



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Meri Rautiainen

Tahtiaikataulu ja sen vaikutukset työmaan logistiikkaan

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

15.4.2020

Tekijä Otsikko	Meri Rautiainen Tahtiaikataulu ja sen vaikutukset työmaan logistiikkaan
Sivumäärä Aika	46 sivua 15.4.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	rakennetekniikka
Ohjaajat	Työmaainsinööri Nelli Hyvärinen, YIT Suomi Oy Lehtori Kimmo Sani, Metropolia AMK
<p>Tämä insinöörityö tehtiin YIT Suomi Oy:n HHM-yksikölle ja sen tarkoituksena oli selvittää tahtiaikataulun käytön etuja ja vaatimuksia, etenkin sisävalmistusvaiheeseen kuuluvien työvaiheiden osalta, verrattuna muihin aikatauluihin sekä tahtiaikataulun vaikutuksia työmaan logistiikan hallintaan.</p> <p>Projektin tavoitteena oli luoda kooste ohjeistuksista tahtiaikataulun luomiseen ja hyödyntämiseen sekä sen vaikutuksista logistiikkaan. Insinöörityötä tehdessä luotiin Vantaalle valmistuvaan viisikerroksiseen asuinkerrostaloon sisävalmistusvaiheet kattava tahtiaikataulu, jotta saatiin omakohtaista kokemusta tahtiaikataulun luomisprosessista sekä sen vaikutuksista.</p> <p>Tuloksena syntyi tahtiaikataulu yhden hankkeen sisävalmistusvaiheista sekä ohjeistus tahtiaikataulun luomiseen yrityksen omaan käyttöön, lyhyt yleispätevä ohjeistus tahtiaikataulun luomiseen ja mitä tulee ottaa huomioon sitä käytettäessä. Saatiin myös entistä parempi käsitys siitä, miten tahdittaminen vaikuttaa työmaan läpiviennin nopeuteen, materiaalitöimistusten hallintaan ja töiden sujuvuuteen.</p>	
Avainsanat	tahtiaikataulu, tahdittaminen, logistiikka

Author Title	Meri Rautiainen Takt Timetable and Its Effects for Construction Site Logistics
Number of Pages Date	46 pages 15 April 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Nelli Hyvärinen, Site Engineer Kimmo Sani, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to examine the benefits and requirements of using takt timetable, especially in the buildings' indoor manufacturing stages, compared to other types of timetables and to study the effects of takt timetable on the management of logistics.</p> <p>The aim of this thesis was to create an aggregation of instructions on how to create a takt timetable and how to utilize it and what kinds of effects it will have on the management of logistics. During this thesis project, a takt timetable, containing indoor manufacturing stages, was created for a five-floor high-rise, which is under construction in Vantaa. The purpose for creating this timetable was to gain experience of the creation process of a takt timetable and of the use of this timetable.</p> <p>The results of this thesis were a takt timetable for one project and short instructions on how to create a takt timetable and which aspects one should consider while using it. In addition, the creation process was very instructive and gave a better perception of how using a takt timetable affects the production time of construction sites, the controlling of the logistics and the workflow.</p>	
Keywords	takt timetable, logistics

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aikatauluttaminen ja aikataulujen tyyppiä	2
2.1	Aikataulusuunnittelu	2
2.1.1	Lähtötiedot ja niiden merkitys	3
2.1.2	Tehtävien mitoitus ja kireyden tarkistus	4
2.1.3	Osittelu ja työjärjestyksen määrittäminen	6
2.1.4	Valvonta	7
2.2	Aikataulusuunnittelun tasot	8
2.3	Jana-aikataulu	10
2.4	Vinoviiva-aikataulu	12
2.4.1	Paikka-aikakaavio	12
2.4.2	Tuotantoaikakaavio	13
2.5	Valvontavinjetti	14
3	Tahtiaikataulun luominen ja käyttö rakennushankkeessa	15
3.1	Lean rakentaminen	15
3.2	Tahtituotanto	16
3.3	Yleisaikataulu ja sen merkitys tahtiaikataulun luomisessa	17
3.4	Tehtävien tahdistaminen	18
3.5	Suunnittelun vaiheet	19
3.6	Käyttö ja hyödyntäminen	20
3.7	Last Plannerin käyttö tahtiaikataulun rinnalla	20
4	Tahtiaikataulun tilanne tällä hetkellä	22
4.1	Urakoitsijoiden kokemuksia	22
4.2	Aliurakoitsijat ja tahtituotanto	24
4.3	Kuinka varautua ongelmiin	25
4.4	Kehitystavoitteet ja vakiinnuttaminen	26
5	Tahtiaikataulu verrattuna muihin aikatauluihin	27

5.1	Käytön tuomat edut ja haasteet	29
5.2	Vaatimuksia onnistumiselle	31
6	Vaikutuksia logistiikkaan	33
6.1	Mitä on logistiikka?	33
6.2	Hankintasuunnitelma ja -tehtävien organisointi	34
6.3	Tahtiaikataulun vaikutukset logistiikkaan	36
6.4	Täsmätoimitukset	37
6.5	Yhdistäminen tietomalliin	38
7	Koosteet ohjeistuksista tahtiaikataulun luomiseen ja hyödyntämiseen	39
7.1	Tahtiaikataulun luomisen vaiheet	39
7.2	Tahtituotantoon liittyviä hyötyjä ja vaatimuksia	41
8	Johtopäätökset	43
9	Yhteenveto	44
	Lähteet	45

Sanastoa

Lean

Toimintastrategia, joka pyrkii asiakasarvon maksimointiin parantamalla toiminnan virustehokkuutta vähentämällä hukkaa, eli arvoa tuottamatonta resurssien käyttöä.

LVV

Lämpö, vesi, viemäri

Tth

Lyhenne sanasta työntekijätunti.

Tv

Lyhenne sanasta työvuoro.

Työmenekki

Ilmoitetaan työntekijätunteina, joka kuvaa aikaa, joka yhdellä työntekijälle kuluu yhden yksikön (neliometri, metri tms.) valmiiksi saamiseen.

1 Johdanto

Tahtituotanto ja sen aikatauluttaminen ovat rakennusalalla vielä melko tuoreita asioita, joten kaivattiin selvennystä sille, miten sitä voidaan hyödyntää, missä määrin ja minkälaisin resurssein. Vaikka tahtiaikataulusta puhutaan paljon, ovat asiat kuten sen luominen, hyödyntäminen ja käytön tuomat vaikutukset sekä sen todellisuudessa urakoitsijoille ja aliurakoitsijoille luomat vaatimukset vielä melko vieraita asioita. Tämä aiheuttaa etenkin aliurakoitsijoiden keskuudessa vieroksuntaa tahtiaikataulun käyttöä kohtaan, vaikka positiivisia kokemuksia onkin jo kertynyt.

Opinnäytetyö tehtiin YIT Suomi Oy:n HHM-yksikölle ja tutkimusta tehdessä hyödynnettiin Vantaalle toteutettavaa viisikerroksista asuinkerrostalotyömaata, joka toimii opinnäytetyön laatijan työskentelykohteena. Tahtituotantoa on käytetty YIT:n työmailla vain muutamissa pilottikohteissa ja tahtotilana on saada levitettyä sen käyttöä laajemmalle alueelle.

Tavoitteena oli luoda ohjeistus tahtiaikataulun luomiseen ja hyödyntämiseen sekä koota yhteen sen käyttämisen tuomia vaikutuksia, koskien etenkin logistiikkaa. Tarkoitus oli myös perehtyä siihen, miten paljon tahtiaikataulun avulla saadaan helpotettua ja tehostettua työmaan toimintaa ja rakentamisnopeutta esimerkiksi paikka-aikakaavioon verrattuna.

Opinnäytetyössä tutkittiin tahtiaikatauluttamisen vaikutuksia työmaan logistiikkaan sekä esimerkiksi täsmätoimituksia toimittavien yhteistyökumppaneiden merkitykseen asioiden sujuvoittamisessa.

Tutkimus perustuu ensisijaisesti pääurakoitsijan näkökulmaan tahtituotannosta ja -aikataulusta, sen luomisesta ja vaikutuksista aikataulun tiivistämiseen ja logistiikkaan painotuen asuntotuotannon sisävalmistusvaiheeseen.

2 Aikatauluttaminen ja aikataulujen tyyppejä

Aikataulutyypppejä on useita. Niistä kaikki eivät välttämättä ole optimaalisia esittämään tietynlaisia vaiheita tai ajanjaksoja, sillä ne ovat informatiivisuutensa kannalta erilaisia. Esimerkiksi yleisaikatauluksi voisi sopia jana-aikataulu, tueksi tuotannon suunnitteluun ja ohjaukseen paikka-aikakaavio ja työn valvontaa ja ohjausta varten valvontavinjetti tai tahtiaikataulu. [4, s. 21.]

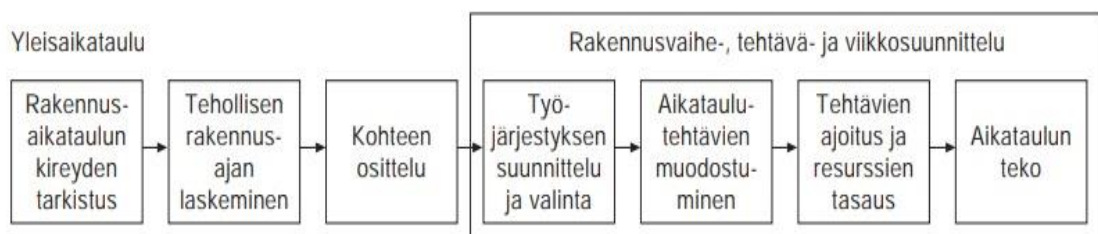
Tässä kappaleessa tutustutaan lyhyesti erilaisiin aikataulutyypppeihin sekä niiden laadintaan ja hyödyntämiseen.

2.1 Aikataulusuunnittelu

Aikataulusuunnittelu on erittäin tärkeää rakennushankkeen läpiviennin ja toteutuksen onnistumisen kannalta, sillä laadittu aikataulu toimii pohjana jokaisen työvaiheen ajoitukselle koko hankkeen ajan.

Aikataulussa on esitetty useita eri työtehtäviä ja kullekin tehtävälle on määritelty kesto. Määräluettelon tai tavoitearvion avulla muodostetaan tehtäväkokonaisuuksia, joihin on koottu samaan kokonaisuuteen sisältyvät tehtävät yhdeksi aikataulutehtäväksi. Aikataulutehtäviin voidaan yhdistää myös töitä, jotka ovat toteutettavissa samalla työryhmällä samassa projektin vaiheessa. [6, s. 2.]

Aikataulusuunnittelun vaiheet voidaan tyypillisesti jakaa kuvan 1 mukaisiin vaiheisiin.



Kuva 1. Aikataulusuunnittelun vaiheet. [5, s. 20.]

2.1.1 Lähtötiedot ja niiden merkitys

Realistisen ja toimivan aikataulun luominen vaatii tarkkaa rakennuskohteeseen perehtymistä. Aluksi kohteelle laaditaan alustava yleisaikataulu, joka perustuu kohdetta koskeviin tarjouspyyntöasiakirjoihin. Urakkaohjelmaan määritellään tyypillisesti asioita, kuten urakoitsijalta vaaditut laadunvarmistuksen menetelmät, sakolliset välitavoitteet ja urakka-aikaan liittyvät vaatimukset. Urakkaohjelman lisäksi tarjouspyyntöasiakirjoihin sisältyy tekniset suunnitelma-asiakirjat eli rakennuksen piirustukset, rakennusselostukset ja työselostukset. Urakoitsija saa muodostettua käsityksen siltä vaadituista suoritusvelvollisuuksista ja urakkahintaan vaikuttavista tekijöistä urakkarajaliitteen avulla. [4, s. 43.]

Lähtötietojen saatavuus ja oikeellisuus ovat olennaisessa osassa realistista aikataulua suunniteltaessa. Aikataulusuunnitteluun vaikuttavat monet tekijät niin rakennuksen suunnitelmien kuin olosuhteidenkin kautta. Huomioon on otettava asiat, kuten rakentamisen ajankohta, rakennejärjestelmä, toteutusmuoto ja -tapa sekä käytettävissä olevat resurssit. On tärkeää löytää ajoissa keinot asetettuihin tavoitteisiin pääsemiseksi, arvioida mahdolliset riskit, niiden ilmentymisten vaikutukset ja varata tarpeeksi pelivaraa tehtävien välille.

Työmaan tulee varmistaa suunnitelmien toteutuskelpoisuus, sisällön riittävyys ja että suunnitelmat saadaan käyttöön hyvissä ajoin. Näin aikataulun suunnittelu päästään toteuttamaan ja kyetään selvittämään tehtävien aloitusten edellytyksiä. On tyypillistä, että työmaalle lähetetyissä suunnitelmissa on puutteita tai korjattavaa. Ne voivat ilmetä joko yhdessä suunnitelmassa tai kahden tai useamman suunnitelman keskeisinä ristiriitaisuuksina. Tämän vuoksi on hyvä varata aikaa suunnitelmien ja lähtötietojen läpikäymiselle, ilmoittaa suunnitelmapuutteista tai -virheistä ajoissa suunnittelijoille ja näin käyttää hyväksi mahdollisuus myöhempien ongelmien kitkemiseen. [9, s. 6.]

2.1.2 Tehtävien mitoitus ja kireyden tarkistus

Suunniteltaessa tehtävien ajoitusta ja ajankäyttöä, etsitään käytettävissä olevien tietojen pohjalta työn realistinen, mutta tavoitteellinen toteutusmalli.

Aikataulusta täytyy selvittää tiedot työtehtävistä ja niiden kestoista, suoritemääristä ja työryhmistä. Aikataulu tulee suunnitella siten, että sitä laatiessa on otettu huomioon käytössä oleva työvoima, työvaiheiden laajuus sekä työtehtävien väliset riippuvuudet. Kun kunkin tehtäväkokonaisuuden kesto mitoitetaan erikseen, saadaan aikataulusta luotua realistinen ja tavoitteellinen. Tavoitteellisuudella pyritään takaamaan työnteon pysyminen tehokkaana ja töiden eteneminen aikataulussa. [4.]

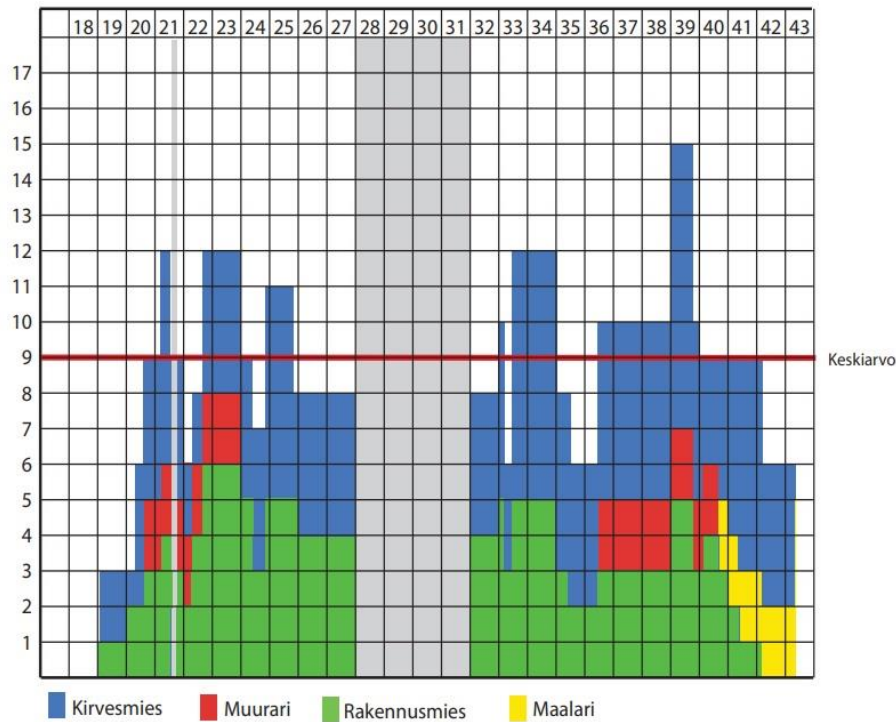
Tehtävän keston vaikuttavat asiat, kuten työn laajuus ja käytettävissä olevat resurssit työntekijöiden, laitteiden ja materiaalien osalta. Aikataulutuksen kannalta näistä oleellisia ovat työn laajuus ja työntekijöiden määrä. Työmenekkejä arvioitaessa on hyvä käyttää oman kokemuksen tukena Ratu Aikataulukirjaa ja Ratu-tiedostoja, joista löytyy kattavasti koottuna lähtötietoja työmenekkien arviointiin aina yleisaikataulusuunnittelusta tehtävä- ja viikkotasolle. Näin kannattaa toimia etenkin, jos oma kokemus on vähäistä tai työryhmä ei ole ennestään tuttu ja kokemuspohjainen arviointi on tämän vuoksi hankalaa. [2, s. 25.]

Esimerkki hankkeen resurssitarpeista. Esimerkissä talon tekemiseen kuluu 14 000 tth.

Kuukaudessa työtunteja = $21 \text{ tv} \cdot 8 \text{ h/tv} = 168 \text{ h/kk}$

Mikäli aikaa toteutukseen on 12 kuukautta, on tarvittava työntekijöiden määrä:
 $14\,000 \text{ tth} / (12\text{kk} \cdot 168 \text{ h/kk}) = 7 \text{ henkilöä}$

Mikäli aikaa on 10 kuukautta, on tarvittava työntekijöiden määrä puolestaan:
 $14\,000 \text{ tth} / (10\text{kk} \cdot 168 \text{ h/kk}) = 9 \text{ henkilöä}$ [4, s. 65.]



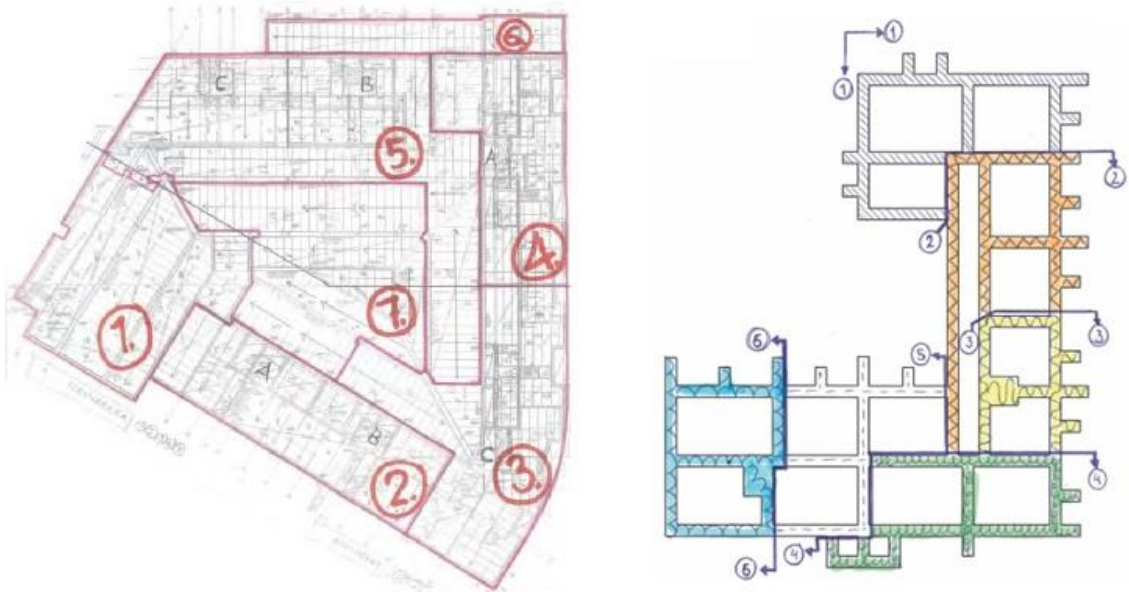
Kuva 2. Yhden vaiheen työntekijöiden tarve. Keskimääräinen resurssitarve yhdeksän henkilöä. [4, s. 65.]

Tavoitteena on suunnitella ja aikatauluttaa tehtävät siten, että kutakin tehtävää suorittavalle työryhmälle saadaan mahdollisimman täydet työpäivät ja omat työt päästään suorittamaan suunnitellusti ilman viivytyksiä tai häiriöitä. Häiriötekijöinä voivat toimia esimerkiksi useat eri työryhmät samassa paikassa samaan aikaan, työryhmän jäsenen odottamaton poissaolo, logistiikan huono hallinta tai ettei työkohte ole siinä valmiudessa, että seuraavat työt voitaisiin aloittaa. Häiriötekijöiden ilmentymiseen voidaan varautua huolellisella suunnittelulla, riittäville tehtävien aloitus- ja lopetusväleillä sekä välitavoitteilla, joiden avulla pystytään helpommin seuraamaan etenevätkö työt suunnitellun aikataulun mukaisesti vai tuleeko tehdä joitakin muutoksia, jotta aikataulussa pysytään. [3, s. 5.]

Aikataulun mukaisen työvoiman käytön täytyy olla yhdenmukainen tavoitearvion kokonaistyömenekin kanssa. Jokaisen rakennushankkeen ollessa omanlainen, voidaan vertailla suorittaa käyttämällä tukena hankkeen tavoitearviota, työmenekkien tunnuslukua tai talonrakennuksen ajoitusmallia. Aikataulun kireyttä voi tutkia vertaamalla toteutuksen suunniteltua kestoa normaalikeston, eli rakennushankkeen suunnitelmien ja tyypillisen kireystason mukaista rakennusaikaa, josta on vähennetty tiedossa olevat loma-ajat ja muut keskeytykset. [5, s. 20.]

2.1.3 Osittelu ja työjärjestyksen määrittäminen

Tavallisesti ositteluvaiheessa rakennuskohde jaetaan lohkoihin, jotka voidaan jakaa pienempiin osa- ja työkohteisiin (kuva 3). Lohko on kohteen osa, kuten erillinen rakennus tai osa rakennuksesta, jonka työt suoritetaan yhtenä kokonaisuutena. Osakohde puolestaan on sellainen osa lohkoista, missä työskennellään kerrallaan ainoastaan yhden työkohteen sitovan tehtävän parissa. [5, s. 24.]



Kuva 3. Esimerkki lohkojaosta (vasen kuva) ja perustusvaiheen osakohdejaosta, jossa osakohdet erotettu värein (oikea kuva). [4, s. 34, 75.]

Lohkojaon tekeminen on eduksi etenkin suuremmissa kohteissa, joissa esimerkiksi sisävalmistusvaiheen työt voidaan aloittaa jonkin lohkon rungon ollessa valmis. Lohkojen rakennustyöt ja valmistus aloitetaan yleensä siitä lohkoista, joka saadaan perustuksien ja runkovaiheen osalta nopeimmin valmiiksi. Viimeisenä puolestaan toteutetaan lohko, jonka sisävalmistusvaiheiden kesto on lyhin. [5, s. 24.]

Tehtäväsuunnitteluvaiheessa, esimerkiksi tahtiaikataulua luodessa, aikataulua tarkennetaan jakamalla yleisaikataulun suurempia työkokonaisuuksia pienempiin osiin ja suunnitellaan niiden toteutukset yksityiskohtaisemmin. Tehtävien jakamisen yhteydessä tulee tietää, kuinka monta työntekijää tehtävän suorittaminen suunnitellussa ajassa vaatii, millaisessa järjestyksessä tehtävät toteutetaan, miten ne ovat riippuvaisia toisistaan ja millaiset viiveet tehtävien välillä on. [6, s. 2.]

Töiden ajoitukset kannattaa suunnitella siten, ettei useita eri työtehtäviä tarvitse suorittaa samassa paikassa samaan aikaan. Näin saadaan annettua työntekijöille rauha omien töiden hoitamiseen laadukkaasti ja kerralla kuntoon sekä tehtävien suoritusjärjestyksestä saadaan muodostettua järjestelmällisesti etenevä kokonaisuus.

Työjärjestystä suunnitellessa voidaan eri vaiheiden väliset riippuvuudet jakaa neljään osaan: loogisiin riippuvuuksiin, olosuhderiippuvuuksiin, teknisiin riippuvuuksiin ja resurssiriippuvuuksiin. [5, s. 26.]

Loogiset riippuvuudet ovat ehdottomia ja koskevat tapauksia kuten betonin raudoitus ennen valua tai betonin kovettumisen odotus ennen muotin purkua. Olosuhderiippuvuuksilla tarkoitetaan esimerkiksi sopimusten, sään ja työmaajärjestelyjen takia muodostuvia vaikutuksia töiden suorittamiseen. Tekniset riippuvuudet muodostuvat toteutusteknisistä asioista, kuten julkisivumuurauksen jako osiin liikuntasauvojen vuoksi. Resurssiriippuvuuksilla tarkoitetaan resurssien tehtävien välistä siirtymistä. [5, s. 26.]

2.1.4 Valvonta

Hyvään valvontaan kuuluu edellytysten, kuten suunnitelmien ajantasaisuuden, työkohteiden valmiuksien, tarvittavien resurssien ja työturvallisuuden varmistaminen. Edellytysten ollessa kunnossa, voidaan työtehtävät aloittaa ajoissa ja saadaan varmuutta niiden sujuvaan etenemiseen. [9, s. 8.]



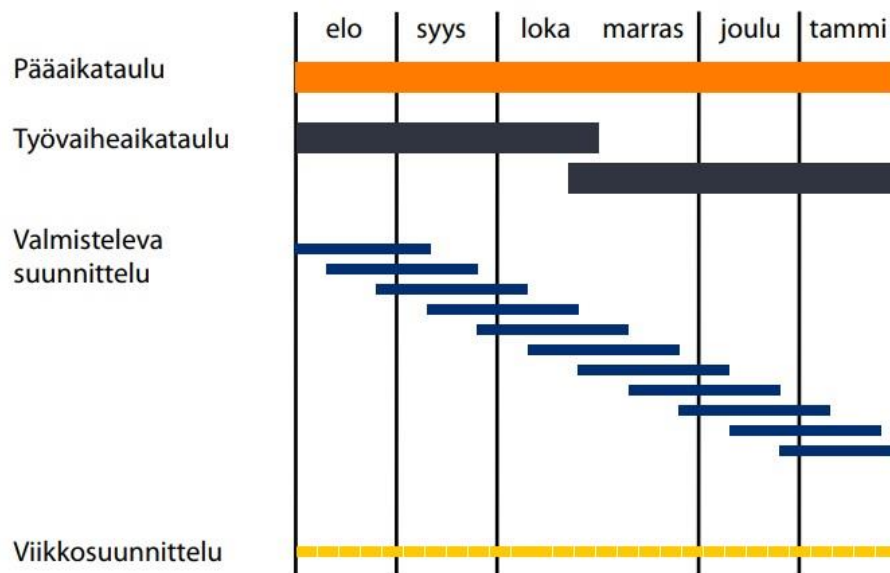
Kuva 4. Työvaiheiden kulku. [8.]

Selkeä ja läpinäkyvä viestintä on oleellinen osa hyvää johtamista. Sanallista viestintää voidaan tehostaa visuaalisin menetelmin, esimerkiksi aikataulutuksen näkökulmasta asettamalla suunniteltu aikataulu kaikkien nähtäville. Usein kasvotusten käyty keskustelu on tehokkain tapa välittää viesti ymmärrettävästi ja mieleenpainuvasti.

Viikkopalaveri on hyvä tilaisuus koota työnjohto, mahdollisesti aliurakoitsijoiden työnjohtajia myöten, kokoon ja selvittää töiden todellinen tilanne. Hyvällä kommunikaatiolla ja töiden valvonnalla voidaan välttyä suuriltakin ongelmilta ja töiden etenemistä hidastavilta tekijöiltä. Kokoontumalla yhteen saadaan välitettyä omat tiedot ja mielipiteet muille läsnäolijoille ilman ylimääräisiä välikäsiä. Viikkopalaverien tarkoituksena on koordinoita töitä, joilla on keskinäisiä riippuvuuksia, ratkaista mahdollisesti töiden aikana ilmenneitä ongelmia, selvittää työvaiheiden tilanteita ja aikataulussa pysymistä sekä sopia seuraavan viikon tehtävistä. Kokoontumisten tavoitteena on parantaa keskinäistä yhteisymmärrystä, ratkaista ongelmia ja sitouttaa organisaatiota tekemään työnsä hyvin. [9, s. 8.]

2.2 Aikataulusuunnittelun tasot

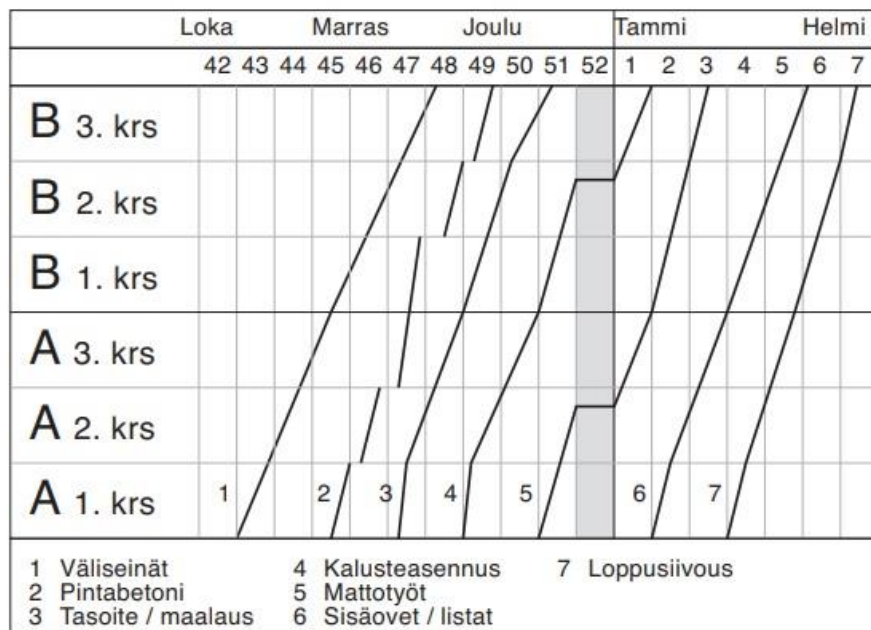
Aikataulusuunnittelun tasot voidaan karkeasti jakaa neljään osaan, jotka ovat yleis-, rakentamisvaihe-, viikko- ja tehtäväaikataulu (kuva 5).



Kuva 5. Aikataulusuunnitelmien aikajänteet. [15, s. 40.]

Yleisaikataulu kuvaa töiden suunnitellun kulun koko hankkeen ajalta ja se toimii työmaalla mallina hankkeen toteutuksille ja ajoituksille. Yleisaikataulussa on mitoitettuna hankkeen pääresurssit ja se toimii pohjana esimerkiksi työvoiman, hankintojen ja kalustojen suunnittelussa sekä tarkemman tason suunnitelmia, kuten rakentamisvaihe- ja viikkosuunnitelmia laadittaessa. [5, s. 30.]

Rakentamisvaiheaikataulu (kuva 6) laaditaan yksittäisille rakentamisvaiheille tai ajanjaksoille ja sen tarkoituksena on taata työaikataulun, eli työmaalla käytetyn yleisaikataulun tyyppin, asettamissa aikarajoissa pysyminen. Sitä varten tulee mitoittaa tärkeimpien töiden vaatimat resurssit tehollisten työmenekkien, tehtävien keskinäisten limitysten ja vaihtoehtolaskelmien avulla. Rakentamisvaiheaikataulu laaditaan työaikataulun pohjalta ja se itse puolestaan toimii pohjana viikkoaikataulun luomisessa. [5, s. 31.]



Kuva 6. Esimerkki paikka-aikakaavion muotoon laaditusta sisävalmistusvaiheiden rakentamisvaiheaikataulusta. [5, s. 33.]

Viikkosuunnittelua (kuva 7) tehdään nimensä mukaisesti viikoittain ja suunnittelu kattaa työtehtävien tavoitteiden ja toteutusten suunnittelun 1-3 viikon mittaiselle ajanjaksolle. Sen luonnin perusteena on varmistaa lähiviikkojen työvaiheille asetetuissa tavoitteissa onnistuminen sekä resurssien riittävyys ja niiden tehokas hyödyntäminen. Lisäksi

viikkoaikataulu toimii aliurakoitsijoiden toimintaohjeena, minkä vuoksi myös aliurakoitsijoiden työnjohdon on hyvä osallistua viikkoaikataulun laadintaan. Laadinnassa voidaan hyödyntää esimerkiksi tahtiaikataulun havainnollisuutta tai Last Planner -menetelmää. [5, s. 34.]

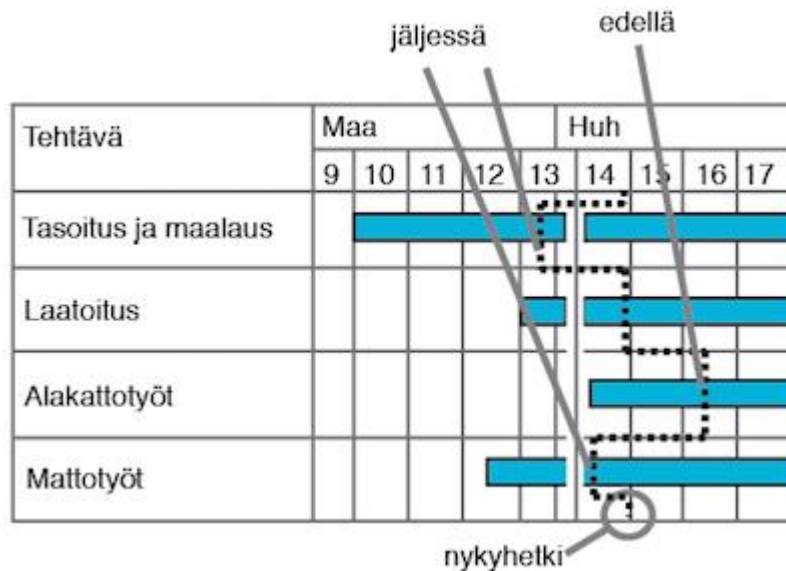
VIKKOAIKATAULU														
Tehtävä	Tekijä	Vahvuus	vko 43					vko 44					vko 45	
			MA	TI	KE	TO	PE	MA	TI	KE	TO	PE	MA	TI
C LOHKO														
Anturat, laudoitus	Alpo aliurakoitsija	2												
Routasuojaus, asennus	GM-yritys	1												
Anturat, raudoilus	MaiKa	3												
Anturat, valu ja tartunnat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

Kuva 7. Esimerkki viikkoaikataulusta. [5, s. 34.]

Tehtäväsuunnittelulla pyritään varmistamaan yksittäisten työtehtävien ajallisten, taloudellisten ja laadullisten tavoitteiden saavuttaminen. Tehtäväsuunnitelmalla tarkennetaan karkeamman tason suunnitelmat sellaiselle tasolle, että sitä voidaan käyttää tuotannon valvonnan, johtamisen ja ohjauksen välineenä. Laadintaa varten tulee selvittää muun muassa tehtävien aika- ja kustannustavoitteet, vaadittavat resurssit, aloitusedellytykset, mahdolliset ongelmakohdat sekä laatuvaatimukset. [5, s. 36.]

2.3 Jana-aikataulu

Jana-aikataulussa työtehtävät pilkotaan sopiviin kokonaisuuksiin ja niiden kestot esitetään janojen muodossa. Useimmissa jana-aikatauluissa aikataulutettavat tehtävät luetellaan allekkain aikataulun vasemmassa reunassa ja yläriville merkitään aika esimerkiksi viikkonumeroina. Kunkin työtehtävän kohdalle piirretään jana, josta selviää niiden aloitus- ja lopetusajankohdat sekä samalla tehtävälle varattu aika päivinä (kuva 8). [4, s. 21.]



Kuva 8. Ote jana-aikataulusta, jossa tehtävien nykytilanne on kuvattuna murtoviivalla. [4, s. 22.]

Aikatauluun voidaan, ja on tosinaan jopa suositeltavaa, sijoittaa myös lisätietoja, kuten suoritemäärät, työmenekit tai työsaavutukset. Tarvittaessa resurssien siirtyminen tehtävien välillä on hyvä esittää riippuvuusnuolella (kuva 9). Tehtävien tilanne tarkasteluhetkellä merkitään Suomessa usein murtoviivalla (kuva 8). [4, s. 22.]

Jana-aikataulun ominaisuuksien heikkouden piilevät siinä, että sen avulla on hankalaa havainnollistaa tehtävien etenemistä ajan ja paikan suhteen ilman, että siinä esitetyt tehtävät ositellaan paikkakohtaisesti. Ilman osakohteisiin jakamista aikataulussa pysymisen tarkastelu ja tuotannon valvonta on jana-aikataulua käytettäessä hankalaa. [4, s. 22.]

Kerros	Tehtävä	Määrä	Resurssi	Aloitushetki	Lopetushetki	Maa					Huh					
						6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Väliseinätyö	350 m ²	2 + 1	8.2.10	24.2.10	█										
1	Tasointi ja maalaus	550 m ²	2 + 2	24.2.10	9.4.10			█	█	█	█	█	█	█		
1	Laatoitus	40 m ²	2 + 1	29.3.10	14.4.10							█	█	█		
2	Väliseinämuuraus	350 m ²	2 + 1	24.2.10	16.3.10			█	█	█						
2	Tasointi ja maalaus	550 m ²	2 + 2	9.4.10	13.5.10									█	█	█
2	Laatoitus	40 m ²	2 + 1	14.4.10	30.4.10										█	█

Kuva 9. Riippuvuusnuolien merkintä jana-aikataulussa. [4, s. 21.]

2.4 Vinoviiva-aikataulu

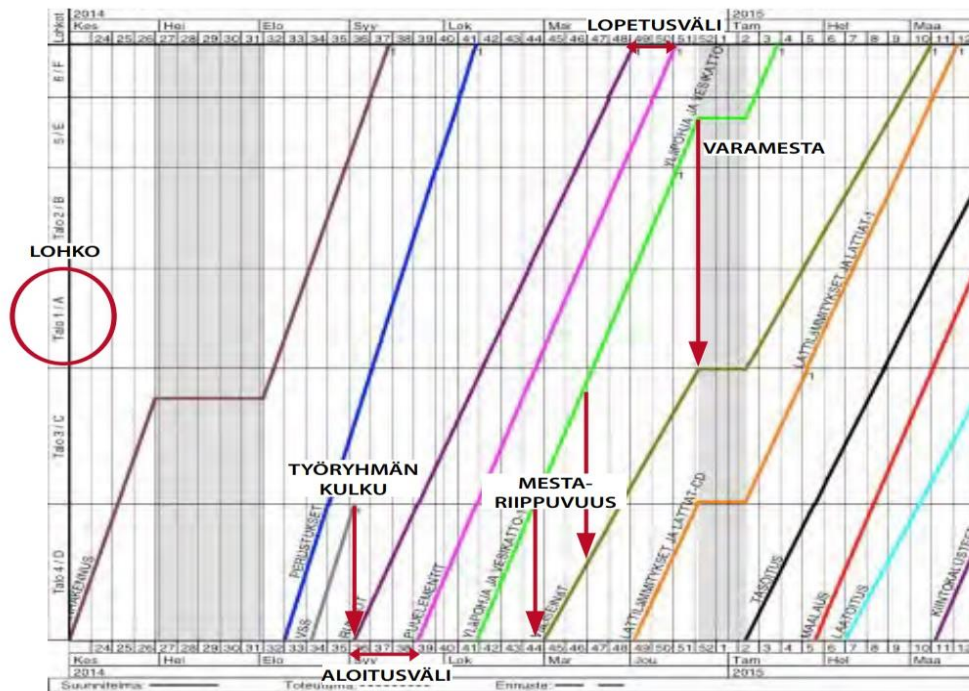
Suomessa käytettäviä vinoviiva-aikataulun tyyppejä on kaksi: paikka-aikakaavio ja tuotantokaavio. Paikka-aikakaaviossa tuotannon etenemistä kuvataan ajan ja paikan suhteessa, tuotantokaaviossa taas ajan ja tuotannon määrän suhteessa. Näitä kahta yhdistää se, että tehtävät kuvataan kaavioihin piirretyillä vinoviivoilla. [4, s. 25.]

2.4.1 Paikka-aikakaavio

Paikka-aikakaaviossa (kuva 10) tuotannon eteneminen kuvataan ajan ja paikan suhteessa. Työn edistyminen on sidottu aikataulua luodessa jaettuihin osakohteisiin, joille päätetään suoritusjärjestys. Paikka-aikakaavion pystyakselille on lueteltu osia rakennuksesta, joita voivat olla esimerkiksi kerrokset tai portaat ja vaaka-akselilla kuvataan ajan kulku viikkojen tai päivien muodossa. [4, s. 25.]

Työvaiheiden kestot sekä aloitus- ja lopetusajat kuvataan aikatauluun piirrettävien vinoviivojen avulla. Näistä ilmenee myös tehtävien suoritusjärjestys. Vinoviivojen kaltevuus kuvaa tuotantonopeutta, mitä pystympään viiva on piirretty, sen vähemmän tehtävälle on varattu aikaa. Täysin pystyyn piirretyt viivat merkitsevät usein aikataulun laadintaan vaikuttavia sopimusteknisiä seikkoja, kuten välitavoitteet, loma-ajat tai sovitut keskeytykset ja osaluovutukset. [4, s. 25.]

Paikka-aikakaaviota käytetään usein rakennushankkeissa koko hankkeen kattavana yleisaikatauluna. Sen käytön etuna on, että se havainnollistaa töiden tuotantonopeuden ja esittää paikkatiedot yhdistettyinä aikatauluun. Näiden ominaisuuksien avulla on mahdollista tahdistaa eri työvaiheet keskenään siten, että ne etenevät jouhevasti ja samalla voidaan varmistaa osakohteiden riittävyys suunnitelmassa oleville töille. [4, s. 26.]



Kuva 10. Esimerkki paikka-aikakaaviosta. [9, s. 5.]

2.4.2 Tuotantoaikakaavio

Tuotantoaikakaavio kuvaa tuotannon etenemisen suhteuttaen ajan ja tuotannon määrän keskenään. Kaaviossa vaakatasossa kulkee aika ja pystyakselilla kuvataan valmiusastetta valmiusasteprocentageina (VA%) tai suoritelmäärää. [4, s. 27.]

Valmiusasteprocentageilla kuvataan aikataulutehtävien suunnitellun tai toteutuneen määrän suhdetta kokonaistymäärään ja se voidaan laskea seuraavasti:

$$VA\% = \text{tehty määrä/kokonaistymäärä} \cdot 100 (\%) \quad [4, s. 27.]$$











Määrätiedot ovat olennaisia lähtötietoja tuotantoaikakaavion laatimisessa. Tuotantoaikakaavio sopii hyvin käytettäväksi niin isompien työvaiheiden kuin yksittäisten tehtävienkin valvontaan, sillä sen avulla saadaan helposti selville edistyvätkö työt suunnitellun aikataulun mukaisesti, kuinka suuri osa työstä on tekemättä ja näiden kahden tiedon avulla, se poikkeako tuotantonopeus suunnitellusta. Tuotantoaikakaaviosta saatuja tietoja voidaan käyttää esimerkiksi tuotannon vaiheiden kehityksen tai tuotantonopeuden seuraamiseen. [4, s. 27.]

2.5 Valvontavinjetti

Valvontavinjetin avulla saadaan nopeasti selville työvaiheiden tai osakohteiden valmiusasteet. Työvaiheiden eteneminen voidaan kuvata vinjetinä matriisimuodossa, jolloin matriisin reunoilla näkyvät suunnitellut työvaiheet ja osakohteet sekä kunkin osakohteen kohdalla niiden suunnitellut aloitus- ja lopetusajankohdat tai vaihtoehtoisesti töiden etenemistä koskevat merkinnät voidaan tehdä esimerkiksi pohjapiirustukseen. [4, s. 30.]

Töiden etenemistä seurataan väreillä, rastittamalla tai molemmilla (kuva 11). Ruudun yli vedetään yksi viiva, kun työt on aloitettu tai siitä on esimerkiksi 50% valmiina. Töiden valmistuttua ruutu rastitetaan. [4, s. 30.]

Valvontavinjetissä käytettävät värit ovat yleensä sininen, vihreä ja punainen. Mikäli vinjetissä on yhdistetty viivojen ja värien käyttö, kuvataan sinisellä värillä etuajassa, vihreällä suunnitellussa aikataulussa ja punaisella myöhässä valmistunutta työvaihetta tai -kohdetta. Väreillä voidaan korvata myös viivojen käyttö, jolloin vihreä väri tarkoittaa, että kohde on valmis, sininen että työt on aloitettu, mutta kesken ja punainen että työ on myöhässä. [4, s. 31.]

Valvontavinjetti	A-porras, 2. kerros							
Tehtävä	A3	A4	A5					
Työvaihe 1	 35 ma 35 ma	 35 ma 35 ti	 35 ti 35 ti					Ei ajankohtainen
Työvaihe 2	 35 ma 35 ma	 35 ti 35 ti	 35 ti 35 ke					Ajallaan
Työvaihe 3	 35 ke 35 ke	35 to 35 to	35 to 35 pe					Etujassa
								Myöhässä
		Työtä ei aloitettu						
		Työ aloitettu		35 ti	Aloituspäivän viikkonumero ja viikonpäivä			
		Työ valmis		35 ke	Lopetuspäivän viikkonumero ja viikonpäivä			

Kuva 11. Esimerkki valvontavinjetistä, jossa yhdistetty rastittaminen ja värit.

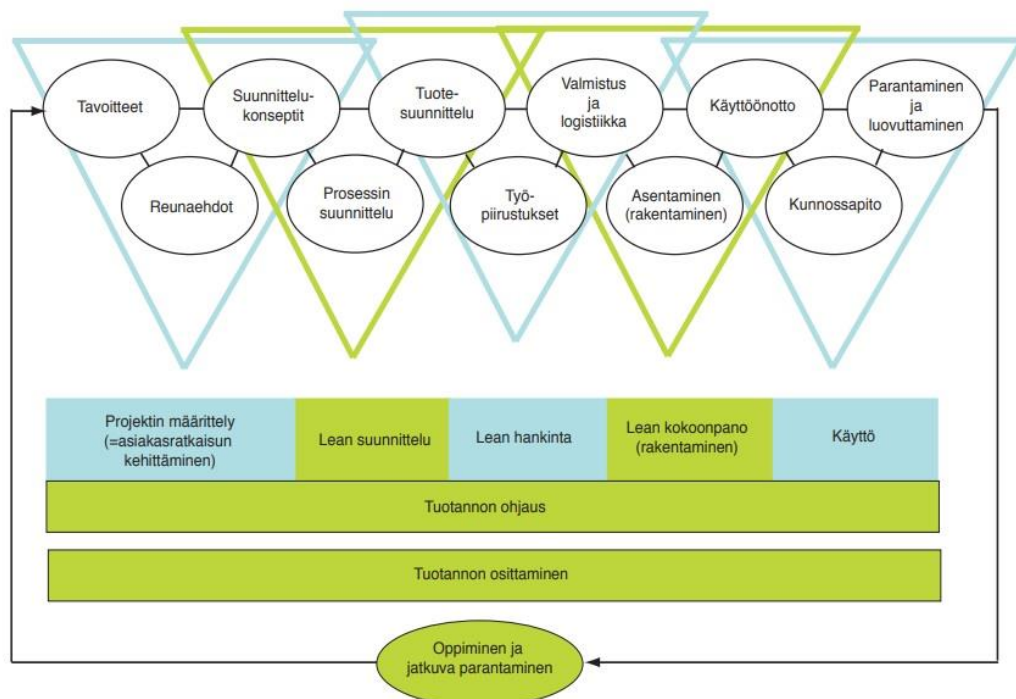
3 Tahtiaikataulun luominen ja käyttö rakennushankkeessa

3.1 Lean rakentaminen

Lean rakentaminen on Lean ajattelun pohjalta rakennusalan tarkoituksiin sovellettu tapa. Lean ajattelu pohjautuu tavoitteeseen maksimoida asiakkaille tuotettu arvo samalla kun projektien toimitusketjujen hukka pyritään minimoimaan. [4, s. 14.]

Lean rakentamisessa näkemys on, että projektien tehokkain organisointitapa on koota yhteistyössä toimivia joukkoja eri projektin osapuolista. Yksi joukko voi sisältää esimerkiksi tilaajan, suunnittelijoiden ja arkkitehtien sekä urakoitsijoiden edustajia. Tavoitteet perustuvat ensinnäkin asiakkaan tarpeisiin vastaamiseen eli oikean tuotteen toimittamiseen sovittun aikataulun puitteissa oikeaan hintaan ja toiseksi projektinaikaisten hukkiin poistamiseen ja tästä koituvien hyötyjen keräämiseen. [4, s. 15.]

Kunnianhimoisen Lean projektin ihanteellisena tilanteena on luovuttaa asiakkaalle täydellinen lopputuote, jonka valmistuksessa kaikki hukka on poistettu. Leanin projektipohjainen tuotantosysteemi on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Lean projektijohtamisen tuotantosysteemin rakenne. [4, s. 16.]

Leanin jalkauttaminen suomalaisille työmaille on tuonut positiivisia muutoksia työmaan kulttuuriin. Vanhasta, niin sanotusta komentamismallista siirrytään hiljalleen kohti eri osapuolten yhteistä tekemistä, jossa henkilöt voivat tuntea itsensä tärkeiksi ja heille annetaan mahdollisuus ilmaista mielipiteensä asioihin. Urakoitsijoiden ja aliurakoitsijoiden edustajat kokoontuvat yhdessä pohtimaan miten työvaiheet saadaan hoidettua aikataulussa ja aliurakoitsijat sitoutuvat noudattamaan sitä. Suunnittelijat, tuotannon edustajat ja käyttäjät miettivät yhdessä ratkaisuja eri asioihin. Lyhyesti sanottuna kaikilla on yhteinen halu parantaa omaa ja koko projektiorganisaation toimintaa yhteisen hyvän vuoksi. [17.]

3.2 Tahtituotanto

Tahtiaika on etenkin Lean tuotannosta tuttu käsite, jolla kuvataan yksittäisten työvaiheiden kestoja virtausperiaatteella toimivassa tuotannossa. Virtausperiaate saadaan käytännössä toimimaan pilkkomalla ja mitoittamalla jokainen työvaihe saman pituisiin tahteihin ja aikatauluttamalla ne alkamaan siten, että osakohteen seuraava työvaihe alkaa mahdollisimman pian edellisen päätyttyä (kuva 13). [7.]

Tahtituotannon käyttö vie perinteisen tuotannosuunnittelun entistä tarkemmalle, konkreettisemmalle ja ennakoitavammalle tasolle. Uudisrakentamisessa, ja osaltaan myös korjausrakentamisessa, on paljon toistuvuutta etenkin kerrostalo- ja hotellikohteissa. Tällaiset rakennushankkeet ovat oivallisia kohteita tahtiaikatuoannon hyödyntämiseen, sillä niiden kerroskohtaisten pohjaratkaisujen toistuvuus on edullinen tahtiaikatuoannolle tyyppiselle virtausperiaatteelle. [7.]

Tahtiaikatauluttamisen avulla mahdollistetaan, että työskentelypiste ja työhön vaadittavat materiaalit sekä muut resurssit ovat käytettävissä silloin kun pitää. Jokaisen on aikataulua katsomalla helppo ymmärtää, mitä tapahtuu, missä ja mihin aikaan. Optimaalisessa tilanteessa työvaiheiden ennakkosuunnittelu on tehty huolellisesti ja työt saadaan suoritettua kerralla kuntoon. Tuotanto kokonaisuudessaan etenee sujuvasti, kun työvaiheiden välinen hyppiminen vähenee ja pystytään varmistamaan työpisteiden valmius seuraavaksi alkavaa työvaihetta varten. Tämä mahdollistaa sen, että urakan läpimenoaika lyhenee, kustannukset pienenevät ja hankkeen jokainen osapuoli hyötyy tilanteesta. [1.]

The image shows a Gantt chart with a hand pointing to a specific task. The chart is organized into columns representing weeks (Vko 13 to Vko 28) and rows representing tasks. Each task is represented by a colored bar indicating its duration. Milestones are marked with vertical lines and labels such as '13. tahti', '14. tahti', '15. tahti', '16. tahti', '17. tahti', '18. tahti', '19. tahti', '20. tahti', '21. tahti', '22. tahti', '23. tahti', '24. tahti', '25. tahti', '26. tahti', '27. tahti', and '28. tahti'. The tasks are color-coded in various colors including blue, orange, green, and red. The hand is pointing to a task in the 15th week.

Kuva 13. Esimerkki tahtiaikataulusta, jossa yksi tahti on 1,5 työpäivän pituinen. [16.]

3.3 Yleisaikataulu ja sen merkitys tahtiaikataulun luomisessa

Yleisaikataulussa kuvataan koko rakennushankkeen suunniteltu työnkulku ja työmaalla se toimii pohjana toteutuksen ja ajoitusten ohjauksessa. Yleisaikataulussa pääresurssit ovat mitoitettuina, joten se toimii lähtötietona resurssien, kuten työvoiman, hankintojen ja kaluston suunnittelussa sekä pohjana tarkemman tason suunnitelmille, kuten tehtäväsuunnittelulle sekä esimerkiksi viikko- ja tahtiaikatauluille. [5.]

Tahtiaikataulua luodessa tarkennetaan yleisaikataulua tahtiaikataulun vaatimalle tasolle ja mietitään tarkemmin suoritettavien työvaiheiden vaatimat resurssit ja vaiheiden aloitusvaatimukset. Koska tahtiaikataulu luodaan kuitenkin yleisaikataulun pohjalta, on tärkeää, että yleisaikataulu on hyvin luotu, jottei näiden kahden välillä tule merkittäviä ristiriitoja tai kertautuvia, esimerkiksi laskennasta johtuvia virheitä.

3.4 Tehtävien tahdistaminen

Tehtävien tahdistamisella tarkoitetaan sitä, kun työmaan eri tehtävät on suunniteltu etenemään keskenään samassa tahdissa osakohteesta toiseen ilman ylimääräisiä häiriötekijöitä, kuten toiset työryhmät. Kun tehtävät on jaettu tasapitkiin ajanjaksoihin, etenevät työvaiheet samalla nopeudella, vaikka niiden sisällöissä ja työmäärissä olisikin vaihtelevuutta. Tämä vaatii kuitenkin hyvää resurssien hallintaa ja toisinaan joissakin työtehtävissä esimerkiksi kahta työryhmää. Tahdistus tulee tarkistaa laskelmin sekä graafisin menetelmin ja tarkistuksen jälkeen tarvittaessa muuttaa toimivammaksi. [4, s. 84.]

Tahdistuksella pyritään saamaan työryhmille rauhallinen ympäristö hoitaa omat työnsä. Edellytyksenä on riittävät aloitus- ja lopetusvälit sekä tasainen tuotantonopeus. Tavoitteena pidetään, että työryhmille löytyy 2-4 varatyökohdetta mahdollisten häiriö- tai poikkeustilanteiden varalle. Vaikka monelle tahtiaikataulu tuokin mieleen tiukan ja suuria vaatimuksia asettavan aikataulumuodon, on se usein todellisuudessa hyvin suunniteltuna lopulta jokaiselle hyvinkin edullinen vaihtoehto. [4, s. 84.]

Tahdistuksen laskeminen

Tahdistusta varten aikataulutehtäville lasketaan tahdistettava kesto ja määrätään aloitusväli tehollisen rakennusajan, tahdistettavien tehtävien lukumäärän ja valitun aloitusvälin avulla seuraavasti (Kankainen, J. & Sandvik, T. 1993.):

$$T_t = T - (n-1) \cdot t_a, \text{ missä}$$

T_t = tahdistava kesto

T = tehollinen rakennusaika

t_a = tehtäville valittu aloitusväli

n = tahdistettavien tehtävien lukumäärä

Yksittäisten tehtävien keston voidaan vaikuttaa muuttamalla työtehtävän sisältöä, työryhmän kokoa tai työryhmien määrää. [4, s. 84.]

3.5 Suunnittelun vaiheet

Lyhyesti selitettynä tahtituotannon suunnittelun vaiheet voi jakaa seuraavasti:

1. Tietojen kokoaminen – Kerätään kokoon tiedot projektin tuotantoprosessista ja sen vaiheista sekä suunnitellaan työvaiheiden järjestys ja niiden kestot.
2. Osittelu – Jaetaan työskentelykohde osakohteisiin, jotka toimivat tahtiaikataulun yksikköinä.
3. Yhden tahdin määrittäminen – Valitaan tuotannolle sopiva tahtiajan yksikkö, eli etenemisnopeus. Tämä kannattaa valita hitaimman työvaiheen mukaan. On kuitenkin hyvä miettiä ennen valintaa, voidaanko hitainta vaihetta jakaa pienempiin osiin tai muulla tavoin nopeuttaa.
4. Työvaiheiden tasaaminen – Luodaan niin sanottu tuotantojuna, eli tasataan kaikki työvaiheet määritellyn etenemisnopeuden mukaan. Tasaamisen keinoina voidaan käyttää esimerkiksi resurssien mitoitusta. Aikataulussa pysymisen turvaamiseksi voi olla hyvä sopia aliurakoille asetetut mahdolliset sanktiot välitavoitteiden lisäksi myös etenemisnopeuteen. [7.]

Ylimääräisten yllätyksien välttämiseksi tulee tuotannon alla olevan projektin suunnitelmat olla mahdollisimman pitkälle vietyjä, mielellään valmiita, jo aikataulusuunnittelun yhteydessä. Työvaiheiden sujuvan etenemisen kannalta on tärkeää miettiä hyvissä ajoin myös materiaalitoimituksia ja logistiikkajärjestelyitä. Pyrkimyksenä on ajoittaa materiaalitoimitukset täsmällisiksi siten, että kuhunkin työvaiheeseen tarvittavat materiaalit ovat työmaalla esimerkiksi 1-2 vuorokautta ennen työn alkamista. Tasautettu ja ennakoitava, huolella hyvin lähtötiedoin suunniteltu, tahtiaikataulu mahdollistaa myös hyvän logistiikan hallinnan.

3.6 Käyttö ja hyödyntäminen

Tahtiaikataulun potentiaalın esilletuomiseksi kannattaa yhden tahdin pituus pitää lyhyenä, esimerkiksi päivän mittaisena. Tahdin pituuden venyessä kattamaan pidemmän aikavälin, kuten viikon, ei se eroa juurikaan enää tavallisesta paikka-aikakaaviosta. Tahdın ollessa saman pituisia saadaan aikaan tahtiaikataululle ominainen työvaiheiden jatkumo, jonka ansiosta hukka-ajan määrä pienenee.

Työvaiheista pyritään luomaan loogisessa järjestyksessä etenevä kokonaisuus. Tavoitteena on, että yhdessä osakohteessa on käynnissä vain yhden vaiheen työt. Tällä taataan työryhmille työrauha, mikä hyvässä tapauksessa johtaa lopulta työn laadun parantumiseen.

Kun tahtiaikataulussa on esitetty työvaiheiden aloitus- ja lopetusajankohdat sekä tarkat sijainnit esimerkiksi asuntokohtaisesti, on aikataulua katsovan helppo ymmärtää minkä vaiheiden pitäisi tarkasteluhetkellä olla käynnissä ja missä. Aikataulussa pysymistä on tällöin helppo valvoa ja myös ennakointi helpottuu.

Tahtiaikataulun tarkkuutta kannattaa hyödyntää myös logistiikanhallinnassa. Kerralla tehtävät materiaalilaukset voidaan pitää maltillisen kokoisina ja toimitukset voidaan suunnitella ajoitettaviksi siten, ettei pitkäaikaisia varastointeja tulisi paljoo. Tahtiaikataulun vaikutuksista logistiikkaan kerrotaan enemmän kappaleessa 6.

3.7 Last Plannerin käyttö tahtiaikataulun rinnalla

Last Planner on Yhdysvalloissa 1990-luvulla tuotannon ohjauksen tueksi kehitetty aikataulutekniikka, jonka käyttö tarjoaa visuaalisen näkökulman aikataulujen suunnitteluun ja tarkasteluun. Lähtökohtaisesti sen käytön tuomat hyödyt ovat pitkälti saman tyyliisiä kuin tahtiaikataulun. Tuottavuus kohenee töiden sujuvuuden parantuessa, ennustettavuus ja työvaiheiden aloitusedellytysten varmistaminen antaa mahdollisuuden aloitusvälien lyhentämiseen, suunnitelmallisuus ja mahdollisuus parempaan logistiikanhallintaan kohottaa työturvallisuutta sekä laatu paranee edellä mainittujen asioiden ja tahtiaikataulun ja Last Plannerin käytön vaatiman sitoutumisen ansiosta. [11.]

Last Planneria käytetään etenkin lyhyiden aikavälien suunnitteluun ja ohjaukseen. Lyhyesti kuvailtuna sen käyttö on sitä, kun työnjohtajat kokoontuvat yhteen suunnittelemaan seuraavan viikon töitä jakaen pidemmän aikavälin työtehtäviä viikkotehtäviin, selvittämään työvaiheiden tilannetta ja seuraavien työvaiheiden aloittamisen vaatimuksia, ratkaisemaan ongelmia.

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

Kuva 14. Taulukossa vertailtu tehtäväsuunnittelun ja Last Planner -menetelmän eroja. [12, s. 71.]

Last Plannerin käyttö tahtiaikataulun rinnalla tukee töiden ja niin sanotun virtaustehokkaan toiminnan sujuvoittamista. Se täydentää tahtiaikataulua etenkin työvaiheiden aloitusten edellytysten sekä työmaan tarkasteluhetkisen tilanteen yhdessä selvittämisen kautta. Last Plannerin avulla nostetaan mahdollisuuksia tuotannonohjauksessa onnistumiseen, mahdollisten ongelmatilanteiden ennaltaehkäisyyn sekä reagointikyvyn parantamiseen.

4 Tahtiaikataulun tilanne tällä hetkellä

Usean rakennusliikkeen referensseistä löytyy kohteita, joissa on hyödynnetty tahtituotantoa. Tästä huolimatta käytännön kokemus tahdistamisesta on kuitenkin sen verran vähäistä, että sen käytön tuomien vaatimusten ja hyötyjen selvittämisessä riittää vielä reilusti työtä.

Rakentamisalalla tahtiaikataulun käytön tuomia hyötyjä on pyritty saamaan käyttämällä paikka-aikakaavioita, joissa työvaiheiden eteneminen on tasautettu suhteessa toisiinsa. Todellisuudessa tällä ei kuitenkaan saada samanlaisia hyötyjä irti kuin tahtiaikataulua käyttämällä, sillä suunnittelun tarkkuustaso ei ole tarvittavan korkea ja erilaiset ja eri pituiset puskuriajat sekä tuotannon vaihtelu estävät todellisen tahtiaikatuotannon saavuttamisen. Tahtiaikataulu on potentiaalinen aikataulumuoto, jonka käyttö luo mahdollisuuden uudistaa ja kehittää nykyisin käytettäviä tuotannonohjauksen periaatteita. [7.]

Vaikka tahtituotannon laaja-alainen käyttöönotto onkin vielä alkutekijöissään, saa usein lukea tai kuulla, kuinka tahtiaikataulua käyttäneiden työmaiden aikataulua, etenkin sisävalmistustöiden osalta, saatu tiivistettyä jopa useita kymmeniä prosentteja. Tästä huolimatta vaihtaminen totutuista käytännöistä uusiin, mahdollisesti alkuun enemmän vaatimuksia asettaviin, tapoihin ei onnistu hetkessä eikä ilman jonkin asteista vastarintaa.

Lehtiartikkeleiden ja kuultujen puheiden perusteella on kuitenkin muovautunut kuva, että kun aikataulun luontiin vaaditut lähtötiedot ovat olleet kunnossa ja tahtiaikataulun käyttöön on osattu varautua riittävin resurssein, on sen käyttö ollut edullista niin tilaajalle ja urakoitsijalle kuin alirakoitsijoillekin.

4.1 Urakoitsijoiden kokemuksia

Monelle urakoitsijalle tahtituotannon hallinnassa on vielä opettelemisen varaa. Tällä hetkellä käytetään tahtituotanto-sanaa liian helposti tietämättä välttämättä mitä se todellisuudessa pitää sisällään. Aikataulun laatiminen ja sopiviin osiin pilkkominen vaatii aikaa ja osittain uutta tapaa ajatella aikatauluttamista. Se vaatii eri osapuolten välistä tiivistä

yhteistyötä, hyvää ennakkosuunnittelua ja aliurakoitsijoiden aikaista sitouttamista tahti-aikataulun noudattamiseen.

Vaikka vaatimuksia onkin, on tahtituotannon hyödyistä kuitenkin jo sen verran positiivisia kokemuksia, että yhä useammat haluavat ottaa sen käyttöönsä. Huonomminkin onnistuneella tahtituotannon kokeiluilla on yleensä saatu parannuksia ainakin osakohteiden käyttöasteisiin ja logistiikanhallintaan. Parhaimmillaan taas sisävalmistusvaiheiden aikataulu on saatu supistettua jopa puoleen alkuperäisestä.

Kuten monessa muussa asiassa, myös tahtituotannossa harjoitus tekee mestarin. Kokemusten mukaan tulokset ovat parantuneet oppimisen myötä ja parhaita tuloksia on saatu aikaan, kun työorganisaatio aina suunnittelijoista aliurakoitsijoihin on pysynyt samana.

Työvaiheiden toistuvuus ja osakohteiden teko kerralla kuntoon helpottaa laadunvalvontaa. Kun laaturvirheet huomataan jo ensimmäisten tilojen kohdalla, voidaan toistuvien virheiden määrää karsia ajoissa. Tällöin vältetään ylimääräiseltä juoksemiselta ja korjaamiselta luovutusvaiheen lähestyessä.

Urakoitsijan kannalta on etu, jos samalla työryhmällä voi teettää useamman työvaiheen. Tällöin osakohteiden käyttöastetta saadaan helpommin nostettua. Aikataulussa pysymisen kannalta on hyvä sitoa aliurakoitsijoiden kanssa maksuerät tahtiaikatauluun ja sen vaatimiin etenemiin. Mahdollisuus aikatauluun vaikuttamiseen on tarjottu yhteisesti pidentyissä palaverissa, joissa tehtyihin päätöksiin aliurakoitsijoiden tulee sitoutua. Tahtiaikataulusta poikkeamat tavoiteajoista selviävät helposti, jolloin aikataulussa pysymistä on helppo seurata.

Informaation kulun parantuessa ja työryhmien välisen keskustelun lisääntyessä päästään usein mahdollisiin yllätyksiin puuttumaan ajoissa. Yhteisen toiminnan ja aikataulussa pysymisen paineen ansiosta työn tehokkuus ja tasaisuus paranee sekä aliurakoitsijoiden työnjohdolta odotetaan entistä tiiviimpää oman työn laadunvalvontaa, mikä on luonnollisesti urakoitsijan kannalta positiivinen asia. Oman päivittäisjohtamisen merkitystä ei silti tule unohtaa.

4.2 Aliurakoitsijat ja tahtituotanto

Tahtituotantoa hyödyntäneissä kohteissa olleiden aliurakoitsijoiden kokemuksia lehtiarikkeleiden ja aliurakoitsijoiden haastattelujen avulla selvittäessä on saanut kuvan, että alkukankeuden ja alun ennakkoluulojen jälkeen asioiden lähdettyä sujumaan ja tahtituotantoon totuttua kokemukset ovat olleen lähtökohtaisesti positiivisia. Positiivista palautetta on kertynyt etenkin informaation kulusta, ei vain työnjohdon ja -tekijöiden, vaan myös eri työporukoiden välillä, hyvästä logistiikanhallinnasta ja siitä, että omat työt on saatu hoitaa yhtäjaksoisesti kerralla kuntoon. Moni on myös kommentoinut olevansa valmis käyttämään tahtiaikataulua jatkossakin.

Poikkeuksiakin toki löytyy. Esimerkiksi osalta LVV- ja sähkötöiden edustajista on tullut palautetta toisinaan ilmenneestä kiireen määrästä. Myös pääurakoitsijoilta on tullut kommenttia talotekniikan tahdittamisen suunnittelun hankaluudesta ennen huoneistojen sisävalmistustöiden aloitusta. Alkuvaiheissa haasteita on tuottanut myös aliurakoitsijoiden kyky arvioida omien resurssien käyttöä. Ymmärryksen ja kokemuksen lisääntyessä työn tehokkuus ja laatu ovat kuitenkin nousseet hyvinkin nopeasti.

Usein tahtiaikataulun käsitys tiukasta ja joustamattomasta aikataulumuodosta on hälventynyt perehdytyksen ja informoinnin kautta sekä käytännön kokemuksen kertyessä. Käytön yhteydessä on huomattu, ettei joustamaton tahtiaikataulu ehkä olekaan täysin sellainen, miltä se aluksi saattaa vaikuttaa. Vaikka työtehtävien välisiä hukka-aikoja on vähennetty reilusti ja vaikuttaa, ettei puskureita olisi lainkaan, ovat ne kuitenkin hyvin laadussa aikataulussa olemassa. Erona vain on se, etteivät ne esiinny yhtä selkeästi ja niitä käytetään vain tilanteen vaatiessa. Tarkoitus ei siis ole, että työntekijät siirtyvät hoitamaan tehtäviä hallitsemattomasti sinne tänne, kuten toisinaan tuntuu tapahtuvan, vaan että työvaiheet etenevät alusta loppuun samassa paikassa, jotta seuraava vaihe pääsee alkamaan.

Tämä edesauttaa myös siinä, että työkohteiden välisen vaihtelun tarve vähenee. Tavoitteena on, että työt voidaan suorittaa samassa kohteessa kerralla alusta loppuun poistumatta välillä toiselle työmaalle. Tämän toteutuminen vaatii kuitenkin hyvää yhteistyötä ja aliurakoitsijoiden sitouttamista.

Tärkeää on saada aliurakoitsijoiden edustajat osallistumaan yhteisiin palavereihin ja töiden suunnitteluun, mikä voi alkuun olla hankalaa. Kokemuksien perusteella yhteisistä kokoontumisista on kuitenkin lopulta ymmärretty olevan hyötyä molemmille osapuolille.

4.3 Kuinka varautua ongelmiin

Tahtituotannon käytön alkuvaiheissa voi hyvinkin nousta esille uudenlaisia ongelmia, eikä todellisuus vastaa heti odotuksia. Näin etenkin, jos tahtiaikataulu otetaan käyttöön kesken työmaan ilman ajan kanssa tehtyä suunnittelua ja aliurakoitsijoiden sitouttamista toimintamalliin. Taulukossa 1 on esitetty muutamia asioita, joita on hyvä ottaa huomioon ennen käyttöönottoa, jotta ainakin osa ongelmista voidaan välttää.

Taulukko 1. Tapoja varautua tahdittamiseen liittyviin ongelmiin. [8.]

Ongelma	Keinot välttää ongelman syntyminen
Uusi toimintatapa -> muutosvastarinta	Perehdytys, yhdessä suunnittelu, sitouttaminen
Tahtiaikataulun laadinta, logistiikka ja noudattaminen vaatii aikaa ja sitoutumista. Resurssipula työnjohtopuolella	Ennakkosuunnittelu yhdessä ja ajan kanssa – porukalla sitoutuminen, resurssisuunnittelu ja mahdollisuus resursseihin (esimies asenne)
Työmaa ei saa riittävästi tukea ylemmältä organisaatiolta	Tehdään se yhdessä -asenne, koko organisaation sitoutuminen ja sitouttaminen
Aliurakoita sopiessa hankinta ei ole sitouttanut aliurakoitsijoita tahtiaikatauluun	Sopimusmuutokset
"Hinta edellä" valittu (ali)urakoitsija	Edellytetään ja sisällytetään sopimukseen se, että työt tehdään sopimuksen mukaisesti ja sovitulla urakkahinnalla

4.4 Kehitystavoitteet ja vakiinnuttaminen

Käyttämällä tahtiaikataulua voidaan tuotannosuunnittelun tarkkuustasoa kehittää huomattavasti nykyistä paremmaksi. Tavoitteena on saavuttaa tasainen ja ennakoitavissa oleva tuotantotahti. Tämä mahdollistaa myös entistä paremman logistiikan suunnittelun ja hallinnan sekä täsmätoimitusten oton laajempaan käyttöön. [7.]

Tahdittamisen avulla on jo nyt pystytty vähentämään ajallista ja materiaalista hukkaa ja parantamaan tuottavuutta. Varaa kehitykselle on kuitenkin vielä reilusti. Lisäämällä käyttöä voidaan tahdittamisen hyödyntämisestä oppia lisää ja täten tuotannosuunnittelua kehittää entisestään. Jatkuva oppiminen ja toimintatapojen parantaminen mahdollistaa myös esimerkiksi läpimenoaikojen lyhentämisen sekä kustannustehokkaan läpiviennin. Prosessia tulee hioa jatkuvasti paremmaksi. Tavoitteena on saattaa työt kerralla valmiiseen kuntoon, ongelmatilanteissa selvittää niiden aiheutumiseen johtaneet tekijät ja oppia jatkossa välttämään ne. [7.]

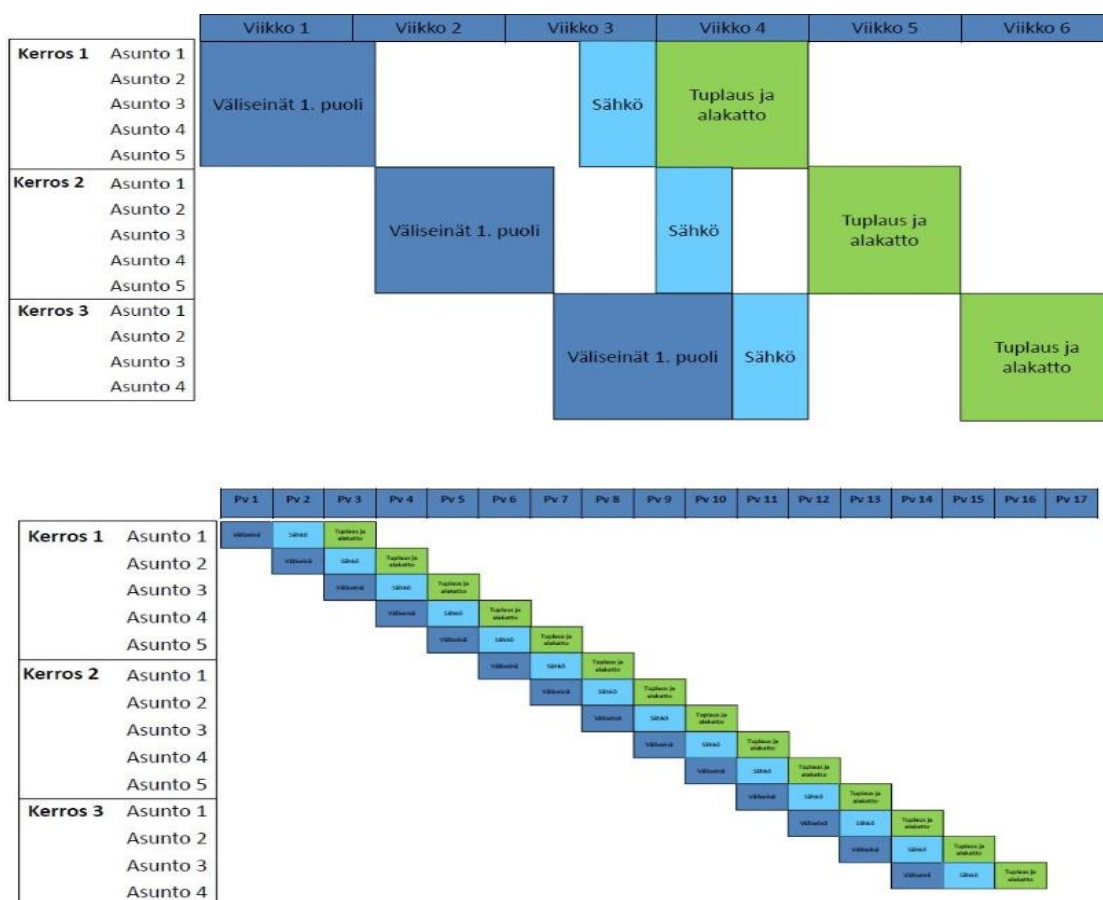
Vaikka tahtiaikatuotanto periaatteena on selkeä ja ymmärrettävä, on sen vakiinnuttaminen käyttöön hitaasti muutoksia vastaanottavalla rakennusalalla haastavaa, vaikka näyttöjä käytöllä saatavista hyödyistä onkin jo saatu. Muutoksen haastavuuteen vaikuttaa esimerkiksi liian vähäisen ajan varaaminen ennakkosuunnittelulle ja valmisteluille sekä tiukat ammattikuntarajat. [7.]

Helpotusta toisi, jos tahtiaikasuunnittelu saataisiin sisällytettyä jo rakennussuunnittelu- vaiheeseen. Tällöin vaikuttaminen suunnitteluratkaisuihin ja urakkarajoihin olisi mahdollista jo aiemmin ja tahtiaikatuotannon pääpiirteet olisivat varhaisemmin selvillä laajemmalle osalle työskentelyorganisaatiota ja sen käytön tuomia vaatimuksia voitaisiin ottaa mukaan urakkaneuvotteluihin ja hankintasopimuksiin. [7.]

5 Tahtiaikataulu verrattuna muihin aikatauluihin

Kun käytössä olevia aikataulutyypppejä on jo niin monia, miksi niitä pitäisi ottaa käyttöön vielä lisää? Vastaus on yksinkertainen; koska toimintaa halutaan kehittää. Tahtituotanto on hyvä tapa aloittaa.

Perinteisissä aikataulumalleissa työtehtävien väleihin jää liian paljon hyödyntämätöntä aikaa, kuten esimerkiksi kuvasta 15 on nähtävissä. Kuvan ylempi osa on laadittu perinteisesti käytetyn aikataulun pohjalta ja alemmassa osassa työt on jaettu tasapitkiin tahteihin ja niistä on muodostettu tehokkaasti etenevä kokonaisuus.



Kuva 15. Normaaliin tapaan suunniteltu aikataulu (ylempi) ja tahtiaikataulu (alempi). [16.]

Muita tahtiaikataulun ja perinteisesti käytettyjen aikataulujen eroja on esitetty taulukossa 2. Taulukossa vertailukohdaksi on asetettu vinoviiva-aikataulu, joten erot ja niiden huomattavuus saattaa hieman vaihdella.

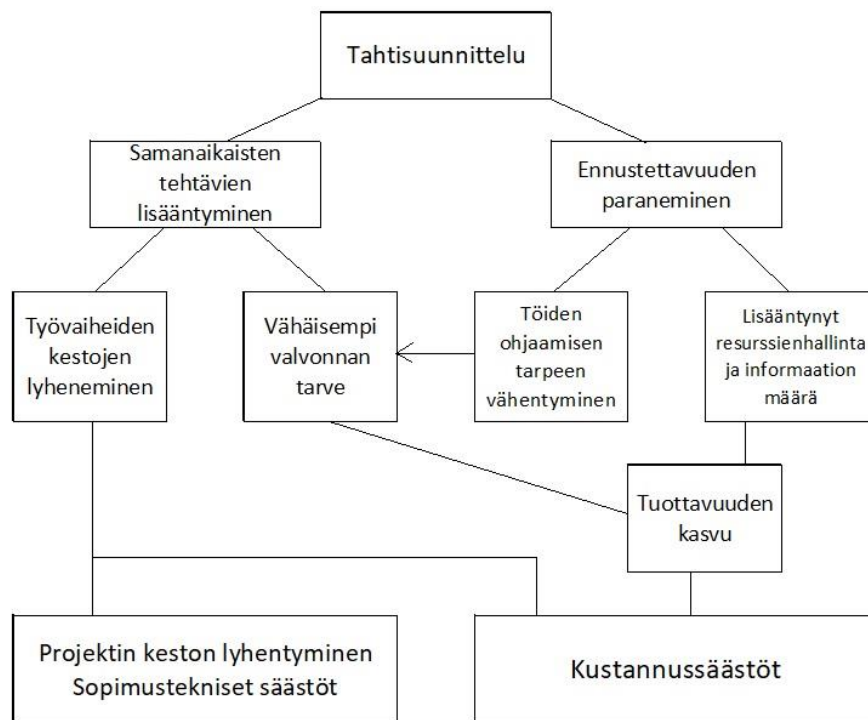
Taulukko 2. Tahtiaikataulu verrattuna vinoviiva-aikatauluun.

Tahtiaikataulu	Vinoviiva-aikataulu
Tyypillisesti ajallinen tarkkuustaso päivissä, paikat esitetty tilakohtaisesti.	Tyypillisesti ajallinen tarkkuustaso viikoissa, paikat esitetty kerroskohtaisesti.
Kaikilla työvaiheilla tasainen etenemistahti.	Etenemistahti vaihtelee työvaiheittain.
Poikkeamat tavoiteajoista huomataan heti -> nopea reagointi.	Aikataulupoikkeamat vaikeammin havaittavissa.
Lähtökohtaisesti materiaalit asennetaan paikalleen nopeasti niiden saavuttua.	Toisinaan pitkäaikaisia välivarastointeja.
Töiden aloituksen edellytykset huomioitu.	Töiden aloitus saattaa venyä materiaali-puutteiden tai edelliset työvaiheen keskeneräisyyden vuoksi.
Yhdessä tekemisen mentaliteetti, sitoutuminen.	Yksi päättää, muut noudattavat.
Toiminnan kehittyminen, laadun parantaminen.	Ei muutosta nykyiseen.
Nykyisten käytäntöjen tehostus ja hukan väheneminen.	Ei muutosta nykyiseen.

5.1 Käytön tuomat edut ja haasteet

Tahtiaikataulun käytön etuja pohtiessa nousee usein esille kolme asiaa: aikasäästöt etenkin sisävalmistusvaiheessa, ennustettavuus ja tuotannonhallinnan paraneminen sekä laadun paraneminen. Myös potentiaaliset vaikutukset tapaturmien vähenemiseen logistiikanhallinnan kohetessa on hyvä nostaa esille. Vähäisemmät materiaalien varastoinnit ja liikuttelut pudottavat esimerkiksi riskiä kompastua kulkutiellä olevaan tavaraan tai vahingoittaa itseään noston tai kannon yhteydessä.

Tahtituotannossa eduksi on, jos yhteistyökumppanit ovat ennestään tuttuja ja hyväksi todettuja. Yhteistyö sujuu tällöin paremmin ja toisten toimintatavat ovat eri osapuolille tuttuja. Mikäli tahtityömaalla osapuolten välinen yhteistyö on ollut sujuvaa, kannattaa yhteistyötä jatkaa mahdollisuuksien mukaan. Tällöin tahdittamisen asettamat vaatimukset toimintatavoille ovat hallussa ja niitä päästään kehittämään entisestään, mikä hyödyttää kaikkia osapuolia.



Kuva 16. Tahtituotannon hyötyjä. [13, s. 4.]

Tahtiaikataulun käytön opettelu ja siihen tottuminen vaatii oman aikansa. Suurimmat haasteet liittyvät tahtiaikataulun käytön asettamiin resurssivaatimuksiin, excel-pohjaisen aikataulun päivittämisen kömpelyyteen, kohteen jakamiseen sopiviin osiin ja tahtiaikataulun soveltavuuteen kohteissa, joissa esimerkiksi tilakohtaista toistuvuutta on vain vähän. Lisäksi aliurakoitsijoiden sitouttaminen tahtiaikataulun käyttöön voi luoda omat haasteensa, etenkin jos sen käyttö ei ole heille ennestään tuttua. Ongelmaksi voi muodostua myös aliurakoitsijoiden vaihtuvuus, sillä yhteistyökumppanin vaihtuessa joudutaan toimintatavat opettelemaan alusta ja muovaamaan toimiviksi.

Tahtisuunnittelu	Tahtiohjaus
Aikataulun tiukkuus ja aikataulussa pysyminen	Oman organisaation ymmärrys
Työntekijöille asti ei tullut tahdistusta	Materiaalihankinta
Tahtialuejako epäselvä	Alueiden luovutus tai vastaanotto hankalaa tahdissa
Puskurien ja junien suunnittelu hieman epäselvää	Ei saada työtehtäviä valmiiksi tahdissa
Varamestat	Varamestat
Käyttäjäm muutokset / suunnitelmapuutteet	Työn tasaisuus
	Tuottavuuden seuraaminen

Kuva 17. Tahtisuunnittelussa ja -ohjauksessa havaittuja ongelmia. [17.]

Eräs esille nostettu ongelma piilee tahtien mitoituksessa, etenkin jos tilakohtaista toistuvuutta on vähän. Tahdit mitoitetaan usein hitaimman työvaiheen mukaan, mikä saattaa aiheuttaa nopeammin etenevien töiden tekijöille turhaa odottelua. Tähän voidaan varautua mitoittamalla työryhmät siten, että lähtökohtaisesti hitaammin eteneviin töihin varataan enemmän työvoimaa, kuin nopeasti eteneviin töihin. Vaihtoehtoisesti, mikäli mahdollista, voidaan nopeammin valmistuvien työvaiheiden tekijöillä teettää myös muita työvaiheita tai edistää samaa työvaihetta toisessa paikassa, jolloin turhulta odottamiselta vältytään. [13, s. 3.]

5.2 Vaatimuksia onnistumiselle

Suunnitellun aikataulun mukaisesti työvaiheita toteuttaessa tulee esiintymään useimpien enemmän tai vähemmän poikkeustilanteita, oli käytössä sitten tahtiaikataulu tai mikä tahansa muu aikataulu. Toisinaan poikkeustilanteet eivät vaikuta merkittävästi töiden etenemiseen, välillä kuitenkin vaikutukset voivat olla erittäin massiivisia. Näihin poikkeustilanteisiin ja yllättäviin muutoksiin voidaan kuitenkin varautua erilaisin menetelmin, kuten hyvällä ennakkosuunnittelulla, jatkuvalla viestinnällä ja valvonnalla, sujuvalla logistiikanhallinnalla ja riittävillä resursseilla.

Tahtiaikataulun ollessa melko uusi ja pieniin osiin pilkottu aikataulutyyppi, korostuu ennakkosuunnittelun, käytön periaatteiden ymmärtämisen, logistiikan ja valvonnan merkitykset erityisen paljon. On tärkeää, että aikataulusuunnittelulle on varattu riittävästi valmistelu-aikaa. Mitä enemmän ennakkosuunnittelua ja laskentaa on tehty ennen töiden alkamista, sitä todennäköisemmin kyetään pysymään suunnitellussa aikataulussa.

Onnistuminen vaatii valmiiksi tehtyjä suunnitelmia sekä aloituspalavereja hyvissä ajoin ennen lopullisen aikataulun lukkoon lyömistä ja mielellään siten, että myös työn toteuttajat ovat palavereissa mukana. Tällä voidaan saada realistisempi käsitys suorituksen vaatimasta ajasta. Samalla luodaan keskinäistä luottamusta, joka edesauttaa tahtiaikatauluun ja sen asettamiin vaatimuksiin sitoutumista.

Urakkarajat tulee olla mietitty hyvin, ettei ilmene turhia lisätöitä, kommunikaatio toimii koko työmaaorganisaation kesken ja poikkeamiin tulee reagoida heti. Mikäli tulevilla asukkailla on mahdollisuus tehdä esimerkiksi materiaalivalintoja, tulee asukasmuutoksille olla asetettuna päivämäärä, johon mennessä valinnat täytyy olla tehtynä. Näin annetaan urakoitsijalle mahdollisuus reagoida asukkaan asettamiin vaatimuksiin ilman, että se vaikuttaa töiden etenemiseen ja suunniteltuun aikatauluun.

Hyvin luotu aikataulu on selkeä ja helppolukuinen, sopivan tiukka, mutta kuitenkin sellainen, jossa on huomioitu siirtymä- ja häiriövarat. Mahdollisiin työntekijöiden sairastumisiin, loukkaantumisiin ja lomiin tulee varautua riittävin resurssein sekä antamalla tarpeeksi aikaa työvaiheiden suorittamiseen. Tahtiaikatauluja ja aikataulussa edistymistä on helppo seurata, sillä siinä työvaiheet ilmoitetaan tiloitain, esimerkiksi asuntokohtaisesti ja aika näytetään päivinä tai jopa puolikkaina päivinä. Siitä ilmenee myös se, mikä

työvaihe on tulossa seuraavaksi ja kuinka nopeasti se alkaa edellisen vaiheen päätyttyä (kuva 18).

			Maanantai 12.8.2019	Maanantai 12.8.2019	Maanantai 12.8.2019	Tiistai 13.8.2019	Tiistai 13.8.2019	Tiistai 13.8.2019	Keskiviikko 14.8.2019	Keskiviikko 14.8.2019
Nro	Tahti		11:00	7:00	11:00	7:00	11:00	7:00	11:00	11:00
K.KERR	SPK									
	LVV									
	TALOVARASTO									
	KUIVAUSHUONE									
	PORRASKÄYTÄVÄ									
1.KRS / KUIVAT TILAT	A1	2H+KT 39,5m ²	HIONTA	PU LÄMPÖJHDOT						
	A2	2H+K+S 53m ²		SEINIEN HIONTA	PU LÄMPÖJHDOT					
	A3	1H+KT 41 m ²		SEINIEN HIONTA				PU LÄMPÖJHDOT		
	A4	1H+KT 28m ²	OJEN NTA	SEINIEN HIONTA						
	A5	3H+K+S 63 m ²	OJEN NTA	PYSTYSAUMA		SEINIEN HIONTA				
	A6	3H+K+S 66 m ²	OJEN NTA	PUMPPAUS 1krs					SEINIEN HIONTA	
	A7	2H+KT+S 45,5m ²	OJEN NTA						SEINIEN HIONTA	

Kuva 18. Kuvasta näkee mikä työvaihe on menossa missäkin asunnossa, kuinka paljon aikaa toteutukseen on ja mikä työvaihe alkaa seuraavana.

Tahtiaikataulun selkeys auttaa työnjohtoa hahmottamaan kuinka hyvin aikataulussa on pysytty. Toisaalta se luo tiukkuudellaan ja tarkkuudellaan vaatimuksia töiden valvonnan suhteen. Onkin tärkeää, että töiden etenemistä valvotaan tarkasti ja että valvontaan on varattu riittävästi resursseja niin pää- kuin aliurakoitsijoidenkin toimesta.

Koska tahtiaikataulu pyritään luomaan tehokkaaksi, korostuu logistiikkajärjestelyiden ja työpisteiden valmiuden merkitys entisestään. Töiden ajallaan alkamisen kannalta työpisteiden tulee olla edellisen työvaiheen jäljiltä valmis ja siistissä kunnossa ja työhön vaadittavien välineiden sekä materiaalien valmiina, jottei aikaa jouduta käyttämään työkalujen etsimiseen tai materiaalien siirtämiseen enää siinä vaiheessa, kun töiden pitäisi olla jo käynnissä.

6 Vaikutuksia logistiikkaan

6.1 Mitä on logistiikka?

Rakentamisessa logistiikalla tarkoitetaan materiaalivirtojen ja niihin liittyvän tiedonkulun hallintaa aika tuotesuunnittelusta toimitukseen. Logistiikan hallinta on merkittävässä roolissa töiden sujuvassa etenemisessä. Logistiikan hallintaan liittyy tavanomaisesti kysymyksiä, kuten mihin, miten ja kuinka paljon varastoidaan, miten materiaalit suojataan ja miten materiaalien siirrot hoidetaan. Tapoja on monia ja niiden valinta määräytyy pitkälti kohdekohtaisesti. Esimerkiksi toisilla työmailla on parkkihalli käytössä varastointitilana, toisilla taas ei, jolloin tavarat joudutaan varastoimaan esimerkiksi asuntoihin tai erilliseen logistiikkakeskukseen.

Logistiikanhallinta vaatii työmaan hahmottamista yhtenä kokonaisuutena. Logistiikkasuunnitelmaa tehtäessä on kuvattu edellytykset ja toimintatavat koskien materiaalien kuljetusta, purkua, varastointia, suojausta, siirtoa ja siivousta. [14, s. 7.]

Hyvällä logistiikan hallinnalla pyritään takaamaan, että työvaiheiden suorittamiseen vaadittavat materiaalit ovat saatavilla oikea-aikaisesti, jotta työt pääsevät etenemään suunnitellun aikataulun mukaisesti. Tähän sisältyy myös materiaalimenekin seuraaminen. Materiaalien loppuessa odottamattomasti kesken ei työt pääse jatkumaan, toisaalta taas niitä ollessa liikaa aiheutuu työmaalle ylimääräisiä kustannuksia.

Huonosti hoidettu logistiikka voi pahimmassa tapauksessa tulla hyvinkin kalliiksi. Vaurioituneet materiaalit, tavaroiden jatkuva siirtely toisinaan hintavalla kalustolla, odottaminen materiaalien saamiseksi työpisteelle ja mahdolliset ylimääräiset materiaalit kulkuteiden tukkeina vievät kaikki aikaa ja rahaa sekä haittaavat töiden edistymistä.

Oleellinen osa logistiikan hallintaa, etenkin laajempia varastointeja koskien, on logistiikka-, toimitus- ja aluesuunnitelmien laadinta ja päivittäminen. Työnjohdon ja mahdollisesti työmaalle valikoidun logistiikkaryhmän tulee olla tietoisia siitä, mihin materiaalit kannattaa sijoittaa niiden saapuessa, jottei ne haittaa työvaiheiden etenemistä tai aiheuta turhaa siirtelyä tai pitkiä kantomatkoja. Tulee pohtia, onko materiaalien asentaminen paikoilleen ajankohtaista vai tapahtuuko se vasta myöhemmin, mikä vaikuttaa

esimerkiksi siihen, kannattaako ne sijoittaa työpisteelle heti, vai väliaikaisesti johonkin muualle, jottei ne ole edellistä työvaihetta suorittavien haitoilla.

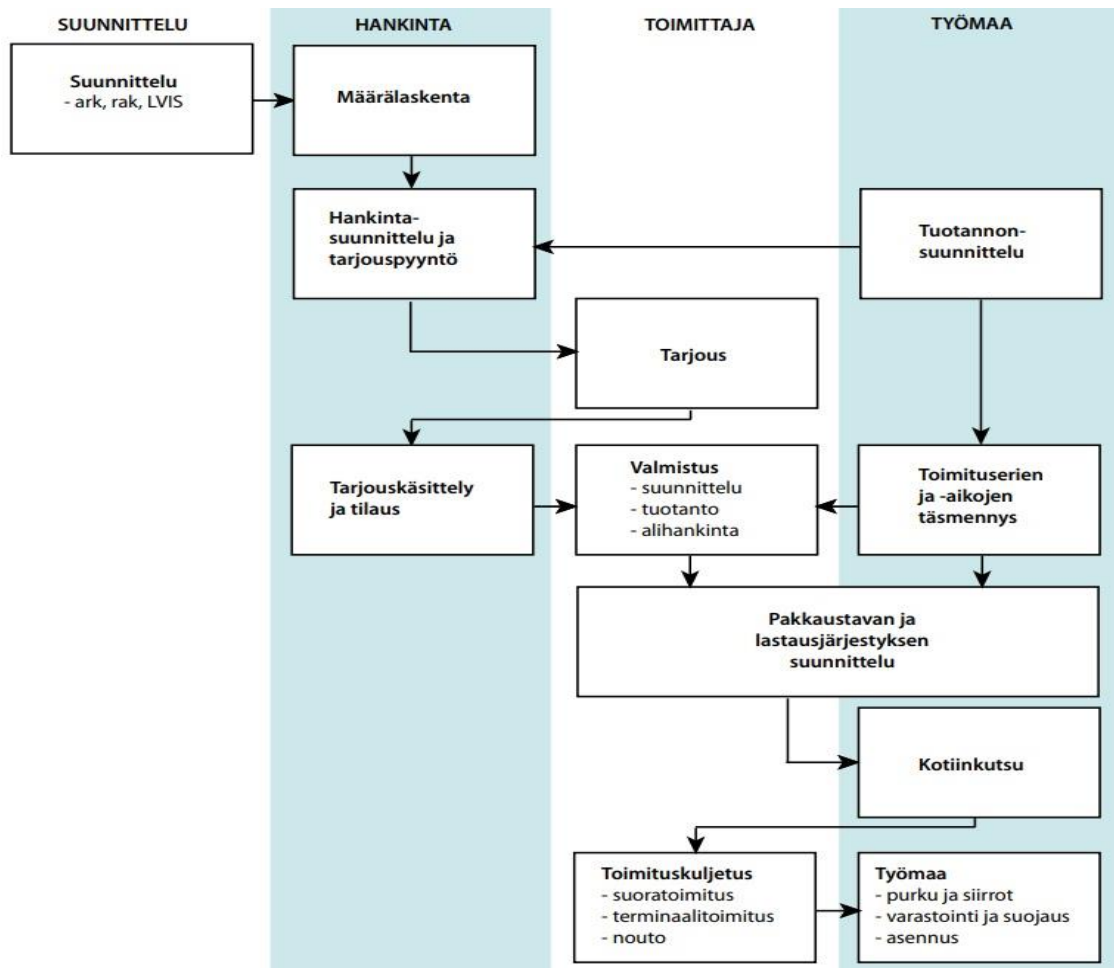


Kuva 19. Esimerkki varastointisuunnitelmasta. [8.]

6.2 Hankintasuunnitelma ja -tehtävien organisointi

Jotta materiaalit voidaan tilata työmaalle oikeaan aikaan ja oikeissa määrin, tulee projektia varten luoda hankinta-aikataulu. Luontia varten tarvitaan projektia koskevat suunnitelmat, sillä niiden pohjalta selvitetään tuotteiden määrät ja menokit sekä tarjous- ja toimitusajat. Hankintasuunnitelma luodaan heti rakennusprojektin aikataulutuksen jälkeen. [14, s. 6.]

Hankintasuunnitelmassa on määritelty hankintakokonaisuudet ja -vastuut sekä hankintakokonaisuuksien ajoitukset. Hankintakokonaisuus muodostuu kilpailuttamisen, rakentamisen ja toimittamisen kannalta sopivimmista materiaaleristä ja työkokonaisuuksista. [14, s. 6.]

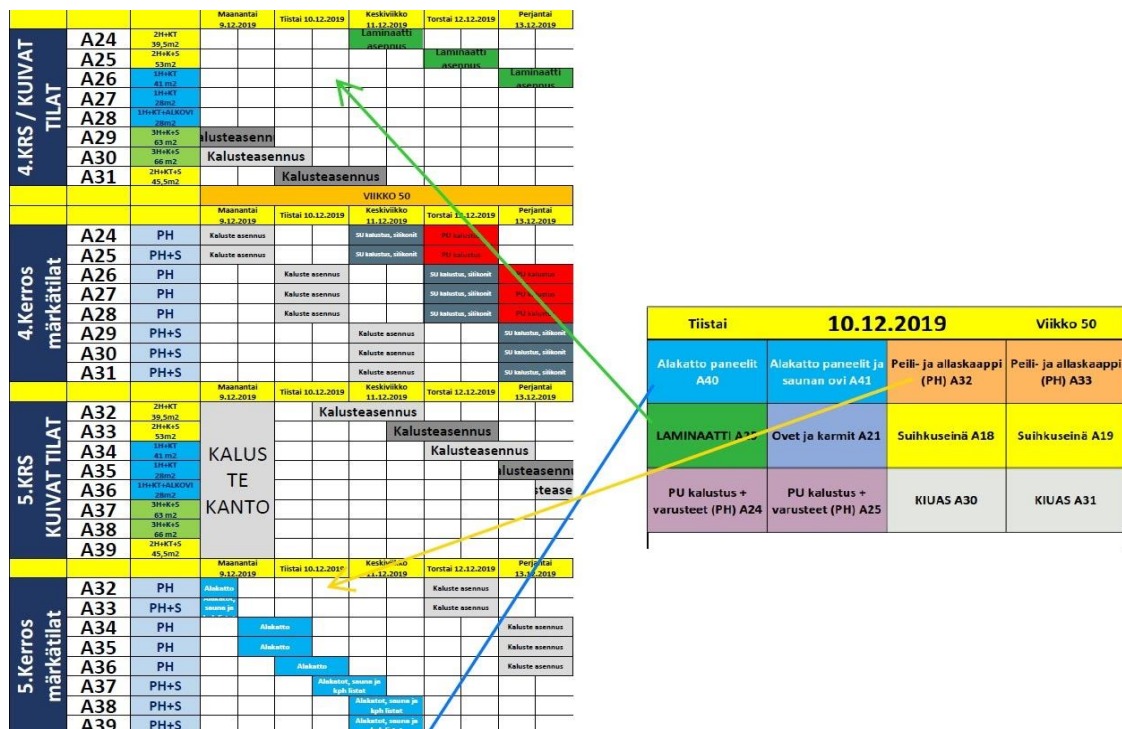


Kuva 20. Projektin hankinta- ja toimitusketjut päävaiheittain. [14, s. 5.]

Hankinta-aikataulun avulla saadaan hankintojen ajoitukset synkronoitua yleisaikataulun kanssa. Näin varmistetaan työvaiheisiin vaadittavien materiaalien saapuminen työmaalle oikeaan aikaan ja tuetaan töiden aloitusedellytyksien olemassaoloa. Toimitusten myöhästymisiin varaudutaan ajoittamalla toimitukset niin sanotulle toimitusikkunalle, jolla viitataan siihen, että tuotteen toimittajan tulee olla valmiina toimittamaan tilaus toimitusikkunan alkuun, mutta toimitus tehdään kuitenkin vasta työmaan tekemästä kotiinkutsusta. [14, s. 7.]

6.3 Tahtiaikataulun vaikutukset logistiikkaan

Logistiikan hallinta on edellytyksenä tahtituotannossa onnistumiselle, toisaalta tahtiaikataulua käyttämällä voidaan helpottaa työmaalle tulevan tavaravirran hallintaa, joten ne palvelevat toisiaan. Tahtiaikataulun helppolukuisuuden ja selkeyden ansiosta voidaan tavaratoimitukset pyytää työmaalle siten, että ne saapuvat sopivasti, esimerkiksi vuorokauden tai kaksi ennen sen työvaiheen alkamista, jossa kyseisiä materiaaleja vaaditaan (kuva 21). Olettaen, että aikataulussa pysytään, voidaan tilaukset tehdä myös hyvissä ajoin, sillä toisinaan materiaalien ja koneiden saaminen työmaalle ei ole mahdollista lyhyillä varotusajoilla. On muistettava varautua tulevien materiaalkuormien purkamiseen ajoissa, mikäli purku ja siirtely vaatii erillisten koneiden varaamista tai esimerkiksi nosturin käyttöä. Suotavaa on tarvittaessa varata aikaa myös purku- tai siirtotyön suorittavan työvoiman perehdytykseen ennen töiden aloitusta.



Kuva 21. Esimerkki materiaalien toimitusten suunnittelusta. [8.]

Vaikka rakennusprojektit ovatkin tähän asti valmistuneet käyttämällä esimerkiksi yleis- ja viikkoaikataulua tavaratoimitusten suunnittelun tukena, ei se tarkoita, ettei nykyistä tilannetta voisi kehittää paremmin hallittavaksi. Tahtiaikataulun avulla tavaravirtaa voidaan hillitä ja kerralla toimitettavia määriä pienentää vastaanottamalla esimerkiksi vain

muutaman asunnon tietyt, nopeasti paikoilleen asennettavat, tuotteet kerrallaan, kuten kuvassa 21 on esitetty. Näin toimiessa on hyvä tehdä yhteistyötä esimerkiksi täsmätoimituksia tekevän terminaalipalvelun kanssa. Vaikka tavaratoimitusten kuljetuskerrat työmaalle ja samalla vastaanottokerrat lisääntyvätkin, maksaa siihen käytetty aika ja raha nopeasti itsensä takaisin vahingoittuneiden tuotteiden, tavarantoimituksen ja odottelun vähentämisen kautta, työhön tarvittavien tuotteiden ollessa valmiina siellä missä pitää ja silloin kun pitää.

6.4 Täsmätoimitukset

Perinteisesti käytetyssä toimitustavassa, eli niin sanotussa suoratoimituksessa, tilatut tuotteet toimitetaan esimerkiksi tehtaalta, varastosta tai rautakaupasta, puretaan työmaalle ja purun jälkeen siirretään joko asennuspaikalle tai väliaikaiseen varastointiin. Täsmätoimituksista tämä eroaa siten, että täsmätoimituksissa tuotteet on pakattu ja merkitty paikkakohtaisesti, kuten asunnoittain tai huoneittain. Terminaalien kautta tulevissa täsmätoimituksissa eri tuotteita voidaan uudelleen pakata yhdeksi tiettyä paikkaa palvelevaksi paketiksi ja toimittaa suoraan työpisteelle, johon tuotteet on tarkoitus asentaa. [10, s. 8.]

Täsmätoimitusten toimivuuden kannalta aikataulu- ja logistiikkasuunnittelun sekä kommunikaation merkitys korostuu entisestään. Tiedonkulun tulee olla toimivaan ja selkeää tavarantoimittajien, terminaalipalvelun edustajien sekä työmaahenkilökunnan kesken. Terminaalipalveluita käyttäessä työmaahenkilökunnan ja terminaalipalvelun järjestäjän on oltava yhtä tietoisia toimitusten ajoituksesta, koosta ja purkumenetelmästä. Muutoksien ilmaantuessa on toista osapuolta informoitava, jotta muutoksiin osataan varautua.

Onnistuneen ja hyvin hallitun logistiikan hyödyt korostuvat etenkin ajan säästämisen muodossa, sillä sen seurauksena:

- häiriö- ja varastointikustannukset vähenevät
- materiaalien siirrot vähenevät
- materiaalihukan määrä pienenee sekä

- todennäköisyys tuotannon aikataulussa pysymiseen paranee. [10, s. 3.]

Välineiden ja materiaalien ollessa työpisteellä heti valmiissa käytössä, on töiden aloittaminen ja valmiiksi saattaminen huomattavasti sujuvampaa. Nykytilanteessa rakennustyömailla hyvin suuri osa ajasta kuluu materiaalien etsimiseen, siirtämiseen tai odottamiseen. Tästä aiheutuvista turhista kustannuksista on päästävä eroon.

6.5 Yhdistäminen tietomalliin

Nykyisillä suunnitteluohjelmilla voidaan luoda erittäin informatiivisia tietomalleja. Niiden käytöllä voidaan helpottaa rakennuksen ja sen osien visuaalista hahmottamista ja kokonaisuuden ymmärtämistä. Osa tietomallipohjista tarjoaa myös suunnittelijoille mahdollisuuden toimia yhteisessä ympäristössä ja huomata suunnitelmien väliset ristiriidat ajoissa.

Mallin avulla voidaan esittää esimerkiksi värein tai animaation mitä työvaiheita tietyssä ajassa tulisi toteuttaa ja miltä rakennus näyttää vaiheiden ollessa valmiita. Tämä onnistuu syöttämällä malliin tietoa rakentamisjärjestyksestä ja aikataulusta. Parhaimmillaan havainnollisuus tämän osalta lienee perustus-, runko- ja väliseinävaiheissa. Hyvin luodusta tietomallista saadaan tietoa myös koskien esimerkiksi määrä- ja kustannuslaskelmia.



Kuva 22. Esimerkki tietomallista. [18.]

7 Koosteet ohjeistuksista tahtiaikataulun luomiseen ja hyödyntämiseen

Työn tuloksellisten tavoitteiden ollessa ohjeistusten laatiminen tahtiaikataulun luomiseen ja käyttöön, on niistä luotu koosteet alla oleviin kappaleisiin. Laajempi ohjeistus luomista koskien tehdään yrityksen omaan käyttöön.

7.1 Tahtiaikataulun luomisen vaiheet

Taulukossa 3 on esitetty lyhyesti koottuna tahtiaikataulun luomisen vaiheet. Näiden vaiheiden lisäksi on hyvä suunnitella valmiiksi millä ohjelmalla tahtiaikataulu tullaan toteuttamaan. Kaikki käytössä olevat ohjelmat eivät välttämättä sovellu informatiivisen tahtiaikataulun luomiseen, vaikka niillä saisikin pilkottua ajan ja paikan pieniin osiin. Excelillä tehdystä aikataulusta saa luotua informatiivisen, mutta sen muokkaaminen on toisinaan aikaa vievää, vaikka pohja olisikin jo valmiina.

Lisäksi ennen aikataulun luontia on hyvä perehtyä suunnitelmiin huolella tai jopa niin sanotusti rakentaa projekti kertaalleen pöydälle, jotta saadaan todenmukainen käsitys kohteen asettamista vaatimuksista, joita tulee aikataulua luodessa ottaa huomioon.

Osakohteiden toistuvuus ja samankaltaisuus helpottaa tahdittamista ja rytmissä pysymistä. Työvaiheiden vaatimustasot on hyvä ottaa huomioon resursseja mitoittaessa ja hitainta työvaihetta on hyvä jakaa pienempiin osiin, mikäli mahdollista, jottei resurssivaatimukset nouse tarpeettoman korkeiksi. Lisäksi on hyvä huomioida aikataulussa kriittiset työvaiheet ja välitavoitteet.

Taulukon 3 koosteessa on otettu huomioon eri lähteiden pohjalta poimitut tahtiaikataulun luomisprosessin päävaiheet, jotka nousivat esille kerta toisensa jälkeen. Siinä on myös avattu hieman mitä vaatimuksia kukin vaihe asettaa ja mitä niiden kohdalla on hyvä ottaa huomioon.

Taulukko 3. Luomisen vaiheet, kooste.

Luomisen vaiheet	Vaatus	Muuta huomioitavaa
Lähtötietojen kokoaminen	Tarjouspyyntöasiakirjat, tekniset suunnitelma-asiakirjat ja arkkitehtisuunnitelmat, urakkaohjelma jne.	Rakentamisen ajankohta, rakennejärjestelmä, toteutusmuoto ja -tapa, mahdolliset riskit jne.
Osittelu	Kohteen jako osiin, esimerkiksi asunnot, märkätilat, yleiset tilat ja porrashuoneet erikseen	Toistuvuus
Tahdin pituuden määrittäminen	Hitaimman työvaiheen mukaan, päivän tahti yleensä hyvä. Jos tahti lähestyy viikon mittaa, menettää tahtiaikataulu merkityksensä	Mikäli hitain työvaihe vaatii pitkän tahtiajan, voiko sitä nopeuttaa esimerkiksi jakamalla se pienempiin osiin
Työvaiheiden tasaus	Tasataan työvaiheet valitun tahdin mukaisesti	Resurssien mitoitus

Lähtötietojen kattavalla kokoamisella tuetaan realistisen aikataulun luomista ja ongelmien eliminoimista ja selvittämistä jo ennen niiden ilmenemistä. Lähtötietojen ollessa tiedossa on kohteen osittelu helpompaa, sillä tiedetään paremmin kunkin työvaiheen ja kohteen vaatimukset ja paljonko niiden suorittamiseen on varattava aikaa. Tällöin kohteen osittelu toistuviin ja saman verran aikaa vieviin osakohteisiin helpottuu ja etenemisestä saadaan virtaustehokasta.

Tahdin pituuden määrittäminen puolestaan linkittyy vahvasti ositteluvaiheessa tehtyihin päätöksiin. Niiden pohjalta tulee etsiä hitain työvaihe ja pohtia onko se asetettuihin ajallisiin rajoitteisiin verrattuna sopiva, vai täytyykö sitä lyhentää esimerkiksi pilkkomalla se pienempiin osiin. Viimeisenä mietitään, millaisin resurssein tulee kuhunkin työvaiheeseen varautua, jotta valitussa tahdissa ja laaditussa aikataulussa pysytään.

7.2 Tahtituotantoon liittyviä hyötyjä ja vaatimuksia

Taulukkoon 4 on koottu tahtituotannon käytön tuomia hyötyjä ja niiden edellytyksiä. Taulukon sisältö perustuu etenkin luomisprosessin vaiheisiin sekä urakoitsijoiden kokemuksiin tahtituotannon hyödyistä ja mitä on vaadittu, jotta ne on saatu tuotua esille.

Tahtituotannon hyötyjä selvittäessä nousi esille asioita, kuten hukka-ajan vähentyminen, yhden työvaiheen suorittaminen kerrallaan yhdessä osakohteessa, mikä on näkynyt laadut parantumisena, aikataulussa pysymisen valvonnan helpottuminen, ongelmakohtien huomaaminen ja niihin puuttuminen ajoissa sekä logistiikanhallinnan helpottuminen ja materiaalihukan vähentyminen.

Taulukon 4 vasemmassa sarakkeessa on esitetty tahtituotannon hyödyntämiseen liittyviä vaatimuksia ja oikeassa sarakkeessa kerrotaan puolestaan mitä hyötyjä vaatimuksiin vastaamalla on mahdollista saada irti.

Taulukko 4. Tahtituotantoon liittyviä hyötyjä ja vaatimuksia.

Vaatus	Hyöty
Työtehtävien jakaminen tasaisiin tahteihin	Tehtävien edetessä samassa tahdissa, voidaan ne kuvata aikataulussa yhtenä jatkumona, jossa seuraava tehtävä alkaa heti edellisen päätyttyä -> ei hukka-aikaa
Huolellinen työvaiheiden suunnittelu hyvillä lähtötiedoilla	Loogisesti etenevä kokonaisuus, jossa yhdessä osakohteessa suoritetaan yhtä työvaihetta kerrallaan -> työrauha -> huolellinen työskentely -> laadun paraneminen
Selkeäksi tehty ja pilkottu aikataulu	Havainnollistavasta ja informatiivisesta aikataulusta kaikkien on helppo ymmärtää missä pitäisi tapahtua mitä ja milloin -> helpompaa selvittää mitä pitää tehdä sekä helpompi valvoa onko aikataulussa pysytty, ennakoitavuus
Aliurakoitsijoiden sitouttaminen ja perehdyttäminen ajoissa, yhteiset palaverit	Poistetaan turhat pelotteet perehdyttämällä aliurakoitsijat tahtiaikataulun käyttöön, informaation kulku, nopea reagointi ongelmiin ja niiden vähentäminen -> laadun parantuminen
Tuttujen työporukoiden käyttö	Tahtituotannon käytännöt tuttuja ja porukan työtavat ja -tahti helpommin arvioitavissa
Työryhmät, jotka voivat suorittaa useampia (perättäisiä) työvaiheita	Mestan käyttöasteen nosto
Logistiikanhallinta, ei suuria ja sekalaisia tilauskokonaisuuksia, täsmätoimitukset suoraan työpisteelle	Pitkäaikaiset varastoinnit ja turhat siirtelyt vähenevät -> vähemmän materiaalivaurioita ja hukkaa, enemmän aikaa olennaiseen
Valvonnan tason ja määrän nosto	Projektin loppuvaiheessa aikaa käytössä enemmän, kun laadunvarmistusta on hoidettu tasaisesti projektin aikana

8 Johtopäätökset

Tahtituotanto on tuonut rakennusalalle uuden keinon kehittää tuotannonhallintaa ja erilaisen näkökulman tavasta toimia yhteistyössä eri osapuolten kanssa. Sen käyttöönotto vaatii erityistä panostusta suunnitteluun ja valvontaan sekä muutoksia nykyisiin sopimusmalleihin.

Tahtituotannon käyttöönotto ja tahtiaikataulun luominen eivät vielä takaa paljon puhuttuja läpimenoaikojen lyhentymistä ja kustannussäästöjä. Niiden saavuttaminen vaatii sitoutumista, hyvää asennetta ja saavutusten eteen on tehtävä töitä etenkin käyttöönoton alkuvaiheessa. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että alussa nähty vaiva palkitaan hyvinkin nopeasti, etenkin jos työyhteisö pysyy samana.

Mikäli aikataulusuunnittelun lähtötiedot ovat olleet kunnossa, työryhmät on perehdytetty ja saatu sitoutettua toimimaan tahtiaikataulun mukaisesti ja keskitytään toimimaan yhteisen hyvän edistämiseksi, on jokaisella mahdollisuus hyötyä tahtituotannon käytöstä. Pienellä opiskelulla sekä suunnitelmallisella toiminnalla ja resurssienkäytöllä luodaan hyvät mahdollisuudet merkittäviinkin kustannus- ja aikataulusäästöihin.

Logistiikan osalta tahtiaikataulun luominen helpottaa materiaalitilausten laajuuksien ja toimitusten ajoitusten osalta, etenkin jos käytössä on täsmätoimitukset mahdollistava yhteistyökumppani. Kehittynyt logistiikanhallinta edesauttaa töiden sujuvuutta ja antaa mahdollisuuden keskittyä tekemiseen materiaalien siirtelyn sijaan.

Uskomuksena on, että tahtituotannon vaatimusten ja hyötyjen tullessa tutummiksi sen käyttö lähtee entistä suurempaan nousuun. Sen todellisen potentiaalin löytäminen vaatii vain avointa mieltä ja jatkuvaa halua kehittyä.

9 Yhteenveto

Tahtituotanto vahvistaa hiljalleen jalansijaansa suomalaisilla rakennustyömailla ja sen käytön tuomia hyötyjä alkaa nousta esiin enemmän ja enemmän käytäntöjen tullessa tutummiksi ja toimintatapojen kehittyessä. Lähtötietojen, käytössä olevien resurssien ja vankan, eri projektin osapuolten välisen yhteistyön avulla tahtituotannosta muodostuu jokaista osapuolta hyödyttävä tapa toimia.

Tahtiaikataulun käytöstä pinnalle nousseet positiiviset asiat, kuten ajalliset ja rahalliset säästöt, töiden sujuva eteneminen, valvonnan selkeytyminen ja parempi logistiikan hallinta kannustavat varmasti tulevaisuudessa yhä useampia työmaita siirtymään tahtituotannon käyttöön. Aiheeseen liittyvän tiedon lisääntyessä on kynnys käyttöönottoon pienempi, sillä kaikkia käyttöönoton vaiheita ja hyödyntämisen tapoja ei tarvitse jokaisen enää opetella alusta asti. Se ei tarkoita, etteikö jokaisen pitäisi löytää oma paras tapa toimia, mutta antaa kuitenkin vinkkejä siihen, kuinka välttyä tietynlaisilta ongelmatilanteilta ja toisaalta, kuinka ottaa tahtiaikataulun käytön tuomista hyödyistä suurempi ilo irti.

Logistiikan osalta tahtiaikataulun käytön tuomat vaikutukset korostuvat etenkin, jos toimitukset saadaan työmaalle täsmätoimituksina. Materiaalien ja muiden tuotteiden saapessa työpisteelle esimerkiksi pari päivää ennen töiden aloitusta siistissä kompaktissa paketissa, eivät ne ole muiden haitoilla, ylimääräiseltä siirtelyltä välttyään, materiaalien rikkoutumisriski pienenee ja työturvallisuus paranee. Lisäksi purku-, siirto- ja nostokaluston varaaminen tehtävää varten tai tilaaminen paikalle on entistä ennakoitavampaa, jolloin väliaikaisia säilytyspisteitä ja varastointeja tarvitaan vähemmän.

Tahtiaikataulun luomista ja hyödyntämistä koskevat koosteet luotiin yleispäteviksi. Tarkempi ohjeistus tahtiaikataulun luomisesta tehdään työn tilaajayrityksen omaan käyttöön.

Lähteet

- 1 Fira Sitedrive, luettu 23.1.2020, <https://www.sitedrive.com/fi/tahtiaika>
- 2 Rakennusteollisuus RT ry, TOIMIVA TYÖMAA - hyvät käytännöt, luettu 14.2.2020 https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/julkaisuja/toimiva_tyomaa_2014.pdf
- 3 Rakennustieto, Tehtäväsuunnittelu työmaan johtamisen välineenä, luettu 19.2.2020, <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020503.pdf>
- 4 Koskenvesa, Anssi; Sahlstedt, Satu 2017. Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. Kolmas painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 5 Aikataulukirja 2016. Ratu KI-6028. 13., uudistettu painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 6 Laadukasta rakentamista - Työmaan hyviä käytäntöjä, luettu 19.2.2020, <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK040503.pdf>
- 7 LCI Finland ry:n internet-sivut, luettu 20.3.2020, <http://lci.fi/blog/menetelmakortti/tahtiaikatuotanto/>
- 8 YIT Suomi Oy:n tahtiaikataulua ja tahdittamista koskeva koulutusmateriaali
- 9 Rakennusteollisuus RT ry, LAADUKASTA RAKENTAMISTA - Työmaan hyviä käytäntöjä, luettu 21.2.2020, https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/laatu/laadukasta_rakentamista_2015_netti_isbn_.pdf
- 10 Rakennusteollisuus RT ry, Rakennustyömaan toimitusten ohjaus, VTT, luettu 15.3.2020 https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2009/Rakennustyomaan_toimitusten_ohjaus_091116.pdf
- 11 Koskela, Lauri; Koskenvesa, Anssi. Last Planner – toimiva tuotannonohjaus työmaalla, luettu 18.3.2020, <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK040502.pdf>
- 12 Koskela, Lauri; Koskenvesa, Anssi, 2003. Last Planner rakennustyömaalla. VTT, tiedotteita, luettu 18.3.2020, <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2003/T2197.pdf>
- 13 Linnik, M.; Berghede, K.; Ballard, Glenn. 2013. An experiment in takt time planning applied to non-repetitive work, luettu 22.3.2020,

https://www.researchgate.net/publication/290267984_An_experiment_in_takt_time_planning_applied_to_non-repetitive_work

- 14 Ratu S-1227 Työmaan toimitusten suunnittelu ja ohjaus
- 15 Ratu 7031, 2012, Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus, Opettajan kalvosarja
- 16 Rakennuslehti 7.11.2019. Onko tahtituotanto työmaalle riski? - 25 mestarin kokemukset kertovat joustavuudesta ja laadun paranemisesta <https://www.rakennuslehti.fi/2019/11/onko-tahtituotanto-joustamaton-riskikokeilu-building-2030-testasi-asian-pilottiprojekteissa/>
- 17 Rakennuslehti 25.10.2019. Suomen parhailla työmailla lean on kirosana - silti se saa ihmiset hymyilemään ja työt sujumaan, <https://www.rakennuslehti.fi/2019/10/suomen-parhailla-tyomailla-lean-on-kirosana-silti-se-saa-ihmiset-hymyilemaan-ja-tyot-sujumaan/>
- 18 Teklan verkkosivut, luettu 12.4.2020, <https://www.tekla.com/fi/bim-awards/pasilan-tripla>