



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Aleksi Selenius

Hotellihankkeen sisävalmistusvaiheen tahtituotannon suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Opinnäytetyö

11.11.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Aleksi Selenius Hotellihankkeen sisävalmistusvaiheen tahtituotannon suunnittelu 38 sivua + 1 liitettä 11.11.2020
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Talonrakennustekniikka
Ohjaajat	Lehtori Joonas Pusila Vastaava työnjohtaja Heikki Ristola Työnjohtaja, aluevastaava Antti Vilén
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin palvelemaan Peab Oy:n Toimitilarakentamisen yksikön hotellihanketta nimeltä Swing Plus A. Rakenteilla oleva hotellihanke sijaitsee Espoon Keilaniemessä. Opinnäytetyön alussa avattiin perinteisiä aikataulutustyyppisiä sekä perinteisen rakennustuotannon ajallista suunnittelua ja sen eri vaiheita.</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin Lean-filosofiaan ja sen pohjalta tehtyyn Lean-constructioniin sekä siihen suunniteltuihin muihin työkaluihin. Tahtituotanto on Lean-filosofian ajattelutavan omaavaa tuotannosuunnittelua, jossa pyritään luomaan tasaista, ennakoitua sekä hallittavaa tuotantonopeutta eli tahtia. Tahtituotannon sekä Lean-ajattelutavan avulla poistetaan tuotannossa olevaa hukkaa ja parannetaan tuottavuutta yhdessä hankkeen eri osapuolten kesken.</p> <p>Tutkimuksen teoriaosuuteen perehtymisen jälkeen tehtiin esimerkkikohteena toimivaan hotellihankkeeseen tahtituotantoaikataulu, joka sisältää sisävalmistusvaiheessa tehtävät työt, mukaan lukien talotekniikka (LVIS). Tutkimuksessa on kerrottu suunnittelun eri vaiheista ja lopuksi esitetty yhteenvetoa johtopäätöksiä tutkimuksesta.</p>	
Avainsanat	Tahtiaikataulu, Tahtituotanto, Lean, Hotellihanke

Author Title Number of Pages Date	Aleksi Selenius Hotel project indoor manufacturing scheduling using takt time planning 38 pages + 1 appendices 11 November 2020
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Programme	Construction Site Manager
Professional Major	Building Construction
Instructors	Principal Lecture, Joonas Pusila Project Manager, Heikki Ristola Site Manager, Antti Vilén
<p>The study was made in order to serve Peab Oy's hotel project named Swing Plus A. The project is currently under construction and is located in Keilaniemi, Espoo. The study introduces traditional scheduling types and various traditional construction production stages.</p> <p>The study also discusses Lean philosophy and the Lean construction as well as other tools designed for it. Takt Time Production is an industry mindset of the Lean philosophy, which aims to create a steady, anticipated and manageable production rate which is called Takt. Using Takt Time Production and Lean philosophy production waste will be decreased and productivity improved in cooperation different participants in the project.</p> <p>The thesis presents is the designed Takt Time Schedule including works at the indoor manufacturing stages and technical building services (HVACE). The thesis explains the different stages of the planning phase.</p>	
Keywords	Takt time schedule, Takt time, Lean, Hotel project,

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen tausta	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet	1
2	Aikataulut rakennushankkeissa	2
2.1	Tuotannon ajallinen suunnittelu	2
2.2	Ajallisen suunnittelun vaiheet	3
2.3	Rakennushankkeen aikataulut	4
2.3.1	Hankeaikataulu	4
2.3.2	Yleisaikataulu	5
2.3.3	Suunnitelma-aikataulu	7
2.3.4	Hankinta-aikataulu	8
2.3.5	Rakentamisvaihe aikataulu	9
2.3.6	Viikkoaikataulu	9
3	Perinteiset aikataulutyytit sisävalmistusvaiheessa	11
3.1	Jana-aikataulu	11
3.2	Vinoviiva-aikataulu	12
3.2.1	Paikka-aikakaavio	12
3.2.2	Tuotantoaikakaavio	13
3.3	Valvontavinjetti	14
4	Lean-ajattelu	15
4.1	Lean historiaa	15
4.2	Lean rakentaminen	16
4.3	LPDS ja TFV	19
4.4	Last Planner System (LPS)	21
5	Tahtituotanto rakentamisessa	24
5.1	Tahtituotanto tänä päivänä	24

5.2	Suunnittelun vaiheet	25
5.3	Tahtisuunnittelun tasot	26
6	Tahtituotannon suunnittelu hotellihankkeeseen	28
6.1	Kohteen kuvaus	28
6.2	Tiedonkeruu	29
6.3	Tahtialueiden määrittäminen	29
6.4	Työtehtävien mitoitus	32
6.5	Työtehtävien määrittäminen, järjestäminen ja tahdistaminen	32
6.6	Tarkistus ja hyväksyttäminen	34
7	Yhteenveto	35
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. Swing Plus A – Sisävalmistusvaiheen tahtiaikataulu	

Lyhenteet

Hukka	Arvoa tuottamatonta resurssien käyttöä.
Lean	Lean on johtamisfilosofia, joka toiminnallaan yrittää parantaa prosessin virustehokkuutta poistamalla prosessin hukkaa eli arvoa tuottamatonta resurssien käyttöä. Lean-ajattelutavan avulla keskitytään arvon tuottamiseen ottamalla kaikki osapuolet mukaan jatkuvaan parantamiseen.
Lohko	Muodostetaan osa-alueista tai työkohteista, jotka eroavat toisistaan esim. tuotantotekniikaltaan tai sijainniltaan
LPS	Last Planner System on Lean-rakentamisen työkalu tuotannon suunnitteluun ja ohjaukseen.
LVIS	Lyhenne talotekniikan keskeisistä osa-alueista. L=lämpö, V= vesi/viemäri, I= ilmastointi, S= sähkö.
Ratu-kortisto	Tietopankki, joka on suunniteltu rakennustuotannon ammattilaisille.
Tahtiaika	Tahtiaika on ajan yksikkö, jossa tuote tulee saada valmiiksi.
Tahtialue	Tahtialue on tuote, johon arvoa luodaan

1 Johdanto

Rakennusallalla tuotannon suunnittelu ei ole päässyt samalle tasolle kuin esimerkiksi teollisuudessa. Teollisuuslaitoksissa työvaiheita voidaan suunnitella hyvinkin tarkalla tasolla. Rakennusallalla taas yleisesti tarkin taso on viikkosuunnittelussa. Lean-johdantamisfilosofian avulla voidaan parantaa rakennushankkeiden prosessien virtaustehokkuutta sekä käyttää Lean-rakentamiseen luotuja työkaluja, joiden avulla voidaan taas parantaa tuotantoa ja luoda ennustettavampaa sekä hallittavampaa tuotantovirtaa. Tässä opinnäytetyössä perehdytään yleisimmin käytettäviin aikataulumalleihin sekä Lean-ajattelutavan omaavaan tahtituotantoon ja ideologiaa hyödynnetään hotellihankkeen sisävalmistusvaiheen aikataulutukseen. [11.]

1.1 Tutkimuksen tausta

Opinnäytetyön toimeksiantajayrityksenä toimii Peab Oy, joka on perustettu vuonna 1959 kahden ruotsalaisveljoksen toimesta. Nykyään Peab-konserni on yksi pohjoismaiden suurimmista rakennusliikkeistä. Peab työllistää Pohjoismaissa 17 000 työntekijää ja Suomessa yli 2000 työntekijää. Yritys on kasvanut viimeisen vuoden sisällä reilusti uuden kiviaineskaupan myötä. Konsernin toiminta on jakautunut neljään eri liiketoimintoalueeseen, joita ovat: rakentaminen, kiinteistökehitys, infrarakentaminen sekä teollisuus. Konsernin liikevaihto vuonna 2018 oli noin 5,3 miljardia euroa. [16.]

Tämä opinnäytetyö tehdään Peab Oy:n PKS toimitilarakentamisen yksikköön Swing Plus -A hankkeeseen. Opinnäytetyön taustalla on esimerkkikohteen sisävalmistusvaiheen aikataulutuksen tarve. Esimerkkikohteessa nähtiin paljon toistoa sisältäviä elementtejä, jonka johdosta haluttiin soveltaa Lean-ajattelutavan omaavaa tahtituotantoa.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli suunnitella sisävalmistusvaiheeseen tahtiaikataulu esimerkkikohteena toimivaan hotellihankkeeseen. Opinnäytetyö tehdään palvelemaan

hotellihankkeen lopullista aikataulutusta sekä samalla luodaan yritykselle sekä työmaaorganisaatiolle enemmän osaamista ja ymmärrystä tahtituotannon suunnittelun ja toteutuksen eri vaiheista.

Tutkimuksen näkökulma on edellä mainitun hankkeen työmaatoteutuksen tahtiaikataulun suunnittelu sekä sen toteutus. Tutkimusaineistona käytetään hankkeen määrälaskelmia, piirustuksia, työselityksiä sekä Ratu-kortistojen menekkitietoja. Tahtituotannon teoriaan perehdytään saatavilla olevista tutkimusaineistoista sekä lähdekirjallisuuksista. Tahtituotannon suunnittelun apuna käytetään hankkeesta laadittua yleisaikataulua sekä rakentamisvaihe aikataulua. Tutkimuksen näkökulma sekä sen rajaus pidetään tahtiaikataulun suunnittelussa sekä sen eri vaiheissa.

2 Aikataulutus rakennushankkeissa

2.1 Tuotannon ajallinen suunnittelu

Rakennushankkeiden aikataulut on tehty kuvaamaan tuotantoa visuaalisesti sekä auttamaan rakennustyömaan ohjauksessa ja valvonnassa. Aikataulujen suunnittelussa tulee hyödyntää kaikki mahdollinen tieto hankkeesta, usein tietoa tarkennetaan hankkeen edetessä. Tarkkuustasoltaan aikataulut pyritään tekemään tavoitteellisiksi ja tehokkaiksi, mutta kuitenkin realistiseksi ja käyttötarkoitukseen soveltuvaksi. Tuotannon suunnitteluvaiheessa on tärkeää osata havaita mahdolliset poikkeamat sekä ongelmakohtat. Häiriötilanteille ja suunnitelmien tai olosuhteiden muuttumiselle kyetään varautumaan etukäteen. Aikataulujen suunnittelu rakennushankkeille on hyvin laaja ja moniulotteinen työvaihe. Aikataulujen perusteella voidaan jo suunnitella tai hyväksyä hankkeen kustannuksia, sopimusteknisiä tietoja, erilaisia laatuun liittyviä varmistustoimia sekä resurssisuunnitelmia koko hankkeen läpiviennin ajaksi, joten rakennushankkeen hallinnan tärkein työväline on hyvin laadittu realistinen aikataulu. [1, s. 62.]

2.2 Ajallisen suunnittelun vaiheet

Rakennushankkeiden ajallisen suunnittelun vaiheet ovat riippuvaisia hankkeen laajuudesta, vaatimustasosta, kokonaiskeston määrästä sekä resurssien käyttöperiaatteesta. Menetelmät ajalliseen suunnitteluun ovat kuitenkin yhteisiä rakennettavasta kohteesta riippumatta. [1, s. 62.] Yleisimpiä aikataulun suunnitteluvaiheita ovat:

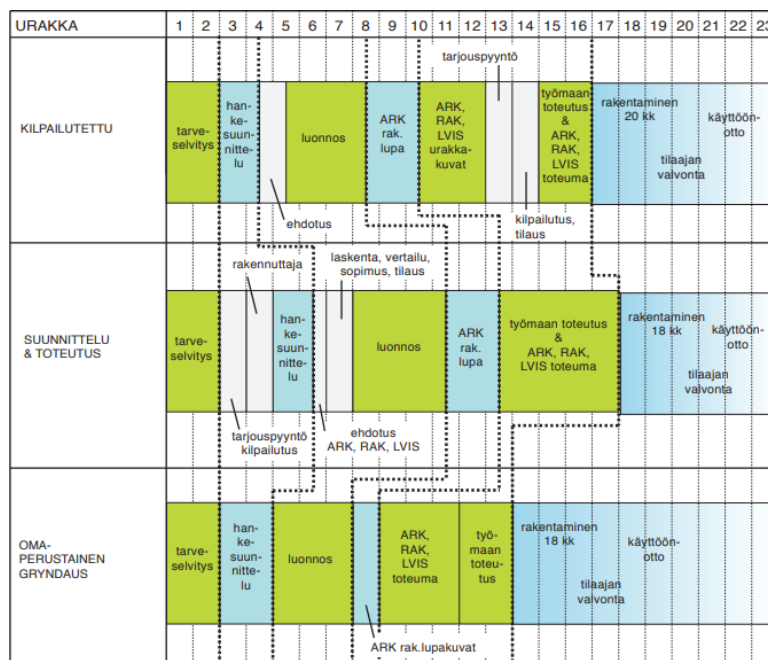
- Rakennusvaiheen keston ja ajoituksen tarkistus
 - Hankkeen aikataulun kireys ja mahdolliset häiriöt ja työkatkot tarkastetaan, jonka jälkeen määritetään hankkeelle rakennusaika.
- Kohteen osittelu eli lohkojako
 - Pilkotaan kohde pienempiin lohkoihin, osa-alueisiin tai työkohteisiin. Lohkot muodostetaan kohteen osista, jotka ovat erilaisia esim. tuotantotekniikaltaan tai sijainniltaan.
- Tuotannon jakaminen tehtäviin
 - Kaikki kohteen työt, tehtävät, työlajit ja työnosat jaetaan sopiviin hankinta- ja toteutuskokonaisuuksiin.
- Tehtävien mitoitus
 - Tehtäville suunnitellaan toteutusajat hyödyntäen määriä, menekkejä ja resursseja.
- Työjärjestyksen määrittäminen
 - Tehtävät määritellään riippuvuuksien mukaan. Loogisuus, olosuhteet, resurssit ja tekniset asiat huomioiden. Työjärjestyksellä pyritään mahdollisimman lyhyeen rakennusaikaan.
- Tehtävien tahdistus ja rytmittäminen
 - Pyritään saumattomaan etenemiseen ja varmistutaan, ettei samassa työkohteessa ole samanaikaisesti muita työtehtäviä.
- Aikataulun laadinta
 - Näiden lähtötietojen pohjalta laaditaan kohteeseen aikataulu. Yleisimmät käytettävät aikataulutyytit rakentamisessa ovat jana-aikataulu tai vino-viiva-aikataulu.

2.3 Rakennushankkeen aikataulut

Rakennushankkeen aikataulusuunnittelu alkaa aina hankesuunnitteluvaiheesta. Rakennuttaja asettaa hankkeelle selvät reunaehdot ja tavoitteet, jonka jälkeen laatii kohteesta hankeaikataulun. Hankkeen edetessä ajallisen suunnittelun tarkkuustaso kasvaa vaiheittain tiettyihin ajankohtiin sidottuihin osatavoitteisiin ja ennalta määrätyn kestoisiin tehtäviin. [1, s. 40.] Tässä luvussa esitellään lyhyesti rakennushankkeiden tavallisimmat aikataulut.

2.3.1 Hankeaikataulu

Hankeaikataulun tarkoituksena on luoda pohja ja tavoitteet rakennushankkeen toteutukselle. Rakennuttajan tehtävä on laatia hankeaikataulu, jossa esitellään toteutuskelpoinen näkökulma rakennushankkeen eri vaiheiden kestoista sekä niiden ajoituksesta. Hankeaikataulun laadintaan vaikuttaa rakennushankkeeseen valittu urakkamuoto (Kuva 1). Hankeaikataulu on rakennuttajan kannalta tärkeä työkalu laadun- ja oikea-aikaisen valmistumisen kannalta. Epärealistisesti toteutettu aikataulu aiheuttaa ongelmia ja lisää laatuvirheiden riskiä. [1, s. 41.]



Kuva 1. Eri urakkamuodot vaikuttavat hankeaikataulun laadintaan [1, s. 41]

2.3.2 Yleisaikataulu

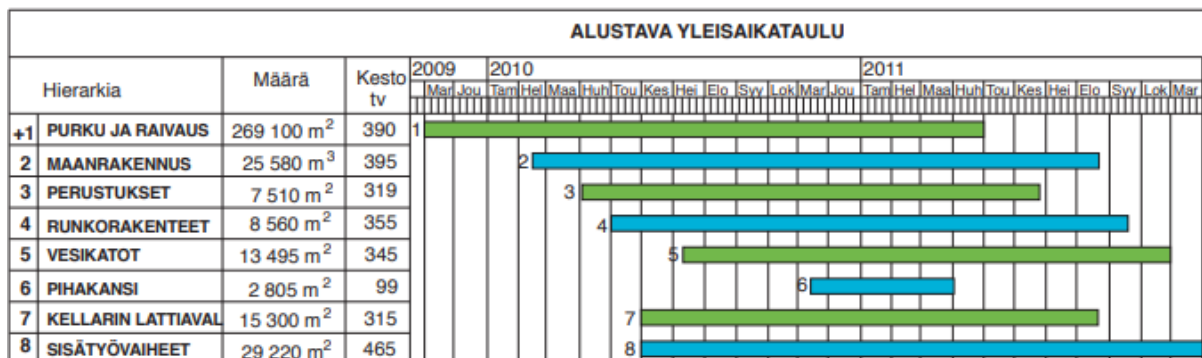
Yleisaikataulu on olennainen osa rakennushankkeen aikataulusuunnittelua. Yleisaikataulu on jaettu kolmeen eroavaan muotoon, mihin vaikuttaa ajankohta, tarkkuustaso sekä käyttötarkoitus.

Alustava yleisaikataulu

Rakennushankkeen päätoteuttajan vastuulla on laatia ennen rakentamispäätöstä tai urakkatarjouksen antamista projektille alustava yleisaikataulu. Alustavan yleisaikataulun tarkoituksena on tarkastella, miten tehtävät työt sopivat rakennuttajan laatiman hankeaikataulun rakennusaikaan ja onko rakennushankkeen ajallinen kireystaso sopiva. Alustava yleisaikataulu laaditaan usein karkealla tasolla ja päätarkoituksena kuvata hankkeen päätyövaiheet. [1, s. 43.]

Alustavan aikataulun avulla voidaan tarkastella mm.

- Aikataulun kireystaso
- Vaadittavat välitavoitteet
- Työtehtävien ajoittuminen eri vuodenajoille (talvilisätyöt)
- Käyttö- ja yhteiskustannukset
- Henkilö- ja kalustoresurssisuunnitelmat
- Alihankintojen- ja merkittävien materiaalien toimitusajankohdat.



Kuva 2. Esimerkinäkymä rakennushankkeen päätyövaiheista [1, s. 44]

Sopimusyleisaikataulu

Sopimusaikataulu on muokattu ja tarkennettu aikataulu, joka on hyväksytetty sopimusosapuolten kesken. Keskeinen tekijä sopimusaikataulussa on, että siitä ilmenee niin pää toteuttajan ja rakennuttajan kannalta tärkeät ajankohdat. Tärkeitä ajankohtia sopimusosapuolien näkökannalta ovat hankkeen aloitus- ja valmistumispäivämäärät välitavoitteineen. Rakennuttajalle sopimusaikataulu toimii työkaluna, jolla voidaan valvoa hankkeen edistystä. Usein välitavoitteisiin sidotaan sakkoja, joita kutsutaan sakollisiksi välitavoitteiksi. Sakollisten välitavoitteiden keskeinen idea on, että työjärjestystä tai työtehtävien kestoja on vaikea muuttaa sopimuksen hyväksymisen jälkeen. [1, s. 45.]

Työaikataulu

Sopimusyleisaikataulu tarkennetaan rakennushankkeen päätoteuttajan toimesta työaikatauluksi. Aikataulun tarkennus tehdään työmaata ja sen eri aliurakoitsijoiden töiden yhteensovitusta varten. Työaikataulua käytetään ajallisena pohjana aliurakoitsijoiden ja päätoteuttajan välisten sopimusten välillä. Työmaalla työaikataulua kutsutaan hankkeen yleisaikatauluksi. [1, s. 45.]

Yleisaikataulussa työtehtävät suunnitellaan entistä tarkemmin ja tehtävät jaetaan lohkoihin ja alatehtäviin. Lohkoilla tarkoitetaan rakennuskohteen fyysisiä osia, jotka on helppo hahmottaa omana kokonaisuutena. Myös talotekniikan ajallinen suunnittelu on otettu mukaan työaikatauluun. [1, s. 45.]

Rakennushankkeen etenemisen kannalta työaikataulu on tärkeä työkalu. Työaikataulu on tarkennettu niin, että jokainen hankkeen eri osapuoli saa työaikataulusta tärkeimmät tiedot keskeisistä työvaiheista, työmaan tapahtumista, tehtävien kestoista ja resurssien käytöstä. [1, s. 45.]

Kaikki työmaalle laadittavat muut aikataulut pohjautuvat työaikatauluun. Työaikataulun lähtötietoina käytetään alustavaa yleisaikataulua sekä sopimusyleisaikataulua. Työtehtävät suunnitellaan tehollisten työvuoroaikojen (T3) perusteella ilman mahdollisia häiriöitä. [1, s. 45.]

2.3.3 Suunnitelma-aikataulu

Suunnitelma-aikataulu eli piirustusajataulu on tehty suunnittelun johtamisen tueksi. Aikataulun laadinnan päämäärä on esittää suunnitelmien ajankohdat, milloin eri suunnitelmien tulee olla valmiina ja käyttökelpoisia. Ideaali tilanne on, kun piirustukset ovat valmiina 4-5 viikkoa ennen kunkin työvaiheen aloitusta, jotta aikaa jäisi myös kommentointiin. Suunnittelun johtamisen kannalta realistisesti laadittu ja mitoitettu suunnitelma-aikataulu toimii keskeisenä työkaluna koko rakennushankkeen ajan. Suunnitelma-aikataulun laadinta aloitetaan usein ennen hankkeen urakkasopimusten tekemistä, yleensä yhdessä hankinta-aikataulun kanssa. Kun varsinainen hankkeen työaikataulu on hyväksytty, voidaan suunnitelma-aikataulua tarkistella. [1, s. 48.]

Suunnitelma-aikataulua lähdetään laatimaan aina rakennushankkeen toteutumista edellyttävien suunnitelmien tarpeesta. Edellytyksenä toimivalle ja realistiselle suunnitelma-aikataululle, tulee sen tukena olla käyttökelpoinen töiden yleisaikataulu sekä suunnittelun yleisaikataulu. Valmistumispäivämäärät eri suunnitelmille usein täsmennetään toiminnallisten ja kaupallisten tavoitteiden perusteella. Ratkaisevan vaatimuksen suunnitteluaikataululle muodostaa hankintaprosessin kesto, millä esitetään laskentasuunnitelmien, tarjouspyyntöjen, tarjousten, neuvotteluiden ja työpiirustuksien vaatimaa aikaa. [1, s. 48.]

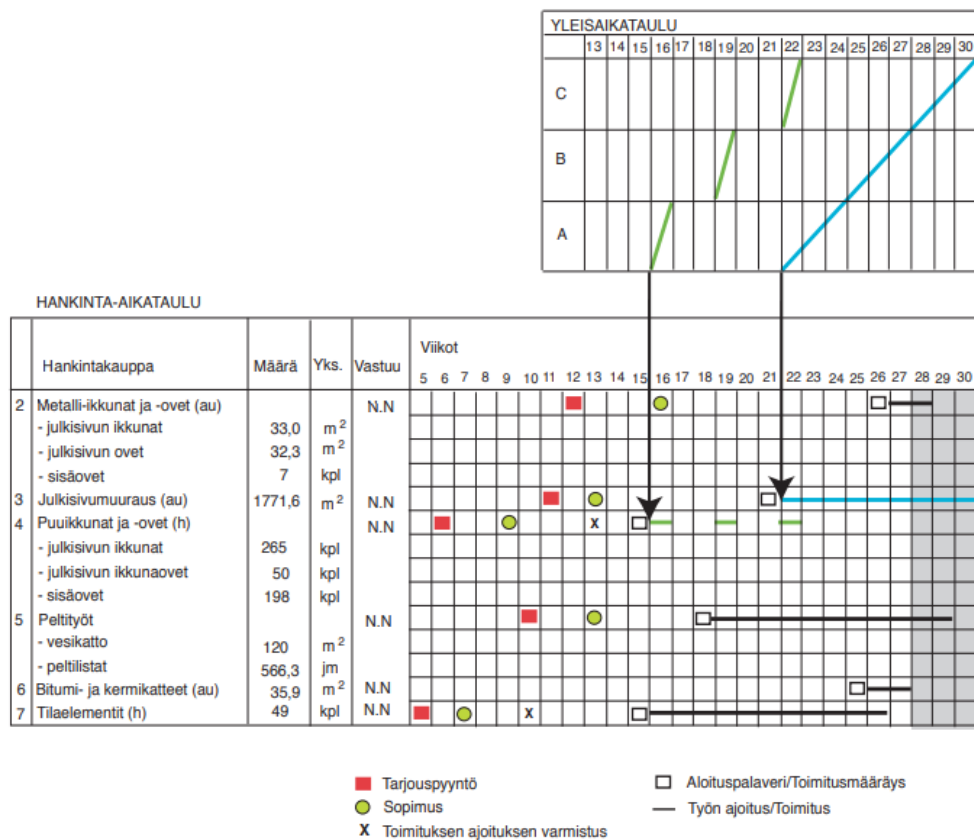
Hankevaihe	2010																				
	Tammikuu				Helmikuu				Maaliskuu					Huhtikuu				Toukokuu			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1. Ehdotussuunnittelu L1																					
1.1 aloituskokous ja lähtötietojen kokoaminen																					
1.2 kohteeseen tutustuminen																					
1.3 tilaratkaisut																					
1.4 L1-suunnitelmat jakeluun																					
1.5 L1-suunnitelmien hyväksyntä																					
2. Luonnossuunnittelu L2																					
2.1 käyttäjältä kalusteiden ja varusteiden tiedot																					
2.2 tiedot arkkitehdille																					
2.3 käyttäjälle kalustetut pohjapiirrokset																					
2.4 rakennustapaselostus																					
2.5 ARK-suunnitelmat kierto																					

Kuva 3. Suunnitelma-aikataulun erimerkkipohja [1, s. 48]

2.3.4 Hankinta-aikataulu

Työmaan hankinnat aloitetaan nopeasti sen jälkeen, kun rakennushanke on käynnistymässä, ettei rakentamisen aloitus pitkity. Tämän takia hankinta-aikataulu laaditaan jo varhaisessa vaiheessa karkealla tasolla. Aikataulua voidaan tarkentaa, kun hankkeen työaikataulu on saatu valmiiksi. [1, s. 51.]

Hankinta-aikataululla määritetään viikkotarkkuudella suuret yhtenäiset hankintakokonaisuudet ja yksittäiset kriittiset hankinnat. Kriittisiä hankintoja ovat kustannusmerkitykseltään suuret tai pitkän toimitusajan vaativat hankinnat. Keskeinen päämäärä on solmia hankinnat työaikatauluun, jotta voidaan varmistua materiaalien sekä urakoiden aikataulunmukaisesta aloituksesta. Toimenpiteet ajoitetaan hankintaan liittyvästä aikataulutehtävästä taaksepäin, jotta tarjouspyynnöille, tarjouksen antamiselle, tarjouksen käsittelylle ja päätöksille varataan tarpeeksi aikaa. [1, s. 51.]



Kuva 4. Työaikataulusta muodostettu hankinta-aikataulu [1, s. 51]

2.3.5 Rakentamisvaiheaikataulu

Rakentamisvaiheaikataulun tarkoituksena on luoda jollekin rakennusvaiheelle tai ajanjaksolle erillinen aikataulu. Keskeisenä tarkoituksena varmistaa jo laaditun työaikataulun tavoitteiden saavuttaminen. Yleisesti rakentamisvaiheaikataulu tehdään yleisimmistä rakennushankkeen työvaiheista. [2, s. 31.]

Yleisimmät rakentamisvaiheen aikataulut:

- Maanrakennus- ja perustusvaiheen aikataulu
- Runko- ja vesikattovaiheen aikataulu
- Sisävalmistusvaiheen aikataulu
- Viimeistely- ja luovutusvaiheen aikataulu.

Aikataulu suunnitellaan kriittisimpien työvaiheiden tehollisten resurssien, työmenekkien (T3-ajat), tehtävien limitysten ja vaihtoehtolaskelmien avulla. Lähtötietoina rakentamisvaiheaikataululle toimii työaikataulu. Työaikataulu voidaan myös laatia rakentamisvaiheaikataulun perusteella, tällöin sitä kutsutaan käännetyksi rakentamisvaiheaikatauluksi. [2, s. 31.]

Päätoteuttajalla on vastuu laatia rakentamisvaiheaikataulu. Se toimii rakennusvaiheen tai tietyn ajanjakson pääasiallisena ohjausvälineenä. Aikataulussa esitetään rakennustekniset työt sekä tärkeimmät sivu- ja aliurakoitsijoiden tehtävät valmiiksi mitoitettuina sekä tahdistettuna. Aikataulu tulee laatia realistisesti, niin että urakoitsijat ovat valmiita sitoutumaan aikatauluun. Aikataulun ajoitus tehdään aina työmenekkien, työsaavutusten, suoritemäärien tai tarpeen tullen tuotantosunnitelmien perusteella. Työlajien sekä työkokonaisuuksien nimikkeet jaotellaan yleisaikataulun mukaisesti. [2, s. 33.]

2.3.6 Viikkoaikataulu

Viikkoaikataulu on muutaman viikon ajanjaksolle suunniteltu tarkempi aikataulu. Tarkoituksena pitää huoli työn tavoitteiden toteutumisesta, resurssien tuottavasta käytöstä sekä näiden riittävydestä. Usein viikkoaikataulu tehdään kolme viikkoa eteenpäin työtehtävien mukaan, niin että työnalla oleva viikko on tarkkuustasoltaan tarkin. Seuraava

viikko suunnitellaan myös tarkasti, jotta resurssien käyttöön ja tuotannossa ilmeneviin ongelmiin voidaan valmistautua etukäteen. Viikkoaikataulun laadintavastuu on kyseisen työkohteen työnjohtajalla. Viikkoaikataulu on työnjohtajan tärkeimpiä apuvälineitä työsuunnitteluun ja sen johtamiseen. Aikataulun tulisi pohjautua rakentamisvaiheaikatauluun tai yleisaikatauluun. Viikkoaikataulut käydään läpi viikoittaisessa palaverissa muiden työnjohtajien kanssa. [2, s. 34.]

VIKKOAIKATAULU														
Tehtävä	Tekijä	Vahvuus	vko 43					vko 44					vko 45	
			MA	TI	KE	TO	PE	MA	TI	KE	TO	PE	MA	TI
C LOHKO														
Anturat, laudoitus	Alpo aliurakoitsija	2												
Routasuojaus, asennus	GM-yritys	1												
Anturat, raudoitus	MaiKa	3												
Anturat, valu ja tartunnat	Alpo aliurakoitsija	3												
Purku ja siivous	Alpo aliurakoitsija	1												
Täytöt	Maa-aliurakoitsija	kone												
VS-nostojen laudoitus	Alpo aliurakoitsija	2												

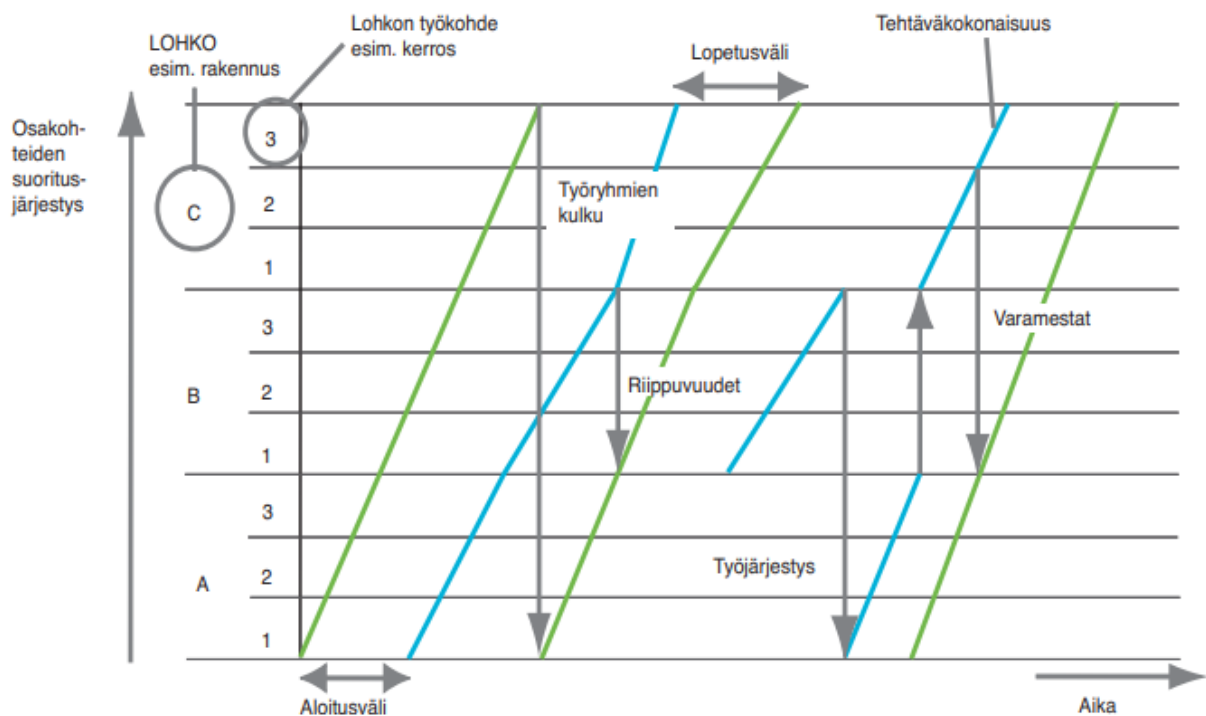
Kuva 5. Esimerkkinä viikkoaikatauluksesta. Kolmen viikon tehtävät näkyvässä resurssien. [1, s. 60]

3.2 Vinoviiva-aikataulu

Yleisimmät vinoviiva-aikataulut suomessa ovat paikka-aikakaavio sekä tuotantokaavio. Edellä mainitut aikataulutyytit pohjautuvat kahteen eri tekniikkaan, Line of Balanceen (LOB) sekä flowline-tekniikkaan. Molemmat aikataulutyytit käyttävät työtehtävien esittämiseen piirrettyjä vinoviivoja. [1, s. 25.]

3.2.1 Paikka-aikakaavio

Paikka-aikakaavion laadinta edellyttää osakohdejakoja, joita ovat lohkot tai työkohteet. Osakohteiden jakamisen jälkeen lohkoille tai työkohteille laaditaan suoritusjärjestys. Työtehtävät sijoitetaan kriittisen polun menetelmää hyödyntäen, niin että työtehtävien välissä olevat riippuvuudet tarkistetaan ja niiden resurssit arvioidaan. Kun työtehtävät ovat suoritusjärjestyksessään, paikka-aikakaavioon merkitään projektin toteutuksen näkökannalta kriittiset ja työkohteita sitovat aikataulutehtävät. [1, s. 25.]

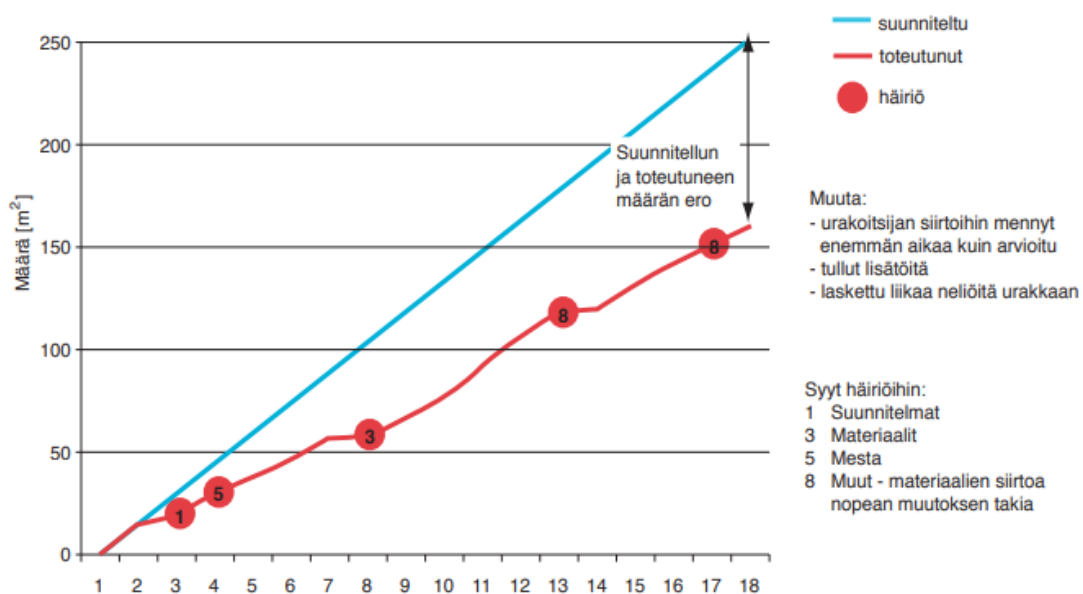


Kuva 7. Paikka-aikakaavion toimintaperiaate [1, s. 25]

Kuten kuvassa 7 on esitetty, paikka-aikakaaviossa pystyakselilla on havainnollistettu projektin eri paikkoja, joita voi olla esimerkiksi kerrokset, portaat ja lohkot. Vaaka-akselilla puolestaan havainnollistetaan aikaa, joka esitetään yleisesti viikkoina tai työvuoroina. Aikataulun visuaalinen näkökulma syntyy, kun aikatauluun piirretään työtehtävien kulku ajan ja paikan suhteessa. Vinoviivat kuvaavat työtehtävien keston lisäksi myös niiden suoritusjärjestystä sekä toteutuksen aikaväliä. Vinoviivojen kaltevuus osoittaa tuotannon nopeuden, mitä pystysuorempi viiva, sitä nopeampi tuotantonopeus. [1, s. 25.]

3.2.2 Tuotantoaikakaavio

Tuotantoaikakaavio on toinen käytetyimmistä vinoviiva-aikatauluista. Erona paikka-aikakaavioon tuotantoaikakaavio kuvaa tuotannon etenemistä ajan ja määrän suhteessa ja piirustustekniikaltaan tuotantoaikakaaviota esitetään suoritemäärän tai valmiusaste prosenttien (VA%) avulla. Valmiusaste prosentti lasketaan kaavalla: $VA\% = \text{tehty määrä} / \text{konaistymäärä} \times 100\%$. Tuotantoaikakaavio on luotu tuotantonopeuden seuraamiseen ja siitä ilmenee helposti paljonko työtä on vielä jäljellä. [1, s. 27.]



Kuva 8. Yhden työvaiheen valvonta tuotantoaikakaaviolla [1, s. 27]

3.3 Valvontavinjetti

Valvontavinjetti on luotu kuvamaamaan eri työvaiheiden ja osakohteiden valmiusasteita. Valvontavinjettiä käytetään esittämään töiden valmistuminen vinjetinä matriisimuodossa tai merkitsemällä ne pohjakuviin. Vinjetin ideana on valvoa töiden etenemistä rastittamalla tai käyttäen eri värejä. Kun ruutuun on vedetty yksi viiva, tarkoittaa se, että työvaihe on aloitettu. Ruutuun lisätään toinen viiva, kun työvaihe valmistuu. [1, s. 30.]

Tehtävän hierarkia	Valvottava tehtävä	Osakohde					
Työvaiheikataulu T3 + LVIS		Talo 1			Talo 2		
	Selite	kerros	1. krs	2. krs	3. krs	1. krs	2. krs
12	Saunan rakenteet		29 ma 30 ke	30 ke 31 pe	31 pe 33 ti	33 ti 34 to	34 to 36 ti
13	Parkettilattiat		31 pe 32 ti	32 ti 33 to	33 to 35 ma	35 ma 36 ke	36 ke 37 pe
14	Pintamaalaus		38 pe 39 ma	39 ma 39 ti	39 ke 40 to	40 to 41 pe	41 pe 43 ma
23	LVV						
23.4	Vesirungot		20 ma 20 ma	20 ti 20 ti	20 ti 20 ti	21 to 21 to	21 to 21 to
23.5	Lämpö päällä		20 to 20 to				
23.6	KPH lattiahaj.		19 ma 20 ma	20 ti 21 ti	21 ke 22 ke	22 to 23 to	23 pe 24 pe

<input type="checkbox"/>	Työtä ei ole aloitettu
<input checked="" type="checkbox"/>	Työ aloitettu
<input checked="" type="checkbox"/>	Työ valmis

<input checked="" type="checkbox"/>	tehtävän aloitusviikko ja viikonpäivä
<input checked="" type="checkbox"/>	tehtävän lopetusviikko ja viikonpäivä

Kuva 9. Valvontavinjetin esimerkkimalli. Vinjetistä on helppo seurata eri osakohteiden työvaiheita sekä niiden valmiusastetta. [1, s. 30]

4 Lean-ajattelu

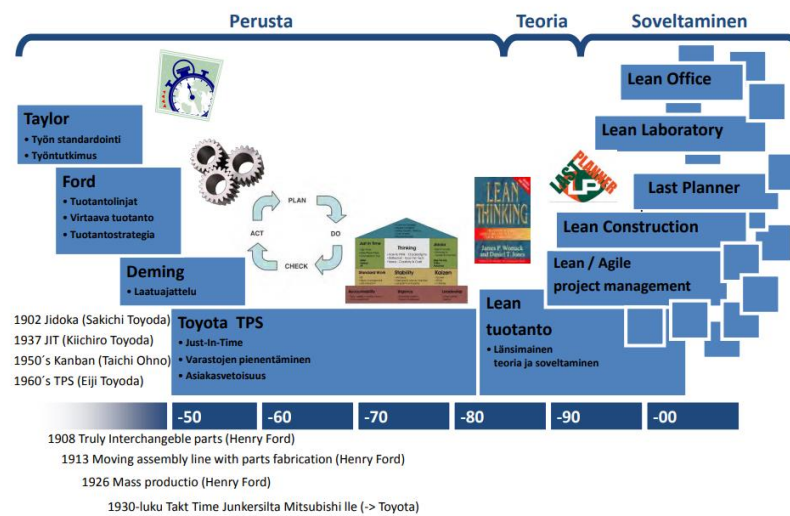
Lean-ajattelu on johtamisfilosofia, joka toiminnallaan yrittää parantaa prosessin virtaus-
tehokkuutta poistamalla prosessin hukkaa eli arvoa tuottamatonta resurssien käyttöä.
Lean -ajattelutavan avulla keskitytään arvon tuottamiseen ottamalla kaikki osapuolet mu-
kaan jatkuvaan parantamiseen. [3.] Keskeisenä ideana Lean-ajattelussa luoda toimintoja
ja työkaluja tuotannon kehittämiseen. Ajan saatossa Lean ajattelutavasta ollaan kehitetty
uusia menetelmiä tuotannon laadun ja tehokkuuden kehittämiseen ja kun uusia toimin-
tatapoja keksitään, niitä voidaan yhdistää jo olemassa olevaan ajattelutapaan. [1, s. 13.]

4.1 Lean historiaa

Lean-valmistus on saanut alkunsa toisen maailmansodan jälkeisessä Japanissa.
Leanin edeltäjänä pidetään autonvalmistaja Toyota Motor Corporationin tekemää tuo-
tantajärjestelmää (Toyota Production System, TPS), jonka kehitti Toyotan pääinsinööri
Taiichi Ohno. Hänen tehtävänä oli nostattaa yrityksen tuottavuutta. Keskeinen päämäärä
oli tuottaa autoja suurella volyymilla, mutta pienemmällä budjetilla. Innovaatiot, jotka vai-
kuttivat Toyota Production Systemiin, eivät kuitenkaan olleet pelkästään japanilaisten
keksimiä, vaan monet innovaatiot olivat jo paljon vanhempia. Toyotan kehittämä tuotan-
tajärjestelmä yhdisti monia muita vanhempia konsepteja, kuten Fordin jo aikaisemmin
kehittämää tuotantoidea [4.]

Tähän päivään asti Lean-teorian keskeisiä periaatteita on toteutettu jo yli 100 vuotta ja
teoriaa on sovellettu monelle eri toimialalle. Rakennusalalle on kehitetty Lean-filosofiaan
liittyviä sovelluksia, jotka ovat Lean Construction sekä Last Planner System (LPS). Lean
historian kasvutarina esitetty kuvassa 10.

Lean historia pähkinänkuoressa



Kuva 10. Lean historia pähkinänkuoressa (Mittaviiva & Vision, 2018, kuva Anssi Koskenvesa)

4.2 Lean rakentaminen

Lean rakentaminen eli Lean Construction on yksi rakennusalalle luoduista Lean- ajattelutavan omaavista sovelluksista, joka soveltaa Lean Managementin ideologiaa. Lean-filosofiasta sekä TPS:n tuotantojärjestelmästä ideoidun sovelluksen uudistaminen osaksi rakentamista on suomalaisen Lauri Koskelan käsialaa. Koskela kirjoitti 1990-luvun alussa raportin Lean- ajattelutavan sisällyttämisestä rakennusalalle. Tämän jälkeen Lean- ajattelutapaan tehtyjä työkaluja on luotu jo yli kaksi vuosikymmentä. Isoimmat toimijat, jotka ovat kehittäneet tuotannonohjaukseen soveltuvaa työkalua ovat kansainväliset instituutit, joiden alla toimivat isoimmat yritykset sekä tutkimuskeskukset ovat kehittäneet ja tutkineet uudenlaisia työkaluja tuotannonohjaukseen. Suomeen vuonna 2008 perustettu Lean Construction Institute tutkii ja soveltaa Lean-ajattelun ja johtamistavan periaatteita rakennusteollisuudessa. Instituutti on perustettu Rakennusteollisuuden, rakennuttajaliiton Raklin ja Oulun yliopiston tukemana. [1, s. 14.]

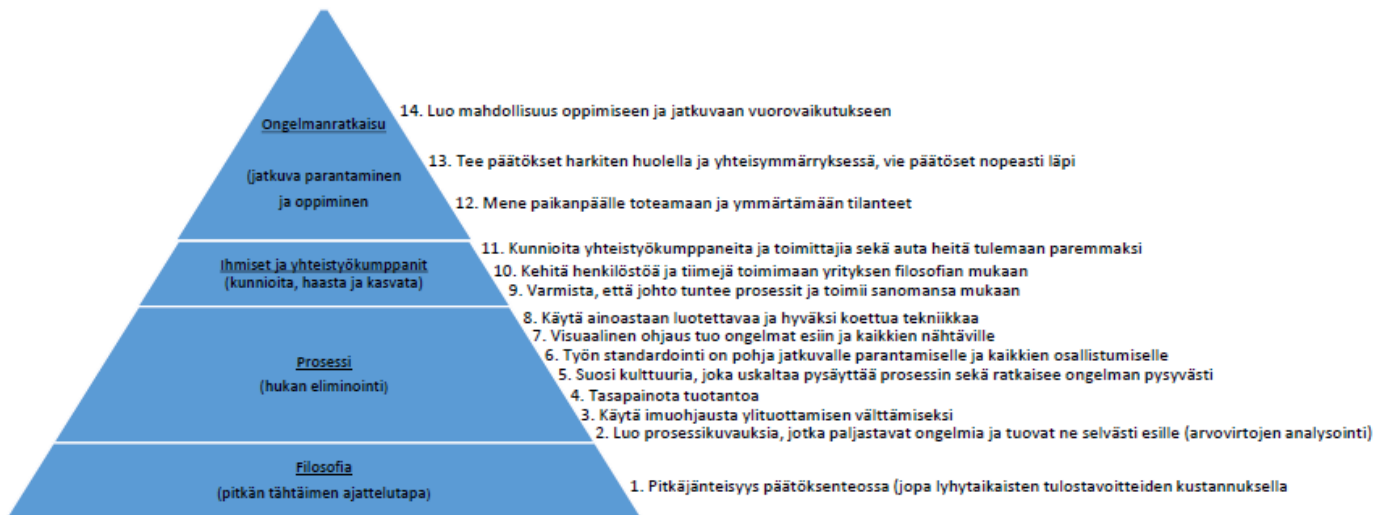
Lean rakentamisen päämäärä on arvon tuottaminen asiakkaalle. Arvon tuottaminen ei synny sillä, että kaikilla hankkeen osapuolilla on omat tavoitteensa, vaan että hankkeen osapuolet toteuttavat tämän yhteistyöllä ja kokonaisoptimoinnilla. Yhteisellä tekemisellä varmistetaan, että asiakas saa rahoilleensa vastinetta ja samalla kaikki muutkin hankkeen

osapuolet välttävät turhalta energian kulutukselta. Keskeisenä ideana on hukan vähentäminen ja sitä pyritään minimoimaan sellaisista vaiheista, jotka eivät tuota arvoa. Lean rakentamiseen on kehitelty työkaluja, joilla voidaan parantaa tuotantoa. Pyrkimyksenä on luoda ennustettava sekä tasapaksu tuotantovirta. Ennustettavuus koskee suunnittelua, hankkeen lopputulosta sekä yksittäisten työvaiheiden tasaista ja säännönmukaista läpivientiä. Näiden toimenpiteiden kautta saadaan projektin kustannukset, aikataulu sekä resurssien ohjaus pidettyä helpommin hallinnassa. Jotta Lean- toimintaa voidaan soveltaa, työkuultuuriin tarvitaan muutoksia ja kaikilla osapuolilla tulee olla halua kehittää omaa toimintaansa. [5.]

Leanin avulla koitetaan päästä eroon kahdeksasta eri hukasta, eli turhasta tai tuottamattomasta toiminnosta, joka ei tuota mitään lisäarvoa. Leanin keskeinen idea on tunnistaa nämä kahdeksan hukkaa jo varhaisessa vaiheessa ja päästää eroon tuottamattomista toiminnoista. Tällä tyyllillä parannetaan laatua sekä pienennetään tuotantoprosessin kustannuksia. Hukkaa eli tuottamattomia toimintoja ovat Lean-ajattelun mukaan: [9.]

1. Ylituotanto
2. Odottaminen
3. Virheet
4. Kuljettaminen
5. Liikkuminen
6. Yliprosessointi
7. Varastointi
8. Hyödyntämätön potentiaali

Toyotan tuotantosysteemi (Toyota Production System) on valittu maailman parhaimmaksi tuotantosysteemiksi. Kuvassa 11 esitetty Toyotan toimintavan mukaiset Leanin periaatteet, joita on 14 kappaletta. [9.]

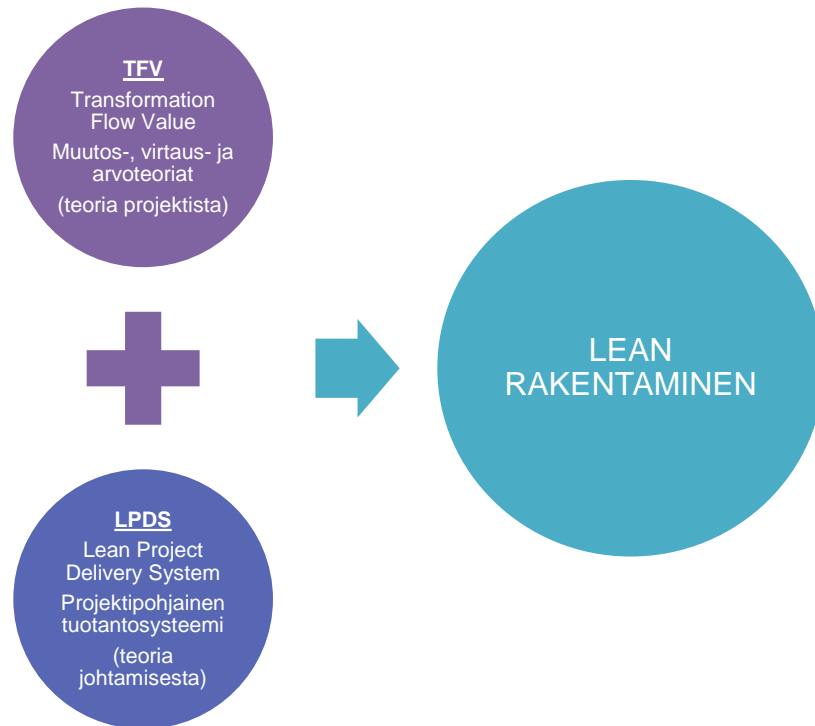


Kuva 11. Leanin periaatteet Toyotan mukaan (muokattu lähteestä 10 s. 11-13.)

Leanin periaatteet lähtee kuvan 11 mukaisesti pohjalta, jossa on Lean-filosofia. Filosofian mukaan tarvitaan pitkäjänteisyyttä päätöksenteossa. Seuraavaksi kuvassa on kuvattu prosessin vaiheen periaatteita, jotka tähtäävät hukan eliminointiin. Tarvitaan prosessikuvauksia, jotka tuovat ongelmat esille. Käytetään imuohjausta, jotta vältetään ylituottamiselta. Tasapainotetaan tuotantoa ja suositaan puuttumaan ongelmakohtiin, jotta ne saadaan pysyvästi pois tuotannosta, visuaalinen ohjaus tuo ongelmat esille ja kaikkien nähtäväksi. Käytetään vain hyväksi sekä luotettavaksi koettuja tekniikoita. Prosessin jälkeen kuvassa on ihmiset ja yhteistyökumppanit. Johto pyrkii tuntemaan prosessit ja kehittää henkilöstöään toimimaan filosofian mukaisesti. Tärkeää on kunnioittaa myös muita yhteistyökumppaneita sekä toimittajia sekä avustaa heitä toimimaan paremmin. Viimeisenä kuvassa on huippu eli ongelmanratkaisu. Periaate kannustaa menemään paikanpäälle ymmärtämään tilanteet ja kehottaa tekemään päätökset harkitusti yhteisymmärryksessä muiden kanssa. Tärkeimpänä on filosofian oppiminen ja jatkuva parantaminen.

4.3 LPDS ja TFV

Lean projektipohjainen tuotantosysteemi (Lean Project Delivery System – LPDS) sekä TFV-teoria (Transformation Flow Value) yhdessä muodostavat Lean rakentamisen (kuva 12). [1, s.15.]



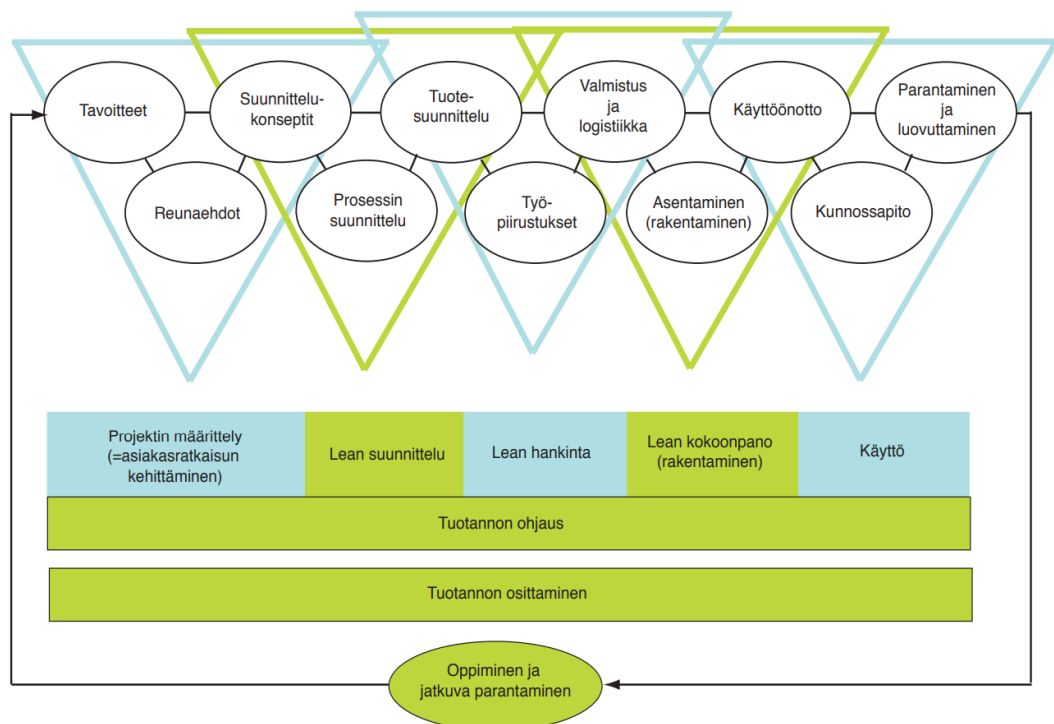
Kuva 12. TFV eli teoria sekä tuotannonohjausmenetelmä LPDS muodostavat yhdessä Lean rakentamisen (muokattu lähteestä 1 s. 15)

TFV-teorian avulla tuotanto jakautuu kolmen eri näkemyksen varaan, jotka ovat muunnos (transformation)-, virtaus (flow) sekä arvontuottonäkemys (value generation). Muunnosmallin avulla vastataan tuotteen valmistumisesta ja että siihen on olemassa edellytykset, virtausmallin avulla sisällytetään sisäiset tavoitteet sekä arvontuottonäkemys liittyy ulkoisiin tavoitteisiin. [1, s. 15.]

LPDS eli Lean Project Delivery System on samankaltainen kuin Toyotan kehittämä tuotantojärjestelmä, mutta LPDS on suunniteltu Lean rakentamiseen. Ideana tuoda Lean rakentamisen periaatteet osaksi projektituotantoa. Keskeinen päämäärä on projektitoimitusten kehitys sekä niiden jatkuva parantaminen. Halutaan siis tuottaa täydellinen

tuote asiakkaalle, niin että siinä ei ole syntynyt hukkaa. LPDS koostuu seuraavista seitsemästä päävaiheesta: [1, s. 15.]

1. Projektin määrittely
2. Lean suunnittelu
3. Lean hankinta
4. Lean kokoonpano
5. Käyttö
6. Tuotannon ohjaus
7. Tuotannon ositus



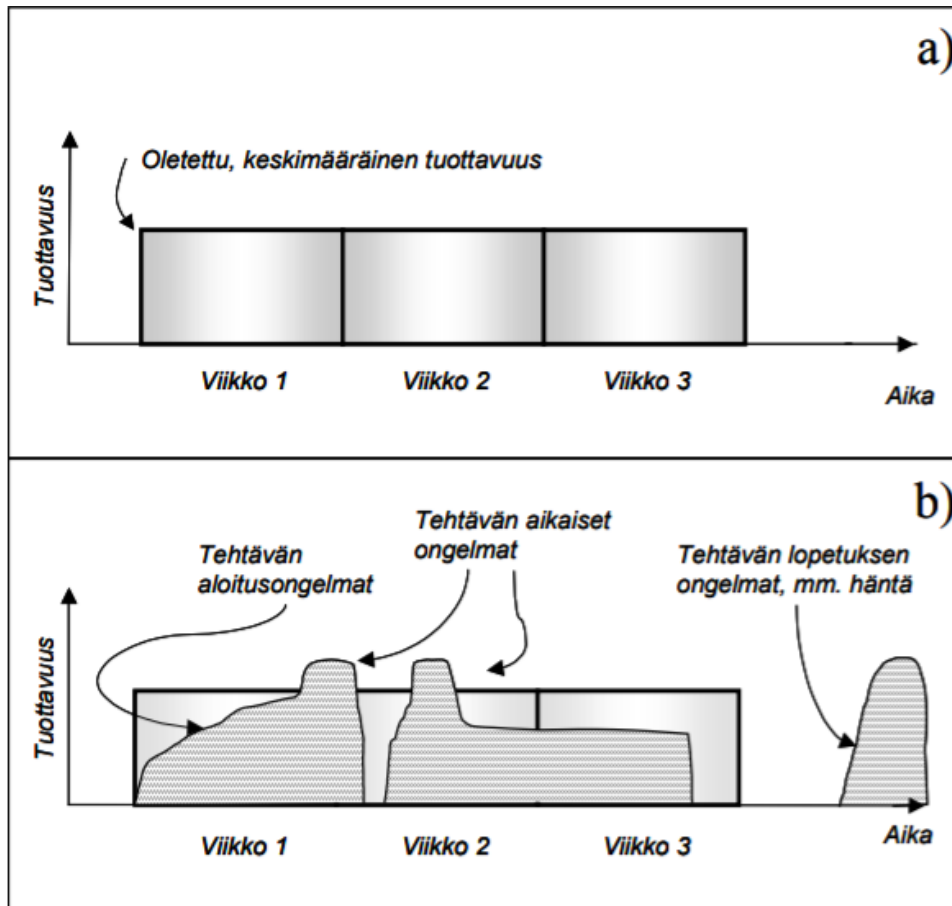
Kuva 13. LPDS eli projektikohtaisen tuotantosysteemin rakenne [1, s. 16]

LPDS käyttää hyödyksi TFV:n näkemyksiä, jotta tavoitteet saadaan tehtyä. Myös muihin LPDS:n vaiheisiin on käytetty ja hyödynnetty erilaisia työkaluja. Rakentamisessa käytetään useasti seuraavassa luvussa esiteltyä Last Planner Systemiä (LPS), joka on suunniteltu projektituotannon ohjaukseen.

4.4 Last Planner System (LPS)

Last Planner System on yksi Lean- rakentamisen työkaluista, joka on suunniteltu käytettäväksi lyhyen aikavälin suunnitteluun sekä ohjaukseen. Menetelmää käytetään myös suunnittelutöiden sekä ylläpitötöiden tuotannonohjauksessa. Työkalu keksittiin Yhdysvalloissa 1990-luvun alussa parantamaan viikoittaista työnsuunnittelua. Last Plannerin edellytyksenä on, että viikkosuunnitteluun hyväksytään vain tehtävät, jotka ovat toteutuskelpoisia ja tehtävien aloitusedellytykset ovat valmiina, niin että työt voidaan toteuttaa häiriöttä ja suunnitelmien mukaisesti. [6, s. 14.]

Last Planner -menetelmän taustalla on perinteisen tuotannonohjauksen ongelmakohtiin puuttuminen. Perinteinen tuotannonohjaus nähdään etenevän tasaista vauhtia, mutta todellisuudessa tuottavuus vaihtelee laajalti (kuva 14). Työtehtävien aloituksissa, tehtävien aikana sekä tehtävien lopetuksissa on paljon ongelmakohtia, jotka johtuvat siitä, että tehtäviä ei olla suunniteltu riittävän hyvin. Last Planner -menetelmää hyödyntäen näitä ongelmakohtia pyritään poistamaan. Jo valmisteluvaiheessa kaikille tehtäville työvaiheille luodaan aloitusedellytykset, niin että ne voidaan toteuttaa häiriöttä ja tasaisesti. Nyrkkisääntönä Last Planner -menetelmässä onkin, että viikkosuunnitteluun valitaan vain työvaiheet, jonka kaikki edellytykset sen toteuttamiselle ovat varmasti valmiina. Menetelmän keskeinen idea on tehtävien jatkuva parantaminen, ongelmakohtiin puuttuminen sekä ongelmiin johtuvien syiden analysointi. Näiden toimenpiteiden avulla voidaan poistaa ongelmakohtia tuotannosta pitkällä aikavälillä. [1, s. 105.]



Kuva 14. Oletettu sekä todellinen tuottavuus [6 s. 28].

Last Planner -menetelmään sisältyy: [7.]

1. Tarpeeksi kireä yleisaikataulu, missä tuotanto tahdistaa välitavoitteet ja ne ovat selkeästi tunnistettavissa.
2. Hankkeen eri osapuolten yhteinen suunnittelu, mihin osallistuu työtehtävistä vastaavat henkilöt, jotka suunnittelevat nettoaika perusteisen aikataulu, jolla yleisaikataulun välitavoitteet voidaan saavuttaa.
3. 4- 6 viikon järjestelmällinen valmisteleva suunnittelu, jossa tunnistetaan ja poistetaan työtehtävien käynnistämisen estäviä esteitä. Tätä kutsutaan imuohjaukseksi.
4. Viikkosuunnitteluun otetaan vain ne tehtävät, joiden aloitusedellytykset ovat kunnossa.
5. Viikkosuunnitelman läpikäynti ja yhteinen suunnittelu eri osapuolten kesken.

6. Viikkosuunnitelman tehtävien valmiusasteen tarkistus ja mittaus TTP% (tehtävien toteutumisprosentin) avulla.
7. Toteutumatta jääneiden tehtävien syiden selvitys ja analysointi kysymällä 5 kertaa miksi.
8. Systeemin jatkuva parantaminen, näkyy parempana TTP% prosenttina.

Last Plannerin avulla ohjataan koko työmaatoimintaa kokonaisuudessaan. Menetelmässä kaikki työtehtävät ovat samassa asemassa riippumatta tehtävän vaatimustasosta taikka taloudellisesta suuruudesta. Pidempiaikaiset tehtävät pilkotaan viikkotehtäviin, jos työtehtävien aikana ilmenee ongelmia. Tällä tyylillä edellytykset pystytään varmistamaan viikoittain, eikä vain töiden aloituksessa. Last Planner -menetelmässä suunnitellaan joka ikinen viikon aikana tapahtuva työ, näin varmistutaan, että suunnittelemtomia, mutta kuitenkin viikon sisällä tärkeitä työvaiheita, jotka voisivat häiritä jo suunniteltuja töitä, ilmaantuu huomattavasti vähemmän. Jos tehtävän aikana ilmenee ongelmia, pahimmassa tapauksessa se voi keskeyttää sen tekemisen kokonaan. Menetelmän avulla työntekijät sitoutuvat omien tehtävien toteuttamiseen sekä sen seurantaan, tavoitteena hoitaa työt kerralla kuntoon. [1, s. 105.]

5 Tahtituotanto rakentamisessa

Perinteisissä rakennushankkeissa tuotannon nopeus vaihtelee laajalti. Tahtituotannossa projektin työvaiheet jaetaan samankokoisiin työpaketteihin, jotka seuraavat toisiaan kuin junan vaunut ja ne pyritään pitämään liikkeellä keskeytyksittä. Tuotantonopeus pidetään koko ajan samana, jolloin tasainen virtaus tekee projektista paljon helpommin ennustettavamman sekä helpommin hallittavan. Tahtituotannossa voitaisiin esimerkiksi tunnin tarkkuudella huomata, mitä tapahtuu ja milloin. Rakentamisessa työpakettien tuotantonopeus yleensä pidetään päivissä taikka viikoissa. Tahtituotantoa ollaan hyödynnetty paljon rakennusalalla, koska usein työvaiheissa on paljon toistuvuutta. [11.]

Tahtituotannon keskeinen idea on saada kaikki projektin osapuolet mukaan suunnitteluun, sillä tämän avulla ikään kuin pakotetaan miettimään ja ratkaisemaan ongelmakohtia, ennen kuin ne tulevat vastaan tuotannossa. Tahtituotanto ei ole uusi keksintö, vaan sitä ollaan käytetty rakennusalalla sekä tuotantolaitoksissa pidemmän aikaa. Tahtiaika tarkoittaa ajanyksikköä, jonka aikana tuote tai osa siitä tulee saada valmiiksi, jotta pysytään suunnitellussa aikataulussa. [12, s. 3-4.]

5.1 Tahtituotanto tänä päivänä

Nykypäiväinen tuotantosunnittelu rakennusalalla ei ole samalla tasolla, kuin esimerkiksi teollisuudessa. Teollisuudessa työvaiheet voidaan suunnitella jopa minuutin tai sekunnin tarkkuudelle. Rakennusalalla tarkin suunnittelutaso on viikkosuunnittelu ja siinäkin työtehtävät suunnitellaan vain päivän tarkkuudella. Haasteeksi ollaan huomattu monien alirakoitsijoiden työvaiheiden koordinointi ja tiedon välittäminen työntekijälle asti. Kuitenkin tahtituotanto suunnittelua hyväksikäyttäen voidaan tuotannosuunnittelua viedä huomattavasti korkeammalle tasolle ja sitä voidaan viestiä ja ohjata erilaisten visuaalisten menetelmien avulla. Päämääränä on luoda tasainen sekä ennakoitu ja hallittava tuotantonopeus eli tahti, jolla mahdollistetaan tarkat ajat esimerkiksi toimituksille sekä logistiiseen suunnitteluun. Tahtituotannon suunnittelulla poistetaan tuotannossa olevaa hukkaa ja parannetaan tuottavuutta. Kun tahtituotannon avulla näihin toimenpiteisiin ollaan jo etukäteen varauduttu, voidaan projektien läpimenoaikoja lyhentää jopa merkittävästi. [11.]

5.2 Suunnittelun vaiheet

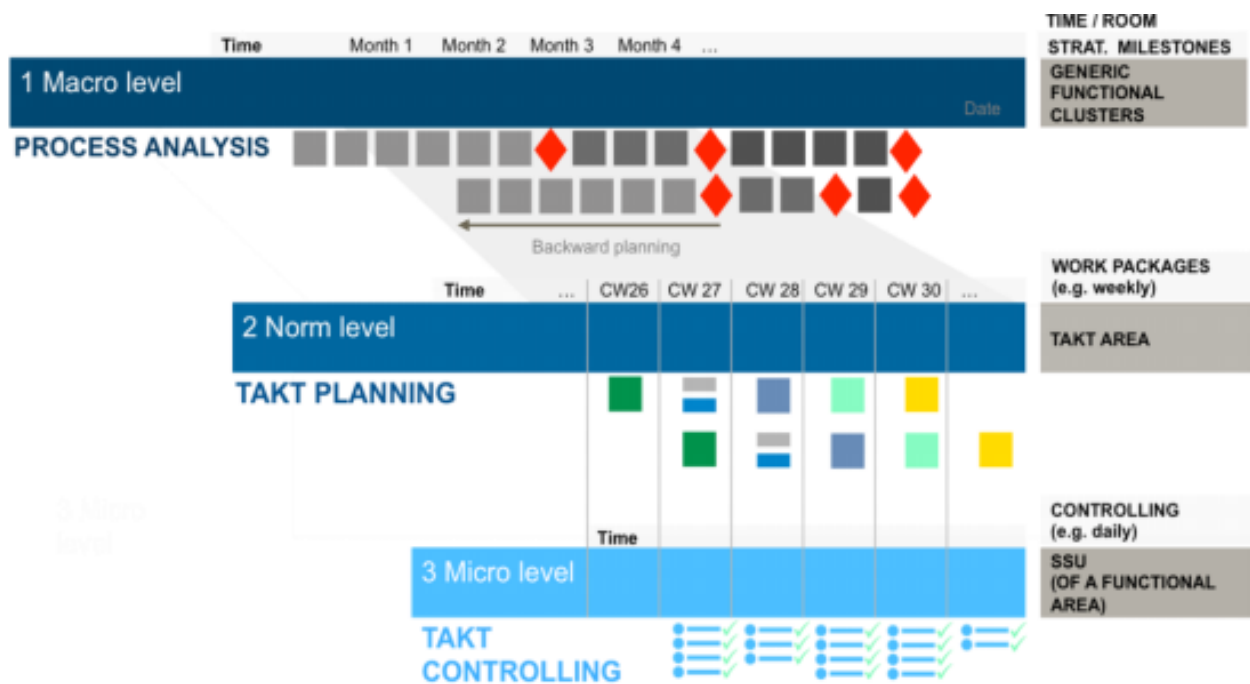
Vuonna 2013 Adam Frandson et al. tutkimuksessaan avasi tahtiaikasuunnittelun päävaiheita. Suunnitteluprosessi on kuusivaiheinen ja etenee seuraavasti:

1. Tiedonkeruu ja sen välittäminen ovat jatkuvaa koko hankkeen ajan ja se on ratkaisevassa asemassa koko hankkeen ajan. Tässä vaiheessa kerätään kaikki mahdollinen tieto projektista. Siihen sisältyy tiedot projektin työvaiheista, työvaiheiden järjestyksestä, niiden kestoista sekä menekeistä. Apuna tiedon keruussa käytetään työvaiheisiin osallistuvia jäseniä, jotta tieto olisi mahdollisimman realistista. Yksittäisten työvaiheiden tietojen lisäksi tarvitaan tietoa projektin välitavoitteista sekä muista yhteisistä tavoitteista.
2. Tahtialueiden määrittely, projekti jaetaan sopivan kokoisiin pieniin lohkoihin tai toistuviin alueisiin, jotka yhdessä muodostavat tahtisuunnittelun yksiköt. Määrittely tehdään edeltävän työvaiheen tietojen perusteella määrittelemällä se työvaihe, joka on tärkeimmässä asemassa tuotantoon nähden. Tärkeimmässä asemassa olevaa työvaihetta käytetään määräävänä tahtialueen työalueena ja tahtiajan työn keston aikana.
3. Työjärjestyksen ymmärtäminen, suunnittelut työvaiheet järjestetään mahdollisimman loogiseen järjestykseen ja niin, että se on projektin kaikille osapuolille sopeva.
4. Yksittäisten tehtävien kestojen ymmärtäminen, etenemisnopeus eli tahtiaika valitaan hitaimman työvaiheen mukaan. Tässä vaiheessa pyritään vielä tarkastamaan työvaiheiden kestot ja pyritään luomaan mahdollisimman sujuva tuotantovirta ja työvaiheiden väliset vaihdot.
5. Työn virtauksen tasaaminen, edellä mainittujen kohtien perusteella tuotanto tasapainotetaan niin, että työvaiheet etenevät virtaviivaisesti ja kaikki hukka on saatu minimoitua. Kaikki työvaiheet asetetaan yhdeksi tuotantojunaksi niin, että tuotanto (työtehtävät) liikkuvat tuotteen (rakennuksen osan) läpi. Tässä vaiheessa työvaiheiden järjestystä hienosäädetään ja tahtialueita optimoidaan.

6. Tahtisuunnitelman viimeistely, tahtituotantoaikataulu hyväksytään vasta sitten, kun jokainen tuotanto-organisaation jäsen on todennut sen toteutettavuuden ja organisaatio on hyväksynyt suunnitelman yksimielisesti. [13, s. 531-533.]

5.3 Tahtisuunnittelun tasot

Janosch Dlouhy et al. esitti menetelmän, mikä on kolmitasoinen. Tämän avulla työvaiheita pystytään yhdistämään niin, että rakennusaikoja ollaan saatu puolitettua. Kolmitasoinen menetelmän johdosta rakennushankkeen avainhenkilöt ovat pystyneet tekemään parempia päätöksiä ja hankkeiden valvonta on yksinkertaistunut. Tämä menetelmä valittiin ”German Project Management Award 2015” voittajaksi. [14, s. 13.]



Kuva 15. Tahdin kolme tasoa [14, s.17]

Tahtiaikasuunnittelun kolme tasoa [14, s. 15-17]:

1. Macro-taso eli prosessianalyysi, tavoitteena on projektin jakaminen työalueisiin sekä työjärjestyksen määrittäminen ennalta annettujen tavoitteiden pohjalta. Projektin suunnittelu aloitetaan projektin loppupäästä ja suunnittelussa käytetään imuohjausta.
2. Normitaso eli tahtisuunnittelu aloitetaan työalueiden jakamisella toistuviin tahtialueisiin. Tämän jälkeen määritetään työpaketit eli niin sanotut tahtivaunut, jotka kulkevat tahtialueiden läpi. Työpakettien eli vaunujen sisältö suunnitellaan yhdessä eri osapuolten kanssa ja nämä usein sisältää useamman ammattikunnan tehtäviä. Jokaiselle vaunulle lasketaan sama määrä aikaa, jolloin tuloksena saadaan tahtiaika eli rytmi tuotannolle.
3. Micro-taso eli tahtikontrolli tarkoittaa jo määriteltyjen työpakettien sisällön tarkentamista sekä seuranta yhteistyössä projektin työmaajohdon sekä työntekijöiden avainhenkilöiden kanssa. Micro-tasossa tehtävien toteutumista seurataan päivittäin ja päivittäiseen palaveriin osallistuu työmaan johto sekä vähintään yksi edusta jokaisesta työpaketista. Palaverin tavoitteena on käydä läpi toteutuneet tehtävät ja puuttua häiriöiden ehkäisemiseen. Micro-tason ideana onkin saada projektille avoin sekä keskusteltava ilmapiiri, jotta kaikkien osapuolien ideat sekä havainnot tulee kuulluksi.

6 Tahtituotannon suunnittelu hotellihankkeeseen

6.1 Kohteen kuvaus

Espoon Keilaniemeen rakennettava hotellihanke liitetään samaan aikaan rakennettavaan toimistorakennukseen. Kokonaisuudessaan uusi hotelli- ja toimistorakennus liitetään jo olemassa olevaan toimistorakennukseen. Rakennustyöt hankkeessa aloitettiin vuoden 2020 alussa ja hanke valmistuu vuoden 2022 alkupuolella. Alapuoelle kuvattu hankkeen erityspiirteitä:

- Hotellirakennus sisältää 9 kerrosta, joista ylin varattu ilmanvaihtokonehuoneelle. Tämän lisäksi rakennuksessa on kaksi kellarikerrosta.
- Hotellin 1. kerros sisältää 16 hotellihuonetta, hotellin aulan sekä muita yleisiä tiloja.
- Toinen kerros sisältää yhteensä 25 hotellihuonetta. Ensimmäinen ja toinen kerros eroaa ylemmistä kerroksista siten, että ne ovat pienempiä. Kolmannesta kerroksesta ylöspäin hotellin pohjoispäätyyn on lisätty uloke, jonka johdosta kerrokset ovat isompia. (Kuva 16)
- 3.- 8. kerrokset ovat melkein identtisiä kerroksia, kukin kerros sisältää 37 hotellihuonetta oheistiloineen.
- Yhteensä hotellissa on 260 hotellihuonetta sekä muita teknisiä- ja oheistiloja.



Kuva 16. Havainnekuva hotellirakennuksesta [15.]

6.2 Tiedonkeruu

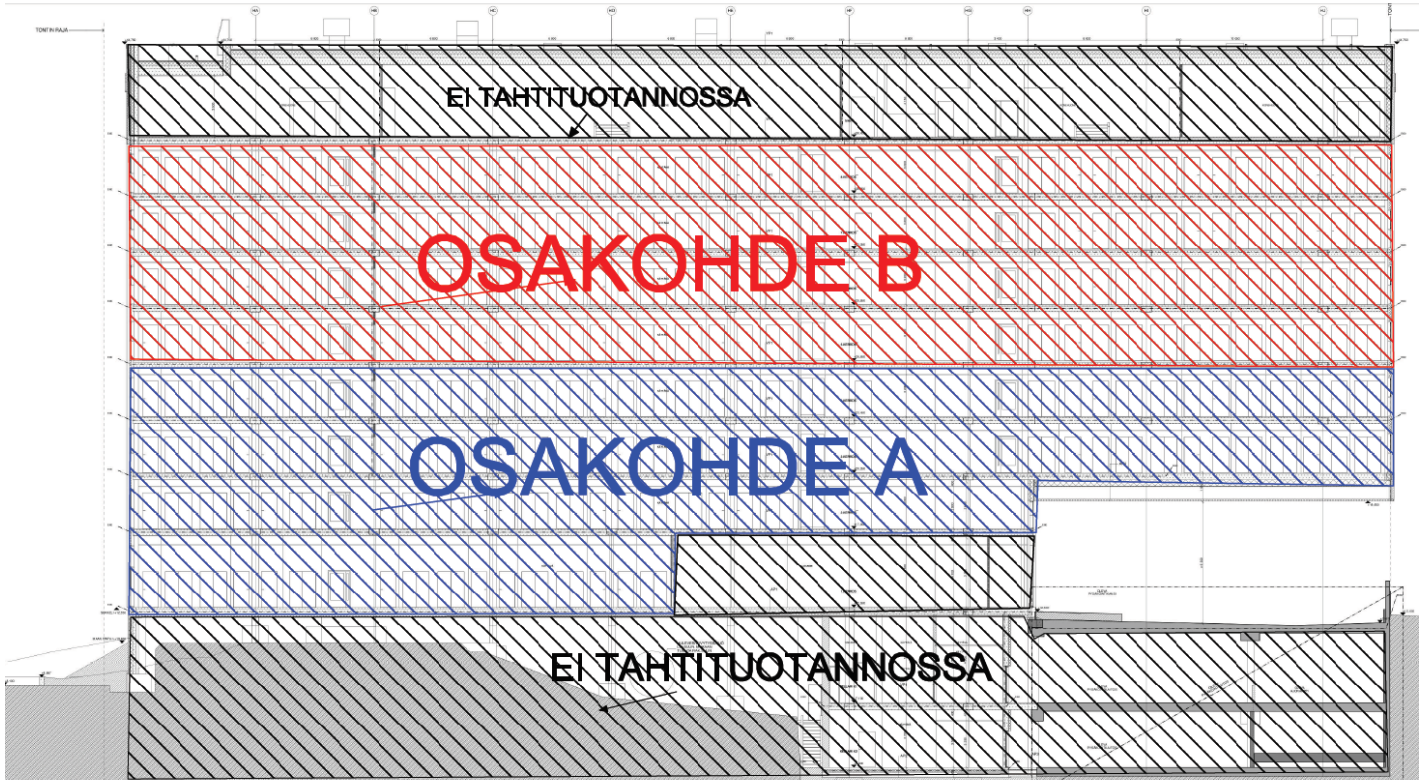
Tahtituotannon suunnittelu aloitetaan aina tiedonkeruulla. Tietoa rakennushankkeesta saadaan projektin suunnitelmista, jonka perusteella lähdetään suunnittelemaan tulevia työtehtäviä ja niiden työjärjestystä. Rakennushankkeelle jo aikaisemmin laadittu yleisaikataulu asetti tahtituotannosuunnittelulle reunaehdoja, esimerkiksi yleisaikataulussa oli välitavoitteena vesikaton valmistuminen. Kyseinen välitavoite antoi selvät reunaehdot, milloin sisävalmistusvaiheen työt voidaan aloittaa, jotta vältetään sisävalmistusvaiheessa toteutettavien työvaiheiden altistumista kosteudelle. Kuitenkin vesikaton valmistuminen meni ajallisesti niin pitkälle, joten päädyttiin tekemään hotellin puoliväliin kosteussulku. Tällöin päästään aloittamaan sisävalmistusvaiheen työt paljon aikaisemmin.

Tiedonkeruussa, työvaiheiden ja -järjestyksien suunnittelussa keskeisessä roolissa oli muut työmaaorganisaation toimihenkilöt. Tahtituotannon suunnittelu perustuikin yhdessä suunnitteluun, niin että kaikki osapuolet pääsevät mukaan suunnitteluprosessiin. Tätä opinnäytetyötä tehdessä hotellihankkeen urakoitsijahankinnat olivat vielä kesken, joten tuotannon suunnitteluun ei saatu mukaan kuin muutamia urakoitsijoita. Kuitenkin hankkeen edetessä urakoitsijat otetaan mukaan suunnitteluprosessiin. Tämä varmistetaan hankintoja tehdessä niin, että sopimukseen kirjataan edellytykset tahtiaikataulun noudattamiseen.

6.3 Tahtialueiden määrittäminen

Hotellihankkeen kellarikerrokset sekä ensimmäisen kerroksen aulatilat haluttiin jättää tahtiaikataulun ulkopuolelle. Kellarikerrokset sisältävät pysäköintitilaa, väestönsuojatiloja sekä muita oheistiloja, jotka eivät ole tahtituotannon kannalta tärkeässä asemassa.

Hotellin peruskerrokset 1-8 valittiin tahtituotantoon, koska sisällöltään kerrokset ovat toistuvia. Edellisessä luvussa esitetyn välitavoitteen perusteella peruskerrokset jaettiin kahdeksi osa-alueeksi. Kuvassa 17 on esitetty hotellihankkeen leikkauskuva ja siitä ilmenee osakohteet ja alueet, joita ei otettu mukaan tahtituotantoon.

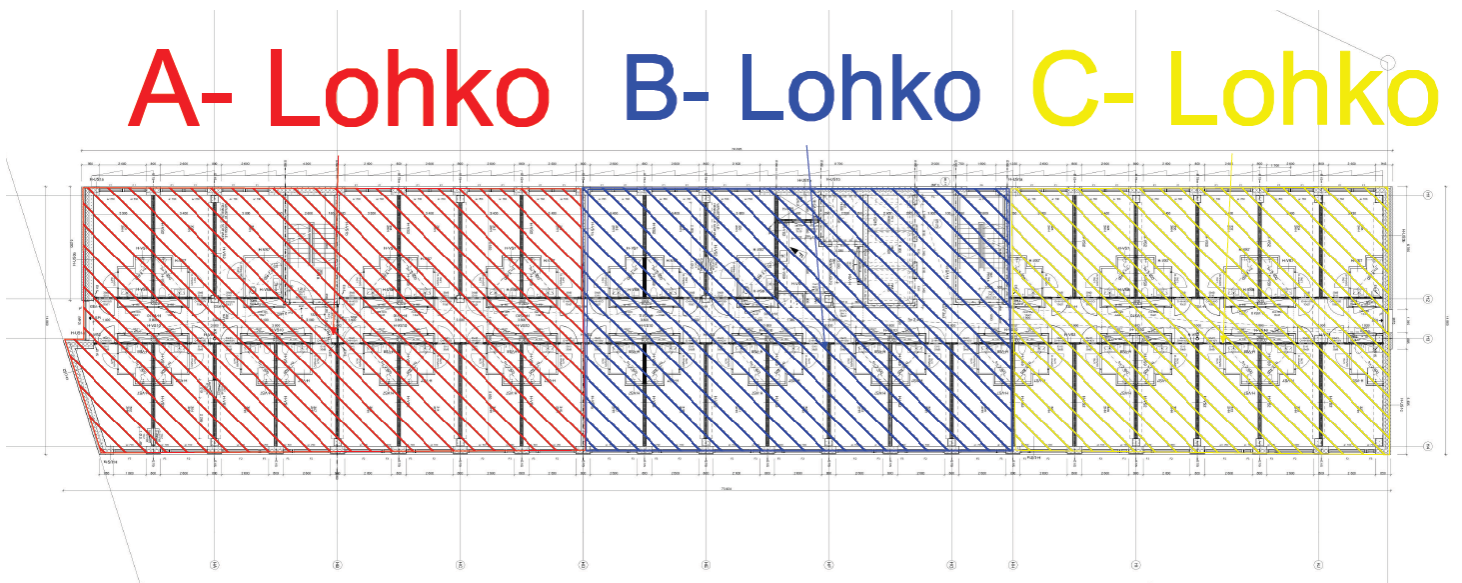


Kuva 17. Hotellin osakohteet [15.]

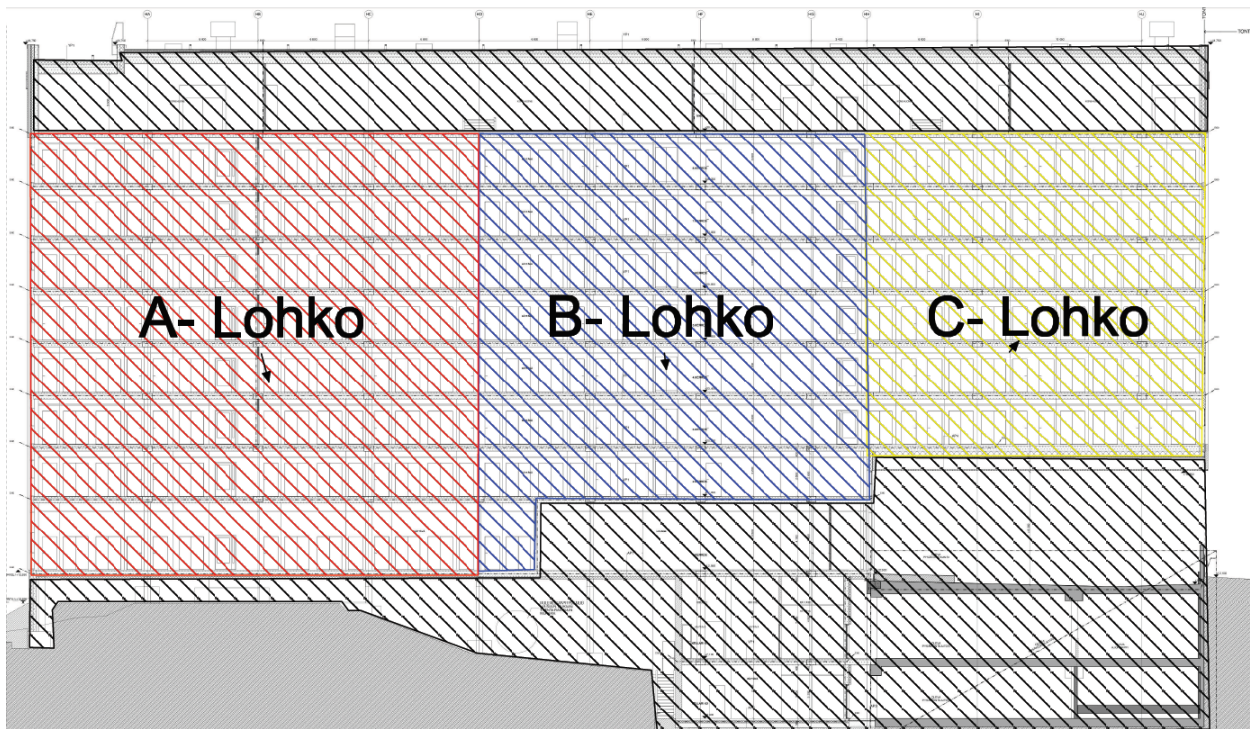
Osakohteet valittiin sillä perusteella, että 1. ja 4. kerros voidaan toteuttaa varmasti kuivissa olosuhteissa. Viidenteen kerrokseen tehty vesikatko varmistaa osakohde A:n työolosuhteet, jonka jälkeen siirrytään osakohteeseen B. Osakohteen B työolosuhteet saadaan varmistettua, kun rakennuksen varsinainen vesikatto saadaan valmiiksi.

Osakohteiden suunnittelun jälkeen aloitettiin tahtialueiden suunnittelu kerroksiin. Hotellin pohja-ala on suorakulmainen, joten lohkojako kerroksessa oli varsin helppo toteuttaa. Kerros päädyttiin jakamaan kolmeen lohkokoon, jonka työsisältö on suurin piirtein samaa kokoluokkaa. Hotellin ensimmäinen ja toinen kerros eroaa muista kerroksista siten, että ne ovat kapeampia (Kuva 17). Kolmannesta kerroksesta kahdeksanteen kerrokseen hotellin pohjoispäättyyn on lisätty uloke, jonka perusteella lohkojakokin valittiin. Kuvassa 18 on esitetty lohkojako pohjakuvaan, kun taas kuvassa 19 on puolestaan esitetty leikkauskuvan pohjalta lohkojaot.

Tahtituotannon työpaketit kulkevat tahtialueiden läpi alhaalta ylöspäin aloittaen lohkosta A, jonka jälkeen siirtyminen lohkolle B ja niin edelleen lohkolle C.



Kuva 18. Hotellin lohkojako merkittynä pohjakuvaan [15.]



Kuva 19. hotellin lohkojako merkittynä leikkauskuvaan [15.]

6.4 Työtehtävien mitoitus

Aikataulua laadittaessa jokaiselle työtehtävälle on määritettävä kesto. Työtehtävät mitoitetaan käyttämällä Rakennusteollisuus ry:n sekä Rakennustieto Oy:n tuotannosuunnitteluun luotua tietopankkia nimeltä Ratu -kortisto. Kortistosta löytyy työsaavutuksia sekä työmenekkejä perinteisille työvaiheille. Ratu-kortistosta löytyvät työsaavutukset sekä työmenekit antavat hyvät lähtökohdat työtehtävien mitoitukseen. Kuitenkaan Ratu –kortistoista saatua työmenekkitietoa ei voida aina soveltaa, joten työsaavutuksia on syytä suunnitella yhdessä aliurakoitsijoiden kanssa, joilla on usein kokemusperäistä tietoa työvaiheista.

Tahtiaikataulun suunnittelussa jokaisesta lohkon sisältämästä hotellihuoneesta laskettiin suoritelmäärät, esimerkiksi kuinka monta neliötä yhdessä hotellihuoneessa on levyseiniä tai kuinka paljon on lattia pinta-alaa mattotöitä varten. Hotellihuoneiden toistuvuuden vuoksi määrät voitiin kertoa lohkon huoneiden määrällä. Yhdessä hotellihuoneessa on esimerkiksi laatoitusneliöitä 23 m², tämä kerrotaan 15 hotellihuoneella, niin saadaan yhden lohkon laatoitusneliöt. Lohkon laatoitusneliöiden perusteella työvaihe mitoitettiin käyttämällä urakoitsijan kokemusperäisiä työsaavutuksia, joita verrattiin Ratu –kortiston työsaavutuksiin.

6.5 Työtehtävien määritys, järjestäminen ja tahdistaminen

Tahtituotantoaikataulu aloitetaan, kun luvussa 6.2 *Tiedonkeruu* on kerrottu vesikatkon tekemisestä hotellihankkeen puoliväliin eli viidenteen kerrokseen. Tahtituotannon aloitettaessa hotellihankkeen pintalattiat on valettu valmiiksi sekä puuikkunat on asennettu. Tästä edeltävät työvaiheet valikoitiin tahtituotantoon ja työtehtävät sisällytettiin työpaketteihin eli niin sanottuihin tahtivaunuihin ja niiden sisältö on esitetty alapuolella kuvassa 20:

Työpaketit

Työpaketti 1:	VS- runko + 1 puol levytys, levyseinäputkitukset, PEX:it	Työpaketti 20:	Säteilijät
Työpaketti 2:	Levyseinien tuplaus--> samaan aikaan iv haarat	Työpaketti 21:	LVI kalustus
Työpaketti 3:	Tasoitus	Työpaketti 22:	Käytävän tasoitus ja maalaus
Työpaketti 4:	Maalaus	Työpaketti 23:	Käytävän IV-työt
Työpaketti 5:	Laattapohjat ja vesieristys	Työpaketti 24:	Kaapelointi sis. SU, tele, RAU
Työpaketti 6:	Laatoitus	Työpaketti 25:	Nousukaapeloinnit
Työpaketti 7:	Vesijohtorungot	Työpaketti 26:	Ryhmäkeskusten asennus
Työpaketti 8:	Lämmitys ja jäähdytysrungot	Työpaketti 27:	Alakattorungot ja tekniikkalevyt
Työpaketti 9:	IV rungot ja palopellit	Työpaketti 28:	Valaisin asennus ja LVIS kalustus
Työpaketti 10:	Sähkö nousuhyllyt	Työpaketti 29:	Alakattojen sulku
Työpaketti 11:	LVIS huonehaarat	Työpaketti 30:	Varusteet, opasteet, lukitus
Työpaketti 12:	KPH alakattotyöt	Työpaketti 31:	Loppusiivous
Työpaketti 13:	KPH Alakattojen tasoitus ja maalaus		
Työpaketti 14:	Lattiapinnat lattiatasoitus		
Työpaketti 15:	Lattiapinnat mattotyö		
Työpaketti 16:	Väliovien asennus + kaapelien levitys		
Työpaketti 17:	Kalusteasennus		
Työpaketti 18:	Listoitus		
Työpaketti 19:	Sähkökalustus ja pintakaapelointi		

Kuva 20. Sisävalmistusvaiheen työtehtävät sisällytetty työpaketteihin, työpaketit kulkevat tah-
tialueiden läpi järjestyksessä [15.]

Työtehtävien eli tahtituotannossa työpakettien suoritusjärjestykset ovat riippuvaisia toisista työtehtävistä. Jotain työvaihetta ei voida aloittaa, ennen kuin toinen on saatu valmiiksi. Luvussa 2.2 *Ajallisen suunnittelun vaiheet* on kerrottu työtehtävien välisistä riippuvuuksista sekä niiden jakamisesta eri ryhmiin.

Hyvä esimerkki riippuvuuksista hotellihankkeessa on mattotyöt. Mattotöitä ei voida aloittaa, ennen kuin pintalattioiden suhteellinen kosteus on saatu selville. Suhteellinen kosteus mitataan poramittauksella. Mittauksen avulla kosteusprosenttia seurataan, jotta varmistutaan, kuivuuko rakenne suunnitellusti vai tarvitaanko kuivaukseen lisätoimenpiteitä. Pintamateriaalit asettavat erilaisia kosteusraja-arvoja, jonka alapuolelle tulee päästä.

Kuitenkin tahtiaikataulua suunniteltaessa käytettiin Suomen betoniyhdistys ry:n laatimaa kuivumisaika-arvio -ohjelmistoa, joka on suunniteltu kosteudenhallinnan suunnitteluun sekä olosuhdehallinnan ja työmaiden aikataulutuksen ohjaukseen. Ohjelman avulla voitiin tarkastella teoreettisesti pintalattioiden kuivumisaikoja, joiden perusteella kyseinen työvaihe pystytään suunnitella aikatauluun.

Kun kaikki työvaiheet on yhdistetty yhdeksi tahtijunaksi, määritetään tuotannon etenemisnopeus. Esimerkkikohteeseen tahtivaunujen tuotantonopeudeksi valittiin yksi

viikko, jolloin kukin työpaketti saa yhden viikon tahtialueella, jonka jälkeen siirtyy uudelle tahtialueelle. Tällä tavalla koko tuotanto etenee samassa tahdissa, eikä samalla tahtialueella ole muita työryhmiä, näin jokainen työryhmä saa tarvittavan työrauhan.

6.6 Tarkistus ja hyväksyttäminen

Kun tahtituotantoaikataulu on kokonaisuudessaan valmis, aikataulu hyväksytetään yhteisymmärryksessä kaikkien tahtituotannossa olevien avainhenkilöiden kesken. Tahtiaikataulusta tarkistetaan sen toteutettavuuden taso niin, että kaikki osapuolet ovat sitoutuneet noudattamaan laadittua aikataulua. Tätä opinnäytetyötä tehdessä tahtiaikataulua ei oltu saatu hyväksytettyä, koska monia urakoitsijoita ei oltu vielä hankittu kohteeseen. Tahtituotantoaikataulu kuitenkin hyväksytetään, kun aikataulu on suunniteltu valmiiksi sekä hyväksytty kaikkien toimijoiden puolesta.

7 Yhteenveto

Tavoitteena oli luoda Peab Oy:n rakenteilla olevaan hotellihankkeeseen toimiva tahtiaikataulu sisävalmistusvaiheesta. Opinnäytetyön alussa avattiin perinteisiä aikataulutyyppejä sekä perinteisen rakennustuotannon ajallista suunnittelua ja sen eri vaiheita. Seuraavassa vaiheessa perehdyttiin Lean-ajattelumaailmaan ja sen käyttöönottoon rakennustyömailla. Tahtituotannon suunnittelu esimerkkikohteeseen oli laaja prosessi, jossa Lean-teorian tunteminen oli keskeisessä osassa.

Tahtiaikataulun käyttäminen rakentamisessa on yleistynyt vuosi vuodelta. Tahtituotanto tuo monia erilaisia hyötyjä rakennushankkeille. Hyödyt tahtituotannon vaikutuksesta näkyvät lyhyempänä läpimenoaikana, tuotannon laatu ja tasapaino paranevat. Virtaustehokkuus on parempaa, eikä työtä tarvitse odottaa. Tahtituotannon myötä tuotannon vaiheista saadaan poistettua arvoa tuottamatonta hukkaa. Yhteisellä suunnittelulla on mahdollisuus jatkuvaan parantamiseen.

Tahtituotannon laatiminen vaatii huolellista suunnittelua ja se on syytä aloittaa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, kuitenkin niin, että mahdollisimman moni aliurakoitsija pääsee mukaan suunnitteluprosessiin. Esimerkkikohteeseen tahtituotantoa suunniteltaessa huomattiin, että aliurakoitsijoiden puuttuminen suunnitteluvaiheesta toi ylimääräistä työtä, kun jo suunniteltuja vaiheita jouduttiin muokkaamaan uudelleen. Tämän vuoksi on tärkeää, että suunnitteluprosessissa osapuolet on otettu mukaan, niin että jokainen voi tuoda omia kokemusperäisiä tietoja esille.

Isoimpana haasteena mielestäni oli tahtiaikataulun virtauksen suunnittelu. Esimerkkikohteena oleva hotellihanke mahdollisti suunnittelun hyvinkin tarkalle tasolle ja aluksi tahti muodostettiin yhden päivän tasolle. Kuitenkin kun urakoitsijahankinnat muutamien urakoiden osalta oli saatu päätökseen, alettiin yhteistyössä aliurakoitsijan kanssa suunnitella työvaiheita, melkein jokainen urakoitsija halusi tahtiaikataulutasosta laajemman. Tämän johdosta päivätason tahti vaihdettiin viikkotason tahtiin. Tämä tarkoittaa, että yksi työpaketti tulee saada tahtialueella valmiiksi viikossa.

Jatkokehitysehdotuksena tahtiaikataululle on työmaalle laadittava logistiikkasuunnitelma. Tahtiaikataulun kireystason myötä rakennusmateriaalit tulee olla saatavilla juuri

oikeaan aikaan, myös työalueet tulee olla siivottuna ennen seuraavaa työvaihetta. Logistiikkasuunnitelmassa tulisi ilmetä tahtituotannolle tärkeimmät materiaalityömitukset ja niiden haalausreitit. Hyvin laaditun logistiikkasuunnitelman myötä pidempiaikaiset varastoinnit sekä rakennusmateriaalien siirtelyt vähentyvät huomattavasti. Näin jää enemmän aikaa itse rakentamiselle.

Lähteet

- 1 Ratu KI-6031, 2017, Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus
- 2 Ratu KI-6028, 2015, Aikataulukirja 2016
- 3 LCI -Finland ry:n verkkosivusto, mitä on lean rakentaminen, Verkkodokumentti: <http://lci.fi/mita-on-lean-rakentaminen/>, Luettu 18.10.2020
- 4 Lean Six Sigma verkkosivusto, leanin historiaa, Verkkodokumentti: <http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/leanin-historiaa/>, Luettu 18.10.2020
- 5 LCI –Finland ry:n verkkosivusto, lean rakentamisen hyödyt, Verkkodokumentti: <http://lci.fi/lean-rakentamisen-hyodyt/>, Luettu 18.10.2020
- 6 Lauri Koskela, Anssi Koskenvesa, 2003, Last Planner rakennustyömaalla, VTT tiedotteita 2197, Verkkodokumentti: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2003/T2197.pdf>, Luettu 19.10.2020
- 7 LCI –Finland ry:n verkkosivusto, Last Planner –menetelmä tuotannonohjaukseen, Verkkodokumentti: <http://lci.fi/blog/menetelmakortti/last-planner-systeemi/>, Luettu 19.10.2020
- 8 Lauri Koskela, Anssi Koskenvesa, Last Planner – toimiva tuotannonohjaus työmaalla, Verkkodokumentti: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK040502.pdf>, Luettu 15.10.2020
- 9 Mflow Oy:n verkkosivusto, kahdeksan hukkaa, Verkkodokumentti: <https://mflow.fi/kahdeksan-hukkaa/>, Luettu 15.10.2020
- 10 Lauri Merikallio, 2013, Vision Oy, Lean –ajattelua rakennustyömaalla, Verkkodokumentti: <http://lci.fi/wp-content/uploads/2015/05/Lean-ajattelua-rakennus-allalla.pdf>, Luettu 20.10.2020
- 11 LCI –Finland ry:n verkkosivusto, Tahtituotanto uudistaa tuotannonohjauksen, Verkkodokumentti: <http://lci.fi/blog/menetelmakortti/tahtiaikatuoanto/>, Luettu 10.10.2020
- 12 Fira Group Oy, onnistu tahtiajalla, 2019, Verkkodokumentti: <https://www.sitedrive.com/fi/tahtiaika/onnistu-tahtiajalla/>, (rekisteröityminen vaaditaan). Luettu 20.10.2020

- 13 Adam Frandson, Klas Berghede, Iris D Tommelein, 2013, Takt time planning for construction of exterior cladding, Verkkodokumentti: <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-3465d25c-5283-47dd-9d3b-106ed6416d70.pdf>, Luettu 25.10.2020
- 14 Janosch Dlouhy, Marco Binniger, Svenja Oprach, Shervin Haghsheno, 2016: Three –level method of takt planning and takt control – A new approach for designing production system in construction, Verkkodokumentti: <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-4036815b-845d-44e6-81eb-a2fc0bf3d0ca.pdf>, Luettu 26.10.2020
- 15 Rakennushankkeen suunnitelmat, vain tilaajayrityksen käytössä
- 16 Peab Oy:n verkkosivusto, Peab – Pohjoismainen yhteiskuntarakentaja, Verkkodokumentti: <https://peab.fi/peab/>, Luettu 1.11.2020

Liitteet

Liite 1, vain tilaajayrityksen käyttöön.