



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MAANALAISEN RAKENNUS- TYÖMAAN TAHTIAIKA- TAULU

TEKIJÄ: Samuli Sarivaara

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Samuli Sarivaara	
Työn nimi Maanalaisen rakennustyömaan tahtiaikataulu	
Päiväys 17.05.2020	Sivumäärä/Liitteet 34/2
Ohjaaja(t) Juha Pakarinen, tuntiopettaja; Antti Kolari, lehtori	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppanit Skanska Infra Oy, Ville-Jaakko Koski, Työmaapäällikkö; Petri Mälikä, Työpäällikkö	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteina oli selvittää teoriapaketin avulla tahtituotantoa, sekä työmaan tahtiaikataulutuksen prosessia ja selvittää sen tuomia hyötyä ja vaikutuksia rakennustyömaalle. Haastattelututkimuksen tavoitteena oli tuoda esiin kohdetyömaalla koettuja maanalaisen rakentamisen osuuden tahtiaikataulutuksen haasteita ja pohdita, miten näitä koettuja haasteita voitaisiin kehittää tai torjua rakennustyömaalla.</p> <p>Teoriaosuudessa käsiteltiin rakennushankkeen aikatauluja, aikataulun laadintaa ja suunnittelua, sekä tahtituotantoa ja tahtiaikataulutuksen prosessia. Aineiston keruu tapahtui eri lähteiden avulla, joita olivat RT kortistot, kirjallisuus, internet lähteet, lehtiartikkelit, sekä toisten laatimat aineistot. Haastattelututkimus koostui neljästä eri haastattelusta. Haastattelut nauhoitettiin ja dokumentoitiin.</p> <p>Teoriaosuudessa saatiin luotua yleiskatsaus rakennushankkeen aikatauluista, niiden laadinnasta ja suunnittelusta, tahtituotannosta, sekä tahtiaikataulutuksen prosessista ja hyödyistä. Haastattelututkimuksen avulla saatiin tuottaa esiin kohdetyömaalla koettuja haasteita maanalaisen rakentamisen osuuden tahtiaikataulutamisessa. Tutkimuksen tuloksina näihin haasteisiin ja ongelmakohtiin saatiin vastauksia.</p>	
Avainsanat aikataulut, tahtituotanto, tahtiaikataulu, haastattelututkimus	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author Samuli Sarivaara			
Title of Thesis Takt Time Planning of an Underground Construction Site			
Date	May 17, 2020	Pages/Appendices	34/2
Supervisor(s) Mr. Juha Pakarinen, Lecturer Mr. Antti Kolari, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Skanska Infra Oy, Mr. Ville-Jaakko Koski, Site Manager, Mr. Petri Mälkiä, Project Manager			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this project was to clarify takt production through a theory, as well as the process of takt scheduling of the site and to find out the benefits and effects on the construction site. The objective of the interview study was to show the challenges of takt scheduling of underground construction experienced on the target site and to consider how these challenges could be developed or prevented on the construction site.</p> <p>The schedules of construction site and planning and drawing up them, as well as takt production and the process of takt scheduling were discussed in the theoretical part of the thesis. The data was collected using various sources which included RT cards, literature, internet sources, journal articles, as well as documents compiled by other students and authors. The interview study consisted of four different interviews that were recorded, analyzed and documented.</p> <p>The theoretical part provided an overview of timetables for construction projects, planning and drawing up them, takt production and the process and benefits of takt scheduling. The interview study was used to show the challenges experienced on the target site in underground construction. This study provided solutions to these challenges and problems.</p>			
Keywords timetables, takt production, takt timetable, interview study			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Tausta ja tavoitteet.....	6
1.2	Skanska Infra Oy	6
1.3	Kivenlahden aseman rakennusurakka	6
2	RAKENNUSHANKKEEN AIKATAULUT.....	7
2.1	Aikataulumuodot.....	7
2.1.1	Projekti aikataulu	7
2.1.2	Yleis aikataulu.....	8
2.1.3	Suunnitelma-aikataulu	9
2.1.4	Hankinta-aikataulu	10
2.1.5	Tate-aikataulu.....	10
2.1.6	Rakentamisvaihe aikataulu.....	11
2.1.7	Viikko aikataulu.....	11
2.2	Aikataulutyytit.....	12
2.2.1	Jana-aikataulu	12
2.2.2	Paikka-aikakaavio.....	13
2.2.3	Valvontavinjetti	13
3	RAKENNUSHANKKEEN AIKATAULUJEN LAADINTA JA SUUNNITTELU.....	15
3.1	Rakentamisaika ja kireyden määrittäminen.....	15
3.2	Osittelu ja lohkojako	15
3.3	Tehtävien määrittäminen ja työjärjestyksen valinta	15
3.4	Tehtävien tahdistaminen ja rytmitys.....	16
3.5	Aikataulujen hallinta.....	17
4	TAHTIAIKATAULU	18
4.1	Lean toiminta rakennustyömaalla	18
4.2	Last Planner rakennustyömaalla.....	19
4.3	Tahtituotanto rakentamisessa	19
4.4	Tahtiaikataulun suunnittelun vaiheet ja menetelmät rakentamisessa	20
4.5	Tahtiaikataulun ohjaus ja seuranta rakennustyömaalla	22
4.6	Tahtiajan hyödyt.....	22
5	HAASTATTELUTUTKIMUS.....	24

5.1	Työmaan sisäinen haastattelu.....	24
5.2	Asiantuntijahaastattelut.....	25
5.3	Haastattelujen yhteenveto ja tulokset	29
5.3.1	Osallistaminen ja yhteistoiminnallinen tahtiaikataulusuunnittelu	29
5.3.2	Lähtökohdat ja ennakkovalmistautuminen tahtiaikataulutuksessa.....	30
5.3.3	Ohjaus, valvonta ja rullaava tahtiaikasuunnittelu	31
6	POHDINTA.....	32
	LÄHTEET	33
	LIITE 1: ASIANTUNTIJAHAASTATTELUN KYSYMYKSET	35
	LIITE 2: TYÖMAAN SISÄISEN HAASTATTELUN KYSYMYKSET	36

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Työskentelen työnjohtoharjoittelijana Skanska Infra Oy:llä työkohteessa Kivenlahden aseman rakennusurakka, jonka tilaajana toimii Länsimetro Oy. Urakassa rakennetaan Kivenlahden metroasema, huoltotunneli sekä Kivenlahdentien ja Kivenlahdentorin sisäänkäynnit. Työ toteutetaan projektinjohdourakkana. Keskustelimme toimeksiantajan kanssa opinnäytetyön aiheesta ja päätimme valita aiheeksi maanalaisen rakennustyömaan tahtiaikataulun. Tällä hetkellä työmaalla on käynnissä monia eri rakennus- ja taloteknisiä työvaiheita, joten tahtiaikataulu on hankkeessa tärkeässä roolissa työmaan etenemisen ja monien eri työvaiheiden yhteensovittamisen kannalta. Tahtiaikataulutus on otettu käyttöön työmaalla uutena aikataulumuotona vuodenvaihteessa, sekä tahtituotanto on kasvava ilmiö nykypäivän rakennusalalla, joten aihe on ajankohtainen ja tahtiaikataulutus tulee varmasti olemaan käytössä loppu-urakan ajan, sekä tulevilla hankkeilla.

Aiheen laajuuden takia opinnäytetyö on rajattu maanalaisen rakentamisen osuuteen. Opinnäytetyön keskeinen tarkoitus on selvittää teoriapaketin avulla tahtituotantoa, sekä työmaan tahtiaikataulutuksen prosessia ja selvittää sen tuomia hyötyjä ja vaikutuksia rakennustyömaalle. Haastattelututkimuksen tavoitteena on tuoda esiin kohdetyömaalla koettuja maanalaisen rakentamisen osuuden tahtiaikataulutuksen haasteita ja pohtia, miten näitä haasteita voitaisiin kehittää tai torjua rakennustyömaalla.

1.2 Skanska Infra Oy

Skanska on ruotsissa vuonna 1887 Rudolf Fredrik Bergin toimesta perustettu yritys, jonka alkuvaiheessa toiminta keskittyi betonituotteisiin. Vuosien saatossa yritys on kasvanut globaaliksi rakentajaksi ja projektikehittäjäksi referenssinä tuhansia projekteja. Skanska infra Oy on osa Skanska-konsernia, joka on yksi Suomen suurimmista asuntojen, toimisto- ja tuotantotilojen sekä infrastruktuurin rakentajista ja projektikehittäjistä. Rakentamispalveluihin kuuluvat talonrakentaminen, talotekniikkapalvelut sekä infrarakentaminen. Skanska työllisti Suomessa vuoden 2019 lopussa yli 2000 henkilöä. Skanskan palveluksessa on kokonaisuudessaan noin 34 000 henkilöä ja Skanska-konsernin liikevaihto vuonna 2019 oli noin 16,7 miljardia euroa. (Skanska.fi)

1.3 Kivenlahden aseman rakennusurakka

Länsimetron Kivenlahden aseman rakennusurakka alkoi elokuussa 2018. Urakka sisältää maanalaisen metroaseman rakentamisen, huolto- ja ajotunnelin sekä maan päälle rakennettavat Kivenlahdentien ja Kivenlahdentorin sisäänkäynnit. Hanke on osa Länsimetron jatkoa, johon kuuluu kaikkiaan viisi asemaa. Kivenlahden asema on Länsiväylän kupeeseen tuleva metrolinjan pääteasema. Aseman ja tunnelien pinta-ala on yhteensä yli 30 000 kerrosneliömetriä. (Länsimetro.fi)

2 RAKENNUSHANKKEEN AIKATAULUT

Rakennushankkeen eri vaiheet sisältävät useita eri aikatauluja, jotka täsmentyvät hankeprosessin edetessä aina alkumetreiltä käyttöönottoon asti. Hankkeelle laadittavat aikataulut antavat kehysten ja puitteet hankkeen toteutukselle ja ne laaditaan, jotta tiedetään mitä pitää tehdä, milloin tulee tehdä ja missä järjestyksessä asioita tehdään rakennusprojektin eri vaiheissa (Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen kesto ja aikataulut, 2016). Rakennushankkeen eri aikataulut toimivat siis ohjureina hankkeen eri osapuolille koko hankkeen ajan tarveselvitysvaiheesta käyttöönottoon asti ja myös hankkeen kaikkien osapuolten kommunikaation, yhteensovittamisen, sekä niiden ohjauksen, valvonnan ja seurauksen työkaluna. Hankkeen rakentamisvaiheen useiden eri työvaiheiden etenemisen kannalta työnjohdon aikataulutuksen tärkeys korostuu, jolloin aikataulutus vaatii paljon ennakkoivaa suunnittelua.

2.1 Aikataulumuodot

Rakennushankkeen merkittävimmät, sekä yleisimmät aikataulumuodot ovat projekti- eli hankeaikataulu, yleisaikataulu, suunnitelma-aikataulu, hankinta-aikataulu, talotekniikka-aikataulu, rakentamisvaiheaikataulu, sekä viikkoaikataulu. Aikataulujen laadinta, ohjaus ja seuranta tarkentuvat hankkeen edetessä. Ratu-kortin (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017) mukaan aikataulusuunnittelun kannalta hankkeen keskeisimmät ratkaisut tehdään hankesuunnitteluvaiheessa, jolloin rakennuttaja päättää hankkeen ajalliset reunaehdot, tavoitteet ja laatii hankeaikataulun. Tästä aikataulut tarkentuvat asteittain hankkeen edetessä tiettyihin ajankohtiin sidottuihin osatavoitteisiin ja määrätyn kestosiin tehtäviin.

2.1.1 Projekti-aikataulu

Projekti-aikataulu eli hankeaikataulu on rakennuttajan laatima aikataulu, jonka merkittävimminä tehtävinä on varmistaa, että rakennusprojekti on aikataulullisesti realistinen, totuudenmukainen, sekä toteutuskelpoinen. Projekti-aikataulu kattaa koko hankkeen läpiviennin ja siihen vaikuttaa rakennuttajan valitsema urakkamuoto. Projekti-aikataulun laadinnassa tulee ottaa huomioon hankkeen eri vaiheiden riskit, muutokset, ajalliset vaatimukset, erityispiirteet ja -ominaisuudet, sekä yhteensovittaminen. (Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen kesto ja aikataulut, 2016; Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.)

Rakennuttajan aikataulupäätökset hankeaikataulua varten:

- kokonaiskesto
- vuodenaika
- suoritusjärjestys
- tilaajan hankinnat
- yhteiset välitavoitteet
- suunnitelmien valmistumistavoitteet

- suunnitelmien ja rakennustöiden yhteensovittaminen. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.)

Projektiaikataulun tehtävänä on siis luoda rakennushankkeelle tavoitteita ja toimia runkona muiden aikataulujen laadinnalle. Hyvin toteutettu projektiaikataulu on edellytys projektin mallikkaaseen, kustannustehokkaaseen, sekä aikataulullisesti mielekkääseen läpiviemiseen rakennuttajan, tilaajan, sekä urakoitsijoiden näkökulmasta.

2.1.2 Yleisaikataulu

Yleisaikataulu (kuva 1) on hankkeen tarjousvaiheessa toteutettava aikataulumuoto, jonka laatii rakennushankkeen päätoteuttaja. Päätoteuttajan laatimaan yleisaikatauluun, jonka pohjana hankeaikataulu toimii, on sisällytetty karkeasti kaikki projektin olennaisimmat ja merkityksellisemmät työmaan vaiheet. Yleisaikataululla on kolme laadinnan ajankohdaltaan, sisällön tarkkuustasoltaan ja käyttötarkoitukseltaan eroavaa muotoa, jotka ovat karkea päätyövaiheet sisältävä alustava yleisaikataulu, sopimusosapuolten yhdessä muokattu ja tarkennettu sopimusyleisaikataulu, sekä edelleen tarkennettu ja ositeltu työaikataulu, joka on tilaajan, päätoteuttajan, sekä urakoitsijoiden välinen tärkein työkalu (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017).

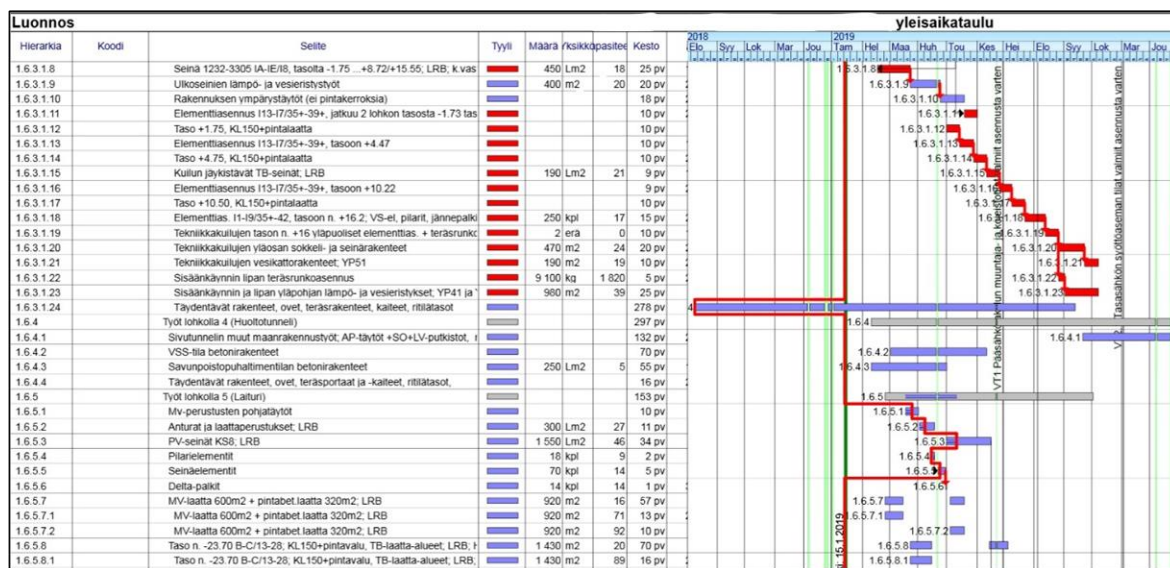
Alustavan yleisaikataulun laadinnassa rakennushankkeen pääurakoitsija käyttää lähtötietoina projektiaikataulua, kokemusperäistä tietoa, sekä tarkastusasiakirjoja, jotka sisältävät eri kaupallisia- ja teknisiä asiakirjoja. Lähtötietojen avulla alustavaan yleisaikatauluun muodostetaan rakennushankkeen päätehtävät ja niiden kestot sisältäen aloituksen ja lopetuksen. Tehtävät muodostetaan menekkitietojen, aikataulukirjojen, omien kokemusten ja mahdollisesti päätoteuttajan yrityksen sisäisten tietojen ja sovellusten avulla.

Alustavan yleisaikataulun laatimisen jälkeen hankkeen sopimusvaiheessa sopimusosapuolet tekevät aikatauluun tarvittavat muokkaukset, jonka jälkeen se liitetään osaksi rakennuttajan ja päätoteuttajan sopimusta. Sopimusyleisaikataulu toimii rakennuttajan valvonnan työkaluna ja samalla ohjaa päätoteuttajan toimia asettaen sakonalaisia aikatauluvelvoitteita ja välitavoitteita, joita usein on vaikea muuttaa sopimuksen allekirjoittamisen jälkeen (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017).

Sopimusyleisaikataulua ja alustavaa yleisaikataulua pohjana käyttäen päätoteuttaja laatii työvaiheita tarkennetun työaikataulun. Työaikataulu toimii pääasiassa pohjana kaikille muille aikatauluille, sekä päätoteuttajan ja urakoitsijoiden välisenä yhteensovittamisen, sekä sopimusten tekemisen työkaluna. Työaikataulu on koko rakennushankkeen kestolle suunniteltu aikataulu, josta hankkeen eri osapuolet saavat oleelliset tiedot hankkeen keskeisistä työvaiheista, tapahtumista, tehtävien kestoista ja resurssien käytöstä ja siihen on sisällytetty myös talotekniset työt (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017).

Yleisaikataulussa esitetään kokonaisuudessaan:

- nimikkeistötunnus tai tehtävän juokseva numero
- aikataulutehtävä
- suoritemäärä ja -yksikkö
- sakonalaiset välitavoitteet
- tehtävään valittu työryhmä
- työmenekki tai työsaavutus
- tehtävän kesto, ajoitus ja riippuvuudet (Aikataulukirja, 2016).



Kuva 1. Esimerkki yleisaikataulusta

2.1.3 Suunnitelma-aikataulu

Suunnitelma-aikataulu, jota kutsutaan myös nimellä piirustusaikataulu, luodaan työkaluksi suunnittelun ohjausta varten. Suunnitelma-aikataulussa tulee olla esillä ne ajankohdat, milloin eri suunnittelu-alojen suunnitelmat tulee olla valmiit. Näin ollen hankintapuoella on suuri merkitys suunnitelma-aikatauluun, koska hankinta-aikatauluun muodostetut hankintapaketit antavat suunnitelma-aikataululle ajallisia viitteitä siitä, milloin suunnitelmat on oltava työmaan käytettävissä. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.)

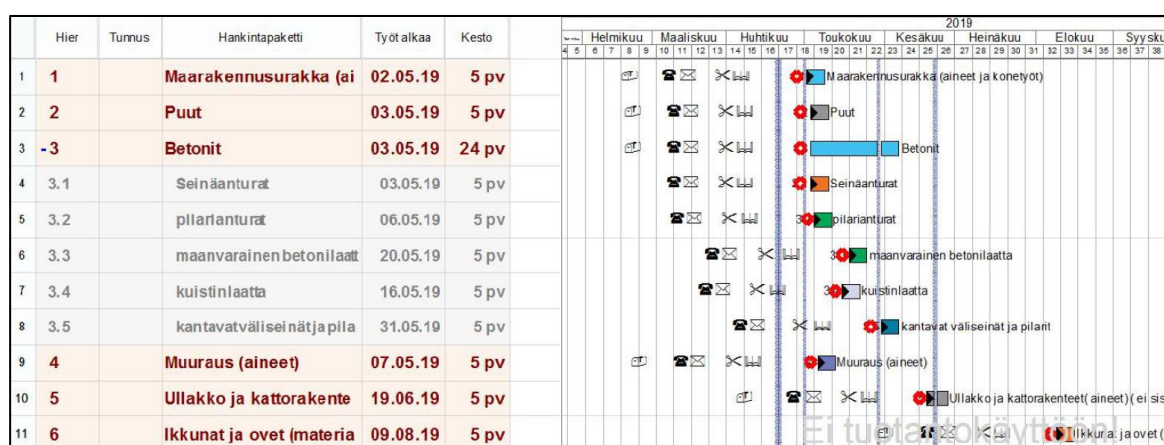
Ajallisesti suurissa rakennushankkeissa, kuten Kivenlahden aseman rakennusurakassa piirustuksia ja hankintapaketteja tehdään myös rakentamisen aikana, mikä edellyttää suunnittelun ohjaukselta, hankintapuoelta, sekä suunnittelijoilta hyvää kommunikointia, jotta suunnitelmat saadaan ajallaan työmaan käyttöön ottaen myös huomioon tilaajan hyväksymisprosessin. Ratu-kortin mukaan (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017) piirustusten tulisi olla noin kuukausi etukäteen ennen uuden työvaiheen aloitusta jakelussa kaikille osapuolille ja aikaa on varattava mm. urakoitsijoiden, sekä päätoteuttajan dokumentointiin ja työmaalla tehtäviin suunnitelmiin.

2.1.4 Hankinta-aikataulu

Työmaan rakennusvaiheen aloituksen kannalta hankinnan valmisteluja ja hankintoja tehdään jo rakennusprojektin alkuvaiheessa. Hankinta-aikataulu ohjaa työmaalla hankintojen tekemistä asettamalla eri hankintapaketeille ajallisia velvoitteita. Hankinta-aikataulu siis määrittää missä ajankohdassa on ruvettava tekemään tarpeellisia toimenpiteitä, jotta hankintapaketien sisältämät rakennusmateriaalit ja tuotteet ovat tuotannon käytettävissä työmaalla. Hankinta-aikataulu sovitetaan työmaan yleisaikatauluun, joka toimii yleensä samalla sen laadinnan pohjana. (Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen kesto ja aikataulut, 2016; Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.)

Kivenlahden aseman rakennusurakka on rakentamisvaiheeltaan pitkäkestoinen, missä suurin osa hankinnoista tehdään rakentamisen aikana, sekä urakka toteutetaan projektinjohtourakkana, jossa suurin osa työvaiheista toteutetaan aliurakoitsijoilla. Rakentamisajan edetessä pitkälle yleisaikataulun merkitys hupenee, kun taas hankinta- ja tuotantopuolen yhteistyö kasvaa. Työmaalla syntyy paljon suunniteltuihin hankinta-ajankohtiin poikkeamia. Tämä tarkoittaa myös sitä, että työnjohdon aikatauluttamisella on suuri merkitys hankintojen aikataulusuunnittelun ja hankintojen laatimisen näkökulmasta. Urakan erityispiirteet, kuten laaja rakennusala, jossa rakenteet sijaitsevat maan alaisilla ja -päällisillä alueilla vaikuttaa hankinta-aikatauluun. Esimerkiksi työmaan logistiikan näkökulmasta pitkät haalausmatkat, sekä työmaan laajuus suhteessa varastointitilaan vaikuttaa hankintojen toimitusajankohtiin.

Alla olevassa kuvassa (kuva 2) on esimerkki Tocoman-aikatauluohjelmalla laaditusta hankinta-aikataulusta, joka sisältää eri hankintapaketteja, sekä niissä tarvittavien suunnitelmien, tarjouspyyntöjen, tarjousten, tilausten, sekä toimitusten ajankohdat.



Kuva 2. Esimerkki hankinta-aikataulusta

2.1.5 Tate-aikataulu

Rakennustyömaan taloteknisiä töitä ovat lämpö-, vesi-, ilmanvaihto-, sekä sähkötyöt. Näistä niin sanotuista tate-töistä tehdään oma aikataulu, joka integroidaan yleisaikatauluun. Yleisaikataulu ohjaa ja luo puitteet tate-aikataulun laadintaa varten. Kohteen pääurakoitsija yleensä laatii tate-aikataulun

yhteistyönä rakennuspuolen ja tate-urakoitsijoiden kanssa. Tästä syystä tate- ja rakennuspuolen yhteistyön merkitys aikataulusuunnittelussa korostuu. Piirustusaikataulu toimii myös tate-aikataulun suunnittelun edellytyksenä, koska talotekniset-, niin kuin rakennusteknisetkin työt perustuvat käytössä oleviin suunnitelmiin. (Talorakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen kesto ja aikataulut, 2016; Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.)

Kivenlahden aseman rakennusurakka sisältää paljon työvaiheita, jotka vaativat tate- ja rakennuspuolelta paljon yhteensovittamista aikatauluttamisen näkökulmasta. Esimerkiksi talotekniikka seuraa urakan eri tilojen valmistumista, jotta talotekniset työt voivat alkaa. Projektille on asetettu myös yhteisiä välitavoitteita, jotka ohjaavat tate-aikataulun suunnittelua ja laadintaa. Urakan kriittisimmistä alueista on laadittu tate- ja rakennuspuolen yhteinen aikataulu yhteensovittamisen ja suunnittelun työkaluksi.

2.1.6 Rakentamisvaiheaikataulu

Rakentamisvaiheaikataulu on yhden tai useamman työkokonaisuuden tai tietyn aikavälin suunniteltu aikataulukokonaisuus. Aikataulu kattaa yleensä työkohteen mukaan 2-6 kuukauden mittaisen työvaiheen tai ajanjakson. Rakentamisvaiheaikataulun tarkoituksena on toteuttaa ne tavoitekokonaisuudet, välitavoitteet ja puitteet, jotka yleisaikataulu määrittää. Vaiheaikataulun laatii rakennushankkeen pääurakoitsija yhteistyössä aliurakoitsijoiden kanssa, joten rakentamisvaiheaikataulu asettaa myös sidottuja tavoitteita aliurakoitsijoille, joilla on merkittävä vaikutus vaiheaikataulun suunnittelussa. Yleisaikataulu voidaan laatia myös rakentamisaikataulun pohjalta, jolloin tätä aikataulumuotoa kutsutaan käänteiseksi vaiheaikatauluksi. (Talorakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen kesto ja aikataulut, 2016; Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.) Työkokonaisuuksia voivat olla esimerkiksi asemahallin perustukset, ensimmäisen lohkon runkotyöt tai toisen kerroksen sisävalmistusvaiheen työt.

2.1.7 Viikkoaikataulu

Viikkoaikataulu (kuva 3) on työmaalla laadittavista aikatauluista toteuman kannalta kaikista tarkin aikataulumuoto. Aikataulun sisältämät työvaiheet on tarkasti suunniteltu eri kokonaisuuksiksi lyhyelle aikajänteelle. Viikkoaikatauluilla varmistetaan yleisaikataulun ja rakentamisvaiheaikataulun tavoitteiden toteutuminen. Viikkokohtaisia aikataululuja laaditaan yleensä alle kuukauden mittaisille aikaväleille noin 1-4 viikon pituisille jaksoille. Työnjohtajat laativat viikkoaikatauluja yhdessä aliurakoitsijoiden kanssa. Hyvällä viikkosuunnittelulla, sekä viikkoittaisaikataulujen seurannalla ja valvonnalla voidaan varmistaa tavoitteiden toteutuminen ja voidaan varautua ennakkoon työvaiheiden vaatimiin aikataulutarpeisiin, resursseihin, kalustoon, sekä rakennusmateriaalien- ja tuotteiden tarpeisiin ja toimituksiin. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.)

Vaikka yleisaikataulut ja rakentamisvaiheaikataulut ohjaavat ja antavat tavoitteita viikkoaikataulun laadinnalle, suurin ja tärkein lähtötieto aikataulujen laadintaan ja viikkosuunnitteluun on työmaan

tilanne sillä hetkellä, joten viikoittaisaikataulun laadinnassa suurin rooli kantautuu työnjohtajille. Kivenlahden urakassa työmaan eri lohkojen ja alueiden vastuutetut työnjohtajat laativat viikkoaikatauluja omien vastuualueidensa työvaiheista yhdessä aliurakoitsijoiden kanssa. Viikoittaisaikatauluja laaditaan, valvotaan ja sovitetaan yhteen muiden aikataulujen kanssa työmaan sisäisissä viikkopalaverissa, aliurakoitsijapalaverissa ja tarpeen mukaan erillisissä aikataulupalaverissa. Viikkoaikataulujen sisältämien työvaiheiden toteutumista seurataan myös päivittäin työmaalla.

Viikkoisaikataulu																														
Projekti / urakka / työmaan nimi										Työnumero							Pvm													
Rakennuttaja / tilaaja										Vastaava työnjohtaja																				
Tehtävä	Määrä	Resurssi	Viikko 17							Viikko 18							Viikko 19							Viikko 20						
			Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su	Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su	Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su	Ma	Ti	Ke	To	Pe		
LOHKO 3																														
95m mobiili		Skanska		x		x	x				x		x	x				x	x	x	x				x	x	x	x		
1,45 seinä l8 osa 3 valu					x																									
verkotus-1,45		Skanska		x	x	x																								
Lattiavalu -1,45		Skanska					x																							
Kuoret klo 12:00											x																			
+1,45 KL rauditus + valu											x		x	x						x										
1,45 seinä l8 osa 3 purku						x																								

Kuva 3. Esimerkki viikkoaikataulusta

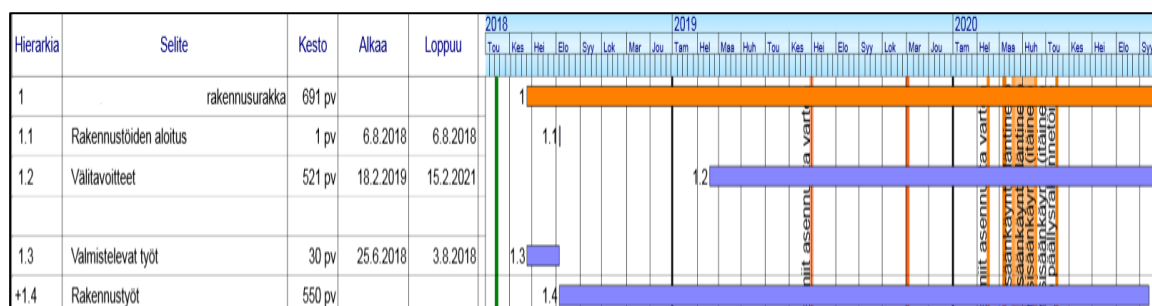
2.2 Aikataulutyyppit

Eri aikataulutyyppien tarkoitus on näyttää, selventää ja ohjeistaa eri graafisten, sekä visuaalisten keinoin ja tekniikoin rakennushankkeessa laadittuja aikatauluja. Yleisimpiä aikataulutyyppiejä ovat jana-aikataulut, paikka-aikakaaviot, sekä valvontavinjetti. Eri aikataulutyyppit soveltuvat rakennushankkeen eri vaiheiden aikataulujen laadintaan. Esimerkiksi alustavat yleisaikataulut voidaan laatia jana-aikataulumuotoon eri työkokonaisuuksien ja välitavoitteiden kestojen ja määräaikaisten tietosisältötyvyyden vuoksi. Paikka-aikakaavio soveltuu hyvin tarkentuvaan aikataulusuunnitteluun sen paikka- ja kohdetietojen vuoksi. Valvontavinjetti soveltuu aikataulujen seurannan ja toteutumisen työkaluksi. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017).

2.2.1 Jana-aikataulu

Jana-aikataulussa on esitetty eri työkokonaisuuksien kestoja vaakasuorina janoina sen aloituksesta valmistumiseen. Janojen muodostamista varten työkokonaisuuksille täytyy muodostaa kestot ja ajankohdat. Jana-aikataulua varten voidaan tarvittaessa aikataulumuotokohtaisesti määrittää kestojen, sekä ajankohtien lisäksi myös aikatauluttamisessa käytettävät määrät yksikköineen, resurssit, työmenekit, sekä suoritemäärät. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.)

Alla olevassa kuvassa (kuva 4) on esimerkki jana-aikataulusta, joka sisältää eri työkokonaisuuksien vaakasuorat janat, joille on määritelty kesto, aloitus-, sekä lopetusajankohdat.

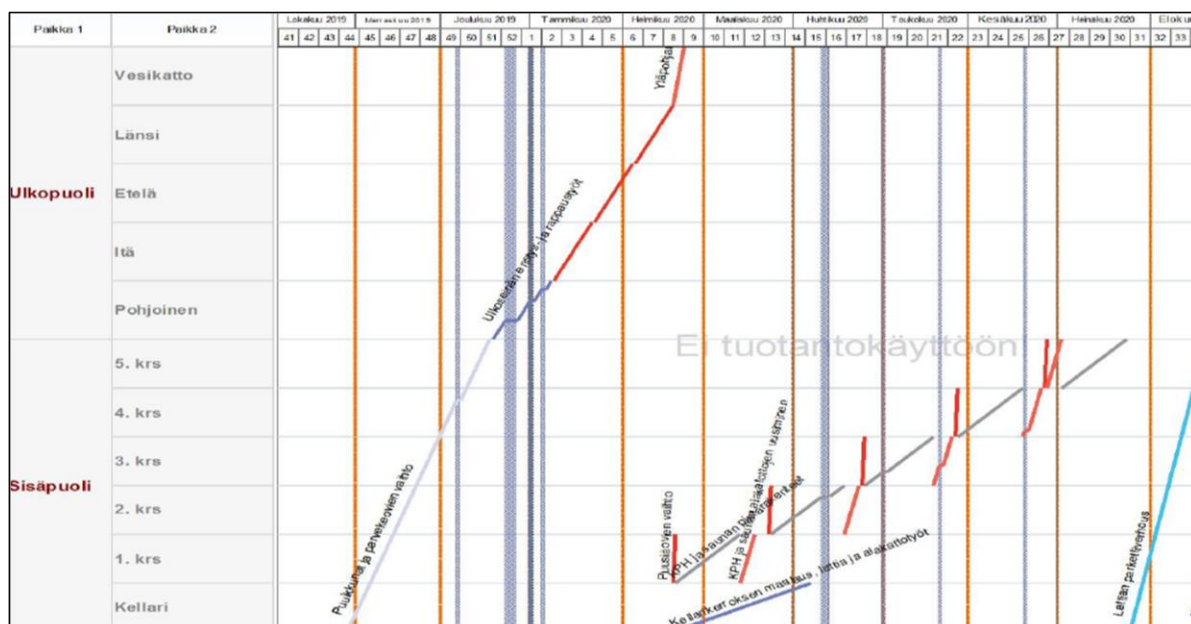


Kuva 4. Esimerkki jana-aikataulusta

2.2.2 Paikka-aikakaavio

Paikka-aikakaavion avulla saadaan kohdekohtaista tietoa siitä mitä-, missä-, milloin- ja millä aikahaarukalla tehdään. Paikka-aikakaaviossa työkokonaisuudet ovat sidottuja paikkoihin ja työtehtävät on mitoitettu menekki-, työryhmä- ja määrätiedoilla, sekä ne ovat tahdistettu ja rytmitetty aikatauluun. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.) Työkokonaisuudet ovat siis jaoteltu eri tehtäviin, jaettu paikkoihin ja niille on määritetty rakennusprojektin kannalta oikea työjärjestys. Paikka-aikakaavio toimii esimerkiksi työnjohtajille erinomaisena lähtötietona viikoittaisaikatauluja laadittaessa.

Kuvassa (kuva 5) on esimerkki vinoviiva-aikataulusta, jossa työvaiheet etenevät järjestyksessä vinoivoin alkaen kellarikerroksen ikkunoiden ja parvekeovien vaihdosta.



Kuva 5. Esimerkki vinoviiva-aikataulusta, joka sisältää aikataulullisesti, sekä työvaiheitaan järjestettyjä ja paikkoihin sidottuja työvaiheita

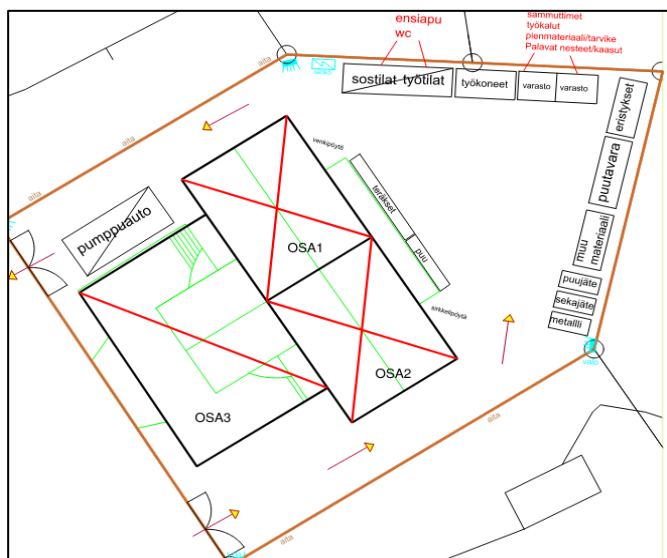
2.2.3 Valvontavinjetti

Valvontavinjetin tarkoitus on seurata eri työkokonaisuuksien ja niiden työvaiheiden toteutumista. Valvontavinjetitejä voidaan laatia erilaisiin taulukoihin (kuva 6) tai pohjakuviin (Rakennushankkeen

ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017). Esimerkiksi aluesuunnitelmaan (kuva 7) pystytään rajaamaan seurattavien töiden alueet ja työvaiheen tämänhetkisen tilanteen. Vinjetti on hyvä työkalu esimerkiksi viikkoaikataulujen rinnalla, jolloin pystytään ennakkoivaan viikkosuunnitteluun ja puuttumaan mahdollisiin häiriöihin töiden etenemisen kannalta. Haarasen luentomateriaalin (2019, 5) mukaan valontavinjettiä on hyvä käyttää, kun työryhmät ja työvaiheet ovat suuria, työvaiheiden toisiaan tahdittavissa tehtävissä ja työvaiheissa, jossa tuotantonopeudet poikkeavat selvästi suunnitelluista nopeuksista, sekä luovutusvaiheessa, jossa seurataan luovutettavien tilojen tai lohkojen valmistamista.

Valontavinjetti		KOHDE / LOHKO / KERROS	OSA1	OSA2	OSA3						
<input type="checkbox"/>	TYÖT ALOITTAMATTA										
<input checked="" type="checkbox"/>	TYÖT ALOITETTU										
<input checked="" type="checkbox"/>	TYÖ VALMIS										
TYÖKOKONAISUUS											
Perustukset											
1. Perustusten muottityöt											
2. Perustusten rauditus											
3. Betonointi											
HUOM: Valmis työ tarkoittaa, että kohteen työt on lopetettu, jäljet siivottu ja seuraava työ voidaan aloittaa.											

Kuva 6. Esimerkki taulukkotyyppisestä valontavinjetistä, jossa seurataan perustusten tekemistä



Kuva 7. Esimerkki aluesuunnitelmaan laaditusta valontavinjetistä

3 RAKENNUSHANKKEEN AIKATAULUJEN LAADINTA JA SUUNNITTELU

3.1 Rakentamisaika ja kireyden määrittäminen

Rakennushankkeelle on määriteltävä rakentamisaika ennen projektin aikataulujen laatimista. Rakentajan määrittämä rakennusaika toimii raamina hankkeen aikataulujen laadinnalle, sekä antaa ennakkoarvioita sen kustannuksista. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.) Rakentamisaajan kireys on myös tarkastettava, joka saadaan Haarasen (2019, 1) opetusmateriaalin perusteella laskemalla hankkeen normaalikesto ja verrataan sitä hankkeelle varattuun aikaan.

Rakentamisaajan ja sen kireyden määrittämisessä on otettava huomioon rakennettavan kokonaisuuden ominaisuudet, sekä erityispiirteet (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017). Kivenlahden aseman rakennusurakassa on ominaisuuksiltaan ja erityispiirteeltään paljon toistuvien olosuhteiden vaikuttavia tekijöitä kuten toistuva talviaika, useita eri rakennusmateriaaleja, monimutkainen runkojärjestelmä, jossa yhdistyy paikallavalu- ja elementtirakentaminen, maanalainen rakentaminen, joka tuo mukanaan mm. logistiset haasteet, laaja ja haastava talotekninen kokonaisuus, sekä hankkeen toteutusmuoto projektinjohtourakkana, jossa toimii useita eri rakennusalan aliurakoitsijoita.

3.2 Osittelu ja lohkojako

Hankkeen rakennuskokonaisuus jaetaan eri lohkoihin ja niiden osiin. Lohkojaon tarkoituksena on selventää työkokonaisuuksien ja -vaiheiden rakennusjärjestystä, tehostaa rakennusaajan läpivientiä, sekä toimia eri osapuolten yhteensovituksen ohjurina. Lohkojakoon vaikuttavat mm. projektin rakentamisaika, rakennuskokonaisuuden laajuus ja erityispiirteet, rakentamisyhteistyö, kustannukset, rakennus- ja talotekninen kokonaisuus, hankinnat, suunnittelukokonaisuus, sekä projektin välitavoitteet. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017; Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu, 2016.)

Kivenlahden aseman rakennusurakka on jaettu eri maanalaisiin ja -päällisiin lohkoihin. Lohkot kattavat eri kerroksia ja niiden osakohteita, kuten huonetunnuksin numeroituja käyttötarkoitukseltaan erilaisia tiloja. Urakan laajuus huomioon ottaen asemalla osassa lohkoista on käynnissä sisävalmistusvaiheen rakennus- ja talotekniset työt, kun taas osassa vielä tehdään runkovaiheen töitä.

3.3 Tehtävien määrittäminen ja työjärjestyksen valinta

Aikatauluja laadittaessa työtehtäville on määriteltävä kestot, työryhmät, sekä valittava työjärjestys. Aikataulujen tarkentuessa yleisaikataulutasolta viikkosuunnitteluun asti, myös tehtävien määrittäminen, kestot ja töiden toteutuksen järjestys tarkentuvat. Kun tehtävät ovat määriteltäviä kestoiltaan, työryhmiltään, sekä työjärjestykseltään toimivaksi kokonaisuudeksi, ne voidaan viedä aikataulupohjaan. Esimerkiksi paikkoihin ja aikoihin sidottuun, sekä tuotantonopeuden näyttävään vinoviiva-aikatauluun. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.)

Aikataulujen laadinnassa työryhmien ja kestojen määrittämiseen käytetään erilaisia valmiita yleisessä käytössä olevia laskentamalleja, kirjoja ja ohjekortteja, kuten Talonrakennusteollisuus ry:n ja Rakennustietosäätiön julkaisemia aikataulutukseen pohjautuvia kirjoja ja ohjekortteja sisältäviä tiedostoja. Aikataulutukseen käytetään myös yrityksen sisäisiä malleja ja tiedostoja, sekä edellisistä hankkeista saatua kokemuseräistä tietoa. Rakennusprojektin edetessä viikkosuunnittelutasolle työnjohdon panoksella on suurin vaikutus eri tehtävien ja niiden järjestyksen valintaan. Aliurakoitsijoiden työkokonaisuuksien aikataulusuunnittelussa käytetään suoraan aliurakoitsijoilta saatuja tietoja, joita voidaan verrata saatavilla olevaan- ja kokemuseräiseen tietoon. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.) Tehtävien määrittämisen perusmenettely pohjautuu yleensä siihen, että yksi työporukka tekee rakennustöitä työvaiheesta seuraavaan koko rakennusprojektin ajan (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017).

Rakennusprojektin eri työkokonaisuuksien ja -vaiheiden järjestys on myös määriteltävä toteutukseltaan todenmukaiseen ja toteutuskelpoiseen järjestykseen. Toteutushierarkian kannalta monet eri työmaalla suoritettavat työvaiheet ovat riippuvaisia toisistaan. Töiden riippuvaisuus toisistaan tarkoittaa sitä, että seuraava työvaihe ei voi jatkua ennen kuin edellinen on tehty valmiiksi. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.) Esimerkiksi rakennuskohteen tietyssä lohkossa sijaitsevan huoneen talotekniset työt voidaan aloittaa vasta kun huone on maalattu, paikallavaluseinän betonointi päästään aloittamaan vasta kun rauditus- ja muottityöt ovat tehtynä tai saatavilla olevien resurssien näkökulmasta seuraavan työkohteen seinä pystytään aloittamaan vasta edellisen kohteen valmistuttua.

Kivenlahden aseman rakennusurakan toteutusmuoto huomioon ottaen, urakka sisältää useita eri suunnittelualojen työvaiheiden suorittavia aliurakoitsijoita. Pääurakoitsijan tehtävänä on antaa aliurakoitsijoille aikataulullisia tavoitteita, jolloin pääurakoitsijan ja aliurakoitsijoiden yhteistyön ja yhteensovittamisen merkitys korostuu tehtävien, resurssien ja työjärjestysten suunnittelussa ja toteutuksessa.

3.4 Tehtävien tahdistaminen ja rytmitys

Kun hankkeen eri työkokonaisuudet ja -vaiheet on määritelty, sekä niiden teknisesti toimiva toteutusjärjestys valittu ja viety aikataulupohjaan, työtehtävät tahdistetaan ja rytmitetään. Kun työtehtävät viedään valittuun aikataulupohjaan, ne useimmiten ovat tuotantonopeudeltaan huomattavasti toisistaan poikkeavia tai koko suunnitellun rakennusajan polulla sijaitsee ajanjaksoja, jolloin ei tapahdu mitään työtä. Työtehtävät voivat olla myös päällekkäisiä eli useita eri työtehtäviä tehdään samaan aikaan samassa työkohteessa, joka ei ole suotavaa. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.) Esimerkiksi iv-asentaja ei voi asentaa kanavaa samaan aikaan samassa tilassa, missä maalari maalaa seiniä tai laatoittaja tekee lattia-asennuksia. Tahdistuksen ja rytmityksen tehtävä on ratkaista nämä ongelmat.

Tahdistamalla saadaan luotua teoreettisesti tuotantonopeudeltaan yhtä pitkiä työtehtäviä ja varmistetaan etteivät eri työtehtävät osu päällekkäin eli kuusakin kohteessa on oltava vapaa ”mesta” työtehtävien suorittamiseen. Työtehtävien yhteensovittaminen ja tuotantonopeuksien muuttaminen yhtenäiseksi voidaan tehdä lisäämällä useita työryhmiä aikajänteeltään pidemmille työtehtäville tai muuttamalla työtehtävien sisältöä, joka halutessa kasvattaa tai hidastaa tuotantonopeutta. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.)

Rytmittämällä varmistetaan työvaiheiden jatkuva tuotanto eli työtehtävät järjestetään niin, että työtehtävien välille eri työkohteissa ei synny katkoksia koko projektin rakentamisen ajanjakson haarakassa. Työkatkosten poistamisen menetelmiä voivat olla työtehtävien aloituksen aikaistaminen, jolloin täytyy myös huomioida päällekkäisyydet. Menetelminä voidaan käyttää myös työryhmiä ja -järjestystä muokkaamalla tai suunnittelemalla päällekkäisyyksien varalle ”varamestoja”. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.) Esimerkiksi muurarit voivat aloittaa kerrostalokohteen ensimmäisen kerroksen väliseinäurakan samaan aikaan kuin toisen kerroksen runkotyöt alkavat.

3.5 Aikataulujen hallinta

Rakennusprojektin vakioprosessiin kuuluu yleisesti aikatauluihin liittyviä muutoksia. Rakentamiskokonaisuuksien ja eri työvaiheiden aikatauluihin liittyviä riskejä ilmenee joka hankkeessa ja suunnittelusta aikataulusta poiketaan vääjäämättä jossakin vaiheessa prosessia. Aikatauluissa ilmenevien häiriöiden syitä voivat olla mestojen valmistumisen viivästys, työvaiheiden aloitus- ja lopetusajankohdat venyvät, rakennusmateriaalit- ja tuotteet eivät ole saatavilla töiden alkaessa, suunnitelmat eivät ole ajoissa saatavilla tai riittäviä, olosuhteet estävät töiden etenemisen tai työvoiman resursseihin liittyvät tekijät tai työvaiheiden päällekkäisyys. Riskien ja häiriöiden ilmaantuessa ja niiden välttämiseksi on tärkeää, että aikataulun eri kokonaisuuksia valvotaan ja ohjataan. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, 2017.) Joskus myös aikatauluihin syntyviin häiriöihin voi vaikuttaa jokin ylivoimainen este. Hyvänä esimerkkinä on tänä päivänä maailmanlaajuisesti vallitseva epidemia, joka on vaikuttanut Kivenlahden aseman rakennusurakassa materiaalien ja tuotteiden toimituksiin ja lievissä määrin työvoimaresursseihin, sekä työmaajärjestelyihin ja -toimintaan.

Rakennushankkeen sisäinen toiminta on ratkaiseva tekijä valvonnan ja ohjauksen kannalta. Työmaalla olevat työnjohtajat, sekä muut aikataulujen suunnittelussa ja laadinnassa mukana olevat osapuolet on oltava jatkuvasti perillä käynnissä olevien työvaiheiden tilanteesta ja yhdistää se yhdeksi kokonaisuudeksi. Kun ajankohtainen kokonaisuus tiedetään, osataan sitä vertailla aikataulullisiin tavoitteisiin ja pystytään aktivoitua ennakoiviin toimenpiteisiin. Hyviä työmaalla käytettäviä valvonnan ja ohjauksen työkaluja ovat esimerkiksi opinnäytetyössäni aikaisemmin käsitelty valvontavinjetti, Last Planner, sekä rakennus- ja talotekniikan yhteinen tahtiaikataulu, joita käsitellään seuraavassa luvussa.

4 TAHTIAIKATAULU

Tahtituotanto nykypäivänä on kasvava lean henkistä ajattelutapaa tukeva, eri osapuolia sitova ja yhteistoiminnallisuutta korostava menetelmä, jota on kokonaisuudeltaan tai osittain jalkautettu jo monissa rakennushankkeissa. Rakennushankkeissa tahtituotannolla on eri tutkimusten mukaan saavutettu positiivisia tuloksia esimerkiksi hankkeiden lyhyemmät läpiviennit ja sitä kautta myös kevyemmät kustannukset. Tässä luvussa käsitellään tahtituotantoa, tahtiaikatauluttamisen prosessia ja näitä tukevaa lean-ajattelutapaa, sekä tahtiaikataulun kanssa samoja periaatteita noudattavaa tuotannon ohjauksen työkalua Last Planneria.

4.1 Lean toiminta rakennustyömaalla

Lean ajattelutapa on vanha 1980-luvun lopulla Toyotan autotehtaan tuotantoprosessista lähtöisin oleva toimiva tuotantoa tehostava malli, jota on aikojen saatossa sovellettu myös rakennusalalle. Lean ajattelun pääperiaate on tavoitteellisesti tehostaa tuotantoa edistämällä eri tuotannon prosessien virtaustehokkuutta- ja nopeutta eliminoimalla eri menetelmien kautta tuotantoprosessissa syntyvää materiaaleihin ja aikaan perustuvaa hukkaa. Tämä johtaa aikataulullisesti, kustannuksellisesti, sekä tuotannon ohjauksellisesti tehokkaampaan rakennusprojektin läpivientiin. Näin ollen lean on enemmänkin ajattelutapa ja sitä tulisi käsitellä erilaisina toimintatapoina ja käyttäytymisinä, joiden pohjalta voidaan luoda rakennushankkeisiin soveltavin osin lean toimintaa tukevia työkaluja ja menetelmiä. (Lehtiniemi, 2015, 6, 12; Ici.fi.) Leanin voidaan siis ajatella ajavan eteenpäin ajatusta jatkuvaan toiminnan kehittämiseen yhdessä eri osapuolien kanssa parempien tulosten saamiseksi eliminoimalla kaikki turha.

Lean ajatteluun pohjautuvaa toimintaa hyödynnetään eri menetelmin myös rakentamisessa. Vaikka-kin lean kuulostaa monille rakennusalalla työskenteville tuntemattomalta käsitteeltä, sen vaikutukset ovat esillä rakennushankkeiden arkisessa toiminnassa. Lean pohjaiset toimintatavat näkyvät esimerkiksi rakennustyömailla pääurakoitsijan tavoitteena saada aikaan paras mahdollinen lopputulos ottamalla huomioon tilaajan tarpeet ja parantaa jatkuvasti eri menetelmin työkokonaisuuksien prosessia kustannusten, materiaalien, hukan ja työvaiheiden tasaisen virtaamisen näkökulmasta. Työkokonaisuuksien prosessien kehittämiseen kuuluu parantamalla tuotannonohjausta, -seurantaa, -valvontaa, sekä kehittämällä työpaikkakohtaisesti työmaan organisointia, järjestelyä, organisaation yhteistämistä, sekä tarpeettoman eliminoimista. (Lehtiniemi, 2015, 7-9, 13.) Tämä näkyy esimerkiksi työtilojen, -pisteiden ja -alueiden tehokkaampana järjestämisenä havainnointiin ja näkyvyyteen liittyvillä keinoilla, ylimääräisten koneiden, välineiden ja tuotteiden deletoinnilla, työmaan siisteyteen ja turvallisuuteen panostamalla, sekä näiden menetelmien aktiivisena seurantana, johon kuuluu esimerkiksi turvallisuusmittaukset. Tuttuja lean ajattelua tukevia työkaluja ja menetelmiä ovat esimerkiksi eri häiriöiden ilmaantuessa 5-miksi käytäntö, hankkeen eri osapuolten välinen Big Room tapahtuma ja viikkosuunnittelun laadinnan ja valvonnan työkalu Last Planner, sekä lean periaatteita palveleva tahtituotanto.

4.2 Last Planner rakennustyömaalla

Rakennushankkeiden yleisimpiin ongelma-kohtiin kuuluu tänäkin päivänä viikoittaisten aikataulujen tuottavuuteen liittyvät ongelmat, sekä tuotannonohjauksen haasteet. Esimerkiksi aikatauluista voidaan jäädä jälkeen suunnitelmapuutteiden, materiaalipuutteiden, päällekkäisyyksien, riittämättömän mestan tai työryhmistä johtuvien syiden vuoksi. Last Planner on vanha Yhdysvalloista juuret kantava lean henkinen metodi, joka on aikojen saatossa otettu käyttöön tuotannon tehostamisen työkaluna myös Suomen rakennushankkeissa. Lähtökohtaisesti Last Plannerin tarkoituksena on toimia lyhyen aikavälin tuotannonohjauksen ja sen suunnittelun työkaluna, jonka periaatteena on luoda ja varmistaa eri osapuolten kanssa edellytyksiä viikkosuunnittelulle ja seurata sen toteutumista, sekä sitouttaa eri osapuolia tavoitteena tehokkaampi tuotanto. Kipinä Last Planner metodin syntymiseen on alkanut tavoitteesta parantaa viikkosuunnitelmien pitävyyttä. (Koskela & Koskenvesa, 2003, 13-15.)

Last Plannerin laadinta voidaan ajatella jaettavaksi seitsemään eri perusosaan. Ensimmäisenä on hyvän viikkosuunnitelman laadinta, joka sisältää oikein ajallisesti ja työryhmiltään mitoitettut, sekä totuudenmukaiset ja toteutuskelpoiset työvaiheet eli viikkosuunnitelman vaatimat edellytykset töiden suorittamiseen on varmistettu. Toisena on eri osapuolten sitouttaminen viikkosuunnitelmaan. Aikataulupalaverissa tulisi olla läsnä kaikki viikkosuunnitelman työvaiheita koskevat osapuolet, kuten työnjohtajat ja mahdolliset aliurakoitsijoiden edustajat. Näin voidaan sitouttaa eri osapuolet suorittamaan tehtävänsä sovitusti. Kolmantena on toteutumisen seuranta, jonka periaatteena on seurata viikoittain aina edellisen viikon työtehtävien toteutumisprosenttia. Toteutumisprosentin ollessa alle 60% antaa viitteitä huonoon tuotannon laatuun. Neljäntenä on rullaava suunnittelu, jonka tarkoituksena on aktiivisesti varmistaa edellytyksiä tuleville viikkotehtäville yleensä noin kuukauden aikajännteellä. Varmistettavia edellytyksiä voivat olla esimerkiksi hankinnat, materiaalit, kalusto, mesta, työryhmät ja piirustukset. Seuraavana on häiriöiden jälkipuinti ja niihin reagointi, jonka tarkoituksena on aktiivisesti kirjata ja käydä työvaiheen osapuolien kanssa läpi kaikki syyt viikon toteutuksen epäonnistuessa. Näin voidaan yhteisesti tehostaa ja kehittää tuotantoa varautumalla samankaltaisiin ongelmiin tulevassa toteutuksessa, josta seuraa tulevaisuudessa varmempi tuotannon toteutuminen. Viimeisenä on kaikkien yhteinen aikataulusuunnittelu, jossa rakentamisvaihe aikataulu laaditaan yhteisesti kaikkien sen osapuolten kanssa, jolloin voidaan sitoutumalla asettaa yhteisiä tavoitteita työvaiheita määriteltäessä. Lean henkeä tukien Last Planner siis aktivoi yhteistyöpainotteisesti kaikkia osapuolia tavoittaen parempaa ja luotettavampaa tuotantoa. (Koskela & Koskenvesa, 2003, 17-19.)

4.3 Tahtituotanto rakentamisessa

Lean henkeä tukeva tuotannon toimintaperiaate tahtituotanto muodostaa menetelmän, jonka tavoitteena on parantaa tuotantokokonaisuutta eri menetelmin hukkaa deletoimalla ja näin saadaan rakentamisen läpiviennin tuottavuuden, kustannusten, sekä hukan näkökulmasta tehokkaammaksi. Hukka kuuluu yleensä rakennustyömaiden luonteeseen ja sitä syntyy aina jossain määrin rakentamisen läpiviennin prosessissa. Hukalla tarkoitetaan niin sanotusti luppoaikaa eli aikaa, jolloin ei tapahdu mitään työvaihetta edistävää työtä ja se on aina myrkyä työmaille kustannusten, tuottavuuden

den ja sitä kautta työmaan aikataulun näkökulmasta. Tällaista luppoaikaa voivat aiheuttaa esimerkiksi resurssi- ja informaatiopuutteet, sekä muutokset työtavoissa, laatutekijöissä ja suunnitelmissa tai työnjohtamiseen liittyvät tekijät, kuten valvonnan ja ohjauksen puutteellisuus tai materiaali-, sekä varastointiongelmät. (Grönvall, 2019, 12.)

Tahtituotanto kantaa juurensa 1900-luvun teollisuusosalta. Tuolloin tahtituotanto otettiin ensimmäisiä kertoja käyttöön auto-, sekä lentoteollisuuden tuotantoprosessissa. Tavoitteena oli saada tuotteen valmistusprosessi tasaisen virtaavakaksi linjaksi, jonka matkalla tuote valmistuu ilman hukkaa. Näin saatiin ajallisesti ja kustannuksellisesti tehokkaampi tuotantoprosessi, joka pystyi vastaamaan kysyntään, sekä samalla saatiin tuotteelle paras mahdollinen tuotantokyky. Ajan saatossa tahtituotantoon perustuvia menetelmiä on sovellettu myös rakennusteollisuudessa ympäri maailman. (Grönvall, 2019, 15.)

Tahtiaika (Takt time) tarkoittaa aikaa, joka kuluu tuotteen valmistumiseen sen valmistusprosessin aikana ja sen yksinkertaisena tavoitteena on pitää tuotanto aikataulussa. Tahti (Takt) taas muodostaa pienemmän eräkokonaisuuden, joka on osa suurempaa työkokonaisuutta tahtituotannossa. Rakentamisessa tahtituotannon periaatteena on muodostaa edellytysten täyttämille työvaiheille eri osapuolten yhteistyössä ajallisesti mahdollisimman yhtä kestoisia kokonaisuuksia (työpaketit), jotka virtaavat mahdollisimman tasaisesti koko läpimenon ajan tavoitteena kustannuksellisesti, sekä ajallisesti parempi rakennusajan läpivienti. Rakentamisessa työvaiheiden virtaaminen viittaa ennalta määrättyyn aikaan, joka muodostuu, kun työnsuorittajat esimerkiksi aliurakoitsijat suorittavat työnsä sovitussa ajassa ja paikassa. Aliurakoitsijat siis liikkuvat työkohteesta toiseen määrättyssä tahdissa, vapauttaen aina työkohteen eli tahtialueen seuraavalle urakoitsijalle ilman katkoksia. Tahtituotannossa siis korostuu hyvän ennakkosuunnittelun ja tuotannonohjauksen lisäksi eri osapuolten yhteistyö. (Grönvall, 2019, 15-17.)

4.4 Tahtiaikataulun suunnittelun vaiheet ja menetelmät rakentamisessa

Tahtiaikataulun suunnittelun vaiheet voidaan jakaa kuuteen eri osa-alueeseen, jotka pitävät sisällään eri vaiheita onnistuneeseen tahtiaikataulun laadintaan. Vaiheisiin kuuluu Informaation kerääminen, työskentelyalueiden eli lohkojen ja niiden mahdollisten osakohteiden määrittäminen (tahtialueet), työjärjestyksien määrittäminen, työn virtauksen tasapainottaminen, yksittäisten työvaiheiden määrittäminen, sekä lopuksi edellä mainittuja vaiheita viilaamalla tahtiaikataulun laadinta. (Frandsen, 2013, 531.)

Informaation keräämisellä tarkoitetaan työkokonaisuuden määrittämistä. Työkokonaisuuden hahmottamiseksi määritellään kaikki lähtötiedot tiedot siitä, mitä-, missä-, milloin-, kuka-, miten- ja missä järjestyksessä tehdään. Informaatiota voidaan kerätä mm. piirustuksista tai aikataulullisista tavoitteista esimerkiksi yleis- tai rakentamisvaihe aikataulusta, sekä työn suorittajilta esimerkiksi ali- ja sivu-urakoitsijoilta. Periaatteena on, että työmaa luo yhdessä sisäisillä resursseilla tahtiaikataulun rungon, jonka sisällön määrittelee ulkoiset resurssit eli toisin sanoen työvaiheiden suorittajat. (Frandsen, 2013, 531; Grönvall, 2019, 18.)

Lähtötietojen avulla määritellään myös tahtiaikataulun lohkot ja niiden osakohteet (tahtialueet). Alustavat lohkot luodaan ensimmäisestä informaation keruu vaiheesta saatujen tietojen perusteella, mutta tämän jälkeen tahtiaikaa ei voida vielä määritellä, koska sen määrittelemiseksi ei ole vielä tarpeeksi tietoja. Lohkot, sekä niiden osakohteet ovat tahtiaikatauluun määriteltyjä alueita, joissa työvaiheita ohjataan, sekä valvotaan ja tahtiaika kuvastaa ajanjaksoa, joka on annettu tietylle työvaiheelle lohossa ja sen osakohteessa olevien töiden suorittamiseen. Ihannetapauksessa tahtiaikataulussa sijaitsevat lohkot sisältävät työeriä, jotka ovat ajanjaksoltaan mahdollisimman samanpituisia. (Frandsen, 2013, 531, 532; Grönvall, 2019, 18.)

Lohkojaon jälkeen määritellään työvaiheiden työjärjestys eli kaikilla osapuolilla on tärkeää olla tieto ja ymmärrys siitä, kuka työskentelee tahtialueella ja missä järjestyksessä, sekä kuinka monta läpimenoa työvaihe vaatii. Työjärjestyksien määrittäminen vaatii paljon eri työvaiheiden koordinoitua ja yhteensovittamista. Paras keino tähän ovat aikataulupalaverit, joissa istuu työvaiheen kaikki osapuolet. Näin saadaan kaikki osapuolet sitoutumaan valittuun työjärjestykseen ja kaikki ovat perillä omista, sekä muiden ajallisista vastuista. Työjärjestys ei vielä riitä yksinään yksityiskohtaisen informaatiopuutteiden takia määrittelemään luotettavaa tahtiaikaa. (Frandsen, 2013, 532; Grönvall, 2019, 18, 19.)

Tahtialueiden eli lohkojen ja osakohteiden, sekä työjärjestyksen määrittämisen jälkeen pystytään määrittelemään töiden tasainen virtaaminen (workflow). Tässä vaiheessa tuotannon on mietittävä mitkä työvaiheet kestoiltaan ovat syytä olla lyhyempiä ja mitkä pidempiä tai mitä lohkoja ja osakohteita tulisi vielä säätää työvirtausten tasapainottamiseksi. Työvirtauksen tasapainottamiseksi tarvitaan yksittäisten työvaiheiden määrittelemistä. Yksittäisiä työvaiheita käydään yksityiskohtaisesti läpi esimerkiksi aliurakoitsijoiden kanssa ja hiotaan tarvittaessa useita kertoja hyvien ja luotettavien tahtiaikojen luomiseksi. Tässä vaiheessa pystytään myös määrittelemään niin sanotut pullonkaulavaiheet, sekä pystytään vaikuttamaan esimerkiksi materiaalien oikea-aikaisiin toimituksiin. Pullonkaulavaiheella voidaan tarkoittaa työvaihetta, joka on tuotantonopeudeltaan huomattavasti muita rasaskaampi. (Frandsen, 2013, 532; Grönvall, 2019, 19.)

Tuotantonopeus, jolla työtehtävät kulkevat tahtiaikataulussa määriteltyjen lohkojen läpi tasapainotetulla työnvirtauksella sanotaan koko työjoukon tahtiajaksi. Tätä tuotantosuhdetta käyttämällä lohkot voidaan jakaa pienempiin ajanjaksoihin. Tahtiaikaa pienempien ajanjaksojen hallinnalla on tarkoitus seurata töiden etenemistä ja ennakoida, sekä puuttua ajoissa mahdollisiin häiriöihin ennen tahtiajan ylittymistä. Tahtiaikoihin sisällytetään yleensä puskurit, joiden avulla varmistetaan riittävä pelivara työvaiheiden välillä. Puskurilla tarkoitetaan siis yleensä aikaväliä, joka sijaitsee edellisen ja seuraavan työvaiheen välissä. Puskureiksi voidaan myös määrittää kiinteä tahtiajan ulkopuolella oleva ajanjakso esimerkiksi viikonloppu tai varamesta. Varamestalla tarkoitetaan vaihtoehtoisia työskentelyalueita, jos näyttää esimerkiksi siltä, että tahtiaikataulussa mestat näyttävät loppuvan. Lopussa näitä edellisiä aikataulun suunnittelun vaiheita tarvittaessa viilataan, kunnes saadaan tuotokseksi toteutuskelpoinen ja kaikkia sitova tahtiaikataulu (kuva 8). (Frandsen, 2013, 532, 533; Grönvall, 2019, 19.)

	Tahtiaika 1 (vko tai pvä)	Tahtiaika 2 (vko tai pvä)	Tahtiaika 3 (vko tai pvä)	Tahtiaika 4 (vko tai pvä)	Tahtiaika 5 (vko tai pvä)	Tahtiaika 6 (vko tai pvä)	Tahtiaika 7 (vko tai pvä)	Tahtiaika 8 (vko tai pvä)	Tahtiaika 9 (vko tai pvä)
Tahtialue 1	Tahtipaketti 1 rakennustyöt	Tahtipaketti 2 ilmanvaihto	Tahtipaketti 3 sähkötyöt	Tahtipaketti 4 putkityöt					
Tahtialue 2		Tahtipaketti 1	Tahtipaketti 2	Tahtipaketti 3	Tahtipaketti 4				
Tahtialue 3			Tahtipaketti 1	Tahtipaketti 2	Tahtipaketti 3	Tahtipaketti 4			
Tahtialue 4				Tahtipaketti 1	Tahtipaketti 2	Tahtipaketti 3	Tahtipaketti 4		
Tahtialue 5					Tahtipaketti 1	Tahtipaketti 2	Tahtipaketti 3	Tahtipaketti 4	
Tahtialue 6						Tahtipaketti 1	Tahtipaketti 2	Tahtipaketti 3	Tahtipaketti 4

Kuva 8. Esimerkki tahtiaikataulusta (mukaillen Ballard et al., 2013)

4.5 Tahtiaikataulun ohjaus ja seuranta rakennustyömaalla

Tahtiaikataulun sisältämät tahtipaketit koostuvat yleensä lyhytkestoisista työvaiheista, joten työmaan ohjaus ja aikatauluseurannan tärkeys korostuu, jotta aikataulullisten tavoitteiden täyttyminen voidaan varmistaa. Tahtiaikataulun ohjauksen ja seurannan tulisi olla osana työmaan jatkuvaa aikataulusuunnittelua.

Ohjauksen ja seurannan menetelminä voidaan käyttää päivittäisiä lyhytkestoisia ja palaverimaisia tilannekatsauksia, joissa osallistujina olisi työmaan sisäisen organisaation jäsenten lisäksi tarvittavat ali- ja sivu-urakoitsijoiden edustajat, sekä tärkeintä seurannan menetelmää työmaakierrosta. Tilannekatsausten tarkoituksena on päivittää ja dokumentoida tilannetietoa siitä missä sillä hetkellä tuotannossa mennään, jotta voidaan ennakoida tulevaa tuotannon prosessia. Ohjauksen ja seurannan avulla pystytään myös havaitsemaan, ennaltaehkäisemään ja varautumaan tuleviin haasteisiin ja muutoksiin, jotka vaikuttavat tuotannon etenemiseen. Dokumentoinnin avulla saadaan arkistoon tärkeitä tietoja, kuten resurssitietoja, tuottavuuslukuja, sekä laatu, ja työturvallisuusasioita. Dokumentoituja tietoja voidaan käyttää avuksi tulevassa tahtiaikataulusuunnittelussa. (Grönvall, 2019, 22-26.)

4.6 Tahtiajan hyödyt

Tahtiajan käyttämisellä työmaan eri osapuolille saavutetaan monia hyötyjä verrattuna perinteiseen rakennustyömaan aikataulukäytäntöön, joita ovat:

- Yhteisen polun löytäminen, missä eri osapuolet voivat käydä keskustelua eri vaihtoehtoista, miten kukin voi ja haluaisi tehdä työnsä, jotta yhdessä he voivat määrittää työkokonaisuuden pullonkaulavaiheet ja mikä on se optimaalisin lähestymistapa voidakseen suorittaa hankkeen kokonaisuutena parhaalla mahdollisella ja kaikkia osapuolia palvelevalla tavalla.
- Selvä tuotannon reitti, jossa kaikilla on tieto siitä missä ja milloin työskennellään, niin että, jos reitissä on vielä koordinoitavaa tai yhteensovittavaa, se voidaan selvittää ilman sen suurempaa vaivaa ja yllätykset pysyvät minimissä aikataulun toteutuksen aikana.

- Oma paikka toteutusjärjestyksessä, jolloin työn toteuttajat ja tuotannon muut osapuolet voivat suunnitella ja hallinnoida hyvissä ajoin omia resursseja, kuten työkohteiden järjestely asennuksia ja materiaaleja varten, sekä haalausreittien ja nostokaluston määrittäminen.
- Ennustettavuus eli kun tiedetään milloin ja missä tilassa työskennellään, voidaan suunnitella yksityiskohtaisesti työmenetelmät mukaan lukien turvallisuus, laatu ja logistiikka, sekä pystytään tarvittaessa laatimaan varasuunnitelma häiriöiden varalle.
- Rakentava palaute eli työn suorittajat saavat välitöntä palautetta työvaiheiden edistymisestä ja laadusta.
- Parantunut tuottavuus eli työvaiheiden edistymistä voidaan arvioida maksutarkoituksessa pienemmissä erissä, jolloin voidaan olla tuottavampia kuin yleensä. (Frandsen, 530, 531, 2013.)

Tahtiaikataulutuksen avulla saadaan myös huomattavia parannuksia rakennushankkeiden läpivientiaikoihin. Esimerkiksi Frandsen & al. (2013) tutki tahtiaikataulutuksen käyttöä kohteessa, jossa suunniteltiin tahtiaikataulu Kaliforniassa sijaitsevan 8-kerroksisen terveydenhoitolaitoksen ulkoverhousjärjestelmän rakentamisvaiheesta. Tahtiaikataulutuksen avulla työvaihe suoritettiin puoli vuotta nopeammin alkuperäiseen suunnitelmaan verrattuna. Myös Heinonen ja Seppänen (2016) tutkivat tahtiaikataulutusta kohteessa, jossa kunnostettiin laivan hyttejä tahtiajalla. Tapaustutkimuksessa työvaiheiden läpimenoajat vähenivät yli 70 %.

5 HAASTATTELUTUTKIMUS

Tutkimuksessa suoritettut haastattelut ovat puolistrukturoituja avoimia haastatteluja, joissa kysymykset ovat etukäteen laadittuja. Haastatteluissa käydyissä keskusteluissa on kuitenkin voitu poiketa haastattelurungosta, mutta kuitenkin pitäen näkökulma aiheessa ja teemoissa. Haastattelututkimus koostuu neljästä eri haastattelusta. Työmaan sisäisessä haastattelussa olivat mukana Marko Aaltonen, joka toimii kohdetyömaalla maanalaisen rakentamisen osuuden aluevastaavana, sekä Marjo Jaatinen, joka toimii hankkeessa talotekniikka puolen talotekniikkainsinöörinä. Jaatinen ja Aaltonen ovat olleet mukana työmaan tahtiaikataulun suunnittelussa ja laadinnassa. Asiantuntijahaastatteluissa haastateltavina olivat Skanska Oy:n kehityspäällikkö Antti Talo, Skanska Oy:n kehitysinsinööri Pekka Kujansuu, sekä Skanska Talonrakennus Oy:n työpäällikkö Juho-Pekka Hämäläinen. Haastattelut suoritettiin etäyhteyteen perustuvalla Microsoft Teams-sovelluksella. Haastattelut nauhoitettiin, jonka jälkeen niistä laadittiin haastattelumuistiot.

Työmaan sisäisessä haastattelussa, sekä ulkopuolisissa asiantuntijahaastatteluissa keskustellaan samasta aiheesta, mutta teemat vaihtelevat. Työmaan sisäisen haastattelun tavoitteena on tuoda esiin Kivenlahden metroaseman työmaalla haasteiksi koettuja tekijöitä tahtiaikataulutuksen suunnittelussa ja laadinnassa, sekä pohtia maanalaisen rakentamisen vaikutuksia tahtiaikatauluttamiseen. Asiantuntijahaastatteluiden tavoitteena on selvittää miten Kivenlahden metroaseman tahtiaikataulutuksessa koettuja haasteita ja ongelmia voisi torjua tai parantaa ottaen huomioon myös maanalaisen rakentamisen. Samalla selvitettiin myös tahtituotannon tilannetta tänä päivänä Skanskan työmailla, tahtiaikataulutuksen työmaille tuomia haasteita ja hyötyjä, sekä vinkkejä ja kehitysideoita tahtiaikatauluttamiseen.

5.1 Työmaan sisäinen haastattelu

Haastattelun alussa selvitettiin, miten tahtiaikataulu on laadittu kohdetyömaalla. Jaatisen mukaan tahtiaikataulun laadinta alkoi työmaalla järjestettävistä työpajoista, joissa tahtiaikataulua lähdettiin laatimaan tahtiaikatauluttamisen menetelmiä noudattaen ja työmaahan soveltaen. Työpajat lähtivät käyntiin työmaan sisäisesti, jonka jälkeen laajennettiin osallistujakuntaa. Jaatisen mukaan talotekniikan osalta suoritetaan viikoittainen kentällä suoritettava tahtiaikataulukierros, jonka jälkeen tahtiaikatauluun tehdään talotekniikan osalta tarvittavat päivitykset. Tahtiaikataulua pyritään käymään läpi aina urakoitsijakohtaisesti. Rakennuspuolen työkuormituksesta johtuvan ajanpuutteen vuoksi tahtiaikataulun päivitys on jäänyt vähäiseksi.

Seuraavaksi kysyttiin kohdetyömaalla tahtiaikataulun laadinnassa koetuista haasteista. Haastateltavien mukaan haasteet liittyvät työmaan ominaisuuksiin, jotka poikkeavat tavanomaisesta rakentamisesta. Haastateltavat olivat yhtä mieltä siitä, että aikataulutuksen tulisi olla aina suunnitelmallista ja tavoitteellista, mutta tämä on haasteellista, jos aliurakoitsijat eivät ole tarpeeksi sitoutuneita yhteisiin aikataulullisiin tavoitteisiin. Maanalaisen rakentamisen haasteiksi todettiin työmaan logistiikan tuomat ongelmat aikataulutukseen, joka pitää sisällään rajalliset varastointialueet, pitkät haalausrei-

tit, kuormien purun päällekkäisyydet ja tilapuuteet. Haasteeksi on koettu myös tahtiaikataulukäytännön käyttöönotto kesken projektin. Haastateltavien mukaan käyttöönotto pitäisi tapahtua jo hankkeen alkuvaiheessa, jolloin aikataulusuunnittelun prosessiin voitaisiin käyttää enemmän aikaa ja resursseja.

”Tahtiaikataulun näkökulmasta on haasteellista se, että meillä ei ole tässä projektissa toistuvia osa-alueita verrattuna tavanomaisiin kohteisiin, joissa esimerkiksi työvaiheet toistuvat kerroksittain”, sanoo Jaatinen

”Tunneliin saapuvat kuormat ja haalaukset pitäisi olla aina tiedossa. Vaikka logistiikka olisi hyvin suunniteltu, riittää että yksi sooloilee, jolloin vaarana päällekkäisyydet ja mestat sekaisin”, toteaa Aaltonen.

”Jos esimerkiksi runkoaliurakoitsija ei ole valmis suorittamaan yhteisiä tavoitteita sovusti, käy helposti niin, että ei saada mestoja valmiiksi seuraavalle porukalle ja jatkossa aikataulusuunnittelu menee herkästi ”paras arvaus” menetelmäksi”, sanoo Aaltonen.

Haastattelussa pyrittiin tuomaan esiin myös tahtiaikataulutuksen hyötyjä työmaalle sen käyttöönoton jälkeen. Esille nousseita hyötyjä olivat työkokonaisuuden hahmottaminen ja resurssien ohjaaminen.

”Tahtiaikataulu täydentää hyvin viikko-, sekä 3-viikkoisikatauluja”, sanoo Aaltonen

”Tahtiaikataulussa olevia alueita pystytään jakamaan omiksi alueiksi, joita voidaan tarkastella, jakamaan tai pilkkomaan tarvittaessa esimerkiksi työmäärien mukaan, sekä resurssit pystytään katsomaan helposti, jolloin myös niiden ohjaaminen ja työkuormituksen hahmottaminen helpottuu verrattuna esimerkiksi perinteiseen vinoviiva-aikatauluun”, mainitsee Jaatinen.

5.2 Asiantuntijahaastattelut

Haastatteluissa ensimmäisenä keskustelunaiheena oli tahtituotannon nykytilanne Suomessa Skanskan työmailla. Talon mukaan tahtituotannon menetelmiä on otettu käyttöön monessa Skanskan hankkeissa mm. Länsimetrossa, Turun toriparkissa, Lahden Valtari-työmaalla, toimisto- ja asuintalorakennushankkeissa, sekä sairaalahankkeissa. Tahtituotanto on myös projektoitu osaksi Skanskan tavoitetta kehittää ja viedä eteenpäin tahtituotantoa, sekä parantaa ja luoda luotettavampaa tuotannon suunnittelua ja tuotantoa kokonaisuudessaan. Näin saadaan huomattavia tuloksia esimerkiksi projektin läpivientiaikoihin, sekä kustannuksiin. Kujansuu nostaa esille tahtituotannon työmaalähtöisen kehittämisen lisäksi myös akateemisen yhteistyön ja mainitsee Aalto-yliopiston Building 2030 hankkeen, jonka osana Skanska on kehittänyt omaa toimintaa, sekä laadittu diplomi- ja projektitoita, jotka liittyvät työmaakohtaiseen tekemiseen.

”Tahtituotannon käyttöönotto on esillä enemmän erikoisemmissa projekteissa, jotka ovat toteutuksen näkökulmasta monimutkaisia ja aikataullisesti haastavia verrattuna esimerkiksi tavanomaiseen kerrostalohankkeeseen, jossa on yleensä alusta alkaen valmiit suunnitelmat, sekä toteutus tutumpaa”, sanoo Talo.

”Skanska tekee yhteistyötä aktiivisesti myös yliopistojen, sekä ammattikorkeakoulujen kanssa tahtituotannon saralla”, sanoo Kujansuu.

Haastateltavilta kysyttiin myös tahtituotannon ja tahtiaikatauluttamisen haasteista, sekä miten esille nousseita ongelmia ja haasteita voisi torjua. Talon esille nostamia ongelmakohtia olivat tahtituotannon menetelmien jalkauttaminen työmaille ja siihen liittyvät uusiin menetelmiin ulkoisten ja sisäisten sidosryhmien motivoitumiseen ja osallistamiseen liittyvät haasteet, sekä työmaan panostaminen tahtiaikataulutuksen suunnittelun ja laadinnan resurssointiin. Kujansuu nosti haasteelliseksi tahtialueiden suunnittelun. Kujansuun mukaan lohkot tulisi pilkkoa tarpeeksi pieniksi ja mahdollisimman monia aselajeja palvelevaksi kokonaisuudeksi.

”Työporukan motivoiminen uusiin menetelmiin lisäksi ongelmana myös tilanne, jossa tahtiaikataulun laadintaan käytetään liian vähän resursseja esimerkiksi se vastuutetaan yhden henkilön, kuten tuotantoinsinöörin harteille, jolloin voidaan olla varmoja, että tuotanto kärsii”, toteaa Talo.

”Aikataulua tai tuotantosuunnitelmaa ei tulisi laatia vain yksittäinen henkilö, joka hallitsee Excelin tai jonkun muun aikatauluohjelman käytön, vaan mukana suunnittelussa tulisi olla työmaapäällikkö, vastaava mestari, tekniikkalajien- tai hankkeelle merkityksellisiä edustajia, sekä omia asiantuntijoita”, sanoo Kujansuu.

”Haasteelliseksi tahtiaikataulun suunnittelussa on koettu tarkempien paikkajakojen eli tahtialueiden määrittäminen, niistä yhdessä sopiminen, sekä niiden toiminnallisuuksien määrittäminen”, mainitsee Kujansuu.

Talon mukaan työporukan sitouttaminen ei tapahdu sanelemalla tai käskemällä vaan hankkeen eri osapuolet tulisi osallistaa kysymällä mielipiteitä ja ottamalla mukaan aikataulusuunnitteluun. Näin jokainen mukaan lukien aliurakoitsijat saavat selkeän ja luotettavan reitin tuotannon eteenpäin viemiselle. Kujansuun mainitsemien haasteiden torjumiskeinoja ovat eri osapuolien osallistaminen tarpeeksi aikaisessa vaiheessa ja erityisesti Kivenlahden asemalla teknisten urakoitsijoiden tai työmaan oman talotekniikkaosaamisen hyödyntäminen.

”Yhteistoiminnallisen tahtiaikataulusuunnittelun avulla saadaan mukaan monipuolista osaamista, työkuorma vähenee, aikataulu on luotettavampi, toteutettavissa, sekä hallittavampi ja pystytään nopeisiin päätöksiin”, mainitsee Talo.

”Kun puhutaan näistä toiminnallisista alueista, ne sisältävät enemmän teknisiä rajoitteita tai taloteknisten urakoitsijoiden rajoitteita, kuin perinteisessä rakentamisessa. Teknisten järjestelmien rajoitusten huomioimisella voidaan ratkaista ja torjua ongelmia jo etukäteen, jos saataisiin heti mukaan relevantit toimijat”, sanoo Kujansuu.

Haastattelussa kysyttiin myös tahtituotannosta koettuja hyötyjä eri projektin osapuolille. Talon mukaan merkittävimmäksi hyödyksi on osoittautunut yhteistoiminnallisen aikataulusuunnittelun tuomat hyödyt. Talon mukaan yhteistoiminnallisuudella saadaan luotettavampi aikataulu, resurssien ohjaaminen helpottuu, valvonta helpottuu, sekä suunnittelun ohjaus, hankinta ja laatu paranee, sekä yhteinen keskustelu nostaa hyvissä ajoin ennakoidusti esiin tuotannon eri ongelmakohtia esimerkiksi suunnitteluun, suunnitelmiin tai hankintoihin liittyen. Kattavalla yhteistyöllä myös aliurakoitsijoille voidaan antaa kokonaisvaltainen näkemys toteutuksesta, jolloin saadaan ymmärrystä siihen, että toteutuksessa on mukana omien töiden ohessa muitakin osapuolia ja sitä kautta saadaan toteutus pidettyä läpinäkyvänä ja yhteensovittaminen helpottuu, sekä ymmärrystä siitä, miksi eri työvaiheita suoritetaan milläkin tavalla. Kujansuu pitää merkittävänä hyötynä eri sidosryhmien läpinäkyvyyden lisääntymisen ja sitä kautta epävarmuuksien ja oletuskulttuurin vähentymisen.

”Kun kaikilla osapuolilla on ymmärrys siitä mitä tehdään ja kaikille on tehty selväksi niin sanottu punainen lanka, pystytään laatimaan toteutuskelpoinen tahtiaikataulu”, toteaa Talo.

”Kun läpinäkyvyys eri toimijoiden välillä lisääntyy, eri epävarmuustekijät katoavat eli ollaan tietoisia mitä muut tekevät ja samalla eri toimijoiden ei tarvitse olettaa muiden tekemisestä vaan meillä on varmempi tieto siitä mitä muut toimijat ovat tulossa tekemään, sekä mikä heidän käsityksensä on tekemisen laajuudesta. Kaikilla on enemmän varmaa tietoa siitä, mitä rakennetaan”, sanoo Kujansuu

Haastatteluissa kysyttiin myös toimenpiteistä, jotka edesauttavat tahtiaikataulun suunnittelua ottaen huomioon myös kohdetyömaalla koettuja haasteita tahtiaikatauluttamisessa maanalaisen rakentamisen näkökulmasta. Talo pitää merkittävänä toimenpiteenä yrityksen sisäistä ennakkovalmistautumista ennen ulkopuolisten sidosryhmien osallistamista aikataulusuunnitteluun. Kujansuu korostaa ennakkovalmistautumisen ja -suunnittelun tärkeyttä.

”Ennen tahtiaikataulun suunnittelua ulkopuolisten kanssa ja heidän sitouttamistansa käydään sisäisesti läpi esimerkiksi talotekniikan ja rakennuspuolen kanssa kokonaisuutta jalostaen, sekä hahmottaen selkeä linja siitä mitä ollaan tekemässä. Kun kokonaisuus on selvitetty, lohkot valittu ja työvaiheet määritelty voidaan ruveta laajentamaan osallistujakuntaa”, sanoo Talo.

”Kun puhutaan tuotannonsuunnittelusta, niin sitä tulisi tarkastella kokonaisuutena sen sijasta, että suunnitellaan aikataulua yksittäisten työvaiheiden suoritusten näkökulmasta. Kokonaisuuden tarkastelu pitää sisällään kaiken siihen kuuluvan oheistoiminnan”, mainitsee Kujansuu.

Kujansuun mukaan kohdetyömaan logistisia ongelmia voidaan torjua hyvällä ennakkosuunnittelulla ja yhteistoiminnallisuudella. Talo mukaan logistiikan haasteet huomioon ottaen logistinen kokonaisuus tulisi aina suunnitella vasta tuotannon jälkeen, koska tahtiaikataulun tahtipaketit määrittelevät logistiikalle edellytyksiä ja näin päästään hahmottamaan tuotannon kokonaisuuden avulla myös logistista kokonaisuutta.

”Ennen tahtiaikataulun laatimista työmaalla pitäisi olla valmiiksi jonkinlainen tarkemman tason tuotantoaikataulu, jonka perusteella voidaan laatia suunnittelu ja hankinta-aikataulua. Sama pätee myös logistiikkaan. Hyvin laaditulla tuotantoaikataululla voidaan vaikuttaa ennakkoon logistiikan haasteisiin”, sanoo Kujansuu.

”Punainen lanka tulisi olla ensin selvillä, jonka jälkeen voidaan määrittää, tarvitseeko sitä venyttää tai kiristää, jotta logistiikka helpottuisi”, mainitsee Talo.

Lisäksi kysyttiin mitä tahtiaikataulun laadintaan lähtevän yrityksen tulisi huomioida erityisesti. Talo korostaa vielä lähtökohtien, motivaation ja yhteistyön merkitystä. Myös Kujansuu korostaa hyviä lähtökohtia ja tahtiaikataulutuksen resurssointiin panostamista.

Haastattelussa selvitettiin myös vinkkejä, keinoja tai kehitysideoita miten tahtiaikatauluttamista voitaisiin parantaa työmaalla. Haastateltavat korostavat aikataulun valvontaan, sekä suunnittelutyöhön panostamista. Kujansuun mukaan tahtiaikataulutuskäytännöt tulisi myös pyrkiä yhdistämään jatkuvaksi prosessiksi osaksi työmaan tekemistä esimerkiksi ottamalla tahtiaikataulu osaksi työmaan palaverikäytäntöä, sekä osallistamalla aliurakoitsijat mukaan viikoittaiseen rullaavaan tuotannonsuunniteluun, jossa jatkuvasti mietittäisiin seuraavia viikkoja eteenpäin.

”On pyrittävä aina siihen, että etsitään syyt viivästymisille ja mietittävä onko laadittu aikataulu vielä tarpeeksi hyvä tai onko aikataulu tarkkaan mietitty ja tiedetäänkö mitä ollaan tekemässä, sekä viivästymisen tapahtuessa tulisi aina pyrkiä miettimään, miten aikataulu saadaan kiinni sen sijaan, että aikataulua taas muokataan ja venytetään”, mainitsee Talo.

”Ensimmäinen tahtiaikataulu, joka on saatu hyvin laadittua määrittää polun, jota lähdetään etenemään mitä tulisi koko ajan tarkentaa, jotta siinä pysytään”, sanoo Kujansuu.

Viimeisenä selvitettiin, onko tahtiaikataulun tueksi hyvä olla mitään aputyökaluja tai menetelmiä. Talon ja Kujansuun mukaan tehokkain menetelmä on työpajatoiminta ja osallistaminen. Haastateltavat pitivät Exceliä tämän päivän tehokkaimpana työkaluna. Talon mukaan Last Planner on hyödyllinen työkalu silloin kun halutaan tarkastella kokonaisuutta jostakin rajatusta yksittäisestä kokonaisuudesta tai lohkokosta. Kujansuu mainitsee myös Last Plannerin olevan hyvä työkalu tahtiaikataulun laadinnan alkumetreillä.

”Maanläheisestä, yksinkertaisesta ja helposti muita osallistavasta työpajamenetelmästä on helppo lähteä liikkeelle, jolloin osapuolet oppivat yhteiseen toimintaan, jonka jälkeen kokonaisuutta voidaan esimerkiksi Excel pohjaisesti lähteä suunnittelemaan ja jakamaan porukalle”, sanoo Kujansuu.

”Tänä päivänä löytyy vielä toistaiseksi niukasti sähköisiä digityökaluja ja Excel on toistaiseksi ollut tehokkain työkalu sen helppokäyttöisyyden ja monimuotoisen toiminnallisuuden vuoksi”, mainitsee Kujansuu.

5.3 Haastattelujen yhteenveto ja tulokset

Yhteenveto ja tulokset ovat jaettu haastatteluissa esiin nousseiden teemojen perusteella. Teemoiksi muodostui osallistaminen ja yhteistoiminnallinen tahtiaikasuunnittelu, lähtökohdat ja ennakkovalmistuminen tahtiaikataulutuksessa, sekä ohjaus, valvonta ja rullaava tahtiaikasuunnittelu.

5.3.1 Osallistaminen ja yhteistoiminnallinen tahtiaikataulusuunnittelu

Haastattelujen perusteella tahtiaikatauluttamisen merkittävimmät ongelmakohdat nojaavat eri sidosryhmien sitouttamiseen, osallistamiseen ja yhteistoiminnallisuuteen. Myös kohdetyömaan yksi tahtiaikatauluttamisen haasteista liittyy aliurakoitsijoiden sitouttaminen yhteiseen aikatauluun, sekä haasteelliseen yhteistoiminnalliseen aikataulusuunnitteluun.

Eri sidosryhmien sitouttaminen ei tulisi tapahtua esimerkiksi työnjohdon toimesta väkisin käskemällä vaan käskemisen sijasta voidaan käyttää yksinkertaisia osallistamisen keinoja. Osallistamisella saadaan aktivoitua tarvittavia sidosryhmiä yhteisiin tavoitteisiin, sekä saadaan mukaan monipuolista osaamista, jolloin tahtiaikataulusta saadaan luotettavampi ja hallittavampi. Kohdetyömaalla osallistamisella ja yhteistoiminnallisella suunnittelulla voidaan parantaa ja kehittää tahtiaikatauluttamista, sekä poistaa työmaalla koettuja haasteita.

Kohdetyömaalla voidaan osallistaa aliurakoitsijoita ottamalla heidät mukaan aikataulusuunnitteluun. Näin aliurakoitsijat saadaan sitoutettua aikatauluvelvoitteisiin ja saavat selkeän reitin tuotannon eteenpäin viemiselle, sekä yhteisen tavoitteen. Tarvittavia aliurakoitsijoita voidaan ottaa mukaan aikataulupalaveriinkin, jolloin saadaan myös ammatillista näkökulmaa eri työläjien ammattilaisilta. Kohdetyömaan ollessa haastava kokonaisuus esimerkiksi talotekniikan näkökulmasta, on tärkeää,

että suunnitteluun otettaisiin mukaan urakoitsijoiden osaaminen. Kun aliurakoitsijat pääsevät vaikuttamaan työmaan tahtiaikataulutukseen, siitä tulee luotettavampi ja toteutukseltaan totuudenmukaisempi. Samalla saadaan kevennettyä työnjohtajille kohdistuvaa taakkaa. Kohdetyömaalla voidaan käyttää osallistamisen menetelmänä myös maanläheistä, yksinkertaista ja muita osallistavaa työpajatoimintaa. Työpajatoiminta voidaan myös tuoda osaksi työmaan sisäisen organisaation ja aliurakoitsijoiden yhteisiä aikataulukokouksia.

Sidosryhmien osallistaminen nojaa yhteistoiminnalliseen tahtiaikataulusuunnitteluun. Tahtiaikataulusuunnittelussa on aina pyrittävä yhteiseen suunnitteluun ja sitä kautta yhteiseen tekemiseen. Kohdetyömaalla voidaan pyrkiä yhteistoiminnallisuuteen edellä mainittujen osallistamisen menetelmien kautta, sekä omaa sisäistä työryhmää motivoimalla. Työryhmä motivoi aliurakoitsijoita ja toisinpäin, jolloin yhteistoiminta parantuu. Yhteistoiminnallisella suunnittelulla kohdetyömaalla voidaan käydä aliurakoitsijoiden kanssa tahtialueittain läpi työvaiheiden toteutustavat, jolloin saadaan selvä reitti tuotannolle, resurssien ohjaus yksinkertaiseksi, sekä parannettua ohjausta ja valvontaa. Yhteinen keskustelu nostaa esiin myös tuotannon eri ongelmakohtia, sekä saadaan läpinäkyvyyttä sidosryhmien välille ja sitä kautta saadaan poistettua turhia epävarmuuksia ja olettamuksia. Kun eri epävarmuustekijät katoavat, ollaan tietoisia mitä muut tekevät ja samalla eri toimijoiden ei tarvitse olettaa muiden tekemisestä vaan meillä on varmempi tieto siitä mitä muut toimijat ovat tulossa tekemään, sekä mikä heidän käsityksensä on tekemisen laajuudesta. Kaikilla on siis enemmän varmaa tietoa siitä, mitä rakennetaan. Yhteistoiminnallisuus potkii ajatusta siitä, että tahtiaikataulusuunnittelua ei jätetä yhden henkilön harteille vaan laadinnalle tulisi tarkoin määritellä tietty motivoitunut relevantti porukka.

5.3.2 Lähtökohdat ja ennakkovalmistautuminen tahtiaikataulutuksessa

Haastatteluissa painottui myös työmaiden sisäisesti toteutetun ennakkovalmistautumisen ja hyvien lähtökohtien tärkeys. Ennakkovalmistautumisessa käydään työmaan sisäisesti läpi esimerkiksi rakennus- ja talotekniikan toimijoiden kanssa tulevaa tahtiaikataulukokonaisuutta jalostaen, sekä hahmottaen selkeä linja siitä mitä ollaan tekemässä. Kun työmaan sisäisesti on saatu parsittua kasaan kaikki tarvittavat lähtötiedot tulevalle toteutukselle, tahtiaikataulun suunnitteluun voidaan ottaa mukaan tarvittavia sidosryhmiä. Hyvät lähtökohdat ja ennakkovalmistautuminen nojaavat pitkälti myös edellä mainittuun yhteistoiminnalliseen suunnitteluun.

Kun tahtiaikataulu on viilattua kasaan eri sidosryhmien yhteistyöllä, voidaan kokonaisuutta tarkastella muistakin näkökulmista esimerkiksi kohdetyömaalla tahtiaikataulutukseen haasteelliseksi koettu ja vaikuttava tekijä logistiikka. Laaditulla tahtiaikataululla voidaan vaikuttaa ennakkoon logistiikan haasteisiin, joka pitää sisällään rajalliset varastointialueet, sekä pitkät ja haastavat haalausreitit, kuormien purun päällekkäisyydet ja tilapuutteet. Esimerkiksi kohdetyömaalla voidaan ennakkoon tarkastella tahtiaikataulussa olevia tahtipaketteja ja havaita kuinka paljon päällekkäisyyttä on eri tahtialueilla ja milloin mikäkin alue esimerkiksi huoltotunneli tai ratalinja ei ole käytössä tai pystytään varaamaan ajoissa tarvittavan haalauskaluston, sekä pystytään kohdentamaan ja suunnittelemaan materiaalityökaluita aikataulua palvelevasti. Tahtiaikataulua pystytään siis tarkastelemaan muitakin

kokonaisuuksia kuin yksittäisten työvaiheiden suoritusta esimerkiksi hankintoja, suunnitelmia ja resursseja tai edellä mainittua logistiikkaa.

5.3.3 Ohjaus, valvonta ja rullaava tahtiaikasuunnittelu

Yksi haastatteluiden toistuviksi teemoiksi osoittautui ohjaus, valvonta ja rullaava suunnittelu. Myös kohdetyömaalla on koettu tahtiaikataulun ohjaus ja valvonta vähäiseksi. Myös ohjaus, valvonta ja rullaava suunnittelu voidaan pitää osana yhteistoiminnallista tekemistä.

Kohdetyömaan haasteellisuuden vuoksi häiriöitä ilmenee vääjäämättä. Siksi niitä on pyrittävä valvomaan ja häiriöiden ilmaantuessa puuttumaan. Tämäkin tapahtuu eri sidosryhmien yhteistyössä, mutta suurin rooli kantautuu kentällä oleville valkokypärille. Valvonta on pyrittävä pitämään aina osana tahtiaikataulusuunnittelua. Ensiksi on pyrittävä miettimään, miten aikatauluviivästyksset saataisiin kiinni sen sijasta, että tahtiaikataulua ruvettaisiin muuttamaan. Kohdetyömaan tulisi pyrkiä pitämään valvonta osana prosessimaista tekemistä, jossa viikkotasolla käydään läpi nykyhetkeä, sekä tulevia viikkoja. Seurannalla pitäisi myös pyrkiä saamaan esimerkiksi viikkotasolla irti eri tuottavuuslukuja tuotannon toteutuksesta. Hyvä ja yksinkertainen esimerkki tahtiaikataulun toteutuman ja seurannan menetelmästä on valvontavinjetin tapainen merkintätapa, jossa viikkototeutumaa seurataan vinoviivoin. Yksi viiva kuvaa työvaiheen olevan käynnissä ja kaksi viivaa ristissä kuvaa suoritettua työvaihetta. Näin voidaan ennustaa visuaalisesti hyvissä ajoin tahtiaikataulua tulkitsemalla viikon toteutuminen.

Tahtiaikataulutuskäytännöt tulisi pyrkiä yhdistämään jatkuvaksi prosessiksi osaksi kohdetyömaan tekemistä ja valvontaa. Esimerkiksi otetaan tahtiaikataulu osaksi työmaan palaverikäytäntöä, joihin tuodaan mukaan yhteistoimintapainotteisia työpajamaisia käytäntöjä. Vaikka tarkemmalla tasolla suunnitellaan ja mietitään tulevia kuukausia, epävarmuus aina kasvaa mitä pidemmälle aikajanassa mennään. Siksi esimerkiksi, joka aikataulupalaverissa voidaan miettiä seuraavat 2-3 viikkoa tarkemmalla tasolla. Otetaan aliurakoitsijat mukaan viikoittaiseen rullaavaan tuotannonsuunnitteluun ja jatkuvasti mietittäisi seuraavat 3-6 viikkoa eteenpäin. Näin saadaan varmuutta omaan tekemiseen ja samalla taklataan tulevia epävarmuuksia. Tarkemman tason tekeminen tulisi olla siis jatkuva prosessi, joka ei lopu, vaikka ensimmäinen tahtiaikataulu on saatu hyvin laadittua.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön keskeisimmät tavoitteet olivat selvittää teoriapaketin avulla tahtituotantoa, sekä työmaan tahtiaikataulutuksen prosessia ja selvittää sen tuomia hyötyä ja vaikutuksia rakennustyömaalle. Haastattelututkimuksen tavoitteena oli tuoda esiin kohdetyömaalla koettuja maanalaisen rakentamisen osuuden tahtiaikataulutuksen haasteita ja pohtia, miten näitä koettuja haasteita voitaisiin kehittää tai torjua rakennustyömaalla. Laaditun teoriapaketin ja haastattelututkimuksen tulosten perusteella voidaan todeta, että opinnäytetyössä asettamat tavoitteet saavutettiin.

Teoriaosuudessa saatiin luotua yleiskatsaus rakennushankkeen aikatauluista, niiden laadinnasta ja suunnittelusta, sekä tahtituotannosta, tahtiaikataulutuksen prosessista ja hyödyistä. Haastattelututkimuksen avulla saatiin tuotua esiin kohdetyömaalla koettuja haasteita maanalaisen rakentamisen osuuden tahtiaikataulutamisessa, sekä tutkimuksen tuloksena näihin haasteisiin ja ongelmakohtiin saatiin vastauksia.

Tutkimuksen perusteella suurimpina haasteina kohdetyömaan tahtiaikataulusprosessissa koettiin eri sidosryhmien sitouttaminen yhteisiin tavoitteisiin, aikataulun valvonnan haasteet, sekä maanalaisen rakentamisen tuomat logistiset haasteet. Kohdetyömaan tahtiaikataulutamisessa todetut haasteet nojautuivat eri sidosryhmien osallistamiseen, sekä työmaan sisäiseen ja ulkoiseen yhteistoiminnalliseen suunnitteluun. Näihin edellä mainittuihin ongelmiin saatiin vastauksia, joita on selvennetty tutkimustuloksissa.

Tahtituotanto ja sen menetelmät ovat kasvavassa statuksessa Skanskan hankkeissa ja se on projektoitu osaksi Skanskan tavoitetta parantaa rakentamisen tuotantoa Skanskan kehitystiimin ja akateemisen yhteistyön kautta. Työmaalähtöinen opinnäytetyöni on toivottavasti osana täydentämässä näitä tavoitteita. Opinnäytetyön toimeksiantaja voi käyttää opinnäytetyötäni kehittäessään tai parantaessaan työmaan toimintaa.

LÄHTEET

Aikataulukirja 2016. Ratu KI-6028. 2016. [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2020-04-5] Saatavissa: <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia.fi/kortit/Ratu%20KI-6028>

BALLARD, Glenn & LINNIK, Meeli & Berghede, Klas, 2013. AN EXPERIMENT IN TAKT TIME PLANNING APPLIED TO NON-REPETITIVE WORK. Sacramento, California, 2013. [viitattu 2020-05-13] Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/290267984_An_experiment_in_takt_time_planning_applied_to_non-repetitive_work

FRANDSON, Adam & BERGHEDE, Klas & TOMMELEIN, Iris D., 2013. Takt Time Planning for Construction of Exterior Cladding. Fortaleza, Brazil, 2013. [viitattu 2020-04-20] Saatavissa: <https://ig-lcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-3465d25c-5283-47dd-9d3b-106ed6416d70.pdf>

GRÖNVALL, Max 2019. Tahtituotannon implementointi toimitilarakentamisessa. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden tutkinto-ohjelma. Diplomityö. [viitattu 2012-04-14]. Saatavissa: http://lci.fi/wp-content/uploads/2015/05/ENG_2019_Gronvall_Max.pdf

HAARANEN, Hannu. 2019. Rakennushankkeen aikataulun kireyden tarkistus [opetusmoniste]. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

HAARANEN, Hannu. 2019. Valvontavinjetti [opetusmoniste]. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

Heinonen, Aleksi & Seppänen, Olli 2016. Takt Time Planning: Lessons for Construction Industry from a Cruise Ship Cabin Refurbishment Case Study. Aalto-yliopisto. [viitattu 2020-05-01]. Saatavissa: https://research.aalto.fi/files/7207054/Heinonen_and_Seppanen_2016_Takt_Time_Planning_in_Cruise_Ship_Cabin_Refurbishment_Lessons_for_Lean_Construction.pdf

KOSKELA, Lauri & KOSKENVESA, Anssi. Last Planner -tuotannonohjaus rakennustyömaalla [Last Planner production control on construction sites]. Espoo 2003. [viitattu 2020-04-20] Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2003/T2197.pdf>

Lansimetro.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-03-28] Saatavissa: <https://www.lansimetro.fi/>

Lci.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-04-14] Saatavissa: <http://lci.fi/>

LEHTINIEMI, Tuukka 2015. Uusien tuotannonohjausmenetelmien käyttöönotto korjausrakennushankkeessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Diplomityö. [viitattu 2012-04-14]. Saatavissa: http://lci.fi/wp-content/uploads/2015/07/dityo_lehtiniemi.pdf

Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. Ratu KI-6031. 2017. [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2020-03-29] Saatavissa: <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia.fi/kortit/Ratu%20KI-6031>

Sitedrive.com [verkkoaineisto]. Onnistu tahtiajalla opas: käytännön oppeja tahtityömailta [viitattu 2020-03-28] Saatavissa: <https://www.sitedrive.com/fi/blog/tahtiaika-vs-luppoaika/>

Skanska.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-03-28] Saatavissa: <https://www.skanska.fi/>

Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen kesto ja aikataulut. RT 10-11225. 2016. [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2020-03-29] Saatavissa: <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia.fi/kortit/RT%2010-11225>

Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. RT 10-11224. 2016. [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2020-03-29] Saatavissa: https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia.fi/kortit/RT%2010-11224?external_system=Juha&page=1

LIITE 1: ASIANTUNTIJAHAASTATTELUN KYSYMYKSET

Haastattelukysymykset, tahtiaikataulu, tahtituotanto
Asiantuntijahaastattelu

Samuli Sarivaara

1. Mikä on tahtituotannon tilanne tänä päivänä Skanskan työmailla?
2. Mitkä asiat on tahtituotannossa/tahtiaikatauluttamisessa koettu työmailla haasteelliseksi?
3. Miten edellä mainittuja ongelmia/epäonnistumisia voisi torjua?
4. Mitkä ovat rakennushankkeessa tahtituotannon merkittävimmät hyödyt eri projektin osapuolille?
5. Mitkä asiat tai toimenpiteet edesauttavat tahtiaikataulun suunnittelua ottaen huomioon myös työmaalla koetut maanalaisen rakentamisen tuomat haasteet tahtiaikatauluttamiseen?
6. Mitä tahtiaikataulun laadintaan lähtevän työmaan tulisi huomioida erityisesti?
7. Vinkkejä/ keinoja/ kehitysideoita miten voitaisiin parantaa tahtiaikatauluttamista työmaalla?
8. Onko tahtiaikataulun tueksi hyvä olla mitään aputyökaluja/menetelmiä?

LIITE 2: TYÖMAAN SISÄISEN HAASTATTELUN KYSYMYKSET

Haastattelukysymykset, tahtituotanto, tahtiaikataulu
Työmaan sisäinen haastattelu

Samuli Sarivaara

1. Miten tahtiaikataulu on laadittu tällä työmaalla?
2. Mikä ollut haasteellista tahtiaikataulun laadinnassa? yhteensovittamisessa?
3. Maanalaisen rakentamisen haasteet ja vaikutukset tahtiaikatauluun?
4. Tahtiaikataulun koetut hyödyt työmaalle?