

Mika Vaheri

TAHTITUOTANNON VALVONTA JA OHJAUS

Diplomityö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastajat: Professori Arto Saari
Väitöskirjatutkija Pekka Kujansuu
Kesäkuu 2022

TIIVISTELMÄ

Mika Vaheri: Tahtituotannon valvonta ja ohjaus rakennustyömaalla
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Kesäkuu 2022

Tuotannon tehostamiseen ja hukan poistoon keskittyvä tahtituotanto on viime vuosina ollut rakennusalalla yleistynyt tuotannosuunnittelun ja -ohjaamisen tapa rakentaa varsinkin toistuvia tiloja. Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää hyviä toimintatapoja tahtituotannon valvontaan ja ohjaamiseen sekä luoda ohjekortti, jonka avulla tahtituotantoa aloittava työmaaorganisaatio kykenisi saamaan yhdestä paikasta hyväksi koetut toimintatavat tahtituotannon valvomiseen ja ohjaamiseen. Tutkimusongelmana oli tahtituotannon hyvien toimintatapojen hidas välittyminen yrityksen muiden työmaiden ja työmaahenkilöiden tietoisuuteen. Työmaaorganisaatio siirtyy valmistuneelta työmaalta seuraavalle, eikä useinkaan tahtituotannon valvonnasta ja ohjaamisesta kertyneitä kokemuksia ja oivalluksia osata jakaa yrityksen muiden työntekijöiden käyttöön. Tahtituotannon valvontaan ja ohjaamiseen ei ole muodostunut yrityksen sisällä vielä selkeää prosessia, mikä tuottaa haasteita varsinkin tuotannon alkupuolella.

Tutkimus toteutettiin aineisto- ja haastattelututkimuksena. Teoriataustan keräämisen jälkeen suoritettiin puolistrukturoidut teemahaastattelut Skanska Oy:n tahtituotantokohteiden toimihenkilöistä valikoidulle joukolle. Teemahaastatteluilta kerättiin tietoa tahtituotannon suoritustavoista sekä hyvistä ja huonoista tuotannon valvonnan ja ohjauksen toimenpiteistä, joita Skanskalla on käytössä. Haastatteluista saatiin myös kehitysehdotuksia tahtituotannon ohjaamisen parantamiseksi. Tulokset analysoitiin ja taulukoitiin. Haastatteluiden jälkeen teoriataustan tutkimuksia sekä haastatteluiden tuloksia vertailtiin toisiinsa ja näistä kerättiin parhaat toimintatavat yhteen.

Tutkimuksen mukaan tärkeimmiksi tahtituotannon valvonnan ja ohjaamisen keinoiksi osoittautuivat päivittäisten ja viikoittaisten tahtitapaamisten järjestäminen, digitaalisten työkalujen hyödyntäminen, välitön reagointi havaittuihin ongelmiin, aloitusedellytysten vaatiminen, JIT-menetelmän hyödyntäminen logistiikassa ja lohko-kohtainen laadunvarmistus jokaisen tahdin lopuksi. Valvontaa ja ohjaamista helpottivat myös Last Planner -suunnittelu urakoitsijoiden kanssa, selkeä visuaalinen johtaminen, tahtituotannon maininta jo tarjouspyynnöissä sekä valvonta- ja ohjaustapojen kirjaus urakkasopimukseen. Suurimpia tahtituotannon valvonnan ja ohjaamisen epäonnistumiseen vaikuttavia tekijöitä olivat kokemuksen, tiedon ja rutiinien puute, huono ja hidas tiedonkulku sekä puutteellinen suunnittelu yhdessä. Tärkein kehityskohde havaittiin olevan tahtituotannon valvomista helpottavien digitaalisten työkalujen lisäämisessä.

Tutkimuksen pohjalta luotiin kaksi ehdotusta tahtituotannon valvonnan ja ohjaamisen prosessista viiden päivän tahtiajalle. Prosessien avulla pystytään luomaan tahtituotantoa varten selkeät viikoittaiset rutiinit, jotka helpottavat tahtituotannon valvontaa ja ohjaamista. Lisäksi luotiin tahtituotannon valvontaan ja ohjaamiseen ohjekortti, joka luovutettiin Skanska Oy:n käyttöön.

Avainsanat: Tahtituotanto, tahtiohjaus, valvonta, Lean, rakentaminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

ABSTRACT

Mika Vaheri: Takt Production's monitor and control on the construction site
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Civil Engineering
June 2022

In recent years, takt production concentrating on production efficiency and waste elimination has been a common method of production planning and management in the construction sector, especially in repetitive spaces. The aim of this master's thesis was to identify good practices for monitoring and controlling takt production and to create an instruction card that would enable the worksite organisation starting a new takt project to obtain those practices. The research problem was the slow transmission of good practice awareness in takt production to the company's other sites and site workers. The site organisation moves from a completed site to the next, and often the experience and insights accumulated from monitoring and controlling takt production are not shared with other employees of the company. There has not yet been a clear process for monitoring and controlling takt production within the company, which presents challenges especially in the early part of production.

The study was conducted as a data and interview study. After collecting the theory background, semi-structured themed interviews were conducted with a selected group of staff members of Skanska Oy's production sites. The themed interviews collected information on takt production methods as well as the positives and negatives of Skanska's production monitoring and control measures. The interviews also provided development proposals to improve the stewardship of takt production. The results were analyzed and tabulated. After the interviews, studies on theoretical background and the results of the interviews were compared with each other, collecting the best practices together.

According to the study, the main means of monitoring and controlling takt production proved to be the organization of daily and weekly takt meetings, utilization of digital tools, immediate response to identified problems, requiring starting conditions, JIT method utilization in logistics and takt area quality assurance at the end of each takt. Monitoring and control were also facilitated by the Last Planner design with contractors, clear visual management, mention of takt production already in the tender requests, and the recording of monitor and control methods in contracts. The biggest contributors to failure with monitoring and controlling takt production were lack of experience, knowledge and routines, poor and slow flow of information, and lack of planning together. The main development target was found to be the addition of digital tools to facilitate the monitoring of takt production.

Based on the study, two proposals were created to the process of monitoring and controlling takt production for a five-day takt time. The processes allow to create clear weekly routines for takt production that facilitate the monitor and control of takt production. In addition, an instruction card for monitoring and controlling the takt production was created and given to Skanska Oy.

Keywords: takt production, monitoring, taktcontrol, Lean, construction

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Niin kuin lehdet puusta syksyisin putoavat ja jäät keväisin järivistä sulavat, on minunkin elämässäni tullut yksi aikakausi päätökseen tämän diplomityön valmistumisen johdosta. Minusta, ex-jämsäläisestä nuoresta miehestä, on kuoriutunut opintojeni aikana täysikasvuinen Diplomi-insinööriin alku, joka purjehtii määrätietoisesti eteenpäin rakennusteollisuuden valtamerillä suhdannemyrskyjen armoilla. Opintojen suorittaminen on kokonaisuutena aiheuttanut minussa pirskahtelevia ilon tunteita, ja motivaationi työskennellä rakennetun ympäristön parissa on opiskelu- ja työvuosien karttuessa noussut entisestään. Tämän tutkimuksen suorittaminen on ollut kokemuksena haastava, mutta on ollut mahtava päästä sisään tahtituotannon ihmeelliseen maailmaan sekä tutustumaan Skanskan asiantunteviin työntekijöihin ympäri Suomea sekä Norjaa. Kiitos kaikille minua elämässä eteenpäin vieneille sekä diplomityön suorituksessa avustaneille! Kiitos työn ohjaajille, erityisesti Pekka Kujansuulle, joka annoit ohjeeksi muistaa pitää työkuormituksen maltillisena ja kannustit ulkomaankomennukselle lähtöä varten!

Mieleni sopukoissa on tutkimustyön aikana myllertänyt ajatus oman runokokoelman julkaisemisesta. Alla on siitä esimakua. Kirjoittamani runo, joka menee suurin pirtein, jota kuinkin, aika lailla näin:

Nro. 26: Mahtitahti(?)

*Oi Tahti
Olet niin mahti
Tahtivaunu narahti
Kun alkoi hukan ajojahti*

*Työmaan tuottavuus leimahti
Kehitysinssi naurahti
Kun tuotannon karit notkahti
Kaikki suunnitelmii noudatti*

*Virheiden määrä tipahti
Fiksilista romahti
Tahti laadun nostatti
Kun ongelmat heti korjattii*

*Tahdin ohjaus kannatti
Ei kukkaros ole enää Matti
Puskurit pois vilahti
Aamupalaveri on kuin ratti*

Tampereella 14.06.2022

Mika Vaheri



SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	6
1.1 Tutkimuksen tausta ja tutkimusongelma.....	6
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus	6
1.3 Tutkimuksen toteutus ja menetelmät.....	7
1.4 Tutkimuksen rakenne	8
2. TEORIATAUSTA	9
2.1 Last Planner System	9
2.2 Tahtituotanto rakennusosalalla	14
2.2.1 Tahtituotannon eri menetelmät.....	17
2.2.2 Tahtituotannon valvonta ja ohjaus.....	30
2.2.3 Tahtituotannon häiriöt ja niiden estäminen	39
2.2.4 Tahtituotannon logistiikka.....	43
2.2.5 Hankinta- ja urakkasopimukset	45
3. HAASTATTELUTUTKIMUS	51
3.1 Haastattelututkimuksen suoritus.....	51
3.2 Haastattelututkimuksen runko ja otanta.....	52
3.3 Tahtituotannon suorittaminen ja käytännöt rakentamisessa	55
3.4 Tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan onnistumiseen vaikuttavat tekijät	60
3.5 Tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan epäonnistumiseen vaikuttavat tekijät	69
3.6 Kehitysehdotukset tahtituotantokohteiden ohjausta ja valvontaa varten .	74
4. YHTEENVETO JA TUTKIMUKSEN ARVIOINTI.....	80
4.1 Yhteenveto ja pohdinta	80
4.2 Ehdotettu prosessi tahtituotannon valvontaan ja ohjaamiseen	83
4.3 Tutkimuskysymyksiin vastaaminen	85
4.4 Tutkimuksen luotettavuus	87
4.5 Jatkotutkimusehdotukset.....	88
LÄHTEET	89
LIITE A: ENGLANNINKIELISET HAASTATTELUKYSYMYKSET	94

LYHENTEET JA MERKINNÄT

- JIT Just In Time, juuri oikeaan aikaan tapahtuva tekeminen esimerkiksi logistiikassa ja toimitusten hallinnassa
- KVA Käännetty vaiheaikataulu, suunnitellaan lopusta alkuun
- LPS Last Planner System, on etenkin rakentamisessa käytettävä tuotannonsuunnittelu- ja ohjausjärjestelmä
- SSU Standard Space Unit, vakio tilayksikkö tahdissa
- TPS Toyota Production System, Toyotalla käytössä oleva tuotannonohjaussysteemi
- TPTC Takt Time Planning and Takt Control, Saksassa kehitetty ja siellä käytössä oleva tahtisuunnittelun ja tahdin kontrolloinnin prosessimalli
- TTP Takt Time Planning, Kaliforniassa kehitetty ja siellä käytössä oleva tuotannonohjauksen ja –suunnittelun prosessimalli, joka hyödyntää erilaisia tahtimenetelmiä

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta ja tutkimusongelma

Rakennusalan tuottavuus on pysynyt 1970-luvulta lähtien lähes samana, kun muuten arvonlisäykseen perustuva teollisuuden työn tuottavuus on yli nelinkertaistunut samassa ajassa (Lohilahti, 2017). Muilla teollisuuden aloilla tuottavuutta on nostettu ottamalla käyttöön entistä tehokkaampia koneita, laitteita ja robotteja, mutta rakennusteollisuudessa näillä toimenpiteillä ei ole pystytty parantamaan tuottavuutta vastaavalla tavalla. Syitä tähän ovat esimerkiksi rakennuskohteiden ainutkertaisuus, monimutkaisuus sekä näistä selittyvän hiljaisen tiedon valtava merkitys. Tällöin myös robotiikan lisääminen rakennustyömailla on ollut erityisen haastavaa verrattuna jatkuvaan ja toistuvaan tehdastuotantoon. (Lehto, 2020) Tuotantoa on pyritty tehostamaan myös usealla muulla tavalla viime vuosikymmenten aikana. Tuotannon tehostamiseen ja hukkan poistoon keskittyvä tahtituotanto on viime vuosina ollut rakennusalalla yleistynyt tuotannosuunnittelun sekä -ohjaamisen tapa rakentaa varsinkin toistuvia tiloja.

Diplomityön aihe valikoitui Skanska Oy:n halusta selvittää menetelmiä tahtituotannon ohjaamiseen ja valvontaan rakennustyömaalla. Tahtituotantoa on tutkittu yrityksen sisällä jo muutamia vuosia monelta eri näkökulmalta, mutta itse työmaalla tapahtuvasta tahtituotannon ohjauksesta ja valvonnasta ei ole yrityksessä selkeää toimintatapaa sekä ohjetta.

Tutkimusongelmana on tahtituotannon hyvien toimintatapojen hidas välittyminen yrityksen muiden työmaiden ja työmaahenkilöiden tietoisuuteen. Työmaaorganisaatio siirtyy valmistuneelta työmaalta seuraavalle, eikä usein tahtituotannon ohjauksesta ja valvonnasta kertyneitä kokemuksia ja oivalluksia osata jakaa yrityksen muiden työntekijöiden käyttöön. Tahtituotanto on rakennustyömailla vielä suhteellisen uusi tuotannonohjausmenetelmä, joten hyviä käytännön toimintatapoja sen ohjaamiseen ei ole kertynyt kaikille työntekijöille.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Tutkimuksen päätavoitteena on kerätä Skanskalle hyviä toimintatapoja tahtituotannon ohjaamiseen ja valvontaan sekä luoda ohjekortti, jonka avulla tahtituotantoa aloittava työmaaorganisaatio kykenisi saamaan yhdestä paikasta hyväksi koetut toimintatavat

tahtituotannon ohjaamiseen ja valvontaan. Tavoitteena on siis kerätä kirjallisuuskatsauksessa tutkimuksiin perustuvia toimintatapoja tahtituotannon valvontaan ja ohjaukseen, ja haastattelututkimuksen kautta yrityksen sisäisesti opittuja sekä itse opittuja sekä hyväksi todettuja toimintatapoja.

Työssä on pyritty vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- **”Mitkä toimintatavat edesauttavat tahtituotannolla suoritettavan rakennusprojektin sujumista suunnitelmien mukaisesti?”**
- **”Miten tahtituotannon aikana ilmenneisiin häiriöihin pystytään reagoimaan tehokkaasti?”**
- **”Minkälaisia toimenpiteitä tahtiohjaukseen ja valvontaan on kehitetty?”**

Tutkimus rajautuu tahtituotannon hyödyntämiseen rakennustyömailla. Tutkimuksessa ei oteta kantaa tahtituotannon hyödyntämiseen tehtaissa tai muualla teollisuudessa. Työssä käsitellään tahtituotannon valvontaa ja ohjaamista työmaalla, mutta tutkimus sivuaa myös hankinta- ja urakkasopimusten tekoa. Hankinta- ja urakkasopimusten tekoa käsitellään siitä syystä, että niiden vaikutus työmaan toimintaan on todella suuri. Tutkimuksessa ei käsitellä tahtituotannon vaikutusta suunnitteluprosessiin.

1.3 Tutkimuksen toteutus ja menetelmät

Tutkimus toteutetaan kvalitatiivisena eli laadullisena tutkimuksena. Laadullisen tutkimuksen tarkoituksena on selittää tutkittava ilmiö mahdollisimman kokonaisvaltaisesti ja tehdä se myös mahdollisimman ymmärrettäväksi. (Alasuutari 1999, 237)

Tutkimus koostuu kirjallisuuskatsauksesta sekä haastattelututkimuksesta. Kirjallisuuskatsauksessa syvennyttään Lean-filosofiaan, tuotannon ohjaukseen ja valvontaan sekä tahtituotannon kokonaisvaltaiseen hyödyntämiseen rakennustyömaalla.

Haastattelututkimus toteutetaan teemahaasteluilla. Teemahaastattelua käytetään usein, kun halutaan selvittää vähän tiedettyjä asioita, vastaukset perustuvat haastateltavien henkilöiden omiin kokemuksiin tai jos ei tiedetä, minkälaisia vastauksia tullaan saamaan. Teemahaastattelujen hyötynä on se, että sen avulla saadaan hyvin huomioitua haastateltavat ja kerättyä tietoa erilaisista tilanteista. (Metsämuuronen, 2011) Teemahaastatteluiden haastateltavaksi valitaan Skanskan tahtituotantokohteilla työskenteleviä tai työskennelleitä toimihenkilöitä. Haastateltavien yhteystiedot kerätään

Skanskan kehitystiimin avustuksella, jotta haastateltavaan joukkoon päätyy mahdollisimman monipuolisesti haastateltavia eri projekteilta. Haastattelut toteutetaan Teamsin kautta sen tallennusominaisuuden takia sekä yhteyskuntaa koettelevan pandemian vuoksi.

1.4 Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksen rakenne on Tampereen yliopiston opinnäytetyöpohjan vaatimusten mukainen. Tutkimus koostuu teoriataustasta, empiriaosuudesta sekä näiden pohdinnasta ja yhteenvedosta. Tutkimuksen ensimmäisessä luvussa käydään läpi tutkimuksen suorittamista, sen lähtökohtia, tutkimuskysymyksiä sekä aiheen rajausta ja tutkimuksen rakennetta.

Tutkimuksen toisessa luvussa käsitellään tutkimuksen teoriataustaa. Teoriaosa on jaettu useampaan eri kappaleeseen, jotka käsittelevät Last Planner Systemiä sekä tahtituotantoa ja näiden hyödyntämistä rakennusalalla. Tahtituotanto rakennusalalla jakautuu vielä useampaan alaosiin, joissa syvennyttään tahtituotannon suunnitteluun sekä ohjaukseen ja valvontaan. Luvun tarkoituksena on saada monipuolisesti selville tahtituotannon eri toimintatapoja sekä prosesseja rakennustuotannossa.

Tutkimuksen kolmannessa luvussa käsitellään empiiristä haastattelututkimusta, joka toteutettiin teemahaastatteluin. Teemahaastatteluihin valittiin Skanska Oy:n henkilöstöstä sopivat henkilöt Skanskan kehitystiimin avustuksella, jotta saataisiin mahdollisimman monipuolinen kuva tahtituotannon suorittamisesta yrityksen sisällä. Teemahaastattelun runko luotiin teoriaosion pohjalta vastaamaan mahdollisimman hyvin haluttuihin tutkimuskysymyksiin. Haastateltavien kanssa keskusteltiin tahtituotannon suorittamisesta, onnistumista edistävistä toimintatavoista, epäonnistumiseen vaikuttavista tekijöistä sekä kehityskohteista. Kappaleessa pohditaan haastattelujen yhteneväisyyksiä sekä eroavaisuuksia ja haastatteluiden tuloksista on luotu taulukot.

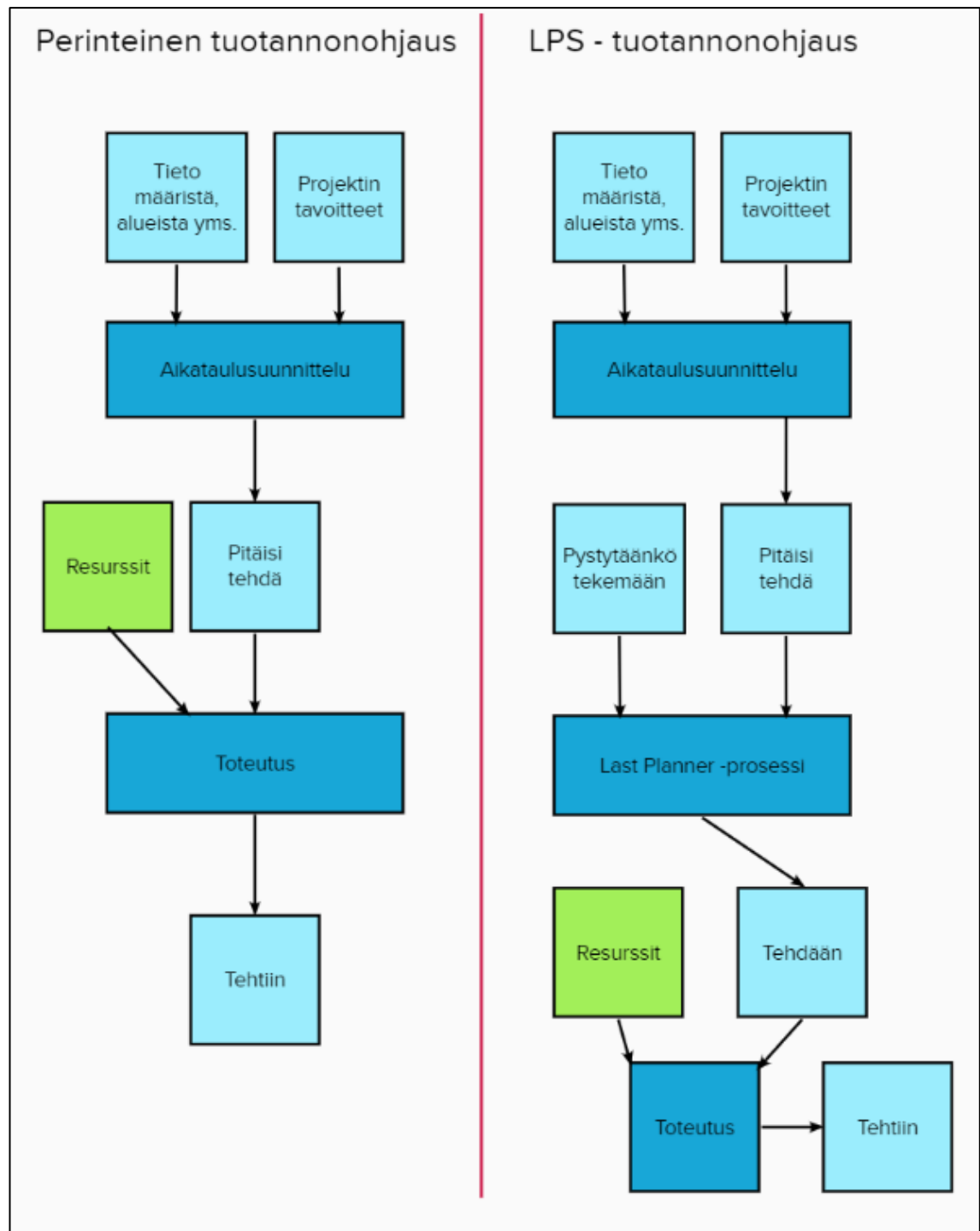
Työn neljännessä luvussa pohditaan teoriataustasta sekä haastattelututkimuksesta esiin nousseita tuloksia sekä niiden suhdetta toisiinsa. Luvussa esitellään ehdotettu tahtituotannon valvonnan ja ohjaamisen prosessi sekä pohditaan tutkimuksen vastauksia tutkimuskysymyksiin ja summataan koko tutkimus yhteen. Kappaleessa käsitellään myös tutkimuksen luotettavuutta ja yleistettävyyttä sekä pohditaan myös jatkotutkimuksia aiheen ympäriltä.

2. TEORIATAUSTA

2.1 Last Planner System

Last Planner System (LPS) on etenkin rakentamisessa käytettävä tuotannosuunnittelu- ja ohjausjärjestelmä. (L. Koskela & Howell, 2002) ”*Last Planner*” tarkoittaa henkilöä, joka toteuttaa jonkun tietyn tehtävän tai vastaa sen suorittamisesta. Tällä pyritään lisäämään henkilökohtaista sitoutumista tehtävän aikatauluttamiseen ja toteutumiseen sekä lisäämään tarkkuutta tehtävän sisällöstä ja edellytyksistä. Samalla viikoittaisten suunnitelmien todellista toteutumista seurataan varmennetusti ja pystytään oppimaan tapahtuneista virheistä, jolloin voidaan tulevaisuudessa välttää vastaavanlaiset ongelmat. (Ballard, 2000) LPS:ssä keskitytään jatkuvan parantamisen kulttuurin luomiseen rakennushankkeessa, osapuolten sitouttamiseen, yhteiseen tuotannosuunnitteluun sekä luotettavuuden lisäämiseen työn virtauksessa. (Seppänen et al., 2015)

LPS lisää tuotannonohjauksen komponentin perinteiseen projektin hallintajärjestelmään. LPS:n keskeinen tehtävä onkin tarkan viikkosuunnitelman laatiminen ja sen valvonta (L. Koskela & Koskenvesa, 2003). Last Planner System voidaan ymmärtää mekanismina, jolla muutetaan ajatus ’*mitä pitäisi tehdä*’ muotoon ’*mitä voidaan tehdä*’ muodostaen siten luettelon valmiista töistä, josta voidaan muodostaa viikoittaiset työsuunnitelmat. Viikoittaisten työsuunnitelmien tehtävien sisällyttäminen aikatauluihin on Last Plannereiden, eli esimiehien ja aikataulun laatijoiden, vastuulla määritellä lopulta mitä oikeasti ’*tullaan tekemään*’. (Ballard, 2000) Tämän avulla voidaan suunnitella luotettavat viikkosuunnitelmat, joihin sisällytetään ainoastaan sellaiset tehtävät, joilla on aloitusedellytykset kunnossa tai jotka tulevat kuntoon ennen tehtävän aloitusta. Alla olevassa kuvassa 1 on havainnollistettu perinteisen tuotannonohjausprosessin eroja Last Planner -prosessiin.



Kuva 1. Perinteinen tuotannonohjausprosessi sekä Last Planner -prosessi (mukailtu Ballard, 2000)

Last Planner System koostuu viidestä osasta, joiden tarkoituksena on tuoda projektin toteuttavat osapuolet suunnittelemaan yhdessä projektin toteutusta. Alla olevassa kuvassa 2 on havainnollistettu kyseistä prosessia. LPS:n osat ovat:

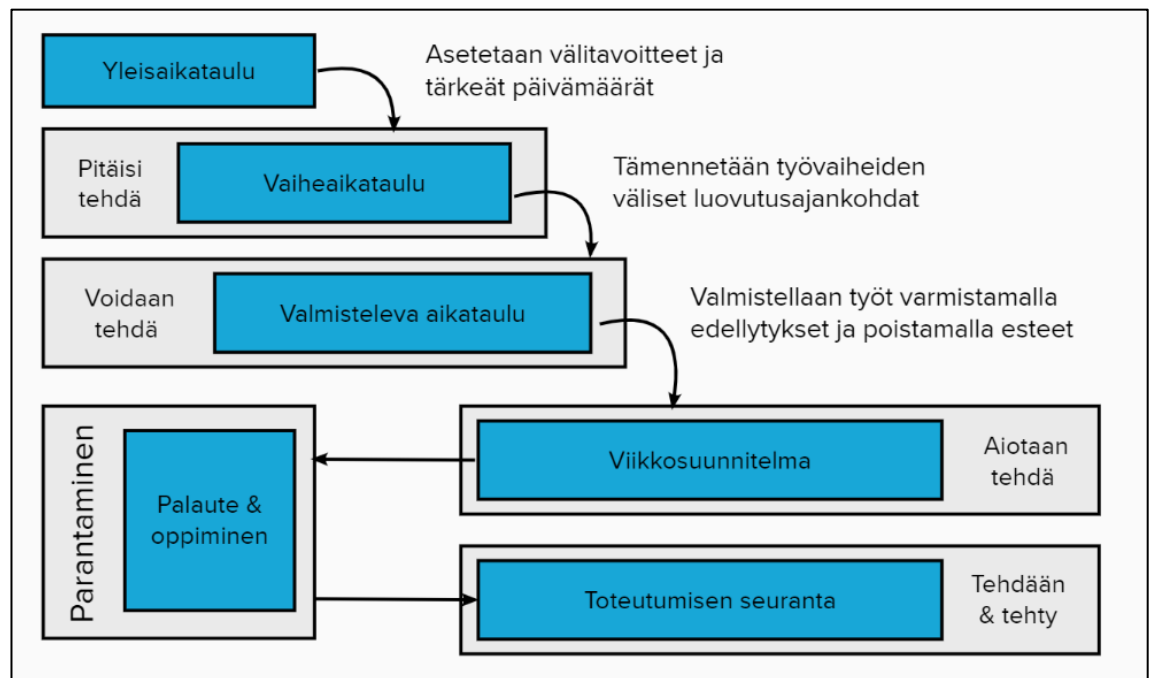
1) Yleisaikataulu

2) Vaiheaikataulu

3) Valmistelevan suunnitelma

4) Viikkosuunnittelu

5) Tehtävien toteutumisen seuranta ja analyysi



Kuva 2. Last Planner prosessikaavio (mukailtu Smith 2011)

Yleisaikataulu

Last Planner System menettely alkaa yleisaikataulun tekemisellä. Yleisaikataulu on normaalia perinteistä yleisaikataulua kevyempi, koska menetelmän tärkeimpänä painopisteenä on tarkkojen viikkosuunnitelmien laatiminen ja niiden seuraaminen. (L. Koskela & Koskenvesa, 2003) Yleisaikataulun teon yhteydessä on tärkeää tunnistaa ja määritellä tuotantoa kriittisesti tahdistavat välitavoitteet, joista riippuen tuotanto etenee. Tärkeää yleisaikataulun teon yhteydessä on suunnitella tehtävien jako, hankintapaketit ja jako erillisiin urakoihin. (Ballard, 2000)

Vaiheaikataulu

Yleisaikataulun teon jälkeen työvaiheiden vastuuhenkilöt laativat yhdessä työmaan muun henkilökunnan kanssa työvaiheistaan käännetyn vaiheaikataulun (KVA). Käännetty vaiheaikataulu noudattaa Leanista tuttua imuajattelua, jossa suunnitellaan

lopusta alkuun yhdessä vaiheiden toteuttavien henkilöiden kanssa. Käännetyssä vaiheaikataulussa katsotaan ensin yleisaikataulussa määritellyt välitavoitteita, joiden pohjalta suunnitellaan välitavoitteisiin pääsemiseksi, mitä pitää tehdä ja missä järjestyksessä. (Ballard, 2000) Imuajattelulla varmistetaan, että aikatauluun otetaan mukaan vain ne työtehtävät, joiden tekeminen on edellytyksenä seuraavien työvaiheiden aikatauluihin. Tällä huomioidaan se, että aikatauluihin ei sisällytetä arvoa tuottamatonta työtä, jotka on perinteisesti sisällytetty vaiheaikatauluun. (Ballard & Howell, 2003) Rakennusalalla saatetaan kutsua käännteistä vaiheaikataulua itse Last Planneriksi, vaikka käännetyn vaiheaikataulun teko on vain pieni osa Last Planneria.

Ballard ja Howell (2003) ovat määritelleet käännteisen vaiheaikataulun teon seuraavalla tavalla:

- 1) Määrittele työvaiheet, jotka sisällytetään vaiheaikatauluun (esimerkiksi perustukset, runkotyö, sisävaihtely, julkisivu).
- 2) Määritä vaiheelle valmistumispäivämäärä sekä selvitä mahdollisten edeltävien ja seuraavien vaiheiden vertautuminen tähän vaiheeseen.
- 3) Käyttämällä ryhmäaikataulutusta seinälle asetettujen muistilappujen avulla kehitä vaiheen loppuunsaattamiseksi tarvittava työjärjestys, aloittaen vaiheen valmistumispäivästä päättyen vaiheen alkuun. Sisällytä kaikki määritellyt virstanpylväät suunnitelmaan ja ota huomioon muiden työvaiheiden valmistumiset.
- 4) Määrittele kestot jokaiselle työvaiheelle ilman epävarmuuksien ja puskurien huomioimista.
- 5) Tarkastele uudelleen työjärjestystä, resursseja sekä työmenetelmiä pyrkien lyhentämään vaiheiden kestoa.
- 6) Määritä aikaisin mahdollinen aloituspäivä vaiheelle.
- 7) Jos aikaa on jäljellä sen jälkeen, kun verrataan alkamisen ja valmistumisen välistä aikaa työvaiheiden keston, päätetään, mitä toimintoja suoritetaan ylijääneellä ajalla tai mihin työvaiheeseen joudutaan lisäämään puskuria.

Jos kaikki projektin osapuolet ovat tyytyväisiä yhdessä suunniteltuun käännteiseen vaiheaikatauluun, on aika siirtyä valmisteleviin suunnitelmiin. Jos KVA suunnitelmat ovat

ristiriidassa keskenään tai joku osapuoli ei koe sen olevan realistinen, iteroidaan yllä olevaa listaa uudestaan.

Valmisteleva suunnitelma

Valmistelevan suunnitelman tavoitteena on varmistaa tulevien viikkojen töiden toteuttamiskelpoisuus. Siinä puretaan työvaiheita erillisiksi tehtäviksi. (Ballard, 2000) Suunnitelma pohjautuu vaiheaikataulussa määriteltyihin työjärjestyksiin sekä nopeuksiin ja siirtää ne toteutukseen. Tehtävistä tehdään toteutettavia varmistamalla niiden aloitusedellytykset ja poistamalla ongelmat etukäteen. Tehtävät, joiden aloitusedellytykset on varmistettu, mutta joiden suorittamisella ei ole kiire, käytetään puskuritehtävinä. Tällöin työryhmillä on varamestaa, jos muiden tehtävien aloitusedellytykset eivät suunnitelmista huolimatta olekaan varmistettu. (L. Koskela & Howell, 2002) Ballardin ja Howellin (2003) mukaan valmistelevan suunnitelman tarkoitus on:

- Sovittaa työn virtaus ja kapasiteetti
- Muodostaa työn virtauksen nopeus ja järjestys
- Tehdä ja pitää yllä listaa tehtävissä olevista töistä
- Valmistella tarkennetut suunnitelmat työn suorittamisesta

Vastaava työnjohtaja suunnittelee siis seuraavien 2–6 viikon työt tarkasti eri työryhmille ja pyrkii tunnistamaan töiden edellytykset ja esteet. Tämän pohjalta tehtävät jaetaan työvaiheista vastaaville työnjohtajille ja työryhmille tarkempaan viikkosuunnitteluun. (Ballard & Howell, 2003)

Viikkosuunnittelu

Viikkosuunnittelu on LPS:ssä tuotannon toteutuksen painopiste ja perusta. Viikkosuunnitelmaan otetaan ainoastaan tehtäviä, joilla on aloitusedellytykset kunnossa. (Ballard, 2000) Tulevan viikon tehtävien toteutuksesta päätetään kaikkien osapuolten yhteisillä päätöksillä. Jokaiselle tehtävälle osoitetaan vastuuhenkilö, joka sitoutuu tehtävän toteuttamiseen aikataulussa. Perinteisessä rakentamisessa työnjohtaja ilmoittaa aliurakoitsijoille tehtävän käynnistämisestä, kun LPS:ssä tehtävää ei aloiteta ennen, kun kaikki osapuolet toteavat aloitusedellytysten täyttyvän. Näin varmistetaan osapuolten sitoutuminen tehtävien toteuttamiseen, kuin yhteinen päätöksentekoprosessi

perustuu avoimeen kommunikointiin ja luottamukseen osapuolten välillä. (L. Koskela & Howell, 2002)

Toteutuksen seuranta ja analysointi

Koskelan ja Howellin (2002) mukaan viikkosuunnitelmien tehtävien toteutumista täytyy seurata aktiivisesti. Jokaisen viikon jälkeen työryhmä raportoi aikataulussa tehdyn työn määrän ja sen, mitä tehtäviä ei saatu suoritettua. Toteutuksen valvonta tapahtuu kolmen toimenpiteen avulla:

- Tehtävien toteutumisasteen seuranta
- Toteutumatta jääneiden tehtävien syiden selvittäminen
- Toteuttamatta jääneiden tehtävien syihin vaikuttaminen

Toteutumista mitataan tehtävien toteutumisprosentilla, joka kuvaa toteutuneiden tehtävien osuutta kaikista viikolle suunnitelluista tehtävistä. Toteutuneeksi lasketaan ainoastaan ne tehtävät, jotka on suoritettu täysin valmiiksi. Syyt toteutumattomien tehtävien suorittamatta jättämiseen selvitetään viikoittain ja niistä pidetään kirjaa sovitulla tavalla. (Ballard, 2000) Toteutumattomille tehtäville voidaan tehdä myös juurisyyanalyysi viisi-miksi-menetelmää käyttäen (Ballard & Howell, 2003). Ballardin ja Howellin (1994) mukaan suurimmat syyt viikkosuunnitelmien tehtävien toteutumatta jäämiseen ovat materiaali puutteet sekä virheelliset tai puutteelliset suunnitelmat.

LPS-prosessi edistää tuotannon jatkuvaa parantamista, ja se on helppo ottaa käyttöön ja sisäistää. Usean tutkimuksen mukaan LPS:n käyttöönotto parantaa rakentamisen tuottavuutta jopa 40 % (L. Koskela & Koskenvesa, 2003). Ballard (2000) mukaan LPS:n käyttö on kasvattanut tuotannon toimitusvarmuutta yli 90 prosenttiin ja samalla lisännyt tuotannon ennustettavuutta.

2.2 Tahtituotanto rakennusalalla

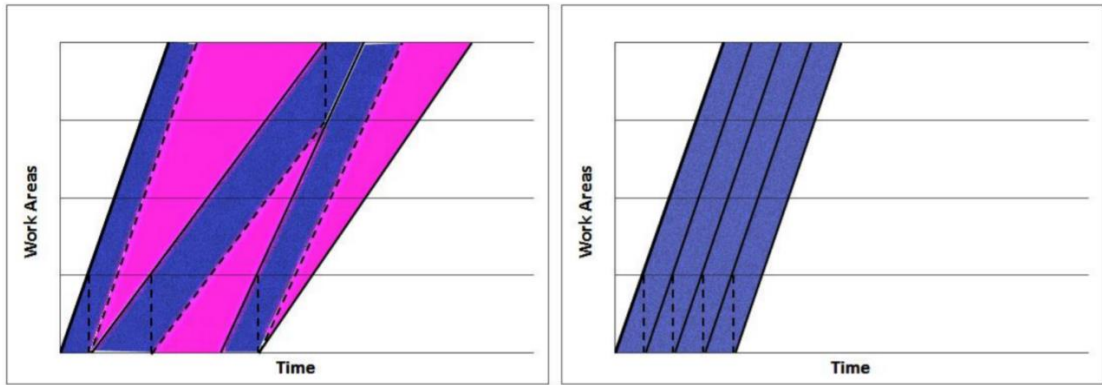
Termi ”tahti” tulee latinan sanasta ”tactus”, jonka merkitys on ”kosketus, kosketuksen tunne, tunne”. Tahdistettu prosessi oli isossa roolissa tuotannossa jo ennen tuotannon vallankumousta. 1900-luvun alussa tahtia käytettiin kasvavassa määrin tuotannollisissa operaatioissa. Yksi tunnetuimmista tahtiperusteisen tuotannon käyttäjistä oli autotuotannon pioneeri Henry Ford. Ford oli ensimmäinen yritys, joka esitteli massatuotannon autojen teossa käyttämällä tuotantolinjastoja, joiden ansiosta Ford Model T pystyttiin kokoamaan nopeammin ja edullisemmin kuin muut vastaavat autot

siihen aikaan. Muilla teollisuuden aloilla tahtia käytettiin ensimmäistä kertaa Saksassa lentoteollisuudessa. Tahtia käytettiin tarkkana aikavälinä lentokoneen rungon tuotannon eri vaiheissa siten, että jokaisen tahdin lopuksi lentokoneen runko siirrettiin tuotantopisteeltä seuraavalle. Saksalaisen lentokonealan ja Mitsubishin teknisen yhteistyön johdosta Mitsubishi toi tahti-idean Japaniin, jossa Toyota loi ajatuksesta oman Toyota Production System (TPS) järjestelmänsä. (Haghsheno et al., 2016)

Tahdistettu tuotanto on Suomessa jo 1990-luvulla käyttöön otettu tuotannonohjauksen periaate, jonka mukaan eri työvaiheet mitoitetaan etenemään samalla nopeudella niin, etteivät samalla alueella tai samassa tilassa ole kahta työvaihetta samaan aikaan käynnissä. Tämän varmistamiseksi työvaiheiden väliin jätetään tarpeeksi aikapuskuria, jotta edeltävä työvaihe saadaan varmasti tehtyä valmiiksi ennen uuden työvaiheen alkamista samassa tilassa. (Salminen & Talaskivi, 2021, 248) Tahtituotanto on käytännössä tahdistetusta tuotannosta askeleen tarkemmaksi suunniteltu tuotannonohjauksen periaate.

Tahtituotanto on virtaukseen perustuvan teollisen tuotannon ohjausperiaate. Sen suunnitteluperusteena on esimerkiksi rakennuskohde, jonka töiden halutaan etenevän keskeytyksettä työvaiheesta toiseen. Keskeyttämättömän työskentelyn takia työmaan työvaiheet jaetaan pieniin, ajallisesti samanpituisiin työpaketteihin, jotka seuraavat toisiaan erikseen määritetyn tahtiajan puitteissa. Tätä tahtialueelta tahtialueelle siirtyvää tuotantopakettia kutsutaan tuotantojunaksi. Tahtituotannon tavoitteena on lyhentää rakennusprojektien läpimenoaikaa vähentämällä hukkaa. (Salminen & Talaskivi, 2021, 248) Chauhan et al. (2018) mukaan hukkaa on se osa tuotantoa, josta asiakas ei ole valmis maksamaan. Hukkaa on useaa eri tyyppiä, ja Lean-ajattelun yksi keskeinen kulmakivi onkin havaita ja poistaa erilaisia hukkamuotoja tuotannosta. Hukan poisto tapahtuu esimerkiksi jakamalla työ pienempiin kokonaisuuksiin ja poistamalla niiden väliltä ylimääräiset odotusajat. Erilaisia hukkia ovat esimerkiksi ylituotanto, ylimääräiset varastot, odotus, kuljetus, käsittely, viat, tarpeeton liike sekä työntekijöiden luovuuden käyttämättä jättäminen.

Alla olevassa kuvassa 3 havainnollistetaan tuotannon tasaisen etenemisen näkymistä paikka-aika-kaaviossa. Siniset alueet kuvastavat tiloja, joissa työskennellään, ja pinkit alueet työskentelyalueita, jotka ovat turhaan tyhjillään. Keskeneräiset tilat, joissa kukaan ei työskentele, ovat ylimääräisiä puskureita tahtituotannossa.



Kuva 3. Havainnollistava kuva tahtituotannon aiheuttamasta työn tasaisen etenemisen näkymisestä paikka-aika-kaaviossa. (Faloughi et al., 2015)

Jakamalla työ pienempiin osiin tuotantoa voidaan tarkkailla tahtien kautta. Dlouly et al. (2018) määrittelee termin ”tahti” tekijänä, joka aiheuttaa toistuvat toiminnot tietyssä säännöllisessä ajassa. Tahti onkin kokonaisuus, joka voidaan jakaa kolmeen eri osaan: tahtiaikaan, tahtialueeseen ja tahtityöhön. Tahtiaika on se aika, joka vaaditaan tietyn tehtävän tekemiseen tahtialueella. Tahtiaika on vakio joka tahdissa, ja se määritellään hankkeen alussa. Tahtialue on se alue, jossa itse tahtityö toteutetaan, esimerkiksi kerros, lohko, asunto tai yksittäinen kylpyhuone. Tahtityö on se tahdin sisältö, joka toistuu tahtialueesta toiseen, esimerkkinä tahtityöstä on väliseinän rungon teko ja toisen puolen levytys. Tahtituotantoon liittyviä käsitteitä käsitellään seuraavissa alaluvuissa, sekä ne on havainnollistettu alla olevassa kuvassa 4.

		TAHTIAIKA						
TAHTI / TAHTIALUE		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
TAHTIALUE	TA1	Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3				
	TA2		Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3			
	TA3			Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3		
	TA4				Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3	
	TA5					Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3
	TA6						Tehtävä 1	Tehtävä 2

Kuva 4. Havainnollistava kuva tahtiaikataulusta

Yllä olevassa kuvassa 4 on havainnollistettu tahtituotannon aikataulua. Ylhäällä vaakasuunnassa juoksee tahtiajat T1–T7, joista jokainen on määrämittainen, ennalta sovittu aikamääre, jonka aikana tehtävä suoritetaan. Tahtialueet TA1–TA5 kuvaavat alueita, joissa tahtityöt suoritetaan, esimerkiksi yksittäinen lohko tai asunto. Tahtityöt 1–3 ovat eri työvaiheita, jotka suoritetaan tahtiaikana eri tahtialueella.

Suomessa rakennusalalla kiinnostus tahtituotantoa kohtaan heräsi 2010-luvulla. Kokemuksia saksalaisista korjausrakennuskohteista sekä laivojen korjaushankkeista hyödynnettiin ensin Suomessa korjausrakentamiseen, ja sitä kautta tahtituotantoa kokeiltiin Suomessa myös uudisrakentamisessa. Suomessa tahtituotannon siirtyminen rakennusalalle lähti liikkeelle siis telakkateollisuuden laivankorjaushankkeista. (Salminen, 2021)

2.2.1 Tahtituotannon eri menetelmät

Tahtituotannosta on maailmanlaajuisesti käytössä pääsääntöisesti kaksi eri suuntausta. Kalifornialaisten Iris Tommeleinin ja Adam Frandsonin kehittämä Takt Time Planning (TTP) sekä Saksalaisten Janosch Dloyhun ja Marco Binningerin kehittämä Takt Time Planning and Takt Control (TPTC).

Takt Time Planning (TTP)

Yhdysvaltojen Kalifornian Yliopistossa kehitetyn Takt Time Planning (TTP) tarkoitus on luoda työlle jatkuva virtaus. Jatkuvan virtauksen toteuttamiseksi (Frandsen et al., 2013) ja Frandsen et al. (2015) on listannut kuusivaiheisen prosessin:

Vaihe 1 – Informaation kerääminen: TTP:n kehittäminen vaatii valtavasti tietoa tuotantoon vaikuttavista tekijöistä, ja ne pitää kerätä hyvissä ajoin ennen rakennusprojektin alkamista. Informaation kerääminen alkaa tuotantotiimin ja hankkeen urakoitsijoiden tapaamisilla, joissa keskustellaan tahtituotannon suorittamiseen tähtäävistä toimenpiteistä sekä työvaiheiden suorittamisesta. Urakoitsijoilta kerätään tiedot työtahdistista, halutuista toimintatavoista sekä välitavoitteista työn aikana. Samalla selvitetään muita tietoja urakoitsijoiden työskentelystä, kuten saatavat työntekijä- ja materiaaliresurssit, tahdistavat työvaiheet ja tehtävät ennen omaa suoritusta sekä työtehtävän suoritusjärjestys. Urakoitsija voi esimerkiksi piirtää korostuskynällä pohjapiirustukseen halutun työnkulun tietyssä ajassa tietyin oletuksin. Eri urakoitsijoiden työvaiheiden suoritustapoja täytyy verrata keskenään, jotta löydetään kokonaisuutta parhaiten palveleva yhdistelmä, joka ei välttämättä ole jokaisen urakoitsijan mieluisin tapa suorittaa oma työvaiheensa. Urakoitsijan edustajan täytyy olla sellainen, joka

ymmärtää työvaiheeseen liittyvät yksityiskohdat tarpeeksi hyvin, esimerkiksi työnjohtaja, jotta suunnitelmista tulee mahdollisimman toteutuskelpoiset. Urakoitsijan edustajan pitää kyetä sitoutumaan sovitun työn tekemiseen.

Vaihe 2 – Tahtialueiden ja tahtiajan määrittely: Tahtiaika määritellään sen mukaan, missä ajassa työtehtävät kyetään suorittamaan tietyllä alueella. Tämän takia tahtiaika ja tahtialue liittyvät isolta osalta toisiinsa, koska tietyn suorituksen vaatima aika riippuu siitä, mitä ja missä työsuoritus täytyy tehdä. Tahtialueet määritellään projektin kokonaisuutta ajatellen, ja niitä määriteltessä täytyy ottaa huomioon monta eri asiaa. Esimerkiksi tahtialueet voidaan valita edellisissä työvaiheissa vakiintuneiden alueiden mukaan, informaatiota kerätessä projektin kokonaisuus parhaiten huomioon ottaen, tai suunnitella aluejako tyydyttämään parhaiten pullonkaulana toimivaa työvaihetta.

Vaihe 3 – Työvaiheiden järjestyksen määrittely: Tahtiajan ja tahtialueen määrittämisen jälkeen määritellään työtehtävien järjestys projektissa. Työtehtävien järjestyksen määrittämisessä täytyy ottaa huomioon työvaiheiden riippuvuudet toisistaan. On tärkeää selvittää jokaisen työvaiheen aloitusvaatimukset ennen järjestyksen määrittämistä.

Vaihe 4 – Työn virtauksen tasapainotus: Työn virtauksen tasapainotuksessa työvaiheiden kestot jokaisella tahtialueella pyritään saamaan saman pituisiksi. Tässä vaiheessa tahtialueita voidaan vielä muokata, jotta työvaiheiden kestot eivät vaihtelisi alueiden välillä niin paljoa. Tarvittaessa voidaan muokata myös työvaiheiden sisältöä ja työmenetelmiä, jotta päästäisiin haluttuun tahtiaikaan. Tällöin esimerkiksi voidaan päättää käyttää enemmän esivalmistettuja materiaaleja, jotta asentamiseen käytetty aika lyhenisi sopimaan tahtiaikatauluun. Virtauksen tasapainottamiseksi voidaan muokata myös työvaiheiden järjestystä, esimerkiksi jakamalla työvaihe useampaan osaan, jotta työvaihe sopisi paremmin haluttuun tahtiaikaan.

Vaihe 5 – Yksittäisen työvaiheen keston määrittely: Jotta työn virtauksen tasapainotus olisi mahdollisimman hyvä, täytyy yksittäisten työvaiheiden kestot määrittää mahdollisimman tarkasti, jotta päästäisiin mahdollisimman sujuvaan tahtiaikaan. Virtauksen tasapainoa ei saavuteta heti, vaan se kehittyy jatkuvasti prosessin mukana määrittäen tahtiajan.

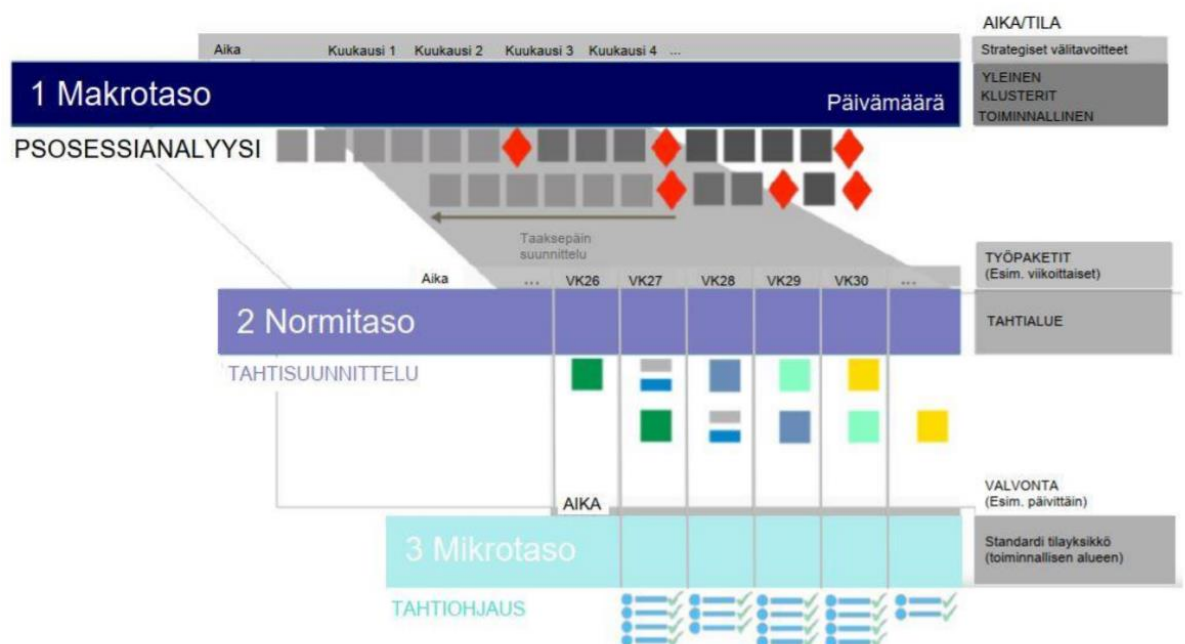
Vaihe 6 – Tuotantoaikataulun viimeistely: Tuotantoaikataulun viimeistely vaatii vahvistuksen jokaisen työvaiheen urakoitsijalta heidän kyvykkyydestänsä suoritua työstään tahtialueella tietyssä sovitussa tahtiajassa. Tämän jälkeen aikatauluun suunnitellaan mahdolliset pienet puskurit tehtävien välille, jotta tehtävien sujuvuuden vaihtelu saadaan huomioitua tahtiajan pituudessa.

Takt Time Planning and Takt Control (TPTC)

Toinen käytössä oleva tahtimenetelmä on saksalaisten Janosch Dloyhun ja Marco Binningerin kehittämä **Takt Time Planning and Takt Control (TPTC)**, joka tarkoittaa tahtisuunnittelua ja tahtikontrollia. TPTC kehitettiin eteläsaksalaisessa Karlsruhe Institute of Technologyssä (KIT), ja siinä pyritään (Dlouhy et al., 2016) mukaan tunnistamaan rakentamisen toistuvat prosessit ja siten lisäämään vakautta tuotantoon. Tätä ennen rakentamisessa on keskitytty pääasiassa yksittäisten työvaiheiden sujuvaan etenemiseen eikä tilojen täysimääräiseen hyödyntämiseen.

TPTC perustuu malliin kolmitasoisesta hierarkiasta, jota käytetään tahdin ja siihen liittyvän työalueen määrittelyyn. Dlouhy et. al. (2016) mukaan siinä rakennusvaiheet yhdistetään tiiviisti toisiinsa, minkä avulla rakentamisaikaa voidaan lyhentää huomattavasti. Jakaminen kolmitasoiseen hierarkiaan tarjoaa johtajille tarvittavaa läpinäkyvyyttä, auttaa heitä tekemään parempia valintoja sekä se myös yksinkertaistaa rakennusprojektin valvontaa. Lisäksi menetelmä mahdollistaa rakennusvaiheiden ja rakennuksen käyttövaiheen välisen yhteyden parantamisen. Tuotannon standardointi eri tasoilla mahdollistaa prosessin jatkuvan parantamisen tulevien projektien näkökulmasta.

Kolmitasoisien hierarkian eri tasot on rakennettu edellisen tason tila- ja aikatekijöiden mukaisesti. Alla olevassa kuvassa 5 esitetään kolmitasoisien hierarkian toiminta pääpiirteittäin.



Kuva 5. Kolmitasoisien hierarkian esitys (Hult 2020, mukailen Dlouhy et al. 2016)

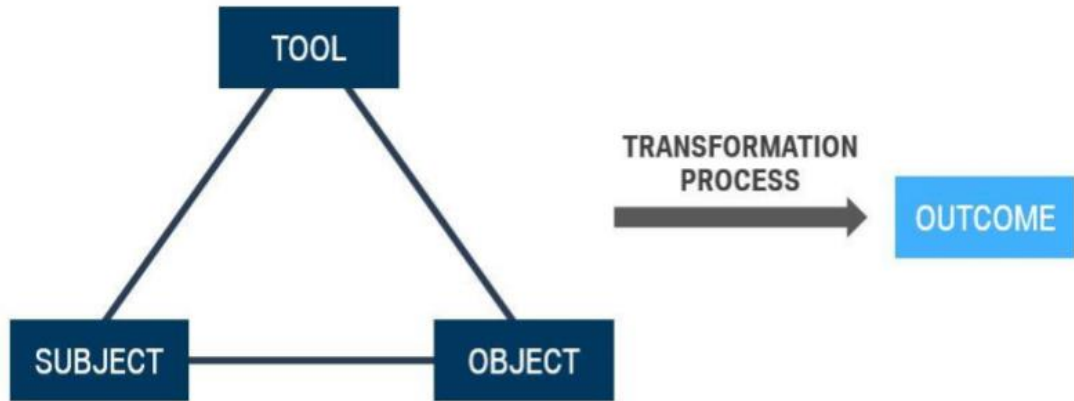
Makrotaso: Prosessianalyysi

Dlouhy et. al. (2016) mukaan ylin taso, eli makrotaso, sisältää virstanpylvässuunnitelman laatimisen eri rakennushankkeen tärkeille toiminta-alueille. Tavoite on saada tehtyä systemaattinen prosessianalyysi mahdollisimman aikaisessa vaiheessa projektia, jotta osataan arvioida asiakkaan prioriteetit arvon näkökulmasta katsottuna. Tämän avulla voidaan lisätä haluttua arvoa projektin eri osapuolien väliselle yhteistyölle sekä havaintaan myös rakennusprojektin yhteenotot ja eri riippuvuudet toisistaan. Tuloksena saadaan yhteinen visio tulevan rakennushankkeen loppuun saattamisesta. Tällä tavoin rakennusvaiheiden liitännäspisteet ja töiden yhteensovittaminen voidaan määrittellä ja optimoida parhaalla mahdollisella tavalla. Jo aikaisemmin kerättyä dataa edellisistä projekteista voidaan hyödyntää eri toiminta-alueilla.

Normitaso: Tahtisuunnittelu

Normitason tahtisuunnittelu heijastaa Dlouhy et. al. (2016) mukaan asiakkaan alueellista priorisointia tärkeiden osa-alueiden välillä. Arvoa lisäävät prosessit määrittellään asiakkaan tai käyttäjän vaatimusten mukaisesti kolmivaiheisen hierarkian kaikilla tasoilla. Aika- ja tilajaot rakentuvat makrotason rakenteen mukaisesti. Jotta rakentamisprosessi voidaan suunnitella vakaaksi ja tasaiseksi, projektin alueet on jaettava vakiotilayksiköihin (SSU, engl. Standard Space Units). Etukäteen määritellyssä työjärjestyksessä näitä alueita ei voida enää jakaa pienempiin yksiköihin, vaan ne voidaan viimeistellä toisistaan riippumatta. Jakamalla alueet pieniin tilayksiköihin (SSU) saadaan yksityiskohtaista tietoaineistoa suorituskyvystä ja sen yhdenmukaistamisesta. Eri tilayksiköitä pystytään yhdistämään eri tahtialueisiin asiakkaan tilallisesta priorisoinnista riippuen, eli asiakkaan painopistealueita kyetään painottamaan rakentamisen tahdistamisessa.

Jokaisesta tahtiajan työvaiheesta tunnistetaan prosessin eri vaiheet ja vaadittava työ dokumentoidaan. Alla olevassa kuvassa 6 osoitetaan, että esineiden, koneiden ja työntekijöiden kolminaisuutta voidaan käyttää työmäärien yhdenmukaistamiseen.



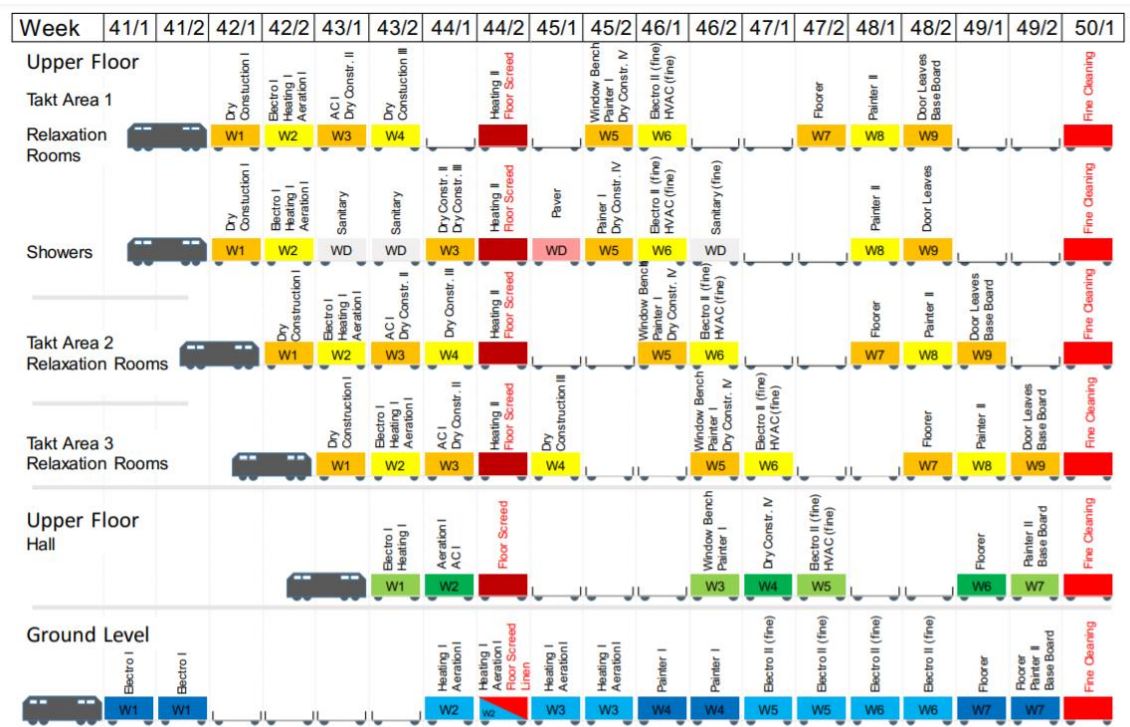
Kuva 6. Kolme prosessiin vaikuttavaa tekijää (Dlouhy et. al. 2016)

Yllä olevassa kuvassa olevat käsitteet tarkoittavat Dlouhy et. al. (2016) mukaan seuraavaa:

- **Subject** tarkoittaa työntekijöitä: määrittelemällä työntekijöiden määrä kussakin työvaiheessa saadaan työmäärät tasoitettua toisiinsa nähden. Tässä täytyy ottaa huomioon aliurakoitsijan oma kapasiteetti toimittaa työntekijöitä.
- **Object** tarkoittaa tilayksiköitä (SSU): yhdistämällä tilayksiköitä samaan tahtiin sopivalla tavalla kyetään tasoittamaan tahteja toisiinsa nähden. Tahtialueet voivat sisältää hyvinkin erikokoisia tilayksiköitä, kunhan tahtialueiden työaika saadaan kokonaisuudessaan mahdollisimman samansuuruisiksi toisiinsa nähden.
- **Tool** tarkoittaa työvaiheessa käytettävien työkoneiden määrää ja laatua. Työkoneiden/laitteiden määrä vaikuttaa työvaiheiden kestoihin. Lisäämällä työkoneiden määrää esimerkiksi siten, että niitä ei tarvitse erikseen etsiä tai vaihdella työvaiheen työntekijöiden välillä, nopeuttaa työvaiheen suorittamista. Vaihtoehtoisesti vaihtamalla työkone parempaan voidaan helpottaa työvaiheen suorittamista.

Yksittäisten työpakettien täyttämiseen liittyvät tiimit ryhmitellään kuvainnollisesti tahtialueiden läpi kulkevan työjunan vaunuiksi (kuva 7). Kun työjuna on kulkenut tahtialueen lävitse, tulee tahtialue valmiiksi. (Dlouhy et al., 2016) Rakentamisen työjärjestys seuraa tahtialueiden alueellista priorisointia ja siten asiakkaan esittämiä vaatimuksia. Makro- ja mikrotasojen yleiset elementit sopivat yksittäisiin projekteihin. Työjunaksi valmisteltu tahtisuunnitelma sisältää paikan ja ajan ulottuvuudet, ja niiden

parametrien määrittely johtaa toistettaviin työpaketteihin sekä materiaalivirtojen ja käytettävien koneiden alkuvaiheen suunnitteluun, joka lisää tietoa työn aikana tarvittavista resursseista. Tärkeiksi priorisoiduissa tiloissa olevien ei-toistettavien työpakettien osalta on mahdollista pitää työpisteen yhteydessä sopivaa puskuria, jotta työ etenisi halutulla tavalla. Saadut tiedot ja vaihtelut normitasosta pystytään siirtämään suoraan makrotasolle. (Seppänen, 2014).



Kuva 7. Havainnollistava kuva tahtialueiden läpi kulkevista työvaunuista (Binninger, Dlouhy, & Haghsheno, 2017)

Mikrotaso: Tahdin valvonta

Dlouhy et al. (2016) mukaan mikrotaso käsittää normitason prosessipakettien yksityiskohdat ja itse työvaiheiden rakentamisen aikaisen valvonnan. Yleinen yhteys makrotasoon säilyy prosessipakettien työvaiheiden kautta ja tahtialueiden työvaiheet otetaan prosessipaketeista normitasolla. Ne suunnitellaan tahtiajan puitteissa yhteistyössä projektipäällikön ja aliurakoitsijan edustajan kanssa. Itse rakennustyön toteutuksen valvonta tapahtuu päivittäisillä noin 15 minuutin tahdin tilan seuraamiseen tarkoitetuilla tapaamisilla, jossa kaikki työmaan työntekijät tapaavat työstä vastuullisen työnjohtajan. Visualisointia ja dokumentointia varten tiedot kerätään päivittäisistä tapaamisista ja tallennetaan tahdin ohjausjärjestelmään. Tahdin seuraamistapaamisissa ohjausjärjestelmään tallennetut tiedot koostuvat kahdesta keskeisestä osasta, jotka ovat

työvaiheen todellisen vaiheen määrittäminen sekä toimenpiteet normitason vaatimukseen pääsemiseksi. (Dlouhy et al., 2016)

Päivittäisistä tapaamisista kirjataan ylös Binninger et al. (2017) mukaan myös ainakin seuraavat asiat:

- Työvaiheiden työntekijöiden määrät kyseisenä päivänä
- Työkoneiden määrät
- Tahtisuunnitelman noudattamisaste
- Laatupoikkeamat
- Havaitut turvallisuussääntöjen rikkomukset sekä tapaturmien määrät
- Työhäiriöiden määrät
- Tiedot työskentelyalueen puhtaudesta ja siisteydestä

Näitä tietoja hyödyntäen pystytään kehittämään toimintaa etenkin käynnissä olevan projektin kannalta, mutta myös tulevien projektien tahtisuunnitelman tekoa varten. Päivittäiset tiedot tallentuvat tahdin ohjaamisjärjestelmään, josta saadaan tarkasteltua projektin tärkeitä lukuja ja huomattuja ongelmia.

Binninger et al. (2017) mukaan KITissä on kehitetty myös 12-vaiheinen malli tahtisuunnitelman tekoon, jossa määritellään vaihe vaiheelta tahtituotannon suunnitteluprosessin eteneminen.

- **1) Määrittele toiminnalliset alueet:** Ensimmäisessä vaiheessa hanke jaetaan toiminnallisiin alueisiin. Nämä ovat rakennuksen osia ja alueita, jotka toteutetaan omissa jaksoissaan.
- **2) Määrittele alueiden priorisointijärjestys:** Määritellään toiminnallisten alueiden tärkeysjärjestys asiakkaan näkökulmasta, minkä jälkeen suunnitellaan työjärjestys sen pohjalta.
- **3) Valitaan yksittäinen toiminnallinen alue**

- **4) Valitaan edellisen vaiheen toiminnalliselle alueelle standardiksi tilayksiköksi:** Standardiksi tilayksiköksi (SSU, Standard Space Unit) valitaan sellainen pienin mahdollinen tila, joka toistuu projektissa.
- **5) Valitaan työpaketit jokaiselle standardille tilayksikölle:** Nimetään kaikki ne työvaiheet, jotka täytyy suorittaa kyseisessä tilayksikössä.
- **6) Tehdään määrälaskelma SSU:n töille ja kerrotaan ne työmenekikertoimilla:** Tässä työvaiheessa on tärkeää käyttää oikeita määriä ja työmenekikertoimia.
- **7) Niputetaan eri työvaiheet työpaketteihin:** Yhdistetään eri työvaiheet toisiinsa, jotta saadaan yhtenäiset työpaketit.
- **8) Määritellään tahtiaika ja tahtialue: Yhdistetään eri SSU:t erillisiksi tahtialueiksi, joille määritetään tahtiaika.** Tahtiaika on yleensä jo etukäteen asiakkaan määrittelemä, ja sen pohjalta lähdetään muodostamaan sopivia tahtialueita. Tahtialueet muodostetaan työmenekkilaskelmien mukaisesti. Tahtiajan voi muodostaa myös ennalta määriteltujen tahtialueiden mukaan.
- **9) Tasoitetaan tahdit:** Muutetaan tarvittaessa työvaiheiden suoritusta, vaihdetaan työvoiman määrää, korjataan työvaunujen päällekkäisyyksiä sekä luodaan tarvittavaa puskuria työvaunujen välille.
- **10) Asetetaan työpakettien töistä toimiva tuotantोजना:** Työtehtävät voidaan niputtaa samaan työvaunuun, jos työtehtävät voidaan suorittaa samanaikaisesti ilman työtehtävien törmäystä.
- **11) Toistetaan kohdat 4–10 kaikille toiminnallisille alueille**
- **12) Tehdään tahtiaikataulu ja määritetään virstanpylväät tärkeille tavoitteille**

Tämän 12 kohdan mallin avulla saadaan suunniteltua tahtituotanto ja pystytään Binninger et al. (2017) mukaan luomaan toimiva tahtiaikataulu. Tahtiaikataulun luominen valmiiksi suunnitellun mallin avulla varmistaa sen, että suunnittelussa otetaan huomioon monipuolisesti tahtituotannon vaatimat asiat.

Frandsen et al. (2013) mukaan molemmilla eri tahtituotannon menetelmillä (TTP ja TPTC) on paljon yhteistä kuten se, että ne kehittävät karkean tuotantosuunnitelman yhä yksityiskohtaisemmaksi ja viimeistellymmäksi tuotantoaikatauluksi. TTP:n ja TPTC:n

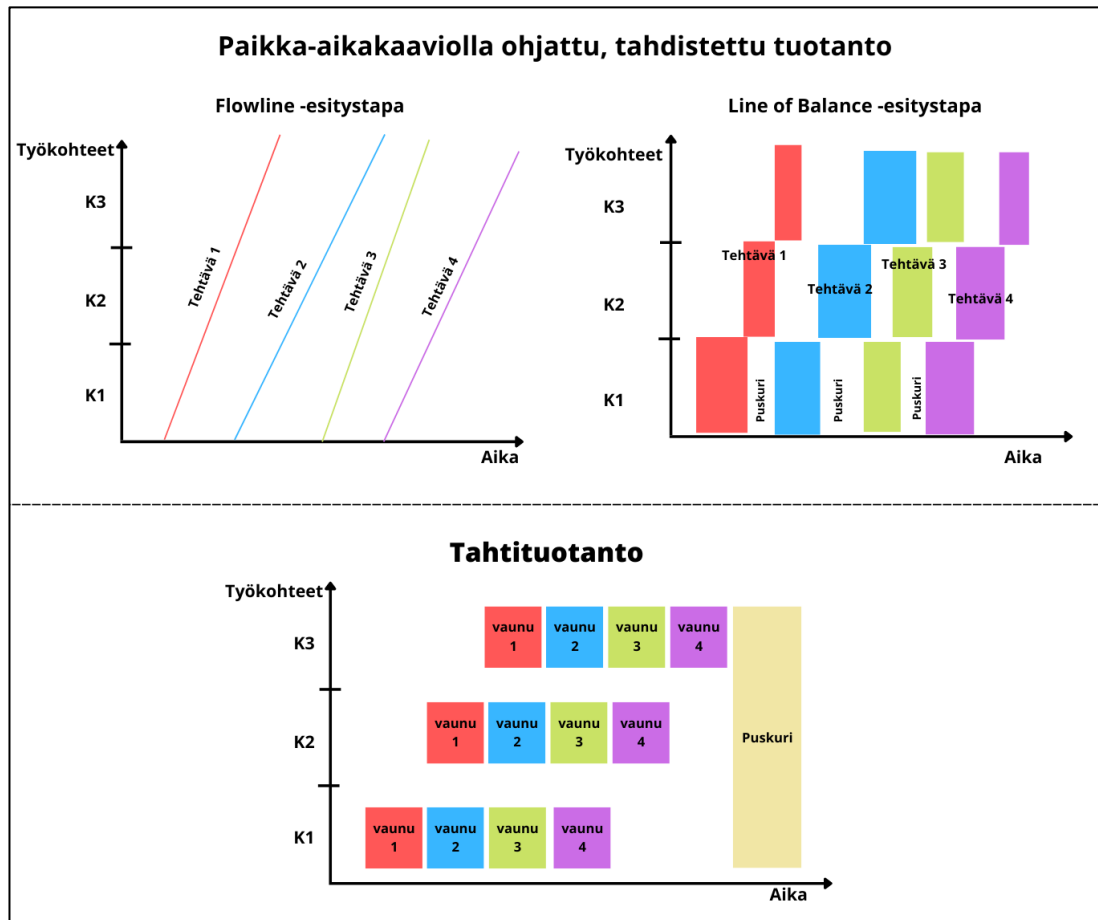
eroja on Dahlberg & Drevland (2021) mukaan tahtialueiden määrittelyssä sekä siinä, miten osallistetaan työvaiheen suorittajat suunnitteluprosessiin. TTP:ssä tahtialueet muotoillaan etsimällä pienimmät mahdolliset toistuvat osat, kun taas TPTC:ssä tahtialueet muodostetaan etsimällä samansuuruisia työtiheyksiä. TTP korostaa työvaiheen suorittajien osallistamista päätöksentekovaiheessa, kun taas TPTC priorisoi asiakkaan toiveet keskeisenä suunnittelukriteerinä ja suosii ennalta määrättyä ja virtaviivaista kontrollikäyttäytymistä. Alla olevassa taulukossa 1 on vertailtu molempien menetelmien toimintatapoja.

Taulukko 1. Vertailussa saksalaisen sekä kalifornialaisen tahtituotantomallin toimintatavat (muotoiltu Keskiniva et al., 2020)

		Tahtimalli sisältää	Frandsen et al. (2013)	Dlouhy et al. (2016)
		Ennen tuotantoa	Tahti-suunnittelu	Vetosuunnittelu
Kriittisen polun menetelmä	x			-
Tehtävän keston määrittely	x			x
Tehtäväjärjestys	x			x
Työalueen/ tahtialueen määrittely	x			x (yksityiskohtainen)
Työpaketit	x			x
Tehtävien kestojen yhdenmukaistaminen	x			x
Pehmeä aloitus	-			x
Tuotannon aikana	Tahdin ohjaus			Ensimmäiset tutkimukset
		Päivittäiset tahtitapaamiset	-	x
		Tahtisuunnitelman valvonta ja päivitys tuotannon aikana	-	x

Molemmat kansainväliset tahtituotannon suuntaukset (TTP ja TPTC) muistuttavat usealta eri osin suomalaista tapaa ohjata rakennushankkeen etenemistä paikka-aikakaaviolla. Paikka-aikakaaviossakin työkohte jaetaan kerroksiin tai lohkoihin ja niiden työvaiheita johdetaan Line of Balance tai Flowline -esitystapoja hyödyntäen. Paikka-aikasuunnitelma, josta on otettu pois tehtävien väliset puskurit, onkin eräänlaista tahtituotantoa. Eroja käytännön paikka-aikasuunnittelun ja oikein toteutetun tahtituotannon välillä on silti paljon. (Dahlberg & Drevland, 2021)

Alla olevassa kuvassa 8. on esitelty Line of Balance, Flowline ja tahtituotannon aikataulun esitystavat.



Kuva 8. Tahdistetun tuotannon ja tahtituotannon aikataulujen esitystavat (muotoiltu Salminen, 2021)

Yllä olevassa kuvassa 8 näkyvä Flowline-esitystapa näyttää työtehtävien kulun paikka-aika-akselilla kulkevana viivana. Eri työtehtävien viivat kulkevat eri kulmakertoimella johtuen perinteisen tuotannonohjauksen päämäärästä, joka pyrkii työntekijöiden tehtävien jatkuvuuteen eikä tilojen mahdollisimman suureen käyttöasteeseen, kuten tahtituotannossa.

Vaikka paikka-aikasuunnittelussa pääasiallisena tuotantotavoitteena toimii yksittäisten tehtävien jatkuva eteneminen, on silti sijainti isossa osassa tuotantotekijänä. Yksittäiset tehtävät koostuvat usein vain yksittäisestä tehtävänimikkeestä, kuten väliseinätyöt, sähkötyöt ja putkityöt, eikä töitä ole jaoteltu pienempiin kokonaisuuksiin, kuten 1. puolen levytys, rasiointi ja väliseinien putkitus. Tehtäville piirretään omat viivat paikka-aikakaavioon, ja niiden kulmakertoimet kuvaavat työn etenemisnopeutta eri paikoissa.

Yksittäisten työtehtävien pysähtyessä käytetään varamestoja, jotta työryhmän työnteke ei pysähtyisi kokonaan. (Salminen, 2021)

Koska tahtituotannossa pääasiallisena tuotantotekijänä toimii sijainti, on silloin tärkeintä varmistaa töiden jatkuva eteneminen jokaisessa tahtialueessa. Eli siis pyritään siihen, ettei tyhjää käytettävää mestaa ole, vaan edellisen työtehtävän päätyttyä tilassa seuraava työtehtävä alkaa välittömästi. Työntekijämäärää käytetään keinona säätämään työpakettien kestoja. Koska tärkeimpänä tekijänä tahtituotannossa toimivat tilat, joissa työskennellään, työntekijöiden yliresursointia ei usein voida välttää. Tällöin täytyy joko hyväksyä työntekijöiden joutokäynti, käyttää tahtituotantoon kuulumattomia tiloja ja töitä varamestoina tai muuttaa työjakoa, tekotapaa tai suunnitelmia vastaamaan aikatauluun. (Salminen, 2021) Alla olevassa kuvassa 9 on esiteltyä onnistuneen tahtituotannon elementtejä.



Kuva 9. Onnistuneen tahtituotannon elementit (Ronkainen, 2020)

Yllä olevassa kuvassa 9 on huomattavissa johtamiskäytännöt, päivittäisjohtaminen sekä edellytysten varmistaminen. Ne ovatkin hyvin tärkeitä osa-alueita tahtituotannon onnistumisen kannalta. Hyvin suunniteltu tahtituotanto ei voi onnistua, jos johtamiskäytännöt eivät toimi.

Tahtituotannon hyödyt ja haitat

Vaikka tahtituotannolla on kyetty saavuttamaan hyötyjä useissa eri hankkeissa, on myös havaittu ongelmia sen käytössä. Molempien tahtituotannon menetelmien on raportoitu

vaativan enemmän tuotannon suunnittelua verrattuna perinteiseen tuotannosuunnitteluun (Frandsen et al., 2013). Tahtituotannon käyttöönotto vaatii vahvaa sitoutumista ja Alhava et al. (2019) on raportoinutkin puutteita sitoutumisessa TPTC-menetelmään eräässä case-projektissa, jonka johdosta hukan määrä lisääntyi sekä virheiden määrä toistui eri tahtialueilla.

Tahtituotannon käyttöönotto vaatii pääurakoitsijan sitoutumisen lisäksi aliurakoitsijoilta sekä tavarantoimittajilta vahvaa sitoutumista. Tahtituotannossa on erityisen tärkeää varmistaa työn virtaus, ja siitä johtuen jokaisen tahtialueen on oltava valmiina ennen seuraavalle tahtialueelle siirtymistä (Keskiniva et al., 2021). Lehtovaara et al. (2021) tutkivat kuutta eri tahtituotanto case-kohdetta, ja jokaisessa niistä jotkin tahtialueilla suoritettavat tehtävät jäivät tekemättä annetussa tahtiajassa. Tällöin tahtialueelle piti palata jälkikäteen suorittamaan työt loppuun. Lehtovaara et al. (2019) mukaan työ on usein alioptimoitua ja osa tahtialueen työstä jätetään suorittamatta, jos aliurakoitsijoiden työntekijöille maksetaan palkkaa tehdyn työn mukaan eikä tuntipalkkana. Ratkaisuna tähän ehdotetaan aliurakoitsijoiden sitouttamista jo hankintavaiheessa. Yksi tahtituotannon onnistumisen suurimmista esteistä on Lehtovaara et al. (2019) mukaan tietotaidon puute. Uuteen tuotannosuunnitteluun ja -ohjaukseen siirryttäessä on opittava paljon uutta, mikä vaatii koulutuksia ja tarvittaessa projektin pehmeää aloitusta.

Frandsen et al. (2013) esittelevät tahtituotannolla suunniteltavan tuotannon etuja verrattuna perinteisen tuotannon aikatauluttamiseen seuraavanlaisesti:

- Työryhmillä on mahdollisuus keskustella muiden työvaiheiden työryhmien kanssa siitä, miten kukin voi ja haluavat työnsä suorittaa. Tällöin he voivat yhdessä määritellä tuotannon pullonkaulat ja miettiä, mitkä lähestymistavat sopivat eri työvaiheisiin parhaiten, jotta tuotanto sujuu mahdollisimman hyvin.
- Työntekijät tietävät aikataulua katsomalla, missä heidän pitää olla tiettyinä aikana tekemässä tiettyä työtehtävää. Tällöin töiden koordinointi helpottuu sekä yllätykset aikataulun osalta pienenevät.
- Työntekijät tietävät paikkansa työvaiheiden jaksotuksessa, jotta he voivat keskittyä oman työvaiheensa sisäisten resurssien koordinointiin (esimerkiksi materiaalien kulkureittien parantamiseen sekä työskentelyalueiden parantamiseen).
- Työntekijät voivat luottaa aikataulun ennustettavuuteen liittyen työvaiheiden toteutus aikaan ja -paikkaan. Tästä johtuen he voivat suunnitella

yksityiskohtaisemmin, miten toteuttavat työskentelynsä, kuten työturvallisuuden, laadunvarmistuksen ja logistiikan osalta.

- Työntekijät saavat välitöntä palautetta heidän tekemästään edistymisestä esimerkiksi laatuvaatimusten täyttämisen osalta sekä aikataulussa pysymisessä. Tämä johtuu siitä, että tahtialueen luovutuksen yhteydessä laatuongelmat paljastuvat välittömästi.
- Työntekijöiden edistyminen tiedetään tarkasti, mikä voidaan heijastaa maksueriin, ja näin ollen työntekijöiden tuottavuus saattaa kasvaa ja täten tuntiansio nousta.

Tahtituotannon inhimillinen puoli

Salminen (2021) nostaa esiin tahtituotannon inhimillisen puolen. Vaikka tahtituotanto vaikuttaa hyvin mekanistiselta tuotannon lähestymistavalta, ihmiset ovat aina silti tekijöinä. Tahtituotanto asettaa työnjohdon sekä työntekijät uudenlaisien toimintatapojen ja haasteiden eteen. Tämän takia suurimmat haasteet tahtituotantoon siirtymisessä tulevat vastaan jo ennen tuotannon aloittamista. Perinteisessä rakentamisessa on totuttu lisäämään puskuriaikoja epävarmuuksia liittyvien työtehtävien yhteyteen, jotta ongelmat pystytään ratkomaan kesken tuotannon. Tahtituotannossa pyritään poistamaan nämä puskurityypit ja tehdä tuotannon mahdolliset häiriöt näkyviksi, jotta niihin osataan reagoida mahdollisimman aikaisin. Lupaukset läpimenoaikojen lyhentämisestä saattavat kuulostaa Salmisen (2021) mukaan uhkaavilta kokeneille vastaaville mestareille sekä työntekijöille, koska he kokevat aikataulujen olevan todella kireitä jo nyt perinteisessä tuotannossa.

Tahtituotantoa kohtaan syntyy helposti muutosvastarintaa. Muutosvastarinta johtuu usein epäonnistumisen pelosta. Tämän takia on tärkeää saada yrityksen tai yksikön pilottikohteeksi sellainen projekti, jonka johdon on oltava valmis sitoutumaan tahtituotannon suorittamiseen sekä joiden on oltava motivoituneita ottamaan haaste vastaan. Onnistuneen tahtituotannon tuloksena on erittäin kannattava projekti. Tahtituotannon epäonnistuessa projektista tulee normaalisti toteutettava suoritus. Kun tahtituotantomalli hallitaan kokemuksen kautta, saavutetun tehokkuuden voi muuttaa kilpailueduksi ja lupauksiksi asiakkaille. (Salminen 2021)

Salmisen (2021) mukaan suurin haaste tahtituotantoon siirtymisessä johtuu työnjohtajista. Työntekijät ottavat uuden tuotantomallin helpommin vastaan, kun tahtituotannosta työntekijöille aiheutuvat hyödyt selitetään heille. Jokainen

tahtituotantoon osallistuva työntekijä täytyy perehdyttää perusteellisesti työmaan toimesta. Sen ydin on siinä, että jokainen työryhmä ymmärtää jokaisen ryhmän merkityksen tuotantoprosessiin sekä sen aikatauluun. Tärkeää on myös selittää tahtituotannon perusajatus, joka ei ole yksittäisen työntekijän työtahdin nopeuttaminen. Perusajatuksena on varata jokaiselle tekijälle selkeä aikaikkuna tehdä rauhassa tietyt ennalta määritetyt työtehtävät ilman muiden häiriötä. Tahtituotantoa on Salmisen (2021) mukaan pidetty myönteisenä nimenomaan selkeytensä sekä ennustettavuutensa vuoksi, koska työntekijän ei tarvitse miettiä mitä työtehtäviä seuraavana päivänä tarvitsee tehdä. Monelle toimii hyvänä kannustimena myös se, että kun päivän tai tahdin työtehtävät on saatu tehtyä, voi lähteä aikaisemmin kotiin.

2.2.2 Tahtituotannon valvonta ja ohjaus

Keskiniva et al. (2020) mukaan tahtituotanto vaatii nopeaa reagointia. Tästä johtuen työnjohtajien on kyettävä reagoimaan yleisimpiin tuotannon häiriöihin, eikä jokainen häiriö voi tulla täytenä yllätyksenä. Tekemällä häiriöherkkyydestä tarkastelun työnjohtajat voivat arvioida etukäteen, mitkä ovat kriittisimmät ja häiriöherkimmät tehtävät aikataulun suhteen. Tällöin häiriöiden vastatoimetkin voidaan suunnitella etukäteen. Häiriöherkkiä työpaketteja voidaan säätää esimerkiksi erilaisilla puskureilla (kuva 14), jotta ne tulevat vähemmän herkiksi häiriöille.

Työnjohdon ajanhallinta on tiukkaa ilman tahtiajan vaatimaa aktiivista tuotannonvalvontaakin. Siksi on suositeltavaa lisätä digitaalisten työkalujen käyttöä, jotka tukevat työnjohdon projektinhallintaa ja aikatauluttamista tuotannon aikana. Keskiniva et al. (2020) tutkimuksen mukaan päivittäisen valvonnan dokumentaation digitointi voi tuoda huomattavia etuja johtamiseen ja tuotantomallin kehittämiseen. Tätä varten olisi kehitettävä digitaalisia työkaluja tahtituotannon seurantaan ja niiden käyttöä täytyisi tutkia lisää rakennustyömailla. Yhdistämällä digitaaliset työkalut yksityiskohtaiseen tehtävien määrittelyyn ja ennaltaehkäisevään suunnitteluun saavutettaisiin tuotannon kokonaisvaltainen seuranta. Tahtituotannossa työnjohtajien ajanhallinta voi muuttua parempaan suuntaan, kun tuotannon hallinnan painopiste muuttuu proaktiivisemmaksi.

Lehtovaara et al. (2019) tapaustutkimuksessa koettiin hyväksi ohjata tahtituotantoa seuraavanlaisilla kolmella viikoittaisella tapaamisella:

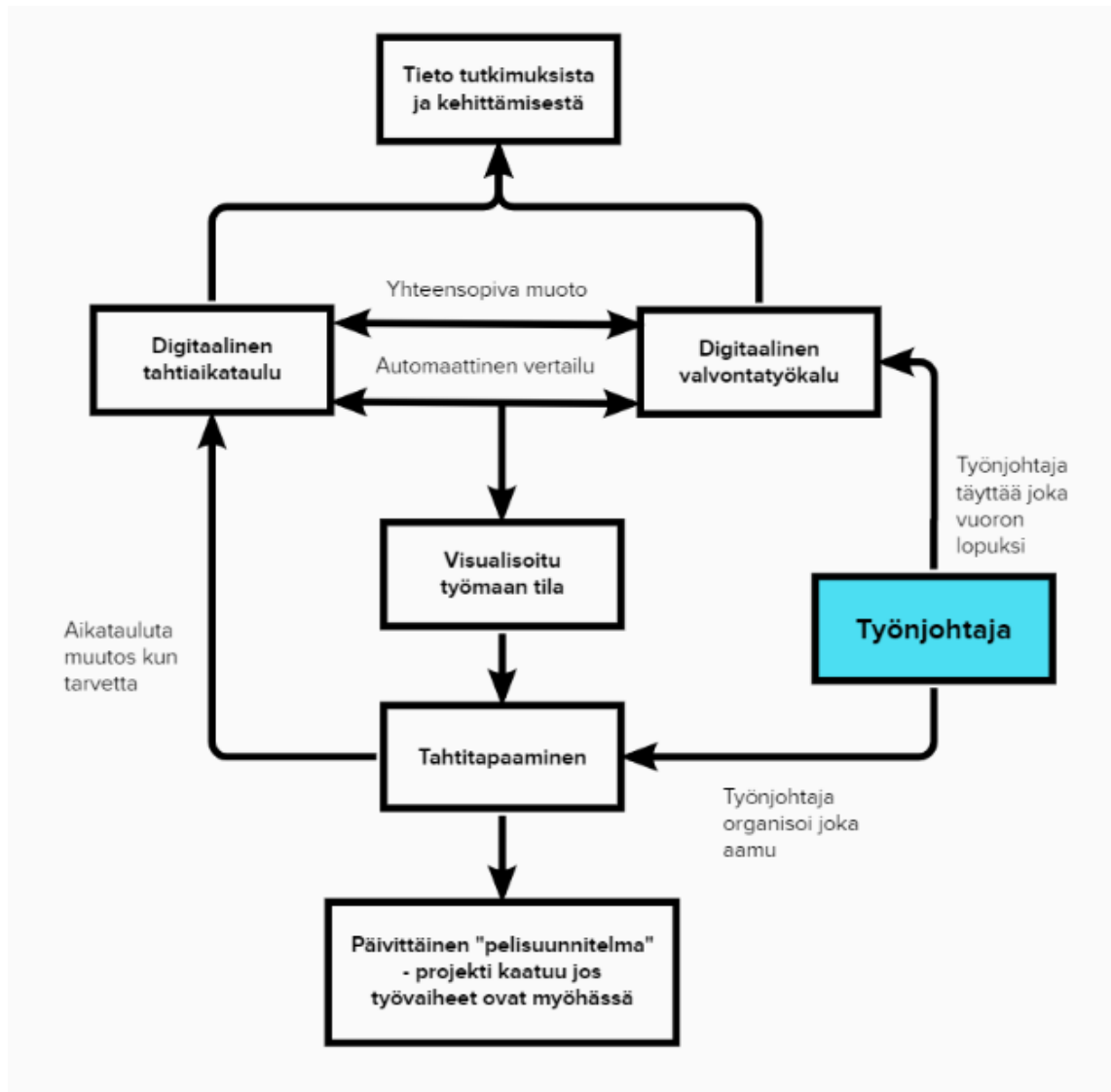
- Tahdin ohjaustapaaminen, jossa käytiin aikatauluongelmia läpi.
- Urakoitsijapalaveri, jossa käytiin läpi teknisiä ongelmia.

- Työmaapäällikön palaveri, jossa käytiin läpi pääurakoitsijan sisäisiä ongelmia.

Tuotannon päivittäisissä rutiinit sekä ohjaustoimenpiteet vaativat muutoksen ajatustavoissa niin johtamisessa kuin työntekijöissä, mutta se on välttämätöntä päivittäisjohtamisen mahdollistamiseksi. (Lehtovaara et al., 2019)

Keskiniva et al. (2021) ehdottaa tahtituotannon valvontaan ja ohjaamiseen prosessia, (kuva 10) jossa työnjohtaja tekee työmaakerroksen jokaisen työpäivän lopuksi ja dokumentoi työmaatilanteen digitaaliseen sovellukseen. Sovellus vertaa merkintöjä ja aikataulua automaattisesti ja tuottaa analysoitua dataa tuotannon hallintaan sekä sen kehittämiseen helposti ymmärrettävässä muodossa. Sovellus sisältää jokaisen työpaketin työvaiheet niin yksityiskohtaisesti, että työvaiheen edistyminen pystytään näkemään ja ymmärtämään yksiselitteisesti kirjauksen jälkeen. Sovelluksen sisältämä digitaalinen seurantalomake sisältää samat tarkat työvaiheet kuin tahtiaikataulussa, joten sovellus pystyy tekemään yhtenäistä analyysia aikataulun toteutumisesta. Prosessin mukaisesti työnjohto organisoi joka-aamuisen tahtitapaamisen työntekijöiden kanssa, jossa käydään työmaatilanne sekä päivälle suunnitellut työt.

Työmaakerrosten tekeminen on Keskiniva et al. (2021) mukaan välttämätöntä, vaikka tuotannon seurantatietojen kerääminen olisikin automatisoitu. Aktiivinen kommunikointi työmaalla tekijöiden kanssa on tärkeä osa tuotannon johtamista, eikä pelkkä toteutumien seuranta riitä. Työnjohto ei kykene saamaan selkeää kuvaa työmaatilanteesta, jos ei puhu työtä suorittavien henkilöiden kanssa heidän työvaiheidensa suorittamisesta ja niihin liittyvistä ongelmista.



Kuva 10. Prosessikaavio tahtituotannon ohjauksesta ja valvonnasta (muotoiltu Keskiniva et al., 2021)

Standardoitu, digitalisoitu ja usein toistuva tahdinseurantaprosessi tarjoaa realistisen menetelmän vaativien prosessien noudattamiseksi ja kehittämiseksi. Ehdotettu menetelmä optimoi innovatiivisesti tahdinseurantaprosessin automatisoimalla tietojenkäsittelyn ja visualisoinnin sekä kannustamalla työnjohtajia tekemään tarkistuskierron päivittäin. Tuotannon toteutustietojen dokumentointi digitaalisesti tarjoaa enemmän uusia mahdollisuuksia tahtituotannon ohjaukseen. Automaattisesti analysoitu, visualisoitu sekä yksityiskohtaisesti näytetty tuotannon tila mahdollistaa paremmin keskustelun tuotannon ongelmakohtista työmaakokouksissa. Tämä auttaa työnjohtoa tekemään päätökset perustuen tarkkoihin työmaatietoihin, eikä tarvitse luottaa pelkästään omaan muistiin. Hyvin kerätty toteumatieto auttaa myös hankkeen jälkeen tahtituotannon kehityksessä sekä jälkilaskennassa. (Keskiniva et al., 2021)

Tahtituotannon ohjausmekanismit

Tahtituotannossa tuotannon ohjaus ja valvonta ovat kriittisessä osassa projektin sujuvuuden kannalta. Töiden johtamisessa on merkittävä ero tahtituotannon ja perinteisen tuotannon välillä. Tuotannon suunnittelun ja eri töiden yhteensovittamisessa havaitut ongelmat nousevat tahtituotannossa esiin ratkaistavaksi paljon nopeammin kuin on aikaisemmin totuttu, mikä työllistää hankkeen työnjohtoa jo heti tahtituotannon käynnistämisen yhteydessä. Lean-ajattelun mukaisesti ongelmat pakotetaan esiin ratkaistavaksi, eikä niitä piilotella tuotannon puskureiden avulla. Ongelmien nopea ratkaiseminen säästää projektin edetessä vaivaa, mutta työnjohdon kuormitus tuotannon käynnistämisen yhteydessä on suuri. (Salminen, 2021)

Tahtituotannon käynnistäminen on kriittinen vaihe tuotannon onnistumisen kannalta, koska jos alussa aletaan tehdä töitä väärässä järjestyksessä tai jätetään jotain tekemättä siirtymällä seuraavalle tahtialueelle, se heijastuu muiden työvaiheiden suorittamiseen jatkossa. Koskela (2004) kehittänyt uuden hukkalajin ”making-do” vastaamaan edellä mainittua tilannetta, jossa tehdään työtä, jonka edellytykset eivät ole vielä kokonaan kunnossa. Hukkalaji ”making-do”, joka kääntyy suomeksi ”junailuksi” tai ”pakottamiseksi”, johtaa siihen, että havaittuja ongelmia vain siirretään paikasta toiseen. Tämän seurauksena tahtituotanto ”leviää käsiin” ja sen korjaaminen toimivaksi on haastavaa. Tällaisessa tilanteessa tulisi toteuttaa esimerkiksi taulukossa 2 esitettävää hienosäätömekanismi *junan pysäytystä*, jotta ongelmat saataisiin ratkaistua pikaisesti. Käynnistysvaiheeseen voidaan varata myös taulukossa 2 esitettäviä ohjauskeinoja, kuten *tyhjiä vaunuja*, *tahtiajan pidentämistä tai hyppijöitä*. (Salminen 2021) Seppänen (2012) mukaan aikatauluilla ei ole suurta arvoa, jos rakentamisprosessia ei ohjata sen vaatimalla tavalla.

Taulukko 2. Eri hienosäätömekanismit tahtituotannon ohjaamiseen (mukailtu Binniger et al., 2017)

Mekanismi	Kuvaus	Vaikutus
Tahtialueiden irrottaminen	Uudelleenjärjestellään tahtialueiden valmistumisjärjestys	Tahtialueiden valmistumisjärjestys muuttuu
Tyhjä vaunu	Suunnitellaan tahtiajan mittainen puskuri esimerkiksi kuivumisen huomioimiseksi	Vaaditun puskurin visualisointi, rakennusajan pidentyminen
Junan pysäytys	Pysäytetään rakennustyöt ongelmat selvittämiseksi	Rakennusajan pidentyminen
Yhdistetään luovutusaikoja	Yhdistetään tahtialueita toisiinsa ja luovutetaan ne samanaikaisesti	Niputetaan tahtialueet luovutusta varten

Vaunujen kytkeminen	Lisätään tai poistetaan vaunuja työjärjestyksen muuttamiseksi	Rakennusajan pidentyminen
Hyppiäjät	Käytetään joustavaa työvoimaa työhuippujen tasoittamiseksi	Työnteon yhdenmukaistaminen
Junan vaunujen järjestyksen jakaminen	Jaetaan rakentamisen järjestys, koska olosuhteet vaativat rakennusajan pidentämistä	Rakennusajan pidentyminen
Tahtiajan pidentäminen	Lisätään tahtiaikaa	Prosessin yhdenmukaistaminen, läpimenoajan kasvaminen
Tahtiajan lyhentäminen	Lyhennetään tahtiaikaa	Prosessin yhdenmukaistaminen, läpimenoajan lyheneminen
Junan jakaminen	Jaetaan juna useampaan rinnakkain kulkevaan junaan, jotka kulkevat eri tahtialueiden läpi samanaikaisesti	Rakennusajan lyheneminen
Vaunun kiihdytys	Optimoidaan vaunun työtehtävät, jolloin varmistetaan tahtiajassa pysyminen	Prosessin optimointi, rakennusajan lyheneminen
Vaunun päällekkäisyys	Seuraava vaunu aloittaa työt tahtialueella jo ennen edellisen poistumista	Prosessin optimointi
Vaunun rinnakkaisuus	Vaunujen työt valmistuvat rinnakkain	Prosessin optimointi
Tahtialueiden jakaminen	Pienennetään tahtialueiden kokoa	Prosessin yhdenmukaistaminen
Tahtialueiden kasvattaminen	Kasvatetaan tahtialueiden kokoa	Prosessin yhdenmukaistaminen
Vaunun aliurakointi	Yksittäisen vaunun suorittaminen erillisellä aliurakoitsijalla	Rakennustyön prosessin vakautus
Useita junia tasossa	Käytetään useaa junaa, jotta kasvatetaan työntekijöiden ja työvaiheiden tehokkuutta	Vakauttaa ja optimoi rakennusprosessia
Juna-asema	Uudelleensuunnitellaan prosessin toiminta	Muutetaan rakennustyön prosessia
Puskurien käyttö	Jätetään ylimääräistä aikaa (puskuria) työpaketin loppuun	Vakauttaa rakennusprosessia
Työpaketin kiihdytys	Työn optimointi tietyssä vaunussa	Prosessin optimointi mikrotasolla
Työpaketin vaihto	Vaihdetaan työvaihe toiseen vaunuun	Prosessin optimointi
Vaunujen vaihto	Vaihdetaan vähintään kahden vaunun paikkaa	Prosessin optimointi

Binner et al. (2017) mukaan yllä olevan taulukon 2 tahtituotannon hienosäätömekanismeista eniten kokemusta on tahtialueiden irrottamisesta, tyhjästä

vaunusta, junan pysäytyksestä, pehmeästä aloituksesta sekä työvaiheiden yhdistämisestä.

Tahtialueen irrotus tarkoittaa Binneringer et al. (2017) mukaan sitä, että tahtijuna hyppää esimerkiksi yhden tahtialueen ylitse, jolloin kyseisellä alueella havaittu virhe voidaan korjata rauhassa. Kyseistä mekanismia voidaan hyödyntää myös silloin, jos tarvittavia materiaaleja ei saada tilattua oikeaan aikaan tahtialueelle tai asiakas haluaa siirtää päätöksentekoa alueeseen liittyen myöhemmäksi. Tällöin tahtialue voidaan suorittaa loppuun joko jossain muussa välissä tai esimerkiksi viimeisenä tahtialueena. Alla olevassa kuvassa 11 on havainnollistettu tahtialueen irrotuksen näkyminen tahtiaikataulussa jättämällä tahtialue 3 (TA3) suoritettavaksi vasta tahtialue 5 (TA5) jälkeen. Tällöin tahtijuna hyppää yhden tahtialueen ylitse ja suorittaa sen viimeisenä.

		TAHTIAIKA						
TAHTI / TAHTIALUE		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
TAHTIALUE	TA1	Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3				
	TA2		Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3			
	TA3					Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3
	TA4			Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3		
	TA5				Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3	
	TA6							

Kuva 11. Havainnekuva tahtialueen irrotuksen näkyminen tahtiaikataulussa

Tyhjää vaunua käytetään esimerkiksi kuivumisen varmistamiseksi tasoitus- ja maalaustöiden jälkeen. Tyhjän vaunun vaikutus tahtiaikatauluun näkyy alla olevassa kuvassa 12. Sen seurauksena tahtialue on kerrallaan tyhjillään, kun tyhjä vaunu ”kulkee” sen ylitse.

		TAHTIAIKA						
TAHTIALUE	TAHTI / TAHTIALUE	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
	TA1	Tehtävä 1	Tehtävä 2	TYHJÄ VAUNU	Tehtävä 3			
	TA2		Tehtävä 1	Tehtävä 2	TYHJÄ VAUNU	Tehtävä 3		
	TA3			Tehtävä 1	Tehtävä 2	TYHJÄ VAUNU	Tehtävä 3	
	TA4				Tehtävä 1	Tehtävä 2	TYHJÄ VAUNU	Tehtävä 3
	TA5					Tehtävä 1	Tehtävä 2	TYHJÄ VAUNU

Kuva 12. Havainnekuva tyhjän vaunun näkymisestä tahtiaikataulussa

Junan pysäytys voidaan tehdä silloin, jos havaitaan ongelma, joka ei ole ratkaistavissa välittömästi saman tahtiajan puitteissa. Pysäytys tarkoittaa kaikkien töiden keskeyttämistä tietyksi ajaksi, esimerkiksi yhdeksi tahtiajaksi, jotta havaittu ongelma pystytään korjaamaan ja sen syyt selvittämään. Tämän avulla saadaan kaikki käytettävissä olevat resurssit kohdistettua havaitun ongelman ratkaisemiseen. Kuvassa 13 havainnoidaan junan pysäytystä tahtiaikataulun avulla. (Binnering et al., 2017) Junan pysäytys vastaa teollisessa tuotannossa liukuhinnan pysäyttämistä ongelman korjaamista varten. Toyota Production Systemissä kyseistä junan pysäytystä kutsutaan nimellä *Jidoka*. (Womack & Jones, 1996)

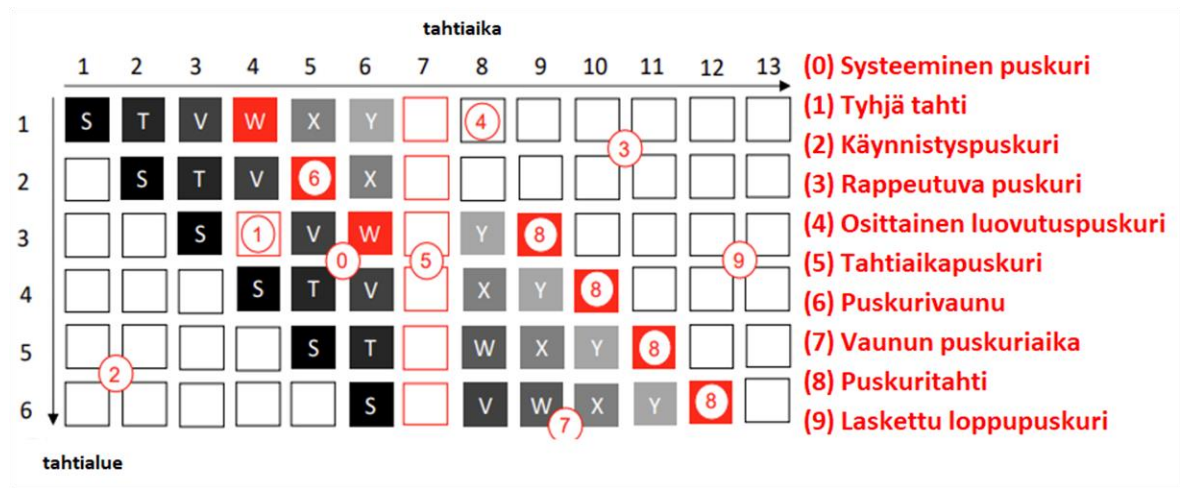
		TAHTIAIKA						
TAHTIALUE	TAHTI / TAHTIALUE	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
	TA1	Tehtävä 1	Tehtävä 2		Tehtävä 3			
	TA2		Tehtävä 1		Tehtävä 2	Tehtävä 3		
	TA3				Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3	
	TA4					Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3
	TA5						Tehtävä 1	Tehtävä 2

Kuva 13. Havainnekuva junan pysäytyksen näkymisestä tahtiaikataulussa

Frandsen et al. (2015) mukaan mikäli kaikkia työtehtäviä ei kyetä suorittamaan annetussa tahtiajassa, on jäljellä olevat työt tehtävä ylitöinä, jätettävä vaunusta kokonaan pois tai vaihtoehtoisesti saatettava loppuun seuraavan tahdin aikana. Tehtävän jättämistä seuraavaan tahtiin voidaan tehdä ainoastaan silloin, jos se ei haittaa seuraavan työvaiheen työntekijöiden työskentelyä. Työn pois jättäminen vaunusta tarkoittaa sitä, että loppu työtehtävä suoritetaan myöhemmin valmiiksi. Tämä voidaan tehdä ainoastaan silloin, jos pois jätettävä tehtävä ei vaikuta mitenkään seuraaviin tilassa tehtäviin työtehtäviin. Frandsen et al. (2013) mukaan ohjaustoimenpiteistä yhtenä tärkeimpänä on selkeä kommunikointi kaikkien hankkeen osapuolten kesken.

Tahtituotannossa käytettävät puskurityypit

Dlouhy et al. (2019) listaa useita eri puskurityyppejä, jotka tunnistamalla ja joita oikein käyttämällä voidaan työvaiheiden välissä oleva turha aika minimoida. Puskuriaika tarkoittaa vakaassa prosessissa ilman ulkoisia häiriöitä tapahtuvia odotusaikoja, jotka aiheuttavat ylimääräistä hukkaa. Puskureita ei voida kokonaan poistaa tahtiaikataulusta, koska ne toimivat turvallisuustekijänä budjetoinnissa, aikataulutuksessa, materiaalitoimituksissa, varastoinnissa sekä työntekijävoimassa. Niitä voidaan käyttää kompensoimaan vaihteluita tai torjumaan resurssipulaa, ja puskurit oikein sijoittamalla voidaan tunnistaa ylimääräinen turha odottelu ja karsia se pois. Alla olevassa kuvassa 14 on esitettyä eri puskurityyppejä tahtiaikataulussa.



Kuva 14. Eri puskurityypit tahtiaikataulussa (mukaillen Dlouhy et al., 2019))

- (0) **Systeminen puskuri** on esimerkki viikonlopusta, jonka aikana ei ole aikataulutettua työtä. Tämä toistuu joka viikko, eikä sitä tarvitse erikseen suunnitella. Häätapauksessa tämän puskurin aikana pystytään reagoimaan välitöntä huomiota tarvitseviin asioihin.

- (1) **Tyhjä tahti** kuvaa tahtiaikaa, mihin ei ole aikataulutettu ollenkaan työtä, kuitenkin tahtialue on varattuna. Se voidaan suunnitella tai se voi syntyä itsestään tahattomasti vaunujen välille huonosti harmonisoitujen vaihtojen tai muiden ongelmien takia.
- (2) **Käynnistyspuskuri** on aika tahtialueiden vaihdon välissä. Se syntyy, koska vaunujen resurssit ovat rajalliset ja tällöin osa tahtialueesta on tyhjänä tahdin alkuvaiheessa, kun työt ovat vasta alkamassa.
- (3) **Rappeutuva puskuri** on käynnistyspuskurin vastine. Se tarkoittaa tahtialueen valmista osuutta tahtiajan loppupuolella, jossa ei kukaan ei enää työskentele. (2) ja (3) puskurit ovat suurimpia puskurityyppejä koko projektin aikana, ja ne eivät ole suunniteltuja vaan systemaattisia. Tämän tyyppisen puskurin vähennyksillä on suuri optimoiva vaikutus aiheuttamatta lisäarvoa.
- (4) **Osittainen luovutuspuskuri** on tällaisen optimoinnin tulos. Se määritellään aivan kuten *Rappeutuva puskuri*, mutta sisältää ainoastaan kunkin tahdin lopussa olevan valmistuneen osa-alueen. Valmistunut osa-alue voidaan luovuttaa ja siellä voidaan luoda arvoa. Kolmen tahtialueen tahtisuunnitelmassa osittainen luovutus voidaan tehdä 3 kertaa jokaisen valmistuneen junan jälkeen, luoden puolestaan pienempiä osittaisia luovutuspuskureita.
- (5) **Tahtiaikapuskuri** vaikuttaa valmiiseen tahtiaikaan ja voi olla joko ennustettavissa (lomat) tai saattaa tapahtua suunnittelemattomana (lakko, onnettomuus).
- (6) **Puskurivaunu** edustaa tyhjää vaunua, jossa ei suoriteta mitään arvoa lisäävää toimintaa. Ne sijoitetaan esimerkiksi kuivumista tai kovettumista vaativien työvaiheiden jälkeen. Puskurivaunua voidaan käyttää myös koneiden vaihtoa tai turva-alueiden raivaamista varten.
- (7) **Vaunun puskuriaika** määrittää puskuriajan minkä tahansa vaunun sisällä. Yhdenmukaistamisen jälkeen vaunuun jäävää tyhjää aikaa pidetään *vaunun puskuriaikana*. Puolen viikon tahtiajalla (2,5 päivää), saatetaan käyttää vain kaksi täyttä työpäivää työntekoon, jolloin vaunun puskuriajaksi tulee puoli päivää.
- (8) **Puskuritahti** on toiminnaltaan hyvin samanlainen kuin *vaunun puskuriaika*, mutta vaihtelee sen sijainnin mukaan tahtijunassa. Puskuritahti on sijoitettu junan

päähän, eikä siten ole enää osana junaa. Tämän tyyppinen puskuri on sijoitettuna usein kahden eri junan välille, jotka kulkevat peräkkäin tahtialueella.

- (9) **Laskettu loppupuskuri** on kokonaiskumulatiivinen aika, joka voidaan säästää optimoidusta prosessivirrasta. Vaikka tämä puskuri saattaa tuntua tarpeettomalta ensisilmäyksellä, todellisuudessa se on tarkoituksella suunniteltu. Se ilmoittaa hankkeen käytettävissä olevan yleisen ajan varauksen, jota voidaan käyttää, jos hanke sitä vaatii. Jos sitä ei tarvitse käyttää, se voidaan merkitä säästetyksi ajaksi. Tämä tekee siitä tehokkaimman puskurityypin. Muuttamalla puskurit tietoisesti lasketuiksi loppupuskuriksi, projektit voivat tehokkaasti saada lisäaikaa itse arvoa tuottavaan työhön. Tahtituotannon suunnitteluprosessissa on siksi tärkeää asettaa tämä muutos tavoitteeksi.

Dlouhy et al. (2019) mukaan tehokas puskurien oikeapaikkainen käyttö lyhentää rakennushankkeen kestoa ja vähentää turhia odotusaikoja. Liian pieneksi suunnitellut puskurit saattavat haitata työntekijöiden työskentelyä, koska virheen tai ongelman ilmetessä koko tuotantojuna pysähtyy. Toisaalta sujuva virtaus vaatii mahdollisimman pienet puskurit työvaiheiden välille.

2.2.3 Tahtituotannon häiriöt ja niiden estäminen

Tahtituotannon etenemistä haittaavat tekijät nimetään usein häiriöiksi. Dahlberg & Drevland (2021) haastattelivat norjalaisen urakoitsijan, Conston, työntekijöitä, jotta selviäisi tahtituotannon yleisimmät häiriöt. Consto on rakentanut tahtituotannon avulla useita eri projekteja ja havainnut erilaisia yleisiä häiriöitä rakentamisessa.

Toimitukset ja logistiikka

Dahlberg & Drevland (2021) haastateltavien mukaan yksi pääsyy tahtituotannosta myöhästymiseen on toimitusten myöhäinen saapuminen rakennustyömaalle. Myöhästymiset materiaalien, koneiden, työkalujen ja muiden tarvittavien tavaroiden saapumisessa työpisteille estävät tahtivaunujen suoritusta suorittaa tarvittavat työt loppuun tahtialueella ennen tahtialueen vaihtoa. Puuttuva toimitus tai keskeneräinen työ vaikuttaa usein suoraan seuraavaan työvaunuun. Joskus myöhästymisen vaikutus ilmenee vasta myöhemmin tahtituotannossa. Viivästyneet toimitukset voivat johtua materiaalin vioittumisesta huonojen säilytysolosuhteiden takia, vaihtoehtoisesti myöhästymisen voi johtua myös onnettomuudesta tai jopa pandemiasta. Usein toimitusten myöhästymisen johtuu kuitenkin siitä, että ne on tilattu liian myöhään. Aliurakoitsijat lykkäävät usein tilauksien tekemisen mahdollisimman myöhään, jotta

voivat tehdä siihen vielä muutoksia mahdollisimman pitkään, jolloin he säästävät toimituskustannuksissa. On vaikea arvioida, milloin on viimeinen mahdollinen tilauspäivä, jotta tavarat saapuvat työmaalle oikeana päivänä, ja joissain tapauksissa urakoitsijat jopa unohtavat tehdä tilaukset tämän odotustaktiikan takia. Toisaalta liian aikaiset toimitukset rakennustyömaalle ovat myös yksi iso syy tahtituotannon viivästymiseen. Materiaalien ja työkalujen säilytys työmaalla häiritsee muita työvaiheita, koska ne tarvitsevat erillistä tilaa ja niiden ylimääräiseen siirtelyyn kuluu aikaa ja työntekijäresursseja. Tahtialueiden käyttö varastotilana estää tuotannon edistämistä, kun taas käytävtilojen ja portaiden käyttö hidastaa logistiikkaa. Erityisesti haastavia tiloja tahtituotannon kannalta on tilat, jotka kuuluvat tahtialueeseen ja ovat samalla materiaalien säilytysalueena. Toisaalta erilliset varastoalueet hidastavat logistiikkaa, koska toimitukset tarvitsevat enemmän siirtoja verrattuna tavaroiden täsmätoimituksiin työpisteelle. (Dahlberg & Drevland, 2021)

Virheet

Dahlberg & Drevlandin (2021) mukaan rakentamisvirheet ovat toinen syy tahtituotannon viivästyksiin. Virheet edellyttävät jo kertaalleen tehdyn työn purkamista ja uudelleentekemistä, mikä voi johtaa myös muiden työvaiheiden töiden rikkoontumiseen tai vahingoittumiseen tahtialueella. Tällaiset tapahtumat aiheuttavat korjaustyön kierteen, joka vaikuttaa kyseisen tahtialueen edistymiseen. Toisaalta virheiden korjaustyöt voidaan suorittaa myös tahtiajan ulkopuolella esimerkiksi iltaisin tai viikonloppuisin. Usein silti korjaustöiden ajoittuminen tahtiajan lopulle johtaa tahtialueen luovutuksen viivästymisen.

Virheellinen arvio

Jos tahtituotannon suunnitteluun panostetaan liian vähän, se voi johtaa työvaunujen liian hitaaseen työskentelyyn tahtialueella. Tämä johtaa siihen, että tahtialue ei valmistu annetussa tahtiajassa. Aliarvioitu työmäärä tai tahtialueen koko aiheuttaa väistämättä työvaiheen myöhästymiseen. Usein tahtialueet määritellään pohjapiirustuksista, ja esimerkiksi normaalia korkeampi tila saattaa jäädä hahmottamatta, minkä johdosta työmäärä on arvioitua suurempi. Toisaalta tehokkuuden yliarviointi aiheuttaa liian hitaan työskentelyn verrattuna suunniteltuun, mutta tästä muodostuu harvemmin ongelmia. Työn tehokkuus on usein suurempaa johtuen tahtituotannon suuresta toistoasteesta. (Dahlberg & Drevland, 2021)

Käytettävissä olevat työntekijät

Dahlberg & Drevlandin (2021) mukaan käytettävissä olevien työntekijöiden puute voi olla syynä työvaunujen myöhästymiselle. Osaavien työntekijöiden palkkaaminen voi tietyissä tilanteissa olla vaikeaa, mikä johtaa työntekijäpuutteisiin ja ongelmiin tahtituotannossa. Haaste on myös tilapäisten työntekijöiden saapuminen korvaamaan vakituisia työntekijöitä tahtituotantotyömaalle, koska korvaajat eivät välttämättä ole tottuneet tahtituotantoon ja kyseiseen työmaahan. Tämän takia tarvitaan usein kaksi työntekijää yhden tahtituotantoon tottuneen työntekijän tuuraamiseen, koska tahtituotannon työn tehokkuus on sidottuna toistojen määrään. Tuuraavien työntekijöiden ongelma ei siis ole heidän pätevyytensä puute, vaan toistojen puute kyseisellä työmaalla.

Viestintä ja keskeiset roolit

Projektin henkilöstön viestinnän puute on usein syynä viivästyksiin ja häiriöihin. Suurin ongelma on tärkeiden henkilöiden vaihtuminen toisiin kesken projektin. Tahtituotannon suunnitteluprosessin tuote ei ole pelkästään tahtisuunnitelma, vaan kokonaisuus, jonka päätavoitteena on suorittaa tahtituotanto maaliin asti. On tärkeää, että samat henkilöt ovat mukana suunnittelussa, ketkä osallistuvat tahtituotannon suoritukseen. Tällöin henkilöt sitoutuvat paremmin koko tuotantoon ja sen välitavoitteisiin. Suunnitteluprosessissa olevilla on oltava riittävä käsitys siitä, miten työ tehdään ja miten suunnitellaan tehtävä työ. Esimerkiksi jos tahtituotannon suunnittelussa on mukana johtajia, jotka eivät ymmärrä täysin työn suorittamista tai tiedä työn tekijöitä, he eivät usein osaa ottaa huomioon suunnittelussa työn olennaisia osia ja tällöin he eivät usein pysty välittämään työntekijöille tietoa suunnitelmien tärkeydestä. Tuloksena on työntekijöiden huono omistautuminen ja sitoutuminen projektiin. (Dahlberg & Drevland, 2021)

Häiriöiden ja viivästysten estäminen

Dahlberg & Drevland (2021) huomasivat useita eri lähestymistapoja tahtituotannon viivästysten estämiseksi. Kaikkia lähestymistapoja yhdistää se, että kaikki hyötyvät työvaiheiden edustajien mahdollisimman suuresta osallistumisesta tahtituotannon suunnitteluun ja tuotantovaiheeseen. Häiriöiden, epänormaalin tuotannon ja osavarmuustekijöiden mahdollisimman aikainen huomaaminen ja ilmoittaminen on ratkaisevan tärkeää viivästysten estämiseksi tahtituotannossa. Seuraavaksi esitellään tärkeimmät strategiat, joilla estetään häiriöiden aiheuttamaa viivästystä tahtituotannossa.

Viikoittaiset tapaamiset

Yksi keskeinen työkalu viivästysten estämiseksi on viikoittaiset tapaamiset kaikkien työvaiheiden edustajien kanssa. Tapaamisissa käydään jokaisen urakoitsijan tilannepäivitys työvaiheista ja tarkastellaan tulevaa työtä seuraavan 3 viikon aikana, keskittyen kuitenkin tulevaan viikkoon. Kokous on suositeltu pidettävän viikon mittaisen tahdin puolesta välissä, jotta urakoitsijoilla olisi aikaa löytää mahdollisia viivästystä aiheuttavia ongelmia ja samalla heillä olisi aikaa tehdä ongelmille tarvittavat toimenpiteet ennen tahtialueen luovuttamista. Toimenpiteet ongelmien korjaamiseksi voivat olla työvoiman lisääminen tai ylitöiden teko. Tärkeintä on silti laatia yhdessä kaikkien toimijoiden kanssa keitä häiriöt koskettavat toimintasuunnitelma, jolla varmistetaan mahdollisimman pieni vaikutus tahtiaikatauluun. (Dahlberg & Drevland, 2021)

Viikoittaisissa tapaamisissa on Dahlberg & Drevland (2021) mukaan myös ongelmia. Ongelmia muodostuu, jos urakoitsijat saapuvat tapaamiseen valmistautumatta tai liian positiivisella epärealistisella arviolla työn suorituksesta. Jos urakoitsija ei ole suunnitellut lopputahtia tarpeeksi hyvin tai on tehnyt sen ylioptimistisesti, on mahdollisuus tahdin viivästyminen. Ongelmia tulee myös, jos urakoitsija ei ilmoita havaituista ongelmista työn suorittamisessa viikoittaisissa tapaamisissa. Tapaamisten tapaamisvälinä viikko koettiin myös liian harvana, koska rakennustyömaa muuttuu viikossa paljon. Tarvitaan useammin tapaamisia tiedon jakamiseksi työvaiheelta toiselle. Tietoa olisi hyvä vaihtaa päivittäin, jotta ongelmat tulisivat nopeammin esille.

Päivittäiset tapaamiset

Dahlberg & Drevland (2021) mukaan viikoittaisten tapaamisten lisäksi pitäisi järjestää päivittäisiä tapaamisia, jotka tapahtuvat joka aamu työmaatoimistossa ja kestävät noin 15 minuuttia. Kaikki työmaan työntekijät osallistuvat tapaamiseen, ovat he mukana tahtituotannossa tai eivät. Päivittäiset tapaamiset ovat työkalu tiedon jakamiseen ja keräämiseen, kuten päivittäisten toimitusten tai tuotantohäiriöiden kertomiseen koko työyhteisölle. Haghsheno et al. (2016) mukaan päivittäiset tapaamiset antavat edellytykset lyhytsyklisen ohjauksen jatkuvaan kehitykseen ja käytäntöönpanoon. Dahlberg & Drevland (2021) mukaan sen avulla ratkaisut esimerkiksi logistisiin ongelmiin pystytään selvittämään nopeasti, eikä tarvitse odottaa viikoittaisiin tapaamisiin. Viikoittaisia tapaamisia ja päivittäisiä tapaamisia voidaan järjestää molempia, tai vaihtoehtoisesti järjestää pelkästään päivittäisiä tapaamisia. Päivittäisten tapaamisten priorisointi johtaa usein lisääntyneisiin hyötyihin päivittäisjohtamisessa, koska kaikilla

työntekijöillä on tällöin hyvä kokonaiskuva koko rakennusprosessista. Päivittäistä tapaamista johtaa joko vastaava työnjohtaja tai joku muu pääurakoitsijan työnjohtaja, mutta myös esimerkiksi projektipäällikkö tai työpäällikkö voi osallistua tapaamisiin, jolloin tiedon virtaus nopeutuu ja aika virheiden näkymisestä niiden korjaamiseen lyhenee. On myös hyvä käytäntö olla aikatauluttamatta mitään tunnin sisään päivittäisistä tapaamisista, jolloin tapaamisen jälkeen on hyvää aikaa ratkaista esiin nousseita ongelmia.

2.2.4 Tahtituotannon logistiikka

Työmaan logistiikka tarkoittaa materiaalivirtojen ja tietovirran hallintaa sekä koordinoitua. Ideaalilanteessa työmaan logistiikka toimii niin, että oikeat tavarat ja materiaalit saapuvat oikeaan aikaan oikeaan paikkaan, josta ne pystytään välittömästi ottamaan käyttöön vaadittua työtehtävää varten. Tällöisiin ideaalilanteisiin päästään parhaimmillaan vain tehdastuotannossa, eikä usein rakennustyömaalla ideaalilanne ole käytännössä mahdollinen. (Salagnac & Yacine, 1999) Logistiset päätökset täytyisi suunnitella niin, että ne pystytään sisällyttämään osaksi jo urakoitsijoiden tarjouspyyntöjä. Logistiikan merkitys tahtituotannon onnistumiseen on suuri, ja sen takia se on otettava huomioon yksittäisten hankintojen suunnittelussa ja sopimuksissa. Pääurakoitsijan täytyy tehdä logistiikkasuunnitelma, jossa suunnitellaan materiaalien kuljetus työmaalle, niiden sisäiset siirrot ja varastoinnit, jätteiden ja purkamisesta aiheutuvien materiaalien käsittely ja poiskuljetus. Logistiikkasuunnitelma on kirjallinen kuvaus logistiikkaratkaisuista, suojaus ja siirtotavoista sekä toimitusajoista. Tärkeää logistiikkasuunnitelman teossa on huomioida se, että runko- ja sisävaihetöiden logistisille vaatimuksille on usein eri kriteerit. Runkovaiheen logistiikassa on tärkeää saada nostettua täsmätoimituksina painavat materiaaliniput oikeille paikoilleen holvilla rungon etenemisen mukaisesti, jotta ne eivät häiritse elementtien kiinnitystä, holvilla kulkemista ja jotta painavia materiaaleja ei tarvitse myöhemmin nostaa parvekkeiden tai porraskäytävän kautta sisälle. Sisävaiheessa helposti vaurioituvat tuotteet täytyy saada mahdollisimman lähellä asennusta tahtialueelle tai varastoalueelle, jotta materiaalit eivät ole muiden tiellä eivätkä ne vaurioidu. Logistiikkasuunnitelmaa täydennetään jokaisen työvaiheen osalta tehtäväsuunnitelmalla, jossa täsmennetään puuttuvia tietoja materiaalien siirroista ja tarkemmista päivämääristä. Logistisina vaihtoehtoina on esimerkiksi työmaavarastointi tai erillisen logistiikkakeskuksen hyödyntäminen. (Junnonen & Kankainen, 2012) Salagnac & Yacinen (1999) mukaan on tärkeää vaihtaa jatkuvasti tietoa rakennustöiden etenemisestä työn suorittajien, logistiikasta vastaavien sekä toimittajien välillä, jotta materiaalien virtaus pystytään säätämään työmaan tarpeen

mukaiseksi. Tällöin materiaalit saapuvat työmaalle oikeaan aikaan, eikä niitä tarvitse siirrellä useaan otteeseen työmaan sisällä.

Junnonen & Kankainen (2012) mukaan logistiikan suunnittelussa tärkeänä tavoitteena on sen oikea-aikaisuus ja kustannustehokkuus. Työmaan sisäinen logistiikka voidaan tehdä omana työnä, sisällyttää urakkasopimukseen tai ostaa erillinen urakoitsija hoitamaan logistiikkaa. Logistiikan parantamiseksi kannattaa huomioida määrämittäisiä toimituksia, materiaalien ryhmitys tarpeen mukaisesti, toimitusten merkitseminen tarvittavalla tavalla sekä materiaalien täsmätoimitukset asennuskohteille.

Koski et al. (2009) mukaan hyvin suunnitellun logistiikan ja toimitusten ohjauksen ansiosta työmaan häiriökustannukset vähenevät, tuottavuus paranee, materiaalin siirto- ja varastointikustannukset alenevat, materiaalihukat pienenevät ja tuotannon aikataulunpito paranee. Ongelmia logistiikassa aiheutuu muun muassa seuraavista asioista:

- Hankinta käynnistetty liian myöhään
- Hankintakokonaisuudesta on unohtunut tuotteita
- Suunnitelmat ovat epätarkkoja, ristiriitaisia tai valmistuvat myöhässä
- Tavarantoimittaja on tehnyt virheen toimitussisällössä, pakkaustavassa, toimitusajankohdassa sekä toimituksesta saapumisen ilmoittamisessa
- Tuotteissa on laatuvirheitä
- Tiedonkulku työmaan ja tavarantoimittajien välillä on puutteellista liittyen suunnitelma- ja aikataulumuutoksiin
- Toimituserät ovat liian suuria, joka lisää varastointi-, suojaus-, ja siirtotöitä
- Muiden urakoitsijoiden tavarat ovat tiellä varastointialueella

Rakentamisen aikana työnjohdolla on enää pienet mahdollisuudet muuttaa logistiikkasuunnitelmassa tai yleissuunnitelmassa tehtyjä päätöksiä koskien logistiikkaa. Työnjohdon tehtävät rakentamisaikana liittyen tahtituotannon logistiikkaan ovat toimitusmenettelyjen täsmentäminen, toimituserien kotiinkutsut, toimitusten saapumisen varmistaminen, työmaa-alueen siirtoreittien varmistaminen, tuotteiden vastaanoton ja siirto-, nosto ja suojauskaluston järjestäminen oikeaan paikkaan oikeaan aikaan. Etenkin

pääurakoitsijan työnjohdon täytyy varmistua aliurakoitsijoiden toimitustenohjauksen toimivuudesta, jotta purkupaikat, ajotiet ja nosto- ja siirtokalusto ovat oikea-aikaisesti käytettävissä. (Koski et al., 2009)

2.2.5 Hankinta- ja urakkasopimukset

Hankinta- ja urakkasopimuksilla on suuri merkitys hyvin toimivan tahtituotannon sujumisen kannalta. Urakoitsijoiden sitouttaminen tahtituotantoon on lähdettävä jo tarjousasiakirjoista ja urakkaneuvotteluista, jotta tahtituotannon toteutuksessa olisi mahdollisimman vähän ongelmia.

Hankinnalla tarkoitetaan yrityksen ulkopuolista resurssienhallintaa, joka rakennusalalla näkyy yleisimmin ulkopuolisilta erikoisurakoitsijoilta ostettavina työ-, materiaali- ja palvelupanoksina. Lähes kaikissa rakennusurakoissa pääurakoitsija ostaa osan vastuullaan olevista suoritteista aliurakoitsijoilta. Alihankinnan avulla pääurakoitsija hankkii erityisosaamista tai pätevyyttä yrityksen ulkopuolelta, jolloin voi sopeuttaa oman kalustonsa ja työvoimansa yrityksen tarpeita vastaavaksi. Aliurakan teettämistä perustellaan usein sen hyvällä laadulla, taloudellisuudella sekä aikataulussa paremmin pysymisenä. Nämä edut tulevat siitä, että aliurakoitsija on voinut keskittyä oman kapean työvaiheen ammattiosaamisen kehittämiseen sekä erikoisammattityövoiman jatkuvaan työllistämiseen. Alihankintamuoto vaikuttaa hankinnan vaatimuksiin, joita ovat laadulliset, ajalliset sekä logistiset vaatimukset. (Kankainen & Junnonen, 2016)

Rakennusurakkasopimuksella tarkoitetaan sopimusta, jossa urakoitsija, joka toimii toisena sopimusosapuolena, lupaa sovittua rahallista korvausta vastaan tekemään tilaajalle sopimuksessa määritettyjen ehtojen mukaiset työsuoritteet. Työsuorite voi olla uuden rakenteen tekemistä, uuden rakennuksen rakentamista tai esimerkiksi vanhan korjaamista. Rakennushankkeille on yleensä tunnusomaista niiden määräaikaisuus, useiden osapuolten mukanaolo, suoritusten moninaisuus ja työsuoritusten alttius häiriötekijöille ja näiden huomiointi urakkasopimuksessa on tärkeää. (Kankainen & Junnonen, 2016)

Aliurakoinnin ongelmatilanteet johtuvat usein puutteellisista urakkasopimuksista ja puutteellisesti hoidetuista yhteisistä toimintatapojen sopimisista. Keskeisimmät ongelmat liittyvät yleensä Junnonen & Kankaisen (2016) mukaan:

- Aliurakatyö ei noudata yhteisesti sovittua aikataulua
- Laatutaso ei vastaa sopimuksessa määriteltyjä tasoja

- Aliurakkasopimus joudutaan purkamaan
- Urakoitsija menee konkurssiin

Mäkelän (2021) mukaan on tärkeää huomioida tahtituotanto jo neuvottelu- ja sopimusvaiheessa. Tarjouspyyntöjen lähetyksen yhteydessä olisi tärkeää antaa urakoitsijoille mahdollisuus esittää vaihtoehtoisia tarjouksia, joiden avulla heidän tekemä työ nopeuttaisi tahtialueiden valmistumista. Urakoitsijoiden vertailussa usein painotetaan eniten hintaa, mutta vertailun painopisteeksi voidaan valita myös kokemukset, resurssit ja referenssit. (Kankainen, 2016) mukaan on tärkeää varmistaa tarjoajien toimintatavat ja toimituskyky ennen hankintapäätösten tekoa. Artto et al. (2006) mukaan tarjousten analysointiin ja vertailuun olisi hyvä määrittää kriteerit huolellisesti, jotta aliurakoitsijan valintaperuste olisi tasapuolinen eivätkä toissijaiset asiat vaikuttaisi valintaan. Tarjouksia vertaillessa on otettava huomioon yrityksen yhteistyö- ja muut sopimukset, mutta pääasiassa täytyy keskittyä hankittavan urakan merkitykseen projektin toteutuksessa. Pienen hankintakokonaisuuden epäonnistuminen saattaa pilata koko projektin onnistumisen. (Artto et al., 2006) Tämä riski on etenkin tahtituotantokohteissa, jossa urakoitsijoilla on todella iso rooli tahtijunan sujuvan kulkemisen onnistumisessa.

Mäkelä (2021) listaa omassa tutkimuksessaan tahtituotantohankkeessa erityisesti huomioitavia asioita hankintapäätöstä tehdessä, jotta tahtituotannon sujuminen varmistettaisiin jo hankintavaiheessa mahdollisimman hyvin. Tarjousvertailussa kannattaakin huomioida monipuolisesti etenkin seuraavia asioita:

- Sitoutuminen tahtituotantoon
- Resurssit
- Referenssit
- Kokemukset
- Toimintatavat
- Case-tehtävä työn suunnittelusta

Onnistuneesti muodostuneessa tarjousvertailussa huomioidaan kokonaisvaltaisesti etukäteen painotettuja kriteereitä. Yksinkertaisissa ja pienissä alihankinnoissa toimittaja voidaan valita suoraan tarjousten perusteella, mutta monimutkaisemmissa ja projektin kannalta kriittisissä hankinnoissa käydään yhden tai useamman toimittajan kanssa

sopimusneuvottelut. (Artto et al., 2006) Sopimusneuvotteluissa voidaan keskustella edellä listatuista kriteereistä ja niiden toteutumisesta.

Mäkelä (2021) on listannut myös tärkeitä tuotannonohjauskeinoja, jotka on otettava huomioon urakkaneuvotteluissa sekä urakkasopimuksessa. Niiden avulla solmitaan oikeat pelisäännöt jo neuvotteluvaiheessa, jolloin tahtituotannon ohjaus ja valvonta on kaikille selkeää ja ennalta sovittua. Neuvotteluissa on kannattavaa käydä läpi seuraavat asiat ja kirjata ne sopimukseen mahdollisimman yksiselitteisesti:

- Aikataulusuunnittelun ja tahtituotannon esittely
- Hankintapaketin jakaminen työvaiheisiin ja tahtivaunuihin
- Kirjaukset eri työvaiheiden resurssitarpeista, saatavista resursseista ja mahdollisuus resurssien lisäämiseen ongelmatilanteissa
- Keskustelu aikataulutetuista puskureista sekä ilta- ja viikonlopputöillä aikatauluviiveen kiinniottamisesta
- Työnjohtajan ja nokkamiehen roolit ja vastuut päivittäisohjaamisessa
- Yhteistoiminnallisten käytäntöjen sopiminen
 - Aikataulusuunnittelutyöpajoissa läsnäolo
 - Viikkopalaverit
 - Päivittäisohjaamisen tapaamiset
 - Yhteensovituspalaverit
 - Suunnitelmien läpikäyntitilaisuudet
 - Kehitystilaisuudet
- Palavereihin valmistautuminen ja tavat raportoida ja viestiä niissä
- Työnsuunnittelu
 - Häiriöiden raportointi
 - Puutteiden raportointi

- Etenemien raportointi
- Tahdin seurannan ja suunnittelun pelisäännöt
- Häntien raportointi ja dokumentointi työn edetessä
- Mestojen vastaanotto- ja luovutuskäytäntöjen läpikäyminen ja niiden kirjaaminen sopimukseen
- Logistiikkakäytäntöjen sopiminen
 - Logistiikasta vastaava henkilö mukaan neuvotteluihin
 - Logistiikkakalenterin käyttö
 - Yhden tahdin materiaalien säilytys mestalla kerralla
 - Väärin saapuneet toimitukset käännytetään
 - Seuraukset logistiikan ongelmista ja puutteista
- Maksuerät tahtialueiden mukaan tahdin tuotantojärjestystä noudattaen
- Välitavoitteiden sitominen tahtituotannon aikatauluun
- Bonus- ja sanktiojärjestelmän rakentaminen tahtituotannon tueksi

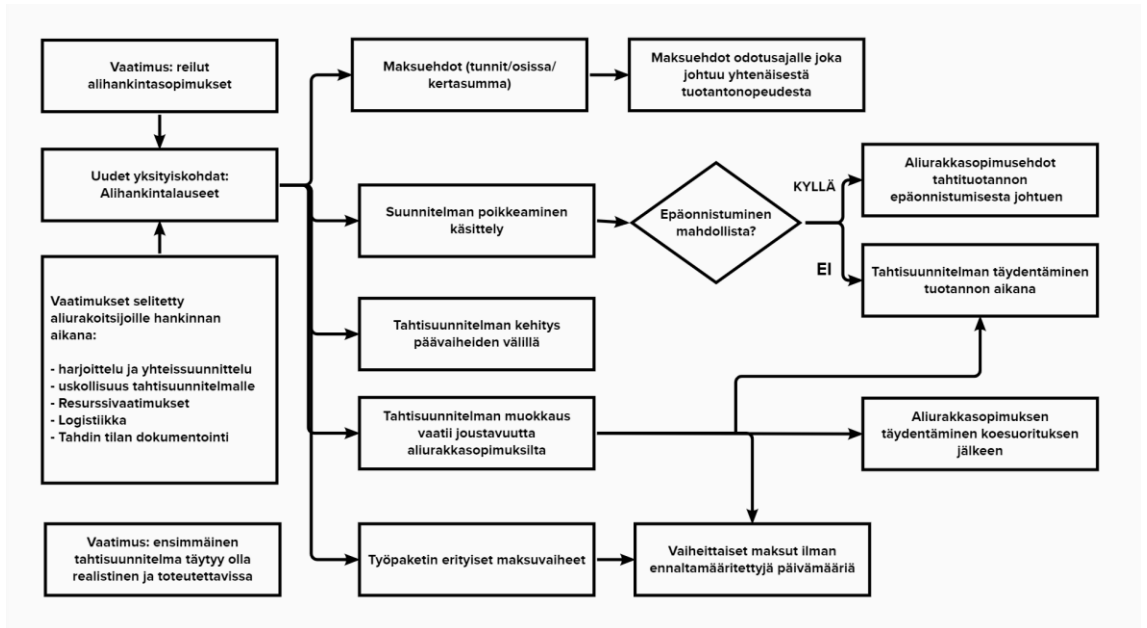
Aliurakan ohjaus ja valvonta tapahtuu sopimuksessa määriteltujen kirjauksien mukaisesti, ja erityisen tärkeää on valvoa sovitun aikataulun ja laadun toteutumisesta. Tahtituotannon ohjaaminen tapahtuu pääsääntöisesti eri kokouksissa, kuten aloituskokouksessa, päivittäisissä tahtituotantokokouksissa, työmaakokouksissa sekä lopetuskokouksessa. Aloituskokous on tärkeä, ja siinä voidaan sopia vielä asioista, jotka on tarkoituksella jätetty sopimuksessa avoimeksi. Aliurakoitsijalla on ohjausvelvollisuus ja -vastuu omasta työstään, mutta pääurakoitsija on vastuussa kokonaisuuden toteutumisesta ja täten vastaa aliurakoitsijan töistä kuten omistaan. Pääurakoitsijalla on siis suuri vastuu olla perillä aliurakoitsijoiden asioista ja heidän työnsä sopimuksenmukaisesta etenemisestä. (Arto et al., 2006) Valvottavat asiat liittyvät tuotannon toteutusjärjestykseen, tuotantonopeuteen, välitavoitteisiin sekä keskeytyksien valvontaan ja ohjaukseen. Lisäksi on tärkeää laatuvaatimusten tarkastaminen sekä materiaalien varastoinnin, siirtämisen ja työaikojen tarkkailu. (Junnonen & Kankainen, 2016) Mäkelä (2021) on listannut myös sopimusteknisiä asioita, jotka huomioimalla

tahtituotantoa voidaan ohjata jo sopimuksessa. Sopimuksien mahdollistamat ohjausekeinot tahtituotannon tukena ovat Mäkelän (2021) mukaan seuraavat:

- Hankekohtainen lisäliite kohteen erityispiirteistä
- Aloituspalaverin pakollisuus, jota ennen täytyy varmistaa sopimuksessa tarkoituksella avoimeksi jätetyt asiat
- Välitavoitteiden ja maksuerien sitominen tahtituotannon alueisiin
- Yksikköhintaisten urakoiden maksujen sitominen tahtituotannon mukaiseen etenemiseen
- Sopimukseen täytyy kirjata, että yhteisesti sovittu aikataulu tulee osaksi sopimusta ja aikataulun välitavoitteisiin sidotaan ennalta määritetty määrä sakkoja
- Koulutukset ja perehdytykset kirjataan pakollisiksi sopimukseen
- Kirjaus, että mesta pitää olla siivottu päivän sisällä huomautuksesta, tai se siivotaan pääurakoitsijan toimesta ja lasku ohjataan urakoitsijalle
- Etukäteen sovitut tavat ja toimet aloitusedellytysten ja ongelmien selvittämiseen
- Etukäteen määritellyt tavat töiden yhteensovitukseen mestoilla eri ongelmatilanteissa

Näiden kirjausten avulla luodaan jo sopimusvaiheessa selkeät pelisäännöt tahtituotannon suorittamiselle. Näiden avulla pääurakoitsijalla on myös hyvät ja selkeät valtuudet toimia, jos aliurakoitsija ei noudata sopimuksen kirjauksia.

Keskiniva et al. (2022) ehdottaa, että aliurakkasopimukset viimeisteltäisiin vasta tahtituotannon aloituksen jälkeen, jolloin pehmeän aloituksen aikana voidaan testata urakoitsijan kykyä suoriutua tahtituotannosta. Tahtisuunnitelmia pitää pystyä päivittämään tuotannon aikana, jolloin urakkasopimusten täytyy myös joustaa sitä varten.



Kuva 15. Ehdotus liittyen tahtituotannon aliurakkasopimukseen (muotoiltu Keskiniva et al., 2022)

Yllä olevassa kuvassa 15 on prosessikaavio Keskiniva et al. (2022) ehdotuksesta tahtituotannon urakkasopimusten kehitystä varten. Siinä on kuvattu aliurakkasopimusten vaatimuksia tahtituotantokohteessa sekä huomioon otettavia asioita sopimusta tehtäessä.

3. HAASTATTELUTUTKIMUS

3.1 Haastattelututkimuksen suoritus

Kirjallisuuskatsauksen pohjalta luotiin tärkeiksi koetuista aiheista haastattelututkimuksen runko. Haastattelututkimus suoritettiin puolistrukturoituna teemahaastatteluna, jossa haastateltaville oli etukäteen laadittu haastatteluteemat ja niille apukysymykset. Hirsjärvi & Hurmeen (2008) mukaan puolistrukturoitu teemahaastattelu sopii tutkimusmenetelmäksi silloin, kun vastaus perustuu haastateltavan omaan kokemukseen tai ei tiedetä millaisia vastauksia tullaan saamaan. Teemahaastatteluiden etuina voidaan pitää sitä, että sen avulla saadaan hyvin joustavasti huomioitua haastateltavien erilaiset kokemukset ja heidän omien vastualueidensa painopisteet haastatteluteemoihin liittyen. Se antaa mahdollisuuden vaihtaa haastattelukysymysten järjestystä haastatteluiden välillä ja samalla antaa mahdollisuuden painottaa eri haastattelun osa-alueita.

Teemahaastattelu valikoitui haastattelutavaksi sen takia, koska haastateltavien projektit ja työtehtävät olivat erilaisia, jolloin tarve vapaammalle keskustelulle oli merkittävä. Ominaista puolistrukturoiduille teemahaastatteluille onkin, että jokin haastattelun näkökohta on lyöty lukkoon, mutta ei kuitenkaan kaikkia (Hirsjärvi & Hurme, 2008). Haastatteluiden kysymykset vaihtelivat projektista ja haastateltavan työtehtävästä riippuen, pyrkien luomaan haastatteluista mahdollisimman keskustelevaa vuoropuhelua. Painopisteet eri teemojen välillä vaihtelivat myös paljon, riippuen haastateltavan kokemuksesta ja omasta tietämyksestä. Haastattelun apukysymyksiä kehitettiin ensimmäisten haastatteluiden pohjalta vastaamaan paremmin tutkittavaan asiaan.

Haastattelut sovittiin sähköpostitse ja sen teemat apukysymyksineen lähetettiin haastateltaville etukäteen, jotta niihin pystyi tutustumaan. Haastattelut suoritettiin Microsoft Teams -alustalla, jolloin haastattelijan ei tarvinnut matkustaa ympäri Suomea tapaamaan haastateltavia. Haastattelut äänitettiin ja jälkikäteen litteroitiin tutkimustulosten helpomman tulkinnan vuoksi. Litterointi suoritettiin mahdollisimman tarkasti, jotta jäisi mahdollisimman vähän tulkinnanvaraa asiantuntijoiden kommenteille. Haastattelut kestivät keskimäärin tunnin, lyhyin haastattelu 35 minuuttia ja pisin 1,5 tuntia. Haastattelukielenä toimi lähes kaikissa tapauksissa suomi, jolloin vaara väärinymmärryksille väheni huomattavasti. Haastattelu 9 toteutettiin englanniksi, koska haastateltava oli norjalainen.

3.2 Haastattelututkimuksen runko ja otanta

Haastattelurungon muodostuminen kirjallisuuskatsauksen pohjalta lähti liikkeelle tarkastelemalla tutkimuskysymyksiä ja tutkimuksen tavoitteita. Tutkimuskysymysten pohjalta lähdettiin rakentamaan haastattelun teemoja. Teemat valikoituivat tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan tapaan, haasteisiin, onnistumisiin sekä kehityskohtiin. Teemojen alle muodostettiin keskustelua johdattavia sekä avustavia apukysymyksiä, jotka muotoutuivat haastattelusta toiseen hieman. Ennen teemoja kysyttiin haastateltavan työnimike ja tehtävä sekä kokemus niin rakennusalalta kuin tahtituotannosta. Haastattelurunko käytiin ennen haastatteluja läpi Skanskan aikataulutiimin kanssa. Alla oleva kysymysrunko muotoutui kyseisten iteraatioiden seurauksena:

Alkukysymykset

- Toimenkuva
- Montako vuotta työkokemusta rakennusalalta sekä tahtituotannosta?

Teema 1: Tahtituotannon ohjaaminen ja valvonta

- Miten tahtituotantoa valvottiin ja ohjattiin rakentamisen aikana?
 - Minkälaisia viikkorutiineja teillä oli valvontaan ja ohjaamiseen liittyen?
 - Muuttuiko valvonta projektin aikana? Vai säilyvätkö toimet samana läpi projektin?
 - Minkälaisia visuaalisen johtamisen keinoja teillä oli käytössä?
- Minkälainen asenne urakoitsijoilla oli tahtituotannosta?
 - Muuttuiko asenteet projektin aikana?
 - Miten ne vaikuttivat tahtituotannon ohjaukseen ja valvontaan?
- Miten logistiikkaa ohjattiin?
 - Miten pysyttiin kartalla tavarantoimitusten aikatauluista?

Teema 2: Haasteet tahtituotannossa rakentamisen aikana

- Minkälaisia haasteita rakentamisen aikana tuli liittyen tahtituotantoon?
 - Miten haasteisiin reagoitiin?
 - Minkälaiset toimintatavat haittasivat tuotantoa?
- Mitä tekisitte toisin?
- Minkälaisia valmisteluja olisi pitänyt tehdä enemmän?
- Mikä oli mielestäsi suurin tekijä häiriöiden estämiseksi sekä ongelmien välttämiseksi tahtituotannossa?

Teema 3: Onnistumiset tahtituotannossa rakentamisen aikana

- Mitkä toimintatavat edesauttoivat tahtituotannon sujumista suunnitelmien mukaisesti?
 - Päivittäiset tapaamiset? Kehittyikö tapaamisten kulku?
 - Tahdin vaihtoon liittyvät toimenpiteet?
 - Tiedon kulku?
- Minkä koet vaikuttavan eniten onnistumisiin?
- Minkälaiset tuotannon ohjausmekanismit olivat hyödyllisiä?

Teema 4: Kehitysehdotukset tahtituotannon ohjaamiseen ja valvontaan

- Minkälaista tietoa tai tukea olisitte tarvinneet enemmän rakentamisen aikana?
- Onko joitain ohjaustapoja mitä olisi voinut käyttää, mutta ei jostain syystä käytetty?
- Miten urakkasopimuksien pitäisi kehittyä tulevaisuutta ajatellen, jotta tuotanto sujuisi mahdollisimman hyvin?
- Onko teillä joitain muita neuvoja tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan parantamiseksi?

Haastattelun alussa käytiin läpi, millaisella tavalla tahtituotanto on ollut haastateltavan projektilla käytössä, miten sitä on valvottu ja ohjattu sekä miten siihen on suhtauduttu. Tämän jälkeen tarkasteltiin tahtituotannossa ilmenneitä ongelmia ja miten niihin on

reagoitu. Osan haastattelujen yhteydessä hyödynnettiin projektin tahtiaikataulua ja sen toteumaa, jolloin pystyttiin paneutumaan yksittäisiin poikkeamiin ja niiden ratkaisuihin paremmin. Kolmannen teeman kohdalla paneuduttiin projektin onnistumisiin ja niihin vaikuttaviin tekijöihin. Viimeisessä osiossa keskusteltiin kehitysehdotuksista tahtituotannon ohjaamiseen ja valvontaan.

Haastatteluihin valittiin Skanskan tahtituotantotyömaalla työskenteleviä työmaainsinöörejä, työnjohtajia sekä vastaavia työnjohtajia. Heidät valittiin yhdessä Skanskan aikataulutiiimin kanssa, koska heillä oli selkeä kuva yrityksen edellisvuosien tahtituotantokohteista. Osa haastateltavista oli kyseisellä hetkellä töissä projektilla, jossa oli käytössä tahtituotanto, osalla edellinen projekti oli ollut tahtituotantokohde. Alla olevassa taulukossa 3 on mainittu haastateltavien roolit ja kokemus rakennusalalta ja tahtituotannosta.

Taulukko 3. Haastattelututkimuksen haastateltavat henkilöt

Haastattelu	Työnkuva	Kokemus rakennusalalta vuosina	Kokemus tahtituotannosta vuosina
1	Aikatauluinsinööri	15	2
2	Aluevastaava	17	2
3	Projekti-insinööri	6	3
4	Tuotantoinsinööri	9	1
5	Työnjohtaja	12	1
6	Projekti-insinööri	8	2
7	Kehitysinsinööri	6	3
8	Työmaapäällikkö	33	3
9	Työmaapäällikkö, Norja	5	2

3.3 Tahtituotannon suorittaminen ja käytännöt rakentamisessa

Tahtiaika ja tahtialueet

Hankkeet erosivat toisistaan monella tavalla, kuten rakennushankkeet yleensäkin. Eroja oli myös tahtiajoissa sekä tahtialueiden muodostamisessa. Tahtiaikana käytettiin viikkoa haastateltavien 1, 2, 3, 8 ja 9 hankkeilla. Viikon tahdin lisäksi haastateltavien 4 ja 5 hankkeilla käytettiin 2,5 päivän tahtiaikaa. Haastateltava 6 hankkeella käytettiin yhden päivän tahtiaikaa.

Viikon tahti on ihmisille helppo ottaa mieleen ja ymmärtää. Silti tuotannonohjaus täytyy olla paljon lyhyempisyklistä kuin itse tahtiaika (Haastattelu 7). Haastateltavan 1 mukaan viikon tahtiin on helppo sovittaa perinteisen tuotannonohjauksen periaatteita ja viikkorutiineja. Haastateltavan 2 mukaan viikon tahti on hyvä ja helppo toteuttaa varsinkin hankkeissa, joissa tilojen koot vaihtelevat tai ne ovat isoja. Jos tilat ovat isoja, kuten laboratorioita tai urheiluhalleja, on ne vaikea jakaa pienempiin tahtialueisiin muun muassa pölyluokituksen takia sekä jotta työt tahtialueella kyettäisiin toteuttamaan alle viikossa. Haastateltava 3 totesi viikon tahdin olevan ylipäätään jo aika löysä mahdollistamaan tehokkaan tahtituotannon valvomisen.

Haastateltavan 4 mukaan 2,5 päivän tahtiaika oli laskennallisesti todella hyvä, mutta käytännön tasolla hieman huono. Tahtiajan työt oli aikataulutettu kestämään kaksi päivää, jonka jälkeen viimeinen puolikas päivä käytettäisiin alueen viimeistelyyn, siivoamiseen ja luovuttamiseen seuraavalle urakoitsijalle. 2,5 päivän tahtiaika kääntyi käytännössä kolmeen päivään, eli pyöristyiikin väärään suuntaan. 2,5 päivän tahtiaika oli urakoitsijoiden mielestä hieman vaikeasti käsitettävä ja siten hieman vaikeasti ohjattava. Vaihtoehtoisesti haastateltava 4 ehdottaa kahden tahtialueen suorittamista viikkoon. Toisaalta lyhyessä ja tiiviissä tahdissa pääsee nopeasti kiinni siihen, ”missä rupeaa sakkaamaan”. Haastateltavan 5 mukaan heidän projektinsa tahtialueen kaikkien urakoitsijoiden työt eivät vain yksinkertaisesti mahtuneet kahteen päivään, jolloin tahdin työt venyivät hieman. Tahdin keskiviikkopäivä, eli vaihtopäivä, yhdistyi kahden lohkon välillä riippuen eri työvaiheista. Osa urakoitsijoista siirtyi jo keskiviikko aamusta uudelle tahtialueelle ja osa vasta päivän lopuksi. Työt etenivät tällöin jatkuvasti, eikä työvaiheiden limittäinen oleminen tahtialueella haitannut.

Päivän tahdissa tahtialueet vaihtuivat päivittäin, joten tahtialueet jäivät pieniksi. Haastateltavan 6 mielestä päivän tahti toimi hyvin, koska tahtialueet olivat tarpeeksi pienet ja työvaiheet oli jaettu tarkasti moneen osaan. Päivän tahti vaati todella tarkkaa suunnittelua.

Tahtialueiden muodostamisessa oli käytössä erilaisia tapoja. Haastateltavien kohteet olivat hyvin erilaisia, joten tahtialueiden muodostamisessa oli nähtävissä kohteiden erityispiirteet. Haastateltavan 2 mukaan tahtialueiden koot vaihtelivat kyseisessä kohteessa paljon, koska hanke sisälsi esimerkiksi eri kokoisia laboratoriotiloja, joten tahtialueiden muodostamisessa piti ottaa tarkasti huomioon pölyluokitukset. Haastateltava 3 painotti LVIS-vaikutusalueiden huomioon ottamista tahtialueiden suunnittelussa, koska eri järjestelmien työnteko tapahtuu usein aluekohtaisesti. Tällöin on järkevintä esimerkiksi ottaa pöydälle IV-kuvat tahtialueluonnoksen kanssa, jotta urakoitsija kykenee hahmottamaan tilojen järkevän toteutuksen ja kommentoida aluejakoa. Haastateltava 3 painottaa myös sitä, että usein esimerkiksi sähkö- ja IV-järjestelmien teossa on erilaiset työkierrot, jotka vaikuttavat tahtialueilla liikkumiseen ja järkevien aluejakojen muodostamiseen. Osassa kohteista oli heti aluksi huomattavissa selkeä ja järkevin tahtialuejako, kun taas osassa kohteista tahtialueiden suunnittelussa piti turvautua urakoitsijoiden mielipiteisiin.

Viikoittaiset rutiinit

Viikoittaiset rutiinit vaihtelivat kovasti eri projektien kesken. Osittain viikoittaiset rutiinit vaihtelivat tahtiajan pituudesta johtuen, mutta rutiinien erilaisuus riippui myös tottumuksista sekä projektin sidosryhmien sitoutumisesta rutiinien noudattamiseen. Haastateltavien 1 ja 2 projekteissa tahtituotantoa ohjattiin pääasiassa joka-aamuisilla palaverilla, viikoittaisella palaverilla maanantai aamuna, urakoitsijapalaverilla, aikatauluseurantapalaverilla, mestan vastaanottotarkastuksilla sekä työnjohdon palaverilla. Aamupalaverissa työnjohtajat (jotka olivat kohteella nimityksellä urakkavalvojat) menivät aamulla niihin kerroksiin käymään, missä heidän urakoidensa työntekijät sijaitsivat, ja kävivät yhdessä työntekijöiden kanssa tilannekuvan lävitse ja pyrkivät ratkaisemaan ja viemään eteenpäin havaitut ongelmat. Kaikissa muissa edellä mainituissa palaverissa tarkasteltiin aikatauluja ja valvottiin menneiden ja tulevien työtehtävien valmiutta ja aloitusedellytyksiä.

Haastateltava 2 kertoi tärkeimpien viikoittaisten rutiinien olevan aamupalaverit, joissa keskusteltiin vapaamuotoisesti urakoitsijoiden nokkamiesten kanssa esille nousevista asioista osana työnjohtajan aamuista kierrosta. Keskiviikkona, keskellä viikon tahtia,

pidettiin urakoitsijapalaverit (erikseen talotekniikalle ja muille rakennusosille), joissa haastettiin urakoitsijoita kertomaan rehellisesti omasta suorituksestaan ja työvaiheiden tilasta. Keskellä tahtia sijaitseva urakoitsijapalaveri oli haastateltavan 2 mukaan erittäin hyvä paikka ohjata ja tehdä korjausliikkeitä lopputahdin töitä varten. Torstai iltapäivällä sekä perjantai aamupäivällä oli tahtien luovutuskäytänteet, joissa oli alussa mukana vastaanottajaurakoitsijan edustaja, luovuttavan urakoitsijan edustaja sekä pääurakoitsijan edustaja. Lopulta työtä sisältävien tahtialueiden määrä oli niin suuri, ettei pääurakoitsijan työnjohto pystynyt osallistumaan kaikkiin luovutuksiin ja vastaanottoihin. Työntekijät itse tarkastivat tahtialueensa ja siirtyivät seuraavaan.

Haastateltava 3 projektissa viikoittaiset rutiinit koostuivat seuraavista asioista. Joka aamu pidettiin työturvallisuuspalaveri, jossa käytiin osittain myös ajankohtaisia aikatauluasioita. Viikoittain oli urakoitsijapalaveri, jossa katsottiin kaikkien urakoitsijoiden kesken mitä tapahtuu milläkin tahtialueella, ovatko sovitut asiat valmiina ja mikä on tehtävien nykytilanne. Haastateltavan 3 mukaan oli erittäin hyvä, että urakoitsijapalavereissa pystytään katsomaan mennyttä viikkoa ja tulevaisuutta, jolloin pystytään yhdessä havaitsemaan tulevia ongelmia ajoissa, eikä vasta silloin, kun ne ”hyppää esiin”. Ennen urakoitsijapalaveria käytettiin noin 1,5 tuntia tilannekuvan luomiseen ja tahtiohjaukseen, jotta urakoitsijapalaverissa olisi ajankohtainen tilannetieto eri työvaiheista.

Haastateltavien 4 ja 5 projekteissa viikoittaisina rutiineina oli maanantaina aamupalaveri kaikkien työntekijöiden kesken, keskiviikkoisin aikatauluseurantakierros pääurakoitsijan työnjohdon toimesta, jossa samalla keskusteltiin työntekijöiden kanssa mahdollisista ongelmista. Torstai aamuisin työmaalla järjestettiin nokkamiespalaveri, jossa työntekijät pääsivät suoraan antamaan palautetta toisilleen ja kertomaan ongelmista muiden työvaiheiden työntekijöille, jotta palaute meni välittömästi perille. Työmaan alussa nokkamiespalavereita järjestettiin joka aamu. Kuitenkin kun työvaiheet saatiin rullaamaan hyvin, jätettiin päivittäiset tapaamiset pois, koska niille ei nähty enää tarvetta. Torstaisin järjestettiin urakoitsijapalaveri, jossa käytiin tahtiseuranta lävitse. Pöytäkirjaan avattiin selkeästi, kuka on kuinka paljon myöhässä aikataulusta, tämän jälkeen keskusteltiin avoimesti ratkaisuihin.

Haastateltavan 6 projektin viikoittaisiin rutiineihin kuuluivat joka-aamuiset päivittäisen johtamisen palaverit, jossa keskusteltiin päivän töistä ja niiden ongelmista. Maanantai aamupalaveri, jossa tarkasteltiin edellisviikon toteumaa ja keskusteltiin keskeneräisten töiden syitä ja niiden ratkaisuja. Keskiviikkoisin jokainen työnjohtaja suunnitteli seuraavan viikon työt yhdessä aikatauluinsinöörin kanssa henkilökohtaisesti.

Alkuprojektissa viikkosuunnittelu tapahtui yhteisellä palaverilla, mutta se vei jokaisen työnjohtajan aikaa niin paljon, joten aikataulusuunnittelu siirrettiin lyhyiksi henkilökohtaisiksi tapaamisiksi. Torstaisin pidettiin tuotantopalaveri, jossa selvitettiin edellispäivän viikkosuunnittelussa havaitut esteet ja yhteensovitukset. Torstaisin pidettiin myös Last Planner -tilaisuus, jossa olivat paikalla suunnittelijat ja tilaajan edustajat. Heidän kanssaan sovittiin suunnitelmien valmistumisesta sekä lähtötietojen antamisesta.

Haastateltavan 8 projektissa viikkorutiinit koostuivat joka-aamuisilla työturvallisuuspalavereilla, joissa käsiteltiin myös töiden yhteensovitusta. Maanantai aamupäivällä mestaripalaverissa tahtialueiden työnjohtajat kävivät omien vastuualueidensa aikataulua lävitse ja yhteensovitivat töitä toistensa kanssa. Maanantaina iltapäivällä järjestettiin urakoitsijapalaveri, jossa keskusteltiin ajankohtaisista urakoitsijoista ja projektia koskevista asioista. Perjantaina tahdin vaihdossa oli mukana vastaanottajan ja luovuttajan edustajat varmistamassa aloitusedellytysten täyttymisen.

Haastateltavan 9 hankkeen viikoittaisiin rutiineihin kuului tiistai aamupäivällä sekä torstai iltapäivällä järjestettävät aikataulupalaverit. Tiistai aamuna aikataulupalaverissa keskityttiin työtehtävien aloitusedellytyksiin ja tahdin alkupään ongelmiin, kun taas torstain palaverissa keskityttiin siihen, mitä on saatu valmiiksi, mitä on vielä kesken ja organisoitiin tahtialueiden loput työt mahdollisimman hyvin. Edellä mainituissa aikataulupalavereissa keskityttiin hyvin yksityiskohtaisesti ja tarkasti kyseisen viikon ja mahdollisesti seuraavan viikon töihin. Keskiiviikkoisin järjestettiin kahdeksan viikkoa eteenpäin katsova palaveri, jossa varmistettiin kaikkien urakoitsijoiden edellytykset aloittaa tulevat työnsä seuraavan kahdeksan viikon aikana.

Logistiikka

Kaikkien haastateltavien kohteilla käytettiin Skanskan logistiikkakalenteria, johon urakoitsijat merkkasivat omat lähetyksensä ja tavaroiden vastaanottoajat. Kohderiippuvaisesti urakoitsijat käyttivät logistiikkakalenteria joko todella hyvin tai huonosti. Haastateltavan 3 kohteella työmaalle ei päässyt purkamaan kuormaa, jos siihen ei ollut varattu aikaa logistiikkakalenterista. Kuitenkin poikkeuksiakin tehtiin. Haastateltavien 1 ja 2 kohteilla tahtialueita käytettiin varastointialueina ja siellä sai säilyttää kerrallaan kyseisen tahdin suorittamiseen tarvittavia materiaaleja. Haastateltavan 3 kohteella tahtialueella sai säilyttää kahden tahdin materiaaleja kerralla ja tahtiajan loputtua urakoitsijoiden oli siirrettävä omat materiaalinsa pois tehdyltä

tahtialueelta tai erillinen logistiikkaurakoitsija siirsi ne pois urakoitsijan laskuun. Haastateltavan 7 mukaan tahtituotannossa on tärkeä saada materiaalityömitukset noudattamaan JIT-menetelmää (Just In Time), jotta työmaan resursseja ei kulu ylimääräisiin siirtoihin työmaan sisällä eikä materiaalia rikkoudu ylimääräisen siirtelyn johdosta. Kaikki tahtialueet halutaan ottaa hyötykäyttöön, joten materiaalien säilytyspaikat täytyy suunnitella hyvin ja samalla sopia selkeät pelisäännöt urakoitsijoiden kanssa säilytykseen ja siirtoihin liittyen.

Haastateltavien 1, 2, 3, 4, 5, 6 ja 8 kohteilla oli erillinen logistiikasta vastaava henkilö pääurakoitsijalta tai vaihtoehtoisesti erillinen logistiikkaurakoitsija. Haastateltavien 4 ja 5 kohteilla materiaalien vastaanotto ja pystysiirrot sovittuun paikkaan tapahtuivat erillisen logistiikkaurakoitsijan kautta. Kaikki materiaalien haalaukset suoritettiin normaalien työaikojen ulkopuolella ilt-aikaan, jotta hissit ja käytävät olivat ainoastaan logistiikkaurakoitsijan käytössä. Tällöin ei häiritty muita työntekijöitä, eikä töiden suorittaminen kärsinyt. Haastateltavat 4 ja 5 kertoivat myös, että logistiikkaurakoitsijan edustaja oli mukana työvaiheiden aloituspalaverissa, ja jos se ei onnistunut, pidettiin erillinen logistiikkapalaveri urakoitsijan kanssa, jossa sovittiin pelisäännöt materiaalien vastaanotosta ja siirtämisestä.

Urakoitsijoiden asenteet

Urakoitsijoiden työntekijöiden asenteet tahtituotannosta vaihtelivat riippuen projektista, ja haastateltavien mukaan asenteet vaikuttivat suuresti urakoitsijoiden ohjaamiseen ja valvontaan. Haastateltavan 1 mukaan urakoitsijoiden asenteet korreloivat suuresti heidän suorituksiinsa. Urakoitsijat, joiden asenteet tahtituotannon noudattamiseen olivat huonot, usein myös epäonnistuivat tahtituotannon toteuttamisessa. Usean haastateltavan mukaan urakoitsijat oli projektien alussa skeptisiä tahtituotannon hyödyistä ja toimivuudesta, mutta rakennustöiden edetessä he usein huomasivat kyseiset hyödyt työntekijöille ja koko projektille.

Haastateltavan 5 mukaan tahtituotanto oli urakoitsijoille kuin kirosana. Useat urakoitsijat olivat olleet ennestään muiden pääurakoitsijoiden asuintuotannon puolella tahtituotantokohteissa, joista heille oli tullut siitä huonoja kokemuksia. Kun rakennustyöt alkoivat haastateltavan projektilla pyörimään, työntekijät huomasivat, kuinka hyvin tahtituotanto onnistuessaan toimii. Tästä johtuen asenteet tahtituotantoa kohtaan muuttuivat positiivisemmaksi, ja tämän takia myös työntekijät sitoutuivat kehittämään prosessia paremmaksi. Haastateltava 7 toteaa, että on havainnut useita esimerkkejä, joissa urakoitsijat ovat pysyneet hyvin aikataulussa ja ovat jälkikäteen todenneet

luottamuksen tahtituotannon suorittamiseen olevan tärkeässä osassa toimintaa. Kun urakoitsijoille annetaan se tila, joka on suunniteltu, niin he saavat rauhassa tehdä oman työvaiheensa työtehtävät siellä. Hyvät kokemukset tuovat positiivista asennetta tuleviin kohteisiin, koska asentajat luottavat tahtituotannon toimivuuteen ja tällöin sen toiminta parantuu vielä entisestään. Kun taas tahtituotannossa havaitut ongelmat saattavat vähentää luottoa tahdin toimivuuteen.

3.4 Tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan onnistumiseen vaikuttavat tekijät

Tässä kappaleessa käydään läpi haastatteluissa nousseita asioita, jotka vaikuttavat tahtituotannon sekä sen ohjaamisen ja valvonnan onnistumiseen rakennushankkeessa. Onnistumiseen vaikuttavat tekijät on tiivistetty alla olevaan taulukkoon 4 ja ovat haastateltavien mukaan seuraavanlaisia:

Taulukko 4. Tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan onnistumiseen vaikuttava tekijät

Tärkeimmät tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan onnistumiseen vaikuttavat tekijät	
Last Planner-suunnittelu urakoitsijan kanssa	Nopea reagointi havaittuihin ongelmiin
Urakoitsijan edustalla on tarkkaa tietoa työvaiheen suorittamisesta	Heti aikatauluongelman ilmetessä järjestetään aikataulupalaveri
Selkeät työkierrot ja erityiskohteet otetaan huomioon	Jämäkkyyks ongelmiin ilmetessä
Paikan päällä suunnittelu parempi kuin Teamsin kautta	Virheiden korjaus heti kun ne havaitaan
Tahtialuejaon asettaminen esimerkiksi LVIS-kuvien päälle	Pyritään selvittämään ongelmien syyt sekä niiden korjaustoimenpiteet
Lisää sitoutumista projektiin	Estetiedot kaikkien tietoon
Nokkamiehen mukaan otto suunnitteluvaiheessa	Suunnitelmamuutoksiin nopea reagointi
Kaikkien osapuolien sitoutuneisuus, motivaatio sekä henkilökohtaistuminen	Selkeä visuaalinen johtaminen
Otetaan heidät mukaan suunnitteluprosessiin	Aikataulut on oltava helposti saatavilla
Työntekijöiden tutustuminen toisiinsa madaltaa kynnystä puuttua virheisiin ja ongelmiin	Tahtialuejako sekä aikataulu pitää näkyä työntekijöille selkeästi
Suora palautteenanto	Aikataulun viereen on hyvä avata työvaiheiden sisältöä
Työt henkilöityvät, joten motivaatio suorittaa oma työ paremmin kasvaa	Haluttu tieto on oltava saatavilla vain yhdellä vilkaisulla
Tehtävien yhteensovitus helpompaa kun työntekijät tuntevat toisensa	Kannattaa ottaa mallia työturvallisuuden visuaalisesta johtamisesta
	Urakoitsijakohtaiset 3 viikkoissuunnitelmien teko ja tulostaminen kaikkien nähtäville
	360° kuvien otto työmaasta
Aloitusedellytysten vaatiminen	Logistiikan ohjaus
Laadunvarmistus lohko kohtaisesti aina tahtiajan loppuksi	Logistiikka- sekä purkukalenteri
Tahtialueen tarkka siivous	Logistiikasta vastaava henkilö mukana aloituspalavereissa
Pyrkimys tehdä kerralla kaikki valmiiksi	Just In Time -toimitukset
	Materiaalien säilytys työmaalla täytyy sopia etukäteen
Selkeät viikkorutiinit, joiden kautta selkeä tilannekuva ja ohjauskyky	Muita tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä
Päivittäiset tapaamiset nopeuttavat tiedon liikkumista	Pehmeä aloitus
Viikoittaisissa tapaamisissa tärkeä käydä läpi työvaiheilmoitukset ja nostaa niiden ongelmat esiin	Ongelmien kirjaaminen Congridiin, jotta tiedetään ja osataan korjata oikeat asiat
Urakoitsijapalaverit	Sopimustekniset vipuvarret
Avoimuus havaituista ongelmista	Tehokas tiedonkulku
Työntekijöiden osallistaminen tapaamisissa	Avoin kommunikointi
	Tahtialueiden selkeys

Last Planner-suunnittelu urakoitsijan kanssa

Haastateltavien 1, 2, 3, 7 mukaan urakoitsijoiden mukanaolo tahtituotannon suunnitteluvaiheessa on erittäin tärkeää varmistaakseen tahtituotannon sujuvan virtauksen sekä sen valvonnan ja ohjaamisen. Aikataulun teossa mukana olevilla

urakoitsijoiden edustajilla täytyy olla tarpeeksi käytännön kokemusta työvaiheidensa teosta, jotta tieto todellisista työvaiheen työkiirroista sekä järjestyksistä on saatavilla aikataulusuunnittelussa. Haastateltavan 3 mielestä aikataulutus on tehokkainta, kun kaikki osaavat kertoa alueiden työkuormien suuruudet ja sen, miten paljon resursseja sekä aikaa tahtialueeseen täytyy varata. Aikataulutus on myös kokemuksen mukaan parempi suorittaa paikan päällä kuin Teamsin kautta, koska paikan päällä osallistuminen ja ajatusten vaihto on paljon parempaa kuin Teamsilla. Kokemus aikataulusuunnittelusta Teamsin kautta on se, että useat osapuolet ovat vain hiljaa eivätkä kommentoi kehitettäviä asioita tarpeeksi. Urakoitsijat olivat tyytyväisiä siihen, että he saivat LPS:n kautta vaikuttaa aikataulun tekoon ja täten he pystyivät säätämään omat resurssinsa paremmin sopimaan projektin tarpeisiin. Haastateltava 3 painottaa myös kokonaisvaltaisen yhteistoiminnallisuuden olevan ”ykkösjuuttu” projektin sujuvan etenemisen kannalta. Tähän on todella hyödyksi esimerkiksi Last Planner Systemin käyttö. Haastateltavan 3 mukaan urakoitsijan kanssa suunnitellessa kannattaa ottaa pohjaksi esimerkiksi IV-, sähkö-, tai putkikuvat, joiden päälle asettaa tahtialuejaon. Tämä helpottaa urakoitsijaa hahmottamaan resurssit, mitä tarvitaan oman työn suorittamiseen tahtialueilla.

Haastateltavat 4 ja 5 totesivat, että heidän projektinsa lähti niin nopeasti käyntiin, ettei heillä ollut aikaa tehdä yhteistyötä urakoitsijoiden kanssa aikataulusuunnittelussa. Pääurakoitsijan organisaatio löi halutun aikataulun lukkoon ja sen jälkeen joutui ”pakottamaan” urakoitsijat noudattamaan sitä. Molemmat haastateltavat olisivat kaivanneet urakoitsijoiden mukanaoloa aikataulun teossa, koska erikoistuneet urakoitsijat osaavat usein sanoa tarkempia arvioita töiden suorittamiseen vaadituista resursseista, kuin yleinen aikataulusuunnittelija RATU-kortteja ja määrälaskelmia hyödyntäen.

Haastateltava 7 painottaa määrälaskelmien teon tärkeyttä, ennen kuin lähdetään suunnittelemaan tahtiaikataulua urakoitsijoiden kanssa. Tällöin pystytään arvioimaan jo etukäteen työvaiheiden mahdolliset kestot, jolloin kyetään arvioimaan realistisesti urakoitsijoiden aikataululuonnoksia. Urakoitsijat usein tajuavat tahtituotannon hyödyt paremmin, kun he pääsevät aktiivisesti mukaan suunnittelemaan sitä. Urakoitsijan mukanaolo suunnitelmavaiheessa usein myös lisää heidän sitoutumistansa tahtituotannon suorittamiseen sekä sovittuihin valvontakäytäntöihin. Haastateltavan 8 kokemuksen mukaan aikataulusuunnittelu urakoitsijoiden edustajan kanssa luo varmuutta aikataulun toteutumisen onnistumisesta. Haastateltavan 8 mielestä aikataulusuunnitteluun on tärkeämpi ottaa mukaan projektin tuleva noikkamies kuin

urakoitsijan työnjohtaja, koska nokkamies osaa usein kertoa ja arvioida tarkemmin työtehtävän toteutumiseen vaikuttavista tekijöistä. Samalla myös nokkamies tutustuu projektin muihin osapuoliin, jolloin kynnys häiriöistä ja ongelmista ilmoittamiseen kasvaa. Haastateltavan 8 kokemuksen mukaan urakoitsijan työnjohto tai esimerkiksi projektipäällikkö ei usein ole tarpeeksi kyvykäs tai kokenut miettimään työtehtävän käytännön suorittamista verrattuna nokkamieheen.

Kaikkien osapuolien sitoutuneisuus, motivaatio sekä henkilökohtaistuminen

Projektin osapuolien sitoutuminen projektiin sekä heidän oma motivaationsa suorittaa työnsä mahdollisimman hyvin on isossa osassa tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan onnistumisessa. Haastateltavan 1 mielestä työnjohtajien ja aluevastaavien sitoutuneisuus ja motivaatio tahtituotannon suorittamiseen on tärkein tekijä tahtituotannon onnistumiselle. Urakoitsijoiden sitoutumista projektiin voidaan lisätä haastateltavan 7 mukaan sillä, että annetaan heidän olla mukana suunnitteluprosessissa. He pääsevät tällöin vaikuttamaan tuotantosuunnitelmaan ja sitoutuvat sen kautta toteuttamaan projektin suunnitelmien mukaisesti.

Haastateltavien 3, 4, 5, 7, 8, 9, mukaan iso osa tahtituotannon hyödyistä sekä onnistumisesta riippuu myös työntekijöiden tutustumisesta toisiinsa ja töiden henkilökohtaistumisesta. Haastateltavan 5 mukaan työntekijöiden tutustuminen toisiinsa ja heidän keskinäinen sopimisensa sekä keskustelu ovat avaintekijä tuotannon virtaukselle. Työntekijät oppivat sen, että he voivat keskustella asioista keskenään ja huomauttaa työntekijälle suoraan, eikä työnjohdon tarvitse olla välttämättä ollenkaan välissä. Työntekijät huomaavat, että jos heidän oman tuotantonsa pullonkaulana toimii edellisen työvaiheen työntekijät, on helpompi käydä mainitsemassa heidän virheistään suoraan itse työn suorittajalle kuin työnjohtajalle. Tällöin työntekijät voivat suoraan antaa palautetta toisilleen ja ongelmat ratkeavat usein nopeammin. Myös työtehtävien henkilöityminen helpottaa tuotannon ohjaamista. Esimerkiksi päivittäisissä tai viikoittaisissa nokkamiespalavereissa työt henkilöytyvät, koska viikosta toiseen samat työntekijät keskustelevat työn suorittamisesta toistensa kanssa. Putkimies ei ole enää vain "se putkari" vaan "Jari". Sähkömies ei ole enää vain "se sähköri" vaan "Pekka". Tällöin kynnys ongelmien esiin nostamiselle pienenee ja tahtituotannon ohjaaminen helpottuu. Myös haastateltava 8 on huomannut positiivisen vaikutuksen työntekijöiden asenteissa ja työsuoritteissa, kun he tutustuvat toisiinsa päivittäisissä tahtituotannon aamutapaamisissa.

Aina ei tarvitse olla vain yksi urakoitsija yhdellä tahtialueella, jos he pelaavat hyvin yhteen ja tulevat hyvin juttuun. Kun työntekijät tutustuvat toisiinsa ja henkilöt työtehtävien takana tulevat tutuiksi, on tehtävien yhteensovitus ja joustaminen helpompaa. (Haastateltava 7)

Aloitusedellytysten vaatiminen

Haastateltavien 6, 7 ja 9 mukaan tahtituotannon onnistumiseksi on vaadittava aloitusedellytysten täyttymistä jokaiselta urakoitsijalta. Haastateltavan 7 mukaan laadunvarmistus täytyy tehdä aina lohko-kohtaisesti, jotta varmistutaan töiden suunnitelmien mukaisuudesta, eikä seuraavalle työvaiheelle aiheudu ongelmia edellisen työvaiheen virheiden tai tekemättömien asioiden takia. Jos tahtijunan ensimmäinen työvaihe saa tehtyä vain 90 % omasta työstään, on seuraavan työvaiheen 100 % suoritus silti 10 % vajavainen. Jokaisen virheen vaikutus kertaantuu seuraavissa työvaiheissa, koska seuraava urakoitsija joutuu jättämään jotain tekemättä virheen takia.

Aloitusedellytyksiin liittyy myös omien jälkien siivoaminen tahtialueelta tahtiajan loppuksi. Lopettavan työvaiheen on siivottava alue siihen kuntoon, että seuraava työvaiheella on riittävät aloitusedellytykset suorittaa oma työvaihe ilman, että joutuu siivoamaan ensin edellisen urakoitsijan jälkiä. (Haastateltava 7)

Selkeät viikkorutiinit, joiden kautta selkeä tilannekuva ja ohjauskyky

Tärkeimpänä tahtituotannon ohjaamiseen ja valvontaan liittyvä tekijä on haastateltavien mukaan selkeiden sekä toistuvien viikkorutiinien luonti. Päivittäin tai viikoittain toistuvat tahtituotannon valvonta- ja ohjaustilaisuudet luovat tuotannolle selkeän rytmin, jonka avulla hankkeen osapuolet pysyvät kartalla tuotannon edistymisestä sekä häiriötilanteista. Haastateltava 1 mukaan suurin tahtituotannon onnistumiseen vaikuttava tekijä oli viikoittain toistuvat urakoitsijalaverit, joita ennen urakoitsijat olivat lähettäneet tahtituotannon työvaihe ilmoitukset ja joiden paikkansapitävyys oli varmistettu. Viikoittaisissa tapaamisissa ohjattiin sekä valvottiin tahtituotantoa ja niissä kaikki urakoitsijat saivat tiedon muiden edistymisistä. Haastateltavan 2 mielestä urakoitsijalavereissa on haastettava urakoitsijoiden väitteitä ja ”ammuttava alas” valheelliset väitteet toiminnan tilasta. Haastateltava 2 mielestä urakoitsijalaverin paikka viikon tahdissa on hyvä olla tahdin puolivälissä, jotta voidaan tarkkailla viikon tehtyjä asioita sekä pystytään tekemään korjausliikkeitä lopputahtia varten. Haastateltava 4 toteaa, että viikoittaisissa urakoitsijalavereissa on tärkeää kertoa avoimesti havaituista ongelmista ja vaatia urakoitsijoilta toimenpiteitä aikataulun kiinni kirittäväksi. Kun ongelmat nostetaan avoimesti esiin ja keskusteltiin yhdessä ongelmien

ratkaisuista, huomasi urakoitsijoiden nostavan niitä tulevaisuudessa myös herkemmin esiin.

Haastateltavat 2 ja 6 toteavat joka-aamuisten päivittäisten johtamisen palaverien olevan yksi suurimmista tahtituotannon onnistumiseen vaikuttavista tekijöistä. Päivittäisissä tapaamisissa työryhmät kertovat oman tilanteensa ja mahdolliset ongelmakohdat, jotta ne kyetään korjaamaan välittömästi. Paikalla on joko pelkästään työryhmien nokkamiehet ja työnjohtajat tai vaihtoehtoisesti kaikki työmaan työntekijät. Haastateltava 7 toteaa työntekijöiden osallistamisen ongelmien ratkaisuihin olevan tärkeää päivittäisten tapaamisten osalta. Lyhytsyklisessä tahtituotannossa täytyy varmistaa, että työryhmillä on tarvittavat materiaalit sekä edellytykset töidensä tekoon. Päätöksenteossa sekä ohjaustoimenpiteiden suunnittelussa vaaditaan paikkaansa pitävää sekä reaaliaikaista tietoa, ja päivittäisten tapaamisten avulla pystytäänkin saamaan tietoa työntekijöiltä työvaiheiden todellisesta tilasta. Haastateltavan 7 mukaan joka-aamuisten tapaamisten ei tarvitse aina kestää juuri ohjeiden mukaiset 15–20 minuuttia, jos kenelläkään ei ole mitään asiaa. Jos hommat sujuvat hyvin, voi päivittäisen johtamisen palaveri kestää esimerkiksi kaksi minuuttia, jossa kaikki kertovat asioiden olevan hyvin. Jos tuntuu turhalta tavata joka aamu vaikkei ole asiaa kerrottavaksi, voidaan päivittäiset tapaamiset järjestää myös esimerkiksi joka toinen päivä.

Haastateltava 9 suositteli viikossa pidettävän kolme eri ohjauspalaveria, jolloin alkuvuokosta tarkasteltaisiin viikon töiden aloituksia ja edellytyksiä suorittaa tahdin työt aikataulussa. Keskellä viikkoa pidettäisiin eteenpäin katsova palaveri, jossa tarkkaillaan ja ohjataan projektia suuremmalla kuvalla, esimerkiksi katsotaan seuraavien kahdeksan viikon töitä ja varmistetaan niiden aloitusedellytykset ja yhteensovitukset. Loppuvuokosta pidettäisiin vastaava palaveri kuin alkuvuokosta, mutta tässä palaverissa keskitytään keskeneräisiin työvaiheisiin, jotta lopputahdin työt pystytään organisoimaan mahdollisimman hyvin. Näiden ohjaustapojen avulla viikon tahdissa onnistutaan valvomaan ja ohjaamaan tuotantoa säännöllisesti.

Nopea reagointi havaittuihin ongelmiin

Kaikki haastateltavat nostavat suurimmaksi tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan onnistumiseen vaikuttavaksi tekijäksi nopeaa reagoimista havaittuihin ongelmiin ja häiriöihin. Haastateltavan 1 mukaan heti kun heillä nousi jokin aikatauluun liittyvä ongelma, pidettiin asiaan liittyvien urakoitsijoiden ja henkilöiden kanssa heti lyhyt aikataulupalaveri, jossa ratkottiin esille nousseet ongelmat. Haastateltava painottaa, että ongelmien ilmetessä täytyy olla todella jämäkkä, ettei anneta urakoitsijoiden lipsua ja

vältellä vastuita haasteiden ilmetessä. On puututtava ongelmiin ajoissa sekä riittävällä tehokkuudella.

Haastateltava 2 painottaa myös nopeaa reagointia ongelmien ilmetessä. Jos esimerkiksi aamulla selviää, että joku työvaihe ei etene ennen kuin joku reikä on porattu, niin se reikä on tehtävä välittömästi eikä vasta huomenna tai seuraavalla viikolla. Ei vain kirjoiteta ongelmia ylös paperille ja perjantai iltapäivällä ennen töistä pois lähtöä katsota mitä olisi pitänyt tehdä viikon aikana. Virheiden korjauksia ei myöskään pitäisi suorittaa pelkästään tahdin loppupuolella, vaan heti ongelmien ilmetessä on tartuttava toimeen ja hoidettava tehtävät pois alta.

Haastateltavan 4 mukaan jos heidän projektillansa joku oli myöhässä, kysyttiin välittömästi siihen vaikuttavat syyt ja pyrittiin reagoimaan sen mukaisesti mahdollisimman nopeasti. Tilanteessa, jossa esimerkiksi maalaustyöt olivat myöhässä, laitettiin urakoitsija nimeämään jäljessä olevan työn suorittavat työntekijät sekä ajankohta koska lisäresursseja tulee. Tästä johtuen urakoitsijan työnjohdon oli oikeasti tehtävä suunnitelma, jolla pystytään kuroma umpeen sovittu aikataulu. Haastateltavan 5 mukaan tahtituotannossa on nimenomaan se hyvä puoli, että aikataulupoikkeamat havaitaan välittömästi eikä vasta kuukauden liian myöhään. Tällöin voidaan tehdä korjaavia toimenpiteitä heti ongelmien esiintyessä. Haastateltavan 4 mukaan kaikki hyötyvät siitä, kun ongelman ilmetessä täytyi reagoida nopeasti ja ilmoittaa häiriöistä. Haastateltava 4 toteaa myös, että: *”Tahtituotanto pakottaa kaikki ne osallistumaan, ketkä haluavat oikeasti pärjätä työmaalla. Työntekijät huomaavat, että suunsa avaamalla tapahtuu muutoksia, joten se kannustaa olla mukana kehittämässä tuotantoa.”* Tästä johtuen on äärimmäisen tärkeä ohjata tuotantoa jatkuvasti projektin edetessä.

Haastateltava 7 on myös sitä mieltä, että on erittäin tärkeää järjestää yhteensovituspalavereita ongelmien ilmetessä, jossa voidaan jakaa vastuita ja ratkaisuja ongelmien ratkaisemiseksi. Estetiedot on tuotava välittömästi työmaan yhteiseen tietoon, jotta jokainen, jota asia koskettaa pystyy uudelleensuunnittelemaan työtehtävänsä sen vaikutusten mukaisesti. Haastateltava 9 painottaa nopeaa reagointia myös suunnitelmamuutoksia varten, jos niissä huomataan ongelmia.

Selkeä visuaalinen johtaminen

Haastateltavien mukaan tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan yksi tärkeimmistä osaluista on johtamisen visuaalinen puoli. Aikataulujen on oltava helposti saatavilla monessa eri paikassa, jotta tieto kyseisen tahdin töistä on nopeasti huomattavissa. Haastateltava 1 kertoi, että heidän projektillaan seuraavan 12 viikon tahtiaikataulu sijaitsi

joka kerroksessa, taukotiloissa sekä rakennuksen sisäänkäyntien yhteydessä, jotta tieto aikataulusta olisi helposti saatavilla. Haastateltavan 2 mukaan tahtituotannon etuina on nimenomaan se, että kaikille on avointa, milloin työt pitää aloittaa ja lopettaa tietyllä alueella. Normaalisissa paikka-aikakaaviossa työtehtävät saattavat kestää esimerkiksi kolme viikkoa jokaisessa kerroksessa, joten on haastava tietää mitä nimenomaan tapahtuu kyseisellä viikolla ja missä. Haastateltava 3 painottaa myös tahdin visuaalisen näyttämisen tärkeyttä päivittäisessä ja viikoittaisessa johtamisessa seuraavilla lauseilla: *”On erityisen tärkeää, että tahti on työmaalla tekijöillä tiedossa sekä helposti saatavilla, eikä tieto ole vain työnjohtajilla. Tahtialuejako ja aikataulu täytyy näkyä työntekijöille selkeästi.”*

Haastateltavan 5 mukaan onnistuneen tahtituotannon ohjaus vaatii sen, että työntekijät ovat tietoisia omasta roolistaan hankkeella ja sisäistävät projektin aikataulun. Heidän täytyy tietää jatkuvasti, missä työskentelyn pitäisi tapahtua, jotta tuotanto sujuu suunnitelmien mukaisesti. Kun työntekijät sisäistävät, missä heidän pitää olla, selkeyttää se heidän omaa työntekoaan. Haastateltava 5 toteaa myös, että tahtiaikataulun viereen on hyvä avata tahtien sisältöä, jotta tieto alueella tehtävistä töistä olisi mahdollisimman helposti ja selkeästi saatavilla.

Haastateltavan 7 mukaan visuaalisessa johtamisessa on tärkeää se, että haluttu tieto on saatavilla vain yhdellä vilkaisulla. Työntekijän on saatava tieto tehtävistä töistä ja aikataulusta helposti, eikä sen selvittämiseen saisi kulua yhtä vilkaisua enempää. Usein tahtisuunnittelu tehdään työnjohdon ja projektinjohtajien kesken, eikä tieto valu työntekijä tasolle asti. Mitä paremmin työntekijät ovat kartalla aikataulusta, sitä vähemmän heidän tarvitsee kysyä ja varmistaa asioita. Haastateltava 7 ehdottaakin, että aikataulun visuaalisessa johtamisessa voitaisiin ottaa mallia työturvallisuuden visuaalisesta johtamisesta. Työmaalla on usein kymmeniä, ellei satoja julisteita ja piirroksia koskien työturvallisuutta ja näiden avulla tieto turvallisista työtavoista sekä vaaranpaikoista kulkeutuu tehokkaasti työntekijöille asti. Samoja tapoja voitaisiin hyödyntää myös aikataulun visuaalisessa johtamisessa.

Haastateltavan 3 työmaalla oli kokeiluna erillisen urakoitsijakohtaisen kolmiviikkoissuunnitelman tulostaminen jokaiselle työvaiheelle, jotka olivat nähtävillä kaikille rakennuksen pääaulassa. Kolmiviikkoissuunnitelmaa päivitettiin viikoittain, ja se saikin paljon positiivista palautetta kaikilta osapuolilta ja sitä pidettiinkin tärkeänä visuaalisen johtamisen keinona. Se oli hyvä työkalu töiden selventämiseen ja yhteensovittamiseen eri sidosryhmien avulla.

Haastateltavan 3 työmaalla oli testissä myös SpotWalk-robottikoira, jonka tehtävänä oli kulkea työmaata ympäri säännöllisesti ja ottaa 360°-kuvia, jotka olivat katsottavissa erillisestä pilvipalvelusta. Haastateltava 3 sanoo, että suurilla rakennushankkeilla 360°-kuvausta hyödyntävässä robottikoirassa on se hyvä puoli, että työnjohtajien ei välttämättä tarvitse lähteä työmaalle yksittäisten tarkastusten takia, mikä normaalisti saattaisi viedä paljon aikaa. Myös suunnittelijoilla on tarkka tilannekuva siitä, mitä työmaalla on tehty. Toteutussuunnittelu on niin lähellä tuotantoa, joten suunnittelijoille on tärkeää olla kartalla tilannekuvasta. Myös asiakkaat kehuivat 360°-kuvausta, koska sen avulla hekin pääsivät näkemään työn edistymistä.

Logistiikan ohjaus

Logistiikan ohjaus on iso osa tahtituotannon onnistumista. Haastateltavat painottivat logistiikkakalenterin käytön tärkeyttä, jotta tieto saapuvista materiaaleista kulkeutuisi jokaisen urakoitsijan tietoon. Haastateltavan 3 mukaan on tärkeää, että logistiikka ja purkukalentereiden käyttö on urakoitsijoille pakollista. Kalentereiden käyttöä voi tehostaa sillä, että työmaalle ei pääse purkamaan, jos logistiikka ja purkukalenterissa ei siitä ole merkintää.

Urakoitsijoiden materiaalien säilytyksessä tahtialueilla täytyy olla tarkkana. Haastateltavien mukaan on suositeltavaa antaa urakoitsijoiden säilyttää tahtialueilla vain kyseisen tahdin tai kahden tahdin materiaaleja kerralla, jotta tahtialueet eivät täyty materiaaleista. Haastateltavan 5 mukaan erillisen logistiikkaurakoitsijan käyttö projektissa helpotti sen ohjaamista. Oli hyvä, että logistiikkaurakoitsijan edustaja oli mukana urakoitsijoiden aloituspalavereissa, jotta saatiin sovittua logistiset pelisäännöt.

Haastateltava 7 painottaa Just in Time -toimitusten tärkeydestä tahtituotannossa. Tämä tarkoittaa sitä, että tahtialueilla on juuri niitä materiaaleja, joita tarvitaan juuri kyseisen päivän asennuksissa. Tämä johtaa siihen, että ei synny niin paljon hukkaa materiaalien turhasta edes takaisin siirtelystä sekä materiaalien rikkoutumisista.

Muita tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä

- Pehmeä aloitus
- Ongelmien kirjaaminen Congridiin, jotta tiedetään ja osataan korjata oikeat asiat
- Sopimustekniset vipuvarret
- Tehokas tiedonkulku
- Avoin kommunikointi

3.5 Tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan epäonnistumiseen vaikuttavat tekijät

Tässä kappaleessa käydään läpi haastatteluissa nousseita asioita, jotka vaikuttavat tahtituotannon sekä sen ohjaamisen ja valvonnan epäonnistumiseen. Monet epäonnistumiseen vaikuttavat tekijät johtuvat onnistumiseen vaikuttavien tekijöiden puutteesta. Epäonnistumiseen vaikuttavat tekijät on tiivistetty alla olevaan taulukkoon 5 ja ovat haastateltavien mukaan seuraavanlaisia:

Taulukko 5. Tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan epäonnistumisen tekijät

Tärkeimmät tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan epäonnistumiseen vaikuttavat tekijät	
Tahtituotannon uutuus, kokemuksen, tiedon ja rutiinin puute	Vähäinen tai puutteellinen suunnittelu yhdessä
Ei ole tietoa hyvistä toimintatavoista	Vähäinen tuotannosuunnittelu aiheutti ongelmia
Ei ole vakiintunutta prosessia tahtituotannon suorittamiseen	Töiden todellinen suoritustapa ei ollut työnjohtajien tiedossa
Toimintatavat eroavat totutusta	Liian kiire aikataulusuunnittelussa
Suunnitelmapuutteet sekä ongelmat suunnitelmien saamisessa	Huono ja hidas tiedonkulku
Aloitusedellytyksiä töiden suorittamiseen ei ollut, koska suunnitelmat eivät olleet valmiita	Urakoitsijan työjohto oli luvannut jotain, mutta tieto ei mennyt työntekijätasolle asti
Liian myöhäiset muutostyöt	Päätökset tehdään puutteellisilla tai vanhentuneilla tiedoilla
Tahtituotanto tuodaan liian myöhään hankkeelle	Ongelmia ei tuotu esille ajoissa
Suunnittelijat ovat tottuneet suunnitella kokonaisuudet kerralla	
Aloitusedellytysten vaillinaisuus	Materiaalimäärän suuruus tahtialueilla
Edellinen työvaihe ei ole valmistunut, joten seuraava työvaihe ei voi alkaa	Tahtialueella säilytetään ylimääräisiä tavaroita
Yksityiskohdat ovat tehty puutteellisesti	Paljon materiaalien haalusta
Edellinen urakoitsija ei ole siivonnut omia jälkiään	Nurkkiin jäi materiaaleja lojumaan
Tahtialueella liikaa ylimääräistä tavaraa	Pienet varastointialueet
Vähäinen ohjaus sekä hidas reagointi	Muita esille nousseita asioita, jotka aiheuttivat haasteita tahtituotannossa
Ei ohjata tarpeeksi	Itselleluovutuskorjauksille ei oltu tehty omaa tahtia
Oletetaan, että urakoitsija tietää tietyt asiat	Puutteelliset itselleluovutukset
Reagoidaan liian hitaasti havaittuihin ongelmiin	Välitavoitteita ei oltu tarkennettu tarpeeksi
Tekemättömistä töistä ei aiheuttanut minkäänlaisia seuraamuksia	Välitavoitteet eivät palvellut prosessia
Vähäinen kiinnostus ja huono sitoutuneisuus	Muita esille nousseita asioita, jotka aiheuttivat haasteita tahtituotannossa
Osalle urakoitsijoista tahtituotanto oli "kirosana"	Ei ollut tietoa tahtituotannon ohjauskeinoista
Urakoitsijakenttä on laaja ja vaihtuva, kiinnostus sitoutua tahtituotantoon on pieni	Puutteelliset itselleluovutukset
Urakoitsijoiden työjohto eivät olleet kartalla omista työvaiheista	Resurssipuutteet
	Ohjeiden noudattamattomuus
	Mallihuoneen puuttuminen

Tahtituotannon uutuus, kokemuksen, tiedon ja rutiinien puute

Pääasiallinen tahtituotannon sekä sen ohjaamisen ja valvonnan epäonnistumiseen vaikuttava tekijä oli haastateltavien mukaan kokemuksen puute tahtituotannon toimintavaroista. Tahtituotannolla rakentaminen eroaa hieman perinteisestä rakentamisesta etenkin tuotannon ohjauksen ja valvonnan tarkkuustasolla, joten on havaittu ongelmia uuden tuotantotavan käyttöönotossa.

Haastateltavan 4 mukaan heidän kohteensa oli kyseisen yksikön ensimmäinen tahtikohde, joten alkuun kukaan ei oikein tiennyt mikä olisi paras tapa toimia. Kenelläkään ei ollut ennestään kokemusta tahtituotannolla rakentamisesta, joten tuotannon aloitusvaiheessa ei ollut muodostunut vielä käsitystä parhaista toimintatavoista. Haastateltavan 1 mukaan tietoa tahtituotannon ohjauseinoista olisi pitänyt olla enemmän, jotta tuotanto olisi sujunut paremmin.

Ongelmana on myös siinä, että yrityksessä ei ole vielä mitään vakiintunutta prosessia tahtituotannon ohjaukseen ja valvontaan. Prosessiin sitoutumista vaaditaan jokaiselta projektin jäseneltä, eikä pelkästään työnjohdolla oleva tieto tahtituotannon prosessista ole taie projektin onnistumisesta. Usein tahtisuunnittelu tehdäänkin pelkästään työnjohdon ja projektinjohtajien kanssa, joten monesti tieto ei valu työntekijöiden tasolle asti. Tällöin on käytetty turhaan paljon aikaa tarkasti suunnitteluun, jos tieto ei koskaan tavoita itse työtä tekevää henkilöä. (Haastateltava 7)

Pääurakoitsijan lisäksi kokemuksen puute vaivasi myös laajaa urakoitsijakenttää. Monelle urakoitsijalle tahtituotannolla rakentaminen eroaa yrityksen tavasta tehdä töitä, joten opettelu pääurakoitsijan sekä tilaajan haluamaan tuotantotapaan aiheuttaa monesti ongelmia. Urakoitsijat eivät usein tiedä, mitä heiltä vaaditaan tahtituotannon onnistumiseksi tai vaihtoehtoisesti heitä ei välttämättä kiinnosta rakentaa tahtituotannon tapoja noudattaen. (Haastateltava 5)

Suunnitelmapuutteet sekä ongelmat suunnitelmien saamisessa

Ongelmia tahtituotannon ohjaamisessa ja valvonnassa on haastateltavien 3, 6 ja 7 mukaan ollut myös siitä johtuen, että suunnitelmapuutteiden takia aloitusedellytyksiä töille ei ole ollut. Tällöin joudutaan muokkaamaan tahtiaikataulua kesken tuotannon ja tästä kärsii tuotannon tasainen virtaus. Tämä johtuu haastateltavan 6 mukaan siitä, että tilaaja ei usein tiedä omaa aikatauluaan kunnolla, joten suunnitelmat valmistuvat liian myöhään ja niiden mukaan toimiminen on usein haastavaa. Aika tuotannon aloituksesta kuvien tuotantokelpoisuuteen tulee usein siis liian myöhään. Ongelmia on myös liian

myöhään päätetyissä muutostöissä, jolloin joudutaan usein irrottamaan tahtialue tahtituotannosta tai siirtämään se viimeiseksi tahtialueeksi, jotta tilaajan haluamat muutostyöt pystytään suorittamaan. Haastateltava 4 sanoo myös, että suunnitelmat ovat usein vajavaisia, koska korjaushankkeessa rakenneosia purettaessa rakennuksen sisältä saattaa löytyä eroavaisuuksia suunnitelmiin. Tällöin työmaaorganisaatio joutuu soveltamaan kesken tuotannon ja tämä aiheuttaa haasteita tuotannon ohjaamiselle.

Tahtituotanto tuodaan usein liian myöhäisessä vaiheessa mukaan projektille ja tästä johtuen suunnittelu ei välttämättä tiedä aluejaosta tai tuotantojärjestyksestä mitään. Suunnittelijoilla on usein tapana suunnitella kokonaisuudet kerralla, esimerkiksi kaikkien projektin kylpyhuoneiden naamakuvat. Tahtituotannossa työmaa tarvitsisi nopeasti esimerkiksi ensimmäisen neljän tahtialueen kuvat kolmessa viikossa, jotta tuotanto voisi alkaa. Suunnittelijat suunnittelevat usein kaikki kuvat kerralla ja toimittavat sitten vasta ne työmaalle, jolloin projektin alkupään kuvat tulevat liian myöhään ja loppupään kuvat liian aikaisin. (Haastateltava 7)

Aloitusedellytysten vaillinaisuus

Haastateltavan 7 mukaan isoimmat ongelmat tahtituotannossa on aloitusedellytysten vaillinaisuudessa sekä mestan luovutuksessa. Usein työvaiheen kaikkia töitä ei saada 100 % valmiiksi, jolloin seuraavalla työvaiheella ei ole vaadittuja aloitusedellytyksiä työelleen. Haastateltavan 3 mukaan ongelmat johtuvat usein myös siitä, että työntekijöille maksetaan usein tehtyjen neliöiden mukaisesti. Tällöin he saattavat jättää paljon työtä vaativat pienet yksityiskohdat tekemättä ja siirtyä seuraavalle tahtialueelle tekemään nopeita neliöitä. Tällöin haastavat yksityiskohdat jäävät tekemättä tai tehdään myöhemmin esimerkiksi jonkun toisen työntekijän toimesta, jolle maksetaan tuntipalkkaa.

Usein ongelmia muodostuu tekemättömien töiden lisäksi edellisen urakoitsijan huonosta siivoustasosta. Haastateltavan 9 mukaan tahtialueiden siivouksesta täytyy sopia kirjallisesti, ja ongelmia tulee, jos ei ole tiukkana heti alusta alkaen tahdotun siivoustason vaatimisessa. Heidän projektillaan ongelmia tuotti nimenomaan urakoitsijoiden huono siivoustaso, koska seuraava urakoitsija joutui heti ensimmäiseksi siirtelemään edellisen urakoitsijan roskat pois, jotta kykeni suorittamaan omat tehtävänsä.

Vähäinen ohjaus sekä hidas reagointi

Haastatteluista esiin noussut tahtituotannon valvonnan epäonnistumiseen vaikuttava tekijä oli ohjauksen vähäisyys sekä ongelmiin hidas reagointi. Haastateltavan 3 mukaan niiden työvaiheiden toteutuksessa on huomattu ongelmia ja virheitä, joiden ohjaus oli jäänyt tuotantovaiheessa vähäiseksi. Tällöin töitä on jouduttu tekemään uudestaan kyseisten työvaiheiden osalta.

Haastateltavan 7 mukaan työmaalla on usein ongelmana, että pitäisi ohjata, muttei ohjata tarpeeksi. Monesti myös havaittuihin ongelmiin ja asioihin puututaan, mutta ei tarpeeksi tehokkaasti. Saatetaan ajatella, että kyllä urakoitsijoiden pitäisi tietää, miten työt pitäisi tehdä. Usein tämän takia havaittuihin ongelmiin ei puututa tarpeeksi.

”Vissi ero onko kyseessä aikataulun valvontaa vai seurantaa. Seuraaminen tarkoittaa sitä, että katsotaan mutta ei puututa. Valvonta tarkoittaa sitä, että puututaan siihen, miten asia pitäisi tehdä” (Haastateltava 7)

Ongelmia on myös siinä, että vaikka tehtävien toteumaprosentti jäi haastateltavan 7 projektilla matalaksi, se ei aiheuttanut minkäänlaisia korjaavia toimenpiteitä työnjohdon puolesta. Jämäkkyuden puute sekä hidas reagointi ovat aiheuttaneet sen, että tuotanto ei ole pystynyt noudattamaan suunniteltua aikataulua. Tekemättömistä töistä ei ole aiheutunut minkäänlaisia seuraamuksia urakoitsijoille.

Vähäinen kiinnostus ja huono sitoutuneisuus

”Suurin haaste oli tekijöiden korvien välissä, että saatiin se asenne kohdalleen. Kyllä se oli ehdottomasti suurin haaste varsinkin tuotannon alkuvaiheessa.” (Haastateltava 8)

Tahtituotannon ohjaamisen haasteena on usein myös urakoitsijoiden sekä omien työntekijöiden asenteet tahtituotantoa kohtaan. Haastateltavan 5 mukaan osalle urakoitsijoista tahtituotanto oli kuin *”kirosana”*, ja näiden henkilöiden vähäinen kiinnostus tahtituotantoa kohtaan aiheutti usein ongelmia. Urakoitsijakenttä on myös laaja ja useasti vaihtuva, joten kaikkia ei kiinnostanut sitoutuminen tahtituotantoon. Haastateltavien kokemusten mukaan urakoitsijoiden työnjohdon huono sitoutuminen projektiin sekä työntekijöiden vähäinen kiinnostus noudattaa tahtituotannon pelisääntöjä haittaavat tuotannon ohjauksen ja valvonnan tehokkuutta.

Haastateltava 3 mietti, johtuivatko heidän kohteellaan tahtituotannon ongelmat juuri siitä, että urakoitsijat eivät olleet kiinnostuneita tahtituotannosta eikä silloin aikataulusuunnittelija saanut vastauksia kysymyksiinsä, kun tahtituotantoa suunniteltiin.

Jos joku urakoitsija vaikutti siltä, ettei halua tehdä tahtituotannolla eikä halua olla mukana suunnittelemassa tuotantoa, todennäköisesti myös kyseinen työvaihe sujui huonosti. Näitä työvaiheita täytyi valvoa ja ohjata tuplaten verrattuna muihin työvaiheisiin.

Vähäinen kiinnostus sekä huono sitoutuminen näkyvät myös urakoitsijan työnjohdon suoriutumisessa. Urakoitsijoiden työnjohtajat eivät usein olleet kartalla töidensä suorituksesta sekä tilannekuvasta. Ongelmia muodostui myös haastateltavan 5 mukaan siitä, että urakoitsijan työnjohdon edustajia ei ollut mukana tahdin vaihdossa sekä tahdin itselleluovutustarkastuksissa joko resurssipuutteiden tai vähäiseksi koetun tarpeen takia.

Vähäinen tai puutteellinen suunnittelu yhdessä

Moni haastateltavista toteaa puutteellisen tai vähäisen yhdessä suunnittelun hankaloittavan tuotantoa sekä sen ohjausta. Esimerkiksi haastateltava 3 toteaa: *"Aina silloin tuli haaste, kun et ollut suunnitellut jotain tarpeeksi tarkasti urakoitsijan kanssa."*

Ongelmia muodostui haastateltavan 1 mukaan silloin, jos aikataulusuunnittelussa mukana oleva työnjohtaja tai projektipäällikkö ei ollut tarpeeksi tietoinen töiden todellisesta suoritustavasta. Tällöin urakoitsijan edustaja saattoi luvata asioiden tapahtuvan eri tavalla kuin ne todella tapahtuivat. Tästä johtuen työmaalla tuotantovaiheessa saattoi aiheutua ongelmia tahtituotannon ohjaamisessa.

Haastateltava 4 olisi kaivannut urakoitsijoiden mukanaoloa aikataulun teossa, mutta pääurakoitsijalla oli niin kiire tehdä aikataulu, ettei yksinkertaisesti keritty ottamaan urakoitsijoita mukaan. Erikoisosaamista omaava urakoitsija olisi pystynyt ehkä huomaamaan sellaisia seikkoja, mitä pääurakoitsijan aikataulusuunnittelija ei välttämättä osaisi ottaa huomioon.

Huono ja hidas tiedonkulku

Tahtituotannon ohjaamista ja valvontaa hankaloitti monessa hankkeessa liian huono tiedonkulku hankkeella työskentelevien henkilöiden kesken. Usein tiedonkulun ongelmat koskivat sellaisia tilanteita, joissa urakoitsijan työnjohdon kanssa oli sovittu jotain, mutta urakoitsijan työnjohto ei tiedottanut sovituista asioista työntekijöitään. (Haastateltava 1) Myös haastateltavan 6 mielestä huono tiedonkulku on aiheuttanut ongelmia projektille, koska tällöin joudutaan tekemään päätöksiä puutteellisilla tai vanhentuneilla tiedoilla. Tuotantopalavereissa kun kysyttiin tulevista työtehtävistä tai mahdollisista häiriöistä ja ongelmista, ei kukaan puhunut mitään, mutta jälkikäteen saatiinkin tietoon ongelmien

olemassaolosta. Tällöin on jouduttu tekemään päätöksiä virheellisillä lähtötiedoilla, koska ei ole ollut käytettävissä oikeaa tietoa.

Materiaalimäärän suuruus tahtialueilla

Tahtituotannon toteutusta hankaloitti haastateltavien 1, 2, 6 mukaan se, että urakoitsijat tilasivat aivan liian suuria määriä materiaaleja työmaalle säilytettäväksi. Tämän johdosta materiaaleja jouduttiin siirtämään tahtialueiden välillä paljon, jotta töiden teko onnistuisi. Tämä aiheutti paljon ylimääräistä ohjaustarvetta tuotannossa. Haastateltavan 2 mukaan tahtialueella sai säilyttää ainoastaan yhden tahtiajan materiaaleja, mutta liian löysän valvonnan takia urakoitsijat eivät usein ohjetta noudattaneet. Laajojen tahtialueiden nurkkiin saattoi jäädä materiaaleja lojumaan pitkäksikin aikaa. Haastateltava 7 toteaa, että logistiikassa on usein ongelmia, koska sisävaiheessa ei välttämättä ole hyviä varastoalueita. Tahtituotannossa halutaan ottaa kaikki alueet hyötykäyttöön, jos sinne ei ole suunniteltu esimerkiksi kuivumista. Tästä johtuen materiaalin paljous hankaloittaa työskentelyä etenkin tahtituotannossa, jonka pääasiallisena tuotantotekijänä toimii paikka.

Muita esille nousseita asioita, jotka aiheuttivat haasteita tahtituotannossa

- Itselle luovutus korjauksille ei ollut tehty omaa tahtia
- Puutteelliset itselle luovutukset
- Välitavoitteita ei ollut tarkennettu tarpeeksi
- Välitavoitteet eivät palvellut prosessia
- Ei ollut tietoa tahtituotannon ohjauskeinoista
- Resurssipuutteet
- Ohjeiden noudattamattomuus
- Mallihuoneen puuttuminen

3.6 Kehitysehdotukset tahtituotantokohteiden ohjausta ja valvontaa varten

Tässä kappaleessa käydään läpi haastatteluissa nousseita kehitysehdotuksia tahtituotantoon ja sen ohjaamiseen ja valvontaan rakennushankkeissa.

Kehitysehdotukset tulevien tahtituotantohankkeiden ohjausta ja valvontaa varten on tiivistetty alla olevaan taulukkoon 6 ja ovat haastateltavien mukaan seuraavanlaisia:

Taulukko 6. Tärkeimmät tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan kehityskohteet tuleville hankkeille

Tärkeimmät tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan kehityskohteet tuleville hankkeille	
Kehitysehdotukset urakkasopimuksiin	Työnjako urakoitsijoiden työnjohdon sekä pääurakoitsijan työnjohdon kesken
Tahtituotannon maininta sopimuksessa	Pääurakoitsijan työnjohto aluemestareita
Pakottava kirjaus kokouksiin osallistumisesta	Erikoisurakoitsijoiden työnjohto vastaa omista työvaiheistaan
Aikataulua palvelevien välitavoitteiden kirjaus sopimukseen	
Maksuerät tahtialuejaon mukaisesti	
Tilaaajan kanssa selkeästi aikataulu lävitse ja deadline muutoksille	Tahtituotantoa helpottava sovellus
Tilaaajan kanssa sovittava viimeiset muutospäivämäärät	Työntekijät pystyisivät itse merkkamaan päivittäin tekemänsä työmäärän tahtialueella sovellukseen
Tilaaajalle ymmärrys suunnittelun erikoispiirteistä tahtituotannossa	Helppo valvoa tuotantoa sovelluksesta saatavan datan avulla
Tahtiaikataulun selvennys tilaaajalle	Auttaisi jälkilaskentaa
Uskallus ja tieto käyttää hienosäätömekanismeja	Aikataulun sekä tahtialueiden läpikäynti jokaisen urakoitsijan kanssa
Työmaan toimihenkilöille koulutus tahtituotannon ohjausmekanismeista ja -toimenpiteistä	Tahtiaikataulun tarkka läpikäynti urakoitsijoiden kanssa
Ohjekortti sisältäen hyväksi todetut ohjaustavat	Tahtialueiden tarkka läpikäynti urakoitsijoiden kanssa Erityispiirteiden tarkka suunnittelu
Projektin alussa yhteinen tahtituotantopalaveri kaikille urakoitsijoille	Muuta kehitettävää
Palaverissa kerrottaisiin tahtituotannosta yhteisesti kaikille	Mittauksille hyvä suunnitella omat ajat
Tahtituotantotavan sekä toimintatapojen selvennys	Enemmän pelivaroja alkuun tuotannon aloituksen helpotukseksi Tuttujen urakoitsijoiden käyttö helpottaa yhteistyötä
100 % valmiiksi kerralla	Yhteistoiminnallisuuden lisääminen
Varmistaa sen, että jokainen työvaihe pystytään tekemään 100 % valmiiksi	Kaikkien piilossa olevien rakenteiden selvitys heti alkuun
Ei tarvitse enää palata samalle tahtialueelle tekemään korjauksia	Tyhjiä tahteja tuotannon väliin helpottaakseen aikataulupainetta
Virheet eivät kertaannu tahtialueilta toiselle	Ei tehdä tahtituotannosta liian monimutkaista omassa päässä
	Bonusten ja sanktioiden vaikutus työntekijätasolle asti
	Urakoitsijat enemmän mukaan aikataulua tehdessä
	Hankinnat suoritettaisiin vaunuittain
	Täytyy saada työntekijät ymmärtämään tahtituotannon tarkoitus

Kehitysehdotukset urakkasopimukseen

Useat haastateltavat nostivat esiin tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan kehityskohteiksi urakkasopimukseen liittyviä asioita. Haastateltavien 3 ja 4 mukaan jo hankintavaiheessa täytyy tehdä urakoitsijoille selväksi, että kohde tehdään tahtituotannolla ja sopimuksessa täytyisi olla tällöin tahtituotantoon pakottava kirjaus. Tällöin urakoitsija pystyy suunnittelemaan työnsä ja resurssinsa sen mukaisesti. Sopimukseen olisi hyvä merkitä myös pakottava kirjaus kokouksiin osallistumisesta sekä kokouskäytännöistä (Haastateltava 8).

Haastateltavien 1, 2 ja 3 mukaan urakkasopimukseen olisi tärkeä saada kirjattua tarkasti aikataulua palvelevien välitavoitteiden kriteerit ja päivät. Tämä helpottaa sitä, ettei urakoitsijoiden kanssa täydy tapella niin paljoa aikatauluasioista, koska he ovat urakkasopimuksessaan jo sitoutuneet noudattamaan niitä. Haastateltavan 1 mukaan nokkamiehien ja työnjohtajien on erityisen tärkeä tietää tarkasti välitavoitteet ja niihin pääsemiseksi vaadittavat toimenpiteet. Tällöin tuotannon ohjaaminen on paljon sujuvampaa. Välitavoitteiden on myös tärkeä olla sellaisia, jotka palvelevat koko prosessin etenemistä.

Maksuerät pitäisi kirjata sopimukseen haastateltavien 2, 3, 4, 5, 6, 7 mukaan tahtialuejaon mukaisesti. Haastateltava 3 ehdottaa, että asentajat saisivat esimerkiksi jonkun bonuksen, kun he saavat tehtyä tahtialueen täysin valmiiksi. Haastateltava 6 kertoo maksuerien kirjaamisen tahtialuejaon mukaisesti kannustavan urakoitsijaa tekemään tahtialueet täysin loppuun, koska ennen sitä heille ei makseta työstä. Myös haastateltava 7 painottaa, että maksuerillä tuotantoa pystyy ohjaamaan hyvin tahtikohtaiseen tekemiseen.

Tilaaajan kanssa selkeästi aikataulu lävitse ja deadline muutoksille

Monella hankkeella on ollut ongelmia liian myöhäisten muutosten tulemisesta sekä tilaaajan ymmärtämättömyydestä aikatauluun liittyen. Tämä aiheuttaa ongelmia tuotannon ohjaamisessa sekä valvonnassa. Tästä johtuen moni haastateltava 1 painottaa sitä, että aikataulu täytyy käydä tilaaajan kanssa todella tarkasti lävitse ja tehdä selväksi viimeiset muutokset päivät. Kun tilaajalla on selkeästi tiedossa viimeiset mahdolliset päivämäärät, jolloin he voivat tehdä muutoksia mihinkin suunnitelmiin,

vähentää se haasteellisten muutostöiden tekoa tuotannon loppuvaiheilla. Haastateltava 1 painottaa sitä, että tilaaja on saatava ymmärtämään, miksi urakoitsija tarvitsee joitain tietoja ajoissa. Haastateltavan 4 mukaan välillä tuntui, että tilaaja ei edes kunnolla tiennyt, mitä tahtituotanto tarkoittaa ja mitä kaikkea sen toteuttaminen tarkoittaa. Heille tuli yllätyksenä esimerkiksi se, että suunnittelijoiden täytyy tuottaa tietoa vaihe vaiheelta samassa aikataulussa kuin rakentaminen tapahtuu.

Uskallus ja tieto käyttää hienosäätömekanismeja

Haastateltava 1 nostaa kehityskohteista esille tulevien hankkeiden osalta uskalluksen sekä tiedon käyttää erilaisia tahtituotannon ohjauskeinoja. Ensimmäistä tahtituotantokohdetta tehdessä tietoa erilaisten tahtituotannon hienosäätömekanismien sekä ohjauskeinojen olemassaolosta ei välttämättä ole, joten varsinkin ongelmia kohdatessa valmiudet reagoida niihin saattavat olla heikot. Tästä johtuen ennen tulevia tahtituotantohankkeita olisi hyvä pitää työnjohtajille sekä aikatauluinsinööreille selkeät koulutukset ja ohjeet erilaisten tahtituotannon ohjausmekanismien käytöstä. Kun tietoa niiden olemassaolosta ei ole, on vaikea tajuta kysyä niitä. Tahtituotannon ohjausta ja valvontaa helpottava ohjekortti kuulostaa haastateltavan 1 mielestä hyvältä tavalta helpottaa tiedon saamista ennen hankkeen alkua.

Projektin alussa yhteinen tahtituotantopalaveri kaikille urakoitsijoille

Haastateltava 4 ehdottaa tahtituotantoprojektin aluksi järjestettävää tahtituotantopalaveria, johon osallistuisi jokainen projektin urakoitsija työntekijöineen. Tässä palaverissa kerrottaisiin jokaiselle urakoitsijalle, mikä on tahtituotanto sekä miten se toteutuu tällä työmaalla. Työntekijät saisivat tietoonsa, mitkä ovat tuotannon pääpointit sekä mitä heiltä vaaditaan sen toteuttamiseksi. Tällöin kaikilla olisi yhteinen käsitys, miten tahtituotanto toteutetaan juuri kyseisellä työmaalla, koska tahtituotannon tapoja on monenlaisia.

100 % valmiiksi kerralla

Haastateltavan 3 mielestä tärkeimpänä tavoitteena tuleville kohteille on varmistaa työvaiheiden töiden 100 % valmistuminen kerralla jokaisella tahtialueella, jotta sinne ei tarvitsisi palata uudestaan. 100 % valmiiksi saaminen on hieman vaikea määrittellä, koska saattaa olla sellaisia hyvin pieniä osa-alueita, joita ei pystytä tekemään kerralla kuntoon. Silti on erittäin tärkeää saada jokainen työvaihe tehtyä kerralla valmiiksi, koska muuten puutteet kertautuvat seuraavissa työvaiheissa.

Työnjako urakoitsijoiden työnjohdon sekä pääurakoitsijan työnjohdon kesken

Haastateltava 3 mukaan työmaalla olisi parempi jakaa työnjohtajien vastuut urakoitsijan työnjohtajan kanssa, jotta päällekkäisyyksiä ei tulisi niin paljoa. Matriisityyppisessä organisaatiossa pääurakoitsijan työnjohdon vastuut menevät päällekkäin urakoitsijan työnjohdon kanssa. Tästä johtuen haastateltavan 3 mielestä olisi parempi, että pääurakoitsijan työnjohto toimisi aluemestareina ja urakoitsijan työnjohto vastaa omasta työvaiheestaan. Edellytysten kannalta on parempi, että aluemestarin vastuulla olisi huolehtia oman alueensa kaikista työvaiheista ja urakoitsijan työnjohtaja vastaa oman työvaiheensa toteutuksesta.

Tahtituotantoa helpottava sovellus

Haastateltavat 3, 4, 5, 7 ja 9 nostivat esiin tahtituotannon ohjauksen ja valvonnan kehityskohteiksi tahtituotantosovelluksen. Nykyisellään tahtisuunnittelu sekä tahdin valvonta tapahtuu pääasiassa Microsoft Excelin avulla, joka on haastateltavien mielestä hieman epäkäytännöllinen kyseisiin tehtäviin. Sovellus, johon työntekijät sekä työnjohtajat voivat päivittäin merkata tehdyn työn määrän sekä paikan, helpottaisi kokonaisuuden hallintaa sekä se toisi hyvän reaaliaikaisen tilannekuvan työmaasta.

Haastateltavan 7 mukaan viime aikana on tullut paljon uusia sovelluksia tahtituotannon ohjauksen ja valvonnan tueksi. Sovellukset ovat hyvä tapa valvoa tuotantoa, koska jokainen työntekijä pystyy ilmoittamaan suoraan sovellukseen päivittäin tehdyn työn määrän. Tällöin jos esimerkiksi viikon tahdissa keskiviikkona on saatu tehtyä yli 50 % viikon töistä, tiedetään, että tahtialueella menee hyvin. Jos taas keskiviikkona työntekijä päivittää sovellukseen, että vasta 10 % on tehtynä, voidaan tehdä ohjaustoimenpiteitä tavoitteisiin pääsemiseksi, kuten lisäresursointia tai ylitöitä.

Haastateltavan 4 mielestä tahtituotantoon kehitetty sovellus pystyisi auttamaan myös jälkilaskentaa, jos sovellukseen jäisi jälki, milloin minkäkin tahtialueen työtehtävät ovat valmistuneet. Ilman näitä tietoja on tahtituotannon etenemisen toteutumista vaikea hyödyntää tulevaisuudessa.

Aikataulun sekä tahtialueiden läpikäynti jokaisen urakoitsijan kanssa

Haastateltavan 1 mukaan juuri ne urakoitsijat, joiden kanssa ei tarkasteltu aikataulua ja tahtialueita tarkasti olivat juuri ne urakoitsijat, joiden työvaiheet epäonnistuivat. Hänen mukaansa onkin erityisen tärkeää tulevissa kohteissa käydä urakoitsijoiden kanssa yksityiskohtaisesti lävitse jokainen tahtialue ja niiden erityispiirteet sekä aikataulu, jossa

työt suoritetaan. Tällöin saattaa nousta esiin sellaisia asioita, jotka saattaisivat muodostaa ongelmia tulevaisuudessa. Jokaisen työvaiheen suoritus aika täytyy sopia tarkasti, jotta yksittäisten pienempien työvaiheiden suoritus ei unohdu (Haastateltava 3).

Muuta kehitettävää

- Mittauksille hyvä suunnitella selkeät ajat
- Enemmän pelivaroja alkuun tuotannon aloituksen helpotukseksi
- Tuttujen urakoitsijoiden käyttö helpottaa yhteistyötä
- Yhteistoiminnallisuuden lisääminen
- Kaikkien piilossa olevien rakenteiden selvitys heti alkuun
- Tyhjiä tahteja tuotannon väliin helpottaakseen aikataulupainetta
- Ei tehdä tahtituotannosta liian monimutkaista omassa päässä
- Bonusten ja sanktioiden vaikutus työntekijätasolle asti
- Urakoitsijat enemmän mukaan aikataulua tehdessä
- Hankinnat suoritettaisiin vaunuittain
- Täytyy saada työntekijät ymmärtämään tahtituotannon tarkoitus

4. YHTEENVETO JA TUTKIMUKSEN ARVIOINTI

4.1 Yhteenveto ja pohdinta

Tutkimuksen teoriataustassa saatiin tuloksena tahtituotannon eri menetelmien toimintatapoja sekä niiden eroavaisuuksia toisistaan. Teoriataustassa käytiin monipuolisesti läpi tahtituotannon suorittamisen suunnittelua, logistiikkaa, sopimusteknisiä asioita sekä tuotannon ohjauksen ja valvonnan toimintatapoja sekä työkaluja.

Teoriataustasta kerätyn tiedon avulla luotiin empiirisen osion teemahaastattelurunko, jonka pyrkimyksenä oli kerätä asiantuntijoilta mahdollisimman laajasti tietoa liittyen tahtituotannon ohjauksen ja valvonnan onnistumiseen ja epäonnistumiseen vaikuttavista tekijöistä. Teemahaastatteluissa kerättiin aluksi tietoa tahtituotannon toiminta- ja suoritustavoista, jotta kyettiin vertailemaan eri onnistumiseen sekä epäonnistumiseen vaikuttavia tekijöitä tahtituotannon suoritustapoihin.

Tutkimuksen teoriatausta sekä empiirinen haastattelututkimus antoivat kattavan selvityksen tahtituotannon ohjaus- sekä valvontamenetelmistä niin maailmalla kuin Suomessa Skanskalla. Skanskan kohteilla tahtituotannon toimintatavat olivat osittain yhteneväisiä, mutta toimintatavoissa oli myös paljon eroavaisuuksia johtuen projektien ominaispiirteistä, toimihenkilöiden omista käytänteistä sekä opituista tavoista. Tahtituotanto oli otettu mukaan projekteille eri kohdissa, joten sen valmistelut oli tehty eri projekteilla eri tavoin ja eri laajuusastein.

Tutkimuksen teoriaosuuden ja haastatteluiden tuloksissa oli paljon yhteneväisyyksiä liittyen tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan hyviin piirteisiin sekä häiriöiden estämiseen. Tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan tärkeimpänä tekijänä oli niin teorian kuin haastateltavien mukaan päivittäisten sekä viikoittaisten tahdinohjauspalaverien pitäminen. Dahlberg & Drevland (2021), Keskiniva et al. (2021) sekä useat haastateltavat painottavat päivittäisten sekä viikoittain toistuvien tahtitapaamisten merkittävyyttä tahtituotannon ohjaamisen sekä tuotannon tilan selvittämisen kannalta. Tahtitapaamisten avulla jokaisella työntekijällä on jatkuvasti mahdollisimman ajankohtainen tilannekuva työmaasta, jolloin mahdolliset ongelmat paljastuvat ja ne pystytään korjaamaan nopeasti. Tämä lisää tuotannon ohjattavuutta ja helpottaa tuotannon valvontaa. Tapaamisten lisäksi Keskiniva et al. (2021) painottaa

työnjohtajan päivittäisten työmaakerrosten teon tärkeyttä tuotannon valvonnassa ja ohjaamisessa, jotta työnjohdon tilannekuva on päivittäin kunnossa.

Useat haastateltavat sekä Keskiniva et al. (2020) ja Keskiniva et al. (2022) painottivat myös digitaalisten työkalujen hyödyntämistä tahtituotannon ohjaamiseen ja valvontaan. Excelillä toteutettava tahdin tilan valvonta ei ole tarpeeksi sujuvaa eikä mahdollista mahdollisimman visuaalista ja informatiivista muotoa käsitellä tahtituotannosta saatavaa tietoa. Tämän takia useat haastateltavat toivoivat tahtituotantoon suunniteltua sovellusta tai muuta digitaalista alustaa, johon jäisi merkintä jokaisen työvaiheen valmistumisesta sekä mahdollisista häiriöistä. Haastateltavien toive oli myös, että jokainen työntekijä pystyisi myös itse kirjaamaan päivittäisen tehdyn työn määrän sovellukseen, jolloin työnjohdolla olisi parempi tilannekuva tahtialueiden edistymisestä. Skanska ja Fira Smart ovat sittemmin yhdessä julkaisseet edellä mainitun sovelluksen tahtituotannon valvontaa varten.

Last Planner suunnittelu yhdessä urakoitsijoiden kanssa koettiin erittäin tärkeäksi osaksi tahtituotannon rakentamisen aikaisen ohjaamisen helpottamista. Useat haastateltavat sekä Koskela & Koskenvesa (2003) ja Ballard (2000) painottivat LPS:n tärkeyttä tuotannon toimintavarmuuden ja tuottavuuden lisäämisessä sekä urakoitsijoiden sitoutumisen kasvattamisessa. Erityisalojen urakoitsijat kykenevät kertomaan tarkemmin kuin pääurakoitsijan työnjohtaja kohteiden erityispiirteiden merkittävydestä suorituksen toteutukseen sekä niiden vaikutuksesta aikatauluun. Valmis tuotannon suunnitteluprosessi myös selkeyttää tuotannon suunnittelua kaikille osapuolille.

Tahtituotannon yksi tärkeimpiä hyötyjä on tuotannon ongelmien sekä virheiden nopea esiin nouseminen. Haastateltavat, Keskiniva et al. (2021), Frandson et al. (2013), Frandson et al. (2015), Lehtovaara et al. (2021) sekä Salminen (2021) ovatkin sitä mieltä, että häiriöihin reagoiminen täytyy olla välitöntä sekä se täytyy tapahtua riittävällä vakavuudella. Nopea reagointi ongelmiin sekä ongelmien ja virheiden syiden selvittäminen ovat avainasemassa tahtituotannon valvonnassa ja ohjauksessa. Ongelman havaitessa täytyy pitää nopea palaveri ongelmaa koskevien urakoitsijoiden kanssa, jotta oikeat korjaustoimenpiteet saadaan aikataulutettua mahdollisimman nopeasti sekä tieto ongelmasta tavoittaa kaikki tarvittavat henkilöt. Välitön reagointi ongelmiin täytyy suorittaa tarvittavalla jämäkkyydellä, eikä saa katsoa ongelmia ”läpi sormien”.

Tahtituotannon ohjauksessa on erityisen tärkeä vaatia jokaiselta urakoitsijalta omien töidensä valmiiksi saattamista jokaiselta tahtialueelta, jotta seuraavalla työvaiheella olisi

vaadittavat aloitusedellytykset omien töidensä tekoa varten. Useat haastateltavat, Koskela & Howell (2002), Ballard (2000), Frandson et al. (2013), Frandson et al. (2015) painottavat aloitusedellytysten vaatimisen tärkeyttä tahtituotannon sujumisessa. On tärkeää pyrkiä siihen, että ainoastaan ne työvaiheet tehdään, mille on ennalta sovitut aloitusedellytykset kunnossa. Aloitusedellytysten puuttuminen tekee tuotannossa ketjureaktion, jonka johdosta jokainen tuleva työvaihe joutuu jättämään enemmän ja enemmän työtä tekemättä edellisvaiheen puutteiden takia. Tämän johdosta työnjohdon täytyy suorittaa laadunvarmistus lohko kohtaisesti jokaisen tahdin lopuksi, jotta varmistutaan seuraavan työvaiheiden aloitusedellytysten täyttyvän.

Logistiikan on toimittava tahtituotannossa hyvin, jotta työt eivät seisaudu puutteellisten tai väärässä paikassa olevien materiaalien takia. Useat haastateltavat, Dahlberg & Drevland (2021) sekä Junnonen & Kankainen (2012) painottavat materiaalitoimitusten oikea-aikaisuutta sekä oikeaan paikkaan saapumista, jotta tuotannon virtaus olisi mahdollisimman hyvää. Logistiikassa täytyy huomioida myös tarkasti siirtoreitit, materiaalien säilytyspaikat, välivarastoinnit sekä haalaustyöryhmä, jotta materiaalien kuljettamisesta ei aiheutuisi ylimääräistä työtä sekä vahinkoa materiaaleille.

Haastateltavien, Mäkelä (2021) sekä Keskiniva et al. (2022) mukaan tahtituotannolla rakentaminen on tärkeää maininta jo tarjouspyynnössä sekä urakkasopimuksen tekovaiheessa, jotta urakoitsija osaa varautua tarjoamaan tahtituotantoon sopivaa urakkaa. Tahtituotanto sekä sen kokouskäytänteet, prosessiin sopivat välitavoitteet sekä viivästyssakot pitäisi merkitä urakkasopimukseen, jotta tahtituotanto sujuisi mahdollisimman hyvin suunnitelmien mukaisesti ja jotta kaikilla osapuolilla on tahtituotannon pelisäännöt tiedossa jo ennen tuotannon suunnittelua sekä sen aloittamista.

Lehtovaaran (2019) sekä haastateltavien mukaan yksi tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan epäonnistumiseen johtavista tekijöistä on projektin henkilökunnan tiedon ja taidon puute sekä kokemattomuus tahtituotannosta. Iso vaikuttava epäonnistumisen tekijä oli tutkimuksen mukaan myös huonot ennakoasenteet tahtituotantoa kohtaan sekä huono motivaatio sekä sitoutuvuus tahtituotannon kokeilemiseen. Tästä johtuen projektitiimin motivointi sekä onnistuneen tahtituotannon hyötyjen painottaminen ovat avainasemassa tahtituotannon käyttöönotossa.

Eroavaisuutena teoriaosuuden ja asiantuntijahaastatteluiden välillä löytyi tahtituotannon hienosäätömekanismien käytössä. Haastateltavat kertoivat käyttäneensä hienosäätömekanismeista ainoastaan *pehmeää aloitusta*, *tahtialueen irrotusta* sekä

tyhjää tahtia, vaikkakin Binninger et al. (2017) osoittaakin parikymmentä muutakin hienosäätömekanismia mahdolliseksi käyttää tahtituotannon ohjaamiseen. Osa haastateltavista totesi hienosäätömekanismien käytöstä, ettei tietoa eri vaihtoehdoista sekä mekanismien käyttämisestä ollut, joten niitä ei myöskään käytetty. Ongelman ilmetessä viikon tahtiajassa myös esimerkiksi *junan pysäytys* kuulosti haastateltavien mielestä todella isolta kynnykseltä, koska tällöin kaikkien tahtialueiden urakoitsijoiden täytyisi lopettaa työskentely viikoksi, jotta ongelmat saadaan ratkaistua.

4.2 Ehdotettu prosessi tahtituotannon valvontaan ja ohjaamiseen

Tutkimuksessa kerättiin tietoa tahtituotannon valvonnan ja ohjaamisen hyvistä toimintatavoista sekä prosesseista. Tämän pohjalta luotiin Skanskalle ohjekortti sekä ehdotus viiden päivän tahtiajalle suunnitellusta viikoittain toistuvista valvonta- ja ohjausrutiineista. Alla olevassa kuvassa 15 on ehdotus viiden päivän tahtiajalla olevan tahtituotantotyömaan valvonta- ja ohjausprosessista.

TOP TIER - TAHTIVALVONTA JA -OHJAUS					
Klo	Maanantai	Tiistai	Keskiviikko	Torstai	Perjantai
7.00	Viikkopalaveri	Nokkamiespalaveri	Nokkamiespalaveri	Nokkamiespalaveri	Nokkamiespalaveri
8.00					Tahdin vastaanotto- ja luovutus-toimenpiteet
9.00					
10.00		Työmaapäällikön viikkopalaveri			
11.00					
12.00		Aikataulupalaveri		Urakoitsijapalaveri	
13.00					
14.00					
15.00	Työmaakerros + dokumentointi	Työmaakerros + dokumentointi	Työmaakerros + dokumentointi	Työmaakerros + dokumentointi	Työmaakerros + dokumentointi

Kuva 15. Ehdotettu TOP TIER valvonta- ja ohjausprosessi viiden päivän tahtiajalle.

Yllä olevan TOP TIER valvonta- ja ohjausprosessin (kuva 15) viikoittain toistuvat toimenpiteet ovat seuraavanlaisia:

- **Viikkopalaveri:** Kaikki työmaan työntekijät mukana. Palaverissa käydään lävitse viikon työt sekä muut työmaan ajankohtaiset asiat.

- **Aikataulupalaveri:** Mukana urakoitsijoiden työnjohto. Aiheena aikatauluasiat edellisen, nykyisen ja tulevien viikkojen osalta.
- **Urakoitsijapalaveri:** Mukana urakoitsijoiden työnjohto. Aiheena tekniset ongelmat sekä lisäksi aikatauluasiat.
- **Työmaapäällikön viikkopalaveri:** Pääurakoitsijan työnjohdon kesken pidettävä palaveri, jossa käydään läpi työmaan tilaa ja ongelmia aikataulupalaveria varten.
- **Nokkamiespalaveri:** Aamuisin pidettävä lyhyt tapaaminen (2–20 minuuttia), jossa työryhmien nokkamiehet ja työnjohtaja käyvät läpi päivän työt ja mahdolliset ongelmat. Palaveriin voivat osallistua myös kaikki työmaan työntekijät, jos se koetaan tarpeelliseksi.
- **Työmaakerros + dokumentointi:** Työnjohto suorittaa työmaakerroksen vastuualueillaan päivän lopuksi. Työmaatilanne dokumentoidaan sovittuun tapaan.
- **Tahdin vastaanotto- ja luovutustoimenpiteet:** Tahtialueella lopettava ja sinne siirtyvä työryhmä tarkastavat mestat yhdessä työnjohdon kanssa ja varmistavat aloitusedellytysten täyttymisen. Työnjohto tekee samalla luovutettavalle työlle laadunvarmistuksen.

Eri työmaille ja projektitiimeille sopivat erilaiset tuotannon valvonta- ja ohjaustavat. Tästä johtuen yllä olevan ehdotetun prosessin rutiinitapaamisten määrää ja paikkaa lukujärjestyksessä voidaan muokata halutulla tavalla, jotta tahtituotanto sujuisi mahdollisimman hyvin. Alla olevaan kuvaan 16 on luotu hieman kevennetty versio kuvan 15 TOP TIER valvonta- ja ohjausprosessista.

KESKITASO - TAHTIVALVONTA JA -OHJAUS					
Klo	Maanantai	Tiistai	Keskiviikko	Torstai	Perjantai
7.00	Viikkopalaveri		Nokkamiespalaveri		Nokkamiespalaveri
8.00					Tahdin vastaanotto- ja luovutus-toimenpiteet
9.00					
10.00					
11.00					
12.00		Työmaapäällikön viikkopalaveri	Urakoitsijalaveri		
13.00					
14.00					
15.00	Työmaakerros + dokumentointi	Työmaakerros + dokumentointi	Työmaakerros + dokumentointi	Työmaakerros + dokumentointi	Työmaakerros + dokumentointi

Kuva 16. Kevennetty KESKITASO valvonta- ja ohjausprosessi viiden päivän tahtiajalle.

KESKITASO-prosessi on muuten samanlainen, kuin TOP TIER -prosessi, mutta siitä on vähennetty kaksi nokkamiespalaveria sekä erillinen aikataulupalaveri. Tällöin urakoitsijalaverissa käsitellään pääsääntöisesti aikataulusasioita sekä samalla teknisiä ongelmia. Urakoitsijalaveri on siirretty keskiviikolle, koska tällöin pystytään käsittelemään tahdin alkupään tilannetta sekä reagoimaan loppuviikkoa varten tarvittavin toimenpitein. Joka-aamuisia nokkamiespalavereita ei tarvitse myöskään pitää pakolla, jos tuntuu siltä, ettei joka aamu ole tarvetta palaverille. Tällöin nokkamiespalavereita voidaan pitää esimerkiksi kaksi kertaa viikossa.

Ongelmatilanteissa, joissa näyttäisi siltä, ettei tahtialueen/-alueiden töitä kyetä suorittamaan annetussa tahtiajassa, tehdään tarvittavat lisätyöt iltaisin sekä viikonlopun aikana loppuun. Tällöin uuden tahtiajan alkaessa kaikki aloitusedellytykset ovat kunnossa, eikä tahtiaikataulusta jäädä jälkeen.

4.3 Tutkimuskysymyksiin vastaaminen

Tutkimuksessa selvitettiin tahtituotannon ohjaamisen ja valvonnan suorittamista, hyviä toimintatapoja sekä prosesseja helpottamaan tahtituotantoa. Alla vastataan lyhyesti tutkimuskysymyksiin tutkimuksen teoriaosuuden sekä empiirisen osuuden pohjalta.

”Mitkä toimintatavat edesauttavat tahtituotannolla suoritettavan rakennusprojektin sujumista suunnitelmien mukaisesti?”

- Last Planner System suunnittelu urakoitsijoiden kanssa
- Jokaiselta urakoitsijalta varmistettava aloitusedellytysten täyttyminen ja niiden vaatimukset
- Selkeät viikkorutiinit, joiden kautta selkeä tilannekuva ja ohjauskyky
- Urakkasopimuksiin kirjattava tahtituotannolla suorittaminen
- Digitaalisten työkalujen hyödyntäminen tuotannon ohjauksessa ja valvonnassa
- Logistiikka- ja purkukalenterin käytön pakollisuus
- Tuotannon pehmeä aloitus helpottaa tuotannon alkupään ongelmien ratkomista
- Selkeä visuaalinen johtaminen
- Osapuolten sitoutumisen ja motivaation kasvattaminen
- Töiden ja työntekijöiden henkilökohtaistuminen, kun tapaamisia ja yhteensovituksia on paljon
- Aikataulun selvä visuaalinen näkyminen ja sen läpikäynti työntekijöiden kanssa

”Miten tahtituotannon aikana ilmenneisiin häiriöihin pystytään reagoimaan tehokkaasti?”

- Joka-aamuiset n. 15 min kestävä tahtitapaamiset, joihin osallistuvat joko kaikki työntekijät tai ainoastaan työryhmien nokkamiehet
- Viikoittaiset urakoitsijatapaamiset tai tahtitapaamiset, joissa käsitellään edellisen sekä tulevan viikon tahtien valmistumista sekä aloitusedellytyksiä
- Ongelman huomattaessa pitää pystyä matalalla kynnyksellä järjestämään aikataulupalaveri, jossa ongelman vaikutusalueella olevat urakoitsijat miettivät yhdessä pääurakoitsijan kanssa ratkaisuja
- Laadunvarmistus aina tahtialuekohtaisesti tahtiajan loppuun, jotta huomataan virheet ja ennaltaehkäistään tulevia häiriöitä

”Minkälaisia toimenpiteitä tahtiohjaukseen ja valvontaan on kehitetty?”

- Skanska ja Fira Smart ovat lanseeranneet uuden tahtituotantosovelluksen helpottamaan tahtituotannon ohjausta ja valvontaa
- Päivittäis- ja viikoittaistapaamiset työntekijöiden kanssa
- Työnjohtajan joka iltapäivä suorittama työmaakerros, jossa dokumentoidaan työmaan tila ja joka käydään seuraavan aamun tahtitapaamisessa läpi
- Excel-tiedostoon tahtialueiden työtehtävien aloitus- ja valmistumispäivien merkintä
- Hienosäätömekanismit
- Työmaan 360°-kuvantaminen

4.4 Tutkimuksen luotettavuus

Tämän tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttavat teoriataustan oikeellisuus, kohdennus sekä sen laajuus. Luotettavuuteen vaikuttavat myös empiirisen osion haastattelujen suoritus sekä niiden kohderyhmä.

Teoriataustan lähteinä on hyödynnetty pääsääntöisesti vertaisarvioituja väitöskirjoja sekä tieteellisiä konferenssipapereita. Teoriataustan laatua on pyritty lisäämään käyttämällä useita eri luotettavia lähteitä eri puolilta maailmaa. Teoriataustan tekemiseen käytetty kirjallisuus sekä materiaalit ovat pääsääntöisesti olleet englanninkielisiä. Englannin kielen kääntämisessä suomeksi on voinut tapahtua pieniä virheitä, joiden johdosta jokin lause tai kappale on voinut saada hieman eri merkityksen kuin alkuperäisessä englannin kielen lähteessä on pyritty kertomaan.

Tutkimuksen empiirisen osion teemahaastatteluissa haastateltiin kahdeksaa suomalaista sekä yhtä norjalaista Skanskan toimihenkilöä, jotka olivat olleet töissä kuudella eri tahtituotantotyömaalla. Lisäksi haastateltiin yhtä Skanskan kehitysinsinööriä, jolla oli laaja kokemus tahtituotannon suorittamisesta maailmalla sekä Skanskalla Suomessa. Haastatteluiden otoskoko olisi voinut olla suurempi, mutta koska Skanskalla ei Suomessa ole ollut enempää tahtituotantokohteita, ei suomalaisia haastateltavia ollut järkevämpää ottaa samoilta projekteilta lisää. Tutkimuksessa olisi voitu hyödyntää vielä lisää kansainvälistä osaamista yrityksen sisältä, koska Suomen ulkopuolella tahtituotantokohteita on tehty Skanskan toimesta. Haastateltavat olivat

kuitenkin työskennelleet eri rooleissa eri tahtituotantokohteilla ja silti haastatteluissa toistuivat samat näkemykset, jonka ansiosta haastatteluiden vastaukset vaikuttavat luotettavilta. Tutkimuksen luotettavuutta lisää myös se, että haastateltavien tahtituotantokohteet erosivat toisistaan monelta osin, mutta vastaukset olivat silti pääsääntöisesti linjassa toistensa kanssa. Tutkimuksen luotettavuutta heikentää se, että haastateltaville ei ollut kaikki tahtituotannon käsitteet tuttuja tai kokemus tahtituotannosta oli jäänyt niin pieneksi, ettei kaikkiin kysymyksiin pystytty vastaamaan.

Teemahaastatteluiden luotettavuuteen on voinut vaikuttaa mahdollisesti myös se, että haastattelurunko ei ollut ensimmäisissä haastatteluista täysin sama mitä viimeisissä, koska runkoa muokattiin hieman paremmin toimivaksi ensimmäisten haastatteluiden pohjalta. Haastateltava on voinut myös tulkita haastateltavien vastauksia väärin tai litterointivaiheessa joitain vastauksia on voitu lyhentää tai jättää kokonaan pois.

4.5 Jatkotutkimusehdotukset

Tutkimuskohdetta täydentäviä jatkotutkimuskohteita löytyi teoriaosuuden, haastatteluiden sekä niiden pohdinnan ansiosta muutamia. Varsinkin juuri julkaistun tahtituotantosovelluksen toimivuutta, käyttötapoja sekä hyötyjä voisi tutkia. Tutkimuksessa nousi suuri tarve kyseiselle sovellukselle, joten tahtituotantosovelluksen käytön tutkimisella ja sen aiheuttamien hyötyjen analysoinnilla voitaisiin saada sovelluksesta vielä paljon lisää irti. Sovelluksen käyttöä perinteisellä rakentamistavalla suoritettavalla kohteella voisi myös tutkia, jotta sen koko potentiaali saataisiin käyttöön.

Tutkimusta tehdessä jatkotutkimusehdotukseksi nousi myös tahtituotannon dokumentoinnin hyödyntäminen tulevissa kohteissa. Hyödynnetäänkö tahtituotannon jälkilaskentaa tulevien kohteiden laskennassa? Hyödynnetäänkö dokumentointia tulevien hankkeiden suunnittelussa? Ja jos hyödynnetään, niin mitkä ovat niiden vaikutukset.

Kolmantena jatkotutkimuskohteena olisi tahtituotannon ohjauskeinojen näkyminen urakkasopimuksissa ja niiden vaikutukset toteutuksen onnistumisessa. Miten tahtituotannon urakkasopimusten merkinnät tahtituotannon ohjauksesta ja pelisäännöistä vaikuttavat urakoitsijan suoritukseen tahtituotantokohteella? Miten urakoitsijaa pystytään sitouttamaan paremmin tahtituotannon aktiiviseen ohjaamiseen ja valvomiseen urakkasopimuksen avulla? Minkälaisia sopimusteknisiä vipuvarsia ja sakkoja kannattaisi olla ja hyödyntää tahtituotantokohteissa?

LÄHTEET

- Adrian Smith. (2011). Agile and Lean for Construction. Ennova Engineering Innovation. Saatavissa: <https://pt.slideshare.net/adrianlsmith/agile-and-lean-for-construction-9384237>
- Alasuutari, P. (1999). Laadullinen tutkimus (3. uud. p). Vastapaino, Tampere.
- Alhava , O , Rinne , V , Laine , E & Koskela , L 2019 , Can a Takt Plan Ever Survive Beyond the First Contact With the Trades On-Site? in Proceedings of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. IGLC.net, pp. 453-464 , Annual Conference of the International Group for Lean Construction , Dublin , Ireland , 01/07/2019 . Saatavissa: <https://doi.org/10.24928/2019/0261>
- Arto, K. A. (2006). Projektiliiketoiminta. WSOY, Helsinki.
- Ballard, G. (2000). The Last Planner System of Production Control. The University of Birmingham, Väitöskirja.
- Ballard, G., & Howell, G. (1994). Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow. Proceedings of the 2nd Annual Meeting of the International Group for Lean Construction. 1994, Rotterdam, The Netherlands.
- Ballard, G., & Howell, G. (2003). Lean project management. Building Research and Information, University of California at Berkeley, Berkeley, CA, USA. 31:2, 1–15.
- Binninger, M., Dlouhy, J., & Haghsheno, S. (2017). Technical Takt Planning and Takt Control in Construction. 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2017, Heraklion, Greece. 605–612. Saatavissa: <https://iglc.net/Papers/Details/1387>
- Binninger, M., Dlouhy, J., Steuer, D., & Haghsheno, S. (2017). Adjustment Mechanisms for Demandoriented Optimisation in Takt Planning and Takt Control. 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2017, Heraklion, Creece. 613–620. Saatavissa: <https://doi.org/10.24928/2017/0086>
- Chauhan, K., Peltokorpi, A., Seppänen, O., & Berghede, K. (2018). Combining takt planning with prefabrication for industrialized construction. IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean

Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers, 2018, Chennai, India. 848–857. Saatavissa: <https://doi.org/10.24928/2018/0542>

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

Dlouhy, J., Binninger, M., & Haghsheno, S. (2019). Buffer Management in Takt Planning – An Overview of Buffers in Takt Systems. Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Pasquire C. and Hamzeh F.R. (ed.), Dublin, Ireland, 429–440. Saatavissa: <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. Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA. July 2016. Saatavissa: <https://www.semanticscholar.org/paper/Three-Level-Method-of-Takt-Planning-and-Takt-%E2%80%93-a-in-Dlouhy-Binninger/817c17ef1473d18351eccfd3c6f3bd5f23dd5279>

Faloughi, M., Linnik, M., Murphy, D., & Frandson, A. G. (2015). WIP Design in a Construction Project Using Takt Time Planning. Seppänen, O., González, V. A. & Arroyo, P., 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Perth, Australia, 29-31 July 2015. 163–172. Saatavissa: <https://iglc.net/Papers/Details/1240>

Frandson, A., Berghede, K., & Tommelein, I. (2013). Takt time planning for construction of exterior cladding. 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction August 2013, Fortaleza, Brazil. 464–473.

Frandson, A., Seppänen, O., & Tommelein, I. (2015). Comparison between location-based management and Takt Time Planning. In: Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, 28-31 July, Perth, Australia, pp. 3-12,

Haghsheno, S., Binninger, M., Dlouhy, J., & Sterlike, S. (2016). History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control. In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, sect.1, July 2016. pp. 53–62. Saatavissa: <https://www.semanticscholar.org/paper/History-and-Theoretical-Foundations-of-Takt-and-Haghsheno-Binninger/269e994517fa6287547efbeb3cc09557eedcd0dd>

Hirsjärvi, S. (2008). Tutkimushaastattelu: Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Gaudeamus Helsinki University Press, Helsinki.

Hult, I. (2020). Tahtituotannon merkitys rakentamisen tuottavuuden parantamisessa. Tampereen Yliopisto, Diplomityö. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/120483>

Junnonen, J.-M., & Kankainen, J. (2012). Rakennusurakoitsijoiden hankintakäsikirja. SUOMEN RAKENNUSMEDIA OY, Helsinki. Saatavissa: <https://research.aalto.fi/publications/rakennusurakoitsijoiden-hankintak%C3%A4sikirja>

Kankainen, J. (2016). Urakoitsijan sopimusasiat (4. painos.). Rakennustieto Oy, Helsinki.

Keskiniva, K., Saari, A., & Junnonen, J.-M. (2020). Takt Planning in Apartment Building Renovation Projects. *Buildings* 2020, 10(12), 226. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/buildings10120226>

Keskiniva, K., Saari, A., & Junnonen, J.-M. (2021). Takt Production Monitoring and Control in Apartment Renovation Projects. *Buildings* 2021, 11(3), 92. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/buildings11030092>

Keskiniva, K., Saari, A., & Junnonen, J.-M. (2022). Suggestions for takt production sub-contract clauses – a conceptual study. *Construction Innovation*. Faculty of Built Environment, Tampere University, Tampere, Finland. Saatavissa: <https://doi.org/10.1108/CI-09-2021-0176>

Koskela, L., & Howell, G. (2002). The Underlying Theory of Project Management is Obsolete. *Proceedings of the 2002 PMI Conference*. Saatavissa: https://usir.salford.ac.uk/id/eprint/9400/1/2002_The_underlying_theory_of_project_management_is_obsolete.pdf

Koskela, L. J. (2004). Making do—The eighth category of waste. *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, August 2004, Helsingor, Denmark. Saatavissa: <http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/9386/>

Koskela, L., & Koskenvesa, A. (2003). Last Planner -tuotannonohjaus rakennustyömaalla. VTT Technical Research Centre of Finland.

Koski, H., Kiviniemi, M., Palolahti, T., & Sahlstedt, S. (2009). Rakennustyömaan toimitusten ohjaus. Helsinki. Saatavissa: https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2009/Rakennustyomaan_toimitusten_ohjaus_091116.pdf

Lehto, E. (2020). Rakentamisen tuottavuus. Raportteja 41, Palkansaajien tutkimuslaitos, Helsinki. Saatavissa: <https://labore.fi/wp-content/uploads/2020/05/Raportteja41.pdf>

Lehtovaara, J., Heinonen, A., Ronkainen, M., Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2021). Takt Production as Operations Strategy: Client's Perspective to Value-Creation and Flow. Proc. 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Lima, Peru, 14-16 July 2021. pp 829–838. Saatavissa: <https://iglc.net/Papers/Details/1902>

Lehtovaara, J., Mustonen, I., Peuronen, P., Seppänen, O., & Peltokorpi, A. (2019). Implementing Takt Planning and Takt Control Into Residential Construction. Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Dublin, Ireland, 3-5 July 2019. pp 417-428. Saatavissa: <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. Aalto University, Building 2030 project. Saatavissa: <https://research.aalto.fi/publications/building-2030-takt-in-design-and-production-final-report>

Lohilahti, O. (2017). Rakennusalalla työn tuottavuus ei ole kasvanut 40 vuodessa—Onko allianssista tai leanista apua? Rakennuslehti. Saatavissa (viitattu 20.10.2021): <https://www.rakennuslehti.fi/2017/09/rakennusalalla-tyon-tuottavuus-ei-ole-kasvanut-40-vuodessa-onko-allianssista-tai-leanista-apua/>

Mäkelä, J. (2021). Tahtituotantoa palveleva alihankintaprosessi toimitilakohteissa. Tampereen Yliopisto. Diplomityö. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/130471>

Metsämuuronen, J. (2011). Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä: E-kirja opiskelijalaitos. International Methelp, Booky.fi, Helsinki.

Ronkainen, M. (2020). Teematyöpajapäivä 4.5.2020: Virtautettu tuotantomalli, Tahtiajan edellytykset, LCI-Finland. Saatavissa: http://lci.fi/wp-content/uploads/2019/10/Tahtiajan-edellytykset_Miika-Ronkainen.pdf

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

Salminen, J. (2021). Lean rakentamisessa: Arvoa luovan rakentamisen periaatteet, menetelmät ja työkalut. RIL 276-2021. RIL ry, Helsinki.

Seppänen, O. (2012). A production control game for teaching of location-based management system's controlling methods. Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. The International Group for Lean Construction. San Diego, CA, USA, July 18th-20th. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi:443/handle/123456789/22939>

Seppänen, O. (2014). A Comparison of Takt Time and LBMS Planning Methods. in Proceedings of the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Proceedings of the Annual Conference of the International Group for Lean Construction, The International Group for Lean Construction, Oslo, Norway, Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Oslo, Norway, 25/06/2014. Saatavissa: https://acris.aalto.fi/ws/portalfiles/portal/7207140/A_Comparison_of_Takt_Time_and_LBMS_Planning_Methods.pdf

Seppänen, O., Modrich, R.-U., & Ballard, G. (2015). Integration of Last Planner System and Location-Based Management System. Seppänen, O., González, V. A. & Arroyo, P., 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Perth, Australia, 29-31 July 2015. pp 123-132. Saatavissa: <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-d26098e7-8d67-482e-b978-8cc75854abe3.pdf>

Womack, J., & Jones, D. (1996). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. In Journal of the Operational Research Society (Vol. 48).

LIITE A: ENGLANNINKIELISET HAASTATTE- LUKYSYMYKSET

- Job description
- How many years of work experience in construction and takt production?

Theme 1: Takt Production's Monitoring and Control

- How was the takt production monitored and controlled during construction?
 - What kind of weekly routines you had?
 - Did the control methods change during the project?
 - What kind of means of visual management did you use?
- What attitude did the contractors have about the takt production?
 - Did attitudes affect the performance of the job?
 - Did attitudes affect the monitoring and control?
- How was the logistics controlled?
 - How did people stay on the map of delivery schedules?

Theme 2: Challenges in takt production during construction

- What kind of challenges came during construction related to takt production?
 - How did you react to the challenges?
- What would you do differently?
- What kind of preparations should have been done more?
- What you think is the biggest factor in preventing failures in takt production?

Theme 3: Successes in takt production during construction

- What acts contributed to the smooth flow of takt production during construction?

- Meetings? Measures related to change of takt?
- The flow of information?
- What do you think affected the successes most?
- What kind of production control mechanisms were useful?

Theme 4: Development proposals for controlling and monitoring takt production

- What kind of information or support would you have needed more during or before construction?
- Are there some control methods what could have been used but not used for some reason?
- Is there something to develop of the contracts for the future to help takt production?
- Something more to say what could help control the takt production?