

PIHAKANNEN TAHTIAIKATAULUN LAADINTA

Hyödynnettävyys ja soveltuvuus käytäntöön



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Hämeen ammattikorkeakoulu, Hämeenlinnan korkeakoulukeskus

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK)

kevät, 2021

Milko Kihlamo

Tekijä	Milko Kihlamo	Vuosi 2021
Työn nimi	Pihakannen tahtiaikataulun laadinta	
Ohjaajat	Seppo Aalto (HAMK), Jussi Malmelin (Skanska), Max Grönvall (Skanska)	

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tavoitteena oli laatia pihakannen valmistusvaiheeseen tahtiaikataulutus, jonka avulla voidaan saavuttaa ajankäytön ennustettavuutta. Teoriaosuudessa tutustutaan lean-filosofiaan sekä tahtituotannon keskeisiin käsitteisiin. Tutkimusosuuden teemahaastatteluilla kartoitettiin urakoitsijoiden ja työnjohtajien arvioita tahtiaikataulutuksen käyttämisen soveltuvuudesta ja hyödynnettävyydestä pihakannen rakentamisprosessissa.

Tahtituotannon käyttö rakennustyömailla on lean-ajattelun avulla alkanut kasvattamaan suosiotaan. Tahtituotanto on teoria, joka kulkee opinnäytetyön aikana laaditun pihakannen tahtiaikataulutuksen tukena ajallisen ohjauksen alkuvaiheesta loppuun asti. Tutkimuksen aikana vahvistui, että tahtituotannon tavoitteilla ja keinoilla olisi mahdollista lähes puolittaa pihakannen rakennusprojektin kokonaisajankäyttö.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Skanska Talonrakennus Oy, jonka tarpeena oli saada pihakannen tahtiaikataulutus Helsingin Töölön kiinteistökohteeseen. Opinnäytetyössä laaditun pihakannen tahtiaikataulutuksen ajallinen ohjaus esitellään työssä.

Avainsanat Tahtituotannon teoria, pihakannen tahtiaikataulutus, soveltuvuus, hyödynnettävyys

Sivut 39 sivua ja liitteitä 6 sivua

Author Milko Kihlamo

Year 2021

Subject Preparation of Takt Time Planning for Yard Deck Construction

Supervisors Seppo Aalto (HAMK), Jussi Malmelin (Skanska), Max Grönvall (Skanska)

ABSTRACT

The aim of this thesis is to prepare a takt time planning schedule for yard deck manufacturing phase which can be used to achieve predictability in time management. The theoretical part introduces the lean-philosophy and the key concepts of the takt production. In the research part thematic interviews were conducted to examine the evaluations by contractors and foremen about the suitability and usability of takt time planning in the yard deck construction process.

The use of takt production on construction sites has grown in popularity due to the lean-thinking theory. Takt production is a theory that supports the takt time planning schedule designed in this thesis from the start of the temporal control until the end of the project. During the study it was confirmed that with the targets and means of takt production it would be possible almost half the total time spent on the yard deck construction project.

This thesis was commissioned by Skanska Talonrakennus Oy, whose need was to obtain a takt time planning schedule for their yard deck construction in Töölö, Helsinki. The prepared takt time planning for the yard deck and its temporal control are presented in this thesis.

Keywords Takt time planning, yard deck, suitability, usability

Pages 39 pages and appendices 6 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimustehtävän tausta ja lähtökohdat.....	2
1.2	Työn tavoitteet ja rajaus	3
2	Lean ja lean-rakentamisessa	5
2.1	Toyota Product System	5
2.2	Lean-rakentamisen teoria	6
2.2.1	Lean-suunnittelu	7
2.2.2	Hukat ja niiden vähentäminen	9
2.3	TFV-tuotannon teoria.....	10
2.4	LPDS projektipohjainen tuotantosysteemi	11
2.5	Last Planner.....	13
3	Tuotannon virtauttaminen ja tahtituotanto	16
3.1	Virtauttamisen periaatteet	17
3.2	Tahtituotanto rakentamisessa	18
4	Tutkimuksen toteutus	20
4.1	Tutkimus- ja kehittämismenetelmät.....	21
4.2	Työelämän teemahaastattelut.....	21
4.3	Tutkimuksen luotettavuus ja vaikuttavuus.....	23
5	Tutkimuksen tulokset	23
5.1	Nykytilanteen arviointi.....	23
5.2	Tulevaisuuden näkymät	26
6	Pihakannen tahtiaikataulun laadinta	27
6.1	Kohteen kuvaus.....	27
6.2	Lähtötiedot ja tahtialueiden määrittäminen	28
6.3	Työtehtävät ja niiden tahdistaminen.....	30
7	Tulosten analysointi ja johtopäätökset	33
8	Pohdinta ja kehittämissuhteet	37
	Lähteet.....	40

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Kehittämisen kehä (Kihlamo, 2021).....	4
Kuva 2. Toyota Production System -talo (Liker, 2004)	6
Kuva 3. Lean-suunnittelu (mukaillen Ballard, ym., 2002).....	8
Kuva 4. Lean-projektintoimitusjärjestelmä (mukaillen Koskela, ym., 2002).....	12
Kuva 5. Käännetyn vaihe aikataulun prosessin vaiheet (Leanconstruction.org, 2017) ...	15
Kuva 6. Last Planner -menetelmä tuotannonjohtamisessa (Ratu KI-6031, 2017. s. 17).16	
Kuva 7. Havainnekuva, Töölön Kesäkatu (Töölön kesäkatu, n.d.).....	28
Kuva 8. Tahtialueet 1–6, A-lohko	29
Kuva 9. Tahtialueet 7–11, B-lohko.....	29
Kuva 10. Tahtialueet 12–16, C-lohko.....	30
Kuva 11. Pihakannen työtehtävät työpaketteina	32
Taulukko 1. Haastateltavat	22
Taulukko 2. Tulosten yhteenveto SWOT- nelikentässä (A. Humbrey, 1960)	33

Liitteet

Liite 1	Teemahaastattelulomake
Liite 2	Pihakannen työtehtävät työpaketteina
Liite 3	Tahtialueet 1–6, A-lohko
Liite 4	Tahtialueet 7–11, B-lohko
Liite 5	Tahtialueet 12–16, C-lohko
Liite 6	Pihakannen tahtiaikataulu

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on pihakannen tahtiaikataulutuksen laadinta ja sen käyttöönoton arviointi toimeksiantajan rakennuskohteeseen. Tahtituotannon tavoitteilla ja keinoilla olisi mahdollista vähentää hukkaa ja jopa puolittaa rakennusprojektin kokonaisajankäyttöä. Tahtituotannon käytettävyyteen liittyy kuitenkin mahdollisia haasteita, koska rakennustyömaalla kohdataan erilaisia viiveitä työtehtävien aikana, jotka aiheuttavat aikataulullisia häiriötilanteita sekä myöhästymisiä.

Toimeksiantajana opinnäytetyössä on Skanska Talonrakennus Oy. Ensimmäinen kosketus opinnäytetyöhön syntyi työharjoittelussa syksyllä 2020. Työharjoittelun aikana pohdittiin yhdessä toimeksiantajan kanssa opinnäytetyöhön soveltuvaa aihetta, jonka keskeinen tavoite on tuottaa tilaajalle lisäarvoa ja konkreettista hyötyä. Tärkeä aihe, joka liittyy rakennusprojektin aikatauluun, oli pihakannen tahtiaikataulutuksen laadinta Helsingin Töölön Kesäkadulla sijaitsevaan arvokiinteistöön, jossa pihakannen arvioitu rakentaminen alkaa kesällä 2021. Opinnäytetyössä esitellään kohteeseen laadittu pihakannen tahtiaikataulutus, joka sisältää tahtialueet ja työtehtävät työpaketteina.

Tutkimus- ja kehittämisote koostuu teoria- ja tutkimusosuudesta, joiden perusteella haetaan ymmärrystä pihakannen perinteisen toteutustavan ajallisiin ongelmiin verrattuna pihakannen tahtiaikataulutuksella saavutettavaan hyötyyn. Tutkimuksen teoreettisen tarkastelun käsitteenä on lean-filosofia. Leanin teoriaan nojautuu pihakannen tahtiaikataulutuksen oikea-aikainen työn tasainen tahditus, jonka tarkoituksena on esimerkiksi poistaa tarpeetonta ajallista hukkaa.

Tutkimuksellinen osuus toteutetaan työelämän teemahaastatteluina. Toimeksiantajalle suunnattuun haastatteluun valikoituivat tahtituotannosta kokemusta hankkinut aikatauluinsinööri sekä pihakannen rakentamiseen suunniteltuja työnjohdon vastuuhenkilöitä että rakentamiseen osallistuvia aliurakoitsijoita. Toimeksiantajan näkemyksillä halutaan lisätä ymmärrystä tahtiaikataulun laadintaan. Opinnäytetyön tutkimussisältöä täydennetään työelämän arvioinneilla pihakannen tahtiaikataulutuksen soveltuvuudesta ja hyödynnettävyydestä käytäntöön.

1.1 Tutkimustehtävän tausta ja lähtökohdat

Toimeksiantajana opinnäytetyölle toimii Skanska Talonrakennus Oy. Skanska Oy on osa Skanska-konsernia, ja sen alaisuuteen kuuluvat rakentamispalvelut, kalustopalvelut ja asuntoprojektikehitys. Skanska Talonrakennus Oy kattaa talonrakentamisen, talotekniikan ja asuntoprojektikehityksen. (Skanska N.d.)

Toimeksiantajan kanssa sovittiin tutkimustehtäväksi pihakannen tahtiaikataulutuksen laadinta. Sen lähtökohdaksi on lisätty pihakannen rakennusvaiheisiin aikataulutettua ennustettavuutta. Keskustelu eteni työharjoittelussa pihakannen nykytilaan, joka koski kiinnostusta siitä, antaako tahtiaikataulutus uusia ratkaisujen avaimia parempaan tuottavuuteen pihakannen rakentamisen osalta.

Skanska Talonrakennus Oy on aikaisemmista rakennuskohteistaan saanut kokemuksia tahtiaikataulutusten hyödyntämisistä ja toteutuksista käytännössä. Aiemmat kokemukset ovat peräisin sisävalmistusvaiheista. Yritys on kiinnostunut tutkimaan tahtituotannon käyttöä myös muissa kuin sisävalmistusvaiheen töissä, koska heillä on tarvetta saada kattavasti kehitysehdotuksia ja ratkaisuja tahtiaikataulun hyödyntämisestä tulevilla rakennuskohteilla.

Skanska käyttää hankkeissaan pääasiassa aliurakoitsijoita, mikä lisää haasteita uusien keinojen kokonaisvaltaisessa käytössä. Urakoitsijoiden ohjaaminen pois tutuista tuotantotavoista ja perehdyttäminen uusiin voi saada aikaan epävarmuutta sekä vaatii urakoitsijoilta sitoutuneisuutta että innostusta olla mukana uuden ajan rakentamisessa.

Kehittämistehtävä, jonka tavoitteena on tähdätä toimintamallin muutokseen, edellyttää teoriaosuuden osalta monipuolista paneutumista lähdeaineistoon ja koulutuksessa opittuun tietoon. Tutkimustehtävällä pyritään selvittämään tekijät, johon pihakannen tahtiaikataulutuksen käyttöönoton mahdollisuus nojautuu.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyö on tyypiltään laadullinen kehittämistehtävä. Työn tavoitteena on laatia pihakannen valmistusvaiheeseen tahtiaikataulutus, jossa määritellään tahtialueet sekä eri työtehtävät työpaketteina. Kehittämistyö rajataan pihakannen tahtiaikataulutuksen laadintaan ja sen käyttöönoton mahdollisuuksien arviointiin. Rajauksen ulkopuolelle jäävät ne työvaiheet, jotka eivät koske pihakantta.

Uusien ratkaisujen käyttöönotto lähtee liikkeelle kehittämistarpeen viriämisestä. Tässä tapauksessa kehittämistehtävänä on selvittää tekijät, joiden avulla laaditaan tahtiaikataulu, sekä saadaan esiin pihakannen tahtiaikataulutuksen soveltuvuus ja hyödynnettävyys, sen tuoman edun ja lisäarvon merkittävyys sekä mahdollisten epäkohtien ilmentyvyys.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää työnjohtajien ja urakoitsijoiden mielipiteitä pihakannen tahtiaikataulutuksen toimivuuteen liittyvissä mielikuvissa, verraten sitä nykytilaan eli perinteiseen pihakannen rakentamiseen. Tämän lisäksi paneudutaan tahtiaikataulun käyttämisen mahdollisuuksiin tulevaisuuden näkymissä ja arvioidaan tahtiaikataulutuksen valintaan vaikuttavia seikkoja.

Edellä mainitut tavoitteet selventyvät seuraavilla tutkimuskysymyksillä:

- Miten tahtiaikataulu soveltuu pihakannen rakentamiseen yleisesti ottaen?
- Miten tahtituotanto soveltuu Kesäkadun projektissa pihakannen runkorakentamiseen?
- Mitä hyötyä ja lisäarvoa pihakannen tahtiaikataulutamisella saavutetaan?
- Mitä epäkohtia pihakannen tahtiaikataulutamisessa ilmenee?

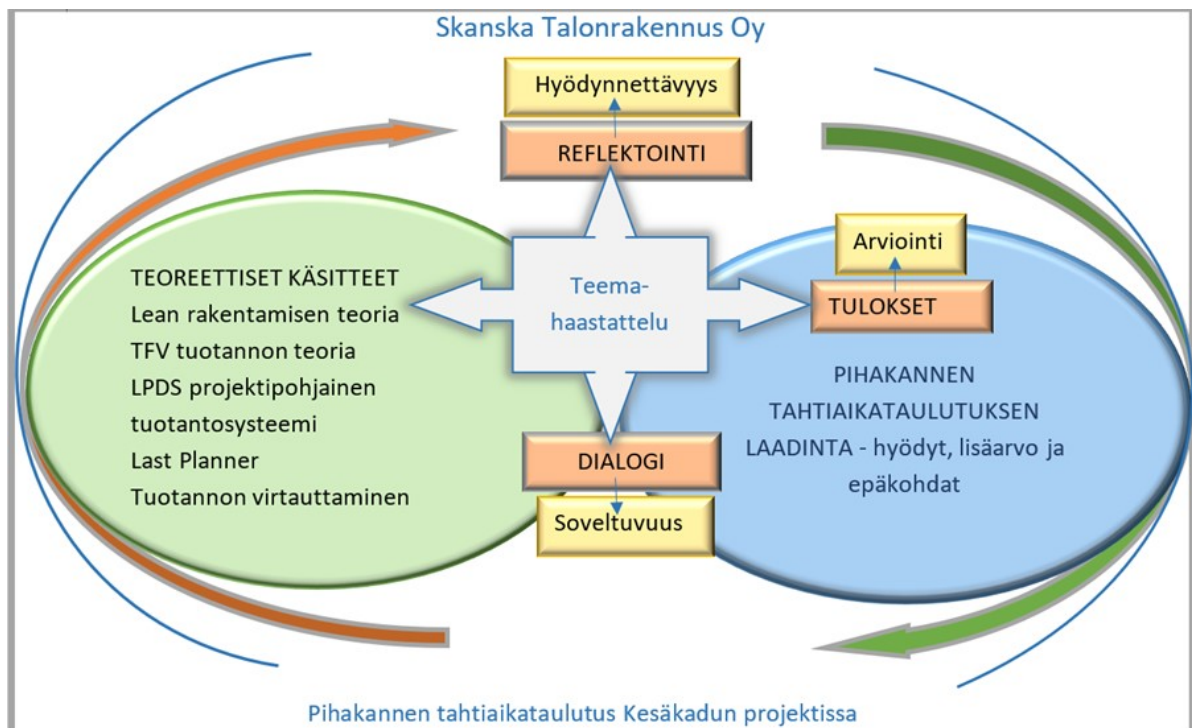
Kehittämistyön aluksi työ jaetaan keskeisiin tarkastelun käsitteisiin: hyödynnettävyys, soveltuvuus ja arviointi kuvan 1 mukaisesti.

Tässä tutkimustehtävässä käsitteet hyödynnettävyys, soveltuvuus ja arviointi valikoituivat lähestymistavaksi, koska pihakannen rakennusvaiheissa tähdätään konkreettisen toiminnan muutokseen, jonka avulla saavutetaan entistä tehokkaampi tahtiaikataulutukseen perustuva tuloksellinen toimintatapa.

Teoriaosuuden ja tutkimustulosten dialogin avulla pyritään löytämään ratkaisukeskeisiä vastauksia siihen, onko pihakannen tahtiaikataulutusta toimiva ja tuloksellinen avain tehokkaampaan tuottavuuden parantamiseen pihakannen valmistusvaiheissa.

Keskeistä on kerätä pihakannen tahtiaikataulutuksen laadintaan merkittävää tietoa työelämän havainnoista ja arvioinneista sekä soveltamis-, kehittämis- ja muutosehdotuksista. Työelämän teemahaastattelujen tulokset kirjataan ja reflektoidaan. Opinnäytetyn kehittämis- ja tutkimusote havainnollistetaan alla esitettyssä (kuva 1) kehittämisen kehässä.

Kuva 1. Kehittämisen kehä (Kihlamo, 2021)



Tämän lisäksi kehittämistehtävässä on tärkeää huomioida uuden käytänteen kyseenalaistaminen. Vanhoista toimintatavoista luopuminen ja uusien ratkaisujen käyttöönotto edellyttää sitoutumista. Tahtiaikataulutuksen muutoksen sisäajon ongelmana voi olla yhteistyötahojen (esim. aliurakoitsijat) epäröinti resurssien käytöstä. Tämä edellyttää, että heti tahtiaikataulutuksen käyttöönoton aloitusvaiheessa tulisi varmistua aliurakoitsijoiden sitoutumisesta.

2 Lean ja lean-rakentamisessa

Tässä luvussa paneudutaan lean-filosofiaan sekä lean-rakentamisen teoriaan, jonka keskiössä on arvon lisääminen ja hukan vähentäminen. Lean-ajattelun perusta pohjautuu Toyota Production Systemiin ja siihen liittyviin tekniikoihin sekä käsitteisiin. Lean-filosofiassa paneudutaan tuotettavaan arvoon mahdollisimman laajalla osallistavalla yhteistyöllä. Yhteistyö tarkoittaa lean-ajattelussa kiinnostusta toisen tekemiseen osallistavalla mehengellä, jossa jokaisen panos nähdään tärkeänä päivittäisten rutiinien toteutuksessa.

2.1 Toyota Product System

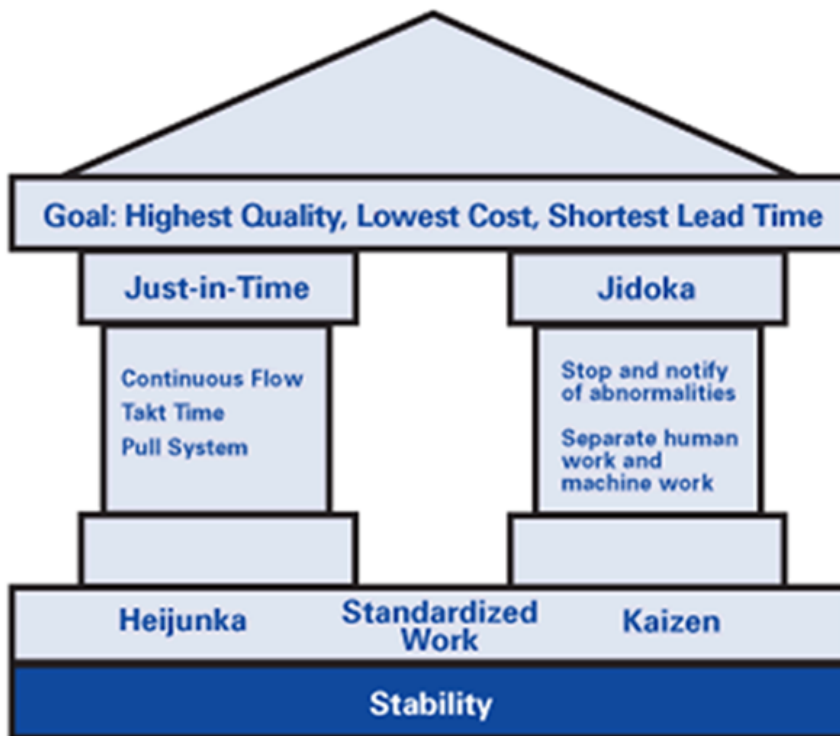
Vuonna 1912–1990 Toyota Motor Corporationin päätuotantoinsinööri Taiichi Ohno sai tehtäväkseen kehittää yritykselle toimenpiteitä, joilla tuotantoa saataisiin enemmän vähemmällä. Ohno kävi erilaisissa massatuotantolaitoksissa Yhdysvalloissa ja hankki ideoita, joilla Toyotan ongelmat (pääoman puuttuminen ja vanhanaikaisuus) saataisiin ratkottua. Lopulta Ohno yhdessä muiden toimijoiden kanssa yhdisti useita konsepteja tuotannossa, jonka avulla kehitettiin Toyota Production System. (Womack ym., 1990)

Toyotalla lean-ajattelun alkuperäinen nimi oli Toyota Product System (TPS), joka on nykyisin käytössä olevien lean-ajattelun sovelluksien perusta. Tätä asetelmaa onkin usein kuvattu Ohnon TPS-talolla, jonka mukaisesti rakennuksen vahvuus määräytyy sen heikoimman osan mukaan. (Liker, 2004) Pyrkimyksenä tuotantojärjestelmässä oli tehtaan sisäisen prosessin jatkuva kehittäminen ja tuotannon tehokkuus (Koskenvesa & Sahlstedt, 2017, ss. 13–14).

Yrityksen tehokkuus, kannattavuus ja hukan vähentäminen ovat lean-ajattelun periaatteita. Tuotannossa hyödynnetään kaikkia mahdollisia menetelmiä, jotka pystyvät vaikuttamaan prosessin tehostamiseen. Lean-ajattelun ytimessä menetelmiä muokataan ja parannetaan koko prosessin ajan sekä tuotantoa reflektoidaan säännöllisesti. (Koskenvesa & Sahlstedt, 2017, s. 13) Lean-toimintamalli on levinnyt miltei kaikille toimialoille. Lean-toimintamallia hyödyntäneet yritykset ovatkin useimmin alansa tuottoisimpia ja kasvavat kovalla vauhdilla. (Kouri, 2010, s. 6)

Alla olevassa kuvassa (kuva 2) on esitetty TPS-talon perustukset, johon sisältyy tuotantojärjestelmän erittelyyn liittyviä periaatteita. Pilarit kuvaavat tuotantolinjan toimintaa ja katto ilmentää yrityksen tavoitteita tarjota asiakkaalle mahdollisimman hyvä aikaansaannos tehokkaasti ja eettisesti. (Liker, 2004)

Kuva 2. Toyota Production System -talo (Liker, 2004)



2.2 Lean-rakentamisen teoria

Lauri Koskela teki sovelluksen 1990-luvun alussa lean-ajattelusta rakennusalalle, joten Suomi tunnustetaan lean-rakentamisen kehittäjänä (Koskenvesa & Sahlstedt, 2017, s. 14). Koskela keksi keinon hyödyntää kokoonpanotehtaiden käyttämää lean-ajattelumallia rakennustuotannossa, vaikka rakennustyö onkin erilaista sekä monimutkaisempaa projektityötä. Yhdistäviä tekijöitä löytyi useita, mutta kyseisenä ajankohtana tietokone- ja automaatiotekniikan liittämistä osaksi tuotantoprosessia voitiin pitää tehokkaimpana tekijänä.

Vanhassa tuotantomallissa tuote kokee muutokset kulkiessa läpi prosessin. Muutos pyritään jakamaan useampaan alatehtävään, joilla prosessin hintaa alennetaan minimoimalla tehtävien kustannuksia. Tällä tähdätään alusta alkaen jo alatehtävän tasolla vähentämään tuotteen kokonaiskustannuksia minimiin. Tuotantomallin ongelmakohtina voivat olla muut huomioimattomat kustannukset, kuten odotusajat, siirrot tai mahdolliset vialliset tuotteet. (Koskela, 1992, ss. 13–15)

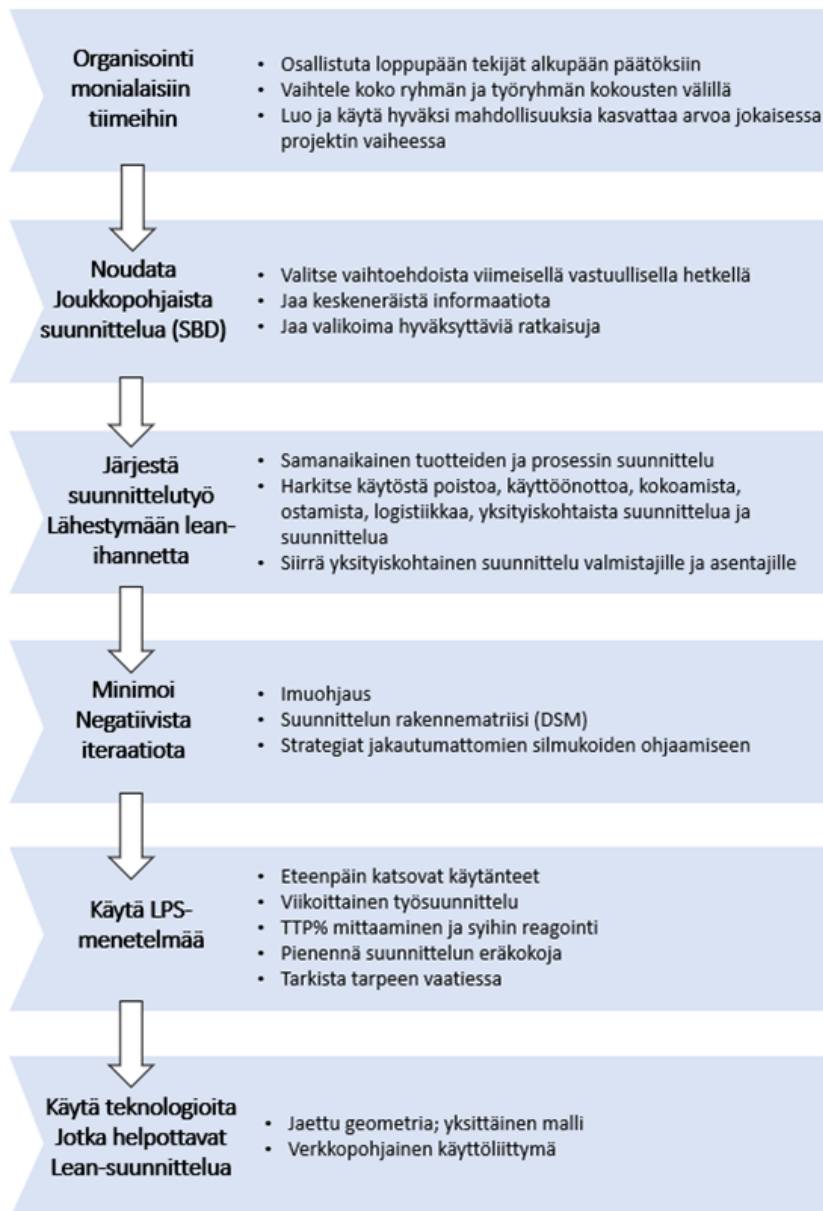
2.2.1 Lean-suunnittelu

Lean-suunnittelu eroaa perinteisestä hankesuunnittelusta siten, että käyttäjän toiveet suunnitellaan ja toteutetaan optimaalisesti. Tällä tavalla on tarkoitus hyödyntää maksimaalisesti koko prosessin eteneminen, minkä kautta on tarkoitus saavuttaa asiakkaalle suurin mahdollinen arvontuotto. Resurssitehokkuudella keskitytään oleellisesti laatuun, jolloin vaikutetaan myös keskeisesti arvontuottoon. Tällä tarkoitetaan yrityksen resursseja, joita ovat koneet ja laitteet, osaava henkilökunta, jne. Lean-suunnittelussa resurssit ja niiden määrät vaikuttavat merkittävästi asiakkaan kokeman arvon saavuttamiseen, jossa toteutetaan välittömästi palvelun laatu ja sen arvo asiakkaan näkökulmasta. Tätä voidaan kutsua arvontunnistamiseksi, joka tähtää lähes täydellisyyteen pyrkimiseen, koska laatuvirheet ja hukkatekijät poistetaan. (Ballard, ym., 2002)

Ballard, ym. (2002) toteavat, että suunnittelun alkuvaiheessa on tärkeää yhteistyökumppaneiden osallistaminen ja motivoiminen rakennushankkeeseen. Tällä tavalla saadaan parannettua kilpailukykyä ja tehtyä asioita oikein. Osallistaminen varmistaa suunnittelun ja rakentamisen onnistumisen käyttäjän kannalta. Se sekä minimoi kustannuksia että lisää toimivia ratkaisuja.

Lean-suunnittelun rakennetta esitetään kuvassa 3. Lean-suunnittelussa järjestelmällisesti siirretään päätöksentekoa, millä saadaan lisää aikaa kehittää ja puntaroida erityyppisiä vaihtoehtoja. Siinä tuotteita ja prosesseja pyritään suunnittelemaan yhtäaikaaisesti pitämällä elinkaariajattelu suunnittelussa mukana. (Ballard & Howell, 2003) Arvon tuottamisen parantaminen ja hukan minimointi ovat lean-suunnittelunohjauksen pääajatuksia (Ballard, ym., 2002).

Kuva 3. Lean-suunnittelu (mukailten Ballard, ym., 2002)



Pääpiirteet lean-rakentamisessa ovat toimitusjärjestelmän tarkat tavoitteet, suorituskyvyn maksimointi asiakkaalle, integroitu rinnakkaissuunnittelu, rakentaminen ja kokonaisvaltainen projektinohjaus suunnittelusta rakentamiseen. (Ballard, ym., 2002)

Lean-toimintamallien käyttö rakennusprojekteissa on helpottanut projektinohjausta, parantanut projektien turvallisuutta, lyhentänyt projektien valmistumisaikaa sekä pienentänyt kustannuksia ja parantanut laadullista tasoa. Lean-rakentaminen kyseenalaistaa perinteisen ajatuksen, jossa tingitään ajasta, kustannuksista tai laadusta rakentamisessa. (Aziz & Hafez, 2013)

2.2.2 Hukat ja niiden vähentäminen

Hukkien tunnistaminen on lean-ajatusmaailman yksi tärkeimmistä ajatuksista. Hukkien korjaaminen ja poistaminen tehokkaasti tuotantoprosessista on lean-menetelmän pääkohtia. Asiakkaan näkökulmasta hukat ovat organisaatioissa olevia keskeisiä ongelmatekijöitä, jotka eivät tuota hyötyä asiakkaalle. (Koskenvesa & Sahlstedt, 2017, s. 13)

Lean-ajattelun mukaan rakennusprojektissa on kahdeksan hukkaa: turha ajankäyttö, laatuvirheet ja niiden korjaaminen, kuljetuksiin menevä aika, materiaalien ja koneiden siirtäminen paikasta toiseen, ylituotanto, joka sisältää ylimääräiset työtehtävät, varastointi yleisesti ja ylimääräinen työprosessi. Näiden edellä mainittujen seitsemän lisäksi on olemassa kahdeksas hukka, jossa ei osata käyttää työntekijöiden osaamispotentiaalia rakennusprojektin aikana täysimääräisesti. (Skhmt, 2017)

Hukkien pienentämiseen on kehitetty menetelmiä, jotka tehokkaasti parantavat tuottavuutta sekä laatua tuotannossa. Näiden eri menetelmien päätavoitteena on tuottaa lisäarvoa asiakkaalle yrityksen toimesta. Menetelmiä ovat laadun rakentaminen prosessiin eli Jidoka, prosessin oikea-aikaisuus eli JIT, keskeytymätön parannus eli Kaizen ja tasoitettu tuotanto eli Heijunka. (Koskenvesa & Sahlstedt, 2017, s. 13)

Koskela (2000) korostaa erilaisia ratkaisuja hukan vähentämiseen:

- Läpimenoaika, jonka avulla lyhennetään;
 - tuotteen valmistamiseen käytettyä aikaa
 - jonotus-, prosessointi-, odotus- ja siirtoaikaa.
- Vaihtelu, jolla pienennetään;
 - epätasaista töiden virtausta.
- Yksinkertaistaminen, jolla helpotetaan;
 - työvaiheiden sujuvuutta sekä ohjauksen ja valvonnan tehokkuutta.
- Joustavuus, jolla kehitetään;
 - työn mielekkyyttä, työtehtävien vaihtelua ja koulutuksien avulla osaamista työyhteisössä.
- Läpinäkyvyys, jolla lisätään;
 - työntekijöiden yhteisöllisyyttä, tasapuolisuutta ja motivaatiota.

2.3 TFV-tuotannon teoria

Koskelan (2000) mukaan tuotannon teoria TFV (Transformation-Flow-Value) perustuu olettamukseen, että rakennusalan keskittyessä tekniikoiden kehittämiseen on ajauduttu kattavampien teorioiden puutteeseen. TFV-teoria on Koskelan kehittämä menetelmä rakentamisen tuotannon parantamiseen. Tarkoituksena on saavuttaa ihanteellinen lopputulos suunnittelun avulla, jossa otetaan huomioon aika-, panos- ja materiaalihukka. TFV-teoria antaa mahdollisuuden uudenaikaiselle rakentamisprosessille, jonka keskiössä on dynaamisuuden, uudistumisen ja monimuotoisuuden hyödyntäminen (Koskela, 2000, s.20).

Kattavan teorian puute saattaa aiheuttaa rakennusalalla jatkuvaa tuottavuusongelmaa TFV-teorian ajatusten perusteella. Tämän lisäksi teorian vähäisyys on vaikuttanut arvontuotto- ja virtausnäkökulmien hyödynnettävyyteen rakentamisprosessien kokonaisuuden hallinnassa. Rakentamisessa on yleisesti panostettu rakennustekniikoiden optimoimiseen tuotannossa, johon on ollut syynä yleisten käytäntöjen soveltaminen rakennustyömaalla. Yleensä kaikkien tuotantokokonaisuuksien optimoinnissa on puutteita kattavan teorian käytöstä. (Koskela, 2000, s. 22)

Teoriapohjan ollessa puutteellinen tuotannon suuntaus ja ajattelutapa kohtaa helposti ongelmia, kun niitä sovelletaan käytäntöön. Potentiaalia tuotannossa on vaikea mitata silloin, kun teoriapohjassa on puutteita ja teorian yleistäminen sekä testaus tuottaa ongelmia. Suorituskyvyn nousu tuotantoprosessissa saadaan käyttöön, kun pystytään siirtämään teoriamenetelmien hyödyt kattavasti tuotantoon. (Koskela, 2000, ss. 18–30)

Koskela (2000) korostaa, että perinteisessä tuotantomallissa on ollut tyypillisesti näkyvissä jokin yksittäinen tuotannon näkökulma, jotka ovat virtaus-, arvo- tai muunnosteoria. Rakennusalan käytössä näistä on ollut perinteisesti muunnosteoria. Tämän perusteella rakennusalalla on keskitytty rakennuksen valmistamiseen eli lopputuotokseen, jossa panokset on laitettu tuotantoon. Nämä teoriat eivät kuitenkaan täytä jokaista päämäärää, joka on annettu yleisesti koskien tuotantoprosessiin liittyviä ominaistavoitteita. (Koskela, 2000, ss. 24–26)

Koskelan (2000, s. 25) mukaan:

- Ennustettavuus tukee tulevaan toimintaan liittyvää arviointia ja ennakointia.
- Selitys löytää syyn tapahtumalle ja selvittää syy-yhteyden ymmärrettävästi.
- Kehityssuunta ohjaa näkymät kehittymisestä teorian avulla.
- Testattavuudella varmistetaan täsmällisen teorian paikkansa pitävyyttä. Tätä on mahdollista validoida milloin tahansa käytännössä.

TFV-malli tarjoaa edellisten tuotantoon liittyvien ominaistavoitteiden lisäksi vielä muita sovelluksia, jotka helpottavat ja uudistavat rakentamisen käytänteitä:

- Erilaisia keinoja ja tapoja johtamiseen: teorian avulla on helpompi työstää erilaisia välineitä tuotantoprosessin suunnittelun, valvonnan ja analysoinnin käyttöön.
- Yhteistoiminta: yhteistyön avulla saadaan prosessi toimimaan paremmin, jossa pohjana toimii toiminnanohjausprosessissa oleva keskeinen teoria ja sanasto.
- Oppimisprosessi: teorian eli tietolähteen käyttö nopeuttaa oppimisprosessia, jossa tiedon jakaminen kaikille on keskiössä.
- Mallin kopiointi: kopioinnin kautta prosessin toimintamalleja on helpompi liikutella toteutusympäristöstä toiseen.

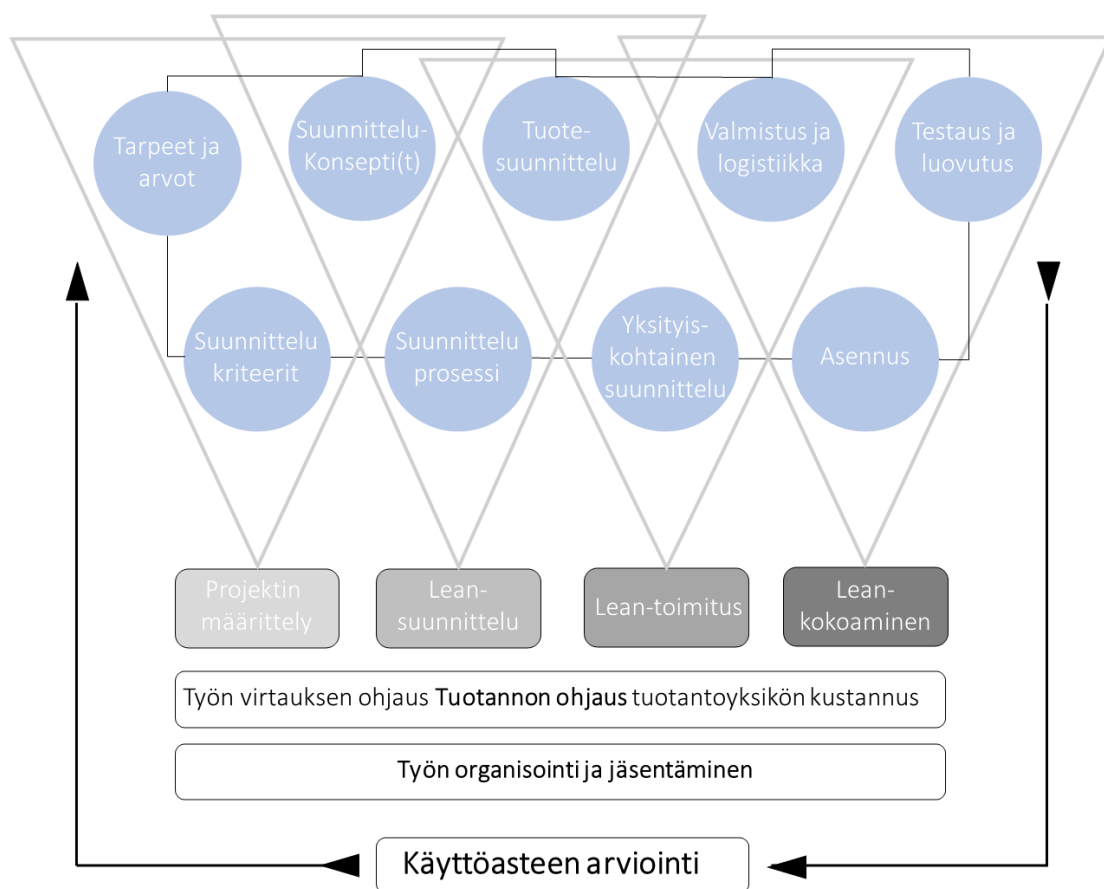
TFV-tuotantomallin perusajatukset ovat osoittaneet käytännön työympäristöissä tuottavuuden lisääntymisen, kun perusajatukset on otettu käyttöön. Samalla on huomattu teorian tärkeys tuotantoprosessin kokonaiskuvassa. (Koskela, 2000, ss. 26–34)

2.4 LPDS projektipohjainen tuotantosysteemi

Glen Ballardin korostaa tutkimuksessaan LPDS Projektipohjaista tuotantosysteemiä (Lean Project Delivery System, 2002). Projektipohjaisessa tuotantosysteemissä (LPDS) otetaan huomioon tuotannon erilaiset vaiheet sekä toimijoiden väliset suhteet. Tiimien vastuu lean-projektipohjaisen tuotantosysteemin alkuvaiheessa on auttaa asiakasta päätöksenteossa siitä mitä hän haluaa lopputulokseksi, eikä vain noudattaa sitä mitä asiakas sanoo. (Ballard, 2008)

Kuvassa 4 esitetään projektintoimitusjärjestelmän vaiheet, jotka ovat projektin määrittely, lean-suunnittelu, lean-kokoaminen ja lean-toimitus. Samalla kuvataan eri vaiheiden punoutuminen yhteen kuvassa olevien kolmioiden avulla. Projektintoimitusjärjestelmän eri osia, jotka liittyvät tuotantoon ja työsuorituksiin, valvotaan ja johdetaan järjestelmällisesti. Käyttöasteen arviointia havainnoidaan jatkuvan palautesilmukan avulla, jonka keskiössä on asiakas ja tuotteen valmistaja. Viidenneksi kohdaksi projektintoimitusjärjestelmään voidaan lisätä käyttövaihe, joka viimeistelee aikaisemmat vaiheet. (Koskela, ym., 2002)

Kuva 4. Lean-projektintoimitusjärjestelmä (mukaillen Koskela, ym., 2002)



Rakennusalan suunnitteluprosessien johtamisessa on onnistuneesti käytetty lean-suunnittelunohjausta ja lean-työkaluja sekä -menetelmiä: LPS-menetelmä, Target Value Design (TVD), Set Based Design (SBD), Design Structure Matrix (DSM). (Uusitalo, ym., 2019)

Lean-suunnittelun lähtökohtana on alkuvaiheessa täsmentää projektin funktio, jossa suunnittelukonseptin avulla tuotetaan kriteerit prosessin kokonaissuunnitelmaan ja toteutukseen. Näiden prosessin vaiheiden avulla tarkoituksena on parantaa asiakkaan kokemaa arvoa. (Ballard, 2008)

Lean-suunnittelun fyysisen kehityksen kohentamiseksi on edistettävä positiivista ja vähennettävä negatiivista kehitystä, jotta hukan syntyminen saadaan minimoitua. Fyysinen suunnitteluprosessi tulee toteuttaa positiivisella suunnitteluiteraatiolla. On myös varmistettava, ettei hankkeen ratkaisevia muuttujia lyödä lukkoon liian aikaisessa vaiheessa suunnittelutyötä. (Jørgensten & Emmitt, 2009)

2.5 Last Planner

Tuotannon ohjaamiseen Yhdysvalloissa 1990-luvulla kehitetty menettelytapa on nimeltään Last Planner, jolla pyritään estämään tuotannon horjuvuutta tarkemmalla suunnittelulla ja sitomalla toimijoita paremmin toimintaan suunniteltaessa tuotantoa. Last Plannerin keskeisiä elementtejä ovat seuraavat sisällöt: suunnittelu, ohjaus ja valvonta kaikissa työvaiheissa. Tämän lisäksi seurataan suunnittelun ja toteutuneen työn eroja sekä niihin liittyviä syitä. Menetelmää käytetään työmailla tuotannosuunnittelussa ja tuotannon virtauttamisessa. (Koskenvesa & Sahlstedt, 2017, ss. 11–15)

Lyhyen aikavälin suunnittelussa ja ohjauksessa käytetään Last Planner -menetelmää. Suunnittelussa yleisesti käytetään lyhyen 4–6 viikon aikaväliä, jossa keskeistä suunnitelman laatimisen lisäksi on myös valvonnan toteutuminen. Työmaalla suoritetaan suunnitelman mukaan niitä työtehtäviä, jotka on hyväksytty aikaisemmin yhteistyössä vastuuhenkilöiden kanssa ja joiden aloittaminen on mahdollista. Suunnittelu edellyttää myös sitä, että työtehtäviä on riittävästi valmiina. Tämän lisäksi on olemassa yleisaikataulu, jonka avulla tehdään suunnitelma työtehtävien sekä niiden aloituskohtien oikea-aikaistamisessa että tehtävien saattamisessa aloituskelpoisiksi. (Koskenvesa & Sahlstedt, 2017, ss. 11–15)

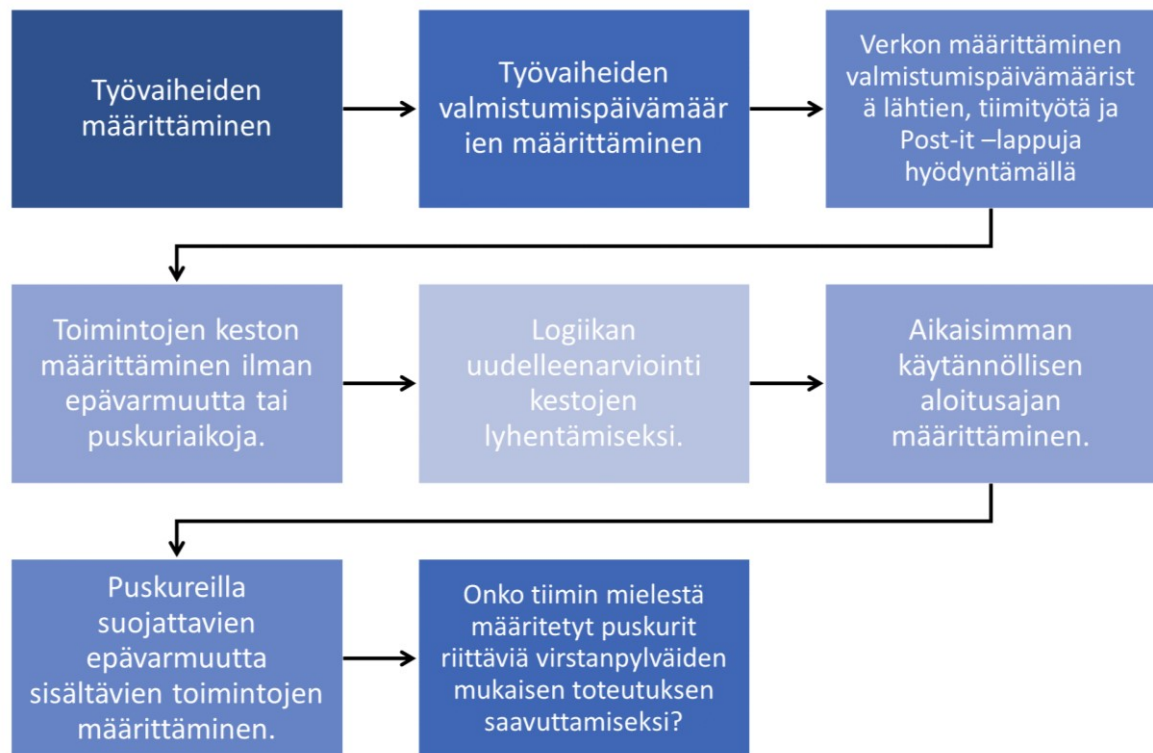
Last Plannerin tärkeimmät osat (Koskela, ym., 2009):

- Last Plannerissa toimijoille luodaan käännetty vaiheaikataulu, jossa yhteistyökumppanit sitoutuvat työtehtäviin.
- Systemaattisen suunnittelun avulla mahdollistetaan työmaalla tapahtuvien viikkotehtävien toteutuminen.
- Tehtävien toteuttamisen varmentaminen viikkosuunnitelmassa, joka laaditaan yhteistyössä vastuuhenkilöiden kanssa, niin että työtehtävien aloitusedellytykset ovat kunnossa.
- Viikkosuunnitelmaan kirjataan toimijoiden suoritevelvollisuus omien tehtävien toteuttamiseen.
- Ratkaisujen löytäminen eri syihin työtehtävissä, jotka jäivät tekemättä.

Imuohjaus viedään läpi ennakoivalla suunnittelulla, jossa pyritään tunnistamaan ja ratkaisemaan tuotantoon vaikuttavat ongelmat ja jossa käytetään käännettyä aikataulua. Suunnitteluun vaikuttavat tehtävät otetaan huomioon Last Plannerissa, mutta toteutettavissa olevat työtehtävät fokusoidaan työpisteeseen. Tällä tavalla otetaan huomioon, että kaikki osakohteet ovat saatavilla työn suorittamiseen. (Koskela, ym., 2009)

Käännetty vaiheaikataulu ja ennakoiva suunnittelu ovat imuohjauksen kivijalka. Käännetty vaiheaikataulu käynnistetään analysoimalla suunniteltujen tehtävien kulku valmistuspäivämäärästä taaksepäin. Tehtävät suunnitellaan ja organisoidaan siten, että kunkin tehtävän valmistuttua vapautuu työtä. Imu eli asiakkaan tarve määrittää materiaalityömitukset, informaation virtauksen ja työtehtävät. Imuohjauksen soveltaminen työtehtäviin tuottaa tehokkaamman ja luotettavamman tuloksen, jonka avulla saadaan poistettua liikatuotannon hukkaa sekä eliminoitua turha tekeminen ja liian odottamisen poistaminen. Motiivit pienemmille tuotantoerille, toimitusten täsmällisyydelle, resurssien tasapainottamiselle ja lyhyille toteutusajoille selviävät yleensä käytettäessä käännettyä vaiheaikataulua. Käännetyn vaiheaikataulun toteutusvaiheet esitetään kuvassa 5. (Leanconstruction.org, 2017)

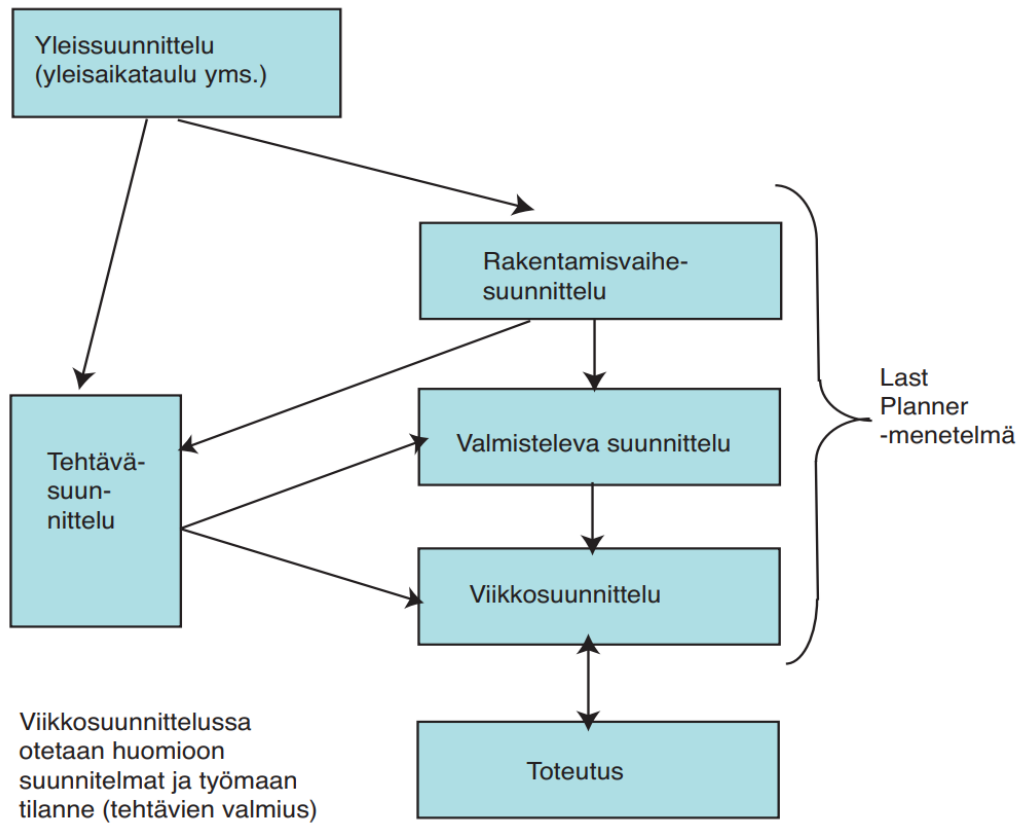
Kuva 5. Käännetyn vaiheikataulun prosessin vaiheet (Leanconstruction.org, 2017)



Työryhmien välinen kommunikointi on tärkeää, koska tämä on elintärkeä asia työn virtauksessa. Yhteistyön avulla seuraava työryhmä on valmiina aloittamaan oman työvaiheensa heidän saatuaan tiedon edellisen työvaiheen valmistumisesta. Työryhmien keskinäinen yhteistyö edesauttaa työsuorituksen valmistumista, jonka jälkeen voidaan laittaa alulle työvaiheen hyväksyntään liittyvät prosessit. Riippuen meneillä olevista työvaiheista prosessi voi aloittaa joko seuraavaa työvaihetta olevan työtehtävän luovutuksen tai työtehtävään liittyvän laadunvarmistuksen. Työvaiheen valmistumisen jälkeen seuraa huolellinen luovutusmenettely, jonka avulla varmistetaan, että kaikilla osapuolilla on sama näkemys hyväksymisprosessista. (Macomber, ym., 2005)

Kuvassa 6 esitetään eri suunnitteluvaiheiden yhdistyminen Last Planner menetelmän mukaisesti työprosessin erilaisiin työvaiheisiin. Työn valmistumisastetta PPC (Percent of Plan Complete) seurataan jatkuvasti, koska tällä tavalla saadaan tietoa työn etenemisestä kaiken aikaa sekä mahdollisiin ongelmiin osataan reagoida nopeasti. Ongelmien raportoinnin avulla tämä on helppoa ja tällä tavalla vältetään häiriöiden tai esteiden ilmaantumista. (Forbes & Ahmed, 2010)

Kuva 6. Last Planner -menetelmä tuotannonjohtamisessa (Ratu KI-6031, 2017. s. 17)



3 Tuotannon virtauttaminen ja tahtituotanto

Virtauttamisen ideana on tehdä tuote mahdollisimman nopeasti valmiiksi. Valmistus jaetaan säännöllisesti toistuviin pieniin eriin, johon vaikuttaa varastossa olevan materiaalin määrä tai asiakkaiden tilaukset. Tuotanto on tarkoitus tehdä yhtäjaksoisesti pitämällä varastot ja keskeneräiset vaiheet mahdollisimman vähäisinä. Lean-tuotannon kehittämiseksi on tärkeää, että virtauttamisen edellytykset täyttyvät tuotannossa. (Kouri, 2010, s. 20)

Käytettäessä tahtia yhdistyvät useat leanin käsitteistä, kuten jatkuva virta, standardisointi, Heijunka eli tasoitettu tuotanto ja ennustettavuus. Tahti itsessään viittaa Toyota Production Systemin kokoonpanolinjojen toimintaan. Säännöllisyys, rytmi ja aikataulutettu valmistuminen, kuvaavat käsitettä ”tahti”. (Tommelein, 2017)

3.1 Virtauttamisen periaatteet

Asiakkaan tekemä tilaus käynnistää prosessin, jota kutsutaan virtaukseksi. Valmistaja hankkii tilauksen mukaiset tarvikkeet, jonka jälkeen tehtaalla tilaus toteutetaan eri osatekijöillä. Näistä kootaan tilauksen mukainen sisältö ja valmis tuote toimitetaan asiakkaalle. (Liker & Niemi, 2006, s. 90)

Jatkuvan virran aikaansaamiseksi tahtituotannossa jokaiselle työpisteelle määritetyt työt tulee saada tehdyksi siinä ajassa, kun ne ovat työstettävänä kyseisessä tuotantolinjan työpisteessä. Tuotantolinjan jokaisen työpisteen joustavan ja maksimaalisen tuotantotehon aikaansaamiseksi työntekijöiden liikkuvuutta tulee vähentää ja tuotannon vaiheet tulee jakaa useampiin alatehtäviin niiden keston minimoimiseksi. (Linnik, ym., 2013)

Koko hankkeen työt jaetaan pienempiin osakohtiin, jotta niiden käsitteleminen olisi helpompaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että työt jäsennellään tahdin voimin. Tahdin avulla saadaan hyötyä työryhmän ja tuotannon virtauttamiseen. Tahtia hyödynnetään esimerkiksi betonielementtiteollisuudessa, jossa työsuoritukset jaetaan tuotantosoluihin ja tahtia käytetään aikataulutuksessa. Tämän lisäksi tahtia hyödynnetään tuotannon ohjauksessa ja valvonnassa, jonka avulla elementtien valmistus on saatu jopa kaksinkertaistettua. Tähän saavutukseen päästään samankokoisilla työryhmillä ilman lisäkoulutusta tai tekniikan muutosta. (Linnik, ym., 2013)

Tuotannon prosessin tehokkuutta mitataan säännöllisesti tuotteiden valmistukseen käytetyllä läpäisyajalla. Tarkoituksena on optimoida tuotteen valmistukseen käytetty aika sekä ottaa huomioon samalla mahdollisimman pieni varastointiaika, jota hyödynnetään tilauskannan perusteella. Tuotannon tehokkuutta voidaan kuvata käsitteellä kokonaisläpäisy aika, jolla tarkoitetaan tuotteen kokonaisaika tilauksesta sen toimitukseen asiakkaalle. Toisena käsitteenä on valmistuksen läpäisy aika, joka käsittää tuotteen valmistuksen aloittamisesta siihen saakka, kunnes tuote on valmis. Tuottavuutta tai valmistusaikaa ei voida kuvata vain läpäisyajalla. Yrityksen kilpailuedussa ja tuotannossa on havaittu positiivisia vaikutuksia, koska sillä on onnistuttu saamaan lyhyitä läpäisyajoja tuotteille. (Kouri, 2010, s. 20)

Kourin (2010, s. 20–21) mukaan tuotantoprosessissa piilevät ongelmat havaitaan helpommin tehostettaessa virtausta. Virtauttamalla tuotantoa yritys saa hyötyä omaan prosessin kehittämiseen, joka vaikuttaa esimerkiksi kannattavuuden lisääntymiseen, nopeampiin toimitusaikoihin, laadun parantamiseen, varaston arvon minimointiin, toimintatapojen kehittymiseen jne. Samalla tuotannon luotettavuus, toiminnan suunnitelmallisuus sekä toiminnassa mahdollisesti olevat laatuhäiriöt havaitaan tuotantoprosessista.

Rakennusalalla työn virtaus sisältää eri asioita kuin tuotantoprosessin virtaus, joka pitää sisällään työsuorituksen tuotannossa sekä sujuvan toiminnan. Rakennusalalla virtaus pitää sisällään suunnittelun, tuotteen, työtavat, työhön osallistuvat henkilöt ja projektiin liittyvät tarvikkeet. Tätä työpakettien kokonaisuutta voidaan nimetä rakennusalan virtaukseksi. Virtaus rakennusalalla toimii kolmella eri tasolla koko projektin ajan. Nämä ovat: operaatio-, prosessi- ja portfoliotaso. (Sacks, 2016)

3.2 Tahtituotanto rakentamisessa

Yksi rakentamisen oleellisimmista työkaluista on tahtiaika. Tahtiaika on lean-prosessissa oleva aika tai nopeus, jonka perusteella tuotokset toimitetaan asiakkaalle niiden valmistuttua tuotantoprosessista. Tuotannon tahdittamiseen käytettyä aikaa verrataan siihen, miten yhden osan valmistamiseen on käytetty aikaa. Tämä tarkoittaa lean-tuotannon tahtiajan määritelmää. (Ali & Deif, 2014)

Yrityksen tuotannon prosessissa tahtiaikaa hyödynnetään käytännössä parametrin muodossa. Tämän lisäksi tuotantotiedettä käytetään edistämään tahtiaikasuunnittelua, jossa hyödynnetään jatkuvaa virtausta työprosessissa ja työprosessin maksimaalisen virtauksen luomista sekä erilaisten haittojen huomioimista. (Frandsen ym., 2014)

Pääasiallinen ajatus tahtituotannon suunnittelussa ja tekemisessä on, että kaikki toimijat osallistuvat tahtituotannon valmisteluun ja työtehtävän toteuttamiseen. Tämän kautta rakennusprojektia täytyisi analysoida kokonaisuutena, jossa yhteistoiminta eri toimijoiden välillä alkaa projektin alusta ja kestää valmistumiseen saakka. Tällä tavalla saadaan kaikkein suurin hyöty mitattua ulos tahtituotannon avulla. Tämän lisäksi jokaisen projektiin osallistuvan täytyisi ymmärtää mitä hyötyä tahtituotannolla saavutetaan. Tästä hyvänä

esimerkkinä on tärkeää havainnollistaa ja esittää rakennusprojektin suunnittelu, jonka avulla prosessiin haetaan ihanteellisia menetelmiä tuotantoon sekä kustannusten hallintaan ja samalla lisätään tuotannon virtausta. (Lehtovaara, ym., 2019b)

Rakentamisen tahtituotannon suunnittelussa ja toteutuksessa kaikille työntekijöille määritetään alueet, joissa he työskentelevät suunnitelman mukaisesti niin, että heillä kaikilla on sama tahti työn valmistumisen osalta (Tommelein, 2017). Tämän avulla suunnittelussa otetaan huomioon eri alueiden erot toiminnassa, jotta löydetään ne alueet, jotka vaativat eniten panostusta. Tällä tavalla toimintaa suunnataan sinne alueelle, jossa työt myös täytyy aloittaa ensin. Tämän lisäksi rakentamisen tahtituotanto suunnitellaan kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa rakennusprojektiin suunnitellaan imuohjaus, jonka jälkeen toisella tasolla tahtialueet määritetään suunnitelman mukaisesti tahtivaunujen osalta ja viimeisellä eli kolmannella tasolla täsmennetään rakentamiseen liittyvät tarkennukset. (Saari, ym., 2018)

Saaren, ym. (2018) mukaan tahtituotannon ideana on jakaa hankkeen eri työvaiheet useisiin samankokoisiin työpaketteihin. Nämä pyritään luomaan niin, että niistä tehdään yhtenäinen jatkumo, jossa paketit seuraavat toisiaan kuin junan vaunut. Tuotanto tapahtuu työalueella samalla nopeudella, jolloin virtaus pysyy tasaisena ja projektia on helpompi hallita sekä valvoa. Tässä ideana on se, että valvonnan avulla pystytään lähes tunnin tarkkuudella havainnoimaan missä, koska ja mitä työmaalla tapahtuu.

Tahtituotannon suunnitteluprosessi koostuu kuudesta vaiheesta, jotka etenevät seuraavasti (Frandsen, ym., 2014):

- Tiedonkeruu ja jakaminen; osallistujille tärkeässä asemassa läpi koko hankkeen. Työvaiheet, suoritusjärjestys, kesto ja menekit kerätään talteen koko hankkeen ajan. Työvaiheisiin osallistuvat henkilöt ovat mukana tietoa kerätessä, jolloin tiedot tulevat olemaan mahdollisimman ajantasaisia.
- Tahtialueiden määrittely; tärkeimmillä työvaiheilla tarkennetaan tahtialueet ja työn kestot. Hanke jaetaan sopiviin lohkoihin esim. asuntoihin ja näin saadaan muodostettua suunnitteluyksiköt.

- Työjärjestyksen määrittäminen; työvaiheet jaetaan johdonmukaiseen järjestykseen. Kaikki hankkeen osapuolet osallistuvat suunnitteluun.
- Yksittäisten tehtävien kestojen määrittäminen; tahtiaika määräytyy hitaimman työvaiheen perusteella, jossa luontevan virran ja työvaiheiden sujuvien vaihtojen onnistumiseksi kaikki työvaiheiden kestot tarkastetaan.
- Työn virtauksen tasaaminen; työvaiheiden järjestelmällinen eteneminen, jossa hukat on minimoitu. Tuotantojunassa tehtävät kulkevat rakennuksen osien läpi järjestelmällisesti.
- Tahtisuunnitelman viimeistely; organisaation jäsenet tarkastavat ja hyväksyvät tahtiaikataulun toteutuskelpoisuuden.

4 Tutkimuksen toteutus

Opinnäytetyön tutkimuksellinen osuus täydentää teoriaosuutta tahtiaikataulun käytön soveltuvuudesta ja hyödynnettävyydestä pihakannen eri työvaiheissa. Tutkimusprosessi painottuu keräämään tietoa mahdollisimman moniulotteisesti tahtiaikataulutuksen hyödyistä, lisäarvosta ja epäkohdista pihakannen osalta. Haastatteluilla haluttiin lisätä ymmärrystä pihakannen tahtiaikataulun laadintaan.

Tutkimus toteutettiin teemahaastattelulla, jonka runko rakennettiin tutkimuskysymysten pohjalta:

- Miten tahtiaikataulu soveltuu pihakannen rakentamiseen yleisesti ottaen?
- Miten tahtituotanto soveltuu Kesäkadun projektissa pihakannen runkorakentamiseen?
- Mitä hyötyä ja lisäarvoa pihakannen tahtiaikataulutamisella saavutetaan?
- Mitä epäkohtia pihakannen tahtiaikataulutamisessa ilmenee?

Teemahaastattelulomake oli jaettu pihakannen rakentamisen nykytilanteen arviointiin sekä tulevaisuuden näkyymiin ja jatkokysymyksiin tahtituotannon hyödyntämisen mahdollisuuksista yritykselle itselleen ja muille osapuolille esimerkiksi aliurakoitsijoille (liite

1). Haastattelunrunko käytiin läpi yhteispalaverissa ohjaavan opettajan ja työpaikkaohjaajan kanssa ennen haastattelun toteuttamista.

4.1 Tutkimus- ja kehittämismenetelmät

Tutkimusmenetelmäksi valikoitui kvalitatiivinen haastattelututkimus, jossa aineiston keruumenetelmänä on puolistrukturoitu teemahaastattelu. Puolistrukturoidun haastattelun valinta on perusteltua niissä tutkimusaiheissa, joissa tarkoituksena on saada haastateltavan mielipidenäkemys kyseessä olevasta aiheesta kuuluviin, eikä tavoitteeseen päästä strukturoidussa eli ns. lomakehaastattelussa. Puolistrukturoidun haastattelun valintaan vaikutti tarve saada keskustelun edetessä mahdollisimman paljon kokemuksellista tietoa ja ongelmalähtöisiä mielipiteitä tutkimuksen ratkaisukeskeisen luonteen vuoksi. (Hirsjärvi & Hurme, 2010, ss. 34–35)

Haastattelututkimus pyrittiin pitämään samana jokaiselle haastateltavalle varmistaen, että jokainen kysymys avattiin haastatteluiden edetessä. Haastatteluun luotiin mahdollisimman vapautunut keskustelua herättävä ilmapiiri, joka edesauttoi vastaamaan myös tarpeellisiin jatkokysymyksiin. Haastateltavien henkilöiden kiinnostuksen tueksi oli pohjustettu PowerPoint-esitys. Esitys oli rakennettu motivoimaan haastattelun kulkua visuaalisten kuvien avulla, minkä tarkoituksena oli ohjailla haastattelua monipuolisin keinoin ja lisätä haastatteluun laadullista syvyyttä aiheen uutuusarvon vuoksi.

4.2 Työelämän teemahaastattelut

Haastattelutilanteessa tutkija voi esittää kaikille haastateltaville mahdollisuuksien mukaan samat, etukäteen valmistetut kysymykset samassa järjestyksessä. Tämä on lähtökohtana silloin, jos tavoitteena on saada muodoltaan tai järjestykseltään tarkempia vastauksia. Teemahaastattelulle on myös tyyppillistä vapaa keskustelu, joka mahdollistaa erilaisten kokemusten esille tuomisen ja painottuu tuottamaan uusia ratkaisuja tutkittavaan aihepiiriin sekä tutkimusongelmaan. Teemahaastattelun toteuttaminen edellyttää sellaista aihetta, johon kummallakin osapuolella on aihealueen tuntemusta. (Eskola & Suoranta, 2014, s. 65)

Teemahaastattelut kohdennettiin valikoidusti harkinnanvaraisella otannalla viidelle henkilölle, jotka olivat Skanskan aikatauluinsinööri, vastaava työnjohtaja, työnjohtaja sekä kaksi aliurakoitsijoiden edustajaa (taulukko 1). Perusteltua harkinnanvaraiselle otannalle oli tutkimukseen osallistuvien henkilöiden määrän vähäisyys, koska luotettavalle laadulliselle tutkimukselle on tyypillistä, että otantajoukko ei ole suuri, mutta haastattelujoukon valinta on harkittua.

Taulukko 1. Haastateltavat

Haastateltava 1	Aikatauluinsinööri
Haastateltava 2	Vastaava työnjohtaja
Haastateltava 3	Työnjohtaja
Haastateltava 4	Aliurakoitsija
Haastateltava 5	Aliurakoitsija

Valintoihin vaikutti merkittävästi toimenkuvaan liittynyt ymmärrys sekä kokemus tahtituotannon suunnittelusta ja ohjaamisesta ja/tai kokemus pihakannen runkorakentamisen suunnittelusta ja toteutuksesta yhteistyössä eri toimijoiden kanssa.

Haastatteluissa esitettiin pihakannen tahtiaikataulutukseen keskeisesti liittyviä kysymyksiä yhteensä kuusi. Lähes jokaisessa pääkysymyksessä oli myös tarkentavia jatkokysymyksiä, koska tavoitteena oli saada aikaan idearikas ratkaisukeskeinen keskustelu pihakannen tahtiaikataulutuksen aihepiiriin liittyvistä mahdollisista ongelmakohtista ja kehityspoluista.

Haastattelut suoritettiin virtuaalisesti huhti- ja toukokuussa 2021 Teams-yhteydellä, koska haastattelujen aikana vallitsi Covid 19 -pandemian tuomat yleisrajoitukset. Haastateltavat saivat kysymykset sähköpostilla etukäteen, mikä mahdollisti haastatteluun valmistautumisen. Tämä edesauttoi haastatteluun sitoutumista ja kattavan tiedon saamista. Kevään poikkeustilanteesta johtuen opinnäytetyön yhteistyöpalaverit järjestettiin Teams-kokoontumisina, jotka koettiin riittävän tehokkaiksi yhteistyötavoiksi.

Haastattelun toteuttamiseen käytettiin suunniteltua teemahaastattelulomaketta (Liite 1). Jokainen haastattelu-aika vaihteli kestoltaan 40–60 minuutin välillä, riippuen siitä, kuinka monipuolisesti haastateltavalla oli aiheeseen kerrottavaa tai kuinka perusteellisesti

kysymyksiä oli tarpeellista pohtia. Haastattelujen keskeisimmät teemat nauhoitettiin haastateltavien luvalla ja litteroitiin tutkimustulosten analysoinnin mahdollistamiseksi.

4.3 Tutkimuksen luotettavuus ja vaikuttavuus

Tulosten luotettavuus koettiin merkittäväksi asiaksi haastatteluaineistoa purettaessa. Tästä syystä haastatteluiden analysointivaiheessa todettiin tärkeäksi lähettää jatkokysymyksiä haastateltaville sähköpostin välityksellä, joilla tarkennettiin ja varmennettiin aikaisempia vastauksia. Tulosten luotettavuus tarkoittaa toistettavuutta, koska tulokset eivät voi olla sattumanvaraisia. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara, 2009, s. 213)

Tutkimuksen vaikuttavuudella tarkoitetaan ominaisuutta, jolla voidaan arvioida tutkimuksen kykenevyyttä ja hyödynnettävyyttä käytännössä. Vaikuttavuutta on hankala arvioida, jos tutkimustulokset eivät johda käytännön tasolle ja tutkimuksen tarkoituksenmukaisuus jää hyödyntämättä (Hirsjärvi ym., 2009, s. 213). Haastatteluista saatuja tuloksia pyritään käyttämään myös tulevaisuuden Skanskan hankkeissa.

5 Tutkimuksen tulokset

Tähän lukuun on koottu tietoa tutkimuksen tulosten vastauksista. Vastaukset ryhmiteltiin seuraavilla haastattelulomakkeen otsikoilla: nykytilanteen arviointi ja tulevaisuuden näkymät.

5.1 Nykytilanteen arviointi

Tähän osuuteen on kerätty tutkimuksen tuloksia teemahaastattelun alkuosasta, jossa keskityttiin nykytilanteen arviointiin pihakannen rakennusprosessissa perinteisellä tavalla sekä tahtiaikataulutuksen avulla.

Pihakannen perinteisten rakennusvaiheiden suurimmat ongelmat; kysymys 1

Haastateltavien kuvauksissa käsiteltiin palaverikäytäntöjen ongelmia. Heidän mukaansa suurimmat ongelmakohdat ovat silloin, jos suunnitelmapalavereita ei ole sovittu ajoissa.

Tämä kuvaa hyvin sitä, että osa aliurakoitsijoista on tarkkaan perillä suunnittelupalaverien

merkityksestä esimerkiksi urakan laajuuden osalta. Palaverikäytännöt ovat yksi tärkeimmistä asioista rakennusprojektin toteutumisen onnistumisessa. Aliurakoitsijat kokevat, että paras palaverityyppi on urakoitsijaa itseään koskeva työsuunnitelmapalaveri, eikä iso työmaapalaveri, jossa kaikki osallistujat ovat paikalla. Palaverin kestolla on ratkaiseva merkitys aliurakoitsijan motivoitumiseen ja sitoutumiseen sekä ajankäyttöön. Keskinäisen palaverin avulla voidaan sopia asioista yhdessä ja keskustella avoimesti ongelmakohtista sekä niiden ratkaisemisesta, kuten esimerkiksi aikataulun ongelmista.

Pihakannen tahtiaikataulutuksella ratkaisuja ongelmakohtiin; jatkokysymys 1

Haastateltavien vastauksissa tahtiaikataulu suunnitellaan tarkasti ennen työtehtäviin siirtymistä. Tämän jälkeen tahtiaikataulu jalkautetaan urakoitsijalle ja keskustellaan hänen kanssaan palavereissa heidän työtehtävistään. Tärkeää on urakoitsijan näkemys siitä, mikä on resurssien saatavuus ja mihin työtuloksen he pääsevät aikataulutuksen perusteella. Keskustelujen perusteella sovitaan yhdessä aikataulutuksen ja työtulosten raamit. Raamien avulla pääurakoitsija määrittää resurssit työtulokseen saavuttamiseen ja täsmentää tulevan viikon työtehtävien tulokset. Samalla pääurakoitsija selventää työn etenemiseen liittyvää tahtiaikataulutusta ja miten se vaikuttaa koko rakentamisprojektin valmistumiseen. Haastateltavien mukaan talotekniikan huomioon ottaminen suunnittelun alkuvaiheessa ratkaisee hyvin pitkälti, miten tahtiaikataulu onnistuu rakennusprojektissa. Sähköurakoinnin suunnittelu ja toteutuksen varmistaminen tahtituotannossa selkeyttää kaikkien osapuolten toimintaa projektissa. Tämän lisäksi LVI-urakoitsijoiden resurssien varmistaminen riittävän ajoissa eri työvaiheissa turvaa, että rakentamisen kokonaisuus sujuu luontevasti eteenpäin. Valvonnan tärkeys korostuu lyhyen aikavälin toteutuksen aikana.

Haastateltavien tulkinnoissa valvonnan suorittaminen rakennusprojektissa tapahtuu pääurakoitsijan toimesta sekä samalla aliurakoitsijat seuraavat oman aikataulutuksessa noudattamista omavalvonnan avulla. Valvontaa suoritetaan työmaakäynneillä ja palaverien yhteydessä pääurakoitsijan toimesta. Pääurakoitsija seuraa projektin etenemistä jatkuvasti viikkopalaverien avulla, joissa työmaareportit avataan näkyville. Työmaakäynneillä pääurakoitsijan edustaja varmistaa ja dokumentoi työmaalla tapahtuneet työsuoritukset sekä huolehtii logistiikan onnistumisesta. Aliurakoitsijat valvovat omaa toimintaansa ennalta suunnitellun aikataulun sekä ohjelman mukaan. Sen avulla voidaan helposti puuttua

epäkohtiin. Pihakannen rakentamisessa varsinkin sääolosuhteet voivat aiheuttaa viivästyksiä tahtiaikatauluun.

Tahtiaikataulutukset soveltuu pihakannen rakentamiseen yleisesti; kysymys 2

Haastateltavien mielipiteissä tahtiaikataulutuksen käyttöönotto rakennusprojektissa täytyy esittää jo siinä vaiheessa, kun pyydetään tarjouksia aliurakoitsijoilta ja tahtitaulun käyttö täytyy olla heille tuttua. Tämä vähentää turhaa keskustelua ajankäytöstä, aikapuskureista ja rakennusprojektin eri vaiheiden valmistumisesta. Tällä tavalla aliurakoitsijat osaavat varautua myös paremmin materiaalin, resurssin ja valvonnan osalta. Aliurakoitsijat saadaan osallistumaan tahtiaikataulun suunnitteluun jo projektin alkuvaiheessa ja samalla voidaan paremmin sitouttaa heidät rakennusprojektiin.

Tahtiaikataulun soveltuvuus Kesäkadun pihakannen rakennuskohteeseen; jatkokysymys 2

Haastateltavien mielikuvissa tahtiaikataulun käytön perustana on tavoitella

kustannustehokkuutta. Tasainen työtahti riittävillä resursseilla tuottaa parhaimman hyödyn rakennusprojektissa, jolloin tahtituotannon edut saadaan täysimääräisesti käyttöön.

Suunnitteluvaiheessa määritellään käytettävä aika, resurssit, logistiikan toiminta

tahtialueella, valvonnan järjestäminen, palaverit jne. Näiden toimintojen avulla

varmistetaan, että työt sujuvat aikataulutuksen mukaisesti ja pystytään välttämään tulevia

lisä- tai muutostöitä mahdollisimman hyvin. Päämääränä on siis tasainen työtahti

tahtialueella, jonka avulla saavutetaan kustannustehokasta rakentamista laadusta

tinkimättä.

Keskeiset tekijät, jotka tuovat lisäarvoa pihakannen tahtiaikataulutuksessa; kysymys 3

Haastateltavien käsityksissä sitoutuneisuus projektiin on elintärkeää niin, että urakoitsija

otetaan mukaan aikataulujen suunnitteluun. Heidän täytyy saada tunne siitä, että he ovat

voineet vaikuttaa aikatauluun ja he ovat mukana myös aikataulun toteuttamisessa. Tämän

lisäksi aikataulut varmistetaan ennakkoon, jolloin arvioidaan käytettävissä olevat resurssit ja

työsaavutukset. Pääurakoitsija perustelee aikataulun toteuttamisen aliurakoitsijoille

viikkotasolla. Siinä arvioidaan aliurakoitsijan työn määrä ja millaiseen työtulokseen täytyisi

päästä viikon aikana ja siten aliurakoitsijan sitoutuneisuus saadaan pysymään hyvänä.

Pihakannen tahtiaikataulutuksen epäkohdat, haasteet tai viiveet: kysymys 4

Haastateltavien oletuksissa Suomen sääolosuhteet saattavat aiheuttaa ongelmia pihakannen rakentamisen yhteydessä, joten sääsuojan varaaminen ja sen pystytys kohteen päälle on tärkeää. Haastattelut etenivät laajemmin sääolosuhteista havaittuihin haasteisiin, joista esimerkkeinä olivat huomiot sääsuojasta syntyviin kustannuksiin. Sääsuojan hyödyntäminen on järkevää vain niissä tilanteissa, joissa siitä saatava hyöty on niin merkittävää, että lopputulos tuottaa riittävän edun ylimääräisestä työstä. Suunnittelun avulla sääsuojan oikea-aikainen käyttö saattaa tuottaa yritykselle tahtiaikataulutuksessa ajansäästöä ja kustannustehokkuutta.

5.2 Tulevaisuuden näkymät

Tähän osuuteen on koottuna tutkimustulosten aineistoa teemahaastattelun loppuosasta, jossa on keskitytty tulevaisuuden näkymiin tahtiaikataulutuksen avulla. Haastatteluissa tuli selkeästi ilmi, että tahtituotanto on kasvava trendi myös rakennusalalla tulevaisuudessa.

Keskeiset asiat tahtiaikataulutuksen tulevaisuuden visioissa; kysymys 5

Haastateltavat pohtivat tulevaisuuden näkymissä, että rakennusalalla lisääntyy tehokkuus tahtituotannon avulla, koska suunnitelmat ovat entistä yksityiskohtaisempia ja yhteistyössä laadittuja. Suunnittelun avulla myös eri työvaiheet selkeytyvät ja samalla työtehtävien vastuut siirtyvät enemmän myös aliurakoitsijoille, mikä helpottaa valvonnan toteutumista.

Tahtiaikataulutuksen tulevaisuuden ennustettavuus; kysymys 6

Haastateltavat ennakoivat, että tulevaisuudessa mallinnusten avulla päästään toteuttamaan visuaalista aikataulua. Se tuo konkreettista helpotusta rakennusalalle tiedon hallinnasta ja välittämisestä projektin aikana. Tällä tavalla tiedon jakaminen aikataulun toteuttamisesta ja työtehtävien valvonnasta helpottuu, koska tieto välittyy myös suorittavalle henkilöstölle suoraan. Esimerkiksi värikoodauksen avulla pystytään välittämään tietoa aikataulusta ja tahtituotannon vaiheista eri työalueilla.

Hyöty aliurakoitsijoiden kanssa toimimisessa; jatkokysymys 6

Haastateltavat arvioivat, että valvontaan liittyy myös laadunvalvonta yhtenä isona osana tulevaisuuden tahtituotannossa. Ammattilypeys omasta työstä on yksi tärkeimmistä asioista

laadunvarmistuksessa. Jokainen ammattilainen hyödyntää resursseja tahtiaikatuotannossa, jolloin on tärkeää, että resurssit tulevat maksimaaliseen käyttöön. Tämän toiminnan avulla voidaan saavuttaa maksimaalinen kustannushyöty ja samalla vähentää hukkaa huomattavasti.

6 Pihakannen tahtiaikataulun laadinta

Tutkimuksen haastatteluilla haluttiin lisätä ymmärrystä aikataulun luontiin. Haastatteluiden tuloksista vain osalla oli merkittävää vaikuttavuutta tahtiaikataulun laadintaan, koska tulokset sisälsivät myös yleisellä tasolla tietoutta tahtituotannon soveltuvuudesta pihakannen rakentamiseen. Tahtituotannon laadinnassa lähdettiin liikkeelle perehtyen ja keskittyen rakennushankkeen suunnitelmiin, joiden perusteella selvitettiin tulevat työtehtävät sekä niiden suoritusjärjestys.

Rakennushankkeelle laaditaan yleisaikataulu, johon liittyy rakennuksen sääsuojan poistaminen sekä julkisivutöiden yhteensovittamisessa määritellyt projektin raamit, minkä puitteissa pihakannen rakentaminen pyritään suorittamaan. Yleisaikatauluun suunnitellun pihakannen rakentamisen läpimenoaika määritellään alustavien suunnitelmien pohjalta, jossa otetaan huomioon aikaisemmin toteutuneet pihakannen rakentamishankkeet sekä arvioitu pinta-ala.

6.1 Kohteen kuvaus

Kohde on Helsingin Töölössä sijaitseva Yleisradion entinen toimitalo, joka kunnostetaan moderneiksi asunnoiksi. Rakennustöiden on arvioitu valmistuvan joulukuussa 2022. ”Rakennustyö tehdään ainutlaatuista henkeä kunnioittaen ja tulokseksi saadaan 146 korkealuokkaista arvokotia. Ylimmän 8. kerroksen asunnoissa on terassit ja 2.–7. kerroksen asunnoissa viihtyisät lasitetut parvekkeet. Ensimmäiseen kerrokseen rakennetaan yhteistiloja, kuten kuntosali, spa-osasto ja oleskelutilat. Rakennukseen tehdään kaksi liiketilaa ja viihtyisät piha-alueet edustavalla sisäänkäynnillä” (kuva 7). Taloon on suunniteltu hisseillä suora kulkuyhteys kellarikerrokseen, josta pääsee suoraan pihakannen alle sijoittuvaan autohalliin. (Töölön kesäkatu, n.d.)

Kuva 7. Havainnekuva, Töölön Kesäkatu (Töölön kesäkatu, n.d.)



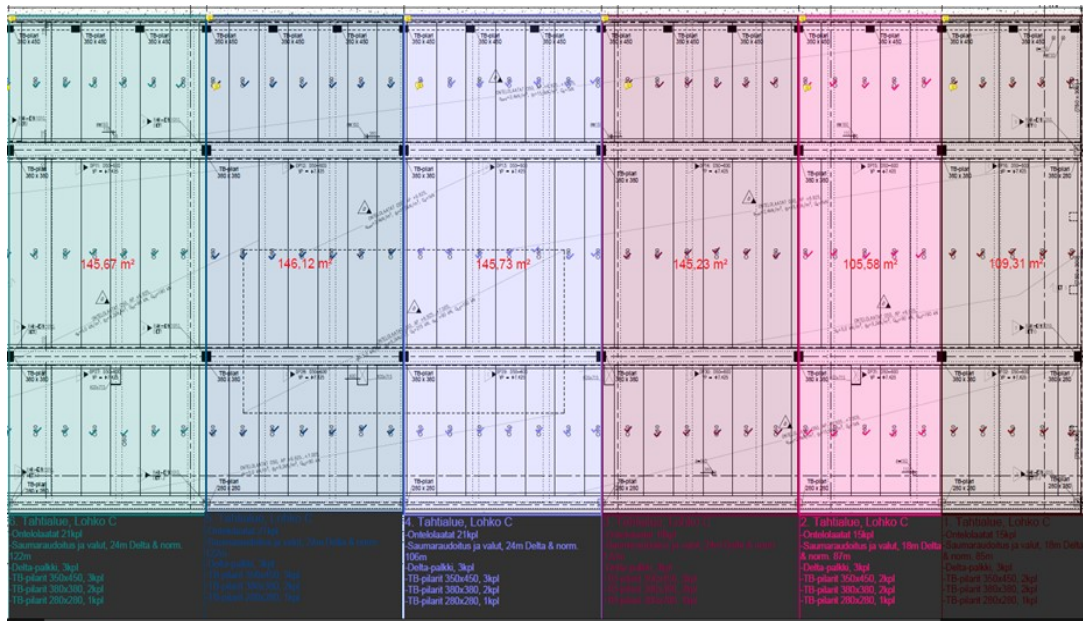
6.2 Lähtötiedot ja tahtialueiden määrittäminen

Tiedonkokoamisessa, työvaiheiden ja -järjestyksen suunnittelussa pääasiallisessa roolissa ovat työvaiheelle kohdistetut toimihenkilöt. Tahtituotanto pohjautuu yhdessä suunnitteluun ja tästä syystä urakoitsijoilta kysytään mielipiteitä sekä tarkennettuja kestoja töiden suorittamiselle. Urakoitsijoita valittaessa tulisi sopimukseen kirjata ennakkoehto tahtiaikataulun noudattamisesta.

Tahtituotantoon haluttiin sisällyttää ainoastaan pihakannen rakenteisiin vaikuttavat työtehtävät. Tahtituotannon ulkopuolelle jätettiin pihakannen purkutyöt sekä myöhemmässä vaiheessa toteutettavat pihatytöt. Pihakannen työskentelyalueiden perusjako tehtiin rakennuksen lohkojaon mukaan, jonka jälkeen kukin lohko jaettiin pienempiin tahtialueisiin. Kukin lohko sisältää 5–6 tahtialuetta ja ne ovat kooltaan 100–150 m².

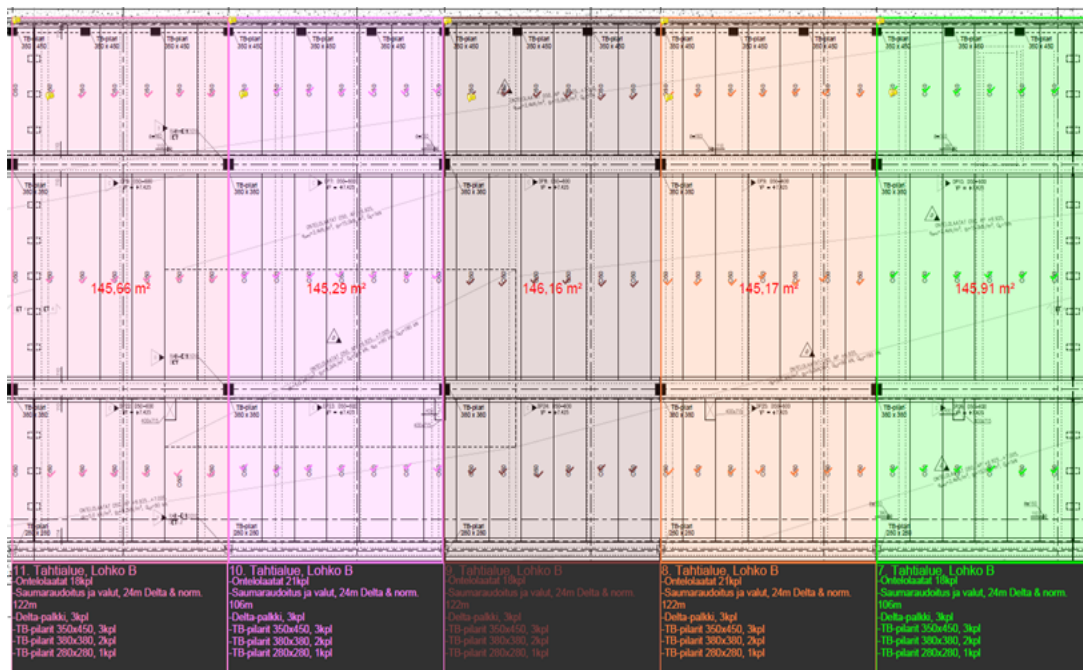
Tahtialueita on kokonaisuudessaan 16. Tahtialueet 1–6 ovat A-lohkosuunnitelman mukaisia. Ne esitellään alla olevassa kuvassa 8.

Kuva 8. Tahtialueet 1–6, A-lohko



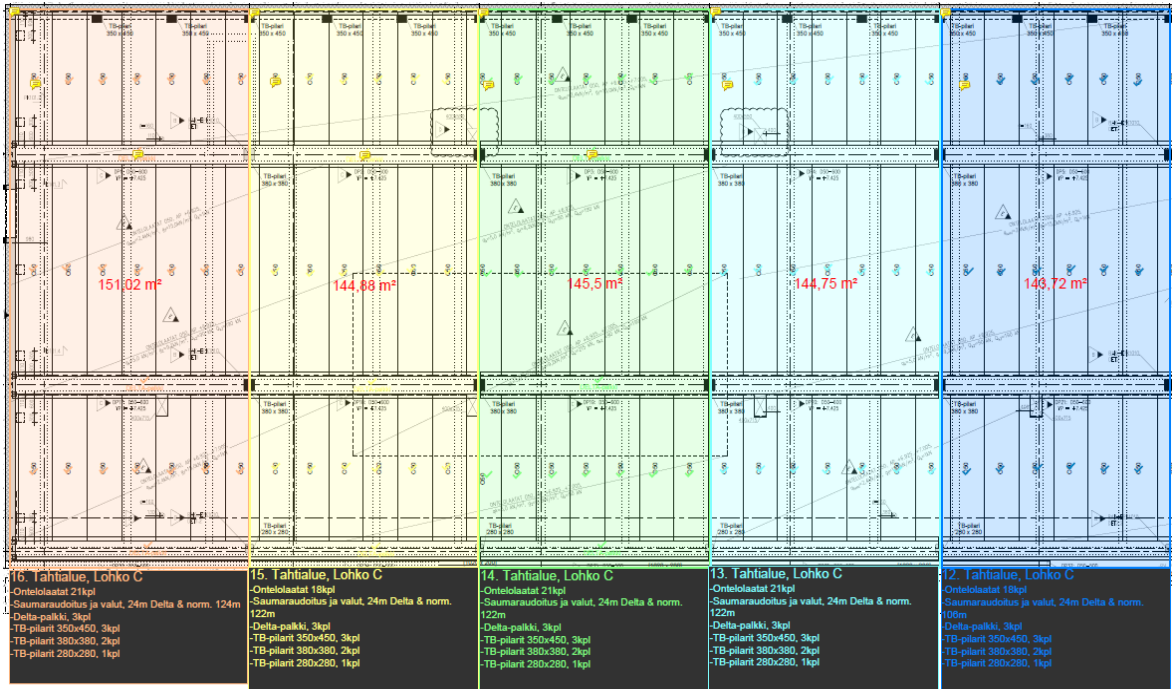
Tahtialueet 7–11 ovat B-lohkosuunnitelman mukaisia (kuva 9). Tahtialueiden valinnassa oli huomioitava elementtiasennusten jakautuminen mahdollisimman tasaisesti kaikille tahtialueille.

Kuva 9. Tahtialueet 7–11, B-lohko



Tahtialueet 12–16, C-lohkosuunnitelman mukaisia, jotka esitellään kuvassa 10. Tässä lohossa tahtialueet valittiin samoilla periaatteilla, kuin edellisissä lohkoissa.

Kuva 10. Tahtialueet 12–16, C-lohko



6.3 Työtehtävät ja niiden tahdistaminen

Aikataulun laatiminen aloitetaan työtehtävien kestojen määrittämisellä. Työtehtävien mitoittamiseen käytetään Rakennusteollisuus ry:n sekä Rakennustieto Oy:n luomaa Ratu-kortistoa. Ratu-kortistosta löytyy tavanomaisten työvaiheiden menekit ja työsaavutukset. Näitä apuna käyttäen luodaan työmenekkitietoa eri työvaiheista.

Työvaiheiden kestot on kuitenkin käytävä läpi yhdessä urakoitsijoiden kanssa, koska heillä on enemmän kokemusperäistä tietoa työvaiheiden suorittamisesta. Erilaisten työvaiheiden mitoittamisessa voidaan hyödyntää myös yrityksen aikaisemmin saamaa kokemusperäistä tietoa.

Tahtiaikatauluun suunnitelluista tahtialueista laskettiin yksityiskohtaisesti kaikkien pihakannen rakentamisen sisälle rajattujen työvaiheiden suoritemäärät. Esimerkiksi elementtiasennukset laskettiin kappaleittain ja paikallavalutyöt pinta-alan mukaan. Lasketut

määrät kerrottiin Ratu-kortiston työmenekeillä, jonka jälkeen kokonaisuika jaettiin työryhmän työvuorossa käyttämällä ajalla ja näin saatiin lopputulokseksi työvaiheeseen käytettävä aika työvuoroissa. Tahti- ja lohkoalueet esiteltiin aliurakoitsijoille ja he saivat kertoa oman näkemyksensä työvaiheiden kestoista kullakin loholla.

Tahtituotantoa aloittaessa vanha pihakansi on purettu ja pilareiden perustukset on valettu valmiiksi. Tästä eteenpäin olevat työvaiheet aina pihakannen pintalaatan valamiseen saakka jaettiin työpaketteihin eli ns. tahtivaunuihin.

Lopuksi kaikki työpaketit yhdistettiin yhdeksi tahtijunaksi eli tuotannon etenemisnopeus saatiin määritettyä. Kohteen tuotantonopeudeksi valittiin yksi päivä, jolloin jokainen työpaketti saa pääasiassa yhden päivän tahtialuetta kohden, minkä jälkeen siirrytään seuraavalle tahtialueelle. Tuotanto pyrkii etenemään samalla tahdilla läpi koko rakennusprosessin ja näin ollen jokainen työryhmä saa työskennellä kullakin tahtialueella omassa työrauhassaan.

Haastetta tuottaa rakennusympäristö, johon tarvittavien komponenttien ja logististen toimien aikatauluttaminen saattaa aiheuttaa vaikeuksia. Valmis tahtiaikataulu hyväksytetään kaikkien tahtituotantoon osallistuvien kesken. Tahtiaikataulun toteutettavuutta arvioidaan kaikkien osapuolten kanssa niin kauan, kunnes kaikki ovat sitoutuneita noudattamaan laadittua aikataulua.

Työpaketit esitellään alla olevassa kuvassa 11. Työtehtävät, joita tahtituotannossa kutsutaan työpaketeiksi ovat riippuvaisia toisistaan. Seuraavaa työvaihetta ei voi aloittaa ennen kuin edellinen on saatu valmiiksi. Hyvänä esimerkkinä on se, että ontelolaattoja ei voida asentaa ennen kuin deltapalkit on asennettu.

Pihakannen työtehtävät suunniteltiin työpaketteina (kuva 11), jonka eri työvaiheisiin saatiin kehittämissideoita pihakannen rakentamiseen osallistuvilta toimihenkilöiltä ja aliurakoitsijoilta.

Kuva 11. Pihakannen työtehtävät työpaketteina

1. **PILARIELEMENTIT** Elementit on asennettu, kiinnitetty ja saumattu. Työ on tarkastettu ja hyväksytty. Siivous ja jälkihoito on tehty ja työvälineet puhdistettu.
2. **DELTA-PALKIT** Deltapalkit on asennettu ja kiinnitetty. Työ tarkastettu ja hyväksytty. Siivous ja jälkikiristykset on tehty.
3. **KUIVUMINEN** Työvaiheiden välissä oleva kuivumisaika.
4. **ONTELOLAATAT** Elementit on asennettu. Työ on tarkastettu ja hyväksytty. Siivous ja jälkihoito on tehty ja työvälineet puhdistettu.
5. **SAUMARAUDOITUS JA VALUT** Elementit on raudoitettu ja saumattu. Työ on tarkastettu ja hyväksytty. Siivous ja jälkihoito on tehty ja työvälineet puhdistettu.
6. **TUKKOLAUDOITUS / VALUVALMISTELUT** Elementin saumojen ja läpivientien muotti laudoitus. Epäpuhtauksien siivous, materiaalisiirot ja muut valuvälineet.
7. **VESIREIKIEN AVAUS** Ontelolaattojen vesireikien avaukset. Työ tarkastettu ja hyväksytty. Siivous ja työvälineet puhdistettu ja telineet palautettu.
8. **KALLISTUKSET & KAIVOJEN ASENNUS** Betonointi on tehty ja kaivot asennettu, tartunnat asennettu ja tarvittavista suojauksista, valumerkinnöistä ja jälkihoidosta on huolehdittu. Betonikalusto on puhdistettu ja varastoitu. Kohde on siivottu.
9. **VIEMÄRÖINTI** Järjestelmälinjat on tarkastettu ja hyväksytty. Kohde on siivottu ja jätteet lajiteltu.
10. **ERISTYKSET JA LÄMPÖKAAPELIT** Järjestelmälinjat on tarkastettu ja hyväksytty. Kohde on siivottu ja jätteet lajiteltu.
11. **SINKOPUHALLUS** Työ on tehty. Työ on tarkastettu ja hyväksytty. Siivous ja työvälineet puhdistettu.
12. **VEDENERISTYS** Työ on tehty työselostuksen mukaan, tarkastettu ja hyväksytty ennen rakenteiden peittämistä. Kohde on siivottu ja jätteet lajiteltu. Koneet ja kalusto on puhdistettu.
13. **LÄMMÖNERISTYS & SALAOJAMATTO** Lämmöneristys on valmis, tarkastettu ja hyväksytty ennen rakenteiden peittämistä. Kohde on siivottu ja kalusto puhdistettu.
14. **TB-LAATAN RAUDOITUS** Raudoitteet ja raudoituselementit on asennettu, asennus on tarkastettu ja hyväksytty. Työkohde on siivottu, jätteet lajiteltu ja ylimääräiset teräkset varastoitu.
15. **TB-LAATTA** Betonointi on tehty, tartunnat asennettu ja tarvittavista suojauksista, valumerkinnöistä ja jälkihoidosta on huolehdittu. Betonikalusto on puhdistettu ja varastoitu. Kohde on siivottu.

7 Tulosten analysointi ja johtopäätökset

Työelämän haastattelutulosten analysoinnin tueksi oli tarpeellista käyttää hyödyllistä analysointimenetelmää. Albert Humprey (1960) on Stanfordin yliopistossa ryhmänsä kanssa kehittänyt SWOT-nelikenttäanalyysin. Sitä voidaan hyödyntää lukuisiin käyttötarkoituksiin ja arvioida esimerkiksi tutkimustulosten vastauksia (Humprey, 1960). Tämän opinnäytetyön tulokset on kerätty alla olevaan SWOT-nelikenttään (taulukko 2).

SWOT-nelikenttä toimii opinnäytetyössä tulosten yhteenvedon apuvälineenä. SWOT-analyysiin on kerätty opinnäytetyöprosessin aikana esiin tulleita merkittäviä havaintoja jaotellen ne nelikentän mukaisesti vahvuuksiin, mahdollisuuksiin, heikkouksiin ja uhkiin. Tämän lisäksi nelikenttään on koottu tutkimustuloksien aineistoista kerätyt merkittävimmät teemat, jotka esitetään taulukossa 2 kursivoituna sinisellä.

Taulukko 2. Tulosten yhteenvedo SWOT- nelikentässä (A. Humbrey, 1960)

<p style="text-align: center;">VAHVUUDET – edut</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Selkeyttää työnjakoa ▪ Valvontajänteen parantaminen ▪ Päällekkäisyyden poistaminen ✓ <i>Siirtymien suunnitelmallisuus</i> ✓ <i>Toimiva logistiikka</i> ✓ <i>Hyvät yhteistyötaidot</i> ✓ <i>Tulevaisuuden ennakointi</i> ✓ <i>Toimivat palaverikäytännöt</i> 	<p style="text-align: center;">HEIKKOUEDET – epäkohdat</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mahdollinen muutosvastarinta ▪ Työmäärän tasaisuus ▪ Aikataulutuksen vaikeus ✓ <i>Logistiikan ongelmat</i> ✓ <i>Puutteellinen sopimus</i> ✓ <i>Riittämätön resurssi</i> ✓ <i>Työsuunnitelman ja ennakkoinnin vaikeus</i> ✓ <i>Viestinnän ongelmat</i>
<p style="text-align: center;">MAHDOLLISUUDET – lisäarvo</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Onnistuessaan uusi käytänte ▪ Kustannussäästöt ▪ Ajallinen säästö ▪ Osallistava toimintamalli ▪ Henkilökohtainen kehittyminen ✓ <i>Aikapuskureiden lisääminen</i> ✓ <i>Luottamuksen vahvistuminen</i> ✓ <i>Osallistava yhteistyö</i> ✓ <i>Luottamus muutokseen</i> ✓ <i>Hyvä viestintäsuunnitelma</i> 	<p style="text-align: center;">UHAT – esteet</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Käytännön puute; ei pilotoitu ▪ Aikataulutuksen epäonnistuminen; lisäviive ✓ <i>Sitoutumisen ongelmat</i> ✓ <i>Osallistavan yhteistyön heikkous</i> ✓ <i>Juurtunut vanha toimintakulttuuri</i> ✓ <i>Luottamuksen puute</i>

Pihakannen tahtiaikataulutuksen laadinnan jälkeen sen käyttöönottoon vaikuttavat yhteenvedon tulokset esitellään satunnaisessa järjestyksessä SWOT-nelikentän mukaisesti. Mahdolliset heikkoudet ja epäkohdat ovat puutteellinen sopimus, riittämätön resurssi ja työsuunnitelman ja ennakoinnin vaikeus. Suurimpia uhkia ja esteitä ovat luottamuksen puute, sitoutumisen ongelmat, osallistavan yhteistyön heikkous ja juurtunut vanha toimintakulttuuri. Merkittävimpiä vahvuuksia ja etuja ovat toimiva logistiikka, siirtymien suunnitelmallisuus ja yhteistyötaidot. Olennaiset mahdollisuudet ja lisäarvot ovat aikapuskureiden lisääminen sekä luottamuksen vahvistuminen (taulukko 2).

Opinnäytetyön tekijänä koin tutkimuksen tulosten vastaukset hyödyllisiksi. Ne lisäsivät ratkaisevia oivalluksia pihakannen tahtiaikataulun laadintaan ja erityisesti sen käyttöönoton huomioihin. Pihakannen tahtiaikataulutuksen käyttöönoton merkittävimmät johtopäätökset esitetään alla olevissa kappaleissa tutkimusongelmaan ja -kysymyksiin kohennettuina vastauksina.

Miten tahtiaikataulutus soveltuu pihakannen rakentamiseen yleisellä tasolla?

Soveltuvuus on käyttökelpoisuutta ja tarkoituksenmukaisuutta. Rakennushankkeissa soveltuvuutta arvioidaan esimerkiksi **kartoittamalla sitoutumisen ongelmia**, jotka ovat yksi merkittävimmistä pihakannen tahtiaikataulutuksen soveltuvuuden esteistä. Pihakannen tahtiaikataulutuksen ratkaisuisa uusi toimintatapa ei yksin korjaa ongelmakohtia, vaikka se olisi hyvä. Tämä johtuu siitä, että tahtituotannolla rytmitetty toimintatapa voi aiheuttaa uuden ajattelutavan vastarinnan. Tahtituotannon käyttöönotossa erityisesti sitoutuminen vaatii uuden tavan oppimista sekä menetelmän ymmärtämistä ja muutosvastarinnan vähenemistä lähtökohtaisesti jo asennetasolla. Kokonaisuuteen tarvitaan asenne- ja suhtautumistavan muutosta, joka pitää sisällään kompetenssia, tuotantotavan perusteellista tuntemusta ja osallistavaa suunnittelua sekä yhteistyötä.

Soveltuvuutta voidaan myös arvioida **havainnoimalla mahdollinen luottamuksen puute**.

Luottamusongelmat lisääntyvät, jos tahtituotannon avulla pyritään pihakannen rakennustapaa muuttamaan liian nopeasti tai riittävää tuntemusta tuotantotavasta ei ole. Työntekijöille tulisi perustella uusi toimintatapa **toimivilla palaverikäytännöillä**. Se myydään heille harkitulla sekä järkevällä viestinnällä. Toimintatavan sisäänajossa vaaditaan

suunnitelmallista ja **oikea-aikaista viestintää**, jossa edellytetään selkeitä viestinnällisiä muutosjohtamisen taitoja sekä työkaluja. Mikäli läpimenoaika korostuu liikaa, ei sitoutumista kovin helposti lähtötilanteessa tapahdu.

Soveltuvuutta lisätään **korjaamalla puutteellinen sopimus**, joka sovitaan kaikkien tahtituotannon prosessiin osallistuvien osalta. Selkeissä sopimuksissa neuvotellaan myös erityisosaaminen, jonka kaikki yhteistyökumppanit hyväksyvät ja ymmärtävät.

Miten tahtituotanto soveltuu Kesäkadun projektissa pihakannen runkorakentamiseen?

Kesäkadun kohteessa **puutteellinen työsuunnitelma** on pihakannen tahtiaikataulutuksen soveltuvuuden kannalta merkittävä haaste, jos työsuunnitelman heikkous johtaa pahoihin viivästymisiin ja epäkäytännöllisiin töiden järjestelyihin runkorakentamisen eri vaiheissa. Tästä esimerkkeinä ovat pitkittyneet ja epäluotettavat aikataulut, jotka aiheuttavat myöhästymisiä ja vaikutuksia seuraaviin työvaiheisiin sekä loppupelissä estävät pihakannen valmistumisen ajallaan.

Pihakannen tahtiaikataulutuksen aloitusedellytyksenä on **ennakointi**, jossa työsuunnitelmassa huomioidaan esimerkiksi yhteistyön merkitys heti projektin alkuvaiheessa kaikkien toimijoiden kanssa. Tämä edellyttää ennakointia ajatella sekä toimia yhdessä, jonka avulla projektin valvonta saadaan toimivaksi. Kaiken taustalla on pääurakoitsijan ja aliurakoitsijoiden kyky sovittaa ja arvioida ennakkoon suunniteltua aikataulua. Aikataulutuksen sovittaminen voi tuntua aluksi ongelmalliselta erityisesti, jos sitä verrataan perinteiseen rakentamiseen, koska tahtiaikataulutus on Suomessa varsin uutta.

Logistiikan merkitys herätti soveltuvuuden kannalta toivottuja oivalluksia pihakannen tahtiaikataulutukseen Kesäkadun kohteessa. Tärkein oivallus oli logistiikan ennustettavuus, jossa tavarantoimittajien kanssa tulisi viestiä selkeillä suunnitelmilla siten, että tavarantoimitukselle luodaan rytmi suunnitellun tahdin mukaisesti. Tämä tarkoittaisi tavarantoimittajien määrän vähentämistä mahdollisimman minimiin pienellä kaupunkitontilla Töölössä. Kesäkadun kohteessa korostuu logistiikan ja varastoinnin toimivuus projektin aikana sekä aikataulujen yhteensovittamisen ongelmat runkorakentamisen prosessin eri logistisissa vaiheissa, joita ovat materiaalityöt,

materiaalien sijoittelu, säilytys ja siirrot oikeaan paikkaan. Edellisten lisäksi tulee huomioida aikataulusuunnitelmien noudattaminen, materiaalivirtojen hallinta, materiaalien riittävä hankinta etukäteen ja varastointi. Näistä merkittävistä logistisista syistä johtuen ensimmäisellä kerralla pihakannen tahtiaikataulutus olisi järkevää toteuttaa käytännön pilottina helpommassa logistisessa kohteessa.

Mitä hyötyä ja lisäarvoa pihakannen tahtiaikatauluttamisella saavutetaan?

Hyödyn ja lisäarvon näkymissä **aikapuskurien lisääminen** antoi positiivisen signaalin sille, että yhteiseen tavoitteeseen pääsemisessä sekä yhteisen edun tunnistamisessa huomioidaan myös aikapuskurit. Tahtituotannossa tapahtuu poikkeamia ja rakennusvaiheet seisovat, joten näissä tilanteissa riittävien aikapuskureiden sijoittaminen tahtiaikataulutukseen on hyödyn ja lisäarvon tavoittelussa välttämätöntä.

Riittävien resurssien tulee vastata projektin vaatimuksia. Pihakannen tahtiaikataulutuksessa tavoiteltavien lisäarvojen ja hyötyjen keskiössä on huomioitava myös kelvollinen resurssi, jos tarkoituksena on riittävä osaaminen ja kehittyminen sekä hankkeen valmistuminen ajallaan. Kokonaisuus tarkoittaa laadukkaasti tehtävää hanketta kattavalla resurssilla. Se toimii avaimena tuottavuuteen, johon kuuluvat lisäarvo ja hyöty. Tämä edellyttäisi heti aloitusvaiheessa sopimusten tarkistuksia, joiden tulisi olla realistisia ja vastata projektin tavoitteisiin. Kattavasti resursoitu sopimus on merkittävä kannuste hankkeen onnistumiseen.

Mitä epäkohtia pihakannen tahtiaikatauluttamisessa ilmenee?

Tahtiaikataulutuksen epäkohdissa huomio kiinnittyy **osallistavan yhteistyön heikkouteen**, joka on yksin tekemistä tai vastakkain asettumista, eikä sen poistamiseen ole oikotietä. Perusteluna on yhteinen tavoite, koska tahtituotannon sopivuus pihakannen rakentamiseen edellyttää keinoja, joissa yhteistyön avulla kaikki osapuolet ymmärtävät käytänteet ja niiden yhteensovittamisen. Tahtituotannon toteuttamisen keinoiksi on olemassa erilaisia ohjelmia ja digitalisia alustoja, mutta tärkeimmässä asemassa ovat ihmiset, jotka lisäävät rakennustyömailla osaamisen kulttuuria ja omalta osaltaan tahtia. Yhteistyötaidot ovat

työelämän perusta, joka pitää sisällään kokemusten ja tiedon jakamista sekä sujuvaa ongelmien ratkaisua.

Epäkohdaksi osoittautui myös **juurtunut toimintakulttuuri**, joka voi olla merkittävänä esteenä pihakannen tahtiaikatauluttamisessa. Työntekijätasolla vanhan juurtuneen toimintakulttuurin perimä koetaan usein turvalliseksi rakentamistavan lähtökohdaksi. Uuden ajan rakentamiskulttuurissa suhtautumistapojen muuttuminen vaatii oman työn vaikuttavuuden tunnistamista ja työyhteisön positiivisen ilmapiirin lisäämistä, joita lean-ajattelussa tavoitellaan. Koulutus ja tieto lisäävät ymmärrystä muutoksen merkityksestä, joka myös vahvistaa myönteistä suhtautumista, motivaatiota sekä edistää työn mielekkyyttä.

8 Pohdinta ja kehittämisehdotukset

Opinnäytetyön tekijänä koen itselle tärkeäksi oman kehittymisprosessin kasvun oivaltamisen. Pihakannen tahtiaikataulutuksen laadinnasta täytyy erityisesti mainita, että tämä työ tarjosi mahdollisuuden monipuolistaa omaa osaamista ja edistää sitä kautta alan ammattiympäystä. Tahtiaikataulutuksen laadinnan osuus opinnäytetyöstä oli ajallisesti huomattava kokonaisuus, koska se suunniteltiin yksityiskohtaisesti (liitteet 2–6).

Opinnäytetyön alkuperäisessä suunnitelmassa oli tarkoituksena keskittyä ainoastaan pihakannen tahtiaikataulutuksen laadintaan, mutta heti työn edetessä todentui, että pelkkä laadinta olisi jäänyt irralliseksi osaksi kehittämis- ja tutkimustehtävää. Työn sisältö täydentyi työelämän edustajien arvioinneilla tahtiaikataulutuksen hyödyistä ja epäkohdista. Se lisäsi vaikuttavuutta, koska opinnäytetyön aikana ei ollut mahdollisuutta päästä hyödyntämään laadittua tahtiaikataulutusta käytäntöön.

Tutkimuksen lähdeaineiston määrä voidaan todeta teoreettisen ymmärryksen muodostumiselle riittäväksi. Tutkimustyön myötä todentui, että tahtituotanto toimii tulevaisuudessa mielenkiintoisena työn tehokkuuden mittarina, kun työvaiheita pystytään selkeyttämään tarkemman ja perusteellisen suunnitelman ansiosta. Teoriaosuuden tarkasteluissa lean-käsitteisiin nojautuva tahtituotannon ymmärrys kehitti opinnäytetyön aikana erityisesti laadunvarmistuksen toimenpiteiden arvostamista rakennushankkeissa, koska lean-ajattelun keskiössä paneudutaan johtamis- ja ajattelutavan muutoksiin sekä

osallistaviin yhteistyökeinoihin. Opinnäytetyön olennaisena havaintona oli hankkeita uudistava tavoite, joissa erityisesti hukan minimointi on keskeistä.

Tutkimuksen tulosten vastaukset osittain lisäsivät valmiuksia laatia pihakannen tahtiaikataulutus, mutta erityisesti laajensivat ennustettavuutta sen käytön soveltuvuudesta ja hyödynnettävyydestä käytännössä. Tämä kokonaisuus vahvisti sen, että pihakannen tahtiaikataulutuksen käyttöönoton arvioiminen oli myös tarpeellista tehdä tämän tutkimus- ja kehittämistyön aikana. Opinnäytetyöprosessi todettiin kokonaisuudessaan kelvolliseksi, kun sitä tarkasteltiin asetettuihin tavoitteisiin. Tutkimuksen objektiivisuudessa voidaan kuitenkin todeta heikkoutta, koska laaditun tahtiaikataulun validointi ei ollut mahdollista käytännössä. Validointi olisi lisännyt työn uskottavuutta ja luotettavuutta pihakannen tahtiaikataulutuksen soveltuvuudesta ja hyödynnettävyydestä Kesäkadun rakennushankkeeseen.

Tutkimustuloksissa huomio kiinnittyi erityisesti tiedon jakamiseen. Siinä havaittiin kehittämisen tarvetta suunnitellun viestinnän ja palaverikäytäntöjen keinoihin. Opinnäytetyön kehittämis ehdotukseni tuo esiin ennakkoinnin tarkastelua sisäisessä ja ulkoisessa tiedottamisessa. Sisäinen tiedottaminen tarkoittaa tässä yhteydessä, että jokainen projektiin osallistuva sitoutuu sekä osallistuu palavereihin ja saa siihen mahdollisuuden. Ulkoisella tiedottamisella halutaan verkostoida yhteistyökumppanit tehokkaasti tahtiaikataulutuksen eri vaiheisiin. Tehokkaalla viestinnällä pyritään myötävaikuttamaan yhteistyön sujuvuuteen ja mahdollistamaan kaikkien osallistuminen. Sen avulla tahtiaikataulutus saadaan varmemmin etenemään suunnitelman mukaisesti. Tärkeintä on valita sellainen tiedotusstrategia, joka tavoittaa kaikki projektiin osallistuvat helposti ja sujuvasti.

Tutkimustulosten luotettavuudessa voi olla epätarkkuutta siltä osin, että teemahaastattelun kysymykset ovat saattaneet johdattaa vastauksia tiettyyn suuntaan. Tutkimustulokset kuitenkin pääsääntöisesti vahvistivat, että pihakannen tahtiaikataulutuksen soveltuvuudessa ja hyödynnettävyydessä käytäntöön oli epävarmuutta. Tämä tarkoittaisi sitä, että pihakannen tahtiaikataulutuksen käyttöönotto haastaa toimeksiantajaa pilotoimaan tahtiaikataulutuksen, ennen kuin sitä hyödynnetään laajemmin tulevilla rakennuskohteissa. Kehittämis ehdotukseni on, että pihakannen tahtiaikataulutusta pilotoidaan sellaisessa

kohteessa, jossa pihakannen rakennusvaihe tulee saada valmiiksi mahdollisimman nopeasti. Tällä tarkoitan erityisesti sellaista kohdetta, jossa pihakannen valmistumisella on merkittävää vaikutusta muihin rakennusvaiheisiin ja koko projektin valmistumiseen. Esitän kehittämisehdotuksena, että pilotoinnin alkusuunnittelussa olisi hyödyllistä käyttää avuksi SWOT-analyysiin kerättyä tulosten aineistoa.

Keväällä 2021 alkanut Kesäkadun kohteen pihakannen rakentaminen toteutetaan perinteisellä rakennustavalla. Pääsen seuraamaan tämän projektin etenemistä nuorempana työnjohtajana ja näin ollen on mahdollisuus päästä vertaamaan kahta erilaista pihakannen rakentamisen toteutustapaa. Perinteisen toteutustavan jälkeen on nähtävissä projektiin käytetty kokonaisaika, työn eri vaiheiden kestot sekä työn sujuvuus ja mahdolliset hukat. Niitä on mielenkiintoista verrata tässä opinnäytetyössä laadittuun pihakannen tahtiaikataulutukseen.

Tämän lisäksi tutkimus varmensi, että tahtiaikataulutuksen tulevaisuuden ennustettavuudessa tahtituotannon käyttö on trendi enenevässä määrin. Voidaankin todeta, että tahtirakentaminen on jo vaikuttanut voimakkaasti eri rakennusprojekteihin. Tulevaisuuden visioissa tahtiaikataulutuksen vaikutus on vielä suurempi, koska rakentamisen tavoite on lisätä laatua, asiakkaalle tarjottavaa arvoa ja parantaa tuottavuutta, eli säästää aikaa ja kustannuksia. Tämä ohjaa löytämään uusia tapoja ja malleja, joiden avulla lisätään yhteisöllisyyttä ja sitoutumista sekä suhtautumis- ja ajattelutavan muutosta. Jatkotutkimuksessa olisi kiinnostavaa kehittää rakennusympäristöihin muutosjohtamisen strategiaa, joka pitää sisällään yhteisen osallistavan toimintamallin ja ennakoivan viestintäsuunnitelman, minkä päämääränä on avata tietä rakentamisen ”tuotantojunalle”.

Lähteet

Ali, R. M. & Deif, A. M. (2014). *Dynamic lean assessment for takt time implementation*.

Teoksessa 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems Proceedings: Windsor, Ontario, Canada, 17 (ss. 577-581).

Aziz, R. & Hafez, S. (2013). *Applying lean thinking in construction and performance improvement*. Alexandria Engineering Journal, 52 (4), 679–695.

Ballard, G. & Howell, G. (2003). *Lean project management*. *Building Research & Information*, 31 (2), 119–133.

Ballard, G. (2002). Managing workflow on design projects: a case study. *Engineering Construction and Architectural Management*, 9 (3), 284-291.

Ballard, G. (2008). *The Lean Project Delivery System: An Update*. (ss. 1-19). *Lean Construction Journal*.

Forbes, L. & Ahmed, S. (2010). *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 524 p

Frandsen, A., Berghede, K. & Tommelein, I. D. (2014). Takt-time planning and the last planner. Teoksessa B. Kalsaas, T. Koskela, L. Saurin, T.A. (toim.), *Proceedings of the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. (ss. 23–27). Oslo, Norja.

Introduction to Pull Planning, *Lean Construction Institute*. Haettu 20.02.2021 osoitteesta <http://leanconstruction.org/media/docs/deliveryGuide/Appendix7.pdf>.

Humphrey A. (1960). *Swot-analyysi*. Haettu 22.4.2021 osoitteesta <https://www.investopedia.com/terms/s/swot.asp>

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2010). *Teemahaastattelu, teemahaastattelun teoria ja käytäntö*.

Helsinki: Gaudeamus.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (2009). *Tutki ja kirjoita*. Vantaa: Tummavuoren kirjapaino Oy.

Introduction to Pull Planning, Lean Construction Institute. Haettu 20.02.2021 osoitteesta <http://leanconstruction.org/media/docs/deliveryGuide/Appendix7.pdf>.

Jørgensen, B. & Emmitt, S. (2009). Investigating the integration of design and construction from a “lean” perspective. *Construction innovation*, 9(2), 225-240.

Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. Espoo, VTT Building Technology.

Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford university.

Koskela, L., Howell, G., Ballard, G. & Tommelein, I. (2002). *The foundations of lean construction*. Design and construction: building in value (ss. 211-226). Butterworth Heinemann, Oxford, UK.

Koskela, L., Koskenvesa, A., & Sipi, J., 2009. *Työmaan toimiva tuotannonohjaus: opas Last Planner™ -menetelmään*. Helsinki, Rakennusteollisuuden kustannus.

Koskenvesa, A. & Sahlstedt, S. (2017). *Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus* (Ratu KI-6031). Helsinki, Rakennustieto.

Kouri, I. (2010). *Lean-taskukirja*. Teknologiainfo Teknova.

Lehtovaara, J., Seppänen, O. & Heinonen, A. (2019b). *Building 2030 Tahtisuunnittelussa ja tuotannossa – loppuraportti*. Haettu 27.2.2021 osoitteesta <https://bit.ly/2teYwL8>

Liker J. & Niemi M. (2006). *Toyotan tapaan*. Readme.fi.

Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way. 14 Management principles from the world's greatest manufacturer*. 1. ed. McGraw-Hill. United State of America.

Linnik, M., Berghede, K. & Ballard, G. (2013). An experiment in Takt time planning applied to non-repetitive work. Teoksessa *Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (ss. 609- 618). Fortaleza, Brasilia.

Macomber, H., Howell, G. A. & Reed, D. (2005), 'Managing Promises with the Last Planner System: Closing in on Uninterrupted Flow' In: *13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. 2005 (ss. 13–18). Sydney, Australia.

Ratu KI-6031 (2017). Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. Helsinki: Rakennustieto Oy. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/kortit/Ratu%20KI-6031>

Saari, A., Keskiniva, K. & Junnonen, J-M. (2018). Virtauttaminen rakennushankkeissa. Teoksessa H. Haapasalo, K. Aaltonen, K. Kähkönen & A. Saari (toim.), *Rakentamisen Integraatiomekanismit*. Tuotantotalouden tutkimusraportteja (ss. 32–45). Oulun yliopisto. ISBN 978-952-62-2160-1. Haettu 9.3.2021 osoitteesta <http://lci.fi/wp-content/uploads/2018/12/RAIN-hankkeen-loppuraportti.pdf>

Sacks, R. (2016). What constitutes good production flow in construction? *Construction Management and Economics*, 34 (9), 641–656.

Skanska. (n.d.). *Skanska Suomessa*. Haettu 12.3.2021 osoitteesta <https://www.skanska.fi/tietoa-skanskasta/skanska-suomessa/>

Skhmot, N., (2017). The 8 wastes of Lean. The Lean Way 5.8.2017. Haettu 9.2.2021 osoitteesta <https://theleanway.net/The-8-Wastes-of-Lean>

Tommelein, I.D. (2017) *Collaborative Takt Time Planning of Non-Repetitive Work*, In: *LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece

Töölön kesäkatu. (n.d.). *Kaikki kuvat*. Haettu 25.3.2021 osoitteesta <https://toolonkesakatu.fi/galleria/etusivu/>

Uusitalo, P., Seppänen, O., Lappalainen, E., Peltokorpi, A. & Olivieri, H. (2019). *Applying level of detail in a BIM-based project: An overall process for lean design management*. Buildings, 9 (5), 109.

Womack, J., & Jones, D., (2003). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. Free Press.

Liite 1: Teemahaastattelu

TEEMAHAASTATTELU

Teemahaastattelun runko rakentui seuraavien tutkimuskysymysten pohjalta:

Miten tahtiaikataulu soveltuu pihakannen rakentamiseen yleisesti ottaen?

Miten tahtituotanto soveltuu Kesäkadun projektissa pihakannen runkorakentamiseen?

Mitä hyötyä ja lisäarvoa pihakannen tahtiaikatauluttamisella saavutetaan?

Mitä epäkohtia pihakannen tahtiaikatauluttamisessa ilmenee?

Nykytila;

1. Mitkä asiat arvioit pihakannen perinteisten rakennusvaiheiden suurimmiksi ongelmakohtiksi? Mihin ongelmakohtiin arvelet pihakannen tahtiaikataulutuksen tuovan selkeitä ratkaisuja?
 - a) yritykselle itselleen?
 - b) muille osapuolille esim. aliurakoitsijat?
2. Miten tahtiaikataulu mielestäsi soveltuu pihakannen rakentamiseen yleisesti? Entä Kesäkadun pihakannen runkorakentamisessa?
3. Mitkä keskeiset tekijät (2–3) mielestäsi voivat tuoda hyötyä ja lisäarvoa pihakannen tahtiaikataulutuksessa?
 - a) yritykselle itselleen?
 - b) muille osapuolille esim. aliurakoitsijat?
4. Mitkä asiat koet pihakannen tahtiaikataulutuksen hyödynnettävyydessä suurimmiksi epäkohdiksi, haasteiksi tai viiveiksi?
 - a) yritykselle itselleen?
 - b) muille osapuolille esim. aliurakoitsijat?

Tulevaisuus;

5. Mitä keskeisiä asioita tulee huomioida tahtiaikataulutuksen visioissa?
6. Mitä ajatuksia herättää tahtiaikataulutuksen ennustettavuus tulevaisuudessa? Millä tavoin sitä voisi erityisesti hyödyntää aliurakoitsijoiden kanssa toimiessa?

Liite 2: Työpaketit

1. **PILARIELEMENTIT** Elementit on asennettu, kiinnitetty ja saumattu. Työ on tarkastettu ja hyväksytty. Siivous ja jälkihoito on tehty ja työvälineet puhdistettu.
2. **DELTA-PALKIT** Deltapalkit on asennettu ja kiinnitetty. Työ tarkastettu ja hyväksytty. Siivous ja jälkikiristykset on tehty.
3. **KUIIVUMINEN** Työvaiheiden välissä oleva kuivumisaika.
4. **ONTELOLAATAT** Elementit on asennettu. Työ on tarkastettu ja hyväksytty. Siivous ja jälkihoito on tehty ja työvälineet puhdistettu.
5. **SAUMARAUDOITUS JA VALUT** Elementit on raudoitettu ja saumattu. Työ on tarkastettu ja hyväksytty. Siivous ja jälkihoito on tehty ja työvälineet puhdistettu.
6. **TUKKOLAUDOITUS / VALUVALMISTELUT** Elementin saumojen ja läpivientien muotti laudoitus. Epäpuhtauksien siivous, materiaalsiirrot ja muut valuvalmistelut
7. **VESIREIKIEN AVAUS** Ontelolaattojen vesireikien avaukset. Työ tarkastettu ja hyväksytty. Siivous ja työvälineet puhdistettu ja telineet palautettu.
8. **KALLISTUKSET & KAIVOJEN ASENNUS** Betonointi on tehty ja kaivot asennettu, tartunnat asennettu ja tarvittavista suojauksista, valumerkinnöistä ja jälkihoidosta on huolehdittu. Betonikalusto on puhdistettu ja varastoitu. Kohde on siivottu.
9. **VIEMÄRÖINTI** Järjestelmälinjat on tarkastettu ja hyväksytty. Kohde on siivottu ja jätteet lajiteltu.
10. **ERISTYKSET JA LÄMPÖKAAPELIT** Järjestelmälinjat on tarkastettu ja hyväksytty. Kohde on siivottu ja jätteet lajiteltu.
11. **SINKOPUHALLUS** Työ on tehty. Työ on tarkastettu ja hyväksytty. Siivous ja työvälineet puhdistettu.
12. **VEDENERISTYS** Työ on tehty työselostuksen mukaan, tarkastettu ja hyväksytty ennen rakenteiden peittämistä. Kohde on siivottu ja jätteet lajiteltu. Koneet ja kalusto on puhdistettu.
13. **LÄMMÖNERISTYS & SALAOJAMATTO** Lämmöneristys on valmis, tarkastettu ja hyväksytty ennen rakenteiden peittämistä. Kohde on siivottu ja kalusto puhdistettu.
14. **TB-LAATAN RAUDOITUS** Raudoitteet ja raudoituselementit on asennettu, asennus on tarkastettu ja hyväksytty. Työkohde on siivottu, jätteet lajiteltu ja ylimääräiset teräkset varastoitu.
15. **TB-LAATTA** Betonointi on tehty, tartunnat asennettu ja tarvittavista suojauksista, valumerkinnöistä ja jälkihoidosta on huolehdittu. Betonikalusto on puhdistettu ja varastoitu. Kohde on siivottu.

Liite 3: Tahtialueet 1–6, A-lohko



Liite 5: Tahtialueet 12–16, C-lohko

