



Jami Berghem

Asuinkerrostalon rakentamisajan puolittaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

14.4.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Jami Berghem
Otsikko: Asuinkerrostalon rakentamisajan puolittaminen
Sivumäärä: 33 sivua
Aika: 14.4.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine: Rakentamisen projektihallinta
Ohjaajat: Perustajaosakas Jan Lund
Lehtori Anne Aalto

Insinööriyön tavoitteena oli tuottaa COfLOW Oy:lle tutkimus asuinkerrostalojen rakentamisajan puolittamisen mahdollistavista toimista. Tutkimustuloksia voitaisiin verrata yrityksen työmailla jo käytössä oleviin toimintamalleihin. Tutkimuksen tekeminen kehitti myös omaa ammattitaitoani ja muutti ajattelutapaani siitä, ettei kaikkia asioita ole järkevä tehdä samalla tavalla, kun ne on perinteisesti rakennusalalla totuttu tekemään.

Teoriaosuus toteutettiin perehtymällä alan kirjallisuuteen, tieteellisiin artikkeleihin ja tutkimuksiin sekä haastattelemalla eri osa-alueiden ammattilaisia. Tutkimuksen teoriaosuudessa käsiteltiin tahtituotannon, rakennuslogistiikan sekä esivalmisteiden hyödyntämisen perusperiaatteita. Teoriaosuuden tietoja vertailtiin rakentamisessa totuttuihin tapoihin suunnitella aikatauluja, toteuttaa logistiikan ratkaisuja sekä mitä mahdollisuuksia esivalmistusasteen nostaminen tuo.

Syventyminen tähän rakentamisen osa-alueeseen osoittautui mielenkiintoiseksi projektiksi. Suurimmat haasteet eivät olekaan toimintamalleissa, vaan toteuttajissa. Rakentamisessa on valtavat kehitysmahdollisuudet muualla jo toimiviksi todetuilla toimintamalleilla, joita ei kuitenkaan tahdota opetella hyötyjen saavuttamiseksi. Haluan löytää mahdollisuuden osallistua näiden toimintamallien eteenpäin viemiseen, ja olla osana koko alan tuottavuusloikkaa.

Avainsanat: esivalmistaminen, läpimenoaika, tahtituotanto, rakennuslogistiikka

Abstract

Author: Jami Berghem
Title: Halving the Construction Time of a Residential Block of Flats
Number of Pages: 33 pages
Date: 14 April 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil engineering
Professional Major: Construction project management
Supervisors: Jan Lund, Co-Founder
Anne Aalto, Senior lecturer

The objective of the graduate study was to draw up a study for COFLOW Oy on measures to halve the construction time of residential blocks of flats. The study results can be compared with the operating models already in use at the company's construction sites. The author's professional skills improved during the project. For example, the author's mindset regarding the old ways of construction did also change. Old models of doing things are not always the best and the most efficient way.

The theoretical part covered part encompassed familiarization of literature, scientific articles, and research as well as interviews with professionals from different sub-sectors within the construction field. The theoretical part of the study dealt with the basic principles of takt time production, construction logistics, and the utilization of prefabricated products. The findings of the theoretical section were compared with the conventional methods of planning schedules and implementing logistics solutions. Additionally, the section evaluated the opportunities resulting from the increase in the prefabrication rate.

Familiarization with this aspect of construction turned out to form an exciting project. The paper finds that the most significant challenges are with the implementers, not in the operating models. Additionally, the paper finds major potential for development in construction operating models to increase efficiency. These models have already been proven to work elsewhere, however, their implementation in construction has been lackluster due to the hesitation regarding change. The author wants to participate in the advancement of these operating models and be a part of the productivity leap of the entire industry.

Keywords: construction logistics, lead time, prefabrication, takt time

Sisällys

Lyhenteet & käsitteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Tutkimuksen tavoite	1
1.3	Rajaukset	2
1.4	Tutkimusmenetelmät	2
2	Tuotannon tehostaminen	3
2.1	Lean osaksi rakentamista	5
2.2	Tahtituotanto	7
2.3	Työmaalogistiikka	10
2.4	Esivalmistusasteen nosto	12
3	Asuinkerrostalohankkeiden nykytilan kartoitus	15
3.1	Tahtituotanto asuinkerrostalohankkeissa	15
3.2	Työmaalogistiikka asuinkerrostalohankkeissa	22
3.3	Esivalmistaminen asuinkerrostalohankkeissa	24
4	Asuinkerrostalohankkeen rakentamisajan puolittaminen	30
5	Yhteenveto	33
	Lähteet	34

Lyhenteet & Käsitteet

Lean: Autoteollisuudessa kehitetty johtamisfilosofia, toimintastrategia tai -prosessi, jonka pyrkimyksenä on poistaa hukkaa.

RaTu: Ammattilaisten tietolähde talonrakentamisen tuotannosuunniteluun.

Tth: Työntekijätunti on työmenekin yksikkö.

Täsmätoimitus:

Logistiikan toimintatapa, jossa oikea määrä materiaalia toimitetaan oikeaan paikkaan ja oikeaan aikaan.

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan uudiskerrostalojen rakentamisen normaalikeston puolittamisen mahdollistavia toimia. Tutkimus tehdään omasta mielenkiinnostani ja COfLOW Oy:n tarpeesta tutkia rakentamisajan leikkaamista ja rakentamisen tuottavuuden kasvattamista. COfLOW Oy on vuonna 2020 perustettu rakennusliike, jonka tahtotilana on toimia rakennusalan suunnannäyttäjänä innovatiivisilla ratkaisuilla ja kehittämällänsä konseptikerrostalolla. COfLOW:n missona on tarjota tuottavampaa ja vähähiilisempää rakentamista, joka toteutetaan digitaalisilla ratkaisuilla, nopeilla läpimenoajoilla, korkealla esivalmistusasteella ja laadukkaalla rakentamisella. Ensimmäisissä rakennushankkeissaan COfLOW onnistui lyhentämään rakentamiseen käytettävää aikaa 30 % normaalikeston verrattuna hyödyntäen edellä mainittujen asioiden lisäksi kerroskohtaista tahtituotantoa. Seuraavassa hankkeessa normaalikestoa on suunniteltu leikattavan 40 % ja tahtituotanto tapahtuu puolen kerroksen tahtialueissa.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa tutkimus asuinkerrostalojen rakentamisajan puolittamisen mahdollistavista toimista. Tutkimuksessa vastataan kysymyksiin, kuinka tahtituotannolla, logistiikan ratkaisuilla ja esivalmistusastetta nostamalla saadaan lyhennettyä rakentamisaikaa merkittävästi ja parannettua alan tuottavuutta. Edellä mainittujen kysymysten takia tutkimuksen pääpaino on tahtituotannon, logistiikan ja esivalmistusasteen nostamisen mahdollisuuksissa ja toteutustavoissa.

1.3 Rajaukset

Aihetta tutkitaan koko rakennusalan kannalta, rajattuna kuitenkin asuinkerrosta-
lojen uudistuotantoon rakentamisajan leikkaamisen näkökulmasta. COfLOW:n
tavoitteeseen vähentää rakentamisen päästöjä ei tässä tutkimuksessa oteta
kantaan. Normaalikeston määrittelemisessä käytetään vain yleisessä kirjallisuus-
dessa olevia menetelmiä ja kaavoja, eikä perehdytä yksittäisten yritysten omiin
tapoihin määrittää hankkeiden normaalikesto. Logistiikkaa tutkitaan vain työ-
maan aikataulujen näkökulmasta.

1.4 Tutkimusmenetelmät

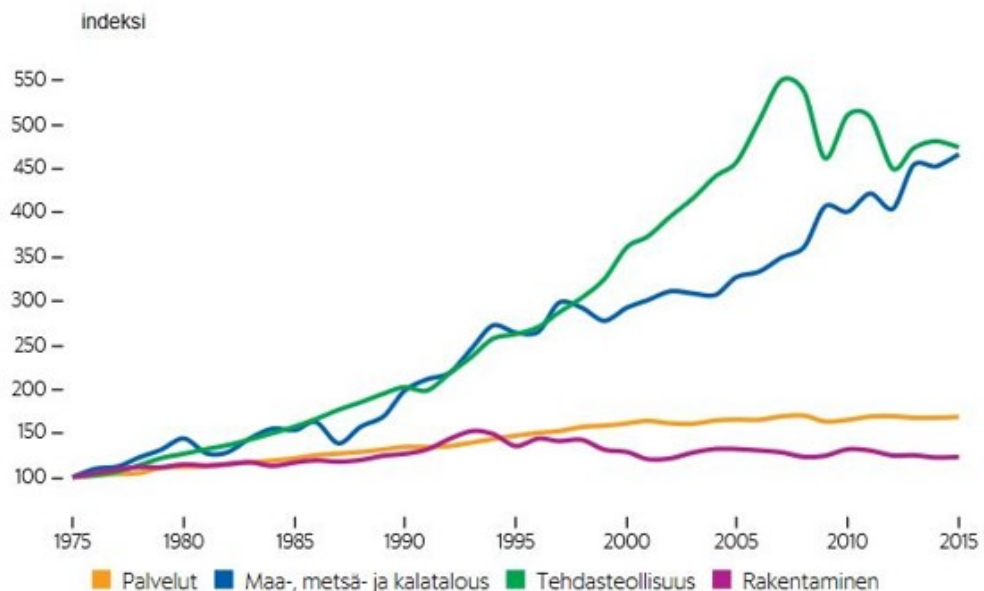
Esitutkimusta kerätään Rakennustuotannon aikatauluja käsittelevästä kirjallisuus-
desta. Myös muiden teollisuudenalojen kirjallisuutta hyödynnetään, jotta heidän
toimintatapojaan tuottavuuden kehittämisessä voidaan verrata rakennusalalla
käytössä oleviin käytäntöihin. Tutkimuksessa hyödynnetään myös tieteellisiä ar-
tikkeleita. Kirjallisuustietoa ja hyödynnettyjä artikkeleita verrataan rakentami-
sessa käytössä oleviin toimintatapoihin. Lisäksi tutkimusta varten haastatellaan
I.S Mäkinen Oy:n ja Flow Modules Oy:n entistä toimitusjohtajaa Sameli Lähdes-
mäkeä, Kahva Oy:n toimitusjohtajaa Alexander Stefanovia, Moduls Oy:n toimi-
tusjohtajaa Teemu Harjulaa sekä Hartela-Yhtiöt Oy:n kehityspäällikköä Hans Pa-
silaa käytössä olevien toimintamallien ja kehitysmahdollisuuksien kartoittami-
seen.

2 Tuotannon tehostaminen

Rakennusalalla työn tuottavuudessa ei ole tapahtunut merkittävää kasvua viimeisen 40-vuoden aikana. Kuitenkin useammalla teollisuuden alalla kehitystä on tapahtunut merkittävästi. Kuva 1 esittää toimialoittain, miten tuottavuus on kehittynyt vuosina 1975—2015. (1.)

Arvonlisäykseen perustuva työn tuottavuus toimialoittain

Työn tuottavuuden indeksi 1975=100



Kuva 1. Arvonlisäykseen perustuvan työn tuottavuuden kehitys toimialoittain esitettynä (1).

Syitä tähän rakentamisen kehittymättömyyteen on useita. Nopeasti kasvavat kaupungit johtavat siihen, että asiakkaat maksavat rakentamisesta tuottajien vaatiman summan tai kilpailutuksen kautta päädytään halvimmalla tekevään toimijaan. Perinteiset hankemallit, jossa osapuolet eivät tee suunnitelmia yhdessä vaativat työnjohdolta vuorovaikutustaitoja ja kykyä järjestelmälliseen johtamiseen. Työn tuottavuutta on yritetty kasvattaa kehittämällä keskusteluyhteyksiä toimijoiden välillä ja sitouttamalla heidät paremmin projekteihin. Kehittyminen alana on kuitenkin mahdotonta, kun asiat on totuttu tekemään aina samalla

tavalla. (1.) Uusia innovaatioita ja toimintaprosesseja kyseenalaistetaan juuri edellä mainitusta syystä (2).

Yksi tärkeimmistä alan tuottavuusongelmien ratkaisuksista on tehdä rakentamisesta systemaattista toimintaa, jota pystytään kehittämään hankkeesta toiseen. Tahtituotanto on osoittautunut tämän kehittymisen mahdollistavaksi tuotantojärjestelmäksi. Kun asiakkaalle halutaan tuottaa mahdollisimman paljon arvoa, tulisi jokaisessa kokonaisuuden kannalta tärkeässä työmaan työkohteessa olla jatkuvasti jokin työvaihe käynnissä. Esimerkiksi saksalainen BMW on onnistunut puolittamaan rakentamiseen käytettävän ajan, pienentämään hankkeiden kustannuksia ja parantanut lopputuotteen laatua tahtituotannon avulla. Suomalainen I.S Mäkinen on saavuttanut vastaavanlaisia tuloksia hyttisaneeraushankkeiden parissa. Tahtituotanto nostaa tehokkaasti esiin ongelmia, jotka liittyvät pääosin logistiikkaan, suunnittelunohjaukseen, esivalmistusasteeseen ja koko toimitusketjun hallintaan. (3.)

Nykyiset rakennus- ja tuotannosuunnittelutavat tuottavat merkittävästi hukaksi kutsuttavaa arvoa tuottamatonta työtä. Syynä hukan syntymiseen on suunnittelujen tehtävien epäselvät sisällöt, aikataulusuunnittelun mukanaan tuoma hukka sekä suunnitelmien yhteensovittamisessa standardoitujen käytäntöjen puute. Hukkien määrän puolittaminen mahdollistaisi työvoimakustannusten ja aikataulujen puolittamisen, sekä vähentäisi merkittävästi aikataulutoteumien riskejä hallittavampien työryhmien myötä. Hukkien vähentäminen on mahdollista yksinkertaisilla toimilla. Kaikkien tekijöiden tulee tiedostaa mitä hukat ovat, ja miten ne syntyvät. (4, s. 28—29.)

Hukan vähentämisellä on valtavat mahdollisuudet läpimenoaikojen leikkaamisessa ja tuottavuuden kehittämisessä. Nykyaikaiset aikataulut suunnitellaan perustuen 20—30 % arvoa tuottavaan työaikaan ja aikataulutehtävien tehollisiin kestoihin varataan puskuria jopa 70 % todelliseen teholliseen keston verrattuna. Suunnitelmat tulisi tehdä niin, kuin työ on tarkoitus toteuttaa ja työt on tehtävä niin, kuin ne on suunniteltu. (4, s. 30—31.)

2.1 Lean osaksi rakentamista

Lean tarkoittaa johtamisfilosofiaa, toimintastrategiaa tai -prosessia, jolla pyritään maksimoimaan asiakkaalle tuotettu arvo parantamalla jatkuvasti prosessien virtaustehokkuutta. Virtaustehokkuuden parantaminen tapahtuu hukkia poistamalla. Työt eivät odota tekijöitä, eivätkä tekijät odota työtä. Hukkien poisto vaatii arvoa tuottamattomien töiden erottamisen arvoa tuottavista toimista. Lean ohjaa huomion keskittämisen kokonaisuutena tuotettuun arvoon jokaisen projektin osapuolen omien tavoitteiden sijasta. Leanin tavoitteena on päästä ennustettavaan ja tasaiseen, imuohjautuvaan tuotantovirtaan. Ennustettavuus koskee koko prosessin sisällä niin projektin lopputulosta, kuin yksittäisten työvaiheiden tasaista ja säännönmukaista toteutumista. Ennustettavuuden kautta koko prosessin kustannukset ja aikataulut ovat paremmin hallittavissa ja resurssien sekä toimintojen ohjaus on tarkempaa. Kokonaisuuden hallittavuuden kautta tuottavuus paranee, kustannukset laskevat ja koko rakentamisen läpimenoaika lyhenee. Leanin mukaisen prosessin toteuttaminen vaatii asioiden jatkuvaa kyseenalaistamista ja jatkuvaa kehittymistä, joten kokonaisvaltainen kulttuurin muutos nykyaikaiseen nähden on väistämätöntä. (5.)

Leanin periaate hukkien poistosta käsittää kahdeksan eri hukan muotoa:

1. ylituotanto
2. odottaminen
3. virheet
4. kuljettaminen
5. liikkuminen
6. yliprosessointi
7. varastointi
8. hyödyntämätön potentiaali.

Ylituotanto tarkoittaa jonkun asian tekemistä, vaikka sitä ei vielä seuraavassa työvaiheessa tarvittaisiin. Tämä johtaa useampaan samanaikaisesti käynnissä olevaan työpisteeseen, jolloin kokonaisuuden hallittavuus kärsii ja virtaustehokkuus pienenee. Ylituotanto aiheuttaa tarpeetonta resurssien tarvetta, materiaalihankintoja, varastointia tai kuljetuksia. (6.)

Odottaminen johtuu häiriöihin varautumisesta tai työryhmien välisistä työmäärän epätasaisuuksista. Odottaminen on vain ylimääräistä aikaa, minkä poistamalla koko työskentelyprosessi sujuvoituu ja läpimenoajat lyhenevät. Odottaminen luo tarpeen työllistää odottavia resursseja, jolloin ylituottaminen alkaa ja toissijaiset tarpeet lisääntyvät. Tahtituotanto mahdollistaa odottamisen minimoinnin. (6.)

Virheiden synnyttämän ylimääräisen työn lisäksi muut hukat vaikeuttavat virheiden ilmenemistä. Virheiden tiedostamattomuus synnyttää lisää hukkia. Virheitä voidaan minimoida toistettavilla työsuoritteilla ja laadukkaalla johtamisella. Aikataulujen sisältämät häiriöpuskurit hankaloittavat virheiden minimoimista, kun taas tahtituotantoprosessi ohjaa tuotannon ratkomaan ongelmat, poistamaan toistuvat virheet ja maksimoimaan tehokkaan virtauksen. (6.)

Kuljettaminen ja siirrot lisäävät virheiden riskejä sekä aiheuttavat ylimääräisiä resurssi- ja varastointitarpeita. Ylimääräiset kuljetukset ja siirrot ovat myös pois arvoa tuottavasta työstä, joten näiden minimointi lisää tuottavaa työtä ja vähentää materiaalien ja kaluston turmeltumisia. (6.)

Kaikki ylimääräinen liikkuminen, kuten materiaalien ja koneiden noudot ja etsimiset on pois tuottavasta työstä ja lisää työturvallisuusriskejä. Työn kerralla loppuun tekeminen vähentää edestakaista liikkumista, mikä on tutkitusti isoin hukan muoto rakennustyömailla. Ylimääräistä liikkumista voidaan vähentää niin työn sisällön, kuin materiaalivirtojen laadukkaammalla suunnittelulla. (6.)

Yliprosessointi sitoo ylimääräisiä resursseja ja pidentää läpimenoaikaa. Jos tuotteen eteen tehdään enemmän työtä, kuin mistä asiakas maksaa, on se tarpeetonta työtä eli hukkatyötä. (6.)

Varastoinnit vaikeuttavat ongelmien hahmottamisen. Varastoinnit kasvattavat materiaalien turmeltumisen riskiä, ja sitovat myös kustannuksia. Myös ylimääräiset keskeneräiset työt luetaan varastoksi. Varastot estävät töiden virtaavan etenemisen. Varastointi lisää ylimääräistä liikettä, kuljetuksia sekä siirtoja ja virheiden todennäköisyys kasvaa. (6.)

Hyödyntämällä ja osallistamalla oikeita ihmisiä oikeisiin tehtäviin saadaan teki-
jöistä mahdollisimman tehokkaita resursseja ja samalla kaikkia muita hukan
muotoja vähennettyä. (6.)

2.2 Tahtituotanto

Tahtiaikataulu on aikataulusuunnittelun tapa, jolla rakentamisen kokonaisuakaa saadaan leikattua. Tahtituotanto tarkoittaa eri työtehtävien sovittamista noudattamaan samaa tuotantonopeutta, eli tahtiaikaa, jolloin työvaiheiden väliset ajalliset puskurit poistetaan (7, s. 5—6.) Tahtituotannossa näiden ajallisten puskurien sijaan käytetään kapasiteettipuskuria, jolloin kuhunkin tahdissa olevaan työvaiheeseen sisällytetään esimerkiksi 20 % ylimääräinen ajallinen kesto. Tällöin esimerkiksi neljä työpäivää kestävä työsuorite ajoitetaan kestämään viisi työpäivää. Tasainen tuotantonopeus vähentää toistuvien virheiden määrää, kun havaittuihin virheisiin ja ongelmiin joudutaan reagoimaan nopeammin aikataulupuskurien puuttumisen takia (7, s. 5—6.)

Tahtituotannolla pyritään täten siihen, että tehtävänä olevat työt etenevät työvaiheesta seuraavaan välittömästi edellisen työvaiheen valmistuttua muodostaen niin kutsutun tuotantojunan, joka ohjaa tehtävät työvaiheet ja niissä käytettävät resurssit tasaisin väliajoin toistuvien työkohteiden läpi. Olennaista on kuitenkin, ettei työryhmät etene suunniteltua tahtiaikaa nopeammin. Toistuvien työvaiheiden sisältö jaotellaan tasakestoisiin kokonaisuuksiin ja jokaiselle eri työvaiheelle määritellään ajallisen vaatimuksen mukaiset resurssit ja materiaalit. (7, s. 5—7.)

Tätä toimintamallia voisi verrata tehdasteollisuudesta tuttuun liukuhihnamaiseen työskentelyyn, jossa tuotteet etenevät tasaisella vauhdilla ja kukin työvaihe

toteutetaan määrättyssä ajassa. Rakennustyömaalla tasaista vauhtia liikkuvat kuitenkin työryhmät, jotka yhden työkohteen valmistuttua määritellyssä ajassa liikkuvat seuraavalle työkohteelle toteuttamaan taas saman työn. (8, s. 30.)

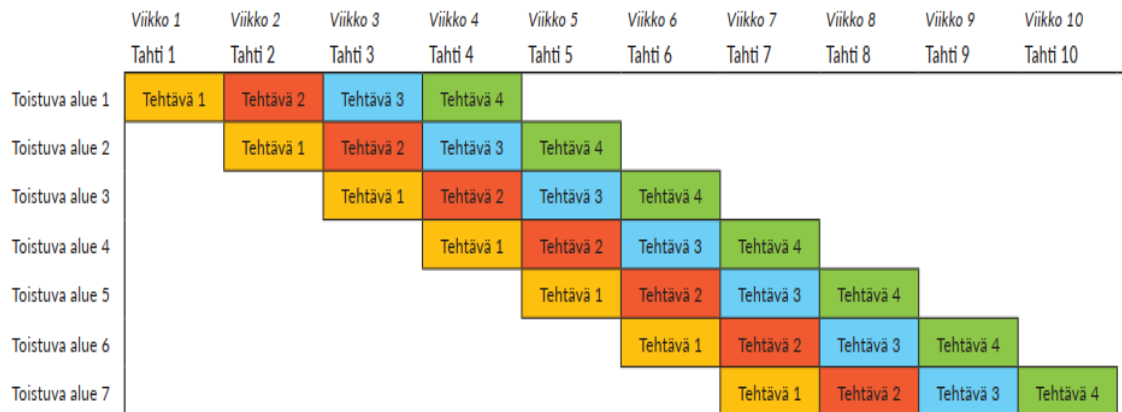
Tahtituotantoa voidaan ensisijaisesti soveltaa toistuvuutta sisältävissä työvaiheissa, joiden työjärjestys ja -sisältö pysyy lähes identtisinä. Tahtijunaan valittavien työvaiheiden lukumäärässä tulee huomioida tämänlaisen tuotantoprosessin häiriöherkkyys. Yhden työryhmän poikkeaminen suunnitellusta aikataulusta heijastuu kaikkien perässä tulevien työryhmien etenemiseen aikataulupuskurien puuttumisen vuoksi. Mahdolliset häiriöt aikataulussa tai työn sisällössä tulevat kuitenkin varhaisessa vaiheessa ilmi, jolloin ongelmiin on mahdollista puuttua totuttua nopeammin. Tämä täten pienentää systemaattisten tuotanto-ongelmien muodostumisen mahdollisuutta. (7, s. 5—7.)

Usean pienen työryhmän kokonaisuus vaatii toimiakseen tehokkaan prosessin työkohteiden luovutusmenettelylle. Tasain väliajoin eteenpäin luovutettavat kohteet mahdollistavat koko tuotantoprosessin kehittymisen, kun oppimista tapahtuu toistuvuutta sisältävissä töissä jatkuvasti. (8, s. 30.)

Tahtituotannon tuotannonhallinta sisältää kolme kokonaisuutta: tahtisuunnittelun, tahtiohjauksen ja systemaattisen jatkuvan kehittymisen. Tahtisuunnitteluvaiheessa määritellään käytettävä tahtiaika, tahtityöprosessi ja tahtialue. Tahtiajalla määritellään rytmi ja aikamääre, jonka aikana tahtialueella tapahtuvat työprosessin mukaiset työt tehdään valmiiksi. Tahtialue on ennalta määrätty alue, jossa tahtityöprosessin mukaiset työt suoritetaan yhden määritellyn tahdin aikana. Tahtialue voi olla isompi kokonaisuus, kuten yksi kerros, jolloin koko tahtituotantoa on helpompi hallita ja opetella. Kehittyneemmässä prosessissa tahtialueena voi olla esimerkiksi yksi huoneisto tai huone. (8, s. 30.)

Tahtituotannon suunnittelu on iteratiivinen prosessi. Suunnittelussa täytyy aluksi tunnistaa toistuvia työsuorituksia sisältävät alueet. Tämän jälkeen määritellään käytettävän tahtiajan ajallinen kesto, johon vaikuttaa muun muassa kohteen ominaisuudet ja tehtävien töiden sisältö. Tästä syystä tahtituotannossa

kehittyäkseen hankkeesta toiseen, tulisi osata siirtyä projektikohtaisesta suunnittelusta prosessikohtaiseen ajatteluun. Tahtiajan määrittelyn jälkeen suunnitelmaan tehtävien työvaiheiden järjestys ja määritellään käytettävät tahtialueet mahdollisimman samankokoisiksi työmäärän suhteen. Näiden suunnittelujen jälkeen työt lajitellaan tasakestoisiin tahtiajan pituisiin työpaketteihin, kuten kuvassa 2 on esitetty. (8, s. 31.)



Kuva 2. Havainnekuva tahtiaikataulusta, jossa esitettynä tuotantोजना työtehtävien (8, s.31).

Tahtituotannossa vaunukohtaisia töiden sisältöjä kuvataan ja johdetaan päivätasolla. Päivätason seurannan tulee selvittää suunniteltujen töiden toteutumista ja tarpeita toteutumisen mahdollistamiseksi. Mahdollisten häiriöiden juurisyyt selvitetään ja ratkotaan ennen häiriöiden kertaistumista systeemiongelmiksi. Päivätason reflektointi yhdistää tuotannosuunnittelun työmaan reaaliaikaiseen tilanteeseen, jolloin tuotannonohjauksen toimenpiteiden vaikutuksia toteutuvaan aikatauluun voidaan ennustaa tehokkaasti. Päivittäisjohtaminen luo tekijöiden välille keskusteluyhteyden toiminnan tehostamiseen kehitysideoiden kautta. (7, s. 7.)

Tahtituotannon toteuttamisessa kaikkein haastavinta on kuitenkin uudentyypin ajattelutavan sisäistäminen ja luopuminen vanhasta, totutusta toimintamallista (8, s. 31).

2.3 Työmaalogistiikka

Logistiikka itsessään tarkoittaa materiaalivirtojen ohjaamista niiden alkulähteiltä loppukäyttäjälle. Työmaan logistiikassa ei kuitenkaan keskitytä raaka-aineiden alkulähteisiin, vaan tavarantoimittajilta työmaalle saataviin tuotteisiin. Yksinkertaisuudessaan työmaan logistiikka voidaan määritellä prosessiksi, jolla hallitaan materiaalivirtoja. Tämä prosessi voidaan jakaa kolmeen päätekijään: tulevaan-, sisäiseen- ja lähtevään logistiikkaan. Tulologistiikka sisältää työmaalle saapuvat materiaalit, sisälogistiikka tarkoittaa materiaalien siirtämistä saapuneiden kuormien purkupaikoilta lopulliseen työkohteeseen ja lähtevä logistiikka sisältää rakennustyömaan tapauksessa jätehuollon. (9, s. 14.)

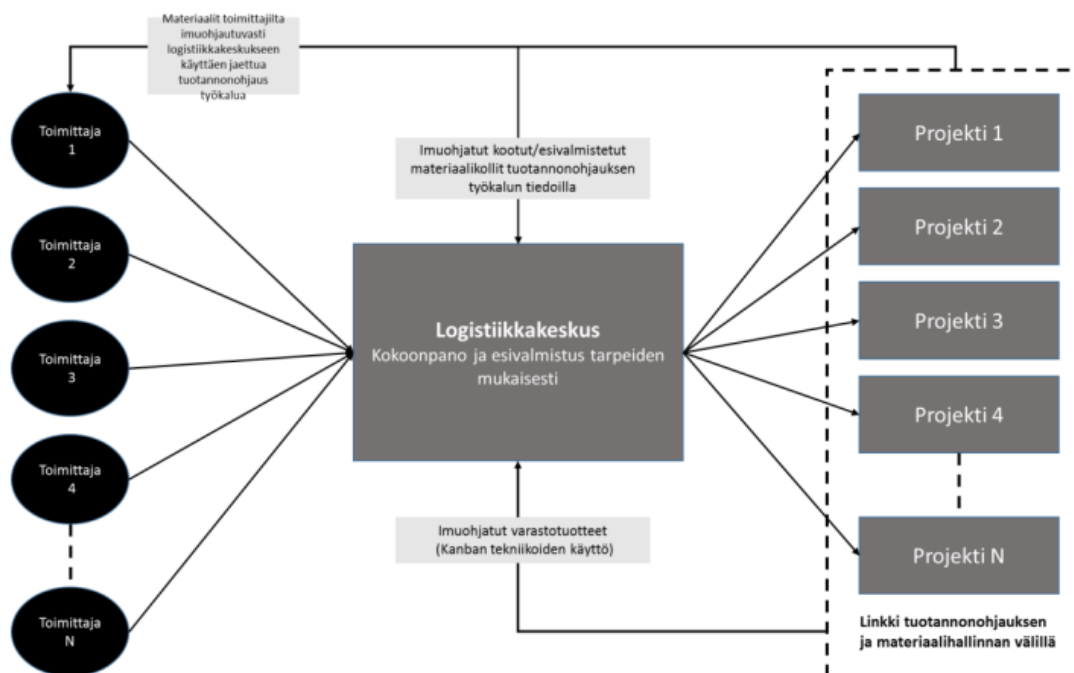
Rakennustyömaiden hukkaa ja tarkemmin työntekijöiden työajan käyttöä on tutkittu ja tuloksista voidaan todeta, että jopa 30 % yksittäisen työntekijän työpäivästä kuluu lisäarvoa tuottamattomaan työhön. Tämä 30 % sisältää materiaalien etsimis-, siirto- ja esikäsittelytehtäviä. Samalla kuitenkin uudet toiminnan- ja tuotannonohjausmenetelmät, kuten tahtituotanto ja esivalmistus edellyttävät täsmällisempää ja tarkemmin toteutettua materiaalivirtojen suunnittelua ja ohjausta. (10, s. 3.) Tuotannon tehostaminen logistiikan keinoin voidaan jakaa neljään osa-alueeseen: materiaalilogistiikan osaratkaisuihin, rakennushankkeen logistiikan kokonaisratkaisuihin, materiaalitoimitusten ohjausprosessiin sekä digitaalisen ja standardoidun tuotetiedon mahdollisuuksiin (10, s. 4).

Täsmätoimitukset ovat yksi materiaalilogistiikan osaratkaisuista. Se tarkoittaa tarvittavien materiaalien toimitusta työmaalle oikeana ajanhetkenä. Kun materiaalit toimitetaan työmaalle vasta, kun niitä tarvitaan, vältetään ylimääräisestä varastoinnista syntyvät materiaalihukat, vaurioitumiset ja käsittelykustannukset. Ylimääräiset varastointitilat haittaavat yleensä myös muiden työvaiheiden tehokasta toteutusta. Asennussarjat ja -paketit ovat täsmätoimitusta hyödyntävä tapa koota tarvittavat materiaalit yhteen. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kaikki tiettyyn työvaiheeseen tarvittavat materiaalit ja tarvikkeet toimitetaan yhtenä asennuspakettina. Jotta asennuspaketteja voidaan hyödyntää, tulee kyseisen työvaiheen materiaalit ja määrät olla tarkasti tiedossa. (10, s. 4—5.)

Täsmätoimittamalla asennuspaketteja kokonaismateriaalihukkaa saadaan vähennettyä ja oikean määrän oikeaa tavaraa ollessa oikeassa asennuspaikassa oikeaan aikaan saadaan asennustyötä tehostettua ja vakioitua. Asennuspaketien kasaamista varten voidaan hyödyntää erillistä logistiikkakeskusta, jonne kaikki materiaalit voidaan tilata ja asennuspaikkakohtaiset paketit saadaan kasattua työmaan ulkopuolella. Kasatut paketit tilataan logistiikkakeskukselta täsmätoimituksena työmaalle. Turhia materiaalien tilauksia ja kuljetuksia voidaan myös vähentää tavarantoimittajien hallinnoimilla työmaa ”kaupoilla”. Tällä tarkoitetaan työmaalle perustettua pistettä, esimerkiksi konttia, josta löytyy halutut materiaalit ja ne ovat sieltä ostettavissa ilman siirtymistä tavarantoimittajan toimipisteeseen. (10, s. 4—5.)

Lähtökohtana toimivalle logistiikan kokonaisratkaisulle on koko työmaan rakennusprosessin palveleminen. Toimivuutta tulee mitata työnvirtauksen ja tuottavuuden kautta, eikä keskittyä pelkästään puhtaaseen materiaaliprosessiin. Logistiikka on onnistunutta, kun oikeat materiaalit ovat käytettävissä oikeassa paikassa tarvittavana aikana, häiritsemättä kenenkään muun toimijan työskentelyä. Toimivan kokonaisprosessin tulee kuitenkin skaalautua yli yksittäisen projektin rajojen. (10, s. 6—9.) Kuvassa 3 on esitetty periaatekuva useamman työmaan tulevan logistiikan ketjusta (11, s. 46).

Vakioitujen ratkaisujen ja yhtä työmaata laajemman prosessiajattelun kautta suurin hyöty saadaan irti. Yhdistämällä useamman työmaan logistiset prosessit ja tarpeet saadaan materiaalityönteiden osalta säästöjä suurempien tilausmäärien kautta ja materiaalien kuljetusten määrä vähenee. (11, s. 44—46.)



Kuva 3. Logistiikkaketju toimittajilta logistiikkakeskuksen kautta työmaille, eli projekteille (11, s. 46).

Materiaalien ohjausprosessin toteuttamiseen on tänä päivänä käytössä erilaisia digitaalisia ratkaisuita. Näiden ratkaisuiden avain on reaaliaikaisessa materiaali-
virtojen hallinnassa, jotta voidaan varmistua oikeiden materiaalien olevan oike-
assa paikassa oikeana ajanhetkenä. Tämä mahdollistaa materiaalien seuraami-
sen niin toimittajan, logistiikkakeskuksen kuin työmaankin tilojen osalta. (11, s.
11—14.)

2.4 Esivalmistusasteen nosto

Esivalmistusastetta nostamalla rakentamiseen käytettävää aikaa saadaan lei-
kattua. Rakentamisajan lyhenemisen lisäksi materiaalihävikit pienenevät, raken-
tamisen- ja suunnittelun laatua voidaan parantaa, logistiikkaprosessi tehostuu ja
arvoa lisäävän työn tehokkuus kasvaa. Ajatusmaailmallisesti perinteisen projek-
tisuunnittelun ja -toteutuksen tulisi muuttua prosessituotannolliseksi, kohti teolli-
sempaa rakentamista. Myös korkeamman esivalmistamisen käyttöönotto vaatisi
siis systemaattista muutosta totuttuihin toimintatapoihin. (12). Esivalmistaminen
tarkoittaa käytännössä rakennuksen osien valmistamista tehdasolosuhteissa
työmaan sijasta, jolloin tuottavuus ja materiaalien käyttö on mahdollisimman

tehokasta (13). Esivalmistusasteen nostamisen voi jakaa kolmeen eri keinoon: jo olemassa olevien rakennusosien jalostusastetta voidaan nostaa, voidaan kehittää kokonaan uusia esivalmisteisia rakennusosia tai jo olemassa olevien rakennusosien käyttöä voidaan lisätä (14, s. 10).

Jos jo olevia esivalmisteisia rakennusosia lähdetään jatkojalostamaan, tulisi suunnittelu siirtää keskittymään tuoteosien integrointiin ja esivalmisteiden mahdollisimman suureen kokoon. Suunnitteluratkaisuita vakioimalla tästä saadaan kaikista suurin hyöty irti. Jälleen, projektikohtaisesta suunnittelusta siirtyminen prosessiajatteluun. (14, s. 10—11.)

Suomessa betonielementeillä rakentaminen on globaalisti tarkasteltuna mahdollistettu laajasti ja onnistuneesti. Esivalmisteiset LVI-tuotteet ovat kuitenkin jääneet kehityksen ja käyttöasteen osalta jälkeen. Suomalaiset tilaajat pitävät tilojen käytettävyyttä, ylläpidettävyyttä ja muunneltavuutta niin tärkeinä tavoitteina, ettei rakentamisajan lyhentämisestä saatavat hyödyt riitä kiinnostumaan taloteknisten esivalmisteiden käytön lisäämisestä. Perinteisissä suunnittelumuodoissa talotekniikan esivalmistus tulee mukaan suunnitelmien ollessa jo liian pitkällä, jolloin tästä syntyy poikkeama prosessiin. Lisätyötä ja uudenlaista osaamista vaativa poikkeama ei ole kiinnostavaksi nähtävä toteutustapa, kun urakoitsijat ratkaisevat yksityiskohdat työmaakohtaisesti. Vaikka talotekniset esivalmisteet eivät tuo säästöjä hankintakustannuksiin, tulee kokonaisvaikutukset esiin lyhyemmän rakentamisajan kautta saatavien hyötyjen muodossa. (15.)

Esivalmistusasteen nosto vaatii prosessina kolme keskeistä vaihetta. Esivalmistusohjelman, jossa määritellään projektissa hyödynnettävät esivalmisteet, vertailun paikallarakennettuun niin, että ei-rahalliset hyödyt otetaan huomioon sekä suunnittelu- ja hankintaprosessien muokkaamisen palvelemaan muutosta. Esivalmistesuunnittelussa päätökset muutetaan konkreettisiksi suunnitelmiksi esimerkiksi hyödyntäen valmistajien vakioratkaisuita. Tuotannosuunnittelussa esivalmisteet liitetään osaksi rakentamisen aikataulua. (16.)

Hyvä esimerkki esivalmistamisen hyödystä rakentamisajan leikkaamisessa on kylpyhuonemoduulit. Aalto-yliopiston tutkimuksen mukaan 6-kerroksisessa pistetalossa 34—38 asunnon kylpyhuoneiden toteutukseen menee paikalla rakennettaessa 125 työvuoroa. Kylpyhuonemoduuleilla samaan määrään valmiita kylpyhuoneita kului vain 5,5 työvuoroa. Myös paikallavalettavan välipohjan korvaaminen ontelolaatoilla lyhensi kestoja yhden työpäivän kerrosta kohden. Samaisen tutkimuksen mukaan etenkin tahtituotantoa toteuttavissa kohteissa tämä kylpyhuone-elementeillä saatava aikasäästö on vieläkin suurempi. Märkätiloissa tapahtuvat työt poistuvat ja tahtialueella ei ole tarvetta hoitaa useampaa työvaihetta samanaikaisesti. (17.)

Kaikki tekijät huomioon otettaessa esivalmistaminen on pääsääntöisesti paikallatehtävään verrattuna edullisempaa. Merkittävin hyöty syntyy epäsuorista kustannuksista, jotka koostuvat nopeammasta läpimenoajasta johtuvista säästöistä, sekä tilan tarpeen vähenemisestä. Mitä laajemmin vaikutuksia tarkastellaan, sitä hyödyllisempänä korkeampi esivalmistusaste näyttäytyy. Hyötyjä ei kuitenkaan pelkän esivalmistamisen kautta saada, vaan ne tulee ulosmitata yhdessä suunnitellun rakennusprosessin kautta. Esivalmistamista tulisi tarkastella myös pidemmän aikavälin hyötynä. Pelkästään yksittäisen hankkeen toteuttamisessa esivalmistamisesta syntyvät kustannukset voivat esimerkiksi suunnittelutarkkuuden vaatimusten takia nousta paikalla rakennettavaa korkeammiksi. Pitkällä aikavälillä mahdollistuu kuitenkin valmiiden suunnitelmien hyödyntäminen ja jo aikaisemmin opittujen tapojen toteuttaminen, mitkä laskevat kokonaiskustannuksia. (18.)

3 Asuinkerrostalohankkeiden nykytilan kartoitus

3.1 Tahtituotanto asuinkerrostalohankkeissa

Rakennustyömaita on aina ajateltu kertaluontoisina projekteina, jolloin tahtiaika-suunnittelu ja tahtituotanto prosessina ovat vielä kohtuullisen uusia asioita alalla. Lean-ajattelu on kuitenkin muuttamassa tätä ajattelumallia. (19.)

Aikataulusuunnittelu edellyttää tarkkaa perehtymistä suunniteltavaan rakennuskohteeseen. Totutussa rakennustuotantoprosessissa töiden suorituspaikat vaihtuvat jatkuvasti ja aikataulujen on tärkeää mahdollistaa työryhmille vapaat työkohteet ja joustavat siirtymiset uusille työkohteille. Tämä kertoo siitä, että suunnittelu tehdään projektikohtaisesti. (20, s. 19—20.) Aikataulutehtäviä muodostettaessa huomioidaan perinteisesti arvoa tuottavan työn lisäksi myös täydentäviä suorituksia, kuten materiaalien ja kaluston siirtoja ja suojauksia (20, s. 25). Aikataulutehtävien teholliseen keston lisätään aikataulullista puskuria, joka saadaan Ratu-korteissa määriteltujen kertoimien, tai kokemukseen pohjautuvan tiedon avulla (21, s. 63).

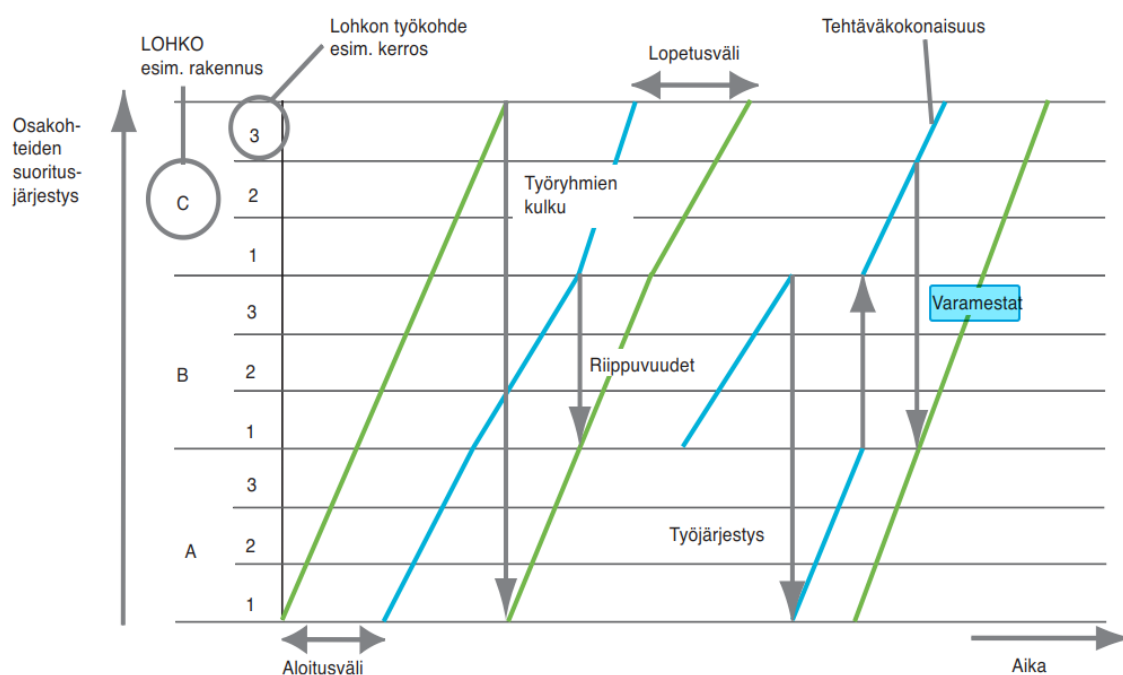
Perinteisesti rakennushankkeelle määritellään rakennusaika, jonka kireys tarkastetaan vertaamalla suunniteltua aikaa laskennalliseen normaalikeston. Aikataulussa huomioidaan perinteisesti myös mahdolliset työkatkokset ja varaudutaan erilaisiin häiriöihin. (21, s. 62.) Normaalikesto tarkoittaa hankkeen rakennussuunnitelmien ja normaalin kireystason mukaista rakentamisaikaa, joka ei sisällä kesälomia tai muita tiedettyjä keskeytyksiä. Normaalikesto lasketaan työmaalla tehtävien töiden kokonaistyöpanosten avulla. Työmaan kokonaistyöpanos kattaa kaikki työntekijätunnit poisluettuna työnjohdon työpanokset. Normaalikeston (T_n) laskemiseen on määritetty omat kaavat isoille ja pienille hankkeille. Isoissa kohteissa (kaava 1) kokonaistyöpanos on yli 10 000 tth. (20, s. 20.)

$$T_n = 4,6 \times \ln(\text{hankkeen kokonaistuntimäärä}) - 35 \quad (1)$$

Pienissä kohteissa (kaava 2) kokonaistyöpanos on alle 10 000 tth.

$$T_n = 1,8 \times \ln(\text{hankkeen kokonaistuntimäärä}) - 9,3 \quad (2)$$

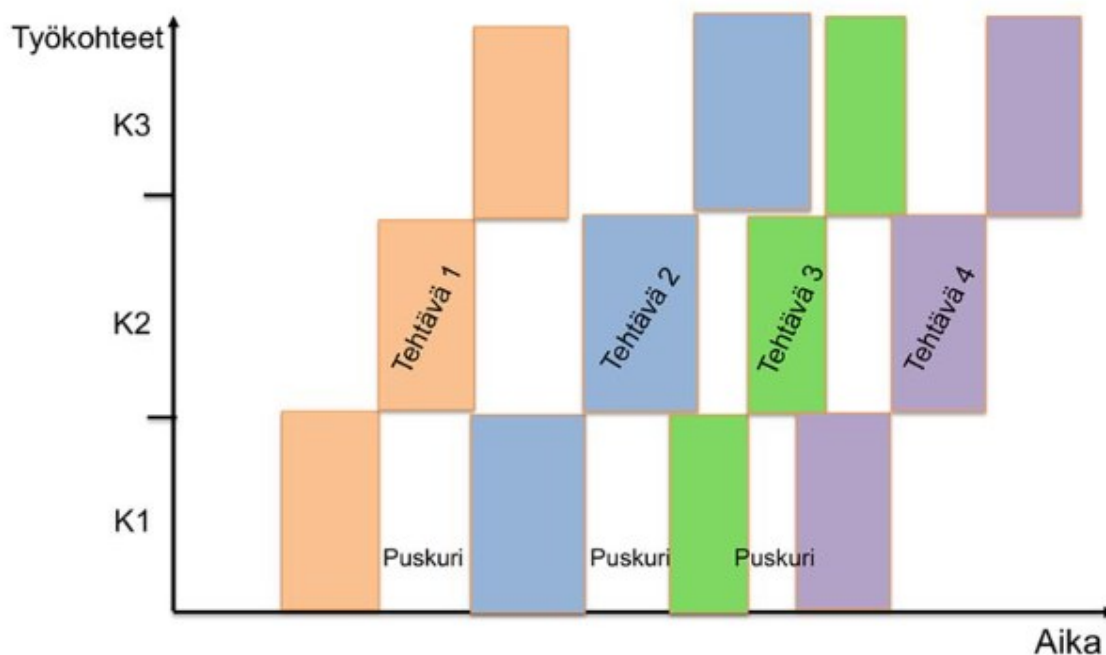
Perinteisesti aikatauluihin toteutetut aikataulupuskurit mahdollistavat töiden suunnitellun etenemisen häiriöistä riippumatta. Tämänlaisella tuotannosuunnittelulla häiriöiden sattuessa on olemassa varamestat, joissa työtä saadaan edistettyä tehokkaasti joka tapauksessa. Kuvassa 4 nähdään aikatauluun toteutetut varamestat, joissa ei koko ajan tapahdu kohteen valmistumista edistävää työtä. (21, s. 68.)



Kuva 4. Perinteisen aikataulusuunnittelun periaate paikka-aikakaaviossa (21, s. 68).

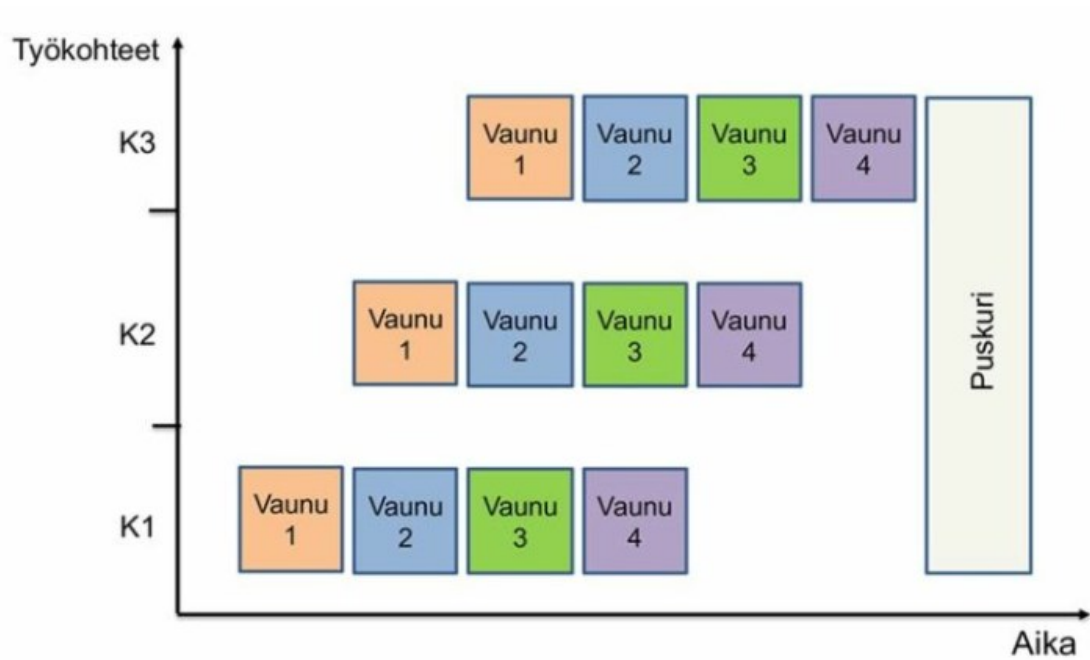
Perinteisessä rakentamisessa tuotannon tehokkuuden muotoa kutsutaan resurssitehokkuudeksi. Se tarkoittaa kaikkien arvoa tuottavien resurssien mahdollisimman tehokasta hyödyntämistä. Kaikki resurssit siis tekevät koko ajan jotain keskittyen vain omaan työvaiheeseensa ja tehokkuutensa maksimoimiseksi, eivätkä ole tyhjänpanttina. Kun toimintaa ohjaa resurssien mahdollisimman tehokas hyödyntäminen, päähuomio kohdistuu uudisrakentamisen tapauksessa itse rakennuksen sijasta rakentamisessa käytettäviin resursseihin. Tämä johtaa työvaiheiden eriytymiseen toisistaan ja työt odottavat tekijöitään. (22, s. 9—11.)

Suomessa on alettu kiinnostumaan tahtituotannosta 2010-luvulla, kun Saksassa ja Kaliforniassa toteutetuissa hankkeissa on nähty onnistumisia kyseisellä toimintamallilla. Perinteisen tahtituotannon malli on kuitenkin muuttunut Suomessa enemmänkin tahdistettuun tuotantoon, jossa tarkkaa suunnittelua ja tasaista tuotantonopeutta hyödynnetään. Tästä kuitenkin puuttuu vielä varsinaisen tahtituotannon määrittelemiä piirteitä. Kuvasta 5 nähdään tahdistettu tuotanto suunniteltuna paikka-aikakaavioon. (19.)



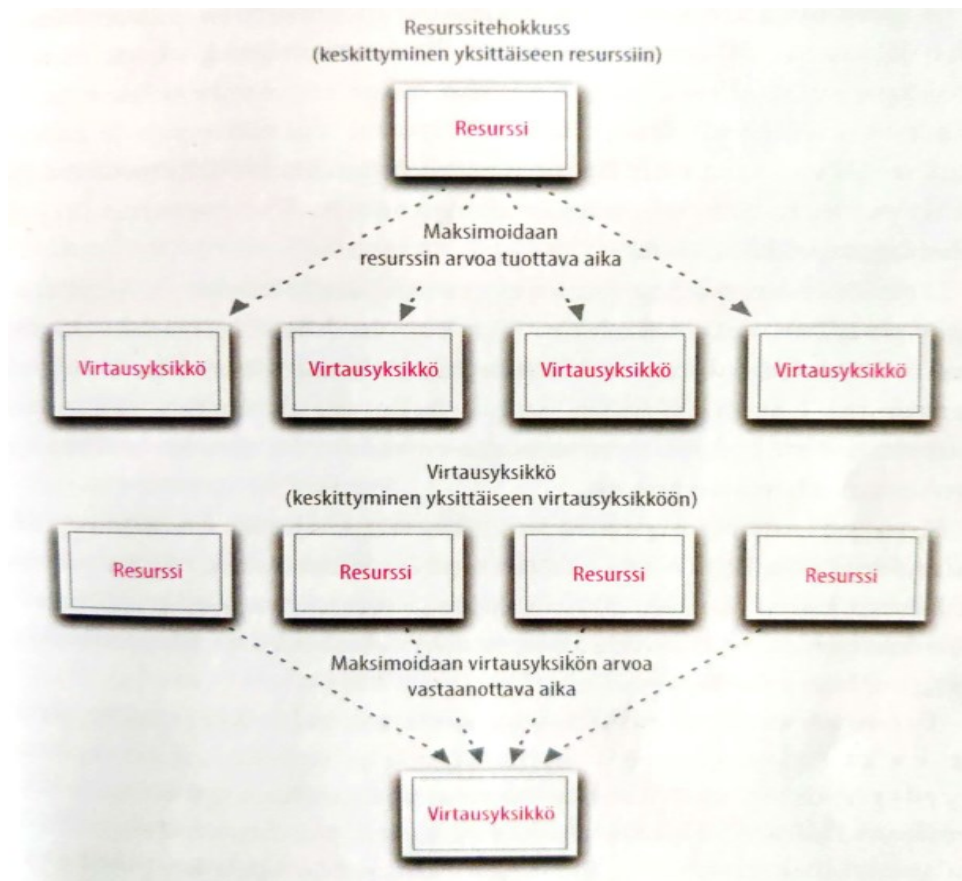
Kuva 5. Paikka-aikakaaviolla toteutettu tahdistetun tuotannon suunnitelma (19).

Tahtituotannon ja tahdistetun tuotannon isona erona on yllä olevasta kuvasta nähtävät puskurit tehtävien välillä. Kuvasta 6 nähdään konkreettisesti ero tahtituotannon paikka-aikasuunnittelussa. (19.)



Kuva 6. Paikka-aikakaaviolla toteutettu tahtituotannon suunnitelma (19).

Tahtituotantoprosessi vaatii erilaisen tehokkuuden muodon, jota kutsutaan virtaustehokkuudeksi. Virtaustehokkaassa prosessissa päähuomio kohdistuu tuotettavaan tuotteeseen, joka virtaa käytettävien resurssien läpi. Tuotettavaa tuotetta kutsutaan virtausyksiköksi. Rakentamisessa tuotteena on itse rakennettava kohde. Resurssitehokkuudessa arvoa mitataan resurssien hyödyntämisen suhteena käytettävään ajanjaksoon ja virtaustehokkuudessa mittaus on tekeillä olevan rakennuksen jalostumisessa suhteessa käytettyyn aikaan. Kuvassa 7 on esitetty tehokkuusmuotojen ero. (22, s. 13, 21.)



Kuva 7. Resurssi- ja virtaustehokkuuden ero (22, s. 13, 21).

Hyvän virtaustehokkuuden saavuttamiseksi tulee jonkin resurssin koko ajan ja-lostaa määriteltyä virtausyksikköä. Aikataululliset puskurit tehtävien työvaiheiden välillä näin ollen heikentävät virtaustehokkuutta, jolloin rakennettavan kohteen valmistumista ei edistetä. Tahtituotantoprosessi mahdollistaa virtaustehokkuuden maksimoinnin ja tehtävien väliset aikataulupuskurit pystytään poistamaan. (22, s. 20—23.)

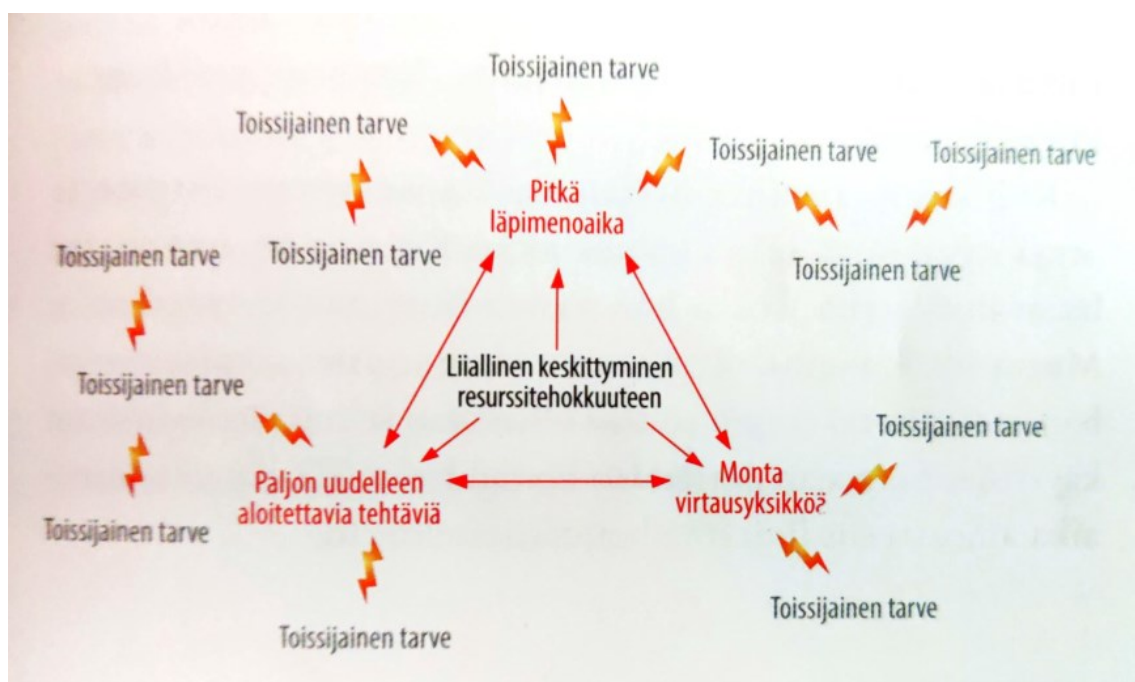
Resurssitehokkuuden ongelmat voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen:

1. pidempi läpimenoaika
2. useampi virtausyksikkö
3. uudelleen aloittamisen tarve.

Halu resurssien tehokkaaseen käyttöön luo tarpeen mahdollistaa jatkuva työn tekeminen miettimättä tehtävän työn luomia seurauksia. Töiden koordinoimaton tekeminen useammassa pisteessä synnyttää toissijaisia tarpeita, jotka synnyttävät odottamista, uusien resurssien tarvetta tai muuta ylimääräistä toimintoa. Rakentamisen tapauksessa pidempi läpimenoaika pidentää myös jatkuvien kustannusten kasvua. (22, s. 48—50.)

Mitä enemmän yksittäisiä virtausyksiköitä on työn alla, sitä enemmän toissijaisia tarpeita syntyy. Useampien keskeneräisten töiden samanaikainen eteneminen tuottaa valvottavien töiden määrän ja lisäresurssien tarpeen lisäksi virhealttiutta. Monen samanaikaisesti keskeneräisen työn takia kokonaiskuvan hahmottamisesta tulee haaste ja ongelmien sekä virheiden havaittavuus vaikeutuu. (22, s. 51—54.)

Kun työtä ei tehdä kerralla loppuun, joudutaan työnteko aloittamaan aina uudelleen. Aloitettavien töiden määrän kasvaessa kokonaisuuden hallinta vaikeutuu, joka johtaa virheiden syntymiseen. Jokainen uusi aloitus tarkoittaa virtausyksikön jalostamisen keskeytymistä, jolloin syntyy taas uusia toissijaisia tarpeita. Kuva 8 havainnollistaa resurssitehokkuuden heikkoudet. (22, s. 55—58.)



Kuva 8. Resurssitehokkuus luo toissijaisia tarpeita (22, s. 55—58).

Vaikka kaikki yksittäiset resurssit ovat tehokkaasti käytössä, koko prosessin virtaustehokkuuden heikentyminen luo toissijaisten tarpeiden kautta lisätöitä. Työtä voi olla hankala mieltää lisätyöksi, koska se näyttäisi olevan arvoa tuottavaa työtä. Lisätyötä ei kuitenkaan olisi tarvittu, mikäli toissijaista tarvetta ei olisi luotu. (22, s. 59—64.)

Virtaustehokkuus eliminoi toissijaisia tarpeita. Kaikki toimet läpimenoajan lyhentämiseksi sekä keskeneräisten- ja uudelleen aloitettavien töiden määrän minimoimiseksi vähentävät lisätöitä. (22, s. 64—65.)

Virtaustehokas tahtituotantoprosessi parantaa koko projektin hallittavuutta ja turvallisuutta merkittävästi. Hallittavuuden paranemisen myötä myös lopputuotteen laatu saadaan nostettua paremmalle tasolle. Määritellyn tahtiajan tulee mahdollistaa työn todellinen kesto, jotta työ pystytään toteuttamaan korkealaa-tuisella lopputuloksella. Hallittavuuden paraneminen edellyttää tahtituotantopro-sessin vaatimaa jatkuvaa kehittymistä, jonka tulee tapahtua kaikilla projektin osapuolilla. Tahtituotantoprosessi mahdollistaa myös aikataulun toteutumisen paremman ennustettavuuden aikaisemmassa vaiheessa projektin etenemistä, kuin perinteisesti toteutettu toimintamalli. Tahtituotanto vaatii aina virtaustehokkuuden laittamista resurssitehokkuuden edelle. Virtaustehokas tahtituotantopro-sessi johtaa kuitenkin loppujen lopuksi ylivoimaisen resurssi- ja kustannuste-hokkaaseen lopputulokseen, jolloin kiire häviää, kokonaisläpimenoaika lyhenee ja kustannukset pienenevät. Virtaavan prosessin resurssitehokkuus syntyy jat-kuvan oppimisen ja kehittymisen myötä. (23.)

Vaikeinta tahtituotantoprosessin toteuttamisessa on ihmisten ja totuttujen toi-mintamallien muuttaminen. Vahvasti aliurakoitu toimintamalli johtaa työmaalla töiden johtamisen sijasta sopimusten johtamiseen. Sopimusten johtamisen ja riitelykulttuurin sijaan tulisi toiminnan muuttua yhdessä tekemiseksi ja tätä kautta sitouttaa tekijät projektiin ja mahdollistaa toimiva tahtituotantoprosessi. Rakennusalan tuottavuusloikka tulee tapahtumaan tahtituotantoprosessin kautta. (23.)

3.2 Työmaalogistiikka asuinkerrostalohankkeissa

Logistiikka toimii rakennustyömaalla suurena tuottavuustekijänä. Kohteiden suunnittelussa ja aikataulujen laatimisessa logistiikka jää kuitenkin usein huomioidamatta. Jotta logistiikan suunnittelun, ohjauksen ja toteutuksen puutteet saadaan korjattua, tulee luopua monista alalla totutuista, jo hyväksi todetuista toimintatavoista. (24.)

Työmailla on tapana tilata materiaaleja ja tarvikkeita kohteeseen suunnittelemattomasti. Väärään aikaan toimitetut tuotteet lisäävät ylimääräistä varastoinnin tarvetta tai aiheuttavat töiden keskeytyksettömän etenemisen. Suunnittelematon tilaaminen aiheuttaa myös epätiedon materiaalien loppusijoituspaikasta, ja milloin niille olisi tarvetta. Tutkimukset osoittavat, että materiaalit liikkuvat työmaalla keskimäärin kuusi kertaa ennen kuin ne päätyvät lopulliselle sijoituspaikalle tekijöiden käyttöön. (24.)

Perinteinen toimintamalli on kuitenkin logistiikkalaskelman avulla päätyä edullisimpaan logistiikan toteutusmalliin. Tästä syystä materiaalit tilataan täydellä kuljetusvälineellä työmaalle ja varastoida siellä, koska pienemmillä toimituserillä materiaalien kuljetuskustannukset kasvavat ja erillisen varaston käyttö maksaa myös. Työmaalla tapahtuvan materiaalikäsittelyn, kuten vastaanottojen ja siirtojen osalta haetaan myös hinnaltaan edullisinta vaihtoehtoa. Näiden toimien toteuttamiseen on useampi erilainen vaihtoehto, mutta sisällyttäminen muihin työvaiheisiin näyttäytyy edulliselta vaihtoehdolta verrattuna erillisillä resursseilla tuotettuun toimintatapaan. Tässä jää kuitenkin usein huomioimatta vaikutus arvoa tuottavaan työhön. Logistiikkaratkaisun aiheuttama lisätyö hidastaa ensisijaisen työn etenemistä lisääntyvän työmäärän ja siitä aiheutuvan liikkumisen takia. Ensisijaisen työn hidastuminen lisää aikataulun pitenemisestä johtuvien kustannusten määrää, mikä tulisi osata huomioida logistiikkaratkaisuita vertailtaessa. (9, s. 57.)

Logistiikkaa mielletään perinteisesti työmaalla tuntityönä tehtäviksi materiaalien siirroiksi. Tämäkin on tärkeä osa työmaan logistiikkaa, mutta pelkästään tähän

osaan logistiikkaprosessia tyytymällä jää kokonaisu logistiikasta saavuttamatta. Työvaiheiden suunnittelussa tulisi huomioida tarvittavien materiaalien lisäksi myös toimitusten aikataulutus, materiaalien kerralla tarvittavat määrät sijainteineen sekä jatkuva seuranta todellisesta toimivuudesta ja mahdollisista kehittymismahdollisuuksista. Rakentamisen logistiikan kehitystä vaikeuttaa rakennusalan muutospelko ja tyytyminen vallitsevaan tehokkuuteen. (25.)

Logistiikan tulisi olla pääurakoitsijan omistuksessa. Suunnittelu- ja hallintatehtävissä palveluyritysten käyttö on mahdollista, mutta logistiikka ei voi jättää aliurakoitsijoiden ja materiaalitoimittajien huoleksi. (24.) Kaikki toimijat on sitoutettava logistiikkaprosessiin, jotta suunnitelmat ja toimintamallit ovat kaikkien tiedossa jo ennen logistisia tarpeita. Kaikkien toimijoiden tulisi tietää toistensa käynnissä olevat ja tulevat työt, sekä vaatimukset näiden toteutumisille. Mikäli materiaalien, siirtojen ja toimitusten hankinta on kaikkien tekijöiden omalla vastuulla, jää kokonaisuuden ajattelemisen oman tehokkaan suorittamisen varjoon. Kun kaikkien oma toiminta tähtää mahdollisimman tehokkaaseen omien resurssien käyttöön, ei töiden virtauksen katkeamaton eteneminen ole mahdollista. Kokonaisuusien hankinta estää myös logistiikan todellisten kulujen hahmottamisen. (26.)

Logistiikka tulisi eriyttää omaksi toiminnokseen osaksi työmaan toimintaa. Arvoa tuottavien työntekijöiden tulisi keskittyä puhtaasti itse työn tekemiseen ja logistiikan tulisi mahdollistaa näiden töiden katkeamaton eteneminen. Logistiikkaprosessin tulisi työmaalla toimia hukkia poistavana tekijänä. Materiaalien siirtojen ja varastoinnin pitää olla mahdollisimman vähäistä, jotta materiaalien turmeltumismahdollisuudet vähenevät ja varastointien aiheuttamat esteet töiden etenemiselle poistuvat. Myös työturvallisuus paranee materiaaliliikenteen pienenemisen ja varastoiden vähenemisen myötä. Jotta nämä hukat saadaan poistettua, tulisi työmaiden siirtyä pienempiin toimituseriin ja täsmätoimitus periaatteeseen. Pienemmät toimituserät tuovat paremman työturvallisuuden lisäksi selkeyttä kokonaisuuteen ja näin ollen hallittavuus helpottuu. (23.)

Jotta logistiikasta saadaan paras mahdollinen hyöty irti, tulisi oppimista ja kehittymistä tapahtua jatkuvasti. Projektien välillä tapahtuva kilpailuttaminen kustannushyödyn tavoittelemiseksi ei edesauta tätä kehittymistä. Samojen toimijoiden kanssa toimiessa oppimista ja kehittymistä tapahtuu ja toiminnasta tulee jatkuvasti tehokkaampaa. Toimijoiden vaihtuvuus vaikeuttaa myös kokonaisuuden ennustettavuuteen. Työmaan hankinnoista vastaavien ja työmaan toteuttajien välisen yhteistyön tulisi edesauttaa projektia, ja kummankin toimijan tavoitteiden pitäisi tukea toisiaan. Myöskään eri rakennusprojektien välinen kilpailu keskenään ei edistä kokonaisuuden kehittymistä, kun opittuja toimia ei jaeta projektien välillä. Yksittäisen työmaan sisällä olevasta riitelykulttuurista tulisi siirtyä luottamussuhteeseen kehittymisen mahdollistamiseksi. (26.)

Töiden ennakkosuunnittelulla logistiikan suunnittelusta saadaan helpompaa. Kaikkien töiden sisältöön on päästävä kiinni, jotta logistiikan suunnittelu onnistuu ja logistiikan todellisia kokonaiskustannuksia voidaan vertailla eri toimintamallien kesken. Työmaalla toteutettaviin aikatauluihin tulisi sisällyttää kaikki materiaali- ja työvoimavirrat määrineen, toimitusaikoineen sekä loppusijoituspaikkoineen. Näin ollen materiaalit ja toimitukset noudattaisivat jo suunniteltuja aikatauluja, ja muutosten tapahtuessa hallittavuus olisi mahdollista. (26.)

3.3 Esivalmistaminen asuinkerrostalohankkeissa

Suomessa on käytetty esivalmistettuja elementtejä jo 1900-luvun puolivälistä alkaen. Elementtirakentamisella alettiin tavoittelemaan mahdollisimman tehokasta ja taloudellista rakentamistapaa. Ensimmäisenä Suomessa alettiin käyttämään tehdasvalmistettuja julkisivuelementtejä. Julkisivuelementtien tuomien hyötyjen myötä kiinnostus laajempaan esivalmistamiseen kasvoi, ja rakennusten runkojen ja vaippojen elementointia alettiin kehittämään. Betonirunkoisissa rakennuksissa alettiin hyödyntämään betonisia esivalmistettuja kantavia seinä. Seinät mahdollistivat erilaisia runkoratkaisuita, joissa kantavina seininä toimi väli- ja päätyseinät, joiden lisäksi ei kantavina esivalmistettuina seininä käytettiin sandwich -julkisivuelementtejä (kuva 9).



Kuva 9. Kantavilla väliseinillä ja sandwich-julkisivuelementeillä toteutettu runkoratkaisu.

Myös esivalmistetut välipohjat, kuten esijännitetyt ontelo- ja kotelolaatat mahdollistivat erilaiset runkoratkaisut. Näiden elementtiratkaisuiden rinnalle tuotiin esivalmistetut parvekelaatat. Halu rakennusten runkojen elementtitoteutukseen lisäsi erilaisten elementtien tarvetta. Betonista alettiin esivalmistamaan erilaisia pilareita ja palkkeja runkoratkaisuiden monipuolistamiseksi. Betonielementtien lisäksi runkojen toteuttamista metallisilla elementeillä alettiin lisäämään. (27, s. 10–15.)

Rakentamisajan leikkaamiseksi kehitettiin myös kylpyhuone-elementit. Elementit ovat ulkopuolelta verhoiltavissa ja sisäpuolisesti täysin valmiita kylpyhuoneita, ja ne voidaan nostaa valmiina tuotteena suoraan työmaalle (kuvat 10 ja 11). Kylpyhuone-elementtejä voidaan toteuttaa niin kevyt- kuin betonirunkoisina. (27, s. 76—78.)



Kuva 10. Flow Modules Oy:n kylpyhuonemoduuli ulkopuolelta.



Kuva 11. Flow Modules Oy:n kylpyhuonemoduuli sisäpuolelta.

Esivalmistaminen tehostaa rakentamista jatkuvasti tapahtuvan oppimisen ja kehittymisen kautta. Esivalmistettaessa työ siirretään tehtäväksi työmaan sijasta teolliseen ympäristöön, jolloin olosuhteet voidaan optimoida ja työn valvonta tehostuu. Esivalmisteen käyttö helpottaa työmaalla tehtävien töiden suunnittelua ja mahdollistaa työmaalla tarvittavien työntekijöiden määrän vähentämisen. Tarkemman työsuunnittelun ja vähäisemmän henkilömäärän ansiosta johtaminen ja kokonaisuuden hallittavuus helpottuu. (23.) Työmaan vähenevä työmäärä vähentää myös pääurakoitsijan velvollisuuksia ja vastuita. Paikalla rakennettuun verrattuna esivalmisteen määrä vähentää myös työmaan materiaalivirtojen

määrää. Vähäisemmällä materiaalivirtojen määrällä materiaalien toimitusvarmuus kasvaa ja aikataulujen hallinta tehostuu. Teollinen toteuttaminen mahdollistaa kokonaisuuksien katselmoinnin ennen työmaalle toimittamista. (28.)

Myös esivalmistaminen kehittyy ja tehostuu jatkuvan oppimisen, ja lisääntyvän kysynnän kautta. Elementtirunkojen ja kylpyhuone-elementtien lisäksi iso mahdollisuus tuottavuuden lisäämiseen on taloteknisissä esivalmisteissa. Perinteinen aliurakoitu toteutusmalli taloteknisten töiden osalta pilkkoo vastuita ja lisää muuttujia kokonaisuuteen. Taloteknisten kokonaisuuksien esivalmistus mahdollistaa yhdenpuoliset sopimukset ja kokonaisuuden hallittavuus paranee. Mahdolliset työmaalle aiheutuvat häiriöt materiaalivirtojen ja muuttujien osalta saadaan minimoitua, kun esivalmistus mahdollistaa toteutuksen aikaisemman aloittamisen. Vesi- ja ilmanvaihtokokonaisuuksia esivalmistettaessa korostuu teollisen tuottamisen mahdollistama puhtaudenhallinta, mikä ei työmaaolosuhteissa ole yhtä optimoitua. (28.)

Lämmönjakokeskuksia ja -huoneita, sekä Ilmanvaihdon konehuoneita voidaan myös esivalmistaa. Kuvassa 12 nähdään esivalmistettu lämmönlähde. Esivalmistettu lämmönjakokeskus mahdollistaa optimaalisemmat työmaaolosuhteet rakenteiden kuivumiselle ja rakennuksessa työskentelylle. Työmaa-aikaisten olosuhteiden ylläpito lopullisella lämmönlähteellä tuottaa ekologisemman ja edullisemman vaihtoehdon totuttujen menetelmien tilalle. Kokonaan esivalmistamalla lämmönjakohuone saadaan sisällön vaatima tilantarve optimoitua, jolloin hukkaneliöitä ei synny. (28.)



Kuva 12. Moduls Oy:n esivalmistettu maalämpöpaketti asennusvalmiina.

Lämmönjakotilan, mahdollisten ilmanvaihdon konehuoneiden sekä tarvittavien pysty- ja vaakalinjojen esivalmistaminen mahdollistaa työmaalla tehtävien taloteknisten töiden vähentämisen yli puolella. Esivalmistus ei kuitenkaan suoraan tuo läpimenoajan lyhentymistä, vaan vaatii koko rakentamisprosessin muokkaamista mahdollistamaan leikkaaminen. Oikein optimoidut esivalmisteet, tahtituo-
tantoprosessi sekä hallittu logistinen kokonaisuus täsmätoimituksineen tuovat tehokkuuden rakentamiseen, ja näin ollen toimivan kokonaisuuden kautta läpimenoaika lyhenee. (28.)

Suunnitteluratkaisuiden ja materiaalihallinnan standardointien kautta työsuoritteita pystyttäisiin edistämään. Rakentamisen teollistuessa mittatarkkuuksia tulisi saada edistettyä työmaiden vaatimalle tasolle, jolloin työmailla tehtävät työt vähenisivät ja helpottuisivat edelleen. Kaikkea ei kuitenkaan ole kokonaisuuden kannalta tehokkaampaa esivalmistaa, vaan tulisi tuoteosakohtaisesti tarkastella esivalmistamisen, osavalmistamisen ja paikalla tekemisen väliltä tehokkainta

vaihtoehtoa. (23.) Talotekniikan puolella liitostekniikan moduloinnissa ja valmispaketoinnissa on vielä kehitettävää tehokkaimman mahdollisen lopputuloksen mahdollistamiseksi. Esivalmistettujen tuotteiden käyttö vaatii toimiakseen myös oikea-aikaiset investointipäätökset, jotta suunnittelulle ja toteutukselle saadaan vaadittu aika. (28.)

4 Asuinkerrostalohankkeen rakentamisajan puolittaminen

Asuinkerrostalohankkeiden rakentamisajan puolittaminen on mahdollista, ja työkalut tämän toteuttamiseen on jo olemassa. Suurimpana haasteena on kuitenkin muutosvastarinta, sekä tyytyväisyys tämänhetkisiin toimintamalleihin. Pelko uudenlaisiin toteutusmalleihin ja uusiin innovaatioihin estävät muualla jo toimivaksi todetut toimintatavat, eikä alan kehittyminen ole mahdollista.

Rakentamisajan leikkaamisen mahdollistaminen tulee aloittaa jo suunnitteluvaiheessa. Toteutusvaiheen epäselvyyksien ja ongelmien välttämiseksi tulisi kaikkien hankkeeseen osallistuvien ammattitaitoa hyödyntää jo tuotannon suunnitelmia tehdessä. Tekijöiden ammattitaitoa hyödyntämällä pystytään toteuttamaan mahdollisimman tehokkaat ja järkevät tuotantosuunnitelmat. Suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota luotettaviin, vakioituihin ja vakiomittaisiin ratkaisuihin, jolloin työmaalla tehtävien työstöjen tarve vähenee (29). Hankkeeseen osallistuvien hyödyntäminen jo suunnitteluvaiheessa mahdollistaa myös esivalmisteiden käytön osalta tehokkaimman lopputuloksen. Kun suunnittelua tehdään toimijoiden kanssa yhdessä, ei liian pitkälle tehdyt suunnitelmat tule esivalmisteiden käytön esteeksi. Tämä edellyttää tietysti myös esivalmistajien ammattitaidon hyödyntämistä jo suunnitteluvaiheessa. Alusta asti yhdessä tekeminen helpottaa myös tuotannon ja kustannusten ennustettavuutta merkittävästi. Yhdessä tehtäessä on tärkeintä luoda kaikkien organisaatiossa toimivien välille luottamuksen kulttuuri (29).

Suunnittelussa tulee huomioida nopeamman rakentamisajan asettamat vaatimukset. Rakennuksen vaippa täytyy saada nopeasti sään pitäväksi, jotte ensimmäisissä kerroksissa työpisteet odota tyhjillään, vaan sisävalmistuksen

työvaiheet saadaan nopeasti liikkeelle jo valmistuneissa tiloissa. Jotta rakennuksen rungon tasainen ja nopea edistyminen on mahdollista, tulee pitkäkestoisien aikataulun tasaiseen etenemiseen vaikuttavien työvaiheiden toteutukseen kiinnittää erityistä huomiota. Elementtiasuinkerrostalossa, jossa hyödynnetään myös julkisivuelementtejä vaipan nopean ummistamisen mahdollistamiseksi, pitää huomio siirtää väestönsuojarakenteisiin sekä vesikattoon. Näiden aikataulullisiin haasteisiin on jo olemassa toimiviksi todetut ratkaisut. Väestönsuoja sekä vesikatto voidaan toteuttaa esivalmistettuina elementteinä. Elementoidun väestönsuojan asentaminen vie työmaalla aikaa 4—5 työpäivää, joka ei oikean elementtien asennusjärjestyksen ja riittävän tuotannosuunnittelun kautta hidasta runkotöiden etenemistä juuri ollenkaan.

Vesikaton toteutus elementteinä mahdollistaa nopean vedenpitävyyden elementtitaloihin, joissa on käytetty julkisivuelementtejä. Elementtikaton työsaavutus on 100 m² valmista kattoa työpäivän aikana. Verrattuna useamman viikon paikalla tehtävään vesikattoon, ero on merkittävä. Kun runko ja julkisivu ovat alhaalta asti valmiit, ja vesikatto toteutetaan nopeasti elementeillä, ei hukkaa vesikaton odottamisen takia synny alempien kerrosten sisätyövaiheiden osalta.

Suunnittelun tulee mahdollistaa mahdollisimman tehokas tahtituotannon hyödyntäminen toistettavien työsuoritusten kautta. Kaikkien hankkeen toimijoiden hyödyntäminen suunnitteluvaiheessa mahdollistaa työsuoritteiden todellisen tehollisen keston arvioimisen. Kun itse työn toteuttajat osallistetaan työn sisällön suunnitteluun, saadaan ylimääräisiä ja aikaa vieviä yksityiskohtia muokattua ennen toteutusvaihetta, ja itse toteuttamisesta mahdollisimman tehokasta. Kun kaikkien kriittisten työvaiheiden osalta toimitaan edellä mainitulla tavalla, luodaan edellytykset toimivalle tahtiaikasuunnittelulle.

Tahtituotannon mahdollistamiseksi tarvitaan myös toimiva logistinen prosessi. Logistiikan tulee olla pääurakoitsijan vastuulla. Logistiikka tulee suunnitella ja toteuttaa osaavien sekä asiasta ymmärtävien toimesta. Materiaalivirrat tulee myös suunnitella ja sisällyttää osaksi tahtiaikataulua. Jo runkovaiheeseen tulee suunnitella materiaalivirtojen osalta tarvittavien materiaalien siirrot välipohjille

siten, että rungon valmistuttua seuraavat työvaiheet voidaan nopealla aikataululla aloittaa, eikä valmistumisen jälkeiset haalaukset hidasta töiden aloittamista tai etenemistä. Esimerkiksi kerros- tai asuntokohtaisesti väliseinä- ja IV-materiaalit kannattaa nostaa oikeisiin kerroksiin ja asuntoihin jo runkotöiden edetessä. Myös runkovaiheen jälkeisen logistiikan suunnittelussa tulee miettiä mahdollisimman tehokasta toteutusta. Täsmätoimittamalla vain käynnistyvien tahtialueiden töiden materiaalit kerrallaan ja siirtämällä ne ennalta suunniteltuun, niitä tarvitsevaan paikkaan pystytään turhilta varastoinneilta ja siirroilta välttymään.

Tahtituotanto vaatii toimiakseen laadukkaat tehtäväsuunnitelmat kaikista työvaiheista. Suunnitelmien tulee mahdollistaa työntekijöille mahdollisimman helppo ja selkeä työn toteutus. Tehtäväsuunnitelmalla tulee varmistaa työvaiheen aloituksen edellytykset, ja etenkin tahtituotantokohteessa tehtävän loppuunsaattamisen vaatimukset. Kun tehtäväsuunnitelmaan sisällytetään suunnitelmien, materiaalien ja muiden tarvittavien tietojen osalta minne ne tarvitaan, kuka ne toimittaa, milloin ja minkälainen määrä tarvitaan, voidaan mahdollistaa työn laadukas onnistuminen. Tehtyjä materiaalisuunnitelmia tulee myös seurata ja optimoida koko ajan työvaiheiden edetessä. Myös suunniteltua tahtiaikaa olisi syytä jatkuvasti mitata toistojen kautta saatavan kehityksen osalta, jottei saatu aikatauluhyöty muodostu hukka-ajaksi. (29.)

Yksittäisessä hankkeessa kaikkea hyötyä ei kuitenkaan saada ulosmitattua. Projektikohtaisesta rakentamisesta tulee siirtyä systemaattiseen prosessituotantoon. Samojen tahojen ja tekijöiden kanssa suunniteltaessa ja toteutettaessa jatkuvan kehittymisen kautta tulevat opit saadaan hyödynnettyä siirryttäessä hankkeesta toiseen. Suunnitteluperiaatteita pitää jatkuvasti kehittää, mutta peruseriaatteet täytyy vakioida. Samoja suunnitteluratkaisuita ja tekijöitä käytettäessä työn toteutus kehittyy ja nopeutuu jatkuvasti, ja läpimenoajat lyhenevät. Samanlaisilla suunnitelmilla, samoilla tekijöillä ja tehokkaalla logistiikalla toimivalla jatkuvasti kehittyvällä tahtituotantoprosessilla toteutettaessa työvaiheiden todelliset kestot nopeutuvat ohjeistettuihin työmenekkeihin nähden. Tehokkaampien työvaiheiden ja tahtituotannon kautta häviävien aikatauluhukkien

myötä asuinkerrostalon rakentamisajan puolittaminen laskennalliseen normaali-keston nähden on mahdollista.

5 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin asuinkerrostalojen rakentamisaikaa ja mahdollisuuksia rakentamisajan leikkaamiseen. Tavoitteena oli tuottaa tutkimus asuinkerrostalojen rakentamisajan puolittamisen mahdollistavista toimista. Tutkimuksessa vastattiin kysymyksiin, kuinka tahtituotannolla, logistiikan ratkaisulla ja esivalmistusastetta nostamalla rakentamisaikaa saadaan leikattua merkittävästi ja parannettua alan tuottavuutta. Aiheessa riittäisi vielä syvennettävää joka osa-alueella, mutta etenkin maanrakennus, perustus- sekä sähkötoiden osalta mahdollisuuksia tulisi tutkia enemmän.

Tutkimuksen teoriaosuudessa käsiteltiin tahtituotannon, rakennuslogistiikan ja esivalmistusten hyödyntämisen peruseräotteita. Tutkimus tehtiin perehtymällä alan kirjallisuuteen, tieteellisiin artikkeleihin ja tutkimuksiin sekä haastattelella eri osa-alueiden ammattilaisia. Tutkimustuloksia vertailtiin rakentamisessa totuttuihin tapoihin suunnitella aikatauluja, toteuttaa logistiikan ratkaisuja sekä esivalmistusasteen nostamisen tuomiin mahdollisuuksiin.

Suurimmaksi ongelmaksi rakentamisajan leikkaamisessa ilmeni alalla vallitseva muutosvastarinta. Mitään asioita ei tahdota toteuttaa eri tavalla, mihin on aikaisemmin totuttu. Tätä ongelmaa ei myöskään ratkaise alalle uusia tekijöitä opettavien oppilaitosten pääsääntöinen tapa opettaa käytössä olevia toimintatapoja, joihin nimenomaan pitäisi saada muutosta koko alan kehittymättömän tuottavuuden parantamiseksi.

Syventyminen tähän rakentamisen osa-alueeseen lisäsi omaa mielenkiintoani alaa kohtaan. Rakentamisessa on valtavat kehitysmahdollisuudet muualla jo toimiviksi todetuilla toimintamalleilla. Haluan löytää mahdollisuuden osallistua näiden toimintamallien eteenpäin viemiseen, ja olla osana koko alan tuottavuusloikkaa.

Lähteet

1. Lohilahti, Oona. Rakennusalalla työn tuottavuus ei ole kasvanut 40-vuodessa – onko allianssista tai leanista apua. Verkkoaineisto. <<https://www.rakennuslehti.fi/2017/09/rakennusalalla-tyon-tuottavuus-ei-ole-kasvanut-40-vuodessa-onko-allianssista-tai-leanista-apua/>>. Luettu 06.01.2023.
2. Rakentamiseen lisää tuottavuutta digitalisoinnilla ja tilaajatoimintoja kehittämällä. Verkkoaineisto. <<https://valtioneuvosto.fi/-/10616/selvitys-rakentamiseen-lisaa-tuottavuutta-digitalisoinnilla-ja-tilaajatoimintoja-kehittamalla>>. Luettu 06.01.2023.
3. Seppänen, Olli. Tahtituotannolla parempaa laatua. Verkkoaineisto. <<https://www.ril.fi/fi/rakennustekniikka/tahtituotannolla-parempaa-laatu.html>>. Luettu 08.01.2023.
4. Seppänen, Olli. Lehtovaara, Joonas. Uusitalo, Petteri. Lappalainen, Eelon. Ruohomäki, Anton. Pasila, Hans. Salerto, Saara. Koniel, Ossi. Järvinen, Teemu. 2020. Hukan mittaaminen suunnittelussa ja tuotannossa loppuraportti. Verkkoaineisto. <<https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2020-06/Hukka-suunnittelussa-ja-tuotannossa-loppuraportti-22-06-2020.pdf>>. Luettu 10.01.2023.
5. Mitä on lean. Verkkoaineisto. <<https://lci.fi/lean-rakennusalalla/mita-on-lean-rakentaminen/>>. Luettu 13.01.2023.
6. Lean kahdeksan hukkaa. Verkkoaineisto. <<https://mflow.fi/kahdeksan-hukkaa/>>. Luettu 13.01.2023.

7. Seppänen, Olli. Lehtovaara, Joonas. Heinonen, Aleks. 2019. Tahti suunnittelussa ja tuotannossa loppuraportti. Verkkoaineisto. <https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-02/building_2030_tahti_suunnittelussa_ja_tuotannossa_loppuraportti_22.1.201.pdf>. Luettu 14.01.2023.
8. Junnonen, Juha-Matti. 2022. Talonrakennushankkeen tuotannonhallinta. Rakennustieto. Luettu 18.01.2023.
9. Sartjärvi, Timo. 1992. Logistiikka kilpailutekijänä. Keuruu: Otava Oy. Luettu 20.01.2023.
10. Peltokorpi, Antti. Lavikka, Rita. Tetik, Müge. 2019. Rakentamisen logistiikkaratkaisut loppuraportti. < https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-10/loppuraportti_rakentamisen_logistiikkaratkaisut_23.10.2019.pdf>. Luettu 21.01.2023.
11. Arbulu, Roberto. Ballard, Glenn. 2004. Lean supply systems in construction. Verkkoaineisto. < <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/iglc-53446679-a1e6-4ab3-a23b-2d6ce0b53484.pdf>>. Luettu 25.01.2023.
12. Parempaa rakentamista esivalmistuksen avulla. 2019. Verkkoaineisto. < <https://kaute.fi/parempaa-rakentamista-esivalmistuksen-avulla/>>. Luettu 26.01.2023.
13. Esivalmistus. Verkkoaineisto. < <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sa-nasto/betonisanasto/esivalmistus.html#:~:text=Esivalmistus%20Teollinen%20valmistustapa%20joka%20rakentamisessa%20tarkoittaa%20rakennuksen%20osien,se%20on%20tehokkainta%20tuottavuuden%20ja%20materiaalien%20k%C3%A4yt%C3%B6n%20kannalta.>>. Luettu 28.01.2023.
14. Teriö, Olli. 2002. Betonirakentamisen esivalmistusasteen nosto. Tampere: VTT. Luettu 02.02.2023.

15. Talotekniikan esivalmistuksen hyödyt ja vaatimukset puntarissa. 2019. Verkkoaineisto. < <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/talotekniikan-esivalmistuksen-hyodyt-ja-vaatimukset-puntarissa>>. Luettu 04.02.2023.
16. Seppänen, Olli. Peltokorpi, Antti. Lavikka, Rita. Kokko, Laura. 2018. Verkkoaineisto. <https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-02/loppuraportti_visio2030_esivalmistus_19-09-2018.pdf>. Luettu 05.02.2023.
17. Esivalmistus ja Big Room tehostavat korkeaa rakentamista. 2020. Verkkoaineisto. <<https://www.aalto.fi/fi/uutiset/esivalmistus-ja-big-room-tehostavat-korkeaa-rakentamista>>. Luettu 08.02.2023.
18. Peltokorpi, Antti. Lavikka, Rita. Chauhan, Krishna. 2019. Verkkoaineisto. <https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2019-10/loppuraportti_esivalmistuksen_vaikutusten_arviointi_23.10.2019.pdf>. Luettu 10.02.2023.
19. Salminen, Juha. 2021. Verkkoaineisto. <<https://www.rakennuslehti.fi/2021/02/mita-uutta-tahtituotanto-tuo-rakentamisen-tuotannonohjaukseen/>>. Luettu 12.02.2023.
20. Rakennustieto. 2015. Aikataulukirja 2016. Rakennustieto. Luettu 13.02.2023.
21. Koskenvesa, Antti. Sahlstedt, Satu. 2017. Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. Rakennustieto. Luettu 13.02.2023.
22. Modig, Niklas. Åhlström, Pär. 2013. Tätä on Lean – Ratkaisu tehokkuusparadoksiin. Tukholma: Rheologica publishing. Luettu 15.02.2023.
23. Lähdesmäki Sameli. 2023. Entinen toimitusjohtaja. I.S Mäkinen Oy & Flow Modules Oy. Etähaastattelu. 09.02.2023.

24. Rakentamisen logistiikka vaatii uusajattelua. 2020. Verkkoaineisto. <<https://www.aalto.fi/fi/uutiset/rakentamisen-logistiikka-vaatii-uusajattelua>>. Luettu 18.02.2023.
25. Rantanen, Timo. 2019. Rakennustyömaan logistiikassa riittää vielä polkua raivattavaksi. Verkkoaineisto. <<https://www.rakennuslehti.fi/2019/10/rakennustyomaan-logistiikassa-riittaa-viela-polkua-raivattavaksi/>>. Luettu 20.02.2023.
26. Stefanov, Alexander. 2023. Toimitusjohtaja. Kahva Oy. Helsinki. Haastattelu. 07.02.2023.
27. Hytönen, Aki. Seppänen, Matti. 2009. Tehdään elementeistä. Jyväskylä: SBK-säätiö & Betonitieto Oy. Luettu 01.03.2023.
28. Harjula, Teemu. 2023. Toimitusjohtaja. Moduls Oy. Etähaastattelu. 16.02.2023.
29. Pasila, Hans. 2023. Kehityspäällikkö. Hartela-Yhtiöt Oy. Helsinki. Haastattelu. 27.02.2023.