Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University

Building technology maisteriohjelma

Laadunvarmistus tahtituotannossa

Eero Väisänen

Diplomityö
27.12.2023

Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University

Tekijä Eero Väisänen

Työn nimi Laadunvarmistus tahtituotannossa

Koulutusohjelma Building Technology

Vastuuopettaja/valvoja Professori Olli Seppänen, TkT

Työn ohjaaja(t) Väitöskirjatutkija Jaakko Riekki, DI

Yhteistyötaho Finavia Oyj ja SRV Oy

Päivämäärä 27.12.2023 **Sivumäärä** 62+1 **Kieli** suomi

Tiivistelmä

Rakennustuotannon tuottavuuden kehitys on ollut haasteellista ja alalle on pyritty tuomaan ja kehittämään uudenlaisia toimintatapoja. Tuottavuuden lisäksi myös hyväksyttävän laadun tuottaminen on pitkäaikainen rakennusalan ongelma. Tahtituotanto on viime aikoina paljon esillä ollut ja nousevassa trendissä oleva tuotantoprosessi, jolla toivotaan olevan vaikutuksia moniin rakennusalalle juurtuneisiin ongelmiin. Uusiin tuotantomenetelmiin ja erityisesti tahtituotantoon liittyen on tehty paljon tutkimuksia, mutta näissä on keskitytty usein tahtituotannon suunnitteluun, soveltamiseen ja toteuttamiseen. Tutkimuksia laadunhallinnan metodeista tai toteutuksesta tahtituotannon yhteydessä ei juurikaan löydy.

Diplomityössä tarkasteltiin laatua käsitteenä ja laadunhallinnan kehitystä rakennussalalla sekä erilaisten työmaan päätösten vaikutusta laatuun. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tahtituotannon aiheuttamia vaikutuksia tuotantoprosessiin, laadunvarmistukseen sekä lopputuotteen laatuun. Tutkimus pitää sisällään kirjallisen ja empiirisen osuuden. Empiirinen osuus toteutettiin tapaustutkimuksena, jossa tutkittiin yhden hankkeen työntekijöiden kokemuksia tahtituotannosta ja laadunvarmistuksesta. Haastatteluiden avulla pyrittiin saamaan yleiskuva hankkeen eri organisaatioiden kokemuksista tuotantomenetelmän toimivuudesta sekä haasteista.

Tutkimuksessa saadut tulokset saavat tukea kirjallisuudesta. Tahtituotannon käyttö parantaa tuotantojärjestelmää ja mahdollistaa laadukkaan tuotannon toteuttamisen. Laadunhallinnan järjestäminen osana tahtituotantoa vaatii kuitenkin uudenlaista ennakointia, järjestelmällisyyttä ja sitoutumista unohtamatta yhteistyötä ja toimivaa kommunikointia. Uudenlaiset menetelmät vaativat myös asennemuutosta aikataulutuksen ja resurssoinnin suhteen. Laatua korostava ja uudenlaiset prosessit hyväksyvä yhteistoiminnallinen kulttuuri vaatii aikaa muodostuakseen, koska avainhenkilöiden aiemmat kokemukset vaikuttavat sitoutumisen tasoon. Jatkotutkimuksissa tulisi perehtyä tahtituotannon konkreettisiin laatuvaikutuksiin sekä seurantaa tehostaviin sähköisiin työkaluihin.

Avainsanat laatu, laadunvarmistus, laadunhallinta, lean, tahtituotanto

Aalto-yliopisto
Aalto-universitetet
Aalto University

Author Eero Väisänen

Title of thesis Quality Assurance in Takt Production

Programme Building Technology

Thesis supervisor Associate professor Olli Seppänen, D.Sc. (Tech.)

Thesis advisor(s) Doctoral researcher Jaakko Riekki, MSc. (Tech.)

Collaborative partner Finavia Oyj and SRV Oy

Date 27.12.2023 **Number of pages** 62+1 **Language** Finnish

Abstract

The development of productivity in construction production has been challenging, and efforts have been made to bring and develop new operating methods to the sector. In addition to productivity, producing acceptable quality is a long-term problem in the construction industry. Takt production is a production process that has been featured a lot recently and is in an up- -coming trend, which is hoped to have an impact on many problems rooted in the construction industry. A lot of research has been carried out in relation to new production methods and especially takt production, but these have often focused on the planning, application, and implementation of takt production. There are hardly any studies on quality management methods or implementation in the context of takt production.

The thesis examined quality as a concept and the development of quality management in the construction industry, as well as the impact of various construction site decisions on quality. The goal of the research was to find out the effects of takt production on the production process, quality assurance and the quality of the final product. The research includes a literary and empirical part. The empirical part was carried out as a case study, which examined the experiences of one project's workers on takt production and quality assurance. With the help of the interviews, an overview of the experiences of the different organizations of the project regarding the functionality of the production method and the challenges was constructed.

The results obtained in the study are supported by the literature. The use of takt production improves the production system and enables the implementation of high-quality production. However, organizing quality management as part of takt production requires a new kind of foresight, systematization, and commitment without forgetting cooperation and effective communication. New methods also require a change of attitude regarding scheduling and resourcing. A cooperative culture that emphasizes quality and accepts new types of processes requires time to form, because the previous experiences of key personnel affect the level of commitment. Further studies should investigate the concrete quality effects of takt production and new digital tools for enhanced monitoring.

Keywords quality, quality assurance, quality control, lean, takt production

Esipuhe

Aloitin oman opintomatkani Otaniemessä vuonna 2011. Tämän matkan alkukiidolle vauhtia sekä tukea toivat läheiset opiskelukaverini Christian, Miika, Sami, Tuukka ja Ville. Tätä kiitoa kesti kolme vuotta, kunnes se kirjamellisesti lähti lentoon, kun vaihdoin teekkarihaalarit lentohaalareihin.

Moneen viime aikoina tehtyyn lopputyöhön koronapandemia on jättänyt vaikutuksensa tavalla tai toisella. Ilman koronapandemiaa tätä työtä olisi tuskin koskaan tehty.

Koronapandemian iskettyä maat ja kansakunnat sulkeutuivat, ja matkailu pysähtyi. Niin pysähtyi myös vuonna 2014 opiskeluista alkunsa saanut ura ilmailun parissa. Onnekseni minulla oli vielä opiskeluoikeutta jäljellä ja päätin jatkaa kesken jääneitä opintojani kuuden vuoden tauon jälkeen. Lopulta koronapandemian hellitettyä pääsin myös palaamaan leipätyöhöni.

Tutkimuksen tekeminen yhdessä päivätyön sekä oman rakennusprojektin aikana on haastanut prosessia: se on edennyt vaiheittain ja kestänyt lähes kaksi vuotta. Tämä, kokonaisuutena yli 12 vuotta kestänyt matka opintojen aloituksesta valmistumiseen on nyt saamassa päätöksensä.

Tämä työ on tehty yhteistyössä Finavia Oyj:n sekä SRV Oy:n kanssa. Tutkimusaihe valikoitui kevään 2022 aikana, jolloin aiheesta ja työn sisällöstä käytiin pohdintaa varsinkin Finavian Martti Nurmisen kanssa. Haluan kiittää myös Finavian kehityspäällikkö Sami Kiiskistä työn mahdollistamisen edistämisestä sekä SRVn Jasmiina Hietalaa sekä Finavian Tuomo Lindstedtiä materiaaleista, vinkeistä sekä heidän ajastaan työn aikana.

Tutkimustyön tuesta haluan kiittää työn ohjaajaa väitöskirjatutkija DI Jaakko Riekkiä, työn valvojaa apulaisprofessori TkT Olli Seppästä sekä kaikkia työn haastatteluihin osallistuneita henkilöitä. Ilman teidän panostanne työtä ei olisi saatu valmiiksi ja se olisi ollut merkityksetön.

Suuri kiitos kuuluu myös perheelleni sekä puolisolleni Irikselle. Olette olleet tukenani ja kannustaneet minua niin hyvinä kuin huonoina hetkinä.

Järvenpäässä 27.12.2023

Eero Väisänen
Eero Väisänen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä
Abstract
Esipuhe
Sisällysluettelo
Lyhenteet

1 Johdanto 1
2 Kirjallisuuskatsaus 4
2.1 Rakennusalan ominaispiirteet 4
2.2 Laatu 5
2.3 Rakentamisen laatu 5
2.3.1 Rakentamisen laadun osatekijät 5
2.3.2 Rakennuksen laatu 6
2.3.3 Rakennusprosessin laatu 7
2.3.4 Rakentamisen laadun arviointi 8
2.4 Työmaan aikataulupäätösten vaikutus laatuun 9
2.4.1 Ylityön vaikutus 9
2.4.2 Työvoiman lisäämisen vaikutus 10
2.4.3 Aikataulupaineen vaikutus 11
2.4.4 Työjärjestyksestä poikkeamisen vaikutus 13
2.4.5 Aikataulusta joustamisen vaikutus 13
2.5 Laadunhallinta 13
2.5.1 Laadunhallinnan historiallinen kehitys teollisuudessa 14
2.5.2 Laadunhallinnan menetelmiä rakentamisessa 15
2.5.3 Laadunhallinnan soveltaminen rakentamisessa 18
2.6 Lean 19
2.6.1 Lean-ajattelu 19
2.6.2 Virtaus ja hukka 20
2.6.3 Lean-rakentaminen 21
2.7 Tahtituotanto 23
2.7.1 Tahtiaika 24
2.7.2 Tahtisuunnittelu 25
2.7.3 Tahtiohjaus 27

2.8 Propositiot tahtituotantoon ja sen laadunvarmistukseen 27
3 Tutkimusaineisto ja -metodit 30
3.1 Kohteen esittely 30
3.2 Menetelmät 30
3.3 Tulokset 32
3.3.1 Tahtituotannon suunnittelu 32
3.3.2 Yhteistoiminta 35
3.3.3 Tahtituotannon toteutus 36
3.3.4 Laadunhallinta 41
3.3.5 Hyvät ja huonot puolet sekä kehitysehdotukset 45
4 Yhteenveto ja pohdinta 47
4.1 Tulosten arviointi ja pohdinta 47
4.2 Tutkimuksen arviointi ja rajoitteet 52
5 Johtopäätökset ja jatkotutkimusaiheet 54
Lähteet 56
Liitteet

Lyhenteet

CPM	*Critical path method*. Kriittisen polun menetelmä.
JIT	*Just-in-Time*. Juuri oikeaan tarpeeseen (JOT)
LBMS	*Location-based Management System*. Sijaintipohjainen aikataulutusmenetelmä.
LPS	*Last Planner system*. Häiriöttömään ja aikataulunmukaiseen työskentelyyn pyrkivä tuotannonohjauksen menetelmä.
MRL	Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999.
PPC	*Percentage of planned activities completed*. Toteutuneiden tehtävien osuus kaikista suunnitelluista tehtävistä.
QA	*Quality Assurance*. Laadunvarmistus.
QC	*Quality Control*. Laadunvalvonta.
RakMk	Suomen rakentamismääräyskokoelma.
RATU-kortisto	Suomalainen rakennustuotannon ammattilaisille tarkoitettu ohjetietopankki.
TPS	*Toyota Production System*. Toyotan kehittämä sosio-tekninen johtamisjärjestelmä.
TPTC	*Takt Planning and Takt Control*. Tahtituotannon suunnittelu ja ohjaus, Saksan malli.
TQM	*Total Quality Management*. Kokonaisvaltainen laadunhallinta.
TTP	*Takt Time Planning*. Tahtituotannon suunnittelu, Kalifornian malli.
YSE	Rakennusalan yleiset sopimusehdot 1998.

1 Johdanto

Rakennusalan tuottavuuden kehitys on pysynyt pitkän ajan lähes paikallaan ja vastaavasti teollisuudessa tuottavuus on noussut merkittävästi. Tätä perustellaan muun muassa rakennuskohteiden ainutkertaisuudella ja monimutkaisuudella (Lehto, 2020). Tuottavuuden haasteiden lisäksi myös hyväksyttävän laadun tuottaminen rakennustyömailla on ollut pitkäaikainen ongelma (Arditi & Gunaydin, 1997). Valmistavan teollisuuden käyttämiä laadunhallinnan työkaluja on sovellettu rakentamisen käyttöön 1970-luvulta alkaen (Tang ym., 2005). Näiden työkalujen soveltamisessa rakennustyömaille on kuitenkin haasteensa ja rakentamisen laadunvalvonta ei olekaan valmistavan teollisuuden tasolla (Arditi & Gunaydin, 1997). Rakennusteollisutta on myös kritisoitu sen takapajuisesta suhtautumisesta laatuun, huonosta valvonnasta ja johtamisesta, riittämättömästä hyvien käytäntöiden jalkauttamisesta, haluttomuudesta tutkia virheitä ja palautteita sekä alimotivoituneesta työvoimasta (Xiao & Proverbs, 2002). Heikko rakentamisen laatu nousekin säännöllisin väliajoin otsikoihin myös valtamediassa:

YLE, 16.10.2018: *”Suomalaisten käsityksiä rakentamisesta kartoittanut tutkimus maalaa synkän kuvan kadonneesta talonteon taidosta. Moni uskoo, että ennen rakennettiin paremmin.”*

HS, 25.4.2022: *”Väsytystaistelu oli loputon – Uudisasunnon ostajat kertovat painajaismaisista rakennusvirheistä.”*

Suomessa rakennusliiton jäsenet nostavat suurimmiksi laatua heikentäviksi tekijöiksi suunnitelmien ajantasaisuuden, oikea-aikaisuuden, tarkkuuden ja toteutuskelpoisuuden sekä työnaikaiset keskeytykset (Junnonen & Kärnä, 2017). Ahonen ym. (2020) jakavat rakentamisen laadun kolmeen osa-alueeseen: valmistuksen laatuun, suunnittelun laatuun sekä asiakkaan havaitsemaan suhteelliseen laatuun. Olennaista on suunnittelijan, rakentajan, viranomaisen sekä omistajan vaatimusten täyttäminen (Arditi & Gunaydin, 1997). Tilaajan sekä suunnittelijan yhteistyö onkin keskiössä, jotta laadun tekemiselle löytyy edellytykset, ja lopulta koko rakennusprosessin toiminta määrittelee sen, täyttääkö rakennus sille asetetut vaatimukset ja tavoitteet (Ahonen ym., 2020; Arditi & Gunaydin, 1997).

Varsinkin Pohjoismaissa työntekijät ovat hyvin koulutettuja, mutta rakentamisen laatu on silti huonoa: keskiössä on huono tuotantojärjestelmä, joka antaa huonon ammattitaidon tapahtua ja päästä läpi (Bertelsen, 2004). Rakennusprosessin toimintaan ja yhteistyöhön onkin viitattu rakennuslehden laatua käsittelevissä artikkeleissa:

Rakennuslehti, 9.2.2018: *”Kiireessä ei synny priimaa, selittävät rakennusmiehet laatuongelmia Rakennusliiton kyselyssä.”*

Rakennuslehti, 16.2.2018: *”-- rakentajien ja suunnittelijoiden ammattitaidossa ei ole vikaa, vaan ongelmat ovat yleensä prosessissa ja myös tilaajien kyvyttömyydessä tehdä päätöksiä.”*

Koskelan (2000) mukaan rakennusalan ongelmiin on esitetty lukuisia näkemyksiä ja niitä on pyritty ratkaisemaan esimerkiksi esivalmistuksella ja automatisoinnilla. Yhtenä ongelmana on pidetty myös rakentamisen suunnittelun ja johtamisen teoreettisen pohjan puutetta. Tähän vastatakseen Koskela (2000) tutki väitöskirjassaan teollisuudessa käytettyjen Lean-menetelmien soveltuvuutta rakennusalalle.

Lean-rakentamisessa keskitytään hukkaan ja sen vähentämiseen sekä virtauksen hallintaan (Ballard & Howell, 1994). Womack, Jones ja Roos (1990) määrittelevät hukaksi kaiken resursseja kuluttavan, mutta arvoa tuottamattoman toiminnan. Perinteisillä suunnittelu- ja ohjausmenetelmillä tätä rakentamisessa syntyvää hukkaa ei saada tehokkaasti vähennettyä (Bajjou & Chafi, 2018). Tähän haasteeseen Seymour (1996) esittää vastaukseksi Lean-työkalujen hyödyntämisen. Yksi näistä työkaluista on tahtituotanto (Binninger ym., 2017).

Tahtituotannossa sanalla ”tahti” tarkoitetaan rytmiä, jolla asiat tapahtuvat (Frandson ym., 2013). Rakentamisessa projekti jaetaan pieniin kokonaisuuksiin, tahtialueisiin, jolloin yksittäisten työtehtävien kestot pystytään paremmin arvioimaan (Haghsheno ym., 2016). Työtehtävistä muodostetaan työpaketteja, ja resursseja säätämällä työpaketit pyritään suorittamaan tietyssä ajassa (Frandson ym., 2013). Tätä aikaa kutsutaan projektin tahtiajaksi. Tahtituotannolla on mahdollista saavuttaa tasainen tuotantonopeus sekä lopulta parempi tuottavuus. (Haghsheno ym., 2016)

Yksittäisistä työtehtävistä muodostuvien työpakettien koolla tarkoitetaan tuotannon eräkokoa. Rakennustuotannossa eräkoko on suoraan verrannollinen työskentelyalueiden kokoon (Dlouhy ym., 2019). Tahtituotannolle tyypillisten pienten osakokonaisuuksien takia työtehtävien eräkoko on pienempi kuin tavallisessa rakennustuotannossa. Lisäksi pieni eräkoko ja tahtiajan tehokas suunnittelu aiheuttavat usein lieveilmiönä aikapuskureiden pienentymistä (Haghsheno ym., 2016). Se voidaan nähdä sekä positiivisena, että negatiivisena asiana, koska puskurit suojaavat työn virtausta vaihtelulta, mutta aiheuttavat arvoa tuottamatonta toimintaa kuten odotusta (Lehtovaara ym., 2021).

Yleisesti tahtituotannolla pyritään parantamaan työn virtausta ja siten lyhentämään rakentamiseen käytettävää aikaa (Lehtovaara ym., 2019). Frandson, Berghede ja Tommelein (2013) havaitsivat rakennusajan puolittuneen tahtituotantoa hyödyntäessä, ja jopa 70 % parannuksia rakennusaikaan on raportoitu (Binninger ym., 2018). Parantuneen tehokkuuden lisäksi tahtituotanto mahdollistaa virheiden nopean havaitsemisen ja siten tuotannon ennakoivan ohjaamisen (Lehtovaara ym., 2019; Vatne & Drevland, 2016).

Haghsheno ym. (2016) mainitsevat parantuvan laadun yhdeksi tahtituotannon hyödyistä. Varsinkin valmistavassa teollisuudessa optimoitu liukuhihnatuotanto ei siedä hukkaa ja uudelleen työstämistä, joten paremman laadun tuottaminen on sille ilmeisen tärkeää (Hopp & Spearman, 2004). Lisäksi rakentamista lähellä olevalta alalta, risteilyaluksen hyttisaneerauksesta, Heinonen ja Seppänen (2016) raportoivat merkittävästä laadun parantumisesta.

Toistaiseksi tahtituotannon ja laadun yhteyttä ei ole selvitetty, vaikka joitakin tuloksia ja havaintoja laatuun liittyen onkin raportoitu osana tahtituotantoa tutkivien tutkimusten tuloksia. Saatujen tulosten perusteella ainakaan lyhentyneellä rakennusajalla ei ole havaittu olevan negatiivista vaikutusta tuotettuun laatuun (Lehtovaara ym., 2019) tai vaikutuksista laatuun ei ole raportoitu (Frandson ym., 2013).

Tutkimuksen tavoitteena on ymmärtää tahtituotannon laadunvarmistusta sekä siihen mahdollisesti liittyviä haasteita. Kirjallisuuskatsauksen avulla pyritään löytämään merkittävimmät laadunvarmistuksen asiat, joihin erityisesti tahtituotannossa tulisi kiinnittää huomiota. Ymmärtääksemme laatua ja laadunvarmistusta on esiteltävä laatu käsitteenä niin valmistavassa teollisuudessa kuin rakentamisessa. Tutkimuksessa paneudutaan rakentamisen laadunvarmistuksen menetelmiin ja ongelmiin sekä Lean-työkalujen soveltamiseen rakennusalalla. Keskiössä Lean-työkaluista on tahtituotanto ja sen perusperiaatteet. Haastattelututkimuksen avulla pyritään selvittämään casehankkeen työntekijöiden kokemuksia tahtituotannosta ja sen laadunvarmistuksesta. Tutkimuksen tavoitteisiin päästään vastaamalla tutkimuskysymyksiin:

1. Miten tahtituotanto mahdollistaa toimivan tuotantojärjestelmän ja siten laadun tuottamisen?
2. Minkälaisia vaikutuksia pienentyneellä eräkoolla on laadunvarmistukseen?

Laadukkaan rakentamisen tavoitteena on muuttaa tilaajan ja käyttäjän toiveet onnistuneeksi lopputulokseksi (Ahonen ym., 2020). Tahtituotannon tavoitteena onkin vastata tilaajan vaatimuksiin (Haghsheno ym., 2016). Siten tutkimus on tarpeellinen ja merkityksellinen niin tahtituotantoa käyttäville kuin sen käyttöä suunnitteleville tahoille. Työ pyrkii nostamaan esille merkityksellisimmät asiat, joihin panostaa ja kiinnittää huomiota paremman laadun varmistamiseksi, ja siten mahdollistamaan laadukkaamman tuotannon tekemisen nyt ja tulevaisuudessa.

2 Kirjallisuuskatsaus

2.1 Rakennusalan ominaispiirteet

Rakentamistuotanto eroaa merkittävästi valmistavasta teollisuudesta, ja nämä erot vaikuttavat niin Lean-työkalujen kuin erilaisten laadunhallintamenetelmien käyttöön ja hyödyntämiseen rakentamisessa. Rakentamisen teoreettisen pohjan ja Lean-rakentamisen tutkiminen alkoi Koskelan 1990-luvulla tekemistä tutkimuksista, jotka huipentuivat vuonna 2000 julkaistuun väitöskirjaan. Aiemmin rakentamisen teoreettinen viitekehys oli ollut puutteellinen, mutta tutkimuksen myötä uusi tutkimusala saatiin vireille. Rakentamiselle tyypillistä on ollut keskittyminen muutoksen aikaansaamiseen, ei niinkään hyvään virtaukseen. (Koskela, 2000; Rounds & Chi, 1985)

Rakennushanke lähtee liikkeelle tilaajan toiveista ja tarpeista, jotka tyypillisesti tarkentuvat hankkeen edetessä. Rakennus taas muodostuu eri osapuolten toiminnan ja toiminnan tulosten sekä asetettujen tavoitteiden kautta. Lisäksi rakentamisen laadun määrittely on hankalaa, koska sille ei ole olemassa täsmällistä standardisoitua määritelmää. (Ahonen ym., 2020; Larsen ym., 2016) Rakentaminen nähdäänkin tyypillisesti ainutkertaisen tuotteen projektituotantona, mikä tyypillisesti johtaa sekalaiseen virtaukseen (Sacks, 2016).

Jacobs (2010) nimeää seuraavat neljä rakennustuotantoa kuvaavaa perusominaisuutta: työmaalla tapahtuva tuotanto, projektien ainutlaatuisuus, projektien monimutkaisuus ja tuotannon epävarmuus. Lisäksi lopputuotteen vaatimukset saattavat muuttua tuotannon aikana. Rounds ja Chi (1985) listaavat rakennusalan ominaispiirteitä seuraavasti:

1. Lähes kaikki rakennusprojektit ovat ainutlaatuisia.
2. Jokainen rakennuspaikka on olosuhteiltaan erilainen.
3. Rakennustuotteen elinkaari on pitkä; usein pidempi kuin yksittäisen tuotteen.
4. Laadulle ei ole selkeitä ja yhtenäisiä standardeja, vaan sitä arvioidaan usein subjektiivisesti.
5. Tuleva omistaja vaikuttaa usein suoraan rakennusprosessiin.
6. Projektin osapuolet vaihtuvat projekteittain.

Tyypillisesti rakennusalalla työt jaetaan osa-alueisiin, jotka kilpailutetaan eri tekijöillä. Tällöin hankkeella on useita osapuolia, jotka pyrkivät oman tuotannon tehokkuuteen kokonaisuudesta välittämättä eikä koko rakennusprosessin optimointia ei saavuteta. (Binninger ym., 2016; Jacobs, 2010) Lisäksi mahdollisesti epärealistiset aikataulut johtavat puskureiden keräämiseen ennen kuin alihankkijat sitovat urakkaan resursseja, joka entisestään lisää suunnitelman epävakautta ja tuotannon vaihtelua (Sacks, 2016). Rakentamista voidaankin pitää monimutkaisena, dynaamisena ja arvaamattomana tuotannonalana (Bertelsen, 2004).

2.2 Laatu

Menestyäkseen yrityksen on tuotettava laatua (Tang ym., 2005). Tuotteen laadulla tarkoitetaan muun muassa viranomaisvaatimusten sekä asiakkaan asettamien esteettisten ja funktionaalisten vaatimusten täyttämistä tai ylittämistä (Arditi & Gunaydin, 1997; Tang ym., 2005). Jos nämä vaatimukset ovat riittäviä, ja valmis tuote täyttää nämä vaatimukset, laatu on saavutettu (Arditi & Gunaydin, 1997).

Laki määrittelee laatua ammatillisen vastuun kautta, ja siten jokaisen ammattilaisen vastuulla on harjoittaa toimiaan vastuullisesti. Sitä vastoin esteettistä laatua on hyvin vaikea määritellä objektiivisesti, joten esimerkiksi rakennuksen ympäristöön sulautumisen, ihmisten ja asukkaiden mielialaan vaikuttamisen tai uusien rohkeiden konseptien käytön onnistumisen arviointi jää usein tekijälle itselleen. Sen sijaan projektin tai tuotteen fuktionaalisuutta on helpompi arvioida. Esimerkiksi rakennuksen toiminnallisuutta voidaan arvioida sen toteutuskelpoisuuden, rakennettavuuden, kustannustehokkuuden, käytön helppouden, ylläpidettävyyden sekä energiatehokkuuden kannalta. (Arditi & Gunaydin, 1997)

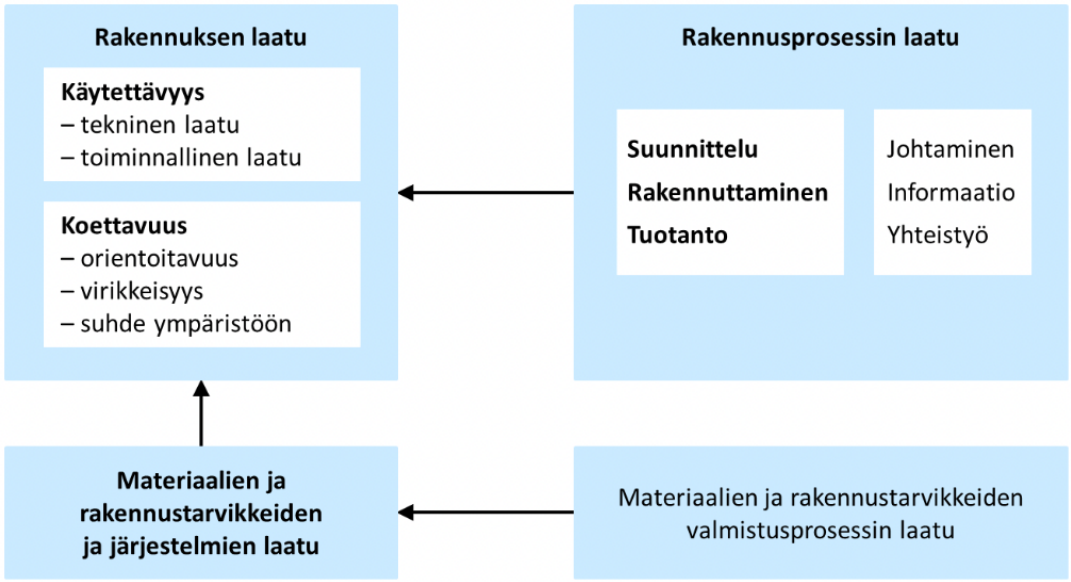
On myös huomattava tosiasiallisen ja havaitun laadun ero: Tuote voi olla tosiasiallisesti laadukas, mutta se ei vastaa asiakkaan toiveita. (Arditi & Gunaydin, 1997) Laadun keskiössä onkin asiakastyytyväisyys. On myös tärkeää ymmärtää, että laadun määritelmä muuttuu ajan kanssa: tämän päivän laatu ei välttämättä vastaa enää tulevaisuuden laadukkaan tuotteen ominaisuuksia. (Tang ym., 2005)

2.3 Rakentamisen laatu

Laadun standardoinnin puuttuessa huomio keskittyy usein havaittuihin rakennusvirheisiin ja puutteisiin, joka on käyttäjien ja asiakkaiden näkökulmasta ymmärrettävä lähestymistapa rakentamisen laatuun. Virheisiin ja puutteisiin keskittyminen on kuitenkin vain yksi laadun ulottuvuus. Laadulla tarkoitetaan myös asiakkaiden toiveiden täyttämistä, virheiden vähäistä määrää, erilaisten standardien ja laatuvaatimusten täyttämistä tai esimerkiksi aikataulussa ja budjetissa pysymistä. Lisäksi laatuun voidaan liittää myös myynnin jälkihoito. (Ahonen ym., 2020; Larsen ym., 2016; Xiao & Proverbs, 2002)

2.3.1 Rakentamisen laadun osatekijät

Suomalainen RATU-kortisto jakaa rakentamisen laadun neljään elementtiin: suunnittelun, tuotannon, ympäristökeskeiseen sekä asiakkaan havaitsemaan suhteelliseen laatuun (Hartikainen ym., 2016). Ahonen ym. (2020) jakavat rakentamisen laadun kahteen osa-alueeseen: lopputuotteen (rakennuksen) sekä rakennusprosessin laatuun (Kuvio 1). Vaikka usein juuri lopputuotteen laatu nähdään yrityksen kilpailutekijänä, heijastuu rakennusyrityksen toiminnan laatu kuitenkin lopputuotteen laatuun. (Ahonen ym., 2020)



Kuvio 1. Rakentamisen laadun osa-alueet (Ahonen ym., 2020)

2.3.2 Rakennuksen laatu

Rakennuksen laatu muodostuu sen käytettävyydestä sekä koettavuudesta. Rakennuksen käytettävyyteen luetaan rakennuksessa tapahtuvan toiminnan edellyttämät toiminnalliset ja tekniset ominaisuudet. Lisäksi osa ominaisuuksista määrittyy maankäyttö- ja rakennuslain (MRL) ja -asetusten, rakentamismääräyskokoelman (RakMk) sekä eriasteisten normien mukaan. Rakennushankkeen alkaessa käyttäjän vaatimukset ovat usein vain summittaisia ja hankkeen edistämiseksi nämä vaatimukset on tunnistettava. Lisäksi ne pitää tulkita ymmärrettävään muotoon hankkeen suunnittelijoille ja urakoitsijoille. Vaatimukset ovat lähtöisin käyttäjien tarpeista ja rakennuksessa harjoitettavista toiminnoista. Useimmiten käyttäjien odotukset ja vaatimukset kohdistuvat rakennuksen toiminnalliseen laatuun sekä turvallisuutta ja terveellisyyttä koskeviin vaatimuksiin. Osa vaatimuksista koskee suoraan rakennusta tai sen osia, ja osa tulee ympäristön olosuhteista sekä yhteiskunnan ja viranomaisten määräyksistä. Ympäristökeskeinen laatu muodostuukin toimista, joilla täytetään yhteiskunnan ja toimintaympäristön vaatimukset sekä odotukset. (Ahonen ym., 2020; Hartikainen ym., 2016)

Toiminnallisia vaatimuksia ovat muun muassa käyttötarkoitukseen soveltuvuus, muunneltavuus, käytön ja huollon sekä korjauksen ja laajentamisen helppous, elinkaarikustannukset ja pääomantuottokyky. Laadun kannalta on oleellista toiminnallisten vaatimusten muuttaminen teknisiksi vaatimuksiksi ja teknisten ratkaisuiden vertaaminen määriteltyihin vaatimuksiin. Tekniset vaatimukset koskevat muun muassa virheettömyyttä ja viimeistelyä, teknistä toimivuutta, pitkäaikaiskestävyyttä, turvallisuutta, terveellisyyttä sekä energiankulutusta. Tekninen ja visuaalinen laatu on helpoin arvioida, kun laatuvaatimukset on määritelty yksiselitteisesti. Tällöin lopputuotteen tulee vastata suunnitteluasiakirjoja sekä hyväksyttyä mallityötä. (Ahonen ym., 2020; Hartikainen ym., 2016)

Rakennuksen koettavuuden lähtökohtana on rakennuksen käyttäjä ja hänen havaintonsa, ja sen kohteina ovat yleensä rakennuksen ulkotilat ja lähiympäristö, sisätilat ja laatutaso sekä yksityiskohdat. Rajanveto eri ominaisuuksien välillä on kuitenkin liukuva, koska ympäristön kokeminen on sidoksissa rakennuksessa tapahtuvaan toimintaan. (Ahonen ym., 2020)

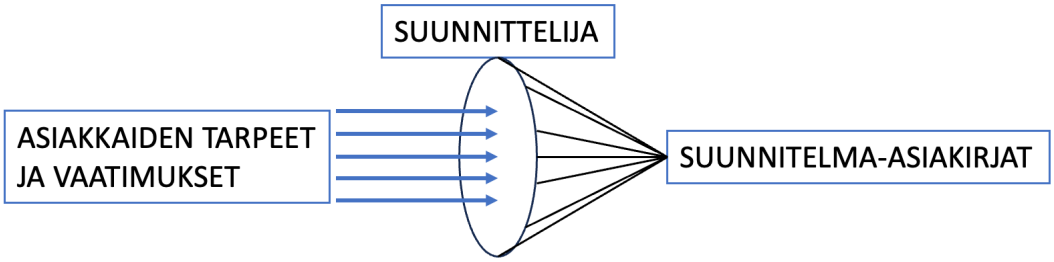
2.3.3 Rakennusprosessin laatu

Rakennusprosessin oleellisimmat osapuolet ovat käyttäjät, omistaja, rakennuttaja, suunnittelijat, materiaalivalmistajat, urakoitsijat ja viranomaiset. Prosessin laatu muodostuu rakennuttamisen, suunnittelun sekä valmistuksen eli tuotannon laadusta. Tämä monivaiheinen ja eri osapuolia sisältävä prosessi muodostaa lopputuloksena rakennuksen laadun (Kuvio 2). Kaikki rakennusprosessiin liittyvät osapuolet ja heidän toimintansa vaikuttavat rakennusprosessin laatuun. Siten pelkästään urakoitsijan onnistuminen tai epäonnistuminen ei määrittele rakennuksen tai rakennusprosessin laatua. (Ahonen ym., 2020)

Kuvio 2. Rakennuksen laadun muodostuminen (Ahonen ym., 2020)

Rakennuttaminen on rakennusprosessin organisointia ja järjestämistä, ja rakennuttajan tehtäviin kuuluu odotusten muuttaminen tavoitteiksi ja ohjeiksi, suunnittelun ohjaus, valvonta sekä prosessin dokumentointi ja arvostelu. Rakennuttaja ohjaa ja koordinoi hanketta ja hänen määrittämät toimet ja toimitatavat ovat keskiössä laadun muodostumisessa. Rakennuttamisen laatu tarkoittaa rakennuttamisen tehtävien onnistumista. (Ahonen ym., 2020)

Suunnittelun laatu koostuu suunnittelutoiminnan, suunnitelmien sekä suunnitelma-asiakirjojen laadusta. Suunnitelmien tulisi vastata tilaajan tarpeita ja toivomuksia sekä viranomaisten ja hyvän rakennustavan asettamia vaatimuksia. Lisäksi niiden tulisi olla toteutuskelpoisia ja ristiriidattomia sekä riittävän tarkkoja. Onnistunut suunnittelu on iteratiivinen prosessi, jossa tarkennetaan ja tarvittaessa muutetaan ratkaisuita asiakkaan tavoitteiden saavuttamiseksi (Kuvio 3). Suunnitelmien laatu riippuukin pitkälti tilaajan ja käyttäjän kyvystä tunnistaa ja esittää omat tarpeensa sekä vaatimuksensa. Tämä on haastavaa varsinkin, mikäli lopullinen asiakas ei ole tiedossa. (Ahonen ym., 2020; Hartikainen ym., 2016)



Kuvio 3. Asiakkaan tarpeiden kohdentaminen suunnitelmaan (mukailtu Ahonen ym., 2020)

Tuotantolaatu kertoo siitä, miten hyvin rakennus vastaa suunnitelma-asiakirjoissa esitettyjä ratkaisuita sekä sopimuksia. Se syntyy urakoitsijoiden työn, toimittajien ja materiaalien, rakennustarvikkeiden sekä eri järjestelmien laadun summana. Tuotannon laatua kuvaa myös aikataulussa ja kustannuksissa pysyminen turvallisesti laatutavoitteet täyttäen, kuten myös työmaan häiriöttömyys sekä soveltuvien työskentelymenetelmien käyttö. Työn turvallisuus pitää sisällään sekä työntekijöiden, rakennuksen käyttäjien että rakennuksen vaikutuspiirissä olevien ihmisten ja ympäristön turvallisuuden. Tuotannon laatuun liittyy myös hankkeen osapuolten välinen yhteistyö, jossa tilaaja pidetään tietoisena hankkeen kulusta. Koko rakennusprosessin laadun kannalta onkin oleellista tiedon välittyminen eri osapuolen kesken, koska eri rajapinnat heikentävät tiedonkulkua ja voivat muuttaa tiedon sisältöä. (Ahonen ym., 2020; Hartikainen ym., 2016)

2.3.4 Rakentamisen laadun arviointi

Rakentamisen laatua voidaan tarkastella hankkeen aikana mittaamalla työn aikaisia laatupoikkeamia ja -virheitä sekä korjausten määrää. Lopputarkastuksen sekä asiakastarkastusten yhteydessä havaitut virheet kuvastavat huomaamattomien tai korjaamattomien virheiden määrää ja lopulta pitkällä aikavälillä laadusta kertoo takuukorjausten kustannukset. Työmaan turvallisuutta havainnoidaan TR-mittauksilla, jossa valvotaan niin työturvallisuutta ja työvälineiden käyttöä kuin työmaan siisteyttä ja järjestystä. (Hartikainen ym., 2016)

Lopullisena mittarina hankkeen onnistumiselle on asiakkaan vaatimusten täyttäminen ja tärkeintä onkin minimoida valmiin rakennuksen ja asiakkaan vaatimusten välinen ero. Prosessin ongelmana on kuitenkin väärään aikaan tehdyt, virheelliset tai epäoleellisiin asioihin liittyvät päätökset sekä tavoitteiden muutokset prosessin edetessä. Toiminnan kehittämiseksi on tärkeää saada palautetta lopullisilta käyttäjiltä, eli jälkikäteisarviointeja. Ne auttavat rakentajaa mahdollisten korjaustoimenpiteiden suunnittelussa ja tekemään parempia ratkaisuja tulevaisuudessa. Lisäksi ne hyödyttävät käyttäjiä tulevien kiinteistöjen suunnittelussa. (Ahonen ym., 2020)

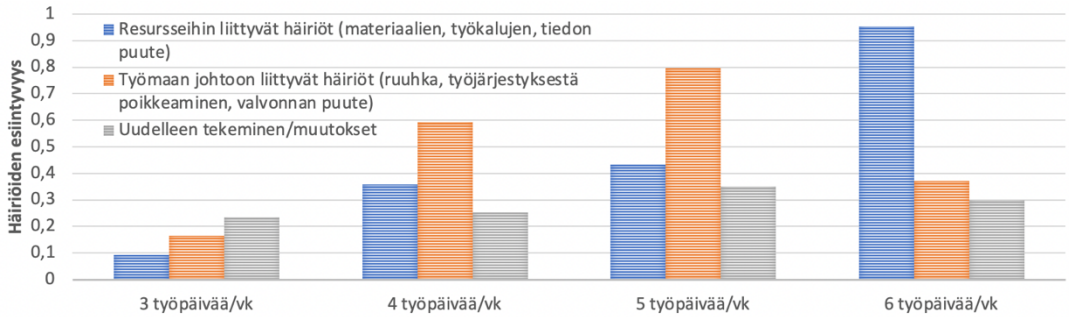
2.4 Työmaan aikataulupäätösten vaikutus laatuun

Myöhästymiset työmaalla aiheuttavat aikataulupainetta, koska projektia ei ole mahdollista pitkittää määrättömästi. Tällöin urakoitsijat voivat tehdä erilaisia aikatauluun vaikuttavia päätöksiä pysyäkseen aikataulussa. He voivat välttää myöhästymisiä muun muassa teettämällä ylitöitä, tuomalla lisäresursseja sekä käyttämällä agressiivisempaa aikataulutusta ja luomalla aikataulupainetta. Joissain tapauksissa myös aikataulusta joustaminen on välttämätöntä. Näillä ratkaisuilla on useita suoria ja epäsuoria vaikutuksia rakentamisen suorituskykyyn ja laatuun. Esimerkiksi aikataulupaineella on usein vaikutusta myös muiden keinojen käyttöön, kuten lisääntyneeseen ylityöhön ja lisäresurssien käyttöön. (Nepal ym., 2006; Park ym., 2010)

2.4.1 Ylityön vaikutus

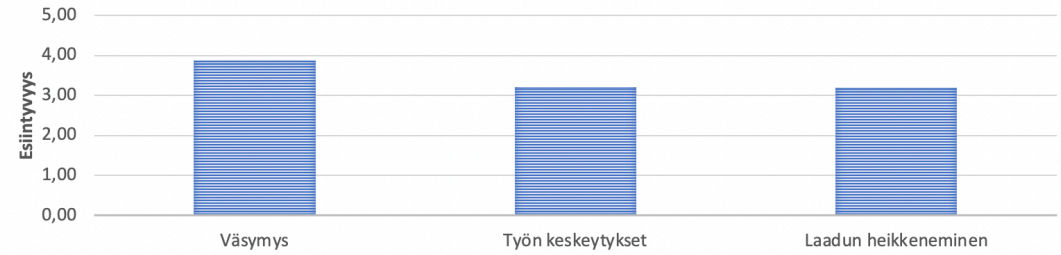
Yksi yleisimmistä aikataulun kuromistoimenpiteistä on ylityön teettäminen. Ylityöllä tarkoitetaan yli 40 viikkotyötunnin teettämistä työntekijällä tai työntekijäryhmällä (Randolph & Raynar, 1997). Satunnaisesti käytettynä ylityöllä on positiivisia vaikutuksia tuottavuuteen, koska työtunteja tehdään enemmän. Tätä on kuitenkin usein kyseenalaistettu, koska ylityö voi aiheuttaa lisääntynyttä virheiden, ja siten korjaustöiden määrää, sillä ylitöiden tekemisellä on epäsuora vaikutus työympäristön häiriöttömyyteen. Ajatellaan, että tietty työntekijäryhmä päättääkin tehdä 40 viikkotunnin sijasta 60 viikkotuntia; työvoimaa lisätään siis 50 prosenttia, mutta lisääntyykö tuottavuus 50 prosentilla? Toimiakseen tehokkaasti myös materiaaleja pitää olla saatavilla 50 prosenttia enemmän ja nopeammin, työkalujen on oltava saatavilla 50 prosenttia enemmän, lisäksi työnjohdon on kyettävä vastaamaan 50 prosentilla lisääntyneisiin kysymysten määrään. Tämä harvoin toteutuu. Tässä ääriesimerkissä ylityöt aiheuttavat valtavan heijastusvaikutuksen koko rakennusprojektiin. (Park ym., 2010; Randolph & Raynar, 1997)

On havaittu, että yli 40 viikkotunnin teettäminen aiheuttaa noin 10–15 prosentin laskun tuottavuuteen. Lisäksi, jos työskentelyssä esiintyy häiriöitä, aiheuttaa se lähes 30 prosentin laskun tuottavuuteen. Varsinkin resurssien ja materiaalien puutteiden aiheuttamat keskeytykset lisääntyvät ylitöiden pitkittyessä (Kuvio 4). (Randolph & Raynar, 1997)



Kuvio 4. Viikkotyöajan lisäyksen aiheuttamien häiriöiden esiintyvyys luokittain. (mukailtu Randolph & Raynar, 1997)

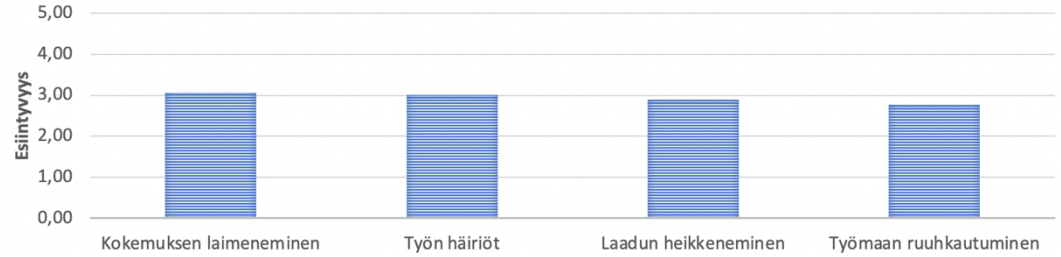
Pidempään jatkuessaan ylityöt aiheuttavat siis työn jatkuvuuden häiriintymistä, joka kertoo suoraan rakennusprosessin laadun heikentymisestä. Lisäksi pitkittyneet ylityöt aiheuttavat työntekijöiden väsymystä ja siten kasvattavat virheiden määrää (Kuvio 5). Tämä johtaa tuottavuuden laskuun sekä korjaustöiden lisääntymiseen, jolloin ylitöiden teettäminen aikataulun kuromiseksi saattaakin aiheuttaa entistä enemmän myöhästymistä. (Park ym., 2010)



Kuvio 5. Ylityön aiheuttamien negatiivisten vaikutusten esiintyvyys. (mukailtu Park ym., 2010)

2.4.2 Työvoiman lisäämisen vaikutus

Toinen hyvin yleinen keino reagoida myöhästymisiin on työvoiman lisääminen. Työvoimaa lisäämällä pyritään saamaan enemmän aikaiseksi samassa käytettävissä olevassa ajassa. Työtahti ei kuitenkaan lisäänny suoraan työvoiman lisäämisen suhteessa. Tämä tulee vastaan erityisesti silloin, jos on käytetty valmiiksi työtehtävään optimaalista työryhmäkokoa. Työvoimaa lisätessä urakoitsijat myös usein epäonnistuvat tarvittavien materiaali-, työkalu- ja informaatioresurssien lisäämisessä. Ongelma on hyvin samanlainen kuin laajamittaista ylityötä käytettäessä. Olemassa olevan työryhmän täydennys, varsinkin kokemattomalla ja lyhytaikaisella työvoimalla voi heikentää työryhmän tehokkuutta ja aiheuttaa ryhmän kokemuksen ”laimentumista”. Työvoiman lisäys aiheuttaa häiriön vakiintuneeseen työnkulkuun ja järjestykseen, koska joku alkuperäisen työryhmän jäsenistä joutuu perehdyttämään lisätyövoiman ryhmän työtapoihin ja siten lisäresurssi aiheuttaa häiriöitä työn virtaukseen. Tämä häiriö korostuu varsinkin korkeampaa ammattitaitoa vaativissa tehtävissä. Cass (1992) havaitsi tutkimuksessaan vaihtelevan työryhmäkoon aiheuttaneen jopa 31 % laskun ryhmän tuottavuudessa. Työvoiman lisäämisen aiheuttamia vaikutuksia havainnoidaan kuviossa 6. (Cass, 1992; Park ym., 2010)



Kuvio 6. Työvoiman lisäyksen aiheuttamien negatiivisten vaikutusten esiintyvyys. (mukailtu Park ym., 2010)

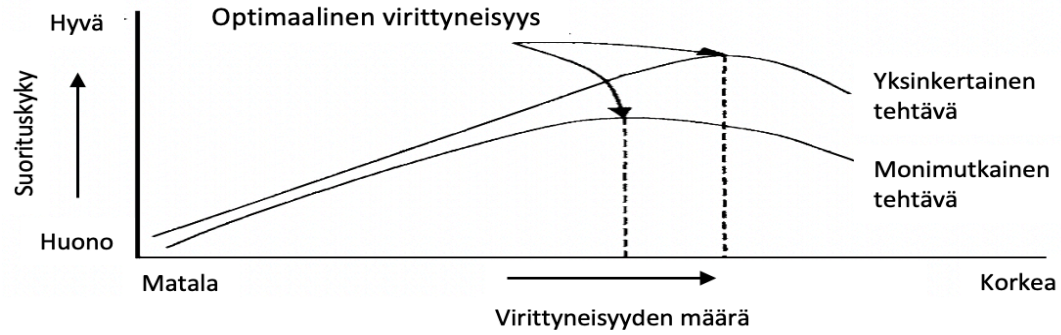
2.4.3 Aikataulupaineen vaikutus

Aikataulupaineen luominen on yksi urakoitsijan käyttämä keino. Agressiivista aikataulutusta käytetäänkin usein työkaluna aikataulussa pysymiseen tai sen kuromiseen. Lisäksi tilaajat saattavat aiheuttavat urakoitsijoille painetta asettamalla rohkeita, ja muuttuvia tavoitteita sekä tavoiteaikoja saadakseen projektinsa valmiiksi aikaisemmin. (Nepal ym., 2006; Park ym., 2010)

Aikataulupaineella tarkoitetaan työntekijöiden tuntemaa, jonkun tekijän aiheuttamaa vaatimusta saada työt tehtyä tietyssä aikaikkunassa. Tällöin työnjohtajat pyrkivät kiihdyttämään työskentelytahtia sallimalla vähemmän aikaa työtehtävien suorittamiseen. Kun työntekijät kokevat käytettävissä olevan työajan riittämättömäksi, mutta pakolliseksi, kokevat he painetta suoriutua tehtävistään. Mitä suurempi on sallitun ja riittääksi koetun ajan ero, sitä suurempi on koettu paine. (Nepal ym., 2006; Park ym., 2010)

Aikataulupaineen alaisena stressaavassa ympäristössä työskentelystä on tullut käytäntö monilla työmailla. Lyhyellä tähtäimellä aikataulupaineen luominen saattaa olla palkitsevaa, mutta pidemmällä aikajänteellä rakentamisen tuottavuus ja laatu kärsivät aikataulun kustannuksella. Lisäksi saavutettu etu ei välttämättä ole suuri, ja se voi johtaa lisä- ja korjaustöihin myöhemmin. (Nepal ym., 2006)

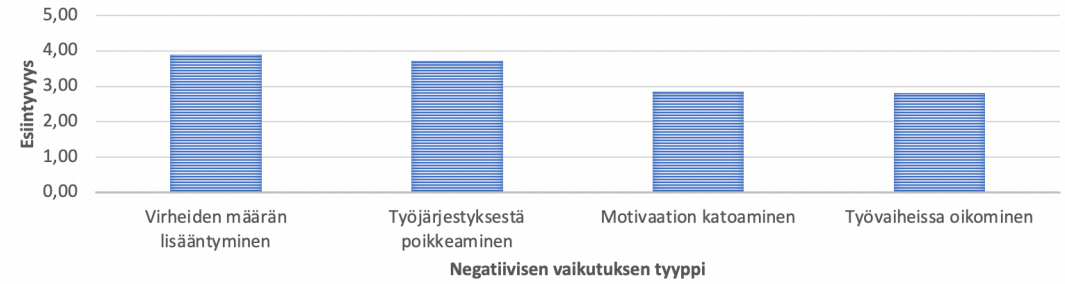
Aikataulupaineella on myös hyötynsä. Myös liian pienenä koettu paine suoriutua tehtävistä aiheuttaa suoritustason laskua. Ihmispsykologiasta voidaan juontaa virittyneisyyden ja suorituskyvyn välinen yhteys: paras suorituskyky saavutetaan keskitason virittyneisyydellä. Tätä voidaan havainnollistaa Yerkes-Dodsonin lailla kuviossa 7: tiettyyn pisteeseen asti suorituskyky nousee, kunnes suoritustaso lähtee virittyneisyyden lisääntyessä laskuun. (Nepal ym., 2006)



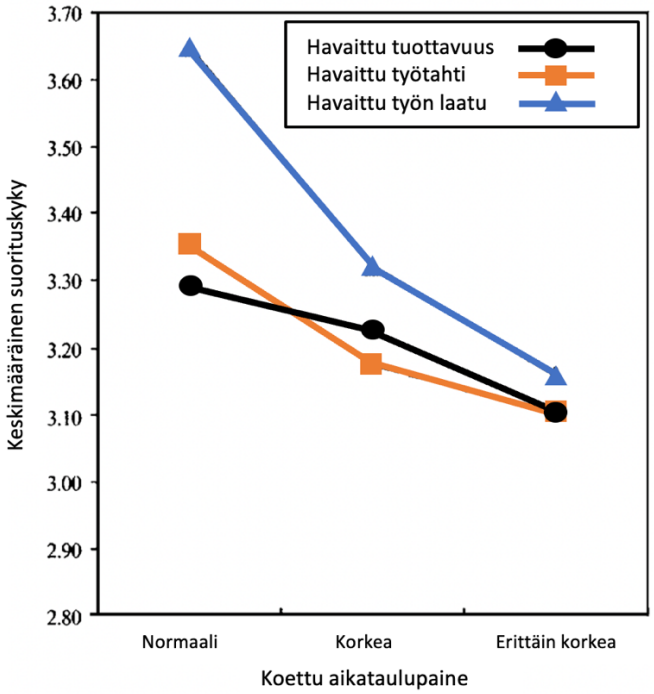
Kuvio 7. Yerkes-Dodsonin laki. (mukailtu Nepal ym., 2006)

Virittyneisyyttä aiheuttavat perinteiset stressaavat tekijät kuten uhat, kriisit, äänet, pelko ja ahdistus. On väitetty, että aikataulupaine toimii yhtenä merkittävänä työntekijöitä stressaavana tekijänä. Siten voidaan olettaa virittyneisyyden ja suorituskyvyn yhteyden pätevän myös aikataulupaineen ja suorituskyvyn välillä. (Nepal ym., 2006)

Aikataulupaine aiheuttaa monia suoria ja epäsuoria vaikutuksia rakentamisen suorituskykyyn. Kovan aikataulupaineen alaisena työntekijä saattaa menettää motivaation suoriutua mahdottomilta tuntuvista tehtävistään, oikoa työvaiheissa tai alkaa työskentelemään väärässä työjärjestyksessä. Lisäksi työtehtävä aloitetaan paineenalaisena herkemmin myös vajavaisin lähtötiedoin. Näiden eri vaikutusten esiintyvyyttä havainnollistetaan kuviolla 8: lisääntyneiden työvirheiden lisäksi työjärjestyksestä poikkeaminen nähtiin toiseksi suurimpana aikataulupaineen aiheuttamana vaikutuksena. Myös Nepal, Park ja Son (2006) havaitsivat tutkimuksessaan merkittävimmän negatiivisen korrelaation juuri aikataulupaineen ja työn laadun välillä (Kuvio 9). Kaikki nämä edellä kuvatut aiheuttavat korjaus- ja lisätöitä, jotka kielivät laatuongelmasta. (Nepal ym., 2006; Park ym., 2010)



Kuvio 8. Aikataulupaineen aiheuttamien negatiivisten vaikutusten esiintyvyys. (mukailtu Park ym., 2010)



Kuvio 9. Suorituskyvyn vaihtelu suhteessa koettuun aikataulupaineeseen. (mukailtu Nepal ym., 2006)

2.4.4 Työjärjestyksestä poikkeamisen vaikutus

Jos aikataulupaine saattaa aiheuttaa työjärjestyksestä poikkeamista, myös muut rakentamisen aikaiset syyt saattavat johtaa samaan lopputulokseen. Alhavan ym. (2019) tutkimuksessa päivittäiset ongelmat työssä johtivat tahtiaikataulun hajoamiseen, joka johti lopulta huomattavaan laatuvirheiden määrään ja lisätöihin: huomattava mittavirheiden määrä sekä betonilattioiden odottamattoman hidas kuivuminen aiheuttivat myöhästymistä, korjaustöitä sekä töiden uudelleenjärjestelyä. Nämä ongelmat aikataulussa aiheuttivat optimaalisen työjärjestyksen häiriintymisen, joka aiheutti työn epäsäännöllisyyttä ja vaikeuksia hallita työn virtausta. Tämä johti esimerkiksi keittiökalusteiden asennukseen sopimattomilla osilla, vaillinaiseen kylpyhuoneiden ovien kiinnitykseen ja säätöön sekä valojen vääriin asentoihin. Lopulta kaikkien töiden ollessa merkitty valmiiksi, löydettiin projektista yli 2300 virhettä. Projektin viimeiset neljä viikkoa kuluivat käytännössä virheiden korjaamisessa sekä valmiiksi merkittyjen töiden viimeistelyssä. (Alhava ym., 2019)

2.4.5 Aikataulusta joustamisen vaikutus

Joissain tapauksissa aikataulusta joustaminen saattaa olla ainut järkevä vaihtoehto. Tähän päätökseen voi johtaa esimerkiksi rajoitteet materiaalien tai työvoiman saatavuudessa, ja ajatus siitä, että myöhemmät resurssien kohdentamiset korjaavat tilanteen. Aikataulusta voidaan myös joustaa, jos havaitaan aikataulupaineen tai agressiivisen aikataulutuksen aiheuttavan tuottavuuden ja rakentamisen laadun laskua, jotka myöhemmässä vaiheessa aiheuttaisivat lisätöitä. Huomattavaa on, että aikataulusta joustamisen käyttö on selkeästi harvinaisempaa, kuin muiden edellä mainittujen aikataulupäätösten käyttö. Lisäksi sen käytön ei ole havaittu lisääntyvän aikataulupaineen kasvaessa. Tähän saattaa vaikuttaa pelko koko projektin myöhästymisestä ja siitä mahdollisesti aiheutuvista mittavista vahingoista tai sanktioista. (Park ym., 2010)

2.5 Laadunhallinta

Laadunhallinta on prosessi, jolla havaitaan ja hallitaan tarvittavat toimet yhtiön laatutavoitteiden saavuttamiseksi (Tang ym., 2005). Heikon tai puuttuvan laadunhallintaprosessin takia suuret määrät aikaa, rahaa ja resursseja tuhlataan vuosittain (Arditi & Gunaydin, 1997). Laadunhallinta koostuu laadunvarmistuksesta (QA) sekä laadunvalvonnasta (QC). Laadunvarmistuksella tarkoitetaan ohjelmaa tai järjestelmää, jolla laadun tekemisen edellytykset varmistetaan. Tämä usein projektikohtaisesti muokattu ohjelma pitää sisällään muun muassa toimintatapoja, proseduureja, standardeja, ohjeistuksia ja koulutuksia. Laadunvalvonnalla puolestaan tarkoitetaan näiden toimintatapojen ja proseduurien käyttämistä ongelmien välttämiseksi. (Arditi & Gunaydin, 1997) Laadunhallinnan merkitystä onkin alettu ymmärtää useilla aloilla, myös rakentamisessa ja monesti esimerkkiä on otettu valmistavasta teollisuudesta, jossa laadunhallinnan tehosta ja vaikutuksista on runsaasti näyttöjä (Tang ym., 2005). Valmistavassa teollisuudessa on myös

useita erilaisia työkaluja kuten vertailuanalyysi (benchmarking), syy-seurauskaaviot, tilastollinen prosessinohjaus ja vikakustannusanalyysi (Ahmed ym., 2005). Rakennusalan ominaispiirteiden ja merkittävien erojen takia monet valmistavan teollisuuden laadunhallintamenetelmät nähdään kuitenkin soveltumattomiksi rakennusalalle (Rounds & Chi, 1985) tai niiden käyttöönotto ja integrointi rakentamiseen on puutteellista (Ahmed ym., 2005). Näin ollen rakennusalan laadunhallintaprosessit eivät ole kehittyneet valmistavan teollisuuden tasolle (Arditi & Gunaydin, 1997).

2.5.1 Laadunhallinnan historiallinen kehitys teollisuudessa

Ennen teollista vallankumousta työntekijä, käsityöläinen, vastasi tekemänsä tuotteen laadusta omalla ammattiylpeydellään, ja laadukas tuote oli itseisarvo; vastasihan sama henkilö myös tuotteen markkinoinnista ja suunnittelusta. Työn siirryttyä tehtaaseen käsityöläinen vastasi enää tuotteen valmistuksesta, mutta kaikki muu tuotteeseen liittyvä oli jonkun toisen vastuulla. Lopulta tuotteen rakentaminen jaettiin pieniin osakokonaisuuksiin, jolloin yksittäisen työntekijän vastuulle jäi vain pienen toistuvan osakokonaisuuden valmistaminen. (Rounds & Chi, 1985)

Taylor-järjestelmä meni tehostuksessa vielä pidemmälle: se erotteli suunnittelun ja tekevän työn toisistaan tuottavuuden parantamiseksi (Juran, 1973). Tällä oli kuitenkin heikentävä vaikutus työntekijän ammattiylpeyteen, joka johti laadun tekemisen sisäisen motivaation hiipumiseen. Vastatakseen kasvaviin laatuvaatimuksiin oli myös laadunhallinnan prosessien kehityttävä ja yritysten oli etsittävä innovatiivisia ratkaisuja, joilla laaduntekemisen edellytykset saataisiin rakennettua kiinteäksi osaksi organisaatiota. (Rounds & Chi, 1985) Laadunhallintaprosessien historiallisen kehityksen Rounds ja Chi (1985) jakavat viiteen vaiheeseen:

1. Työntekijän laadunvalvonta. 1800-luvulle asti lopputuotteen valmistuksesta vastasi hyvin pieni määrä ihmisiä, jotka itse hoitivat tuotteen laadunvalvonnan.
2. Työnjohtajan laadunvalvonta. Teollisen vallankumouksen aikaan työnjohtajat vastasivat valvomiensa työntekijäryhmien työpanoksen laadusta.
3. Laaduntarkistajat. Ensimmäisen maailmansodan aikana valmistusjärjestelmät muuttuivat niin monimutkaisiksi, että laadunvarmistukseen palkattiin oma tarkastaja/tarkastajat. Laaduntarkistusyksiköt syntyivät.
4. Tilastoihin perustuva laadunvarmistus. Toisen maailmansodan aikana suuri massatuotanto vaati tehostusta laadunvarmistukseen. Näytteenotolla korvattiin kaikkien tuotteiden tarkastus.
5. Kokonaisvaltainen laadunhallinta. 1960-luvun alussa käyttäjien laatuvaatimukset nousivat merkittävästi ja vanhat menetelmät eivät pystyneet takaamaan riittävää laatua muuta kuin kohtuuttomilla kuluilla. Laadunhallinta alkaa tuotteen suunnittelusta ja päättyy tyytyväiseen loppukäyttäjään.

1970-luvulla Yhdysvaltojen valmistavassa teollisuudessa alettiin siirtyä kokoaikaisista laaduntarkistajista osittain takaisin kohti työntekijän tarkastusta. Tällä nähtiin olevan useita hyötyjä, kuten kustannussäästöjä sekä organisaation sisäisten jännitteiden lieventymistä tarkastusosaston sekä valmistavan osaston välillä. Lisäksi sen nähtiin rikastuttavan työntekijän työnkuvaa, lisäten vastuuta ja osoittaen luottamusta työntekijää kohtaan. Muutos oli kuitenkin hidasta ja delegointi vaatii molemminpuolista luottamusta sekä rakenteellisia muutoksia yhtiössä. (Juran, 1973)

Vastaavasti Japanissa laadunvarmistusta ei nähty erillisenä toimena vaan integroituna osana koko yhtiön toimintaa ja osana työntekijöiden koulutusta. Samalla myös japanilaisten tuotteiden laadun havaittiin olevan parempaa. Tämä johti monen länsimaisen yhtiön mielenkiinnon kääntymiseen kohti japanilaisia laadunvarmistusmenetelmiä. (Ebrahtmpour & Schonberger, 1984)

Tällaisia menetelmiä ovat muun muassa japanilainen kokonaisvaltainen laadunvarmistus (TQC), josta kehittyi myöhemmin kokonaisvaltainen laadunhallinta (TQM), Lean-ajattelu sekä yhdysvaltalainen Six Sigma. Ne ovat kaikki laatu- ja toiminnanparantamisjärjestelmiä, jotka tähtäävät parantuneisiin prosesseihin. Näissä kaikissa myös toistuu samoja teemoja, kuten jatkuva parantaminen, asiakastyytyväisyys sekä muun muassa työntekijä- ja johtoportaan osallistaminen. Näistä menetelmistä kaksi viimeisintä on edelleen aktiivisesti tutkimuksen kohteena. (Chiarini, 2011)

2.5.2 Laadunhallinnan menetelmiä rakentamisessa

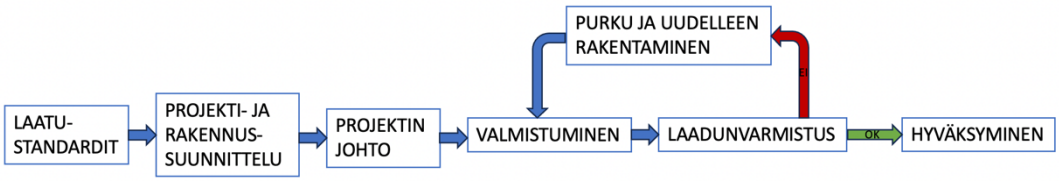
Laadunhallintajärjestelmillä ei ole olemassa mitään vakiintunutta määritelmää, mutta sillä viitataan yleisesti kaikenlaisiin johtamistoimintoihin, jotka määrittävät laatupolitiikan, tavoitteet ja vastuut sekä niiden toteuttamisen laadun suunnittelun, laadunvalvonnan, laadunvarmistuksen ja laadun parantamisen avulla. Useat yritykset käyttävätkin niin sanottua perinteistä, laadunvarmistuksesta (QA) ja laadunvalvonnasta (QC) koostuvaa laadunhallintaa. Lisäksi on olemassa virallisia laadunhallintajärjestelmiä kuten sertifiointi ja kokonaisvaltainen laadunhallinta (TQM). Loven ja Lin (2000) mukaan näitä järjestelmiä ei kuulu pitää toistensa kilpailijoina, vaan ne pikemminkin täydentävät toisiaan. (Burati ym., 1991; Leong ym., 2014; Love & Li, 2000)

QA/QC-yrityksillä on vahvat ja tekniset tarkastus- ja valvontamenetelmät työn laadun valvomiseksi. Merkittävin ero QA/QC- ja virallisten TQM-yritysten välillä on se, että TQM-yrityksissä tekniset tarkastus- ja valvontamenetelmät ovat vain yksi osa koko yrityksen laajuista kokonaisvaltaisen laadunhallinnan soveltamista. Terziovskin (1998) mukaan menestyvät, korkean suorituskyvyn yritykset pyrkivät erottumaan TQM:n mukaisilla ”pehmeillä” arvoilla, kuten johtamiskuluttuurilla, asiakaskeskeisyydellä ja jatkuvalla

parantamisella, kun taas heikommin menestyvät yritykset keskittyvät ”kovempiin” laatukäytäntöihin, kuten strategiseen suunnitteluun, tiedonkeruuseen ja analyyseihin sekä prosessien hallintaan. (Burati ym., 1991; Leong ym., 2014; Terziovski, 1998)

1. Perinteinen laadunhallinta (QA/QC)

Laadunvarmistuksesta (QA) sekä laadunvalvonnasta (QC) koostuva laadunhallinta on usein projektikohtainen ohjelma, jonka projekti- sekä rakennussuunnittelu noudattaa tiettyjä koodistoja, asiakkaan toiveita sekä suunnittelutoimiston vakiintuneita käytäntöjä. Rakentaminen noudattelee näitä vaatimuksia rakentajan soveltamalla tavalla. Perinteisestä mallista saattaa puuttua rakentamisen suunnittelun sekä rakennusprosessin laadunvarmistus, ja varsinainen laadunvarmistus tapahtuu usein vasta rakentamisen jälkeen (kuvio 10). Suurin osa Ahmedin ym. (2005) tutkimuksen haastatelluista piti jatkuvaa seurantaa ja tarkastuksia heidän epävirallisena laadunhallintajärjestelmänänsä. Rakennustöiden laatu nojaa siten vahvasti työ- ja projektipäällikön valvontaan. (Ahmed ym., 2005; Arditi & Gunaydin, 1997; Rounds & Chi, 1985)



Kuvio 10. Rakennusalan tyypillinen laadunhallinta (mukailtu Rounds & Chi, 1985)

Myöhäinen tarkistaminen johtaa siihen, että laatu suunnitellaan ja arvioidaan projektikohtaisesti, ja palaute laadusta saadaan vasta työsuoritteen jälkeen, eikä kunnollista palautekanavaa ole olemassa. Tämän takia on vaikea luoda tiedonkeruujärjestelmää, joka helpottaisi virheiden varhaista havainnointia. Esimerkiksi Ahmedin ym. (2005) tutkimuksessa havaittiin, että yleisesti rekisteriä pidetään vain sopimusperusteisista vaatimuksista. Samassa tutkimuksessa vain yksi, joskin ISO-sertifioitu yritys, piti täydellistä rekisteriä laatuvirheistä. Virheiden havaitseminen rakentamisen jälkeen saattaa myös johtaa niiden piilotteluun ja korjaamiseen, ennen kuin omistaja tai yrityksen johto huomaa asiaa. Tämä voi johtaa virheiden toistumiseen seuraavissa projekteissa, koska prosesseja ei ole voitu parantaa, kun tietoa virheistä ei ole jaettu. (Ahmed ym., 2005; Rounds & Chi, 1985)

Huolimatta edellä mainituista haasteista suurin osa USA:n rakennusyrityksistä käyttää omaa laadunvarmistusmenetelmäänsä ja ovat yleisesti Ahmedin ym. (2005) mukaan suhteellisen tyytyväisiä toimintatapoihinsa. Virallisten laadunhallintajärjestelmien tai standardien hyväksymisen ja jalkauttamisen haasteiden syyksi USA:ssa nähdään niin viranomaisten ja asiakkaiden tahdon puuttuminen kuin yritysten rajalliset resurssit. Vain kilpailu

kansainvälisillä markkinoilla saattaa motivoida yrityksen hakemaan sertifiointia. (Ahmed ym., 2005)

2. Sertifiointi

Sertifioinnissa kohdeyritys hakee kolmannen osapuolen, esimerkiksi ISO 9000-standardiin perustuvaa sertifiointia. Sertifioinnin ongelmana on kuitenkin sen näytöt sekä käytön laajuus maailmanlaajuisesti. Barrettin (2000) mukaan sertifioinnin vaikutus asiakkaan havaitsemaan laatuun oli vain hieman positiivinen ja vain alle puolet alan yrityksistä Isossa-Britanniassa aikoisi hakea sertifikaattia. Myös USA:ssa sertifioinnin yleisyys on hyvin matalaa eikä serfitiointia esimerkiksi pidetä vaatimuksena urakoitsijoiden kilpailutuksessa kuten Hong Kongissa (Ahmed ym., 2005). Huomioitavaa onkin, että esimerkiksi Japanissa jokaisella Xiaon ja Proverbsin (2002) tutkimukseen osallistuneista yrityksistä oli jonkinlainen laadunhallinnan sertifikaatti ja Ahmedin ym. (2005) mukaan myös Hong Kongissa ISO 9000-serfitiointi on hyvin yleistä, mihin vaikuttanee jo vuonna 1993 julkaistu viranomaisen suositus sertifioinnin hakemisesta. (Ahmed ym., 2005; Barrett, 2000; Xiao & Proverbs, 2002)

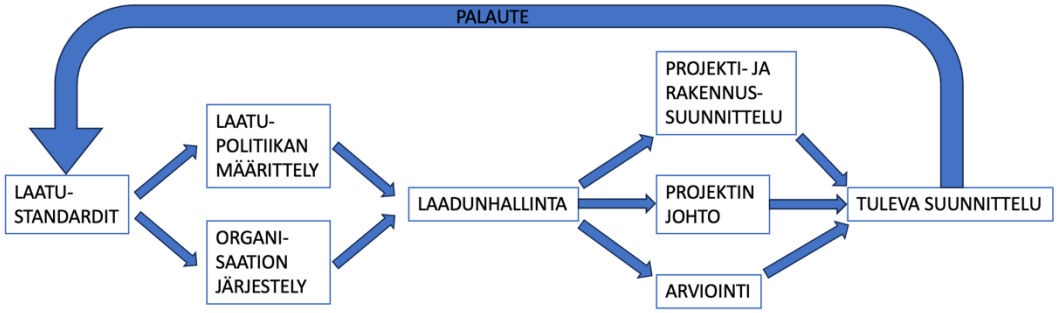
Sertifiointi saattaakin olla rakennusyhtiöille helpompi tapa aloittaa strukturoitu ja virallinen laadunhallinta, koska se sisältää enemmän ”kovia” ja teknisiä toimia. Sertifiointi nähdään yleisesti myös ensimmäisenä askeleena kohti kokonaisvaltaista laadunhallintaa, ja ISO 9000-sertifioinnin omaavat yritykset harkitsevatkin muita todennäköisemmin TQM-konseptin soveltamista osana laadunhallinnan kehittämistä (Ahmed ym., 2005).

3. Kokonaisvaltainen laadunhallinta (TQM)

Huolimatta rakennusten uniikista luonteesta massatuotannossa käytössä ollutta kokonaisvaltaisen laadunhallinnan (TQM) konseptia alettiin soveltaa rakentamiseen 1970-luvulla Japanissa (Arditi & Gunaydin, 1997). TQM on strateginen lähestyminen laadunhallintaan ja yksi vanhimpia laadunhallinnan menetelmiä, joka juontaa juurensa 1930-luvulta (Chiarini, 2011; Howarth & Watson, 2011).

Kokonaisvaltaisen laadunhallinnan keskiössä ovat jatkuva parantaminen, jokaisen yksilön panos sekä täydellinen asiakastyytyväisyys (Tang ym., 2005). Tärkeässä roolissa on sellainen yrityskulttuuri ja ympäristö, joka mahdollistaa innovoinnin ja teknisen kehityksen kohti parempaa asiakastyytyväisyyttä, kustannustehokkuutta sekä virheettömyyttä (Arditi & Gunaydin, 1997). Käytettävät laatustandardit on johdettu tietojärjestelmästä, joka sisältää useista projekteista saatuja palautteita, jolloin ne ovat yhteneväisiä sekä kokonaisvaltaisempia kuin yksittäiset laatustandardit. Projektin suunnittelu, rakentaminen ja arviointi ovat integroituneet laadunhallinnan näkökulmasta, mikä mahdollistaa virheiden nopean havaitsemisen ja korjaamisen. Lopulta projektista saatua palautetta käytetään laatutietojärjestelmän

laajentamiseksi sekä vastaavien virheiden välttämiseksi tulevissa projekteissa (kuvio 11). (Rounds & Chi, 1985)



Kuvio 11. TQM:n mukaisesti organisoitu laadunvarmistus (mukailtu Rounds & Chi, 1985)

Kokonaisvaltaisen laadunhallinnan soveltamisella on huomattavia alueellisia eroja. Ahmedin ym. (2005) mukaan TQM-konsepti on USA:ssa tunnistetumpi kuin sertifiointi, ja lähes kolmasosa kyselyyn vastanneista ilmoitti TQM-filosofian käytöstä, kun taas Hong Kongissa vastaava luku oli vain 9 prosenttia. Xiaon ja Proverbsin (2002) mukaan yli 90 prosenttia tutkimuksen japanilaisista rakennusyrityksistä sovelsi TQM-konseptia verrattuna 53 prosenttiin Isossa-Britanniassa ja 41 prosenttiin USA:ssa.

Kokonaisvaltaista laadunhallintaa on varsinkin länsimaissa kritisoitu sen identiteetin puutteesta, ja sitä on kuvailtu enemmänkin ajattelutapana, eikä suoranaisena tieteenalana tai ohjekirjana (Chiarini, 2011). Lisäksi on tutkimuksia, joiden mukaan TQM:n soveltamisella ei ole tai on jopa negatiivisia vaikutuksia yrityksen suorituskykyyn (Curkovic ym., 2000).

2.5.3 Laadunhallinnan soveltaminen rakentamisessa

Erilaisia laadunhallinnan menetelmiä on sovellettu rakentamisessa erityisesti isoja projekteja tekevien yritysten toimesta. Kokemusten perusteella rakentamisen laadunhallintajärjestelmillä voidaan ehkäistä kommunikointiongelmia, vähentää virheitä, uudelleen työstöä ja materiaalihukkaa sekä saavuttaa parempi hallinta aliurakoitsijoista sekä hankinnoista. Laadunhallintajärjestelmät voivat myös parantaa yrityksen tuottavuutta sekä työntekijöiden laatutietoisuutta. Lisäksi esimerkiksi insinööritoimistot ja erilaiset suunnittelukonsulttiyritykset ovat suuressa roolissa projektin alun kriittisissä vaiheissa, ja on joitain positiivisia näyttöjä suunnitelmien ja tuotantoprosessin parantumisesta. Tutkimuksia laadunhallintajärjestelmien roolista rakennusteollisuudessa on kuitenkin suhteellisen vähän ja järjestelmien avulla saavutetuissa hyödyissä on suuria organisaatiollisia ja alueellisia eroja. (Leong ym., 2014)

Xiao ja Proverbs (2002) vertailivat tutkimuksessaan USA:n, Ison-Britannian ja Japanin rakentamisen laatua. Yleisesti japanilaiset rakennusyhtiöt saavuttivat paremman laadun, jolloin lopputuotteissa oli vähemmän virheitä, heillä oli pidemmät vastuuajat ja valmistumisen jälkeen tehtiin vähemmän korjauksia. Laadunhallintajärjestelmien tehoon Japanissa vaikuttanee syvälle juurtunut laatutietoisuus, läheiset suhteet aliurakoitsijoihin sekä kehittyneet TQM- ja sertifiointikonseptit. Isossa-Britanniassa, ja myös USA:ssa, laadun takaamiseksi luotetaan esivalmistukseen sekä tehdastuotantoon. Vertailussa Japaniin työmaalla tehtävistä työsuoritteista puuttuu välittäminen (Bennett ym., 1987). Länsimaissa laatu kärsiikin ennemmin asenne- kuin teknologisista ongelmista: jatkuvat kustannus- ja aikataulupaineet eivät saisi estää laatukoulutusta. (Xiao & Proverbs, 2002)

Japanissa koko kulttuuri perustuu kilpailun sijasta yhteistyöhön (Haley, 1994). Rakentamisessa yhteistyö on ennemminkin välttämättömyys kuin vaihtoehto (Ahmad & Sein, 1997) ja ongelmanratkaisu vaatii rajat ylittävää kommunikointia ja yhteistyötä (Shammas-Toma ym., 1998). Pitkät ja vakaat pää- ja aliurakoitsijoiden väliset suhteet voivatkin vaikuttaa Japanin korkeaan laatusuorituskykyyn. Yleisesti Japanissa aliurakoitsijoita kohdellaan reilusti ja heille annetaan mahdollisuus olla kannattavia ja kasvaa. Läheiset, molempia osapuolia hyödyttävät suhteet luovat molempia hyödyntävän ”win-win”-asetelman. (Xiao & Proverbs, 2002)

2.6 Lean

2.6.1 Lean-ajattelu

Lean-tuotanto, tai Lean-ajattelu perustuu tuotannon kehittämiseen hukkaa vähentämällä. Alun perin kyse on Japanissa 1950-luvulla autoteollisuudessa kehitetystä Toyota Production System (TPS) nimellä kulkevasta filosofiasta. (Womack ym., 1990) Siinä oli kyse kaiken hukan minimoimisesta ja keskittymisestä arvoa tuottavaan toimintaan; Toyotalla ei olisi varaa hukata materiaaleja ja työvoimaa. Yleisesti hukalla tarkoitetaan kaikkea kustannuksia lisäävää, mutta asiakkaalle arvoa tuottamatonta toimintaa. (Dahlgaard & Dahlgaard-Park, 2006)

Lean-tuotantoon olennaisesti liittyvä just-in-time (JIT) ajattelu juontaa myös juurensa Japanista, ja se muodostaakin TPS:n toisen pilarin. Sillä pyritään materiaalien tasaiseen virtaukseen, jolloin vältetään varastoinnista ja ylituotannosta syntyvät kustannukset ja seuraukset; ainoastaan tarpeellinen määrä tuotetta tuotetaan välittömästi käytettäväksi. Myös mahdolliset virheet tuotteissa havaitaan nopeammin, koska tuotteet eivät ole varastossa ennen käyttöä. Esimerkiksi Arbulu ja Ballard (2004) havaitsivat suoran yhteyden rakennustuotannon laadun ja materiaalien tasaisen virtauksen välillä. (Dahlgaard & Dahlgaard-Park, 2006)

TPS:n toisen pilarin muodostaa ”Jidoka”. Jidoka on laatuun tähtäävä periaate, jossa virheen löytyessä tuotantolinja pysäytetään ja virheen juurisyy selvitetään ja korjataan. Jidokan tavoitteena olisi tuotantolinja, joka havaitsisi itse omat virheensä ja se periaatteena pitää sisällään vahvan yhtymän automaatioon. Jidokan periaatteiden noudattaminen ei kuitenkaan välttämättä tarvitse koneita tai automaatiota toimiakseen. Rakentamisessa sillä voidaan tarkoittaa esimerkiksi viallisten materiaalien, komponenttien tai laitteiden hylkäämistä, havaituista ongelmista raportoimista tai esimerkiksi seuraavien työtehtävien estämistä viallisia tai tarkistamattomia työvaiheita sisältävällä alueella (Gao & Low, 2013). Tästä toisesta pilarista käytetäänkin myös nimitystä built-in-quality, sisäänrakennettu laatu. (Kitazuka & Moretti, 2012)

Loppujen lopuksi TPS:ssä on kyse ihmiseen perustuvasta järjestelmästä, missä keskiössä on jatkuva parantaminen johtajuuden sekä harjoittelun ja koulutuksen tuoman kasvun ja määrätietoisuuden kautta. (Dahlgaard & Dahlgaard-Park, 2006) Lean-ajattelussa siis keskitytään jatkuvaan parantamiseen, hukkaan ja sen vähentämiseen, mutta myös tuotannon virtaukseen, mikä tarkoittaa myös johtamisen järjestelmien ja tuotannonohjausprosessien huomioimista pelkkien tuotantojärjestelmien lisäksi. (Ballard & Howell, 1994)

2.6.2 Virtaus ja hukka

Tuotteen virtauksella tarkoitetaan tuotteen kulkua raaka-aineista ja osista lopputuotteeksi, ja operaatioiden virtauksella tuotteelle työpisteellä tehtäviä asioita. Tätä reittiä kutsutaan arvopoluksi ja kaikki polulla olevat tehtävät ovat joko arvoa tuottavia tai tuottamattomia toimia. Valmistavassa teollisuudessa virtaus onkin tarkasti määritelty. Lean tuotannossa hyvä virtaus saavutetaan, kun tällä polulla on mahdollisimman vähän arvoa tuottamattomia toimia. Hyvän virtauksen saavuttaminen vaatii eri osa-alueiden keskittymistä tiettyyn tehtävään, ja resurssien huolellista tasapainottamista niiden jatkuvan käytön aikaansaamiseksi. (Sacks, 2016)

Hukalla tarkoitetaan toimia, jotka kuluttavat yrityksen resursseja, mutta eivät tuota arvoa sisäisille tai ulkoisille asiakkaille. Toyota määritteli seitsemän hukan olomuotoa seuraavasti (Liker, 2020):

1. kuljetus,
2. liike,
3. varastointi,
4. odotus,
5. ylituotanto,
6. viat ja
7. yliprosessointi.

Liker (2020) lisää vielä työntekijöiden hyödyntämättömän luovuuden sekä Bajjou ja Chafi (2018) rakennusalalla onnettomuudet hukan olomuodoiksi. Koskela (2004) lisää vielä niin sanotun ”Making-do”-hukan yhdeksi

merkittävimmiksi rakennusalan hukan olomuodoista. ”Making-do”-hukalla tarkoitetaan tilannetta, jossa tehtävä suoritetaan puutteellisista lähtötiedoista huolimatta. Esimerkiksi tutkimuksessaan Alhava ym. (2019) nostivat ”Making-do”-hukan yhdeksi laatuvirheiden juurisyyksi, ja merkittäväksi hukaksi kerrostalotyömaalla Helsingissä.

Valmistavassa teollisuudessa muun muassa ylituotanto ja varastointi voivat aiheuttaa tuotteeseen laatuvirheitä esimerkiksi naarmujen ja kolhujen muodossa. Sama ongelma nousee esille myös keskeneräisten tuotteiden odottaessa seuraavia vaiheita. Lisäksi työntekijän liike työpisteellä vaikeuttaa työntekijän työtä, hankaloittaa laadunvalvontaa ja laskee tuottavuutta. Täten hyvän virtauksen aikaansaaminen tuotannon tasapainoituksen, turhan liikkeen ja keskeneräisten vaiheiden minimoimisen kanssa on hyvän laadun tuottamisen keskiössä. (Rahani & Al-Ashraf, 2012)

2.6.3 Lean-rakentaminen

Rakentaminen eroaa merkittävästi tuotantolinjalla tapahtuvasta tuotannosta. Haasteena on ollut esimerkiksi hyvän virtauksen määrittely ja sen mittaaminen. Ballard (2000) määrittelee hyväksi virtaukseksi luotettavan, eli tasaisen ja ennakoitavan virtauksen. Optimaalisessa tuotantolinjastossa tuote liikkuu tekijältä toiselle tekijöiden pysyessä paikallaan, kun taas rakentamisessa työryhmät liikkuvat paikasta toiseen rakennuksen pysyessä paikallaan. Lisäksi niin sanottu palaava virtaus on rakennusalalle hyvin tyypillistä. Tällä tarkoitetaan työryhmän palaamista aiempaan työpisteeseen rakennusmenetelmien, korjausten tai muutosten takia. Tämä entisestään heikentaa virtausta ja tekee optimaalisen virtauksen saavuttamisesta rakennustuotannossa vaikeaa. (Bertelsen, 2004; Sacks, 2016; Sacks & Harel, 2006)

Myös hukan määrä rakennusprojekteissa on tyypillisesti merkittävä ja tuotannon epävakaus ja vaihtelu on yksi juurisyistä tähän. Kaikkea hukkaa ei useinkaan kustannustehokkaasti voida poistaa, mutta rakentamisessa hukkaa syntyy kuitenkin merkittäviä määriä, joten sen vähentäminen on realistista ja kannattavaa, ja samalla se parantaa organisaation ja prosessien tuottavuutta. (Bajjou & Chafi, 2018; Formoso ym., 1999; Sacks & Harel, 2006)

Rakentamisen haasteisiin voidaan vastata kahdella tavalla: joko vähentämällä vaihtelua ja yksinkertaistamalla tuotantoa tai parantamalla tuotantojärjestelmää. Esivalmistuksessa rakennusosia valmistetaan tuotantolaitoksissa kontrolloiduissa olosuhteissa, joissa virtaus on paremmin hallittavissa. Rakentaminen ei kuitenkaan ole tehdastuotantoa, joten Bertelsenin (2004) mukaan Lean-rakentamisessa tieteenalana tulisi keskittyä rakennusprosessiin eikä tehtaissa tapahtuvaan Lean-tuotantoon. Lisäksi joka tapauksessa osa työstä jää rakennustyömaalle, missä virtaus on vaikeammin hallittavissa, jolloin tuotantojärjestelmän parantaminen on ensiarvoisen tärkeää. (Bertelsen, 2004; Sacks, 2016; Sacks & Harel, 2006)

Perinteinen tuotannonohjaus rakentamisessa on keskittynyt viivästysten välttämiseen, ja siten työntekijöiden tehokkaaseen käyttöön ja tuottavuuden maksimoimiseen, eli resurssitehokkuuteen. Yksittäisen tekijän tehokkuutta tai tuottavuutta tärkeämpää on kuitenkin koko projektin työn virtaus ja sen vakaus, mikä sinällään vaikuttaa lopulta kaikkien yksittäisten tekijöiden tuottavuuteen. Tämän takia tehokkuutta parantaessa tulisikin keskittyä työn virtaukseen yksittäisten työntekijöiden resurssitehokkuuden sijasta. Lean-rakentamisessa puhutaankin usein työpakettien virtauksesta. Nämä työpaketit pitävät sisällään työryhmän, valmistuvan lopputuotteen sekä käytettävät työtavat, työkalut ja suunnitelmat. Virtauksen voidaankin ajatella määrittelevän työntekijöiden ja työkalujen liikettä. (Ballard, 2000, 2005; Sacks, 2016; Sacks & Harel, 2006)

Vielä suuremmassa kuvassa, tulisi keskittyä kokonaisten projektien tarkasteluun työvaiheiden ja työryhmien sijasta (Ballard, 2005). Lean-rakentamisessa keskitytäänkin tuotantoprosessien lisäksi myös tuotannonohjausjärjestelmiin. Monimutkaisia toimitusketjuja, useita osapuolia ja mahdollisia sunnitelma- ja budjettimuutoksia sisältävässä rakennusprojektissa hyvän virtauksen ylläpitäminen on haasteellista, eivätkä perinteiset ohjausmenetelmät onnistu siinä. Lisäksi rakentamiseen sisältyy aina epävarmuustekijöitä, joiden hallinta vaatii hyvät johtamisprosessit, mutta myös kaikkien osapuolten välistä yhteistyötä ja kehittymistä, eli jatkuvaa oppimista. (Ballard & Howell, 1994; Bertelsen, 2004)

Perinteinen tuotannonohjaus keskittyy aikataulutukseen ja työtehtävien valvontaan: jos jokin menee vikaan, tehdään vain kovempaa töitä aikataulun saavuttamiseksi. Tämä johtaa kuitenkin siihen, että juurisyitä ongelmiin ei löydetä, eikä korjata; virheistä ei opita. Tutkimukset osoittavat, että rakennustyömaalla noin 1/3 suunnitellusta työstä jää tekemättä suunniteltuna aikana. Tämä osoittaa suuren ristiriidan sen välillä mitä aikataulun mukaan pitäisi ja sen mitä käytännössä pystytään tekemään. (Ballard & Howell, 1994)

Tähän vastatakseen Ballard (2000) kehitti Last Planner Systemin (LPS). Siinä työympäristön vakauttaminen alkaa sitoutumisesta: työntekijöiden tulisi tehdä ainoastaan työtehtäviä, jotka pitäisi, mutta jotka myös pystytään tekemään. Tällä vältetään vaihtelua ja joutokäyntiä. Ballard ja Howell (1994) nostavat laadukkaan viikkoaikataulun ominaispiirteiksi seuraavat kolme asiaa:

1. Työ tehdään oikeassa järjestyksessä
2. Työtä tehdään oikea määrä
3. Valittu työtehtävä voidaan tehdä

Valitsemalla vain tehtäviä, jotka esimerkiksi materiaalitoimitusten ja aloitusedellytysten perusteella voidaan tehdä, pystytään suojaamaan työtehtäviä vaihtelulta, joka muuten heikentäisi virtausta. Tämä kuitenkin vaatii työvoiman, työkalujen ja materiaalien, eli resurssien, huolellista tasapainoitusta. Lisäksi lean-rakentamiseen kuuluu olennaisesti toteutetun suunnitelman

seuranta ja jälkitarkastelu mahdollisten virheiden löytämiseksi ja korjaamiseksi sekä niiden toistamisen välttämiseksi. Yksi tapa on mitata valmistunutta prosenttiosuutta suunnitelluista töistä (PPC – percentage of planned activities completed). Tämän avulla voidaan tunnistaa johtuvatko virheet itse suunnitelmasta vai sen toteutuksesta, eli tuotannosta. (Ballard & Howell, 1994)

Rakennusalan tuottavuuden lisäyksellä on merkittävä vaikutus niin yksittäisen yhtiön kuin koko valtion talouden tasolla. Lean-rakentamisen on havaittu olevan tehokkain keino parantaa rakentamisen laatua, kustannustehokkuutta, prosesseja sekä työoloja ja turvallisuutta. Toimittaessaan lopputuotteen Lean-rakentaminen pyrkii maksimoimaan asiakkaalle tuotetun hyödyn minimoimalla hukan. Myös suunnittelu, tuotanto ja materiaalitoimitukset ovat paremmin koordinoituja maksimaalisen arvon tuottamiseksi (Pinch, 2005). Lisäksi lean-rakentamisessa keskiössä on asiakkaan tunteminen ja ymmärtäminen, ja kun huomioidaan asiakkaan odotusten vaikutus lopputuotteen koettuun laatuun (Arditi & Gunaydin, 1997), ymmärretään tämän yhteistyön merkitys. (Bertelsen, 2004)

Toimivan ja tehokkaan rakennustuotannon varmistamisessa tehokkaalla tuotantojärjestelmällä on elintärkeä rooli. Tämä tuotantojärjestelmää voidaan suunnitella, ohjata ja tehostaa useilla suunnittelu- ja ohjaustavoilla. (Lehtovaara ym., 2021) Lean-rakentamiseen, ja sen suunnitteluun ja ohjaukseen onkin kehitetty erilaisia työkaluja kuten Glenn Ballardin uraauurtava Last Planner System (LPS) (Ballard, 2000), kriittisen polun menetelmää (CPM) hyödyntävä LBMS (Location-Based Management System) (Seppänen, 2014) sekä tahtituotanto (Frandson ym., 2013).

2.7 Tahtituotanto

Tahtituotannon hyödyntäminen on yksi Lean-tuotannon avaintekijöistä: sen käytöllä ehkäistään ylituotantoa, parannetaan läpimenoaikoja ja vakautetaan tuotantoa. Lyhyemmät odotusajat ja jatkuva virtaus mahdollistavat tehokkaamman tuotantoprosessin. Yleisesti tahtituotannon käytöllä on havaittu rakennusprosessin laadun parantumista (Binninger ym., 2018; Fiallo & Howell, 2012; Frandson ym., 2013; Heinonen & Seppänen, 2016; Vatne & Drevland, 2016). Arditin ja Gunaydin (1998) mukaan laadukkaan lopputuloksen aikaansaamisessa rakennusprosessin eri vaiheiden laadulla on merkittävä vaikutus. Tahtituotannon käyttö sisältääkin paljon anekdootteja parantuneeseen laatuun, ja joitakin havaintoja parantuneesta laadusta on saatu esimerkiksi Heinosen ja Seppäsen (2016) hyttisaneerausmallista. (Haghsheno ym., 2016)

Ensimmäisiä mainintoja tahtituotannon käytöstä löytyy jo 1500-luvun telakkateollisuudesta. 1900-luvulla tahtituotannon käyttö yleistyi valmistavassa teollisuudessa, jossa muun muassa Ford käytti sitä liukuhihnatuotannossa, saksalaiset ilmailuteollisuudessa ja lopulta Toyota omassa Lean-tuotannossaan, TPS:ssä. Rakennusteollisuudessa tahtituotantoa muistuttavaa

järjestelmää käytettiin tiettävästi ensimmäisen kerran Empire State Buildingin työmaalla vuonna 1930. (Haghsheno ym., 2016)

Nykypäivänä tahtituotantoa käytetään varsinkin sillanrakennuksessa, tunnelityömailla ja kaivuutöissä; töissä, joissa on paljon toistoa (Haghsheno ym., 2016). Tahdin käyttö onkin hyvin tehokasta identtisiä, tai lähes identtisiä työvaiheita sisältävissä töissä. Tämän takia perinteisessa talonrakennuksessa tahtituotantoa on hyödynnetty vielä vähän. Huolellisen suunnittelun sekä työvaiheiden jakamisen ja erittelyn jälkeen erilaiset toistuvat tehtävät tulevat kuitenkin havainnollisiksi, ja tahtituotantoa on alettu käyttää myös perinteisessa rakennusten rakentamisessa. Tahtituotantoa onkin käytetty lukuisissa erilaisissa kohteissa kuten sairaalahankkeissa (Frandson ym., 2013), asuinkerrostalojen sisävalmistuksessa (Lehtovaara ym., 2019), tuulivoimalan pystytyksessä (Lerche ym., 2022) sekä esimerkiksi autotehtaan rakentamisessa (Lehtovaara ym., 2021). (Haghsheno ym., 2016)

2.7.1 Tahtiaika

Tahti ja tahdissa kulkevat prosessit ovat monen alan perusta: mitä olisi musiikki, marssiva sotilasjoukko tai kilpasoutuporukka ilman tahtia? Tahti on olennainen osa heidän koordinaatiotansa. Myös tuotannossa tahdilla on tärkeä rooli saaden kaikki prosessin osaset toimimaan yhteen tietyllä nopeudella. (Haghsheno ym., 2016)

Sana tahti tulee latinankielisestä sanasta ”tactus” ja sen saksankielinen versio ”takt” viittaa tiettyyn rytmiin, jossa asioita tapahtuu. Kahden tahdin välistä aikaa kutsutaan tahtiajaksi, ja tällä ajalla viitataan tarvittavaan tasapainoon tuotanto- ja tarvenopeuden välillä; tiettyä tuotetta on tuotettava tietyllä nopeudella vastatakseen sen kysyntää. (Frandson ym., 2013; Tommelein, 2017) Tahtiaika määrittääkin järjestelmältä vaaditun tuotantonopeuden ja toimii siten linkkinä asiakkaan ja tuotantojärjestelmän välillä (Fiallo & Howell, 2012). Rakentamisessa tärkeää on ymmärtää tiettyyn tehtävään vaadittu aika, mutta myös ymmärtää kuinka nopeasti työn tulisi edetä suhteessa aikatauluun tai muihin työvaihesiin (Frandson ym., 2013).

Valmistavassa teollisuudessa tahtiajan pituus lasketaan tyypillisesti minuuteissa (Haghsheno ym., 2016). Tietyllä tahtiajalla ja eräkoolla saavutetaan tietty tuotantonopeus, ja sopivilla valinnoilla vastataan asiakaskysyntään (Frandson ym., 2013; Haghsheno ym., 2016). Tavoitteena onkin saada tuotanto vastaamaan optimaalisesti kysyntää (Hopp & Spearman, 2004). Varsinkin autoteollisuudessa tahtituotannon käyttö on hyvin yleistä ja esimerkiksi autovalmistaja Porsche määrittelee tahtiajakseen viisi minuuttia, koska heidän arvionsa mukaan keskimäärin yksi auto saadaan kaupaksi joka viides minuutti (Haghsheno ym., 2016).

2.7.2 Tahtisuunnittelu

Tahtisuunnittelun päämääränä on löytää tuotannosta toistuvia prosesseja ja tasapainottaa ne tasaisen virtauksen aikaansaamiseksi (Lehtovaara ym., 2021). Sen tavoitteena on luoda tilajako, jossa jokainen urakoitsija etenee riittävällä varmuudella samaan yhdessä sovittuun tahtiin, pystyy työskentelemään suunnitellussa järjestyksessä ja saa työskennellä suosimallaan tavalla (Tommelein, 2017).

Erilaisia tahtituotantomalleja on ainakin kolme. Niistä tunnetuimmat ovat Kalifornian malli TTP (Frandson ym., 2013; Tommelein, 2017), Saksan malli TPTC (Binninger ym., 2017; Dlouhy ym., 2016) sekä ”hyttisaneerausmalli” (Heinonen & Seppänen, 2016). Mallista riippumatta kaikki kolme pitävät sisällään samat päätehtävät: tiedon keräämisen, alustavan suunnittelun, tuotantojunien suunnittelun ja hienosäädön (Dlouhy ym., 2016; Frandson ym., 2013; Heinonen & Seppänen, 2016).

Tahtisuunnittelussa projekti jaetaan pieniin alueisiin ja aikaikkunoihin. Suunnittelu alkaa palaverilla urakoitsijoiden edustajien, esimerkiksi työnjohtajien kanssa. Työnjohtajat esittävät pohjasuunnitelman avulla päivittäisen työsuoritteen rajat, ja pääsevät esittämään toivomaansa työjärjestystä. Palaverissa koko projekti jaetaan fyysisiin tahtialueisiin, joissa jokainen urakoitsija voi käyttää tietyn ajan, tahtiajan, oman työvaiheensa tekemiseen. Tahtialue määrittää siis aluetta, joka urakoitsijan tulee saada valmiiksi tahtiajan puitteissa. (Frandson ym., 2013; Haghsheno ym., 2016)

Työt jokaisella alueella määritellään ja jäsennellään, ja niistä luodaan työpaketteja, joiden lopullinen koko kuvastaa tuotannon eräkokoa. Työpakettien kestot tahtialueittain arvioidaan ja lasketaan, ja niiden keskinäinen järjestys selvitetään. Tahtisuunnittelulle onkin erityisen olennaista ymmärtää työvaiheiden järjestys (Frandson ym., 2013). Näistä työpaketeista luodaan vaunuja, jotka voivat sisältää yhden tai useamman työpaketin, ja lopulta nämä vaunut muodostavat tuotantojunia. Tässä prosessissa niin työsuunnitelmat kuin urakoitsijoiden väliset palaverit ovat tärkeässä asemassa luotettavan suunnitelman aikaansaamiseksi. (Frandson ym., 2013; Haghsheno ym., 2016)

Ideaalitilanteessa alueet ovat työsuoritteiltaan identtisen pituiset, jolloin jokaiselta urakoitsijalta menisi yhtä kauan suorittaa työtehtävät alueilla. Työpakettien kesto kuitenkin harvoin täsmää täydellisesti valittuun tahtiaikaan. Työpakettien kestoa on mahdollista muokata esimerkiksi tehostamalla työskentelytapoja, säätämällä työvoiman määrää sekä yhdistämällä työpaketteja. Lisäksi työvaiheita voidaan muokata, optimoida tai korvata esivalmistetuilla tuotteilla. Tämä tasapainoitus onkin tahtisuunnittelun vaikein tehtävä (Haghsheno ym., 2016). (Frandson ym., 2013; Haghsheno ym., 2016)

Valittu tahtiaika määrittelee maksimiajan, jonka urakoitsija saa kuluttaa alueella, ja toisilla alueilla eri urakoitsijat voivat olla nopeampia tai hitaampia

kuin toiset (Frandson ym., 2013). Urakoitsijoiden suosimasta työskentelyjärjestyksestä ja varavaihtoehdoista luodaan yhteisymmärryksessä tasapainoitetulla nopeudella etenevä tahtiaikaan perustuvat tuotantosuunnitelma eli tahtiaikataulu. Lopulta tahtiaikataulua hienosäädetään täyttämällä mahdolliset tyhjät kohdat muilla töillä tai jättämällä ne vara-alueiksi. (Frandson ym., 2013; Haghsheno ym., 2016; Tommelein, 2017)

Kun urakoitsijat sitoutuvat tuotantosuunnitelmaan, lähes identtinen tuotantonopeus eri alueilla voidaan saavuttaa. Tämä johtaa vakaampaan ja rajoituksettomampaan tuotantoon, jossa jokaisen tahdin lopussa urakoitsijat ovat suorittaneet vaaditut työtehtävät. (Haghsheno ym., 2016)

Jos tahtiaika valitaan liian pitkäksi, monet urakoitsijat ovat vailla tekemistä. Tämä aiheuttaa mahdollista työvoiman vähentämistä tai lisätöiden tekoa muualla. (Frandson ym., 2013) Mahdollinen työvoiman vähentäminen saattaa vastaavasti johtaa jossain vaiheessa työvoiman lisäämiseen, joka vaikuttaa tuotannon ohjaukseen sekä voi laimentaa kokemusta, jos uudet työntekijät eivät ole työmaalle tuttuja (Cass, 1992; Park ym., 2010). Jos taas yksittäinen urakoitsija etenee selvästi muita nopeammin, kärsii tuotantojärjestelmä ylituotannosta, joka voi johtaa odotteluun, siirtelyyn ja varastointiin, jotka voivat aiheuttaa laatuvirheitä (Rahani & Al-Ashraf, 2012). Tämän lisäksi nopea eteneminen voi aiheuttaa kyseisen urakoitsijan resurssien vähentämistä, joka lopulta saattaa saada aikaan samat ongelmat kuin ylipitkäksi valittu tahtiaika. Jos taas tahtiaikaa lyhennetään tarpeettomasti, yhä useampi urakoitsija saattaa ylittää asetetun tahtiajan (Frandson ym., 2013). Liian lyhyeksi valittu tahtiaika aiheuttaa työn suorittajille ja työnjohtajille myös aikataulupainetta sekä saattaa johtaa ylitöiden käyttöön. Näillä kummallakin on laatuun ja tuottavuuteen heikentävästi vaikuttavia tekijöitä (Nepal ym., 2006; Park ym., 2010; Randolph & Raynar, 1997).

Dlouhyn ym. (2019) mukaan pienet tahtialueet mahdollistavat pienemmät riskit ja nopeammat havainnot työn edistymisestä. Lisäksi ne myös parantavat työn virtausta, työn edistymisen seurantaa ja tekevät työmaasta joustavamman ja helpommin hallittavan sekä vähentävät varastoinnin tarvetta (Valente ym., 2013). Nopeammat havainnot mahdollistavat myös virheiden nopeamman havaitsemisen, jolloin laatuvirheiden määrä vähenee. Samaa tekee parantunut seuranta. Parempi työmaan hallinta ja materiaalihankinnat vähentävät varastoinnin tarvetta, mikä ehkäisee tuotteiden varastoinnin aikaista kulumista ja virheitä, mutta myös vapauttaa tilaa työn tekemiselle näillä alueilla. Lisäksi parantunut työn virtaus vähentää materiaalien välivarastoinnin tarvetta. (Valente ym., 2013)

Tehokas tahtisuunnittelu yhdistettynä pieneen eräkokoon aiheuttaa usein aikapuskureiden pienentymistä (Haghsheno ym., 2016). Stabiilissa prosessissa aikapuskureilla tarkoitetaan odotusta, joka vastaa hukkaa. Rakennusprosessissa kohtuullisten aikapuskureiden käyttö voi kuitenkin parantaa työmaan suorituskykyä suojaten tuotantoa vaihtelulta sekä resurssipulalta sillä

ne toimivat kustannusten, aikataulun, materiaalien, varastoinnin ja työvoiman suojakertoimena. Liian pienet puskurit vaihtelevan virtauksen yhteydessä saattavat johtaa tuotannon kaaokseen (Lehtovaara ym., 2020). Siten edes tahtituotannossa aikapuskureista ei voida täysin luopua. (Dlouhy ym., 2019)

2.7.3 Tahtiohjaus

Tahtiajan käyttö mahdollistaa tarkan ja nopean reagoimisen työssä ilmenneisiin ongelmiin, koska lyhyttä tahtiaikaa käytettäessä mahdolliset ongelmat heijastuvat aikatauluun nopeasti. Huolellakaan suunniteltu tahtiaikataulu ei voi olla kiinteä suunnitelma, vaan sen tarpeen mukainen säätäminen on tärkeää. Aikatauluun voidaan lisätä puskuritahti viivästyneiden töiden tekemiseksi tai suunnitelman rinnalle voidaan luoda uusi suunnitelma aikataulun kuromiseksi. Aikataulun luotettavuuden vuoksi nopeat havainnot ja reagointi aikataulun ongelmiin ovat tärkeässä roolissa, ja näin reaktiivisten ja kalliiden ohjaustoimien määrää voidaan vähentää. Tahtiaikataulua hyödyntäessä päivittäiset palaverit työnjohdon ja vastaavan mestarin kanssa ovat avainasemassa työn jatkuvuuden säilyttämisessä ja tarpeellisten toimien implementoinnissa. Tahtiohjaukseen kuuluukin tyypillisesti päivittäisiä lyhyitä, noin 15 minuutin mittaisista tapaamisista työnjohtajien ja työntekijöiden kesken. Yhteisillä palavereilla halutaan osallistaa varsinaiset työntekijät ongelmanratkaisuprosessiin. Saatu tieto edistymisestä kerätään tahtiohjaustauluille, jotka lisäävät läpinäkyvyyttä ja johtamisen visuaalisuutta. Lisäksi tietoa käytetään hyväksi tarvittavien toimenpiteiden luomiseksi, jotta suunnitelmassa pysyttäisiin. (Binninger ym., 2017; Dlouhy ym., 2016; Haghsheno ym., 2016)

2.8 Propositiot tahtituotantoon ja sen laadunvarmistukseen

1. *Tahtituotanto parantaa tuotantojärjestelmää, mikä parantaa laatua.*

Laadun tuottamisen keskiössä on tuotantojärjestelmä. Parantamalla tuotantojärjestelmää voidaan parantaa myös lopputuotteen laatua (Binninger ym., 2018). Tahtituotannossa urakoitsijat voivat keskustella työskentelytavoista keskenään sekä määritellä mahdollisia pullonkauloja ja keksiä koko projektia tukevia ratkaisuita. Lisäksi urakoitsijat tietävät, missä milloinkin tulisi työskennellä ja näin ollen yllätyksiltä voidaan välttyä. (Ballard & Howell, 1994; Frandson ym., 2013)

2. *Tahtisuunnittelu parantaa tuotantosuunnitelmia ja mahdollistaa riittävän työskentelyajan laadun tekemiseksi.*

Realistiset suunnitelmat lisäävät osapuolten vastuullisuutta ja tahtituotannon toimiessa ideaalisesti urakotsijat voivat luottaa suunnitelman ennustettavuuteen ja siten pystyvät määrittelemään resurssitarpeensa ennalta. Tämä mahdollistaa keskittymisen työn suunnitteluun ilman tarvetta varautua epäjatkuvuuksiin, mikä parantaa työnjohtajien suorituskykyä, koska

työvoimalle ei tarvitse keksiä vaihtoehtoista tekemistä. (Ballard & Howell, 1994; Frandson ym., 2013) Aikataulu tulisikin suunnitella huolella huomioiden kaikki yksittäiset urakoitsijat, materiaalien saatavuus, tarkastukset, työmaasuunnittelu sekä laatutavoitteet. Kaikkien hankkeen osapuolten tuleekin olla selvillä ja yhtä mieltä selkeiksi muotoilluista tavoitteista (Frandson ym., 2013). Näin voidaan lisätä työvoiman tehokkuutta sekä vähentää erilaisten aikataulupäätösten negatiivisia vaikutuksia: liian löysä aikataulu saattaa johtaa hitaaseen työskentelyyn ja ylimääräisiin aktiviteetteihin, kun taas liian kireä aikataulu ja korkea aikataulupaine sitä vastoin johtaa laadun laskuun ja piilovirheisiin. Realistisella suunnittelulla taataan riittävä työskentelyaika erilaisiin työtehtäviin laadukkaan lopputuloksen aikaansaamiseksi ja hyvällä suunnittelulla voidaankin parantaa työskentelyn laatua ja vähentää virheitä. (Nepal ym., 2006; Park ym., 2010)

3. *Tahtituotanto johtaa välittömään palautteeseen, mikä puolestaan parantaa laatua.*

Tahtituotanto antaa välitöntä palautetta työn edistymisestä, laadusta ja vaatimuksien täyttämisestä, koska alueet ovat suhteellisen pieniä. Lean tuotannon periaatteiden mukaisesti mahdollisista virheistä pyritään myös oppimaan, ja siten parantamaan toimintaa hankkeen aikana. (Ballard & Howell, 1994; Frandson ym., 2013)

4. *Pienet tahtialueet pienentävät tuotannon eräkokoa ja parantavat työn seurantaa.*

Tutkimuksista löytyy viittauksia parantuneeseen rakennusprosessiin sekä tihentyneeseen laaduvarmistukseen (Binninger ym., 2018). Pienet tahtialueet mahdollistavatkin nopeammat havainnot parantamalla työn edistymisen seurantaa (Dlouhy ym., 2019). Lisäksi pienentynyt eräkoko vähentää riskejä ja parantaa työn virtausta sekä tekee työmaasta joustavamman sekä helpommin hallittavan. Tämä vähentää varastoinnin tarvetta ja siten laatuvirheiden määrää sekä vapauttaa tilaa työn tekemiselle. (Valente ym., 2013)

5. *Ylitöitä ja ryhmäkoon muutoksia tulee välttää hyvän laadun takaamiseksi.*

Ylitöitä ja työryhmäkoon lisäämistä tulisi välttää ja henkilöstön tuottavuutta tulisi pitää korkeana esimerkiksi erilaisia tavoitteita asettamalla. Rakennusprosessin laadukkuuden kannalta olisi tärkeää, että työryhmäkoko pysyisi mahdollisimman tasaisena ja muuttumattomana. Tämä mahdollistaa työryhmän sisäisten prosessien kehittymisen ja jatkuvan oppimisen rakennusprosessin aikana, mikä johtaa suorituskyvyn kehitykseen oppimiskäyrän avulla (Cass, 1992). Jos ylitöitä teetetään, tai työryhmäkokoa kasvatetaan, urakoitisijan tulisi huolehtia riittävästä työnjohtajien määrästä sekä varmistaa työmaan esteettömyys sekä häiriöttömyys, eli riittävä materiaalien, valvonnan ja tiedon määrä. Lisäksi mahdollinen ylityöaika tulisi pitää niin lyhyenä kuin mahdollista. (Cass, 1992; Park ym., 2010)

6. *Tahtituotannon palaverikäytäntö mahdollistaa proaktiivisen toiminnan ja avoimen kommunikoinnin osapuolten välillä.*

Työnjohtajien proaktiivinen toiminta katkosten välttämiseksi on hyvin tärkeässä roolissa aikataulun hallinnassa, ja siten koko työmaan koordinoinnilla, toimivilla työmaasuunnitelmilla ja hankinta-aikatauluilla on merkittävä vaikutus sekä työmaan onnistumisessa että eri aikataulupäätösten vaikutuksissa. Useat ongelmat johtuvat pääurakoitsijan kyvyttömyydestä tuottaa päivitettyjä ja detaljitason tietoja sekä oikea-aikaisia hyväksyntöjä suunnitelmille. Siten avoin, laajamittainen, koordinoitu kommunikointi tilaajan ja urakoitsijoiden välillä on tärkeää hankkeen onnistumiselle. Lisäksi kaikkien hankkeen osapuolten tulisi tulisi ylläpitää terveet suhteet suhtautuen asioihin win-win asenteella ilman opportunismia. (Nepal ym., 2006; Park ym., 2010)

3 Tutkimusaineisto ja -metodit

3.1 Kohteen esittely

Tutkimuksen kohteena on Helsinki-Vantaan lentoaseman terminaali 2:n laajennus- ja muutostyöt, ja tarkemmin niiden tahtituotannolla toteutettu sisävalmistus. Terminaali 2:n laajentaminen oli osa Finavian investointiohjelmaa parantaen kentän asemaa merkittävänä eurooppalaisena lentoasemana sekä tukien kasvavia matkustajamääriä (Lindstedt ym., 2021).

Hanke toteutettiin allianssimuotoisena. Hankkeen tilaajana toimi Finavia Oyj ja päätoteuttajana SRV Rakennus Oy. Koko hankkeen bruttoala on noin 80 000 brm^2. Suunnittelukilpailu hankkeelle alkoi vuonna 2016 ja rakentaminen käynnistyi purku- ja vaiheistustöillä joulukuussa 2018. Tämän tutkimuksen aineisto ja haastattelut keskittyvät urakan sisärakennusvaiheeseen, joka ajoittui huhtikuun 2020 ja kesäkuun 2021 väliin. Koko muutosalueen työt valmistuivat syksyllä 2023. (Lindstedt ym., 2021)

3.2 Menetelmät

Tutkimus on tapaustutkimus, jonka kohteena on edellä mainittu Helsinki Vantaan terminaalilaajennus. Tutkimuksen lähestymistapa on laadullinen, eli kvalitatiivinen, ja sen tarkoituksena on kuvata aitoja kokemuksia ja kerätä tietoa monipuolisesti hankkeesta, tahtituotannon vaikutuksista sekä ymmärtää aihetta ja antaa sille teoriataustaltaan sopiva tulkinta. Laadullinen tutkimus kuvaa todellisen elämän tapahtumia ja pyrkii antamaan tutkittavasta ilmiöstä mahdollisimman kokonaisvaltaisen kuvan. (Hirsjärvi ym., 1997; Tuomi & Sarajärvi, 2018) Tutkimustulokset perustuvat pääosin haastatteluhin, joka aineistonkeruumenetelmänä sopii laadulliseen tutkimukseen (Tuomi & Sarajärvi, 2018) ja on yksi tiedonhankkimisen perusmuodoista (Hirsjärvi ym., 1997). Koska tutkimuksen kohde oli jo valmistunut, ei seurantaa tai havaintoja työmaan tapahtumista reaaliajassa ollut enää mahdollista tehdä. Haastatteluiden lisäksi käytössä oli työmaan ”vuoden työmaa”-kilpailuhakemus, joka piti sisällään tietoa käytetyistä prosesseista ja niiden tavoitteista.

Haastattelu on tarkoituksenmukainen keskustelu, joka mahdollistaa tarkentavien lisäkysymysten esittämisen sekä laajemman vastauspituuden käyttämisen kuin esimerkiksi kysely. Haastattelut toteutetaan rakenteeltaan osittain ennalta määrättynä teemahaastatteluna. Se perustuu ennalta valittuihin teemoihin ja kysymysrunkoon, mutta tarkka muoto tai järjestys ei ole ennalta määritelty. (Eskola & Suoranta, 2008)

Tutkimuksen kohdejoukkona on allianssiorganisaation esihenkilöt. Esihenkilöt valikoituivat kohdejoukoksi, koska tutkimuksen kohteena ollut alue oli jo valmistunut tutkimusta tehdessä, jolloin asentajat ja työmiehet olivat vaihtuneet. Valitut esihenkilöt olivat myös tutkimusta tehdessä kyseisissä tehtävissä. Haastateltavat valittiin harkinnanvaraisesti, mikä Eskolan ja

Suorannan (2008) mukaan soveltuu laadulliseen tutkimukseen. Tutkimuksessa tutkittiin pientä joukkoa, jolta saatua aineistoa analysoidaan perusteellisesti. (Eskola & Suoranta, 2008) Haastateltavat valittiin yhteistyössä työn ohjaajan sekä allianssiorganisaation henkilöstön kanssa. Otantaan pyrittiin valitsemaan osapuolia hankkeen tahtituotannolla toteutetun sisävalmistusvaiheen aliallianssiorganisaatioista kuin myös tilaajan ja päätoteuttajan puolelta. Taulukossa 1 on esitetty haastateltujen työnimikkeet, vastuuorganisaatio sekä haastattelupäivämäärä.

Taulukko 1. Haastateltavat.

Haastattelu	Työnimike	Vastuuorganisaatio	Päivämäärä
H1	Projektipäällikkö	SRV Oy (päätoteuttaja)	6.4.2023
H2	Projektipäällikkö	Finavia Oyj (tilaaja)	11.4.2023
H3	Projektipäällikkö	Consti Talotekniikka Oy	13.4.2023
H4	Projektinjohtaja	Quattroservices Oy	2.5.2023
H5	Projektipäällikkö	Quattroservices Oy	2.5.2023
H6	Laaturyhmän jäsen	Quattroservices Oy	11.5.2023

Tutkimuksen tavoitteena on ymmärtää syitä ja seurauksia hyvän laadun tuottamiseksi ja tutkia, miten tahtituotannon käyttö vaikuttaa rakentamisen laatuun. Haastattelujen pääteema on tutkimuksessa käsiteltävän tahtituotannolla toteutetun sisärakennusvaiheen tahtiaikataulu, -ohjaus, tuotannon laatu sekä tahtituotannon vaikutukset. Tarkoituksena on saada tietoa teemoista eri organisaatioiden näkökulmista. Haastattelujen kysymysrunko on muodostettu yhteistyössä työn ohjaajan kanssa ja se esitetään liitteessä 1. Ensimmäisillä kysymyksillä kartoitettiin haastateltavan kokemusta niin yleisesti rakennusalalta kuin tahtihankkeista. Eri teemoista pyrittiin esittämään ohjaavia kysymyksiä, mutta antamaan myös tilaa vapaalle sanalle sekä tarkentaville lisäkysymyksille. Haastattelut toteutettiin etänä käyttäen Microsoft Teamsia, ja niiden kestot vaihtelivat 30 minuutista tuntiin. Haastatteluiden aineisto nauhoitettiin ja se hävitetään diplomityön valmistuttua.

Haastattelujen aineisto analysoitiin laadullisesti, joka mahdollisti kirjallisuuskatsauksesta esiin nousseiden asioiden vahvistamisen. Nauhoitetut haastattelut litteroitiin seuraavien päivien aikana. Perustason litteroinnissa haastattelusta kirjataan ylös vain oleelliset asiat: täytesanat, äännähdykset sekä aiheeseen kuulumattomat asiat jätetään pois. Haastattelut, aineiston käsittelyn ja analysoinnin toteutti sama henkilö. Tämä mahdollistaa aineiston selkeyttämisen ja tiivistämisen jo litterointivaiheessa. Analyysissa ja synteesin toteuttamisessa hyödynnettiin abduktiivista päättelyä, jossa päättelyn lähtökohtana on kirjallisuuskatsauksesta ja teoriapohjasta nousseet havainnot, joita pyritään todentamaan kerätyn aineiston avulla. (Eskola & Suoranta, 2008; Hirsjärvi ym., 1997)

3.3 Tulokset

Tutkimuksen kohde, terminaalin laajennus- ja muutostyöt, olivat sekä tilaajayritykselle että päätoteuttajalle ensimmäinen tahtikohde, ja sitä pidettiin pilottihankkeena. Tämän lisäksi myös talotekniikan alialliansin osapuolille tämä oli ensimmäinen tahtihanke. Haastatteluihin osallistuneiden henkilöiden työkokemus rakennusalalta vaihteli vajaasta 10 vuodesta yli 30 vuoteen, sisältäen niin rakennus-, tutkimus-, konsultti- kuin projektinjohtotöitä. Yhtä lukuun ottamatta kenelläkään haastatteluihin osallistuneista ei ollut aikaisempaa kokemusta tahtihankkeista. Hankkeen erityispiirteisiin lukeutuu myös käytetty allianssiurakkamuoto. Allianssimuotoinen urakka oli haastateltaville ennakkotietojen valossa tutumpaa kuin projektissa käytetty tahtituotanto.

3.3.1 Tahtituotannon suunnittelu

Tutkimuksen kohteena oleva terminaalin laajennuksen sisävalmistus toteutettiin tahtituotannolla, jonka käytöllä pyrittiin varmistamaan hankkeen aikataulun pitävyys. Tahdin suunnittelussa hyödynnettiin talotekniikan alialliansikumppaneiden tietotaitoa asennusten kestosta sekä tietomallista saatavia määrätietoja. Työmaan tahtiaikataulun pohjaksi luotiin tahtijuna, jossa ilmaistiin työvaiheiden järjestys sekä niiden vastuuhenkilö. Varsinainen tahtiaikataulu tehtiin Excel-taulukkoon, jonka avulla myös toteutettiin tahdin seurantaa. (Lindstedt ym., 2021)

1. Kohde

Haastateltujen mielestä kohde nähtiin tahtituotannolle lähtökohtaisesti haastavana samanlaisten ja toistuvien tilojen puuttuessa (H1, H2, H3, H4, H5, H6). Myös isot hallitilat toivat ongelmia tahtiaikataulun tekemiselle (H1, H3, H4, H5, H6), joskin lyhyen tahdin nähtiin selkeyttävän isojen hallitilojen hahmotusta (H1).

2. Tahtiaika

Projektin tahtituotantoa harjoiteltiin ensin lentoaseman pysäköintilaitoksen työmaalla, jossa käytössä oli puolen viikon tahti. Tilaajan toiveesta lentoaseman sisävalmistusvaiheessa haluttiin käyttää päivän tahtia. Tämä nähtiin päätoteuttajan (H1) puolesta melko suurena haasteena, koska kyseessä oli lähes kaikkien osapuolten ensimmäinen tahtikohde (H1, H2, H3, H4, H5). Päivän tahdin nähtiin olevan ehkä turhankin tiukka, eikä sitä pystytty täysin optimaalisesti noudattamaan (H1). Toisaalta viikon tahdilla ei olisi välttämättä pystytty reagoimaan puutteisiin yhtä tehokkaasti (H1).

Yhden päivän tahdin käytön varsinainen tarkoitus ei ollut kiristää aikataulua vaan tuoda siihen luotettavuutta sekä ennustettavuutta; tuotannon varmuutta (H1). Lopulta, limittämällä toimintakokeet töiden oheen, aikataulua pystyttiin kiristämään parilla kuukaudella. Tämä nähtiin tilaajan ja pääurakoitsijan puolelta mahdolliseksi toteuttaa ilman ryntäilyä (H1, H2).

3. Aikataulu

Aikataulun suunnitteluprosessi toteutettiin yhteistyössä hankkeen osapuolten kanssa. Tähän prosessiin osallistuivat tilaajan mukaan niin toteuttajat kuin suunnitelijatkin, ja prosessin aikana mietittiin mitä missäkin tehdään, miten se tehdään ja mitkä ovat vaaditut resurssit (H2). Kuukausia kestäneen prosessin aikana koko projekti rakennettiin myös virtuaalisesti.

Sähköurakoitsija (H4, H5, H6) liittyi tate-allianssiin suhteellisen myöhään, ja esimerkiksi parkkihallissa työt alkoivat melkein välittömästi liittymisen jälkeen. Heidän mielestään myös tahtituotannon kehitys alkoi pitkästä kestosta huolimatta silti liian myöhään, ja perussuunnittelua tehtiinkin ennen kuin kaikki tahtialueet olivat tiedossa (H4, H5). Tämä aiheutti esimerkiksi tahtialueiden ja keskusalueiden risteämiä. Tähän saattoi olla syynä myös urakoitsijan kokemattomuus tahtituotannosta, jolloin tiettyjä muutoksia tahtialueisiin ei osattu vaatia (H4, H5).

Tahtiaikataulun muuntojousto nähtiin heikompana kuin normaalin aikataulun, mutta isompien tahtialueiden nähtiin antavan aikataululle myös hieman joustavuutta, jos suunniteltua työjärjestystä alueen sisällä ei pystytty täysin noudattamaan (H6). Lisäksi tahtiaikataulun nähtiin edesauttavan aikataulussa pysymistä, koska mahdollinen jättäytyminen aikataulusta tulee nopeasti esille ja siihen on pakko reagoida (H6).

4. Tahtialueet ja eräkoko

Hankkeen eräkoon suunnittelu nähtiin haastavana, koska toistuvaa tilaa ei käytännössä ollut vaan kohde sisälsi laajalle levinneitä alueita vain muutamassa tasossa (H2). Täten työvaiheiden vaikutusalueet piti huomioida tarkasti ja eräkoon suunnitteluun käytettiin huomattavasti aikaa (H2). Eräkoko nähtiinkin pääosin sopivana (H1, H2, H3, H6), ja muutamat isommat kokonaisuudetkin nähtiin helpohkosti hahmotettavana (H3). Rakennuksen muodon ja monimuotoisuuden nähtiin kuitenkin toisinaan ehkä vähän vahingossakin aiheuttaneen liian isoja kokonaisuuksia (H4, H5). Se, että tahtialueet eivät olleet huoneiden tasolla vaan alueina, nähtiin kuitenkin positiivisena asiana (H6).

5. Aikataulupuskurit

Päivän tahdissa aikataulupuskurit tulivat selkeästi näkyville: tahtialueet olivat vähän eri kokoisia, joten työvaiheiden väleille syntyi niiden eri kestoista johtuvia puskureita. Mielipiteet puskureiden riittävyydestä vaihtelivat. Ne nähtiin osan vastaajien mielestä suhteellisen sopivina (H1, H2, H6), mutta puskureiden vaihteleva koko liian pienestä liian isoon nähtiin putkiurakoitsijan silmissä työkuormien tasaamisen ongelmana (H3). Vähäiset puskurit yhdessä isojen tahtialueiden kanssa aiheuttivat häntien jäämisiä (H4, H5, H6).

6. Varamestat

Yhtenä aikataulun ongelmana nähtiin varsinaisten varamestojen puute (H4, H5). Esimerkiksi sähköurakoitsijan edustaja totesi seuraavaa: ”Jos rakennuspuolelle tuli ongelmia, hankkeen vastaava mestari kyllä loi varamestaa eikä tekeminen loppunut, mutta oliko se täysin suunnitelmallista? – Kaikki tekeminen oli työmassasta pois, mutta se ei ollut järjestelmällistä tai suunniteltua.” (H4)

7. Tuotantosuunnitelmat

Suunnitteluun kiinnitettiin enemmän huomiota kuin tavallisesti. Päivän tahdin ja tahtituotannon käyttö oli suunnittelijoille aluksi kuormittavaa ja outoa, ja he olettivat, että koko suunnitteluprosessin etenemisjärjestystä pitäisi muuttaa (H1). Tähän vaikutti todennäköisesti suunnitteluorganisaation kokemattomuus tahtituotannosta, ja tästä päästiin lopulta yli (H1).

Suunnittelu aloitettiin vähän myöhässä, sillä lähtötietoja kerättiin ja suunnittelua tehtiin jonkin verran limittäin (H1). Tämä aiheutti muun muassa tekniikkareikien puuttumisen väliseinistä, joka aiheutti korjausliikkeitä suunnitelmiin (H1). Varsinkin alkuvaiheessa oli suhteellisen yleistä mennä muualle varamestoihin tekemään (H1), koska suunnitelmissa oli puutteita. Tosin varamestoihin jouduttiin turvautumaan myös myöhemmin (H3, H4, H5). Lisäksi esimerkiksi kerrosten keskinäistä järjestystä jouduttiin vaihtamaan. Jos suunnittelu olisi aloitettu vähän aiemmin olisi puutteet ehkä havaittu ja niihin ehditty reagoida paremmin (H1).

Yleisesti projektin suunnitelmat nähtiin hyvän (H1, H2, H3) tai vähintäänkin toteutuskelpoisen (H4, H5, H6) tasoisina varsinkin huomioiden kohteen kompleksisuus. Lisäksi suunnitelmien nähtiin olevan pidemmällä toteutusvaiheen alkaessa kuin putkiurakoitsijan edellisessä allianssikohteessa (H3). Suunnitelmien nähtiin vastaavan käytännön toteutusta hyvin ja olleen hyvin mallinnettuja, koska risteämiä tuli projektin laajuus huomioiden yllättävän vähän (H3), joskaan niitä ei ollut pystytty digimallista huolimatta täysin poistamaan (H3, H4, H5). Suurimmat yksittäiset risteämät johtuivat matkalaukkujärjestelmästä, joka suunnitelmista huolimatta ei sopinut suunnitellulle paikalle, ja konepajakuvien ollessa tuotannossa, oli muun talotekniikan väistettävä (H4, H5).

Pääasiassa projektin suunnitelmat saatiin valmiiksi aikataulussa (H1, H2, H3, H4, H5 H6), mutta se vaati runsaasti ohjausta ja valvontaa projektiorganisaatiolta (H2). Muutoksia suunnitelmiin tuli hankkeen kokoluokka huomioiden suhteellisen vähän: toki käyttäjä- ja tavoitehintamuutoksia tuli, mutta niitä oli haastatteluissa kerrotun perusteella vähemmän kuin vastaajien aiemmissa projekteissa (H4, H5). Resurssipulan takia suunnittelu oli kuitenkin aika ahtaalla (H1) ja vastausten saaminen olisi kestänyt, jollei työmaa olisi laittanut painetta suunnittelijoita kohtaan (H2). Tällöin vastaukset saatiin riittävän ajoissa, mutta suunnitelmien muutoksien toteutuksen koettiin

jääneen urakoitsijoiden harteille (H3, H4, H5). Varsinaista uutta suunnitelmaa ei siis useinkaan saatu, vaan urakoitsijan oli tyytyminen jonkinlaiseen skissiin ja punakynäkorjauksiin (H3, H4, H5). Suunnittelijoiden läsnäolon sekä allianssiurakan mahdollistaman suoran sopimusyhteyden koettiin mahdollistavan nopeamman reagoinnin muutoksiin (H1, H2, H3, H4, H5). Tämän koettiin myös pienentävän revisiokokoa (H4, H5), joka nähtiin urakoitsijoiden puolelta positiivisena asiana.

Suunnitelmien yhteensovitus oli hyvää, ja yleisesti yhteensovituksen nähdään yhteistoimintahankkeissa toimivan hyvin (H1, H2). Lisäksi kohteen mallinnuksen nähtiin auttaneen tässä (H2, H3). Tahtituotannon ei nähty merkittävästi vaikuttavan suunnitteluprosessiin muuten kuin tuottamalla hieman tahdistetumpia suunnitelmia pienempinä kokonaisuuksina (H1), jolloin myös revisiokoko pysyi pienempänä (H4, H5). Myös yksi vastaajista kertoi edellisen allianssikohteen suunnitelmien olleen paljon huonommalla tolalla toteutuksen alkaessa (H3).

3.3.2 Yhteistoiminta

Hankkeen allianssiorganisaatio oli suuri ja piti sisällään sekä erittäin kokeneita, että vasta aloittelevia asiantuntijoita. Koko hankkeen allianssin sisälle rakennettiin kaksi alihankinta-allianssia: infra-allianssi sekä talotekniikka-allianssi. Tällä pyrittiin varmistamaan paras mahdollinen ja innovatiivinen tietotaito erityisalojen töissä. Hankkeelle rakennettiin Big room-tilat, joissa työskentelivät niin alliansseissa kuin alihankinta-alliansseissa toimivat henkilöt. Tiloilla pyrittiin mahdollistamaan avoin tiedonvaihdon sekä työpajatyöskentely ja erillistapaamisia, kuten viikoittaisia last planner-kokouksia tai tahtikontrolleja. (Lindstedt ym., 2021)

Allianssin toimintamallit luotiin mahdollistamaan kaikkien hankkeen avainhenkilöiden osallistumisen yhteisiin tilaisuuksiin, ja esimerkiksi yhteinen kalenteri oli avoimesti nähtävillä ja jokainen viikko aloitettiin yhteisellä viikonavauksella. Sähköisten työkalujen käytöllä pyrittiin mahdollistamaan tiivis yhteistyö myös koronan aiheuttaman etätyön aikana. Sähköisen yhteistyön ei kuitenkaan koettu olleen sama asia kuin livenä käytävän keskustelun Big room-tiloissa (H4, H5). Lisäksi hankkelle luotiin yhteinen johtamisjärjestelmä, jossa päätöksenteko pyrittiin viemään mahdollisimman lähelle asiantuntijoita. (Lindstedt ym., 2021)

Suunnittelijat osallistuivat viikoittaiseen tahtikontrolliin, jossa käytiin läpi suunnittelutarpeet seuraavalle kolmelle viikolle. Päivittäisiin palavereihin suunnittelijat harvoin osallistuivat (H1). Suurimpana yksittäisenä positiivisena asiana nähtiin allianssimallin Big room-toiminta (H4, H5), jossa myös suunnittelijat olivat usein läsnä. Tämän ansiosta suunnittelijat kävivät tasaisin väliajoin työmaalla, jolloin heidän oli mahdollista käydä työmaakierroksella urakoitsijoiden edustajien kanssa. Suunnittelijoiden läsnäoloa ja mahdollisuutta kasvotusten käytävään keskusteluun pidettiin tärkeänä, ja tämän koettiin tuottavan ratkaisut ongelmiin nopeammin (H2).

Putkiurakoitsija (H3) näki yhteistoiminnan olevan onnistunutta varsinkin suunnittelijoiden ja toisten talotekniikkaurakoitsijoiden välillä. Suurimpana poikkeamana nähtiin tiedonvaihto rakennusteknisten töiden toteuttajien kanssa, joka aiheutti kahtiajakautumisen rakennus- ja talotekniikkatöiden välillä. Tähän yhtenä ratkaisevana syynä tilaajan taholta nähtiin puutteellinen tilannetieto (H2): ”Ilman tilannekuvaa, miten pystytään viestimään toiselle taholle, tai luotetaanko tähän viestintään, koska on yleisesti tiedossa, että tilannekuva on huono?” Tämä aiheutti sen, että työmiehet tai -porukat olivat väärässä paikassa väärään aikaan, aiheuttaen pahaa mieltä ja kärttyisyyttä eri osapuolille.

Toisena syynä tähän nähtiin rakennuspuolen muita heikompi osallistuminen tahtituotannon palavereihin (H3). Tämä saattoi johtua siitä, että rakennuspuoli ei ollut mukana tahtituotannossa, vaan sitä käytettiin vasta talotekniikka-asennuksissa. Lisäksi rakennuspuolen vastaavan mestarin koettiin olevan hieman vanhoillinen, ei niin kauhean yhteistoimintahenkinen (H4, H5) ja ”vahva” johtaja, jonka koettiin antaneen käskyjä osallistumatta yhteisiin kokouksiin tai päätöksentekoon (H3).

Lopulta tilannekuvan ongelmat eskaloituivat isoiksi ongelmiksi, koska työmaan nähtiin olevan huonosti johdettu ja miehiä pomputettavan. Pahimmillaan se aiheutti ”me vastaan noi”-asetelmaa heikentäen työmaan henkeä (H2). Yhteistyön pitäisi olla saumatonta, ja sitä jouduttiin hieromaan jopa johtoryhmätasolla, koska tilanne oli päässyt kärjistymään (H2).

3.3.3 Tahtituotannon toteutus

Hanke tapahtui kompleksisessa ympäristössä, jossa uusi osa yhdistettiin vanhaan osaan lentoaseman toimintojen ollessa koko hankkeen ajan käytössä. Rakennustöiden toteuttaminen tällaisessa ympäristössä vaatii hyvää yhteistyötä allianssin osapuolten ja lentoaseman eri toimioiden välillä. (Lindstedt ym., 2021)

Projektissa käytettiin laajasti ja monipuolisesti tietomalleja, joita hyödynnettiin lähes kaikissa sidosryhmäpalavereissa. Esimerkiksi vaativan rungon asentamisen seurantamalleissa esitettiin eri värein valmiit, aktiiviset sekä myöhässä olevat asennukset. Malleja käytettiin myös muun muassa useita suunnittelu- ja urakkarajapintoja sisältävien osien yhteensovituksessa. (Lindstedt ym., 2021)

Töiden etenemistä ohjattiin päivittäispalavereissa sekä viikoittaisissa tahtikontrolleissa. Päivittäispalavereissa läpikäytiin edellisten päivien tehtävät urakoitsijakohtaisesti, varmistettiin suunnitelmassa pysyminen sekä pyrittiin ratkaisemaan mahdollisia esteitä. Suuremmat ongelmat pyrittiin ratkaisemaan palaverin jälkeen, minkä lisäksi palavereista kerättiin palautetta niiden kehittämiseksi. (Lindstedt ym., 2021)

1. Tahdin seuranta

Tahdin seuranta koostui joka-aamuisesta 10–15 minuutin mittaisesta päivittäispalaverista sekä kerran viikossa pidettävästä laajemmasta tahtikontrollista. Aamun päivittäispalaverissa käytiin läpi yhden tai kahden seuraavan päivän töitä sekä mahdollisia esteitä aiemmilta päiviltä. Palaverin jälkeen lähdettiin yhteisille kierroksille työmaalle. Laajemmassa tahtikontrollissa parannettiin yhteistä tilannekuvaa sekä suunniteltiin hankintoja ja työmaan etenemistä. Siihen osallistuivat nokkamiehet, työnjohtajat sekä projektipäälliköt. Varsinaista estelokia ei tehty, koska sen päivitys koettiin haasteelliseksi, osittain koronan aiheuttamien etätöiden takia (H1).

Aikataulun seuranta toteutettiin paperisin vinjetein sekä sähköisin excel-taulukoin, johon merkittiin valmistuneet ja aloitetut työvaiheet. Tilaajan mielestä seurantalomakkeen pitäisi näytää suurin piirtein suoralta viivalta (H2), ja työvaiheiden tilanteen tulisi päivittyä reaaliaikaisesti (H2, H3). Tässä nähtiinkin olevan projektin suurin haaste (H2). Osittain, koska aikataulun seurantaan ei ollut mitään toimivaksi todettua sähköistä työkalua, tässä oli huomattavia viiveitä (H1), mutta myös päivän tahdin ja pienehkön eräkoon takia seuranta ei pysynyt aikataulun perässä (H1, H2). Pääurakoitsijan (H1) mukaan tarkka tilannekuva olikin enemmän viikoittaista kuin päivittäistä.

Usein kaikkia työvaiheita ei ollut merkitty, jolloin vinjetti ei ollut oikein, eikä se tuottanut ajantasaista tilannekuvaa, joka olisi mahdollistanut oikea-aikaisen reagoinnin (H3). Jos aamulla tai iltapäivällä merkityt muutokset eivät päivity esimerkiksi Big roomin seinälle, tai exceliin, aiheuttaa se kerrannaisvaikutuksia työntekoon (H3). Ilman päivittyneitä vinjettejä ”itseohjeutuvuutta” ei ole yhtä hyvin, vaan vastaavat työnjohtajat ja talotekniikan projektipäälliköt ja työpäälliköt joutuivat käymään tavoitteita läpi enemmän, koska aamupalavereiden vinjetit eivät olleet kurantteja (H2). Putkiurakotisijan toiveena olisikin sähköinen järjestelmä, jolloin merkinnät päivittyisivät automaattisesti kaikkiin tiloihin, jopa työmaan aamupalaverehin (H3).

Huolimatta vinjettiseurannan puutteista, tilaaja näki tiedon olevan henkilötasolla työnjohtajilla (H2). Työnjohdon tilannekuvan ongelmana oli kuitenkin vastaaminen useammasta vaunusta, mikä koettiin haitallisena eikä mahdollistanut niin tarkkaa seurantaa ja aiheutti sen, ettei työnjohdolla ollut aina täysin selkeää kuvaa etenemisestä (H1, H3).

Osallistuminen päivittäisiin palavereihin nähtiin aluksi aktiivisena, mutta aktiivisuuden nähtiin lipsuva ajan kuluessa ja vaatineen terästystä (H4, H5, H6). Sitä, johtuiko lipsuminen seurannan vaatineista resursseista, vai seurannan puutteellisuudesta, ei haastatteluista selvinnyt. Yhden vastaajan mielestä päivittäinen palaverikäytäntö oli ehkä turhankin tiuha, ja esimerkiksi joka toinen päivä olisi riittänyt (H6). Myös tarkan seurannan vaatimat resurssit nousivat esille (H3): ”Seuranta työllistää paljon enemmän kuin luullaan. Uudessakin allianssihankkeessa, johon osallistun ja missä on

tahtiaikataulu, ei tahdota ymmärtää kuinka paljon tarkka seuranta oikeasti sitoo resursseja.”

Ainoastaan tilaajan mukaan PPC-arvoa oli projektissa seurattu, mutta se oli ollut todella huono (H2). Sen ei myöskään pääurakoitsijan puolelta koettu soveltuvan tähän kohteeseen (H1). Putkiurakoitsijan mukaan työt kulkivat valitettavasti vähän jäljessä suunnitelmista ja siinä suhteessa seuranta olisi ollut hyvä, mutta heidänkin organisaationsa olisi ollut tähän liian pieni (H3). Huomiona hän toi esille sen, että lasketut työmenekit pitäisi olla kunnolla tallella, jotta niitä voisi verrata siihen mitä on oikeasti saatu aikaan (H3).

Tilaajan mukaan varsinainen analyysi siitä, mitä tehtiin, missä onnistuttiin ja missä olisi petrattavaa jäi muiden kiireiden alle, ja siten huonoille kantimille (H2). Hänen mukaansa tämä olisi pitänyt tehdä paremmin ja sen unohtuminen johtui ehkä osittain siitä, että kokonaisuutena hankkeessa pysyttiin aikataulussa (H2).

2. Töiden kulku

Työmaalla työt etenivät pääsääntöisesti hyvin ja perinteistä ”tulipalojen sammuttelua” suhteellisen vähän. Myös työmaan logistiikka sai osakseen kiitosta (H3). Tilaajan (H2) mukaan työmaalla pystyttiin pääsääntöisesti toimimaan aikataulun puskurien puitteissa. Tämän mahdollisti vahva projektinhallinta, jolloin reagointi oli nopeaa eikä eskaloitumisia tapahtunut. Myös resurssointiin ja työryhmiin puututtiin nopeasti. Ylitöitä ja ryntäyksiä tai viikonlopputöitä tehtiin vain vähän (H2, H3, H4, H5, H6). Painetta jouduttiin kuitenkin antamaan aika paljonkin urakoitsijoita kohden, jotta aikataulussa pysyttiin (H2).

Osittain toistuvien tilojen puuttuessa, ja esimerkiksi talotekniikan vaikutusalueiden ulottuessa useille tahtialueille, työn tekemistä jouduttiin sopeuttamaan kesken toteutuksen (H3, H4, H5, H6). Pääurakoitsijan mukaan työt eivät siis edenneet täysin tahdin mukaisesti, vaan ehkä enemmän kuten normaalilla työmaalla, eikä tahti aina näkynyt suorittamisessa (H1).

Pienen eräkoon ja isojen laajalle levinneiden alueiden nähtiin varsinkin LVI-puolella aiheuttaneen hankaluuksia (H3). Lisäksi syynä ongelmiin nähtiin urakoiden ulkoistaminen (H1). Pääurakoitsijan (H1) mukaan LVI-urakoitsija oli ulkoistanut urakoita huomioimatta tahtien keskinäistä järjestystä, jolloin aliurakoitsija halusi tehdä oman urakkansa resurssitehokkaasti, itselleen järkevästi, kerralla kuntoon, vaikka tahtiaikataulun mukaisesti työsuoritteiden välissä olisi ollut toisen tahdin vuoro. Toisaalta LVI-urakoitsija (H3) näki usean tahtialueen läpi ulottuvien vetojen ja runkolinjojen isoina kokonaisuuksina tekemisen syyksi useiden painekokeiden välttämisen. Käytännön tekemisessä on totuttu tekemään tietyllä tavalla ja pienemmissä kokonaisuuksissa tekeminen koettiin hankalaksi ja kustannuksia nostavaksi (H3).

Lisäksi huomiona nostettiin myös maksuerät: esimerkiksi väliseinäurakan maksuerät tulisi sitoa tahtialueisiin mielummin kuin prosenttiosuuksiin (H1). Toisinaan siis aliurakoitsijoiden sitotuminen tahtiaikataulun mukaiseen työtahtiin nähtiin ongelmana.

Sähköurakoinnissa pienen eräkoon ongelmana nähtiin järjestelmien toimivuuden varmistaminen. Isoa järjestelmää, kuten paloilmoitin-, turvakuulutus- tai merkkivalojärjestelmää ei voi käyttöönottaa eikä toimintaa varmistaa, ennen kuin koko verkko toimii. Myös talotekniikkaurakoitsija saattoi vaihtua liiketilan puolella, eikä töitä saatu loppuun ennen liiketilaurakoitsijan työvaihetta. Tämän lisäksi liiketilan vuokralaisten omat hankinnat olivat allianssin ulkopuolisia töitä. (H4, H5)

Pieni eräkoko yhdistettynä vähäisiin puskureihin ja muiden järjestelmätoimittajien yhteensovitukseen aiheuttivat paljon niin sanottujen ”häntien jäämisiä”, kun alueita ei päästy viimeistelemään ja tarkastamaan (H4, H5). Tahti tehtiin esimerkiksi siihen asti, että seuraavana vuorossa ollut liiketilaurakoitsija pääsi jatkamaan, mutta sitten jatkettiin kohti seuraavaa tehtävää. Vaikka vaunu olisikin haluttu valmiiksi, olisi lopullinen käyttöönotto- ja tarkastustoiminta jäänyt odottamaan sitä, että kaikki asennukset ovat valmiina. Tällöin alueella saattoikin olla jo uusi työryhmä tai -vaihe menossa. (H4, H5) Sama ongelma on esimerkiksi nousukaapeloinneissa, jolloin kattoja ei saisi laittaa umpeen, ennen kuin kaikki on asennettuna (H6). ”Häntien jääminen” tunnistettiin myös tilaajan (H2) ja pääurakoitsijan (H1) toimesta ongelmaksi, koska myös esimerkiksi väliseinänien tuplauslupaa annettaessa täytyy olla varma sisään asennettujen järjestelmien kelvollisuudesta. Lopulta aikatauluun tehtiin viimeistelyryhmä, jonka avulla paikat tehtiin kuntoon (H1).

Tahdin kestot saatiin määriteltyä työmenekkien avulla suhteellisen hyvin (H1). Varsinkin talotekniikkakumppaneiden kanssa keskustelua käytiin sopivasta työryhmäkoosta. Työnopeus olikin pääurakoitsijan (H1) mielestä melko hyvä ja oikea. Tässä ei kuitenkaan LVI-urakoitsijan (H3) mielestä täysin onnistuttu. Putkitöille oli heidän mukaansa varattu koko ajan liian vähän aikaa, ja vaadittu resurssitarve oli huomattava, yli 50 asentajaa (H3). Myös sähköurakoitsija joutui kasvattamaan resurssejaan merkittävästi tietyssä vaiheessa projektia (H4, H5). Näihin syynä oli tahtijunien päällekäisyys, jolloin miehiä oli useammassa paikassa samaan aikaan (H3). Lisäksi aivan kaikki järjestelmät eivät olleet tahtiaikataulussa, vaan sähköurakoitsijalla olikin 2–3 niin sanottua ”kiiremiestä” varsinaisten tahtitöiden lisäksi (H6).

Tate-urakoitsijat kykenivät toimimaan pääosin omien resurssien avulla (H4, H5, H6), mutta varsinkin LVI-urakoitsija (H3) joutui ulkoistamaan työvoimaa, joka aiheutti haasteita. Muutama aliurakoitsija piti vaihtaa, koska heidän työnsä laatu ei vastannut sovittua. Urakoitsijalle olisi helpompaa, jos vaaditut resurssit olisi onnistuttu tasaamaan paremmin, ja haastateltava 3 pohtikin, oliko tätä osattu ottaa huomioon kehitysvaiheessa.

Sähköurakoitsija kertoi pystyneensä vaikuttamaan tarvittavien resurssien määrään suunnitteluvaiheen tahtituotantoryhmässä, jolloin tarvittaessa vaunun pituutta säädettiin tai tehtiin muita muutoksia aikatauluun (H6).

Resurssien vaihtelu aiheuttaa haasteita sekä työntekijöiden että työnjohdon puolella (H6). Työteho monesti laskee hetkellisesti, kunnes uusi henkilö pääsee työtapojen ja -alueen tasalle. Lisäksi resurssien nosto ei loputtomiin riitä, koska työnjohdon resurssit eivät riitä valvomaan lisääntynyttä työmiesten määrää: työvoiman tyhjäkänti lisääntyy, kun väkeä ei saada johdettua yhtä hyvin (H3).

Congrid-tarkastusten koettiin antavan positiivisella tavalla painetta saada työt tehtyä ja tarkastukset kuitattua, mutta aikataulussa pysyminen vaati myös puskemista ja painetta ylempää (H1, H2). Sähköurakoitsija (H4, H5, H6) koki saaneensa päivittäistä kannustusta pysyä aikataulussa ja LVI-urakoitsija (H3) koki, että he joutuivat työskentelemään noin vuoden verran kovan paineen alaisuudessa. Varsinkin kiireisinä aikoina oli havaittavissa työmisten väsymistä ylitöihin ja työtehon laskua (H3). Molemmat talotekniikkaurakoitsijat kertoivat kuitenkin ylitöitä olleen huomattavan vähän suhteessa kohteen kokoon ja haasteellisuuteen (H3, H4, H5, H6).

Kaiken kaikkiaan työt etenivät tilaajan (H2) mukaan hyvin, ja jo puoli vuotta ennen valmistumista pystyttiin varmistumaan siitä, että kohde tulee valmistumaan viimeistään aikataulussa. Tämän lisäksi pystyttiin yhdessä toteamaan, ja sitoutumaan, eri osapuolten kanssa, että aikataulua voidaan kiristää kahdella kuukaudella (H1, H2). Tähän juurisyynä tilaaja (H2) näki tahtisuunnittelun ja hyvän työsuunnittelun tuoman varmuuden: jos työn tekemisessä olisi ollut suuria epävarmuuksia ei tällaista olisi pystytty tekemään.

3. Häiriöt

Työmaan yleisimmät häiriöt koostuivat aloitusedellytyksistä (H1, H4, H5) sekä työnaikaisista keskeytyksistä (H1, H3): joko sunnitelmat tai alue ei ollut valmis tai oli jonkinlainen yhteensovitusongelma. LVI-urakoitsija (H3) nosti keskeisimmiksi häiriöiksi työnaikaiset keskeytykset sekä samanaikaisen työskentelyn toisen työvaiheen kanssa, kun taas sähköurakoitsija (H4, H5) törmäsi työssään omien sanojensa mukaisesti ”perinteisiin rakennustyömaan murheisiin”, eli edeltävien työvaiheiden keskeneräisyyteen tai muuttuneeseen työjärjestykseen. Aloitusedellytykset eivät täyttyneet esimerkiksi väliseinien asennuksen jälkeen, kun talotekniikan reikäkierrosten oli määrä alkaa. Nämä oli unohdettu suunnitelmista, ja lopulta jouduttiin pallottelemaan urakoitsijoiden vastuista, että kenelle niiden merkkaus kuuluu.

Työjärjestyksestä poikettiin osittain urakoitsijan halusta ja osittain siksi, että työtehtäviä ei pystytty tekemään aikataulun mukaisessa järjestyksessä. Joitain huoneita oli myös suunniteltu väärässä järjestyksessä, tai ainakin tahtituotannolle epäoptimaalisessa järjestyksessä. Jälkimmäisen välttämiseksi kohde pitäisi pääurakoitsijan (H1) mukaan suunnitella tahtituotannolle

sopivaksi alusta alkaen. Poikkeamiset korostuivat sähköurakoitsijan (H4, H5) mukaan työmäärällisesti isoilla teknisillä alueilla, ei niinkään neliömääräisesti isoilla alueilla, ja niissä oli yhteensovituksen kautta päätetty vaihtaa työjärjestystä.

Työnaikaiset keskeytykset johtivat tilanteeseen, jossa uutta työtilaa oli etsittävä nopeasti, koska huomattava asentajien määrä olisi nostanut odotustuntien hintaa (H3). Myös näitä ongelmia oli eniten pienimmillä alueilla, joiden olisi pitänyt sujua juuri aikataulun mukaisesti (H3). Isommilla alueilla oli paremmin tilaa tehdä isompia kokonaisuuksia (H3). Lisäksi jo aiemmin mainittu varsinaisten varamestojen puute työllisti työnjohtoa, koska heidän oli etsittävä alue, jossa voitiin työskennellä aiheuttamatta ongelmia muille. Varsinkin rakennuspuolen törmättyä ongelmiin, talotekniikka siirtyi tahdista tai alueista riippumatta sinne missä tilaa oli (H4, H5). Vaikka vastaavan mestarin asenne yhteistoiminnallisuutta ja tahtituotantoa kohtaan saikin aikaan kritiikkiä, tunnustettiin hänen pitäneen projektin kokonaiskuvan ja työn tahdin yllä (H4, H5).

3.3.4 Laadunhallinta

Urakassa käytettiin MRL:n mukaista rakennuttajavalvontaa ja hanke toimi rakennuttajan omavalvonnan pilottihankkeena Vantaan rakennusvalvonnalle. Omavalvonnassa rakennusvalvonnan seurantakatselmuksia pidetään tavanomaista vähemmän, ja sitä vastoin allianssin yhteisia laadunvarmentamisen seurantakokouksia enemmän. Tahtituotannolla toteutettujen talotekniikkatöiden laadunvalvonta ja tarkastukset pilkottiin samoihin tahtituotantolohkoihin kuin toteutus, millä pyrittiin varmistamaan laadunvalvonnan tehokkuus sekä hyvä dokumentointi. Laadunvalvonnan edistymistä seurattiin kuukausittaisissa laaturyhmän kokouksissa, joihin myös rakennusvalvonta osallistui määrävälein. (Lindstedt ym., 2021)

Hankkeessa päätettiin, että allianssiurakassa ei ole erillistä valvontaorganisaatiota vaan kukin allianssin osapuoli vastasi oman osuutensa laadunhallinnasta ja raportoinnista (H2). Perinteisen valvojan ja hänen valvontasuunnitelmansa puuttuessa luotiin laadunhallinnalle oma prosessi, jossa urakoitsijan tehtävänä oli tarkastaa suunnitelmat, niiden laatutaso sekä toteutuskelpoisuus, ja prosessin aikana kehitettiin uusia tapoja raportointiin sekä poikkeamien käsittelyyn. Myös suunnitteluala vastasi suunnitelmien teknisestä laadusta, ja suunnitelmien yhteensopivuus varmistettiin alojen keskinäisissä palavereissa. (Lindstedt ym., 2021)

Tarkastusten ollessa ulkoistettu urakoitsijoille, esimerkiksi talotekniikan allianssin jäsenille, oli pääurakoitsijalla tarkoituksellakin pienempi organisaatio laatutarkastuksiin (H1). Sitä vastoin urakoitsijoiden laaduntarkastusorganisaatio oli huomattavasti tavanomaista isompi (H3, H4, H5, H6). Tällä nähtiin olevan myös etunsa, kun tietty henkilö pystyi erikoistumaan tiettyyn urakan osa-alueeseen (H6).

1. Laadunhallinnan toteutus

Toteutusvaiheesta eteenpäin laadunvarmistustoimenpiteet tehtiin urakoitsijavetoisesti. Laadunhallinnan työkaluna käytettiin Congrid-sovellusta ja siellä oleva laatumatriisi toimi laadunvarmistuksen konkreettisena perustana. Tarkastuslistaus piti sisällään tarkastukset ja niihin osallistuvat henkilöt ja lopulta suunnittelijan tehtävänä oli tarkastaa urakoitsijan työ ja tarkastuksesta tehtiin merkintä Congrid-sovellukseen. Rakennusosien työnaikaiset ja lopputarkastukset sekä muut katselmukset tehtiin sovellukseen, ja tarkastusraporttiin oli mahdollista liittää kuvia, jotka mahdollistivat myös piiloon jääneiden rakenteiden tarkastuksen. Tarkastusraportti kuitattiin vastuuhenkilön allekirjoituksella. (Lindstedt ym., 2021)

Tarkastuskierroksiin oli omat henkilönsä, jotka kiersivät päivittäin tekemässä havaintoja, ottivat kuvia ja tekivät tarkastuksia sekä puutelistoja (H3, H4, H5, H6). Näitä kuvia eri työvaiheista otettiin lukuisia, varsinkin piiloon jäävien rakenteiden osalta (H2). Tarkastusten lisäksi allianssilla oli niin sanottu laaturyhmä, ja laatupäällikkö, jotka seurasivat tarkastusten etenemistä kerran kuussa pidettävissä kokouksissa (H1). Tahdin tarkastusten kokonaismäärälle ei asetettu mitään tavoitemäärää, mutta tarkastusten kokonaismäärää seurattiin ja yritettiin pysyä selvillä, että kaikilta alueilta tuli tarkastuksia (H1). Pääurakoitsijan (H1) mukaan tarkastusten etenemää suhteessa alueisiin olisi pitänyt seurata: nyt osalla alueista tarkastukset tulivat jälkijättöisesti.

Tarkastukset oli sidottu tahtialueisiin ja niiden määrä oli suoraan suhteessa eräkokoon: mitä pienempi eräkoko, sitä enemmän tarkastuksia (H1). Siten tarkastuksia tuli suuri määrä, yli 5000 katselmusta, joka on pääurakoitsijan (H1) mukaan selkeästi enemmän kuin normaalisti. Normaalisti tarkastukset olisi tehty puolikkaasta kerroksesta, eli tarkastusten määrä olisi ollut noin kymmenen kertaa pienempi (H1). Toisaalta, koska tarkastuksia ja luovutuksia tehtiin koko ajan, tarjosi se kattavamman tiedon, paremman suoritusten todentamisen sekä työn laadun seurantaa. Lisäksi se pakotti urakoitsijan tekemään omavalvontaa ja pitämään luovutukset kunnossa (H2). Suuren tarkastusmäärän, kuten myös tarkan seurannan, työllistävä vaikutus oli kuitenkin huomattava, ja siitä saatiin paljon palautetta työnjohtopuolelta ja projektin laadunhallinta nähtiin urakoitsijoiden puolelta hyvin raskaana (H3, H4, H5, H6). Lisäksi tarkastusten suuri määrä tekee jälkikäteen tietyn tarkastuksen löytämisestä vaikeaa, vaikka toki lohkojen avulla sen pystyy löytämään (H1).

Huomattavan katselmusmäärän takia töitä ei aina tarkistettu jokaisen alueen jälkeen heti seuraavana päivänä, vaan niitä tarkistettiin myös isompina kokonaisuuksina (H1, H3, H6). Käytännössä tarkistuksiin varattiin siis yksi työpäivä tai useampi tunti (H1). Pääurakoitsijan (H1) mukaan tässä olisi ollut parantamisen varaa, mutta se olisi vaatinut lisäresursseja, eikä alueita sentään yhdistelty koko kerroksen osalta. Putkiurakoitsija (H3) myös myönsi,

että monia tarkastuksia saattoi jäädä tekemättä, tai ainakin paikkoja näkemättä, ja oli vain luotettava, että kaikki oli ok: toimihenkilöiden resurssointi suhteessa työvoiman määrään ei ehkä ollut riittävä jatkuvan tarkastamisen vaatimuksiin. Lisäksi myös suunnittelijan mukanaolon mahdollisuus kyseenalaistettiin jatkuvassa tarkastamisessa, koska hän tuskin olisi päässyt joka päivä paikalle (H1). Jokin digitaalinen työkalu olisi tämän voinut mahdollistaa, tai ainakin helpottaa asiaa. Myös tilaajan edustaja (H2) ymmärsi, että jatkuvalla tarkastamisella on hyvin suuri työllistävä vaikutus ja siten kehitykselle olisi varaa. Jokaikiselle työvaiheelle ei olisi ehkä välttämätöntä eikä tarkoituksenmukaista tehdä tarkastuksia, vaan tuotannon taso voitaisiin tarkastaa pistokoeluontoisilla tarkastuksilla, ja sitten mahdollisuuksien mukaan keventää tarkastuksia. Toisaalta hän painotti, että suuri tarkastusten määrä nähtiin tilaajan roolissa edelleen hyvänä asiana.

Huomattavan tarkastusmäärän lisäksi itse tarkastusten aikataulutus työvaiheiden väliin nähtiin ongelmallisena (H4, H5), ja osittain tämän takia tarkastajien määrää jouduttiin varsinkin sähköurakoitsijan toimesta lisäämään. Tilaajan (H2) mukaan suuren määrän kokeminen tarkoittaa käytännössä sitä, että tarkastuksia ei ehditä tekemään, joka kertoo ongelmasta sovittaa tarkastuksia aikatauluun. Lisäksi yhtenä tarkastusten haasteena nähtiin keskeneräisten järjestelmien tarkastuksen (H4, H5, H6): Jos järjestelmä on osittain tekemättä tai toiminnantarkastus pitämättä, miten se kuitataan tarkastetuksi? Esimerkiksi kaapelihyllyjen asentaminen ja tarkastus oli helppoa, mutta varsinkin sähköurakan isot järjestelmät nähtiin laatutarkastuksien kannalta haasteellisena (H6).

Rakennuttajan omavalvonta nähtiin hyvänä ja onnistuneena asiana (H1, H2, H3, H4, H5, H6). Tilaajan edustaja (H2) ei ole ylimääräistä valvontaa vastaan, ja toteaa sen olevan täysin perusteltua monessa kohteessa, mutta se, että kolmas osapuoli käy tarkistamassa on periaatteessa ylimääräistä. Myös pääurakoitsija (H3) oli samalla linjalla, huomauttaen, että ulkopuolinen kuittaaja ei välttämättä paranna laatua. Itselle tehty tarkistus nähtiin myös ehkä vähän motivoimampana kuin ”jonkun professorin valvonta selän takana”, kuten tilaajan edustaja (H2) luonnehti.

Tämän projektin lähtökohta oli se, että itse tehty vastaa laatutasolta vaadittua, eikä erillistä valvojaa koettu tarvittavan (H2). Itseluovutus ei asiana ole uusi (H3, H4, H5, H6), mutta useimmiten se tulee vasta urakkasuorituksen päätteeksi, kun taas kyseisessä hankkeessa luovutuksia tuli vähän väliä (H2). Ylipäätään oman työn tarkastus on putkiurakalle ominaista, ja se kuuluu heillä aina toimitukseen (H3). Haastateltava 3 kuitenkin koki, että tulevaisuudessakaan he eivät voi olla se taho, joka lopulta tarkastuksen hyväksyy. Sitä vastoin sähköurakoitsijan (H4, H5, H6) mukaan suuntaus kohti omaa valvontaa ja tarkastusta oli oikea. Tässä hankkeessa lopullinen hyväksyjä oli suunnittelija, ja yleisesti valittu ratkaisu nähtiin hyvänä, joskin putkiurakoitsija pohti, oliko suunnittelija kuitenkaan tähän oikea taho. Myöskään laadunvarmistuksessa käytetty Congrid-sovellus ei täysin taipunut tähän

toimintatapaan, vaan vaati valvojaksi nimetyn henkilön kuittauksen, ennen kuin tehtävän pystyi sulkemaan. Tämä aiheutti ylimääräistä turhaa työtä pääurakoitsijalle (H1).

2. Laadun onnistuminen

Rakentamisen laadun koettiin olleen erittäin hyvää kaikkien urakoitsijoiden (H1, H3, H4, H5, H6) sekä tilaajan (H2) mielestä. Myös rakennusvalvonta oli mukana laaduntarkastuskierroksilla joka toinen tai kolmas kuukausi, ja heidän kommenttinsa olivat hyviä: toteutukset olivat laadukkaita ja vastasivat hyvin asetuksien edellytyksiä. Toki pieniä yleisiä rakennustyömaan laatuongelmia oli, mutta suurempia ongelmakohtia ei ollut: ontelolaattojen onteloissa saattoi olla vettä ja virheitä sekä puutteita oli myös esimerkiksi putkiurakan palokatkoissa ja kannakoinneissa. Näiden syyksi putkiurakoitsija (H3) näki kiireen. Virheiden ja puutteiden määrä oli rakennuksen kokoon nähden kohtuullinen ja ne saatiin käyttöönoton aikana korjattua (H1). ”Kun terminaali otettiin lopullisesti käyttöön kaikki virheet ja puutteet oli korjattu”, kertoi pääurakoitsijan edustaja (H1).

Laatupoikkeamien osalta merkittävin tapaus liittyi suunnitelmien kehittämiseen: Kustannustasoltaan edullisempi ratkaisu oli valittu ajopihan liikuntasaumoihin ymmärtämättä sen kokonaisvaikutuksia. Ratkaisu oli täysin oikea ja periaatteessa tarkoituksenmukainen, mutta suunnittelija ei ollut ymmärtänyt, tai vaihtoehtoisesti hänelle ei ollut riittävän selvästi kerrottu, että ajopihan kunnossapito ei ole tavanomaista, vaan huomattavasti raskaampaa. Tässä olikin tilaajan (H2) mielestä ongelmana osaako tilaaja tai urakoitsija kyseenalaistaa, että ammattisuunnittelijan tekemä ratkaisu, joka on toiminut monessa aiemmassa kohteessa, ei toimisi tässä. Voidaankin pohtia, että pitäisikö tilaajan osata kyseenalaistaa suunnittelijan ammattitaitoa?

Pääurakoitsijan (H1) mukaan isojen hankkeiden ongelmana on suuri osapuolten määrä: kaikkia ei voi tai ehdi kuunnella eikä oikeanlaista tietoa osata aina antaa, jolloin joudutaan tekemään oletuksia. Vaihtoehtoisesti toinen ei osaa sanoa mitä haluaa, tai ei saada oikean henkilön mielipidettä. Tilat myös valmistuvat pitkän aikavälin aikana, jolloin prosessit tai asioista päättävät henkilöt voivat muuttua. Tässä hankkeessa tilaaja osasi antaa vaatimuksia hyvin, koska heillä oli oma nimetty käyttäjäyhteyshenkilö; allianssin yhteistyölle annettiinkin pääurakoitsijan suunnalta kiitosta. Tähän liittyen tosin sähköurakassa tehtiin tavoitehintakorotuksia, joissa esimerkiksi sisääntulon valaitusta lisättiin ja valaistusratkaisuita päivitettiin. Kyseessä ei ollut suoranainen virhe, koska ratkaisut oli tehty suunnitelmien mukaan, ne eivät vain toimiessaan miellyttäneet tilaajaa. Tällaiseen korjaamiseen käytettiin urakoitsijan mukaan paljon allianssin aikaa sekä rahaa (H4, H5).

Tilaajan (H2) mielestä laadukkaan tuotannon yhtenä mahdollistajana oli yhteinen sopimus ja suuren mittakaavan osaoptimoinnin puuttuminen, jonka mahdollisti allianssimuotoinen urakointi. Tahtituotannon vaikutuksia rakennuksen laatuun on vaikea arvioida, koska koko rakennus on yksi

kokonaisuus ja tahtituotantoa käytettiin vain sisävalmistuksen talotekniikka-asennuksissa. Pääurakoitsijan silmissä laadun nähtiin siis olleen samanlaista (H1). Toisaalta tahtituotannon perinpohjainen, ja etukäteen tehtävä työnsuunnittelu, vaiheistus ja toteutuksen suunnittelu nähtiin tilaajan (H2) mielestä olleen avainasemassa laadun tuottamisessa, mahdollistaen paremman hankinnan ja ennakoinnin. Myös sähköurakoitsijan (H4, H5) mielestä tahtituotannon käytöllä nähtiin olleen positiivinen vaikutus laatuun, ja tahtituotantoon panostaminen nähtiin kannattavana. Tahtituotannon käyttö ”pakotti urakoitsijan miettimään järjestelmällisyyttä, alueita yksi kerrallaan ja tarkastustoimintaa”, joilla nähtiin olevan positiivinen vaikutus laatuun (H4). Lisäksi hankkeesta opittiin paljon asioita, joita tahtisuunnittelussa ollaan viemässä eri tavalla eteenpäin (H4).

Huolimatta tarkastuksien ja seurannan haasteista, pääurakoitsija (H1) arvioi tarkastusten tulleen hieman nopeammin tahtituotannolla tehdyillä alueilla kuin muilla alueilla. Suuren tarkastusmäärän nähtiinkin vaikuttaneen laatuun positiivisesti (H3). Putkiurakoitsija (H3) näki heidän laatunsa olleen yhtä parhaista tai jopa parasta mitä on uransa aikana teettänyt. ”Ehkä se, että tarkistettiin moneen kertaan ja suunnittelijat olivat mukana, auttoi tähän”, hän totesi. Lisäksi omavalvonta pakotti seuraamaan omaa toteutusta pitäen sen luvatun tasoisena, ja sillä nähtiin olleen motivoiva vaikutus laadun tuottamiseen (H2, H6). Myöskään alueilla, joilla työvaiheita jouduttiin puskemaan, ei lopulta havaittu eroa laadussa, eikä suurien resurssimäärien nähty heikentäneen laatua (H1). Tilaajan (H2) mukaan suurimmat laatupoikkeamat aiheutuvat yleensä niin sanottujen tulipalojen sammuttelusta, joita tässä hankkeessa oli hyvin vähän. Toisaalta yksi sähköurakotsijan edustaja ei nähnyt tahtituotannolla laatuun vaikuttavia tekijöitä (H6).

Laadun kehitystä hankkeen aikana ei seurattu. Sähköurakoitsijan (H4, H5) mukaan asennusryhmät pyrkivät parhaansa mukaan parantamaan toimintaa saadun palautteen takia, mutta hanke monine erilaisine alueineen vaikeutti oppimista, koska seuraavalla alueella edessä oli omat haasteensa. Tilaajan (H2) mukaan isoin osa kehitystyöstä meni pilottihankkeen uusien prosessien ja toimintamallien harjoitteluun. Tästä mainittaessa hän kyllä totesi, että tätä olisi voinut hyvin tehdä.

3.3.5 Hyvät ja huonot puolet sekä kehitysehdotukset

Haastattelujen kehitysehdotuksista käy selvästi esille se, että kyseessä oli useimmille tahoille ensimmäinen tahtihanke (H1, H2, H3, H4, H5). Tahtituotanto nähtiin kuitenkin kokeilemisen arvoisena ja positiivisena asiana jatkossakin. Tahtituotannon ehdottomana hyvänä puolena nähtiin töiden ennakkoon suunnittelu (H2), joka nähtiin samalla myös projektin kehitysehdotuksena (H1). Hyvällä suunnittelulla mahdollistettaisiin tasainen resurssointi ja sopivan kokoiset sekä tuotantoa palvelevat alueet (H3, H6). Tahdin suunnittelu tulisikin aloittaa hyvin aikaisessa vaiheessa ja työsuunnissa tulisi huomioida tahdin toteutus (H1). Lisäksi aikataulu pitäisi toteuttaa niin, ettei työmaalla olisi liikaa kiirettä: Jos näyttää, että aikataulu ei suju, pitää tuoda

resursseja tai luoda puskureita (H6). Myös tahtiaikataulun tahtiajan tulee olla rakennustyömaalle järkevä: ”3 tunnin tahdilla ei edes maali ehdi kuivua”, luonnehti sähköurakoitsijan edustaja (H6).

Yhteisenä kehitysehdotuksena niin tilaajan (H2) kuin urakoitsijoiden (H1, H3) puolelta nähtiin tahdin seuranta: Työn etenemisen seuranta ja valvonta pitäisi olla etukäteen sovittu, ja sovittua tulisi noudattaa. Tämä on avainasemassa tilannekuvan luomisessa, jotta poikkeamiin voidaan reagoida. Juuri ajantasaisen seurannan ja tilannekuvan luomisessa oli tässä hankkeessa haasteensa. Vaikka seuranta viekin resursseja, piti putkiurakoitsija (H3) jatkuvaa kiertämistä ja tarkastusta hyvänä asiana; täytyy vain löytää tasapaino työkuorman ja tarkastusten määrän kanssa.

Tahtituotannon tulisi myös kattaa kaikki työlajit, niin talotekniikka kuin rakennuspuoli (H2). Tällä vältettäisiin me vastaan noi-ajatusmallia ja kuilua raksa- ja tate-miesten välillä (H2): ”Tahtituotanto ei saa olla vain yhden tahon asia”. Lisäksi talotekniikkapuolella nähtiin yleisenä rakentamisen ongelmana aloitusten viiveet, jotka ovat sähköurakoitsijan (H4, H5) mukaan menneet viimeisen 10 vuoden aikana huonompaan suuntaan. Tässä koko tuotantoa koskevalla tahtituotannolla nähtiin olevan asialle annettavaa, tuoden ongelmat nopeasti esille ja ylipäätään koko toimintaan ryhtiä: tahtituotanto ei salli aikataulun venyä (H4, H5, H6).

Vaikka hanke ei pääurakoitsijan (H1) mukaan mennytkään oppikirjamaisesti, oli heidän mukaansa kuitenkin hyvä nähdä, että tahtituotantoa voi käyttää myös kohteessa, joka ei sisällä paljon toistuvaa tilaa. Niin tilaajan (H2), pääurakoitsijan (H1) kuin osan aliurakoitsijoiden (H4, H5) mielestä hankkeen nähtiin opettaneen paljon prosesseja ja toimintamalleja, jotka helpottava seuraavaan hankkeeseen ryhtymistä: ”Kun kerran on tehnyt tällaisessa kohteessa, niin uskoisi, että voisi helpostikin viedä toistuvaa tilaa sisältävään hankkeeseen”, luonnehti pääurakoitsijan edustaja (H1).

4 Yhteenveto ja pohdinta

4.1 Tulosten arviointi ja pohdinta

Tahtituotantoa suunnitellessa tulee huomioida koko rakennus ja hanke kokonaisuutena. Vaikka projektin kaikkia vaiheita ei toteutettaisi tahtituotannolla, tulisi eri osapuolten osallistua aktiivisesti yhteisiin kokouksiin ja yhteistyön tulisi olla saumatonta ja yhteisen edun etsimistä (Park ym., 2010). Kuten Frandson ym. (2013) toteavat, kaikkien hankkeen osapuolten tulisi olla selvillä, yhtä mieltä ja sitoutuneita selkeisiin tavoitteisiin. Tutkimuksen kohteessa yhteistoiminta tahtiurakan sisällä toimi, joka tukee propositiota 6 (*”Tahtituotannon palaverikäytäntö mahdollistaa proaktiivisen toiminnan ja avoimen kommunikoinnin osapuolten välillä”*), mutta tiedonvaihto talotekniikkaurakoitsijoiden ja rakennusteknisten töiden kesken oli välillä ongelmallista. Lisäksi rakennusteknisten töiden työnjohtajat osallistuivat muita heikommin yhteisiin tahtipalavereihin. Jha ja Iyer (2006) nostavatkin projektinjohtajan osaamisen ja vuorovaikutuksen yhdeksi laadun onnistumisen kulmakivistä. Vastaavasti projektiosapuolten välliset ristiriidat, vihamieliset olosuhteet sekä tiedonpuute vaikuttavat negatiivisesti rakentamisen laatuun (Jha & Iyer, 2006). Tutkimuksen valossa voisi olla edullista, jos koko hanke, niin rakennus- kuin talotekniikka olisi tahtituotannossa mukana, tai ainakin osallistuisi yhteisiin palavereihin aktiivisesti rakentavassa hengessä.

Tahtisuunnittelu tulee aloittaa hyvissä ajoin: huolimatta siihen panostetusta ajasta, tutkimuksen kohteessa se aloitettiin haastattelujen perusteella liian myöhään. Itse tahtituotanto ei vaikuttanut suunnitteluprosessiin merkittävästi, mikä ei tue propositiota 2 (*”Tahtisuunnittelu parantaa tuotantosuunnitelmia ja mahdollistaa riittävän työskentelyajan laadun tekemiseksi”*). Niin tutkimuksen kohteessa kuin Frandsonin ym. (2013) tutkimuksessa havaittiin, että tahtisuunnittelun tekeminen saattaa tuntua suunnittelijoista aluksi kuormittavalta. Lisäksi tahtihankkeen kaikki osapuolet olisi hyvä saada mukaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jolloin he pääsevät osallistumaan suunnitteluun vaikuttaen eräkokoon ja resursseihin. Urakoitsijoiden välinen keskustelu työskentelytavoista, mahdollisista pullonkauloista sekä projektia tukevista ratkaisuista on keskeisessä asemassa tahtisuunnittelussa (Frandson ym., 2013). Esimerkiksi Seppänen ym. (2020) havaitsivat, että asentajista ja nokkamiehistä koostuvat työryhmät osasivat arvioida tarvittavat työmenekit huomattavasti projektinjohtajia paremmin. Tutkimuksen valossa tahtisuunnittelu saattaa auttaa tuottamaan hieman tahdistetumpia ja valmiimpia suunnitelmia pienempinä kokonaisuuksina, mikä taas osittain tukee propositiota 2 (*”Tahtisuunnittelu parantaa tuotantosuunnitelmia ja mahdollistaa riittävän työskentelyajan laadun tekemiseksi”*).

Larsenin ym. (2016) mukaan sekava tai puutteellinen suunnittelu sekä dokumenttien virheet ja epäjohdonmukaisuudet ovatkin kaksi viidestä merkittävimmistä rakentamisen laatuun vaikuttavista tekijöistä. Riekki ym. (2023)

havaitsivat lyhyen tahtiajan vaatineen tavanomaisesta poikkeavan suuria suunnitteluresursseja. Siksi suunnitteluorganisaatio tulee mitoittaa hankkeelle sopivaksi, jotta muutoksiin ja päivityksiin pystyttäisiin vastaamaan nopeasti. Muuten korjaava työvaihe on helposti tehty pelkän työnjohtajan tekemän punakynäkorjauksen perusteella. Nopealla reagoinnilla myös revisiokoko pysyy pienenä ja hallittavana. Myös Frandson ym. (2013) havaitsivat tahtituotannon päivittäisjohtamisen vaatineen tavallista enemmän tukea suunnitteluosastolta.

Ilman toistuvia tiloja ja isoja hallitiloja sisältävä kohde ei ole tahtituotannolle optimaalinen, mutta tahtituotannolla voidaan selkeyttää alueiden hahmotusta. Esimerkiksi Grönvall ym. (2021) saivat parannettua isojen alueiden hahmottamista aluemerkintöjen ja muiden visuaalisten työkalujen avulla. Lisäksi Binninger ym. (2018) onnistuivat implementoimaan tahtituotantoa isoon tilaan, josta tarkan prosessien, ajan ja alueiden jaon jälkeen oli löydettävissä toistoa. Tässä tutkimuksessa, jonka kohdehanke sisälsi suuria alueita, alueittain jaetut tahtialueet koettiin yksittäistä huonejakoa paremmin toimivaksi.

Eräkoon suunnittelussa tulee huomioida laajalle levinneet alueet ja työvaiheiden vaikutusalueisiin tulee kiinnittää tarkkaa huomiota suunnitteluvaiheessa. Laajoissa työmäärältään erisuuruisissa alueissa on tahtituotannolla mahdollista saada suurta aikataulusäästöä, mutta resurssien tasaamiseksi varamestoihin on kiinnitettävä huomiota (Dlouhy ym., 2019; Seppänen, 2014). Varamestat tuleekin suunnitella, jolloin vältetään epäoptimaalinen, ja usein laatupoikkeamia aiheuttava ”tulipalojen sammuttelu” sekä työmiesten ”kiireisenä pitäminen”. Tahtituotanto vaatiikin huomattavan määrän varamestoja työmäärän tasaamiseksi vähemmän kiireisinä aikoina (Seppänen, 2014). Tutkimuksen kohteessa varamestojen puute työllisti muutenkin kiireistä työnjohtoa, joka yritti parhaansa mukaan pitää miehet töissä aiheuttamatta ongelmia muille. Tämä havainto ei tue propositiota 2 (*”Tahtisuunnittelu parantaa tuotantosuunnitelmia ja mahdollistaa riittävän työskentelyajan laadun tekemiseksi.”*).

Resurssoinnin takia aikataulu tulisi suunnitella niin, että työmäärät olisi tasattu alueiden välillä (Frandson ym., 2013). Tutkimuksen kohteessa tässä ei ollut täysin onnistuttu, ja pahimpana kiireaikana oli useita päällekäisiä työvaiheita, jotka aiheuttivat merkittävän resurssien määrän kasvun. Tämä aiheuttaa kerrannaisvaikutuksia, sillä lisääntyneen työvoiman johtamiseksi on kasvatettava myös työnjohdon resursseja. Tämän lisäksi työvoimaa joudutaan usein ulkoistamaan. Näillä molemmilla on vaikutus myös rakentamisen laatuun sillä työnjohtoresurssit eivät välttämättä riitä kasvaneen työvoiman tarpeisiin ja ulkoistetut resurssit usein laimentavat työryhmän kokemusta ja laskevat sen tehokkuutta, ainakin hetkellisesti (Cass, 1992; Park ym., 2010). Resurssoinnin ongelmat eivät tue propositiota 2 (*”Tahtisuunnittelu parantaa tuotantosuunnitelmia ja mahdollistaa riittävän työskentelyajan laadun tekemiseksi.”*).

Yhden päivän tahti on rakennushankkeelle suhteellisen lyhyt. Lyhyt tahtiaika ja siten pienentynyt eräkoko aiheuttaa kerrannaisvaikutuksia lisääntyneen seurannan ja katselmusten muodossa (Dlouhy ym., 2019; Lehtovaara ym., 2021). Kaiser (2013) suositteleekin viikon tahtia ja pitää kahden päivän tahtia miniminä rakennushankkeissa huomioiden käytännön toteutettavuus sekä rajoitukset. Toisaalta lyhyen tahtiajan käytön toteutettavuutta on aiemminkin kyseenalaistettu, mutta myöhemmin sen onkin havaittu olevan menestyksen avaintekijä (Riekki ym., 2023). Jos halutaan toteuttaa lyhyt tahtiaika ja tarkka seuranta, tulee tämä tutkimuksen valossa huomioida hyvissä ajoin työmaan esihenkilöiden resurssoinnissa. Täten lyhyen tahtiajan käyttö myös saattaa lisätä työmaan kustannuksia. Toisaalta tuotannon onnistuessa lyhentynyt rakennusaika myös lyhentää tarvittavien resurssien tarvetta, jolloin työmaan hallintoon käytetyt kustannukset voivat pysyä samana (Lehtovaara ym., 2021). Havainnot tukevat propositiota 4 (*”Pienet tahtialueet pienentävät tuotannon eräkokoa ja parantavat työn seurantaa”*), vaikka seurantaa ei täysin onnistuttukaan tekemään päivittäin.

Työmaalla tulee olla tarkka tilannekuva, joka mahdollistaa oikea-aikaisen reagoinnin, mutta myös oikean kommunikoinnin sekä yhteistyön. Paperiset vinjetit tai excel-taulukot eivät tutkimuksen mukaan toimi, koska tieto ei päivitty reaaliajassa useampaan paikkaan. Myös työnjohdon resurssointi on seurannan ja tilannekuvan luomisen ongelmana, jos sama henkilö vastaa liian useasta asiasta. Puuttellinen tilannetieto aiheutti tutkimuksen kohteessa huonoa viestintää, joka lopulta eskaloitui isoiksi ongelmiksi, joita ratkottiin jopa johtoryhmätasolla. Tämä ei tue propositiota 4 (*”Pienet tahtialueet pienentävät tuotannon eräkokoa ja parantavat työn seurantaa”*). Howesin (2000) mukaan rakennusprosessissa ratkaisevia tekijöitä ovat tiimityöskentely ja tehokkaiden koordinointi ja kommunikointimekanismien luominen sillä ne auttavat työntekijöitä määräaikojen sekä virstainpylväiden noudattamisessä uhraamatta tuottavuutta tai työn laatua. Tilannekuvan ylläpitämiseksi tulisi käyttää sähköisiä työkaluja, jotka mahdollistaisivat ajantasaisen tiedon kaikkiin asianmukaisiin paikkoihin. Tämä mahdollistaisi myös työntekijöiden itseohjautuvuutta (Reinbold ym., 2020).

Palaverikäytännön tulee olla selkeä ja palavereiden määrän tulee olla kohtuullinen, jotta niiden osallistumisaktiivisuus pysyy korkeana. Myös tarkka tilannekuva linkittyy palavereihin: palavereiden pitää olla osapuolille hyödyllisiä. Big room-toiminta laskee organisaation hierarkiaa, parantaa vastuullisuutta ja mahdollistaa urakoitsijoiden välisen nopean ja avoimen keskusteluyhteyden, mikä nopeuttaa päätöksentekoa (Temel ym., 2019). Lisäksi Temel ym. (2019) havaitsivat kasvokkain käydyn kommunikoinnin vahvistaneen yhteistyöympäristöä sekä fyysisessä kontaktissa olevien työntekijöiden motivaatiota. Erinäisistä etäyhteyksistä huolimatta kasvokkain käytävä keskustelu ja työmaalla kiertely nähdään hankkeelle myös tämän tutkimuksen valossa edullisena. Lisäksi myös suunnittelijoiden läsnäolo työmaalla säännöllisin väliajoin voi auttaa ratkaisemaan ongelmia. Havainnot tukevat

propositiota 6 (*”Tahtituotannon palaverikäytäntö mahdollistaa proaktiivisen toiminnan ja avoimen kommunikoinnin osapuolten välillä”*).

Töiden pitäisi edetä tahtisuunnitelmien mukaisesti. Tahtituotannosta huolimatta työmaalla ei perinteisiä rakennustyömaan murheita ollut onnistuttu kitkemään, vaan puutteellisia aloitusedellytyksiä, työnaikaisia keskeytyksiä ja muuttuneita työjärjestyksiä oli edelleen. Esimerkiksi useille alueille ulottuvat vedot ja runkolinjat aiheuttavat hankaluuksia tahtialueiden rajojen noudattamisessa. Niiden noudattaminen lisää tarkastavien työvaiheiden määrää ja se nähdään urakoitsijoiden puolesta epäedullisena, koska tietyt kokonaisuudet on totuttu tekemään kerralla, vaikka tahtiaikataulun mukaan ne kuuluisi jakaa osiin. Havainnot eivät tue propositiota 1 (*”Tahtituotanto parantaa tuotantojärjestelmää, mikä parantaa laatua”*).

Niin tämän kuin myös Lehtovaaran ym. (2019) tutkimuksen mukaan urakoitsija haluavat usein työskennellä itselleen resurssitehokkaasti ja aliurakoita ei aina kilpailuteta tahtitalueet huomioiden: aliurakointisopimuksissa tulisi huomioida tahtialueet ja niiden keskinäinen järjestys. Kuten myös Lehtovaara ym. (2019) havaitsivat, maksuerät kannattaisi sitoa tahtialueisiin eikä prosenttiosuuksiin, jolloin aliurakoitsijat saadaan paremmin sitoutettua tahtialueiden mukaiseen työskentelyyn. Lisäksi aliurakoitsijat ovat usein mukana monissa eri urakoissa samaan aikaan, jolloin oman työskentelyn helpottamiseksi heille on tyypillistä tehdä yksi työmaa nopeasti valmiiksi aikatauluun nähden ylisuurella työvoimalla vasta kun riittävästi alueita on vapaana (Valente ym., 2013).

Tahtijunan liike aiheuttaa urakoitsijalle painetta työn suorittamiseksi tietyssä ajassa, jolloin haastatteluiden perusteella työt saattavat esimerkiksi jäädä kesken toiseen vaunuun hypätessä. Tahtijunan liikkeen sekä esimiesten aiheuttama aikataulupaine on omiaan lisäämään virheitä ja oikomista sekä työjärjestyksestä poikkeamista (Nepal ym., 2006; Park ym., 2010). Kovan paineen alainen työskentely väsyttää työvoimaa, ja tahtiaikataulun sekä tarkastusten itsessään aiheuttaessa positiivista painetta, tulee projektinjohdon harkita omia toimenpiteitään tarkkaan, jottei urakoitsijoille aiheuteta liikaa painetta tai kiireen tunnetta. Havainnot tukevat osittain propositiota 5 (*”Ylitöitä ja ryhmäkoon muutoksia tulee välttää hyvän laadun takaamiseksi”*).

Isojen järjestelmien toiminnan varmistaminen on ongelmallista ennen koko verkon valmistumista. Nämä aiheuttavat huomattavaa viivettä viimeistelevien työvaiheiden toteutuksessa, ja siten niin sanottujen häntien jäämisiä. Työjärjestyksestä poikkeaminen aiheuttaa häiriöitä työn virtaukseen ja voi pahimmillaan johtaa huomattaviin laatuvirheisiin (Alhava ym., 2019). Tahtisuunnitelmiin voikin olla edullista suunnitella ns. viimeistelyryhmä, jonka avulla nämä vaiheet saadaan tehtyä suunnitelmallisesti.

Pieni eräkoko aiheuttaa valtavan määrän tarkastuksia, joskin kerralla tehtävät tarkastuskokonaisuudet ovat pienempiä. Toisaalta se ohjaa urakoitsijaa tekemään omavalvontaa ja pitämään luovutukset kunnossa, mutta se kuluttaa huomattavasti resursseja. Binningerin ym. (2018) mukaan pienentynyt eräkoko, ja siten tihentynyt laadunvarmistus voi parantaa rakennusprosessia sekä rakentamisen laatua. Myös Heinonen ja Seppänen (2016) havaitsivat lyhyen tahtiajan ja pienen eräkoon vähentäneen laatuvirheiden määrää huomattavasti. Tutkimuksen mukaan hyvän tilannekuvan ylläpitämiseksi tarkastusten etenemää tulee seurata suhteessa alueiden etenemään, koska muuten on todennäköistä, että tarkastuksia tehdään jälkijättöisesti. Huomattava katselmusmäärä ja tarkastusorganisaatioiden resurssointi aiheutti tutkimuskohteessa sen, että katselmuksia tehtiin isompina kokonaisuuksina, jolloin niihin varattiin kokonainen työpäivä tai useampi tunti. Lisäksi tiukahkossa tahtiaikataulussa tarkastusten sovittaminen työvaiheiden väliin nähtiin haasteellisena. Nämä havainnot eivät tue propositiota 3 (*”Tahtituotanto johtaa välittömään palautteeseen, mikä puolestaan parantaa laatua”*). Vaikka urakoitsijoiden organisaatio olisi kyennyt tekemään tarkastuksia päivittäin, kyseenalaistettiin suunnittelijan mahdollisuus osallistua niihin jatkuvasti. Tämän mahdollistamiseksi tulee tiheä tarkastustoiminta huomioida resurssoinneissa tai siihen tulee valjastaa jokin digitaalinen työkalu, jolloin kaikkien henkilöiden fyysinen läsnäolo ei ole pakollista. Tutkimukseen osallistuneet myös pohtivat voisiko tarkastusten määrää keventää, jos aluksi tuotannon taso varmistetaan pistokoeluontoisilla tarkastuksilla. Sacksin (2016) mukaan hyvän tuotannon virtauksen edellytyksenä onkin ylimääräisen tuottamattoman toiminnan minimoiminen, ja yksi näistä toimista on tarkastaminen.

Rakennuttajan omavalvonta oli tutkimuksen valossa onnistunut: sekä tilaaja ja urakoitsijat että rakennusvalvonta olivat projektiin tyytyväisiä. Laaduntarkastusten ulkoistamisessa urakotsijoille koettiin onnistuneen. Se nähtiin kannustavana ja työskentely oman valvonnan alla nähtiin motivoivana, ja kolmannen osapuolen tarkastus nähtiin periaatteessa ylimääräisenä. Myös Nielsen ja Thomassen (2004) käyttivät yhdessä tutkimuksensa kohteessa laadunhallintaa, jossa jokainen urakoitsija teki oman tarkastuksensa ennen siirtymistä seuraavaan tehtävään, jolloin tiukasta aikataulusta huolimatta laatu ei kärsinyt. Toimintatapa on kuitenkin tämän tutkimuksen mittakaavassa urakoitsijoille uutta, ja he eivät välttämättä osaa huomioida tarvittavia resursseja suunnittelussa. Lisäksi onnistuakseen se vaatii kurinalaista työskentelyä sekä toimivan laadunhallintajärjestelmän. Laaduntarkastusten ulkoistaminen urakoitsijalle onkin ehkä yksi Roundsin ja Chin (1985) toivomista keinoista kasvattaa työntekijän sisäistä motivaatiota laadun tekemiseen. Omavalvonnan ongelmana on kuitenkin tarkastusten kuittaus, koska toiset urakoitsija näkevät edelleen, että lopullinen hyväksyntä asennuksille pitää tulla joltain toiselta taholta. Tällainen ominaisuus on myös edelleen käytetyissä sähköisissä työkaluissa, joiden kehitys on siis hieman jäljessä.

Rakentamisen laadun nähtiin tutkimuksen kohteessa onnistuneen erittäin hyvin, ja virheiden ja puutteiden määrän nähtiin olleen rakennuksen kokoon ja monimuotoisuuteen nähden hyvin kohtuullinen. Ne myös saatiin korjattua ennen lopullista käyttöönottoa. Tämän voidaan nähdä tukevan propositiota 1 (*"Tahtituotanto parantaa tuotantojärjestelmää, mikä parantaa laatua"*). Tahtituotannosta huolimatta kiire aiheuttaa virheitä ja uudelleen tekemistä: tiukka aikataulu suunnittelussa aiheutti muun muassa talotekniikan reikien puuttumisen suunnitelmista. Tutkimuksen valossa isojen hankkeiden ongelmana on suuri osapuolten määrä, jolloin kaikkia ei voi tai ehdi kuunnella, ja tämän takia joudutaan tekemään oletuksia. Lisäksi aina ei osata kertoa mitä halutaan tai asioista päättävät henkilöt vaihtuvat pitkän projektin aikana. Tutkimushankkeessa isoimmiksi ongelmiksi nähtiin suunnittelussa tehtyjen tiettyjen ratkaisuiden soveltumattomuus, jonka juurisyynä oli suunnittelijan ymmärrys tai tiedonvaihto tilaajan ja suunnittelijan välillä, jolloin valittu ratkaisu ei ollut olosuhteisiin soveltuva. Toinen korjaus liittyi tavoitehintakorotuksiin, koska suunnitelmien mukaiset ratkaisut eivät miellyttäneet tilaajan silmää. Jäi epäselväksi, olivatko nämä ratkaisut onnistuttu luonnostelemaan arkkitehtien toimesta riittävän hyvin. Huolimatta syystä, ovat toiminnallisuus, vaatimuksenmukaisuus sekä asiakkaan toiveiden täyttäminen laadun keskiössä (Arditi & Gunaydin, 1997).

Allianssituotanto ja siten yhteinen sopimus nähtiin laadukkaan tuotannon mahdollistajana suuren mittakaavan osaoptimoinnin puuttuessa. Tahtituotannon vaikutuksia rakennuksen kokonaislaatuun on tutkimuksen valossa vaikea arvioida, koska rakennus on kokonaisuus, ja tahtituotantoa käytettiin vain sisävalmistuksen talotekniikka-asennuksissa. Pääurakoitsijan mielestä rakentamisen laatu oli samalla tasolla muiden vastaavien kohteiden kanssa, mutta tahtisuunnittelulla nähtiin myös olleen hyötynsä: tarkastusten ja seurannan haasteista huolimatta, tarkastukset tulivat tahtituotannon alueilla nopeammin kuin muilla aluilla, ja suuren tarkastusmäärän nähtiin parantaneen laatua, minkä voidaan nähdä osittain tukevan propositiota 3 (*"Tahtituotanto johtaa välittömään palautteeseen, mikä puolestaan parantaa laatua"*).

Sekä tilaaja, että aliurakoitsijat olivat yhtä mieltä siitä, että tahtituotanto pakotti urakoitsijan miettimään järjestelmällisyyttä, alueita yksi kerrallaan ja tarkastustoimintaa. Näiden kaikkien nähtiin vaikuttaneen laatuun positiivisesti. Hankkeen nähtiin opettaneen paljon uusia prosesseja ja toimintamalleja, ja tahtituotanto nähtiin kokeilemisen sekä jatkokehityksen arvoisena.

4.2 Tutkimuksen arviointi ja rajoitteet

Laadullisen tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttaa olennaisesti tutkimusprosessin kokonaisuus, analyysi sekä tutkijan rehellisyys (Vilkka, 2021). Tutkijan kokemus aiheesta perustuu kirjallisuuteen sekä aikaisempaan erikoistyöhön aihepiirin läheltä. Nämä omat kokemukset ja ennakkokäsitykset vaikuttavat tutkimuksen luotettavuuteen, ja se tuleekin ymmärtää ja pystyä hyödyntämään tutkimuksen eduksi. Etenkin analyysivaiheessa tutkijan tulee

pysytellä aineiston antamissa tutkittavien kokemuksissa ja käsityksissä, eikä kuvata omia kokemuksiaan. Haastatteluiden analyysivaihe suoritettiin lähes ilman katkoksia lähellä haastatteluiden ajankohtaa, mikä lisää tutkimuksen luotettavuutta. Lisäksi haastatteluiden nauhoittaminen mahdollisti tutkijan palaamisen haastatteluiden sisältöön, joka mahdollisti johtopäätöksien ja tulkintojen tarkastamisen sekä uusien merkitysten ja näkökulmien löytymisen. Tutkimus on suoritettu itsenäisesti yhden henkilön toimesta ja mukana on tutkijan omia johtopäätöksiä, joten tutkimuksen riippumattomuutta ei voi taata. Tutkijan oman subjektiivisen tietämyksen vaikuttaessa laadullisen materiaalin keräämiseen ja tulkintaan, on tulosten toistettavuus sellaisenaan vaikeaa.

Tutkimus pohjautuu vain yhden kohteen laadulliseen tietoon. Kaiken hyödynnetyn tiedon tullessa kirjallisuustutkimuksesta ja henkilöstön haastatteluista sekä oman rakennusaikaisen havainnoinnin puute asettavat tuloksien hyödyntämiselle rajoituksia, koska suora tieto työmaan tapahtumista puuttuu. Tutkimuksen lähestymistavan, tapaustutkimuksen, johdosta kaikki tiedot koottiin yhdestä kohteesta, mutta tulokset yleistettiin koskemaan myös muita vastaavia hankkeita. Kaikki hankkeet ovat kuitenkin yksilöllisiä, jolloin tutkimuksen tekohetken olosuhteet vaikuttavat tutkimuksen tuloksien luotettavuuteen ja toistettavuuteen. Lisäksi haastattelututkimuksissa kerätyssä tiedossa on aina mukana haastateltavan oma näkemys ja mielipide, joka tulee huomioida tietoa käytettäessä.

Kirjallisuustutkimuksessa rakentamisen laatukäsitteisiin sekä rakennustyömaan laatutoimintoihin olisi voinut perehtyä paremmin esittäen kansallisesti käytössä olevia maankäytön- ja rakennuslain (MRL) pykäliä sekä yleisiä sopimusehtoja (YSE). Haastatteluissa käytetty kysymysrunko myös sisälsi liikaa kysymyksiä liittyen itse tahtituotantoon ja aikataulun tekemiseen eikä niinkään rakentamisen laatuun, joten sitä olisi voinut vielä parantaa. Toisinaan myös kahteen hieman erilaiseen kysymykseen tuli käytännössä samoja vastauksia.

Tutkimuksessa esiin nousseet hyödyt tai haitat voivat johtua tahtituotannon lisäksi monista muista tekijöistä, varsinkin kohteen toisesta erikoispiirteestä, yhteistoimintamuotoisesta allianssiurakasta. Siten tahtituotannon mahdollisesti tuomia etuja ei voida eristää muusta ympäristöstä taikka sen vaikutuksista. Tutkimuksen tuloksia arvioitaessa on myös kriittisesti tarkasteltava, millä tasolla toteutunutta tuotantomenetelmää voidaan pitää tahtituotantona, sillä haastatteluiden valossa tuotanto ei edennyt täysin suunnitelman mukaisesti, eikä tahti näkynyt aina kunnolla suorittamisessa. Lisäksi haastattelut toteutettiin merkittävästi kohteen valmistumisen jälkeen, jolloin ajalla on tyypillisesti tapana kullata muistot.

5 Johtopäätökset ja jatkotutkimusaiheet

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tahtituotannon vaikutuksia toimivan tuotantojärjestelmän luomisessa sekä pienentyneen eräkoon vaikutuksia laadunvarmistukseen ja siten ymmärtää tahtituotannon laadunvarmistusta ja siihen mahdollisesti liittyviä haasteita. Edellisessä osiossa on jo vertailtu kirjallisuuskatsauksen ja haastatteluiden tuloksia. Seuraavaksi vastataan tutkimuskysymyksiin tämän tutkimuksen haastatteluiden perusteella.

Tutkimuskysymys 1: Miten tahtituotanto mahdollistaa toimivan tuotantojärjestelmän ja siten laadun tuottamisen?

Hankkeen osapuolten kanssa yhteistyössä toteutettu suunnittelu mahdollistaa suunnitelmien kehittämisen (H2) ja vaikuttamisen tarvittaviin resursseihin (H6). Siten suunnitelmat ovat valmistuessaan hyvin toteutuskelpoisia ja ne saadaan aikataulussa (H1, H2, H3, H4, H5, H6). Lisäksi tuotetut suunnitelmat ovat paremmin tahdistettuja ja valmiimpia, niitä saadaan pienempinä kokonaisuuksina (H1) ja suunnitelmien revisiokoko pysyy kohtuullisena (H4, H5). Hyvä suunnittelu ja johtaminen mahdollistaa vähäisen ylitöiden ja ryntäyksien määrä (H2, H3, H4, H5, H6), jonka lisäksi tahtituotannon palaverikäytäntö mahdollistaa paremman kommunikoinnin osapuolten välillä (H1, H2). Tahtituotannon käyttö tuo toimintaan ryhtiä ja mahdolliset ongelmat tulevat nopeasti esille. Tällöin esimerkiksi jättäytyminen aikataulusta on havaittavissa selkeästi. (H4, H5, H6)

Tutkimuskysymys 2: Minkälaisia vaikutuksia pienentyneellä eräkoolla on laadunvarmistukseen?

Tuotannon pieni eräkoko aiheuttaa suuren määrän tarkastuksia, mutta tarjoaa kattavamman tiedon, paremman suoritusten todentamisen ja laadun seurannan (H1). Tarkka seuranta vaatii kuitenkin suuret resurssit ja se nähdään helposti raskaana sekä kustannuksia nostavana (H3, H4, H5, H6). Myös tarkastusten aikataulutus työvaiheiden väliin voi olla ongelmallista (H4, H5), jolloin aikataulun ja resurssien takia katselmuksia tehdään mahdollisesti isompina kokonaisuuksina (H1, H3, H6). Pienet puskurit pienen eräkoon yhteydessä voivat aiheuttaa ”häntien jäämisiä” ja keskeneräisiä työvaiheita, joiden tarkastaminen nähdään ongelmallisena (H4, H5, H6). Kokonaisuutena voidaan todeta, että pienentyneen eräkoon aiheuttama suuri tarkastusmäärä voi vaikuttaa laatuun positiivisesti (H2, H3).

Tämä tutkimus vastaa asetettuihin tutkimuskysymyksiin kohtuullisen hyvin, minkä lisäksi se ottaa kantaa erilaisiin tahtituotannon pilotointivaiheen haasteisiin. Tahtituotannon tai pienentyneen eräkoon vaikutuksesta lopputuotteen laatuun ei tutkimuksessa löytynyt merkittävästi faktapohjaista tietoa. Jatkotutkimuksissa tutkimuksen aihetta tulisi käsitellä laajemmalla kohdeotannalla, jolloin saataisiin enemmän luotettavia tuloksia laatuun

vaikuttavista tekijöistä. Lisäksi tutkimuksen olisi hyvä pitää sisällään muuten samanlaisia vertailukohteita, jolloin eroavaisuuksia tuotantojärjestelmien ja lopputuotteen laadussa olisi helpompi vertailla. Ihanteellinen olisi esimerkiksi useampi vierekkäinen kerrostalo- tai toimitilatyömaa, jolloin voitaisiin vertailla sekä ilman tahtituotantoa että eri pituisilla tahtiajoilla suunniteltuja ratkaisuita keskenään. Tämä myös helpottaisi tuloksien jatkokäyttömahdollisuuksia, koska asunto- ja toimitilarakennuksissa lähes samat työvaiheet toistuvat työmaalta toiselle. Ne myös harvoin ovat yhtä uniikkeja kuin suuret terminaalirakennukset.

Tässä tutkimuksessa huomiotta jäi myös itse laatuhavaintoaineiston käsittely, koska sen tutkiminen jälkijättöisesti on hyvin työlästä tuhansien tarkastusten ollessa kuitattuna järjestelmään. Jatkotutkimus tulisikin tehdä reaaliaikaisesti rakennusprosessin aikana, jolloin pystyttäisiin tekemään omaa seurantaa ja havaintoja rakentamisen edetessä ja yhteydessä. Tämä mahdollistaisi havainnot niin aikataulun kulusta ja pitävyydestä kuin laatutarkastusten tuloksista. Näin olisi mahdollista saada myös reaaliaikaista tietoa tarkastusten etenemästä suhteessa aikatauluun. Tämä mahdollistaisi myös hankkeen aikaisen rakentamisen laadun seurannan. Hankkeen aikaisen rakentamisen laadun kehittymisestä on loppujen lopuksi suhteellisen vähän tutkimustietoa (Muya ym., 2013). Sitä vastoin projektien kustannusten tai aikataulun ylittämisestä tutkimuksia on, ja usein niitä onkin tutkittu yksinään. Huomattavaa on, että jo yhden edellä mainitun tekijän esiintyminen saa usein aikaan muidenkin tekijöiden nousua. (Muya ym., 2013)

Jatkotutkimuksissa olisi mahdollisuuksien mukaan hyvä hyödyntää jotain tahtituotannolle soveltuvaa sähköistä seuranta- ja ohjausjärjestelmää. Järjestelmän tulisi olla sellainen, että se mahdollistaa helpon ja työmaaoloissa toimivan käyttö. Lisäksi tärkeää on sen reaaliaikainen päivittyminen eri tiloihin ja jopa työmaalle tuleviin näyttölaitteisiin. Erilaisista visuaalisista työkaluista aikataulun hahmottamiseksi onkin tehty jo tutkimusta, ja näissäkin on havaittu paperisten ja excel-pohjaisten järjestelmien päivityksen hankaluus (Grönvall ym., 2021). Päivittäisjohtamisen ohella olisi hyvä tutkia sähköisten seuranta- ja ohjausjärjestelmien vaikutusta työmaan viestintään, toimintaan sekä ilmapiiriin.

Lähteet

Ahmad, I. U., & Sein, M. K. (1997). Construction project teams for TQM: A factor-element impact model. *Construction Management and Economics*, *15*(5), 457–467. https://doi.org/10.1080/014461997372827

Ahmed, S. M., Aoieong, R. T., Tang, S. L., & Zheng, D. X. M. (2005). A comparison of quality management systems in the construction industries of Hong Kong and the USA. *International Journal of Quality and Reliability Management*, *22*(2), 149–161. https://doi.org/10.1108/02656710510577215

Ahonen, A., Ali-Yrkkö, J., Avela, A., Junnonen, J.-M., Kulvik, M., Kuusi, T., Mäkäräinen, K., & Puhto, J. (2020). Rakennusalan kilpailukyky ja rakentamisen laatu Suomessa. Teoksessa *Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja*. Valtioneuvoston kanslia.

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 of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 453–464. https://doi.org/10.24928/2019/0261

Arbulu, R., & Ballard, G. (2004). Lean Supply Systems in Construction. *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 1–13.

Arditi, D., & Gunaydin, H. M. (1997). Total quality management in the construction process. *International Journal of Project Management*, *15*(4), 235–243.

Arditi, D., & Gunaydin, H. M. (1998). Factors That Affect Process Quality In The Life Cycle Of Building Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, *124*(3), 194–203.

Bajjou, M. S., & Chafi, A. (2018). The potential effectiveness of lean construction principles in reducing construction process waste: An input-output model. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, *12*(4), 4141–4160. https://doi.org/10.15282/jmes.12.4.2018.12.0358

Ballard, G. (2000). *The Last Planner System Of Production Control*. University of Birmingham.

Ballard, G. (2005). Construction: One Type Of Project Production System. *Proceedings of the 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 29–35.

Ballard, G., & Howell, G. (1994). Implementing lean construction: Stabilizing workflow. *Lean construction*, *2*, 101–110.

Barrett, P. (2000). Systems and relationships for construction quality. *International Journal of Quality and Reliability Management*, *17*(4), 377–392. https://doi.org/10.1108/02656710010298409

Bennett, J., Flanagan, R., & Norman, G. (1987). *Capital and Counties Report: Japanese Construction Industry*. Centre for Strategic Studies in Construction, University of Reading.

Bertelsen, S. (2004). Lean construction: Where are we and how to proceed? *Lean construction journal*, *1*(1), 46–69.

Binninger, M., Dlouhy, J., & Haghsheno, S. (2017). Technical Takt Planning and Takt Control in construction. *Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 605–612. https://doi.org/10.24928/2017/0297

Binninger, M., Dlouhy, J., Müller, M., Schattmann, M., & Haghsheno, S. (2018). Short takt time in construction - A practical study. *Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers*, *2*, 1133–1143. https://doi.org/10.24928/2018/0472

Binninger, M., Dlouhy, J., Oprach, S., & Haghsheno, S. (2016). Methods For Production Leveling-Transfer From Lean Production To Lean Construction. *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 53–62.

Brännare, S., & Kuukkanen, T. (2018, lokakuuta 16). *Nyt se on selvitetty: Rakentamisen maine on mennyt*. Yleisradio. https://yle.fi/uutiset/3-10458109

Burati, J. L., Matthews, M. F., Kalidindi, S. N., & Student Members. (1991). Quality Management In Construction Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, *117*(2), 341–359.

Cass, D. J. (1992). Labor Productivity Impact of Varying Crew Levels. *Transactions of the American Association of Cost Engineers*, C.2.1-C.2.9.

Chiarini, A. (2011). Japanese total quality control, TQM, deming's system of profound knowledge, BPR, lean and six sigma: Comparison and discussion. *International Journal of Lean Six Sigma*, *2*(4), 332–355. https://doi.org/10.1108/20401461111189425

Curkovic, S., Vickery, S., & Droge, C. (2000). Quality-related Action Programs: Their Impact on Quality Performance and Firm Performance. *Decision Sciences*, *31*(4), 885–905.

Dahlgaard, J. J., & Dahlgaard-Park, S. M. (2006). Lean production, six sigma quality, TQM and company culture. *TQM Magazine*, *18*(3), 263–281. https://doi.org/10.1108/09544780610659998

Dlouhy, J., Binninger, M., & Haghsheno, S. (2019). Buffer management in takt planning - An overview of buffers in takt systems. *Proceedings of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 429–439. https://doi.org/10.24928/2019/0226

Dlouhy, J., Binninger, M., Oprach, S., & Haghsheno, S. (2016). Three-Level Method Of Takt Planning And Takt Control-A New Approach For Designing

Production Systems In Construction. *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 13–22.

Ebrahtmpour, M., & Schonberger, R. J. (1984). The japanese just-in-time/total quality control production system: Potential for developing countries. *International Journal of Production Research*, *22*(3), 421–430. https://doi.org/10.1080/00207548408942463

Eskola, J., & Suoranta, J. (2008). *Johdatus laadulliseen tutkimukseen*. Gummerus.

Fiallo, M., & Howell, G. (2012). Using Production System Design And Takt Time To Improve Project Performance. *Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.

Formoso, C. T., Hirota, E., & Isatto, E. L. (1999). Method for Waste Control in the Building Industry. *Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 325–334.

Frandson, A., Berghede, K., & Tommelein, I. D. (2013). Takt time planning for construction of exterior cladding. *Proceedings of the 21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 527–536.

Gao, S., & Low, S. P. (2013). *An Investigation of Practices and Attitudes to Quality in Large Chinese Construction Firms*.

Grönvall, M., Ahoste, H., Lehtovaara, J., Reinbold, A., & Seppänen, O. (2021). Improving Non-Repetitive Takt Production With Visual Management. *Proceesings of the 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction - Lean Construction in Crisis Times: Responding to the Post-Pandemic AEC Industry Challenges*, 797–806. https://doi.org/10.24928/2020/0195

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

Haley, G. (1994). Lessons to be learned from the Japanese construction industry. *International Journal of Project Management*, *12*(3), 152–156.

Hartikainen, N., Kemppainen, J., Kokkonen, T., Lamberg, K., Lahtinen, R., Leinikka, N., Marjasalo, A., Paukku, S., Soila, J.-P., Talo, A., & Utriainen, M. (2016). *Rakennustöiden laatu 2017* (11. p.). Rakennustieto Oy.

Heinonen, A., & Seppänen, O. (2016). Takt Time Planning in cruise ship cabin refurbisment: Lessons for lean construction. *Proceedings of the 24th Annual Confenrence of the International Group for Lean Construction*, 23–32.

Hirsjärvi, S., Remes, P., & Sajavaara, P. (1997). *Tutki ja kirjoita* (Vsk. 10). Tammi.

Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2004). To pull or not to pull: What is the question? *Manufacturing and Service Operations Management*, *6*(2), 133–148. https://doi.org/10.1287/msom.1030.0028

Howarth, T., & Watson, P. (2011). *Construction quality management: principles and practice* (1. p.). Taylor & Francis Group.

Howes, R. (2000). Making governance mechanisms effective in a coordinated industry: The case of construction in the United Kingdom. *International Journal of Technology Management*, *20*(1), 194–213.

Jacobs, G. F. (2010). *Review Of Lean Construction Conference Proceedings And Relationship To The Toyota Production System Framework*. Colorado State University.

Jha, K. N., & Iyer, K. C. (2006). Critical factors affecting quality performance in construction projects. *Total Quality Management and Business Excellence*, *17*(9), 1155–1170. https://doi.org/10.1080/14783360600750444

Junnonen, J.-M., & Kärnä, S. (2017). *Työmaan laatu rakennusliiton jäsenien näkökulmasta*.

Juran, J. M. (1973). The Taylor System and Quality Control. *Quality Progress*, *6*(5).

Kaiser, J. (2013). *Lean Process Management in der operativen Bauabwicklung [Lean Process Management in operational site management]*. Instituts für Baubetrieb (Schriftenreihe des Instituts für Baubetrieb).

Kitazuka, R. E., & Moretti, C. (2012). Jidoka. Teoksessa S. Obara & Wilburn Darril (Toim.), *Toyota by Toyota* (ss. 43–54). CRC Press.

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

Koskela, L. (2004). Making-Do the Eighth Category of Waste. *12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.

Larsen, J. K., Shen, G. Q., Lindhard, S. M., & Brunoe, T. D. (2016). Factors Affecting Schedule Delay, Cost Overrun, and Quality Level in Public Construction Projects. *Journal of Management in Engineering*, *32*(1). https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000391

Lehto, E. (2020). *Rakentamisen tuottavuus*. Palkansaajien tutkimuslaitos.

Lehtovaara, J., Heinonen, A., Lavikka, R., Ronkainen, M., Kujansuu, P., Ruohomäki, A., Örmä, M., Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2020). Takt maturity model: From individual successes towards systemic change in Finland. *Proceedings of the 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 433–444. https://doi.org/10.24928/2020/0017

Lehtovaara, J., Mustonen, I., Peuronen, P., Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2019). Implementing takt planning and takt control into residential construction. *Proceedings of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 417–428. https://doi.org/10.24928/2019/0118

Lehtovaara, J., Seppänen, O., Heinonen, A., Tomunen, L., Kulta, I., Kujansuu, P., & Grönvall, M. (2019). *Building 2030-Tahti suunnittelussa ja tuotannossa*

loppuraportti. https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-02/building_2030_tahti_suunnittelussa_ja_tuotannossa_loppuraportti_22.1.201.pdf

Lehtovaara, J., Seppänen, O., Peltokorpi, A., Kujansuu, P., & Grönvall, M. (2021). How takt production contributes to construction production flow: a theoretical model. *Construction Management and Economics*, *39*(1), 73–95. https://doi.org/10.1080/01446193.2020.1824295

Leong, T. K., Zakuan, N., & Saman, M. Z. M. (2014). Review of quality management system research in construction industry. *International Journal of Productivity and Quality Management*, *13*(1), 105–123.

Lerche, J., Enevoldsen, P., & Seppänen, O. (2022). Application of Takt and Kanban to Modular Wind Turbine Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, *148*(2). https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002245

Liker, J. K. (2020). *The Toyota Way* (2nd p.). McGraw-Hill.

Lindstedt, T., Inkilä, O., Hietala, J., Nikkola, J., & Jumisko, J. (2021). *Vuoden työmaa 2020-hakemus: T2 Allianssi, Helsinki Vantaan lentoasema*.

Love, P. E. D., & Li, H. (2000). Overcoming the problems associated with quality certification. *Construction Management and Economics*, *18*(2), 139–149. https://doi.org/10.1080/014461900370771

Lättilä, H. (2018, helmikuuta 16). *YIT:n Kari Kauniskangas: Rakentajat ovat ammattitaitoisia – tilaajat eivät osaa tehdä päätöksiä*. Rakennuslehti. https://www.rakennuslehti.fi/2018/02/yitn-kari-kauniskangas-rakentajat-ovat-ammattitaitoisia-tilaajat-eivat-osaa-tehda-paatoksia/

Muya, M., Kaliba, C., Sichombo, B., & Shakantu, W. (2013). Cost escalation, schedule overruns and quality shortfalls on construction projects: The case of Zambia. *International Journal of Construction Management*, *13*(1), 53–68. https://doi.org/10.1080/15623599.2013.10773205

Mölsä, S. (2018, helmikuuta 9). *”Kiireessä ei synny priimaa”, selittävät rakennusmiehet laatuongelmia Rakennusliiton kyselyssä*. Rakennuslehti. https://www.rakennuslehti.fi/2018/02/kiireessa-ei-synny-priimaa-valittavat-rakennusmiehet-liiton-kyselyssa/

Nepal, M. P., Park, M., & Son, B. (2006). Effects of Schedule Pressure on Construction Performance. *Journal Of Construction Engineering And Management*, *132*(2), 182–188. https://doi.org/10.1061/ASCE0733-93642006132:2182

Nielsen, A. S., & Thomassen, M. A. (2004). How to Reduce Batch-size. *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.

Park, M., Kim, W., Yoon, Y., & Nepal, M. P. (2010). Scheduling decisions and their dynamic consequences on construction performance. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *14*(3), 251–259. https://doi.org/10.1007/s12205-010-0251-0

Pinch, L. (2005). Lean construction. *Construction Executive*, *15*(11), 34–37.

Rahani, A. R., & Al-Ashraf, M. (2012). Production flow analysis through Value Stream Mapping: A lean manufacturing process case study. *Procedia Engineering*, *41*, 1727–1734. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.375

Randolph, T. H., & Raynar, K. A. (1997). Scheduled Overtime And Labor Productivity: Quantitative Analysis. *Journal of Construction engineering and management*, *123*(2), 181–188.

Reinbold, A., Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2020). The role of digitalized visual management to empower self-managed crews in construction projects. *Proceedings of the 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 925–936. https://doi.org/10.24928/2020/0021

Riekki, J., Rannisto, J., Lehtovaara, J., Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2023). Achieving a 4-Hour Takt Time – and Driving Change With It. *Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 1184–1195. https://doi.org/10.24928/2023/0146

Rounds, J. L., & Chi, N.-Y. (1985). Total Quality Management for Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, *3*(2), 117–128. https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1985)111:2(117)

Sacks, R. (2016). What constitutes good production flow in construction? *Construction Management and Economics*, *34*(9), 641–656. https://doi.org/10.1080/01446193.2016.1200733

Sacks, R., & Harel, M. (2006). An economic game theory model of subcontractor resource allocation behaviour. *Construction Management and Economics*, *24*(8), 869–881. https://doi.org/10.1080/01446190600631856

Seppänen, O. (2014). A Comparison of takt time and LBMS planning methods. *Proceedings of the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 727–738.

Seppänen, O., Lehtovaara, J., Lappalainen, E., Uusitalo, P., Hiitola, T., Sahlberg, J., & Jääsvuo, J. (2020). *Building 2030: Hajautettu työnsuunnittelu - loppuraportti*.

Seymour, D. (1996). Developing Theory in Lean Construction. *Proceedings of the 4th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.

Shammas-Toma, M., Seymour, D., & Clark, L. (1998). Obstacles to implementing total quality management in the UK construction industry. *Construction Management and Economics*, *16*(2), 177–192. https://doi.org/10.1080/014461998372475

Takala, S. (2022, huhtikuuta 25). ”Väsytystaistelu oli loputon” – Uudisasunnon ostajat kertovat painajaismaisista rakennusvirheistä. *Helsingin Sanomat*. https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000008736096.html

Tang, S. L., Ahmed, S. M., Aoieong, R. T., & Poon, S. W. (2005). *Construction quality management*. Hong Kong University Press.

Temel, B. A., Başağa, H. B., Temel, M. U., Yılmaz, G. K., & Nasery, M. M. (2019). Big Room concept in project management and control. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, *2*(4), 204–214. https://doi.org/10.31462/jcemi.2019.04204214

Terziovski, M. (1998). *Best Predictors Of High Performance Quality Organisations: Evidence From Australia And New Zealand*.

Tommelein, I. D. (2017). Collaborative takt time planning of non-repetitive work. *Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 745–752. https://doi.org/10.24928/2017/0271

Tuomi, J., & Sarajärvi, A. (2018). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Tammi.

Valente, C. P., Montenegro, G. A., Brito, F. L., Biotto, C. N., Mota, B. P., & Schramm, F. K. (2013). Benefits Of Batch Size Reduction: A Case Study In A Residential Project. *Proceedings of the 21st annual conference of the international group for lean construction*, 1029–1038.

Vatne, M. E., & Drevland, F. (2016). Practical Benefits of Using Takt Time Planning: A Case Study. *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 173–182.

Vilkka, H. (2021). *Tutki ja kehitä*. PS-kustannus.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. Rawson Associates.

Xiao, H., & Proverbs, D. (2002). The performance of contractors in Japan, the UK and the USA: An evaluation of construction quality. *International Journal of Quality and Reliability Management*, *19*(6), 672–687. https://doi.org/10.1108/02656710210429564

Liitteet

Liite 1. Haastatteluiden kysymysrunko.

Taustatiedot ja Case-hanke:

1. Mikä oli roolisi hankkeessa ja kokemus rakennusalalta? Oletko ollut tahtikohteessa aiemmin?
2. Mikä on mielipiteesi tahtiaikataulusta tässä kohteessa?
    a. Suunnitelmien toteutuskelpoisuus (1-5)
    b. Aikataulupuskurien koko (aivan liian pienet, vähän pienet, sopivat, vähän isot, aivan liian isot)
    c. Eräkoko (aivan liian pienet, vähän pienet, sopivat, vähän isot, aivan liian isot)

Tuotantojärjestelmä:

3. Minkälaisia suunnitelmat olivat verrattuna muihin vastaaviin projekteinhin?
    a. Olivatko suunnitelmat hyviä ja ajantasaisia?
    b. Vastasivatko suunnitelmat käytännön toteutusta?
    c. Miten nopeasti mahdollisiin puutteisiin reagoitiin?
    d. Toimiko yhteistyö ja yhteensovitus?
4. Miten tahdin seuranta toteutettiin ja mitä mieltä olit siitä?
    a. Mitä työkaluja käytettiin?
    b. Minkälaiset palaverikäytännöt olivat?
    c. Seurattiinko PPC-arvoa, eli valmistunutta prosenttiosuutta suunnitelluista töistä (PPC – percentage of planned activities completed)?
5. Miten työt etenivät työmaalla?
    a. Miten pienentynyt eräkoko vaikutti työskentelyyn? Saitteko riittävän nopeasti palautetta tehdystä työstä?
    b. Mitkä olivat suurimmat ongelmat tai häiriöt? Mistä ne johtuivat? (keskeytykset, aloitusedellytykset, työjärjestyksestä poikkeamiset jne.)
    c. Miten pienempien puskureiden käyttö vaikutti toimintaan työmaalla? (Aikataulupaine, kiire, ylityöt, resurssien vaihtelu jne.)

Laadunhallinta:

6. Miten laadunhallinta oli toteutettu?
    a. Oliko laatutarkastusten määrä sopiva? Vaikuttiko eräkoko tähän?
    b. Miten pienemmät puskurit vaikuttivat laadunhallintaan? Oliko laatutarkastusten aikataulutus hankalaa?
    c. Miten laadun kehitystä seurattiin hankkeen aikana?
    d. Mitä mieltä olit rakennuttajan omavalvonnasta?
7. Miten koet projektin laadun onnistuneen?
    a. Oliko projektissa osa-alueita, joissa oli selkeästi haasteita laadun kanssa? Mistä nämä saattoivat johtua?
    b. Vaikuttiko tahtituotannon käyttö rakentamisen laatuun?
8. Tahtituotannon hyvät ja huonot puolet sekä kehitysehdotukset