



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jaakko Kiviranta

Tahtiakataulun soveltuvuus hotellirakennushankkeen sisävalmistusvaiheiden aikataulutuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriyö

3.5.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jaakko Kiviranta Tahtiaikataulun soveltuvuus hotellirakennushankkeen sisävalmistusvaiheiden aikataulutuksessa 73 sivua + 4 liitettä 3.5.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	Rakentamisen projektinhallinta
Ohjaajat	Tuotantojohtaja Marko Saloranta Ammattikorkeakoulun valvoja yliopettaja Mika Lindholm
<p>Tämän opinnäytetyönäytön tarkoituksena oli selvittää tahtiaikataulun soveltuvuus hotellirakennushankkeen sisävalmistusvaiheiden aikataulutuksessa. Aikataulumalli suunniteltiin kehitysvaiheessa olevaan syksyllä 2019 alkavaksi suunniteltuun hotellirakennushankkeeseen Helsingin keskustassa. Insinöörityön tilaajana oli Lehto Tilat Oy.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä teoreettinen tutkimus siitä, mitä etua saavutettaisiin tahtiaikataluttamalla hotellirakennushankkeen sisävalmistusvaiheet verrattuna perinteiseen janaaviiva ja paikka-aikakaavioon pohjautuvaan aikataulutukseen. Opinnäytetyön teoriaosuudessa selvitettiin rakennushankkeen ajallisen suunnittelun perusteita, Lean-filosofian käsitteitä ja siihen liittyen tuottavuuden parantamiseksi kehitettyä tahtituotantoa. Case-osaudessa suunniteltiin tahtiaikataulu hotellirakennushankkeen sisävalmistusvaiheista mallikohteeseen. Lisäksi selvitettiin asiantuntijoilta tahtiaikataulun käyttöönottoon liittyviä ongelmakohtia. Tavoitteena oli tuottaa opas tahtiaikataulun tekemiseen vastaavanlaisiin kohteisiin.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin selville, että rytmittämällä perinteisen tuotannon rakennushankkeen sisävalmistusvaiheita tahtiaikatuoantoon, saatiin case-rakennushankkeessa sisävalmistusvaiheiden normaalikestoa lyhennettyä noin 25% verrattuna perinteisiin (paikka-aikakaavio ja jana-aikataulu) aikataulumenetelmiin. Selväksi tuli myös se, että kustannusäästöjä ei välttämättä tule samassa suhteessa kuin aikataulusäästöjä, sillä tahtituotannossa yritys joutuu lisäämään työnjohtoon resursseja tahtituotannon alkuvaiheiden ongelmien takia. Työn tuloksena havaittiin, että laatupoikkeamien havaitseminen ja korjaus tapahtuu tahtiaikataulun siirtymävaiheissa päivittäisjohtamisen ansiosta huomattavasti nopeammin, kuin perinteisessä tuotannonohjauksessa. Lisäksi tuloksena saatiin myös valmis tahtiaikataulupohja sekä opas tahtiaikataulun tekemiseen tulevia hankkeita varten. Nämä jäävät työn tilaajan käyttöön ja eivät sisälly kirjalliseen raporttiin.</p> <p>Opinnäytetyö avasi tahtituotannon perusteita yrityksen tuotannonohjauksen näkökulmasta ja työn tuloksia voidaan hyödyntää jatkossa tulevien rakennushankkeiden aikataulusuunnittelussa.</p>	
Avainsanat	Tahtiaikataulu, Lean-filosofia, Sisävalmistusvaiheiden aikataulutus

Author Title Number of Pages Date	Jaakko Kiviranta The takt time planning for scheduling the indoor manufacturing stages of a hotel building project 73 pages + 4 appendices 3 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	<u>Civil</u> Engineering programme
Professional Major	Project Management of Construction
Instructors	Marko Saloranta, Production Manager Mika Lindholm, Principal Lecturer
<p>The aim of this thesis was to find out the suitability of the takt time planning for scheduling the indoor construction stages of a hotel building project. The schedule model was applied for a hotel building project starting in autumn 2019 in Helsinki. This thesis is commissioned by and in collaboration with Lehto Tilat Oy.</p> <p>The aim of this thesis was to determine the advantage of the takt time planning method in the internal construction steps of a hotel building project compared to the traditional line of balance method, and location-based scheduling method. The theory part of the thesis introduces a literary study on Lean construction and a timetable schedule. In the case part of the thesis, a takt time planning for scheduling the indoor manufacturing stages of a hotel building project was designed. In the third part of the thesis, a Lean Building Specialist was interviewed about possible problem areas in the implementation of the schedule.</p> <p>The thesis concluded that the time used in the internal construction of the case-hotel building was reduced by 25% using the takt time planning (compared to the traditional scheduling methods) in this design. It also became clear that cost savings do not necessarily come in the same proportion as the timetable savings, because in the pace of production, the company has to increase resources for work management due to initial problems. As a result of the thesis, a design for the internal construction steps of the hotel building project was made and offered to the company. As a result of the thesis, it was found that the detection and correction of quality errors take place significantly faster in the takt planning transitional phases and due to daily management compared to traditional management. The thesis also produced a ready-to-use timetable and a guide for making a takt time planning schedule for future projects (not included in the written report).</p> <p>The thesis expanded the knowledge of the basis for construction using takt time planning from the perspective of the company's fabrication direction and the results of the thesis can be utilized in the planning of future construction projects.</p>	
Keywords	Takt time, Lean Construction

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen tausta	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja metodit	2
2	Rakennustuotannon perinteinen ajallinen suunnittelu	5
2.1	Ajallisen suunnittelun tasot	5
2.2	Aikataulusuunnittelun vaiheet	7
2.2.1	Rakennushankkeen kokonaiskesto ja kireyden tarkistaminen	8
2.2.2	Kohteen osittelu	10
2.2.3	Tuotannon jakaminen tehtäviin	12
2.2.4	Tehtävien mitoitus	12
2.2.5	Työjärjestyksen määrittäminen	16
2.2.6	Tehtävien tahdistus ja rytmitys	17
2.2.7	Aikataulun laadinta ja toteutuskelpoisuus	18
2.2.8	Aikataulun valvonta	20
3	Lean-tuotannonohjausmenetelmä	23
3.1	Toyota Production System TPS	23
3.2	Lean-filosofia	25
3.2.1	Lean-historiaa	25
3.2.2	Virtaus-, resurssitehokkuus ja vaihtelu	26
3.3	Lean-rakentamisen synty	31
3.4	TFV-teoria ja LPDS	31
3.5	Last Planner	33
4	Tahtiaikataulu	36
4.1	Tahtiaika-käsite	36
4.2	Virtaus rakentamisen työsuunnittelussa	36
4.3	Tahtiaikataulusuunnittelu	39
4.3.1	Tahtiaikataulusuunnittelun vaiheet	39
4.3.2	Tahtisuunnittelun tasot	40
4.3.3	Tahtisuunnittelun edut	42
4.4	Tahtiaikataulu ja Last Planner	43
4.5	Tahtiaikataulu vs. vinoviiva-aikataulu	43

5	Asiantuntijahaastattelut	45
5.1	Olli Seppäsen haastattelun analyysi	45
5.2	Thomas Åkermarckin haastattelun analyysi	47
5.3	Yhteenveto haastatteluista	48
6	Aikataulun laadinta esimerkikohteeseen	50
6.1	Hotellirakennushankkeen yleisesittely	50
6.2	Lähtötietoina toimivat aikataulut	51
6.3	Tahtiaikataulun laatiminen sisävalmistusvaiheista	52
6.4	Johtopäätökset esimerkikohteen aikataulusta ja kehitysehdotukset	63
7	Opas tahtiaikataulun tekemiseen	66
8	Yhteenveto	68
	Lähteet	71
	Liitteet	
	Liite 1. Rakennushankkeen aikataulut	
	Liite 2. Kohteen osittelu, tahtiaikataulutettavat osakohteet B ja C	
	Liite 3. Tahtiaikataulu	
	Liite 4. Tahtiaikataulun suunnitteluopas (Liite vain työn tilaajan käyttöön)	

Lyhenteet

JIDOKA Ihmisavusteinen automaatio.

JIT Just-In-Time-tuotantojärjestelmä, joka tuottaa ja toimittaa vain tarpeelliset asiat, juuri silloin kun ne tarvitaan ja vain tarvittavan määrän.

LAST PLANNER

The Last Planner System on Lean Construction Instituten kehittämä tuotannonohjauksen menetelmä. Menetelmässä toteutetaan rullaavasti valmistettavaa viikkosuunnitelmaa. Suunnittelussa varmistetaan, että jokaisen tehtävän käynnistyessä kaikki sen edellytykset ovat olemassa sen häiriöttömään ja aikataulun mukaiseen toteuttamiseen. Menetelmässä seurataan viikkosuunnitelman toteutumista ja selvitetään syyt poikkeamiin.

LEAN Lean on johtamisfilosofia, joka perustuu jatkuvan kehittämisen ja ihmisten kunnioittamisen perusperiaatteisiin. Lean Keskittyy arvon tuottamiseen asiakkaalle sekä tuotannon virheiden ja hukan vähentämiseen ottamalla kaikki osapuolet mukaan jatkuvaan parantamiseen.

LEAN CONSTRUCTION

Lean Construction on Lean-ajatteluun perustuva uudistettu näkemys projektituotannosta, jonka tavoitteena on luoda ennustettavaa työnkulkua eliminoimalla tilanteet, joissa työ odottaa työntekijöitä tai työntekijät odottavat työtä.

TAHTIAIKA Vakiokestoinen ajanjakso, jota jokainen tahtituotannon työpaketti noudattaa.

TAHTIALUE Jakaa tahtituotannossa rakennuskohteen toistuvuutta sisältäviin ja vakioitua tahtiaikaa noudattaviin fyysisiin osakokonaisuuksiin.

TAHTITUOTANTO

Tasaisesti etenevä tuotantomalli, jossa rakennuskohde on jaettu tahtialueisiin, tehtävät työpaketteihin ja tuotanto noudattaa tahtiainaa.

WIP *Work in Process* rakentamisessa tarkoittaa kaikkia keskeneräisen työn varastoja, jotka joko odottavat valmistumista, ovat valmistumassa työn alla tai ovat jo valmiina.

1 Johdanto

Rakentamisen tuottavuuden kehitys on jo pitkän aikaa ollut heikkoa. Tuottavuuden kehitys kansainvälisesti mitattuna viimeisinä vuosikymmeninä on ollut vain noin prosentin luokkaa. Selvityksistä riippuen jopa 60-70 prosenttia työmaalla käytetystä ajasta kuluu odotteluun, epäselvien asioiden ratkaisuun ja materiaalien siirtelyyn. [1.]

Aikataulusuunnittelulla on suuri merkitys rakennushankkeen onnistumiselle. Riskienhallinnassa keskeisintä on toteuttamiskelpoiset, tavoitteelliset ja ohjauksen mahdollistavat aikataulut. Nykyrakentaminen on palasteltua ja monimutkaista, pieniin osakokonaisuuksiin jaettua toteuttamista. Tuottavuuden parantamiseksi Suomessa on alettu kehittää viime aikoina rakennustuotannon tahtituotantomallia. Tässä opinnäytetyössä selvitetään Lean-filosofiasta peräisin olevan tahtiaikataulun soveltuvuutta hotellirakennushankkeen sisävalmistusvaiheen aikataulutuksessa.

1.1 Tutkimuksen tausta

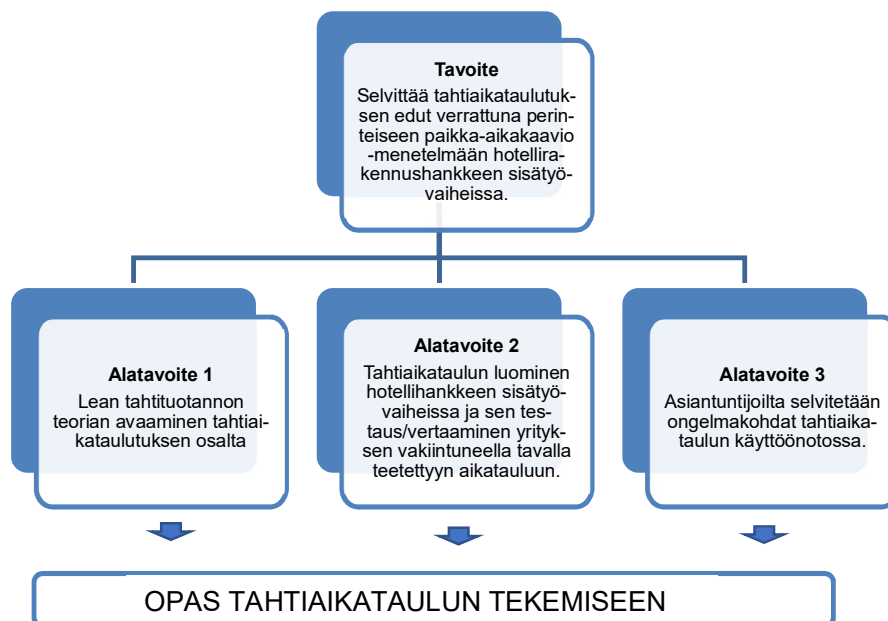
Toimeksiantajayritys Lehto Tilat Oy kuuluu Lehto Group Oyj konserniin. Yhtiön juuret ulottuvat reilun 20 vuoden päähän Pohjanmaalle ja tällä hetkellä yhtiö työllistää 1552 henkilöä ja liikevaihto on 721,5 miljoonaa (2018). Lehto Tilat rakentaa liike- ja toimitiloja, kauppakeskuksia, logistiikka- ja varastotiloja, tuotantotiloja, liikunta-areenoita ja jäähalleja sekä hotelleja. Toimitila palvelualueen liikevaihto on noin 30% konsernin liikevaihdosta. [2.]

Opinnäytetyön aihe sai alkunsa opinnäytetyön ohjaajan, insinööriyön tilaajayrityksen Lehto Tilat Oy:n tuotantojohtaja Marko Salorannan ehdotuksesta. Lisäksi työn aikana osallistui opinnäytetyön ohjaamisryhmän jäsenet kehityspäällikkö Liisa Jaatinen ja projektipäällikkö Jukka Rannisto. Yrityksellä on useita rakennushankkeita suunnittelupöydällä ja yrityksen yhtenä strategisena tavoitteena on pyrkiä kehittämään suunnittelua ja rakennustuotantoa siten, että mahdollisimman iso osa konsernin tuotannosta perustuu vakioituihin ratkaisuihin ja toimintatavat ovat vakioituja. Lehto Tilat suunnittelee rakennuskohteet asiakkaan tarpeisiin hyödyntäen Lehdon kehittämiä ja hyväksi havaitsemia rakenne- ja tilaratkaisuja sekä Lehdon omia teollisia esivalmisteita. [2.]

Rakennusalan innovatiivisena uudistajana ja kehittäjänä Lehto on kiinnostunut selvittämään tahtituotannosta saatavia etuja. Lean filosofian keskeisimmät tavoitteet ovat virtauksen parantaminen ja lisäarvoa tuottamattoman tarpeettoman tuhlauksen eli hukkan poistaminen tuotannosta. [11, s. 124.] Tyypillisesti rakentamisen työvaiheiden aikataulut tehdään jana-aikatauluina ja paikka-aikakaavioina, jossa työvaiheiden eteneminen tasautetaan suhteessa toisiinsa. Sen ongelmana työsuunnittelussa ovat erilaiset puskuriajat ja häiriöt rakennustuotannossa. [32.]

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja metodit

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä teoreettinen tarkastelu, saadaanko tahtiaikatauluksellalla etua verrattuna perinteiseen aikataulutukseen (esim. paikka-aikakaavio, jana-aikataulu) hotellirakennushankkeen sisävalmistusvaiheissa. Tahtiaikatauluteoria selvitetään käyttämällä monipuolisesti saatavilla olevaa tutkimusaineistoa ja lähdekirjallisuutta: Lean-kirjallisuutta, väitöskirjoja, diplomitöitä ja internetlähteitä aiheesta sekä haastatteluista saatavaa aineistoa. Tavoitteet on jaoteltu päätavoitteeseen ja alatavoitteisiin (Kuva 1).



Kuva 1. Opinnäytetyön tavoitteet.

Tutkimuksen päätavoitteena on selvittää Lean-filosofiassa käytetyn tahtiaikataulun mahdollisuuksia tuottavuuden parantamiseksi Lehdon hotellirakennushankkeen sisävalmistusvaiheissa. Tuottavuutta mitataan yrityksen oman tuotannon näkökulmasta. Tahtiaikataulutuksella pyritään asiakasarvon maksimointiin parantamalla jatkuvasti prosessien virtaustehokkuutta ja lyhentämään merkittävästi rakentamisaikaa mitoittamalla työvaiheet saman pituisiksi ja suunnittelemaan ne välittömästi toisiaan seuraaviksi. Hypotesina on, että rakentamisaika lyhenee, jolloin säästetään aikaa ja kustannuksia. [29.]

Alatavoitteet voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen, jotka ovat teoriavaihe, tapaustutkimusvaihe ja asiantuntijahaastattelut. Lisäksi ensimmäisen vaiheen eli teoriaosuuden voidaan katsoa jakaantuvan kahteen osuuteen. Ensimmäisessä osuudessa selvitetään rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja tyypillisimmät rakennushankkeen vaiheaikataulut. Toinen teoriaosuus käsittelee Lean-filosofiaa ja siitä lähtöisin olevaa tahtituotantoa ja tahtiaikataulua.

Toisena vaiheena opinnäytetyössä luodaan tahtiaikataulu mallikohteeseen hotellirakennushankkeen sisävalmistusvaiheista ja verrataan sitä yleisimmin käytössä oleviin jana- ja vinoviiva (paikka-aikakaavio) aikatauluihin. Vertailun tuloksia pohditaan ja testataan työpöydällä, sekä pyritään havaitsemaan tarvittavat muutokset työmaatoiminnossa aikataulutusten välillä.

Viimeisessä vaiheessa opinnäytetyötä haastatellaan Aalto-yliopiston rakentamisen tuotantotalouden professoria Olli Seppästä. Haastattelussa selvitetään tahtituotannon pilotointiin liittyvät ongelmakohdat ja tarvittavat panokset lähteä toteuttamaan työmaita tahtiaikataulun avulla. Lisäksi haastatellaan Lehdon asuntorakentamisen työmaapäällikköä Thomas Åkermarckia, jolta selvitetään yleisesti Lean-filosofian nykytilaa Lehdolla ja sisävalmistusvaiheiden tuotantoon liittyviä erityispiirteitä.

Opinnäytetyössä on tutkiva ja kehittävä ote, joka sisältää runsaasti selvityksen tekemistä ja selvitys on yksi tiedonhankinnan apuväline. Lopputulemana saadaan tehtyä teoreettinen tarkastelu, mitä etua saavutettaisiin tahtiaikataulutamalla case -kohteena olevan hotellirakennushankkeen sisävalmistusvaiheet. Lisäksi suunnittelussa huomioidaan asiantuntijoiden antamat lausunnot ja tuotetaan asiantuntijalausuntojen ja teoriaselvityksen pohjalta yrityksen käyttöön opas tahtiaikataulun tekemiseen.

Case -tutkimuksessa aikataulun tekemiseen käytetään lähtötietoina yrityksen tietoja kohteesta, kuten hankeselvitystä, toimitussisältöä ja hankintarajoja, alustavaa rakennustapaselostusta, sähköjärjestelmä- ja LVIAJ-kuvausta sekä arkkitehti- ja rakennesuunnitteluluonnoksia. Työvaiheiden kestoja arvioidaan RATU-menekeillä sekä asiantuntijahaastatteluista saatujen kokemukseen perustuvien tietojen pohjalta.

Case -tutkimus rajataan suunnitteilla olevan hotellirakennushankkeen pääsisätyövaiheisiin: lattian pintaplaanovalut, kevyet väliseinäasennukset ja alakatot, tasoitus- ja maalaustyöt, pintalattiat, varusteet ja kiinteät kalusteet, oviaennukset sisältäen heloitukset ja lukitukset, listoitukset, käyttäjän kalustus, palokatkoasennukset sekä alkusammutuskaluston asennukset. Kohteessa käytetään kylpyhuone-elementtejä, joka vähentää merkittävästi paikallarakentamista. Kylpyhuonemoduuliin on asennettu esivalmisteena vesieritykset, laatoitustyöt ja WC-kalustukset, ryhmäkeskusten asennukset, IV-putkitukset ja lämmityskonvektorin asennus, jotka normaalisti jouduttaisiin aikatauluttamaan ja rakentamaan.

2 Rakennustuotannon perinteinen ajallinen suunnittelu

Rakennustuotannon nykytila tuotannonohjauksen osalta juontaa juurensa 1990-luvulle, jolloin luotiin vieläkin käytössä olevat menetelmät aikataulusuunnitteluun, tehtävänohjaukseen ja laadunvarmistukseen. Matkan varrella on rinnalle kerääntynyt lukuisia aikatauluohjelmien ja dokumentoinnin hallintajärjestelmiä. [3.]

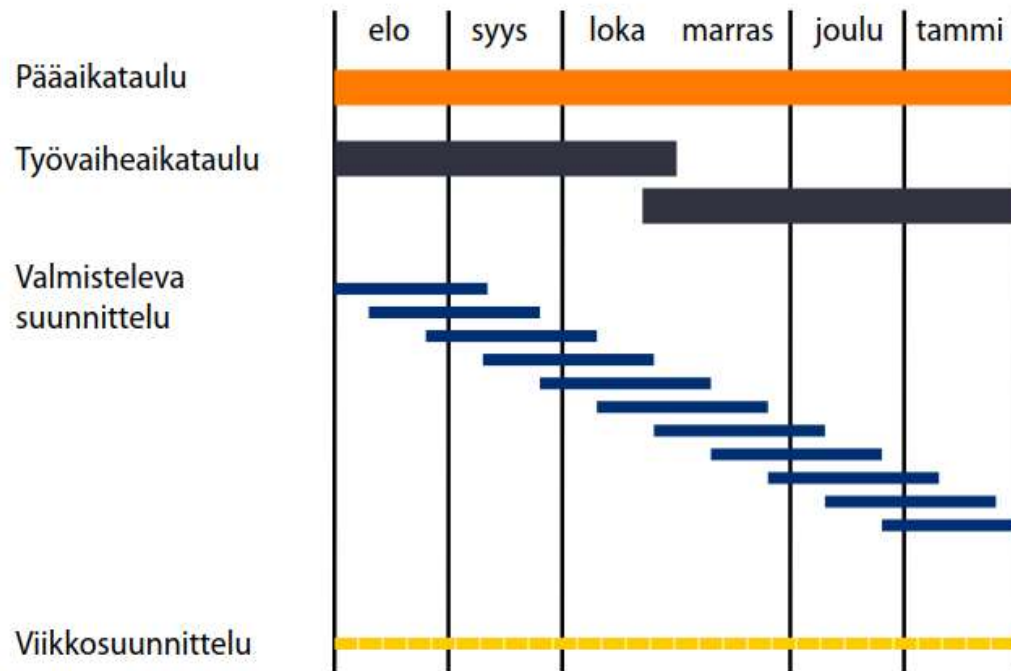
2.1 Ajallisen suunnittelun tasot

Rakennushankkeessa on useita eri vaiheita, joiden hallinta vaatii projektinjohdon taitavaa osaamista hankkeen tavoitteiden ja vaatimusten saavuttamiseksi. Kaikki hankkeet ovat erilaisia, joten kohteen ominaisuuksien huomioiminen on yhtä tärkeää kuin tarvittavat resurssit tai olosuhteiden muutokset. [5, s. 62.]

Ajansuunnittelun tarkkuustaso kasvaa hankkeen edetessä. Tyypillisimmät suunnittelu- vaiheet ja aikataulusuunnitelmat rakennushankkeessa ovat [6, s. 39.]:

- Alustava suunnittelu → Alustava yleisaikataulu
- Yleissuunnittelu → Yleisaikataulu
- Vaihesuunnittelu → Rakentamisvaihe aikataulu
- Tehtäväsuunnittelu → Tehtävä aikataulu
- Viikkosuunnittelu → Viikko aikataulu

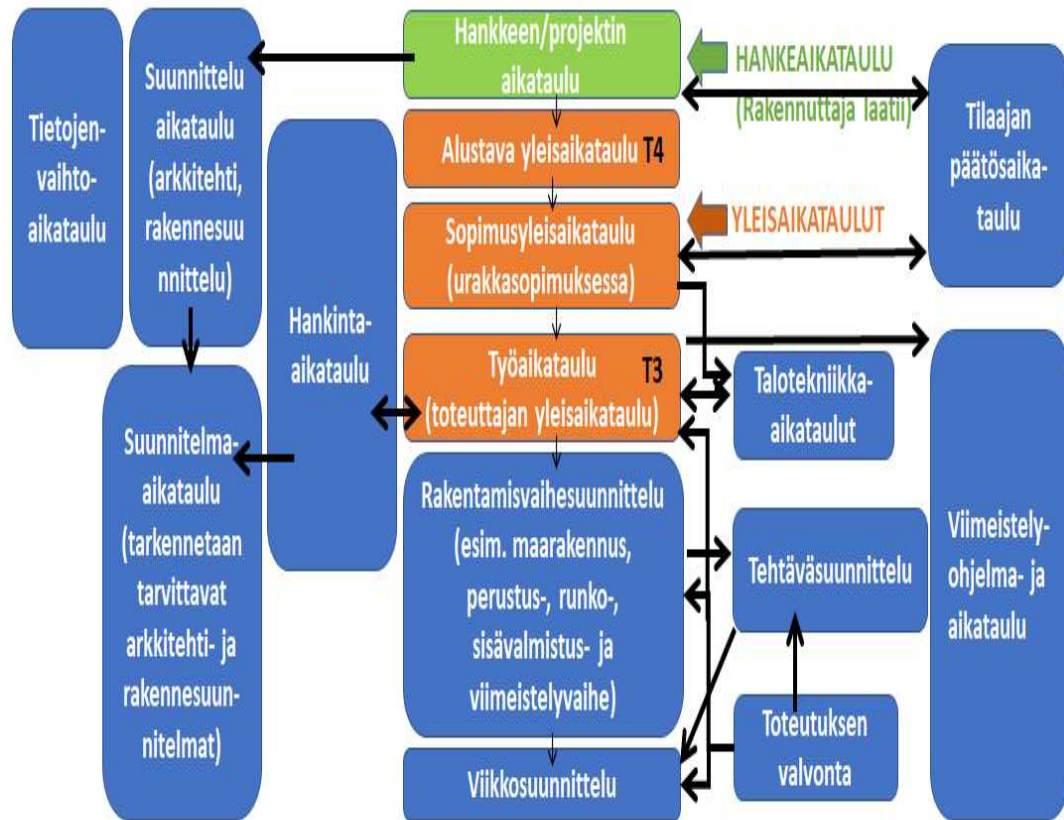
Aikatauluja tehdään monen eri tasoisia, jotka suunnitellaan eri mittaisiksi riippuen aikataulutettavasta rakennusvaiheesta tai tehtävästä (Kuva 2).



Kuva 2. Suunnittelun aikajänteet. [6, s.40.]

Aikataulujen merkittävyyttä ei voi vähätellä. Niillä lyödään lukkoon mm. hankkeen kustannuksia, laadunvarmistustoimia, sopimusteknisiä asioita sekä tarvittavia resursseja läpi rakennushankkeen. Suunnitteluprosessissa kannattaa hyödyntää Ratu-kortistoa, joka on talonrakennusteollisuuden ja Rakennustietosäätiön (RTS) julkaisema suomalaisen rakentamisen tuotannosuunnittelun palvelu. Siellä on esitetty yhteisiä menetelmiä kaikenlaiseen rakentamiseen liittyen. [5, s. 62.]

Aikataulut tarkentuvat hankkeen aikana asteittain tiettyihin ajankohtiin sidottuihin osatavoitteisiin ja määrätyn kestosiin tehtäviin (Kuva 3). [5, s. 40.] Rakennushankkeen tyypilliset aikataulut ja niiden ominaispiirteet on esitetty liitteessä 1.



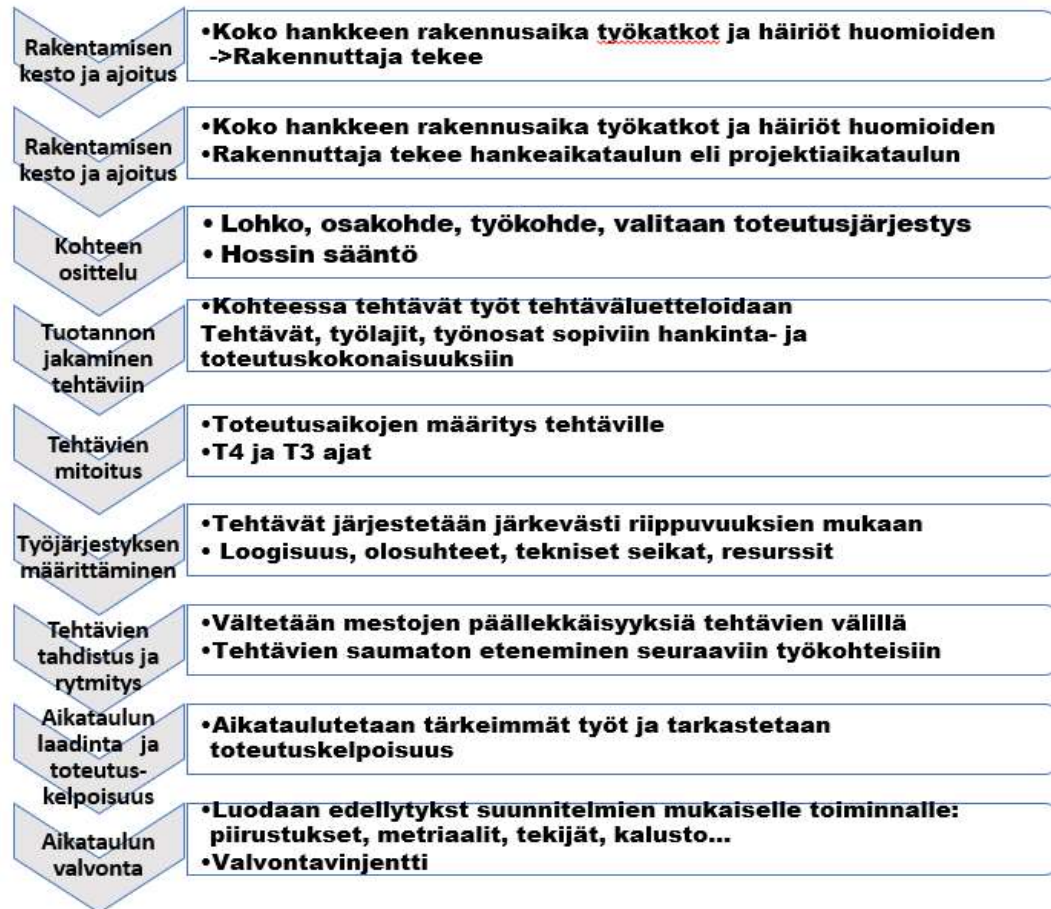
Kuva 3. Rakennushankkeen aikataulusuunnittelun kulkukaavio. (Muokattu lähdetiedoista). [6, s.38.]

2.2 Aikataulusuunnittelun vaiheet

Aikataulut ohjaavat ja valvovat tuotantoa. Keskeistä aikataulujen tekemisessä on kerätä kaikki mahdollinen tieto hankkeesta ja tarkentaa ajallista suunnittelua hankkeen edessä tarkentuvien tietojen mukaan. [5, s.62.] Aikataulusuunnittelun vaiheiden merkitykseen ja niiden keskinäiseen järjestykseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm: [4, s.19.]

- hankkeen laajuus
- tekninen vaikeustaso
- kokonaiskeston kireys
- aliorakointiaste ja työvoiman käyttöperiaate.

Ajallisen suunnittelun menetelmät ovat yhteiset rakennettavasta kohteesta riippumatta. Suunnitteluprosessin vaiheisiin Ratu tarjoaa useita menettelytapoja (Kuva 4). [5, s. 62.]



Kuva 4. Tyypilliset ajansuunnittelun vaiheet ja menettelytavat. (Muokattu lähdetiedoista). [5, s.62.]

2.2.1 Rakennushankkeen kokonaiskesto ja kireyden tarkistaminen

Rakennuttajan yksi tärkeimmistä tehtävistä on rakennushankkeen rakentamisajan määrittäminen. Tehtävät mitoitetaan aikataulukäsitteisiin perustuvilla Ratumenetelmillä. Yleisaikataulua laadittaessa kokonaisaika T4 kuvaa työn tekemiseen käytettyä kokonaisaika, kun siihen lasketaan mukaan yli tunnin mittaiset häiriöt. T3 työmenekkiä käytetään rakentamisvaihe aikataulun, viikkoaikataulun sekä tehtäväsuunnitelmien tehtävien mitoituslaskemisessa. [4, s. 8.] Työmenekit käsitellään tarkemmin luvussa 2.2.4 tehtävien mitoitus.

Rakentamisvaiheen aikataulu jakaantuu maarakennus- ja perustus-, runko-, sekä sisävalmistusvaiheisiin. Niiden suhteelliset kestot ovat tyypillisesti 20%, 30% ja 50% rakennusajasta (Kuva 5).



Kuva 5. Rakentamisvaiheiden karkeutetut kestot kokonaisrakentamisajasta. (Muokattu lähdetiedoista). [10.]

Aikataulun kireyden tarkistaminen

Realistinen ja luotettava aikataulu on perusedellytys tuottavalle toiminnalle. Kun työt mitoitetaan oikein, saadaan ymmärrys miten työt sopivat annettuun rakennusaikaan. [2, s. 25.] Aikataulun luotettavuus varmistetaan tekemällä resurssipohjainen aikataulu, joka perustuu määriin, työmenekkeihin, työryhmiin ja tehtävien välisiin riippuvuuksiin. Kokonaistuntimäärien määrittämisen apuna voidaan käyttää hankkeen tavoitearviota, työmenekkien tunnuslukua tai talonrakennuksen ajoituskustannusmallia. Huomioitavia asioita ovat mm. lomat, arkipyhät, sääolosuhteet sekä mahdolliset tuotannon häiriöt. [5, s. 65.]

Hankkeen normaalikesto eli fyysinen rakennusaika T_N kuukausissa lasketaan isoissa kohteissa (yli 10 000 tth) kaavalla:

$$T_N = 4,6 * \ln(\text{hankkeen kokonaistuntimäärä}) - 35,0.$$

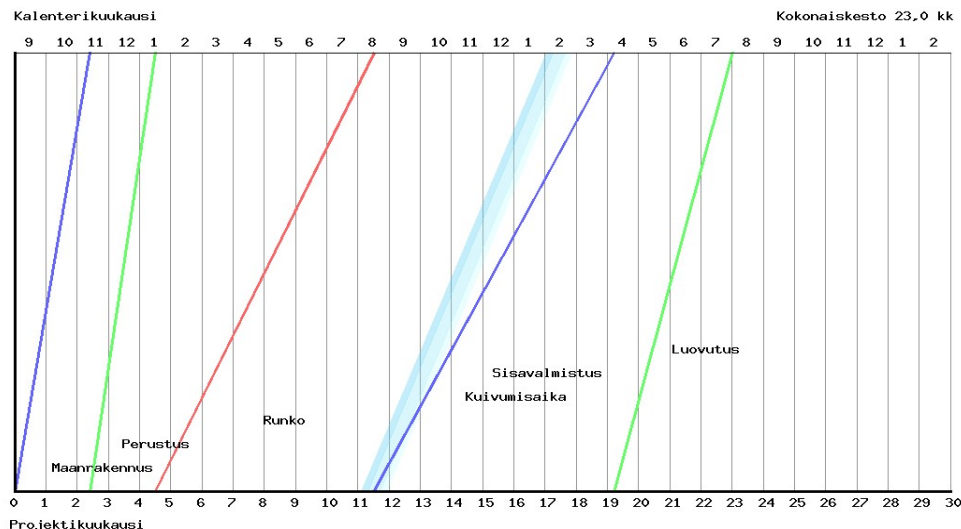
Pienien kohteiden normaalikesto (alle 10 000 tth) lasketaan kaavalla:

$$T_N = 1,8 * \ln(\text{hankkeen kokonaistuntimäärä}) - 9,3. [5, s. 66.]$$

Jos aikataulu on yli 20% lyhempi kuin kohteen laskettu normaalikesto, on aikataulu kireä ja aiheuttaa lisäkustannuksia. [5, s. 68.]

Ratu tarjoaa hankkeiden keston laskentaan Talonrakentamisen ajoitusmalli -ohjelman (rahoittajina Talonrakennusteollisuus ry, Rakli ry ja Rakennustietosäätiö RTS), jolla voidaan määrittää rakennusajan normaalikesto kuukauden tarkkuudella ja eri rakennusvaiheiden normaalikestot. [5, s. 66.]

Kuvasta (Kuva 6) voidaan nähdä rakennushankkeen kesto laskettuna kerrostalokohteelle, jossa on lisäksi lähtötietona laajuus 5 000 bm^2 ja paikallavalettu runko. Kohteen kokonaistuntimääräksi ohjelma on laskenut 50 550 tth. [7.]



Kuva 6. Rakennushankkeen kokonaiskesto -malli. (Laskettu Ratun ajoitusmalli 3.0 ohjelmalla). [7.]

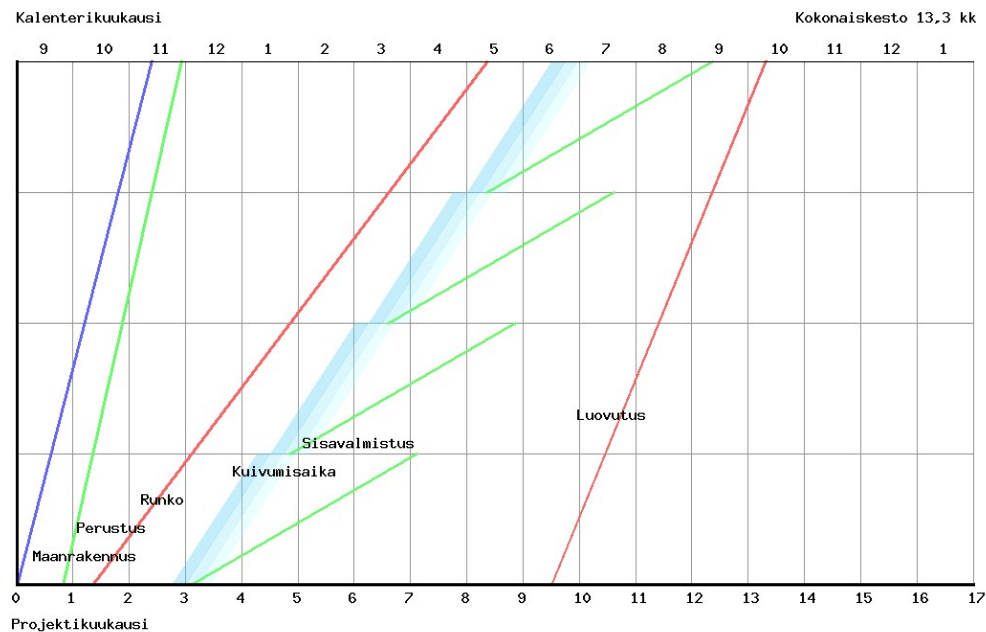
Talvirakentaminen aiheuttaa huomattavasti kokonaistyömenekin kasvua. Lisätyötä aiheuttavat heikommat valaistus- ja sääolosuhteet, lumi ja jää, talvibetonoinnin aiheuttamat suojaus- ja lämmitystyöt sekä monet muut työnaikaiset asennukset (saattolämmitykset vesijohtoihin työmaalla jne.). [5, s. 70.]

2.2.2 Kohteen osittelu

Rakennuskohde on tuotannosuunnittelun ja aikataulusuunnittelun kannalta helpompi ja nopeampi toteuttaa, kun kohde alueellisesti pienempiin kokonaisuuksiin, kuten lohkoihin tai osakohteisiin. Lohko on erillinen rakennus tai rakennuksen osa, jossa työt tehdään yhtenä kokonaisuutena. Osa- tai työkohteessa työtä tehdään ainoastaan yhtä kriittistä tehtävää kerrallaan. [5, s. 71.]

Lohkojakoina käytetään esimerkiksi moduulilinjoihin tai liikunta- ja työsaumoihin. Lohkot voidaan rajata myös tuotantotekniikaltaan, suunnitteluratkaisuiltaan, sijainniltaan tai kerrosluvultaan erottavien kohteen osien perusteella. Lohko käsittää kaikki kerrokset alhaalta ylös, kellarista ylimpään kerrokseen. Suunnittelu- ja toteutus tehdään kullekin lohkolle itsenäisesti. Lohkon koko on yleensä noin 3000-5000 brm³. Pienissä rakennuskohteissa ja haastavammassa monikerroksisissa taloissa lohkojako voi olla tätä pienempikin. [4, s. 24.]

Lohkojaon hyödyt käyvät ilmi siinä, kun runko saadaan yhdessä osakohteessa valmiiksi, voidaan aloittaa sisävalmistustyöt aikaisemmin kuin jos rakennettaisiin koko runko kerralla valmiiksi. Näin voidaan lyhentää rakentamisaikaa ja pidentää eri tehtävien välistä aloitusvälejä, jolloin aikataulun häiriöherkkyys vähenee [4, s. 24]. Lohkoja tulee olla vähintään yksi ja silloinkin on pystyttävä perustelevaan, miksi on tuotannollisesti viisasta rakentaa yhdellä loholla [5, s. 76]. Neljään lohkoon pilkottu kuvan 6 kerrostalohanke lyhentää rakentamisaikaa lähes 10 kuukaudella (Kuva 7).



Kuva 7. Rakennushankkeen kokonaiskesto -malli osakohteisiin jaettuna. (Muokattu Ratun ajoitusmalli 3.0 ohjelmalla). [7.]

Lohkojen rakentamisjärjestyksessä pyritään noudattamaan Hossin sääntöä: [5, s. 74-75.]

Hossin sääntö

- *Ensimmäiseksi lohkoksi valitaan se, jonka perustus- ja runkovaihe on lyhin*
- *Viimeiseksi lohkoksi valitaan se, jonka sisävalmistusvaihe on jäljellä olevista lyhyin.*
- *Jos perustus- ja runkovaihe sekä sisävalmistusvaihe on lyhyin samassa lohossa, niin toteutusjärjestys määräytyy perustus- ja runkovaiheen perusteella.*

Hossin laajennettu sääntö

- *Ensimmäiseksi lohkoksi valitaan se, jonka sisävalmistusvaiheen tuntimäärän suhde perustus- ja runkovaiheen tuntimäärään on suurin.*
- *Viimeiseksi lohkoksi valitaan se, jossa suhde on pienin.*

2.2.3 Tuotannon jakaminen tehtäviin

Rakennustuotannon töitä ja toimintoja kutsutaan tehtäviksi. Tehtävä on työkokonaisuus työlajista tai useammasta työlajista tai niiden osista. Esimerkki työlajista on mm. betonointi, raudoitus ja elementtityö. Työnosa on jonkin työlajin työnosia, kuten muottityössä ne voivat olla mittaus, muottien pystytys sekä niiden purku ja puhdistus. Lisäksi varsinaisten tehtävien suoritusten ohessa tehdään täydentäviä suorituksia, kuten aloittavia, lopettavia ja ylläpitäviä suorituksia. Esimerkiksi kaikki esivalmistelut, materiaalien siirrot ja suojaukset kuuluvat täydentäviin suorituksiin. [5, s. 76.]

Suunnitellut rakentamisvaiheiden työt eritellään yksityiskohtaiseksi tehtävälueksi. Siinä on kerättyä kaikki merkittävimmät tehtävät mitä työmaalla tehdään. Suoritemäärät lasketaan määräluetteloista lohko-kohtaisesti tai ne lasketaan erikseen. Määräluettelot ovat tarpeen vielä hankintoja tehdessä sekä tuotantoa valvottaessa. Taloteknisistä järjestelmistä, kuten lämpö-, vesi-, viemäri-, ilmanvaihto-, sprinkler- sekä sähkö- ja automaatiotöiden tehtävistä on oltava oma tehtävälue, jotka sijoitetaan yhdessä pää- ja alaurakoitsijoiden kesken aikatauluihin. [5, s. 76.]

2.2.4 Tehtävien mitoitus

Jotta aikataulusta tulisi mahdollisimman realistinen, on kaikki tehtävien toteutusajat määriteltävä hyvissä ajoin ennen rakentamisen aloitusta. Työmenekkiin vaikuttavat kohteen laajuus, rakennusosat, olosuhteet ja menetelmät. Tehtävien kestot lasketaan kertomalla suoritemäärät joko tahdistavan työryhmän työmenekkitiedoilla tai jakamalla suoritemäärät tahdistavan työryhmän työsaavutustiedoilla. Seuraavat kaavat helpottavat laskentaa: [5, s. 78]

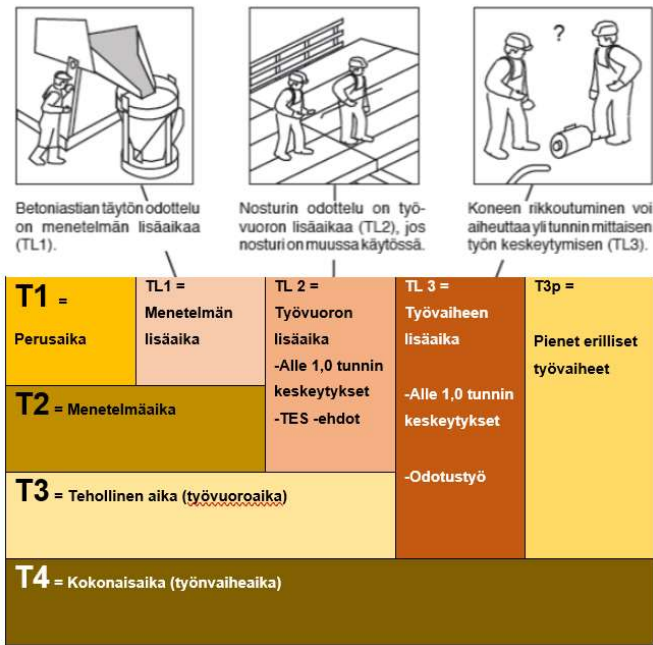
Tarvittava työryhmä =	$\frac{\text{suoritemäärä} \times \text{työmenekki}}{\text{kesto}}$
Tehtävän kesto =	$\frac{\text{työryhmäsuoritemäärä} \times \text{työmenekki}}{\text{työryhmä}}$
Tavoite työsaavutus =	$\frac{\text{suoritemäärä}}{\text{kesto}}$
Ratu-työsaavutus =	$\frac{\text{työryhmä}}{\text{työmenekki}}$

Kokonaisaika T4 käsittää kaikki työhön käytetyt työtunnit sisältäen yli tunnin mittaiset työn keskeytykset. T4-aikaa käytetään kuvaamaan hankkeen kustannuksia ja alustavan yleisaikataulun tekemiseen. [5, s. 63.]

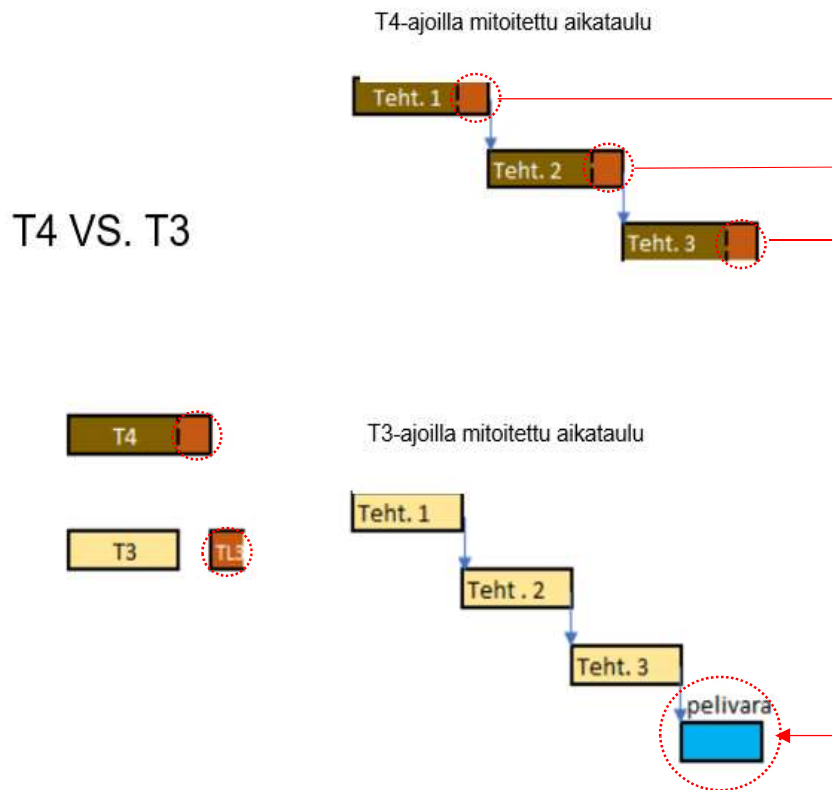
Työvaiheen lisäaikakerroin TL3 käsittää yli tunnin mittaiset odotukset, jotka voivat johtua koneiden rikkoontumisista, työtaturmista, olosuhteista tms. Käytettäessä TL3 kerrointa muutetaan työvuoroaika T3-aika työnvaiheajaksi. [5, s. 63.]

Työvuoroaika T3 käsittää työn tehollisen ajan, joka kuluu työn tekemiseen. T3-aika ei sisällä häiriöitä, työnseisauksia tai odottelua. Sitä käytetään rakentamisvaihe aikataulun tekemisessä sekä viikkoaikataulutuksessa ja tehtäväsuunnitelmien laatimisessa. [5, s. 63.]

Aikataulukäsitteitä voi hahmottaa aikataulukäsitekuvasta (Kuva 8) ja T4 ja T3 aikaverailukuvasta (Kuva 9).



Kuva 8. Aikataulukäsitteet. (Muokattu lähdetiedoista). [5, s. 63.]

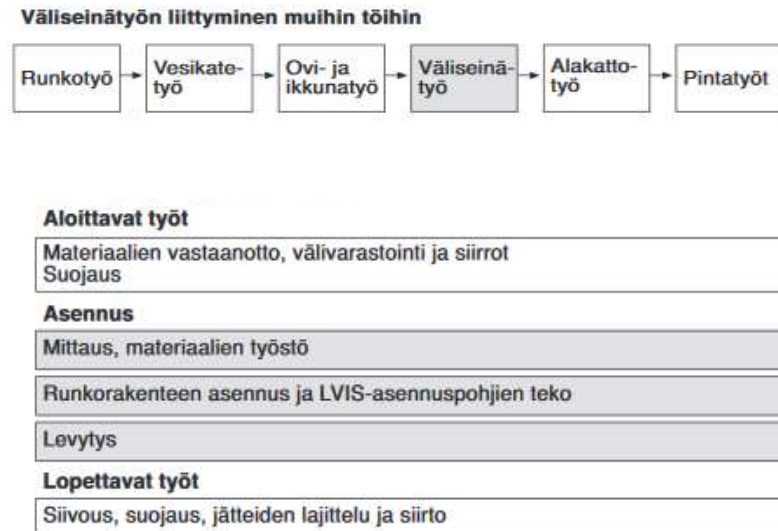


Kuva 9. Kokonaisaika vs. tehollinen työaika, jossa T4 -ajassa lisäajat ovat tehtävien sisällä ja T3 -ajassa ne ovat pelivarana. (Muokattu lähdetiedoista). [5, s. 63.]

Esimerkki

Urakoitsija ilmoittaa, että kaksi asentajaa on tulossa asentamaan 100 m² väliseinää.

- Ratusta valitaan urakkaan sisältyvät työt (Kuva 10).



Kuva 10. Väliseinätyön työkokonaisuus ja liittyminen muihin töihin. (Muokattu lähdetiedoista). [4, s. 222-223.]

- Tarkastetaan työpiirustuksista ja Ratusta katsotaan, että 1. vaiheeseen sisältyy mittaus, rungon pystytys + 2 levyä toiselle puolelle, siivous ja suojaus, jonka työmenekki on 0,52 tth/m².
- Väliseinärunгон ja levytyksen tekemiseen menee aikaa $0,52 \text{ tth/m}^2 * 100 \text{ m}^2 = 52 \text{ tth}$ ja kahden hengen työryhmältä $52 \text{ tth} / (2 \text{ tt} * 8 \text{ h/tv}) = 3,25 \text{ tv}$.
- Tarkastetaan työpiirustuksista ja Ratusta katsotaan, että 2. vaiheeseen sisältyy sähköjohdotus ja rasioinnin jälkeen mineraalikuituvilla-asennus 125 mm + 2 levyä toiselle puolelle, siivous ja suojaus, jonka työmenekki on 0,36 tth/m².
- Väliseinän eristämiseen ja tuplaukseen menee aikaa $0,36 \text{ tth} / \text{m}^2 * 100 \text{ m}^2 = 36 \text{ tth}$ ja kahden hengen työryhmältä $36 \text{ tth} / (2 \text{ tt} * 8 \text{ h/tv}) = 2,25 \text{ tv}$.
- Aikataulusta varataan ensimmäiseen vaiheeseen 4 tv ja toiseen vaiheeseen 3 tv.

Perustus- ja runkovaiheessa on erityisen tärkeää huomioida sääolosuhteet. Jos runkoa ei voida nostaa kuivissa olosuhteissa, joudutaan varautumaan suojaus- kuivatus- ja

lämmitystöihin. Aikatauluun tulee varata tällöin riittävästi häiriövaraa. Näiden töiden vaatima aika, sääolosuhteiden vaikutukset sekä rakenteiden kuivumisajat tulee ottaa huomioon aikatauluissa. Merkittävimpiä tekijöitä kosteuden poistumiselle rakenteista ovat lämpötila ja rakennetta ympäröivän ilman suhteellinen kosteus. Materiaalien kosteudensiirto-ominaisuudet vaikuttavat myös osaltaan rakenteiden kuivumisnopeuteen. [8, s. 4.]

2.2.5 Työjärjestyksen määrittäminen

Töiden suoritusjärjestyttä suunniteltaessa työtehtävät lajitellaan riippuvuussuhteisiin. Yleensä riippuvuus on työtehtävien välisen järjestyksen ehdoton tai valittu rajoitus. Riippuvuudet voidaan jaotella niiden syntyperusteella neljään ryhmään [5, s. 81-82.]:

- 1) Looginen riippuvuus johtuu yleensä siitä, että toteuttamisen kannalta on vain yksi ainoa oikea työjärjestys. Esimerkiksi seinää ei voi maalata, ennen kuin se on tasoitettu ja hiottu.
- 2) Olosuhderiippuvuus johtuu monesti siitä, että tiettyjen rakennusosien asentaminen vaatii alustalta tiettyjä ominaisuuksia ennen kuin on sallittua asentaa niitä paikoilleen. Pintamateriaaleja ei voi asentaa, ennen kuin rakenteiden kosteus on tietyllä tasolla.
- 3) Tekniset riippuvuudet vaikeuttavat usein häiriöitä rakennustuotannossa. Väliseinää ei voi levyttää toiselta puolelta umpeen, ennen kuin seinän sisään on asennettu kaikki suunnitelmissa olevat sähköjohdotukset ja rasiarungot.
- 4) Resurssiriippuvuus johtuu siitä, että on käytössä vain yksi kirvesmiesporukka, joka siirtyy rungon pystytyksen jälkeen sisävalmistustöihin ja ei näin ollen voi aloittaa keveiden väliseinärunkojen tekemistä ennen vesikaton asennusta. Mestariippuvuudesta puhutaan silloin, kun ajatellaan paikan olevan resurssi.

Riippuvuustyypeiksi kutsutaan tehtävien aloitus ja lopetusriippuvuuksia, jolloin uusi tehtävä voidaan aloittaa edellisen tehtävän valmistuttua. Yleisimmin käytetyt riippuvuudet selityksineen on lueteltu alla [5, s. 82.]:

Loppu-alkuriippuvuus

- Edeltävä tehtävä tulee olla valmis, ennen kuin seuraava voidaan aloittaa
 - Raudoitus ennen betonointia.

Alku-alkuriippuvuus

- Edeltävä tehtävä tulee olla aloitettu, ennekuin seuraava voidaan aloittaa
 - Raudoitus voidaan aloittaa, kun muottityö on aloitettu.

Loppu-loppuriippuvuus

- Edeltävä tehtävä tulee olla valmis, ennen kuin seuraava voidaan lopettaa
 - Alakattoa ei voida laittaa umpeen, ennen kuin on LVIS-töiltä peittolupa.

Alku-loppuriippuvuus

- Edeltävä tehtävä tulee aloittaa ennen seuraavan tehtävän valmiiksi saattamista.
 - Talvibetonoinnissa lämmitys tulee aloittaa hyvissä ajoin muotitusvaiheessa (esim. lämmityslangat). [5, s. 82.]

2.2.6 Tehtävien tahdistus ja rytmitys

Tahdistuksen tavoitteena on luoda häiriöttömät työskentelymahdollisuudet työkohteissa työskenteleville työryhmille. Kun työryhmät voivat siirtyä samassa tahdissa toisten työryhmien edellä tai jäljessä osakohteesta toiseen samalla nopeudella niin, ettei päällekkäisyyttä pääse syntymään työkohteissa, on tuotannonohjaus onnistunut hyvin. Siihen pääsemiseksi on kuitenkin tehtävä työnsisältöihin muutoksia ja käytettävä joissakin tehtävissä useampaa työryhmää. Tahdistusratkaisuilla voidaan vaikuttaa merkittävästi työkauppojen sisältöön ja sitä kautta kustannuksiin. [5, s. 84.]

Tahdistusta voidaan laskea seuraavalla kaavalla [5, s. 84.]

$T_i = T \cdot (n-1) \cdot t_a$, missä

T_i = tahdistava kesto

T = tehollinen rakennusaika

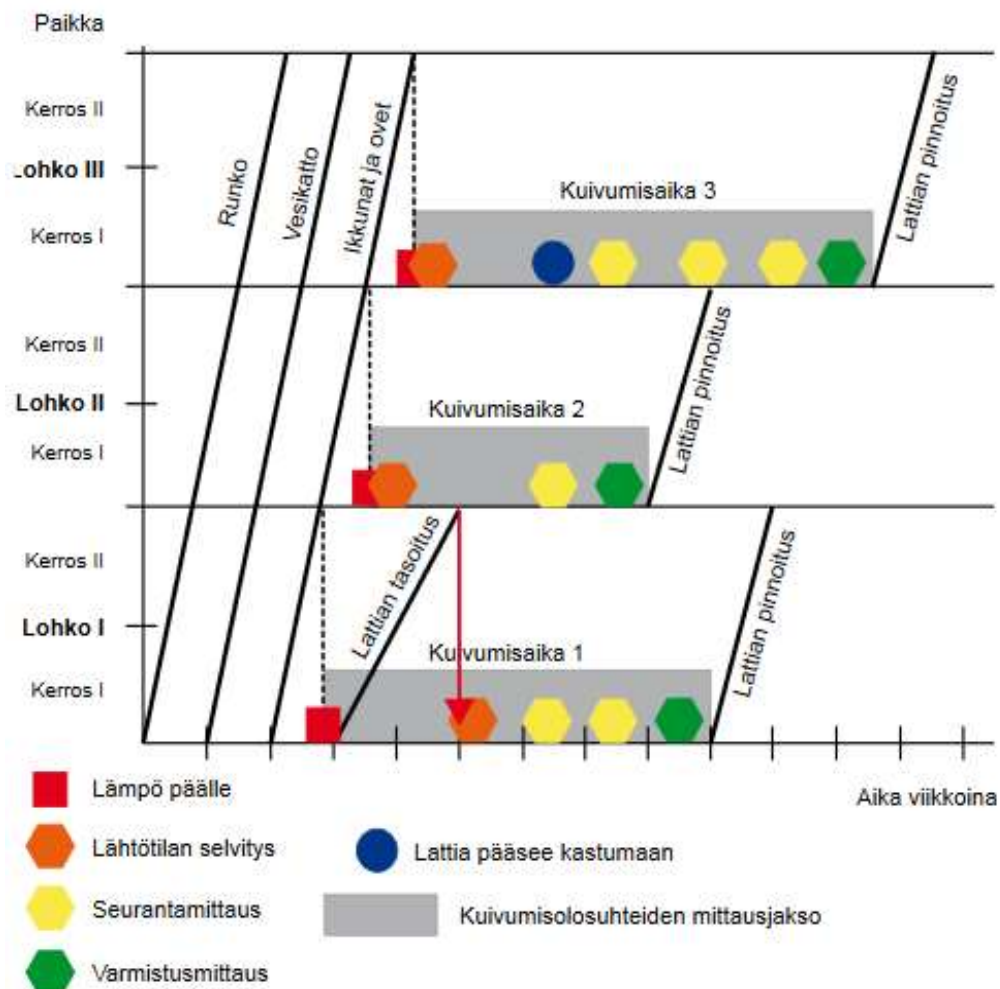
t_a = tehtäville valittu aloitusväli

n = tahdistettavien tehtävien lukumäärä

Useat aikatauluohjelmistot tarjoavat mahdollisuuden lisätä vasempaan reunaan lisätietoja työtehtävistä, kuten suoritemäärät, työmenekit, työsaavutukset, ja työryhmät sekä tehtävän keston. Huonoina puolina jana-aikataulussa nähdään tuotannon valvonnan seuranta ajan ja paikan suhteen. Tehtävän eteen merkataankin yleensä tarkempi paikka, kuten kerros, missä tehtävää suoritetaan. [5, s. 22.]

Vinoviiva-aikataulut

Paikka-aikakaaviossa tuotannon eteneminen kuvataan ajan ja paikan suhteessa. Pystyakselilla on rakennuksen paikat, kuten portaat, kerrokset, lohkot ja vaak akselilla on esitetty ajankulku viikkoina tai työpäivinä (Kuva 12).



Kuva 12. Paikka-aikakaavio / vinoviiva-aikataulu. [8, s. 10.]

Paikka-aikakaaviossa on pystyviivoilla merkattu sopimustekniset seikat, joiden tapahtuminen jollain tavalla rajoittaa aikataulun laadintaa. Esimerkiksi välitavoitteet, sovitut keskeytykset tai osaluovutukset voivat olla sellaisia. Hyvänä puolena paikka-aikakaaviossa on sen seurattavuus tehtävien välillä ja niiden joustot häiriöitä sekä lisä- ja muutostöitä varten. Paikka-aikakaaviossa nähdään, jos on päällekkäisyyksiä työtehtävissä. Lisäksi tuotantonopeus on visuaalisesti nähtävissä vinoviivan kulmakertoimesta. Valvonta on helposti merkittävässä erillisillä toteumaviivoilla. [5, s. 26.]

Aikataulun toteutuskelpoisuus








Ennen aikataulun hyväksymistä tulee aikataulun toteutuskelpoisuus arvioida urakkasopimusehtojen tarkoittamaksi työaikatauluksi. Seuraavat tarkastukset tulee tehdä ennen kuin aikataulu hyväksytään urakkasopimusehtojen tarkoittamaksi työkaluksi [5, s. 26]:



- Onko sopimusvaatimukset täytetty ja onko rakentamisaika sama kuin sovittu.
- Selkeä lohkojako ja järjestys (hyvät perustelut), Hossin sääntö
- Aikataulutettujen tehtävien riittävyys ja oikeellisuus (kaikki keskeiset työt)
- Suurtehtävien osalta tarkoituksenmukaisuus (selvä kokonaisuus paikallavalurakennne vs. toisistaan riippumattomia samanaikaisesti tehtäviä pienempiä tehtäviä)
- Tehtävien työjärjestys/jana aikataulun muuttaminen paikka-aikakaavioksi.
- Rakennusteknisten töiden ja LVIS-töiden riippuvuudet ja työjärjestyksistä selkeät määritykset
- Yksittäiset tehtävät johdonmukaisesti etenemään lohkojen ja kerrosten välillä
- Varmistettava työryhmille vapaata mestaa heti, kun edellinen kohde valmistuu
- Aikataulussa pelivaraa tuotannon keskeytyksiin-> varamestoja [5. s. 26].

2.2.8 Aikataulun valvonta

Tärkein tehtävä tuotannonohjauksessa on varmistaa rakentamistehtäville edellytykset. Kun tuotantoon tulee häiriöitä syystä tai toisesta, johtaa se usein tehtävän aloitushetken lykkääntymiseen. Suunniteltu työsaavutus jää saavuttamatta ja hukkaa tulee lisää. Aikataulun valvontaan on kehitetty useita valvontavälineitä, joita on syytä käyttää monipuolisesti. Hyvä valvontaväline on visuaalisesti toimiva, kuten paikka-aikakaavio tai valvontavinjetti (Kuva 13). [5, s. 95.]

Tehtävä	Kerros ja B-porras					
	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Kivivaliseinät	5	5	7	7	12	12
	6	7	7	11	12	12
Betonipintojen jalkityö	10	10	11	12	13	13
	11	11	12	12	13	14
Levyvaliseinät ja -katot	11	11	12	14	16	17
	11	12	13	15	17	17
Lattialaatoitus	14	14	13	18	17	17
	14	14	14	18	18	17
Tasoitetyöt	17	16	14	21	20	18
	18	17	16	23	21	20

	ei ajankohtainen
	ajallaan
	etuajassa
	jäljessä
	työtä ei aloitettu
	työstä tehty 50 %
	työ valmis

	työ alkanut ennen viikkoa 11
	työ loppunut viikon 15 jälkeen

vinoviivat kertovat, että työ on valmis

Kuva 13. Valvontavinjetistä voidaan valvoa työkohteiden sitoutumista ja vapautumista eri tehtävien osalta [6. s. 27].

Valvontavinjetti kertoo, mitkä työt ovat myöhässä. Kun työvaihe aloitetaan osakohteessa, vinjettiin merkataan värillä, rastilla tai molemmilla työt alkaneeksi. Kun yli puolet osakohteesta on valmiina, voidaan vetää viiva ruudun yli ja toinen viiva sitten kun osakohte valmistuu. [9, s. 28.]

Yksi hyvä tapa valvoa töiden etenemistä on tehdä lukujärjestys käynnissä olevista töistä. Työt suunnitellaan viikon tai kahden viikon päähän päivä-, puolipäivä- tai jopa tunti-kohtaisesti. Tämä tapa on käytössä yleisesti runkovaiheen töissä ja soveltuu hyvin myös sisävalmistusvaiheisiin. [9, s. 31.]

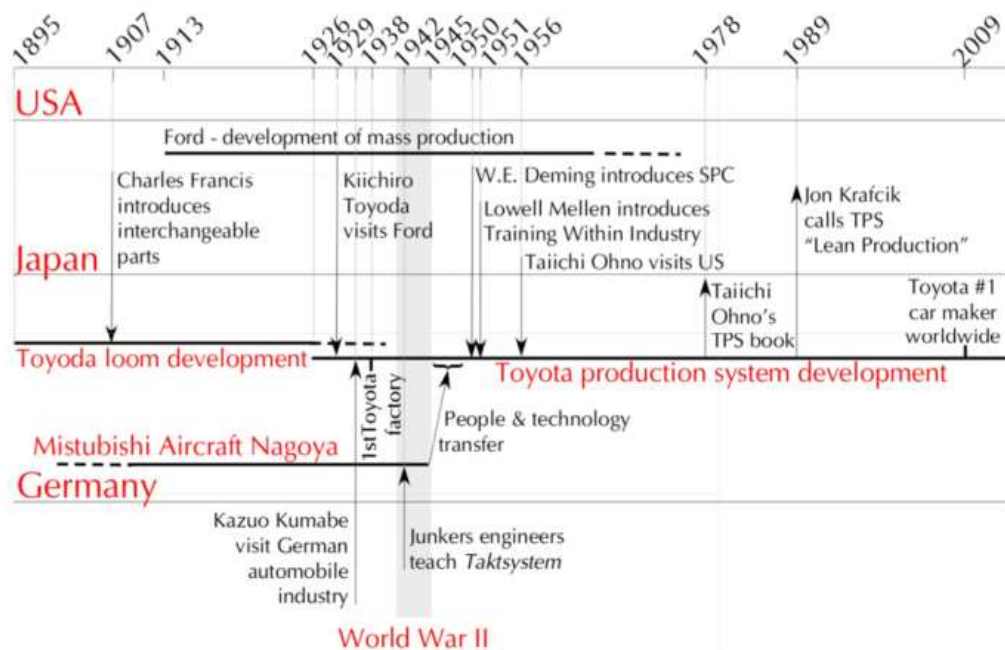
Aikatauluhallinnan tyypilliset puutteet ovat:[10, s. 4.]

- Paikka-aikakaaviotekniikkaa ei käytetä
- Tehtävien etenemistä ei esitetä riittävällä tarkkuudella kohteissa, jossa on selvä lohkojako ja osakohdejako
- LVIS-työt jätetään yleensä käsittelemättä tai yksilöimättä
- Tehtävien mitoituserusteet eivät käy ilmi aikatauluista
- Aikataulujen häiriöherkkyttä ja toteutuskelpoisuutta ei tutkita
- Aikataulut eivät välity aliurakkasopimukseen
- Aikatauluvalvonta ei ole aktiivista, poikkeamiin puuttuminen ja ohjausnäkökulma jää taka-alalle

3 Lean-tuotannonohjausmenetelmä

3.1 Toyota Production System TPS

Lean filosofia on alun perin autoteollisuusohjelmassa käyttöönotettu tuotannonohjausmenetelmä, jonka taustalla voidaan nähdä Toyota Motor Corporation -yhtiössä työskennelleen japanilaisen insinöörin Taiichi Ōnon ajatuksia. Hän kehitti Toyotalle vallankumouksellisen Just-In-Time-järjestelmän, jossa prosessi tuottaa vain sen mitä tuotannon seuraavassa vaiheessa tarvitaan. Toyota Production Systemin kehityshistorian (Kuva 14) alkuvaiheissa Ōno seurasi Henry Fordin kädenjälkiä ja jatkoi virtausperusteisen tuotannonohjauksen kehittämistä. Hän halusi, toisin kuin Ford, rakentaa autoja asiakastilauksesta. Fordilla oli lähes rajaton kysyntä tavanomaisille autoille. Yhdysvaltaisten lisätessä tehokkuutta pitämällä jokaisen koneen käynnissä enimmäistuotannossa, Ōno huomasi välivarastojen kasvavan ja hän kutsui tätä ”the waste of over production”, eli ylituotannon tuhlaukseksi. Lisäksi autoissa oli vikoja, jotka häiritsivät tuotannon virtaa. Tästä alkoi kehitystyö, jossa työntekijät joutuivat pysäyttämään tuotantolinjan välittömästi, kun se vastaanotti vikailmoituksen seuraavilta työvaiheilta. [12, s. 1-4.]

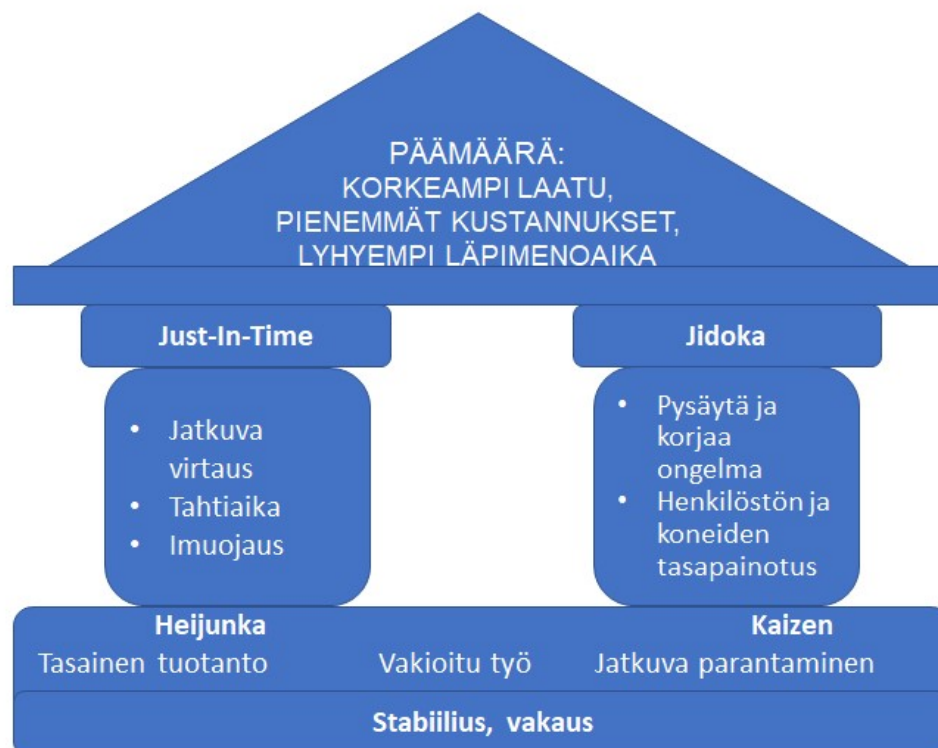


Kuva 14. Toyotan TPS-kehityksen historiaa. [20.]

Toyotan tarinaa voidaan tulkita niin, että resurssipula ajoi yrityksen luomaan virtaustehokkuuteen keskittyvän järjestelmän. Toyotan imuohjaus perustui siihen, että autoa ei valmistettu ennen kuin asiakas oli tilannut auton. Kun asiakas tilasi auton, yritys viestitti asiakkaiden tilaukset vastavirtaan, jonka jälkeen tuotannon materiaalit liikkuvat alavirtaan siihen saakka, että auto valmistui. [11, s. 76.]

Toyota loi johtamismenetelmän, joka on pohjana Lean ajattelutavalle. Sen keskeisimmät periaatteet ovat tuotannon keskeyttäminen välittömästi häiriötilanteissa (Jidoka), prosessi tuottaa vain sen, mitä tarvitaan seuraavassa vaiheessa (Just In Time, JIT), jatkuva parantaminen (Kaizen), ihmisten kunnioittaminen (Respect for people), tasainen tuotanto (Heijunka) ja vakioitu työ (Standard Work). [5, s. 13.]

Toyotan johtamismenetelmää kuvataan monesti talona (Kuva 15), jossa kattona on asiakas. Päämääränä on tuottaa arvoa asiakkaalle: paras laatu, halvin hinta, lyhin läpimenoaika. Tukipilareina katolle ovat Jit ja Jidoka, jotka viittaavat virtaustehokkuuteen ja jatkuvaan parantamiseen. Pilareiden perustana on tasainen tuotanto. [19.]



Kuva 15. Toyotan johtamismenetelmä kuvio. (Muokattu lähdetiedoista) [20].

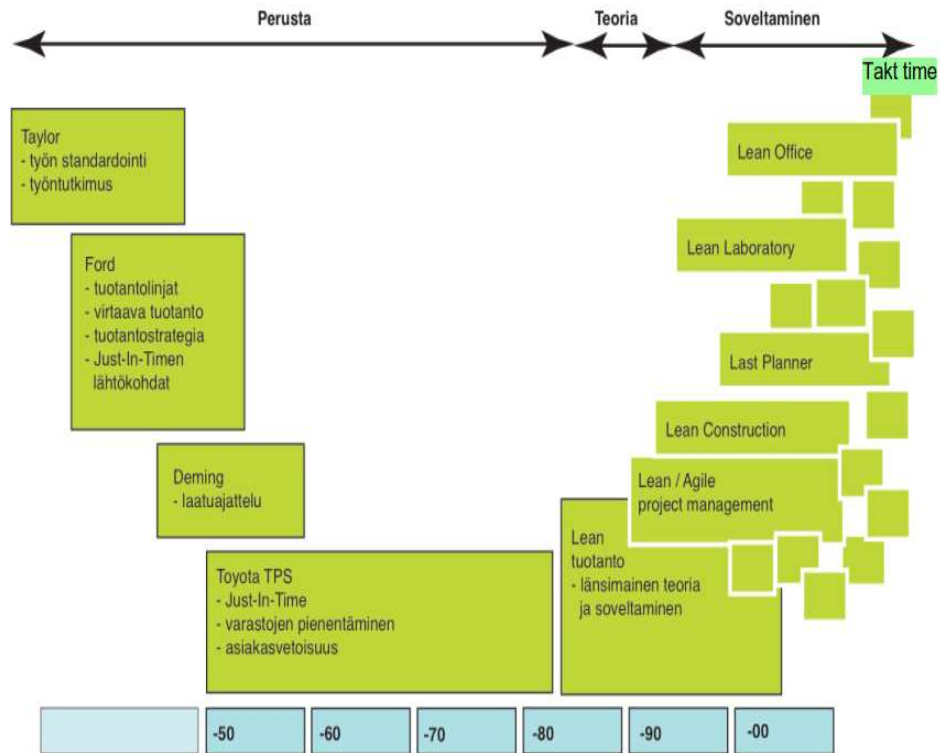
3.2 Lean-filosofia

3.2.1 Lean-historiaa

Lean Production -käsite mainittiin ensimmäistä kertaa 1988 Sloan Management Review -lehdessä John Krafcikin kirjoittamassa artikkelissa *Lean-tuotantojärjestelmän riemuvoitto* [11, s. 78]. Krafcikin työskenteli tutkimusohjelmassa nimeltä ”International Motor Vehicle Program, IMVP”, joka tutki eri autotehtaiden tuottavuutta. Hänen tiedetään sanoneen mm. näin: ” Se (TPS) käyttää vähemmän kaikkea luodessaan saman määrän arvoa, joten kutsukaamme tätä LEAN:ksi”. Tutkimuksissaan hän kuvasi Toyota Production System -ilmiötä seuraavin argumentein: [19.]

- Tarvitsee vähemmän inhimillisiä panoksia tuotteiden ja palveluiden suunnitteluun.
- Vaatii vähemmän investointeja saman kapasiteetin omaavaan tuotantoon.
- Tuottaa tuotteita alhaisemmilla toimitusvivoilla (reklamaatioilla).
- Käyttää harvempia toimittajia.
- Aika konseptista tuotantoon, tilauksesta toimitukseen ja ongelman havaitsemisesta korjaukseen on lyhyempi ja vaatii vähemmän inhimillistä panosta.
- Tarvitsee vähemmän varastoja jokaisessa prosessivaiheessa. - Aiheuttaa vähemmän työntekijöiden tapaturmia.

Leanissa etsitään toimintamuotoja ja työkaluja, joilla pyritään tehostamaan tuotantoprosessia. Lean on levinnyt historiansa aikana autoteollisuudesta rakennuksille ja laboratorioihin sekä asiantuntijatyötehtäviin (Kuva 16). [6, s.13.]



Kuva 16. Lean-filosofian historia. Huom. Vaikka Lean-käsite on Toyotan lähtökohdista syntynyt, Lean ja TPS ovat kaksi eri käsitettä (Kuva muokattu lähdetiedoista). [6, s.14.]

3.2.2 Virtaus-, resurssitehokkuus ja vaihtelu

Työntekemiseen käytetään aikaa, jota Lean-ajattelussa kutsutaan läpimenoajaksi. Se pitää sisällään arvoa tuottavaa aikaa (*Value Added Time*) ja myös ei arvoa lisäävää aikaa (*Non Value Added Time*). Virtaustehokkuus kuvaa läpimenoajan ja arvoa lisäävän ajan suhdetta. [19.]

Latinan kielen sanat *processus* ja *procedere* tarkoittavat ”eteenpäin viemistä” Proses- sissa viedään jotain eteenpäin, joka jalostuu edelleen joksikin. Prosesissa jalostetta- vaa asiaa sanotaan virtausyksiköksi. Se on pohjimmiltaan materiaalia, informaatiota tai ihmisiä. Esimerkiksi autotehtaassa virtausyksikkö on materiaalia ja käsittelyn tuloksena on valmiit autot. Rakennushankkeessa jätetään lupahakemus rakennusvalvontayksik- köön, jota käsitellään eri asteissa osapuolia informoiden. Huvipuistossa virtausyksikön muodostavat ihmiset, jotka huvittelevat siellä eri laitteissa ja lähtevät sen jälkeen kotiin. [11, s. 19.]

Prosessit tulee määritellä virtausyksiköiden näkökulmasta, ei toiminnan ja sen eri funktioiden mukaan, niin kuin moni organisaatio tekee. Riippuvuussuhteita virtausyksikön näkökulmasta kuvastaa arvon siirtyminen, kun yksi osapuoli (resurssit) antaa ja toinen osapuoli (virtausyksikkö) saa arvoa. [11, s. 20.]

Resurssitehokkuudessa on ennen kaikkea kyse resurssien hyödyntämisessä, joka kuvaa käyttöastetta. Sen takaamiseksi tulee pitää resurssit käytössä ja varmistaa, että resursseilla on jatkuvasti virtausyksikkö jalostettavana. Virtaustehokkuudessa vastaavasti varmistetaan virtauksen käynnissä pysyvyys niin, että koko ajan on joku resurssi jalostamassa virtausyksiköitä. [11, s. 20.]

Vaihtelu on yksi prosessin avaintekijöistä resurssitehokkuuden ja läpimenoajan lisäksi. Virtaustehokkuuden ymmärtämiseksi on ymmärrettävä vaihtelun merkitys. Vaihtelun syitä voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan, jotka ovat [11, s.40]:

1) Resurssit

- a) Koneet menevät epäkuuntoon
- b) Käyttöjärjestelmien nopeuden vaihtelut.
- c) Ihmiset joskus motivoituneita, joskus teottomia

2) Virtausyksiköt

- a) Korjaamoon jätetyissä autoissa on erilaiset viat.
- b) Rakennuslupahakemus väärin täytetty tai jonkun asian käsittely viivästyy.
- c) Parturin asiakkaat haluavat erilaisen kampauksen.

3) Ulkoiset tekijät

- a) Joululahjojen myynti on kausiluonteista.
- b) Ravintolaan voi tulla odottamatta bussilastillinen nälkäisiä turisteja.
- c) Kova pakkas estää hiihtohissin toimimisen [11. s.40].

Littlen laki ja Kingmanin kaava

Sir John Kingman esitteli 1960-luvulla seuraavanlaisen kaavan kuvaamaan vaihtelun, resurssitehokkuuden ja läpimenoajan välistä yhteyttä:

$$\text{Läpimenoaika} = \left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left(\frac{u}{1-u} \right) t_0 \quad , \text{jossa}$$

c_a =saapuva COV eli keskihajonta jaettuna keskiarvolla, ulkoinen vaihtelu

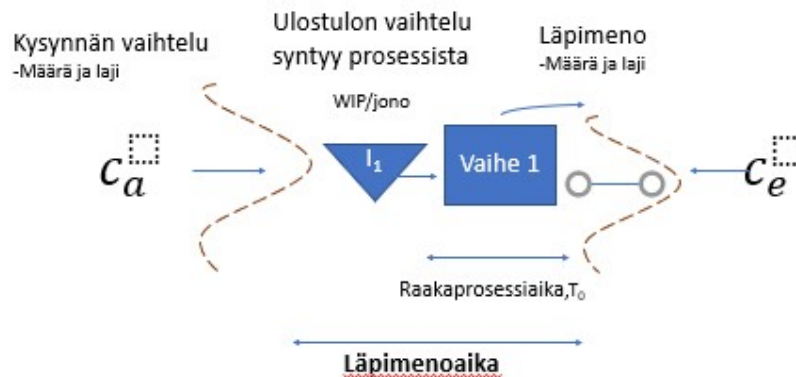
c_e =prosessin jaksoajan COV eli keskihajonta jaettuna keskiarvolla, sisäinen vaihtelu

u =käyttöaste eli keskimääräinen todellisen läpimenoajan ja kysynnän suhde

t_0 =prosessin keskimääräinen raaka prosessiaika

COV = keskihajonta / odotettu tuotto

Kingmanin kaavalla lasketaan (Kuva 17), kuinka paljon työtä kertyy jonoon prosessivaiheen edessä (Work in Process, WIP) Poisson-jakauman mukaisella kysynnän ja läpimenoajan vaihtelulla.



Kuva 17. Havainnollistava kuva Kingmanin kaavasta. (Muokattu lähdetiedoista) [19].

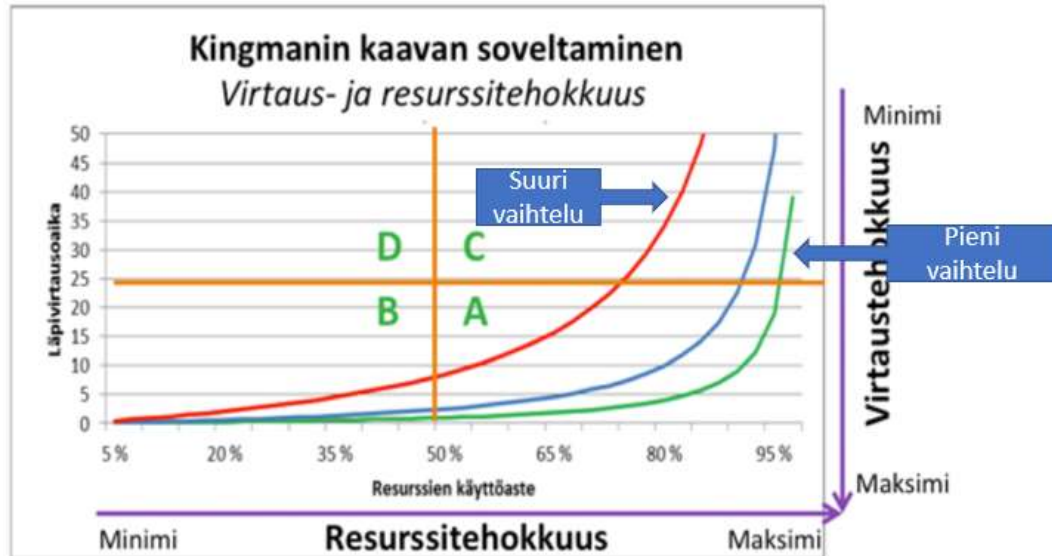
John Little kehitti kaavan, jota kutsutaan Littlen laiksi. Kaavaa käytetään nykypäivänä valmistus- ja palveluprosessien läpimenoajan määrittämiseen esimerkiksi yksittäisen aseman, tehtaan, toimitusketjun tai palveluprosessien arvioinnissa. Nykymuoto kaavasta on $WIP = TH \times CT$.

WIP = varastot, keskeneräinen työ (Work in Process)

TH = läpimeno (Throughput)

CT = jaksoaika (Cycle Time)

Tavoitetila Lean-filosofiassa on tilanne, jossa asiakas ja tuottaja ovat tyytyväisiä. Sellaiseen tilanteeseen päästään, kun resurssitehokkuus on hyvä ja virtaustehokkuus suuri (Kuva 18, ruutu A). [11. s. 43.]



Kuva 18. Kingmanin kaavalla lasketut käyrät kertovat miten läpimenoaika riippuu resurssien käyttöasteesta. Käyrät kuvaavat läpimenoajan ja käyttöasteen välistä yhteyttä. (Muokattu lähdetiedoista) [19].

Kuvan 18 neljä kenttää voidaan selittää seuraavasti: [19.]

- A kuvaa korkeaa resurssitehokkuutta⁺ eli tuottajatytyväisyyttä sekä korkeaa virtaustehokkuutta⁺ eli asiakastytyväisyyttä
- B kuvaa alhaista resurssitehokkuutta⁻ eli tuottajatytyymättömyyttä ja korkeaa virtaustehokkuutta⁺
- C kuvaa korkeaa resurssitehokkuutta⁺ ja alhaista virtaustehokkuutta⁻ eli asiakastytyymättömyyttä
- D kuvaa alhaista resurssitehokkuutta⁻ ja alhaista virtaustehokkuutta⁻

Kun kuvan 18 osiossa A pystyakselilla liikutaan ylöspäin, niin läpimenoaika kasvaa. Vastaavasti resurssitehokkuus paranee liikuttaessa vaaka-akselilla kohti sataa prosenttia. Kun resurssit ovat jo tehokkaassa käytössä ja käyttöastetta lisätään 90:stä 95 prosenttiin, riskinä on, että läpimenoaika alkaa kasvaa hyvin nopeasti (Vihreä käyrä). Vai-

kutus läpimenoaikaan on huomattavasti suurempi kuin jos käyttöastetta nostettaisiin 80 prosentista 85 prosenttiin. Molemmissa tapauksissa käyttöaste kasvaa viisi prosenttiyksikköä, mutta läpimenoaika kasvaa eksponentiaalisesti, kun resurssit ovat tehokkaassa käytössä (90-95%). Virtaustehokkuutta ei ole siis perusteltua viedä liian liireäksi.

Toinen merkittävä asia, joka käyrästä voidaan havainnoida, on vaihtelun kasvaminen niin suureksi, että koko käyrä siirtyy vasemmalle. Jos oletuksena on, että käyttöaste pysyy vakiona, tarkoittaa kuvan yhteys sitä, että mitä suurempi vaihtelu on, sitä pitempi on läpimenoaika. Esimerkki vaihtelun merkityksestä prosessissa kuvastaa moottoritie, jossa kaikki ajaisivat samaa vauhtia ja jonoa ei syntyisi. Jonoja muodostuu, kun autot ajavat eri vauhtia. [11. s. 43.]

Nykytuotannonohjausmenetelmät toimivat työntöperiaatteella, jossa suunnitelmat työntävät työntekijän työmaalle ja ohjaavat siten tehtävien valmistumista. Lean tuotannonohjauksessa toteutetaan ns. imuperiaatetta, jossa tehtäviä ei aloiteta, ennen kuin työlle on olemassa edellytykset sen toteuttamiseksi. Imuohjauksen toinen periaate on, että seuraava työvaihe määrittelee sen, mitä edellisen on tuotettava. [5, s. 14.]

Lean-filosofia on yrityksen toimintojen organisointiin keskittynyt ajattelumalli, jolla on joukko työkaluja sen soveltamiseksi. Perusajatuksena on etsiä parhaat toimintatavat juuri oikeaan aikaan. Tiivistetysti ajattelun voi esittää kolmena eri seikkana:

- **virtaus**, jossa poistetaan hukkaa luomalla virtaus systeemin läpi ilman häiriöitä ja ylimääräistä aikaa
- **kulttuuri**, mikä sitouttaa kaikki ihmiset jatkuvaan parantamiseen
- **imuohjaus**, missä toimitaan vain tarpeiden vaatiessa tai tilauksesta (tuotannon ohjausta, jossa seuraavan työvaiheen tarve määrittelee, mitä edellisen on tuotettava vrt. työntöohjaus) [5, s.10.]

Toyota Production Systemistä lähtöisin olevilla peruskäsitteiden (s. 30: Jidoka, JIT, Kaizen, Respect for people, Heijunka, Standard Work) avulla pyritään luomaan tehokkaita prosesseja mahdollisimman vähin resurssein ja ottaa huomioon yrityksen koko toiminta. Organisaation toiminnot ovat jaettu kolmeen ero kategoriaan: arvoa tuotta-

vaan, arvoa tuottamattomaan mutta välttämättömään ja arvoa tuottamattomaan toimintoon. Idea on keskittyä vain asiakkaalle lisäarvoa tuottavaan toimintaan. [5, s.13.]

3.3 Lean-rakentamisen synty

Lean-rakentamisen alkujuuret löytyvät Suomesta. Lauri Koskela esitti ensimmäistä kertaa näkemyksiään Lean rakentamisesta vuonna 1992 ilmestyneessä raportissaan: "The Application of the New Production Philosophy to Construction". Termi Lean Construction esitettiin Koskelan ja Glenn Ballardin toimesta yhdessä rakennusteollisuudelle vuonna 1993. Siitä lähtien on rakentamiseen soveltuvia työkaluja kehitelty hankkeissa syntyvän hukkan, työajan, energian, materiaalien ja muiden resurssien käytön minimoimiseksi ja edelleen asiakkaan saaman arvon maksimoiseksi. [13.]

Koskelan ja Ballardin lisäksi Lean Constructionin suureksi nimeksi voidaan sanoa Glenn Grogory Howell, joka Ballardin kanssa perusti Lean Construction Institute -organisaation vuonna 1997. Lauri Koskela on kansainvälisen Lean Construction -ryhmän perustajajäsen. Hän oli Leanin professori Salfordin yliopistossa vuoteen 2014 saakka, jolloin hänet nimitettiin rakennus- ja projektinjohtamisen professoriksi Huddersfieldin yliopistossa. [13.]

Vuonna 1999 Koskela ehdotti uusia perusteita ja periaatteita tuotannonohjausjärjestelmälle. Ensimmäiseksi kaikkien tehtävien tulee olla vaatimusten kannalta järkeviä. Tämä periaate tunnetaan myös nimellä Complete Kit - täydellinen sarja. Tämä käsite tarkoittaa, että työtä ei saa aloittaa ennen kuin työn loppuun saattamiseen tarvittavat seikat ovat ennalta selvitetty ja tykötarpeet käytettävissä. Toisena periaatteena Koskela esittää, että tehtävien toteutus mitataan ja valvotaan. Suunnitelmien toteumiin keskittymällä vähennetään riskiä, että tuotannon vaihtelu heittelisi virtauksen alemmilla tasoilla ja tehtävillä. [14, s 243-245.]

3.4 TFV-teoria ja LPDS

Lean-rakentaminen tuo projektinhallintaan imuohjauksen luomalla edellytykset ennen työn toteuttamista. Kulmakivinä Lean-rakentamisessa ovat Koskelan ehdottama Trans-

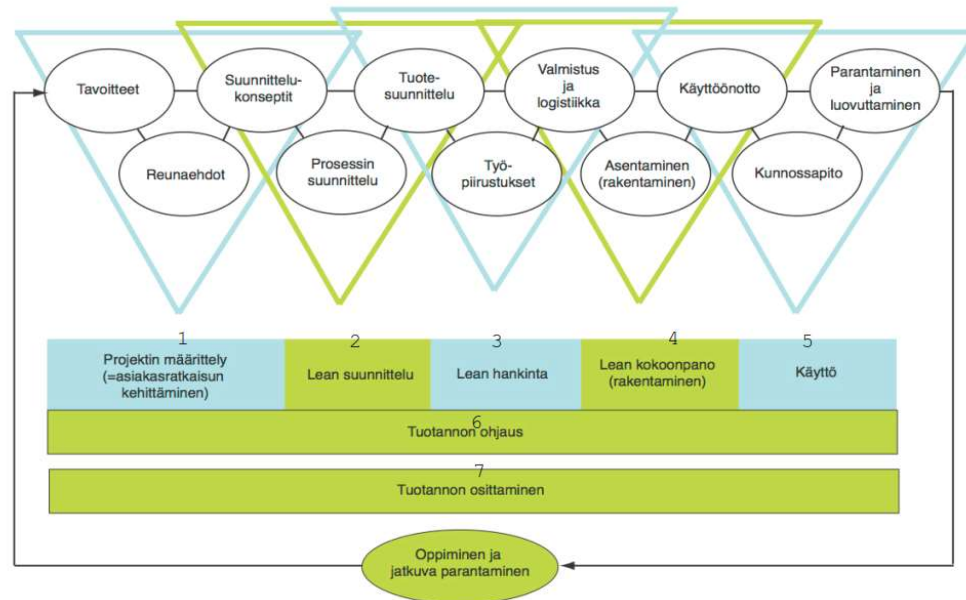
formation-Flow-Value (TFV) -teoria sekä Toyotan tuotantojärjestelmästä peräisin oleva Lean Project Delivery System -projektinhallinnanjärjestelmä. [5, s 15.]

TFV-teoriassa tuotanto pohjautuu kolmen eri tuottonäkemyksen varaan, jotka ovat muunnos-, virtaus- ja arvontuotto (Taulukko 1.). Muunnosmalli vastaa tuotteen valmistamisesta, virtausmalli sisältää sisäiset tavoitteet ja arvonmuodostus liittyy ulkoisten tavoitteiden saavuttamiseen. [5, s 15.]

Taulukko 1. TFV-teoria eri näkökulmista. [15, s. 256].

	Konversionäkökulma	Virtausnäkökulma	Arvonlisäyksen näkökulma
Tuotannon konseptuaalisointi	Syötteiden muuntamista tulosteiksi	Materiaalien virtaa, joka koostuu konversiosta, tarkastamisesta, siirtämisestä ja odottamisesta	Prosessi, jossa arvoa tuotetaan asiakkaan vaatimusten täyttämiseksi
Pääperiaatteet	Tuotannon tehokkuus	Hukan vähentäminen (arvoa tuottamattoman toiminnan)	Arvon vähenemisen eliminointi (saavutettu arvo suhteessa parhaaseen mahdolliseen)
Esimerkkejä menetelmistä	Työn osittelu, organisaatiokaaviot	Imuohjautuva tuotanto, jatkuva parantaminen	Vaatimusten hallinta, laatuvaatimus-systematiikat
Käytännön kontribuutio	Huolehditaan siitä, että tarvittavat toiminnot toteutetaan.	Huolehditaan, että se mikä on tarpeetonta, minimoidaan.	Huolehditaan siitä, että asiakkaan vaatimukset tyydytetään parhaalla mahdollisella tavalla.

LPDS on kehitetty vastaamaan Toyotan TPS-tuotantopohjaista projektinhallintajärjestelmää, jonka ideana on projektitoimituksen kehittäminen ja jatkuva parantaminen. LPDS koostuu seitsemästä päävaiheesta (Kuva 19). [5, s 15-16.]



Kuva 19. Lean Project Delivery System, LPDS. [5. s.16.]

Kuva havainnoi, miten projektin toimituksen eri vaiheessa sovelletaan Lean filosofiaa, työkaluja ja periaatteita. Sen seitsemän päävaihetta ovat: [5. s.16.]

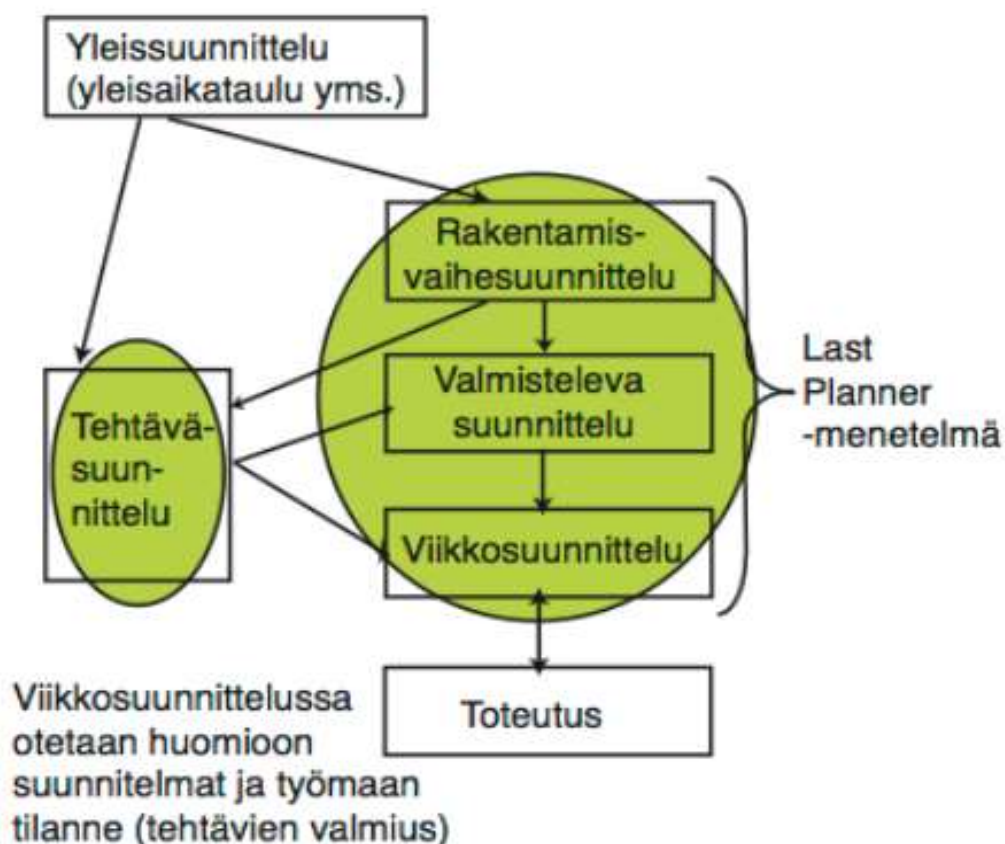
1. Projektin määrittely
2. Lean Suunnittelu
3. Lean hankinta
4. Lean kokoonpano
5. Käyttö
6. Tuotannon ohjaus
7. Tuotannon osittaminen

3.5 Last Planner

Last Planner -järjestelmä on Lean-rakentamisen työkalu, jota käytetään lyhyen aikavälin suunnitteluun ja ohjaukseen. Sen kehitys on aloitettu 1990-luvun alkupuolella Yhdysvalloissa ja tarkoituksena on ollut keskittyä parantamaan viikoittaisten työsuunnitelmien annettujen merkintöjen laatua. Kehitystyön aikana työkalua on muokattu ja laajennettu rakentamisen suunnitteluun kehittämään viikoittaisia työsuunnitelmia. Last Planner varmistaa, että työtehtävien käynnistyessä kaikki sen edellytykset työn suorit-

tamiselle ovat olemassa, jotta se voidaan suorittaa häiriöttä ja valmistaa suunnitelmien mukaan. Tavoite on siirtynyt kehitystyön aikana tuottavuuden parantamisesta työnkulun luotettavuuden parantamiseksi. Siinä vastuuhenkilö sitoutuu tekemään suunnitelmanmukaisen tehtävän. Last Planner -järjestelmän kehys rakentui alun perin laadunhallinnan ja tuottavuuden parantamisen aloitteista, jotka hallitsivat rakennusteollisuuden suorituskyvyn parantamista 1980-luvulla. [16, s.6.]

Last Planner -tuotannonohjauksessa viikkosuunnittelun lähtökohtana on toisaalta se, mitä ylemmän tason suunnitelmien mukaan pitäisi tehdä, mutta toisaalta se, mitä työtehtäviä kyetään tekemään työmaalla (Kuva 20). Last Planner -tuotannonohjauksen avulla työnkulku on ennustettavampaa, kokoukset ovat lyhyempiä sekä riitoja vähemmän ja pullonkaulat sekä työnkulun keskeytykset ovat tulleet selvemmiä. Last Planner – viimeinen suunnittelija, on tyypillisesti esimies, joka lähinnä pystyy varmistamaan ennakoitavissa olevan työnkulun [17].



Kuva 20. Last Planner System. [6, s.121.]

Last Planner -näkökulma on hieman erilainen, kuin perinteinen tehtäväsuunnittelumalli. Tehtäväsuunnittelussa keskitytään suunnittelemaan keskeisiä tehtäviä, jotka valikoituvat ajallisesti kriittisistä tehtävistä. Ne suunnitellaan töiden ohjaamista varten työmaalla ja tähtäävät ohjaamaan koko työmaan toimintoja. Last Planner pyrkii myös hoitamaan työmaatuotannon kokonaisuutta, mutta tarkastelukohteena on viikon aikana suoritettava tehtävä kokonaisuutena. Last Planner -menettelyssä korostuu siis juuri sen viikon aikana tehtävät osatehtävät ja aivan vähäpätöisilläänkin ja tavallisilla tehtävillä on yhtä tärkeä asema kuin vaativilla tai taloudellisesti kannattavilla töillä. Taulukossa 2 on esitetty yhteenveto tehtäväsuunnittelun ja Last Plannerin ominaisuuksista. [17, s. 69.]

Taulukko 2. Tehtäväsuunnittelun ja Last Planner -menetelmän eroja.

<u>VERTAILU</u>	Tehtäväsuunnittelu	Last Planner
Tarkastelukohde	Koko tehtävä	Viikkotehtävä
Tarkastelun laajuus	Keskeiset tehtävät	Kaikki viikkotehtävät
Keskeinen näkökulma	Tavoitteiden ja vaatimusten selvittäminen	Edellytysten varmistaminen
Vaikutustapa	Valvonta ja ohjaus	Ennalta varmistus
Sopiminen ja sitoutuminen	Yksittäin	Yhdessä
Suunnittelun tason mittaus	Kertaluonteista	Jatkuvaa

Vertailtaessa tehtäväsuunnittelua ja Last Planneria, voidaan todeta, etteivät ne ole vastakohtia toisilleen, vaan monella tapaa toisiaan täydentäviä menettelytapoja. [17, s. 70.]

4 Tahtiaikataulu

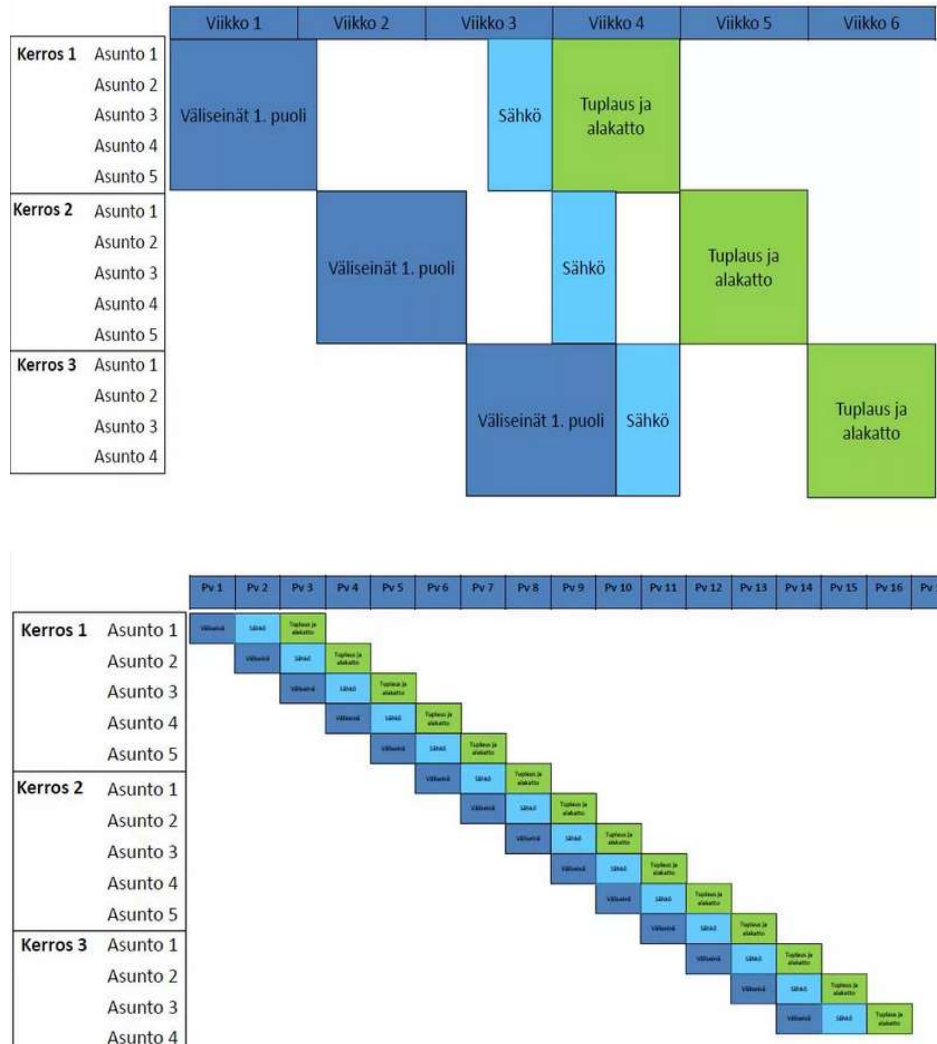
4.1 Tahtiaika-käsite

Takt on saksalainen sana, joka viittaa musiikin lyöntiin ja tarkoittaa myös sykliä, rytmia tai toistettavuutta. Sanan historia juontaa toiseen maailmasotaan, kun Saksa ja Japani kuuluivat akselivaltoihin ja saksalaiset insinöörit auttoivat japanilaisia järjestämään lentokoneteollisuutensa saksalaiseen tahtimalliin. Tuotantoa käytettiin samaan tapaan kuin orkesterin kapellimestarin rytmien analogiaa. Sodan jälkeen takt-sanaa ruvettiin käyttämään autoteollisuudessa, kun Toyota lanseerasi Just In Time -konseptinsa Toyotan tuotantojärjestelmäänsä [21].

4.2 Virtaus rakentamisen työnsuunnittelussa

Virtaus luodaan mitoittamalla kaikki työvaiheet saman pituisiksi. Työvaiheet seuraavat välittömästi toisiaan ilman minkäänlaisia puskuriaikoja. Nykyaikataulutuksessa paikka-aikakaaviolla korostetaan aikapuskureiden merkitystä tuotannon vaihtelevuuden hallinnassa. Niitä on ajateltu tarvittavan kasautuvien työvaiheiden estämiseen. Tahtiaikataulutuksessa aikapuskurit otetaan kokonaan pois ja vain välttämättömimmät puskurit säilytetään. Sijaintipohjaisessa tuotannonohjauksessa ongelmana oli se, että aikapuskureita käytettiin, vaikka niitä ei todellisuudessa olisi tarvittu. Rakentamisajat pitkittyivät usein kohtuuttomasti. Aikapuskureiden poisottamisessa oli aluksi omat huolensa. Pelättiin, että kun tehtävien välistä otetaan aikapuskurit pois, niin tulisi paljon häiriöitä, jotka johtavat joko resurssien lähtemiseen tai odotustunteihin. [27, s. 2-3.]

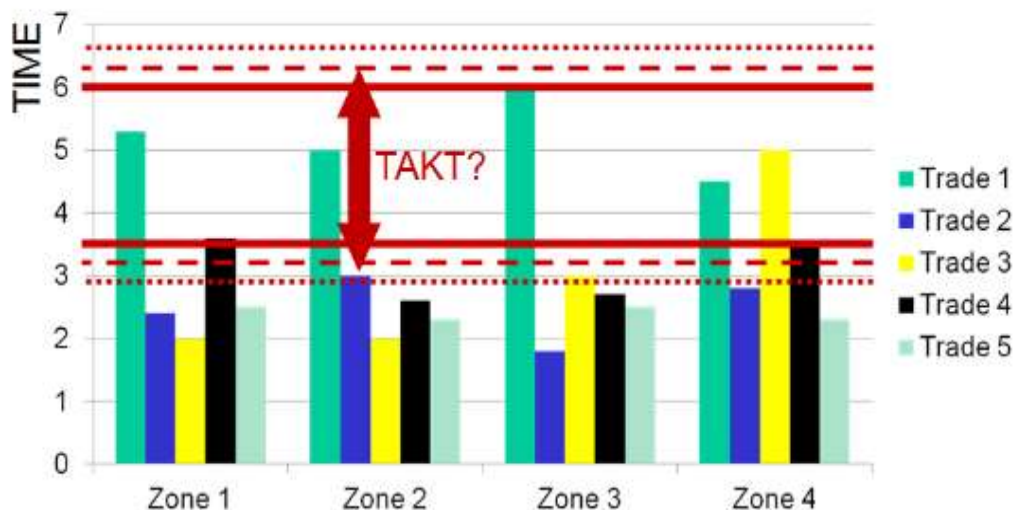
Perinteisesti aikataulutetut sisävalmistusvaiheet (Kuva 21) sisältävät häiriöistä johtuvia tyhjiä vaiheita, kun tahtiaikataulussa työvaiheet kulkevat saumattomasti peräkkäin.



Kuva 21. Aikataulusuunnittelu perinteisesti ja tahtiakaasuunnittelu [22].

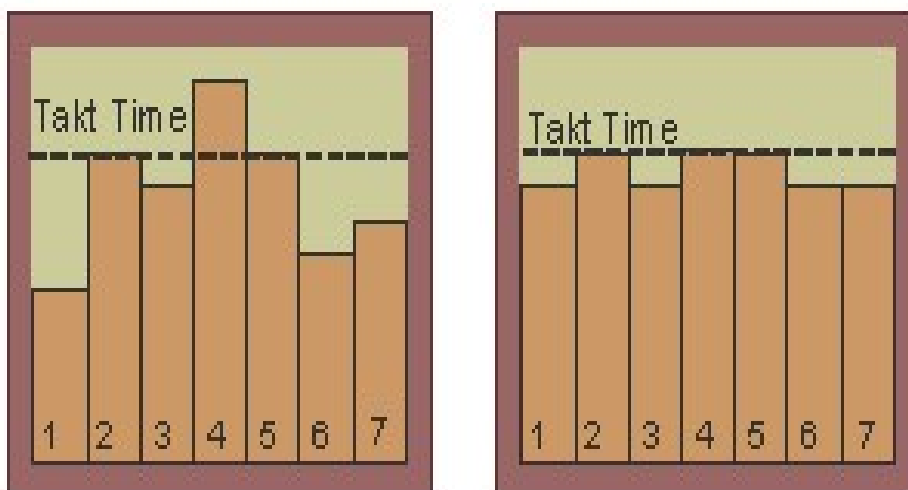
Rakentamisessa sovellettu tahti aika on työn virtauksen suunnitteluparametri, joka muodostuu työvoiman aikaansaamasta virtauksesta. Se voi olla myös työtehtävästä riippuen koneiden ja laitteiden tahdistamaa virtausta. Työajat ovat epätasaisia eri vyöhykkeillä ja haasteena on muodostaa työvaiheet niin, että työvaiheille saadaan samanlainen tahti aika. [26, s.529-530.]

Kun tahti aika on asetettu korkealle, niin lähes kaikilla työvaiheilla on vapaa-aikaa eli hukka-aikaa (Kuva 22). Tällöin ne toimivat alle kapasiteettikykyä ja voi tulla tarve vähentää työntekijöitä tai tehdä joitakin "välitöitä". Kun tahti aikaa lyhennetään, voidaan tuotannon epätasapainoa hallita erilaisilla menetelmillä, kuten esivalmisteen käytöllä, lisäämällä resursseja jne.



Kuva 22. Tahtiajan määrittelyssä tuotantoa joudutaan tasapainottamaan niin, että työvaiheet etenevät samassa ajassa jokaisessa solussa. [26, s. 530.]

Voimme nähdä kaaviosta (Kuva 23), miten tuotanto ei voi tuottaa tarpeeksi, koska jokin toiminto (toiminto 4) ylittää tahtiajan. Jos jokin toiminto vaatii enemmän tahtiaikaa, niin työsolu ei pysty tuottamaan tarvittavalla nopeudella tehtäviä. Jälkimmäisessä kuvassa työsolun kaikki tehtävät ovat tasapainotettu ja tehtävillä on sama aika suoritua tahtiajassa.



Kuva 23. Tahtiajan tasapainottaminen [20].

4.3 Tahtiaikataulunsuunnittelu

4.3.1 Tahtiaikataulusuunnittelun vaiheet

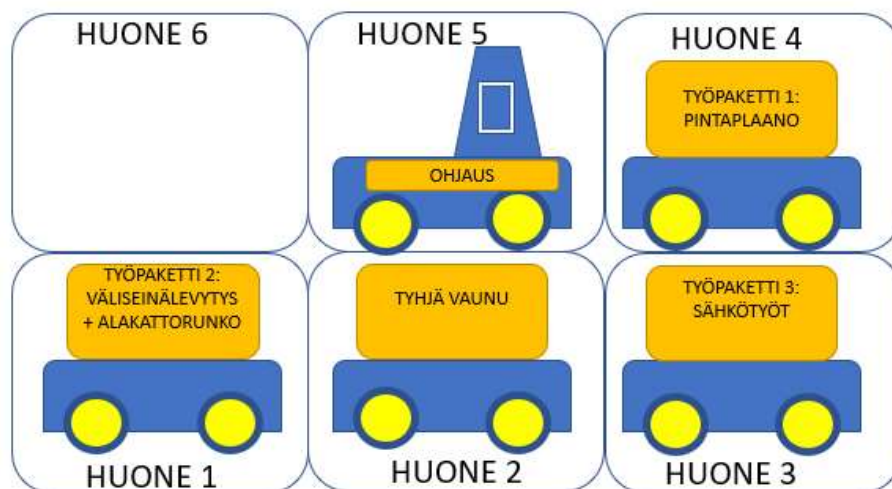
Adam Frandson et al. ehdottivat tutkimuksessaan ”Takt time planning for construction of exterior cladding” vuonna 2013 kuusi eri vaihetta tahtiaikatuotannon toteutukseen. [26, s. 531-532.]

1. Ensimmäisessä vaiheessa kerätään tieto tuotantoprosessista, sen vaiheista sekä työvaiheiden järjestyksestä ja kestoista. Last Planner ja sen useat työkalut, kuten vPlanner, Touchplan, Autodesk BIM 360 Plan ja VisiLean ovat hyvin suosittuja tiedonkeruun apuna. Pyrkimyksenä on kerätä mahdollisimman tarkkaa tietoa kaikilta tuotanto-organisaatioon kuuluvilta jäseniltä työvaiheisiin, -menetelmiin, -menekkeihin ja kestoihin liittyen. Myös projektin välitavoitteet ja muut yhteiset tavoitteet näyttelevät merkittävää osaa tietoa kerätessä. Päätöksenteko perustuu koko projektin ajan tiedonkeräämiseen ja välittämiseen, joten sen merkittävyyttä ei voi vähätellä.
2. Määritellään tahtialueet osittamalla työmaa sopivan kokosiin pieniin lohkoihin tai toistuviin alueisiin, jotka muodostavat tahtiaikasuunnittelun yksiköt. Määrittäminen tapahtuu edeltävän työvaiheen tietojen perusteella määrittelemällä se työvaihe, joka toimii pullonkaulana prosessiin nähden. Tätä pullonkaulana toimivaa työvaihetta käytetään määräävänä tahtialueen työalueena ja tahtiajan työn kestoaikana.
3. Työjärjestyksen ymmärtäminen, missä määritetään mahdollisimman toimiva ja looginen kaikille osapuolille sopiva työjärjestys.
4. Yksittäisten tehtävien kestojen ymmärtäminen, tahtiaika eli etenemisnopeus hitaimman työvaiheen mukaan. Onko mahdollista nopeuttaa hitainta työvaihetta tai mahdollista jatkaa töitä myöhempään. Tässä vaiheessa käydään vielä yksittäiset työvaiheet ja kestot läpi pyrkien löytämään mahdollisimman sujuva tuotanto ja työvaiheiden väliset vaihdot.
5. Työn virtauksen tasaaminen, jossa tasataan kaikki työvaiheet yhdeksi tuotantojunaksi (Kuva 24.) määritetyn etenemisnopeuden mukaan. Mitoitetaan resurssit

tarvittaviksi ja sanktioidaan aliurakat. Työn virtausta tasapainotetaan työvaiheita yhteen niputtamalla, työvaiheiden järjestystä hienosäätämällä ja tahtialueita optimoimalla. Useimmin käytetyt hienosäätömekanismit ovat:

- tyhjät vaunut, jossa tehtävien väliin jätetään yksi tyhjä tahtiaika
- tuotannon vaiheiden lomittaminen
- pehmeä aloitus (pidennetään tahtiaikaa)
- junan pysäytys.

LOHKO B



Kuva 24. Tahtiaikatuotannon tuotantojuna. (Muokattu lähdetiedoista). [28, s.36.]

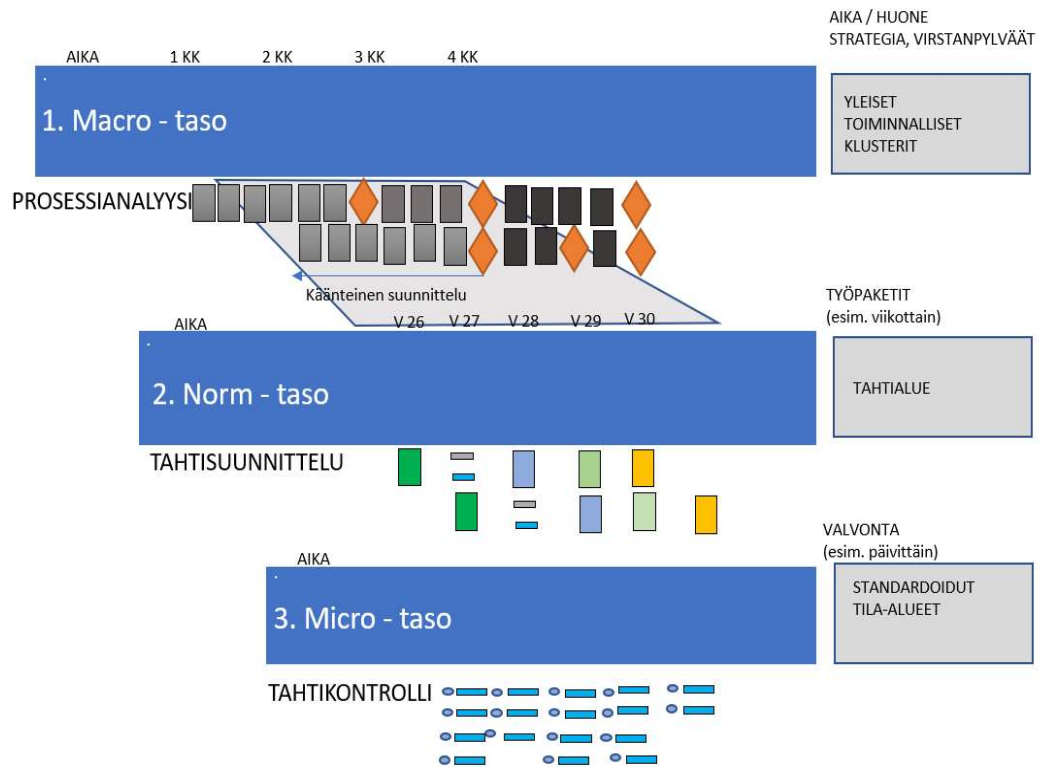
6. Tahtisuunnitelman ja tuotantoaikataulun viimeistely

Tuotanto-organisaatio hyväksyy aikataulun vasta sitten, kun on todennut sen olevan toteutettavissa ja jokainen organisaation jäsen on hyväksynyt suunnitelman yksimielisesti. [26, s. 531-532.]

4.3.2 Tahtisuunnittelun tasot

Janosch Dlouhy et al. esittivät tahtiaikasuunnittelulle kolme tahdin tasoa vuonna 2016 (Kuva 25). Heidän kehittämää menetelmää analysoitiin laajassa tapaustutkimuksessa ja menetelmää sovellettaessa rakennusvaiheita voitiin yhdistää niin, että rakennusaika puolittui jopa yhdestätoista kuukaudesta viiteen kuukauteen. Kolmen tason menetelmä

tarjoaa lisäksi johtajille tarvittavan avoimuuden, auttaa heitä tekemään parempia päätöksiä ja rakennushankkeen valvonta yksinkertaistuisi. Tapaustutkimuksessa ollut rakennushanke voitti menetelmän avulla ”German Project Management Award 2015” palkinnon. [24, s. 13.]



Kuva 25. Tahtiaikatuotannon kolme tasoa ja tahtiaikasuunnittelu. [24, s.17.]

Tahtiaikataulusuunnittelun kolme tasoa:

1. Macro-taso

- Hankkeelle suunnitellaan projektirakenne imuohjausta hyödyntäen, aloitetaan projektin loppupäästä. [24, s.15.]

2. Norm-taso

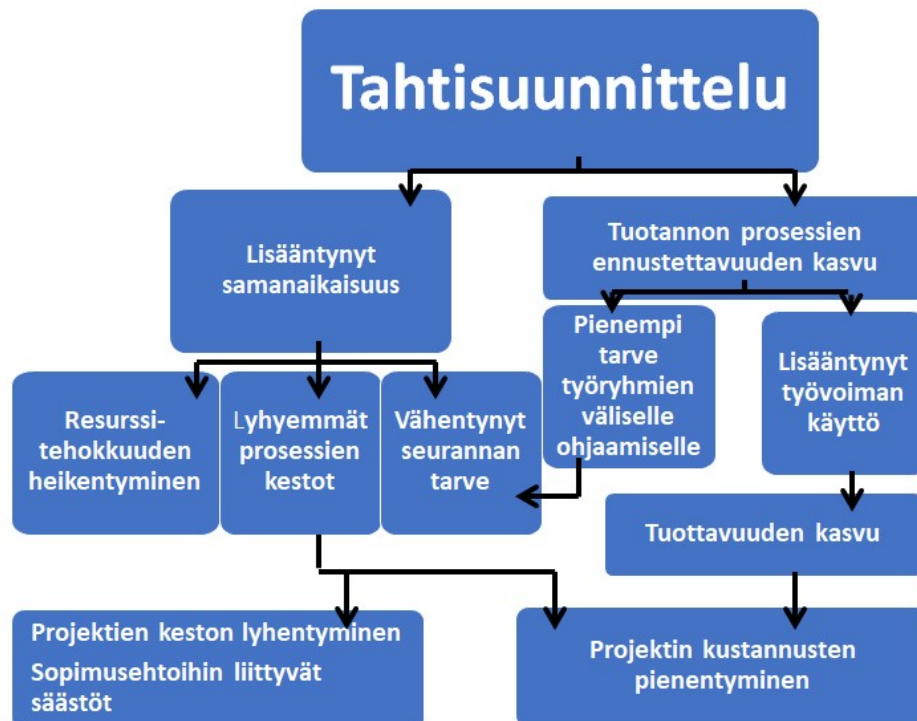
- Rakennettavat tilat tai alueet jaetaan toistuviin tahtialueisiin.
- Määritetään ns. ”tuotantojunan vaunut” yhdistelemällä töitä ja työryhmiä työpaketeiksi.
- Jokaiselle vaunulle lasketaan vakioitu määrä aikaa, tahtiaika. [24, s.15.]

3. Micro-taso

- Töiden alkaessa työpakettien sisällöt tarkennetaan yhdessä työmaajohdon ja työntekijöiden nokkamiesten kesken.
- Päivittäisissä kokouksissa ohjataan toteutusta ja kerätään informaatiota visualisointia ja dokumentointia varten. [24, s.16.]

4.3.3 Tahtisuunnittelun edut

Tahtiaikataulusuunnittelun odotetut hyödyt ovat projektin keston lyhentymisen ja kustannusten pienenemisen (Kuva 26). Tuotannon sujuvuudessa on odotettavissa kuitenkin katkoja, koska työvaiheiden vaihdot eivät kaikista suunnitelmallisuudesta ja ennakoitavuudesta huolimatta mitoitu samanaikaisiksi. Prosessissa pullonkaulana oleva työvaihe voi aiheuttaa hukka-aikoja työntekoon, jos työvoimankapasiteettia ei voida mukauttaa työmäärän vaihteluihin. Kapasiteetin menetystä pyritään huomioimaan viikoittaisissa työsuunnitelmissa työnsujuvuudesta saadun käyttökelpoisen palautteen ansiosta. [23, s. 4.]



Kuva 26. Tahtisuunnittelun odotetut hyödyt ja kustannukset. [23, s. 4.]

4.4 Tahtiaikataulu ja Last Planner

Last Planner System täydentää tahtiaikasuunnittelua helpottamalla epäsäännöllisten töiden vaihteluita, missä työvaiheiden jatkuva virtaus on mahdotonta. LPS-tuotannonohjaus edustaa hyvin joustavaa työnvaihtelun hallintaa, kun tahtituotannon koetaan erityisen jäykäksi tuotantomalliksi. Tahtituotannon jäykkyyteen vaikuttavat erityisen tarkat suunnitelmat ja niistä kiinni pitäminen. Se ei onnistu muuten, kuin tekemällä realistisia suunnitelmia tuotantoon. Last Plannerin avulla lisätään tuotannon reagoitakykyä ja joustavuutta ja mahdollistetaan tuotannon jatkuva kehittyminen. Tuotannonohjausjärjestelmät tukevat toisiaan monilla tavoin. Tahtituotanto standardoituina työkaluina tuo virtausnäkökulmaa tuotannonohjaukseen ja Last Planner -mekanismit tahtituotannon ohjaukseen. Last Planner helpottaa niitä työvaiheita, joihin tahtituotanto ei sovellu. [28, s. 37.]

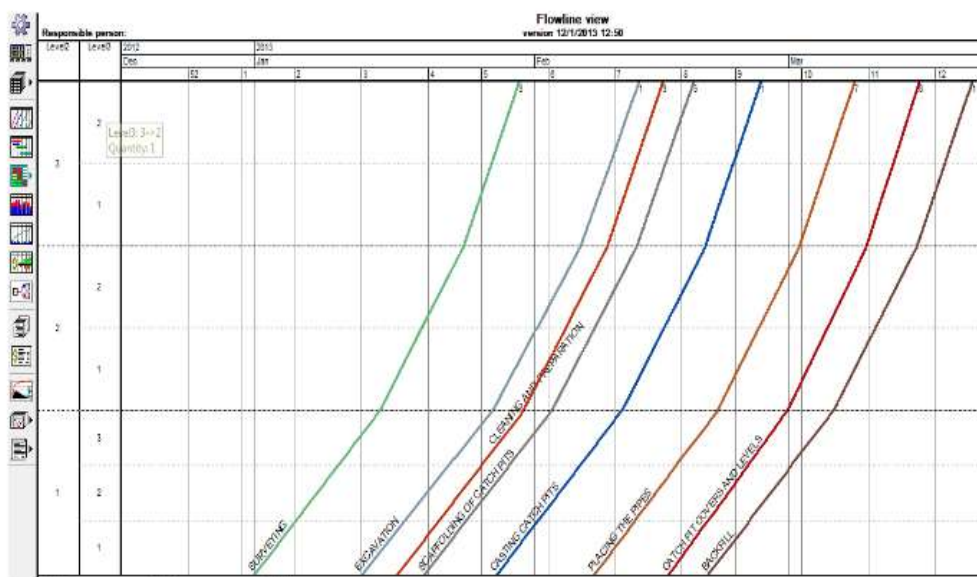
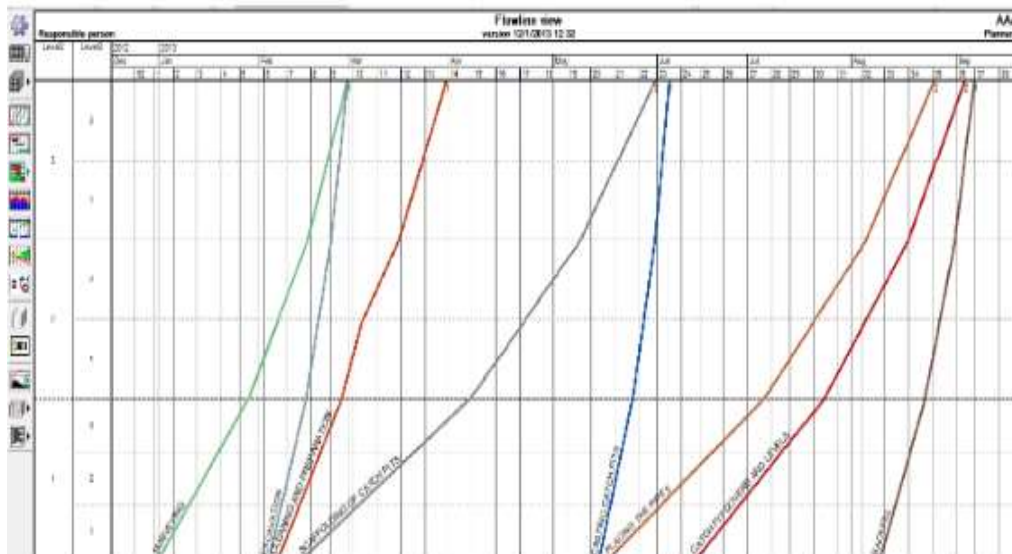
4.5 Tahtiaikataulu vs. vinoviiva-aikataulu

Vinoviiva-aikataulu ja tahtiaikataulu ovat visuaalisia ja tehtävien välisiä riippuvuuksia huomioivia aikatauluja (Taulukko 3).

Taulukko 3. Tahtiaikataulun ja vinoviiva-aikataulun ominaisuuksia. [29.]

Tahtiaikataulu	Vinoviiva-aikataulu
Resurssitehokkuus muuttujana	Välivarastot muuttujana
Ihmiset odottavat mestaa	Mesta odottaa ihmistä
Välivarastot yleensä nolla, joskus joitakin tahteja	Optimoidaan työvaiheiden resurssitehokkuutta
Vastaa vinoviiva-aikataulua, jossa kulmakerroin vakio	Sopii nykyisiin aliurakointi- ja työnjohtomalleihin
Digitaalisen selvä tapa esittää aika ja paikka	Analogisen tarkka tapa esittää aika ja paikka

Paikka-aikakaaviossa huomioidaan työtehtävien jatkuvuus (Kuva 27). Työtehtävät jatkuvat keskeytyksettä alueelta toiseen (ts. työn aloitus on ajoitettu niin, ettei häiriöitä synny edeltävien työvaiheiden kanssa). [30, s. 794.]



Kuva 27. Paikka-aikakaavio yllä, jossa työtehtävien jatkuvuus on huomioitu, eikä etenemisessä synny katkoksia. Alemmassa aikataulussa paikka-aikakaavioon on huomioitu työn jatkuvuus ja resurssien tasapaino tahtiaikataulun puitteissa, jolloin rakentamisaika lyhenee huomattavasti. [30, s. 794.]

5 Asiantuntijahaastattelut

Opinnäytetyössä suoritettiin kaksi strukturoimatonta haastattelua. Haastateltavina olivat Aalto-yliopiston professori (Professor of Practice) Olli Seppänen ja Lehto Tilojen työmaapäällikkö Thomas Åkermarck. Olli Seppänen antoi vastauksia tahtiaikataulun pilotointiin liittyvistä ongelmista ja haasteista. Thomas Åkermarck kertoi nykytilasta Lehdolla, kuinka työmaat aikataulutetaan ja antoi hyviä vinkkejä tahtiaikasunnitteluun. Molemmat haastattelut nauhoitettiin haastattelutilanteessa ja dokumentoitiin jälkepäin.

Asiantuntijahaastattelulla tarkoitetaan yleensä tilannetta, jossa haastateltavilta pyritään hankkimaan tietoa tutkittavasta ilmiöstä tai prosessista. Asiantuntija ei ole ensisijainen kiinnostuksen kohde, vaan asia ja tiedot, joita haastateltavalla henkilöllä oletetaan olevan. [31. s. 373.] Olli Seppänen valikoitui haastateltavaksi asiantuntijaosuuteen hänen vahvan Lean-taustansa takia. Hän on mm. Lean Construction Institute Finland (LCI):an hallituksessa. Teoriaosuuden tiedonhankintavaiheessa tutustuttiin Building 2030 -konsortioon, joka on Seppäsen ja Aalto-yliopiston aloittama hanke vuonna 2016. Hanke on tuottanut useita loppuraportteja rakennusalan tulevaisuuden muutoksista, digitalisaatiosta ja tahtituotannosta. Työmaapäällikkö Thomas Åkermarcin valikoituminen haastateltavaksi tähän opinnäytetyöhön juontaa tekemääni innovaatioprojektiin hänen työmaalla Vantaan Pumpupuistossa. Hänellä on mittava kokemus asuntorakentamisesta ja on ollut useissa moduulirakentamiskohteissa rakentamassa.

5.1 Olli Seppäsen haastattelun analyysi

Olli Seppänen on työskennellyt Leanin parissa vuodesta 2003, kun hän kirjoitti ensimmäisen julkaisunsa IGLC:ssä (The International Group for Lean Construction). Seppäsen mukaan kansainväliset tutkimukset paljastavat, että perinteisillä tuotantomenetelmillä alurakentaja tekee käyttämästään työajasta vain 30 % tehokasta työtä. Loput 70 % käytetään materiaalien etsintään, työkalujen etsintään, suunnitelmia ei ole tai jotakin muuta edellytystä ei ole, jotta pystyisi työskentelemään.

Häneltä kysyttiin mm. Leanin merkittävimmästä suunnittelunohjauksen työkalusta, johon hän kertoi kaikkien työkalujen olevan jollakin lailla toisiaan tukevia.

”Sosiaalisina työkaluina tunnettuja ovat mm. Big Room, jossa järjestetään tapaamisia kaikkien rakennushankkeen osapuolien kanssa. Co-Location on lähes sama asia, siinä työskennellään samoissa tiloissa kaikki alura-koitsijat ja suunnittelijat sekä pääurakoitsija sekaisin. Organisaatiota pyritään eriyttämään ja kehittämään ryhmittymiä, jotka ratkaisevat tiettyjä ongelmia. Esimerkiksi runkoklusteri, jossa kaikki urakoitsijat istuvat yhdessä pohtimassa ja ratkomassa ongelmia. Last Planner on ainut teknisempi työkalu, jolla paljon tukevia työkaluja, kuten Sitedrive, Touch Plan, joka perustuu kosketusnäyttöön, vPlanner, Autodesk BIM 360 Plan, Lean-Sight, Suomessa VisiLean jne”, kuvailee Seppänen.

Seuraavassa kysymyksessä haluttiin selvittää, mitä tahtituotantoon lähtevän yrityksen tulisi huomioida erityisesti. Seppäsen mukaan kulttuurin muutos on suurin haaste ja sen lisäksi yritys joutuu lisäämään alkuvaiheessa resursseja työnohjaamiseen, jotta ongelmat saadaan poistettua.

”Kulttuurin muutos (Lean), jossa lähdetään prosessia kehittämään ja parantamaan jatkuvasti, vaatii koulutusta, aikaa ja halua yrityksen johdolta. Yritys, joka haluaa lähteä Leaniin ja tahtituotantoon, joutuu käyttämään rahaa aikaisemmassa vaiheessa suunnitteluun. On uskottava siihen, että kustannukset tuottavat joskus takaisin”, Seppänen sanoo.

Monet pilottihankkeet ovat osoittaneet, että tahtituotannossa ongelmat syntyvät paljon nopeammin ja on paljon sellaisia ongelmia, joita normaalituotannossa ei tule esille. Tahtituotannossa pyritään jokaiselle työntekijälle luomaan optimaaliset olosuhteet ja varmistamaan, että jokaisella mestalla on joku tekemässä tehokkaasti töitä. Se vaatii enemmän, parempaa ja tarkempaa johtamista sekä vaatii enemmän henkilöitä, jotka luovat niitä edellytyksiä. Normaalimiehityksellä ei onnistuta vastaamaan siihen, mitä ensimmäisessä tahtituotantohankkeessa ilmenee ongelmia. Leaniin sijoittanut yritys tai organisaatio on alussa hyvin pitkälle uskon varassa, että alussa sijoitettu lisäresursointi suunnitteluun ja työnjohtoon maksaa jossakin kohtaa rakennushanketta itsensä takaisin lyhyempänä läpimenoaikana.

Yleisohjeeksi Seppänen neuvoo, että ensimmäisessä tahtiaikataulukkoiteessa kannattaa varautua, että kaikki ei mene suunnitellusti. Muutoksia tulee päivittäin tahtiin. Ohjauksena voidaan pysäyttää juna tai hypätään yksittäisen huoneen yli ja heitetään

se tuotantojunan loppuun. Jossain välissä on hyvä pitää päivän mittaisia puskuriaikoja. Hyvä tahtiaika esimerkiksi sisävalmistustöissä olisi viikon tahtiaika, jossa viikonloput ovat pelivarana tekemättömille töille.

”Olennaista tahtituotannossa on pitää tavoitteet selvillä kaikilla osapuolilla, jotta rakentamisen ennustettavuus säilyisi”, selvittää Seppänen.

Haastattelun loppuksi kysytään vielä alurakoitsijoiden roolista keskustelua ja heidän saamisesta mukaan suunnittelemaan tahtiaikataulua. Aliurakoitsijoiden houkuttelu tahtituotantoon mukaan on Seppäsen mukaan helppoa, koska suunnitellussa tuotannossa pääsee tekemään mestoja.

”Kaikilla on ymmärrys, mitä ollaan tekemässä. Jos ollaan sovittu, että huone tehdään päivässä, niin silloin jäädään vaikka ylitöihin, että huone valmistuu ja seuraavana päivänä pääsee seuraava jatkamaan”, sanoo Seppänen.

5.2 Thomas Åkermarckin haastattelun analyysi

Thomas Åkermarck toimii työmaapäällikkönä Lehto Asunnoilla. Häneltä kysyttiin mm. Leanin näkymisestä Lehdon työmailla.

”Modulaarinen rakentaminen on varmasti hyvä esimerkki hukkaa poistavasta rakentamisesta. Esimerkiksi kylpyhuonemuodin asentamiseen kuuluu reilu tunti, parhaana päivänä voidaan asentaa 15 ”mökkulaa”. Jätelajittelussa pyritään sekajätteet saamaan minimiin ja säästetään kustannuksia. Työnjohtajat tarkastavat aina määrälaskelmat itse ja välttävät turhilta tai hukkarastoilta ja samalla varmistetaan, että materiaalia on tarpeeksi”, kuvaa Åkermarck.

Toinen kysymys kosketti Lehdon talousohjattua konseptia ja sen tunnuspiirteitä. Åkermarckin mukaan Lehdon Talousohjatun konseptin merkittävin perusta on vakioidut ratkaisut. Hän kertoo usean vuoden yhteistyön elementtitoimittajan kanssa edesauttavan kuvioiden hiomista priimakuntoon.

”Elementtejä tilatessa tarvitsee enää tabletilta näpytellä tarvittavat elementit ja tavara lähtee liikenteeseen. Seurantaa on kehitetty niin, että tietää jatkuvasti missä mennään. Tilatut valmistumassa olevat elementit näkyvät eri värillä, kuin mitä valmistuneet varastossa olevat ja kuljetukseen lähteneet elementit ovat”, sanoo Åkermarck.

”Perinteisessä rakentamisessa joutui nykimään useista naruista yhtä aikaa ja perä jälkeen, että homma lähti eteenpäin. Vakiodut ratkaisut ja toimittajat tietävät mitä pitää tehdä, missä ja milloin.”

Åkermarck kertoo, että ei tarvitse vetää kuin yhdestä narusta, niin kaikki tapahtuu kuin itsestään. ”Tavoitteena on, että Lehdon työmaalle on kiva tulla”, hän summaa haastattelun lopuksi.

5.3 Yhteenveto haastatteluista

Olenlaisin asia Lean filosofian näkökulmasta on ulkoisten tekijöiden vaikutus työn tuotavuuteen. Seppäsen mukaan on tehty paljon kansainvälisiä tutkimuksia rakentamisessa syntyvästä hukasta ja että mestoista valmistuu vain noin puolet aikataulunmukaisissa suunnitelmissa. Erityinen huomio tulee kiinnittää asioihin, joihin alurakoitsijat eivät pysty vaikuttamaan, kuten logistiikkaan, materiaalivirtoihin, varastoalueisiin sekä jätteen poistoon työmaalla.

Seppäsen haastattelussa kävi hyvin ilmi se, että yritys, joka suunnittelee tahtituotannon käyttöönottoa, joutuu panostamaan tahtituotannon käyttöönoton alkuvaiheessa työnhajukseen huomattavasti enemmän kuin perinteisessä tuotannonohjauksessa. Seppänen on vierailut monissa pilottihankkeissa ja missään asiat ei ole koskaan mennyt niin kuin suunnittelee. Hänen mukaansa tärkeintä on saada kaikki ymmärtämään, mitä ollaan tekemässä ja miten ongelmat ratkaistaan päivittäisissä tahtipalaverissa.

Lehdon vakiodut esivalmisteet ja kumppanuudet eri toimijoiden kanssa vahvistuivat talousohjatun rakentamisen kulmakiviksi. Thomas Åkermarck on urallaan rakentanut nopeatahtista asuntorakentamista ja tietää nopean rakentamisen keinot, jotka perustuvat hyviin alurakoisijasuhteisiin työmaalla. Varsinaista tahtiaikataulua ei Åkermarck

ole aikaisemmin käyttänyt, mutta häneltä saatiin case -kohteen tahtiaikataulun tekemiseen paljon hyviä neuvoja.

Työmaapäällikkö Thomas Åkermarck tekee alustavat yleisaikataulut itse johtamilleen työmaille ja rakennettavan kohteen vastaava mestari tekee tarkemman aikataulun kerroksittain kohteesta. Sisävalmistusvaiheesta vastaava työnjohtaja tekee sisävalmistusvaiheen aikataulun. Urakkapalavereita on syytä jaksaa pitää, jos aikoo saada työt sujumaan työmaalla jouhevasti. Alaurakoitsijoita arvostamalla töitä tehdään paljon nopeammassa tahdissa, kuin karttamalla ja välttelemällä töiden yhteensovittamisiin liittyvin asioiden selvittelyä.

6 Aikataulun laadinta esimerkkikohteeseen

6.1 Hotellirakennushankkeen yleisesittely

Hotellirakennushanke sijaitsee Helsingin keskustassa ja suunniteltu rakentamisajan-kohta alkaa syksyllä 2019. Kohteen yleistiedot ovat:

- Suunnittelualan pinta-ala 893 m²
- Hotellirakennus 9 kerrosta + kellari
- Kellarissa aamiaistarjoilu, aula ja WC:t
- 1. kerros erityisen korkea 5,9 m
- Majoituskerrokset 2.-9.
- Ilmanvaihtokone 9. kerrokseen sisäpihan puolelle
- Muut tekniset tilat (sähkö-, ja teletilat, kellari- ja 1. kerrosta palveleva IV-kone, lämmitys- ja jäähdytys huone) sijoitetaan kellariin ja 1. kerroksen yläpuoliselle tekniikkaparvelle. [25.]
- Rakennuksen tontti on ahdas ja varastointimahdollisuudet mitättömät ja vaatii välivaraston vuokraamisen jostakin lähitonteilta. Välivaraston vuokraaminen on välttämätöntä, jotta pystytään toimittamaan tahtituotannon Just-In-Time toimituksia. Tilan ahtaus vaikeuttaa nostoja ja ne tulee tarkoin suunnitella etukäteen. Opinnäytetyössä suositellaan nostamaan mahdollisimman paljon materiaaleja rungon mukana kerrokseen varatyökohteisiin, jotta vältetään suuremmilta haa-laustöiltä rakentamisen myöhemmissä vaiheissa

Sisävalmistusvaiheiden aikataulutukseen liittyviä erityispiirteitä ovat: [25.]

Runkorakenteet

- Teräsbetoninen elementtirunko, nostetaan yhtenä lohkona ylös.

Välipohjat

- Paikallavälipohjat, joten kuivumisajat huomioitava ja tehtävä tarvittavat kosteusmittaukset ennen pintaplaanovalua ja lattiapintojen asennusta.

Tekniset tilat

- Rakennuksen ylimpään 9:än kerrokseen sijoitetaan ilmanvaihtokonehuone.
- Muut tekniset tilat sijoitetaan kellariin ja 1. kerroksen yläpuoliselle tekniselle parvelle (mm. sähkö- & teletilat, lämmitys- & jäähdytys huone).

Kylpyhuonemoduulit

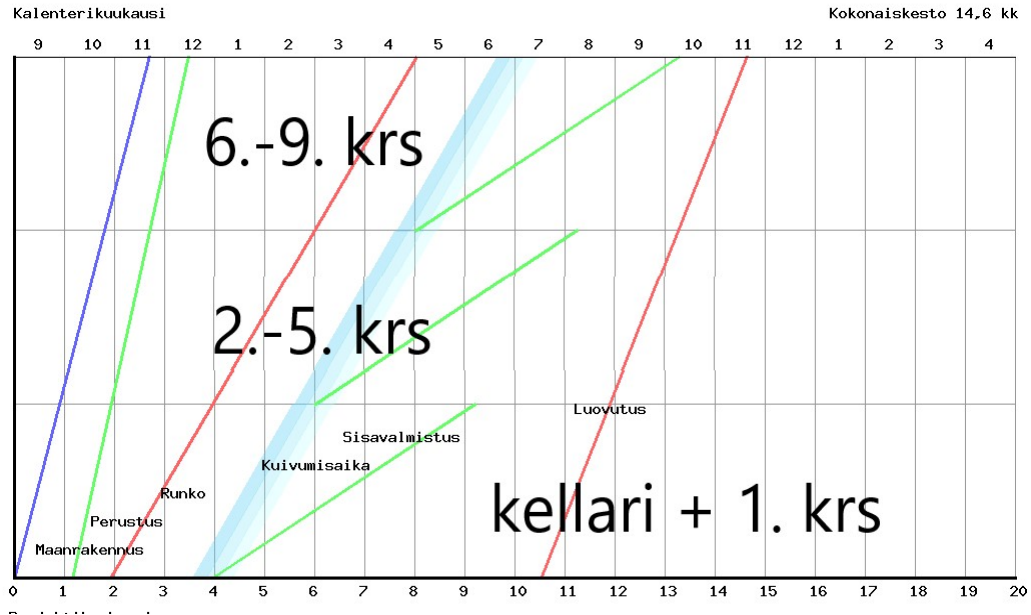
- Kohteeseen asennetaan kylpyhuonemoduulit, jossa talotekniikkaa esiasennettuna pystyhormiin (ilmanvaihto, lämmityskonvektori, vesijohdot, ryhmäkeskukset). Tämä vähentää paikallarakentamista huomattavasti. Yhden moduulin asentamiseen menee keskimäärin 1 tunti (2RAM+1 LVI-asentaja).

Rakennuksen tontti on ahdas ja varastointimahdollisuudet mitättömät. Vaatii välivaraston vuokraamisen jostakin lähitonteilta. Välivaraston vuokraaminen on välttämätöntä, jotta pystytään toimittamaan tahtituotannon Just-In-Time toimituksia. Tilan ahtaus vaikeuttaa nostoja ja ne tulee tarkoin suunnitella etukäteen. Opinnäytetyössä suositellaan nostamaan mahdollisimman paljon materiaaleja rungon mukana kerrokseen varatyökohteisiin, jotta välttyään suuremmilta haalustöiltä rakentamisen myöhemmissä vaiheissa.

6.2 Lähtötietoina toimivat aikataulut

Hankkeen kokonaiskesto arvioitiin Ratu Talonrakentamisen ajoitusmalli 3.0 ohjelmalla. Hankkeen kokonaiskestoksi saatiin 14,3 kuukautta (Kuva 28), kun lähtötietoina on: [25.]

- rakennustyyppinä on asuinkerrostalo (muina vaihtoehtoina toimistorakennus, pienkerrostalo, rivitalo)
- osaelementtitekniikka
- kestot määräävä yksikkö 19724 m³
- lohkojen määrä 3 (tarkoitus aloittaa yleiset tilat omana osakohteena + kahtena osakohteena majoituskerrokset)
- aloituskuukausi: syyskuu
- paikkakunta: Helsinki



Kuva 28. Ratu talonrakentamisen ajoitusmallilla laskettu kokonaiskesto. [7.]

6.3 Tahtiaikataulun laatiminen sisävalmistusvaiheista

Tiedonkeruu

Tahtiaikataulun tekeminen aloitettiin keräämällä tietoa tuotantoprosessista. Työssä päädyttiin käyttämään ensisijaisesti 6-vaiheista kalifornialaista tahtisuunnittelumallia, jossa pääpaino ei ole rakennusajan lyhentämisessä, vaan tuotannon ennakoitavuudessa. Lisäksi pyrittiin löytämään 3- tasoisesta tahtisuunnittelumallista kohteeseen parhaiten soveltuvat opit.

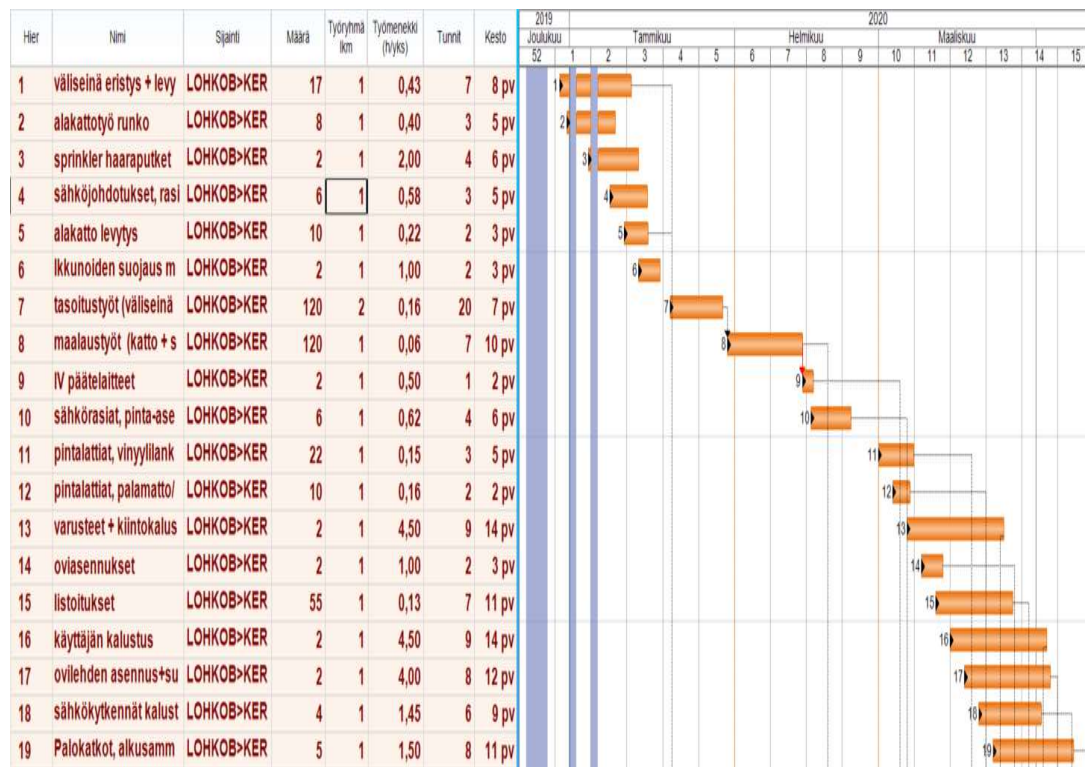
Kohteessa käytetään paljon esivalmistusta, joka nopeuttaa paikallarakentamista. Merkittävin esivalmiste on kylpyhuonemoduuli, jonka yhteydessä on hotellihuoneiden lämmityskonvektori asennettuna. Sen kautta tulee myös ilmanvaihto hotellihuoneeseen. Lisäksi ryhmäkeskukset ovat asennettuna kylpyhuone-elementtiin, mikä vähentää sähköasennuksia huomattavasti. [25.]

Joitakin tavoitteita ja aikataulusuunnitteluohjeita sain Lehdon toimihenkilöiltä, suurimman osan asiantuntijahaastattelussa työmaapäällikkö Thomas Åkermarckilta. Hänen

mukaan välitavoitteita kannattaa asettaa rungon valmistumisesta laskien eteenpäin seuraavasti:

- Noin kahden viikon päästä rungon valmistumisesta tulisi saada lämmöt päälle koko rakennukseen. Merkittävä tavoite, jotta runko pääsee kuivumaan kunnolla ennen pinta-asennuksia.
- Seuraava välitavoite rungon valmistumisesta noin 5-6 viikon päästä tulisi aloittaa tasoitetyöt.
- Rungon kuivatus ottaa oman aikansa ja lattiapintoja pitäisi päästä aloittamaan noin 3,5 kuukauden päästä rungon valmistumisesta.

Tahtiaikataulun suunnittelun lähtökohdaksi laadittiin ensin kaikista sisävalmistusvaiheiden tehtävistä jana-aikataulu (Kuva 29). Työtehtävien sisältöjen kestojen ja riippuvuuk-sien määrittämisessä hyödynnettiin Ratu-aikataulutietoja ja asiantuntijoilta saatuja kokemustietoja. [33.]



Kuva 29. Ensimmäisestä hotellihuoneita sisältävästä kerroksesta jana-aikataulu, läpimenoaika noin 14,5 viikkoa. [25.]

Tahtialueiden määrittely

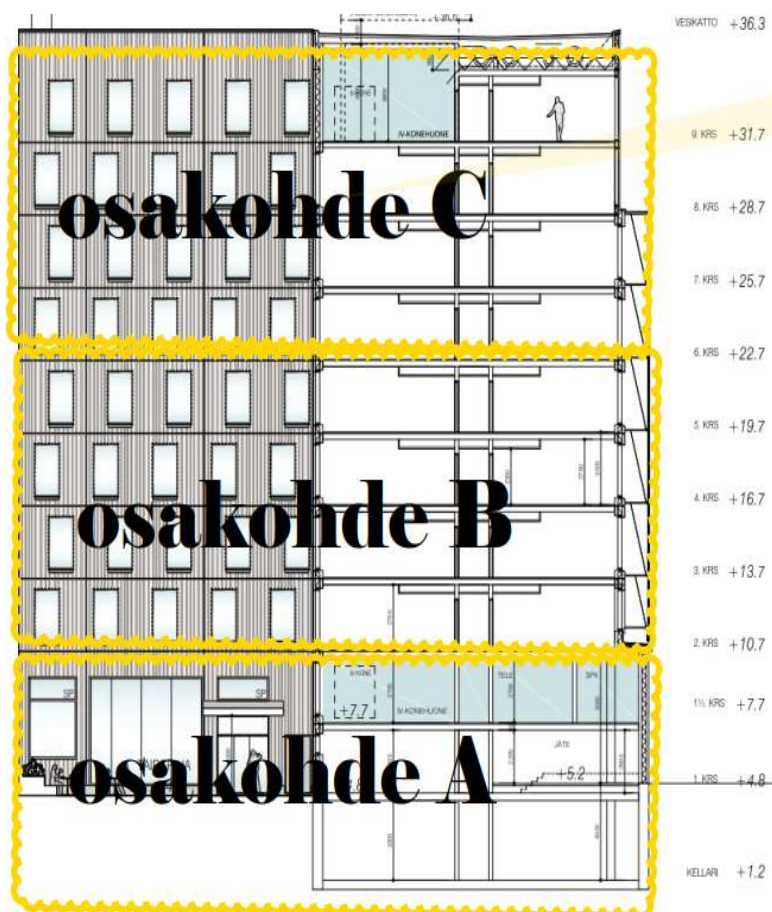
Hotellin L:n muotoinen pohja-ala on tarkoitus runkovaiheen osalta nostaa yhdessä lohossa. Ehdotuksessa rakennus jaetaan osakohteisiin sisävalmistusvaiheissa seuraavasti:

Osakohde A

Alimmat kaksi kerrosta ovat yleisiä tiloja (Kuva 30) ja niillä on omat erityistarpeensa käyttönsä puolesta, esim. keittiöt, aamiaistarjoilu, näyttelytila. Tämä on osakohde A, joka jää tahtiaikataulun ulkopuolelle

Osakohteet B ja C

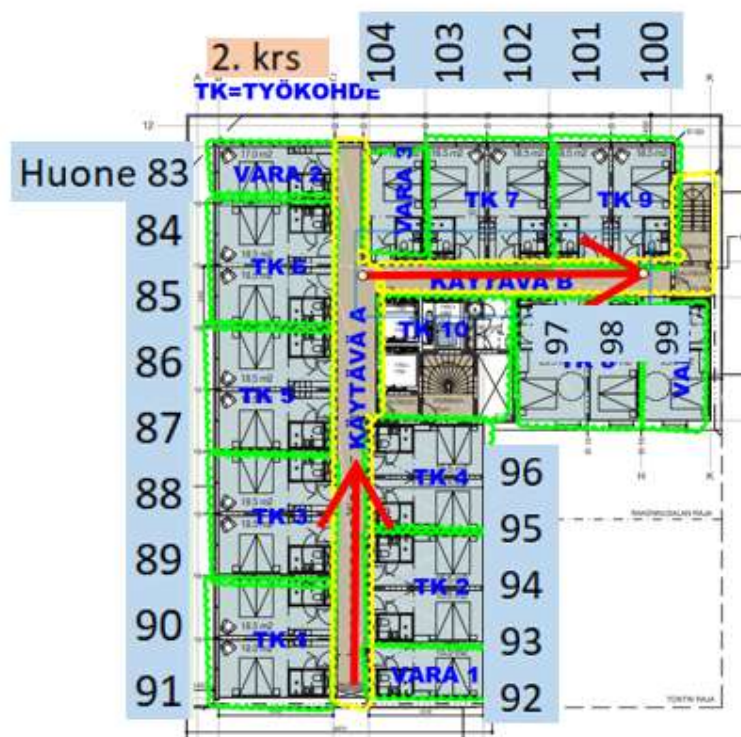
Majoitustiloja 8 kerrosta, jotka jaetaan kahteen osakohteeseen B ja C sillä perusteella, että sisävalmistusvaiheita aloitetaan osakohteessa B ennen rungon valmistumista.



Kuva 30. Sisävalmistusvaiheessa rakennuksen pilkkominen kolmeen osakohteeseen [25].

Tahtialueeksi muodostui tässä työssä kahden vierekkäisen huoneen alue, jotka nimettiin työkohte 1:ksi, työkohte 2:ksi jne. Perusteena tahtialueelle oli kevyen väliseinän rakentaminen huoneiden väliin. Joka toinen huoneen seinä on teräsbetonielementtiseinä, joka rajaa tahtialueet. Kullekin tahtialueelle suunniteltiin työpaketit, joiden tahtiajat vastasivat toisiaan. Yksittäiset hotellihuoneet, joihin ei rakenneta kevyttä väliseinää, toimivat varamestoina ja häiriöiden tasaamiseen tarkoitettuna työkohteena. Samanlaisia tahtialueita kerroksessa on 9 ja kymmenes tahtialue muodostuu sähkökeskus/varastohuoneesta ja siivoushuoneesta.

Töiden etenemissuunta on kuvan punaisten nuolten suuntaan (Kuva 31). Työjärjestys etenee loogisesti ja siirtyminen huoneesta toiseen ei vaadi turhaa liikuskelta työkohteiden välillä. Seuraavaan työkohteeseen siirrytään edellisen valmistuttua useimmin vain lyhyen matkaa käytävän toiselle puolelle.



Kuva 31. Kerroksen huoneet on jaettu tahtialueisiin [25].

Pystysuuntaiset työt on jätetty tarkoituksella tahtialueiden ulkopuolelle, vaikka ne löytyvätkin aikataulupohjasta. Käytävät eivät sovellu varsinaisesti tahtialueeksi siinä merkityksessä kuin hotellihuoneet, ja ne jäävät varsinaisen tuotantojunnan ulkopuolisiksi teh-

täviksi. Tahdeista jäävä ylimääräinen aika käytetään sellaisiin tehtäviin, joita ei ole laitettu syystä tai toisesta työpaketteihin.

Sisävalmistusvaiheen työt [25.]

Tahtiaikataulu alkaa siinä vaiheessa, kun rakennuksen vesikattotyöt ovat saatu valmiiksi ja rakennuksen ulkovaippa on tiivis. Ensimmäisenä työnä suoritetaan pintaplaanovalu, joka vaatii valmisteluineen yhden viikon verran aikaa. Kohteen sisävalmistusvaiheen työt ovat lueteltu alla:

- Pintaplaanovalu (Tehdään ensimmäisellä viikolla tahtiaikataulussa, varsinainen tahtiaikataulu opinnäytetyössä alkaa väliseinärungon levytyksellä)
- Väliseinärungon levytys + eristys (vs-runko rakennettu rakennuksen rungon mukana)
- Alakattorungon (metalli) asennus hotellihuoneeseen
- Sprinklerjärjestelmän asennus (haaraputki käytävästä hotellihuoneen alakaton alle)
- Sähkötyöt hotellihuoneen alakaton alle
- Hotellihuoneen alakaton levytys
- Tasoitustyöt (kevyt väliseinään osatasoitus, katto + elementtiseinät ylitasoitus)
- Maalaustyöt (ruiskumaalaus 2 krt.)
- Sähkörasia pinta-asennukset hotellihuoneen alakattoon + valaistus
- Pintalattiat, vinyylilankku 70 % hotellihuoneeseen + 30 % matto
- Varusteet, kiintokalusteet, naulakkovaatekaappi + jääkaappi
- Hotellioven asennus + heloitus
- Listoitus (sähkölista jalkalistana)
- Sähkökytkennät käyttäjän asentamiin kalusteisiin
- Palokatkot 1/hotellihuone, alkusammutuskaluston asennus (käsisammuttimet + sammutuspeitteet paloturvallisuussuunnitelman mukaan)
- Käytävät alakattorunko + levytys, valaistus, sähköasiat IV-päätelaitteet

Työjärjestys

Työjärjestyksen kannalta yksi ratkaiseva asia on suunnitella pintaplaanovalujen ajan-kohta. Mitä aikaisemmassa vaiheessa päästään plaanovalu tekemään, sitä nopeam-

min pääsee asentamaan lattiapäällysteitä. Talvella se vaatii rakentamisaikaista lämmitystä ja hyvää suojausta heti runkovaiheen rakentamisen aikana. Kesällä ei ole ongelmaa, koska lämpötila pysyy yölläkin yli +10 asteessa. Jos runkovaiheessa on nostettu materiaaleja kerroksiin (esim. kipsilevyjä), ne on nostettava pois tieltä valun ajaksi seinille tehdyille pukeille/telineille. [33.]

Toinen vaihtoehto on tehdä pintaplaanot siinä vaiheessa, kun väliseinärungot ovat asennettu ja seinät levytetty. Kun pintaplaano jätetään myöhempään vaiheeseen, kannattaa kaikki mahdollinen materiaali nostaa rungon mukana kerroksiin, mitä keritään asentamaan ennen plaanovalua. Näin säästytään turhilta haalaustöiltä. [33.]

Tässä ehdotuksessa päätetään pintaplaano valaa heti kun vain mahdollista, eli heti kun vaippa on ummessa ja vesikatto päällä. Etuputsimies huolehtii samalla plaanovaluvalmistelut, kuten reikien tukkimiset ja siivouksen, kun putsaa silikaattiliimat holvin alapinnasta. Näin rakennus pääsee kuivamaan. Etuputsimies voi aloittaa työt paria kerrosta alempana holvin sementtiliiman hionnan ja plaanovalmistelut, kun runkoporukka on menossa ylöspäin. Koska sisärakentamisajankohta alkanee sydäntalvella, on tärkeää laittaa rakennusaikainen lämpö päälle heti kun vain suinkin mahdollista. Etuputsimiehen perään kannattaa laittaa heti rungonaikana tehtävät LVIS-työt, eli IV-runkoputket, sprinklerijärjestelmän rakentaminen, sähköjohdotukset kuiluun/käytäviin kiskot jne. Tärkeää on tulpata IV-kanavan päät, ettei vesi pääse putkistoihin. Yhtäkkinen parin viikon sadekuuro voi saada putket täyttymään vedestä. [33.]

Väliseinärunkoasennukset voidaan aloittaa hyvissä ajoin ennen kuin runko on ylhäällä. Alajuoksut, yläjuoksut ja pystyrangat voidaan asentaa paikoilleen, niin jää enää eristys ja levytystyöt, kun katto ja lämmöt on päällä. Samalla kun levytetään seinät, on huoneissa asennettava alakattorunko eteiseen. [33.]

Tarvittavat LVIS-asennukset tehdään ennen kuin huoneen alakatto laitetaan kiinni. Hyvä tapa on käyttää peittolupalistaa, josta varmistetaan, että kaikki tarvittavat asiat on tehty alakaton yläpuolella. Sprinklerihaarat käytävältä täytyy olla tässä kohtaa paikallaan. [33.]

Tasoiutus- ja maalaustyöt kannattaa teettää niin, että kahdessa ylemmässä kerroksessa kulkee tasoiusmiehet ja kolmannessa tulee maalari perässä. [33.]

Maalareita varten täytyy varata viikko aikaa/kerros tehdä mestan vastaanottopöytäkirjat ja katsoa, että kaikki paikat ovat puhtaita ja ettei löydy reikiä seinistä tai eristämättömiä putkia katosta jne. Näin säästytään ylimääräisiltä kustannuksilta ja moneen ylimääräiseen kertaan maalaamiselta. [33.]

Lattiapintojen asennukset koostuvat käytävien mattoasennuksista ja hotellihuoneiden vinyylilankkuasennuksista. Huoneisiin tulee lisäksi 30 % joko kivilaattaa tai mattoa. Useimmat lattaipäällysteet vaativat betonilaatan kuivatusta 80-90 %:n suhteelliseen kosteuteen. Parketti on kuivatettava 60%:n suhteelliseen kosteuteen [25.]

Varustukset, kaapit, yms. kannattaa asentaa ennen oviaasennuksia ja listoituksia. Näin listat löytää heti omat paikkansa, eikä jää listoittamattomia kohtia huoneeseen. [33.]

Sähköasentaja asentaa sähköjohdot listoituksen alle ja samalla asentaa valasimet ja muut pinta-asennukset. [33.]

Oviasennukset ja listoitukset kannattaa tehdä yhtenä työpakettina. Oviasennuksissa on syytä jättää ovilehti asentamatta, koska käyttäjä on tulossa asentamaan vielä omat kalusteensa. Ovikarnit täytyy muistaa suojata hyvin, ettei ne saa kolhuja kalusteasennuksista. [33.]

Käyttäjän suorittamaan kalustamiseen kannattaa varata runsaasti aikaa. Hotellihuoneiden kalusteet tarvitsevat hyvin suunnitellut logistiset kuviot, jotta työmaa ei mene tukkoon [34.]

Ovilehdet asennetaan hotellihuoneen ulko-oviin ja sähköasentaja käy tekemässä tarvittavat sähkökytkennät käyttäjän kalusteisiin.

Viimeisenä tahtiaikataulutettavana työvaiheena on alkusammutuskaluston asennus, kuten pikapalopostit, käsisammuttimet ja sammutuspeitteet. Alkusammutuskalusto sisältyy pelastussuunnitelman palotekniseen osaan. [25.]

Yksittäisten työvaiheiden kestojen määrittäminen

Yksittäiset työvaiheet taulukoitiin Exceliin (Kuva 32) ja laskettiin kullekin työvaiheelle Ratu-menekillä työvaiheiden kestot tahtialueelle.

	Määräyksennus	H-koikeus mm=2700		H-koikeus mm=2700		H-koikeus mm=2700		H-koikeus mm=2700		H-koikeus mm=2700	
		Lattia	m ²	Lattia	m ²	Lattia	m ²	Lattia	m ²	Lattia	m ²
Väliseinät	1178	Huone B2	6,1 16,47	Huone I02	6,1 16,47	Huone I06	6,1 16,47	Huone I10	6,1 16,47	Huone I14	6,1 16,47
Väliseinien suuttimäärä m ²		Huone B4	0 0	Huone I04	0 0	Huone I08	0 0	Huone I12	0 0	Huone I16	0 0
Tavaran vastaanotto ja välivara		Huone B6	6,1 16,47	Huone I06	6,1 16,47	Huone I10	6,1 16,47	Huone I14	6,1 16,47	Huone I18	6,1 16,47
Määrä		Huone B8	0 0	Huone I08	0 0	Huone I12	0 0	Huone I16	0 0	Huone I20	0 0
-rakotus 1. - 4. krs		Huone B7	6,1 16,47	Huone I07	6,1 16,47	Huone I11	6,1 16,47	Huone I15	6,1 16,47	Huone I19	6,1 16,47
-rakotus, malka < 50 m		Huone B8	0 0	Huone I08	0 0	Huone I12	0 0	Huone I16	0 0	Huone I20	0 0
-lattiainnot, malka 20 - 50 m		Huone B5	6,1 16,47	Huone I05	6,1 16,47	Huone I09	6,1 16,47	Huone I13	6,1 16,47	Huone I17	6,1 16,47
Määrä		Huone B9	0 0	Huone I09	0 0	Huone I13	0 0	Huone I17	0 0	Huone I21	0 0
-1600		Huone S1	0 0	Huone I11	0 0	Huone I15	0 0	Huone I19	0 0	Huone I23	0 0
-1400		Huone S2	0 0	Huone I12	0 0	Huone I16	0 0	Huone I20	0 0	Huone I24	0 0
Huoneistojen pöytätyöt		Huone S3	6,1 16,47	Huone I13	6,1 16,47	Huone I17	6,1 16,47	Huone I21	6,1 16,47	Huone I25	6,1 16,47
-1600		Huone S4	0 0	Huone I14	0 0	Huone I18	0 0	Huone I22	0 0	Huone I26	0 0
-1400		Huone S5	6,1 16,47	Huone I15	6,1 16,47	Huone I19	6,1 16,47	Huone I23	6,1 16,47	Huone I27	6,1 16,47
Määrä		Huone S6	0 0	Huone I16	0 0	Huone I20	0 0	Huone I24	0 0	Huone I28	0 0
-1600		Huone S7	6,1 16,47	Huone I17	6,1 16,47	Huone I21	6,1 16,47	Huone I25	6,1 16,47	Huone I29	6,1 16,47
-1400		Huone S8	0 0	Huone I18	0 0	Huone I22	0 0	Huone I26	0 0	Huone I30	0 0
Määrä		Käytävä A	0 0	Käytävä B	0 0	Käytävä C	0 0	Käytävä D	0 0	Käytävä E	0 0
Loppusumma		0,47		0,47		0,47		0,47		0,47	
0,47											
TTH-KERROIN											

VÄLISEINÄT	Käytävä B	Krs									YHTEENSÄ
		2. krs	3. krs	4. krs	5. krs	6. krs	7. krs	8. krs	9. krs		
Määrä neliönä (m ²)			50,49	50,49	50,49	50,49	50,49	50,49	50,49	34,02	387,45
Työryhmä (2+0)		2+0	2+0	2+0	2+0	2+0	2+0	2+0	2+0	2+0	
Työmeneikki tth/(m ²)		0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	
Yht		23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	16,0	182,1
Työpäiviä/työryhmä		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	11,4
KESKIARVO TAHTIAIKA/HUONE/PÄIVÄÄ											
			0,20		LOHKO A	0,2		LOHKO B	0,2		
Käytävä A											
Määrä neliönä (m ²)			98,82	98,82	98,82	98,82	98,82	98,82	98,82	98,82	790,56
Työryhmä (2+0)		2+0	2+0	2+0	4+0	4+0	4+0	4+0	4+0	4+0	
Työmeneikki tth/(m ²)		0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	
Yht		46,4	46,4	46,4	46,4	46,4	46,4	46,4	46,4	46,4	371,6
Työpäiviä/työryhmä		2,9	2,9	2,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	16,0
Työpäiviä/kerros		4,4	4,4	4,4	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,5	

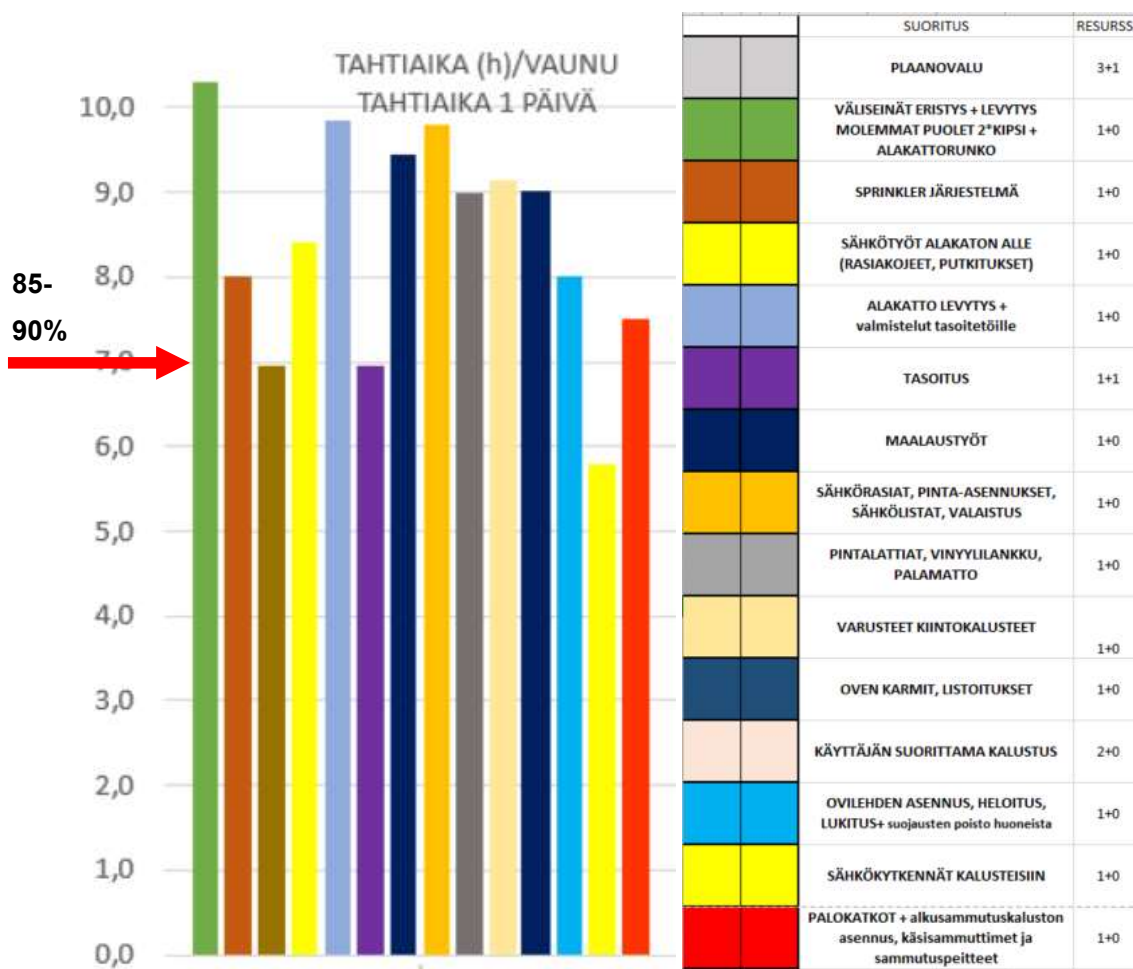
Kuva 32. Kaikista työvaiheista laadittiin Excel -taulukko, jossa pystyi eri työryhmillä kokeilemaan työvaiheissa kuluvaan aikaan.

Talotekniikka (tate) -työvaiheiden kestojen määrittäminen

Talotekniikkatöiden aikataulu oli haastava saada tahtiaikatauluun sovitettua. Lähtötietoina toimivat LVIAJ-järjestelmäkuvaus sekä alustava sähköjärjestelmäkuvaus. Lisäksi kohteesta oli mallinnettuna LVIS-järjestelmä ifc-tiedostona. Niistä ei käynyt ilmi kaikkia materiaalit ja mitä talotekniikkaa tarkalleen ottaen asennetaan. Sprinkleriasennuksesta oli lähtötietona toimitussisältö- ja hankintarajauksissa ”toteutus suunnitelman mukaan”. Taloteknisten töiden mitoitus on Ratu-kortistossa laskettu vain rakennuksen bruttoneliometriä (brm²) kohden. Talotekniikan tarkemmat aikataulut tehdään yleensä vasta tate-urakoitsijan valikoiduttua hankkeeseen. Sähkötöiden osalta huomioidaan alakatoputkitukset ja johdotukset, kytkennät ja kojeasennukset, lattiarajan sähkölistasennukset, esivalmistetuissa moduuleissa valmiina olevat ryhmäkeskusten kytkentä ja lisäksi hotellihuoneen AV-järjestelmä sekä telejärjestelmien johdotukset. [25.]

Työn virtautuksen tasapainotus

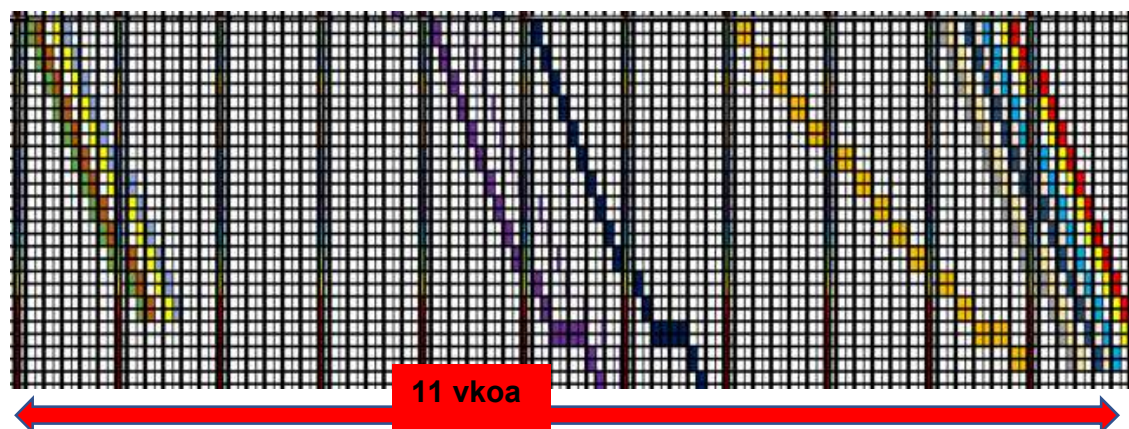
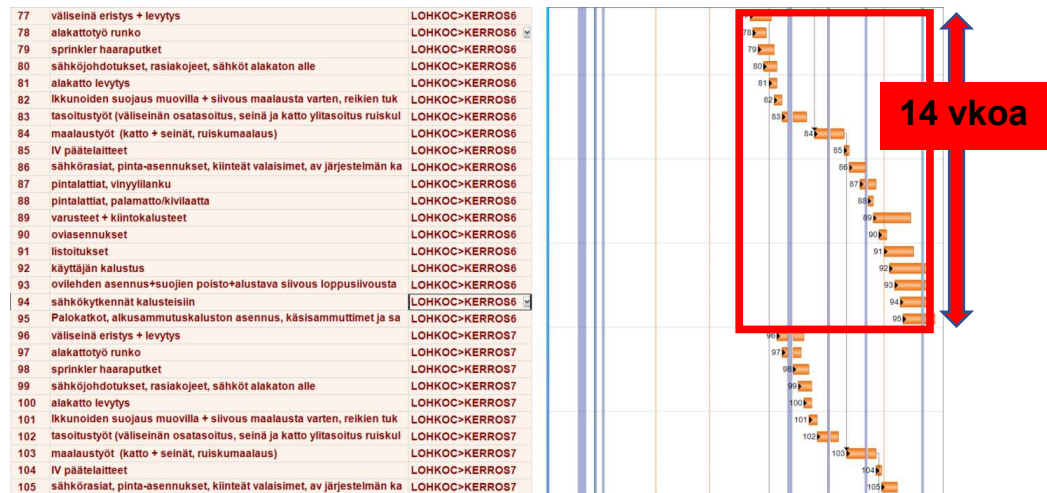
Työvaiheiden erittelyjen ja työn virtausten tunnistamisen jälkeen tarvitaan tuotannon tasapainotusta. Työpaketit on tasapainotettava, jotta tasainen tahtituotanto etenee sovitusti tahtiajalla (Kuva 33). Tavoitetaso on punaisen nuolen kohdalla 1 työpäivä, joka olisi hyvä täyttyä 85-90 %. Se onnistuu resursseja säätämällä, työvaiheita yhteen niputtamalla ja työvaiheiden järjestystä hienosäätämällä sekä tahtialueita optimoimalla. Tässä opinnäytetyössä luotiin tahtialueet ja karkeat työpaketit, joiden pohjalta voidaan aloittaa tuotannon tasapainotus yhdessä alaurakoitsijoiden kanssa. [26. s.5-6.]



Kuva 33. Eri työpakettien ajat mallikohteessa. Ennen töiden aloittamista käydään kaikkien osapuolien kanssa läpi työpakettien sisällöt ja optimoidaan työtehtävät, resurssit ja tahtialueet [25].

Aikatauluvertailua

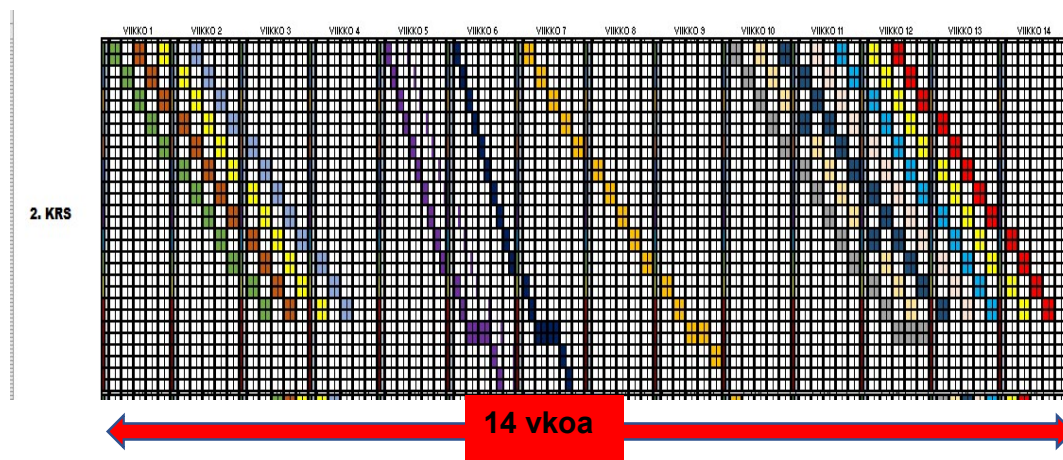
Opinnäytetyössä arvioitu tahtituotanto etenee ylemmissä kerroksissa jo huomattavasti nopeammin, kuin alimman kerroksen harjoittelukerroksessa. Vertailuksi on otettu jana-aikatauluun aikataulutettu hotellirakennuksen kuudes kerros (Kuva 34) ja tahtiaikataulun kuudes kerros. Tahtituotannossa kerroksen läpimenoaika on 11 viikkoa, kun jana-aikataulussa/paikka-aikakaaviossa se on 14 viikkoa. Läpimenoaikaero on tässä kohtaa siis noin kolme viikkoa/kerros lyhyempi tahtituotannossa, joka tekee noin 21,4%. Lisäksi kerrostenvaihto sujuu tahtituotannossa nopeammin, johtuen pienemmistä häiriöpuskureista. Näin saadaan noin neljänneksen eli noin 25 % lyhyempi kokonaisaika koko rakennushankkeen sisävalmistusvaiheille.



Kuva 34. Aikatauluvertailu, (yllä) jana-aikataulun 6. kerros vs. tahtiaikataulun 6. kerros. [25].

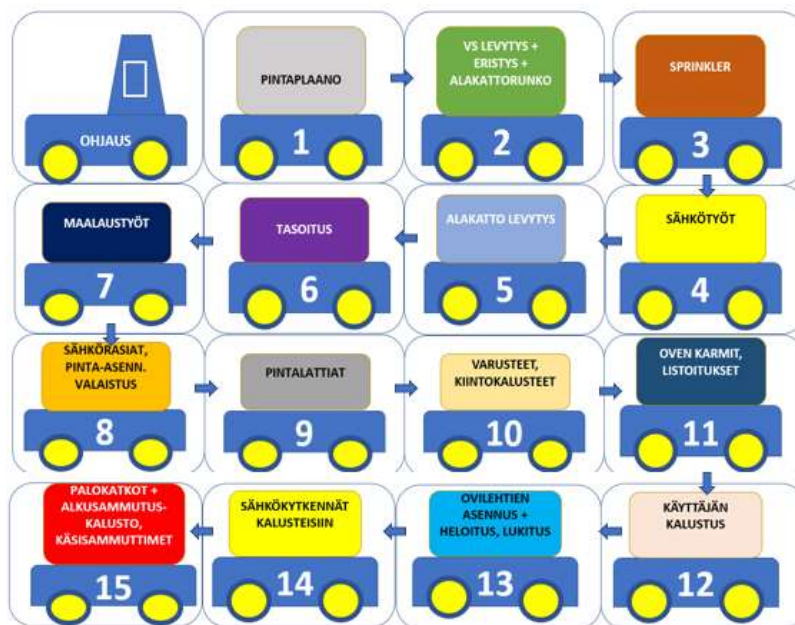
Tuotantoaikataulun viimeistely

Tahtiaikataulussa ensimmäisen kerroksen työvaiheisiin jätetään reilusti harjoittelulle aikaa, ja kuvasta voi nähdä tyhjiä vaunuja työpakettien välissä. Läpimenoaika 14 vkoa (Kuva 35). Tahtiaikataulu kokonaisuudessaan liitteessä 3.



Kuva 35. Ensimmäisen harjoittelukerroksen (tässä hankkeessa 2. krs.) tahtiaikataulu on läpimenoaltaan 14 viikkoa. Huomaa, että molemmissa aikatauluissa (sekä tahti että paikka-aikakaavio/jana-aikataulussa) aloitetaan viikko 10 lattiapintojen teko. Tämä laskettu aika riittää varmistamaan betonipintojen kuivumisen.

Tuotantojuna työpaketit lastattuna vaunuihin (Kuva 36).



Kuva 36. Tuotantojuna sisävalmistusvaiheiden työpaketeista (LIITE 3). [25.]

Logistiikka

Hankkeen päiväkohtainen tahtisuunnitelma vaatii päiväkohtaisia materiaalitoimituksia. Koska työtehtävät ovat tarkoin määriteltäviä, täytyy materiaalien olla oikeaan aikaan oikeassa paikassa ja työkohte valmiina sekä siivottuna edellisen työvaiheen materiaaleista. Parhaimmillaan se olisi sitä, että tahtialueille olisi järjestetty kullekin vaunulle sen päivän materiaalit ja tykötarpeet. Haalausreitti mallikohteessa on ehdotettu sijaitsemaan A-käytävän päädyssä olevan ikkuna-aukon kautta, johon jätetään riittävän kokoinen aukko julkisivuun Alimak-rakennushissiä varten. Ehdotuksena on myös, että pääurakoitsija perustaa logistiikkaryhmän, joka järjestää materiaalivirran kuljetukset alurakoitsijoille päivittäin tiettyinä kellonaikoina kullekin alurakoitsijalle ja huolehtii samalla työkohteiden siisteydestä. Suurempien toimitusten osalta haalauspäiväksi voidaan sopia lauantapäivä, jolloin vältetään siltä, että työskenneltäisiin työryhmien tukena. Lisäksi opinnäytetyössä ehdotetaan, että lähialueelta vuokrataan välivarastopaikka rakennuskoneille ja materiaaleille, josta tarpeita saadaan pikaisesti täydennettyä.

Päivittäisjohtaminen

Päivittäiset tuotantopalaverit ovat tarpeen, koska mallikohteen tahtiajan pituus on yksi päivä. Osallistumiseen suositellaan teorialueen tutkimuksessa sitoutettavaksi joko kaikki työmaan työntekijät tai yksi edustaja jokaisesta työpaketista. Opinnäytetyön ehdotus on pitää aamupalaveri ensimmäisen kahvin yhteydessä kello 9, johon osallistuisi jokaisesta työpaketista yksi henkilö. Päivittäispalaverin tarkoituksena on selvittää tehtävien toteumat ja työntekijöiden tarpeet. Lisäksi listataan kaikki häiriötekijät, joita on todettu työtehtävissä ja selvitetään niiden juurisyyt. Tavoitteena on, että työntekijöiden välille syntyisi avoin ja keskusteleva ilmapiiri, jossa ongelmienratkaisu olisi sujuvaa ja kehitysideat sekä havainnot saadaan hyödynnettyä tehokkaasti. [34.]

6.4 Johtopäätökset esimerkkikohteen aikataulusta ja kehitysehdotukset

Tahtiaikataulun tekeminen on vaativampaa kuin perinteinen janaviiva tai paikka-aikakaavioaikataulutus. Tahtialueen ja tahtiajan määrittäminen sekä vaunuihin kuuluvien työkokonaisuuksien muodostaminen on varmasti yksi vaikeimmista asioista aikataulutuksessa ja jokainen rakennus on omanlaisensa. Siihen ei ole olemassa vielä

valmista ohjelmistoa, vaan aikatauluttaja joutuu turvautumaan tahtiaikatauluun ehkä parhaiten soveltuvaan Excel-taulukkolaskentaohjelmaan. Teoreettinen tutkimus ei tosin anna muuta kuin nimensä mukaisen teoreettisen tuloksen, joten käytäntö vasta osoittaa, miten se todellisuudessa toimii. Mutta hyvin suunnitellulla rungolla case -kohteeseen, jota tässä työssä on pyritty tekemään, on varmasti huomattavasti helpompi alkaa neuvottelemaan alurakoitsijoiden ja muiden osapuolien kanssa tahtiaikataulusta ja sopimaan työpaketeista.

Case -kohteeseen suunnitellulla tahtiaikataululla on paljon teoreettisia etuja, kuten rakentamisajan nopeampi läpimenoaika sekä laatuvirheiden huomaaminen tuotannon siirtymävaiheissa ja sen myötä tuotteen laadun paraneminen päivittäisjohtamisen ansiosta. Hotellirakennushake soveltui hyvin tahtiaikataulutettavaksi sisävalmistusvaiheista, koska samanlaisia ja samankokoisia huoneita on vierä vieressä kymmenittäin. Tahtiajan suunnitteleminen hotellihuoneiden toistuvilla työvaiheilla on paljon helpompaa, kuin vaikkapa rakennushankkeelle, jossa on paljon erilaisia räätälöityjä tiloja ja varusteita. Mallikohteena olevassa hankkeessa toistui 22 samanlaisen hotellihuoneen työvaiheet 7 kerroksessa, joille jokaiselle laskettiin suunnitelmallisesti tahtiaika, jossa suunnitellut työpaketit täytyy suorittaa. Tässä työssä esitellyt 6 -osainen (Fransson 2013) ja 3 -tasoinen (Dlouhy 2016) tahtiaikataulun menetelmä auttavat tahtituotannon suunnittelun alkuun asiassa.

Asiantuntijahaastattelussa selvitettiin tahtiaikataulun käyttöönoton ongelmakohtia. Merkittävimmäksi haasteeksi selvitettiin kulttuurin muutos, jossa lähdetään prosessia kehittämään ja jatkuvasti parantamaan. Tähän kulttuurin muutokseen on kuitenkin jo tarjolla koulutusta ja konsultointia, joten yrityksen johdon ei tarvitse olla yksin ongelmien kanssa päättäessään lähteä pilotoimaan tahtiaikataulua. Tämän työn pohjalta ehdotetaan, että yrityksen johto ja aikataulusuunnittelusta vastaavat kävisivät tahtituotantoa käsittelevissä koulutuksissa, joita järjestetään monipuolisesti useiden organisaatioiden ja yritysten toimesta, kuten Aalto yliopisto, Vison Oy ja Mittaviiva Oy.

Tahtituotannon käyttöönotto voi olla kustannustehokkaampaa jo ensimmäisessä projektissa, mutta se vaatii paljon enemmän resursseja toimihenkilöpuolelle. Kun tahtituotannossa kaikille työntekijöille on pyritty luomaan optimaaliset olosuhteet ja varmistamaan, että kaikilla mestoilla on joku tehokkaasti tekemässä töitä, tulee myös ongelmia paljon ja ne syntyvät nopeammin kuin normaalituotannossa. Toimihenkilöressurssien

lisäys tarvitaan, jotta kaikki ongelmat saadaan poistettua ja laatuvirheet korjattua välittömästi niiden syntyessä.

Tahtiaikasuunnittelu on tilaajayrityksellä suhteellisen tuore asia ja pilottihankkeita on varmasti alkamassa heti lähitulevaisuudessa. Kehitysehdotuksena voidaan tämän teorialatutkimuksen ja mallikohteen tahtiaikasuunnittelun pohjalta esittää, että ei kannata käyttää liian paljon aikaa työpaketin töiden ennalta laskemiseen, vaan mieluummin pyrkiä selvittämään mihin työvaiheisiin tahtiaikaa on tarkoituksenomaista soveltaa. Aikataulua tehdessä täytyy miettiä usein resurssien osalta, mitä töitä voi yhdistää ko. resurssien kanssa. Toisaalta ne ovat työmaalla neuvoteltavia asioita, jos kysyy esim. ovia asentajaa poistamaan pölyttömyystarkastusta varten ikkunoissa olevia muovisuojia pois töiden tasaamisen merkeissä. Toisena kehitysehdotuksena on tutkia logististen ongelmien ratkaisua. Miten saadaan toimitettua materiaalit oikeaan paikkaan oikeaan aikaan niin, ettei kenelläkään puutu koskaan mitään. Siihen on jo jotkut palvelutoimittajat alkaneet kehittämään ratkaisuja, kuten Suomen rakennuslogistiikka Oy ja Carinafour Oy.

Jatkotutkimusaiheeksi sopisi hyvin esimerkiksi rakennuttaja osapuolen haastattelu ja selvittää heidän näkemyksiä ja ideoita, jotta tilaajan ja käyttäjän asettamat laatutavoitteet tulisi varmasti täytettyä. Mallikatselmuksien osalta tahtituotannossa kannattaa toimia aivan samalla tavalla kuin perinteisissä urakointimalleissa ja siihen täytyy varata alussa riittävästi aikaa. Jatkotutkimuksessa kannattaa selvittää millä tavalla luodaan parhaat edellytykset laadun tuottamiselle ja miten luodaan sellainen tahtotila tahtituotantoon, jossa välttyttäisiin virheiltä ja korjaamisilta. Lisäksi jatkotutkimukseen kannattaa liittää digitalisaation mahdollisuudet tahtituotannossa. Tällaisia kehitteillä olevia digijärjestelmiä ovat mm. sisäpaikannusjärjestelmät, jossa seurataan työntekijöiden, laitteiden ja koneiden käyttämää aikaa työmaalla.

7 Opas tahtiaikataulun tekemiseen

Rakennushankkeen tuottavuudessa on paljon hukkaa. Työn tuloksena tehtiin tilaajan käyttöön opas tahtiaikataulun tekemiseen (Liite 4 vain tilaajan käyttöön), perustuen kirjallisuus-, haastattelu-, ja case -tutkimukseen. Opas sisältää keskeiset teoriat tahti-tuotannosta ja sovellusohjeet käytännön tahtiaikataulujen saamiseksi.

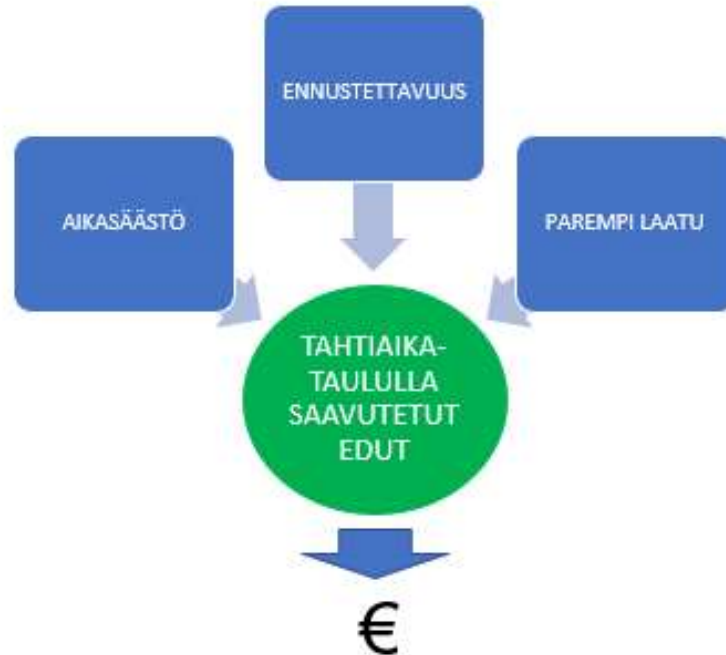
Tahtiaikataululla saavutetaan seuraavat edut:

Ensimmäiseksi aihealueeksi voidaan määrittää aikasäästö. Case -kohteessa vertailuarvoksi saatiin neljänneksen eli 25% nopeampi sisävalmistusvaiheen läpimenoaika koko hankkeessa.

Toiseksi aihealueeksi voidaan esittää työtehtävien tarkkojen suunnitelmien ansiosta töiden ennustettavuuden, jossa tuotannon tahti ajaa työnaikaista suunnittelua. Yhteen liittyvät työt suunnitellaan yhdessä alaurakoitsijoiden ja suunnittelijoiden kanssa. Työpakettien sisällöt sovitaan yhdessä ja kaikki hyväksyvät tahtiaikataulusuunnitelman, ennen kuin sitä aletaan toteuttamaan. Ennalta sovitut työpaketit ja tahtiajat luovat imuohjauksen, missä tuotanto pyritään virtauttamaan häiriöttä koko prosessin läpi osakohteen ja koko rakennuksen luovutukseen saakka. Kaikilla on tieto siitä, mitä, missä ja miten tehdään.

Kolmanneksi aihealueeksi tahtiaikataulun eduista voidaan tämän opinnäytetyön selvitysten perusteella määrittää olevan laatuvirheiden havaitseminen tuotannon siirtymävaiheissa ja sen myötä korjaustoimenpiteisiin reagoiminen nopeammin päivittäisissä tahtiaikapalavereissa kuin perinteisessä tuotannossa.

Kaikki edellä mainitut edut vaikuttavat rakennushankkeen kustannuksiin pienentämällä kokonaiskustannuksia (Kuva 37).



Kuva 37. Tahtiaikataululla saavutetut edut kuvio.

Teoriaselvitys osoitti muun muassa sellaisen ominaispiirteen rakentamisesta, että rakenteiden kuivumisajat ovat tahdistamassa kokonaisrakentamisaikaa ja ovat olleet pulonkaulana monissa tahtituotannon pilottikohteissa. Sisävaiheen läpimenoajan minimoiminen edellyttää runkovaiheen suunnittelun yhdistämistä sisävaiheen tuotannon-suunnitteluun sekä huolellisesti laadittua ja toteutettua kuivumisen hallintaa.

Lisäksi asiantuntijahaastattelussa saatiin tulokseksi selvitettyä, että suurin haaste tahtituotannon pilotoimisessa on kulttuurin muutos. Tahtiaikatuotanto vaatii yrityksen johdolta aikaa ja kouluttautumista sekä halua lähteä aidosti mukaan kehittämään prosessia, jossa jatkuvalla parantamisella pyritään parempiin tuloksiin. Alkava tahtituotantotyömaa tarvitsee paljon enemmän resursseja pääurakoitsijalta työnohjaamiseen, kuin tyyppillisessä rakennushankkeessa. Tahtituotannossa ongelmia ja häiriöitä syntyy nopeammassa tahdissa ja aiemmin, kuin normaalituotannossa. Sen lisäksi tulee vielä paljon sellaisia ongelmia, mitä normaalituotannossa ei tule ollenkaan esille. Esimerkiksi materiaalitoimitukset ja logistiset kiviöt ovat erittäin haastavia tahtituotannossa.

Työssä tuotettua yritykselle jäävää tahtiaikataulusuunnitteluopasta voi hyödyntää yhdessä Excel -tahtiaikataulupohjan kanssa tulevilla hankkeilla.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyössä tutkittiin tahtiaikataulun soveltuvuutta hotellirakennushankkeen sisävalmistusvaiheiden aikataulutuksessa. Tutkimuksen tilaajana oli Lehto Tilat, joka halusi teoreettisen selvityksen tahtiaikataululla saavutetuista eduista. Työssä tehtiin ensin esitutkimus, jossa perehdyttiin teoriaselvityksenä Lean-filosofiaan ja siitä peräisin olevaan tahtituotantoon. Teoriatutkimuksen pohjalle tehtiin katsaus rakennushankkeen ajalliseen suunnitteluun, sen eri tasoihin ja aikataulusuunnittelun vaiheisiin.

Lean johtamisfilosofia ei sinänsä ole mikään uusi asia. Lean sai nimensä jo 30 vuotta sitten, kun autotehtaiden tuottavuutta tutkinut John Krafcikin alkoi kutsua Toyota Production System -johtamisfilosofiaa Leaniksi. Toyotalle oli kehitetty vallankumouksellisen Just-In-Time-järjestelmä, jossa prosessi tuottaa vain sen mitä tuotannon seuraavassa vaiheessa tarvitaan. Toyotan imuohjaus perustui siihen, että autoa ei valmistettu ennen kuin asiakas oli tilannut auton. Näin välttyttiin varastoilta, jossa autot odottavat ostajaa. Toista Toyotan merkittävää tuotannonohjausmenetelmää kutsuttiin nimellä Jidoka, missä tuotanto pysäytetään välittömästi häiriötilanteessa ja korjataan ongelmat välittömästi. Tällä tavalla toimimalla vältetään suurista eristä viallisia tuotteita. Leanissa pyritään jatkuvasti parantamalla kehittämään vakioituja ja yhteneväisiä toimintatapoja ja prosessia, missä päämääränä on tuottaa asiakkaalle arvoa: paras laatu, halvin hinta, lyhin läpimenoaika.

Lean-rakentaminen on sekin saavuttanut jo ”aikuisiän” pitkän aikaa sitten, kun Lean Construction -käsite mainittiin ensimmäisen kerran Otaniemessä vuonna 1993. Suomalainen Lauri Koskelan ja Glenn Ballard esiteli uutta johtamismenetelmää rakennusteollisuudelle, joka perustui Koskelan edellisenä vuonna julkaistuun raporttiin ”*The Application of the New Production Philosophy to Construction*”. Koskela esitti uuden filosofian soveltamiseen TFV-teoriaa, jossa tuotanto pohjautuu kolmen eri tuottonäkemyksen varaan; muunnosmalli vastaa tuotteen valmistumisesta, virtausmalli sisältää sisäiset tavoitteet ja arvonmuodostus liittyy ulkoisten tavoitteiden saavuttamiseen. Lean Construction on kehittänyt paljon uusia tuotannonohjausmenetelmiä ja työkaluja matkansa varrella, joista tunnetuin on Last Planner System.

Tahtiaika, jota tässä työssä tarkastellaan ensin teoreettisesti ja sitten sovelletaan case-kohteeseen, on ottamassa jalansijaa rakennusalalla tuottavuuden parantamismenetelmänä. Tahtituotannon pohjana on edelleen Lean ja Toyota Production System, jossa

keskeisenä asiana on luoda virtaus tuotantoon mitoittamalla kaikki työvaiheet saman pituisiksi tahtiajoiksi. Työvaiheet palastellaan työpaketeiksi, jotka muodostavat vaunun ja edelleen kokonaisen tuotantojunan. Tuotantojunassa vaunut seuraavat välittömästi toisiaan ilman minkäänlaisia puskuriaikoja, jolloin tuotanto tehostuu ja läpimenoaika lyhenee.

Tahtiaikasuunnittelussa on käytössä Kaliforniassa kehitelty 6-vaiheinen malli sekä Saksassa kehitetty 3-osainen malli. Kalifornialainen malli keskittyy enemmän rakennettavan työn ennustettavuuteen ja saksalainen malli lyhyempään läpimenoaikaan. Teoriaselvityksessä saatiin selville tahtisuunnittelulla tavoiteltavia etuja, joita ovat tuotannon prosessien ennustettavuuden kasvu, josta seuraa lisääntynyt työvoiman käyttö, joka taas alentaa projektin kokonaiskustannuksia. Tahtiaikataululla lisätään töiden samanaikaisuutta (aikapuskurit on otettu pois), jonka seurauksena prosessin kestot lyhenevät ja sen myötä lyhenee koko projektin kesto. Tarkoista suunnitelmista huolimatta häiriötilanteita syntyy, joita pyritään poistamaan päivittäisjohtamisella ja mukauttamalla työpakettien sisältöjä niin, että tuotanto pääsee virtaamaan sujuvasti.

Asiantuntijahaastattelussa merkittävimäksi haasteeksi tahtiaikataulun käyttöönottamisessa määrittyi kulttuurin muutos. Lean-filosofian mukainen kulttuuri vaatii kouluttamista ja halua lähteä kehittämään prosessia sitä jatkuvasti parantaen. Päämääränä on tuottaa asiakkaalle maksimaalinen arvo, joka tarkoittaa parasta laatua, halvinta hintaa ja nopeinta toimitusta. Tahtituotanto vaatii kouluttamista ja aitoa kiinnostusta yrityksen johdolta lähteä kehittämään rakentamisen prosesseja sen eri vaiheissa sekä lisäämään toimihenkilöresursseja, kuten työnjohtoa sen käyttöönoton alkuvaiheissa syntyvien ongelmien selvittämiseen ja poistamiseen.

Case-kohde rytmitettiin tahtiaikatauluksi tekemällä ensin janaviiva- ja paikka-aikakaavioaikataulu sisävalmistusvaiheen töistä. Työnkestoja arvioitaessa käytettiin Ratu-menekkejä ja yrityksen omia menekkitietoja. Aikataulua ei suunniteltu mitenkään erityisen väljäksi ja tällä pyrittiin siihen, että läpimenoaika olisi mahdollisimman realistinen verrattuna suunniteltavaan tahtiaikatauluun, jonka tiedettiin etukäteen jo lyhentävän rakentamisaikaa. Teoriatutkimuksessa läpimenoaika oli joissakin kohteissa lyhenyt jopa puoleen ja yleisimmin noin 30%. Case-kohteessa rakentamisaika lyheninoin neljänneksen eli 25%.

Esivalmistetut rakenteet ja moduulit lyhentävät merkittävästi paikallarakentamisaikaa ja yhä useamman työvaiheen aikataulusta ei tarvitse enää huomioida. Merkittävin etu case-kohteessa oli esivalmistetut kylpyhuonemuodut, jotka sisälsivät valmiit kylpyhuoneet kalusteineen sekä lisäksi lämmityskonvektorin hotellihuoneen lämmitykseen, ilmanvaihtokanaviston sekä huonekohtaisen sähköryhmäkeskuksen.

Case-kohteen tahtiaikataulutus auttoi ymmärtämään sen tosiasian, mikä merkitys rakentamisen kuivatuksella on aikatauluihin. Vaikka tahtituotannossa saataisiin virtautettua nopeastikin työvaiheet ja läpimenoaikaa lyhennettyä, on kokonaisrakentamisaika kuitenkin riippuvainen siitä, mitä rakentamistapaa ja menetelmiä käytetään.

Tahtiaikataulun laatimiseksi tehtiin tahtiaikataulun suunnitteluopas, joka sisältää tahtiaikataulun käsitteet sekä tässä opinnäytetyössä raportoidut yleisimmät maailmalla käytössä olevat tahtiaikataulun suunnitteluun esitetyt menetelmät; kolmitasoinen Saksassa kehitetty malli ja 6-osainen Kaliforniassa (USA) kehitetty malli. Lisäksi yritykselle saatiin tehtyä tahtiaikataulupohja Excel-työkalukolaskentaohjelmistolla.

Lähteet

- 1 Rakennustekniikka lehti, asiantuntija artikkeli, kirj. Olli Seppänen 2/2018, Verkkodokumentti: <https://www.ril.fi/fi/rakennustekniikka/uutisarkisto/rakennustyomaan-ongelmien-poistaminen-digitalisaatiolla.html>, Viitattu 13.4.2019
- 2 Lehto Group yrityksen kotisivut, Verkkodokumentti: Lehto Group yrityksen kotisivut, Verkkodokumentti: <https://lehto.fi/sijoittajille/lehto-group-sijoituskohteen/>, Viitattu 12.3.2019
- 3 Rakennusalalla työn tuottavuus ei ole kasvanut 40 vuodessa. Artikkelit Rakennuslehdessä 9/2017, Verkkodokumentti: <https://www.rakennuslehti.fi/2017/09/rakennusalalla-tyon-tuottavuus-ei-ole-kasvanut-40-vuodessa-onko-allianssista-tai-leanista-apua/>, Viitattu 11.2.2019
- 4 Ratu KI-6028, 2016, Aikataulukirja
- 5 Ratu KI-6031, 2017, Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus
- 6 Ratu 7031, 2012, Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, Opettajan kalvosarja
- 7 Talonrakentamisen ajoitusmalli 3.0 -ohjelma, Mittaviiva Oy, Verkkosivusto: <http://ajoitusmalli.mittaviiva.fi/index.php>, Viitattu 10.4.2019
- 8 Laadukasta rakentamista-työmaan hyvä käytäntöjä, 2015, Talonrakennusteollisuus, Verkkodokumentti: https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/laatu/laadukasta_rakentamista_2015_netti_isbn_.pdf, Viitattu 12.2.2019
- 9 Toimiva työmaa – hyvät käytännöt -opas, 2014, Talonrakennusteollisuus, Verkkodokumentti: https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/julkaisuja/toimiva_tyomaa_2014.pdf, Viitattu 14.2.2019
- 10 Pekka Siikanen, Jouko Kankainen, 2004, Työpäällikön käsikirja, Aikatauluhallinta, Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy
- 11 Niklas Modig, Pär Åhlström, Maarit Tillman, 2013: Tätä on Lean: ratkaisu tehokkuusparadoksiin. Rheologica Publishing.
- 12 International Group for Lean Construction, 2017, Verkkodokumentti: Iris D. Tommelein and Glenn Ballard, Proceeding IGLC-7, Seventh Conference of the International Group for Lean Construction, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.418.4301&rep=rep1&type=pdf#page=9>, Viitattu 20.2.2019
- 13 Irish Build Magazine 9/2017: Lehtiartikkeli (Lauri Koskelan haastattelu), Verkkodokumentti: <https://www.irishbuildingmagazine.ie/2017/09/12/lauri-koskelas-lean-construction-views-advice-and-predictions/>, Viitattu 23.2.2019

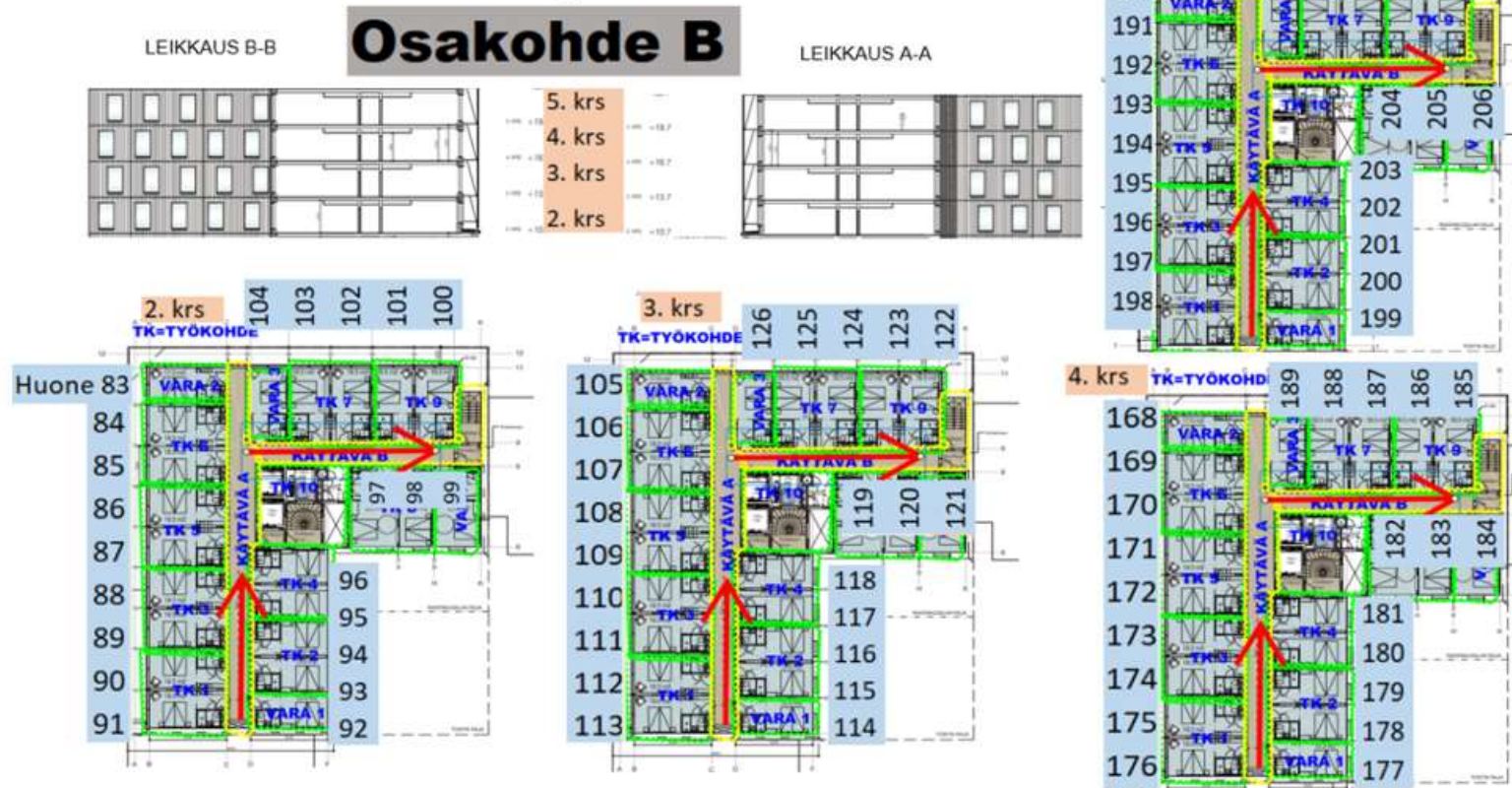
- 14 IGLC-julkaisu, Lauri Koskela, 1999, Management of production in construction: A theoretical view, Verkkodokumentti:
http://usir.salford.ac.uk/9429/1/1999_Management_of_production_in_construction_a_theoretical_view.pdf, Viitattu 15.2.2019
- 15 Koskela Lauri. 2000. An exploration towards a production theory and its application to construction. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Publications 408, Verkkodokumentti: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2000/P408.pdf>, Viitattu 10.3.2019
- 16 Herman Glenn Ballard, 4/2000 The University of Birmingham, Väitöskirja: The Last Planner System of production control, Verkkodokumentti:
<https://etheses.bham.ac.uk/id/eprint/4789/1/Ballard00PhD.pdf>, Viitattu 18.2.2019
- 17 Lauri Koskela, Anssi Koskenvesa, 2003, Last Planner rakennustyömaalla, VTT. tiedotteita, Verkkodokumentti: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2197.pdf>, Viitattu 17.2.2019
- 18 Lean Construction Institute kotisivut, Verkkodokumentti:
<https://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-design-construction/history/>, Luettu 14.2.2019
- 19 Lean Six Sigma kotisivut, Verkkodokumentti:
<http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/leanin-historiaa/> Viitattu 11.1.2019,
<http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/kingmanin-kaava/> Viitattu 12.1.2019; Viitattu 18.1.2019
- 20 Consulting services of the takt time group, Verkkodokumentti:
<https://michelbaudin.com/2013/03/29/lean-is-from-toyota-not-ford-and-not-15th-century-venice-boat-builders/>, Viitattu 13.4.2019
- 21 Strategos Lean Manufacturing -yrityksen kotisivut, Verkkodokumentti:
http://www.strategosinc.com/takt_time.htm, Viitattu 13.4.2019
- 22 Helsinki nopeuttaa katutöiden tekoa... Artikkelit Rakennuslehdessä 12/2018, Verkkodokumentti: <https://www.rakennuslehti.fi/2018/12/helsinki-nopeuttaa-katutoiden-tekoja-talonrakentajat-leikkaavat-aikataulustaan-puolet-pois-tahtiaikataulun-avulla/>, Viitattu 11.1.2019
- 23 Meeli Linnik, Klas Berghede, Glenn Ballard, 2013: An experiment in takt time planning applied to non-repetitive work, viitattu 15.2.2019, Verkkodokumentti:
https://www.researchgate.net/publication/290267984_An_experiment_in_takt_time_planning_applied_to_non-repetitive_work, Viitattu 20.2.2019
- 24 Janosch Dlouhy, Marco Binner, 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>, Viitattu 20.2.2019
- 25 Hotellirakennushankkeen suunnitelmat, tilaajayrityksen tiedostot
- 26 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>, Viitattu 17.2.2019

- 27 Building 2030 – Tahti suunnittelussa ja tuotannossa loppuraportti, 2018, Verkkodokumentti: https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-02/building_2030_tahti_suunnittelussa_ja_tuotannossa_loppuraportti_22.1.201.pdf, Viitattu 13.2.2019
- 28 Rakentamisen integraatiomekanismit -loppuraportti, 2018, Verkkodokumentti: <http://lci.fi/wp-content/uploads/2018/12/RAIN-hankkeen-loppuraportti.pdf>, Viitattu 12.2.2019
- 29 LCI Finland-sivusto, Aleksii Heinonen, Yksittäisvirtaus ja tahtiaika, Verkkodokumentti: <http://lci.fi/wp-content/uploads/2016/12/Yksitt%C3%A4isvirtaus-ja-tahtiaika-Aleksii-Heinonen.pdf>, Viitattu 30.1.2019, <http://lci.fi/mita-on-lean-rakentaminen/>, Viitattu 12.2.2019
- 30 IGLC-julkaisu, Tarek Yassine, Mohammed Bassel Saleh Bacha, Farah Fayek, Farook Hamzeh Proceedings IGLC-22, 6/2014 Oslo/Norway: Impelement takt-time planning in construction to improve work flow, Verkkodokumentti- <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-bb70dc89-0329-4e6c-9ba5-72a1c999d9f2.pdf>, Viitattu 13.3.2019
- 31 Ruusuvuori&Nikander&Hyvärinen, 2010, Haastattelun analyysi, Osuuskunta Vastapaino
- 32 Lean Construction Institute Finland yrityksen kotisivut, Verkkodokumentti: <http://lci.fi/blog/menetelmakortti/tahtiaikatuotanto/>, Viitattu 14.1.2019
- 33 Thomas Åkermarck, Asiantuntijahaastattelu 10.4.2019
- 34 Olli Seppänen, Asiantuntijahaastattelu 4.4.2019

Rakennushankkeen aikataulut

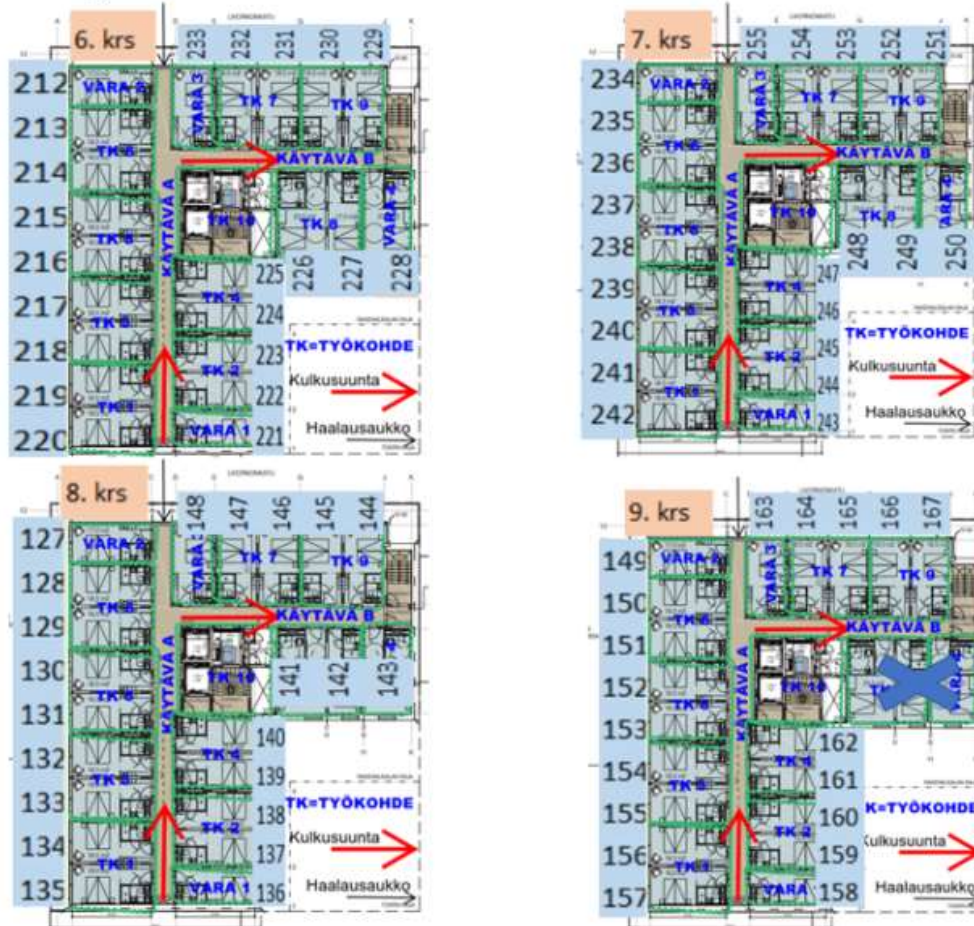
Hankeaikataulu eli projekti aikataulu	Rakennuttaja laatii itselleen <ul style="list-style-type: none"> Luo puitteet rakennushankkeen toteutukselle Valittu urakkamuoto vaikuttaa aikatauluun 	Suunnitelma-aikataulu eli piirustusaikataulu	<ul style="list-style-type: none"> Päivämäärät määriteltynä, milloin ARK, RAK ja erikoissuunnitelmat tulee olla tehtynä ja työmaalla Muodostetaan yhdessä hankinta-aikataulun kanssa ennen urakkasopimuksen tekemistä ->tarkistus, kun varsinainen työaikataulu hyväksytty 	Rakentamisvaihe aikataulu	<ul style="list-style-type: none"> Eri vaiheille omat aikataulut: maanrakennus-, perustus-, runko-, sisävalmistus- ja luovutusvaihe Lähtötietoina tarkentuneet suunnitelmat, määrälaskennat ja työaikataulu
Yleisaikataulu	Alustava yleisaikataulu <ul style="list-style-type: none"> Lähtötietona tarjouspyyntöasiakirjat Valitaan keskeisimmät tehtävät Tärkeää: valmistuspäivämäärä, välitavoitteet, toteutuksen kannalta merkittävät tavoitteet Menekkitiedon perusteella tehtävien kestot (T4) Jana-aikataulu/paikka-aikakaavio 	Hankinta-aikataulu	<ul style="list-style-type: none"> Lähtötietona töiden yleisaikataulu ja suunnittelu-aikataulu Vastaava työnjohtaja + muu työmaaorganisaatio laatii yhdessä suunnittelunohjaajan ja suunnittelijoiden kanssa 	Viimeistelyaikataulu	<ul style="list-style-type: none"> Eri toimijoiden yhteensovitettu viimeistelyaikataulu Huomioitu loppusiivoukset (pölyttömyystarkastukset), toimintakokeiden etenemis- ja jälki- ja viimeistelytarkastukset, viranomaistarkastukset Itselleluovutukset Vipulistat ja niiden korjaamiset
Sopimusyleisaikataulu	<ul style="list-style-type: none"> Alustava yleisaikataulu tarkennetaan sopimusneuvotteluissa ja osapuolet hyväksyvät ->sopimusyleisaikataulu Tärkeät ajankohdat kirjattu ->sovitut aloitus- ja valmistuspäiviä vaikea muuttaa Rakennuttajan valvontatyöväline ja pääurakoitsijan ohjaustyökalu 	Talotekniikka eli TATE-aikataulu	<ul style="list-style-type: none"> Kiirehankinnat heti rakennushankkeen alussa ->hankinnat tarkentuu hankinta-aikatauluksi, kun työaikataulu on valmis Lähtötietona hanke aikatauluja yleisaikataulu Toimii lähtötietona suunnitelma-aikataululle Nimikkeet rakennesuunnitelmista ja työselostuksista Toimitusajankohdat määritetään Suoritetut toiminnot ja poikkeamat kirjataan ylös 	Viikkoaikataulu	<ul style="list-style-type: none"> Työnjohtaja laatii omat alustavat viikkoaikataulut, jotka yhteensovitetaan muihin töihin vastaavan mestarin johdolla Päivittäisjohtamisen tärkein väline Jana-aikataulu 2-3 viikkoa eteenpäin Keston tarkkuusvaatimus 2-4 h ja tehtävien ajankohdan 4-8 h tehtävästä riippuen Lähtötietoina työ- ja rakentamisaikataulu, edellinen viikkoaikataulu ja toteuma, erityissuunnitelmat ja tehtäväsuunnitelmat, työkauppoihin käytettävissä olevat resurssit, tuntimäärät sekä käytössä oleva muu työvoima, materiaalien ja kaluston tilaukset ja toimitusajankohdat, työtehtävien valmiusaste ja työmaan tilanne, toteutuneet työmenekki- ja työsaavutustiedot, yrityskohtaiset tuotantotiedostot ja Ratun työmenekkitiedot
Työaikataulu	<ul style="list-style-type: none"> Tarkennettu sopimusyleisaikataulu ->pääurakoitsija tekee työmaata ja töiden yhteensovittamista varten (T3) Tehtävät suunnitellaan tarkemmin ja jaetaan osatehtäviin Talotekniikan tehtävät mukaan Tehtävien välin häiriövarat Mitoitetaan tehollisten työvuoroaikojen perusteella (T3) Yleensä jana-aikatauluna (valvonta paikka-aikakaaviossa ja vinjetillä) 				

Majoituskerrokset 2.-5.



Osakohde C

Majoituskerrokset 6--9.



1 (6)

Tuotantोजना, joka sisältää sisävalmistuvaiheiden työpaketit, resurssit ja RATU/arvioiduilla menekeillä lasketun ajan (oikealla).



Tahtiakataulun pehmeä aloitus, johon lisättyä tyhjiä vaunuja tuotannon tasapainottamiseen ja työpakettien hiomiseen ja yhteensovittamiseen työkohteissa. Ensimmäisen viikon työpakettina pintaplaanovalu, joka ehdotetaan suoritettavaksi heti vesikattotyövaiheen jälkeen ja kun rakennuksen vaippa on tiivis.

2 (6)

		VIIKKO 1						VIIKKO 2						VIIKKO 3						
	SUORITUS	RESURSSI	Huone	Maanantai	Tiistai	Keskiviikko	Torstai	Perjantai	Huone	Maanantai	Tiistai	Keskiviikko	Torstai	Perjantai	Huone	Maanantai	Tiistai	Keskiviikko	Torstai	Perjantai
	PLAANOVALU	3+1	Työkohte 1 91						Työkohte 1 91						Työkohte 1 91					
	VÄLISEINÄT ERISTYS + LEVITYS MOLEMMAT PUOLET 2*KIPSI + ALAKATTORUNKO	140	Työkohte 2 90						Työkohte 2 90						Työkohte 2 90					
	SPRINKLER JÄRJESTELMÄ	140	Työkohte 2 93						Työkohte 2 93						Työkohte 2 93					
	SÄHKÖTYÖT ALAKATON ALLE (RASIAKOJEET, PUTKITUKSET)	140	Työkohte 2 94						Työkohte 2 94						Työkohte 2 94					
	ALAKATTO LEVITYS	140	Työkohte 3 89						Työkohte 3 89						Työkohte 3 89					
	TASOITUS	141	Työkohte 3 88						Työkohte 3 88						Työkohte 3 88					
	MAALAUSTYÖT	140	Työkohte 4 95						Työkohte 4 95						Työkohte 4 95					
	SÄHKÖRASIAT, PINTA-ASENNUKSET, KIINTEÄT	140	Työkohte 4 96						Työkohte 4 96						Työkohte 4 96					
	PINTALATTIAT, VINYYLILANKKU, PALAMATTO		Työkohte 5 87						Työkohte 5 87						Työkohte 5 87					
	VARUSTEET KIINTOKALUSTEET	140	Työkohte 5 86						Työkohte 5 86						Työkohte 5 86					
	OVEN KARMIT, LISTOITUKSET	140	Työkohte 6 85						Työkohte 6 85						Työkohte 6 85					
	KÄYTTÄÄN KALUSTUS	240	Työkohte 6 84						Työkohte 6 84						Työkohte 6 84					
	OVILEHDEN ASENNUS, HELOITUS, LUKITUS, SUOJEN POSTIOT HUONEISTA	140	Työkohte 7 103						Työkohte 7 103						Työkohte 7 103					
	SÄHKÖKYTKENNÄT KALUSTEISIIN	140	Työkohte 7 102						Työkohte 7 102						Työkohte 7 102					
	Palokatkot, alkusammutuskaluston asennus, käsiammuttimet ja sammutuspeitteet	140	Työkohte 8 97						Työkohte 8 97						Työkohte 8 97					
			Työkohte 8 98						Työkohte 8 98						Työkohte 8 98					

OSAKOHDE B

KERROKSET 2.-5.

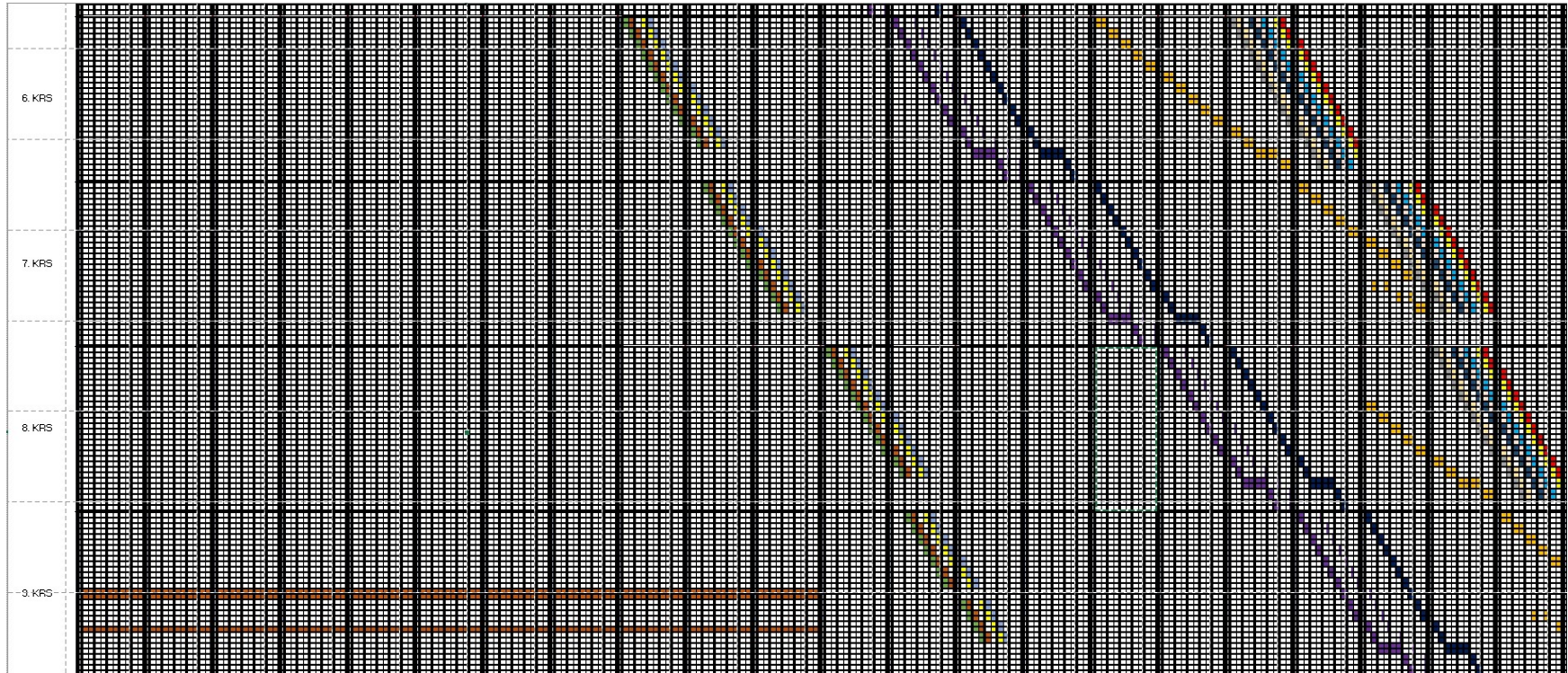
TAHTIAIKATAULUEHDOTUS SISÄVALMISTUSVAIHEISTA



OSAKOHDE C

KERROKSET 6.-9. VIIKOT 1-23

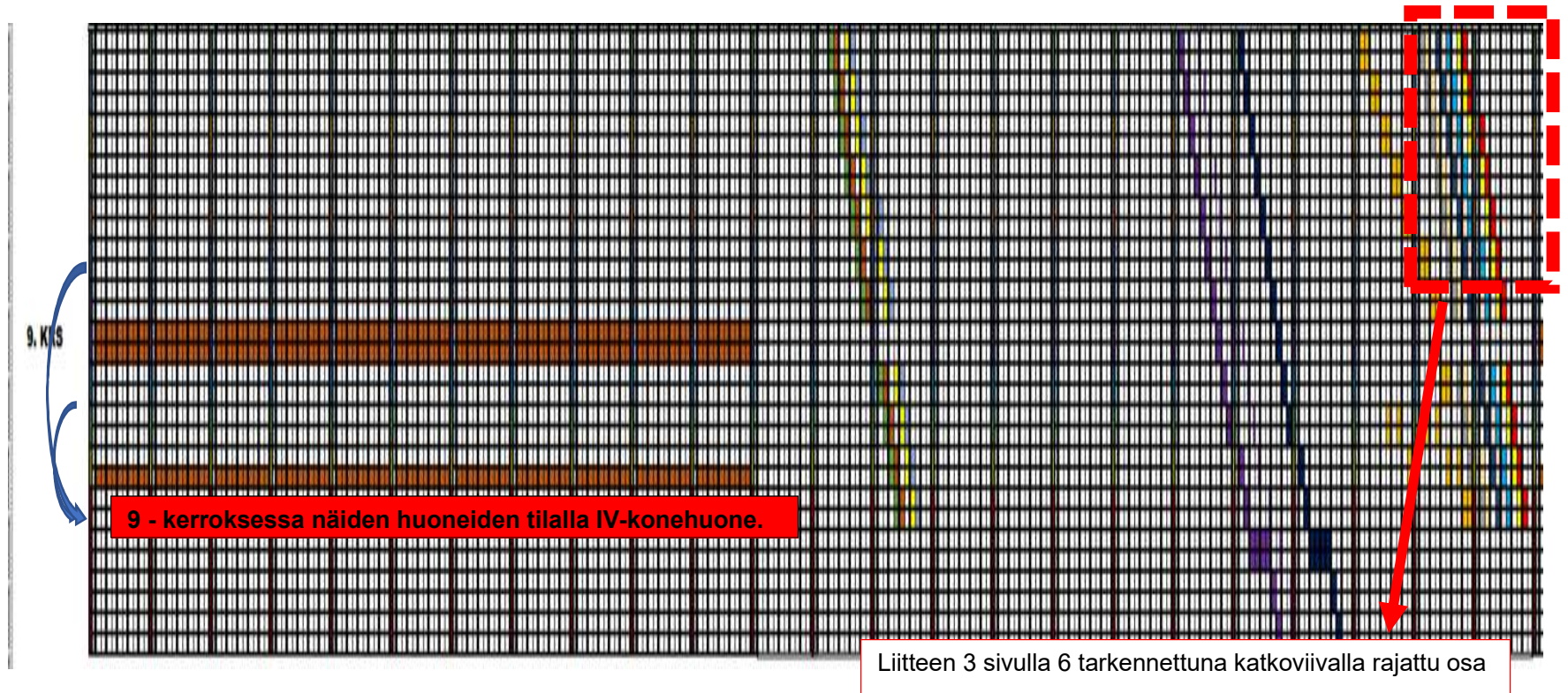
TAHTIAIKATAULUEHDOTUS (KUVASTA PUUTTUU VIIMEINEN VIKKO 24->SIVULLA 25.)



OSAKOHDE C

KERROS 9.

TAHTIAIKATAULUEHDOTUS SISÄVALMISTUSVAIHEISTA.



OSAKOHDE C
KERROS 9.

6 (6)

TAHTIAIKATAULUEHDOTUS SISÄVALMISTUSVAIHEISTA, TYÖKOHEET 1-7 (TYÖPAKETIT PINTALATTIOISTA ALKAEN).

Huone	Maanantai	Tiistai	Keskiviikko	Torstai	Perjantai	Huone	Maanantai	Tiistai	Keskiviikko		SUORITUS	RESURSSI
Työkohte 1 157						Työkohte 1 157					PLAANOVALU	3+1
Työkohte 1 156						Työkohte 1 156					VÄLISEINÄT ERISTYS + LEVITYS MOLEMMAT PUOLET 2" KIPSI + ALAKATTORUNKO	1+0
Työkohte 2 159						Työkohte 2 159					SPRINKLER JÄRJESTELMÄ	1+0
Työkohte 2 160						Työkohte 2 160					SÄHKÖTYÖT ALAKATON ALLE (RASIAKOJEET, PUTKITUKSET)	1+0
Työkohte 3 155						Työkohte 3 155					ALAKATTO LEVITYS + valmistelut tasoitetöille	1+0
Työkohte 3 154						Työkohte 3 154					TASOITUS	1+1
Työkohte 4 161						Työkohte 4 161					MAALAUSTYÖT	1+0
Työkohte 4 162						Työkohte 4 162					SÄHKÖRASIAT, PINTA-ASENNUKSET, SÄHKÖLISTAT, VALAISTUS	1+0
Työkohte 5 153						Työkohte 5 153					PINTALATTIAT, VINYYLILANKKU, PALAMATTO	1+0
Työkohte 5 152						Työkohte 5 152					VARUSTEET KIINTOKALUSTEET	1+0
Työkohte 6 151						Työkohte 6 151					OVEN KARMIT, LISTOITUKSET	1+0
Työkohte 6 150						Työkohte 6 150					KÄYTTÄJÄN SUORITAMA KALUSTUS	2+0
Työkohte 7 164						Työkohte 7 164					OVILEHDEN ASENNUS, HELOITUS, LUKITUS+ suojausten poisto huoneista	1+0
Työkohte 7 165						Työkohte 7 165					SÄHKÖKYTKENNÄT KALUSTEISIIN	1+0
											PALOKATKOT + alkusammutuskaluston asennus, käsisammuttimet ja sammutuspeitteet	1+0