



**Aalto-yliopisto**  
Insinööritieteiden  
korkeakoulu

Niko Timonen

## **Kylpyhuone-elementin käyttö korkeassa rakentamisessa läpimenoajan lyhentämiseksi**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 30.07.2020

Valvoja: Professori Olli Seppänen

Ohjaaja: DI Marko Oinas, YIT Suomi Oy

---

**Tekijä** Niko Timonen

---

**Työn nimi** Kylpyhuone-elementin käyttö korkeassa rakentamisessa läpimenoajan lyhentämiseksi

---

**Maisteriohjelma** Building Technology**Koodi** CIV

---

**Työn valvoja** Professori Olli Seppänen

---

**Työn ohjaaja(t)** DI Marko Oinas, YIT Suomi Oy

---

**Päivämäärä** 30.07.2020**Sivumäärä** 72 + 5**Kieli** Suomi

---

**Tiivistelmä**

Rakentamisessa on tutkitusti heikompi työn tuottavuus verrattuna muihin tekniikan aloihin. Rakennustyössä on tutkitusti todennettu olevan 45 % enemmän hukkaa ja 52 % vähemmän arvoa tuottavaa toimintaa verrattuna valmistavaan teollisuuteen, eikä alan tuottavuus ole kehittynyt sitten 1970-luvun jälkeen. Heikko tuottavuus on lisännyt rakennuslalle kohdistuvaa tutkimusta sekä innostanut kokeilemaan valmistavasta teollisuudesta tuttuja tuotannonohjauskeinoja ja -tapoja. Rakentamisessa käytettävien esivalmistettujen tuotteiden käyttöaste onkin kasvanut viime vuosina kovaa tahtia. Esimerkiksi kylpyhuone-elementtien käyttö on yleistynyt selvästi sitten 1970-luvun jälkeen, jolloin ensimmäiset kylpyhuone-elementit kehitettiin. Lisäksi, nykyään yhä enemmän yleistyvä korkea rakentaminen on tuonut rakentamiseen useita uusia haasteita niin esivalmistamisen kuin rakenneteknisten ratkaisujen osalta.

Tämän työn toimeksiantajana toimi YIT Suomi Oy ja työn tutkimus toimi osana Aalto-yliopiston ja usean rakennusalan yrityksen muodostaman Building 2030 kehityskonsortion korkean rakentamisen tutkimushanketta. Diplomityön tavoitteena oli tutkia kylpyhuone-elementtien eri asennusmenetelmiä ja tahtiaikataulutusta käytettäessä kylpyhuone-elementtejä sekä eri asennusmenetelmien soveltuvuutta ja niiden vaikutuksia korkean rakentamisen läpimenoaikaan. Tutkimus toteutettiin teoreettisempiirisenä tutkimuksena hyödyntäen suunnittelututkimusta metodisena lähestymistapana. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa tutkimuksen teemaa lähestyttiin kirjallisuuden ja aiemman olemassa olevan tutkimustiedon kautta. Kirjallisuustutkimuksen tavoitteena oli muodostaa ajatuksia herättävä viitekehys empiirisen tutkimuksen arvioinnin tueksi. Tutkimuksen toisessa vaiheessa tutkittiin kolmea eri kylpyhuone-elementin asennusmenetelmää kololaatta-, kuilu- ja julkisivuasennusta sekä niiden hyödyntämistä korkeassa rakentamisessa. Käytännön ratkaisuihin tutustumalla ja haastattelujen perusteella tutkimuksen tulokseksi pyrittiin muodostamaan suositus korkeaan rakentamiseen parhaimmin soveltuvasta kylpyhuone-elementin asennusmenetelmästä.

Tutkimuksessa havaittiin, että kylpyhuone-elementtien käyttö nopeuttaa työtä ja voi lyhentää rakentamisen läpimenoaikaa, etenkin tahtituotantokohteissa. Kuivumisajat saattavat kuitenkin asettaa haasteita ja tahdistaa muita työvaiheita tahtituotantoa sovellettaessa. Korkeassa rakentamisessa mahdollinen hukka tai saavutettu aikasäästö moninkertaistuu ja näin kylpyhuone-elementtien käytöllä voidaan nopeuttaa rakentamista selvästi. Aikaisemmat tutkimukset ovat raportoineet matalimmissakin kohteissa rakentamisajan lyhentyneen kahdesta-kolmeen kuukauteen käytettäessä kylpyhuone-elementtejä ja tahtituotantoa. Rakentamisen runkotyövaihe ja runkokierron nopeus ovat kriittisiä tekijöitä korkean rakentamisen kohteissa moninkertaisen kerrokorkeuden takia. Tämän takia kylpyhuone-elementin asennusmenetelmää valittaessa tärkein valintakriteeri on menetelmän käytön vaikutusten arviointi rakentamisen rungon etenemiseen ja sen vaikutukset muiden työvaiheiden tahdistamiseen. Näiden seikkojen ja työn tutkimuksen pohjalta tulokseksi muodostui vahva suositus kylpyhuone-elementin julkisivuasennusmenetelmän soveltamisesta korkean rakentamisen kohteissa.

---

**Avainsanat** asuntorakentaminen, kylpyhuone-elementti, läpimenoaika, esivalmistus, tahtituotanto, korkea rakentaminen, modulaarisuus

---

---

**Author** Niko Timonen

---

**Title of thesis** Using bathroom modules in high-rise construction in order to reduce construction lead time

---

**Master programme** Building Technology**Code** CIV

---

**Thesis supervisor** Professor Olli Seppänen

---

**Thesis advisor(s)** M.Sc. Marko Oinas, YIT Finland Ltd

---

**Date** 30.07.2020**Number of pages** 72 + 5**Language** Finnish

---

**Abstract**

In construction, labor productivity has been studied to be lower compared to other fields of technology. It has been studied that construction work includes 45 % more waste and 52 % less value-adding work compared to manufacturing industry, and productivity in the sector has not developed since the 1970s. Low productivity has increased research in the construction sector and inspired companies to experiment with production control tools and methods familiar from the manufacturing industry. The utilization rate of prefabricated products used in construction sector has grown rapidly in recent years. For example, the use of prefabricated bathroom modules has clearly become more common since the 1970s, when the first bathroom modules were developed. Nowadays, the increasing use of high-rise construction has brought several new challenges to construction, both in terms of prefabrication and structural engineering solutions.

This work was commissioned by YIT Finland Ltd and the research was carried out as part of the construction sector development project of the Building 2030 development consortium formed by Aalto University and several construction companies. The aim of the thesis was to study the different bathroom modules installation methods and takt-time construction when using prefabricated bathroom modules as well as the suitability of different installation methods and their effects on the throughput time of high-rise construction. The research was carried out as a combination of theoretical and practical study, utilizing research in design science as a methodological approach. In the first phase of the study, the research theme was approached through the literature and previous existing research data. The aim of the literature review was to form a thought-provoking frame of reference to support the evaluation of empirical research. In the second phase of the study, three different bathroom module installation methods and their utilization in high-rise construction were studied. Studied installation methods of the prefabricated bathroom modules were slab installation, shaft installation and facade installation. By getting familiarized with the practical solutions and based on the interviews, the aim of the study was to form a recommendation on the most suitable method of installing a bathroom module for high-rise construction.

In the study it was found that the use of bathroom modules speeds up the construction work and can shorten construction lead time, especially when using takt-time scheduling. However, drying times can pose challenges and synchronize other work phases when applying takt-time production. In high-rise construction, the potential waste or saved time of work phases is multiplied, and thus the use of bathroom modules can clearly speed up construction. Previous studies have reported a reduction in construction time from two to three months, even in the low-rise construction, when using bathroom modules and takt-time production. The frame phase of construction and the speed of the frame are critical factors in high-rise construction sites due to multiple floors and the extend of construction. Therefore, when choosing the method of installing a bathroom module, the most important selection criterion is the evaluation of the effects of the use of the method on the progress of the construction frame and its effects on the synchronization of other work phases. Based on these facts and the study of the thesis, a strong recommendation was made for the application of the bathroom module facade installation method in high-rise construction sites.

---

**Keywords** residential construction, bathroom module, lead time, prefabrication, takt-time, high-rise construction, modularity

---

## Alkusanat

*Tämä diplomityö sai ensimmäisen lähtölaukauksensa kirjoittajan omasta mielenkiinnosta rakentamisen tuottavuuteen ja rakentamisessa käytettäviä esivalmisteita kohtaan. Työn aiheen muodostumista edesauttoi myös työn toimeksiantajan YIT Suomi Oy:n mielenkiinto esivalmistettuja kylpyhuone-elementtejä kohtaan. Mainittakoon, että tämä diplomityö on myös osana suurempaa Aalto-yliopiston ja moniammatillisen Building 2030 kehityskonsortion vuoden 2020 korkean rakentamisen tutkimushanketta. Building 2030 tutkimushanke onkin ollut työn alkumetreiltä asti vahvasti mukana vaikuttamassa tämän työn lopullisen aiheen ja tutkimuskohteiden muodostumiseen. Monien käänteiden jälkeen tämän työn lopulliseksi tutkimuskohteiksi muodostui korkean rakentamisen läpimenoajan lyhentämisen tutkiminen kylpyhuone-elementtien avulla, tahtiaikataulun soveltaminen yhdessä kylpyhuone-elementtien kanssa sekä kylpyhuone-elementin eri asennusmenetelmien soveltuvuuden tutkiminen korkean rakentamisen kohteissa. Työn pääasialliseksi tavoitteeksi muotoutui suosituksen muodostaminen korkean rakentamisen kohteisiin parhaiten soveltuvasta kylpyhuone-elementin asennusmenetelmästä sekä eri kylpyhuone-elementin asennusmenetelmien käytön vaikutuksien tutkiminen korkean rakentamisen läpimenoaikaan.*

*Ensimmäiseksi haluan kiittää tämän työn toimeksiantajaa ja työnantajaani YIT Suomi Oy:tä, joka mahdollisti tämän työn rahoituksen muodossa. Haluan erityisesti kiittää työnantajani erinomaista joustoa työtehtävien ja opintojen yhdistämisessä. Toiseksi, haluan kiittää työn valvojaa professori Olli Seppästä ja työn ohjaajaa Marko Oinasta YIT Suomi Oy:stä, jotka kiireistä huolimatta antoivat tukensa tämän työn toteuttamiselle. Lisäksi haluan kiittää kaikkia muita työhön osallistuneita, erityisesti Building 2030 konsortion jäseniä ja heidän ammattitaitoaan edesauttaen tässä työssä saavutettuja tuloksia sekä Fira Modules Oy:tä ja Parmarine Oy:tä heidän avoimesta yhteistyöstänsä tämän työn tutkimuksen aikana. Haluan kiittää myös opiskelukollegaani Henrikiä ja puolisoani Jeminaa loistavasta vertaistuesta työn aikana, heidän tuen ja painostuksen ansiosta lähdin vielä aikanaan jatkokouluttautumaan saaden nyt opintoni lopulliseen päätökseen.*

*Todettakoon vielä, että ennen maisteriopintojen aloittamista vuonna 2017 valmistuessani ammattikorkeakoulusta Rakennusmestariksi en osannut vielä odottaakaan, että kolmen vuoden päästä kirjoitan lähes valmiin diplomityöni esipuhetta. Tämä työ on hyvä osoitus siitä, mitä pitkäjänteisellä ja eteenpäin katsovalla asenteella voi saavuttaa. Tällä haluankin kannustaa kaikkia jatko-opintoja miettiviä etenemään rohkeasti kohti omia unelmiin.*

Vantaalla 30.07.2020

*Niko Timonen*

Niko Timonen

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo	
Lyhenteet ja merkinnät	
1 Johdanto .....	1
1.1 Tutkimuksen tausta .....	1
1.2 Työn tavoite, tutkimuskysymykset ja rajausta .....	3
1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne .....	4
2 Kirjallisuuskatsaus.....	8
2.1 Rakentamisen modulaarisuus ja esivalmistamisen käsitteet .....	8
2.1.1 Esivalmistetun kylpyhuone-elementin elinkaari .....	11
2.1.2 Kylpyhuone-elementin ominaisuudet ja nykytilanne.....	15
2.1.3 Korkean rakentamisen ja esivalmistamisen vaikutukset rakentamiseen.....	17
2.2 Keinoja rakentamisen läpimenoajan lyhentämiseen .....	22
2.2.1 Lean-filosofia.....	22
2.2.2 Tahtituotannon soveltaminen.....	25
2.2.3 Kylpyhuone-elementit ja tahtituotanto.....	28
2.3 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto .....	31
3 Kylpyhuone-elementin asennusmenetelmät ja nykytilanne korkeassa rakentamisessa.....	33
3.1 Tutkimuskohteiden esittely.....	33
3.1.1 Aineiston kerääminen ja analysointi .....	34
3.2 Case 1: Kololaatta-asennus.....	36
3.2.1 Asentaminen ja pystylogistiikka .....	37
3.2.2 Kokemuserustaiset hyödyt ja haasteet.....	40
3.3 Case 2: Kuiluasennus .....	41
3.3.1 Asentaminen ja pystylogistiikka .....	42
3.3.2 Kokemuserustaiset hyödyt ja haasteet.....	44
3.4 Case 3: Julkisivuasennus .....	45
3.4.1 Asentaminen ja pystylogistiikka .....	45
3.4.2 Kokemuserustaiset hyödyt ja haasteet.....	47
3.5 Asennusmenetelmien ristianalyysi.....	49
4 Kylpyhuone-elementin ja paikallarakentamisen aikatauluanalyysi .....	52
5 Tutkimustuloksien validointi Building 2030 työryhmässä .....	55
6 Yhteenveto ja pohdinta .....	58
6.1 Tulosten arviointi ja pohdinta.....	59
6.2 Tutkimuksen kontribuutio .....	63
6.3 Johtopäätökset.....	63
Lähdeluettelo.....	65
Kuvaluettelo.....	70
Taulukkuuettelo .....	72
Liiteluettelo .....	72
Liitteet	

## Lyhenteet

LEAN	Englanninkielinen termi = laatuajattelusta johdettu käytännönläheinen ja selkeitä työkaluja sekä menetelmiä esiin nostava ajattelutapa ja johtamisfilosofia
KAIZEN	Japaninkielinen termi = jatkuva parantaminen
MUDA	Japaninkielinen termi = hukka
OY	Osakeyhtiö
BES	Betonielementtijärjestelmä
LVISA	Lämpö-, vesi-, ilmanvaihto-, sähkö- ja automaatiotekniikka
KPH-elementti	Kylpyhuone-elementti
KRS	Kerroslukumäärä
MIN	Minuutti

## Merkinnät

RH	[g/m <sup>3</sup> ]	suhteellinen kosteus
m <sup>2</sup>	[m]	neliometri
m <sup>3</sup>	[m]	kuutiometri
%		prosenttiyksikkö
°C		celsiusaste

# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Suomessa korkea rakentaminen on vielä maltillista, mutta suuresti kasvava rakentamisen muoto. Suomen eri kunnissa on lähivuosina tehty useita korkean rakentamisen selvityksiä. (Ahti-Virtanen 2019.)

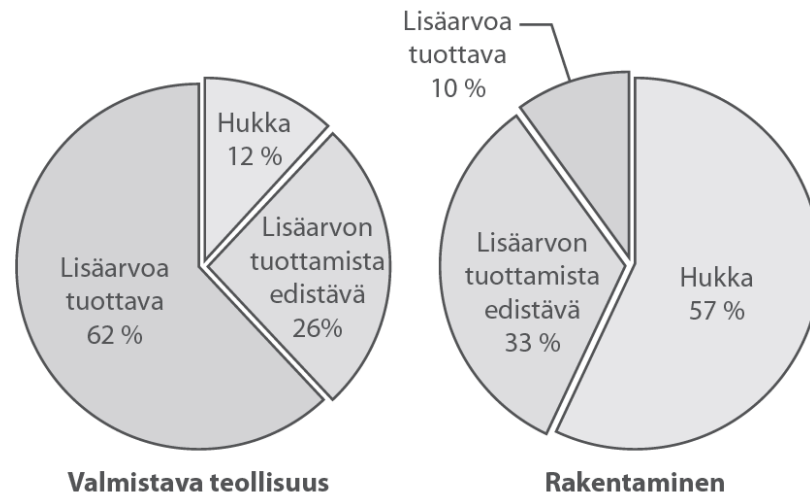
*”Maakunnissa ja kasvukeskuksissa vireillä yli kymmenen korkean rakentamisen hanketta”  
Rakennuslehti, 12.2.2018*

Helsingissä korkeaksi rakentamiseksi luokitellaan rakennus, jossa on vähintään 16-kerrosta (Helsingin kaupunki 2018). Korkean rakentamisen määrittelyt vaihtelevat Suomessa vielä kuitenkin kunnittain aina kahdeksasta kerroksesta ylöspäin. Tällä hetkellä maailman korkeimman asuinrakennuksen titteliä kantaa New Yorkissa sijaitseva 472 metriä korkea ja 95-kerroksinen Central Park Tower. Pohjoismaissa korkein asuinrakennus on tällä hetkellä Ruotsissa sijaitseva asuinrakennus Turning Torso, joka on 190 metriä ja 54-kerrosta korkea rakennus. Suomen korkeimman rakennuksen titteliä kantaa tällä hetkellä vielä Helsingissä sijaitseva 35-kerroksinen Majakka-asuinkerrostalo, joka on korkeudeltaan 132 metriä. (Ahti-Virtanen 2019.) Korkeaan rakentamiseen on yhdistetty liittyvän kuitenkin joitakin haasteita, esimerkiksi Sacks et al. (2015) on kirjoittanut, että korkeassa rakentamisessa suunnitelmien ja asiakasmuutosten ajallaan valmistuminen on kriittistä rakennustyön tuottavuuden ja aika-  
taulun kannalta. Korkeassa rakentamisessa, jossa rakennettavia kerroksia ja pinta-alaa on merkittävästi totuttua enemmän, etenkin tuottavuuden ylläpitäminen ja työvaiheiden tehokas läpimeno ja sujuva logistiikka on avainasemassa työvaiheiden tehokkaalle toteutukselle ja rakennusprojektin tehokkaalle läpimenoille (Koskenvesa 2011, Ghanem et al. 2018).

*”Rakennuslalla työn tuottavuus ei ole kasvanut 40 vuodessa – onko allianssista tai leanista apua?”*

*Rakennuslehti, 4.9.2017*

Rakennusalan heikko tuottavuus on merkittävä ongelma ajatellen Suomessa nopeasti yleistyvää korkeaa rakentamista. Rakentamisen suuresta volyymista huolimatta niin Suomessa kuin muissakin maissa rakennustyön tuottavuuden on todettu olevan alhainen muihin teknii-  
kan aloihin verrattuna. (Koskenvesa 2011). Rakentamisessa on todettu olevan 45 % enemmän hukkaa ja 52 % vähemmän arvoa tuottavaa toimintaa verrattuna valmistavaan teollisuuteen (Kuva 1.) (Koskenvesa 2011, Construction Institute 2004). Hukalla tarkoitetaan toimintoja, jotka eivät luo arvoa tuotteeseen tai toimintaan asiakkaan näkökulmasta. Rakentamisessa työ muodostaa ison osan rakentamisen kokonaiskustannuksista, joten työvoimakustannusten vähentämiseen tulisi löytää ratkaisuja. (Koskenvesa 2011.) Baldwin et al. (2006) on todennut, että rakentamisessa teollisesti esivalmistettuja tuotteita hyödynnettäessä, ylimääräisen hukan syntymistä ja kustannuksia on mahdollista vähentää niin työvoiman kuin materiaalien osalta. Tutkimuksessa oli vertailtu rakennuksen runkorakenteiden rakentamista paikan päällä ja tehdasolosuhteissa, jossa oli havaittu noin 30 % säästöä työvoimakustannuksissa ja noin 3 – 5 % säästöä rakentamisen kokonaiskustannuksissa.



**Kuva 1. Lisäarvoa tuottavien toimintojen osuus valmistavassa teollisuudessa ja rakentamisessa (Koskenvesa 2011, Construction Institute 2004)**

Rakentamisen tuottavuutta ja työvaiheiden läpimenoaikoja on viime vuosina pyritty parantamaan nostamalla rakentamisen esivalmistusastetta teollisen rakentamisen avulla sekä tehokkaammilla koneilla ja työvälineillä. Nykyisin tuottavuutta pyritään parantamaan myös osaamisella ja avoimella yhteistyöllä. Tuotteet ja tekniset ratkaisut pyritään suunnittelemaan entistä helpommin valmistettaviksi sekä palvelut asiakaslähtoisemmäksi. (Koskenvesa 2011.)

*”Esivalmistus lisäsi tehoa ja laatua – talotekniikkatoimituksiakin teollistetaan”  
Rakennuslehti, 8.2.2019*

Suomessa rakentamisen esivalmisteita käytetään jonkin verran, mutta viimeisimmät selvitykset ovat osoittaneet, että huolimatta useista positiivisista vaikutuksista, esivalmistamisen hyödyntäminen on vielä suhteellisen vähäistä (Peltokorpi et al. 2018). Tähän mennessä moduulirakentamista on hyödynnetty lähinnä kahdeksan kerroksisiin rakennuksiin asti, joissa rakennuksen seinät ovat kantavia ja kestävät tuulen aiheuttamia leikkausvoimia. Moduulirakentamista ja esivalmistusta haluttaisiin lisätä myös korkeassa rakentamisessa, mutta tämä vaatisi kuitenkin rakenteellisten runkorakenteiden vahvistamista ja lisäämistä riittävän vakauden ja tukevyyden saavuttamiseksi. (Lawson et al. 2010.)

*”Moduulirakentaminen yleistyy työmailla - Rakentamisen parjattu laatu paranee”  
Kauppalehti, 27.6.2018*

Rakentamisen esivalmistamisen yleistyessä, myös Lean-filosofiasta johdettua tuotannonohjaustapaa tahtituotantoa on kokeiltu rakentamisessa. Chauhan et al. (2018) on todennut modulaaristen ratkaisujen, kuten esivalmistettujen kylpyhuone-elementtien tehostavan mahdollisesti rakennusprojektin tuotantoa, etenkin mikäli esivalmistamista yhdistetään yhdessä tahtituotannon kanssa.

*”Tahtituotanto tukee esivalmistuksen käyttöä”*

*Rakennuslehti, 18.2.2019*



Esimerkiksi, Lehtivaara et al. (2019) on kirjoittanut tahtituotannon hyödyntämisestä asuin-kerrostalon sisävalmistusvaiheessa, jossa tahtituotannon avulla ilman esivalmistamista sisävalmistustyövaiheen kestoa saatiin lyhennettyä noin kaksi kuukautta ( $\approx 30\%$ ) verrattuna perinteisiin tuotantotapoihin toteutettuna.

Rakentamisen tuottavuusongelmat sekä esivalmistamisen ja tahtiajattelun yleistyminen on luonut painetta rakentamisen esivalmistamisen ja tahtiajattelun tutkimiselle. Vielä kuitenkin rakentamisessa hyödynnettävien esivalmistetuotteiden, kuten kylpyhuone-elementtien tai tahtiaikataulun ja esivalmistamisen yhdistämisestä ei ole kovinkaan paljon tutkimustietoa tai käytännön kokemuksia saatavilla. Pääsääntöisesti useissa tutkituissa kohteissa on hyödynnetty vain joko tahtiaikataulua tai esivalmistamista mutta harvemmin molempia yhdessä.

## **1.2 Työn tavoite, tutkimuskysymykset ja rajaus**

Rakennusalan alhainen tuottavuus, läpimenoajan lyhentäminen ja rakentamisen esivalmistusasteen nostaminen on herättänyt runsaasti keskustelua tekniikan alalla. Myös korkean rakentamisen yleistyminen ja siinä kohdatut uudet haasteet pystylogistiikassa, rakenneratkaisuissa ja esivalmistamisen hyödyntämisestä on uusia teemoja, joihin rakennusteollisuus pyrkii löytämään yhdessä ratkaisuja. Viime vuosina rakennusalan tutkijat ovat tutkineet runsaasti tapoja lyhentää rakentamisen läpimenoaika, tutkimalla rakentamisen tuottavuutta, esivalmistamisen hyödyntämistä ja sen yhdistämistä tahtituotannon kanssa. Tutkimuksissa on löydetty joitakin keinoja tehostaa rakentamista ja tapoja lyhentää rakentamisen läpimenoaika, näiden ollessa vielä kuitenkin yksittäisiä tapauskohtaisia tuloksia. Edellä mainitut seikat työn taustasta tarjoavat tutkimusongelmaa alalla ajankohtaisesta asiasta, johon eri rakennusteollisuuden toimijat ja rakennusalan tutkijat toivovat löytävänsä ratkaisuja.

Tämän diplomityön pääasiallisena tavoitteena työn tilaajan toivomusten mukaisesti on tutkia kylpyhuone-elementtien eri asennusmenetelmiä, joita voidaan soveltaa korkeassa rakentamisessa sekä kartoittaa ratkaisuja paikallavalutekniikalla toteutettaviin kylpyhuone-elementtikohteisiin ja niissä esiintyviin haasteisiin. Toisena merkittävänä tavoitteena on tutkia esivalmistettujen kylpyhuone-elementtien käytön vaikutuksia rakentamisen läpimenoaikaan sekä mitä esivalmistamisen hyödyntäminen korkean rakentamisen kohteissa tarkoittaa. Sivuteemana työssä on tarkoitus myös tutkia kirjallisuuden perusteella tahtiaikataulun soveltuvuutta käytettäessä esivalmistettuja kylpyhuone-elementtejä tai muita esivalmisteteita.

Työn tutkimuksen tavoitteena on saada selkeä kuva parhaiten korkeaan rakentamiseen soveltuvasta kylpyhuone-elementtien asennusmenetelmästä sekä kylpyhuone-elementtien käytön vaikutuksista rakentamisen läpimenoaikaan. Tutkimuksen aikana on tarkoitus vierailla kotimaassa eri rakennuskohteissa ja kylpyhuone-elementtitehtailla, joissa on mahdollista päästä tutustumaan Suomessa käytössä oleviin kylpyhuone-elementtien eri asennusmenetelmiin. Vierailujen avulla pyritään käydä keskustelua eri ammattiryhmien välillä käytössä olevista asennusmenetelmistä ja näin ollen kartoittaa yhdessä mahdolliset korkean rakentamisen sekä paikallavalutekniikan tuomat haasteet liittyen kylpyhuone-elementtien asentamiseen tai logistisiin vaihtoehtoihin. Vierailujen sekä haastattelujen aikana pyritään lisäksi selvittämään kokemuksia tahtiaikataulun käytöstä ja sen soveltumisesta yhdessä esivalmistetuotteiden kanssa.

Työn tavoitteisiin pyritään pääsemään tutkimuskysymysten avulla, joihin tässä työssä pyritään vastaamaan. Yleensä tutkittavaa ongelmaa tai kohdetta voidaan parhaiten kuvata ja lähestyä kysymysmuodossa esimerkiksi tutkimuskysymysten avulla. Tämä diplomityö pyrkii vastaamaan neljään tutkimuskysymykseen, joista ensimmäinen on työn pääkysymys:

- **Mitä kylpyhuone-elementin asennusmenetelmää voidaan pitää parhaiten soveltuvana korkean rakentamisen kohteisiin?**
- **Voidaanko rakentamisen läpimenoaikaa lyhentää käyttämällä esivalmistettuja kylpyhuone-elementtejä?**
- **Voidaanko tahtiaikataululla saavuttaa merkittävää hyötyä käytettäessä esivalmistettuja kylpyhuone-elementtejä?**
- **Miten kylpyhuone-elementtien pystylogistiikkaa tai asennustapoja voidaan tehostaa korkean rakentamisen kohteissa?**

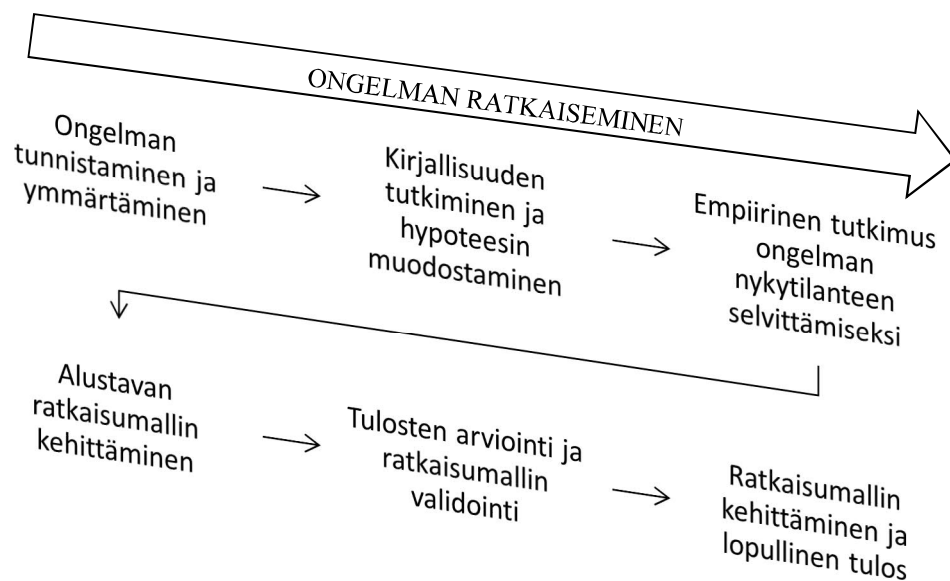
Työn viitekehys käsittää esivalmistettujen kylpyhuone-elementtien käytön vaikutuksien tutkimisen korkean rakentamisen läpimenoaikaan, lukien pois rakentamisen suunnittelun. Työssä käsiteltäessä rakentamisen läpimenoaikaa, tarkoitetaan sillä varsinaisen rakennustyön läpimenoaikaa, joka ei ota huomioon rakentamisen suunnitteluun kuluvaan aikaan. Tutkimuksen pääteemaa, kylpyhuone-elementtejä, lähestytään asuntorakentamisen rakennuttamisen ja suunnittelun ohjauksen sekä erityisesti korkean rakentamisen näkökulmasta. Täten korkea rakentaminen toimii työn tutkimuksen ohjaavana tekijänä.

Tutkimuksen ulkopuolelle rajataan mahdollinen tuotekehitys sekä tutkimuksen aikana kehitettävien rakenneratkaisujen tai detaljien esittäminen. Tässä työssä ei myöskään mainita nimellä tutkimuksen kehitystyön kohdetta tai muita työhön osallistuneita yhteistyökumppaneita. Esivalmisteiden tutkiminen rajataan koskemaan vain kylpyhuone-elementtejä. Korkean rakentamisen logististen ratkaisujen tutkiminen rajataan lähinnä kylpyhuone-elementteihin liittyvää pystylogistiikkaa. Rakennusalalla sovellettua tahtituotantoa ja -aikataulutusta tutkitaan vain siltä osin kuin kylpyhuone-elementtien käyttö tuotannossa vaikuttaa tahtiaikataulun suunnitteluun tai sen käytön tarkoituksenmukaisuuteen. Lisäksi on muistettava, että jokainen rakennushanke on yksilöllinen, jolla on rakennuspaikkaan tai hankkeen tuotantoteknisiin toteutustapoihin liittyviä ominaispiirteitä. Tämän vuoksi samojen ratkaisujen monistaminen hankkeesta toiseen on haastavaa ja ratkaisuja tulee soveltaa tapauskohtaisesti.

### **1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne**

Tämän diplomityön tutkimuksen metodisena lähestymistapana käytetään suunnittelututkimus -metodia (Design Science Research), joka on erityisesti tekniikan ja tuotantotalouden alalla suosittu tutkimusmenetelmä. Suunnittelututkimus on sopiva menetelmä, kun tutkimus kohdistuu jonkin fyysisen asian tai esineen tutkimiseen tai suosituksen muodostamiseen. Suunnittelututkimuksessa menetelmän keskeisenä piirteenä on, että tutkimus suuntautuu

tiettyjen ongelmien ratkaisemiseen vähintäänkin tyydyttävän ratkaisun saamiseksi tilanteeseen, vaikka ratkaisu ei olisi täysin optimaalinen. Suunnittelututkimus pyrkii tutkimaan tutkimuskohdetta ja sen käyttäytymistä niin akateemisessa kuin sen todellisessa organisaation sisäisessä ympäristössä. Suunnittelututkimus metodina pyrkii ongelman syvälliseen ymmärtämiseen ja sitä kautta ongelman ratkaisemiseen ja tuloksen muodostamiseen. (Dresch et al. 2015.) Kuvassa 2. on kuvattu tässä työssä käytettävä yksinkertaistettu malli suunnittelututkimuksen kulusta ja sen vaiheista. Kuten mainittu, suunnittelututkimus pyrkii yleensä ongelman ratkaisuun ongelman nykytilanteen ymmärtämisen, kirjallisuuden ja empiirisen tutkimuksen kautta. Kuten tässäkin työssä, ratkaisut tai kehitysehdotukset ongelman ratkaisemiseksi esitetään yleensä ensin alustavan ratkaisumallin ja ratkaisujen testaamisen kautta ennen lopullisiin tutkimustuloksiin pääytymistä.



**Kuva 2.** Suunnittelututkimuksen (*Design Science Research*) kulku (muokattu lähteestä Dresch et al. 2015)

Kiviniemen (2018) mukaan suunnittelututkimus ei kuitenkaan ole itsessään varsinainen tutkimusmenetelmä, vaan ennemminkin tietynlainen lähestymistapa. Suunnittelututkimus voi pitää sisällään viitteitä myös muista tutkimusmenetelmistä, jotka voivat vaihdella tilanteen ja tutkittavan kohteen mukaan. Koska tämän työn tavoitteena on vertailla ja tutkia useita eri kylpyhuone-elementtien asennusmenetelmiä ja niiden käyttäytymistä todellisessa ympäristössä sekä niiden käytön vaikutuksia rakentamisen tuottavuuteen ja läpimenoaikaan, näin ollen suunnittelututkimuksen voidaan ajatella soveltuvan hyvin tutkittavan aiheen kontekstiin. Työn tutkimus lähentelee osittain myös tapaustutkimuksen (Case study) piirteitä, koska työn empiirinen tutkimus on jaettu selvästi kolmeen eri tapaukseen, joista aineistoa kerätään ja aineiston pohjalta pyritään kartoittamaan korkean rakentamisen kohteisiin parhaiten soveltuva kylpyhuone-elementin asennusmenetelmä. Vilkka et al. (2018) toteaa myös julkaisussaan, että myös tapaustutkimukselle ominaista on lisätä ymmärrystä tutkittavasta kohteesta ja sen kuvauksesta maailmalla sekä muodostaa uudelleen tai korjata aiempaa teoriaa eikä vain kuvata tapausta. Näin ollen tutkittavan ongelman syvällinen ymmärtäminen onkin

ensiarvoisen tärkeää ja se helpottaa myös alustavan viitekehyyksen muodostamista empiirille tutkimukselle sekä auttaa hahmottelemaan tutkimuksen suosituksen muodostamista.

Suunnittelututkimukseen kuuluu myös usein joko teemahaastattelu tai tapauskohtaiset haastattelut sekä tutkimustuloksien validointi taikka kehitettyjen ratkaisujen testaaminen. Tässä työssä tapaushaastattelujen avulla pyritään selvittämään kylpyhuone-elementtien eri asennusmenetelmien mahdolliset positiiviset vaikutukset tai hyödyt sekä toisaalta löytämään myös menetelmissä havaitut haasteet. Haastatteluissa saatujen tietojen pohjalta asennusmenetelmiä voidaan kehittää sekä päätellä mikä menetelmä sopisi parhaiten erityisesti korkean rakentamisen kohteisiin. Työn alustavia tuloksia ja haastatteluissa esiin tulleita asioita validoidaan pienryhmätyöskentelyssä kesällä 2020 yhdessä Aalto Yliopiston ja alan yritysten muodostamassa avoimessa Building 2030 työryhmässä. Pienryhmätyöskentelyn ja tulosten validoimisen jälkeen työn tuloksia ja ratkaisuja kehitetään edelleen, jonka pohjalta voidaan päätyä lopullisiin tutkimustuloksiin.

Diplomityö jakautuu selkeästi neljään eri osioon kuvan 3. mukaisesti ja yhteensä kuuteen eri lukuun, joista ensimmäinen luku on johdanto. Ensimmäinen luku käsittelee aiheen taustaa, työn rakennetta ja työssä käytettyjä tutkimusmenetelmiä. Toinen luku koostuu kirjallisuustutkimuksesta, joka käsittelee aiheeseen liittyvää tieteellistä ja teollista tutkimustietoa. Kirjallisuustutkimuksessa käsitellään seuraavia teemoja:

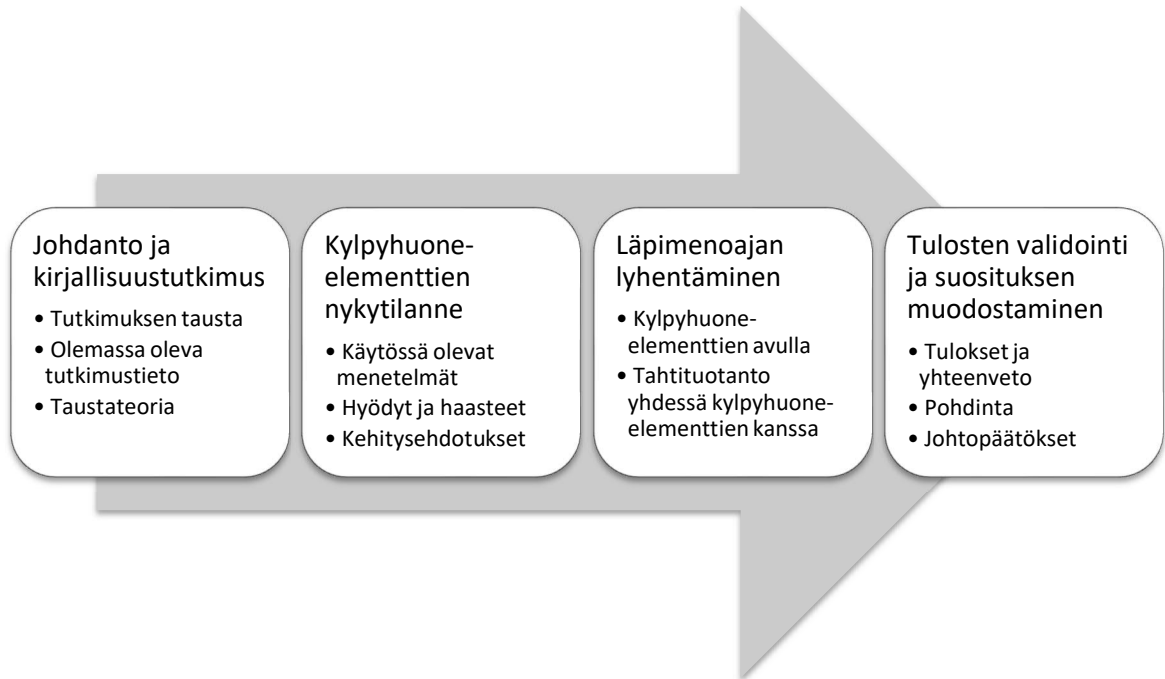
- rakentamisen modulaarisuus ja esivalmistamisen käsitteet
- esivalmistetun kylpyhuone-elementin elinkaari
- kylpyhuone-elementin ominaisuudet ja nykytilanne
- korkean rakentamisen ja esivalmistamisen vaikutukset rakentamiseen
- keinoja rakentamisen läpimenoajan lyhentämiseen Lean-filosofian, tahtituotannon ja kylpyhuone-elementtien avulla.

Kirjallisuuskatsauksen lopuksi esitetään lyhyt yhteenveto. Kolmas luku käsittelee kylpyhuone-elementtien nykytilannetta asuntorakentamisessa sekä tutkimukseen valittuja kolmea kylpyhuone-elementin kololaatta-, kuilu- ja julkisivuasennusmenetelmää, niiden ominaisuuksia, etuja ja heikkouksia sekä kunkin asennusmenetelmän soveltuvuutta korkean rakentamisen kohteisiin.

Neljäs luku koostuu kylpyhuone-elementin ja paikalla rakennettujen kylpyhuoneiden aika-tilaanalyysistä. Analyysin tarkoituksena on vertailla esivalmistetun kylpyhuone-elementtien vaatimaa asennusaikaa verrattuna paikalla rakennettavien kylpyhuoneiden vaatimaan asennusaikaan viidessä eri asuntorakentamisen kohteessa. Viides luku käsittelee työn tutkimustulosten validointia Aalto-yliopiston ja useiden alan asiantuntijoiden muodostamassa Building 2030 kehityskonsortiossa, jonka pohjalta kirjoittajan on mahdollista pohtia tutkimustulosten luotettavuutta sekä niissä mahdollisesti esiintyviä eroja.

Työn viimeinen kuudes luku koostuu yhteenvedosta ja pohdinnasta, tulosten ja käytettyjen menetelmien arvioinnista sekä johtopäätöksistä. Kuudennessa luvussa on kuvattu myös tutkimuksen tieteellistä ja liiketaloudellista kontribuutiota sekä arvioitu tutkimuksen onnistumista ja tutkimustulosten luotettavuutta sekä pohdittu mahdollisia jatkotutkimuskohteita.

Työn lopussa kuudennen luvun jälkeen esitetään työn lähdeluettelo, kuvaluettelo, taulukko-luettelo sekä liiteluettelo ja lopuksi työn liitteet.



**Kuva 3. Työn rakenne ja kulku**

## 2 Kirjallisuuskatsaus

### 2.1 Rakentamisen modulaarisuus ja esivalmistamisen käsitteet

Tämä luku käsittelee rakentamisen modulaarisuutta ja esivalmistusta käsitteenä perustuen aiemmin tutkittuun tutkimustietoon sekä pyrkii kuvailemaan teollisen esivalmistamisen eri tuotantotapoja ja niissä hyödynnettävän esivalmistamisen käyttöastetta. Suomessa esivalmistusastetta halutaan lisätä merkittävästi, vaikka esivalmistus ja modulaarisuus käsitteinä ovat vielä useille vieraita. Esivalmistus on tutkitusti parantanut rakennusprojektien tuottavuutta ja tehokkuutta. (Peltokorpi et al. 2018.) Lisäksi aiempi tutkimus on osoittanut, että esivalmistamisen avulla rakennustuotannossa voidaan merkittävästi pienentää rakennusmateriaalien hukkaa ja niistä syntyvää ylimääräistä jätettä. Myös työntekijöiden työturvallisuuden on todettu paranevan esivalmistamisen myötä. (Chauhan et al. 2019.) Riittävällä etukäteissuunnittelulla yhdistettynä esivalmistamiseen voidaan tavoitella kustannushyötyjä rakennus- ja suunnitteluprosessin eri vaiheissa. Huolellisella ennakkosuunnittelulla voidaan saavuttaa rakentamisen läpimenoajan lyhenemistä sekä parantaa rakentamisen laatua ja työvaiheiden tehokkuutta. (Peltokorpi et al. 2018.)

Aikaisempien tutkimusten mukaan esivalmistamisella ja moduulirakentamisen avulla voidaan saavuttaa esimerkiksi: (Baldwin et al. 2006, Chauhan et al. 2019, Gibb et al. 2003.)

- korkeampi laatutaso sekä hallitummat tuotanto-olosuhteet
- tehostaa työmaatoimintaa ja lyhentää läpimenoaikaa
- vähentää rakennustyömaan ympäristöhaittoja ja jätettä
- parempi työympäristön ja työntekijöiden turvallisuuden taso
- vähentää materiaali- ja työkustannuksia
- vähentää työmaatoimijoiden ja -toimitusten lukumäärää.

Toisaalta Baldwin et al. (2006) on raportoinut myös esivalmistustekniikan haasteista ja sen rajoituksista. Baldwinin et al. (2006) mukaan esivalmistamisen hyödyntäminen vaatii esimerkiksi normaalia enemmän tarkentavaa suunnittelua eikä se näin ole kustannustehokasta pienemmissä rakennushankkeissa. Myös laadunvalvonta ja hankintaongelmia voi esiintyä, mikäli esivalmistetut komponentit eivät ole valmistettu paikallisesti, vaan kansainvälisesti. Da Rocha et al. (2015) on myös raportoinut modulaarisuuden eri konteksteista ja rakentamisen massakustomoinnista. Da Rocha et al. (2015) on korostanut rakennusprojektien yksilöllisyyttä ja niiden ominaispiirteitä sekä eroja verrattuna esimerkiksi valmistavaan teollisuuteen (Taulukko 1.). Da Rocha et al. (2015) muistuttaakin, että rakennusprojekti ja sen toimitukset ovat usein luonteeltaan väliaikaisia ja ne on nimenomaisesti perustettu vain kyseisen projektin tai rakennuksen toimittamista varten.

**Taulukko 1. Tuotteiden modulaarisuuteen liittyvät rakentamisen ja teollisen valmistamisen erot (da Rocha et al. 2015)**

Näkökulma	Teollinen valmistaminen	Rakentaminen
<b>Tuote</b>	Komponenteilla on keskeinen rooli tuotteen ulkoasun määrittelyssä	Rakennus yhdistää tilat ja komponentit toisiinsa, jossa suoritetaan tärkeimmät tuotteen toiminnot
<b>Prosessi</b>	Toimittajat toimittavat monimutkaisia moduuleja, jotka ovat yksinkertaisesti valmistajalla koottavissa	Paljon työtä tehdään yleensä paikan päällä käyttäen perinteisiä menetelmiä
<b>Toimitusketju</b>	Toimitusketju osallistuu suunnitteluun ja moduulien tuotantoon suurimmalle osalle tuotteista	Väliaikaisilla toimitusketjuilla on yleensä rajoitetut mahdollisuudet tuottaa samanlaista moduulia tai tuotetta useille projekteille

Rakentamisen esivalmistamisesta ja modulaarisuudesta on niin kansallisesti kuin kansainvälisesti monia määritelmiä, jotka kuvailevat asiaa hieman eri näkökentästä. Esimerkiksi määritelmän OALD (2014) mukaan moduuli on joukko erillisiä osia tai yksiköitä, jotka voidaan yhdistää toisiinsa esimerkiksi koneen, huonekalun tai rakennuksen valmistamiseksi. Millerin et al. (1998) määritelmä moduulista on taas lähempänä standardisoitua tuotetta, jolla on tarkasti määritellyt rajapinnat, kuitenkin niin, että moduuli on itsenäinen toiminnallinen yksikkö osana isompaa kokoonpanoa (Taulukko 2.). Modulaarisuudella voidaan tarkoittaa myös yksittäisen tuotteen tai systeemin tai monimutkaisen organisaation laajuisen prosessin yksinkertaistamista koostamalla se määritellyistä alijärjestelmistä, kuten useista tuotteista, komponenteista ja esivalmistetuista moduuleista. Kuitenkin niin, että järjestelmien ja moduulien keskinäiset rajapinnat ovat mahdollisimman yksinkertaisia ja standardisoituja (Peltonkorpi et al. 2018).

Modularisointi on yksi tapa vähentää järjestelmien monimutkaisuutta rakentamalla niitä pienemmistä alijärjestelmistä tai moduuleista, jotka voidaan suunnitella itsenäisesti mutta, jotka kuitenkin toimivat yhdessä kokonaisuutena (Baldwin & Clark 1997). Miller et al. (1998) on myös määritellyt modulaarisuuden piirteet hyvin tarkasti, jossa modulaarisuus liittyi olennaisesti järjestelmän toiminnallisuuteen ja sen mukaan on välttämätöntä, että moduulia ei määritellä erillisenä, vaan se määritellään yhdessä järjestelmän kanssa, johon se kuuluu. Määritelmä sallii sen, että moduuli voidaan jakaa aineettomiin moduuleihin ja fyysisiin moduuleihin. Miller et al. (1998) korostaa kuitenkin, että moduuli on itsenäinen toiminnallinen yksikkö suhteessa tuotteen tarkoitukseen. Itsenäisellä voidaan ymmärtää, että jokin toiminto suoritetaan itse moduulissa, johon toiminto myös rajoittuu. Määritelmän mukaan on lisäksi tärkeää, että moduuleilla on kyky luoda uusia tuotteita moduulien yhdistelmillä. Tämä vaatii moduulin eri rajapintojen yhteistä standardia, joka on määritetty koko järjestelmälle. Lawson et al. (2012) mukaan moduulista rakennetta voidaan käyttää korkeintaan 25-kerroksisissa asuinrakennuksissa, mikäli sen vakaus saavutetaan betoni- tai teräsrunkoytimen avulla.

Perinteisesti esivalmistaminen ja teollistaminen on keskittynyt laitteiden ja koneiden hyödyntämiseen sekä prosessien automatisoimiseen korvaamalla manuaalisesti käsin tehtävää

työtä automatisoiduilla järjestelmillä. Vuosien saatossa teollistamisen konsepti on laajentunut ja siihen on yhdistetty yhä laajemmin paikkariippumaton tuotanto osana rakennuksen tai sen osien esivalmistamista, joka sisältää myös osan suunnittelun ja valmistamisen. (Chauhan et al. 2018). Nykyään esivalmistamisen pääperiaate on lähes poikkeuksetta siirtää mahdollisimman paljon erityisesti kompleksista ja useista osista tai komponenteista koostuvaa työtä pois varsinaiselta rakennuspaikalta paremmin hallittavampiin tuotanto-olosuhteisiin. Näin voidaan varmistaa korkeampi laatu ja turvallisempi tuotantoympäristö sekä parantaa rakentamisen ympäristöystävällisyyttä ja vähentää siitä syntyvää jätettä (Shahzad et al. 2015). Gibb et al. (2003) mukaan esivalmistaminen tarkoittaa kirjaimellisesti ”asentamista ennen kokoonpanoa”, joka kattaa rakennusten tai sen osien suunnittelun, valmistamisen sekä kokoamisen, yleensä rakennuspaikan ulkopuolella ja aikeisemmin kuin mitä perinteisesti ne olisi rakennettu paikan päällä.

**Taulukko 2. Modulaarisuuden ja esivalmistuksen käsitteitä (Miller et al. 1998 ja Baldwin et al. 2006)**

MODUULI	on välttämätön ja itsenäinen toiminnallinen yksikkö suhteessa tuotteeseen, josta se on osa. Moduulilla on suhteessa järjestelmän määritelmään standardisoidut rajapinnat ja vuorovaikutukset, jotka sallivat tuotteiden koostumuksen yhdistelmänä.
MODULAARISUUS	on järjestelmän ominaisuus, joka liittyy sen rakenteeseen ja toiminnallisuuteen. Modulaarinen rakenne on rakenne, joka koostuu itsenäisistä, toiminnallisista yksiköistä (moduuleista) standardoiduilla rajapinnoilla ja vuorovaikutuksilla järjestelmän määritelmän mukaisesti. Yhden moduulin korvaaminen toisella luo uuden version tuotteesta.
MODULARISOINTI	on toimintaa, jossa moduulien jäsenys tapahtuu.
ESIVALMISTUS	siirtää osan paikan päällä tehtävästä rakennustyöstä pois työmaalta, tehtaalla tehtävään tuotantoon ja voi vähentää rakennustyömaalla tuotettua jätteen määrää.

Esivalmistaminen voi tarkoittaa yksittäisten raakamateriaalien valmistusta tai kattaa osan rakennuksen rakenteellisista komponenteista tai osan sen taloteknisistä järjestelmä tai se voi käsittää kokonaan kokonaisen rakennuksen (Gibb et al. 2003, Peltokorpi et al. 2018). Periaatteessa, teknisesti mikä tahansa rakennus, joka on jaettu alaluokkiin tai alatuotteisiin, jotka on osittain valmistettu tehdasympäristössä ja yhdistetään lopuksi paikan päällä osaksi rakennusta, tällöin rakennusta voidaan pitää esivalmistettuna (Chauhan et al. 2018). Shahzad et al. (2015) mukaan rakennus voidaan luokitella esivalmistetuksi rakennukseksi kuitenkin vasta, kun siinä on käytetty esivalmistettuja tuotteita tai komponentteja enemmän kuin 50 % rakennuksen koko massasta. Gibb et al. (2003) mukaan esivalmistaminen voidaan jakaa neljään seuraavaan eri alaluokkaan perustuen esivalmistamisen hyödyntämisen määrään; 1) komponenttien valmistus ja kokoonpano, 2) Ei tilavuuteen perustuva esivalmistus, 3) Tilavuuteen perustuva esivalmistus ja 4) Modulaarinen rakennus. Edellä esitettyjen neljän eri



esivalmistamisen kategorian mukaan tässä työssä myöhemmin pääasiallisesti tutkittu esivalmistettu kylpyhuone-elementti sijoittuisi tilavuuteen perustuvan esivalmistamisen kategoriaan. Peltokorpi et al. (2018) on julkaisussaan mukaillut Gibbin et al. (2003) esivalmistamisen luokitteluperiaatetta ja koostanut esivalmistamisen eri tuotantotavat esimerkkien kautta alla esitettävään muotoon:

- 1) *Komponenttien valmistus ja kokoonpano*: Perinteisin lähestymistapa rakentamisessa, joka tarkoittaa raaka-aineita ja komponentteja, kuten esimerkiksi tiiliä tai laastia, jota käytetään rakennukseen paikan päällä, joka osoittaa korkean räätälöintiasteen ja alhaisen esivalmistusasteen.
- 2) *Ei tilavuuteen perustuva esivalmistaminen*: Esivalmistamisen aste ei luo käyttökelpoista tilaa, kategoriaan kuuluvia komponentteja voi olla esimerkiksi, lämpögeneraattorit, rakennuksen runkorakenteet, kuten seinäelementit.
- 3) *Tilavuuteen perustuva esivalmistaminen*: Rakennuksen tietyt ennalta määrätyt osat tai komponentit tuotetaan rakennuspaikan ulkopuolella ja kootaan paikan päällä osaksi rakennuksen runkojärjestelmää, esimerkiksi saniteettijärjestelmät tai kylpyhuonemoduulit.
- 4) *Modulaarinen rakennus*: Kuvaa esivalmistamisen korkeinta astetta, jolloin useat esivalmistetut itsenäiset tai toisiinsa kytketyt kokonaisuudet muodostavat yhdessä kokonaisen todellisen rakennuksen, esimerkiksi valmistalot, sairaala- tai hotellihuoneet.

### 2.1.1 Esivalmistetun kylpyhuone-elementin elinkaari

Ensimmäiset aiheet kylpyhuone-elementin kehittämiseksi saivat alkunsa 1930-luvun teollistumisen kehityksen myötä. Monet esivalmistamisen eri käsitteet ja konseptit saivat alkunsa tuolloin yhden komponentin esivalmistetuista yksiköistä kokonaisten kylpyhuoneiden valmistukseen. Tuolloin kylpyhuone-elementtien osalta kyse oli lähinnä esivalmistuksen perustujen hyödyntämisestä, jonka avulla oli mahdollista yhdistää kaikki tarvittavat komponentit yhdeksi kokonaisuudeksi kylpyhuoneen valmistamiseksi. Seuraavaksi tavoiteltiin asianmukaisesti suunniteltuja ja täysin valmiiksi varusteltuja saniteettitiloja, jotka olisivat käytännöllisiä niin toiminnallisuuden kuin suunnittelun kannalta. Uusien materiaalien ja esivalmistettujen komponenttien kokeilulla tavoiteltiin silloin jo valmistus- ja käyttökustannusten vähentämistä. (Jaglarz 2016.)

Suomessa 1960-luvun myötä ensimmäinen esivalmistettu, valmiiksi useista osista tehtaalla koottu kokonainen kylpyhuone-elementti valmistui. Naapurimaassa Ruotsissa ensimmäiset kylpyhuone-elementit tulivat kuitenkin markkinoille jo 1950-luvun loppupuolella. Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että 1960-luku oli erittäin vilkasta esivalmistetun kylpyhuone-elementin kokeilun aikaa. (Smith 2009.) Suomessa ensimmäisen kerran kylpyhuone-elementtiä käytettiin tietyllä tavalla asuinkerrostalossa Helsingin Myllypurossa, jossa rakennuttajana oli Asuntosäästäjät ry. Siihen aikaan kylpyhuone-elementit asennettiin päällekkäin torniksi ja valettiin kiinni osaksi kerroksen välipohjarakennetta. (Hytönen & Seppänen 2009, s. 77-78.) Kuvassa 4. on esitetty valokuva kylpyhuone-elementistä vuodelta 1962. Kylpyhuone-elementtien alkuvuosina toi-

mijoita tai elementtejä valmistavia tehtaita ei ollut vielä useita ja tiettävästi niistä ensimmäisiä ovat olleet A-Elementti Skånska Cementgjuteriet AB ja silloinen PARMA Kylpyhuoneet, nykyinen Parmarine Oy (Hytönen & Seppänen 2009, s. 77-78). Nykyään Suomen suurimmalla kylpyhuone-elementtien valmistajalla Parmarine Oy:llä on Suomessa kaksi tehdasta, joista toisessa Forssan tehtaassa valmistetaan heidän kaikki kylpyhuone-elementit. (Parmarine Oy 2020.) Heidän tuotantolinjastoltansa valmistuu vuosittain noin 7000 uutta kylpyhuone-elementtiä rakennustuotannon tarpeisiin, joista ensimmäinen kylpyhuone-elementti on valmistunut vuonna 1968 ja nykyisellä ei-kantavalla rakenteella vuodesta 1971 lähtien (Palmanen 2020).

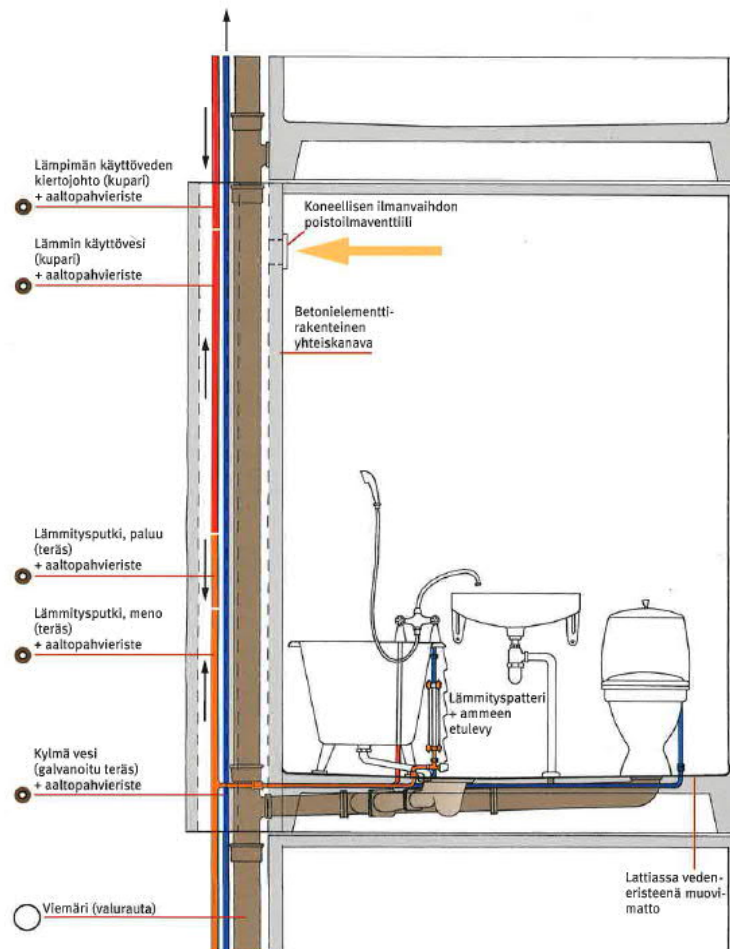


**Kuva 4. Kylpyhuone-elementti vuodelta 1962 (Bonava Suomi Oy 2020)**

Vuosien 1963 – 1974 välisenä aikana valmistetut kylpyhuone- ja wc-elementit olivat vielä usean tonnin painoisia betonista valmistettuja elementtejä, kuten kuvassa 5. on esitetty. Tämän aikaisilla betonirunkoisilla kylpyhuone-elementeillä oli kaksi vaihtoehtoista asennustapaa, ne voitiin asentaa joko suoraan välipohjan varaan tai omilla perustuksillaan seisovaksi torniksi. Vesijohtojen ja viemärien sijoitus vaihteli kylpyhuoneen ja välipohjan rakenteen mukaan. Yleensä kerrosten läpi kulkevat pystylinjat olivat osa kylpyhuone-elementtiä tai ne sijoitettiin paikan päällä rakennettuihin tai betonielementeistä koottuihin putkihormeihin, josta ne liitettiin edelleen kylpyhuone-elementtiin. Välipohjat, jotka valettiin paikan päällä, lattiaviemärien vaakavedot sijoitettiin kantavan lattiarakenteen sisään ennen välipohjan valua. Sen sijaan massiivisiin välipohjaelementteihin jätettiin urat työmaalla tapahtuvaa jälki-asennusta varten. Kyseisellä aikakaudella yleisin lämmitysmuoto oli alue- tai kaukolämpöverkostoon kytketty pumppukiertoinen vesikeskuslämmitys. Kylpyhuoneiden lämmityspatteri sijoitettiin yleensä osaksi kylpyammeen etulevyä tai ylös seinälle. Lattialämmitys siihen aikaan oli toteutettu kupariputkista kootulla järjestelmällä, joka liitettiin talon lämminvesiverkostoon. Viemärien vaakavedot olivat elementin pohjassa vielä vuosina 1963 – 1974, kunnes kevyempien pelti- ja puurunkorakenteisten elementtien valmistus alkoi 1970-luvun alussa. (Neuvonen 2006, s. 181-185.)

Kevytrakenteisemmat kylpyhuone-elementit oli tarkoitettu erityisesti ontelo- ja U-laattoja varten. Niissä ei usein ollut lattiaviemäreitä tai viemärien vaakavetoja lattiarakenteen sisällä,

vaan liitokset pystylinjaan pyrittiin tekemään seinäviemäriin kautta. Molempien aikakausien aikana kylpyhuone-elementteihin voitiin liittää valmiiksi tehtaalla kaikki vesijohdot, viemärit, ilmanvaihtokanavat ja sähköputkitukset, jotka liitettiin työmaalla osaksi talon LVIS-järjestelmää. Kylmävesijohdot tähän aikaan olivat usein kuumasinkittyjä terästä tai kuparia, lämminviesijohdot olivat myös kuparisia. Viemärit olivat tähän aikaan vielä useimmiten valurautaisia, kuitenkin vuoden 1971 jälkeen perinteiset muhviliset valurautaviemärit korvasivat osittain muhvitomat, punaiseksi maalatut valurautaviemärit. Valurautaviemärien liitokset tehtiin kumitiivisteillä ja teräspannoilla. Ensimmäiset muoviviemärit valmistettiin Suomessa 1965, mutta tällöin viemärien liitoksissa ja lämmönkestossa oli vielä ongelmia, joka rajasi niiden käyttöä. (Neuvonen 2006, s. 181-185.)

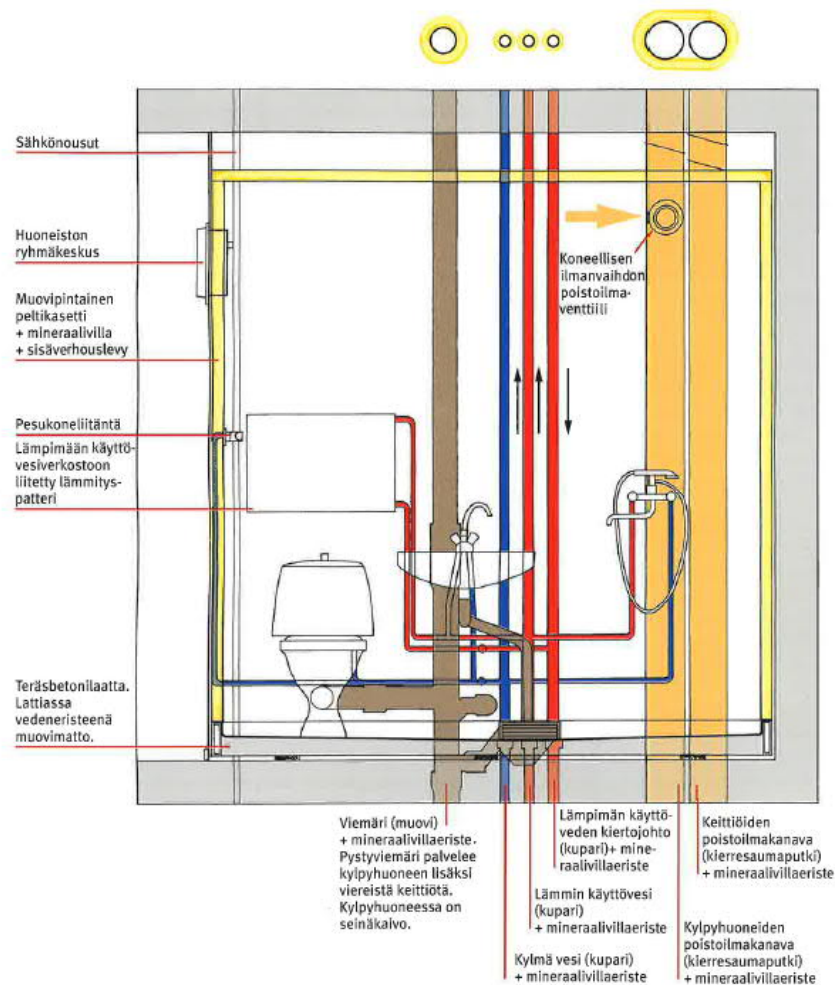


**Kuva 5. Betoninen kylpyhuone-elementti 1960-luvulta (Neuvonen 2006)**

Edelleen 1970-luvun puolivälin jälkeen kylmä- ja lämminviesilinjoissa oli käytössä tuttuun tapaan kupariputket, joissakin uudemmissa taloissa vesijohdot saattoivat olla jo muovisia. Viemärit olivat edelleen valurautaisia, mutta uudemmissa taloissa 1975-luvulta eteenpäin, muhviliioksilla varustetut viemärit yleistyivät niiden tullessa markkinoille. Vesijohtojen ja viemärien sijoitus vaihteli edelleen kylpyhuoneen ja välipohjan rakenteen mukaan. Pystylinjat, jotka kulkivat kerrosten läpi, sijoitettiin joko paikan päällä rakennettuihin putkiroiloi-

hin, erillisiin kerroksen korkuisiin betonielementteihin tai liitettiin osaksi kylpyhuone-elementtiä. Mikäli kylpyhuone rakennettiin paikan päällä, niin lattiaviemärien vaakavedot jäätettiin normaaliin tapaan kantavan välipohjalaatan sisään. (Neuvonen 2006, s. 230-233.)

1960-luvun loppupuolella kehitettiin BES-järjestelmä (Betonielementtijärjestelmä), joka soveltui betonielementtirunkoisen talon rakentamiseen. Aluksi, BES-järjestelmän taloissa suositettiin kevytrakenteisia pelti- ja puurunkoisia kylpyhuone-elementtejä. Elementeissä oli edelleen valmiiksi tehtaalla asennettuna kaikki vesijohdot, viemärit, ilmanvaihtokanavat ja sähköputkitukset. Lattiaviemäreitä ei kevytrakenteisissa kylpyhuone-elementeissä kuitenkaan enää ollut, vaan liitokset pystylinjaan tehtiin seinäviemärin kautta, kuten kuvasta 6. voidaan nähdä. Kuitenkin 1960 – 1980-luvuilla sovelletut rakenneratkaisut johtivat usein siihen tilanteeseen, että kylpyhuoneen lattia oli muuta huoneistoa huomattavasti korkeammalla. Ja kun vuonna 1990 ovikynnyksen enimmäiskorkeudeksi määriteltiin 25 millimetriä, niin se edellytti muutoksia kylpyhuoneiden lattia- ja viemärintiratkaisuihin. Tällöin päätettiin ohentamaan välipohjalaattaa kylpyhuoneen kohdalta, jolloin kylpyhuone-elementti saatiin asennettua alemmaksi ja lähemmäksi muun huoneiston lattian korkoa. 1990-luvun kehitysvaihetta edusti talotekniikan pystyhormien sijoittaminen porrashuoneen puolelle, jolloin kaikki vesi-, viemäri- ja lämpöjohdot voitiin tuoda vaakavetoina asuntoihin välipohjia puhkomatta. (Neuvonen 2006, s. 230-233.)



Kuva 6. Kevytrakenteinen kylpyhuone-elementti 1970-luvulta (Neuvonen 2006)

Yleisin ilmanvaihtojärjestelmä 1960 – 1990-luvuilla oli koneellinen poistoilmanvaihto, kuitenkin joissakin 3–4 kerroksen kokoisissa taloissa saatettiin käyttää edelleen painovoimaista ilmanvaihtoa. Yleensä ilmanvaihtojärjestelmä rakennettiin yhteiskanavajärjestelmäksi, jolloin päällekkäisten eri asuntojen tiloilla oli yhteinen poistoilmakanava. Korkeammissa taloissa järjestelmä jaettiin usein pystysuunnassa enintään viisi kerrosta korkeisiin osiin. Kanavat olivat samoja kierresaumattuja peltikanavia, joita nykyäänkin vielä käytetään. 1970 – 1990-luvuilla oli sähköinen lattialämmitys märkätiloissa, BES-rakennejärjestelmän taloissa sähkönousujohdot sijoitettiin usein kylpyhuone-elementin yhteyteen tai erilliseen nousukui luun porrashuoneeseen. Asuntojen sähkövaakavedot sijoitettiin välipohjaelementtien saumoihin ja ontelolaattojen onteloihin. Pystysuuntaiset sähkövedot sijoitettiin kevyisiin väli-siniin ja betoniseinäelementteihin. (Neuvonen 2006, s. 230-233.)

## 2.1.2 Kylpyhuone-elementin ominaisuudet ja nykytilanne

Kylpyhuone-elementti on rakennuspaikan ulkopuolella tehdasolosuhteissa rakennettu ja koekäytetty moduuli, joka muodostaa valmiin käyttökelpoisen tilan (Gibb 1999). Neale et al. (1993) on kuvannut kylpyhuonemoduulit käyttövalmiiksi rakennusosiksi, jotka on valmiiksi varustettu kaikilla kalusteilla ja varusteilla, jotka ovat valmiina käyttöön. (Pan et al. 2008). Tilavuuteen perustuvaa esivalmistamista, kuten kylpyhuone-elementtejä on totuttu käyttämään erityisesti tiloissa, jotka vaativat jatkuvaa huoltamista niissä hyödynnettävän laajojen tekniikkakokonaisuuksien takia. Viimeaikainen rakenteellisten kylpyhuone-elementtikonseptien kehitys on siirtynyt kohti pienimuotoisempia moduuleja, joilla on parempi kyky tarjota vaihtoehtoisia ratkaisuja ja mukailla kohteen muita arkkitehtonisia ratkaisuja paremmin. (Taylor 2009.)

Suomalaisen kirjallisuuden mukaan kylpyhuone-elementti on hallituissa tehdasolosuhteissa esivalmistettu asennusvalmis märkätilakokonaisuus. Esivalmistamalla koko kylpyhuone hallituissa olosuhteissa, voidaan siirtää rakennustyömaan suhteellisesti aikaa vievin, kallein ja riskialttein työvaihe pois varsinaiselta rakennuspaikalta. Esivalmistettu kylpyhuone on täysin valmis ja viimeistelty kokonaisuus, johon on valmiiksi asennettu kaikki märkätilaan



Kuva 7. Nykyaikainen Parma kylpyhuone-elementti (Rakennustieto, RT tuotetieto 2020)

liittyvät tekniset ratkaisut kuten, lämpö-, vesi-, sähkö- ja ilmanvaihtotekniikka. Myös kaikki kylpyhuoneen kalusteet ja varusteet ovat valmiiksi asennettu ja joissakin tapauksissa elementteihin on mahdollista asentaa älyteknologiaa käyttävää automatiikkaa, jolla voidaan ohjata esimerkiksi tilan lämmitystä tai valaistusta. Kylpyhuone-elementtiin on myös mahdollista integroida asuntosuuna, jolloin sama elementti pitää sisällään esivalmistetun löylyhuoneen sekä kylpyhuoneen, kuten kuvassa 7. Tapauskohtaisesti myös esivalmistettu keittiö on mahdollista integroida osaksi yhtä kylpyhuoneen sivuseinää. (Rakennustieto, RT 38784, 2016.)

Suomalaisessa rakennustuotannossa kylpyhuone-elementin runkorakenne on yleensä kantava teräsbetonilaatta varustettuna kevyellä runkorakenteella, joka jatkuu yhtenäisesti myös mahdollisen löylyhuoneen puolelle. Elementin runkorakenteet, vesi-, sekä viemärilaitteet täyttävät niin erikseen, kuin kokonaisena valmistilana, vedeneristykselle ja vesikalusteille Suomessa asetetut laatuvaatimukset. Valmiselementeissä ilmanvaihtokanavat, viemärointi-, vesi- ja sähköputket kulkevat usein elementin rakenteissa tai ne ovat valmiiksi koottuna elementin katolla tai pystyhormissa. Valmiskylpyhuoneen lämmitys on usein toteutettu sähkökäyttöisellä mukavuuslattialämmityksellä tai erillisellä seinälle asennettavalla lämpöpatterilla. Rakennuskohteessa valmistilat asennetaan yleensä päältäpäin asennettuna rungon yhteydessä, kuiluasennuksena tai sivusuunnasta viemällä elementti rakennuksen julkisivusta sisään ennen julkisivujen asennusta. Valmistila erotetaan muusta ympäröivästä lattiarakenteesta joustavien asennuspalojen avulla, jotta mahdollisesti kylpyhuoneen käytön takia syntyvien äänien eteneminen rakennuksen runkoa pitkin voidaan estää. (Rakennustieto, RT 38784, 2016.)

Tehdasvalmistettujen valmistilojen ja kylpyhuone-elementtien rakentamisen aikaiseen kosteudenhallintaan on myös kiinnitettävä huomiota. Käyttövalmiiden kylpyhuone-elementtien ollessa täydellisesti kalustettu ja varustettu sekä niiden asentamisen tapahtuessa esivalmistusta hyödynnettäessä normaalia aikaisemmin, kylpyhuone-elementtien sisä- ja ulkopuolinen kosteudenhallinta on suunniteltava huolellisesti ennen niiden asentamista. Kylpyhuone-elementin sisäpuolinen kosteudenhallinta on suunniteltava etukäteen, jotta elementin sisäpuolella tapahtuviin lämpötilanvaihteluihin voidaan reagoida ajoissa ennen kuin mahdollisia kosteusvaurioita pääsee syntymään. Kylpyhuone-elementin sisäpuolista kosteutta ja lämpötilanvaihteluita voidaan seurata esimerkiksi asentamalla elementin sisälle langaton lämpötila- ja kosteusanturi (Kuva 8.), joka seuraa elementin sisäpuolista lämpötilaa (°C) ja suhteellista kosteutta (RH). Anturista saatavien reaaliaikaisten arvojen pohjalta voidaan päätellä, saavuttaako kylpyhuone-elementin sisäinen ilma kastepistettä sen varastoinnin tai muutoin rakentamisen aikana. (Lampola 2017.)



**Kuva 8. TGU-4500 langaton lämpötila- ja kosteusanturi (Micron Meters 2020)**

### 2.1.3 Korkean rakentamisen ja esivalmistamisen vaikutukset rakentamiseen

Korkeassa rakentamisessa töiden suunnitteluun ja tehokkaaseen toteutukseen on kiinnitettävä erityisesti huomiota. Rakennustyön tuottavuuden ollessa heikko, on sen vaikutus monikertainen rakennushankkeen lopussa laajan kokonaisuuden ja kerrosten lukumäärän vuoksi (Koskenvesa 2011). Taulukossa 3. on esitetty korkean rakentamisen erityistekijöitä, jotka voivat vaikuttaa rakentamisen tuottavuuteen. Suomessa korkeaksi rakennukseksi luokitellaan yli 16-kerroksiset rakennukset (Helsingin kaupunki 2018).

Etenkin korkeassa rakentamisessa jo yksittäinen heikosti suoriutunut työvaihe voi laukaista ketjureaktion, joka voi johtaa muiden työvaiheiden tai tehtävien viivästymiseen ja pahimmillaan koko projektin myöhästymiseen. Logistiikalla on suuri vaikutus korkean rakentamisen kustannuksiin ja aikatauluun rakennuspaikkojen ollessa ahtaiden ja rakennusten ollessa poikkeuksellisen korkeita (Gondo 2020). Rakennusmateriaalien pystylogistiikka on suunniteltava tehokkaaksi ja mahdollisuuksien mukaan hyödynnettävä nosturia materiaalien kuljetuksissa kerroksiin, kuitenkin muuta rakennustyötä häiritsemättä. Sujuva logistiikka on avainasemassa työvaiheiden tehokkaalle toteutukselle ja rakennusprojektin tehokkaalle läpimenoille (Ghanem et al. 2018). Sacks et al. (2005) on kirjoittanut myös, että korkeassa rakentamisessa suunnitelmien ja asiakasmuutosten ajallaan valmistuminen on kriittistä rakennustyön tuottavuuden ja aikataulun kannalta. Korkeassa rakentamisessa runkorakennusratkaisut ovat myös usein monimutkaisempia ja hitaampia rakentaa kuin perinteisessä matalammassa rakentamisessa. Korkeassa rakentamisessa edellytetään myös laajempaa erityismenettelyä viranomaisten puolelta rakennustyön ja suunnitelma-asiakirjojen osalta, joka voi mahdollisesti myös osaltaan vaikuttaa rakennustyön tuottavuuteen. Esimerkiksi Helsingin kaupungin rakennusvalvonta edellyttää korkeassa rakentamisessa erityismenettelyn kautta seuraavia toimenpiteitä: (Helsingin kaupunki 2018).

- riskiarviot ja -analyysit
- suunnitelmien ulkopuolinen tarkastus sovittavassa laajuudessa
- suunnittelun laadunvarmistusselvitys
- toteutuksen laadunvarmistusselvitys
- toteutuksen ulkopuolinen tarkastus sovittavassa laajuudessa
- tehostettu käytönaikainen seuranta ja huolto sovittavassa laajuudessa.

**Taulukko 3. Korkean rakentamisen tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä (muokattu lähteestä Dozzi et al. 1993)**

Kategoria	Tekijät
<b>Projektin olosuhteet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaihtuvat sääolosuhteet</li> <li>• Tuulen vaikutus nostoihin</li> <li>• Korkealla työskentely → putoamissuojaus</li> </ul>

<b>Suunnittelu</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LVI-tekniikan erityisratkaisut</li> <li>• Haastava rakennetekniikka</li> <li>• Asiakasmuutokset</li> <li>• Logistiikka</li> </ul>
<b>Hankinta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riittävän tuotantokapasiteetin omaavat toimittajat</li> <li>• Suuret hankintamäärät</li> </ul>
<b>Työvoima ja johtaminen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Osaava henkilöstö</li> <li>• Tuotantohäiriöt ja hukka</li> <li>• Aikataulun hallinta ja -ohjaus</li> </ul>
<b>Viranomaiset ja määräykset</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korkean rakentamisen erityismääräykset</li> <li>• Kolmannen osapuolen suunnitelmien tarkastukset</li> </ul>

Rakentamisessa käytettävillä esivalmisteilla on myös suuri vaikutus rakennustyön tuottavuuteen, joka korostuu erityisesti korkeassa rakentamisessa laajuuden ja pitkän rakennusajan vuoksi. Taulukossa 4. on esitetty rakennushankkeen osatekijöitä, joihin esivalmistuksella on vaikutuksia sekä esitetty esivalmistamisen odotusarvo ja tekijöiden tuomat vaikutukset. Suomessa rakentamisen esivalmisteita käytetään jonkin verran, mutta viimeisimmät selvitykset ovat osoittaneet, että huolimatta useista positiivisista vaikutuksista, esivalmistamisen hyödyntäminen on vielä suhteellisen vähäistä (Peltokorpi et al. 2018). Esivalmistamista ja moduulirakentamista on tähän asti pääsääntöisesti hyödynnetty lähinnä kahdeksankerroksisiin rakennuksiin asti, joissa rakennuksen seinät ovat kantavia ja kestävätkä tuulen aiheuttamia leikkausvoimia. Moduulirakentamista ja esivalmistusta haluttaisiin lisätä myös korkeassa rakentamisessa, tämä vaatisi kuitenkin rakenteellisten runkorakenteiden vahvistamista ja lisäämistä riittävän vakauden ja tukevuuden saavuttamiseksi. (Lawson & Richards 2010.)

**Taulukko 4. Rakennushankkeen osatekijät joihin esivalmistuksella on vaikutuksia (muokattu lähteestä Chauhan et al. 2019 ja Peltokorpi et al. 2019)**

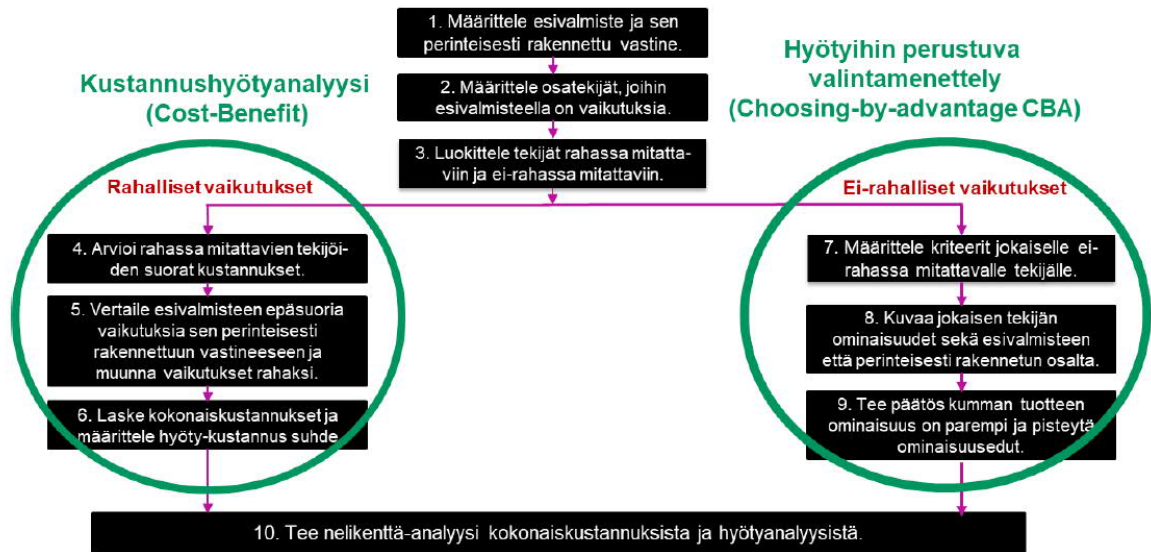
<b><i>Osatekijä</i></b>	<b><i>Esivalmistuksen odotusarvo</i></b>	<b><i>Vaikuttavat tekijät</i></b>
<i>Materiaali- ja työ-kustannukset</i>	Sama tai alempi	Vähentää materiaali- ja työkustannuksia, koska häiriöt ja pullonkaulat vähenevät, vähemmän materiaalihukkaa
<i>Työntekijän ja työympäristön turvallisuus</i>	Parantuu	Vähentää työskentelyä vaarallisissa olosuhteissa rakennustyömaalla, vähentää liikennettä
<i>Projektin aikataulu</i>	Tehostuu	Nopeuttaa asennusaikaa, vähentää yhteensovittamista, parantaa koordinoitua osapuolien välillä
<i>Jäte ja materiaalihukka</i>	Vähentyy	Edesauttaa kierrättämistä, komponentit toimitetaan esivalmistettuna suoraan oikean kokoisina, oikea aikaiset toimitukset



<i>Laatu</i>	Sama tai parempi	Standardoidut työskentelytavat, selkeät laatuavoitteet ja tuotemääritykset, hallitummat työskentelyolosuhteet
<i>Ergonomia</i>	Parantuu	Vakioidut työpisteet, valvotut työskentelyolosuhteet ja työkalujen käyttö
<i>Suunnittelukustannukset</i>	Saattaa nousta tai laskea	Vaatii enemmän tarkentavaa suunnittelua mutta edesauttaa suunnitelmien vakiointia
<i>Hankinta</i>	Suosii	Tuotteistaminen (materiaalit ja asennus), helppompi ja sujuvampi hankinta
<i>Vallitseva ympäristö</i>	Suosii	Vähemmän melua, häiriöitä, logistiikkaa sekä häiriötä ympäristölle, ympäristöystävällisempi
<i>Työmaatoimitukset</i>	Vähentyy	Materiaalit toimitetaan isompina kokonaisuuksina ja isommissa erissä
<i>Suunnittelun joustavuus</i>	Vähentyy	Myöhäiset asiakasmuutokset eivät ole mahdollisia
<i>Työmaatoimijat</i>	Vähentyy	Vähemmän rakennustyömaalla suoritettavaa asennustyötä
<i>Rakennustyömaan koordinoinnin kustannukset</i>	Vähentyy	Vähemmän koordinoinnin tarvetta alihankkijoiden ja muiden sidosryhmien kanssa
<i>Rakentamisen sääolosuhteet</i>	Valvotummat	Asentaminen on säästä riippumatonta, joka voi tehostaa työskentelyä sekä vähentää materiaalivaurioita
<i>Huollettavuus</i>	Sama tai parempi	Huollettavuus paranee, koska se on voitu ottaa paremmin huomioon suunniteltaessa esivalmistettua standardoitua tuotetta

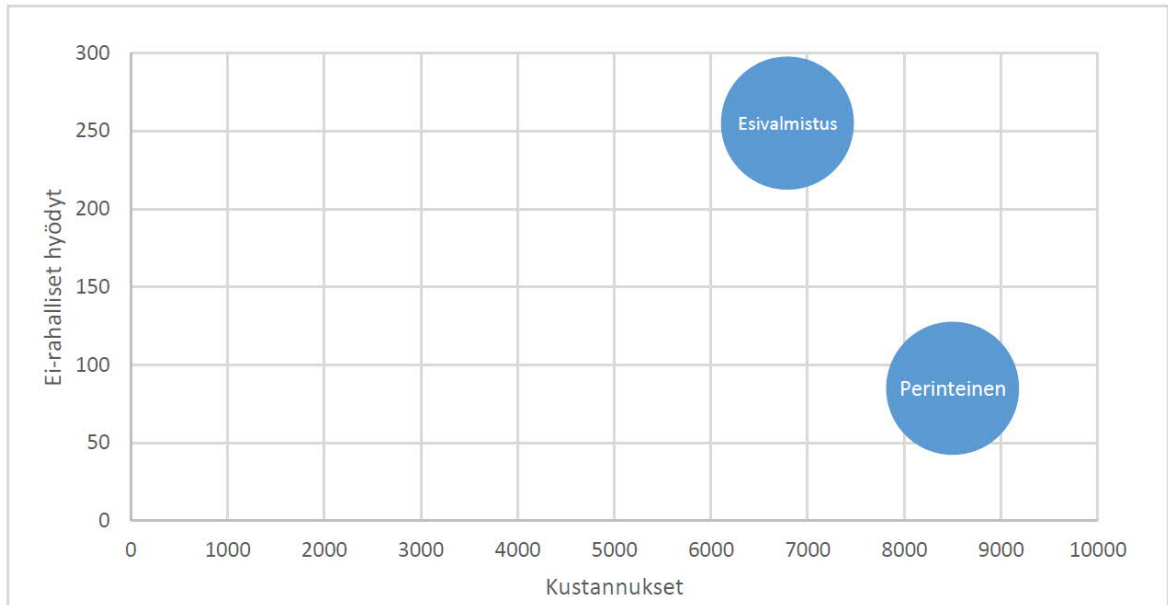
Tuore suomalainen tutkimus osoitti myös, ettei rakennuttajilla ja rakennushankkeen pääura-koitsijoilla ole riittävästi kokemusta tai referenssejä esivalmistuksen osoittamista hyödyistä. Tutkimus osoitti myös, että rakennushankkeen suunnitteluvaiheessa esivalmisteiden vaikutusten mittaamiseen ei vielä ole soveltuvaa menetelmää. Aikaisemmin esivalmisteiden vaikutuksia yksittäisiin osatekijöihin on mitattu erilaisilla työkaluilla, esimerkiksi kyselyillä ja tapaustutkimuksilla, riippuvuusmatriiseilla ja kustannushyötyanalyysillä. Toistaiseksi ei ole kuitenkaan pystytty arvioimaan esivalmisteiden samanaikaisia vaikutuksia projektin useaan eri osatekijään. Vuosien 2018-2019 Building 2030 -osahankkeessa kehitettiin uusi esivalmisteiden mittaamisen menetelmä (Kuva 9.), joka perustuu kahteen mittaamisen menetelmään: 1) Kustannushyötyanalyysiin, jolla voidaan mitata rahassa mitattavia tekijöitä ja 2) Hyötyihin perustuvaa valintamenettelyä, jota voidaan käyttää ei-rahassa mitattavien eli laadullisten

tekijöiden arviointiin. Uudessa mittausmenetelmässä on tarkoitus ottaa huomioon koko rakennushankkeen laajuuden mukaisia vaikutuksia sen eri sidosryhmille. Mittausmenetelmän kustannushyötyanalyysin on tarkoitus ottaa huomioon myös sellaisia kustannusvaikutuksia, jotka voidaan muuntaa rahamääräisiksi, kuten esimerkiksi vaikutukset hankkeen laatuvirheiden määrään, kestoon ja materiaalihukkaan. Näiden tietojen pohjalta voidaan määritellä suunnitellun esivalmisteen hyöty-kustannus-suhde. Hyötyihin perustuvan valintamenettelyn on lisäksi tarkoitus helpottaa päätöksentekijöitä jaottelmaan ja erittelemään erilaiset vaihtoehdot ja ymmärtämään näiden erojen merkitys. (Chauhan et al. 2019 ja Peltokorpi et al. 2019.)



Kuva 9. Esivalmistuksen vaikuttavuuden mittausmenetelmä (Chauhan et al. 2019)

Esimerkiksi kuvassa 10. on visualisoitu pallomatriisin muodossa esivalmistetun kylpyhuone-elementin tuomia rahassa ja ei-rahassa mitattavia tekijöitä Chauhanin et al. (2019) kehittämän esivalmistamisen hyötyjen mittausmenetelmän avulla. Pallomatriisi helpottaa mittausmenetelmän tulosten visualisointia ja auttaa arvioimaan esivalmistamisesta saatavia hyötyjä verrattaessa esivalmistamista paikan päällä rakentamiseen. Kuvassa 10. on esitetty paikalla rakennetun ja esivalmistetun kylpyhuone-elementin väliset kustannushyötyihin perustuvat rahassa ja ei-rahassa mitattavat edut, jossa vaak-akseli esittää todellisia rahan perustuvia kustannuksia ja pystyakseli ei-rahassa mitattavia muita hyötyjä. Taulukossa 5. on esitetty esivalmistetun kylpyhuone-elementin ja paikalla rakennetun kylpyhuoneen ei-rahassa mitattavia tekijöitä sekä niiden tärkeyden painotusta arvioitaessa esivalmistamisen kokonaisyötyjä. Taulukon 5. kerätty data perustuu vuosien 2018-2019 Aalto-yliopiston ja moniammatillisen Building 2030 osahankkeessa tutkittuun tutkimustietoon. Tarkempi analyysi on saatavilla Building 2030 osahankkeen loppuraportissa, jossa arvioidaan eri talotekniikkakomponenttien esivalmistamisen ja paikallarakentamisen eroja (Peltokorpi et al. 2019).



**Kuva 10.** Esivalmistetun kylpyhuone-elementin ja paikalla rakentamisen väliset kustannushyötyihin perustuvat erot (Peltokorpi et al. 2019)

**Taulukko 5.** Esivalmistetun kylpyhuone-elementin hyötyihin ei-rahassa mitattavat tekijät (Peltokorpi et al. 2019)

<i><b>Tekijät</b></i>	<i><b>Esivalmistettu kylpyhuone-elementti</b></i>		<i><b>Perinteisesti paikalla rakennettu kylpyhuone</b></i>	
	<i><b>Ominaisuus</b></i>	<i><b>Tärkeys</b></i>	<i><b>Ominaisuus</b></i>	<i><b>Tärkeys</b></i>
<i>Asiakasarvo</i>	Asiakkaat arvostavat lisäominaisuuksia: älykäs mittausjärjestelmä, korkealaatuiset materiaalit, helppo mukauttaa kalusteita	100	Vähemmän modulaariset huonekalut, perinteisemmät materiaalit, ei älytoimintoja	
<i>Projektin aikataulu</i>	Nopeampi rakennusaika	60	Hidas, kun rakennetaan paikan päällä	
<i>Työn koordinaointi</i>	Huomattavasti helpompaa koordinoida työtä paikan päällä	50	Enemmän tekijöitä työskentelee samassa paikassa	
<i>Suunnittelun joustavuus</i>	Suunnittelun joustavuuden puute		Mahdollista muuttaa mallia ja suunnittelua	60
<i>Riski</i>	Matalampi materiaaliriski kuin paikalla tehdessä	45	Korkeampi riski osien rikkoutumiselle ja materiaalihukalle asentamisen aikana	
<i>Kuljetus</i>	Suurien moduulien kuljetus ja siirtäminen haastavaa		Pienempien osakomponenttien kuljetus helpompaa	25
<b>YHTEENSÄ</b>		<b>255</b>		<b>85</b>

## 2.2 Keinoja rakentamisen läpimenoajan lyhentämiseen

Tässä luvussa käsitellään olemassa olevaan kirjallisuuteen perustuen keinoja korkean rakentamisen läpimenoajan lyhentämiseen, etenkin esivalmistettujen kylpyhuone-elementtien sekä tahtiaikataulun avulla. Luvun lopussa käsitellään tahtiaikataulua ja -tuotantotapaa yhdessä esivalmistettujen kylpyhuone-elementtien kanssa ja niistä mahdollisesti syntyviä synergioita.

Luku alkaa Lean-pääperiaatteiden läpikäynnillä, josta jatketaan Lean-filosofiasta johdettuun tahtiajattelun ja -tuotannon soveltamiseen. Tahtiaikataulun laadinnan perusteet käydään myös pinnallisesti läpi. Tahtituotannosta siirrytään kylpyhuone-elementtien ja tahtituotannosta synergiaeduista löytyvän tutkimustiedon käsittelyyn, jossa pyritään kuvaamaan kylpyhuone-elementtien ja tahtituotannon etuja yhdessä ja erikseen omina komponentteina.

### 2.2.1 Lean-filosofia

Lean-mallista on nykypäivänä puhuttu paljon julkisuudessa ja monet yritykset ovat entistä kiinnostuneempia soveltamaan Lean-periaatteita omaan liiketoimintaansa. Autoteollisuudesta tuttu Lean-malli on viime vuosina etenkin tekniikan alalla nostanut kovasti kiinnostusta. Lean-tuotantomalli on alun perin kehitetty japanilaisen insinöörin Ohnon toimesta Toyotan autoteollisuuteen, josta se on myöhemmin levinnyt laajemmin muille teollisuuden aloille (Howell 1999). Lean-termi kehittyi kansainvälisen autoteollisuuden tutkimusryhmän tavasta kuvata hukan syntymistä vähentämistä Toyotan tuotantomenetelmässä verraten sitä muihin käsityö- ja massatuotantomuotoihin (Womack et al. 1990). Insinööri Ohno seurasi Henry Fordin työtä ja jatkoi sujuvan (flow-based) tuotantoympäristön hallinnan kehittämistä. Toisin kuin Henri Ford, jolla oli lähes rajoittamattomat vaatimukset tuotteiden standardisoimiselle, Ohno halusi tuottaa autoja asiakastilausten pohjalta. Ohno käänsi aiemman kapeamman ajattelutavan työntekijöiden ja koneiden tuottavuudesta koskemaan laajemmin koko tuotantoprosessin tehokasta hallintaa eikä vain aiemman tuottavuuden nostamisen näkökulmasta. Hukka voidaan määritellä tuotantomenetelmän suorituskykykriteerillä ja sillä, että lopputuote täyttää asiakkaan yksityiskohtaiset vaatimukset tuotteen ominaisuuksista ja laadusta. Kulkiessamme kohti nollahukkaa ja kohti täydellisyyden tavoittelua, kehityksen huomio siirtyy toiminnan kehittämisestä koskemaan enemmän koko toimitusketjua. Autoteollisuuden massatuotanto oli insinööri Ohnolle ja muille japanilaisille insinööreille tuttua. Heidän vieraillessa Amerikassa, jossa amerikkalaiset autoteollisuuden johtajat näkivät tehokkuutta, Ohno näki jatkuvasti hukkaa. Amerikkalaiset näkivät tehokkuutta koneiden ja tuotantolinjan jatkuvassa liikkeessä minimoidakseen yksittäisen auton ja niiden osien valmistuskustannukset. Insinööri Ohnon tuotantomenetelmän suunnittelukriteerit asettivat täydellisyyden tavoittelun moniulotteiselle tasolle, jonka optimointi edisti jatkuvaa parantamista, joka on nykyään yksi tärkeimmistä Lean-periaatteista. (Howell 1999.)

Howellin (1999) teorian mukaan Lean-tuotanto jatkaa kehittymistään, mutta sen perusajatus on selvä. Tuotantoprosessi tulee suunnitella niin, että asiakaskohtainen yksittäinen tuote voidaan valmistaa välittömästi tilauksesta ylläpitämättä lainkaan varastoa. Howellin (1999) teorian mukaan tuotantoprosessin suunnitteluun sisältyy seuraavat tekijät:

- tunnista asiakkaalle arvoa tuottavat toimet: poista kaikki toimet, jotka eivät tuota arvoa
- järjestä tuotanto jatkuvaksi virraksi
- pyri täydelliseen tuotteeseen ja luotettavaan työnkulkuun tuotantolinjan pysäyttämisen, tehokkaan varastoinnin sekä jalkautetun tiedonkulun ja päätöksen teon kautta
- jatka kohti täydellisyyttä: toimita tuote, joka vastaa asiakkaan vaatimuksia tuottamatta ylimääräistä varastoa. (Howell 1999.)

Womack & Jones (2003) on kehittänyt ohjenuorat Lean-ajattelutavalle, jonka kautta he ovat kuvanneet keskeisiä tuotannon ohjaustekijöitä (Taulukko 6.), joita Howell & Ballard (1998) on käsitellyt tarkemmin julkaisussaan, jossa he käsittelevät Lean-tuotannon jalkauttamista rakennusteollisuuteen. Lean-ajattelumalli ohjaa keskittymään keskeisiin asioihin tuotannon tehostamista suunniteltaessa, kun taas Lean-tuotannon viisi ohjenuoraa, ovat lähinnä tuotannon ohjaustoimenpiteitä, joiden avulla tehokas tuotantoprosessi voidaan saavuttaa ja ylläpitää. Yksi Lean-filosofian keskeisimmistä periaatteista on jatkuva parantaminen (Kaizen) ja hukkan poistaminen (muda) sekä keskittyminen vain arvoa tuottaviin toimintoihin. Jatkuva parantaminen on Lean-johtamisen, -rakentamisen ja -tuotannon perusta. Tahtiaikataulu on yksi monista muista Lean-periaatteista jalostettu projektin johtamismalli, joka estää ylituotantoa, lyhentää työvaiheiden ja rakentamisen läpimenoaikaa sekä lyhentää odotusaikoja ja häiriöitä. Tahtituotanto tekee prosessista entistä läpinäkyvämmän, joka on jatkuvan parantamisen edellytys. (Chauhan et al. 2018.)

Vaikka varsinainen Lean-tuotanto on saanut alkunsa jo useita kymmeniä vuosia sitten, niin rakentamisessa Lean-periaatteiden ja -johtamisen soveltaminen on vielä melko uutta. Monet ammattilaiset rakennusteollisuudessa hylkäävät ajatuksen Lean-tuotannosta usein ennen sen laajempaa tutkimista. Usein rakentamista pidetään muista teollisuuden aloista erillisenä ja monet ajattelevatkin, että Lean-mallia voidaan soveltaa vain teollisesti valmistavaan tuotantoon. Howell & Ballard esittää ratkaisumallissaan, että rakennustuotantoa tulisi ohjata lähemmäksi teollisesti valmistavaan tuotantoon prosessien vakioimisen ja standardisoinnin kautta. Howell & Ballard määrittelee Lean-ajatusmallin kolmeksi merkittävimmiksi tavoitteiksi 1) ainutlaatuinen ja yksilöllinen tuote, 2) toimittaminen välittömästi tilauksesta, 3) ilman välivarastointia. Tämä on tavoitteellinen tila, joka maksimoi arvon tuoton ja minimoi hukkan. Lean-mallin tavoitteena on pyrkiä virheettömään suoritukseen ja löytää tuotantoketjussa arvoa tuottavat toimet ja maksimoida niiden tuottama arvo. Siirtyessämme kohti Lean-tuotannon tavoitteita, ei ole riittävää ainoastaan tehostaa tuotannon prosesseja, vaan rakentamisen ja siihen liittyvän kulttuurin on uudistuttava. Lean-tuotanto esittelee erilaisen johtamismallin. Tuotantoa johdetaan niin, että tuotantoa ohjaavat toimet tuottavat ainutlaatuista arvoa asiakkaalle. Projekti on osa tuotantojärjestelmää, jolloin projektin kokonaiskustannukset ja -kesto ovat tärkeämpiä kuin minkään yksittäisen toiminnan kesto tai kustannukset. Arvon tuottaminen asiakkaalle on prosessin päätavoite. Lean-ajattelumalli ohjaa huomion koko prosessiin ja sen arvoa tuottaviin toimiin, eikä niinkään yksittäisten tehtävien hallintaan. Nykyinen projektinjohtomalli näkee projektit toimintojen ja tehtävien yhdistelmänä, kun Lean-malli katsoo projektia läpi koko toimitusketjun, niin kuin yksittäinen projekti olisi yksi iso tuotantoprosessi. (Howell & Ballard 1998.) Ongelmana on, että koko tuotantoprosessi ei toimi tehokkaasti, kun yksittäiset osapuolet pyrkivät tehostamaan heidän suoritustaan ymmärtämättä sitä, kuinka heidän toimintansa vaikuttaa laajemmin muihin prosesseihin (Howell 1999).

Taulukko 6. Lean-periaatteet (muokattu lähteestä Womack et al. 2003 ja Diekmann et al. 2003)

Lean-ajatusmalli	Lean-tuotanto	Lean-mittarit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arvon määrittäminen tuotteittain</li> <li>• Arvoketjun tunnistaminen</li> <li>• Jatkuva tuotevirta</li> <li>• Tuotetaan vain tarvittava</li> <li>• Täydellisyyteen pyrkiminen</li> <li>• Yksilöllinen tuote</li> <li>• Prosessien ja tuotteiden standardointi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuotannon pysäyttäminen</li> <li>• Tehokas tuote</li> <li>• Yksiosainen virtaus</li> <li>• Tuotannon synkronointi</li> <li>• Läpinäkyvyys</li> <li>• Laadun kehittäminen</li> <li>• Jatkuva parantaminen</li> <li>• Hukan poistaminen</li> <li>• Oikea-aikainen toimitus ilman varastointia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuottavuus</li> <li>• Läpimenoaika</li> <li>• Keskenäinen tuotanto</li> <li>• Hukka (prosessissa)</li> <li>• Laatu</li> <li>• Asiakaspalaute</li> </ul>

Laajan tuotantoprosessin optimoiminen on haastavaa rakennusteollisuudessa, sen ollessa kytköksissä moneen eri sidosryhmään. Myös vaihtelevat tuotanto-olosuhteet tuovat haasteita tuotannon optimoimiselle. Lean pyrkii eriyttämään olosuhteiden ja kysynnän vaihtelun vaikutukset tuottavaa työtä tekevien työryhmien ulkopuolelle ylläpitäen riittävää varakapasiteettia, jotta tuotantoa voidaan tarvittaessa nopeuttaa tai hidastaa olosuhteista huolimatta. Vakaammassa tuotanto-olosuhteissa tuotantojohtajat voivat luotettavammin ennustaa työn etenemistä ja siirtää tarvittaessa työvoimaa eri prosessien välillä tuotannon epätasapainon minimoimiseksi. (Howell 1999.)

Lean-tuotannon periaatteiden, sääntöjen ja tuotannon hallinnan sekä organisoimisen periaatteet on todettu toimiviksi useissa tutkimuksissa. Kun koko rakentamisen toimitusketju on sisäistetty ja läpikäyty, Lean-periaatteiden tulisi soveltua myös rakentamisessa, ainakin periaatteellisesti. (Howell & Ballard 1998.) Lean-tuotannon soveltamiseksi ensimmäisenä tavoitteena on ymmärtää täysin koko tuotannon perustana oleva toimitus- ja kokoonpanoketju sekä niiden väliset riippuvuudet. Lean-malli tukee ryhmätyöskentelyä ja sen hyödyntämistä läpi koko toimitusketjun. Lean-filosofian yhdistäminen kumppanuussuhteiden kanssa mahdollistaa muutokset nopeammin. Kumppanuuksien avulla on tarkoitus lisätä luottamusta osapuolien välillä, kun taas Lean-periaatteiden on tarkoitus luoda uskottavuutta. (Howell 1999.)

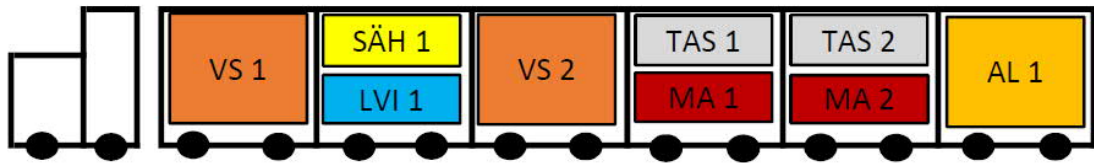
## 2.2.2 Tahtituotannon soveltaminen

Tahtituotanto juontaa juurensa Lean-johtamisfilosofiasta ja ajattelumaailmasta, jonka avulla pyritään vähentämään hukkaa läpi koko prosessin ja keskittymään vain sellaisiin tehtäviin, jotka tuottavat arvoa asiakkaalle (Frandsen et al. 2013, Binninger et al. 2018, Chauhan et al. 2018). Kuitenkin Seppänen (2014) on todennut, että tahtiaikataulutuksella voidaan saavuttaa kaikista suurin ajallinen säästö etenkin sellaisissa projekteissa, joissa on paljon toistuvia laajoja työkokonaisuuksia. Toisin kuin teollisesti valmistavassa tuotannossa, jossa tuotantolinjat pyritään synkronoimaan keskenään tuotannon optimoimiseksi. Rakentamisessa, tahtituotannolla pyritään määrittämään tietty tehtävä tai työkokonaisuus, joka voidaan tuottaa tietyssä ajassa (toimitusnopeus), jotta voidaan vastata kysyntään missä ajassa tehtävä tai tuote tulee olla tuotettu (kysyntämäärä). Alun perin tahtituotanto lähestymistapa on kehitetty sellaisiin rakennusprojekteihin, jossa on selvästi tunnistettavissa toistuvia elementtejä, kuten hotellirakentamisessa. Myöhemmin sitä on alettu soveltamaan myös muun tyyppisessä rakentamisessa, kuten asunto- ja toimistorakentamisessa. Lean-johtamisfilosofian ja tahtituotannon keskeinen tavoite on tuoda arvonnulomiseen tarvittavat prosessit yhtenäiseksi prosessivirraksi. Lean-filosofian näkökulmasta tavoitteena on vähentää prosessien ja tehtäväkokonaisuuksien kokoa sekä näin pyrkiä vähentämään prosessin läpimenoaikaa. (Binninger et al. 2017.)

Tahtiaikataulu on osa tahtituotantoa ja Lean-tuotantoprosessia. Viime vuosina sen käyttöä on alettu soveltamaan myös yhä enemmän rakennustyön suunnitteluun. Frandsen, Berghede & Tommelein (2013) on määritellyt, että tahtiaika on aikayksikkö, jonka kuluessa tuote on valmistettava, jotta valmistettavan tuotteen tuotantonopeus vastaa tuotteen kysyntää. Olenainen piirre tahtiaikataulussa on, että jokaisen tehtävän on suoritettava työ tietyssä ennalta määritetyssä paikassa ja ajassa, jota kutsutaan tahtiajaksi. Nämä avainluvut ja -paikat määritetään kerran projektin alussa ja ne pysyvät vakioina projektin loppuun asti. (Frandsen, Seppänen & Tommelein 2015.) Tahtiaikataulun ja -tuotannon suunnittelu voidaan jakaa kuusiosaiseksi prosessiksi sisältäen seuraavat vaiheet: (Frandsen, Berghede & Tommelein 2013).

1. tiedonkeruu
2. tahtialueiden ja -ajan määrittäminen
3. tehtävien järjestyksen tunnistaminen
4. yksittäisten tehtävien keston määrittely
5. työnkulun tasapainottaminen
6. tuotantoaikataulun viimeistely.

Tahtiaikataulun muodostamiseksi ensin tulee selvittää jokaisen tehtävän tarvittavat tuotantoajat yhteistyössä muiden sidosryhmien ja rakennustyömaan urakoitsijoiden kanssa. Tähän voidaan käyttää apuna myös hankkeen yleisaikataulua, mikäli sellainen on jo laadittu. Tämä täytyy kuitenkin tehdä ennen varsinaista tuotannon suunnittelua. Seuraavaksi määritellään kohteen koon mukaan sopivat tahtialueet, joita Suomessa kutsutaan myös vaunuiksi ja määritetään tahtiaika. Suomessa tahtituotantoa kuvaillaan yleensä eteenpäin kulkevana junana, jossa junan vaunut ovat suoritettavia tehtäviä, jotka kulkevat tahtialueiden läpi tietyssä ennalta määritellyssä tahtiajassa (Kuva 11.). (Frandsen, Seppänen & Tommelein 2015.)



Kuva 11. Tehtäväpaketit järjestettynä tahtijunassa (muokattu lähteestä Binnering et al. 2017)

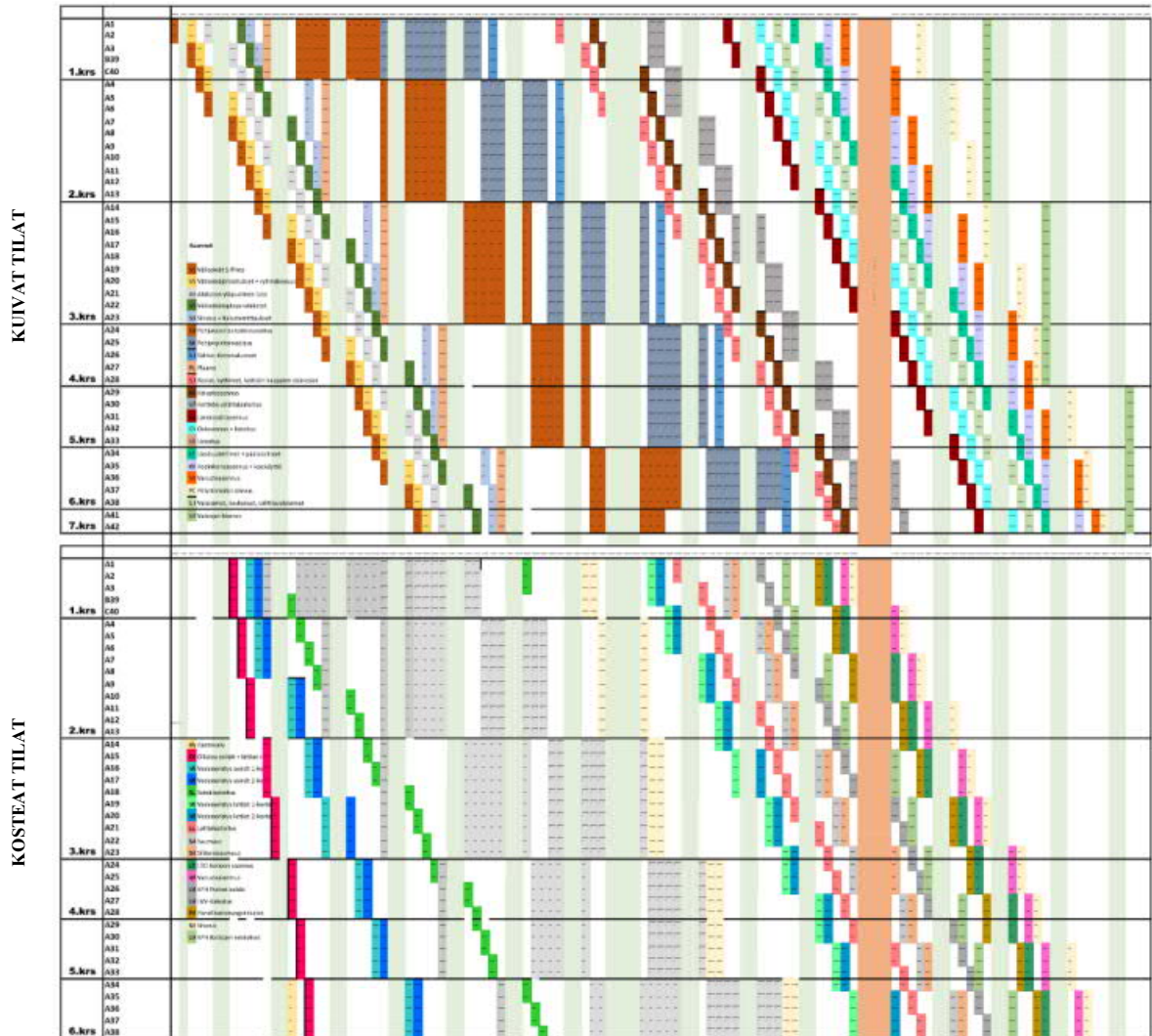
Tahtiaika voi olla esimerkiksi yksi päivä tai viikko, riippuen tehtävän laajuudesta. Kaiser on suositellut julkaisussaan yhden viikon tahtiaikaa rakentamisessa, väittäen, että alle kaksi päivää kestävät tahtiajat ovat haastavia toteuttaa käytännössä (Binnering et al. 2018). Tahtialueiden ja -ajan määrittelyn jälkeen aikataulu ja tehtävien kestot voidaan vielä tasapainottaa sopiviksi, jolloin tehtävien kestot voivat vaihdella tahtialueilla laajuuden mukaan. Lopuksi tahtiaikataulun tuotantoversio viimeistellään ja hyväksytetään kaikilla rakennushankkeessa työskentelevillä osapuolilla ja urakoitsijoilla, niin että kaikilla on mahdollisuus vaikuttaa ja arvioida aikataulun toteutettavuutta. Tämän jälkeen kaikki osapuolet hyväksyvät aikataulun ja sitoutuvat tekemään omat työsuorituksensa yhteisesti aikataulun ja tahtiajan mukaan. Sujuvan tahtiaikataulun ja -tuotannon toteuttamiseksi jokaisen rakennushankkeen sidosryhmän sekä urakoitsijoiden on tehtävä tiivistä yhteistyötä jatkuvasti. Aikataulua on seurattava lyhyemmällä aikavälillä kuin määritelty tahtiaika on. (Frandsen, Seppänen & Tommelein 2015.)

Aikataulun ylläpitämiseksi projektin jokaisella osapuolella on vastuu seurata aikataulua ja mahdollisia tuotannon häiriöitä. Tahtiaikatauluttamisen etuina on erityisesti se, että prosessi vaatii mahdollisiin tuotantohäiriöihin puuttumisen välittömästi niiden ilmettyä sen sijaan, että ne ohitettaisiin ja häiriöt siirtyisivät seuraaviin tehtäviin tai osakohteisiin. (Frandsen, Seppänen & Tommelein 2015.) Tahtiaikataulua käytettäessä on huolehdittava myös riittävästä kapasiteettipuskureista, jotta työryhmät eivät pääse poistumaan kyseiseltä projektilta, tällöin ajallinen positiivinen hyöty voidaan menettää (Seppänen 2014). Aikataulua tulee seurata aktiivisesti ja mahdollisiin poikkeamiin tulee reagoida mahdollisimman nopeasti, jotta sovitussa tahtiajassa pysytään sekä seuraavat työvaiheet pääsevät alkamaan aikataulutetun mukaisesti. Tahtituotantoa sovellettaessa on totuttu pitämään päivittäin tai muutaman kerran viikossa lyhyitä työmaapalavereita esimerkiksi aamuisin ennen töiden aloittamista (Lehtovaara et al. 2018). Rakennustyömaan vastaava työnjohtaja on vastuussa palaverin järjestämisestä, jonne kutsutaan merkittävämpien työvaiheiden vastuulliset työnjohtajat. Aamupalavereissa voidaan käydä läpi esimerkiksi päivän tavoitteet ja mahdollisesti havaitut haasteet. Avainasemassa palavereiden järjestämisessä on kuitenkin yhteistyö sekä yhteishengen luominen eri osapuolien välille, jolloin palavereihin voidaan luoda keskusteleva ja ongelmia ratkaiseva ilmapiiri. (Binnering et al. 2017.)

Tahtiaikataulun seuraamisen tueksi voidaan hyödyntää myös uusimpia digitaalisia työkaluja ja ohjelmistoja tai esimerkiksi Last Planner<sup>®</sup>-metodia, joka on visuaalisempi sekä helpommin hahmotettavissa oleva aikataulun seuraamisen menetelmä, jonka käytöstä löytyy useita tutkimuksia (Lehtovaara et al. 2018). Taulukossa 7. on vielä esitetty merkittävimpiä muita tekijöitä ja toimenpiteitä mukaillen Lehtovaara et al. (2019) julkaisua liittyen tahtisuunnitteluun. Lehtovaara et al. (2019) on myös summannut kirjoituksessaan, että optimaalisen tahtituotannon saavuttamiseksi, tarvitaan ensin kevyt aloitus ja riittävä perehtyminen tahtiajat-



teluun, jotta ennen varsinaisen tuotannon aloitusta jokaisella osapuolella olisi riittävä ymmärrys tahtituotannon tarkoituksesta ja osapuolet olisivat sitoutuneet toimimaan tahtiajattelun mukaisesti yhteistyössä läpi koko projektin ajan.



Kuva 12. Asuinkerrostalon sisävalmistusvaiheen tahtiaikataulu (Lehtovaara et al. 2018.)

Suomessa tahtiaikataulun ja -tuotannon soveltamisesta asuinkerrostalotuotantoon löytyy muutamia esimerkkejä, joissa on saatu lyhennettyä merkittävästi sisävalmistusvaiheen kestoa ja sitä kautta myös rakentamisen kokonaisläpimenoaika on lyhentynyt. Yhdessä tuoreimmista tutkimuksista tahtiaikataulutuksen avulla on saatu lyhennettyä rakentamisen sisävalmistusvaiheen kestoa noin kahdella kuukaudella ( $\approx 30\%$ ), mutta pienellä budjetin ylityksellä. Arvioitu kokonaisaikasäästö ilman esivalmistamisen hyödyntämistä tahtiaikataulutettuna oli kymmenen viikkoa ja noin yksi kolmannes ( $1/3$ ) verrattuna tilanteeseen, jossa sisätyövaihe olisi aikataulutettu perinteisillä metodeilla. Tutkittu kohde oli seitsemän kerroksinen pistetalo Helsingissä. Kohteen aikataulu oli jaettu kahteen osaan ja yhdeksi tahtialueeksi oli määritelty yksi asunto (Kuva 12.). Aikataulu oli jaettu kuiviin ja kosteisiin tiloihin niin, että kylpyhuoneisiin liittyvät tehtävät olivat omina vaunuina. Tahtiaika oli asetettu yhdeksi työpäiväksi, lukuun ottamatta tasoite- ja maalaustyövaihetta, jonka tahtiajaksi oli asetettu

yksi viikko. Kuitenkin muutamille tehtäville määritettiin tahtiajaksi kaksi työpäivää ja jotkin tehtävät sisälsivät useita sijainteja yhden päivän aikana. Pääsääntöisesti tahtisuunnittelu kohdistui asuntojen aikataulutukseen ja muut tilat, kuten varasto- ja yhteistilat määriteltiin erikseen, jotka toimivat myös tahtiaikataulun varasijainteina. (Lehtovaara et al. 2019.)

**Taulukko 7. Tahtisuunnitteluun vaikuttavat merkittävimmät tekijät ja toimenpiteet (mukailien lähteestä Lehtovaara et al. 2019)**

<i>Kategoria</i>	<i>Merkittävimmät tekijät tai esteet</i>	<i>Suosittelut toimenpiteet</i>
<i>Tahtisuunnittelu</i>	Kriittisten tehtävien tunnistaminen ennen tuotannon alkamista, materiaali- ja logistiikkasuunnitelman puuttuminen sekä riittävien kuivumisaikojen huomioiminen tahtisuunnittelussa	Yhteistyö muiden sidosryhmien ja tuotanto-osapuolien kanssa, yksityiskohtaisen logistiikka- ja kosteudenhallintasuunnitelman laatiminen, kriittisten työvaiheiden määrittäminen ennen tuotannon aloitusta
<i>Hankintatoimi</i>	Tahtiajattelua ei ole otettu huomioon hankintoja tehdessä eikä muita sidosryhmiä tai alihankkijoita ole sitoutettu tahtiajatteluun	Tahtiajattelu tulisi tuoda esille mahdollisimman varhaisessa vaiheessa jo ennen ensimmäisiä hankintoja
<i>Suunnittelu</i>	Keskeneräiset suunnitelmat tai haastavat omaperäiset suunnitteluratkaisut	Proaktiivinen ja yhteistyökykyinen projektinjohto sekä modulaaristen ratkaisujen hyödyntäminen
<i>Edeltävät tuotantovaiheet</i>	Tahtiaikataulun puutteellinen yhteensovitus muiden rakennushankkeen tarkentavien työvaihe-aikataulujen kanssa	Tahtisuunnittelu tulisi laajentaa osaksi koko rakennusprosessia yksittäisten työvaiheiden sijaan

### 2.2.3 Kylpyhuone-elementit ja tahtituotanto

Useissa kansainvälisissä tutkimuksissa on jo todennettu rakentamisen esivalmistamisesta saatavia ajallisia hyötyjä ja sitä kautta esivalmistamisella voidaan todeta olevan suora vaikutus rakentamisen kokonaisläpimenoaikaan. Rakentamisen kokonaisläpimenoaika ja sen lyhentämisen voidaan ajatella olevan myös suoraan verrannollinen rakentamisen aikaisiin kustannuksiin, sillä mitä kauemmin rakentaminen kestää sitä enemmän rakentamisen kustannuksia kertyy, esimerkiksi työvoima- ja rakennustyömaan käyttö- sekä yhteiskustannuksia.

Esivalmistamisen ajallisia hyötyjä kylpyhuone-elementtien näkökulmasta on todennettu ainakin julkaisussa Antillón et al. (2014) tapaustutkimuksessa, jossa 831 000 m<sup>2</sup> ja 360 potilashuoneen kokoisessa Saint Joseph Heritage sairaalan rakennusprojektissa asennettiin yhteensä 440 esivalmistettua kylpyhuonemoduulia. Tutkimuksen mukaan esivalmistettujen kylpyhuonemoduulien käyttö vähensi potentiaalista aikatauluviivettä noin 2,5 kuukaudella, joka on suoraan verrannollinen 7,4% ajansäästöön verrattuna aikatauluun, jossa kaikki työt olisi tehty paikan päällä. Kyseisessä projektissa kylpyhuoneiden paikan päällä rakentaminen

olisi tuonut 52 työpäivää lisäaikaa projektin kokonaiskestoan. Myös erään yhdysvaltalaisen rakennusliikkeen The Weitz Company:n kylpyhuone-elementtien asentamisesta Hilton Des Moines Downtown hotelliprojektissa kertovassa videotallenteessa on raportoitu noin kahden kuukauden läpimenoajan lyhentymisestä kylpyhuonemoduulien avulla verrattuna muihin kohteissa paikan päällä rakennettuihin kylpyhuoneisiin (The Weitz Company 2017).

Lisäksi eräässä Kaliforniassa sijaitsevassa 46-kerroksisessa hotelliprojektissa kohteen pääurakoitsija oli päättänyt hyödyntää esivalmistettuja kylpyhuone-elementtejä varmistaakseen riittävän korkean laadun sekä nopeuttaakseen rakennusprosessia. Kohteessa asennettiin kokonaisuudessaan 890 kylpyhuone-elementtiä ja keskimääräisesti noin 10 kylpyhuonetta päivässä, suurimman päiväsaavutuksen ollessa 12 kylpyhuonetta. Ensimmäisten kerrosten aikana kylpyhuone-elementtejä saatiin asennettua vain noin 4-6 päivässä, jonka lisäksi joitakin kylpyhuoneita jouduttiin asentamaan uudelleen. Lopulta kohteen valmistuttua pääurakoitsija raportoi sekä laadun, että työn tehokkuuden parantuneen. (Peltokorpi et al. 2018.)

Esivalmistettujen kylpyhuone-elementtien lisäksi tai yhdessä niiden kanssa voidaan käyttää myös niin kutsuttuja kylpyhuoneen asennuspaketteja. Esivalmistettu kylpyhuoneen asennuspaketti sisältää kaikki kylpyhuoneen asentamiseen paikan päällä tarvittavat määrämittaiset materiaalit, kalusteet ja varusteet. Kylpyhuoneen asennuspaketin valmistaa ja toimittaa yleensä sama tehdas, joka valmistaa myös normaaleja kylpyhuone-elementtejä. Esimerkiksi eräässä neljän tähden ja 135 huoneen kokoisessa £28 miljoonan hotellihankkeessa hyödynnettiin sekä esivalmistettuja kylpyhuone-elementtejä että esivalmistettuja kylpyhuoneen asennuspaketteja. (Taylor et al. 2009.) Kylpyhuoneen osuus on noin neljäsosa normaalin hotellihuoneen lattia-pinta-alasta ja siihen kohdistuu korkeimmat vaatimukset tilan toimivuudesta ja laadusta. Lisäksi kylpyhuoneiden osuus on noin 6-10 % hotellin pääomakustannuksista ja ne vaativat vähintään neljä erillistä alihankintaa rakennettaessa kylpyhuoneet perinteisesti paikan päällä. (Meyer 2008.) Näistä syistä sekä kustannusten vähentämiseksi, terveyden ja turvallisuuden lisäämiseksi ja projektin aikatauluviiveiden vähentämiseksi sekä viimeistelyn laadun parantamiseksi monet hotelliketjut ovat päättäneet hyödyntää kylpyhuone-elementtejä tai -asennuspaketteja omissa rakennusprojekteissaan. Yllä mainitussa projektissa esivalmistettujen kylpyhuoneen asennuspakettien todettiin erityisesti vähentävän työvoiman tarvetta sekä jätteen syntymistä rakennuskohteessa verrattuna perinteiseen paikan päällä rakentamiseen. Lisäksi esivalmistamisen hyödyntämisen kohteessa todettiin lyhentävän rakennusohjelman läpimenoaika sekä vähentävän monia potentiaalia aikatauluviiveitä. (Taylor et al. 2019.)

Kylpyhuone-elementtien ja tahtiaikataulun yhdistämisestä ei ole vielä kovinkaan paljon olemassa olevaa tutkimustietoa tai käytännön kokemuksia. Pääsääntöisesti useissa kohteissa on hyödynnetty vain joko tahtiaikataulua tai esivalmistamista mutta harvemmin molempia yhdessä. Chauhan et al. (2018) on viimeisimpänä tutkinut tahtiaikataulun ja esivalmistamisen yhdistämistä, jossa on pyritty löytämään yhteisiä synergioita esivalmistamisen ja tahtiaikataulun yhdistämisestä. Case-tutkimuksessa oli tutkittu kahta eri kohdetta, joista toisessa oli hyödynnetty molempia menetelmiä, tahtiaikataulutusta sekä esivalmistusta ja toisessa vain tahtiaikataulutusta. Tutkimustulokset olivat osoittaneet, että näiden kahden menetelmän yhdistäminen ja käyttö yhdessä voi johtaa projektin korkeampaan suorituskykyyn kuin vain esimerkiksi tahtituotannon tai esivalmistuksen hyödyntäminen yksittäisenä menetelmänä.

Esivalmistamisen hyötyjen on raportoitu kasvavan entisestään, kun tuotanto aikataulutetaan riittävän tarkasti ja paikkakohtaisesti. Etenkin työvaiheet, joihin sisältyy runsaasti materiaa-  
livoirtojen hallintaa tai materiaalien varastointia, tahtiaikataulutuksen avulla voidaan hallita  
materiaalivoirtojen kulkua niin, että tarvittavat materiaalit toimitetaan kohteeseen osatoimi-  
tuksina ja oikea-aikaisesti aina ennen kunkin työvaiheen alkua uudella tahtialueella. Tutki-  
mus osoitti myös, että projektien tasainen eteneminen tahtiaikataulun avulla ja sitä myötä  
tasaisen materiaalivoirran hallinta antoi toimitusketjulle mahdollisuuden kohdistaa materiaa-  
lien tuotantoa ja toimituksia lähemmäksi niiden todellista tarvetta kuin koskaan aiemmin.  
Aiemmin erittäin epävakaa ja epätarkat rakennusaikataulut pakottivat toimitusketjun toimit-  
tajien tuottamaan oleellisesti ylimäärää ja hankkimaan varastoa, jotta he pystyisivät vastaa-  
maan alati muuttuviin tuotanto-olosuhteisiin ja aikatauluihin. Tämä osoittaa hyvin, että esi-  
valmistamisen ja tahtiaikataulun avulla voidaan saavuttaa merkittävästi tasaisempi materi-  
aalivirta, joka helpottaa rakennustyömaan hallintaa ja organisointia. (Chauhan et al. 2018.)

Menetelminä esivalmistamisen ja tahtiaikataulun hyödyntämistä ja niiden soveltamisesta yh-  
dessä on raportoitu myös eräässä Kalifornian psykiatrisen hoitolaitoksen ja sairaalan laajen-  
nusprojektissa. Kohde käsitti kokonaisuudessaan 2-kerrosta, 26 uutta vuodepaikkaa ja 1800  
m<sup>2</sup> kokoisen laajennuksen, joka oli osa olemassa olevaa lukumäärältään 120 vuodepaikkaista  
sairaalarakennusta. Kohteessa käytettiin esivalmistettuja sisäväliseiniä, jotka sisälsivät tar-  
vittavat putki-, sähkö- ja ilmanvaihtotekniikan valmiiksi asennettuna, mikä teoriassa pitäisi  
mahdollistaa nopeamman sisätyövaiheiden etenemisen, koska osa töistä oli tehty jo normaali-  
a aikaisemmin ennen varsinaisten sisäseinien asentamista. Projekti ei pystynyt täysin nou-  
dattamaan suunniteltua tahtiaikataulua ja sprinkleripystylinjojen asennustyö ei edennyt  
suunnitellusti, jonka takia myös seuraavien työvaiheiden aloitukset myöhästyivät. Keski-  
määräisesti työvaiheet alkoivat 3,9 päivää myöhemmin mitä alun perin oli suunniteltu,  
sprinkleripystylinjojen asennuksen myöhästyessä jopa 50 päivää. (Frandsen et al. 2016.)

Tahtituotanto ja tahtiaikataulu tehostaa työnkulkua ja auttaa välttämään tuotannossa esiinty-  
vien poikkeamien kasautumista sekä mahdollistaa tuotantopoikkeamiin puuttumisen ja tuo-  
tannon ohjaamisen entistä proaktiivisemmin kuin perinteiset tuotannonohjaustavat (Lehto-  
vaara et al. 2019). Viimeisimmissä tutkimuksissa on kuitenkin raportoitu muutamista käy-  
tännössä havaituista haasteista sovellettaessa tahtituotantoa ja esivalmistamista joko yksit-  
täisinä menetelminä tai yhdessä. Esimerkiksi riittävät kuivumisajat on todettu haasteelliseksi  
etenkin paikalla valettavien betonirakenteiden kanssa. Tahtiaikataulun aiheuttama aggressii-  
vinen työvaiheiden läpimenoaikojen lyhentäminen johtaa paikalla rakennettavien kylpyhuo-  
neiden betonilattiat kriittiselle polulle niiden vaatiman pitkäkhön kuivumisajan takia. Tämä  
osoittaa sen, että työvaiheiden läpimenoajan merkittäväällä lyhenemisellä voi olla myös ne-  
gatiivisia seurauksia ja se saattaa johtaa joidenkin työvaiheiden ajautumista projektia rajoit-  
tavaksi kriittiseksi työvaiheiksi. Nämä ongelmat voidaan jossakin määrin ratkaista käyttä-  
mällä joko erityisiä betoninkuivatusmenetelmiä tai hyödyntämällä moduulirakentamista,  
esimerkiksi esivalmistettuja kylpyhuone-elementtejä, joka luo erityisen markkina-aseman  
modulaarisille kosteiden tilojen esivalmistusratkaisuille. (Chauhan et al. 2018, Binninger et  
al. 2018, Lehtovaara et al. 2019.)

Kuten aiemmin sivulla 27. esitetyssä kuvasta voidaan nähdä, rakennettaessa kylpyhuoneet  
paikan päällä ja käytettäessä tahtiaikataulua, projektin aikataulu joudutaan käytännössä ja-  
kamaan kahteen erilliseen osaan kuiviin ja kosteisiin tiloihin (ns. tahtijunaan) paikalla ra-  
kennettavien kylpyhuoneiden betonilattioiden vaatimien kuivumisaikojen takia. Aikataulun  
kahtia jako mahdollistaa rakennuksen kosteiden ja kuivien tilojen työvaiheiden etenemisen

eri tahdissa ja vähentää työvaiheiden päällekkäisyyksistä syntyviä häiriöitä. Mikäli projektissa hyödynnettäisiin tahtiaikataulutusta sekä moduulirakentamista, esimerkiksi esivalmistettuja kylpyhuone-elementtejä, kosteiden tilojen työvaiheet ja niiden vaatimat kuivumisajat voitaisiin siirtää pois rakennustyömaalta hallitumpiin tehdasolosuhteisiin, jolloin kylpyhuoneiden ja muiden kosteiden tilojen paikalla valettavat lattiat eivät muodostuisi enää projektia rajoittaviksi kriittisiksi työvaiheiksi. Näin ollen esivalmistettuja kylpyhuone-elementtejä käytettäessä projektin tahtiaikataulua ei tarvitse välttämättä jakaa kahteen osaan, vaan aikataulu voidaan muodostaa vain esimerkiksi kuivien tilojen työvaiheille, jolloin vältytään toisen ”tahtijunan” käytöstä ja työvaiheiden tahdistaminen yksinkertaistuu.

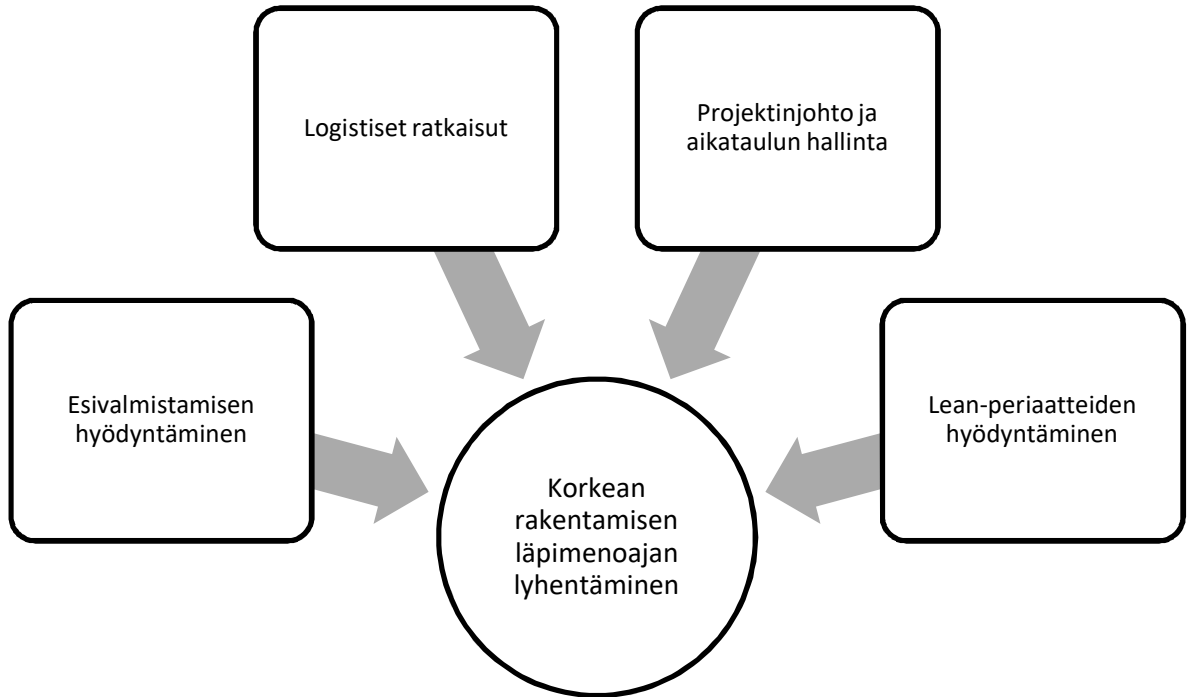
Toisena merkittävänä tekijänä ja haasteena on raportoitu tahtituotannon ja tahtiaikataulun soveltamisen huomioimisesta riittävän ajoissa ennen varsinaisen tuotannon tai rakentamisen aloittamista. Tahtituotannon soveltamisesta projektin tuotannon ohjauksessa on sovittava jo ennen ensimmäisten materiaali- ja alihankintojen tekemistä, jotta kaikki projektin sidosryhmät on mahdollista sitouttaa tahtituotannon soveltamiseen. (Lehtovaara et al. 2019, Binniger et al. 2018). Chauhan et al. (2018) on myös todennut, että rakennusprojektiin valituissa suunnitteluratkaisuissa tulisi ottaa huomioon myös suunnitelmien rakennettavuus ja niiden sujuva toteuttaminen, eikä valita ratkaisuja vain kustannukset edellä. Chauhan on todennut julkaisussaan myös modulaaristen ratkaisujen, kuten esivalmistettujen kylpyhuone-elementtien tehostavan mahdollisesti rakennusprojektin tuotantoa, etenkin mikäli esivalmistamista sovelletaan yhdessä tahtituotannon kanssa.

### **2.3 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto**

Aiemman kirjallisuuden ja tieteellisten tutkimusten perusteella esivalmistusasteen lisääminen rakentamisessa nostaa tuottavuutta, parantaa laatua ja työturvallisuuden tasoa sekä vähentää materiaali- ja työvoimakustannuksissa syntyvää hukkaa ja rakennuskohteessa syntyvää jätettä. Esivalmistusastetta lisäämällä riskialttiimmat työvaiheet voidaan siirtää hallittavampiin tuotanto-olosuhteisiin sujuvoittaen näin rakennustyömaan tuotantoa. Tutkimukset ovat osoittaneet myös, että rakentamisen läpimenoaikaa on mahdollista lyhentää hyödynnettäessä esivalmisteita tai tahtiaikataulua joko yksittäisinä elementteinä tai yhdessä. Tahtiaikataulun soveltamisesta asuinrakentamisen sisätyövaiheessa ilman esivalmistamisen hyödyntämistä on todennettu jopa 30 % läpimenoajan lyhentymistä verrattuna perinteisiin aikataulumuotoihin. Esivalmistettujen kylpyhuone-elementtien ja tahtiaikataulun yhdistämisestä on kuitenkin vielä verraten vähän tutkimustietoa. Joissakin aiemmissa tutkimuksissa on kuitenkin todettu positiivisia vaikutuksia yhdistettäessä esivalmistusta sekä Lean-filosofiasta tuttua tahtituotantoa. Korkean rakentamisen ja kylpyhuone-elementtien tai tahtiaikataulun ja -tuotannon soveltamisesta on myös verraten vähän aiempaa tutkimustietoa.

Korkea rakentaminen ajaa haastavampiin ja monimutkaisempiin rakenneratkaisuihin, jotka tarjoavat uudenlaista haastetta esivalmistustuotteiden yhdistämisestä korkean rakentamisen kanssa. Rakennusteollisuudessa on yhteistoimin jo pidemmän aikaa yritetty ratkoa korkean rakentamisen tuomia haasteita niin rakentamisen tuottavuudessa ja sen pystylogistiikassa sekä rakennuksen rakenneratkaisuissa. Rakennuksen rungon läpimenoaika on todettu kriittiseksi työvaiheeksi korkeassa rakentamisessa sen korkeuden ja kerroslukumäärän takia. Usein myös nosturien kapasiteetti ja työmaan muu logistiikka on todettu työtä rajoittaviksi pullonkauloiksi. Esivalmistusastetta lisäämällä rakennustyömaan logistiikkaa ja materiaali-

toimituksia voidaan vähentää siirrettäessä osa rakennustyötä muualle. Näillä edellä mainituilla tekijöillä on todettu olevan yhteys rakentamisen tuottavuuteen ja läpimenoaikaan. Korkeassa rakentamisessa logistiikalla ja rakennustyön tehokkuudella on merkittävä vaikutus rakentamisen tuottavuuteen poikkeuksellisen laajan tuotantomäärän ja työn toistettavuuden takia. Kuvassa 13. on pyritty kuvaamaan korkean rakentamisen läpimenoajan lyhentämiseen vaikuttavia teemoja.



**Kuva 13. Viitekehys empiiriselle tutkimukselle**

## 3 Kylpyhuone-elementin asennusmenetelmät ja nykytilanne korkeassa rakentamisessa

### 3.1 Tutkimuskohteiden esittely

Tämän työn tutkimuskohteiksi valikoitui kotimaasta rakennusliikkeiden ja kylpyhuone-elementtitehtaiden edustajia sekä rakennusliikkeiden käynnissä olevia tutkimukseen soveltuvia rakennuskohteita, jotka on esitelty tarkemmin taulukossa 8. Tutkimukseen soveltuen kohteiden kriteereiksi asetettiin esivalmistamista ja/tai tahtiaikataulutusta hyödyntävät kohteet, erityisesti kohteet, joissa paikallavalutekniikka on hyödynnetty rakennuksen kantavissa välipohjissa tai käytössä on tehdasvalmisteisia kylpyhuone-elementtejä. Asetetut kriteerit osoittautuivat kuitenkin luultua haastavimmiksi, käynnissä olevan kotimaisen rakennustuotannon ollessa rajallista ja ottaen huomioon, ettei kotimaan sisällä ole useita korkean rakentamisen kohteita samanaikaisesti käynnissä, joissa erityisesti paikallavalutekniikkaa tai kylpyhuone-elementtejä olisi hyödynnetty. Näin ollen tutkimuksen aikana luonnolliseksi osoittautui myös tutkia ja haastatella kotimaan sisällä toimivien kylpyhuone-elementtivalmistajien ajatuksia korkeaan rakentamiseen soveltuvista ratkaisuisista.

Työssä käsiteltäviksi kolmeksi päätapaukseksi muodostui lopulta eri kylpyhuone-elementtien asennusmenetelmiä hyödyntävät kohteet. Alustavan kartoituksen perusteella tutkimukseen valittiin kaksi Suomessa yleisintä kylpyhuone-elementin asennusmenetelmää, jotka ovat kololaatta- ja kuiluasennusmenetelmä. Lisäksi kolmanneksi asennusmenetelmäksi tutkimukseen valittiin työn tilaajayrityksen ehdotuksen mukaisesti kylpyhuone-elementin julkisivuasennusmenetelmä. Tutkimuksen tarkoituksena oli erityisesti tutkia eri asennusmenetelmien hyötyjä ja haasteita sekä eri menetelmien käytön vaikutuksia rakentamisen läpimenoaikaan. Työn aikana toissijaiseksi tutkimuskohteeksi muodostui tahtiaikataulun ja tehdasvalmistettujen kylpyhuone-elementtien synergiahyötyjen tutkiminen. Lopulta kuitenkin taulukossa 8. esitetyn haastattelun HA5 analysointi päätettiin jättää pois haastattelussa esiintyneen tiedon pinnallisuuden vuoksi, jonka takia tahtiaikataulun ja kylpyhuone-elementin synergiaetujen tutkiminen päätettiin jättää kirjallisuuskatsauksessa käsiteltyyn kirjallisuuden tutkimiseen.

Taulukko 8. Tutkimuskohteiden yksilöinti

<i>Kohde</i>	<i>Aihe</i>	<i>Menetelmä</i>	<i>Tunniste</i>
<i>Rakennusliike, Asuinkerrostalo 18 krs.</i>	Kololaatta-asennus	Haastattelu, havainnointi	HA2, HA3, HAV2
<i>Kylpyhuone- elementtitehdas</i>	Kuiluasennus	Haastattelu, havainnointi	HA4, HAV3
<i>Kylpyhuone- elementtitehdas</i>	Kololaatta-asennus	Haastattelu, havainnointi	HA1, HAV1

<i>Rakennusliike, The Weitz Company, USA</i>	Julkisivuasennus	Dokumentti-analyysi	ANL1
<i>Rakennusliike, Asuinkerrostalo, 7 krs.</i>	Sisätyövaiheen työvaiheaikataulu	Aikatauluanalyysi	ANL3
<i>Rakennusliike, Asuinkerrostalo, 7 krs.</i>	Sisätyövaiheen työvaiheaikataulu	Aikatauluanalyysi	ANL3
<i>Rakennusliike, Asuinkerrostalo, 7 krs.</i>	Sisätyövaiheen työvaiheaikataulu	Aikatauluanalyysi	ANL3
<i>Rakennusliike, Asuinkerrostalo, 6 krs.</i>	Sisätyövaiheen työvaiheaikataulu	Aikatauluanalyysi	ANL3
<i>Rakennusliike, Asuinkerrostalo, 6 krs.</i>	Sisätyövaiheen työvaiheaikataulu	Aikatauluanalyysi	ANL3
<i>Rakennusliike, Asuinkerrostalo, 7 krs.</i>	Tahtiaikataulu	Haastattelu	HA5

### 3.1.1 Aineiston kerääminen ja analysointi

Työn kirjallisuustutkimus on laadittu käyttäen useita eri tieteellisiä tai poikkitieteellisiä julkisesti saatavilla olevia julkaisuja tai muita työn tutkimukseen liittyviä alan aineistoja, kuten painettua kirjallisuutta. Ongelman kuvaamiseksi ja nykytilanteen selvittämiseksi sekä korkeaan rakentamiseen soveltuvan kylpyhuone-elementtien asennusmenetelmän löytämiseksi on käytetty tapaushaastatteluja. Lisäksi suoritettiin kohdekohtaisia työmaa- ja tehdasvierailuja, joiden aikana tutkijan oli mahdollista tehdä omia havaintoja. Kylpyhuone-elementin julkisivuasennusmenetelmän kuvaamiseksi käytettiin dokumenttianalyysiä ja suoritettiin verkkotutkimusta.

Haastateltavat valittiin sattumanvaraisesti eri sidosryhmistä, joilla voitiin olettaa olevan erityistietämystä tai ensikäden tietoa tutkittavien kohteiden aihealueelta. Koska haastattelujen tavoitteena oli tutkia useita eri asioita, jotka eivät olleet suoranaissessa kontekstissa toisiinsa, jokaisen sidosryhmän edustajalle täytyi laatia oma kysymyspatteristo haastatteluja varten. Haastattelut järjestettiin vapaamuotoisesti ja niiden aikana pidettiin käsivaraista pöytäkirjaa, jonka perusteella oli myöhemmin mahdollista kirjoittaa yhteenveto haastattelussa selvinneistä seikoista. Osa haastatteluista jouduttiin suorittamaan kuitenkin etänä käyttäen virtuaali- tai sähköpostihaastattelua. Haastattelujen tunnistetiedot litteroitiin kuitenkin mahdollisimman nopeasti haastattelujen jälkeen. Litterointi tehtiin Excel-taulukkoon, johon kerättiin perustiedot haastattelusta, kuten haastateltavan tunnistenumero, haastattelun luonne, kohde, paikalla olijat sekä haastattelun kesto. Tarkemmat yksilöintitiedot case-kohteiden haastatteluista, vierailuista ja tutkijan omista havainnoista on esitetty taulukossa 9.



Myöhemmin luvussa 4 esiteltävän kylpyhuone-elementin ja paikalla rakennetun kylpyhuoneen aikatauluanalyysissä on käytetty rakennusliikkeestä saatuja työvaihe aikatauluja, joita on käytetty analyysin perustana. Aikatauluanalyysissä tutkitut kohteet on esitelty tarkemmin taulukossa 8.

**Taulukko 9. Case-kohteista kerätty data**

<i><b>Tapaus</b></i>	<i><b>Tunnus</b></i>	<i><b>Luonne</b></i>	<i><b>Kohde</b></i>	<i><b>Paikalla</b></i>	<i><b>Kesto [MIN]</b></i>
<i>Case 1: Kololaatta-asennus</i>	HA1	Haastattelu	Kylpyhuone-elementi-tehdas	Myyntijohtaja, tuotesuunnittelija, tarjouslaskija	60
	HAV1	Tehdasvierailu			60
	HA2	Haastattelu	Rakennusliike	Vastaava työnjohtaja, runkotyönjohtaja	60
	HAV2	Työmaavierailu	Rakennusliike		120
	HA3	Haastattelu	Rakennusliike	Työpäällikkö	45
<i>Case 2: Kuiluasennus</i>	HA4	Haastattelu	Kylpyhuone-elementi-tehdas	Liiketoimintajohtaja, suunnittelu-päällikkö, perustaja	90
	HAV3	Tehdasvierailu			30
<i>Case 3: Julkisivuasennus</i>	ANL1	Dokumentti-analyysi	Rakennusliike, The Weitz Company, USA		60
	ANL2	Verkkotutkimus	Julkisivuasennusmenetelmän käyttö		

### 3.2 Case 1: Kololaatta-asennus

Kololaatta-asennus yleistettynä on menetelmänä ehkä suosituin ja useimmin käytetty kylpyhuone-elementin asennustapa niin Suomessa kuin useissa Pohjoismaissa. Se on myös yksi vanhimmista kylpyhuone-elementin asennustavoista, jota edelleen yksi Suomen johtavimmista kylpyhuone-elementtivalmistajista on hyödyntänyt elementeissään jo vuodesta 1971 alkaen (HA1).

Yksi syy kololaatta-asennuksen suureen suosioon saattaa olla sen yksinkertaisuus ja vähäinen vaikutus rakennuksen kantavan rungon sekä muiden rakenteiden suunnitteluun (HAV1). Nimensä mukaisesti tässä menetelmässä kylpyhuone-elementti asennetaan rakennuksen rungon sisälle kantavassa välipohjassa olevaan syvennykseen. Kololaatta-asennuksessa kylpyhuone-elementit ovat myös pääsääntöisesti itsekantavia eli elementti ja sen rakenteet kantavat itse itsensä painon, jolloin se toimii itsenäisenä rakenteena rakennuksen rungon sisällä (HA1). Kololaatta-asennuksessa kylpyhuone-elementti joudutaan asentamaan kantavassa välipohjassa olevaan syvennykseen, jotta kylpyhuoneen ja asunnon kuivien tilojen välinen kynnyshöheus voidaan saada samalle tasolle. Lisäksi usein kylpyhuone-elementin lattiakäivot sekä -viemärit vaativat hieman enemmän tilaa kuin elementin pohjalaatan paksuus on, joka johtaa usein rakennuksen välipohjissa erilaisiin lisäsyvennyksratkaisuihin (Kuva 14.) (HAV1, HAV2). Nämä edellä mainitut lisäsyvennykset ovat toteutusmielessä usein erittäin työläitä ja aikaa vieviä työvaiheita, joista haluttaisiin päästä eroon tuotantovaiheessa (HA2).



**Kuva 14. Kylpyhuone-elementin vaatimat syvennykset kololaatta-asennuksessa**



**Kuva 15. Esivalmistettu pohjalaatta kylpyhuone-elementin alla paikalla valetun välipohjan kanssa**

Pääsääntöisesti useimmissa asennusmenetelmissä, kuten myös kololaatta-asennuksessa kylpyhuone-elementin runko koostuu yleensä paksummasta noin 100 millimetrin vahvuisesta kantavasta teräsbetonilaatasta tai teräspalkkipohjasta sekä kevyistä ei-kantavista pelti- tai puurankaseinistä. Elementin kattorakenne on pääsääntöisesti pinnoitettua teräsohutlevykaattia tai vaihtoehtoisesti elementin sisäkatto voi olla esimerkiksi puupaneloitu. Kylpyhuone-elementin seinien pintarakenteet koostuvat useimmiten kipsilevyrakenteisesta ulko-verhouksesta, jonka sisäpintamateriaalina toimii pääsääntöisesti keraaminen laatoitus ja ulkopintamateriaalina maalipinta. (HAV1)

Kololaatta-asennusmenetelmää käytetään hyvin usein asuntorakentamisessa, tosin nykypäivänä markkinoille on tullut myös kylpyhuone-elementtejä, jotka mahdollistavat vaihtoehtoisen asennustavan valinnan, esimerkiksi kuiluasennusmenetelmän (HA1, HA4). Kololaatta-asennusta on hyödynnetty jonkun verran hotelli- ja muissa toimitilarakennuksissa, joissa toistettavuutta on paljon. Muissa Pohjoismaissa, esimerkiksi Ruotsissa kylpyhuone-elementin teräsbetoninen pohjalaattaa on saatettu korvata teräshekikolla. Kololaatta-asennusta voidaan käyttää useissa eri välipohjaratkaisuissa niin ontelolaatta- kuin paikallavaluvälipohjaratkaisuissa. (HA1)

Paikalla valetun välipohjan eli massiivilaatan kanssa asennusmenetelmän soveltaminen on kuitenkin hieman haastavampaa kuin ontelolaattarakaisuissa kylpyhuone-elementin vaatiman syvennyksen takia (Kuva 14. & 17.). Ontelolaattarakaisuissa tarvittava syvennys voidaan toteuttaa huomattavasti helpommin valmiiksi tehtaalla tampatun tai lyhennetyt ontelolaataston avulla. Paikalla valetun välipohjan kanssa syvennys voidaan toteuttaa joko välipohjan muuttotyön yhteydessä tai käyttäen esimerkiksi esivalmistettuja pohjalaattoja kylpyhuone-elementin alla, kuten kuvan 15. Helsingissä sijaitsevassa kerrostalokohteessa on käytetty. (HAV2, HA3)

### **3.2.1 Asentaminen ja pystylogistiikka**

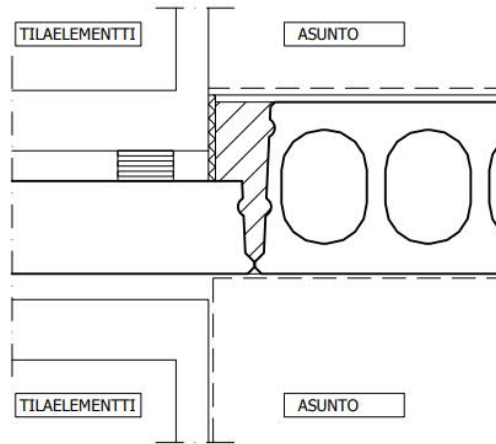
Tässä luvussa esitellään tarkemmin kylpyhuone-elementin asennuksen kulku ja logistiset ratkaisut käytettäessä kololaattamenetelmää paikalla valetun eli massiivivälipohjan sekä ontelolaattavälipohja ratkaisun kanssa.

Kololaattamenetelmässä niin ontelo- kuin massiivivälipohjaratkaisuissa kylpyhuone-elementit asennetaan pääsääntöisesti rakennustyömaan runkotyövaiheen yhteydessä, yleensä heti betoniseinäelementtiasennuksen jälkeen. Kololaattamenetelmää hyödynnettäessä elementtien pystylogistiikassa käytetään usein samaa nosturia kuin työmaan muussa elementtiasennuksessa. Tällöin myös kylpyhuone-elementtien aikataulutusta suunnitellaan pääsääntöisesti rakennustyömaan yleisaikataulusta tarkennettuun runkotyövaiheen aikatauluun. (HA2)

#### **Asennus ontelolaattavälipohjaan**

Kylpyhuone-elementin asentaminen kololaattamenetelmällä ontelolaattarakenteiseen välipohjaratkaisuun on huomattavasti yksinkertaisempi kuin paikalla valettuun massiivivälipohjaratkaisuun. Ontelolaattarakaisuissa on myös huomattavasti vähemmän työmaalle sijoitettavaa työtä. Ontelolaattamenetelmässä kylpyhuone-elementti lasketaan yleensä suoraan ontelolaatastossa valmiiksi olevaan syvennykseen, johon elementin nurkkapisteet ovat merkat-

tuna. Tässä tapauksessa ontelolaatasto on kylpyhuone-elementin kohdalta jo valmiiksi tehtaalla madallettu, jota ammattitermein kutsutaan tampatuksi laataksi. Ontelolaatasto voi tapauskohtaisesti olla myös osittain laatan pituussuunnassa kavennettu, kuten kuvista 16. ja 18. voidaan nähdä. (HA2)



**Kuva 16. Kylpyhuone-elementin liitos ontelolaattarakenteiseen välipohjaan (EJT-Rakennusinsinöörit Oy 2018)**

Ennen kylpyhuone-elementin asentamista ja sen laskemista paikalleen, elementin alle asennetaan joka nurkkaan tarvittava määrä asennuspaloja (Kuva 14. & 16.) tai tarvittaessa esimerkiksi kevytsoraharkkoja suuremman korkoeron saavuttamiseksi. Asennuspalojen alle asennetaan lisäksi esimerkiksi neopreenikumiset välitteet estämään runkoäänien tai muun tärinän siirtymistä eteenpäin itse tilaelementin rakenteisiin. Kylpyhuone-elementin paikalleen asentamisen jälkeen voidaan tehdä pystyhormien sekä muiden tekniikkaosien liitostyöt. Liitostöiden jälkeen, esimerkiksi pystyviemäriinjat on hyvä kuvata vielä ennen kylpyhuone-elementin ympärillä olevia jälkivaluja, joiden kautta elementti liittyy lopullisesti sitä ympäröivään kantavaan välipohjaan. Kylpyhuone-elementin pystyviemäriinjat on myös hyvä kuvata ja dokumentoida, jotta voidaan varmistua asennuksen onnistumisesta ja vesi- ja viemäriinjitosten tiiveydestä. Kylpyhuone-elementin ympäristän betonireunavaluista on myös syytä tarkastaa niiden suhteellinen kosteus ennen yläpuolisia päällystystöitä, jotta niiden riittävästä kuivuudesta voidaan varmistua. (HAV2)

### **Asennus paikalla valettuun välipohjaan**

Kylpyhuone-elementin asentaminen paikalla valettuun eli massiivivälipohjaan eroaa hieman ontelolaatta-asennuksesta. Varsinainen kylpyhuone-elementin asennustekniikka ei niinkään muutu, lähinnä asennusalustan valmistelu ja syvennyksen aikaansaaminen välipohjarakenteeseen muuttuu vaihdettaessa paikallavalutekniikkaan. Paikallavalutekniikassa rakennuksen kantava välipohja betonoidaan paikan päällä, jolloin ylimääräisten syvennysten tai muiden vastaavien aikaansaaminen välipohjarakenteeseen on työläämpää. (HAV2, HA2) Toisin kuin ontelolaattatekniikalla, jolloin rakennuksen kantava välipohja saadaan aikaan betonielementein, joihin kylpyhuone-elementin vaatima syvennys voidaan toteuttaa jo elementtejä valmistavalla tehtaalla (HA2). Paikallavalutekniikassa rakennuksen kantava välipohja saadaan aikaiseksi levymuottitekniikalla, jolloin jokaisen kerroksen seinäelementtiasennuksen valmistuttua seuraavan kerroksen välipohja voidaan rakentaa levymuottitekniikkaa hyödyntäen (Kuva 15.). Muottityön jälkeen levymuotti raudoitetaan ja valetaan betonimassalla,

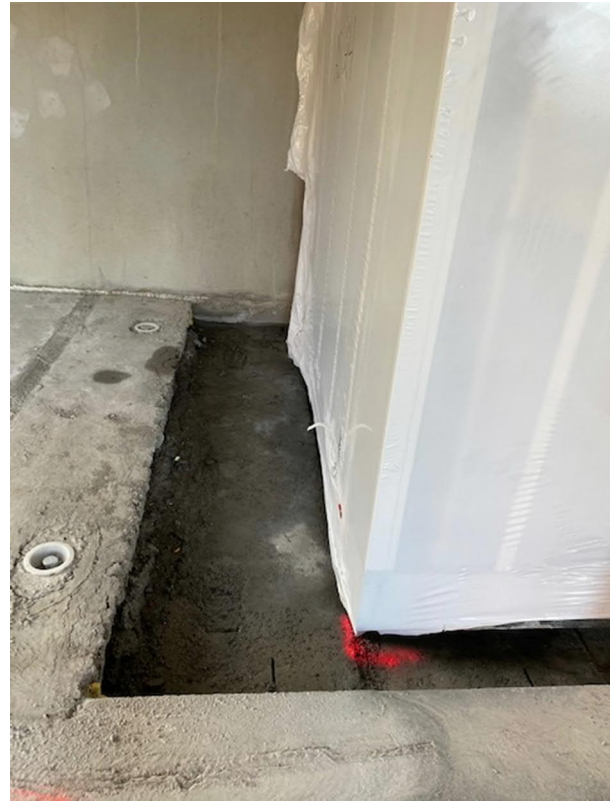
jonka jälkeen lähtötilanne on sama kuin ontelolaattatekniikassa. (HAV2) Paikallavalutekniikkaa hyödynnettäessä kylpyhuone-elementin vaatiman syvennyksen toteuttamiseen on pääsääntöisesti kaksi tapaa, muottitekniikan hyödyntäminen tai esivalmistetun pohjalaatan käyttö kylpyhuone-elementin alla (HA2, HA3). Muottitekniikkaa hyödyntäen välipohjaan tarvittava syvennys toteutetaan kantavan välipohjan rakentamisen yhteydessä lisääntyneenä muottityönä. Syvennyksen toteuttaminen ainoastaan muottitekniikkaa käyttäen on kuitenkin todettu hyvin haastavaksi (HA3).

Toinen vaihtoehto syvennyksen toteuttamiseen on esivalmistetun pohjalaatan käyttö, jonka päälle kylpyhuone-elementti myöhemmin asennetaan (HA2, HA3). Esivalmistettu teräsbetoninen pohjalaatta nostetaan nosturilla ja asennetaan kantavan välipohjan muottityön jälkeen varsinaisen levymuotin päälle (Kuva 15.) (HA2). Kuten kuvassa 15. esivalmistettu pohjalaatta voidaan valmistaa myös ilman reunakorotuksia tai se voidaan valmistaa niin kutsuttuna kuppilaattana, jossa reunoja ympäröivät noin 10 senttimetriä leveät ja korkeat reunakorotukset, jotka toimivat samalla muottina ajatellen tulevaa kantavan välipohjan betonointityötä (HAV2, HA3). Helsingissä sijaitsevassa kerrostalokohteessa (Kuva 15.) reunaton esivalmistettu pohjalaatta on asennettu levymuotin päälle jokaisen kylpyhuoneen kohdalle. Pohjalaatan päälle on lisäksi asennettu puusta valmistettu kehikko, joka toimii syvennyksen reunamuottina kantavan välipohjan betonointityön yhteydessä. Esivalmistettu pohjalaatta on lisäksi varustettu tartuntasaumaraudoin, jotta kantavan välipohjan raudoitus voidaan liittää saumattomasti yhteen esivalmistetun pohjalaatan kanssa muodostaen näin yhtenäisen rakenteen. Esivalmistettu pohjalaatta voidaan varustaa myös valmiiksi lisäsyvennyksillä (Kuva 14.), joita kololaattatekniikkaa hyödyntävät kylpyhuone-elementit toisinaan tarvitsevat riittävän viemärien suojavaalukerroksen toteuttamiseksi. (HAV2)

Edeltävän kantavan välipohjatyön jälkeen itse kylpyhuone-elementin asentaminen ei juurikaan eroa ontelolaattamenetelmästä. Kylpyhuone-elementin nurkkapisteet ja korkoasemat merkataan normaaliin tapaan, jonka jälkeen asennetaan tarvittavat välikkeet neopreenikumien päälle, kuvan 14. mukaisesti. Asennusalustan valmistelun jälkeen kylpyhuone-elementti voidaan laskea tasaisesti asennettujen välikkeiden varaan. Elementin paikalleen asentamisen jälkeen vesi- ja viemäri-liitokset tehdään samaan tapaan kuin ontelolaattarakentamisessa. (HAV2) Tarvittavien LVISA-liitostöiden jälkeen kylpyhuone-elementin tekniikkahormiin asennetaan kerroskohtainen palokatko mahdollisen tulipalon etenemisen estämiseksi. Tekniikkahormin kerroskohtainen palokatko voidaan toteuttaa usealla eri tapaa mutta yleensä se toteutetaan joko betonoimalla tai tyyppihyväksytyllä palokatkomassalla (HA2).



**Kuva 17.** Kylpyhuone-elementti asennettuna paikalla valettuun välipohjaan



**Kuva 18.** Kylpyhuone-elementti asennettuna ontolaattavälipohjaan

### 3.2.2 Kokemusperustaiset hyödyt ja haasteet

Kololaattamenetelmän etuina on etenkin sen helppo ja nopea asentaminen sekä menetelmän sopivuus useiden eri runkorakennusratkaisujen kanssa (HAV2, HA2, HA3). Kylpyhuone-elementin käyttöönotto kololaattamenetelmällä ei vaikuta juurikaan itse rakennuksen rungon suunnitteluun, muutoin kuin vaadittavan syvennyksen ja tekniikkahormin suunnittelun osin (HA1). Kololaatta-asenteista kylpyhuone-elementtiä on käytetty Suomen sekä Pohjoismaiden rakennustuotannossa jo useiden vuosikymmenten ajan, lähes muuttumattomana (HA1). Kylpyhuoneen pinta- ja runkorakenteet ovat kuitenkin päivittyneet ajan myötä nykyaikaisemmiksi. Kylpyhuone-elementin sujuvaan huollettavuuteen on myös alettu kiinnittämään entistä enemmän huomiota ja nykyään sen helppo ja vaivaton huollettavuus voi toimia jopa elementtitoimittajien myyntivalttina (HA1). Hallituissa olosuhteissa tehdasvalmistetun kylpyhuone-elementin takia, yleistettynä voidaan todeta myös ainakin jossain määrin märkätilojen loppulaadun sekä työmaa-aikaisen kosteudenhallinnan parantuneen (HA1, HAV1). Esimerkiksi mahdollisia kosteus- tai mikrobivaurioita voidaan tehokkaasti estää esivalmistamisen ja sitä myötä hallitumman työmaa-aikaisen kosteudenhallinnan avulla. Tämä esivalmistamisen yleistys pätee toki kaikenlaiseen esivalmistamiseen eikä niinkään yksilöidysti vain kylpyhuone-elementin kololaattamenetelmään.

Korkean rakentamisen näkökulmasta menetelmän etuina on erityisesti sen asennusnopeus sekä menetelmän asennustavan muunneltavuus esimerkiksi julkisivuasenteiseksi kylpy-

huone-elementiksi elementin runkorakenteen ollessa sama (HAV2, ANL1). Korkeassa rakentamisessa työvaiheiden tehokas läpimeno on avainasemassa laajan toistettavuuden ja rakennuksen poikkeuksellisen korkeuden takia. Kololaattamenetelmällä tehdasvalmistettu täysin valmis kylpyhuone on mahdollista asentaa noin 15 minuutissa rakennuksen runkotyövaiheen yhteydessä lukuun ottamatta valmistelevia työvaiheita (HA2, HAV2). Toisaalta kylpyhuone-elementtien asentamisen aikana muuta runkotyötä ei voida edistää nosturin ollessa varattuna kylpyhuone-elementti asennukseen (HAV2). Tutkimuksen aikana suoritettujen vierailujen sekä haastatteluiden perusteella selvisi, että rakennuksen kerroskohtainen runkokiertoaika voi todellisuudessa pitkittyä jopa yhdellä työvuorolla, kun kaikki kylpyhuone-elementin asentamiseen liittyvät työvaiheet otetaan huomioon (HA2, HA3). Kuten tutkitussa kohteessa ja etenkin paikallavalutekniikkaa käytettäessä yhden työvuoron mittaista kerroskohtaista runkokierron hidastumista voidaan pitää hyvin realistisena arviona, johon voi lisäksi hidastavina tekijöinä vaikuttaa ulkoiset tekijät kuten sääolosuhteet tai elementtitoimitusten kuljetusviiveet (HA2, HAV2). Ontelolaattatekniikkaa käytettäessä kerroskohtaista runkokierron hidastumista voidaan osittain vähentää kylpyhuone-elementin asennusalustan aiheuttamalla vähemmällä työmäärällä muun runkotyön yhteydessä (HA2).

Kololaattamenetelmää hyödynnettäessä rakennuksen kerroskohtaisen runkokierron hidastumista yhdellä työvuorolla voidaan pitää jo merkittävänä riskitekijä ajatellen korkeaa rakentamista. Nimittäin jo yhden työvuoron mittainen kerroskohtainen viive esimerkiksi 40-kerroksisessa kerrostalossa voi pahimmillaan pidentää rakentamisen läpimenoaikaa merkittävästi, jopa 40 työvuorolla eli noin kahdeksan viikon verran.

Aiempien rakenteellisten haasteiden lisäksi tutkimuksen aikana ja haastatteluissa ilmenneitä muita haasteita liittyen kololaattamenetelmään käyttöön olivat muun muassa työmaa-aikaisen kosteudenhallinnan parantaminen kylpyhuone-elementin suojahuputuksen tiiveyden osalta sekä sadeveden kulkeutumisen estäminen kylpyhuone-elementin aukinaiseen tekniikkahormiin ennen seuraavan ylemmän kerroksen välipohjan rakentamista. Lisäksi myös kuvassa 17. esitetyt kylpyhuone-elementin jälkivalettavat reunavalut on todettu työläiksi ja aikaa vieväksi työvaiheeksi. Joissakin tapauksissa kylpyhuone-elementin reunavalujen kuivumisessa on esiintynyt ongelmia, joka on saattanut tahdistaa seuraavia työvaiheita, esimerkiksi betonilattian tasoitus- ja pinnoitustöitä. (HA2, HAV2) Kuitenkin merkittävimpinä haasteina on koettu edellä mainitut rakenteelliset haasteet käytettäessä kololaattamenetelmää yhdessä kantavan välipohjan paikallavalutekniikan kanssa sekä kylpyhuone-elementin pohjalaatassa olevien viemäriinjojen suojabetonoinnin vaatimat tilavaraukset rakennuksen välipohjissa.

### **3.3 Case 2: Kuiluasennus**

Tässä luvussa esitellään tarkemmin kylpyhuone-elementin asennuksen kulku ja logistiset ratkaisut käytettäessä kuiluasennusmenetelmää. Kuiluasennuksen työnkulun menetelmäkuvaus mukailee Fira Modules Oy:n käyttämää menetelmää kuiluasenteisten kylpyhuone-elementtien asentamisessa. Kuiluasennusmenetelmässä kylpyhuone-elementit lasketaan ylhäältäpäin päällekkäiseksi torniksi rakennuksen välipohjiin jätettyjen aukkojen kautta joko kerroskohtaisesti tai kaikki elementit kerralla esimerkiksi runkotyövaiheen jälkeen (HA4).

Kuiluasennusmenetelmä on Suomessa ehkä toiseksi suosituin kylpyhuone-elementtien asennusmenetelmä, jota hyödyntää tällä hetkellä ainakin kaksi keskisuurta rakennusliikettä. Menetelmän käyttö on kuitenkin vielä melko harvinaista verrattuna esimerkiksi kololaattamenetelmän suosioon. Kuiluasennusmenetelmää on käytetty pääsääntöisesti asuntorakentamisessa ja sen etuina on etenkin kylpyhuone-elementin yksinkertainen asentaminen kuin myös se, että rakennuksen välipohjiin jätettyä asennusaukkoa voidaan käyttää rakentamisen aikana esimerkiksi rakennusmateriaalien nostoaukkona. Toisaalta kuiluasenteisen kylpyhuone-elementin asentaminen on vielä jokseenkin hidasta ja lisäksi haasteeksi voi muodostua tyhjän asennuskuilun ympärystän työturvallisuus rakentamisen aikana sekä rakentamisen aikainen kosteudenhallinta kuilun ollessa auki rakennuksen vesikatolle asti. (HA4)

### 3.3.1 Asentaminen ja pystylogistiikka

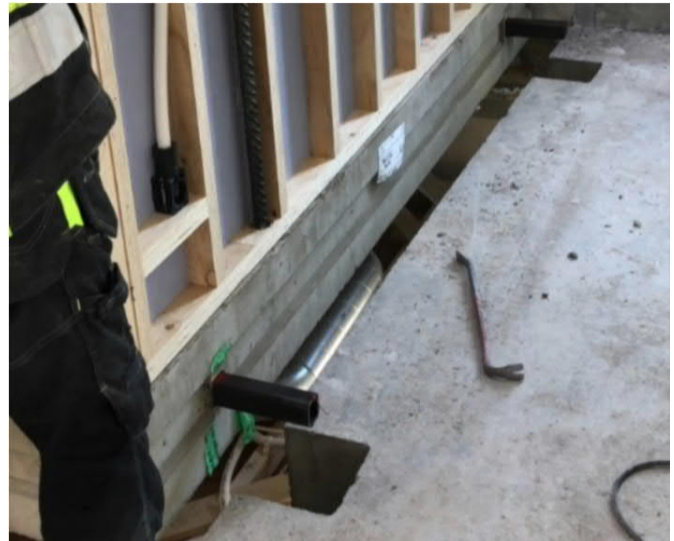
Kuiluasennusmenetelmässä kylpyhuone-elementit nostetaan ja asennetaan ylhäältäpäin päällekkäiseksi torniksi joko rakennuksen runkotyövaiheen yhteydessä tai vaihtoehtoisesti runkotyövaiheen jälkeen riippuen rakennuksen kerroskorkeudesta. Menetelmää voidaan käyttää useiden eri rakennejärjestelmien kanssa kuten, ontelo- ja superlaatta- tai paikallavalurakentamisen yhteydessä. (HA4) Kuiluasenteisessa kylpyhuone-elementissä on runsaasti yhtäläisyyksiä verraten kololaattamenetelmän kylpyhuone-elementin kanssa. Esimerkiksi kuiluasennukseen esivalmistetussa elementissä lattiarakenne on hyvin pitkälti samanlainen kuin kololaattamenetelmässä. Lattiarakenne koostuu elementtiä kantavasta teräsbetonilaa-tasta, joka on kuiluasennuksessa hieman paksumpi kuin kololaatta-asennuksessa, paksuu-deltaan yleensä noin 250-270 millimetriä. (HA4, HAV3) Elementin seinärakenteet rakentu-vat samaan tapaan kololaatta-asenteisen elementin kanssa itsekantavista metalli- tai puuran-katolpista (HAV3). Joissakin tapauksissa, mikäli kuiluasenteiset elementit kasataan päällekkäiseksi torniksi toistensa varaan, tällöin kylpyhuone-elementin runkorakenne voi koostua myös kantavasta teräsrungosta (HA4). Muutoin kuiluasenteisen kylpyhuone-elementin sisä- ja kattorakenteet ovat lähes samanlaisia kuin kololaattamenetelmässä (HAV3).

Kuiluasennuksessa kylpyhuone-elementit lasketaan ylhäältä päin rakennukseen jätetyn asennuskuilun kautta (Kuva 19.) asentaen ne paikalleen kerroskohtaisesti järjestyksessä (HA4). Kuiluasenteisen kylpyhuone-elementin teräsbetonisessa pohjalaatassa on integroi-tuna elementtiä osittain kantavat teräsvaarnat kuvan 20. mukaisesti (HA4, HAV3). Teräs-vaarnat ovat isomman teräsputken sisässä vielä elementtiä laskettaessa asennuskuiluun. Lo-puksi teräsvaarnat vedetään pohjalaatan sisältä ulos ennen elementin laskemista kuvan 20. mukaisiin varausaukkoihin, jotka ovat valmiina rakennuksen lattiarakenteessa. Ennen ele-menttien laskemista asennuskuiluun on kuitenkin varmistettava kerroskohtaisesti asennus-paikkojen mitoitus sekä korot. Tarvittaessa kylpyhuone-elementin pohjalaatan teräsvaar-nojen alle asennetaan asennuspaloja, joiden avulla elementti on mahdollista asentaa tasapai-noon. Asennusaikana kylpyhuone-elementti tukeutuu rakennuksen lattiarakenteeseen neljän teräsputken kautta, kunnes tarvittavat tekniikkaliitokset on tehty. Asentamisen jälkeen kyl-pyhuone-elementin pohjalaatan ja rakennuksen lattiarakenteen välinen asennusaukko vale-taan betonimassalla muodostaen näin yhtenäisen rakenteen. (HA4)





**Kuva 19. Kylpyhuone-elementin kuilu-asennus (Fira Modules Oy 2020)**



**Kuva 20. Kylpyhuone-elementin liitos rakenteisiin kuiluasennuksessa (Fira Modules Oy 2020)**

Kuiluasennusmenetelmässä asentamisen kulku sekä elementtien asennusajankohta poikkeaa huomattavasti verrattuna kololaattamenetelmään. Kuten aiemmin mainittu, kuilumenetelmässä kylpyhuone-elementti voidaan asentaa joko rakennuksen runkokierron yhteydessä kerroksittain tai rakennuksen rungon valmistuttua ennen vesikattotöiden aloittamista. Monesti etenkin matalissa rakennuksissa kuiluasenteiset kylpyhuone-elementit asennetaan kuitenkin yhdellä kerralla rakennuksen runkoon joka kerroksen läpikulkevan asennuskuilun kautta mahdollistaen elementtien asentamisen peräjälkeen kerroksittain. (HA4) Korkeamman rakennuksen ollessa kyseessä, kylpyhuone-elementtien asentamisen voisi suunnitella esimerkiksi lohkoittain niin, että elementtejä asennetaan rakennuksen runkotyövaiheen yhteydessä kerralla esimerkiksi aina viiden-kahdeksan kerroksen kokoisen lohkon osalta. Näin kuiluasennusmenetelmä antaa rakentajalle myös enemmän valinnanvaraa kylpyhuone-elementtien asennusajankohtaa aikataulutettaessa. Toimintatapa vaatii kuitenkin väliaikaisen vesikatkon tai vastaavan suojarakenteen rakentamisen jokaisen asennuslohkon jälkeen, jotta jo asennetut kylpyhuone-elementin säilyvät säältä suojattuna. (HAV3, HA4)

Tarkasteltaessa kuiluasennusta menetelmänä, se asettaa rakennuksen rungon suunnittelulle ja valitulle runkoratkaisulle joitakin vaatimuksia rakennuksen kantavaan välipohjaan jätettävän asennusaukon vuoksi (HA4). Toisaalta ratkaisut aukon toteuttamiseksi ovat kuitenkin melko yksinkertaisia ja nykyään laajalti käytettyjä ratkaisuja (HAV3). Ontelolaatta- ja superlaatta välipohjaratkaisuissa kantavan välipohjan aukko voidaan toteuttaa hyödyntäen tehdasvalmistettua ontelolaattakannaketta, jonka avulla asennusaukon reunaan päättyvien laattojen kuormat on mahdollista siirtää viereisille laatoille ja muille kantaville rakenteille (HA4). Tehdasvalmisteisen superlaatan etuina on etenkin laatan esijännityksen mahdollistama pitkä rakenteellinen jänneväli sekä mahdollisuus integroida tehdasasennettuja taloteknisiä järjestelmiä osaksi laattaa (Lujabetoni 2020). Paikallavalurakentamisen ja massiivivälipohjan yhteydessä asennusaukko voidaan toteuttaa muottitekniikalla rakennuksen kantavan välipohjan rakennustöiden yhteydessä (HA4).

### 3.3.2 Kokemusperustaiset hyödyt ja haasteet

Kuiluasennusmenetelmä on Suomessa ja muissa Pohjoismaissa vielä suhteellisen uusi ja tuntematon kylpyhuone-elementtien asennusmenetelmä, jonka vuoksi menetelmän käytöstä on vielä melko vähän käytännön kokemuksia tai muuta tutkimustietoa saatavilla (HA4). Suomen rakennusteollisuuden markkinoilla on tällä hetkellä vain kaksi elementtivalmistajaa, jotka valmistavat kuiluasennukseen soveltuvia kylpyhuone-elementtejä ja muutamia rakennusliikkeitä, jotka ovat hyödyntäneet kuiluasenteisia kylpyhuone-elementtejä tuotannossaan. Kololaattamenetelmän tavoin myös kuiluasennuksessa varsinaisen kylpyhuone-elementin asentaminen on suhteellisen yksinkertainen toimenpide mutta kuitenkin hieman aikaa vievämpi kuin kololaattamenetelmässä (HAV3). Haastatteluista saadun tiedon perusteella yhden kuiluasenteisen kylpyhuone-elementin asentaminen vie noin tunnin verran, otettaessa huomioon myös asennuskuilun reunojen muottityön, joka täytyy tehdä yksittäisen elementin asentamisen jälkeen, ennen seuraavan elementin laskemista asennuskuiluun (HA4). Näin ollen haastatteluissa saadun tiedon perusteella eroa yhden elementin asennusaikaan verrattessa kololaatta- ja kuilumenetelmän asennusaikaa, muodostuu noin 40 minuuttia (HA2, HA4). Toisaalta myös kololaattamenetelmässä on tapauksia, jolloin kylpyhuone-elementtien seinän puoleisten reunavalujen muottityöt täytyy tehdä ennen seuraavan kerroksen elementtiasennuksen alkamista (HAV2).

Kuiluasennusmenetelmän etuina ovat etenkin menetelmän yhteensopivuus ja sen sovittaminen tapauskohtaisesti useimpien runkorakennejärjestelmän kanssa, kuten elementti- ja paikallavalurakentamisen kanssa. Suurin rajoittava tekijä kuiluasennusmenetelmän soveltamisessa on sen vaatiman asennuskuilun sovittaminen valittuun runkorakennejärjestelmään. Asennuskuilu on kuitenkin mahdollista toteuttaa lähes jokaisen Suomessa käytössä olevan runkorakennejärjestelmän kanssa. (HA4) Riippuen kuitenkin valitusta runkorakenneratkaisusta asennuskuilun toteuttamisen kustannukset voivat vaihdella jonkin verran. Toisaalta valittu runkorakenneratkaisu vaikuttaa oleellisesti myös asennuskuilun toteuttamisen työvaiheen kestoon, joka taas vaikuttaa oleellisesti rakennuksen runkotyövaiheen kokonaiskestoan (HAV3).

Kuten mainittu, kuiluasennusmenetelmässä on monia yhtäläisyyksiä kololaattamenetelmän kanssa sekä joitakin yhtäläisyyksiä myös harvinaisemmasta julkisivuasennusmenetelmästä, kuten esimerkiksi mahdollisuus siirtää kylpyhuone-elementtien asennus pois osana rakennuksen runkotyövaihetta mahdollistaen runkotyövaiheen keston optimoimisen. Muita merkittäviä etuja, joita kuiluasennusmenetelmä mahdollistaa on esimerkiksi asennuskuilun työmaa-aikainen käyttö rakennuksen kuivattamiseen tai työmaalogistiikan hyödyntämiseen (HA4). Tiedettävästi yhtenäinen kuilurakenne aiheuttaa niin kutsutun ”hormi-ilmiön”, jonka takia ilma rakennuksen sisällä pyrkii siirtymään avonaista kuilua pitkin ylöspäin aiheuttaen ilmavirtaa rakennuksen sisälle (Aattela 2015). Ilmavirta toisaalta edesauttaa merkittävästi rakennuksen rakenteiden kuivumista etenkin runkotyövaiheessa, jolloin rakennus ei ole vielä täysin vesitiivis. Asennuskuilun hyödyntäminen työmaalogistiikassa on myös toinen varteenotettava tekijä, josta voi olla merkittävää hyötyä etenkin runkotyövaiheen optimoimisessa (HA4). Esimerkiksi, normaalisti rakennuksen runkotyövaiheessa suoritettavat rakennusmateriaalien nippunostot on näin mahdollista siirtää pois osana runkotyövaihetta ja nostaa materiaalit myöhemmin asennuskuilun kautta rakennuksen sisälle.

Haasteena kuiluasennusmenetelmässä etenkin korkeassa rakentamisessa voi toisaalta olla asennuskuilun työturvallisuus ja toisaalta työmaa-aikainen kosteudenhallinta saattaa osoittautua haasteelliseksi tai ainakin tuottaa ylimääräistä työtä työmaa-aikaisen kosteudenhallinnan kanssa (HA4). Korkeassa rakentamisessa haasteena on myös rakennuksen poikkeuksellinen korkeus, jonka takia kylpyhuone-elementtien nostamiseen kuuluu tavallista enemmän aikaa, etenkin mikäli kylpyhuone-elementit lasketaan kerralla rakennuksen rungon valmistuttua (HA4). Tähän yhtenä ratkaisuna voisi olla edellä esitelty lohkotus ajattelumalli, jolloin rakennus jaetaan korkeussuunnassa sopivan kokoisiin asennuslohkoihin, joiden mukaan kylpyhuone-elementtien asentamista voidaan jaksottaa.

### **3.4 Case 3: Julkisivuasennus**

Tässä luvussa esitellään tarkemmin kylpyhuone-elementin asennuksen kulku ja logistiset ratkaisut käytettäessä julkisivuasennusmenetelmää. Julkisivuasennuksen työnkulun menetelmäkuvaus mukailee The Weitz Company:n käyttämää menetelmää (esitelty videotallenteessa: The Weitz Company 2017). Kylpyhuone-elementtien asentaminen rakennuksen julkisivun kautta käyttäen julkisivuasennusmenetelmää tarkoittaa sitä, että esivalmistetut kylpyhuone-elementit nostetaan ja tuodaan rakennuksen sisään sen julkisivusta ennen ulkoseinä- tai julkisivuasennusta, esimerkiksi heti runkotyövaiheen jälkeen (ANL1).

Julkisivuasennusmenetelmää käytettäessä rakennuksen runkotyövaihe voidaan optimoida mahdollisimman lyhyeksi siirtämällä kylpyhuone-elementtien asennustyövaihe pois osana runkotyövaihetta. Tämän lisäksi voidaan optimoida myös muita tyypillisesti runkotyövaiheen aikana suoritettavia nostoja, kuten rakennusmateriaalien nippunostot, joita voivat olla esimerkiksi kerroskohtaiset ikkuna-, ovi- ja väliseinämateriaalien nippunostot. Näin toimimalla rakennuksen runkotyövaihe saadaan optimoitua mahdollisimman lyhyeksi ja tehokkaaksi, jolloin myös rakennuksen vesikatto voidaan saada vesitiiviiksi aikaisemmin. Menetelmän pääperiaatteena on siis optimoida rakennuksen runkotyövaihe mahdollisimman lyhyeksi jättäen kylpyhuone-elementtiasennuksen pois osana runkotyövaihetta ja edetä nopeammin rakennuksen vesikatto- ja sisätyövaiheisiin (ANL1). Julkisivuasennusmenetelmän käyttö on ollut ainakin Suomessa vielä suhteellisen vähäistä, kuitenkin muualla maailmassa, esimerkiksi Singaporessa ja laajemmin Yhdysvalloissa menetelmän käyttö on ollut huomattavasti yleisempää (ANL2).

#### **3.4.1 Asentaminen ja pystylogistiikka**

Julkisivuasennusmenetelmää voidaan käyttää useiden eri rakenne- ja välipohjaratkaisujen kanssa, jonka ainoa merkittävä rajoittava tekijä on rakennuksen riittävä kerroskorkeus. Julkisivuasennusmenetelmää käytettäessä, kylpyhuone-elementin pohjarakenne vastaa pääsääntöisesti kololaattamenetelmän kanssa saman tyyppistä rakennetta, poikkeuksena kuitenkin se, ettei rakennuksen kantavaan välipohjaan tarvita pääsääntöisesti lisäsyvennyksiä. Muutoin varsinainen kylpyhuone-elementti koostuu pääsääntöisesti samaan tapaan kololaattamenetelmän rakenteen mukaan kantavasta teräsbetonilaatasta sekä kevyistä ei-kantavista puu- tai metallirankaseinistä. Muista asennusmenetelmistä poiketen julkisivumenetelmässä kylpyhuone-elementti nostetaan rakennuksen sisään runkotyövaiheen jälkeen julkisivuun jätetyn aukon tai lastausalustan kautta. (ANL1)

Julkisivuasennusmenetelmä asettaa rakennuksen rungolle ja sen suunnittelulle kuitenkin tiettyä ehtoja ja vaatimuksia, jotta kylpyhuone-elementit on mahdollista nostaa rakennuksen sisään vielä sen rungon valmistuttua. Rakennuksen suunnittelun yhteydessä tulee kiinnittää erityistä huomiota rakennuksen kerroskorkeuteen sekä sen runkoratkaisuun. Rakennuksen runkoratkaisun tulee siis olla sellainen, joka mahdollista ulkoseinäelementtien tai muun ulkoverhouksen asentamisen rakennuksen rungon ollessa jo nostettuna sen harjakorkeuteen (ANL1). Tämän mahdollistaa esimerkiksi pilari-laatta- tai teräsrunkoratkaisut. Toisena vaihtoehtoisena ratkaisuna on, että rakennuksen julkisivuun jätetään koko rakennuksen korkeudelta yhdeltä linjalta julkisivuasennus tekemättä tai käytetään kerroskohtaisia väliaikaisia lastaustasoja (Kuva 22. & 27.), jonka kautta kylpyhuone-elementit on mahdollista asentaa vielä jälkikäteen rakennuksen rungon valmistuttua. (ANL1)

Kylpyhuone-elementin nostossa käytetään erikoisvalmisteista nostolavaa, joka on tuettu sen jokaisesta neljästä eri nurkasta (Kuva 21. & 25.). Nostotyöhön voidaan käyttää rakennustyömaan omaa torninosturia tai esimerkiksi erillistä ajoneuvonosturia, jolloin se ei aiheuta häiriötä muuhun työmaan nosto- tai logistiikkatoimintaan. Kylpyhuone-elementti lastataan kuljetusajoneuvosta nostolavan päälle esimerkiksi kuvan 21. mukaisella kurottajatraktorilla, jonka jälkeen se nostetaan valitulla nosturilla sen sijaintikerroksen korkeudelle. Nostolava ohjataan mahdollisimman lähelle rakennuksen seinää ja kylpyhuone-elementin sijaintikerroksen lattiakorkeutta. Nostolavan saavutettua oikean sijainnin, kylpyhuone-elementti voidaan siirtää pois nostolavalta käyttäen esimerkiksi käsi- tai sähkökäyttöistä teollisuuspumpukärryä (Kuva 23.). Kylpyhuone-elementti kuljetetaan pumppukärryillä rakennuksen rungon sisällä lähelle sen lopullista asennuspaikkaa, jonka jälkeen se lasketaan erikoisvalmisteisten pyörätunkkien varaan. Kylpyhuone-elementin loppusiirto ja asentaminen suoritetaan käyttäen pyörätunkeja ja laskemalla tilaelementti puhdistetulle asennusalustalle asennuspalojen päälle (Kuva 24.). Tarvittaessa elementin ja lattian väli voidaan tiivistää käyttäen siihen soveltuvaa tiiviste- tai liimamassaa. (ANL1)

Koko rakennuksen kylpyhuone-elementti asennuksen valmistuttua rakennuksen julkisivuasennus voidaan saattaa loppuun sekä siihen jätetyt aukot voidaan sulkea ja mahdolliset väliaikaiset lastaustasot voidaan purkaa (ANL1). Tämän jälkeen rakennus saavuttaa sen lopullisen tiiveytensä, jolloin rakentamisen sisätyövaihe pääsee jatkumaan ongelmitta ilman ylimääräisiä viiveitä. Korkean rakentamisen näkökulmasta kylpyhuone-elementtien julkisivuasennusmenetelmä tarjoaa aiemman mainitun runkotyövaiheen optimoimisen lisäksi sujuvamman työn kulun rakennuksen sisällä, kun tilaa vievät kylpyhuone-elementit tuodaan sisään vasta myöhemmässä vaiheessa rakentamista (ANL1). Korkean rakentamisen kannalta työvaiheiden läpimenoaika ja rakennuksen runkotyövaihe on ensiarvoisen tärkeää optimoida mahdollisimman tehokkaaksi, jotta muut runkotyövaihetta seuraavat työvaiheet voidaan saada mahdollisimman varhaisessa vaiheessa käyntiin rakentamisen kokonaisläpimenoajan tehostamiseksi. Kyseinen kylpyhuone-elementin julkisivuasennusmenetelmä tarjoaa ratkaisuja runkotyövaiheen optimoimiseksi sekä rakentamisen läpimenoajan lyhentämiseksi.



**Kuva 21.** Kylpyhuone-elementin siirto nostolavalle  
(The Weitz Company 2017)



**Kuva 22.** Kylpyhuone-elementin nosto sijaintikerrokseen  
(The Weitz Company 2017)



**Kuva 23.** Kylpyhuone-elementin siirto rakennuksen sisälle  
(The Weitz Company 2017)



**Kuva 24.** Kylpyhuone-elementin asennus käyttäen erikoisvalmisteisia pyörätunkeja (Interpod 2017)

### 3.4.2 Kokemusperustaiset hyödyt ja haasteet

Suomessa kylpyhuone-elementtien julkisivuasennusmenetelmästä ei ole vielä kovinkaan paljon kokemusta taikka kokemuksiin perustuvaa tutkimustietoa saatavilla. Tämä saattaa johtua siitä, että menetelmän käyttö on ainakin Suomessa vielä harvinaista. Kuitenkin muualla maailmassa etenkin Yhdysvalloissa, jossa on myös paljon korkean rakentamisen kohteita, kylpyhuoneiden julkisivuasennusmenetelmää on käytetty etenkin hotelli-, sairaala- ja hoivakotirakentamisessa (ANL2, The Weitz Company 2017, TJ Wies Contracting). Asuntorakentamisessa julkisivumenetelmän käyttö on ollut vielä kovin vähäistä (ANL2), tosin tulevaisuudessa merkittävästi lisääntyvät korkean rakentamisen asuntokohteet voivat tuoda tähän poikkeuksen. Suomessa on tiedettävästi ainakin kerran käytetty kylpyhuoneiden julkisivuasennusmenetelmää Imatran Kylpylän laajennusurakan yhteydessä vuosina 2000-2001, jolloin laajennuksen yhteydessä rakennettiin uusi hotellisiipi ja yhteensä 41 uutta hotellihuonetta, joista 32 huoneessa käytettiin valmistilakylpyhuone-elementtiä (Parmarine Oy 2020, ANL2). Kohteessa käytettiin kuvan 25. mukaista nostoapuvälinettä yhdessä kylpyhuone-elementtien julkisivuasennusmenetelmän kanssa (Rakennustieto Oy RT 38784, 2016).



**Kuva 25.** Kylpyhuone-elementin nostoaputyökalu Imatran Kylpylän laajennusurakassa (Rakennustieto Oy RT 38784, 2016)

Muualla maailmassa Yhdysvalloissa kuudenneksi vanhimman insinööri- ja arkkitehtitoimiston The Weitz Company:n tavoitteena on jatkuvasti kehittää uusia innovatiivisempia ratkaisuja ja löytää uusinta teknologiaa hyödyntäviä ratkaisuja heidän rakennusprojekteissaan (The Weitz Company 2020). Esimerkiksi yhdessä The Weitz Company:n rakennusprojektissa vuonna 2017 yritys käytti Pivotek -nimisen yrityksen valmistamia kylpyhuone-elementtejä, jossa hyödynnettiin edellä esitettyä julkisivuasennusmenetelmää (ANL1). Kohde oli Yhdysvaltojen Iowassa sijaitseva 330 hotellihuoneen ja 101 000 000 dollarin Hilton Des Moines Downtown Hotel. (The Weitz Company 2017.) The Weitz Company:n Hilton Hotel rakennusprojektissa käytetty ja edellä tarkemmin kuvattu kuvasarjan (Kuva 21.-24.) mukainen kylpyhuone-elementtien julkisivuasennusmenetelmä on lähes suoraan sovellettavissa Suomen vastaaviin rakennushankkeisiin, esimerkiksi korkean rakentamisen kohteisiin, jotka noudattelevat samankaltaista runkorakennusjärjestelmää The Weitz Company:n esimerkki-kohteen kanssa.

The Weitz Company:n käyttämät yhdysvaltalaisen kylpyhuonemoduulivalmistajan Pivotek:in valmistamat tuotteet mukailevat pitkälti suomalaista kylpyhuone-elementtituotantoa muutamien poikkeuksin. Kuten suomalaisessa moduulituotannossa, kylpyhuone-elementti on täysin valmiiksi varusteltu ja sen seinä- ja lattiapinnat ovat pääsääntöisesti laatoitettuja. Kylpyhuonemoduulin runko on ei-kantava teräs- tai puurankarunko, joka pitää sisällään kaikki kylpyhuoneeseen liittyvät tekniikka-asennukset sekä seinien ääneneristysvilloituksen. Suurimpana poikkeuksena on kylpyhuonemoduulin ohut lattiarakenne. (ANL1) Pivotek:in valmistamissa moduuleissa kylpyhuoneen lattia ei ole teräsbetonirakenteinen kuten suomalaisessa moduulituotannossa (Kuva 26.). Pivotek:in innovoimassa ratkaisussa kylpyhuonemoduulin lattia on yhden tuuman eli 2,54 senttimetrin paksuinen teräslevy integroituna moduulin teräsrunkoon (The Modular Building Institute 2017). Teräslevyn päälle tehdään normaaliin tapaan vedeneristys ja lattian pinnoitus valitun pintamateriaalin mukaan. Suomen rakennustuotannosta poiketen, Yhdysvalloissa usein myös kaikki kylpyhuoneen pohjaviemärit ja lattiakaivo on integroitu osaksi rakennuksen välipohjarakennetta, joka mahdollistaa kylpyhuone-elementin lattian ohuen rakenteen. Usein LVISA-tekniikan nousulinjat ja -hormit ovat myös osana rakennusta sijoitettuna esimerkiksi kahden kylpyhuone-elementin väliin. (ANL1)



**Kuva 26.** Yhdysvaltalaisen Pivotek:in valmistama kylpyhuonemoduuli (The Modular Building Institute 2017)



**Kuva 27.** Rakentamisen aikainen lastaustaso rakennuksen julkisivussa (Project Modular 2019)

The Weitz Company:n julkaiseman Hilton Hotel:in rakennusprojektin videoesittelyn mukaan käytettäessä tehdasvalmisteisia rakennuksen julkisivusta sisään asennettavia kylpyhuonemoduuleita on mahdollista säästää jopa 15 % työvoimakustannuksissa sekä vähentää rakennusjätettä jopa noin 40 %. The Weitz Company:n videoesittelyn projektihenkilöstön mukaan kokemukset valmistilakylpyhuone-elementeistä ovat olleet hyviä, heidän kertomansa mukaan näin rakennustyömaa pysyy siistimpänä ja tehokkaampana, koska rakennusjätettä syntyy vähemmän ja kohteessa ei tarvitse varastoida yhtä paljon arvokasta työskentelytilaa vieviä rakennusmateriaaleja. Projektihenkilöstön oman arvion mukaan kylpyhuonemoduulien aikaansaama aikataulusäästö lähentelee kahta-kolmea kuukautta verrattuna kohteeseen, jossa kylpyhuoneet rakennettaisiin paikan päällä. (The Weitz Company 2017.)

### **3.5 Asennusmenetelmien ristianalyysi**

Seuraavana esitettävässä taulukossa 10. on esitelty tutkittujen Case-kohteiden kololaatta-, kiulu-, ja julkisivuasennusmenetelmän eroja, hyötyjä ja yhtäläisyyksiä menetelmittäin. Ristianalyysi mahdollistaa asennusmenetelmien selkeän vertailun ja nostaa menetelmissä esiintyviä haasteita ja hyötyjä kootusti esille. Taulukossa esitetyt seikat on koostettu edellä esitettyjen Case-kohdekuvausten ja tutkimushaastatteluiden pohjalta.

Taulukko 10. Case-kohteiden asennusmenetelmien ristianalyysitaulukko

<b>Tekijä</b>	<b>Case:1 Kololaatta- asennus</b>	<b>Case 2: Kuiluasennus</b>	<b>Case 3: Julkisivuasennus</b>
<i>Paikallavalurakentamisen ja -rakenteet</i>	Soveltuu kohtalaisesti, haasteena pohjalaatan ja -viemärien vaatimat syvennykset.	Soveltuu, ei vielä paljon kokemuksia paikallavalurakenteiden yhdistämisestä.	Soveltuu, haasteena kynnyskorkeus (vaatii esimerkiksi asennuslattian), riittävä kerroskorkeus huomioitava.
<i>Soveltuminen muiden runkorakennejärjestelmien kanssa</i>	Soveltuu ontelolaatta- ja paikallavalujärjestelmien kanssa.	Soveltuu ontelo-, superlaatta- ja paikallavalujärjestelmien kanssa.	Soveltuu parhaiten esimerkiksi pilari-laatta runkorakennejärjestelmän kanssa.
<i>Rakentamisen aikainen kosteudenhallinta</i>	Haasteena kylpyhuone-elementin suojamuovin tiiveys ja sadeveden kulkeutumisen estäminen tekniikkahormiin.	Haasteena asennuskuilun tiiveys rakentamisen aikana, vaatii väliaikaisen vesitiiviin rakenteen kuilun yläpäähän.	Rakennuksen julkisivu auki pitkään ennen kylpyhuoneelementtien ja lopullisen julkisivun asentamista.
<i>Kylpyhuone-elementin asennusaika</i>	Nopea asennusaika (10-15min).	Hidas asennusaika (n.40min).	Ei dokumentoitua kokemusta Suomessa.
<i>Työturvallisuus</i>	Ei merkittäviä haasteita työturvallisuudessa.	Haasteena asennuskuilun työturvallisuus rakentamisen aikana.	Kylpyhuone-elementtien nostaminen julkisivun kautta saattaa aiheuttaa ylimääräisiä riskitekijöitä.
<i>Soveltuminen korkeaan rakentamiseen</i>	Soveltuu, haasteena paikallavalurakentamisen rakenneratkaisut.	Soveltuu, ei vielä kokemuksia, asentaminen tehtävä lohkoittain.	Soveltuu, mahdollistaa runkotyövaiheen nopeamman etenemisen.
<i>Rakenneliitosten betonin kuivuminen</i>	Kylpyhuone-elementin jälkivalettavien reunavälujen kuivuminen huomioitava, jottei muodostu tahdistavaksi.	Kylpyhuone-elementin jälkivalettavien reunavälujen kuivuminen huomioitava, jottei muodostu tahdistavaksi.	Rakennuksen välipohjalaatan oltava riittävän kuiva ennen kylpyhuoneelementin asentamista.
<i>Runkotyövaiheen läpimenoaika</i>	Hidastaa läpimenoaika yhdistettäessä paikallavalurakentamisen kanssa.	Riippuu valitusta asennusjärjestyksestä.	Nopeampi läpimenoaika kylpyhuone-elementti-asennuksen jäädessä pois osana runkotyövaihetta.



<i>Logistiikka</i>	Lukumäärällisesti enemmän toimituksia asentaminen tapahtuessa kerroksittain.	Valittu asennusjärjestys vaikuttaa toimitusten lukumäärään.	Vähemmän toimituksia asentamisen tapahtuessa isommissa erissä runkotyövaiheen jälkeen.
<i>Menetelmän yleisyys ja tunnettavuus</i>	Tuttu ja paljon käytetty menetelmä.	Uudehko ja vielä vähän käytetty menetelmä.	Ei juurikaan käytetty Suomessa.
<i>Menetelmän erityiset hyödyt</i>	Tuttu ja nopea menetelmä.	Ei ongelmia lattian korkojen kanssa, asennuskuilun työmaa-ai-kainen hyödyntäminen.	Ei hidasta runkotyövaihetta, kylpyhuone-elementtien kosteudenhallinnan parantuminen.
<i>Menetelmän erityiset haasteet</i>	Haasteet paikallavalurakentamisen yhdistämisen kanssa.	Hidas asentaminen, asennuskuilun työturvallisuus ja kosteudenhallinta.	Vieras tapa Suomessa, riittävä kerroskorkeus, vaatii kevytrakenteisen julkisivurakenteen.

## 4 Kylpyhuone-elementin ja paikallarakentamisen aikatauluanalyysi

Tässä kappaleessa esitellään kylpyhuone-elementin ja paikalla rakennetun kylpyhuoneen aikatauluanalyysi, jossa on vertailtu paikalla rakennettavan kylpyhuoneen ja kylpyhuone-elementin asentamiseen kulunutta aikaa sekä menetelmien kokonaisuusajan laskennallista keskiarvoa.

Aikatauluanalyysi perustuu paikalla rakennettavien kylpyhuoneiden osin suomalaisesta rakennusliikkeestä saatuihin todellisiin sisätyövaiheaikatauluihin ja kylpyhuone-elementtien osin tutkimuksen aikana tutkimushaastatteluista selvinneisiin ajallisiin kestoihin. Kestoja tarkasteltaessa on kuitenkin otettava huomioon se, että varsinaisen työvaihekohtaisen toteumatiedon puuttuessa, työvaiheiden ajalliset kestot perustuvat hankkeiden projektihenkilöstön yleisaikataulusta laadittuun tarkentavaan sisävalmistusvaiheen aikataulun työvaiheiden alustavasti suunniteltuihin kestoihin sekä haastattelututkimuksen tuloksiin. Näin ollen analyysin tulokset perustuvat kohteiden sisätyövaiheaikatauluissa esitettyjen eri työvaiheiden laskennallisiin keskiarvoihin, eivätkä ne tällöin ole välttämättä verrattavissa projekteissa muodostuneeseen todelliseen toteumatietoon. Analyysiä tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon myös, niiden laskemiseen käytetyn datan luotettavuus ja mahdolliset eroavaisuudet projektihenkilöstön aikataulusuunnittelussa.

Analyysin tutkimuskohteiksi valittiin sattumanvaraisesti viisi rakennushanketta yhden suomalaisen rakennusliikkeen tuotannosta. Kaikki valitut viisi referenssihanketta ovat todellisia toteutettuja tai käynnissä olevia asuntorakentamisen kerrostalohankkeita. Valittujen tutkimuskohteiden tuli kuitenkin olla laajuudeltaan ja muilta ominaispiirteiltään lähes samankaltaisia, jotta kohteet olisivat vertailukelpoisia keskenään. Kaikki valitut referenssiobjektit olivat 1-2 rappuisia ja 6-7 kerroksisia asuinkäyttöön suunniteltuja pistekerrostaloja, jotka käsittivät vaihtelevasti yhteensä 34-38 asuinhuonetta. Näin ollen tutkittujen kohteiden ollessa laajuudeltaan ja muilta piirteiltään lähes yhdenmukaisia, voidaan niitä pitää täysin vertailukelpoisina toisiinsa nähden.

Paikalla rakennettujen kylpyhuoneiden analyysissä on laskennallisesti huomioitu seuraavat työvaiheet:

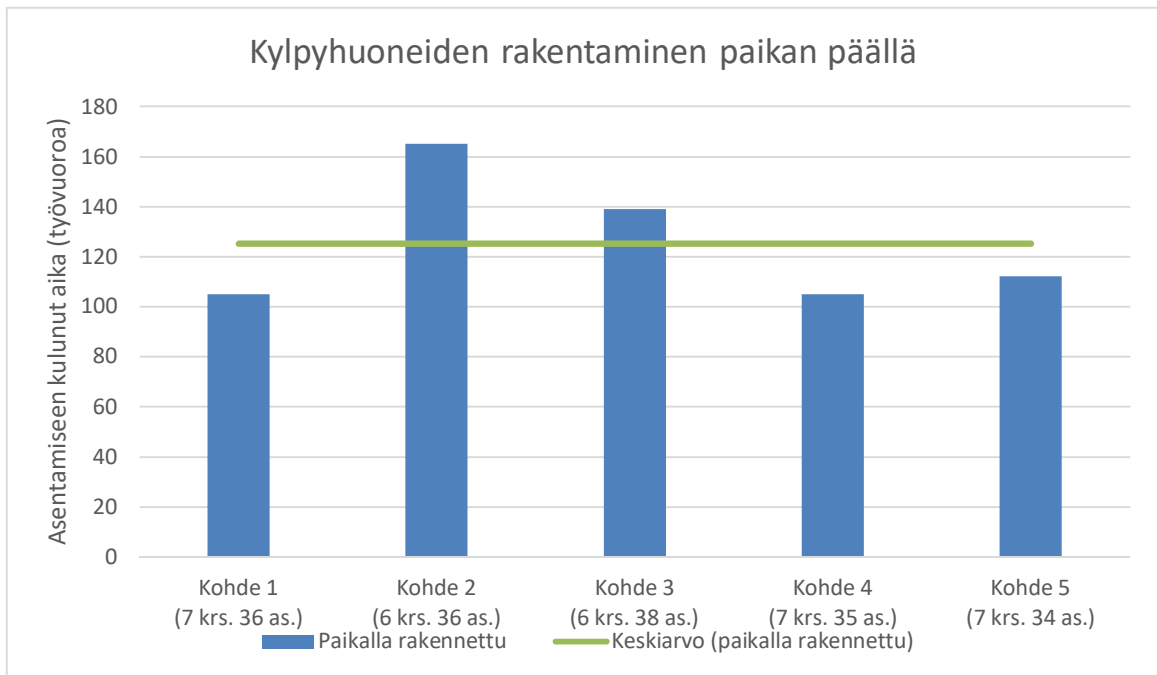
- seinien ja lattioiden vedeneristystyöt
- seinä- ja lattialaatoitustyöt
- kalustus- ja varustelutyöt
- saunojen runko- ja panelointityöt.

Paikalla rakennettujen kylpyhuoneiden analyysissä ei ole kuitenkaan voitu huomioida mahdollisia pohja- tai lattiavalutöitä eikä kylpyhuonetta ympäröivien kevyiden väliseinien rakennustyötä niiden ollessa täysin riippuvaisia valitusta runko- ja välipohjaratkaisusta. Paikalla rakennetun kylpyhuoneen työvaiheiden kestoissa ei ole myöskään voitu huomioida yksilöllisiä LVISA-asennuksia niiden epäluotettavan arvioinnin sekä epäluotettavan datan perusteella.

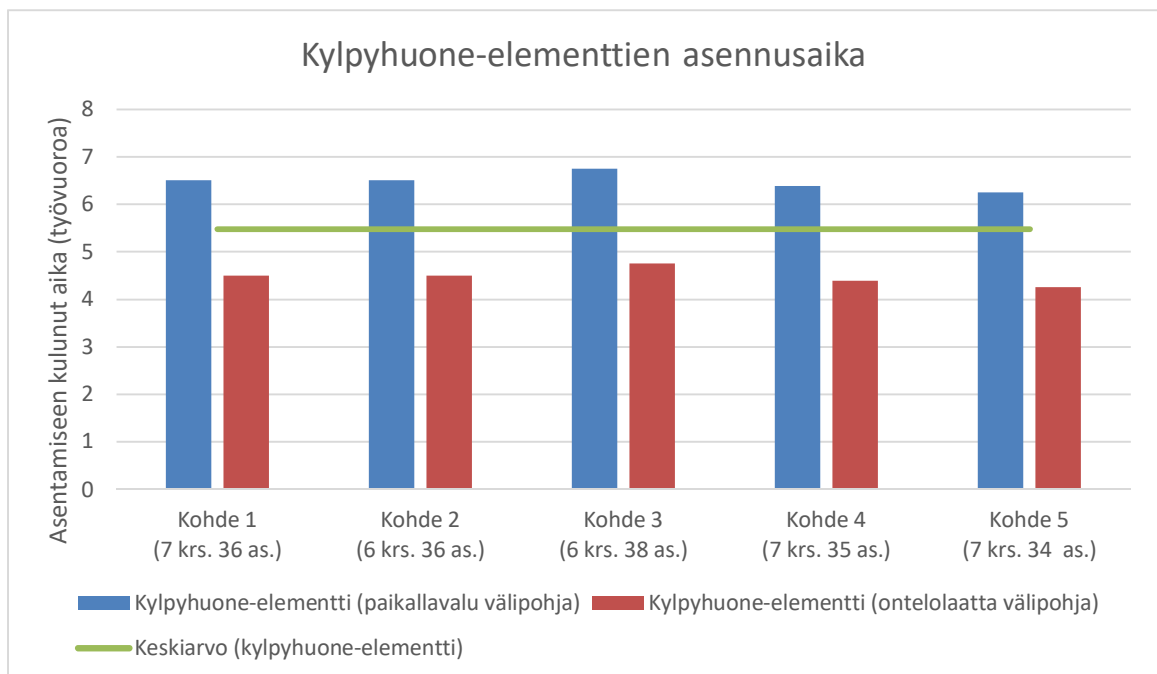
Kuvissa 28. ja 29. on kuvattu referenssihankkeiden kylpyhuoneiden asentamiseen kulunut kokonaisaika paikan päällä rakennettuna sekä kokonaisaika, mikäli kohteen kylpyhuoneet olisi asennettu käyttäen esivalmistettuja kylpyhuone-elementtejä. Kuvassa 28. on kuvattu edellä esitettyjen työvaiheiden laskennallisiin keskiarvoihin perustuen paikalla rakennettavien kylpyhuoneiden vaatima kohdekohtainen kokonaisasennusaika. Kuvasta 28. voidaan nähdä kolmen referenssihankkeen paikalla rakennettujen kylpyhuoneiden ajallisen keston olevan lähes identtinen, keskiarvon ollessa 125 työvuorota koko rakennushankkeen ajalta.

Kuvassa 29. on esitetty valittujen referenssihankkeiden kylpyhuone-elementtien asentamiseen kulunut kokonaisaika koko hankkeen ajalta erikseen paikallavalu- sekä ontelolaattavälipohjaratkaisussa. Kuvasta 29. voimme nähdä kokonaiskestojen olevan lähes yhteneviä riippuen rakennuksessa käytetystä välipohjaratkaisusta. Paikallavalu- ja ontelolaattarakennuksen välinen ero kylpyhuone-elementtien asennusajassa on kuitenkin noin kaksi työvuorota kuusi kerroksisessa pistekerrostalossa, molempien ratkaisujen keskiarvon ollessa yhteensä noin 5,5 työvuorota. Kuvassa 29. esitettyjen kestojen voidaan ajatella myös olevan lähes suoraan verrannollisia rakennuksen runkotyövaiheen keston pitenemiseen, kylpyhuone-elementtiasennuksen tuodessa lisätyövaiheita runkotyöskentelyyn. Näin ollen kuvassa 29. esitetyn keskiarvon perusteella voidaan päätellä kerroskohtaisen runkokiertoajan pitenevän keskimääräisesti noin yhdellä työvuorolla käytettäessä kylpyhuone-elementtejä. Yhden työvuoron mittaisen keston pitenemisen kerroskohtaisessa runkokiertoajassa voidaan kuitenkin ajatella olevan marginaalisen pieni verraten esivalmistamisesta saatavaan kokonaisuhyötyyn rakentamisen ajalta. Toisaalta korkeassa rakentamisessa jo yhden työvuoron mittainen runkokiertoajan keston piteneminen voi osoittautua merkittäväksi huomattavasti suuremman laajuuden ja rakennuksen poikkeuksellisen korkeuden takia. Esimerkiksi, 40-kerroksisessa rakennuksessa yhden työvuoron mittaisen keston piteneminen kerroskohtaisessa runkokiertoajassa voi kasvattaa koko runkotyövaiheen kestoa lähes kahdeksan viikkoa eli noin kahden kuukauden verran. Tämä toisaalta hidastaa seuraavien työvaiheiden alkamista, esimerkiksi sisävalmistustyövaihetta.

Paikalla rakennettavien kylpyhuoneiden ja esivalmistettujen kylpyhuone-elementtien ajallisten kokonaiskestojen ero kuvista 28. ja 29. laskettuna on noin 119,5 työvuorota eli noin 24 viikkoa, otettaessa huomioon yhteenlasketut kestot koko rakennushankkeen ajalta. Kestojen välistä erotusta ei voida kuitenkaan pitää suoraan verrannollisena rakentamisen läpimenoajan lyhentymiseen käytettäessä kylpyhuone-elementtejä, koska usein paikalla rakennettavien kylpyhuoneiden työvaiheet limittyvät muiden samanaikaisten työvaiheiden kanssa. Todellinen kylpyhuone-elementtien avulla saavutettava kokonaisläpimenoajan lyheneminen voidaan käytännössä mitata vain kokemusten perusteella. Näin ollen tämän hetkisen tutkimustiedon ja kokemusten perusteella kylpyhuone-elementtien tuoma ajallinen etu on todettu olevan vaihtelevasti noin kaksi-kolme kuukautta verrattuna kohteeseen, jossa kylpyhuoneet olisi rakennettu paikan päällä. Tämän hetkinen tutkimustieto rakentamisesta käytettävistä esivalmisteista ja niiden todennetuista hyödyistä on kuitenkin vielä verraten vähäistä, joten näiden tulosten pohjalta ei vielä suurempia johtopäätöksiä voida tehdä.



Kuva 28. Paikalla rakennettävien kylpyhuoneiden asentamiseen kulunut aika



Kuva 29. Kylpyhuone-elementtien asentamiseen kulunut aika

## 5 Tutkimustuloksien validointi Building 2030 työryhmässä

Suunnittelututkimukseen metodisesti tyypillisesti sisältyy tutkimuksessa havaittujen seikkojen ja tulosten validointi tutkimuksen pätevyyden ja luotettavuuden varmistamiseksi. Tutkimuksen tulosten validointi on avainasemassa tutkimustulosten käytännön soveltamisen helpottamiseksi. (Dresch et al. 2015.) Tämän työn tutkimuksessa hyödynnetyn suunnittelututkimus -metodin mukaisesti työn tutkimuksen luotettavuutta tuloksia arvioitiin tutkimuksen suorittaneen alustavien tulosten ja tutkijan muodostaman suosituksen perusteella. Tutkimuksen alustavia tuloksia ja tutkijan muodostamaa suositusta ja niiden luotettavuutta arvioitiin pienryhmätyöskentelyn avulla Aalto-yliopiston ja moniammatillisen Building 2030 jäsenten muodostamassa korkean rakentamisen työryhmässä.

Työryhmälle esiteltiin työn tausta, tutkimusongelmat ja tutkimuksessa käytetyt tutkimusmenetelmät sekä tutkimustulokset empiirisen ja kirjallisuustutkimuksen perusteella. Alustavien tulosten ja tutkimuksen esittelyn tavoitteena oli luoda työryhmälle kokonaiskuva tutkitusta ongelmasta, sen taustasta sekä saavutetuista tuloksista. Tutkimuksen tulosten arvioimiseksi ja tutkimuksen luotettavuuden toteamiseksi työryhmän tavoitteena oli osoittaa työssä tutkittujen kylpyhuone-elementtien eri asennusmenetelmien heikkoudet ja hyödyt sekä äänestää työryhmän mielestä parhaiten korkean rakentamisen kohteisiin soveltuvasta kylpyhuone-elementin asennusmenetelmästä. Näin tässä työssä saavutettuja tuloksia oli mahdollista verrata työryhmän saavuttamiin tuloksiin sekä saada tukea tutkimustulosten luotettavuuteen.

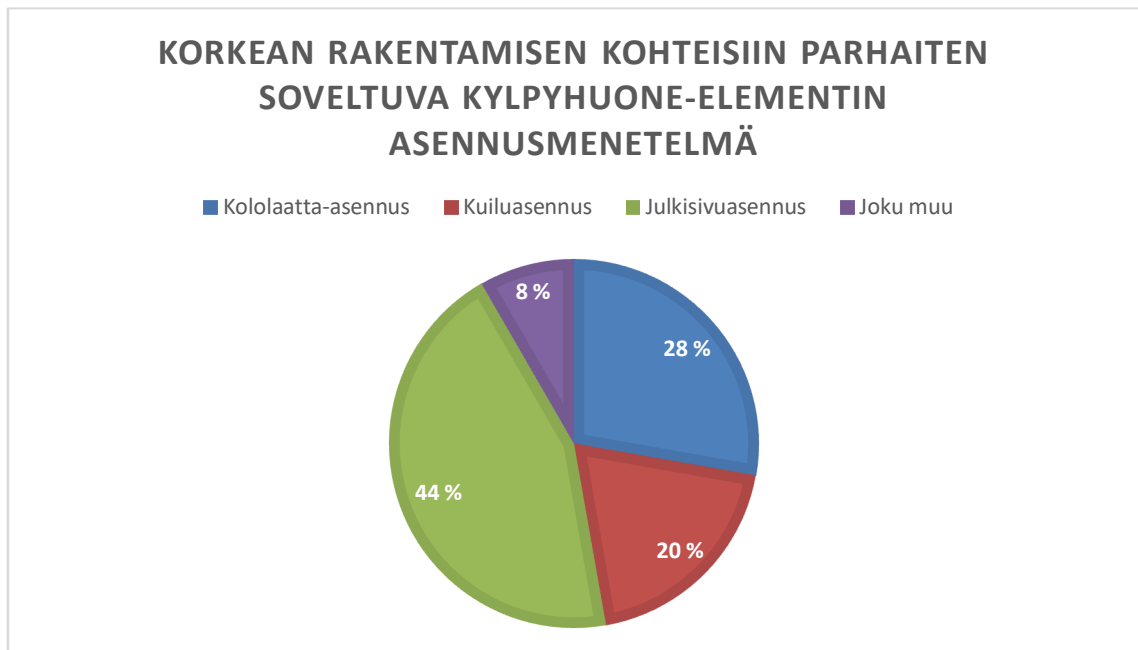
Aalto-yliopiston tutkijoista ja usean eri tekniikan alan yrityksen muodostama Building 2030 korkean rakentamisen työryhmän kokous pidettiin työn tekoajankohtana vallitsevan kansainvälisen pandemiatilanteen takia etäyhteyksien välityksellä. Työryhmän kokoukseen osallistui kokonaisuudessaan yhteensä 22 osallistujaa, joista 15 osallistui virtuaalisesti järjestetyn työpajan äänestykseen mukaan. Työpajassa työryhmälle esitettiin aluksi kaksi mielipidekysymystä, jossa kysyttiin työryhmän jäsenten yleistä mielipidettä molempien tahtituotannon sekä kylpyhuone-elementtien soveltumisesta korkean rakentamisen kohteisiin.



Kuva 30. Building 2030 työryhmän äänestyksen tulos tahtiaikataulun käytöstä korkeassa rakentamisessa

Työryhmän vastausten perusteella 100 % vastaajista oli sitä mieltä, että kylpyhuone-elementit soveltuvat hyvin korkean rakentamisen kohteisiin ja 93 % näki myös tahtiaikataulutuksen hyödyllisenä korkean rakentamisen kohteissa, 7 % vastatessa ”en osaa sanoa” (Kuva 30.).

Mielipidekysymysten jälkeen työryhmän jäsenten oli määrä nimetä kaksi positiivista ja kaksi negatiivista asiaa jokaisesta esittelystä kylpyhuone-elementin asennusmenetelmästä, jotka on esitetty taulukossa 11. Vastauksissa useinten esiintyi kylpyhuone-elementin asennusaika ja asennusmenetelmän yleisyys sekä rungon läpimenoaika ja paikallavalurakenteiden yhteensovittaminen. Taulukkoon 10. on kerätty kooste työryhmän työpajassa nimeämistä yleisimmistä positiivisista ja negatiivisista asioista. Työpajan lopuksi työryhmä äänesti vielä korkean rakentamisen kohteisiin parhaiten soveltuvasta kylpyhuone-elementin asennusmenetelmästä. Äänestys toteutettiin 2 + 1 äänestysmenetelmällä niin, että jokaisella työryhmän jäsenellä oli käytettävissään yksi kahden pisteen arvoinen ääni parhaaksi katsomalleen kylpyhuone-elementin asennusmenetelmälle sekä yksi yhden pisteen arvoinen ääni toiseksi parhaiten korkean rakentamisen kohteisiin soveltuvalla asennusmenetelmälle. Mikäli työryhmän jäsen ei valinnut asennusmenetelmää annetuista vastausvaihtoehdoista ja vastasi ”joku muu, mikä” oli hänen perusteltava vastauksensa tai esitettävä ehdotus muusta parhaaksi katsomastaan asennusmenetelmästä.



**Kuva 31. Building 2030 työryhmän äänestyksen tulos korkean rakentamisen kohteisiin parhaiten soveltuvasta kylpyhuone-elementin asennusmenetelmästä**

Työryhmän jäsenten vastausten jakauma korkean rakentamisen kohteisiin parhaiten soveltuvasta kylpyhuone-elementin asennusmenetelmästä on esitetty kuvassa 31. Työryhmän vastausten perusteella 44 % mielestä kylpyhuone-elementin julkisivuasennusmenetelmä olisi parhaiten soveltuva asennusmenetelmä korkean rakentamisen kohteisiin. Toisen sijan jakoivat lähes samoilla vastausmäärillä kylpyhuone-elementin kololaatta- ja kuiluasennus, kololaatta-asennuksen sijoittuessa toiseksi parhaaksi menetelmäksi 28 % vastausjakaumalla. 8 % vastaajista oli sitä mieltä, ettei yksikään esitetyistä kylpyhuone-elementin asennusmenetelmästä sopisi suoraan korkean rakentamisen kohteisiin ja, että korkeaan rakentamiseen

soveltuisi parhaiten sopiva yhdistelmä esitetyistä asennusmenetelmistä. Työryhmän virtuaalisessa työpajassa ehdotettiin myös kylpyhuone-elementin asentamista suoraan kantavan välipohjamaun levyrakenteen päälle ennen välipohjan betonointia, jolloin kylpyhuone-elementti voidaan yhdistää osaksi rakennuksen lattiarakennetta jo kantavan välipohjan betonointityön yhteydessä. Ratkaisu voisi edesauttaa myös kylpyhuone-elementin ja kuivien tilojen välillä esiintyvien kynnykskorkeuksien haasteiden vähenemistä. Toinen työpajassa ehdotettu ratkaisu kynnykskorkeuksien tasoittamiseen on myös niin kutsutun asennuslattian hyödyntäminen, jolloin kaikki katoissa tai koteloissa kulkeva tekniikka siirrettäisiin asennuslattian alle, vähentäen samalla alakattorakenteiden tarvetta. Asennuslattian hyödyntäminen edesauttaisi myös nykyään yleistyvän lattialämmityksen tai -viilennyksen asentamista.

**Taulukko 11. Building 2030 työryhmän nimeämät positiiviset ja negatiiviset asiat asennusmenetelmitäin**

MENETELMÄ	POSITIIVISET ASIAT	NEGATIIVISET ASIAT
Kololaatta-asennus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tuttu menetelmä</li> <li>Nopea ja yksinkertainen</li> <li>Useita toimijoita, vähemmän riskiä</li> <li>Valmiina rungon mukana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jälkivalut ja niiden kuivuminen</li> <li>Hidastaa runkokiertoa</li> <li>Paikallavalun yhdistämisen ongelmat</li> <li>Lattian korkojen kanssa usein ongelmia</li> <li>Yhteensovitusriskit</li> </ul>
Kuiluasennus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ei hidasta rungon nostamista</li> <li>Lohkoajattelu asentamisessa hyvä ratkaisu</li> <li>Ei ongelmia lattian korkojen kanssa</li> <li>Mahdollistaa paikallavalun yhdistämisen</li> <li>Selkeä asentaminen</li> <li>Soveltuu myös korjausrakentamiseen</li> <li>Asennuskuilun hyödyntäminen logistiikassa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Haastavaa korkeassa rakentamisessa</li> <li>Olosuhde- ja kosteudenhallinta</li> <li>Asennuskuilun työturvallisuus</li> <li>Asentaminen hidasta</li> </ul>
Julkisivuasennus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mahdollistaa rungon nopean nousumisen</li> <li>Samalla menetelmällä mahdollista nostaa kerroskohtaiset ilmanvaihtokoneet</li> <li>Muun logistiikan mahdollisuus ilman runkoasennuksen omaa nosturia</li> <li>Nousuhormit ja muu tekniikka mahdollista asentaa runkokierron yhteydessä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vieras tapa Suomessa</li> <li>Kerroskorkeusvaatimus</li> <li>Työturvallisuus rakennuksen julkisivun ollessa auki</li> <li>Vaatii kevytrakenteisen julkisivurakenteen</li> <li>Ei sovellu sokkeloiselle kerros-pohjalle</li> </ul>

## 6 Yhteenveto ja pohdinta

Esivalmistettujen tuotteiden käyttöaste rakennusteollisuudessa on lähivuosien aikana nous-  
 sut huomattavasti, etenkin tehdasvalmistettujen kylpyhuone-elementtien suosio on kasvanut.  
 Esivalmistettujen kylpyhuone-elementtien suosion kasvaessa myös niiden laajempi hyödyn-  
 täminen useiden eri runkorakennejärjestelmien kanssa on yleistynyt. Etenkin rakennuksissa,  
 joiden välipohjarakenteissa on hyödynnetty elementtivalmisteisia ontelolaattoja, on kylpy-  
 huone-elementtien käyttö ollut yleistä. Nytemmin paikallavalu- ja korkean rakentamisen  
 vähitellen yleistyessä, kylpyhuone-elementtejä on haluttu hyödyntää myös näissä hieman  
 haasteellisimmissa kohteissa. Tämä onkin osaltaan johtanut kylpyhuone-elementtien eri-  
 asennusmenetelmien kokeilemiseen sekä eri menetelmien yhteensopivuuden tutkimiseen  
 korkean rakentamisen kanssa. Rakennusteollisuudessa useat alan eri yritykset ovat toteutta-  
 neet omaa kehitystyötään omilla liiketoiminta-alueillaan ja pyrkineet saavuttamaan etua esi-  
 valmistamisen ja tehdasvalmistettujen kylpyhuone-elementtien avulla. Rakennusalalla toi-  
 mivat yritykset ovat pyrkineet tehostamaan toimintaansa Lean-filosofian avulla ja kiinnittä-  
 vät nykyään yhä enemmän huomiota rakentamisen läpimenoaikaan ja hukan minimoimi-  
 seen. Tähän yhä useampi rakennusteollisuuden toimija onkin ottanut pilotoitavakseen Lean-  
 filosofiasta jalostetun tahtituotantoajattelun, jonka avulla aikataulusuunnittelusta on pyritty  
 luomaan tavoitteellisempaa ja läpinäkyvämpää. Tahtiajattelun avulla on pyritty työvaiheiden  
 tehokkaaseen läpivientiin poistaen ylimääräistä tyhjää aikaa (hukkaa) eri prosessien väliltä  
 sekä ohjaamaan tuotantoa yhä proaktiivisemmin.

### **Tutkimusmenetelmän soveltuvuus työn tavoitteiden saavuttamisessa**

Tämän työn pääasiallisena tavoitteena oli tutkia esivalmistettujen kylpyhuone-elementtien  
 nykytilannetta ja niiden käyttöä Suomessa sekä kylpyhuone-elementtien asentamisen eri  
 asennus- ja logistiikkamenetelmiä. Tutkimuksen päätavoitteena oli pyrkiä löytämään kor-  
 kean rakentamisen kohteisiin parhaiten soveltuva kylpyhuone-elementtityyppi sekä siihen  
 soveltuva asennusmenetelmä. Tutkimuksen aikana tutkittiin toissijaisesti myös tahtiajattelun  
 soveltuvuutta esivalmistamisen kanssa ja kuinka esivalmistettujen kylpyhuone-elementtien  
 hyödyntäminen mahdollisesti vaikuttaisi tahtiaikataulusuunnitteluun. Tutkimuksen metodi-  
 sena lähestymistapana käytettiin Design Science -menetelmää eli niin kutsuttua suunnittelu-  
 tutkimusta. Vaikka tutkimuksen kulku muistuttaakin läheisesti myös tapaustutkimuksen  
 piirteitä, tutkimuksen alussa todettiin, että suunnittelututkimuksen avulla on kuitenkin luon-  
 tevampaa muodostaa oletuspohjainen hypoteesi tulevalle empiiriselle tutkimukselle aiem-  
 min tutkitun tiedon pohjalta. Suunnittelututkimus -metodina mahdollisti myös luontevam-  
 min aiempien tutkimustulosten ja alustavan hypoteesin vertailun yhdessä empiirisen tutki-  
 muksen aikana löydettyjen seikkojen kanssa. Koska tutkimuksen tarkoituksena oli löytää  
 parhaiten korkean rakentamisen kohteisiin soveltuva kylpyhuone-elementin tyyppi ja asen-  
 nusmenetelmä sekä muodostaa suositus korkean rakentamisen kohteisiin parhaiten soveltu-  
 vasta asennusmenetelmästä, tällöin ratkaisuehdotuksen tai suosituksen muodostamiseen pyr-  
 kiviä suunnittelututkimus oli luonnollisin metodinen lähestymistapa tutkimuksen toteuttami-  
 selle.



## 6.1 Tulosten arviointi ja pohdinta

Työn aikana tutkittiin ja vertailtiin kolmea eri kylpyhuone-elementin asennusmenetelmää, perinteistä kololaatta-asennus-, kuiluasennus- ja julkisivuasennusmenetelmää. Tutkimuksen perusteella näitä kolmea menetelmää voitiin pitää yleisimmin käytettyinä kylpyhuone-elementin asennusmenetelminä. Tutkimuksen aikana pyrittiin arvioimaan tutkittujen menetelmien soveltuvuutta korkean rakentamisen kohteisiin sekä kerätä kokemuksia asennusmenetelmien käytöstä eri rakennejärjestelmien kanssa. Tutkimuksen aikana kerätyn datan avulla oli mahdollista arvioida jokaisen tutkitun menetelmän soveltuvuutta korkean rakentamisen kohteisiin. Kerätyn datan perusteella oli mahdollista todeta jokaisen kolmen eri asennusmenetelmän soveltuvan jokseenkin korkean rakentamisen kohteisiin. Todettakoon kuitenkin, että jokaisessa menetelmässä on korkean rakentamisen näkökulmasta useita erinäisiä haasteita kuin myös mahdollisesti saavutettavia etuja.

Perinteisemmän kololaatta-asennuksen merkittävimpinä etuina on sen asennusnopeus verrattuna muihin menetelmiin sekä sen suhteellisen vähäinen vaikutus rakennuksen runkorakennejärjestelmän suunnitteluun. Tosin korkean rakentamisen aiheuttamat vaikutukset rakennuksen rungon suunnitteluun vaikuttavat myös merkittävästi kololaatta-asenteisen kylpyhuone-elementin asentamiseen. Korkeissa rakennuksissa usein hyödynnetyt paikallavaluratkaisut, kuten massiivivälipohja aiheuttavat haasteita kololaatta-asenteisen kylpyhuone-elementin vaatimalle rakennuksen välipohjaan toteutettavalle syvennykselle. Syvennyksen toteuttaminen muottitekniikalla paikalla valettuun kantavaan välipohjaan on monivaiheinen ja aikaa vievä työvaihe, joka voi muodostua runkotyötä tahdistavaksi tekijäksi aiheuttaen koko runkotyövaiheen läpimenoajan pitenemistä. Tähän ratkaisuna voisi olla esimerkiksi esivalmistetun pohjalaatan hyödyntäminen kylpyhuone-elementin alla, jonka avulla runkotyövaiheen runkokiertoaikaa voitaisiin mahdollisesti lyhentää. Toisaalta kylpyhuone-elementin asentamista kantavan välipohjan muottityön yhteydessä suoraan muottilevyjen päälle voitaisiin myös harkita yhtenä vaihtoehtona. Tällöin esivalmistettu kylpyhuone-elementti ja sen pohjalaatta olisi mahdollista integroida yhdeksi yhtenäiseksi rakenteeksi jo kantavan välipohjan muottityön yhteydessä, jolloin myös jälkivalettavat kylpyhuone-elementin reunavalut jäisivät pois. Edellä mainittua ehdotusta ei ole kuitenkaan vielä rakennusteollisuudessa tarkemmin tutkittu, eikä sen toteutuskelpoisuutta ole tarkemmin arvioitu.

Vartenotettavana vaihtoehtona voidaan ajatella myös kololaattatyypin kylpyhuone-elementin asentamista soveltaen julkisivuasennusmenetelmää. Korkean rakentamisen ja runkotyövaiheen optimoimisen näkökulmasta kololaattatyypin kylpyhuone-elementin asentaminen käyttämällä julkisivuasennusmenetelmää voisi tuoda merkittävä hyötyä runkotyövaiheen ajallisessa optimoimisessa. Korkean rakentamisen kohteissa runkotyövaiheen läpimenoaikaan ja työvaiheiden tehokkaaseen toteuttamiseen tulee kiinnittää erityisesti huomiota poikkeuksellisen kerroslukumäärän takia verrattaessa normaaliin rakennustuotantoon. Jo yhden päivän viive rakennuksen runkokiertoajassa voi tuoda lähes kaksi kuukautta lisäkestoä runkotyövaiheen läpimenoaikaan ajatellessa esimerkiksi 40-kerroksista rakennusta. Julkisivuasennusmenetelmän puolesta puhuu myös korkeassa rakentamisessa yleensä hyödynnetyt pilari-laatta runkorakennusratkaisut, jolloin rakennuksen julkisivut ovat kevytrakenteisia eikantavia seiniä, jotka voidaan asentaa heti runkotyövaiheen perään. Näin ollen kylpyhuone-elementtien asentaminen korkean rakennuksen julkisivun kautta, ennen varsinaisen julkisivun asentamista mahdollistaisi helpommin runkotyövaiheen optimoimisen ja työvaiheen keston minimoimisen.

Kylpyhuone-elementtien asentaminen julkisivun kautta ei kuitenkaan yksinomaan ole riittävä toimenpide korkean rakennuksen runkotyövaiheen keston minimoimiseen. Sen lisäksi on tehtävä muita merkittäviä ratkaisuja esimerkiksi rakennustyömaan materiaalitoimituksissa ja tehostaa niihin liittyvää työmaalogistiikkaa. Materiaalitoimitukset, rakennustyömaan puhtaanapito ja työmaalogistiikan hoitaminen esimerkiksi iltaisin tai viikonloppuisin ei aiheuttaisi häiriötä muihin käynnissä oleviin työvaiheisiin, eikä tällöin logistiikassa tarvittava rakennustyömaan nostokapasiteetti muodostuisi rakennustyömaata tahdistavaksi tekijäksi. Toisaalta rakennuksen rungon sisälle toimitettavia materiaalitoimituksia voitaisiin hoitaa samassa yhteydessä kylpyhuone-elementtien julkisivuasennuksessa käytettävällä nostokalustolla. Julkisivuasennusmenetelmän käyttö muualla maailmassa, esimerkiksi Amerikassa on jo huomattavasti yleisempää kuin muiden asennusmenetelmien käyttö. Osittain tähän saattaa vaikuttaa toisenlainen rakennustapa esimerkiksi rakennuksen runkorakennjärjestelmiin ja rakennuksen LVISA-järjestelmiin liittyen. Tämä tuleekin ottaa huomioon julkisivuasennusmenetelmää sovellettaessa suomalaiseen rakennustapaan ja -tuotantoon.

Julkisivuasennusmenetelmän lisäksi kylpyhuone-elementtien kuiluasennus voisi olla myös vartenotettava asennusmenetelmä korkean rakentamisen kohteisiin. Kuiluasennus poikkeaa menetelmänä kuitenkin huomattavasti kololaattamenetelmästä ja toisaalta myös julkisivuasennusmenetelmästä. Toisaalta kuiluasennusmenetelmä voisi tarjota monia muita hyviä puolia, joita muut menetelmät eivät pysty tarjoamaan. Kylpyhuone-elementtien asennuskuilu voi toimia esimerkiksi korkean rakennuksen runkoa jäykistävänä rakenteena sekä sitä voidaan hyödyntää monin eri tavoin ennen kylpyhuone-elementtien asennusta. Asennuskuilua voidaan käyttää esimerkiksi työmaa-aikaisessa materiaalien pystylogistiikassa, puhtaanapidossa sekä toisaalta kuilua voidaan käyttää yhtenä isona tuuletuskanavana esimerkiksi rakennuksen rakenteiden kuivatusta varten. Asennuskuilun työmaa-aikaiseen käyttöön liittyy kuitenkin joitakin merkittäviä riskejä, kuten työmaa-aikainen paloturvallisuus ja palo-osastointi, joka tulee kyseeseen korkeammissa rakennuskohteissa. Myös asennuskuilun työnaikainen työturvallisuus ja kosteudenhallinta voi aiheuttaa haasteita, jotta esimerkiksi sadeveden johtuminen asennuskuilun kautta rakennuksen sisälle saadaan estettyä. Kuiluasennusmenetelmän hyödyntämisestä korkean rakentamisen kohteissa, haasteeksi voi muodostua myös kylpyhuone-elementtien asennusnopeus. Yhden kuiluasenteisen kylpyhuone-elementin asentaminen kestää noin tunnin verran ottaen huomioon siihen liittyvät valmistelut työvaiheet. Kerroskorkeuden kasvaessa kylpyhuone-elementin nostaminen rakennuksen vesikaton korkeudelle vie aikaa ja toisaalta elementin laskeminen kuiluun sen sijaintikerrokseen. Tätä haastetta voidaan tosin osittain ratkoa jakamalla rakennusalue sopivankokoisiin asennuslohkoihin pysty- ja vaakasuunnassa niin, että kylpyhuone-elementtien asentaminen tehtäisiin esimerkiksi viiden-kymmenen kerroksen välein, jonka jälkeen asennuskuilun päälle tehtäisiin väliaikainen vesitiivis rakenne. Näin alemmat kerrokset on mahdollista saada vesitiiviiksi jo ennen rakennuksen varsinaisen harjakorkeuden saavuttamista. Tämä mahdollistaa myös muiden työvaiheiden aloittamisen, esimerkiksi sisätyövaiheen aloittamisen ennen rakennuksen rungon tai vesikaton valmistumista. Etenkin korkean rakentamisen kohteissa tämän tyyppisellä asennusalueiden lohkokonektiikalla ja tehokkaalla aikataulun hallinnalla on mahdollista saavuttaa merkittävä etua rakentamisen kokonaisläpimenoaikaan.

Aikatauluhallinnan tueksi voidaan ottaa käyttöön esimerkiksi Lean-filosofiasta johdettu tahti-aikataulu, jonka avulla työvaiheiden läpimenoaika pyritään tehostamaan järjestämällä työvaiheet peräkkäisiksi tehtäviksi ja mitoittamalla niiden kestot samanpituisiksi. Tahti-aikataulu on yksi osa uutta tuotannonohjaustapaa tahtituotantoa. Tahtituotannon tavoitteena on

tehdä tuotannosta läpinäkyvämpää ja enemmän prosessimaisempaa toimintaa vähentäen turhaa hukkaa läpi koko tuotantoprosessin. Aikaisemmissa tutkimuksissa on jo todennettu tahtiaikataulun avulla saavutettuja hyötyjä projektin ajallisessa kestossa. Kokemuksia ei voida vielä pitää kuitenkaan itsestäänselvyytinä, kokemusten ollessa vielä tapauskohtaisia. Rakennusteollisuudessa täytyy myös ottaa huomioon, että jokainen projekti on aina yksilöllinen ja ei voida yksiselitteisesti todeta, että satunnaisesti tutkitussa kohteessa todennetut löydökset olisivat suoraan verrannollisia muihin tulevaisuudessa toteutettaviin projekteihin, ellei projektit ole muuten laajuudeltaan tai muilta piirteiltään verrattavissa toisiinsa, näin ollen tapauskohtaista harkintaa on käytettävä. Tahtituotannon ja esivalmistamisen yhdistämisestä on vielä verraten vähän tutkimustietoa, joten näiden kahden menetelmän yhdistämisestä tai niiden yhteisvaikutuksista syntyvien synergioiden vaikutuksia rakentamisen läpimenoaikaan on vielä vaikeaa arvioida.

### **Tutkimuksen onnistuminen ja tuloksien luotettavuus**

Tutkimusta voidaan pitää onnistuneena, mikäli tutkimukselle asetetut tavoitteet on saatu täytettyä sekä kun työn tulokset vastaavat tutkimussuunnitelmassa asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Tutkimuksen suoritushetkellä kansainvälisesti maailmalla vallinnut pandemiatilanne aiheutti haasteita empiirisen tutkimuksen haastatteluiden ja vierailujen toteuttamiseen. Haasteet pystyttiin ratkomaan kuitenkin kohtalaisesti käyttäen etäyhteyksiä ja muuta kansainvälisesti julkisesti saatavilla olevaa materiaalia tutkimuksen tukena. Tämän työn pääasiallisena tavoitteena oli tutkia esivalmistettujen kylpyhuone-elementtien eri asennusmenetelmiä ja niiden soveltuvuutta korkean rakentamisen kohteisiin sekä kylpyhuone-elementtien käytön tuomia vaikutuksia rakentamisen kokonaisläpimenoaikaan. Toissijaisena tutkimuskohteena oli tutkia kirjallisuuden perusteella tahtituotanto tuotannonohjausmenetelmän soveltuvuutta esivalmistamisen ja korkean rakentamisen kanssa. Tutkimustuloksien odotettiin muodostavan perusteellisen kokonaiskuvan tällä hetkellä yleisesti käytössä olevista kylpyhuone-elementtien asennusmenetelmien hyödyistä ja haasteista sekä eri asennusmenetelmien käytön vaikutuksista rakentamisen kokonaisläpimenoaikaan. Tutkimuksen lopuksi tavoitteena oli muodostaa suunnittelutieteen tutkimukselle tavanomaisella tavalla suositus korkean rakentamisen kohteisiin parhaiten soveltuvasta kylpyhuone-elementtien asennusmenetelmästä.

Tutkijan oman näkemyksen mukaan ennen varsinaisen tutkimuksen aloitusta laaditulla tutkimussuunnitelmalla pystyttiin luomaan looginen suunnitelma tutkimuksen etenemiselle sekä asettamaan selkeät tavoitteet tutkimukselle alkuhaasteiden jälkeen. Tutkimuksen aikana tutkimussuunnitelmaa jouduttiin hieman tarkentamaan sekä muotoilemaan asetettuja tutkimuskysymyksiä uudelleen pääasiallisen tavoitteen pysyessä kuitenkin lähes muuttumattomana. Tutkimuksen suorittamisen aikana tutkimusongelmat ja aukko korkean rakentamisen sekä kylpyhuone-elementtien eri asennusmenetelmien liittyvästä tutkimuksesta oli selvästi tunnistettavissa. Tutkijan näkemyksen mukaan tällä tutkimuksella on osittain mahdollista paikata olemassa olevan aiemman tutkimustiedon puutetta liittyen erityisesti kylpyhuone-elementtien eri asennusmenetelmien hyödyntämiseen sekä kylpyhuone-elementtien käytön vaikutuksista korkean rakentamisen läpimenoaikaan. Tutkimuksen kirjallinen osuus vastaa tutkimukselle asetettuihin tavoitteisiin, joka toimi tukena empiirille tutkimukselle sekä tutkimuskysymyksiin vastaamiseen. Tutkijan oman näkemyksen mukaan työn tutkimusta voidaan pitää onnistuneena tutkimuksen aikana kansainvälisesti vallinneesta pandemiatilanteesta huolimatta lopullisten tutkimustulosten vastatessa kohtalaisen hyvin asetettuihin tutkimuskysymyksiin.

Tutkijan muodostamia tuloksia ja näkemyksiä voidaan pitää lähes yhtä luotettavina kuin tutkimuksen lopullisia tuloksia, onnistuneen tutkimustulosten validointiprosessin takia. Validointiprosessissa saatujen tuloksien sekä tuloksissa esiintyneen vähäisen hajonnan perusteella tutkimuksen tuloksia voidaan pitää luotettavina tutkimustulosten validointiryhmän päätyessä lähes samoihin päätelmiin tutkijan kanssa. Vastauksissa esiintyneen pienen hajonnan voidaan todeta johtuneen käsiteltävän asian uutuudesta ja käytännön kokemusten puutteesta. Seuraava askel olemassa olevan tutkimustiedon sekä käytännön kokemusten puutteen paikkaamiseksi onkin tässä työssä tutkittujen kylpyhuone-elementin eri asennusmenetelmien käytännön hyötyjen todentaminen tulevissa korkean rakentamisen kohteissa. Näin toimimalla voimme saada tekniikan alalle arvokasta kokemuseräistä tietoa kylpyhuone-elementin ja sen asennusmenetelmien todellisesta soveltuvuudesta ja niiden tuomista vaikutuksista korkean rakentamisen kohteissa.

### **Tutkimuksen rajoitteet ja mahdollinen jatkotutkimus**

Tutkimuksen kohteeksi valikoituneet kolme kylpyhuone-elementtien asennusmenetelmää antavat hyvän yleiskuvan kylpyhuone-elementin käytön tuomista käytännön hyödyistä ja mahdollisista haasteista, joita korkea rakentaminen ja siinä usein hyödynnetyt runkorakenneratkaisut saattavat aiheuttaa kylpyhuone-elementtien käytölle. Työssä esitellyt asennusmenetelmät ovat kuitenkin vain osa mahdollisuuksista kuinka esivalmistettuja kylpyhuone-elementtejä on mahdollista hyödyntää. Suomessa on tällä hetkellä vain muutama toimija, joka valmistaa kylpyhuone-elementtejä rakennustuotannon käyttöön, joten markkinoilla olevissa ratkaisuisa voi näkyä selvästi valmistajien intressit liittyen kylpyhuone-elementtien kehitykseen tai niiden ominaisuuksiin. Tutkimuksen aikana suoritettujen haastattelujen vastauksissa voi mahdollisesti myös esiintyä haastateltavien osapuolien henkilökohtaisia tai haastateltavan organisaatioon liittyviä ominaispiirteitä tai mieltymyksiä. Tutkimuksen aikana vallinnut maailmanalajuinen pandemiatilanne aiheutti myös haasteita riittävälle otannalle haastateltavista. Pandemiatilanne aiheutti myös sen, ettei kohdevierailuja tai muita tutkimusmatkoja niin kotimaahan taikka muualle maailmalle ei voitu järjestää. Näin ollen tutkimuksessa käytetty aineisto nojaa pitkälti olemassa olevaan tutkimustietoon tai muuhun julkisesti saatavilla olevaan kansalliseen ja kansainväliseen tietoon. Toisaalta nykyään kehittyneet etäyhteydet mahdollistivat joitakin haastatteluja, joiden avulla kylpyhuone-elementtien asennusmenetelmien käytöstä oli mahdollista kerätä kokemuksia ja saada kohdevalokuvia. Kylpyhuone-elementin julkisivuasennusmenetelmästä ei tutkimuksen aikana kuitenkaan saatu haastattelutuloksiin perustuvia kokemuksia asennusmenetelmän käytön harvinaisuuden takia. Näin ollen julkisivuasennusmenetelmän kuvaus ja menetelmän analysointi perustuu pitkälti kirjoittajan näkemyksiin sekä muuhun julkisesti saatavilla oleviin videodokumentteihin ja muuhun yleistettävään tietoon.

Korkean rakentamisen ollessa vielä suhteellisen vähäistä Suomessa ja muualla Pohjoismaissa, on siitä saatava tutkimustieto ja kokemukset vielä melko vähäisiä. Tulevaisuudessa korkean rakentamisen yleistyessä, saamme varmasti enemmän tietoa korkean rakentamisen käytännön kokemuksista, sen erityisistä haasteista, eduista sekä esivalmistamisen ja tahtituotannon mahdollisesti tuomista eduista. Etenkin tahtituotannon ja esivalmistamisen hyödyntämisestä yhdessä on vielä verraten vähän aikaisempaa tutkimustietoa. Akateemisesti mitattua ja todistettua tarkkaa toteumatietoa ei ole myöskään vielä saatavilla kylpyhuone-elementin todellisista vaikutuksista rakentamisen läpimenoaikaan. Kylpyhuone-elementin eri asennustapojen yhtenäistämistä rakennusteollisuudessa ja esivalmistamiseen liittyvien vakiintuneiden toimintatapojen vakiointia voisi myös tulevissa tutkimuksissa pohtia.

## 6.2 Tutkimuksen kontribuutio

Tieteellisestä näkökulmasta tämän tutkimuksen kontribuutio oli kartoittaa esivalmistettavista kylpyhuone-elementeistä, niiden asennusmenetelmistä ja esivalmistamisen ja tahtituotannon käytöstä yhdessä löytyvää tieteellistä tutkimustietoa. Tutkimuksessa kartoitettiin kansainvälisesti kohteita, joissa oli hyödynnetty esivalmistettuja kylpyhuone-elementtejä sekä raportoitiin kohteissa esivalmistamisen tai tahtituotannon avulla saavutettuja etuja. Tutkimuksen perusteella tunnistettiin useita positiivisia tekijöitä, joihin esivalmistamisella oli vaikutuksia tai mitä sen avulla voidaan saavuttaa.

Liiketaloudellisesta näkökulmasta tutkimuksen kontribuution voidaan todeta olevan kattavampi. Tutkimuksen aikana kirjallisuuden ja haastatteluiden avulla onnistuttiin kartoittamaan kattavasti kylpyhuone-elementin kololaatta-, kuilu- ja julkisivuasennusmenetelmän, käyttökokemuksia, käytännön haasteista sekä kunkin menetelmän etuja korkean rakentamisen näkökulmasta. Tämä on arvokasta tietoa rakennusteollisuudessa toimiville rakennusliikkeille, jotka hyödyntävät tuotannossa esivalmistettuja kylpyhuone-elementtejä. Näin ollen rakennusliikkeillä on saatavilla enemmän tietoa kylpyhuone-elementin eri asennusmenetelmien hyödyistä ja haasteista ja pystyvät näin paremmin arvioimaan, minkälaisiin hankkeisiin on mahdollista soveltaa kutakin asennusmenetelmää ja kuinka menetelmä sopii heidän tuotantotaapaansa. Käytännön kokemukset auttavat erityisesti esivalmistettujen kylpyhuone-elementtien hyödyntämisen päätöksenteossa sekä arvioimaan kylpyhuone-elementeistä saatavia kokonaisyötyjä hankekohtaisesti.

## 6.3 Johtopäätökset

Kirjoittajan näkökulmasta ja vastauksena ensimmäiseen tutkimuskysymykseen korkean rakentamisen kohteisiin parhaiten soveltuvasta kylpyhuone-elementin asennusmenetelmästä ei ole yksiselitteistä vastausta. Kuten aiemmin todettu, kutakin tutkittua asennusmenetelmää voidaan pitää jokseenkin soveltuvana korkean rakentamisen kohteisiin tietyin rajoituksin. Jokaisella menetelmällä on omat hyötynsä ja haasteensa, joita tulee analysoida aina kohdekohtaisesti kokonaisyötyä arvioiden. Kylpyhuone-elementin asennusmenetelmää valittaessa on arvioitava kohdekohtaiset erityispiirteet ja esivalmistamisesta saatavat kokonaisyödyt. Esivalmistamisen kokonaisyötyjen arvioimisen jälkeen hyötyjä tulisi verrata esimerkiksi kylpyhuone-elementin käytön aiheuttamia vaikutuksia rakentamisen runkotyövaiheen kestoon ja tätä kautta vaikutuksia rakentamisen kokonaisläpimenoaikaan. Kuten mainittu, korkeassa rakentamisessa työvaiheiden ja rakentamisen kokonaisläpimenoaikaan tulee kiinnittää enemmän huomiota rakennuksen poikkeuksellisen korkeuden ja sen tuoman laajuuden takia. Tämän vuoksi esivalmistettujen tuotteiden hyödyntämistä korkean rakentamisen kohteissa voidaan pitää järkevänä, mikäli esivalmistamisesta saatavat kokonaisyödyt ovat suuremmat kuin esivalmistamisen tuomat rajoitteet tai esivalmistamisen mahdollisesti aiheuttamat lisäkustannukset tai työn lisääntyminen muissa työvaiheissa.

Toimiva ja tehokas logistiikka on myös otettava huomioon korkean rakentamisen tuotannon suunnittelussa, jottei logistiikka tai materiaalityöt muodostuisi muita työvaiheita tahdistaviksi tekijöiksi. Esivalmistettujen kylpyhuoneiden hyödyntäminen toisaalta vähentää materiaalityöitä, kun useista eri tuotteista koottu kylpyhuone on esivalmistettu tehtaalla, jolloin täysin valmis kylpyhuone voidaan toimittaa asennuskohteeseen yhtenä toimi-

tuksena. Edellä kuvattujen seikkojen takia korkean rakentamisen kohteisiin soveltuvalta kylpyhuone-elementin asennusmenetelmältä vaaditaan siis vähäisiä vaikutuksia rakennuksen rungon suunnitteluun tai muihin työvaiheisiin ja etenkin valitun asennusmenetelmän on mahdollistettava runkotyövaiheen keskeytyksetön toteutus. Kylpyhuone-elementin käyttö korkeassa rakentamisessa ei saa kohtuuttomasti vaikuttaa muihin työvaiheisiin lisääntyvänä työmääränä taikka aiheuttaa muuta häiriötä rakennuksen rungon nousemiselle. Myös rakentamisen aikainen kosteudenhallinta tulee ottaa huomioon hyödynnettäessä kylpyhuone-elementtejä korkean rakentamisen kohteissa. Näin siksi, että mikäli korkeassa rakentamisessa kylpyhuone-elementit asennettaisiin normaaliin tapaan kerroskohtaisen runkokierron yhteydessä, tällöin ensimmäiseksi asennetut alimman kerroksen kylpyhuoneet voivat pahimmillaan olla alttiina muuttuville sääolosuhteille jopa vuoden ajan, ennen kuin rakennuksen runkotyövaihe ja vesikattotyöt saadaan päätökseen.

Tutkimustulosten ja edellä kuvattujen seikkojen takia sekä korkean rakentamisen runkotyövaiheen keston minimoimiseksi kirjoittajan suositus parhaiten soveltuvasta kylpyhuone-elementin asennusmenetelmästä korkean rakentamisen kohteisiin on kylpyhuone-elementin julkisivuasennusmenetelmä. Toisena vartenotettavana vaihtoehtona korkean rakentamisen kohteisiin voidaan pitää kylpyhuone-elementtien kuiluasennusmenetelmää. Kuiluasennusmenetelmän soveltaminen korkean rakentamisen kohteisiin vaatii kuitenkin vielä jatkotutkimusta.

## Lähdeluettelo

- Aattela, E. (2015) Korkean rakennuksen painesuhdeselvitys: Case Tampereen tornihotelli. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu, LVI-talotekniikka. Tampere. 47 s.
- Ahti-Virtanen, J. (2019) Suomessa korkea rakentaminen on maltillista. Projektuutiset. [Verkkolehti]. PU 2019. PU 5 – 2019. [Viitattu 21.1.2020]. Saatavissa: <https://www.projektuutiset.fi/suomessa-korkea-on-maltillista/>.
- Antillón, E. I., Morris, M. R. & Gregor, W. (2014) A Value-Based Cost-Benefit Analysis of Prefabrication Processes in The Healthcare Sector: A Case Study. Proceedings IGLC-22, June 2014. [Viitattu 23.1.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).
- Baldwin, C.Y. & Clark, K.B. (1997) Managing in an age of modularity. Harvard business review, 75 (5), 84-93. [Viitattu 26.7.2020].
- Baldwin, A., Poon, C., Shen, L., Austin, S. & Wong, I. (2006) Designing Out Waste in High-Rise Residential Buildings: Analysis of Precasting and Methods and Traditional Construction. Proceedings of International Conference on Asia-European Sustainable Urban Development, Chongqing, China, 4-6 April 2006. [Viitattu 23.1.2020].
- Binninger, M., Dlouhy, J. & Haghsheno, S. (2017) Technical Takt Planning and Takt Control in Construction. Proceedings IGLC, July 2017, Heraklion, Greece. [Viitattu 4.3.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).
- Binninger, M., Dlouhy, J., Müller, M., Schattmann, M. & Haghsheno, S. (2018) Short Takt Time in Construction – A Practical Study. Proceedings IGLC-26, July 2018, Chennai, India. [Viitattu 4.3.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).
- Bonava Suomi Oy. (2020) Kylpyhuone-elementti vuodelta 1962. [Viitattu 27.1.2020]. Saatavissa: <https://www.bonava.fi/tietoa-meista/historiamme>.
- Chauhan, K., Peltokorpi, A., Seppänen, O. & Berghede, K. (2018) Combining Takt Planning with Prefabrication for Industrialized Construction. Proceedings IGLC-26, July 2018, Chennai, India. [Viitattu 11.3.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).
- Chauhan, K., Peltokorpi, A., Lavikka, R. & Seppänen, O. (2019) Deciding Between Prefabrication and On-site Construction: A Choosing-by-Advantage Approach. Proceedings IGLC-27, July 2019, Dublin, Ireland. [Viitattu 28.2.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).
- Da Rocha, C. G., Formoso, C. T. & Tzortzopoulos, P. (2015) Adopting Product Modularity in House Building to Support Mass Customisation. Sustainability 2015, 7, 4919 – 4937. [Viitattu 23.1.2020]. Saatavissa: DOI: 10.3390/su7054919. ISSN 2071 – 1050.
- Diekmann, J., Balonick, J., Krewedl, M. & Troendle, L. (2003) Measuring Lean Conformance. 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Virginia, USA. [Viitattu 18.3.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).

- Dozzi, S.P. & AbouRizk S.M. (1993) Productivity in Construction. Institute for Research in Construction, National Research Council, Ottawa, Ontario, Canada. [Viitattu 26.2.2020]. Saatavissa: [www.nrc-cnrc.gc.ca/irc](http://www.nrc-cnrc.gc.ca/irc).
- Dresch, A., Lacerda, D.P. & Valle Antunes Jr., J.A. (2015) Design Science Research. A Method for Science and Technology Advancement. Switzerland: Springer. 161 s. ISBN 978-3-319-07374-3.
- Fira Modules Oy. (2020) Kuiluasennus. [Viitattu 12.2.2020]. Saatavissa: <https://www.fira-modules.com/fi/kylpyhuonemoduuli/asennus/#kuiluasennus>.
- Frandsen, A., Berghede, K. & Tommelein, I. (2013) Takt-time planning for construction of exterior cladding. Proceedings 21st Annual Conference of the Int'l. Group for Lean Construction, 31-2 August, Fortaleza, Brazil. [Viitattu 21.2.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).
- Frandsen, A., Seppänen, O. & Tommelein, I. (2015) Comparison between location-based management and Takt Time Planning. Proceedings 23rd Annual Conference of the Int'l. Group for Lean Construction, 28-31 July, Perth, Australia. [Viitattu 21.2.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).
- Frandsen, A. & Tommelein, I. (2016) Takt Time Planning of Interiors on a Pre-cast Hospital Project. Proceedings 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, pp. 143–152. [Viitattu 27.7.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).
- Ghanem, M., Hamzeh, F., Seppänen, O. & Zankoul, E. (2018) A New Perspective of Construction Logistics and Production Control: An Exploratory Study. Proceedings IGLC-26, July 2018, Chennai, India. [Viitattu 24.7.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).
- Gibb, A. (1999) Off-site Fabrication: Prefabrication, Pre-assembly and Modularisation. Whittles Publishing, Caithness.
- Gibb, A. & Isack, F. (2003) Re-engineering through pre-assembly: client expectations and drivers. Building Research & Information, 31:2, 146-160. [Viitattu 26.7.2020]. DOI: 10.1080/09613210302000.
- Gondo, T., Miura, R. & Kurosaka, M. (2020) Lifting and transportation in high-rise building construction in Japan: the beginning of integrated lifting and transportation and recent developments. Journal of Asian Architecture and Building Engineering. [Viitattu 28.7.2020]. DOI: 10.1080/13467581.2020.1758109.
- Helsingin kaupunki. (2018) Korkean rakentamisen rakentamistapaohje. [Viitattu 27.2.2020]. Saatavissa: <https://www.hel.fi/helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen/ennakkotietoa-rakentamiseen/ohjeet-ja-neuvonta/ohjeet-a-o>.
- Howell, G. (1999) What is Lean Construction – 1999. Proceedings IGLC-7, July 1999, Berkeley, USA. [Viitattu 18.3.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).



Howell, G.A. & Ballard, G. (1998) Implementing Lean Construction: Understanding and Action. Proceedings IGLC-98, Guarujá, Brazil. [Viitattu 18.3.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).

Hytönen, Y. & Seppänen, M. (2009) Tehdään elementeistä: Suomalaisen betonielementtirakentamisen historia. Jyväskylä: Betonitieto Oy. 332 s. ISBN 978-952-92-5772-0.

Interpod. (2017) YouTube-video. Installation Video. [Viitattu 22.5.2020]. Saatavissa: <https://youtu.be/dB84w4zUtOQ>.

Jaglarz, A. (2016) Mobile Bathroom – Ideas and Solutions. UAHCI 2016, Part I, LNCS 9737, pp. 293–304. Springer International Publishing Switzerland 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-40250-5\_29. [Viitattu 27.7.2020].

Kiviniemi, K. (2018) Design-eli suunnittelututkimus opetus- ja kasvatusalalla. Julkaisussa Valli, R. Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1. Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle. 5. uudistettu painos. Jyväskylä: PK-kustannus. 234 s. ISBN 978-952-451-516-0.

Koskenvesa, A. (2011) Rakennustyön tuottavuus 1975-2010. Rakentajain kalenteri 2011. Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy, Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry. [Verkkolehti]. S. 138-145. [Viitattu 21.1.2020]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110503.pdf>.

Lampola, U. (2017) Elementtikylpyhuoneiden asennustyöt ja kosteudenhallinta työmaalla. Mestarityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu, rakennustekniikka. Helsinki. 33 s.

Lawson, R. M.ASCE., Ogden, R. & Bergin, R. (2012) Application of Modular Construction in High-Rise Buildings. Journal of Architectural Engineering, ASCE, 2012.18:148-154. [Viitattu 28.7.2020]. DOI: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000057.

Lawson, R. & Richards, J. (2010) Modular design for high-rise buildings. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Structures and Buildings 163, June 2010, Issue SB3, Pages 151-164. [Viitattu 28.2.2020].

Lehtovaara, J., Mustonen, I., Peuronen, P., Seppänen, O. & Peltokorpi, A. (2019) Implementing Takt Planning and Takt Control into Residential Construction. IGLC. [Viitattu 23.1.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).

Lehtovaara, J., Seppänen, O., Heinonen, A., Tomunen, L., Kulta, I., Kujansuu, P. & Grönvall, M. (2018) Building 2030 – Tahti suunnittelussa ja tuotannossa loppuraportti. Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos. [Viitattu 19.2.2020]. Saatavissa: <https://www.aalto.fi/fi/building-2030/loppuraportti>.

Lujabetoni Oy. (2020) Superlaatta. [Viitattu 15.6.2020]. Saatavissa: <https://www.lujabetoni.fi/luja-superlaatta/>.

Meyer, P. (2008) What it costs: bathroom pods. Building, 20th June. [Viitattu 28.7.2020].

Micron Meters. (2020) Internal Sensors TGU-4500. [Viitattu 12.2.2020]. Saatavissa: <https://www.micronmeters.com/images/product/large/tinytag-tgu-4500-ultra-2-data-logger.jpg>.

Miller, T. D. & Elgård, P. (1998) Defining Modules, Modularity and Modularization. Proceedings of 13th IPS Research Seminar, Fuglsoe, Denmark. [Viitattu 23.1.2020].

Neale, R., Price, A. & Sher, W. (1993) Prefabricated Modules in Construction: A Study of the Current Practice in the United Kingdom. The Chartered Institute of Building (CIOB), Ascot.

Neuvonen, P. (2006) Kerrostalot 1880-2000. Helsinki: Rakennustieto Oy. 288 s. ISBN 978-951-682-794-3.

OALD. (2014). Oxford Advanced Learner's Dictionary, Oxford University Press, Oxford. Julkaisussa: Gosling, J., Pero, M., Schoenwitz, M., Towill, D. & Cigolini, R. (2016) Defining and Categorizing Modules in Building Projects: An International Perspective. ASCE. [Viitattu 26.7.2020].

Palmanen, J. (2020) Parmarine Oy. Haastattelu HA1 5.3.2020. [Viitattu 11.3.2020].

Parmarine Oy. (2020) Yritys. [Viitattu 27.1.2020]. Saatavissa: [http://www.parmarine.fi/fi/company-info\\_\\_trashed/](http://www.parmarine.fi/fi/company-info__trashed/).

Parmarine Oy. (2020) Referenssit. Imatran Kylpylä. [Viitattu 26.5.2020]. Saatavissa: <http://www.parmarine.fi/fi/references/>.

Pan, W., Alistair, G. F., Gibb & Andrew B. Sellars. (2008) Maintenance cost implications of utilizing bathroom modules manufactured offsite. Construction Management and Economics, 26:10, 1067-1077, DOI: 10.1080/01446190802422161. [Viitattu 27.7.2020].

Peltokorpi, A., Olivieri, H., Denis Granja, A. & Seppänen, O. (2018) Categorizing modularization strategies to achieve various objectives of building investments. Construction Management and Economics, 36:1, 32-48, DOI: 10.1080/01446193.2017.1353119. [Viitattu 26.7.2020].

Peltokorpi, A., Lavikka, R. & Chauhan, K. (2019) Esivalmistuksen vaikutusten arviointi. Building 2030 Esivalmistuksen pilotointi -osahankkeen loppuraportti 9/2018-8/2019. Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos. [Viitattu 28.2.2020]. Saatavissa: <https://www.aalto.fi/fi/building-2030/loppuraportit>.

Peltokorpi, A., Lavikka, R., Kokko, L. & Seppänen, O. (2018) Talotekniikan esivalmistus: esteet, mahdollistajat ja prosessi. Visio 2030 Teollinen rakentaminen -osahankkeen loppuraportti 9/2017-8/2018. Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos. [Viitattu 23.1.2020]. Saatavissa: <https://www.aalto.fi/fi/building-2030/loppuraportit>.

Project Modular. (2019) YouTube-video. Lifting & Install Bathroom pods on flat deck. [Viitattu 22.5.2020]. Saatavissa: <https://youtu.be/g8HxmeMwpU4>.

- Rakennustieto Oy, RT tuotetieto. (2016) RT 38784. Parma Kylpyhuoneet. [Viitattu 31.1.2020]. Saatavissa: [https://www.rttuotetieto.fi/pub/media/resources/37805\\_RT-tuotekortti\\_38784.pdf](https://www.rttuotetieto.fi/pub/media/resources/37805_RT-tuotekortti_38784.pdf).
- Sacks, R., Goldin, M. & Derin, Z. (2005) Pull-Driven Construction of High-Rise Apartment Buildings. Proceedings IGLC-13, July 2005, Sydney, Australia. [Viitattu 27.2.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).
- Seppänen, O. (2014) A Comparison of Takt Time and LBMS Planning Methods. Proceedings IGLC-22, June 2014, Oslo, Norway. [Viitattu 25.2.2020]. Saatavissa: [www.iglc.net](http://www.iglc.net).
- Shahzad, W., Mbachu, J. & Domingo, N. (2015) Marginal Productivity Gained Through Prefabrication: Case Studies of Building Projects in Auckland. *Buildings* 2015, 5, 196 – 208. [Viitattu 23.1.2020]. Saatavissa: DOI: 10.3390/buildings5010196. ISSN 2075 – 5309.
- Smith, R., E. (2009) History of Prefabrication: A Cultural Survey. Proceedings of the Third International Congress on Construction History, Cottbus. [Viitattu 27.1.2020].
- Taylor, M.D., Fisher, A. & Wamuziri, S.C. (2009) A comparison of modern methods of bathroom construction: a project case study. Proceedings 25th Annual ARCOM Conference, 7-9 September 2009, Nottingham, UK, Association of Researchers in Construction Management, 1173-82. [Viitattu 26.7.2020].
- The Modular Building Institute, USA. (2017) Saving Time with Modular Bathroom Pods. [Viitattu 27.5.2020]. Saatavissa: <https://www.intelligentoffsite.com/wp-content/uploads/2017/03/MBI-Bathroom-Pods-Whitepaper.pdf>.
- The Weitz Company. (2017) YouTube. Prefabrication & Modularization: Installing Bathroom PODS. [Viitattu 22.5.2020]. Saatavissa: <https://youtu.be/fkZX9KCx9jo>.
- The Weitz Company. (2020) About. [Viitattu 26.5.2020]. Saatavissa: <https://www.weitz.com/about/>.
- Timonen, N. (2020) Oma valokuva-arkisto.
- TJ Wies Contracting. (2015) YouTube. St. Mary's Pod Installation - TJ Wies Contracting. [Viitattu 22.5.2020]. Saatavissa: <https://youtu.be/ngbylg-6bV8>.
- Vilkkä, H., Saarela, M. & Eskola, J. (2018) Riittääkö yksi? Tapaustutkimus kuvaajana ja selittäjänä. Julkaisussa Valli, R. Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1. Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle. 5. uudistettu painos. Jyväskylä: PK-kustannus. 234 s. ISBN 978-952-451-516-0.
- Womack, J., Jones, D. & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*. USA: Free Press. 352 s. ISBN 978-0-7432-9979-4.
- Womack, J. & Jones, D. (2003). *Lean Thinking*. USA: Simon & Schuster Inc. 2nd edition. 397 s. ISBN 978-0-7432-4927-0.

## Kuvaluettelo

Kuva 1. Lisäarvoa tuottavien toimintojen osuus valmistavassa teollisuudessa ja rakentamisessa (Koskenvesa 2011, Construction Institute 2004)

Kuva 2. Suunnittelututkimuksen (Design Science Research) kulku (muokattu lähteestä Dresch et al. 2015)

Kuva 3. Työn rakenne ja kulku

Kuva 4. Kylpyhuone-elementti vuodelta 1962 (Bonava Suomi Oy 2020)

Kuva 5. Betoninen kylpyhuone-elementti 1960-luvulta (Neuvonen 2006)

Kuva 6. Kevytrakenteinen kylpyhuone-elementti 1970-luvulta (Neuvonen 2006)

Kuva 7. Nykyaikainen Parma kylpyhuone-elementti (Rakennustieto, RT tuotetieto 2020)

Kuva 8. TGU-4500 langaton lämpötila- ja kosteusanturi (Micron Meters 2020)

Kuva 9. Esivalmistuksen vaikuttavuuden mittausmenetelmä (Chauhan et al. 2019)

Kuva 10. Esivalmistetun kylpyhuone-elementin ja paikalla rakentamisen väliset kustannus-hyötyihin perustuvat erot (Peltokorpi et al. 2019)

Kuva 11. Tehtäväpaketit järjestettynä tahtijunassa (muokattu lähteestä Binninger et al. 2017)

Kuva 12. Asuinkerrostalon sisävalmistusvaiheen tahtiaikataulu (Lehtovaara et al. 2018.)

Kuva 13. Viitekehys empiiriselle tutkimukselle

Kuva 14. Kylpyhuone-elementin vaatimat syvennykset kololaatta-asennuksessa (Timonen 2020)

Kuva 15. Esivalmistettu pohjalaatta kylpyhuone-elementin alla paikalla valetun välipohjan kanssa (Timonen 2020)

Kuva 16. Kylpyhuone-elementin liitos ontelolaattarakenteiseen välipohjaan (EJT-Rakennusinsinöörit Oy 2018)

Kuva 17. Kylpyhuone-elementti asennettuna paikalla valettuun välipohjaan (Timonen 2020)

Kuva 18. Kylpyhuone-elementti asennettuna ontelolaattavälipohjaan (Timonen 2020)

Kuva 19. Kylpyhuone-elementin kuiluasennus (Fira Modules Oy 2020)

Kuva 20. Kylpyhuone-elementin liitos rakenteisiin kuiluasennuksessa (Fira Modules Oy 2020)

Kuva 21. Kylpyhuone-elementin siirto nostolavalle (The Weitz Company 2017)

Kuva 22. Kylpyhuone-elementin nosto sijaintikerrokseen (The Weitz Company 2017)

Kuva 23. Kylpyhuone-elementin siirto rakennuksen sisälle (The Weitz Company 2017)

Kuva 24. Kylpyhuone-elementin asennus käyttäen erikoisvalmisteisia pyörätunkeja (Interpod 2017)

Kuva 25. Kylpyhuone-elementin nostoaputyökalu Imatran Kylpylän laajennusurakassa (Rakennustieto Oy RT 38784, 2016)

Kuva 26. Yhdysvaltalaisen Pivotek:in valmistama kylpyhuonemoduuli (The Modular Building Institute 2017)

Kuva 27. Rakentamisen aikainen lastaustaso rakennuksen julkisivussa (Project Modular 2019)

Kuva 28. Paikalla rakennettavien kylpyhuoneiden asentamiseen kulunut aika

Kuva 29. Kylpyhuone-elementtien asentamiseen kulunut aika

Kuva 30. Building 2030 työryhmän äänestyksen tulos tahtiaikataulun käytöstä korkeassa rakentamisessa

Kuva 31. Building 2030 työryhmän äänestyksen tulos korkean rakentamisen kohteisiin parhaiten soveltuvasta kylpyhuone-elementin asennusmenetelmästä

## Taulukkoluetelo

Taulukko 1. Tuotteiden modulaarisuuteen liittyvät rakentamisen ja teollisen valmistamisen erot (da Rocha et al. 2015)

Taulukko 2. Modulaarisuuden ja esivalmistuksen käsitteitä (Miller et al. 1998 ja Baldwin et al. 2006)

Taulukko 3. Korkean rakentamisen tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä (muokattu lähteestä Dozzi et al. 1993)

Taulukko 4. Rakennushankkeen osatekijät joihin esivalmistuksella on vaikutuksia (muokattu lähteestä Chauhan et al. 2019 ja Peltokorpi et al. 2019)

Taulukko 5. Esivalmistetun kylpyhuone-elementin hyötyihin ei-rahassa mitattavat tekijät (Peltokorpi et al. 2019)

Taulukko 6. Lean-periaatteet (muokattu lähteestä Womack et al. 2003 ja Diekmann et al. 2003)

Taulukko 7. Tahtisuunnitteluun vaikuttavat merkittävimmät tekijät ja toimenpiteet (muokattu lähteestä Lehtovaara et al. 2019)

Taulukko 8. Tutkimuskohteiden yksilöinti

Taulukko 9. Case-kohteista kerätty data

Taulukko 10. Case-kohteiden asennusmenetelmien ristianalyysitaulukko

Taulukko 11. Building 2030 työryhmän nimeämät positiiviset ja negatiiviset asiat asennusmenetelmittäin

## Liiteluettelo

Liite 1. Haastattelututkimusten HA1 - 5 kysymysrungot

DIPLOMITYÖ HAASTATTELU HA1

KYSYMYSRUNKO

1. Koska tehtaallanne on valmistettu ensimmäinen kylpyhuone-elementti?
2. Kuinka monta kylpyhuone-elementtiä tehtaaltanne valmistuu vuosittain?
3. Valmistatteko kylpyhuone-elementtejä kuiluasennukseen?
4. Olisiko kylpyhuone-elementin sisällä mahdollista kuljettaa rakennushankkeen sisävalmistusvaiheeseen kuuluvia muita rakennusmateriaaleja, kuten laminaatteja tms.?
5. Onko kylpyhuone-elementin sisälle mahdollista asentaa lämpötila- ja/tai kosteusanturia työmaa-aikaisen laaduntarkkailun tueksi?

## DIPLOMITYÖ HAASTATTELU HA2 & HA3

### KYSYMYSRUNKO

1. Kuinka monta työpäivää kohteenne yhden kerroksen runkokiertoaika on?
2. Kuinka monta henkilöä runkotyöryhmänne käsittää?
3. Rakennatte 16-kerroksista asuinkerrostaloa, kuinka monta häiriöpäivää teillä on tähän mennessä ollut esimerkiksi kovan tuulen takia?
4. Oletteko hyödyntäneet tahtiaikataulua runkotyövaiheen aikataulusuunnittelussa?
5. Kokemuksiinne perustuen, onko esivalmistetun kololaatta-asenteisen kylpyhuone-elementin hyödyntäminen paikallavaluvalipohjan kanssa hidastanut kerroskohtaista runkokiertoaikaanne?
6. Nimeä kolme suurinta haastetta kylpyhuone-elementin hyödyntämisestä paikallavaluvalipohjan kanssa?
7. Koitteko esivalmistetun pohjalaatan käytön toimivana vaihtoehtona kylpyhuone-elementin alla?
8. Kuinka esivalmistetun pohjalaatan ja kylpyhuone-elementin pohjalaatan hormien välinen kerroskohtainen palokatko on toteutettu?
9. Kuinka kauan yhden kylpyhuone-elementin asentaminen kololaatta-asennuksessa kestää?
  - a) paikallavaluvalipohjan kanssa
  - b) ontelolaattavalipohjan kanssa
10. Onko kylpyhuone-elementtien käyttö aiheuttanut jotakin rajoitteita runkotyöskentelylle?



11. Kuinka kylpyhuone-elementin työmaa-aikainen suojaaminen ja kosteudenhallinta on toteutettu kohteessanne?
12. Kuinka kauan kylpyhuone-elementtejä ympäröivien reunavalujen työstäminen vie keskimäärin aikaa?
13. Ovatko kylpyhuone-elementtien reunavalujen kuivumiset muodostuneet aikataulua tai muita työvaiheita tahdistaviksi tekijöiksi?

## DIPLOMITYÖ HAASTATTELU HA4

### KYSYMYSRUNKO

1. Kertoisitteko kylpyhuone-elementin kuiluasennuksesta menetelmänä?
2. Kertoisitteko kuiluasennusmenetelmän rakenneratkaisuista?
3. Mitkä ovat merkittävimmät erot tai hyödyt verrattuna kuiluasennusta perinteiseen kololaatta-asennukseen?
4. Mahdolliset haasteet, joita korkea rakentaminen voi tuoda kuiluasennusmenetelmän hyödyntämiselle?
5. Minkä takia mielestänne rakentajat valitsevat edelleen mieluummin perinteisemmän kololaatta-asennusmenetelmän kuiluasennuksen sijasta?
6. Minkälaisena näette kuiluasennusmenetelmän tulevaisuuden näkymät Suomessa?
7. Kuinka kauan yhden kylpyhuone-elementin asentaminen kuiluasennuksessa kestää?
8. Onko kuiluasenteisen ja kololaatta-asenteisen kylpyhuone-elementin pohjalaatan paksuudessa eroa?
9. Voidaanko kylpyhuone-elementin kuiluasennusmenetelmää hyödyntää useiden eri runkorakennejärjestelmien kanssa, kuten esimerkiksi paikallavalurakentamisen kanssa?
10. Onko teillä kokemuksia tai oletteko kokeneet haasteelliseksi kylpyhuone-elementin kololaatta-asennuksen yhdistämisen paikallavalutekniikan kanssa?
11. Onko teillä kokemuksia kylpyhuone-elementin julkisivuasennusmenetelmän käytöstä?

## DIPLOMITYÖ HAASTATTELU HA5

### KYSYMYSRUNKO

1. Kuinka olette hyödyntäneet tahtiaikataulua projektinne aikataulusuunnittelussa tai tuotannon ohjauksessa?
2. Oletteko hyödyntäneet tahtiaikataulun käyttöä jokaisen työvaiheen aikataulusuunnittelussa?
3. Minkälainen tahtiaikataulunne paikkajako on, oletteko jakaneet aikataulun paikka-jaon erikseen esimerkiksi kuiviin ja kosteisiin tiloihin?
4. Nimeä suurimmat haasteet tahtiaikataulun käytöstä aikataulusuunnittelussa tai tuotannonohjauksessa?
5. Nimeä suurimmat hyödyt tahtiaikataulun käytöstä aikataulusuunnittelussa tai tuotannonohjauksessa?
6. Oletteko saaneet kaikki projektin osapuolet sitoutumaan tahtiaikataulun käyttöön?