



Tahtituotannon soveltaminen infrahankkeeseen

Miro Seppälä

Opinnäytetyö, AMK

Huhtikuu 2022

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Seppälä, Miro

Tahtituotannon soveltaminen infrahankkeeseen.

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Huhtikuu 2022, 43 sivua.

Tekniikan ala. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyö käsittelee tahtituotannon soveltamista infrahankkeessa perustuen laajalle levinneeseen Lean-johtamisfilosofiaan. Tutkimuksen toimeksiantajana toimi projektinjohtokonseptiin perustuva ja infra-rakentamiseen keskittyvä Oteran Oy. Aiemmista Lean-menetelmistä, kuten Last Planner -menetelmästä saadut positiiviset tulokset saivat aikaan yrityksen kiinnostuksen muihin Lean-menetelmiin. Tuotannon-suunnittelun- ja ohjauksen tason pysyessä rakennusalalla paikallaan tarvittiin uusien käytäntöjen ja kulttuurin tuomista entistä voimakkaammin mukaan. Tavoitteena olikin tutkia Lean-ajatteluun perustuvaa tahtituotantoa sekä selvittää sen mahdollisuuksia infrahankkeen aikataulusuunnittelumenetelmänä. Vertailua suoritettiin rakennusalalla menetelmällä saavutettuihin tuloksiin.

Opinnäytetyö toteutettiin perehtymällä kotimaiseen sekä kansainväliseen teoriakirjallisuuteen, jonka avulla luotiin yleistä ymmärrystä tahtituotannon lähtökohdista sekä sen soveltuvuudesta rakennusalalla. Kirjallisuuden näkökulmaa myös tuettiin ja päivitettiin lisäksi ajankohtaisilla artikkeleilla. Teoreettista ymmärrystä tahtituotannosta sovellettiin tämän jälkeen yrityksen järjestämään pilottihankkeeseen. Pilottihankkeen toteutuksessa syvennyttiin myös yrityskohtaisiin haasteisiin. Tahtituotannon soveltamista varten perustettiin tahtiaikatyöryhmä, jonka avulla tutkittiin ja korjattiin tuotettua tahtiaikaa. Tahtituotantoon ja pilottihankkeeseen tutustumalla saatiin hyvä pohja työn haastatteluihin, joiden tarkoituksena oli tuoda esille nykyisten ja kyseisen menetelmän haasteita ja hyötyjä. Haastateltavat olivat pilottihankkeen työryhmän jäseniä ja haastattelussa mukailtiin teemahaastattelun piirteitä.

Tuloksissa saatiin selville, minkälaisia haasteita ja esteitä tahtituotanto infrahankkeeseen sovellettuna luo. Päälimmäisiksi ongelmiksi koettiin infrahankkeen erityispiirteiden mukanaan tuomat haasteet, kuten vaihtuvat sääolosuhteet, työmaa-alueiden vaikutukset ulkopuolisiin sekä lohkojen rajaamisen vaikeudet. Tahtituotannolla saavutettiin kuitenkin positiivisia tuloksia infrahankkeen vaiheiden läpimenoaikoihin, mutta tuottavuuden parantamiseksi menetelmän sovellus vaatii vielä kehittämistyötä. Lisäksi aiempaan aikataulusuunnitteluun verrattuna tahtituotanto paransi suunnittelun tarkkuutta, jolloin hankkeen ennustettavuus parani ja aikataulujen seuraaminen helpottui.

Avainsanat (asiasanat)

aikataulusuunnittelu, Lean, tahtitauka, tahtiaikatuotanto, tahtituotanto

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Seppälä, Miro

Application of takt time production in an infrastructure project

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, April 2022, 43 pages.

Engineering and technology. Degree programme in Construction and civil engineering. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The thesis dealt with the suitability of takt time in an infrastructure project based on a widespread Lean management philosophy. The research was commissioned by Oteran Oy an infrastructure company that specializes in project management. Positive results from previous Lean methods, such as the Last Planner method, increased the company's interest in other Lean methods. Introduction of new practices and culture was increasingly needed because the level of production planning and control has stagnated in the construction industry. The aim of the study was to learn about the takt time based on Lean thinking and to study the possibilities of using it as a scheduling method for an infrastructure project.

The domestic and international theoretical literature created a general understanding for the basis of the takt time and its applicability in the construction industry. The perspective formed by the literature was also supported and updated with current articles. The theoretical understanding of the takt time was applied to a pilot project organized by the company. The implementation of the pilot project also delved into company-specific challenges. In order to apply the takt time there was a separate working group that was set up to study and correct the takt time. Studying takt time and the pilot project provided a good basis for interviews with the aim of highlighting the challenges and the benefits of the method. The interviewees were members of the task force of the pilot project.

The results of the research revealed the challenges and obstacles that the takt time creates when applied to an infrastructure project. The main problems were the challenges posed by the special features of infrastructure project, such as changing weather conditions, the effects of the construction site on outsiders and the difficulties in demarcating the work areas. However, the use of takt time brought positive results in terms of the turnaround times of the infrastructure project but in order to improve productivity, the application of the method still requires development work. In addition compared to the previous method of scheduling the implementation takt time improved the accuracy of planning which resulted in improved predictability for the project and made it easier to follow the schedules.

Keywords/tags (subjects)

Lean, takt time, takt control, takt planning

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto	3
1.1	Työn tausta.....	3
1.2	Toimeksiantaja	4
1.3	Tutkimuksen rajaus	4
2	Tutkimuksen toteutus	5
2.1	Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset	5
2.2	Tutkimusmenetelmät ja aineisto	6
3	Aikataulutuksen menetelmiä	6
3.1	Jana-aikataulu	6
3.2	Paikka-aikakaavio	7
4	Lean	8
4.1	Lean-tuotanto.....	9
4.2	Last Planner	10
4.3	Tahtituotanto	13
5	Tahtituotanto rakentamisen tuotannosuunnittelussa ja -ohjauksessa	15
5.1	Tahtiaikasuunnittelu	15
5.1.1	Tietojen kerääminen.....	16
5.1.2	Työvaihe- ja aluejaot.....	17
5.1.3	Tehtäväpakettien ja tuotantojunien luominen	17
5.1.4	Tahdin ja tahtiaikataulun määrittäminen.....	18
5.2	Tahtituotannonohjaus.....	20
5.3	Tahtituotannon edellytyksiä ja mahdollisuuksia.....	20
6	Tahtituotannon soveltaminen pilottihankkeeseen	21
6.1	Infrahankkeen lähtökohdat.....	21
6.2	Pilottihankkeen erityispiirteet.....	22
6.3	Tahtiaikasuunnittelun toteutuminen pilottihankkeessa	23
6.3.1	Työmaan jakaminen vaiheisiin	23
6.3.2	Vaiheiden jakaminen lohkoihin	24
6.4	Tahtiaikataulun luominen ja toteutus.....	26
6.5	Tahtiaikaseuranta ja -palaverit.....	27
6.6	Työryhmän haastattelut.....	29
7	Tulokset ja johtopäätökset	31
7.1	Läpimenoaika ja tuottavuus.....	31

7.2	Havaitut esteet ja haasteet	32
7.3	Vaikutukset tuotannosuunnitteluun ja -ohjaukseen	33
8	Pohdinta.....	34
	Lähteet	36
	Liitteet	38
	Liite 1. Haastattelukysymykset.....	38
	Liite 2. Pilottihankkeen tahtiaikataulut.....	39
	Liite 3. Pilottihankkeen yleisaikataulu.....	40
	Kuviot	
	Kuvio 1. Oteranin arvot (Oteran Oy 2022).....	4
	Kuvio 2. Jana-aikataulun laadintaperiaate (Lindholm & Junnonen, 23, muokattu)	7
	Kuvio 3. Paikka-aikakaavio (Salminen & Talaskivi 2021, 147, muokattu).....	8
	Kuvio 4. Toyotan kehittämä tuotantojärjestelmä, TPS-talokaavio (Liker 2004, 33).....	10
	Kuvio 5. Last Plannerin vaiheet ja menetelmät (Vison & Väinönkadun saneeraus 2018).	11
	Kuvio 6. Last Planner -vaiheaikataulu (Vison & Väinönkadun saneeraus 2018).	12
	Kuvio 7. Last Planner -viikkoaikataulu (Vison & Väinönkadunsaneeraus 2018).....	12
	Kuvio 8. Lean-ajattelun virtausperiaate (Koskenvesa & Sahlstedt 2017).....	14
	Kuvio 9. Kolmen tason menetelmä (Lehtovaara ym. 2019, 5).....	15
	Kuvio 10. työpaketit ja rinnakkaissekvensointi (Dlouhy ym. 2018, 1369)	18
	Kuvio 11. Esimerkki tahtiaikataulun esitystavasta (Virtanen 2020)	19
	Kuvio 12. Työmaan vaihejako ja suorittamisjärjestys (Yliopistonkadun saneeraus 2020).....	24
	Kuvio 13. Vaiheen kaksi alustava lohkojako (Yliopistonkadun saneeraus 2020).....	25
	Kuvio 14. Vaiheen kolme lohkojako (Yliopistonkadun saneeraus 2020).....	25
	Kuvio 15. Vaiheen neljä lohkojako (Yliopistonkadun saneeraus 2020).	26
	Kuvio 16. Toteutusmallin datasisu (Virtanen 2020)	27

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Rakennusalalla ongelmana on jo vuosikymmeniä ollut heikko työn tuottavuus. Se on pysynyt lähes tulkoon samalla tasolla 1970-luvulta lähtien, samaan aikaan kun tehdasteollisuuden tuottavuus on parantunut jopa nelinkertaiseksi teknologian kehittymisen ja toimintatapojen muuttamisen ansiosta. Rakennushankkeiden aikataulujen heikko läpinäkyvyys ja informointi urakoitsijoille johtaa tietämättömyyteen ja väärinymmärryksiin ja sitä kautta hukka-ajan kerääntymiseen, koska asioiden selvittämiseksi joudutaan käymään turhia keskusteluja ja korjaamaan virheitä. (Lohilahti & Mölsä 2017.)

Yhä useammat rakennusalan yritykset etsivät keinoa, miten parantaa hankkeiden ajallisten tavoitteiden saavuttamista ja työmaan hukka-ajan vähentymistä. Monet yritykset ovatkin alkaneet soveltaa Lean-ajattelua rakentamiseen, kuten pilotoida tahtituotantoa hankkeissa sillä saavutettujen tuloksien takia (Mölsä 2018). Näillä tuloksilla tarkoitetaan mm. hankkeen tuottavuuden kasvamista ja läpimenoaikojen lyhentymistä. Tahtituotannon soveltamisella on saatu parhaimmillaan puolet lyhyempiä läpimenoaikoja sisävalmistusvaiheiden töistä (Mölsä 2019b).

Tässä opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään lean-filosofiasta perustuvan tahtituotannon soveltuvuutta infrahankkeen tuotannosuunnitteluun sekä käytiin läpi sen edellytyksiä ja haasteita. Tavoitteena oli selvittää, pystyykö työsuoritteita tahdistamaan ja sen avulla nopeuttamaan hankkeen läpimenoaikaa ja parantamaan hankkeen tuottavuutta. Rakennusalla tahtituotannon soveltuvuutta on kokeiltu aiemmin niin uudiskohteissa kuin linjasaneerauksissa, mutta etenkin kunnallistekniikka mukaan ottavaa infrarakentamista ei tästä näkökulmasta ole juurikaan tutkittu. Työssä tutkittiin myös, miten aiempia tuotannonohjauksessa käytettyjä menetelmiä ja käytäntöjä voidaan soveltaa tahtiaikaohjauksen tarpeiden mukaisesti sekä sitä, miten tahtiaikatuotannon käyttöön ottamiseen tulee sitoutua.

1.2 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Oteran Oy, joka on Espoossa vuonna 2009 perustettu infrarakentamiseen keskittyvä suomalainen kasvuyritys. Yrityksen liikevaihto kasvanut kahdeksasta miljoonasta noin 40 miljoonaan euroon vuosina 2010–2021. Tuotannon keskeisenä toimintaperiaatteena on projektinjohtokonsepti ja lean-pohjainen tuotantosysteemi. Oteranin henkilöstö koostuu alueellisista työpäälliköistä, työmaapäälliköistä ja työnjohtajista. Yrityksessä työskentelee yhteensä 37 henkilöä. Toiminta keskittyy Keski-, Itä-, Länsi- ja Varsinais-Suomen alueille. Pääasialliseen toimialaan kuuluu infrarakentaminen, joka sisältää maarakennus-, maansiirto-, tie-, vesihuolto-, silta-, satama-, ratatekniset- ja betonirakennetyöt. (Oteran Oy 2022.) Tämä opinnäytetyö on osa Oteranin kehitystyötä lean-yrityksenä. Yritys kehittää tuotannon suunnittelua ja pyrkii kytkemään siihen digitalisaation tuomia applikaatioita (Oteran Oy 2022).

Oteranilla arvomaailma nousee erittäin tärkeäksi asiaksi päivittäisessä työssä. Oteranin pääarvoina toimivat ihmisten arvostaminen, reilu kumppanuus, yrittäjähenkisyys ja viisas tekeminen, jotka ovat perustana kaikelle toiminnalle. Alla olevassa kuviossa 1. on esitetty Oteranin pääarvojen lisäksi näiden keskeisin sisältö. Arvojen lisäksi Oteranilla pidetään tärkeänä hyvinvoivaa työyhteisöä. Avain kestäväan menestykseen on tyytyväinen ja motivoitunut henkilöstö. (Oteran Oy 2022.)



Kuvio 1. Oteranin arvot (Oteran Oy 2022)

1.3 Tutkimuksen rajaus

Tutkimus rajattiin käsittelemään menetelmää pelkästään projektinjohtourakoissa. Tutkimuksen tarkoituksena oli soveltaa ja toteuttaa lean-tuotantoon perustuvaa tahtituotantoa infrahankkeen

tuotannosuunnittelussa ja -ohjauksessa. Tutkimuksen kohteena toimi pilottihanke *Yliopistonkadun saneeraus välillä Cygnaeuksenkatu-Harjukatu* Jyväskylän keskustassa (kesäkuu 2020 – helmikuu 2021). Yliopistonkadun saneeraus oli järjestyksessään toinen maanrakennushanke, jossa tahtituotantoa hyödynnettiin Oteran Oy:llä. Tutkimuksessa keskityttiin löytämään tahtituotannosta yritykselle sopivia toimintatapoja ja käytäntöjä kyseisen pilottihankkeen avulla.

2 Tutkimuksen toteutus

2.1 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tahtituotannon mahdollisuuksia infrahankkeeseen sovelletuna aikataulusmenetelmänä. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan ja pohditaan, miten rakentamisessa tähän mennessä sovellettuja tahtituotantomalleja voidaan soveltaa infrahankkeessa. Tarkoituksena on kerätä alustavaa tietoa siitä, mihin infrarakentamisen osa-alueisiin tahtiaikatuoannon toteuttamista kannattaa hyödyntää.

Opinnäytteen tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Voidaanko tahtituotantoa soveltamalla vaikuttaa infrahankkeen läpimenoaikaan sekä tuotavuuteen?

Tutkimuskysymyksistä ensimmäisellä haetaan tietoa hukka-ajan määrästä infrahankkeen tuotannossa sekä tutkitaan tahtituotannon vaikutusta hankkeen läpimenoaikaan eli aikaa rakentamisen alkamisesta valmistumiseen tahtiaikatuoantomenetelmällä. Lisäksi tutkitaan tahtituotannon tuotavuutta, jolla on suuri merkitys taloudellisesta näkökulmasta.

- Minkälaisia edellytyksiä ja riskejä tahtituotannon soveltaminen muodostaa infrahankkeelle?

Tutkimuksen toisella kysymyksellä selvitetään, millaisia haasteita infrahankkeen erityispiirteet luovat tahtituotannon soveltamiselle. Lisäksi tutkitaan, millaisia asioita tahtituotannon soveltaminen infrahankkeeseen vaatii ja mitä tulee ottaa huomioon.

- Millaisia muutoksia tuotannosuunnitteluun ja johtamiskäytäntöihin tahtituotannon käyttöönotto edellyttää?

Tällä kysymyksellä etsitään vastauksia yrityksen sisäisten käytänteiden muutoksien tarpeisiin, jotta tahtituotantoa voidaan toteuttaa hankkeissa onnistuneesti.

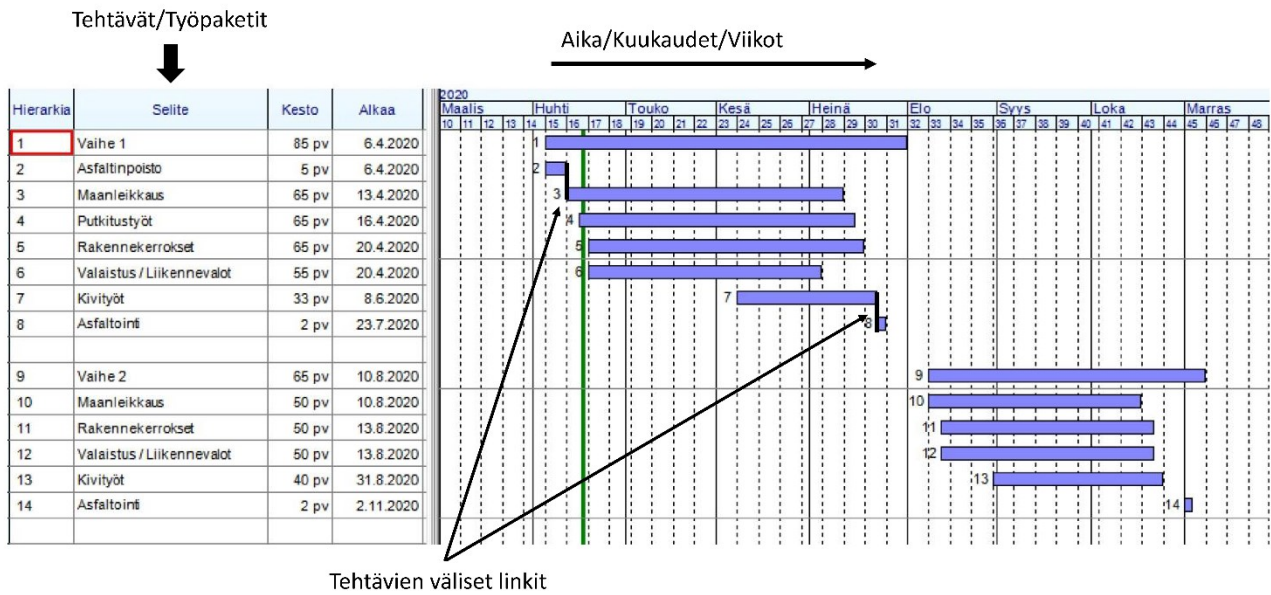
2.2 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

Tutkimus pohjautuu lean-ajattelun ja tahtituotannon teoriakirjallisuuteen. Tutkimuksen lähestymistapa on kvalitatiivinen. Tutkimuksen aineisto koostuu toimeksiantaja Oteran Oy:n pilottihankkeen seurannasta ja siitä saadusta materiaaleista, kuten tutkimusryhmän palaverimuistioista ja haastatteluista. Tutkimusryhmään kuului itseni lisäksi hankkeen työmaapäällikkö, yrityksen talousjohtaja sekä alueellinen työpäällikkö.

3 Aikataulutusmenetelmiä

3.1 Jana-aikataulu

Jana-aikataulu on eri hankkeiden yksinkertaisin, yleisin ja selkein aikataulun esitysmuoto. Jana-aikataulussa tehtävät luetellaan suorittamisjärjestyksessä pystyakselille ja suorittamisaika laaditaan vaakakselille. Linkitetyissä tehtävissä tehtävien suorittamisjärjestyksellä on riippuvuuksia. Riippuvuuksien perustana voi olla tehtävien luonnollinen, tekninen, olosuhde- tai resurssiriippuvuus. Kyseinen aikataulu on yksinkertainen ja helppo rakentaa, mutta toisaalta sitä on vaikea muokata projektin ollessa käynnissä. Tämän takia jana-aikataulua suositaan hankkeissa, jotka ovat työsuoritteiltaan ja vaiheiltaan yksinkertaisia, eivätkä sisällä paljon tehtävien suoritusjärjestyksien välistä vaihtelevuutta. Hankkeiden koko ei ole merkitsevä, mikäli suuret tehtävät pystytään helposti osittamaan pienempiin tehtäväosiin. (Lindholm & Junnonen 2012, 22–23.) Kuviossa 2 on esitetty jana-aikataulun laatimisen periaate.

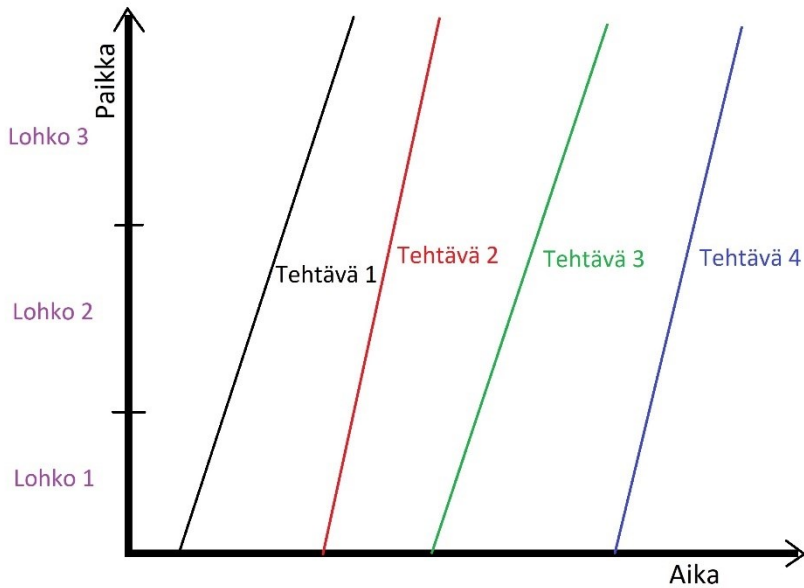


Kuvio 2. Jana-aikataulun laadintaperiaate (Lindholm & Junnonen, 23, muokattu)

Projekteissa Oteran Oy on tottunut toteuttamaan yleisaikataulun jana-aikataulumenetelmällä. Yksinkertaista ja helposti tulkittavaa yleisaikataulua on pystytty hyödyntämään erilaisiin lean-menetelmiin. Jana-aikataulun suunnittelu koostuu isommista työsuoritteet sisältävistä työpaketeista, jossa jokaista työsuoritetta ei jaotella erilleen toisistaan ja aikataulu pysyy täten visuaalisesti selkeänä ja ymmärrettävänä. Kyseistä aikataulua seuraamalla ei kuitenkaan selviä tarkasti, missä vaiheessa työt etenevät. Työpakettien etenemistä seurataankin lähinnä prosentteina.

3.2 Paikka-aikakaavio

Tuotanto- ja paikka-aikakaavio muistuttavat joiltain osilta tahtituotantoa. Siinä työalue jaetaan lohkoihin ja tehtävät tahdistetaan toinen toisensa perään. Nämä kaksi eroavat toisistaan kuitenkin selkeästi suoritteiden visuaalisen näön sekä ajanjaksojen pituuden osalta. Visuaalisesti katsottuna aikataulu muistuttaa paljon myös vinoviiva-aikataulua. Useammin paikka-aikakaaviota käytetään talonrakennushankkeissa sen soveltuvuuden takia, mutta sitä pystytään käyttämään myös infrahankkeisiin liittyvissä työsuoritteissa, joita pystytään jakamaan selviin lohkoihin. Paikka-aikakaaviossa pystyakseli kertoo paikan, jossa tehtävä työ tapahtuu. Vinoviiva kuvaa tehtävän työn kestoa, jota seurataan vaaka-akselilta. (Ks. kuvio 7.) (Lindholm & Junnonen 2012, 24–25).



Kuvio 3. Paikka-aikakaavio (Salminen & Talaskivi 2021, 147, muokattu)

Vaikka tahtituotantoa on alettu hyödyntämään Suomen rakentamisessa 2000-luvun alussa, paikka-aikakaavio osoittaa tahdistavan tuotannosuunnittelun käyttöä rakentamisessa jo 1990-luvulla (Salminen & Talaskivi 2021, 144–146). Erot tahtituotannon ja paikka-aikakaavion väliltä huomaa aikataulujen visuaalisesta kuvasta sekä siitä, miten puskureita käytetään. Visuaalisesti paikka-aikakaaviossa tehtävät on nimetty hyvin yksinkertaisesti ilman erittelyä, kun taas tahtituotannossa tehtävien tilalla on selkeitä työpaketteja eli vaunuja, joista ilmenee tehtävä työn sisältö sekä resurssit. Tahtituotannossa puskureita ei ensisijaisesti suunnitella tehtävien välille, niin kuin paikka-aikakaaviossa, vaan puskurit sijoitetaan tahtituotannossa tuotantojunan loppuun ennen seuraavan vaiheen alkua tai itse työpaketin sisään niin kutsuttuna lisäaikana.

4 Lean

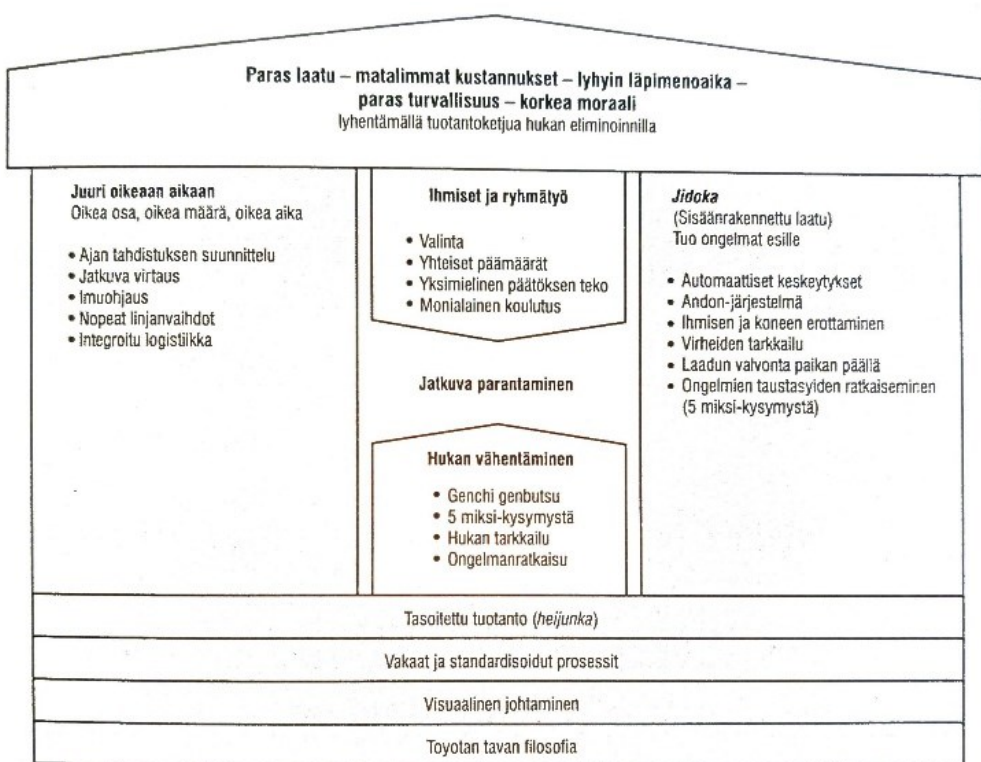
Lean on toimintastrategia, jonka päätarkoituksena on pyrkiä parantamaan prosessien virtaustehokkuutta ja vähentää arvoa tuottamatonta resurssien käyttöä. Tämän kappaleen tarkoitus on esitellä kolme keskeistä lean-menetelmää: lean-tuotanto, tahtiaikatuoanto ja Last Planner.

4.1 Lean-tuotanto

Lean-rakentaminen (Lean Construction) on lean-ajattelusta sovellettu menetelmä. Sen hyödyntämistä rakentamisessa alettiin tutkia Suomessa vuoden 1992 jälkeen. Lean-ajattelua on sovellettu johtamistapaan vuosikymmenien ajan tarkoituksena parantaa ja edistää yritysten tehokkuutta, kannattavuutta ja ihmisten kunnioitusta. Lean-ajattelulla pyritään tehostamaan rakennustuotannon jatkuvaa kehittymistä erilaisia toimintatapoja ja menetelmiä hyödyntäen. Tarkoituksena on yhteensovittaa niistä toimivat toimintatavat ja menetelmät käytössä oleviin menetelmiin. (Koskenvesa & Sahlstedt 2017, 13–14.) Tämän lisäksi Likerin (2004, 7) sekä Tuomisen (2010) mukaan yrityksessä tärkeintä on yhteisen lean-kulttuurin ja ilmapiirin luominen, jossa jokainen osapuoli pyrkii kehittämään ja parantamaan toimintaa jatkuvasti.

Lean-tuotannon pääperiaate on keskittyä tuotannon arvon nostamiseen poistamalla prosessista arvoa tuottamatonta toimintaa eli hukka-aikaa. Tämän vähentämiseksi tuotannossa tapahtuva toiminta jaetaan arvoa tuottaviin ja tuottamattomiin osiin, jotta hukkaa aiheuttava toiminta huomattaisiin prosessista ja voitaisiin poistaa. Kaikkea arvoa tuottamatonta toimintaa ei voida kuitenkaan poistaa niiden ollessa välttämättömiä toimia arvoa tuottavalle toiminnalle, joten jakamisessa näiden toimintojen tunnistaminen nousee tärkeäksi. (Liker 2004, 8, 88; Koskenvesa & Sahlstedt 2017, 13.)

Käytännön esimerkkinä lean-tuotannosta sekä lean-rakentamisen perustana toimii Toyotan tuotantojärjestelmä (TPS, Toyota Production System) (Koskenvesa & Sahlstedt 2017, 14). Se on lähöisin Toyotan autoteollisuudelle kehitetystä tuotantomenetelmästä. TPS:llä pyritään vähentämään arvoa tuottamatonta työtä, alentamaan kustannuksia sekä parantamaan laatua ja tuotannon hallintaa prosessin kaikkien osapuolien välisellä yhteistyöllä. TPS systeemiä kuvaa talomainen rakenne (ks. kuvio 1.). TPS:n nimekkäimpinä osina toimivat rakenteen pilari ”juuri oikeaan aikaan” (JIT, Just In Time), jonka tarkoitus on poistaa ylimääräistä varastointia sekä pilari ”Jidoka”, joka tarkoittaa jatkuvaa laadun parantamista inhimillisellä tuotannon automaatiolla. Prosessissa kokonaisuuden hallinta on ratkaisevin tekijä lean-tuotannon onnistumiselle, ja jokaisen rakenteen tulee olla yhtä vahva, jotta suunniteltu päämäärä voidaan saavuttaa. (Liker 2004, 7, 32.)



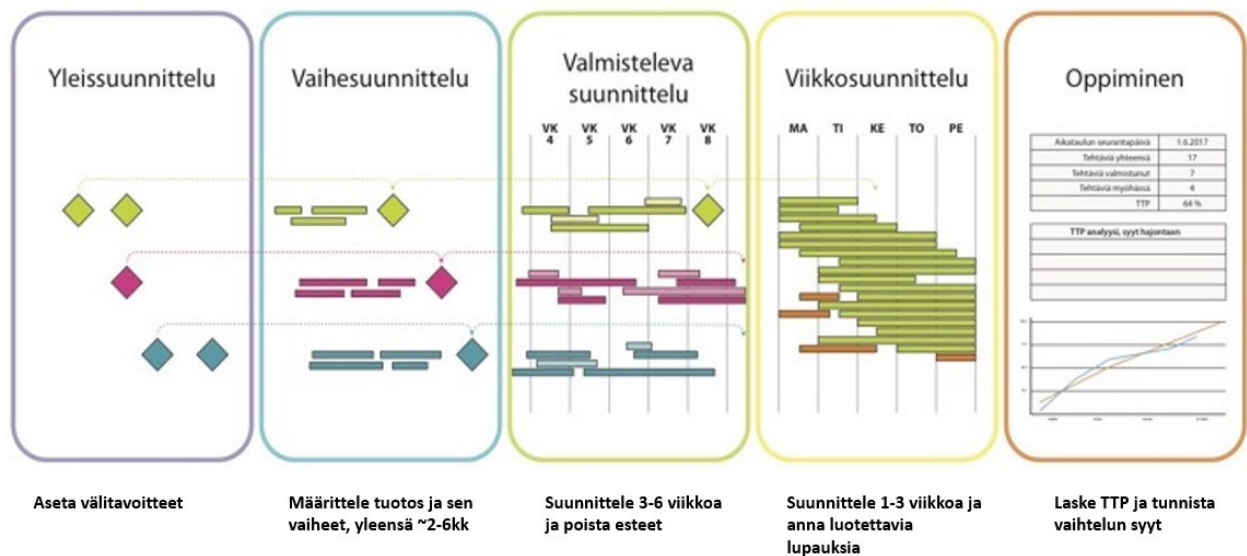
Kuvio 4. Toyotan kehittämä tuotantojärjestelmä, TPS-talokaavio (Liker 2004, 33)

Liker (2004, 34) painottaakin tekstissään, ettei TPS ole pelkästään ryhmä lean-työkaluja. Tämän hienostuneen tuotantojärjestelmän kaikki osuudet vaikuttavat kokonaisuuteen (mts. 34).

4.2 Last Planner

Last Planner (Last Planner System) on 1990-luvulla Yhdysvalloissa kehitetty tuotannonohjausmenetelmä, jolla pystytään vaikuttamaan rakennushankeen ennakoitavuuteen. Last Planner on yksi lean-rakentamisen tunnetuimmista työvälineistä. (Koskenvesa & Sahlstedt 2017, 16.) Joskus Last Planner on myös voitu mieltää samaksi käsitteeksi lean-rakentamisen kanssa. Last Planner -menetelmää käytetään hankkeiden aikataulujen suunnittelussa ja ohjauksessa. Sen tarkoituksena on pyrkiä vähentämään työstä aiheutuvaa hukkaa sekä edistämään työn sujuvuutta ja ennakoitavuutta. Menetelmän avulla tehdyt suunnitelmat ei ole pysyviä, vaan niitä kehitetään koko prosessin ajan aina viime hetkeen asti. Suunnittelun ensimmäisen vaiheen (yleissuunnittelu) tarkoituksena on merkitä suunnitelmaan tilaajan vaatimat tavoitteet aikataulun luomiseen sekä luoda omien intressien mukaiset välitavoitteet. Seuraavaksi suunnitellaan hankkeeseen sopivat vaiheet

ja useamman kuukauden mittainen vaiheaikataulu, jossa hankkeen välitavoitteet ovat selkeästi näkyvillä. Tämän jälkeen tarkempi luodaan muutamien viikkojen pituinen päivakohtainen aikataulu. Viikkokohtaisten aikataulujen luonti keskittyy täten hetkeen, jolloin tehtävien toteutus on jo päivien tai viikkojen päässä nykyhetkestä ja tietoa on riittävästi. (Salminen & Talaskivi 2021, 111.) Aikataulujen visuaalinen esitystapa voidaan toteuttaa monella tapaa, mutta perinteiset tavat ovat Excel-taulukko tai fyysinen taulu, johon lisätään tehtäviä post-it -lapuilla.

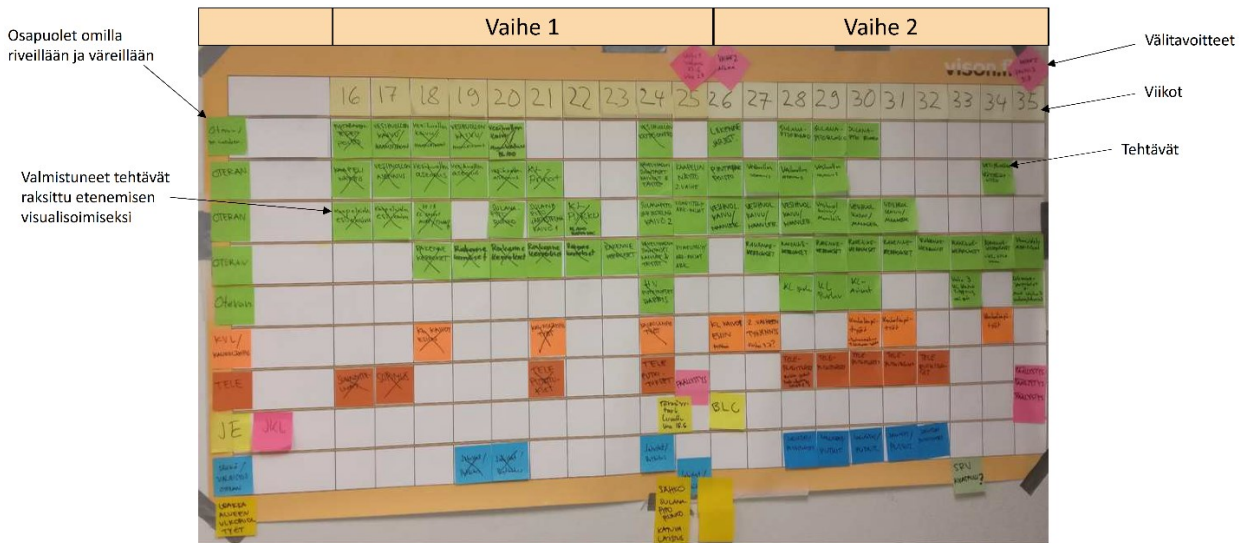


Kuvio 5. Last Plannerin vaiheet ja menetelmät (Vison & Väinönkadun saneeraus 2018).

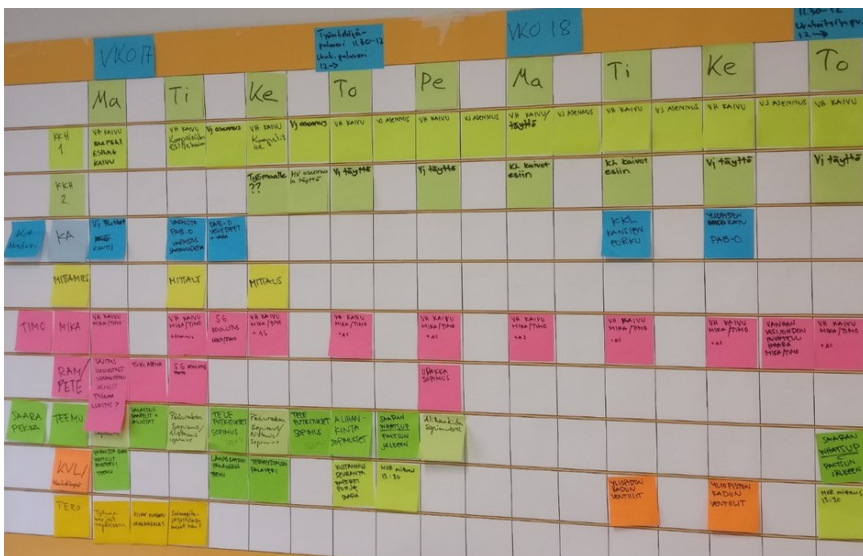
Kun aikataulut on luotu ja prosessi on käynnissä, jatketaan aktiivisesti tapahtumien kulun seuraamisesta ja kirjataan muistiin TTP-lukemat (Toteutuneiden Tehtävien Prosentti). Lisäksi pidetään aikatauluun merkittyjä yhteisiä kehittämissalavereja. Palaverien tarkoituksena on tuoda ilmi työntekijätasolle se, miten aikatauluissa on onnistuttu ja mitä tarvitsee vielä kehittää. Näin myös työntekijät pääsevät yhdessä luomaan ja vaikuttamaan aikataulusuunnitteluun, jolloin myös tavoitteista tulee todenmukaisempia. (Salminen & Talaskivi 2021, 118.)

Last Planner -menetelmää käytetään kuitenkin harvoin yleisaikatauluna sen hektisyyden ja muokattavuuden takia, ja siksi yleisaikatauluna käytetään yleensä pysyvämpiä ja perinteisempiä malleja, kuten jana- tai viiva-aikatauluja. Yleisaikatauluksi valittua menetelmää hyödynnetään kuitenkin perustietona Last Planner -aikataulujen tekemisessä, jotta aikataulusuunnitelmat pysyisivät vaiheittain yhteneväisinä, ja jotta alkuperäiset intressit sekä tavoitteet saavutetaan. (Salminen &

Talaskivi 2021, 112.) Kuviossa 3 on esitetty Last Planner -vaiheaikataulu ja kuviossa 4 Last Planner -viikkoaikataulu.



Kuvio 6. Last Planner -vaiheaikataulu (Vison & Väinönkadun saneeraus 2018).

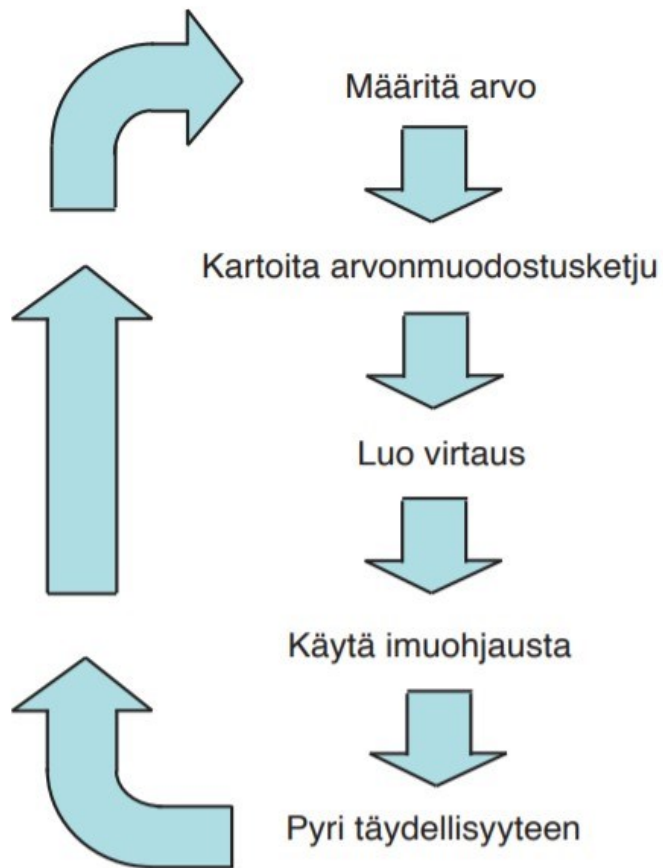


Kuvio 7. Last Planner -viikkoaikataulu (Vison & Väinönkadunsaneeraus 2018).

4.3 Tahtituotanto

Tahtiaika on tahtituotannon oleellisin termi. Tahti (Takt) tulee saksan kielestä ja tarkoittaa musiikista tuttua rytmiä tai tahtia (Liker & Convis 2012, 79). Tahtiaika (Takt Time) on yksi lean-tuotannon peruskäsite, jolla kuvataan yksittäiseen työsuoritteeseen kuluva aikaa (LCI FIN 2015). Teollisuudessa tahtiaika määritellään vastaamaan kysynnän vauhtia eli sitä, millä tahdilla asiakkaat ostavat tuotteen. Teollisuudessa tahtiaika määrää eri osien ja tuotteiden valmistumisaikaa. (Liker 2004, 94.) Sen sijaan rakennusalalla sitä käytetään kuvaamaan työmaa-alueesta lohkoittujen osa-alueiden valmistumiseen kuluva aikaa. Tahtiaika suunnitellaan rakennusalalla päämääräisesti samalla tavalla pyrkien vastaamaan asiakkaan haluttua tavoitetta. Tahtiaika voidaan kuitenkin määrittellä hankkeen muiden aikataulullisten intressien, kuten yksittäisten työvaiheiden tai välitavoitteiden mukaisesti. Tutkimukseni keskittyi tahtituotanto-prosessin soveltamiseen rakennusalalla ja seuraavassa luvussa kerron siitä tarkemmin.

Arvovirran tunnistaminen tapahtuu erottelemalla arvoa tuottava ja tuottamattomat toiminnot prosessista. Arvovirran tunnistamisen jälkeen työmaalle luodaan virtaus (flow) eli prosessin vaiheittainen eteneminen. Tasaisen virtauksen luomiseksi jokaisen työsuoritteeseen tulee olla kestoaltaan yhtä pitkä ja niiden on seurattava peräkkäin toinen toistaan (LCI FIN 2015). Tehdasteollisuudessa virtausperiaatteella toimivassa linjastossa tuote kulkee sen läpi keskeytyksettömästi aina lisäten siihen osia. Tätä prosessia kutsutaan myös yksiosaiseksi virtaukseksi. (Liker 2004.) Keskinivan ja Saaren (2019) mukaan kyseisen virtauksen saavuttaminen on myös tahtituotannossa oleellista. Rakentamisessa tuotteen tilalla käytetään funktionaalisia osa-alueita (lohkoja). Lohkoja valmistetaan niiden läpi virtaavilla työsuoritteilla. Työsuoritteiden sujuvaa virtausta voidaan edistää imuohjauksella (ks. kuvio 1). Imuohjauksessa lohkoissa seuraavana oleva työvaihe määrittelee, mitä edellisen työvaiheen tulee valmistaa, jotta seuraava työvaihe voidaan aloittaa (Koskenvesa & Sahlstedt 2017).



Kuvio 8. Lean-ajattelun virtausperiaate (Koskenvesa & Sahlstedt 2017)

Rakennusalalla tuotannon aikataulua seurataan normaalisti viikkotasolla, minkä vuoksi visuaalinen näkemys tuotannon etenemisestä jää usein heikoksi, koska työpaketit ovat laajoja (LCI FIN 2015). Tahtiaikasuunnittelussa työpaketit, jotka sisältävät useita työvaiheita, pilkotaan yhden työsuorituksen tasolle. Tämän avulla tahtiaika voidaan määrittellä tarpeiden tai kestoltaan pisimmän työvaiheen mukaisesti päivä- tai tuntikohtaiseksi. Tahtiaikaperiaatteella toimivaa tuotantoa kuvataan ”tuotantojunaksi”, jossa työvaiheet seuraavat toisiaan samalla periaatteella kuin junan vaunut (LCI FIN 2015).

5 Tahtituotanto rakentamisen tuotannosuunnittelussa ja -ohjauksessa

5.1 Tahtiaikasuunnittelu

Tahtituotannon suunnittelun kansainväliset mallit ovat Kaliforniassa kehitetty TTP (Takt Time Planning) ja Saksalainen TPTC (Takt Time Planning and Takt Control). Molemmat näistä muistuttavat paljon suomalaisessa rakentamisessa aiemmin käytettyä paikka-aikakaaviomenetelmää, jossa työmaa jaetaan lohkoihin. (Salminen & Talaskivi 2021, 146.) Saksalaisessa mallissa prosessi koostuu tahtisuunnittelun jakamisesta kolmeen tasoon. (Ks. kuvio 8.) TTP-prosessissa tuotannosuunnittelu on sen sijaan jaoteltu kuuteen osaan, jotka ovat tiedon kerääminen, tahtialueiden ja -ajan määrittäminen, työvaiheiden järjestyksen määrittäminen, yksittäisten työsuoritteiden ajallisen keston määrittäminen, työn virtauksen stabilointi sekä tahtiaikataulun viimeistely. Näistä ensimmäiset viisi vaihetta ovat iteroituvia keskenään eli seuraavissa vaiheissa tehdyt muutokset voivat vaikuttaa edellisiin vaiheisiin. (Lehtovaara, Seppänen, Heinonen, Tomunen, Kultha, Kujansuu & Grönvall 2019, 5, 10.) Tässä työssä käydään kuitenkin läpi enemmän pilottihankkeen tuotannosuunnittelua ja -ohjausta muistuttavaa Kalifornian TTP-mallia.



Kuvio 9. Kolmen tason menetelmä (Lehtovaara ym. 2019, 5)

Tahtiaikasuunnittelu TTP-prosessissa jaetaan seuraaviin tehtäviin:

- Rakennushankkeen tietojen kerääminen
- Työmaa-alueen jakaminen vaiheisiin ja lohkoihin

- Tahtiajan määrittäminen
- Työsuoritteiden yhdistäminen ja kohdistus sovittuun tahtiaikaan
- Tuotteiden ja materiaalien toimituksien jakaminen tahtiaikaan
- Tahtiaikataulun viimeistely. (LCI FIN 2015; Lehtovaara ym. 2019, 9–10.)
- Toiminnan jatkuva kehittäminen (Liker 2004.)

5.1.1 Tietojen kerääminen

Hankkeen tietojen keräämisessä oleellisimpina tapoina toimii määrälaskenta, massatalouden hallinta, resurssi- ja materiaalihankinnat sekä ajalliset tavoitteet. Hankkeen määrälaskennalla pyritään saamaan tieto koko hankeprosessin määristä massojen, materiaalien ja tuotteiden osalta. Näiden perusteella voidaan suunnitella hankkeen onnistumisen kannalta kriittisten hankintojen tilaamista heti, kun yritys on voittanut urakan itselleen. Tällaisia hankintoja ovat kustannuksiltaan suurien tai pitkän toimitusajan vievän yksittäisten komponenttien hankinnat. Hankintojen tarjouksien laittamiseen vaikuttavat myös vallitseva markkinatilanne, hankinnan tarpeellisuus ja toimitukseen liittyvä suunnittelemisen tarve. (Lindholm & Junnonen 2012, 16, 21, 35.)

Hankkeen ajalliseen suorittamiseen pystytään vaikuttamaan päätöksillä, kuten resurssien määrällä, osakokonaisuuksien pilkkomisella ja yhteensovittamisella sekä tehtävien ja vaiheiden sijaintipohjaisella suorittamisjärjestyksellä. Ajallisen hallinnan peruseräteenä on saavuttaa hankkeen ajalliset tavoitteet oikeaan aikaan. Tällaisia ajallisia tavoitteita hankkeessa ovat esimerkiksi rakennuttajan asettamat sakolliset välitavoitteet, urakoitsijan omat ajalliset tavoitteet sekä hankkeen lopullisen valmistumisen tavoitteet. (Lindholm & Junnonen 2012, 21, 42.) Etenkin tahtituotannon onnistumisen kannalta tietojen keräysvaiheessa kerätään mahdollisimman tarkkaa tietoa kaikilta hankkeeseen osallistuvilta henkilöiltä työmenetelmä-, työmenekki- ja resurssikohtaisiin ajallisiin saavutuksiin liittyen. Resurssikohtaista tietoa kerätään kokemuseräisesti arvioiden tai haastatteleamalla urakoitsijoita. Näissä tulee myös huomioida yksittäisten työvaiheiden ja -suoritusten monimuotoisuus sekä vaikeustaso, jotka vaikuttavat resurssikohtaisiin saavutuksiin. Tällaisissa tapauksissa työvoiman menekki ja saavutus määräytyvät henkilön taitotasojen mukaisesti. (Salminen & Talaskivi 2021, 152; Lehtovaara, ym. 2019, 9–10.)

5.1.2 Työvaihe- ja aluejaot

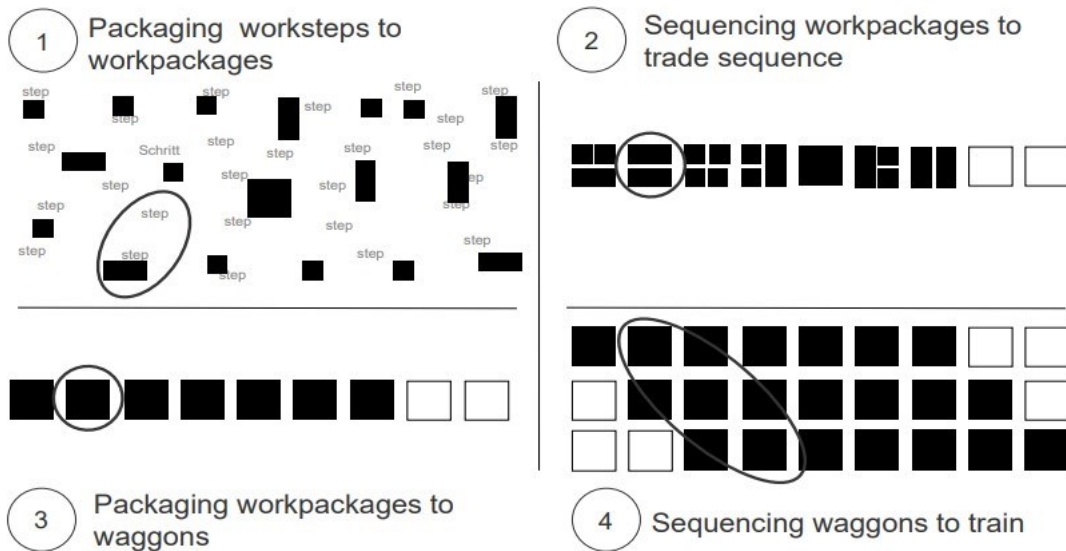
Työmaan jakaminen työvaiheisiin ja -alueisiin suoritetaan ajallisten tavoitteiden sekä työsuoritteiden perusteella. Vaiheet jaetaan työmaan suorittamiseen edellyttävään järjestykseen, esimerkiksi kerrostalotyömaalla yksi kerros vastaa yhtä vaihetta. Vaiheiden suunnittelussa tulee kuitenkin ottaa huomioon lohkojakojen toimivuus. Lohkojako suoritetaan jakamalla kukin työvaihe eli kerros pienemmiksi työalueiksi, esimerkkinä voisi olla vaikka yksittäinen asunto, kylpyhuone, sauna jne. (Salminen & Talaskivi 2021, 148–151; Lehtovaara ym. 2019, 8.) Maanrakennushankkeessa vaiheet voidaan määrittää jakamalla esimerkiksi katu osa-alueiksi, joiden sisältö koostuu samoista työsuoritteista alueiden sisäisesti. Lohkojako voidaan toteuttaa jakamalla sadan metrin pituinen katu tietyn pituisiin lohkoihin, jotka ovat arvioiden mukaisesti samanarvoisia ja haluttuun tahtiaikaan verrattuna toteutettavissa. Vaihe- ja lohkojaossa hyödynnetään laskennassa saatuja määriä ja kokemusperäisiä saavutuksia jakamisen helpottamiseksi (Salminen & Talaskivi 2019, 152). Hyvin suunniteltua ja tehtyä lohkojakoa ei tarvitse välttämättä jakaa uudelleen tehtäväpaketteja luodessa.

Yhden lohkon tahtiaikaa suunnitellessa kirjataan ylös kaikki lohkon tarvittavat työtehtävät, joita vaaditaan sen rakentamisessa alusta loppuun. Tämän jälkeen työsuoritteista karsitaan pois sellaiset työt, joita ei tahtiaikaan tarvitse tai voida soveltaa. (Salminen & Talaskivi 2021, 151). Niitä töitä, jotka eivät sovellu tahtiaikaan, voidaan käyttää myöhemmässä vaiheessa erinäisinä tavoitteina, joka pyritään saavuttamaan tiettyyn aikaan mennessä. Tällaisia töitä infrarakentamisessa voivat olla esimerkiksi yksittäisten kaivojen, valaisinpylväiden tai viimeisen päällysteen asennus.

5.1.3 Tehtäväpakettien ja tuotantojunien luominen

Määrälaskennasta saadut määrät eritellään sopivankokoisiksi työpaketeiksi ja niille määritetään tarpeelliset resurssit ja työryhmät. Työsuoritteiden kesto lasketaan työsaavutuksien ja -menekkien perusteella, esimerkiksi kuinka monta yksikköä tunnissa saavutetaan milläkin työryhmällä. Tulee kuitenkin muistaa, että työsaavutukset ja -menekit ovat työn tekijäkohtaisia, minkä vuoksi resurssit on saatava sidottua hankekohtaisesti. Tahtiaikaa joudutaan täten muokkaamaan resurssien vaihtuessa. Työsuoritteet kasataan työpanoksien avulla loogisiin työpaketteihin eli vaunuihin. Kasauksessa työpakettien lopullinen kesto tulee mahtua halutun tahtiajan sisään. (Salminen & Talaskivi 2021, 151–152.) Työpaketit sisältävät usein eri ammattialojen työsuoritteita, jotka jäävät yksin

ajallisesti lyhyiksi. Lopuksi työpaketit kootaan vaunuiksi ja niistä muodostetaan tuotantojuna. (Ks. kuvio 10.) (Dlouhy, Binninger, Oprach & Haghsheno 2018, 1369; Salminen & Talaskivi. 2021, 152.)



Kuvio 10. työpaketit ja rinnakkaissekvensointi (Dlouhy ym. 2018, 1369)

5.1.4 Tahdin ja tahtiaikataulun määrittäminen

Työpakettien eli vaunujen kasaamisen jälkeen määritetään hankkeelle tahtiaika. Tahti määräytyy pisimpään kestävästä vaunusta mukaisesti. Tahtiajan pituus voi olla tuntien, päivien tai viikon mittainen. Rakentamisessa viikon mittainen tahti maailmalla on yleinen, mutta Suomessa pyritään saavuttamaan yhden päivän tahti (Mölsä 2019). Hankkeen tahtiaika kuvaa aikaa, minkä jokainen vaunu käyttää rakentamisen alusta loppuun (Heinonen & Seppänen 2016, 25). Vaunujen siirtymisen lineaarisesti kohti seuraavaa lohkoa ilman odottamista edellyttää kaikkien vaunujen ajallisen keston yhtenevyyttä.

Tahtiaikataulun laadinnassa vaaka-akseli kuvaa yhden lohkon työt tahtiajassa. Pystyakseli kuvaa yhden tahtiajan kuluessa suoritettavia työpaketteja. (Dlouhy ym. 2018, 1368.) Työpaketit on värikoodattu työpakettien mukaisesti siten, että yksi väri on samaa työpakettia. Vaunuruudun sisään

on myös merkattu se, missä työvaiheessa se sijaitsee sekä mikä resurssiryhmä työpakettia suorittaa. Kuviossa 11. on esitetty esimerkki tahtiaikataulun laadinnasta. Punainen viiva pystyakselilla kertoo, missä päivässä ja tahdissa ollaan.

Viikko / Vuosi	10 / 2022					11 / 2022			
Päivämäärä	7.3.	8.3.	9.3.	10.3.	11.3.	14.3.	15.3.	16.3.	17.3.
Viikonpäivä	ma	ti	ke	to	pe	ma	ti	ke	to
Tahtialka	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lohko 1	Vaunu 1 V1.1 [1] R1 (1)	Vaunu 2 V1.2 [2] R2 (1)	Vaunu 3 V1.3 [3] R3 (1)	Vaunu 4 V1.4 [4] R4 (1)	Vaunu 5 V1.5 [5] R5 (1)				
Lohko 2		Vaunu 1 V1.1 [1] R1 (1)	Vaunu 2 V1.2 [2] R2 (1)	Vaunu 3 V1.3 [3] R3 (1)	Vaunu 4 V1.4 [4] R4 (1)	Vaunu 5 V1.5 [5] R5 (1)			
Lohko 3			Vaunu 1 V1.1 [1] R1 (1)	Vaunu 2 V1.2 [2] R2 (1)	Vaunu 3 V1.3 [3] R3 (1)	Vaunu 4 V1.4 [4] R4 (1)	Vaunu 5 V1.5 [5] R5 (1)		
Lohko 4				Vaunu 1 V1.1 [1] R1 (1)	Vaunu 2 V1.2 [2] R2 (1)	Vaunu 3 V1.3 [3] R3 (1)	Vaunu 4 V1.4 [4] R4 (1)	Vaunu 5 V1.5 [5] R5 (1)	
Lohko 5					Vaunu 1 V1.1 [1] R1 (1)	Vaunu 2 V1.2 [2] R2 (1)	Vaunu 3 V1.3 [3] R3 (1)	Vaunu 4 V1.4 [4] R4 (1)	Vaunu 5 V1.5 [5] R5 (1)

Kuvio 11. Esimerkki tahtiaikataulun esitystavasta (Virtanen 2020)

Tahtituotanto sisältää puskureita, mutta perinteisiin menetelmiin nähden puskurit ovat kaikkien ymmärrettävissä (Mölsä 2019a). Tahtituotantomenetelmässä aikapuskureiden käyttöä ei suositella ja sitä hyödynnetään vain, kun tarve muuttuu todelliseksi. (Mölsä 2019a; Lehtovaara ym. 2019, 8.) Lehtovaaran ym. (2019, 8) mukaan puskurointi sijoitetaan vaunun sisään siten, että työpaketti saadaan valmiiksi 85–90 % vaunulle annetusta ajasta ja ylijäävä osa hyödynnetään puskurina tai tuotannon kehittämisenä. Sen sijaan Frandson ym. (2015, 7) tutkimuksessa vaunujen sisäiset puskurivaraukset ovat 20–30 % välillä.

5.2 Tahtituotannonohjaus

Perinteisessä tuotannonohjauksessa etenemisen seuranta toteutetaan viikkotasolla, jonka jälkeen tehtävät päivitetään ja eteneminen kirjataan prosentteina. Tahtituotannossa nopeiden työsuoritteiden vaihtelun vuoksi seuranta ja ohjausta ylläpidetään päivittäisjohtamisella, jotta aikataulu pysyy jäämättä päivääkään jälkeen suunnitellusta. Pidemmällä tahtiajalla vaunut alkavat sisältää paljon puskureita ja tuotanto alkaa muistuttamaan enemmän perinteisiä menetelmiä. (Salminen & Talaskivi 2021, 147). Tahtiaikatuotannon onnistumiselle tärkeäksi tekijäksi koetaan työntekijöiden motivointi. Työntekijöiden motivaatiota voidaan kasvattaa ottamalla heidät mukaan ongelmatilanteiden ratkaisemiseen. (Binninger, Dlouhy & Haghsheno 2017, 608–609.) Aikataulun visuaalinen ohjaus työmaalla nousee tärkeään rooliin poikkeamakohtien ratkaisemiseksi sekä taseisen virtauksen parantamiseksi (Liker 2004, 150–152). Tahtiajan ylläpitämiseksi työnjohdon on järjestettävä lyhyen aikavälin kontrollipalavereja, joissa kaikki työtä suorittavat osapuolet ovat mukana (Binninger ym. 2017, 609).

5.3 Tahtituotannon edellytyksiä ja mahdollisuuksia

Tahtituotannon soveltamista ei suositella työsuoritteiltaan liian kompleksisiin projekteihin. Työsuoritteiden tulisi toistua jokaisessa lohossa aina toinen toisensa perään. Toistoon perustuva tahtituotanto voi helposti vaihtelevilla ja kompleksisilla työsuoritteilla alkaa menettää menetelmällä haettuja hyötyjä. Jotta tuotantoa pystyttäisiin ylläpitämään, tarvitaan myös tarpeelliset resurssit ja työntekijät jokaiseen työpakettiin. Suurin osa tahtituotannon onnistumiseen lähtee kuitenkin inhimillisistä periaatteista, kuten tahdosta, valmiudesta ja osaamisesta. (Salminen & Talaskivi 2021, 148–149.)

Tahtituotannon implementointi onnistuu vain, mikäli valmistelut sitä varten on tehty kunnolla. Perinteiset aliurakoitsijasopimukset pelkästään kustannusmielessä on unohdettava. Työntekijöiden tuominen aloituspalaveriin työnjohdon lisäksi myötävaikuttaa työtä tekevien hahmottamiskykyä tulevista. Tärkeäksi nousee urakoitsijoiden välisien kumppanuus verkostojen luominen, joiden avulla tuotantomallia pystyttäisiin kehittämään hankkeesta toiseen yhdessä. (Salminen & Talaskivi 2021, 153.)

Tahtiaikatuotannolla aikataulu on selkeä ja ymmärrettävä niin työnjohdon kuin työntekijöiden kesken. Aikataulun periaatteena on kertoa työnjohdolle sekä työntekijöille tarkalleen mitä työtä tulisi tehdä ja missä paikassa sitä suoritetaan. Tämän avulla myös työnjohtajien työmäärä vähenee tuotannonohjauksen osalta (Lättilä 2021). Hyvin suunniteltu ja toteutettu tahtiaika parantaa hankkeiden sujuvuutta ja vähentää työntekijöiden stressiä (Lättilä 2021). Lehtovaara ym. (2019, 37) mukaan esimerkiksi Kalifornian työmaihin sovelletun tahtituotannon koettiin tuovan hyötyjä tuotannon tasaisuuteen, ennakoitavuuteen, aikataulusuunnitelmissa yhteistyön lisääntymiseen ja läpinäkyvyyteen.

6 Tahtituotannon soveltaminen pilottihankkeeseen

Työn tässä vaiheessa käydään läpi Oteran Oy:n Yliopistonkadun saneeraushankkeeseen sovellettua tahtituotantoa sen aikatalutusmenetelmänä sekä tutkitaan tahtiaikasuunnittelun soveltuvuutta infrahankkeen tuotannonsuunnittelussa. Tutkimuksen kohteena oli kadun ja kunnallistekniikan saneeraushanke, joka toimii tahtituotannon niin kutsuttuna pilottihankkeena. Hankkeessa käytettiin Oteran Oy:n tekemää Excel-pohjaista toteutusmallia. Toteutusmalli toimi tahtiaikasuunnittelun alustana sekä tulostettuna visuaalisena aikatauluna tahtituotannonohjaamisessa.

6.1 Infrahankkeen lähtökohdat

Infrarakentaminen eli infrastruktuuri tarkoittaa yhteiskunnan toiminnan, tuotannon ja taloudellisen kehittymisen kannalta vaadittavaa rakentamista. Infran palvelut koostuvat tie-, rautatie-, lento-, energia- ja tietoliikenneverkkojen rakentamisesta ja kunnossapidosta. Infrarakentaminen painottuu useimmiten maa-, vesi- ja kalliorakentamiseen, mutta hankkeet sisältävät myös usein rakennuksien ja rakenteiden sekä sähkö- ja tietoliikenneverkostojen rakentamista. Infrahankkeet ovat täten usein kompleksisia, suuria, pitkäväteisiä ja arvokkaita. Hankkeiden synty tapahtuu julkisen sektorin tarpeesta infrastruktuurin luontiin, korjaukseen, uudistamiseen tai kunnossapitämiseen ja niiden rahoitus toteutetaan julkisilla varoilla. (Lindholm & Junnonen 2012, 7.)

Infrahankkeessa keskeisesti hallittavia osa-alueita ovat:

- Aikataulu
- Kustannukset

- Laatu
- Viestintä
- Riskit ja työturvallisuus
- hankinnat

(Lindholm & Junnonen 2012, 9.)

6.2 Pilottihankkeen erityispiirteet

Tutkimukseen pilotoitu hanke piti sisällään vanhojen tierakenteiden purkamista, maansiirtoa, kunnallistekniikan saneerausta, valaistuksen uusimista ja uuden tierakenteen rakentamista. Hankkeen ajalliseen etenemiseen vaikuttivat oleellisesti sijainti, vanhat kunnallistekniset rakenteet sekä ahtaat työskentelytilat. Työmaa-alue sijaitti vilkkaasti liikennöidyllä katualueella, joka sisälsi niin raskasta- kuin kevyttä liikennettä, mikä edellytti erityisen varovaista työskentelyä ja työn yhteensovittamista hankkeen ulkopuolisten henkilöiden kanssa. Työmaa-alueen välittömässä läheisyydessä sijaitti myös kiinteistöjä, jotka sisälsivät liike- ja asuintiloja. Kiinteistöjen sisäpihoilla sijaittivat myös asukkaiden ja yritysten parkkialueet. Kiinteistöjen sisäänkäynnit olivat työmaa-alueeksi määritetyn kadun puolella ja sisäpihoilla oleville parkkialueille kuljettiin kadunpuoleisista porttikongeista. Tästä johtuen työmaa-alueeksi määriteltyä katua ei voitu rakentaa samanaikaisesti ja työt oli rytmittävä niin, että ulkopuolisille aiheutuvat haitat voitiin minimoida sekä esteetön kulku kiinteistöille voitiin järjestää. Työn aikana jouduttiin myös käyttämään ajoramppeja esteettömän kulkemisen takaamiseksi.

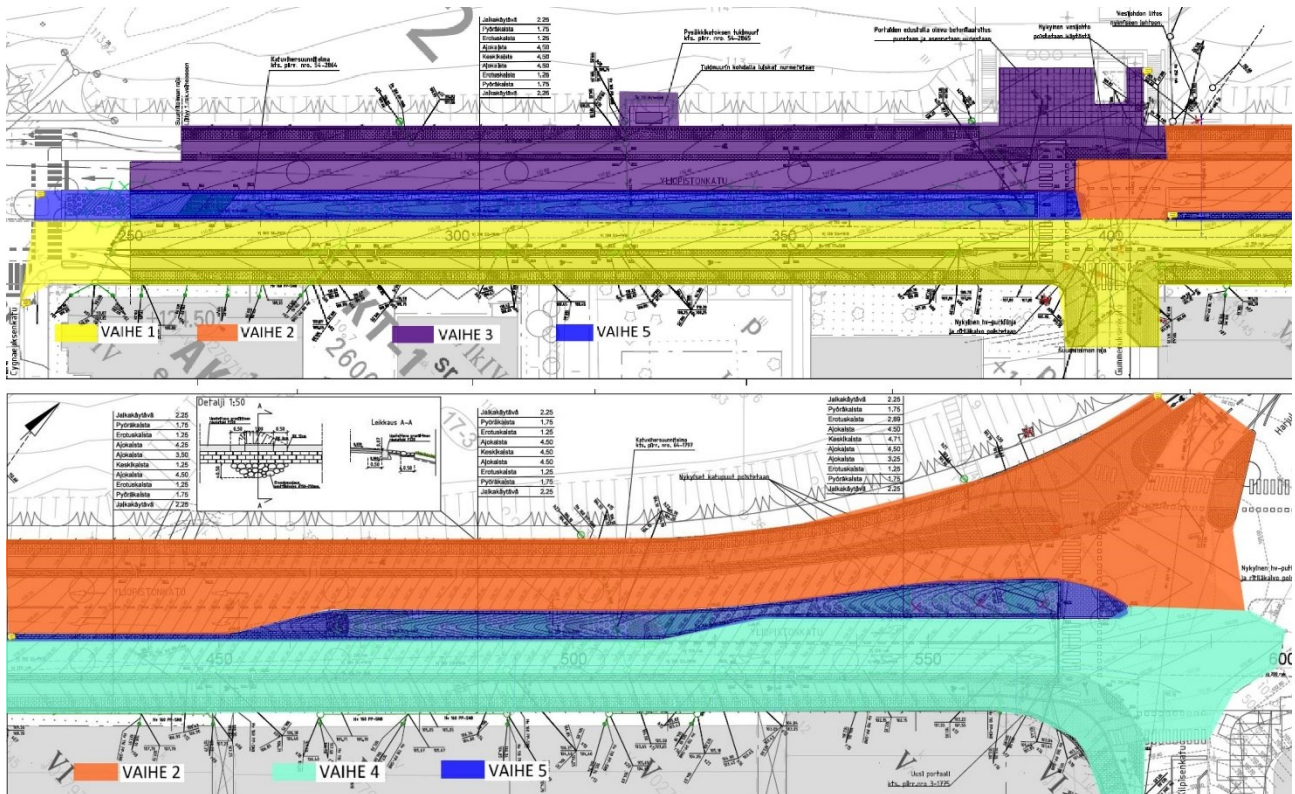
Tarkalle aikataulusuunnittelulle riskejä lisäsivät erityisesti urakan sisältämät vesijohto- ja hulevesityöt. Vanhan vesijohdon viereen kaivaminen lisäsi riskiä vesikatkoille ja -vahingoille. Rakennetulla kaupunkialueella kadut sisältävät paljon vanhoja rakenteita ja kunnallistekniikkaa, eikä niiden sijainnista ollut mahdollista saada tarkkaa tietoa. Siksi aikataulusuunnittelussa täytyi huomioida näistä syntyvät epävarmuudet tuotannon etenemiseen. Lisäksi tuotannonsuunnittelussa ajojärjestelyjen muutokset vaikuttivat oleellisesti työn vaiheistuksen suunnitteluun. Kyseiselle kadulle ei myönnetty lupaa järjestää työnaikaista kiertotietä, joten liikenteen sujuvuutta piti ylläpitää vaihtuvilla ja hyväksyttävillä liikenteenohjaussuunnitelmissa. Liikenteenohjauksen ja keskusta-alueella

työskentelyn takia työmaa-alue, jolla työskenneltiin samanaikaisesti, jouduttiin pitämään mahdollisimman pienenä. Alueiden jakaminen liian pieniin osa-alueihin aiheutti kuitenkin työturvallisuusriskin työkoneiden läheisyydessä toimimisen vuoksi.

6.3 Tahtiaikasuunnittelun toteutuminen pilottihankkeessa

6.3.1 Työmaan jakaminen vaiheisiin

Hankkeen pilotointi tahtituotantoon alkoi työmaan ollessa jo käynnissä, minkä takia työmaan jakaminen vaiheisiin oltiin suoritettu ennen tahtituotannon soveltamisen aloittamista. Vaiheiden jakamiseen ei voitu enää vaikuttaa tahtituotannon alkaessa. Suunnitteluvaiheessa hankkeen vaiheistukseen sekä niiden kokoon vaikuttivat tilaajan antamat rahalliset kannustimet, esimerkiksi mikäli työmaa-alueen pinta-ala pysyisi alle 5000 neliömetrissä. Kannustimien sekä työn toteuttamisen kannalta pakollisten sijoitteluiden takia työmaa-alue päätettiin jakaa viiteen vaiheeseen. Näistä jokainen oli työsuoritteiltaan osittain vaihteleva, mutta vaihekohtaiset työsuoritteet pysyivät kuitenkin suurimmalta osin samoina. Hankkeen viidestä eri vaiheesta tahtituotantoa sovellettiin kolmeen vaiheeseen (vaiheisiin kaksi, kolme ja neljä). Työmaan ensimmäinen vaihe oli tahtituotannonsuunnittelun alkaessa jo valmistumassa, jonka takia se toteutettiin alusta loppuun perinteisellä aikataulusmenetelmällä. Viidennen vaiheen soveltamista tahtituotantoon harkittiin, mutta se todettiin lopulta suoritettavaksi myös perinteisellä aikataulusmenetelmällä työsuoritteiden epäsäännöllisyyden, resurssien epävarmuuden, tilanpuutteen sekä hankalien lohkojakojen takia. Rakentamiselle haastavan sijainnin vuoksi vaiheiden suorittamisjärjestys oli tärkeässä roolissa, jotta liikenteen sujuvuus rakennusvaiheessa olevien vaiheiden aikana pystyttiin takaamaan. Alla olevassa kuviossa 12 esitetään pilottihankkeen vaiheiden jakautuminen.

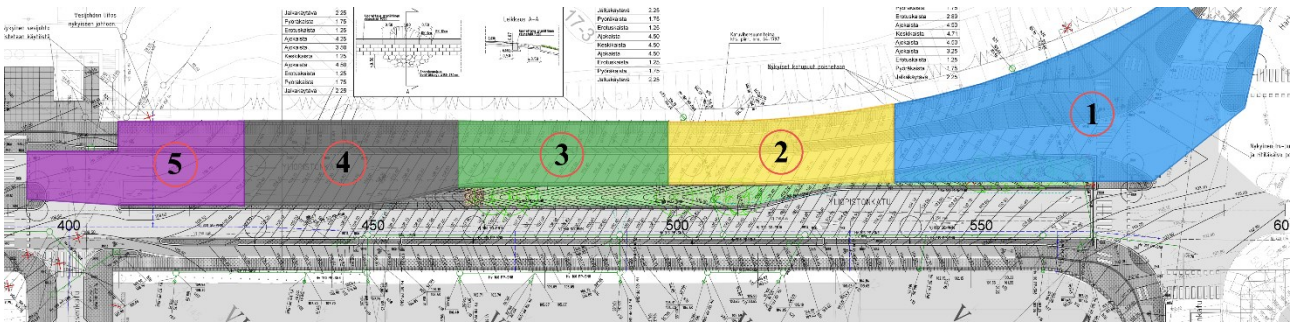


Kuvio 12. Työmaan vaihejako ja suorittamisjärjestys (Yliopistonkadun saneeraus 2020).

6.3.2 Vaiheiden jakaminen lohkoihin

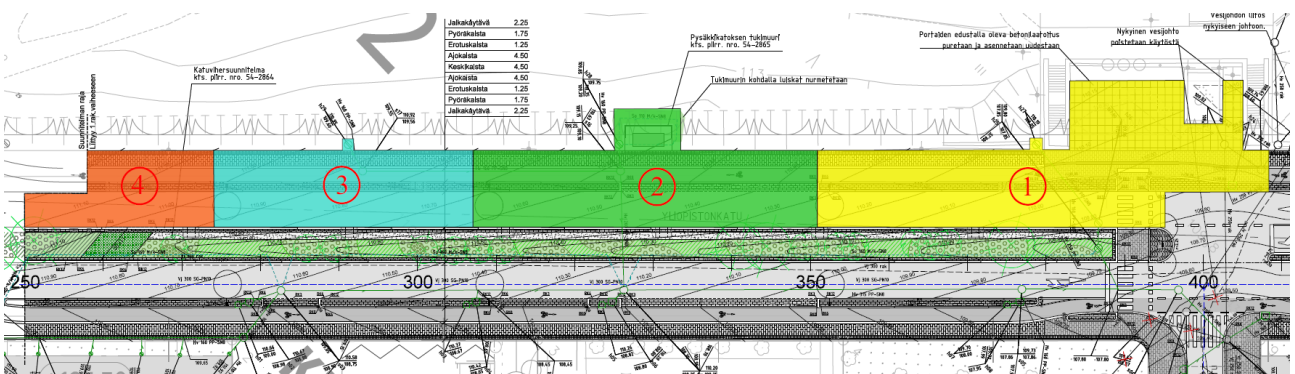
Lohkot jaettiin alustavasti vaiheiden sisältämän työsisällön ja -määrän perusteella sopivan kokoisiksi. Lohkojakojen määrittämisessä hyödynnettiin aluksi kokemuseräistä tietoa ja arviointia työsuoritteisiin kuluva ajasta. Työmäärien ja -suoritteiden vaihtelun takia jokaisen vaiheen lohkojaot tehtiin erikseen.

Vaiheista kaksi oli ensimmäinen vaihe, johon tahtiainaa sovellettiin Yliopistonkadun saneeraus-hankkeessa. Tahtituotannon soveltamisen alkaessa tähän vaiheeseen tietoa tahtituotannon soveltamisesta infrarakentamisesta oli vain vähän, sekin aiemmasta hankkeesta. Tämän vaiheen työsuoritteet koostuivat pääosin maanleikkauksesta, putkituksesta ja kaapeloinnista, rakennekerroksista, kivitöistä sekä muutamista hulevesiputkituksista. Lohkojako määräytyi vaiheesta siten, että lohkot jaettiin valaisintolppien väleihin. Lohkot olivat tällä tavoin helpommin hahmotettavissa ja konetyötä tekevät resurssit pystyivät seuraamaan työalueen rajaa koneohjausmallilla. Kuviossa 13 on esitetty lohkojako vaiheessa kaksi.



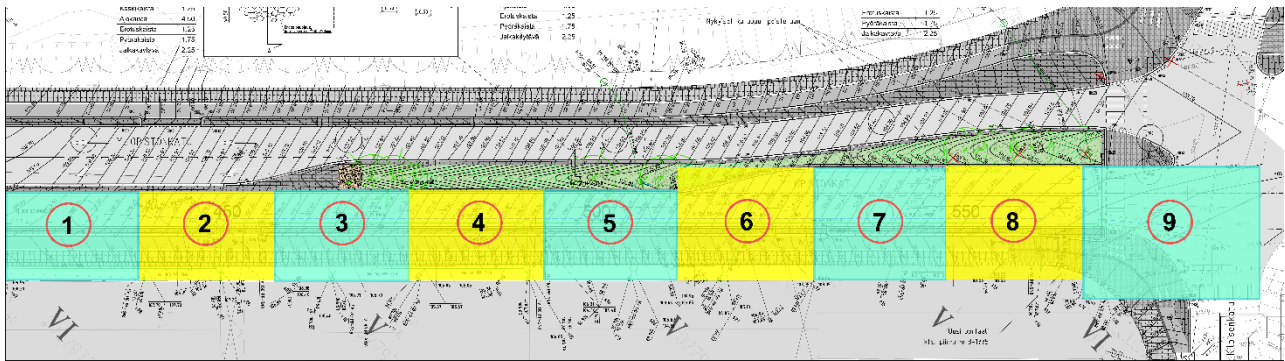
Kuvio 13. Vaiheen kaksi alustava lohkojako (Yliopistonkadun saneeraus 2020).

Vaihe kolme oli laajuudeltaan sekä työsuoritteiltaan samanlainen kuin vaihe kaksi. Tämän vuoksi lohkojen koko säilytettiin yhteneväisenä ja lohkorajojen määrittämiseen pystyttiin hyödyntämään samaa valaisinpylväs-jakomenetelmää. Vaihe kolme koostui neljästä työmääriltään melkein samankokoisesta lohkoista. Kuviossa 14 on esitetty kolmannen vaiheen lohkojaon toteutuminen.



Kuvio 14. Vaiheen kolme lohkojako (Yliopistonkadun saneeraus 2020).

Neljännessä vaiheessa lohkojen koko pieneni huomattavasti edellisiin vaiheisiin verrattuna työmäärien kasvettua huomattavasti sekä työn luonteen muututtua kompleksikkaaksi. Työmäärien kasvettua työpakettien oletetut ajalliset kestot olivat huomattavasti pidempiä kuin aiemmissa vaiheissa. Vaiheen neljä lohkot sisälsivät edellisten vaiheiden kadun rakentamisen lisäksi uuden runkovesijohdon rakentamista, kiinteistöjen vesijohtoliittymien saneerausta sekä hulevesikaivojen asennuksia. Näistä kaikkia pyrittiin soveltamaan neljännen vaiheen tahtiin. Alla olevassa kuviossa 15 on esitetty neljännen vaiheen lohkojako. Numeroinnilla kuvataan aina yhtä työaluetta eli lohkoa.



Kuvio 15. Vaiheen neljä lohkojako (Yliopistonkadun saneeraus 2020).

Neljännän vaiheen työmäärät ja suoritteisiin kuluvat ajat olivat todella suuria. Palaverissa ilmeni nopeasti ongelmia lohkojaossa: lohkot olivat liian pieniä. Etenkin konetyötä tekeville työntekijöille ahtaat tilat alkoivat aiheuttamaan työturvallisuusriskejä.

6.4 Tahtiaikataulun luominen ja toteutus

Tässä työssä tahtiajan, työpakettien ja tuotantojunien luomisessa hyödynnettiin projektista hankittuja tietoja, kuten laskettuja määriä, työmaan vaiheistusta, alustavaa lohkojakoa, ajallisia tavoitteita ja käytettävissä olevia resursseja. Työn tahdistamiseksi vaiheiden sisältämät työt eriteltiin yksittäisiksi työsuoritteiksi. Työsuoritteita infrarakentamisen puolella voivat olla esimerkiksi maaleikkaustyöt, kivityöt, putkitustyöt jne. Resurssisaavutuksien selvittämisessä käytettiin ohjeistuksen mukaisesti aliurakoitsijoiden työnjohtajien haastatteluja, joiden lisäksi osa saavutuksista pystyttiin arvioimaan kokemuseräisesti. Koska työmaan resurssit olivat määritelty ennen tahti-tuotannon soveltamiseen ryhtymistä, työpaketit ja niiden laajuus muodostuivat käytössä olevien resurssien mukaisesti. Tämä tarkoitti myös tahtiajan tasaamista muilla keinoilla kuin resursseja lisäämällä tai poistamalla. Tahdin tasaamiseen pystyttiin vaikuttamaan lohkojakojen tai työpakettien laajuuden muutoksilla.

Tahtiaikasuunnittelussa tahdin määrittäminen vaatii toteutusmallipohjan, johon saadaan kirjattua tarvittavat tiedot. Tässä työssä käytettiin aiemmin mainittua Oteran Oy:n kehittämää Excel-toteutusmallipohjaa. (Ks. kuvio 15.) Jokaiselle vaiheelle tehtiin oma tahtiaikataulu, koska vaiheiden suorittaminen toteutui järjestyksessä edellisen vaiheen valmistuttua. Aikataulun luominen alkaa lisäämällä kaikki arvioidut työsuoritteet suorittamisjärjestyksessä aikataulupohjaan (Salminen &

tahtiaikojen toteutumista tahtipalavereiden avulla. Tahtiajan ja tavoitteiden toteutumista seurattiin lisäksi päivittäin työmaalla. Päivittäisjohtamisessa työntekijöitä pyrittiin informoimaan säännöllisesti tahtiajan muutoksista kontrollipalavereilla. Vaihekohtaiset tahtiaikataulut on esitetty liitteessä 2.

Vaiheessa kaksi tavoitteena oli luoda tahtiaikataulu, joka olisi toteutettavissa aliurakoitsijoiden työsaavutusten mukaisesti kestoiltaan yhden päivän vaunujen avulla. Työn eteneminen tahtiajassa toteutui aluksi yllättävän hyvin ja tahtiaikataulu pysyi suunnitellussa linjassa. Muutoksia alkoi kuitenkin tulla seuraavissa tahtiaikapalavereiden yhteenvedoissa. Suurimmaksi haasteeksi tahdin ylläpitämisessä nousi suunniteltujen resurssien määrien muutokset. Työntekijöiden puuttuminen työmaalta aiheutti tahtiaikataulun putoamista pois suunnitellusta tahtiajasta. Selvityksissä resurssien puuttuminen ja vaihtuminen kerrottiin johtuvan aliurakoitsijan muiden työmaiden valmiiksi saattamisesta. Lisäksi Covid-19-pandemia aiheutti työntekijöiden puuttumista sairastapauksien vuoksi. Pandemia aiheutti myös viivästyksiä ulkomailta tulevan materiaalin saatavuuteen ja toimituksiin. Ulkomailta tilattujen reunakivien asennustöitä jouduttiin siirtämään usealla viikolla. Epävarmuuksien ja resurssipuutosten vuoksi työsuoritteiden ajalliset kestot oli aliarvioitu. Tästä ja muista ongelmista huolimatta vaiheen valmistuminen saatiin lähelle suunniteltua tavoitetta.

Vaiheen kolme tahtiaika saatiin toimivammaksi vaiheessa kaksi ilmenneiden ongelmakohtien avulla. Vaunukohtaisia puskureita lisättiin resurssiepävarmuuksien vuoksi. Tuotannon edetessä puskurivarausten koko oli kuitenkin liian suuri ja tuotanto eteni määriteltyä tahtia nopeammin. Tahtiajan tasaamiseksi lohkojako jaettiin puoliksi tuotannon ollessa jo käynnissä. Tämän todettiin parantavan suunnitellun tahdin saavuttamista.

Vaiheessa neljä tahtiajan toteutumiseen suhtauduttiin skeptisesti, koska vaiheen suorittaminen sijoittui osittain talveen. Lisäksi haasteita toi kiinteistöjen läheisyys ja kolmansien osapuolien huomiointi. Lopulta lohkojako puolitettiin siten, että kiinteistöjen viereinen osuus suoritettiin omina työalueina. Talven tultua neljännen vaiheen tahtiaika muuttui tarpeettomaksi, koska talven aikana työtä oli suorittamassa vain yksi työryhmä. Alun tahtituotannon soveltamisella saatiin kuitenkin etua läpimenoaikaan.

6.6 Työryhmän haastattelut

Tahtituotannon soveltamisessa työryhmän merkitys kasvoi suuresti, kun useamman henkilön näkemyksiä voitiin hyödyntää. Tämän tutkimuksen haastatteluja tehtiin useassa vaiheessa. Ensimmäiset haastattelut sijoittuvat tahtituotannon käyttöä edeltävään aikaan. Seuraavat tehtiin tahtituotannon ollessa käynnissä ja sen loppuvaiheissa. Haastattelut suoritettiin tahtiaikapalaverien yhteydessä ja niihin käytettiin kerrallaan aikaa n. 15–45 minuuttia. Haastattelutapa mukaili teemahaastattelua. Teemahaastattelun piirteisiin kuuluu vapaa keskustelunomainen tilanne, jossa ennalta suunnitellut teemat käydään läpi vapaassa järjestyksessä (Saarinnan-Kauppinen & Puusniekka 2006). Haastattelutuloksiin on lisätty myös tahtiaikapalavereissa tulleita huomioita saman työryhmän osalta. Haastattelukysymyksiä on listattuna liitteessä 1.

Haastateltava:	Työnkuva (titteli):	Työkokemus alalta:
Haastateltava 1.	Työmaapäällikkö	7 vuotta
Haastateltava 2.	Talousjohtaja	35 vuotta
Haastateltava 3.	Työpäällikkö	39 vuotta

Käytössä olevien aikataulumenetelmien toimivuus ja haasteet

Hankkeiden toteuttaminen yleisaikatauluna käytetyllä jana-aikataulumenetelmällä on helppoa ja tuotanto pysyy puskuroitujen työpakettien avulla kuitenkin aikataulussa. Haastateltavien mielestä aikataulu sisältää kuitenkin liian paljon väljyyttä, joka laskee hankkeiden potentiaalista tuottavuutta. Haastateltavat toivat esille, että projektinjohtokonseptiin perustuvassa yrityksessä työmaapäälliköiden aikaa vie jo pelkästään sen selvittäminen, missä vaiheessa työmaa etenee ja mitä tulisi seuraavaksi tehdä. Jana-aikataulumenetelmällä myös hankkeen ennakoitavuus on ollut heikkoa.

Toisena menetelmänä ja paljon positiivista palautetta haastatteluissa sekä yrityksen sisäisesti on saanut viime vuosina käyttöön otettu LPS-menetelmä. Sen avulla ennakoitavuus on parantunut huomattavasti. Kuitenkin suunnittelutaso jää helposti heikoksi ja aikataulut tehdään muutamassa päivässä, ellei tunneissa. Nopeiden ratkaisujen vuoksi tehtäviä joudutaan siirtelemään melkein päivittäin. Kuitenkin infrahankkeiden epävarmuuksien ollessa melkein päivittäisiä on LPS-menetelmä haastattelujen ja palaverien perusteella todettu toimivaksi ja tuottavaksi. Menetelmän avulla työntekijöiden ymmärtäminen ja hahmottaminen aikataulusta on kehittynyt paljon.

Tahtituotannon hyödyt ja haitat

Haastateltujen mielestä nykyisien aikataulumenetelmien rinnalle tarvitaan uutta menetelmää, jonka avulla hankkeiden tuotannonohjausta ja ennakoitavuutta voitaisiin parantaa. Tahtituotanto koettiin mahdolliseksi ratkaisuksi tähän. Haastatteluissa ilmeni tarkemman suunnittelun tarvetta varsinkin työmaiden sujuvuuden ja aikataulun selkeyden kohentamiseksi. Hankkeiden tarjoamista ja läpivientiä helpottaisi tietoisuus materiaali- ja resurssihankintojen tärkeydestä ja tarpeellisuudesta riittävän ajoissa. Myös työmaan yleisen tilannekuvan hahmottamista halutaan selvästi parantaa.

Uudella menetelmällä halutaan tavoitella vahvasti tuottavuuden kasvua ja läpimenoaikojen nopeutumista tulevaisuudessa. Haastateltavien mukaan tuotannon suunnittelu tahtituotannolla on huomattavasti työläämpää verrattuna aiempiin, perinteisiin toimintamalleihin. Tahtituotanto voi kuitenkin mahdollistaa asetettujen tavoitteiden saavuttamisen paremmin. Lisäksi haastatteluissa tuotiin esille, että tahtituotannon ja tarkan työn avulla on mahdollista myös ennakoida resurssoin- teja ja hankintoja sekä infrahankkeissa usein vaadittavia esteettömiä kulkureittejä taajama-alueilla.

Infrahankkeissa tahtituotanto ei lisää suoraan yritystason kilpailuvalttia, mutta haastateltavien käymät keskustelut tilaajien kanssa menetelmän osaamisesta ovat olleet positiivisia. Haastateltavien mukaan yhä useampi julkisen sektorin tilaaja ilmaisee halukkuutta soveltaa hankkeiden aikataulutusta tahtituotannolla.

Kaiken kaikkiaan tahtituotannon soveltamisen aikana palavereissa ja haastatteluissa suurin osa ajatteli menetelmän soveltamisesta infrahankkeeseen positiivisesti, mutta osalla ongelmien ilmetessä meinasi loppua usko sen toimivuuteen.

7 Tulokset ja johtopäätökset

7.1 Läpimenoaika ja tuottavuus

Tutkimuksen alkaessa tahtituotannon soveltamisesta saatavia hyötyjä ei vielä pidetty realistisina, koska kyseinen pilottihanke oli yrityskohtaisesti vasta toinen kohde maanrakentamisessa sekä ensimmäinen kunnallistekniikkaa sisältävä kokonaisuus. Tahtituotannon käynnistyttyä viikoittaisissa tahtiaikapalavereissa huomattiin hyvin nopeasti osa-alueita ja rajoittavia tekijöitä, jotka vaativat toimenpiteitä tahtituotannon toimivuuden takaamiseksi. Koska pilottihankkeen tavoitteena oli selvittää, mikä infrahankkeessa toimii ja mikä ei, päätettiin kokeilla kaikkea mahdollista. Vaikkeivat kaikki ratkaisut olleetkaan käyttökelpoisia, saatua tietoa pystytään hyödyntämään seuraavissa hankkeissa. Aivan kuten muillakin yrityksillä, jotka ovat soveltaneet tahtituotantoa, sen toimivuuden aikaansaaminen vaatii useiden vuosien yrityskohtaista kehitystyötä. Tämä pilottihankkeen avulla yrityskohtaista tietoa tahtituotannon soveltuvuudesta saatiin kerättyä hyvin seuraavia hankkeita varten ja ensimmäisiä konseptointeja on jo suunniteltu.

Tutkimuksessa etsittiin keinoja läpimenoaikojen ja tuottavuuden parantumiseksi tahtituotantoa soveltamalla. Tutkimuksen perusteella tahtituotannon edellytysten täytyessä infrahankkeen läpimenoaikojen parantamiseen ei näy estettä, vaikka hyötyjä ei osattu odottaa vielä tässä hankkeessa. Tahtiaikasunnittelua hyödyntäen sovellettujen vaiheiden läpimenoaikoja pystyttiin kuitenkin jo pilottihankkeessa nopeuttamaan keskimäärin n. 29 % alkuperäisestä aikataulusta. Positiivinen tulos läpimenoajoissa aiheutuu osittain myös yleisaikataulun väljyydestä ja suurien työpakettien puskurivarauksista. Tuottavuuden osalta hyötyjen saaminen jäi vähäiseksi, koska alirakoitsijasopimukset oli tehty alkuperäisen suunnitelman mukaisesti kokonaishintaurakalla, jolloin läpimenoajalla ei ollut vaikutusta ostetun työn kustannuksiin. Mikäli alirakoitsijasopimukset toteutetaan jatkossa tahtituotannon eduksi, voidaan läpimenoajoilla saavuttaa merkittävää työkustannusten säästöä.

7.2 Havaitut esteet ja haasteet

Tahtituotannon soveltaminen on lähtöisin tehdasteollisuudesta, jossa tuotanto sijaitsee sisätiloissa. Myös talonrakentamisessa tahtituotantoa on yleisimmin sovellettu projektin sisätyövaiheisiin, jolloin sääolosuhteet eivät vaikutta tuotannon etenemiseen. Tästä syystä tahtiaikasunnittelussa säiden vaikutusta ei tarvitse ottaa huomioon. Infrarakentamisessa ollaan kuitenkin päivittäin sääolosuhteiden varassa ja muutokset voivat pahimmillaan hallita töiden etenemistä. Näin ollen sääolosuhteista riippuvat työsuoritteet alkavat tuottamaan tahtiaikaan viivästyksiä ja ongelmia. Aikataulun tahdissa pysymisen kannalta kannattaa harkita sääoloille alttiiden työsuoritteiden soveltamista tahtiaikaan. Eniten tahtiaikaan vaikuttavia säätiloja pilottihankkeessa olivat vesi- ja lumisateet sekä pakkanen. Ne hidastivat töiden kulkua ja esimerkiksi vesisade esti kivitöiden tekemistä.

Tahtituotannon vaihe- ja lohkojakoiksi valikoituu rakennusosalalla usein luonnolliset ja selkeästi erotuvat alueet (Salminen ym. 2021, 151). Infrahankkeissa tällaisia selkeitä lohkojakoja tulee vastaan hyvin harvoin, jos ollenkaan. Vaikka katu jaettaisiin samankokoisiin osa-alueisiin, mikään ei käytännössä estäisi työn etenemistä vahingossa seuraavalle alueelle väärään aikaan, mikäli lohkorajoja ei ole merkitty kunnolla. Myös pilottihankkeessa kohdattiin ongelmia lohkojaon kanssa, sillä lohkojaon merkitsemisen tärkeys ja selkeys huomattiin vasta myöhemmin. Infrahankkeissa lohkojen työt ovat myös usein epäsäännöllisiä, kun mukana on kunnallisteknisiä saneerauksia, joita voivat olla esimerkiksi yksittäisien kaivojen asennukset, vesijohtojen liitostyöt ja liikennevaloputkituksien asennukset.

Tahtiaikatuoannon suunnittelu ja valmistelu perinteisiin menetelmiin verrattuna on työläämpi ja vaatii paljon valmistelua. Tämän takia tahtituotannon käyttöön ottamista ei suositella työmaan ollessa jo käynnissä tai edes parin viikon päästä alkavaan hankkeeseen. (Salminen & Talaskivi 2021, 150.) Pilottihanketyömaan käynnistyminen ennen tahtituotannon soveltamista nosti ongelmat tämän suhteen esiin resurssien puuttuessa ja vaihtuessa päivittäin. Isoimpina ongelmina huomattiin olevan tahtituotannon toteuttamista edesauttavien aliurakoitsijasopimuksien puuttuminen.

Pilottihankkeessa tahtituotannon riskit kasvoivat suuremmiksi. Epävakaat ja -säännölliset työsuoritteet aiheuttivat tahtiajan horjumista. Työn ennakoitavuus oli heikkoa, kun kartoitustietoa van-

hojen rakenteiden ja tekniikan osalta ei ollut. Lisäksi tahtituotannon nopea luonne perinteisiin aikataulumenetelmiin tottuneille työntekijöille muodostui jonkinlaiseksi haasteeksi. Tahtituotantoon ryhtyminen ja aikataulun suunnitteluun työntekijöiden mukaan ottaminen tarkoittaa näihin asioihin liittyvien vanhojen rutiinien ja tottumusten sivuuttamista. Tahtituotantoon vaadittavan kulttuurin luominen työntekijätasolle ei onnistu infrahankkeissa samalla tavalla kuin tehdastuotannossa, koska vaihtuvat työmaat tuovat uusia aliurakoitsijoita ja kehittäminen alkaa täten alusta. Projektinjohtokonseptiin perustuvissa yrityksissä työvoima koostuu työnjohtajista, eikä omia työntekijöitä täten ole. Näin oli myös pilottihankkeessa.

7.3 Vaikutukset tuotannosuunnitteluun ja -ohjaukseen

Tahtiaikataulua verrattaessa aiempiin menetelmiin suurimmat muutokset olivat työpaketeissa. Pilottihankkeen yleis- eli jana-aikataulussa vaiheiden työt jakautuivat suuriin 3–7 kappaleen työpaketteihin, joiden keskimääräinen ajallinen kesto oli n. 38 työpäivää. Tahtiaikasuunnittelussa sen sijaan vaiheiden sisäisiä työsuoritteita ilmeni yhteensä 27–33 kappaletta, joista muodostettiin 15–20 työpakettia eli vaunua. Keskimääräinen ajallinen kesto oli nyt vain n. 3 työpäivää. Tästä voidaan päätellä, että suunnittelutarkkuus parantui huomattavasti jana-aikatauluun verrattuna. Työsuoritteiden määrän kasvaminen johtuu siitä, että tahtiaikasuunnittelussa prosessin kaikki pienemmätkin työsuoritteet huomioidaan.

Prosessin kaikkien työvaiheiden huomiointi lisäsi hankkeen ennustettavuutta ja aikataulujen pitävyyttä. Kuitenkaan kaikkia prosessin epäsäännöllisiä ja haastavia työsuoritteita ei olisi pitänyt tahdistaa. Epäsäännöllisten ja hankalien työsuoritteiden lisääminen tahtiaikaan tuotti tuotannon edessä viivästyksiä ja tahtiaikataulua jouduttiin siirtämään. Normaaliin tuotannosuunnitteluun verrattaessa tahtiaikasuunnittelu vaatii moninkertaista työpanosta, minkä vuoksi sovellettava kohde on valittava tarkasti, jotta hukkaan käytettävältä ajalta voitaisiin välttyä.

Tuotannonohjaus pilottihankkeessa oli heikkoa ja varsinaista tietoa sen toimivuudesta ei tämän hankkeen aikana saatu. Tuotannonohjauksen heikkoon tasoon vaikuttivat resurssien puute sekä niiden suuri vaihtuvuus. Lisäksi yrityksen yhteistyö aliurakoitsijan kanssa asian tiimoilta jäi vajaavaseksi.

8 Pohdinta

Tahtituotannon tuominen aikataulumenetelmäksi infrahakkeisiin vaatii paljon työtä. Monesti epäonnistumiset turhauttavat ja voivat johtaa luovuttamiseen ja aiempiin menetelmiin palaamiseen. Epäonnistumisia ei tulisi kuitenkaan pelätä, vaan niistä pitäisi oppia ja hyödyntää opittua jatkossa. Hankkeiden aikataulusuunnittelussa kannattaa kuitenkin yhdessä eri osapuolten kanssa miettiä, onko hanketta järkevää tahdistaa tiukkaan aikatauluun ja löydetäänkö siihen tarvittavat edellytykset. Tutkitussa pilottihankkeessa kompleksisten työsuoritteiden poistaminen tahtiaikataulusta olisi ollut eduksi tuotannon etenemiselle. Työn tahdistaminen kannattaisi keskittää työvaiheisiin, joiden toistoa yksittäiset työvaiheet eivät keskeyttäisi. Tällaisia työvaiheita voisi olla kadunsaneeraus- ja pintarakenteiden sekä kivitöiden rakentaminen. Tahtituotannon hyödyntämistä näissä vaiheissa voisi jatkossa tutkia enemmän. Jatkotutkimuksessa voitaisiin hyödyntää aiemman kokemuksen kautta saatua tietoa siitä, mitkä työsuoritteista ovat tarpeeksi vakaat ja ennakoitavissa.

Pilottihankkeessa huomattiin, että vaiheiden ja lohkojen kokoon tulisi kiinnittää enemmän huomiota työturvallisuuden näkökulmasta. Infrahankkeessa lohkojen näkyvyyttä tulisi parantaa niin, että ne olisivat selkeämmin huomattavissa ja toteutettavissa. Lohkorajojen näkyvyyttä voitaisiin parantaa etenkin konetyötä tekeville työntekijöille. Tahtiaikasuunnittelun yhteydessä koneohjauksmallien luominen lohko-kohtaisesti auttaisi työntekijää pysymään oikeassa paikassa oikeaan aikaan. Lohkorajat voitaisiin tuoda selkeämmin esille myös visuaalisesti merkkäamalla ne paremmin työmaalle.

Yksi isoimmista haasteista tahtituotannon soveltamisessa infrahankkeessa on sen ajattelemisen pelkästään yksittäisenä aikataulutuksen menetelmänä. Tahtituotannossa, kuten muissakin lean-menetelmissä yhteisen kulttuurin luominen ja yhteiset arvot nousevat isoimpaan rooliin (Liker 2014). Tämän kehittäminen jo pelkästään yritystasolla auttaisi parantamaan tahtituotannon hyödyntämistä. Se vaatii kuitenkin aikaa ja työpanosta koko yritykseltä. Haasteena erityisesti infrahankkeissa on kuitenkin myös aliurakoitsijoilta tulevien työntekijöiden perehdyttäminen lean-kulttuurin saloihin ja arvoihin. Kun yritystason ymmärrys kulttuurista ja käytettävästä menetelmästä saavutetaan, tuleekin seuraavaksi harkita eniten hankkeissa käytettyjen aliurakoitsijoiden tuomista voi-

makkaammin mukaan tahtiajansuunnitteluun ja -toteutukseen. Aliurakoitsijoiden merkitys tahtiajan etenemisen osalta on muutenkin todella suuri ja sopivien kannustinmenetelmien kehittämisen nousee tärkeään rooliin.

Infrahankkeen tahtiaikatuohtantoon logistiikan eli tuotteiden ja materiaalin tuominen työmaalle oikeaan aikaan (JIT, kts. luku 4.1) tuo vielä paljon haasteita sekä riskejä ahtaiden ja nopeatempoisten työmaiden vuoksi. Hankinnat toteutetaan pääosin tarjouksien mukaisesti, mutta massatalouden mukaan ottaminen voisi olla jo tulevina vuosina ajankohtainen. Massojen linjastomainen tuonti ja vienti parantaisi hankkeen ennakoitavuutta ja etenemistä huomattavasti.

Tarkempaa tahtiajan seuranta varten Oteran Oy:llä on kehitteillä sovellus, joka toimisi mobiililaitteella sekä tietokoneella. Applikaation avulla tahtituotannossa mukana olevat työntekijät saavat tiedon mikä työsuorite heillä on kunakin päivänä ennalta määrätty, sekä missä vaiheessa, lohossa ja mihin mennessä työ tulisi olla suoritettuna. Sovelluksen tulisi olla mahdollisimman yksinkertainen, jottei työntekijöiden aikaa kuluisi turhaan sen käyttämiseen. Kun sovellus saataisiin toimintaan, voitaisiin tahtiajan seuraamista suorittaa tarvittaessa etänä ja poikkeuksiin voitaisiin puuttua heti niiden syntyessä.

Lähteet

- Binnering, M., Dlouhy, J. & Haghsheno S. 2017. Technical Takt Planning and Takt Control in Construction. LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Walsh, K., Sacks, R., Brilakis, I. (eds.), Heraklion, Kreikka, s. 605–612. Viitattu: 14.3.2022. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/iglc-c9034a25-fd80-471c-90d3-c6c657b6d864.pdf>.
- Dlouhy, J., Binnering, M., Oprach, S. & Haghsheno, S. 2018. Mastering Complexity in Takt Planning and Takt Control - Using the Three Level Model to Increase Efficiency and Performance in Construction Projects. Proceedings (IGLC 26). Chennai, India. Viitattu: 15.3.2022. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-406f6c93-3f67-4799-87dd-9b2540f36f90.pdf>.
- Fransson, 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, s. 3-12. Viitattu: 30.3.2022. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-448134be-b487-41fb-bb81-411b17c5e851.pdf>.
- Koskenvesa, A. & Sahlstedt, S. 2017. Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. Ratu KI-6031. Ratu-kortisto. Rakennustieto. Viitattu: 4.5.2021. <https://janet.finna.fi/>.
- Lehtovaara, J., Seppänen, O., Heinonen, A., Tomunen, L., Kulta, I., Kujansuu, P. & Grönvall, M. 2019. Building 2030 – Tahti suunnittelussa ja tuotannossa loppuraportti. Aalto-yliopisto. Viitattu: 1.5.2021. https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-02/building_2030_tahti_suunnittelussa_ja_tuotannossa_loppuraportti_22.1.201.pdf.
- Liker, J. K., Convis, G. L. & Niemi, M. 2012. Toyotan tapa lean-johtamiseen. Helsinki: Readme.fi.
- Liker, J. K. 2004. Toyotan tapaan. Helsinki: Readme.fi.
- Lindholm, M. & Junnonen, J. 2012. Infrahankkeen tuotannonhallinta. Helsinki: Suomen Rakennusmedia.
- Lohilahti, O. & Mölsä, S. 2017. Rakennusalalla työn tuottavuus ei ole kasvanut 40 vuodessa. Rakennuslehti 4.9.2017. Viitattu: 1.4.2021. <https://www.rakennuslehti.fi/2017/09/rakennusalalla-tyon-tuottavuus-ei-ole-kasvanut-40-vuodessa-onko-allianssista-tai-leanista-apua/>.

Lättilä, H. 2021. Tahtituotannossa työnjohtaja nukkuu yönsä hyvin. Rakennuslehti 11.2.2021. Viitattu: 31.3.2022. <https://www.rakennuslehti.fi/2021/02/tahtituotannossa-tyonjohtaja-nukkuu-yonsa-hyvin-paine-ja-stressikin-haviaa-siina/>.

Mölsä, S. 2019a. Onko tahtituotanto työmaalle riski? – 25 mestarin kokemukset kertovat joustavuudesta ja laadun paranemisesta. Rakennuslehti 7.11.2019. Viitattu: 20.3.2022. <https://www.rakennuslehti.fi/2019/11/onko-tahtituotanto-joustamaton-riskikokeilu-building-2030-testasi-asian-pilottiprojekteissa/>.

Mölsä, S. 2019b. Mistä puhumme, kun puhumme tahtituotannosta? Rakennuslehti: 30.12.2019. Viitattu: 16.5.2021. <https://www.rakennuslehti.fi/2019/12/mista-puhumme-kun-puhumme-tahtituotannosta/>.

Oteran. 2022. Oteran Oy internetsivustolla. Viitattu: 20.3.2022. <https://oteran.fi/>.

Saaranen-Kauppinen, A & Puusniekka, A. 2006. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto-Teemahaastattelu. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu: 25.3.2022. https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3_2.html.

Salminen, J. 2016. Tuotannon virtautus ja nopeutettu korjaaminen – Teoriaa, kokemuksia ja oppeja. LCI Finland, Helsinki, pp. 10.

Salminen, J. & Talaskivi, P. 2021. Lean rakentamisessa: Arvoa luovan rakentamisen periaatteet, menetelmät ja työkalut. [Helsinki]: RIL ry.

Tahtiaikatuotanto uudistaa tuotannonohjauksen. 2015. LCI FIN. Viitattu: 26.4.2021. <http://lci.fi/blog/menetelmakortti/tahtiaikatuotanto/#>.

Tuominen, K. 2010. Lean käytännössä: Lean - kohti täydellisyyttä, case 1–3. Helsinki: Readme.fi.

Liitteet

Liite 1. Haastattelukysymykset

Oteranin tahtituotanto työryhmän haastattelukysymykset:

- Miten koette nykyisten aikataulusmenetelmien tilanteen?
- Mikä motivoi hankkeiden tarkempaan työsuunnitteluun?
- Miksi tahtituotantoa haluttiin lähteä soveltamaan infrahankkeeseen?
- Mitä hyötyjä tahtiaikatuotantomenetelmällä halutaan hakea?
- Minkälaisia vaikutuksia tuotannosuunnitteluun ja -ohjaukseen tahtituotannolla on havaittu?
- Arvostaako asiakkaat tahtituotantomenetelmän osaamista ja toimiiko se kilpailuvalttina?

Liite 3. Pilottihankkeen yleisaikataulu

