä, milloin ja missä tehdään. Virtausperiaate korostaa työvaiheiden sujuvuutta ja materiaalien saata- vuutta. Yhteistyöllä korostetaan viestintää kaikkien rakennusprojektissa osalli- sina olevien tahojen kesken. (Fira n.d.)

Kerrostalarakentamisessa tahtiaikataulussa rakentaminen organisoidaan teh- dastoimintamaisesti, jolloin yksi vaihe, esimerkiksi vinyylin asennus, aikataulute- taan koko talon sijaan kunkin asunnon osalta. Tällainen aikataulutustapa mah- dollistaa sen, että rakennuksessa voidaan samaan aikaan tehdä useita eri työ- vaiheita, eivätkä työt keskeydy yhden urakoitsijan töiden takia. Näin rakentami- nen on tehokkaampaa. Tahtiaikataulua on sovellettu jo vuosikymmenien ajan esimerkiksi autoteollisuudessa, ja vähitellen menetelmä on levinnyt myös raken- nusalalle. (Fira n.d.)

Tahtituotannon hyöty näkyy erityisesti aikataulun varmuuden lisääntymisessä. Yksi tahtituotannon merkittävimmistä hyödyistä onkin mahdollisuus aikataulun ja tilannekuvan realistiseen seurantaan. Tämä hyöty korostuu erityisesti rakennus- hankkeen luovutusvaiheessa. Aiemmissä tutkimuksissa ja pilotoinneissa on



huomattu, että luovutusvaiheen suunnittelu tahtiin lisäsi kohteessa sekä tarkkuutta että toimintavarmuutta. (LCI Finland n.d.).

Mitä lyhyempi on tahtiaika, eli aika, jolloin työryhmä suorittaa sovitut tehtävänsä yhdellä sovitulla työalueella ja siirtää sen virheettömänä seuraavalle työryhmälle ennen siirtymistä seuraavalle työalueelle, sitä pienempi on myös tarkasteltavan työalueen koko. Mitä pienempi työalue puolestaan on, sitä vähemmän työmaalla on alueita, joita kukaan ei edistä eteenpäin. Tällaisen tilanteen saavuttaminen johtaa läpimenoaikojen nopeutumiseen ja tuottavuuden kasvuun, sillä resurssit hyödynnetään tehokkaammin ja työskentely on johdonmukaisempaa, mikä puolestaan edistää projektin sujuvaa etenemistä. (Merikallio n.d.)

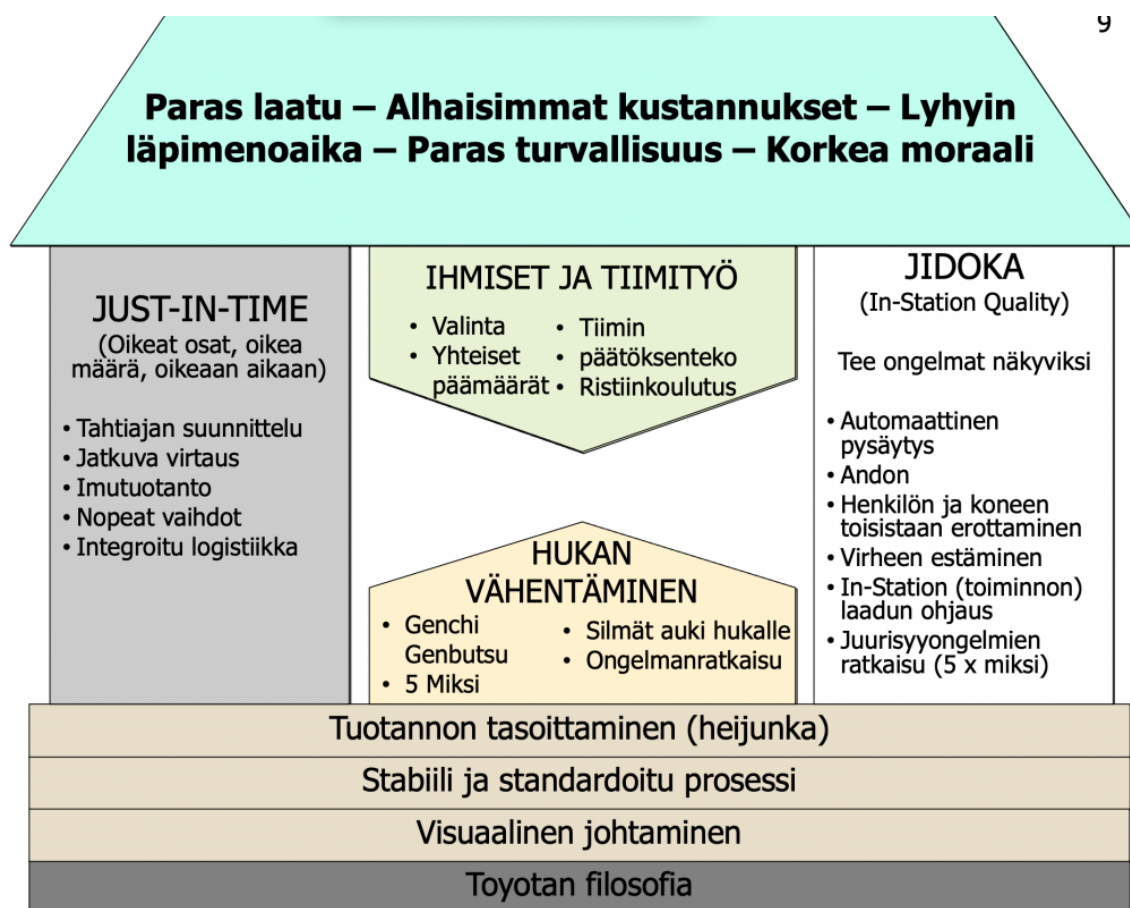
## 2.1 LEAN

Termi LEAN juontaa juurensa japaninkieliseen sanaan "*genryou*", joka kuvaa menetelmää, jossa pyritään poistamaan kaikki tarpeeton ja toteuttamaan hoikkaa (lean) tuotantoa. Leanin keskeinen tarkoitus on korostaa hukkan vähentämistä ja tehokkuuden maksimointia ja täten parantaa tuotannon arvovirtaa. (Ohno 1988; RIL 276-2021, 15.)

Lean-ajattelu pohjautuu Toyotan tuotantofilosofiaan (Toyota Production System, TPS, kuva 1), tuoden vaihtoehdon perinteiselle tuotannonjohtamiselle (RATU 2017, 13). Eiji Toyoda, Taiichi Ohno ja muut Toyotan edustajat hakivat inspiraatiota Fordin massatuotannosta pyrkien kuitenkin yhteensovittamaan sen laajemmän tuoteräätälöinnin kanssa. Toyotan edustajien tavoitteena oli ratkaista havaitsemiaan ongelmia sekä laadussa että resurssihukassa. (RIL 276-2021, 15.) Myöhemmin tämä autoteollisuuden tuotantomenetelmä mukautettiin muuhun teolliseen toimintaan sopivaksi (Womack ym. 1990). 1980-luvun lopulla uudella tuotantofilosofialla toimivista tehtaista alettiin käyttää nimitystä Lean Production System (RIL 276-2021, 15).

Tänä päivänä lean on yksi suosituimmista liiketoiminnan johtamisopeista. Se on onnistunut pysymään pinnalla, vaikka sen juuret ulottuvatkin jo 1950-luvun

autotehtaiden laatuajatteluun. Lean-ajattelu kehittyy ja uudistuu jatkuvasti. Lean-ajatteluun on lisätty uusia menetelmiä ja soveltamistapoja toimintaympäristöjen muuttuessa. Tämä näkyy erityisesti sen käyttöönotossa eri toimialoilla, kuten rakennusalalla. (RIL 276-2021, 15.)



Kuva 1. Toyota Production System, TPS (Karjalainen 2014.)

## 2.2 LEAN tuotannonohjauksessa ja rakentamisessa

Lean-rakentamiselle ei ole olemassa tarkkaa määritelmää, mutta sen voidaan ajatella olevan kokoelma tekniikoita, menetelmiä sekä periaatteita, jotka auttavat prosessien kehittämisessä (Mossman 2018). Rakennusalalla tuottavuuteen liittyviin haasteisiin on viime vuosikymmenien aikana haettu vastauksia lean-rakentamisesta (Bertelsen & Koskela 2004; Howell 1999). Lean-periaatteiden rakennusalan läpimurto on merkittävä erityisesti siksi, että suuret tilaajat ovat

kasvavissa määrin alkaneet vaatia niiden noudattamista. Lean-periaatteiden soveltamista rakentamiseen haastaa kuitenkin rakentamiselle tyypillinen projekti-toimintamaisuus. Lean-toiminta kehitettiin alun perin teollisuustuotannon tehostamista varten, mikä selittää osaltaan oppien saapumista rakennusteollisuuteen vasta muita teollisuudenaloja myöhemmin. (RIL 276-2021.)

Suomalaiset ovat olleet merkittävässä roolissa Lean-periaatteiden tuonnissa rakennusteollisuuteen. Lean-rakentamisen teoreettinen perusta on Koskelan 1990-luvun alussa kirjoittamassa väitöskirjassa, jota luodessaan hän kehitti uutta Toyotan tuotantosysteemiin perustuvaa tuotantoteoriaa rakennusosalalle (Koskela 2000; (RIL 276-2021, 25.) Koskela esitti idean yhdistää olemassa olevia tuotantoteorioita kattavaksi muunnoksen, virtauksen ja arvonluonnin malliksi, TFV:ksi. Hän tunnisti kolme erilaista tuotantomallia, joista jokainen pyrkii parantamaan tehokkuutta omalla tavallaan (RIL 276-2021, 25):

- 1. Muunnos:** Perinteinen valmistusprosessi, jossa tuotantopanokset muunnetaan erilaisilla tuotantotehtävillä tuotteiksi. Tehokkuutta pyritään parantamaan optimoimalla tuotantotehtävien suorituskykyä.
- 2. Virtaus:** Tuotanto etenee vaiheittaisen prosessin mukaisesti, ja siihen sisältyy sekä arvoa tuottavia että hukaksi luokiteltavia aineita. Tuottavuuden kehitys tapahtuu vähentämällä hukan määrää.
- 3. Arvon luonti:** Asiakas määrittelee omat tarpeensa, ja tuotanto pyrkii suunnittelemaan sekä toteuttamaan tuotteen mahdollisimman hyvin näitä tarpeita vastaavaksi. Prosessia kehitetään edelleen parantamalla asiakkaan kokemaa arvoa, esimerkiksi luomalla mittareita, jotka arvioivat tuotannon suorituskykyä näiden tarpeiden täyttämässä.

Koskelan TFV-teoriassa yhdistettiin nämä kolme näkökulmaa luoden konsepti, joka tukee paremmin rakennusprojektin arvonluontiprosessia, sillä rakentamisen eri vaiheisiin (suunnittelu, teollinen valmistus, työmaatoiminta) tarvitaan kaikki edellä mainitut lähestymistavat, jotta prosessi saadaan toimimaan optimaalisesti ja arvoa tuottavasti (RIL 276-2021, 26).

Rakennusosalalle sopivien Lean-työkalujen kehittäjänä pidetään Glenn Ballardia, jonka käsialaa on yksi tunnetuimmista Lean-prosessinhallinnan työkaluista Last Planner System eli LPS (Ballard 2000). LPS:n jälkeen on tutkittu ja kehitetty useita muita erityisesti rakentamiseen sopivia tuotannonsuunnittelu ja -ohjausmenetelmiä, joista tahtituotanto on yksi esimerkki (Frandsen ym. 2015; Seppänen 2014).

### 2.3 Tahtituotannon toimintatapa

Rakennusprojektissa hankkeen riskien vaikutukset tuotantoon tulee aina arvioida tarkasti. Riskinarviointi korostuu rakennusosalalla, joka on monimutkainen teollisuuden ala. (Bertelsen & Koskela 2004; Taroun, Yang & Lowe 2011.) Päivittäisjohtamisen tasolla voidaan vaikuttaa rakennustuotannon vaihteluun. Lean-filosofian ja sitä kautta tahtituotannon kulmakivenä on avoin tilannekuva, joka aikaansaadaan onnistuneella päivittäisjohtamisella. (Frandsen ym. 2014.)

Tietyt työmaan toimintatavat vaikuttavat onnistumisen edellytyksiin tahdin aikana. Tahtiohjauksen pääasiallinen tarkoitus on mahdollistaa työryhmille rauha tehdä tehtävänsä kerralla oikein. Varsinkin silloin, kun tahtiaika on erityisen lyhyt, on tahtiohjaukseen kiinnitettävä huomiota ja panostettava aikaa ja vaivaa. Tahtiohjauksen keskiössä ovat esimerkiksi jatkuvat, vähintään tahdin rytmissä toistuvat johtamisen rutiinit, kuten päivittäisjohtamisen palaverit. (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 27–28.) Aamupalavereissa aliurakoitsijoiden nokkamiehet kutsutaan pohtimaan, mitä on saatu aikaan, mitä tehdään seuraavaksi ja miten toimintaa voitaisiin parantaa. Lean-ajattelu näkyy aamupalavereissa esimerkiksi aikataulujen läpinäkyvyytenä. (Mölsä 2019.)

Tahtituotannon kannalta rakennustyömaan onnistunut logistiikkaprosessi (materiaalien ja työtarvikkeiden toimitus sekä jätteiden hallinta) varmistaa, että tarvittavat materiaalit ovat saatavilla työmaalla oikeaan aikaan (Oliveira & Sierra 2003, 2; Rakennusteollisuus RT ry, VTT & Mittaviiva Oy 2009). Logistiikkasuunnitelma laaditaan työnjohdon toimesta ja se on keskeinen osa työmaan tuotannonsuunnittelua. Onnistunut logistiikkasuunnitelma vähentää kerrannaisvaikutuksia sekä

työvaiheiden aikatauluihin että kustannuksiin. (Pahkala ym. n.d.) Materiaalivirtojen hallinta työmaalla on tärkeää kustannustehokkuuden ja hukan poistamisen lisäksi työtehtävän keston minimoinnin kannalta, varsinkin tarkasteltaessa materiaalivirtoja työtilakohtaisesti (Sacks 2016). Logistiikkasuunnitelman tulee olla reaaliaikainen eli sitä on päivitettävä kohteen etenemisen mukaan (Pahkala ym. n.d.). Onnistuneiden materiaalitoimitusten ansiosta tuotannon aikataulu pitää paremmin (Rakennusteollisuus RT ry, VTT & Mittaviiva Oy 2009).

### 3 Tahtiaikataulun suunnittelu ja hyödyntäminen

Rakennuttaja asettaa hankkeelle rakentamisajan. Varsinaiseen rakentamisvaiheeseen varattuun aikaan voivat vaikuttaa useat tekijät, kuten tilantarve, suunniteltu käyttöönottoajankohta, tilaajan ja rakennuttajan näkemykset kohtuullisesta rakennusajasta, rahoitustilanne ja mahdolliset myyntimahdollisuudet sekä viranomaisten toiminta ja suunnitelmien valmistuminen. (Ratu KI-6031, 2017, 64.)

Rakennustyömaan aikataulujen tarkoituksena on kuvata tuotantoa ja toimia työmaan ohjauksen ja valvonnan välineinä. Aikataulujen on oltava tarkkuustasoltaan sopivia ja realistisia heijastaen asetettuja tavoitteita. Keskeinen tekijä onnistuneessa aikataulusuunnittelussa on kaiken käytettävissä olevan tiedon hyödyntäminen hankkeen edetessä ja ajallisen suunnitelman tarkentaminen sen mukaisesti. Lisäksi tuotannon poikkeamien havainnointi ja niihin varautuminen ovat tärkeitä tekijöitä. Varautua tulee myös suunnitelmien ja olosuhteiden muutoksiin. (Ratu KI-6031, 2017, 62.)

Aikataulua suunniteltaessa pyritään löytämään työn realistinen toteutusmalli, joka perustuu käytettävissä oleviin tietoihin. Mallissa asetetaan hankkeelle ja yksittäisille työtehtäville tavoitteet, jotka koskevat tehtävien aloittamista ja päättämistä aikataulun mukaisesti sekä työvoiman käyttöä. Tavoitteet tulee suunnitella realistisesti ja niiden tulee olla mitattavissa aikaan ja tuotokseen sidottuina. Rakennusprojektin aikataulu toimii ohjekarttana projektin etenemiselle. Aikataulu määrittelee mitä ja milloin tehdään, jotta rakennusprojektin tavoitteet voidaan saavuttaa. Aikatauluttaminen on ajoituksen määrittämistä ja tehtävien järjestelyä kokonaisuuden hallitsemiseksi. (Ratu KI-6031, 2017, 6, 64.)

Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus vaativat projektinjohtoon erikoistunutta osaamista. Tietojen, taitojen, välineiden ja tekniikoiden hallinta on keskeinen tekijä projektin tavoitteiden ja vaatimusten saavuttamisessa. Rakennushankkeessa tämä tarkoittaa eri vaiheiden hallintaa osana projektin eri prosesseja. Projektin onnistuminen edellyttää yleensä tehokasta johtamista. Projektijohtaminen viittaa resurssien, kuten työvoiman, materiaalien, rahan ja

energian hallintaan siten, että projekti voidaan saattaa päätökseen suunnitellun sisällön ja laadun, aikataulun sekä budjetin mukaisesti. (Ratu KI-6031, 2017, 5–6.)

Aikatauluja voidaan luoda erilaisilla laatimis- ja piirtotekniikoilla. Työmaan ohjauksen kannalta on hyödyllistä laatia erilaisia aikatauluesityksiä käyttötarkoituksen mukaan. Esimerkiksi jana-aikataulu toimii yleisaikatauluna informatiivisuutensa vuoksi, paikka-aikakaavio on hyödyllinen tuotannon suunnittelun ja ohjauksen apuväline, valvontavinjetti puolestaan tarjoaa työn valvontaan ja ohjaukseen liittyviä näkökulmia, ja lukujärjestys tai jana-aikataulu voivat toimia yhteisesti sovittujen viikon töiden ilmentymänä viikkosuunnitelmassa. (Ratu KI-6031, 2017, 21.)

### 3.1 Tahtituotannon suunnittelu

Lähtökohtana tahtituotannolle on onnistunut tahtisuunnittelu, johon liittyen rakennusalalla on tunnistettu kolme erilaista menetelmää: Kalifornian sairaalakoh-teissa kehitetty yhteistoiminnallinen tahtisuunnittelun prosessi, Saksassa kehitetty pääosin tekninen kolmitasoinen prosessimalli sekä hyttisaneerauksessa käytetty logistiikan roolia ja lyhyttä tahtiaikaa korostava malli. Nämä menetelmät parantavat työskentelyä, edistävät osapuolten välistä yhteistyötä ja optimoivat resurssien käyttöä rakennustyömaalla. (LCI Finland n.d.)

Hankkeen alkuvaiheeseen sijoittuva onnistunut tahtisuunnittelu on yksi keskeisistä onnistuneen tahtituotannon tekijöistä. Suunnittelulla luodaan pohja tuotannon aikaiselle tarkemmalle tahtisuunnittelulle. (LTQ-rakennus Oy n.d.) Tahtisuunnittelun yleinen tarkoitus on luoda suunnitelma hankkeen, ja erityisesti tuotannon läpiviemiseksi rytmikkäästi ja virtaavasti (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 7). Tahtisuunnittelu vaatii tilaajalta ja pääurakoitsijalta ymmärrystä tahtituotannosta (LTQ-rakennus Oy n.d.). Prosessi alkaa tahtiajan määrittämisellä, kun tiedetään projektin valmistumisaikataulu, josta johdetaan päivittäinen tavoite. Seuraavana vaiheena on suunnitella päivittäinen työtuntimäärä. Näiden tietojen avulla voidaan laskea tuotantoaikataulu. Kun tunnetaan tahtiaika,

valmistumiseen tarvittava työmäärä, tuotannon kokonaistehokkuus ja käytettävissä oleva työaika, voidaan laskea työvaiheiden tarvittava määrä tahtiajan saavuttamiseksi. (Kilponen & Jokinen n.d.)

Tuotannonaikainen tahtisuunnittelu aloitetaan eri osapuolten kesken jo ennen töiden alkua ja tahtituotantokonsepti suunnitellaan yhdessä projektinjohtourakoitsijan kanssa. Konseptin ollessa valmis, tahdit on suunniteltu ja mitoitettu, pidetään aliurakoitsijoille infotilaisuus, jossa selitetään auki tahtituotannon idea ja alustavat suunnitelmat. Aliurakoitsijoille annetaan mahdollisuus kommentoida ja kehittää esitettyjä alustavia suunnitelmia. (Mölsä 2019.)

Tahtisuunnittelun lopputuloksena tavoitellaan tarkkaa suunnitelmaa aikataulusta ja resurssien käytöstä. Näin tahtivaunut pääsevät etenemään tahtialueiden läpi tahtiajan puitteissa. (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 7.) Suunnittelun tuloksena syntyy tahtiaikataulu, jota ohjataan tahtiohjauksen kautta. Tahtiohjaus kertoo missä, miten ja millä resurssein hankkeen ja tuotannon tehtäviä toteutetaan (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 7). Tahtiaikataulusta kaikki rakennustyömaalla työskentelevät näkevät, mitä töitä minäkin päivänä on tarkoitus tehdä ja milloin niiden tulee olla valmiina. Tämä vähentää kitkaa eri työvaiheiden välillä, kun seuraavan vaiheen työntekijät pääsevät jatkamaan osuuttaan tehokkaasti. Esimerkiksi kerrostaloprojektissa työt on ajoitettu niin, että kaikki asunnoista valmistuvat tasaisesti. Yhden työryhmän saadessa osuutensa valmiiksi, ryhmä siivoaa jälkensä ja siirtyy itsenäisesti seuraavaan kohteeseen tahtiaikataulun mukaisesti. (Sormunen 2018.)

Tahtisuunnitelmaa tulee myös päivittää yhteistoiminnallisesti sitä mukaa, kun työmaa etenee. Lisäksi tulee varmistaa, että kaikilla osapuolilla on jatkuvasti ajantasainen tilannekuva. Voidaan pitää hyvin todennäköisenä, että suunnitelmaan pitää tehdä muutoksia, jotka tulee aina tehdä tarpeeksi ajoissa, jotta muutosten vaikutukset eri työvaiheisiin voidaan ennakoida. Jos yksi vaunu myöhästyy, saattaa pahimmassa tapauksessa koko tahtijuna pysähtyä. Yleisesti voidaan todeta, että mitä aiemmin osapuolet otetaan suunnitteluprosessin osalliseksi sen parempi. (LTQ-rakennus Oy n.d).



### 3.2 Tahtiaika

Tahdin pituudella tarkoitetaan sykliä, jolla tahtituotanto etenee tahtialueilla, eli käytännössä sitä aikaa, joka kaikilla tehtävillä on saada työvaiheensa tehtyä yhdessä tahdissa (Mestamaster n.d). Tahtiajan tarkoituksena on varmistaa tuotannolla olevan tarpeita vastaava rytmi (Heinonen & Seppänen 2016). Yleisimmät tahdin pituudet ovat (Mestamaster n.d):

- yksi työpäivä (1 pv)
- kaksi työpäivää (2 pv)
- puoli viikkoa (2,5 pv) -esimerkiksi maanantaista keskiviikon lounasaikaan asti, seuraava tahti alkaa lounaan jälkeen kestäen perjantaihin asti
- viikon tahti (5 pv)

Tahtiajan määrittämiseen on olemassa eri tapoja: TPTC:ssä lasketaan tahtialueen lyhin mahdollinen tahtiaika pienimmän toistuvan yksikön mukaan (Haghsheno ym. 2016). Kalifornian mallin mukaan tahtiaika taas perustuu kestoltaan pisimpään työvaiheeseen, jota ei voi jakaa osiin (Tommelein 2017). Hyttisaneerausmallin mukaan sekä tahtialueen että -ajan määrittäminen perustuu hytti-kohtaisten työvaiheiden jäsentelyyn ja luovutusaikatauluun (Heinonen & Seppänen 2016).

Lyhentämällä tahtiaikaa voidaan lyhentää myös läpimenoaikaa (Haghsheno ym. 2016; Binninger ym. 2018). Perinteisessä rakennustuotannossa ns. eräkkö on suuri, eli koko kerros tai jopa sitä suurempi alue saattaa olla yhden urakoitsijan käytössä. Kun tahtiaikaa ja -aluetta pienennetään, tuotannon eräkokokin pienenee ja samalla läpimenoaika lyhenee. (Ward & McElwee 2007.) Tämä vaatii kuitenkin aktiivista tuotannonohjausta ja nopeaa reagointia poikkeamiin (Dlouhy, Binninger & Hagsheno 2019). Tulee kuitenkin muistaa, että aikatauluhyötyjen saamiseksi esimerkiksi ulkopuolisten olosuhteiden häiriöt on minimoitava ja huomioitava tahtiajan lyhentymisen vaikutukset työmaan muihin toimintoihin, kuten työryhmien liikkumiseen sekä logistiikkaan. (Lehtovaara ym. 2020; Dloyhy ym. 2019; Vatne & Drevland 2016.)

Tahtiaikojen pituuksista ja niiden käyttökelpoisuudesta on erilaisia näkemyksiä ja eri tahdin pituuksilla sekä hyviä että huonoja puolia. Suomalaistutkimuksen mukaan asuintuotannon sisävalmistusvaiheeseen sopii yhden päivän tahtiaika (Kujansuu ym. 2019). Suomalaisessa pilottiprojektissa todettiin, että päivän mitaista tahtia tulisi tavoitella, jotta hukat ja puskurit saadaan parhaiten näkyviin ja niihin voitaisiin myös vaikuttaa. Päivän tahtiajalla Suomi olisi myös maailman "kärkeä", sillä esimerkiksi Saksassa ja Kaliforniassa tyypillinen tahti on viikko. (Mölsä 2019). Lyhyt tahti on hyvä poistamaan ylimääräistä puskuria tuotannosta. Lisäksi siihen voidaan määrittää eri työvaiheet tarkasti ja myös sen seurattavuus on tarkkaa. Toimiessaan päivän tahti on tehokas. Se ei kuitenkaan kestä yksittäisten tehtävien myöhästymistä ja vaatii enemmän johtamiselta ja työn seurannalta. Lyhyet tahdit ovat siis herkkiä ja niihin tuleekin vaikuttaa suunnittelun puskureilla. (Mestamaster n.d.)

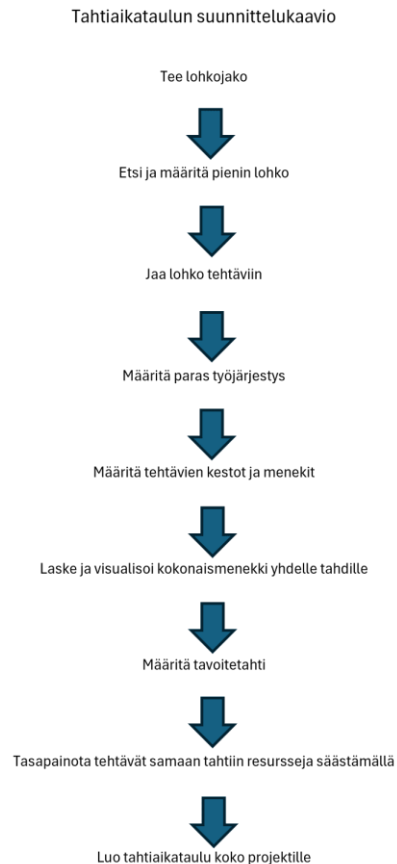
Binningerin ym. (2018) tutkimuksissa Saksassa 75 % kohteena olleista tahtituotantoprojekteista toteutettiin juuri viikon tahtiajalla. Sama huomio tehtiin myös Norjassa (Gardarsson ym. 2019). Suomalaisen pilotin mukaan tahtiajan ollessa viikko tai enemmän aletaan liukua enemmän kohti tavanomaista tuotantoa (Mölsä 2019). Toisaalta myös esimerkiksi Kaiser (2013) pitää tutkimustensa perusteella kahta päivää minimipituutena tahtiajalle huomioiden rakennustuotannon erityispiirteet sekä vaihtelun ja puolestaan suosittelee rakennustuotannon tahdin pituudeksi työviikkoa. Pidempi tahdin pituus sisältää enemmän puskuria ja seurantavälin ollessa pidempi sitä on helpompi hallita. Seurannan tasolla se on kuitenkin hieman karkea, eikä erityisen hyvä poistamaan tuotannon ylimääräistä puskuria. (Mestamaster n.d.)

Optimaalista tahtiajan pituutta ei siis ole mahdollista selkeästi määrittellä, sillä jokaisella kohteella on ominainen tuotantorytminsä, joka voi vaihdella kohteen sisälläkin (Binninger ym. 2017; Mestamaster n.d.). Valittavaan tahdin pituuteen vaikuttavat esimerkiksi työmaan aiempi kokemus tahtituotannossa, käytössä oleva tuki, aikataulupaine (suuri paine = lyhyt tahdin pituus) sekä rakennuskohteen monimutkaisuus (esim. raskaaseen peruskorjaukseen 2,5 päivän tahti ja

yksinkertaiseen pintakorjaukseen 1 päivän tahti). Oikea tahdin pituus on siis mietittävä projektikohtaisesti. (Mestamaster n.d.)

### 3.3 Tahtiaikataulun suunnittelumenetelmät

Tahtiaikataulua suunniteltaessa työtehtävistä koostuvista työpaketeista muodostetaan vaunuja, joiden keskinäisten riippuvuuksien kautta muodostetaan tuotantojunia (Dlouhy ym. 2018). Suunnittelu koostuu tahtituotannon mallista riippumatta samoista päävaiheista: tietojen (esimerkiksi suunnitelmat, työselosteet, työmäärien ja -menekkien laskenta, resurssien saatavuus) kerääminen ja valmisteleva suunnittelu, tuotantojunien yksityiskohtainen suunnittelu, muiden alueiden yksityiskohtainen suunnittelu sekä lopuksi tuotantojunan hienosäätö. (Binninger ym. 2018, Tommelein 2017, Heinonen & Seppänen 2016.) (Kuva 2.)



Kuva 2. Tahtiajan suunnittelujärjestys (Lange 2016, 107)



on käytössä opinnäytetyön kohteena olevalla työmaalla, sekä toisena esimerkkinä Sitedrive-niminen ohjelmisto. Mestamasterilla voidaan visualisoida projektin tila, tunnistaa esteet ja ongelma-alueet nopeammin ja lisätä tuottavuutta. Ohjelmisto tarjoaa selkeän ja reaaliaikaisen kuvan projektin edistymisestä ja helpottaa työtehtävien edistymisen reaaliaikaista seurantaa. Sitedriven hyvin samankaltaisena tavoitteena on auttaa asiakkaita siirtymään teollisiin käytäntöihin ja reaaliaikaisiin prosesseihin, jotka saavutetaan käyttäjäystävällisellä ohjelmistolla. Sitedrive mahdollistaa yhden aikataulun koko työmaalle sisältäen sopimus-, yleis-, vaihe- ja viikkoaikataulun. Aikataulut myös kommunikoivat keskenään ja näkymät saadaan jaoteltua erikseen työmaajohdolle, tilaajalle sekä urakoitsijoille. Tämä mahdollistaa selkeän ja kokonaisvaltaisen kuvan työmaan aikataulusta. Mestamaster puolestaan keskittyy vain tahti- ja aikataulun luomiseen, eikä sisällä esimerkiksi lainkaan yleisaikataulua (kuva 4).

LEVYERÄ	SAHKO	PUTKI	IV	RAM	MAALAUKSET JA TÄPÄÄTYS	LAATTOJÄÄ	KALUSTE	VIINYLIN ASENNUS	LOGISTIIKKA	IV OIKELAJA	PUTKI ERISTÄJÄ	PÄÄMÄKÄÄLMÄKSE	EESTIKORKEUSMAALAUKSET JA ASENNUS	LOPPURYÖVÄJÄ	PANEELIKATTO
07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE	07.03.2025 09:00 - 16:00 KÄYTTÖOHJE

Kuva 4. Tahti- ja aikataulunäkymä Mestamasterissa

### 3.4 Tahtituotannon toimivuus ja edut

Tahtituotannolla saavutetaan huomattavasti erilaisia hyötyjä ja jo sen osittaisella soveltamisella on havaittu olevan merkittäviä etuja hankkeille (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 10–11). Yleisestikin lean-filosofiaa pidetään sopivana lähestymistapana monimutkaisiin rakennushankkeisiin (Kemmer ym. 2013).

Tahtituotannon erottaa perinteisistä tuotantomalleista sen tehokkuus (LTQ-rakennus Oy n.d.). Aiempien tutkimustulosten mukaan tahtituotantokohteissa virtaustehokkuus on parantunut, mikä näkyy hankkeiden keston lyhentymisenä (LCI Finland n.d.; Lehtovaara & Hartikainen 2024, 11). Tahtituotannon käytön hyöty ja tärkein tavoite onkin läpimenoaikojen lyhentäminen (Heinonen & Sepänen 2016; Binninger ym. 2018). Tahtituotannon avulla työtehtävät seuraavat toisiaan tiiviimmin ja järjestelmällisemmin tinkimättä kuitenkaan huolellisuudesta (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 11). Tahtiaika ehkäisee myös pullonkauloja ja edistää tasaisempaa työnkulkua, mikä auttaa pysymään aikataulussa. Aikataulussa pysymistä auttavat myös viivästymien ja tehottomuuden parempi tunnistaminen sekä reaaliaikaiset mukautukset. (Mestamaster n.d.)

Läpimenoajan merkittävästä lyhentymisestä on raportoitu eri puolilla maailmaa, myös Suomessa. Esimerkiksi Berkeleyn yliopiston tutkimuksen mukaan tahtituotanto nopeutti erään sairaalakohteen sisätyövaiheiden läpimenoaikaa 70 % (Frandsen ym. 2013.) Saksassa Dlouhy ym. (2018) raportoivat 55 % ja Suomessa Lehtovaara ym. (2019) 33 % lyhemmistä läpimenoajoista. Pilottihankkeissa pelkällä tuotannosuunnittelun kehittämisellä on saavutettu jo 30 % läpimenoajan lyhennyksiä (LCI Finland n.d.; Mölsä 2019). Suorien hyötyjen lisäksi hankkeiden keston lyhentäminen vaikuttaa myös epäsuorasti esimerkiksi haitta-aikoihin ympäröivän rakennetun ympäristön käyttäjille (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 11).

Ajan lisäksi onnistuessaan tahtituotanto säästää kustannuksia ja parantaa tuottavuutta (LTQ-rakennus Oy n.d.; Tetik ym. 2019; Frandsen 2019). Se mahdollistaa resurssien paremman kohdistamisen ja sitä kautta hukan vähentämisen. Näin saadaan lisättyä tuottavuutta ja kustannustehokkuutta. (Lehtovaara &

Hartikainen 2024, 11; Mestamaster n.d.). Hankkeiden keston lyhentyminen vaikuttaa myös suoraan hankkeiden kiinteisiin aikasidonnaisiin kustannuksiin laskevasti (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 11).

Tahtituotannon avulla voidaan parantaa myös työn laatua (LTQ-rakennus Oy n.d.). Tekemisen laatu on korkeampaa ja tekemistä on helpompi ennakoida, mikä nostaa laatua vähentäen samalla keskeneräisen ja viimeistelemättömän työn määrää. Tekeminen pysyy tahtituotannon johdosta läpinäkyvämpänä, jolloin ongelmia on helpompi havaita ja korjaustoimet aloittaa ajoissa. Laadun parantumisen yhdeksi syyksi voidaan myös mainita tahtituotannon ja tehokkaamman kommunikation välinen yhteys sekä parantunut yhteistoiminta. (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 11.) Mielenkiintoisena käytännön esimerkkinä laadun parantumisesta on eräs tahtituotannolla toteutettu hotellihanke, jossa ensimmäiset hotellin huoneet valmistuivat muutaman kuukauden kuluttua aloituksesta tyypillisen kuuden kuukauden sijaan, jolloin ehdittiin ottaa oppia ensimmäisistä huoneista ja kasvattaa loppujen huoneiden rakentamisen laatua (Mölsä 2019). Kuvassa 5 on kerättyinä tahtituotannon keskeisimpiä hyötyjä eri roolien näkökulmasta.



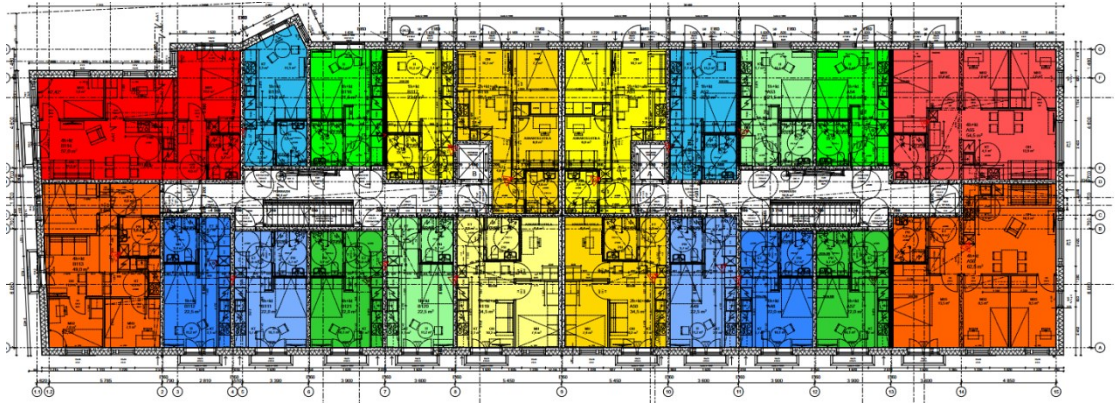
Kuva 5. Tahtiajan hyödyt eri rooleille (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 12)

### 3.5 Tahtiajan hyödyntäminen kerrostalokohteissa

Building 2023 -hankkeen tutkimuksen mukaan yksi keskeisiä tahtituotantoon liittyviä kysymyksiä on se, mihin se sopii ja mihin ei (Mölsä 2019). Tahtituotannon soveltaminen runsasta vaihtelua sisältäviin kohteisiin on haastavaa (Andersen & Fyhn 2019), mistä voidaan suoraan päätellä tahtiajan olevan hyödyllinen kerrostalokohteissa, sillä tyypillinen kerrostalokohde sisältää toistuvia tehtäviä ja toimintoja (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 35–36; Mestamaster n.d.; Mölsä 2019). Toistuvan tilan tahtisuunnittelu sopiikin kohteisiin, joiden tilajako koostuu ainakin pääosin selkeistä toistuvista tiloista, kuten esimerkiksi asunnoista (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 35–36) ja parhaat kokemukset tahtituotannosta on saatu nimenomaan asuntojen sekä toimistojen sisätöistä (Mölsä 2019). Tilojen ei tarvitse olla täysin samankokoisia ja -muotoisia, vaan olennaista on niissä suoritettavien työtehtävien samankaltaisuus (esimerkiksi väliseinä- ja alakattotyöt), kuten kuvassa 6 näkyvien tahtialueiden jako on tehty ja samassa järjestyksessä



suorittaminen (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 35–36; Mölsä 2019). Toistuvan tilan tahtisuunnittelu pohjautuu ko. toistuvien tilojen valmiiseen rakenteeseen ja työjonon optimointiin (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 35–36).



Kuva 6. Tahtialueiden jako Pukkilassa

Tahtituotannon onnistumisen edellytykset vaihtelevat työmaan mukaan (Keskiniva, Saari & Junnonen 2020.) Rakennustuotanto määrittävät tyypillisesti sellaiset erityispiirteet, kuten projektin ainutkertaisuus, tuotannon monimutkaisuus, projektiin tarvittavien eri alojen osaaminen sekä organisaation väliaikaisuus (Bertelsen & Koskela 2004). Jokainen lopputuote suunnitellaan ja rakennetaan eri olosuhteissa, joihin sisältyvät esimerkiksi sijainti, taloudellinen tilanne, eri organisaatiot sekä ympäristö (Vrijhoef & Koskela 2005.)

Tuotannon onnistumisen edellytykset tulee varmistaa aina seuraavalle työryhmälle joka kerta tahdin vaihtuessa. Onnistumisen keskeisenä edellytyksenä on suunnitelmien, työvälineiden sekä materiaalien saatavuus oikeaan aikaan oikeassa paikassa, mikä usein edellyttää kohteessa niiden saatavuuden varmistamista joitakin viikkoja ennen tahdin alkua. Jokaisella kohteen työryhmän jäsenellä tulee olla selkeä työtavoite joka tahdille ja tavoitteet tehdään valmiiksi sovittussa järjestyksessä kerralla. Jo aiemmin mainittu ongelmiin nopeasti reagoiminen näkyy myös siinä, että tahtialue tulee luovuttaa seuraavalle vaunulle täysin valmiina havaittujen puutteiden ollessa korjattuja. Jos vaunuun jää häntiä, niiden tekemisestä ja korjaamisesta tulee olla sovittu ja niiden tulee olla myös aikataulutettuja. (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 27–28.)

Aliurakoitsijat ja heidän ohjaamisensa ovat keskeisessä asemassa onnistuneessa tahtituotannossa ja heitä on johdettava päivittäin. Päivittäisjohtamisen merkitys korostuu, sillä tahdissa kulkevat työvaiheet ovat kriittisiä. Päivänkin viivästyminen tahdistaa vaikuttaa välittömästi seuraavaan tehtävään. Ratkaisuna kiihdyttämisen sijaan on erityisesti sujuvan työn edellytysten luominen, jolloin edellisestä vaiheesta ei saa jäädä esteitä tekemiselle. (Mölsä 2019.)

Myös ulkoisten esteiden poistaminen on tärkeää tahtituotannon toimivuuden kannalta (Mölsä 2019). Ulkoisilla olosuhteilla tarkoitetaan asioita, joihin toteutusorganisaatio ei voi vaikuttaa, kuten säätä ja rakentamisen ympäristöä (Vrijhoef & Koskela 2005). Esimerkiksi kova pakkanen tai tuuli voivat haitata materiaalien tai resurssien saatavuutta tai itse työn suorittamista (Koskela 2000, 187). Pilottihankkeissa on lisäksi havaittu merkittävänä esteenä etenemiselle rungon kuivumisen hitaus, mitä osittain sateinen kesä lisäsi (Mölsä 2019).

Tuotannon virtaukseen vaikuttavat ulkoiset tekijät tulee eliminoida mahdollisimman tehokkaasti. Esimerkiksi materiaalitoimitusten ulkoistamisella ja välivarastoinnilla voidaan pienentää ulkoisten olosuhteiden vaikutusta logistiikan tuotantoon aloitusedellytyksiin. Työmaatuotannon häiriöherkkyyttä voidaan vähentää myös esivalmistamalla rakennusosia. (Tetik ym. 2019.)

### 3.6 Tahtituotannon haasteet, riskit ja niiden ratkaisut

Merkittävimmät tahtituotannon suunnittelun aikaiset haasteet liittyvät siihen, ettei suunnittelua ole rytmitetty työmaan kanssa yhteiseen tahtiin tai suunnitelmien muutoksille ei ole määritelty rajoja, jotka rauhoittaisivat tahdin hallintaa työmaalla (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 21–22). Myös tahtituotannon ulkopuolisten tehtävien tulee olla koordinoituja tuotannon aikataulutuksessa, jotta ne eivät häiritse projektin sujuvaa toteutusta (Keskiniva, Saari & Junnonen 2020). Tahtituotannossa ei tule ns. ylikeskittyä vain toistuvien tilojen hallintaan, jottei se tapahdu muun hankkeen kustannuksella. Myös työvaiheiden yhteensopivuus on huomioitava, sillä jos eri työvaiheet eivät toimi yhteisessä tahdissa tai niiden

eroavuuksia ei ole yhteensovitettu, voidaan kohdata haasteita. (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 21–22.)

Tahtituotantoon liittyvä melko yleinen ongelma työmailla on tiedon puute tilanteissa, joissa suunnitellusta tahdistä jäädään. Aikataulun päivittäminen ja viestiminen vaativat rohkeuden lisäksi myös resursseja, joita työnjohdolla ei välttämättä kaikissa tapauksissa löydy. Tehokkaan tahtiohjauksen merkittävimmiksi esteiksi onkin mainittu yhteisen tilannekuvan puute ja tehtävien jättäminen kesken, josta aiheutuu sekavuutta. (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 21–22; LCI Finland n.d.). Haasteena onkin yhteisestä tahdistä lipsuminen, jolloin tehtäviä ei pystytä suorittamaan oikeaan aikaan oikeassa paikassa tai ongelmia korjaamaan tahdin rytmissä, jolloin ne kasaantuvat (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 21–22.)

Tahtituotanto on vaativa tuotantomalli, joka edellyttää kaikilta osapuolilta hyvää ennakkosuunnittelua, yhteensovittamista sekä toteutusta (LTQ-rakennus Oy n.d.). Avainasemassa onkin kaikkien työntekijöiden, myös aliurakoitsijoiden, sitouttaminen ja halu sitoutua tahtituotantoon ja yhteiseen tahtiin (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 21–22; LTQ-rakennus Oy n.d.; Mölsä 2019). Jotta tahtituotannosta saadaan kaikki hyöty irti, kaikkien työmaalla toimivien henkilöiden tulee olla perehdytetty tahtiaikataulussa työskentelemiseen ja sitoutettu siihen (LTQ-rakennus Oy n.d.). Muuten saatetaan joutua tilanteeseen, jossa tahtituotannon toteuttamiseen ikään kuin väsyttään ja palataan takaisin aiempiin tapoihin (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 21–22).

Myös Building 2023 -hankkeen pilottikohteissa suurimmat haasteet ilmenivät aliurakoitsijoiden motivoinnissa tahtituotannon vaatimuksiin. Haasteita havaittiin erityisesti työvaiheissa, joissa urakkasopimus oli laadittu ennen tuotannonsuunnitteluvaihetta. Positiivista pilottihankkeessa oli, että aliurakoitsijat näkivät tahtituotannon positiivisena asiana, huomioiden toki sen, ettei heillä ensimmäisessä kohteessa vielä ollut mahdollisuuksia arvioida resurssejaan tahtituotannon toteuttamiseksi. Pilottihankkeessa kuitenkin havaittiin ilahduttava oppimiskäyrä asiassa ja tuotannonohjausta pystyttiin parantamaan koko sisävaiheen ajan, kun tahtituotannon ymmärrystä onnistuttiin siirtämään teoriasta käytäntöön.

Yhdessä pilottikohteessa havaittiin myös tuloksia siitä, että aliurakoitsijoiden nokkamiehet havaitsivat yhteisten aamupalaverien hyödyllisyyden juuri heille itselleen. Tärkeää onkin onnistua osoittamaan aliurakoitsijoilla, että myös he tie-  
naavat paremmin tahtituotannon avulla, sillä työt sujuvat vähemmän häiriöin.  
(Mölsä 2019.)

Avainasemassa ovat suunnittelun ja yhteistoiminnan lisäksi hankinnat sekä lo-  
gistiikka. Näiden tekijöiden integrointi tahtituotantosuunnitelmaan on tunnistettu  
keskeiseksi tekijäksi onnistuneessa tahtituotannossa. (LCI Finland n.d.) Haas-  
teita saadaan, jos esimerkiksi materiaalinhallintaa ei ole rytmitetty yhteiseen  
tahtiin työmaan kanssa (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 21–22.)

## 4 Tahtiaikataulun toteutus ja seuranta

Yhteiset pelisäännöt tulee käsitellä työmaalla jokaisen urakoitsijan kanssa. Sääntöihin kuuluu keskeisesti selkeä ohjeistus siitä, miten viestintä toteutetaan työmaalla ja millaisista asioista tulisi raportoida ja kenelle. Esimerkiksi kaikista saapuvista kuormista tulee ilmoittaa työmaan logistiikasta vastaavalle taholle, joka koordinoi niiden purkuaikataulut. Näin varmistetaan työmaan sujuva toiminta ja vältetään ongelmia, jotka syntyvät kommunikaation haasteita. On tärkeää, että tietoja jaetaan avoimesti ja välittömästi, jotta mahdolliset poikkeamat voidaan havaita ja korjata ajoissa. (LTQ-Rakennus Oy n.d.)

Pilottihankkeissa on kuitenkin huomattu, että tahtituotannon etu on myös se, että töitä jatkava aliurakoitsija ei ole vasta tulossa työmaalle, vaan hän työskentelee jo viereisessä huoneessa. Kun henkilöt on tahdistettu tekemään töitä yhdessä, heillä on myös mahdollisuus keskinäiseen kommunikointiin. (Mölsä 2019).

### 4.1 Toteutuksen seuranta ja mahdollisten poikkeamien hallinta

Kun tahtituotanto käynnistyy, alkaa myös sen ohjaaminen. Järjestelmällinen päivittäisjohtaminen on avainasemassa tuotannon prosessinhallinnan onnistumisessa. Mitä lyhyempi tahtiaika sitä tarkempaa tulisi myös aikataulun valvonnan olla. (Haghsheno ym. 2016.) Tyypillisesti tahtituotannon ohjaus sisältää päivittäisen tilannekatsaukset työryhmien nokkamiesten ja työvaiheista vastaavan mestarin kanssa, jolloin käsitellään tilannekuva, aikataulun tilanne ja mahdolliset esteet töiden tekemiselle. Toinen keskeinen ohjauksellinen elementti on samassa yhteydessä tai erikseen pidettävät aikataulun ohjauspalaverit. Näissä palavereissa reagoidaan poikkeamiin ja päätetään aikataulun mahdollisten ohjaustoimenpiteiden tarpeesta. (Dlouhy ym. 2016, Frandson ym. 2013, Heinonen & Seppänen 2016; Mölsä 2019; Mestamaster n.d.)

Tahtiohjaus on tahtisuunnittelun ohella tärkeää, sillä toteutusvaiheessa yllätykset ovat tyypillisiä. Tahtituotanto edellyttää nopeaa reagointia, ja työnjohtajien

onkin kyettävä ennakoimaan yleisimpiä tuotantohäiriöitä. Häiriöherkkyys huomioiden työnjohtajat voivat arvioida etukäteen, mitkä tehtävät ovat aikataulun kannalta kriittisimpiä ja alttiimpia häiriöille. Tämän jälkeen häiriöiden torjuntatoimet voidaan suunnitella etukäteen. On suositeltavaa myös tutkia etukäteen määriteltyjen työpakettien epävarmuutta häiriöiden vähentämiseksi tahtituotannossa. Työpaketteja voidaan säätää esimerkiksi lisäämällä puskureita, jotta ne ovat vähemmän alttiita häiriöille. Lisäksi häiriöihin varautuminen on tehokkaampaa, kun tiedetään, missä häiriöt todennäköisesti ilmenevät. Onnistunut tahtiohjaus luo työryhmille onnistumisen edellytyksen tahtien aikana ja mahdollistaa tehtävien teon kerralla ja laadukkaasti. Ongelmien nopea tunnistaminen ja ratkaiseminen heti toteutusvaiheen alussa vähentävät virheiden kertymistä loppuvaiheisiin ja lisäksi laatuvirheitä ilmenee vähemmän. (Lehtovaara & Hartikainen 2024.)

Työnjohdon ja mahdollisten muiden aikataulun valvonnasta vastaavien tahojen tulisi käydä päivittäin työmaalla vahvistamassa urakoitsijoilta saatu tieto ja tarkastaakseen oman tilannekuvansa. Oleellista on, että jokaisella työmaalla työskentelevällä on hallussaan ajantasainen aikataulu ja toteumatieto. Näin vahvistetaan luottamusta yhteiseen aikatauluun. (Kujansuu ym. 2019.) Aikataulutiedot ja mahdolliset ohjaustoimenpiteet tulisi kerätä ohjaustaululle, jonka luona myös ohjauspalaverit pidetään (Haghsheno ym. 2016). Aikataulun valvonta tulisi tehdä kaikille avoimin työkaluin, kuten esimerkiksi värikoodatulla vinjettivalvonnalla tai interaktiivisen aikataulusovelluksen kautta (Gardarsson ym. 2019; Alhava ym. 2019).

Keskinivan, Saaren ja Junnoson (2020) mukaan silloin, kun aktiivista tuotannonohjausta, kuten tahtiaikataulun noudattamista, ei ole, työnjohtajien ajanhallinta on haasteellisempaa. Ratkaisuna tähän tarjotaan digitaalisten työkalujen laajempaa hyödyntämistä helpottamaan sekä projektin hallintaa että aikataulutusta tuotannon eri vaiheissa. Tutkimuksessa havaittiin päivittäisen työmaavalvonnan dokumentoinnin digitalisoimisella olevan merkittäviä hyötyjä hallinnan ja tuotantomallin kehittämisessä sekä työnjohtajien taakan keventämisessä. (Keskiniva, Saari & Junnonen 2020.) Visuaalisen ohjauksen keinoin myös mahdolliset ongelmat voidaan tuoda kaikkien nähtäväksi ja tahtiohjaus digitaalisin työkaluin

auttaakin datankeruun lisäksi sen analysoinnissa sekä tilannekuvan luonnissa (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 27–28).

#### 4.2 Case-esimerkit erilaisista kerrostalokohteista

Tahtituotannon hyödyntämistä kerrostalorakentamisessa on tutkittu jonkin verran aiemmissa opinnäyte- ja diplomitoissa. Opinnäytetyöhön valikoitui esiteltäviksi kaksi erilaista kerrostalohanketta. Nämä case-esimerkit haluttiin nostaa tähän opinnäytetyöhön vertailukohteeksi eri tahtien pituuksien sekä tahtituotannon hyötyjen ja haittojen osalta. Nämä tekijät valittiin tarkasteltaviksi, koska niistä ennakoitiin saatavan kiinnostavaa vertailuaineistoa tämän oppinäytetyön tuloksiin.

Aallon (2023) opinnäytetyön kohteena oli kerrostaloprojekti, jossa oli seitsemän asuntoa viidessä kerroksessa sekä viisi asuntoa kerroksissa 6–7. Viimeisessä, eli kahdeksannessa, kerroksessa oli kolme asuntoa. Kohteessa tahdin pituudeksi määriteltiin 2,5 päivää. Laineen (2020) diplomityön kohde puolestaan oli kerrostaloprojekti, jossa tahtiajaksi oli määritelty viikko. Kohteessa oli seitsemän asuntoa per kerros ja kerroksia yhteensä seitsemän.

Aallon (2023) tutkimassa kohteessa tahtituotannon haasteena olivat eri rakennusosien kuivuminen sekä puskuriaikojen puuttuminen (etenkin väliseinä-, alakatto-, laatoitus- ja maalaustöissä). Näiden lisäksi haasteita työmaalla toivat kielimuuri sekä materiaalitoimitukset. Tahtituotannon suhteen kohteessa onnistuttiin työnohjauksessa siltä osin, että jokainen taho tiesi, missä mikäkin työ tulee suorittaa mihinkin aikaan. Lisäksi aikataulujen ja työn etenemisen seuranta koettiin helpoksi. Yleisenä toteamuksena tahtiaikataulusta todettiin, että se helpotti työn tekemistä rauhassa.

Laineen (2020) viikon tahtiajan kohteessa haasteina mainittiin esimerkiksi työntekijöiden sairauslomat, jotka vaikeuttivat tahdissa pysymistä. Myös tahtialueiden välillä liikkuminen koettiin haasteelliseksi yhdessä työsuoritusten valvomisen kanssa. Kohteena olleessa projektissa aliurakoitsijoiden sitoutuminen tahtiin koettiin paikoitellen haastavaksi. Tahdin suunnitteluun liittyen keskeinen huomio oli

se, että tahtisuunnittelu aloitettiin liian myöhään. Tahtiaikataulusta koettiin kuitenkin olleen hyötyä tarkemman suunnittelun sekä sujuvamman tuotantoprosessin osalta. Myös resurssien hallinta oli kohteessa helpompaa.



## 5 Tulokset

### 5.1 Kysely

Opinnäytetyössä selvitettiin tahtiaikataulun soveltumista kerrostalorakentamiseen. Oleellista oli tarkastella, miten tahtituotantoa on mahdollista hyödyntää kerrostalorakentamisessa ja kuinka hyödylliseksi se koetaan. Erityisesti tietoa haluttiin saada siitä, mitkä tekijät edesauttavat onnistunutta tahtituotantoa. Toisaalta tietoa haluttiin kerätä myös siitä, mitä haasteita tahtituotantoon liittyy ja miten näitä haasteita voitaisiin mahdollisesti ratkoa. Opinnäytetyössä kerättiin myös tietoa siitä, mitkä tekijät tulee huomioida tahtiaikataulun suunnittelussa, ohjauksessa sekä käytännön toteutuksessa. Näiden tavoitteiden pohjalta muotoiltiin 2 selvitettävää kysymystä:

#### **1. Mitkä ovat tahtituotannon hyödyt kerrostalorakentamisessa?**

#### **2. Miten vaikuttaa mahdollisiin haasteisiin kerrostalorakentamisen tahtituotannossa?**

Kyselyyn osallistui viisi henkilöä, joista neljä työskenteli Aura Rakennuksen Pukkilan työmaalla ja yksi Mestamasterilla. Tutkittavista yksi on luonut tahtiaikatauluohjelmiston ja hänen lisäksi kaksi ollut mukana tahtiaikataulun suunnittelussa. Yksi henkilö puolestaan käyttää sitä päivittäisenä työkalunaan ja yksi henkilöistä toimii aliurakoitsijan työnjohdossa. Vastaajia haluttiin saada erilaisista rooleista, jotta tahtiaikataulun suunnittelusta ja käytöstä saataisiin mahdollisimman kattava kuva ja haastateltujen vastauksia voitaisiin myös vertailla keskenään.

Joukon kokemus tahtituotannosta vaihteli jonkin verran. Kahdella ei ollut lainkaan aiempaa kokemusta tahtituotannosta (ennen Pukkilan projektia), kahdella oli jonkin verran kokemusta ja yhdellä haastateltavista kokemusta tahtituotannosta oli jo useiden vuosien ajalta ja hyvin erilaisten projektien osalta.

## 5.2 Tiedonkeruumenetelmä

Aineiston keruu toteutettiin haastattelujen avulla. Haastatteluissa hyödynnettiin kyselylomaketta, joka oli kaikilla vastaajilla sama. Haastatteluissa selvitettiin vastaajien käsityksiä ja kokemuksia tahtituotannosta, kerrostaloprojektin aikataulutuksesta sekä mahdollisia tahtituotannon käyttöön liittyviä kehitysehdotuksia. Kysely luotiin lähdekirjallisuuden ja tutkimusongelmien pohjalta. Suurin osa kyselyn kysymyksistä oli avoimia kysymyksiä, mutta esimerkiksi tahtituotannon hyödyllisyyttä tutkittiin monivalintakysymyksellä.

Avointen kysymysten avulla opinnäytetyöhön saatiin täsmennettyä ja yksityiskohtaisempaa tietoa tutkittavasta aiheesta. Avoimet kysymykset antavat vastaajalle mahdollisuuden ilmaista itseään omin sanoin ja antavat monipuolisempaa tietoa asiasta. Kun vastausvaihtoehtoja ei anneta valmiina, avoimet kysymykset osoittavat vastaajan ajattelun olennaiset piirteet ja tietämyksen aiheesta. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009, 201.) Tiettyjä asioita haluttiin kysyä monivalintakysymyksillä mitattavuuden helpottamiseksi.

Ennen haastattelujen tekoa kyselylomake ja haastattelu esitettiin yhdellä rakennusalan työntekijällä. Esitestauksessa vastaajalta pyydettiin vapaamuotoista palautetta lomakkeesta. Esitestauksen jälkeen opinnäytetyön tekijän omien huomioiden sekä esitestaajan antaman palautteen perusteella tehtiin muutoksia kyselyyn. Opinnäytetyön tekijä oli paikalla esitestauksen ajan. Esitestauksen jälkeen hän oli yhteydessä varsinaisiin haastateltaviin ja sopi jokaisen osallistujan kanssa erikseen henkilökohtaisesta haastatteluajasta. Tekijä oli itse paikalla jokaisessa haastattelussa.

## 5.3 Aineiston käsittely

Haastattelut litteroitiin analysoinnin ja teemoittelun helpottamiseksi ja selkeyttämiseksi. Litteroinnin avulla haastatteluista saatiin myös kerättyä kiinnostavia siiaatteja opinnäytetyöhön. Vastaukset teemoiteltiin etsimällä vastauksia yhdistäviä tekijöitä. Aineisto järjestettiin teemoittain ja teemojen alle koottiin kohdat,

joissa kyseinen asia mainittiin. Lisäksi vastauksista nostettiin sitaatteja opinnäytetyöhön. Monivalintakysymykset tilastoitiin Exceliin.

#### 5.4 Mitkä ovat tahtituotannon hyödyt kerrostalorakentamisessa?

Kaikki haastateltavista valitsivat vaihtoehdon “erittäin hyödyllinen” tai “hyödyllinen” kysyttäessä heidän kokemustaan tahtituotannon hyödyllisyydestä.

Taulukossa 1 on esitelty keskeisimpiä esiin nousseita perusteluja sille, miksi haastateltavat kokivat tahtituotannon erittäin hyödylliseksi:

Taulukko 1. Tahtituotannon hyödyt Pukkilassa

<p><b>Työmaan hallintaan liittyvät syyt:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tuotannon tehokkaampi ohjaus</li> <li>• ohjattavuuden parantuminen</li> <li>• seurattavuuden parantuminen</li> </ul>	<p><b>Aikataulutukseen liittyvät syyt:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• työntekijät tekevät osaltaan aikatauluseurantaa</li> <li>• ns. pakottaa tekemään asiat oikeassa järjestyksessä</li> <li>• tarkempi aikataulu</li> <li>• ennakointi helpompaa</li> </ul>
<p><b>Työn tehokkuuden kasvu:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• työn tehokkuuden merkittävä kasvu</li> <li>• työntekijöille on selkeää mitä heiltä vaaditaan</li> <li>• työn jatkuvuuden parantuminen</li> </ul>	<p><b>Yhteistyö ja vastuunjako:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vastuun jakaminen niin, ettei vain yksi ole vastuussa aikataulusta</li> <li>• tekijätaso on osallistettu</li> </ul>
<p><b>Tuotanto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pienentää läpimenoaikaa ja sitä kautta tuo rahallista hyötyä</li> <li>• yksinkertaistaa tekemistä ja tuo rutiinia</li> <li>• vähentää hukkaa</li> </ul>	

Onnistumisen edellytyksistä kysyttäessä kaikki haastatelluista nostivat jollain tapaa esiin yhteistyön ja luottamuksen urakoitsijoihin. Keskeisenä asiana esiin tuli se, että urakoitsijat saatiin käyttämään tuotannon suunnittelun ja ohjauksen työkalua Mestamasteria. Urakoitsijat saatiin selkeästi sitoutettua ohjelman käyttöön. Samaan teemaan liittyen haastatteluissa nousi esiin se, että onnistumisen keskeisenä elementtinä pidettiin sitä, että kaikki ovat tietoisia siitä mitä heiltä odotetaan. Myös urakoitsijan edustajan haastattelussa hän kertoi, että urakoitsijat ovat pysyneet kohtalaisen hyvin kartalla ja tieto on työmaalla välittynyt hänen mielestään nopeasti. Haastateltavat kertoivat eniten onnistumisiin sekä epäonnistumisiin vaikuttaneista asioista seuraavasti:

*“Sekä se et me ollaan saatu urakoitsijat Mestamasteria käyttämään ja ne on itse olleet tunnollisia sen käyttämisen suhteen.”*

*“Onnistumiseen vaikuttaa eniten se, kun kaikki ovat tietoisia mitä heiltä odotetaan.”*

*“Riittävä kommunikointi työmaalla työskentelevien asentajien kanssa ja samoin pääurakoitsijan työnjohdon kanssa.”*

Kaikkien haastateltujen mielestä tahtituotannon suunnittelu aloitettiin Pukkilan projektissa tarpeeksi aikaisin. Pukkilan projektissa tahtiaikataulu laadittiin pääurakoitsijan toimesta, mutta kuitenkin niin, että aliurakoitsijat olivat prosessissa mukana. Kaikki vastaajista toivat vastauksissaan esiin aliurakoitsijoiden osallistumisen suunnitteluprosessiin. Projektissa nähtiin onnistumisena se, että aliurakoitsijat saatiin hyvin mukaan suunnitteluun ja heidän mielipiteitään saatiin esiin ja asioita sovittiin yhdessä huomioiden heidän mielipiteensä. Urakoitsijan edustaja kertoi haastattelussa, että oli ehdottoman tärkeää, että urakoitsijat olivat mukana suunnittelussa, jotta oman “leipälajin” tahti saatiin oikean pituiseksi.

Tahdin suunnitteluun osallistunut haastateltava kertoi suunnitteluprosessista seuraavaa:

*Se (aikataulu) käytiin ensin läpi Mestamasterin kanssa. Sen jälkeen tein sen aikataulun itse. Tehtiin työnnot käytännössä porukalla läpi. Sen jälkeen tein ensimmäisen version tahdistusta ja tämän jälkeen me käytiin se läpi urakoitsijoiden kanssa. Ja sitten muokattiin sen mukaan tahtijonot vielä*

*uudelleen ja sitten päästiin siihen, että saatiin se valmiiksi, kun oltiin käyty urakoitsijoiden kanssa läpi se.*

Pukkilan projektissa tahtiaika on kaksi päivää. Sopivaksi mitoitettu tahti nousi esiin varsinkin ohjelmiston kehittäneen henkilön haastattelussa. Hän korosti vastauksissaan tahdin määrittämisessä realismia - joskus työmaita on tarvinnut jopa jarruttaa, ettei tahti ole heti liian lyhyt tai tarvittaessa lyhentää, ettei tekeminen muutu puuduttavaksi.

*“Välillä me vähän jarrutetaan työmaita, ettei vaan nyt hypätä johonkin päivän tahtiin kun ei oo ikinä kokeiltu tahtituotantoa ja sit ajatellaan et ruveetaa tekee, se on liian iso pala. Ja joskus ne koittaa sit viikon tahtia ja sit se menee vähän tylsäks ja hajoo siihen.”*

Suunnitteluvaiheessa tahdin pituuden määrittelyssä vastauksissa korostui se, että resurssit haluttiin pitää sellaisina, että yhdellä työryhmällä on kohteessa yksi rappu. Näin urakoitsijoiden työryhmien mitoitus ei kasvanut, mikä oli ajatuksena tahdin määrittelyssä ja suunnitteluvaiheessa. Suunnittelussa määriteltiin, mitä työryhmä pystyy kahden päivän aikana tekemään. Vaunut mitoitettiin liikkumaan sulavasti eteenpäin pelaten resurssien kanssa, mutta lähtökohtana se, että resursointi on vakio. Vaunut suunniteltiin keskimäärin niin samankokoisiksi kuin mahdollista.

Tahtituotannon ohjaukseen ja valvontaan liittyen kaikki palavereihin osallistuneet haastateltavat kokivat aamu- tai nokkamiespalaverit erittäin hyödylliseksi ohjauskeinoksi tahtituotantoon liittyen. Kolme viidestä haastateltavasta korosti aamupalaverin merkitystä erityisesti tilanteissa, joissa esiin on tullut esteitä tai haasteita. Ne koettiin erityisesti alkuvaiheessa erityisen tarpeellisiksi. Haastateltavat kertoivat tahtipalavereiden hyödystä seuraavaa:

*Se on ainut keino millä sä pystyt sitä ohjaamaan, jos se ei mee hyvin se on se tapa millä sen saa menemään hyvin. Eli se on se tärkein keino ohjata sitä tahdin onnistumista.*

*Kriittinen (hyöty). Ei ole tahtituotantoa ilman sitä. Se tekee semmosen erittäin näyttävän siirtymisen perinteiseen tuotantoon, jos ei sitä oo olemassa sitä nokkamiespalaveria. Se ymmärrys ei siirry sinne tekijätasolle ja tekijä ei koe sitä koko tahtituotantoa tärkeänä, jos sitä ei käydä läpi koko ajan. Nokkamiespalaveri tekee siitä sen et se herää eloon, sit sä saat sen porukan ymmärtämään mitä siellä pitää tapahtua ja missä. Ja sit vielä jos joku ei toimi, tekijäporukalla pystytään vaikuttamaan niihin asioihin.*

## 5.5 Miten vaikuttaa mahdollisiin haasteisiin kerrostalorakentamisen tahtituotannossa?

Ohjelmistona käytetty Mestamaster sai haastatteluissa kiitosta ja sen koettiin oleen toimiva Pukkilan työmaalla. Erityistä kiitosta se sai helppokäyttödestään työntekijälle, mikä nousi esiin myös urakoitsijan edustajan haastattelussa. Kysyttäessä kehitysehdotuksia ohjelmistoon liittyen näkymä sai muutamia mainintoja. Työmaan hallintaan toivottiin vielä enemmän apua näkymää kehittämällä. Esimerkiksi tietyn urakoitsijan näkyminen tietyllä värillä tai kuvakkeella voisi helpottaa hallintaa. Lisäksi kehitysideoiksi mainittiin parannuksia tahdin luomiseen sekä muuttamiseen:

*Koska se on niin kankeeta et sä rakennat yhden junan niin sä pystyt siirtämään sen saman junan vaan seuraavaan asuntoon, mut sä et voi tehdä erilaista junaa. Elikä jos asunnot olis paljon erinäköisiä, tarvis tehdä kaksi kokonaan omaa projektia. Mut ne on parantanut sitä ohjelmaa, kun nyt niihin on tullut semmonen parannus siihen ohjelmaan, et sil saa tehtyä kahta erilaista tahtia.*

Vastauksissa puskurit ja "pelivarat" saivat useampia mainintoja ratkaisuna aika-  
tauluhaasteisiin. Mahdollisten epäonnistumisten koettiin johtuvat pelivarojen puutteesta häiriötilanteissa. Jos tahdin aikana ilmeni laatupoikkeamia, niiden korjaaminen myöhästytti seuraavan tahdin alkua. Haastatteluissa nousi esiin ajatus siitä, että vaikka tahtiaikataulun suunnittelu perustuu siihen, ettei virheitä synny, korjattavaa kuitenkin ilmenee joka hankkeessa ja niihin tulee reagoida nopeasti ja keksiä ratkaisuja, jotta tahtia päästään jatkamaan. Yhtenä viivästy-  
mää aiheuttavana tekijänä mainittiin myös materiaalityömitusten

myöhästyminen. Toisaalta kiitosta haastatteluissa sai se, että tahdin ollessa myöhässä siihen on Pukkilassa reagoitu nopeasti lisäämällä resursseja ja tahti saatu kiinni.

Vastauksissa korostuivat keskeisenä haasteina erilaiset yhteistyöhön liittyvät tekijät. Työntekijän oma ymmärrys siitä, mikä tahtiaikataulu on, mitä tahtiaikatauluttaa ja miten käyttää itse sovellusta, on erittäin keskeistä tahtituotannon onnistumisen osalta. Tämä linkittyi selkeästi useammassa haastattelussa esiin tulleen resurssihaasteeseen, joka kohdistui erityisesti työnlaadun ja valvonnan osalta. Esimerkiksi tavaran tilaamisen ja vastaanoton koettiin vievän resursseja tahdin valvonnalta. Tähän tarjottiin ratkaisuksi sitä, että jo sopimusvaiheessa hankinnat ohjattaisiin enemmän aliurakoitsijoiden vastuulle. Työnjohdon resurssit eivät riitä siihen, että jokainen työvaihe olisi mahdollista itse tarkastaa ja tässä työntekijän vastuu korostui haastatteluissa. Urakoitsijoilta toivottiin ennen kaikkea luottamusta ja toimivaa yhteistyötä. Yhtenä tärkeänä ratkaisuna esiin tuli se, että jokainen urakoitsija tulisi perehdyttää tahtituotantoon vielä paremmin jo lähtövaiheessa. Laatuun liittyen myös sen varmistusta ja dokumentointia toivottiin yhdistettävän paremmin itse aikatauluseurantaan.

Koska jokainen tulisi sitouttaa tahtituotantoon ja asenne mainittiin yhtenä erittäin keskeisenä onnistumisen elementtinä, esitettiin haastatteluissa ideoita siihen, miten urakoitsijoita voitaisiin motivoida paremmin ja kehittää työntekijöiden ymmärrystä:

*Se pitää tehdä niin et se hyödyttää heitä (urakoitsijoita). Miten paljon maailmassa on yritetty muuttaa asioita niin, et on pakotettu joku tekemään jotain työtä, et saadaan seurantatietoa. Se ei hyödytä sitä tekijää itsessään, et sä vaan raportoit jotain. Asentajaa hyödyttävän tiedon jakaminen sinne miten saadaan heidät siihen juttuun paremmin. Enemmän ymmärrystä ja saadaan seurantatietoa myös.*

*Mä sanoisin et asentajan ymmärrystason parantaminen on tässä niinku se missä on vielä ehkä eniten potentiaalia. Se ei ole este et aikataulun piirtäminen ja visualisointi ei oo juurikaan ikinä mikään ongelma. Mut se et miten asentaja saa sen tiedon, ymmärtää sen ja pystyy*

*kommunikoimaan sen eteenpäin niin se on se. Siel on viel paljon mitä ruuvata kireämmälle.*

Lisäksi ohjausmenetelmiin liittyen esitettiin idea näyttökuvan kehittämisestä, eli esimerkiksi fyysinen näyttötaulu voisi helpottaa urakoitsijoille tilanteen esittämistä. Tätä toivottiin, sillä yhtenä haasteena pidettiin tiedonkulkua ja sitä, että koko työmaa tietää ja näkee, miten työt etenevät kaikkien osalta.

Myös yhtenä ratkaisuna mahdollisiin haasteisiin yhteistyössä ja kaikkien sitoutamisessa nostettiin aamu- eli nokkapalaverit. Niiden osalta ongelmaksi nostettiin se, että pääurakoitsijan johdon on erittäin kriittistä ymmärtää nokkamiespalaverien tärkeys sekä ratkoa mahdollista kielihaastetta. Tätä tulisikin haastattelujen mukaan harjoitella jo heti projektin alkuvaiheessa. Erityisen tärkeiksi nousivat niissä kohdissa, joissa urakoitsijoihin tulee muutoksia esimerkiksi pois-saolojen tai sairastumisten suhteen:

*Ohjauksen osalta iso ongelma meille välillä on, että pääurakoitsijan työjohto ymmärtää miten tärkeä se nokkapalaveri on. Se on suoraan sanoen turhaa siinä projektin alkuvaiheessa. Sitä tehdään vaan sen takia, et opi-taan se rutiini, sitä ei tehdä sen takia et saatais oikeesti ratkaistua yhtään mitään. Mut se rutiini pitää rakentaa sillon, kun ei viel oo niinkun ongelmia. Ja sit ku rupee tulee ongelmia, sit on se prosessi mihin tukeudutaan.*

Kerros- ja rivitalotuotantoon toivottiin myös vakioitua tahtiaikataulupohjaa, jossa olisi huomioitu paikallinen toteutustapa hankkeille. Vakiintunutta tahtijunaa asuntotuotantoon toivottiin myös toisessa haastattelussa. Tahtiaikataulua pitäisi haastattelujen mukaan pystyä hyödyntämään jo yleisaikataulun suunnittelussa ja sopimusvaiheessa urakka-ajan määrittelyssä.

Haasteiksi tahtiaikataulun käyttöön Pukkilan projektissa mainittiin myös tahdin ulkopuolelle jätetyt asiat, kuten kellarit. Tahdissa määriteltynä olivat vain asuin-neliöt. Ongelma ei kuitenkaan ollut merkittävä, sillä projektissa tahti itsessään on mennyt hyvin, jolloin tahdin ulkopuolisia töitä on pystytty sopimaan. Lisäksi yhdessä haastattelussa mainittiin, että tahdin ulkopuoliset työt saatiin mahdollisimman pitkälle ennen tahdin alkua. Tahdin ulkopuoliset asiat tunnistettiin osa-



alueeksi, joka tulisi jatkossa ottaa paremmin huomioon ja suunnitella esimerkiksi yleisten tilojen ja kellarien aikataulut paremmin.

Mainintoja haastatteluissa saivat myös muutamaan otteeseen esimerkiksi kuivumisajat, jotka nähtiin riskinä siinä, että mikäli töitä ei olisi mahdollista tehdä kuivumisajan takia, tahtiaikataulu pitäisi pahimmassa tapauksessa tehdä kokonaan uudelleen. Tähän ratkaisuna mainittiin materiaalivalintojen, esimerkiksi 2-komponenttisen vedeneristeen, avulla asiaan vaikuttaminen.

## 6 Johtopäätökset tahtiaikataulun hyödyllisyydestä

Jokainen haastatelluista koki tahtituotannon olleen Pukkilan projektissa joko erittäin hyödyllinen tai hyödyllinen. Näin yhdenmukainen tulos oli ennakoitavissa jo teoriapohjaan tutustuttaessa. Haastatteluissa esiin nousi erityisesti kokemus Pukkilassa tuottavuuden ja tehokkuuden parantumisesta. Myös tämä tulos oli ennakoitavissa, sillä aiempien tutkimusten mukaan onnistunut tahtituotanto parantaa tuottavuutta (esim. Tetik ym. 2019; Frandson 2019).

Aiempien tutkimustulosten mukaan tahtituotantokohteissa virtaustehokkuus on parantunut, mikä näkyy hankkeiden keston lyhentymisenä (LCI Finland n.d.; Lehtovaara & Hartikainen 2024, 11). Myös haastateltavat nostivat keskeisenä asiana esiin läpimenoaikojen lyhentymisen etuna tahtituotannon käytöstä Pukkilan projektissa. Yksi tahtituotannon tärkeimmistä tavoitteista on lyhentää läpimenoaikaa (Heinonen & Seppänen 2016; Binnering ym. 2018) ja tässä on haastattelujen perusteella Pukkilassa onnistuttu. Pukkilan projektin osalta tulokset ovat hyvin vastaavat aiempien tutkimusten kanssa (esim. Frandson ym. 2013; Dloyhy ym. 2018; Lehtovaara 2019). Tärkeimpiä syitä tahtituotannon onnistumiselle Pukkilassa ovat käyttäjien kiinnostus tahtituotantoa kohtaan sekä tahtituotannon suunnittelun aloitus juuri oikeaan aikaan.

Haastatteluissa nousi esiin huoli resurssien riittävydestä työmaalla. Tahtituotannon avulla pyritäänkin vaikuttamaan juuri tähän haasteeseen. Kun resurssit on paremmin kohdistettu, tuottavuuden nousun lisäksi toiminta on kustannustehokasta ja hukka pienempää (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 11; Mestamaster n.d.). Opinnäytetyötä tehdessä tietoa siitä, miten tahtituotanto eroaisi ns. gryndkohteessa ja isossa sijoittajan ostamassa vuokratalossa, ei juurikaan löytynyt. Voidaan kuitenkin päätellä, että grynd-kohde tuo haasteita erityisesti tahdin säväiheisiin, sillä useasti pintamateriaalit poikkeavat toisistaan ja se vaatii sekä logistisesti että työnjohdolta enemmän resursseja hallintaan.

## 6.1 Suunnittelu ja tahtiaika työn keskeisinä teemoina

Tahtisuunnittelun yleinen tarkoitus on luoda suunnitelma hankkeen, ja erityisesti tuotannon läpiviemiseksi rytmikkäästi ja virtaavasti (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 7) ja siinä oli haastattelujen mukaan onnistuttu Pukkilassa erinomaisesti.

Haastattelut tukevat aiempaa tietoa (mm. Mölsä 2019) siitä, että tahtisuunnittelussa urakoitsijataho tulee ottaa mukaan suunnitteluun mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Haastatteluissa nousi merkittävästi esiin se, että urakoitsijatahon ottamisesta mukaan tarpeeksi ajoissa, on ollut Pukkilassa hyötyä. Urakoitsijan edustaja korosti asiaa haastattelussaan kertomalla, että heidän oli hyödyllistä itse arvioida tiettyjen työvaiheiden kestoja tahtiin. Tätä voidaankin pitää yhtenä keskeisimmistä havainnoista tahtituotannon suunnitteluun ja hyödyntämiseen liittyen.

Opinnäytetyössä havaittiin, että tahdissa käytettävät puskurit ovat merkittäviä puutteiden kiinni saamiseksi. Puskureiden hyödyntäminen sai Pukkilan projektin osalta kiitosta, sillä tahti oli onnistuttu puskurien ja nopean reagoinnin takia kirkkaimaan nopeasti kiinni tilanteissa, joissa viivästyminen oli ilmennyt. Aiemmin on todettu, että ilman puskureita tuotannosta tulee häiriöherkkää ja häiriöiden vaikutukset korostuvat (Mestamaster n.d.).

Suunnitteluun liittyen useampi haastateltava mainitsi tahtituotannon ulkopuolisten asioiden paremmasta huomioinnista jatkossa. Keskiniva, Saari ja Junnonen (2020) ovat jo aiemmin todenneet, että tahtituotannon ulkopuolisten tehtävien tulisi olla koordinoituja tuotannon aikataulussa, sillä huomioimatta jääneet tehtävät saattavat häiritä projektin sujuvaa toteutusta. Pukkilassa tahdissa oli huomioitu vain asuinneliöt. Ongelma ei kuitenkaan Pukkilassa noussut merkittäväksi, sillä tahti on sujunut hyvin, ja ulkopuolisista töistä on voitu sopia ja niitä on työstetty mahdollisimman pitkälle jo ennen tahdin alkua. Tahdin ulkopuolisten asioiden aikataulujen suunnittelu kuitenkin tunnistettiin asiaksi, johon tulisi ehdottomasti jatkossa kiinnittää enemmän huomiota. Jatkossa tahtituotannon ulkopuoliset tehtävät voisivat olla koordinoituja tuotannon aikataulutukseen, jotta ne eivät häiritse projektin sujuvaa toteutusta.

## 6.2 Yhteistyön toimivuus avainasemassa

Jokaisella kohteen työryhmän jäsenellä tulee olla selkeä työtavoite joka tahdille ja tavoitteet tehdään valmiiksi sovitussa järjestyksessä kerralla (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 27–28.) Haastateltavat kertoivat, että Pukkilassa on onnistuttu siinä, että urakoitsijat ovat olleet hyvin tilanteen tasalla ja tieto on kulkenut. Tahtituotannon hyödyiksi he mainitsivat nimenomaan sen, että vastuu jakautuu tasaisemmin ja jokainen on tietoinen siitä, missä mennään. Tehokkaan tahtiohjauksen merkittävimmiksi esteiksi onkin mainittu yhteisen tilannekuvan puute ja tehtävien jättäminen kesken, josta aiheutuu sekavuutta. (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 21–22; LCI Finland n.d.).

Tiedon kulkua voitaisiin vielä parantaa ja kehittää, esimerkiksi urakoitsijoille suunnitellusta sovelluksesta voitaisiin julkaista välitavoitteita ja tilannekuvaa tekstimuodossa, ikään kuin viikkotiedoitteen muodossa. Urakoitsijoiden motivaatiota tulisi kasvattaa selventämällä, että tahtiaikataulusta on heillekin hyötyä sekä ajallisesti että rahallisesti, sillä kun kohde valmistuu nopeammin, työntekijät saadaan nopeammin myös seuraavan projektin pariin. Myös työntekijä, joka on urakkapalkalla töissä, hyötyy itse tästä.

Tahtiohjauksen keskiössä ovat esimerkiksi jatkuvat, vähintään tahdin rytmissä toistuvat johtamisen rutiinit, kuten päivittäisjohtamisen palaverit. (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 27–28; Mölsä 2019.) Jokainen haastateltava, joka oli itse osallistunut palaveriin, koki palaverit erittäin hyödylliseksi ohjauksen keinoksi, jota ilman tahtituotanto ei toimi. Mielenkiintoinen havainto on se, että tahtipalaverihin tulisi kiinnittää huomiota erityisesti projektin alkuvaiheessa, jotta rutiinit myöhemmin mahdollisten ongelmien sattuessa olisivat paremmin hallussa. Onkin erityisen tärkeää välittää urakoitsijoille tietoa siitä, että palaverit ovat nimenomaan heitä varten ja edesauttavat heidän työnsä sujuvuutta ja mutkatonta. Työnjohdolle asiaa tulisi korostaa siitä näkökulmasta, että näin rutiini olisi jo valmiiksi olemassa mahdollisia ongelmatilanteita varten.

Tahtituotanto parantaa rakentamisen laatua ja yhdeksi syyksi voidaan mainita tehokkaampi kommunikaatio ja parantunut yhteistoiminta (Lehtovaara &

Hartikainen 2024, 11.) Avainasemassa onkin kaikkien työntekijöiden, myös alirakoitsijoiden sitouttaminen ja halu sitoutua tahtituotantoon ja yhteiseen tahtiin (Lehtovaara & Hartikainen 2024, 21–22; Mölsä 2019). Pukkilassa yhteistyö on ollut sujuvaa kaikkien osapuolten välillä ja Mestamasterin helppokäyttöisyys sai kehuja myös työntekijöiltä. Yhteistyötä tehostamaan Pukkilassa voitaisiin ottaa käyttöön yhteinen taulu työntekijöille, jossa koko työmaan tilanne näkyisi kaikille: missä kukin urakoitsija menee ja mitkä vaiheet ovat aikataulussa. Tämä loisi myös positiivista ryhmäpainetta onnistumiselle.

### 6.3 Materiaalitoimitus ja resurssivalmius

Useammassa haastattelussa nousivat esiin resurssit eri muodoissa. Kiinnostava ja ratkaisuja kaipaava asia on työmaan logistiikkaprosessi ja sen toiminta. Myös aikaisemmin on todettu, että tahtituotannon kannalta rakennustyömaan onnistunut logistiikkaprosessi (eli materiaalien ja työtarvikkeiden toimitus sekä jätteiden hallinta) varmistaa, että tarvittavat materiaalit ovat saatavilla työmaalla oikeaan aikaan (Oliveira & Sierra 2003, 2.) Materiaalivirtojen hallinta työmaalla on erittäin keskeistä kustannustehokkuuden ja hukan poistamisen kannalta ja vaikuttaa myös työtehtävän kestoon merkittävästi (Sacks 2016). Pukkilassa materiaalitoimitukset ovat pääasiallisesti toimineet hyvin. Viikoittain tapahtunut logistiikkasuunnittelu on ollut onnistunutta ja toimitusten merkkäminen kalenteriin on mahdollistanut sujuvan logistiikkaprosessin. Joissain materiaalitoimituksissa on kuitenkin ollut ongelmia, millä on ollut suora vaikutus tahdin viivästy-mään. Tämä voitaisiin ratkaista väliavarastoinnilla sellaisten materiaalitoimitusten osalta, joilla on korkeampi todennäköisyys myöhästyä.

Myös ulkoisten esteiden poistaminen on tärkeää tahtituotannon toimivuuden kannalta (Mölsä 2019). Esimerkiksi kova pakkanen tai tuuli voivat haitata materiaalien tai resurssien saatavuutta tai itse työn suorittamista (Koskela 2000, 187). Pilottihankkeissa on lisäksi havaittu merkittävänä esteenä etenemiselle rungon kuivumisen hitaus, mitä osittain sateinen kesä lisäsi (Mölsä 2019). Materiaalivalinnoilla voidaan jonkin verran auttaa asiaa, ratkaisuna esimerkiksi jo

aiemmin opinnäytetyössä mainittu 2-komponenttinen vedeneristys. Runko sekä vesikatto voitaisiin myös tahdistaa niin, että ne valmistuvat kesällä, jolloin luonnollisesti kuivumisajat ovat nopeampia kuin talvirungossa. Tämä kuitenkin riippuu täysin tilaajan asettamasta aikataulusta.

#### 6.4 Jatkotutkimusehdotukset

Jatkotutkimuksena voitaisiin vertailla eri tahtituotannon suunnittelun ja ohjauksen ohjelmistoja. Esimerkiksi tässä opinnäytetyössä esitellyillä Mestamasterilla ja Sitedrivella on hieman erilaisia ominaisuuksia, joiden hyödyntämistä olisi kiinnostavaa vertailla käytännössä. Lisäksi kiinnostavaa olisi havainnoida, onko jokin tietty ohjelma toimivampi tietyllä työmaalla tai tietyissä olosuhteissa.

Tahtiaikataulun käytön osalta mielenkiintoinen jatkotutkimusaihe olisi sen hyödyntäminen erilaisissa kohteissa. Aiemmissä tutkimuksissa on keskitytty paljon tietyn tyyppiseen rakentamiseen, esim. asuinrakentaminen, korjausrakentaminen jne., mutta eri projektien vertailututkimuksella voitaisiin saada kiinnostavaa tietoa tahdin hyödyntämisestä ja mahdollisten haasteiden ratkomisesta.

## Lähteet

- Aalto, J. 2023. Tahtiaikataulun toimivuus, käytännöllisyys ja toteutus sisätyövaiheessa. Opinnäytetyö. Rakennusmestari. Turku. Turun ammattikorkeakoulu. Viitattu 19.3.2024 [www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/799576/Aalto\\_Johanna.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/799576/Aalto_Johanna.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Alhava, O., Rinne, V., Laine, E., Koskela, L. 2019. Can a Takt Plan Ever Survive Beyond the First Contact with the Trades On-Site? Proceedings in 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Viitattu 20.3.2024 [https://research.aalto.fi/files/36336796/Alhava et al. 2019 Can a Takt Plan Ever Survive Beyond the First Contact With the Trades On Site .pdf](https://research.aalto.fi/files/36336796/Alhava_et_al._2019_Can_a_Takt_Plan_Ever_Survive_Beyond_the_First_Contact_With_the_Trades_On_Site_.pdf)
- Andersen, L., Fyhn, H. 2019. Organizational and Cultural Preconditions for Extending the Use of Takt Time Planning. Proceedings in 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Viitattu 20.3.2024 <https://samforsk.brage.unit.no/samforsk-xmlui/bitstream/handle/11250/2619853/Organisational%2Band%2BCultural%2BPreconditions%2Bfor%2BExtending%2Bthe%2BUse%2Bof%2BTakt-Time%2BPlanning.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Aura Rakennus Oy 2024. Tulevaisuuden kestävää rakentamista. <https://aurarakennus.fi/>
- Ballard, G. 2000. The Last Planner System of Production Control. A thesis submitted to the Faculty of Engineering of The University of Birmingham for the degree of Doctor of Philosophy. Viitattu 1.4.2024. <https://etheses.bham.ac.uk/id/eprint/4789/1/Ballard00PhD.pdf>
- Bertelsen, S., Koskela, L. 2004. Construction Beyond Lean: A New Understanding of Construction Management. 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Viitattu 22.3.2024. [https://www.researchgate.net/publication/236841885\\_CONSTRUCTION\\_BEYOND\\_LEAN\\_A\\_NEW\\_UNDERSTANDING\\_OF\\_CONSTRUCTION\\_MANAGEMENT](https://www.researchgate.net/publication/236841885_CONSTRUCTION_BEYOND_LEAN_A_NEW_UNDERSTANDING_OF_CONSTRUCTION_MANAGEMENT)
- Bertelsen, S., Koskela, L., Henrich, G., Rooke, J. 2006. Critical Flow – Towards a Construction Flow Theory. Proceedings IGLC-14. Viitattu 22.3.2024. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-26caa0bc-c841-4429-ae1e-14bc18daade7.pdf>
- Binninger, M., Dlouhy, J., Haghsheno, S. 2017. Technical Takt Planning and Takt Control in Construction. LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group of Lean Construction (IGLC). Viitattu 10.3.2024. [https://www.researchgate.net/publication/318519681\\_Technical\\_Takt\\_Planning\\_and\\_Takt\\_Control\\_in\\_Construction](https://www.researchgate.net/publication/318519681_Technical_Takt_Planning_and_Takt_Control_in_Construction)
- Binninger M., Dlouhy J., Müller, M., Schattmann, M., Haghsheno, S. 2018. Short Takt Time in Construction – A Practical Study. Proceedings in 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Viitattu 10.3.2024. [https://www.researchgate.net/publication/326466538\\_Short\\_Takt\\_Time\\_in\\_Construction\\_-\\_a\\_Practical\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/326466538_Short_Takt_Time_in_Construction_-_a_Practical_Study)
- Dlouhy, J., Binninger, M. & Haghsheno, S. 2019. Buffer Management in Takt Planning An Overview of Buffers in Takt Systems. Proc. 27th Annual Conference of the

- International Group for Lean Construction (IGLC). Viitattu 11.3.2024. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/iglc-9264d6a7-5e55-4e10-bbb7-fdb460c41313.pdf>
- Dlouhy J., Binninger M., Oprach S., Haghsheno S. 2018. Mastering complexity in Takt planning and Takt control - Using the three level model to increase efficiency and performance in construction projects. Proceedings (IGLC 26). Viitattu 11.3.2024. [https://www.researchgate.net/publication/326466622\\_Mastering\\_Complexity\\_in\\_Takt\\_Planning\\_and\\_Takt\\_Control\\_-\\_Using\\_the\\_Three\\_Level\\_Model\\_to\\_Increase\\_Efficiency\\_and\\_Performance\\_in\\_Construction\\_Projects](https://www.researchgate.net/publication/326466622_Mastering_Complexity_in_Takt_Planning_and_Takt_Control_-_Using_the_Three_Level_Model_to_Increase_Efficiency_and_Performance_in_Construction_Projects)
- Fransson, A., Berghede, K., Tommelein, I. D. 2013. Takt-Time Planning for Construction of Exterior Cladding. Proceedings IGLC 21. Viitattu 15.3.2024. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-3465d25c-5283-47dd-9d3b-106ed6416d70.pdf>
- Fransson, A., Berghede, K., Tommelein, I. D. 2014. Takt-Time Planning and the Last Planner. Proceedings IGLC-22. Viitattu 15.3.2024. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-ca8299d4-9d13-47ba-9e60-b59c247d37e6.pdf>
- Fransson, A. G., Seppänen, O., Tommelein, I.D. 2015. Comparison between Location Based Management and Takt Time Planning. Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction. Viitattu 22.4.2024. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-448134be-b487-41fb-bb81-411b17c5e851.pdf>
- Gardarsson, M. H., Lædre, O., Svalestuen, F. 2019. Takt Time Planning in Porsche Consulting, The Boldt Company and Veidekke. Proceedings in 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Viitattu 20.4.2024. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-bf2974b0-14ba-4bbe-8fed-9c34bc206987.pdf>
- Haghsheno, S., Binninger, M., Dlouhy, J. and Sterlike, S. 2016. History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control. Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction. Viitattu 13.3.2024. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-6aa12588-08a1-4f6b-8f82-4f51a463df98.pdf>
- Heinonen, A., Seppänen, O. 2016. Takt Time Planning in Cruise Ship Cabin Refurbishment: Lessons for Lean Construction. Proc. 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Viitattu 10.3.2024. [https://research.aalto.fi/files/7207054/Heinonen\\_and\\_Seppanen\\_2016\\_Takt\\_Time\\_Planning\\_in\\_Cruise\\_Ship\\_Cabin\\_Refurbishment\\_Lessons\\_for\\_Lean\\_Construction.pdf](https://research.aalto.fi/files/7207054/Heinonen_and_Seppanen_2016_Takt_Time_Planning_in_Cruise_Ship_Cabin_Refurbishment_Lessons_for_Lean_Construction.pdf)
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. Tutki ja kirjoita. 2009. Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Howell, G. A. 1999. What Is Lean Construction. University of California. Viitattu 10.3.2024. <https://leanconstruction.org.uk/wp-content/uploads/2018/09/Howell-1999-What-Is-Lean-Construction-1999.pdf>
- Kaiser, Jörg. 2013. Lean Process Management in der operativen Bauabwicklung. Technische Universität Darmstadt, Institut für Baubetrieb.
- Karjalainen, T. 2014. Toyotan talo. Viitattu 18.3.2024. <https://www.youtube.com/watch?v=PpPxbkQD8qQ>



Kemmer, S., Koskela, L., Nykänen, V. 2013. Towards a lean model for production management of refurbishment projects. ApRemodel Project. VTT Technology: 94. Viitattu 14.3.2024. <https://core.ac.uk/download/30732952.pdf>

Keskiniva, K., Saari, A. & Junnonen, J-M. 2020. Takt Plannin in Apartment Building Renovation Projects. Faculty of Built Environment, Tampere University. Viitattu 14.3.2024. <https://www.mdpi.com/2075-5309/10/12/226>

Kujansuu, P., Lehtovaara, J., Grönvall, M., Seppänen, O. & Peltokorpi, A. 2019. Comparison and Trade Partner Commitment in Takt Implementation Cases. Proceedings in 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Viitattu 20.3.2024. [https://research.aalto.fi/files/36243178/Kujansuu\\_et\\_al.\\_2019\\_Comparison\\_of\\_Collaboration\\_and\\_Trade\\_Partner\\_Commitment\\_in\\_Takt\\_Implementation\\_Cases.pdf](https://research.aalto.fi/files/36243178/Kujansuu_et_al._2019_Comparison_of_Collaboration_and_Trade_Partner_Commitment_in_Takt_Implementation_Cases.pdf)

Koskela, L. 2000. An exploration towards a production theory and its application to construction. Väitöskirja. VTT Publications. Viitattu 21.3.2024. [https://www.researchgate.net/publication/35018344\\_An\\_Exploration\\_Towards\\_a\\_Production\\_Theory\\_and\\_its\\_Application\\_to\\_Construction](https://www.researchgate.net/publication/35018344_An_Exploration_Towards_a_Production_Theory_and_its_Application_to_Construction)

Laine, E. 2020. Asuinrakennuskohteen suunnitellun tahtituotannon toteutuminen ja sen vaikutus tuotannon laatuun. Tampereen yliopisto. Viitattu 22.4.2024. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/122733/LaineElina.pdf>

LCI Finland n.d. Tahtituotanto vaatii ponnisteluja, mutta tuo tuloksia. Viitattu 10.4.2024. [https://lci.fi/rain2\\_02102019/](https://lci.fi/rain2_02102019/)

Lehtovaara J, Seppänen O, Peltokorpi A, Kujansuu P & Grönvall M. 2020. How takt production contributes to construction production flow: A theoretical model, Construction Management and Economics. <https://research.aalto.fi/files/56267310/01446193.2020.1824295.pdf>

Lehtovaara, J., Seppänen, O., Heinonen, A., Tomunen, L., Kulta, I., Kujansuu, P. & Grönvall, M. 2019. Building 2030 - Tahti suunnittelussa ja tuotannossa, loppuraportti. Aalto yliopisto. Viitattu 1.4. 2024. [https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-02/building\\_2030\\_tahti\\_suunnittelussa\\_ja\\_tuotannossa\\_loppuraportti\\_22.1.201.pdf](https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-02/building_2030_tahti_suunnittelussa_ja_tuotannossa_loppuraportti_22.1.201.pdf).

Lehtovaara, J. & Hartikainen, U. 2024. Tahtituotanto. Opas 2/2024. RIL ry. Viitattu 1.4.2024. [https://view.taiga.com/sites/all/files/public\\_files/documents/ril/4a5e84efdbbd6fe2ab6d327c3002e9fd/document.pdf](https://view.taiga.com/sites/all/files/public_files/documents/ril/4a5e84efdbbd6fe2ab6d327c3002e9fd/document.pdf)

LTQ-Rakennus Oy 2024. Tahtituotannon haasteet logistiikkaurakoitsijan näkökulmasta. Viitattu 20.3.2024. <https://ltqrakennus.fi/2024/01/25/tahtituotannon-haasteet-logistiikkaurakoitsijan-nakokulmasta/>

Merikallio L. n.d. Koolla on sittenkin merkitystä. LCI Finland. Viitattu 21.3.2024. <https://lci.fi/blogi-koolla-on-sittenkin-merkitysta/>

Mestamaster 2023. Viitattu 10.3.2024. <https://www.mestamaster.com/fi/about-takt-time>

Mittaviiva Oy, rakennusteollisuus RT ry & VTT, Rakennustyömaan toimitusten ohjaus. 2009. Viitattu 20.3.2024. [https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2009/Rakennustyomaan\\_toimitusten\\_ohjaus\\_091116.pdf](https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2009/Rakennustyomaan_toimitusten_ohjaus_091116.pdf)

- Mossman, A. 2018. What is lean construction: another look. Proc. 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Viitattu 21.3.2024. [https://www.researchgate.net/publication/326466614\\_What\\_Is\\_Lean\\_Construction\\_Another\\_Look\\_-\\_2018](https://www.researchgate.net/publication/326466614_What_Is_Lean_Construction_Another_Look_-_2018)
- Mölsä S. 2019. Onko tahtituotanto työmaalle riski? Rakennuslehti. Viitattu 25.3.2024. <https://www.rakennuslehti.fi/2019/11/onko-tahtituotanto-joustamaton-riskikokeilu-building-2030-testasi-asian-pilottiprojekteissa/>
- Ohno, T. 1988. Toyota Production System; Beyond large scale production, Productivity Press. Viitattu 10.3.2024. <http://dspace.vnbrims.org:13000/jspui/bitstream/123456789/4694/1/Toyota%20Production%20System%20Beyond%20Large-Scale%20Production.pdf>
- Oliveira, O. J. & Serra, S. M. B. 2003. Development of the logistics plan in building construction. System-based Vision for Strategic and Creative Design. Viitattu 10.4.2024. [https://www.academia.edu/10317222/Development\\_of\\_the\\_logistics\\_plans\\_in\\_building\\_construction](https://www.academia.edu/10317222/Development_of_the_logistics_plans_in_building_construction)
- Pahkala, S., Wegelius-Lehtonen, T., Tanninen-Ahonen, T. n.d. Logistiikka on sujuvaa materiaalityöimistöjen hallintaa. Viitattu 12.4.2024. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK98s677.pdf>
- Ratu KI-6031 Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2017. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- RIL 276-2021. Lean rakentamisessa. Arvoa luovan rakentamisen periaatteet, menetelmät ja työkalut. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto.
- Sacks, R. 2016. What constitutes good production flow in construction? Construction Management and Economics. Vol. 34:9. Viitattu 20.3.2024. [https://www.researchgate.net/publication/305271493\\_What\\_constitutes\\_good\\_production\\_flow\\_in\\_construction](https://www.researchgate.net/publication/305271493_What_constitutes_good_production_flow_in_construction)
- Seppänen, O. 2014. A Comparison of Takt Time and LBMS Planning Methods. 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Viitattu 20.3.2024 <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-bab39cab-949b-40a3-b03c-a1fd05b200f5.pdf>
- Sitedrive n.d. Enemmän rakentamista, vähemmän säätöä. Viitattu 22.4.2024. <https://sitedrive.com/fi/>
- Sormunen, T. 2018. Hoasin tahtiaikataulutuksessa yksi asunto korjataan 25 päivässä. Rakennuslehti. Viitattu 21.3.2024. <https://www.rakennuslehti.fi/2018/12/hoasin-tahtiaikataulutuksessa-yksi-asunto-korjataan-25-paivassa/>
- Taroun, A., Yang, J. B., Lowe, D. 2011. Construction Risk Modelling and Assessment: Insights from a Literature Review. The Built & Human Environment Review, Volume 4. Viitattu 12.4.2024. [https://www.researchgate.net/publication/269464749\\_Construction\\_Risk\\_Modelling\\_and\\_Assessment\\_Insights\\_from\\_a\\_Literature\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/269464749_Construction_Risk_Modelling_and_Assessment_Insights_from_a_Literature_Review)
- Tetik, M., Peltokorpi, A., Seppänen, O., Viitanen, A., Lehtovaara, J. 2019. Combining Takt Production with Industrialized Logistics in Construction. Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Viitattu 10.4.2024.

<https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/iglc-26f2c130-29be-459d-a331-de58f593bcc9.pdf>

Tommelein, I. D. 2017. Collaborative Takt Time Planning of Non-Repetitive Work. LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Viitattu 2.4.2024. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/iglc-2d3daed4-f094-4d84-a3f6-911960870186.pdf>

Vatne, M. E., Drevland, F. Practical Benefits of Using Takt Time Planning: A Case Study. 2016. Proc. 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Viitattu 2.4.2024. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-110043e5-9e14-44ee-aa36-b58c3c641fb7.pdf>

Vrijhoef, R. & Koskela, L. 2005. Revisiting the three peculiarities of production in construction. Proceedings IGLC-13. Viitattu 18.3.2024. [https://www.researchgate.net/publication/44389501\\_Revisiting\\_the\\_Three\\_Peculiarities\\_of\\_Production\\_in\\_Construction](https://www.researchgate.net/publication/44389501_Revisiting_the_Three_Peculiarities_of_Production_in_Construction)

Ward, S. & McElwee, A. 2007. Application of the principle of batch size reduction in construction. Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Viitattu 2.4.2024. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-4d158872-c72d-4f6b-94d9-d01d4b49ae08.pdf>

Womack, J.P., Jones, D.T. & Roos, D. 1990. The machine that changed the world. Free Press. Viitattu 10.3.2024. [https://books.google.fi/books?id=9NHmNCmDUUoC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.fi/books?id=9NHmNCmDUUoC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

## **Kyselylomake**

### **Taustakysymykset**

1. Mikä on toimenkuvasi ja vastuualueesi?
2. Määrittele, mitä tahtituotannolla mielestäsi tarkoitetaan.

### **Aiempi kokemus tahtituotannosta**

3. Millaisissa projekteissa olet ollut tekemisissä tahtituotannon kanssa?
4. Paljonko sinulla on kokemusta tahtituotannosta vuosina?
5. Millaisia haasteita kohteiden luonteet ja/tai tekniikka ovat mahdollisesti aiheuttaneet tahtituotannon suunnitteluun? Määrittele kohde.
6. Miten tahtituotantoa valvottiin ja ohjattiin?

### **Tahtituotanto Pukkilan työmaalla**

7. Aloitettiinko mielestäsi tuotannon suunnittelu (tarpeeksi) ajoissa Pukkila projektissa?
  - 7.1 Jos vastasit ei, osaatko sanoa, mikä johti tuotannon suunnittelun viivästy-  
mään? Minkälaisia haittoja tuotannon suunnittelun viivästy-  
mästä aiheutui?
8. Osallistuitko tahtituotannon suunnitteluun? Jos osallistuit, niin miten?
9. Kenen toimesta tahtiaikataulu laadittiin:
  - a) Ainoastaan pääurakoitsijan toimesta
  - b) Pääurakoitsijan ja aliurakoitsijan toimesta
  - c) Aikatauluehdotus tuli tilaajan toimesta
10. Miten tahtiaikataulun vaunujen menekit mitoitettiin?
11. Miten tahdin ulkopuolisten töiden tekeminen huomioitiin tahtituotannossa?
12. Mitä asioita olet kokenut haasteelliseksi tahtituotannon kanssa projektissa?
13. Miten mahdollisiin haasteisiin reagoitiin?
14. Mitä työkaluja on käytössä? Mikä on mielipiteesi käytetyistä työkaluista: mitkä ovat toimivia ja mitkä puolestaan eivät ja minkä takia?
15. Minkälaisia viikkorutiineja on ollut käytössä valvonnan ja ohjaamisen tueksi?

16. Mikä on mielipiteesi tahtipalavereista? Perustele.
17. Minkälaiset toimintatavat aiheuttavat haasteita tahtituotannon valvonnan ja ohjauksen osalta?
18. Mitkä asiat mielestäsi eniten vaikuttavat onnistumisiin sekä epäonnistumisiin?
19. Millaiset tuotannon ohjausmenetelmät ovat mielestäsi olleet hyödyksi?
20. Miten kehittäisit tahtituotannon ohjausta?
21. Miten arvioisit tahtituotannon hyödyllisyyttä rakennusprojekteissa yleisesti?
- a) erittäin hyödyllinen
  - b) hyödyllinen
  - c) melko hyödyllinen
  - d) melko hyödytön
  - e) hyödytön
  - f) täysin hyödytön

Avoin kommentti/perustelu antamallesi vastaukselle