



Aalto-yliopisto  
Insinöörیتieteiden  
korkeakoulu

Joona Hannonen

## **Kustannusmuutosten hallinta toteutussuunnitteluvaiheessa**

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

Espoossa 30.8.2017

Valvoja: Professor of Practice Olli Seppänen

Ohjaaja: DI Ville Sireni, Fira Oy

---

**Tekijä** Joonas Hannonen

---

**Työn nimi** Kustannusmuutosten hallinta toteutussuunnitteluvaiheessa

---

**Koulutusohjelma** Rakenne- ja rakennustuotantotekniikka

---

**Pää-/sivuaine** Rakentamistalous

**Koodi** IA3022

---

**Työn valvoja** Professor of Practice Olli Seppänen

---

**Työn ohjaaja** DI Ville Sireni

---

**Päivämäärä** 30.8.2017

**Sivumäärä** 76

**Kieli** Suomi

---

### **Tiivistelmä**

Rakennusprojektin toteutussuunnittelun aikana ilmenee aina suunnitelmamuutoksia, jotka lisäävät hankkeen kustannuksia. SR-toteutusmuodolla näiden muutosten hallinta vaatii pääurakoitsijan puolelta tehokasta suunnittelun ohjausta, joka varmistaa suunnittelutyön pääsevän tavoitteisiinsa. Nykyaikana suuri osa suunnittelutyöstä tehdään tietomallintamalla, joten myös suunnittelun ohjaus tapahtuu suurissa määrin tietomallinnuksen kautta. Suunnittelun ohjaus tulee käyttämään tulevaisuudessa muutosten hallintaan yhä enemmän tietomallinnusta ja sen tuomia etuja varsinkin suunnitelmien määrän ja kustannusmuutosten tarkastelussa.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin tapaustutkimusta. Tietoa kerättiin aihepiirin tutkimusartikkeleista, teemahaastatteluilla ja suunnitteludokumentteja tutkimalla. Tutkimusartikkeleja läpi käymällä kartoitettiin oleellisin ajankohtainen suunnittelun ohjaukseen, tietomallipohjaiseen kustannus- ja määrälaskentaan ja muutosten hallintaan liittyvä tutkimustieto. Teemahaastatteluissa ja suunnitteludokumentteja tutkimalla kartoitettiin kohdeyrityksen SR-toteutusmuotoisten asuinrakennusprojektien suurimmat negatiiviset kustannusmuutokset ja syyt niiden taustalla.

Tutkimuksen tuloksissa havaittiin runsaasti yhteneväisyyksiä alan kirjallisuuden kanssa. Löydettyjen ongelmien ratkaisemiseksi ehdotetaan tutkimusartikkeleista löydettyjä hyväksi havaittuja toimintatapoja ja työkaluja, joita keskitetään erityisesti teemahaastatteluiden löydöksiin. Tarkoituksena on, että turha yritys hallita kaikkea sivutetaan. Huomio keskitetään asuinrakennusprojekteissa havaittuihin merkittävimpiin kustannusmuutoksiin: rungon betonielementteihin ja talotekniikkaan. Oleellisena osana tutkimusta esitetään huomion kiinnittäminen tarkkaan muutoksen kustannus-/hyötysuhteen arviointiin projektin joka vaiheessa.

---

**Avainsanat** suunnittelun ohjaus, lean construction, tietomallinnus, muutoksen hallinta

---



---

**Author** Joonas Hannonen

---

**Title of thesis** Change management of costs in the detailed design stage

---

**Degree programme** Structural engineering and building technology

---

**Major/minor** Construction economics and management

**Code** IA3022

---

**Thesis supervisor** Professor of Practice Olli Seppänen

---

**Thesis advisor** M.Sc. (Tech) Ville Sireni

---

**Date** 30.8.2017

**Number of pages** 76

**Language** Finnish

---

### Abstract

During a detailed design stage of a construction project, design changes are inevitable. These changes frequently lead to an increase in project costs. In Design-build-procurement, the design management of a general contractor is responsible for the design team to meet its requirements. Nowadays, most of the design work is performed by Building Information Modeling, which makes it a significant part of the design management's activities. In the future, the design manager will use the advantages of the Building Information Modeling, especially in the change management of the costs and quantities in the design work.

The research method was qualitative research. The research data was collected from research articles, interviews, and design documents. The research articles provided knowledge of the current state of the design management, quantity surveying, cost estimation, and change management. Interviews and design documents were used to define ongoing challenges with the negative cost changes in apartment building projects.

The results of the interviews and design documents supported the results in the research articles. This research proposes that tools and methods described in the literature should be used in future projects. In this case, special attention should be focused on specific things, prefabricated concrete frame structures and HVAC-planning, rather than trying to control every small detail of the project. Also, the cost/benefit-ratio-tool should be used to measure the impact of the changes and to assist in decision making.

---

**Keywords** design management, lean construction, building information modeling, change management

---

## Alkusanat

*Kiitokset kaikille diplomityöhön osallistuneille henkilöille, joilta opin valtavan määrän uusia asioita tätä tutkimusta tehdessä. Firan puolelta haluan kiittää yritystä mielenkiintoisesta diplomityön aiheesta, mahdollisuudesta tehdä se, sekä Ville Sireniä ja Otto Alhavaa tutkimuksen solmukohtien avaamisessa. Aalto-yliopiston puolelta kiitokset menevät Olli Seppäselle, jonka nopea ja tehokas palaute pitivät diplomityön oikeassa suunnassa.*

*Klassinen kiitos myös jokaiselle elämäni ihmiselle tästä suuresta kokemuksesta.*

Espoo 30.8.2017

*Joona Hannonen*

Joona Hannonen

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo .....	1
Lyhenteet ja käsitteet.....	3
Johdanto .....	4
1.1 Tutkimuksen tausta.....	4
1.2 Tutkimuksen tavoitteet .....	5
1.3 Tutkimuksen rajaukset .....	6
1.4 Tutkimuksen menetelmät ja suoritus.....	6
1.5 Tutkimuksen rakenne .....	7
2 Suunnittelun ohjaus ja johtaminen.....	8
2.1 Rakennusprojektin suunnittelutyö ja sen tyypilliset haasteet.....	8
2.2 Suunnittelun ohjauksen tehtävä.....	10
2.3 SR-toteutusmuoto ja pääurakoitsijan suunnittelun ohjaus .....	11
2.4 Suunnitelma- ja hankintapaketit .....	11
2.5 Lean Construction ja Lean Design Management .....	12
2.6 Lean Construction -toimintatapoja ja työkaluja .....	14
2.7 Tietomallinnus ja suunnittelun ohjaus.....	15
2.7.1 Uusien työtapojen haasteet.....	16
2.7.2 Tietomallinnuksen hyödyt suunnitteluvaiheessa.....	16
2.7.3 Tietomallinnuksen vaatimukset suunnittelutyölle.....	17
3 Tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta .....	19
3.1 Rakennusprojektin määrä- ja kustannuslaskenta yleissuunnitteluvaiheessa ....	19
3.2 Määrä- ja kustannuslaskenta tietomallia hyödyntäen.....	20
3.2.1 Automaattinen määrälaskenta .....	20
3.2.2 Hintatieto ja kustannusten tarkastelu .....	20
3.2.3 Tietomallinnuksen tuomat haasteet määrä- ja kustannuslaskennassa .....	22
3.2.4 Visualisointi .....	22
3.2.5 Yhteiset toimintatavat .....	23
3.2.6 Mallinnusobjektit ja tietosisältö .....	23
4 Muutosten hallinta.....	25
4.1 Muutosten syyt rakennusprojekteissa ja niiden suunnittelutyössä .....	25
4.2 Muutoksen hallinnan prosessi .....	26
4.3 Tietomallipohjainen muutosten havainnointi .....	28
5 Tutkimusmenetelmä.....	31
5.1 Kirjallisuuskatsaus.....	31
5.2 Teemahaastattelut.....	31
6 Tulokset.....	34
6.1 Muutosten havainnointi ja niiden tunnistaminen .....	34
6.2 Kohteet .....	34
6.3 Suurimmat kustannusmuutokset.....	36
6.4 Haastatteluiden tulokset rakennusprojektien kustannusmuutoksiin liittyen.....	37
6.5 Suunnittelun ohjauksen vaikutusmahdollisuudet muutoksiin .....	45
6.6 Yhteenveto tuloksista .....	48
7 Pohdinta .....	49

7.1	Rungon betonielementit ja LVISA-suunnittelu.....	49
7.2	Puutteelliset lähtötiedot ja vaatimukset, kommunikaatio ja aikataululliset rajoitteet.....	51
7.3	Tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta ja kustannustietomalli .....	53
7.4	Suunnitelmamuutokset ja muutosten hallinta sekä niihin liittyvät hankinnat ..	55
8	Ehdotukset.....	58
8.1	Yleissuunnitteluvaihe .....	58
8.2	Toteutussuunnitteluvaihe.....	60
9	Johtopäätökset.....	64
9.1	Tutkimuksen tarkastelu .....	64
9.2	Tutkimuskysymyksiin vastaaminen .....	65
9.3	Tutkimuksen rajoitteet.....	67
9.4	Ehdotukset jatkotutkimuksille .....	69
	Lähdeluettelo.....	70
	Liitteet	

## Lyhenteet ja käsitteet

BIM	Building Information Modeling, tietomallinnus. Työskentelytapa, jossa osapuolet tekevät yhteistyötä rakennuksen tietomallia hyödyntämällä. Vaihtoehtoisesti myös Building Information Model, rakennuksen tietomalli. Rakennuksen 3-ulotteinen virtuaalimalli, joka sisältää visuaalisuuden lisäksi tietoa.
Lean Construction	Rakennusalan tarpeisiin kehitetty toimintatapa, jolla pyritään vähentämään hukkaa, parantamaan tiedon ja rakennushankkeen kokonaisvaltaista virtausta sekä tuottamaan asiakkaalle arvoa.
SR-muoto	Suunnittele ja rakenna -muoto. Rakennushankkeen toteutusmuoto, jossa urakoitsija vastaa tilaajalle kohteen suunnittelusta ja toteuttamisesta.
YTV2012	Yleiset tietomallivaatimukset. buildingSMART-järjestön suomalaisen jäsenosaston ylläpitämät käytännöt hyvän rakennustavan mukaiseen tietomallinnustyöskentelyyn.

# Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Hao *et al.* (2008) mukaan rakentamiselle tyypillisiä piirteitä ovat hankkeiden kertaluonteisuus ja siihen osallistuvien osapuolten jatkuva vaihtuminen (Hao *et al.*, 2008, s.2; Kankainen & Junnonen, 2017, s. 28). Tästä johtuen rakennusprojektin suunnittelutyö on monimutkainen kokonaisuus, jonka suunnittelutehtävien väliset riippuvaisuudet ovat vaikeasti hahmotettavia (Knotten *et al.*, 2015, s. 125). Nämä asiat aiheuttavat ongelmia sujuvalle ja tasaiselle tiedonsiirrolle osapuolten välillä, joka on yksi suunnittelutyön keskeisimmistä haasteista (Tribelsky & Sacks, 2011). Suunnittelutyön ongelmat johtavat lisä- ja muutostöihin, uudelleentekemiseen, rakennettavuuden heikentymiseen, kustannusten ylityksiin ja hukkatyön lisääntymiseen (Ko & Chung, 2014). Suunnittelutehtävät ovat monen eri suunnittelualan ja suunnittelijan yhteistyötä, joten suunnittelutyö tarvitsee ohjausta onnistuakseen tavoitteissaan (Elmualim & Gilder, 2013, s. 186). Suunnittelun ohjauksella varmistetaan, että suunnitteluprosessi johtaa sille asetettuihin tavoitteisiin ja tuottaa vaatimukset täyttävät suunnitelmat hankkeelle (Rakennusteollisuus 2016, RT 10-11107).

Tietomallinnuksella (BIM, Building Information Modeling) on havaittu olevan merkittäviä etuja rakennusprojektien onnistuneessa toteutuksessa. Erityisesti suunnittelun koordinaatio ja osapuolten välinen yhteistyö paranevat, kun tietomallinnus otetaan käyttöön osana projektityöskentelyä. (Khan & Tzortzopoulos, 2014; Khanzode *et al.*, 2008; Eastman *et al.*, 2011) Myös tuottavuuden kasvaminen, esivalmistusasteen lisääminen, uudelleentekeminen sekä suunnitelma- ja kustannusmuutosten väheneminen ovat eräitä tietomallinnuksen tuomia etuja (Staub-French & Khanzode, 2007). Tietomallipohjainen kustannus- ja määrälaskenta taas siirtää suuren osan itse laskemisesta ohjelmistojen hoidettavaksi, joten inhimillisten erehdysten määrä vähenee. Laskennan määrä vähenee ja osaminen suuntautuu enemmän laskettavan sisällön tuntemukseen (buildingSMART YTV2012, osa 7).

SR-toteutusmuodolla tarkoitetaan rakennusprojektin toteutustapaa, jossa pääurakoitsija vastaa kohteen rakentamisesta ja suunnittelusta tilaajalle. (Kankainen & Junnonen, 2017) Tällöin pääurakoitsija kantaa projektin suunnittelutyön osalta suurimman kustannusriskin (Haahtela, 2013), jonka vuoksi suunnittelun ohjauksen tulee varmistaa, että suunnitelma- ja muutoksia määrien ja kustannusten osalta syntyy mahdollisimman vähän. Muutokset suunnittelutyössä aiheuttavat usein kustannuksia, jotka tulevat juuri pääurakoitsijan maksettavaksi (Aho, 2014). Muutoksen hallinnan tulisikin olla aktiivista koko suunnittelutyön ajan ja sen avulla tulisi puuttua kaikkiin mahdollisiin kustannuksiin vaikuttaviin muutoksiin (Eynon, 2014).

Tutkimuksen kohdeyritys, Fira Oy, on viime vuosina kasvattanut asuntorakentamisen osuutta liiketoiminnassaan merkittävästi. Suunnittelun ohjauksen kehittämistä Firalla on tutkittu Karhun (2013) diplomityössä. Erona tähän tutkimukseen voidaan mainita ainakin se, että Karhun diplomityössä tarkasteltiin suunnittelun ohjausta kokonaisuutena, kun taas tässä työssä keskitytään pääasiallisesti toteutussuunnittelun aikaisten muutosten hallintaan pääurakoitsijan suunnittelun ohjauksen näkökulmasta. Ahon (2014) diplomityössä on käsitelty SR-toteutusmuotoisten hankkeiden läpivientiä tehostavia asioita ja suunnittelun ohjauksen merkittävä rooli projektin onnistumisen tekijänä on nostettu esille tutkimuksessa.



Tutkimusongelman selventämiseksi on hieman tarpeen avata toimintatapaa, jossa urakatarjouksen määrälaskenta ja hinnoittelu perustuvat kustannustietomalliin. Tällä tarkoitetaan 3D-mallinnusohjelmalla luotua rakennuksen tietomallia, joka pitää sisällään määrä- ja kustannuslaskennan kannalta tarvittavat tiedot rakennuksen suurimpien massojen laskentaan. Yksinkertaisesti kirjoitettuna prosessi on suuressa kuvassa seuraavanlainen: luodaan kustannustietomalli tietyllä mallinnustarkkuudella ja tästä mallista lasketaan projektin rakennusosa-arvio kustannuslaskentaohjelmiston avulla. Kustannuslaskija lisää tämän jälkeen kustannusarvioon sellaiset asiat, joita ei voida mallintamalla tuottaa. Näin muodostetaan urakatarjouksen hinta. (Eastman *et al.*, 2011; Taboada & Garrido-Lecca, 2014)

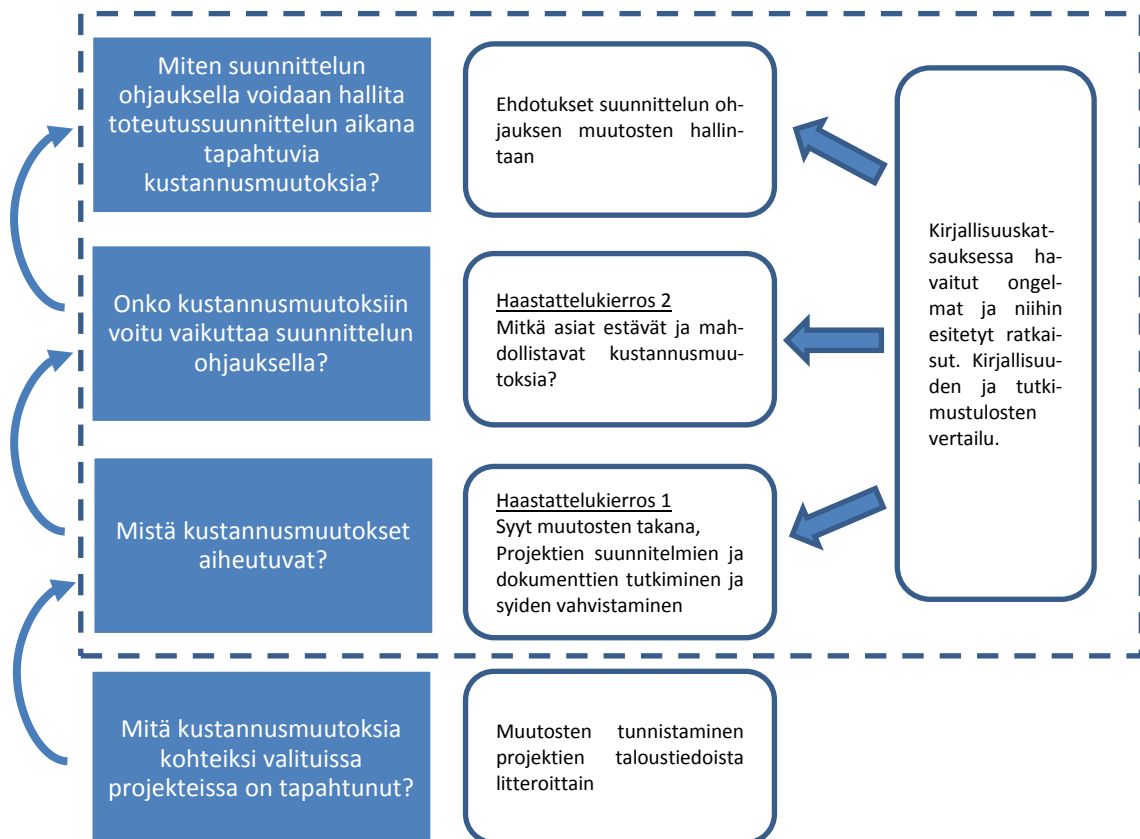
## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on löytää toimintatapoja kohdeyrityksen suunnittelun ohjauksen prosessin parantamiseksi erityisesti suunnitelmamuutosten osalta. Tutkimuksen pääkysymys on:

- Miten suunnittelun ohjauksella voidaan hallita toteutussuunnittelun aikana tapahtuvia kustannusmuutoksia?

Pääkysymyksen selvittämiseksi muodostettiin lisäksi kolme alakysymystä (kuva 1):

- Mitä kustannusmuutoksia kohteiksi valituissa projekteissa on tapahtunut?
- Mistä kustannusmuutokset aiheutuivat?
- Onko kustannusmuutoksiin voitu vaikuttaa suunnittelun ohjauksella?



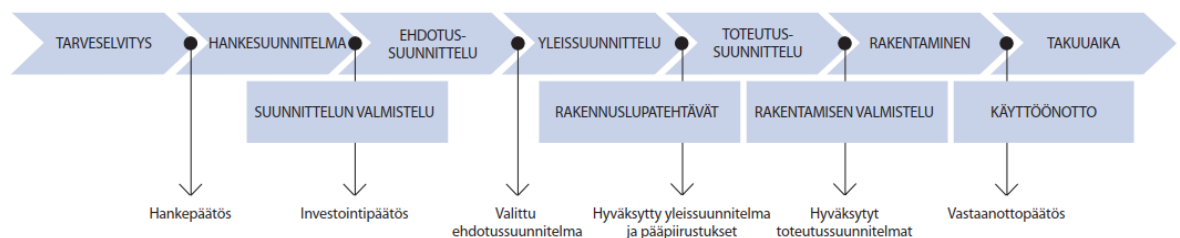
**Kuva 1. Tutkimusongelman ratkaisutapa. Sinisellä pohjalla esitetyt laatikot sisältävät tutkimusongelman ratkaisuun tarvittavia kysymyksiä. Valkoisella pohjalla esitetyt laatikot ratkaisutapoja tutkimuskysymyksiin. Sininen katkoviivaa rajaa kirjallisuuden ja tutkimustulosten vertailualueen.**

### 1.3 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimuksen teoreettinen viitekehys muodostuu kolmesta pääaiheesta: suunnittelun ohjaus, tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta sekä muutoksen hallinta. Näiden aiheiden avulla tutkimus rajataan tietylle alueelle.

Tapaustutkimuksen osuus rajataan koskemaan vain sellaisten rakennusprojektien suunnittelun ohjausta, joissa urakkalaskentatarjous perustuu tietomallipohjaiseen kustannuslaskentaan. Tällaisissa hankkeissa Firan suunnittelun ohjaus on tiivis osa hankkeen läpivientiä ja vaikuttaa suuresti hankkeen lopputulokseen. Rakennuksen tietomalli on myös yksi tärkeimmistä työkaluista suunnittelun ohjauksen suorittamassa muutosten hallinnassa. Tarkasteltavana hankkeen toteutusmuotona on SR-hanke (suunnittele ja rakenna). SR-urakkamuodolla tarkoitetaan tässä samaa kuin KVR-urakalla (kokonaisvastuurakentaminen), sillä molemmat termit esiintyvät alalla ja alan kirjallisuudessa. (Kankainen & Junnonen 2017, s. 39; Rakennusteollisuus 2016, RT 10-11223, s. 4) Tämä tarkoittaa sitä, että Fira vastaa hankkeen suunnittelu- ja rakennustöistä tilaajalle. Tällöin myös suunnitteluratkaisujen ja rakentamisen hintariski on pääurakoitsijalla (Haahtela, 2013, s. 21), tässä tapauksessa siis Firalla.

Rakennusprojektin aikajanalla (kuva 2) tutkimus rajataan tarkastelemaan toteutussuunnitteluvaiheessa esiintyviä suunnitelmamuutoksista aiheutuvia kustannuksia. Yleissuunnitteluvaihetta ei voida jättää kokonaan tarkastelematta, sillä suunnitteluvaiheet limittyvät aina joiltakin osin. Yleissuunnitteluvaihetta tarkastellaan tässä tutkimuksessa muutoksia ehkäisevänä vaiheena. Kyseisessä vaiheessa hankkeen kannalta suurimmat kustannuserät on jo lukittu ja urakkatarjous hyväksytty, joten suuria suunnitelmamuutoksia ei pitäisi tämän jälkeen enää ilmetä.



Kuva 2. Rakennushankkeen vaiheet. (Rakennusteollisuus 2016, RT 10-11221)

### 1.4 Tutkimuksen menetelmät ja suoritus

Tutkimusmetodi on lähimpänä kvalitatiivista tapaustutkimusta. Kvalitatiiviselle tutkimukselle tyypillisiä piirteitä ovat kokonaisvaltainen tiedonhankinta ja aineiston kokoaminen luonnollisissa, todellisissa tilanteissa. Se pyrkii myös kuvaamaan todellista elämää. (Hirsjärvi, 2000, s. 152, 155) Tietoa hankitaan alan tutkimusartikkeleista, henkilöhaastatteluista ja rakennusprojektien suunnittelu- ja kustannuslaskennan dokumenteista (kuva 1). Tutkittavat rakennushankkeet, teorialähteet ja haastattelut on valittu tarkoituksenmukaisesti, ei satunnaisesti (Hirsjärvi, 2000, s. 155). Tutkimusmenetelmän valinta oli suoraan seurausta tutkimusongelmasta, sillä tutkija näkee, että millään muulla menetelmällä tämän tutkimuksen ongelmaa ei ole mielekästä pyrkiä ratkaisemaan.

## **1.5 Tutkimuksen rakenne**

Tutkimus koostuu seuraavista osioista: johdanto, kirjallisuuskatsaus, tutkimusmenetelmä, tulokset ja niiden vertailu, ehdotukset ja tutkimuksen tarkastelu. Johdannossa lukijalle avataan aiheen taustaa, tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä ja tutkimusraportin rakennetta. Kirjallisuuskatsauksessa selvitetään yleisimmät ongelmat ja eräitä ratkaisukeinoja rakennusprojektien suunnittelun ohjaukseen, kustannus- ja määrälaskentaan, sekä muutosten hallintaan. Valittu tutkimusmenetelmä ja sen perustelut avataan ennen tutkimuksen tuloksia. Tulokset-osiossa esitetään haastatteluiden ja suunnitteludokumenttien avulla löydettyjä kustannusmuutoksia sekä muita rakennusprojektien suunnittelun ohjaukseen liittyviä haasteita. Tuloksia verrataan tämän jälkeen kirjallisuudessa esitettyihin tutkimustuloksiin. Saatujen tulosten avulla tehdään parannusehdotuksia suunnittelun ohjauksen tapaan hallita toteutus suunnittelun aikana ilmeneviä suunnitelmamuutoksista aiheutuvia kustannusmuutoksia. Viimeisessä osassa tarkastellaan tutkimusta ja arvioidaan tutkimuksen tavoitteisiin pääsyä ja sen luotettavuutta. Lisäksi ehdotetaan mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

## 2 Suunnittelun ohjaus ja johtaminen

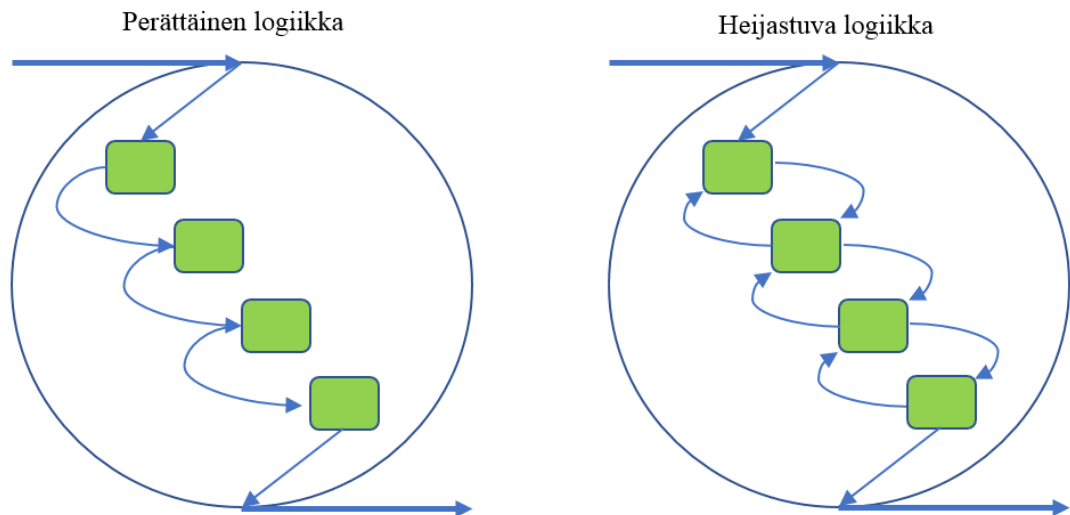
Tässä osassa käsitellään talonrakennusprojektin suunnittelutyötä ja suunnittelun ohjausta sekä niiden suorittamiseen liittyviä asioita. Suunnittelutyön tehokkuuden parantamiseksi on esitetty monia työkaluja ja työskentelytapoja, mutta haasteita on siitä huolimatta hyvin paljon (Ballard & Zabelle, 2000; Tzortzopoulos & Formoso 1999; Knotten *et al.*, 2016). Yksi lupaavimmista talonrakennusprojektin hallintaan ja erityisesti sen suunnittelutyöhön liittyvistä työskentelytavoista on tietomallinnus, jonka avulla voidaan vähentää rakennusprojektin tiedonkulkuun liittyviä ongelmia ja parantaa osapuolten välistä yhteistyötä (Eastman *et al.*, 2011, Khanzode *et al.*, 2008, Staub-French & Khanzode, 2007).

### 2.1 Rakennusprojektin suunnittelutyö ja sen tyypilliset haasteet

**Rakennusprojektin suunnittelutyö** on monimutkainen prosessi, jossa asiakkaan vaatimukset ja tavoitteet muunnetaan suunnitelmiksi ja työselostuksiksi (Rosas, 2013, s. 389). Suunnittelun tarkoitus on siis täyttää tilaajan antamat tavoitteet ja ehdot (Kankainen & Junnonen 2017, s. 43). Tähän voidaan vielä Elmualim & Gilder (2013) mukaan lisätä tilan loppukäyttäjän tarpeet ja vaatimukset. Suunnittelutyöllä onkin suuri vaikutus itse rakennuksen laatuun ja onnistumiseen projektina, sillä se määrittelee, miten rakennus tuotetaan (Formoso *et al.*, 1998, s. 1, 3).

Suunnittelutyön prosessin monimutkaisuus syntyy suunnittelutehtävien vaikeasti hahmotettavista riippuvaisuuksista, niiden yhteen sovittamisesta, useista erilaisista suunnittelu-aloista ja suunnittelijoista. (Elmualim & Gilder, 2013, s. 186). Tästä johtuen myös suunnittelutyön muutoksia ja niiden vaikutuksia on vaikea arvioida ennakoivasti (Park & Peña-Mora, 2003). Knotten *et al.* (2014) esittävät tutkimuksessaan, että rakennusprojektin suunnitteluprosessiin vaikuttaa 2-ulotteinen logiikka (kuva 3):

- Perättäinen logiikka. Tämä on ennalta-arvattava prosessi, jossa yhden suunnittelualan tuotokset ovat riippuvaisia toisistaan. Suunnittelu etenee siten, että edelliset suunnitteluratkaisut ja päätökset vaikuttavat aina myös seuraavaan. Suunnittelu etenee pienin askelin ja hallitusti.
- Heijastava logiikka. Vaikeasti ennustettava prosessi, jossa eri suunnittelualojen tuotokset ovat keskenään riippuvaisia toisistaan. Hankkeen alkupään suunnittelu on usein tämän kaltainen. Suunnittelu etenee pikemmin harppauksin kuin pienin askelin.



**Kuva 3. Suunnitteluosapuolien tehtävien riippuvaisuus toisistaan. (Muokattu lähteistä Knotten et al., 2014 ja Andersen, 2011)**

Knotten *et al.* (2014) esittävät tutkimuksessaan, että suunnitteluprosessia hallitaan paremmin, kun se nähdään perättäisen ja heijastuvan logiikan yhdistelmänä. Suurin osa suunnittelutyöstä tapahtuu perättäisen logiikan mukaisesti, jolloin prosessi on hallittavissa hyvällä projektin suunnittelulla ja koordinoinnilla. Näitä on tutkittu jo pitkään tavanomaisessa projektin hallinnassa. Parempi suunnitteluprosessin hallinta saavutetaan, kun keskitytään kehittämään menetelmiä, jotka huomioivat suunnitteluprosessin näiden kahden logiikan yhdistelmänä. Tällöin myös ennalta-arvaamaton suunnitteluprosessin kulku pystytään hallitsemaan paremmin.

### **Suunnittelutyön tyypilliset haasteet**

Suunnittelutyön iteratiivinen luonne ja osapuolten välinen heikko kommunikaatio luovat merkittäviä haasteita rakennusprojekteille. Ne lisäävät suunnittelutehtävien, kustannusten, uudelleentelemisen ja virheiden määrää. (Hattab & Hamzeh, 2016, s. 53)

Suunnitteluprosessi voidaan pilkkoa tarvittaessa hyvin pieniin osiin. Jokainen suunnittelutehtävä vaatii tietyn lähtötiedon ja se tuottaa lopputuloksen. Lopputuloksesta tulee taas uusi lähtötieto joko yhdelle tai useammalle suunnittelutehtävälle. Suunnittelutehtävien lopputulosten vaikutusta toisiinsa on vaikea arvioida, sillä niiden välisiä riippuvaisuuksia on monimutkaista kontrolloida. (Ouertani, 2008, s. 884) Suunnittelutehtävien lopputulosten luomat ongelmat riippuvaisuuksien kautta tulisi korjata heti, sillä mitä enemmän toisiinsa liittyviä ja vaikuttavia tehtäviä luodaan, sitä työläemmäksi niiden uudelleentelemisen tulee. Riippuvaisuuksien verkosto kasvaa näin koko suunnittelutyön loppuun saakka. (Ouertani, 2008, s. 885)

Suunnittelutyön tehtäväjako on usein huonosti määritelty, eivätkä suunnittelutiimin yksittäiset henkilöt, jotka työn suorittavat, välttämättä tiedä tarkasti tehtäviään tai niiden aikataulutusta (Aho, 2014, s. 66-70). Koskelan *et al.* (2002) suorittamassa case-tutkimuksessa etsittiin syitä rakennusprojektin suunnittelun ongelmiin. Siinä havaittiin, että suunnittelu kärsi systemaattisuuden puutteesta ja riittämättömästä tehtävien ja vastuiden osoittamisesta. Suunnittelupäätöksiä tehtiin myös liian kapeakatseisesti, palavereihin saavutettiin valmistautumattomana sekä aikaisemmat päätökset oli osittain unohdettu seuraavaan

palaveriin mennessä. (Koskela *et al.*, 2002, s. 6) Tutkimuksessa esitetään perustavanlaatuisesti rakennushankkeiden suunnittelun ohjauksen ongelmaksi sitä, että edes projektinhallinnan perusasioita ei hyödynnetä (Koskela *et al.*, 2002, s. 13).

Suomessa rakennussuunnittelu jaetaan yleisesti neljään eri vaiheeseen, jotka ovat: ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu, toteutussuunnittelu ja täydentävä suunnittelu (tuotantosuunnittelu) (Kankainen & Junnonen 2017, s. 52-54). Pikas *et al.* (2015) mainitsevat tutkimuksessaan ehdotussuunnitteluvaiheen olevan vaihe, jossa erikoissuunnittelualat (muut kuin arkkitehtisuunnittelu) osallistuvat vain vähän rakennusprojektin suunnitteluun. Esimerkiksi tilojen toiminnallisuuden varmistamiseksi erikoissuunnittelijoita voidaan konsultoida, mutta arkkitehti vastaa pääosin suunnittelutyöstä enemmän tai vähemmän eristäytyneenä muista suunnittelualoista, jonka vuoksi muiden suunnittelualojen vaatimukset jäävät vähälle huomiolle. (Pikas *et al.*, 2015, s. 551) Myös Ko & Chung (2014, s. 472) nostavat tutkimuksessaan suunnittelutyön yksialaisen etenemisen aiheuttavan muutostöitä projektin myöhemmissä vaiheissa.

Tavanomaisesti rakennushankkeen eri suunnittelun ja toteutuksen välinen kommunikointi ja yhteistyö on perustunut 2D-suunnitelmien vaihtoon (Singh *et al.*, 2010, s. 134; Khanzode *et al.*, 2008, s. 326). Philipp (2013) mainitsee raportissaan sen heikkouksiksi nykyaikana muun muassa virhealttiuden, työllistävän vaikutuksen ja tiedon jämähtämisen suunnitteludokumentteihin. Se ei myöskään tue osapuolien yhteistyötä. (Philipp, 2013, s. 2) Perinteinen 2D-suunnittelu on varsinkin eri suunnittelualojen ristiriidoille altis prosessi, sillä siinä ongelmat ilmenevät usein vasta suunnitelman valmistuttua (Monteiro & Martins, 2013, s. 238; Philipp, 2013, s. 2).

## **2.2 Suunnittelun ohjauksen tehtävä**

**Suunnittelun ohjaus** Suomessa on kuvattu Rakennusteollisuuden RT 10-11107 -kortissa seuraavasti:

*Suunnittelun ohjauksella varmistetaan, että suunnitteluprosessi johtaa asetettuihin tavoitteisiin ja tuottaa toiminnallisesti, taloudellisesti, esteettisesti, teknisesti, ympäristöllisesti ja muilta vaatimuksiltaan hyväksyttävät suunnitelmat. (Rakennusteollisuus 2016, RT 10-11107)*

Suunnittelun ohjaus on yhdistelmä prosessin hallintaa ja suunnittelun johtamista. Prosessin hallinnassa pyritään pitämään itse suunnitteluprosessi sille asetetuissa ajallisissa, rahallisissa ja laadullisissa tavoitteissa. Suunnittelun johtamisessa taas pyritään hyödyntämään projektin osapuolien paras tietämys, osaaminen ja luovuus. (Knotten *et al.*, 2016, s. 176) Knotten *et al.* (2015) painottavat tutkimuksessaan, että suunnittelun ohjauksen tulisi kiinnittää erityistä huomiota suunnittelun prosessien tunnistukseen ja määrittämiseen. Tavanomaiset projektin hallinnan tavat eivät päde sellaisenaan suoraan rakennusprojektin hallintaan. Tämä johtuu suunnittelutehtävien välisistä monimutkaisista riippuvuuksista, jotka vaihtelevat rakennusprojektin eri vaiheiden mukana. (Knotten *et al.*, 2015, s. 125) Elmualimin & Gilderin (2013) tekemän tutkimuksen mukaan suunnittelun ohjaus on välttämätön tehtävä suunnitteluprosessin selkeyttämiseksi, jotta rakennusprojekti saadaan vastaamaan tavoitteitaan. Toteutussuunnitteluvaiheessa suunnittelun ohjauksen tavoitteet ovat sovitun aikataulun, kustannusten, laadun, rakennettavuuden ja suunnitelmien valmistumisen varmistamisessa (Bølviken *et al.*, 2010, s. 109).

## 2.3 SR-toteutusmuoto ja pääurakoitsijan suunnittelun ohjaus

**SR-toteutusmuodolla** (suunnittele ja rakenna) tarkoitetaan urakkamuotoa, jossa pääurakoitsija vastaa sekä rakennettavan kohteen suunnittelusta, että toteutuksesta. Urakkamuodon eduksi voidaan katsoa ainakin urakoitsijan ja suunnittelijan välinen tiivis yhteistyö, tilaajan riskien väheneminen (Anumba & Evbuomwan, 1997, s. 272) ja urakoitsijan tuotantotekniikan osaamisen hyödyntäminen suunnitteluratkaisuissa. (Kankainen & Junnonen, 2017, s. 40; Eastman *et al.*, 2011, s. 7; Aho, 2014) Rakennusalalla suunnittele- ja rakenna-toteutusmuotojen (SR-muoto, design-build) yleistymisen myötä suunnittelun ohjaajan toimenkuvan määrittäminen ja itse suunnittelun ohjaus sen on tullut yhä tärkeämmäksi (Emmit & Ruikar, 2013, luku 3; Eynon, 2013, s. 3, 23). Pääurakoitsija kantaa SR-toteutusmuodoissa suurimman riskin rakennushankkeen läpiviemisestä ja onnistumisesta, myös taloudellista osalta. Tämän vuoksi suunnittelun ohjaaja on usein pääurakoitsijan yrityksestä tuleva henkilö. (Eynon, 2013, s. 3-4) Suunnittelun ohjauksen tulisi varsinkin SR-urakkamuodossa varmistaa, että urakoitsijan urakkatarjouksessa lasketut ratkaisut siirtyvät suunnitelmiin, eikä suunnittelussa lähdetä poikkeamaan tästä. Myös projektin suunnittelu-aikataulu tulee olla tehtynä tehty siten, että suunnittelun ja rakentamisen välillä on mahdollisimman vähän odotteluaikaa, ja suunnittelun ohjauksen tulee varmistaa aikataulun täsmällinen toteutuminen. (Aho, 2014) SR-toteutusmuodoissa suunnittelu-aikataulu tulee tehdä tuotannon ehdoilla, joka tarkoittaa sitä, että suunnitelmien aikataululliset vaatimukset tulee olla määritettyinä jo ennen suunnittelun aloittamista (Bølviken *et al.*, 2010, s. 110).

SR-toteutusmuodossa urakoitsijan tekemä suunnittelun ja tiedon koordinointi on merkittävässä asemassa, sillä se toimii välikätenä suunnitelmatietojen tuottajien ja rakennustyömaan toteuttajien välillä. Useissa hankkeissa niin suunnittelutyö kuin myös rakentaminen on pilkottu juuri tiettyyn tehtävään erikoistuneelle yritykselle. Esimerkkeinä arkkitehtisuunnittelu, rakennesuunnittelu, LVI-suunnittelu, sähkösuunnittelu, elementtiasennus, perustustyöt ja maalaustyöt. Varsinkin suunnittelun ja rakentamisen limittyessä sujuva tiedonkulku on kaksin verroin tärkeämpää. (Khanzode *et al.*, 2008, s. 332)

## 2.4 Suunnitelma- ja hankintapaketit

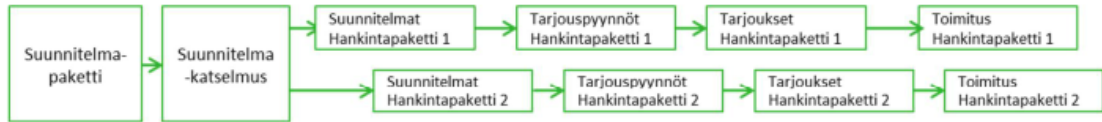
**Suunnitelmapaketit ja hankintapaketit** (kuva 4) ovat olennainen osa rakennusprojektin toteutusta. Käytännössä lähes kaikki rakentamiseen tarvittavat tuotteet ja palvelut hankitaan suunnitelmiin perustuen. Suunnitelmapaketeilla tarkoitetaan rakennusprojektin suunnittelutyön jakamista ennalta määräytyiksi kokonaisuuksiksi, joita hyödyntämällä suunnittelutyön ei tarvitse olla kokonaan valmis, kun rakentaminen voidaan aloittaa. Suunnitelmapaketteja voivat olla esimerkiksi maanrakennuspaketti, perustuspaketti, runkopaketti ja vesikattopaketti. Suunnitelma- ja hankintapaketteja on käsitelty tarkemmin Kruusin (2008) ja Karhun (2013) toimesta. (Kruus, 2008; Karhu, 2013)

Kruus (2008, s. 59) esittää väitöskirjassaan menetelmiä suunnittelun ohjauksen tehostamiselle, joista yksi on rakennusprojektin suunnitelmien jakaminen paketteihin SUKE-mallilla. SUKE-mallissa suunnitelmapaketit tulee muodostaa aina toteutussuunnittelun alkaessa kohdekohtaisesti ja yhdessä suunnittelijoiden kanssa. Väitöskirjassa tarkastellaan pääosin projektinjohtourakointia, mutta samoja menetelmiä sovelletaan monissa SR-toteutusmuodoissa. Kruus esittää, että hankinta-aikataulun määrätessä suunnittelun aikataulua, suunnitelmapaketeista ei saada ehjiä kokonaisuuksia. Tällöin suunnittelija joutuu yhdistelemään suurempia suunnittelukokonaisuuksia, joka vaikeuttaa suunnitelmien toimitusta. SUKE-mallissa hankinnat määritetään vasta suunnitelmapakettien valmistuttua.

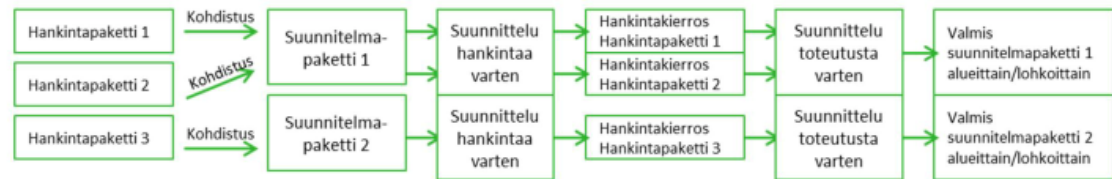
Perinteinen malli = suunnitelmat pyydetään hankintapaketeittain



SUKE-malli = Suunnittelu tehdään suunnittelupaketeittain ja toimitetaan hankinnoittain



Käännetty SUKE-malli = Hankintapaketti kohdistetaan suunnitelmapakettiin heti, suunnittelu vaiheistetaan.



Kuva 4. Erilaisia tapoja jakaa rakennusprojektin suunnitelmapaketit ja niiden toimitus hankintapaketiteihin. (Karhu, 2013, s. 59)

Karhu (2013, s. 59-64) esittää tutkimuksessaan käännettyä SUKE-mallia rakennusprojektin suunnittelutyöhön ja sitä kautta myös hankintoihin. Karhu ehdottaa suunnittelun jakamista kahteen vaiheeseen: 1) *suunnittelu hankintaa varten* ja 2) *suunnittelu toteutusta varten*. Karhun mallissa projektille tehdään aina hankintastrategia, jonka mukaan hankinnat kohdistetaan suunnitelmapaketteihin. Tällöin hankinnat suunnitellaan siten, ettei hankintapaketin sisältöön tarvita erillisiä suunnitelmia useista suunnitelmapaketeista. Näillä tiedoilla pääurakoitsijan suunnittelun ohjauksen tulee osoittaa suunnittelijoille, minkä tasoisia suunnitelmien tulee olla *suunnittelussa hankintaa varten* ja *suunnittelussa toteutusta varten*. Kuva 4 esittää suomalaisissa tutkimuksissa esitettyjä tapoja jakaa suunnitelmatoimitukset paketteihin suunnitelmien ja hankintojen osalta.

## 2.5 Lean Construction ja Lean Design Management

Termillä *Lean Construction* tarkoitetaan autovalmistaja Toyotan tuotannosta (Toyota Production System, TPS) opittujen toimintatapojen- ja periaatteiden soveltamista rakennusosalalle. Niillä tavoitellaan **hukan vähentämistä**, **asiakkaalle tuotetun arvon lisäämistä** ja jatkuvaa toiminnan tehostamista. Jatkuvalle toiminnan tehostamisella tarkoitetaan lean- kirjallisuudessa **virtauksen parantamista**. Osa näiden tavoitteiden saavuttamiseksi muodostetuista periaatteista ja työkaluista ovat samoja kuin TPS:ssä, kun taas osa on rakennustyön luonteesta johtuen hyvinkin erilaisia. (Sacks *et al.*, 2010, s. 968) Ballard & Koskela (1998) ehdottavat tutkimuksessaan erityistä panostusta suunnittelun ohjauksen kehittämiseen, jotta rakennushankkeet saataisiin toteutettua tehokkaammin. *Lean Design* taas tarkoittaa suunnittelutyötä, jossa sovelletaan *Lean*- toiminnan periaatteita ja työkaluja (Hansen & Olsson, 2011).



## Hukka

Rakennusprojektit suunnitellaan usean eri suunnittelualan henkilöiden toimesta ja suunnittelutyö käsittää suuren määrän eri suunnittelualojen toisiinsa liittyviä suunnittelutehtäviä. Suunnittelutyön kompleksisesta luonteesta johtuen niissä syntyy paljon hukkaa (Tribelsky & Sacks, 2011, s. 140). Tämä johtuu useimmiten siitä, että suunnittelutehtävien järjestys ei ole selkeä ja toisekseen siinä ilmenee tekijöitä, jotka muuttavat suunnittelutehtävien järjestystä. Kyseiset yllättävät muutokset taas johtavat puutteellisiin lähtötietoihin ja estävät siten seuraavaan tehtävän onnistuneen suorittamisen. (Koskela *et al.*, 2003; Anumba & Evbuomwan, 1997, s. 277-297) Ennen suunnittelua suoritettavat vähittäisvaatimustarkastukset auttavat löytämään puuttuvia lähtötietoja. Vaatimusten keskinäiset suhteet ja niiden painoarvo hankkeen kannalta tulisi myös määrittellä. Näin suunnittelutyössä voidaan löytää hyviä ratkaisuja, sillä vaatimuksia voidaan poistaa tai muuttaa, mikäli ne ovat toisarvoisia. (Anumba & Evbuomwan, 1997, s. 277-279)

Useassa tutkimuksessa esille nousivat suunnittelutyön tilaajan puutteelliset kuvaukset vaatimuksista ja lähtötiedoista (Karhu, 2013; Orihuela *et al.*, 2014; Anumba & Evbuomwan, 1997). Tällöin suunnittelija joutuu turvautumaan ratkaisuisissa oletuksiin, jotka perustuvat ammattitaitoon ja kokemuksiin aikaisemmista hankkeista. Tilaajalla on todennäköisesti kuitenkin oletusratkaisu ja siihen perustuvat kustannukset, joita ei ole kuitenkaan tuotu suunnittelijan tietoon. Tästä seuraa negatiivista iteraatiota, sillä ainakin osa suunnittelutyöstä joudutaan tekemään uudestaan, jolloin prosessissa on syntynyt hukkaa. (Karhu, 2013, s. 63) Myös Koskela *et al.* (2003) havaitsivat tutkimuksessaan uudelleentekemisen olevan yksi eniten hukkaa aiheuttavista asioista rakennusprojektin suunnittelutyössä.

## Arvon tuottaminen

Suunnitteluprosessin aikana tarvitaan iterointia, jotta arvoa voidaan luoda. Näin voidaan löytää juuri parhaiten asiakkaalle sopiva vaihtoehto. Toteuttamisen aikainen iteraatio sen sijaan lisää hukkaa. Tätä voidaan kutsua negatiiviseksi iteroinniksi, joka ei luo arvoa. Mikäli negatiivista iterointia saadaan vähennettyä, se vähentää myös hukkaa. (Ballard, 2000c, s. 1; Hansen & Olsson, 2011, s. 71)

Koskela *et al.* (1997) toteavat tutkimuksessaan asiakkaan vaatimusten ja hankkeen tehtävien aikataulujen välillä olevan joskus keskinäistä vaihtuvuutta. Joissakin tapauksissa voi siis olla parempi pyrkiä tuottamaan enemmän arvoa asiakkaalle, kuin huolehtia vain aikataulullisesti mahdollisimman sujuvasta suunnittelun etenemisestä. (Koskela *et al.*, 1997, s. 1-13; Hansen & Olsson, 2011, s. 81) Suunnittelutyön arvon tuottaminen nähdään usein vain toisiaan seuraavien suunnittelutehtävien nopeana suorittamisena, joka on kuitenkin väärä käsitys. Tällöin ei huomioida todellista arvon tuottoa asiakkaalle, vaan asiaa mietitään mahdollisimman nopeasta projektiaikataulun optimoinnista ja sen toteuttamisen näkökulmasta. Suunnittelutiimi ei myöskään ole asiakkaan kanssa määrittämässä, minkälaista arvontuottoa projektissa haetaan. Tällöin vaatimusten täyttämiseen mietitään helposti vain yhtä ratkaisua, vaikka vaihtoehtojen vertailu voi tuottaa arvokkaamman lopputuloksen tilaajalle. (Ballard & Koskela, 1998, s. 9)

## Virtauksen tehostaminen

Suunnittelutyön virtauksen tehostamisella tarkoitetaan tiedonkulun häiriötöntä etene- mistä. Tähän kuuluvat tiedon ”tyhjäkäynnin” minimointi (tuotettu tieto heti käyttöön),

vaatimukset täyttävän tiedon etsimiseen kuluvan ajan minimointi (tutkijan esimerkki: tarkkojen esteettömyysvaatimusten etsiminen kirjasta vs. sähköisestä lähteestä hakutyökalun avulla), tiedon selkeä esitystapa ja tiedon siirtämiseen kuluvan ajan minimointi (tutkijan esimerkki: karkea vertaus esimerkiksi sähköposti vs. kirje). (Ballard & Koskela, 1998, s. 10) Myös Freire & Alarcón (2000) huomasivat tutkimuksessaan, että suunnitelmien valmistumisen ja niiden käyttöönoton välillä oli paljon hukkaa. Suunnitelmat olivat siis valmiit, mutta odottivat turhaan hetkeä, jolloin ne tulivat käyttöön. Tiedon jakaminen yhdestä sijainnista havaittiin myös tehokkaaksi tavaksi vähentää aikaa suunnitelman valmistumisen ja käyttöönoton välillä. Tällöin tietoa tarvitseva osapuoli sai haettua tarvitsemansa tiedon tarvitsemallaan hetkellä ilman informaatiotulvaa.

Työn virtausta tehostamalla voidaan saada pienennettyä uudelleen tehtävän työn määrää, pitkiä suunnitelmien kiertoaikoja, pullonkauloja ja puutteellista suunnittelua (Hattab & Hamzeh, 2016, s. 56). Tribelskyn & Saksin (2011) suorittamassa tutkimuksessa rakennushankkeiden suunnittelun aikana tapahtuva vapaa ja avoin tiedon virtaus tuotti laadultaan parempia suunnitelmia ja auttoi hanketta saavuttamaan taloudelliset tavoitteensa. Virheitä ja ennalta arvaamattomia poikkeamia esiintyi tällöin harvemmin. (Tribelsky & Sacks, 2011, s. 141, 149)

## 2.6 Lean Construction -toimintatapoja ja työkaluja

Taulukkoon 1 on koottu tutkimusartikkeleista löydettyjä *lean construction*-työkaluja, joita voidaan soveltaa suunnittelutyön virtauksen parantamiseen ja hukan poistamiseen. Kaikkia työkaluja ei avata tässä tutkimustyössä, vaan lukija voi halutessaan etsiä enemmän tietoa aiheesta lähteistä, jotka on mainittu ensimmäisessä sarakkeessa. Taulukkoon ei ole listattu kaikkia tutkimuksen lähteitä.

**Taulukko 1. Suunnittelun ohjauksen työkalujen käyttöesimerkkejä kirjallisuudesta.**

Lähde	Työkalu	Tarkoitus
Hattab & Hamzeh, 2016	ABM (Agent-based Modeling)	Työkalu, jolla seurataan suunnittelijoiden ja suunnittelutiedon kulkua sekä näiden pullonkauloja
Ballard, 2000a; Kerosuo <i>et al.</i> , 2010;	Last Planner System	Toimintamenetelmä, jolla pyritään löytämään mahdolliset työn suorittamisen esteet ennakoivasti sekä sitoudutaan suunniteltujen tehtävien toteuttamiseen
Ballard, 2000a; Kerosuo <i>et al.</i> , 2010	WWP (Weekly Work Plan)	Viikoittainen työsuunnitelma, jonka avulla pyyritään lisäämään läpinäkyvyyttä ja määrittämään mahdollisia lähtötietopuutteita
Ballard, 2000a; Kerosuo <i>et al.</i> , 2010	PPC (Percentage Plan Complete)	Mittari viikoittaisen työtehtävien edistymisen mittaukseen
Parrish & Tommelein, 2009; Arryo <i>et al.</i> , 2014	CBA (Choosing By Advantages)	Päätöksentekomenetelmä, joka perustuu hyötyjen määrityksen
Ballard, 2000c; Karhu, 2013	Set-based design	Menetelmä, jolla pyritään rajaamaan suunnitteluvaihtoehtoja siten, että mukana kuljetetaan vaihtoehtoja, joita ei tarvitse lukita liian aikaisessa vaiheessa
Koskela <i>et al.</i> 1997	DSM (Design Structure Matrix)	Suunnitelmien ja suunniteltujen tehtävien järjestystä optimoiva matriisimuotoinen työkalu
Khan & Tzortzopoulos 2014	FRA (Failure Reason Analysis)	Selvitetään poikkeamaan johtanut tapahtumien ja päätösten ketju
Bølviken <i>et al.</i> 2010	CDM (Collaborative Design Management)	Last Planner <sup>TM</sup> -menetelmää soveltava työtapa suunnittelun ohjauksen avuksi SR-toteutusmuodolla

## Big Room-toiminta suunnittelun ohjauksen apuvälineenä

**Big Room-**työskentely on tapa keksiä ratkaisuja suunnittelutyössä esiintyviin haasteisiin siten, että projektin osapuolet työskentelevät samassa tilassa (Khanzode *et al.*, 2008, s. 333; Juntunen, 2015, s. 60-66). Ideana on, että esimerkiksi suunnittelijat ja pääurakoitsija, kokoontuvat työskentelemään päätetyksi ajaksi tai tietyin väliajoin samaan tilaan, jossa havaittuja suunnitteluongelmia ratkaistaan niiden ilmettyä ja ongelmaan saadaan mahdollisimman laaja näkökulma heti alussa. Näin voidaan tehdä parempia suunnittelu- ja toteutusratkaisuja useiden osapuolten osaamista hyödyntämällä, sillä yksittäisten kommenttien keräämiseen ja odottamiseen tuhlautuva aika saadaan minimoitua. (Khanzode *et al.*, 2008; Staub-French & Khanzode, 2007)

Juntunen (2015, s. 51) kuvaa rakennusyhtiön Big Room-toimintatapaa tutkimuksessaan, jossa ehdotetaan vakioitua tapaa kyseiselle menetelmälle. Big Room-toimintaa pidettiin tavanomaisia suunnittelukokouksia parempana työkaluna, se lisäsi läpinäkyvyyttä osapuolten välillä ja auttoi lähtötietojen määrittämisessä. Kerosuo *et al.* (2012) havaitsivat tutkimuksessaan yhteistyön parantuneen ja tuottaneen projektin kannalta parempia tuloksia, kun kommunikaatio oli avointa ja suunnitteluratkaisujen päätöksiin osallistettiin useampia suunnitteluosapuolia Big Room-toiminnan avulla. Juntunen (2015, s. 50) nostaa kuitenkin tutkimuksessaan esille sen, että osapuolten tulisi ymmärtää ja sitoutua Big Roomin käyttöön jo suunnittelutyön tarjouspyynnöissä. Sen osapuolen, joka haluaa toteuttaa Big Room-toimintaa, tulisi tuoda sen tavoitteet ja hyödyt esille jo suunnittelutarjouspyyntöjä pyydettyä. On kuitenkin muistettava, että monen ihmisen läsnäoloa vaativa tapahtuma lisää kustannuksia.

## 2.7 Tietomallinnus ja suunnittelun ohjaus

Termiä **BIM** käytetään kahdesta eri asiasta: **Building Information Modeling**, suom. tietomallintaminen tai **Building Information Model**, suom. tietomalli. Tietomallintaminen kuvaa kokonaisvaltaista työskentelytapaa, kun taas tietomallilla tarkoitetaan tiettyä objektia tai niiden kokonaisuutta (esimerkiksi virtuaalinen 3D-malli asuinrakennuksesta ja sen osista). (Eastman *et al.*, 2011, s. 353) Tietomallintaminen voidaan kuvailla prosessin ja teknologian yhdistelmäksi, jonka avulla rakennushankkeen osapuolet tuottavat ja hallitsevat hankkeeseen liittyvää tietoa yhteisessä ympäristössä (Wu *et al.* 2014, s. 557). Rakennushankkeen tietomallintamisella tavoitellaan suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden, ja kestävä kehityksen mukaisen hanke- ja elinkaari prosessin tukemista (buildingSMART Finland, YTV2012 osa 1., s. 5; Philipp, 2013, s. 2). Tietomallinnuksen voidaan katsoa olevan osa *Lean Constructionia*, sillä sen tarkoitus on vähentää hukkaa, parantaa tiedon virtausta ja tuottaa arvoa (Khan & Tzortzopoulos, 2014; Sacks *et al.*, 2010). Myös Sacks *et al.* (2010) toteavat tietomallinnuksen ja Lean Constructionin välillä olevan synergioita, vaikka ne toisaalta ovatkin eri kokonaisuuksia.

Tietomalleista puhuttaessa ne voidaan jakaa eri ”ulottuvuuksiin” (*nD*) sisältönsä puolesta: 3D-malli on visuaalinen esitys kohteesta, 4D-malli sisältää aikatiedon linkityksen malliin ja 5D-malli on täydennetty lisäksi kustannustiedolla (Boon & Prigg, 2012; Bryde *et al.*, 2013; Mitchell, 2012; Philipp, 2013, s. 2; Smith, 2016). Redmond *et al.* (2012, s. 175) sekä Abbasnejad & Moud (2013, s. 290) esittävät tutkimusraporteissaan tietomallille vielä kuudenneksi ulottuvuudeksi (6D) elinkaaren.

### 2.7.1 Uusien työtapojen haasteet

Tietomallinnus voi olla joissakin tapauksissa haasteellinen asia. Mikäli yritys ei ole saanut jalkautettua tietomallinnustyökaluja toimintaansa tai työntekijöillä ei ole kokemusta näiden työkalujen käytöstä, ne saattavat muodostua hidastavaksi tekijäksi. (Sacks *et al.*, 2010, s. 973; Khan & Tzortzopoulos, 2014) Eri suunnittelualojen (esimerkiksi arkkitehtisuunnittelu, rakennesuunnittelu, LVI-suunnittelu) välillä on vaihtelevia käytäntöjä tietomallintamisen käytössä, vaikka työskentelevät saman hankkeen parissa: toinen osapuoli välittää huomattavan määrän tietoa käyttämällä mallinnusta, kun taas toinen osapuoli saattaa tuottaa vain 2D-dokumentteja (Boon & Prigg, 2012, s. 92).

Tietomallinnus ei ole automaattinen ratkaisu rakennusalan ongelmiin, vaikka sen edut tuovatkin suuren muutoksen alan toimintatapoihin (Fox, 2014; Philipp, 2013). Smith (2016) esittää tutkimuksessaan, että tietomallintamisen täysiä hyötyjä ei ole vielä saavutettu, sillä tietomallit eivät vielä sisällä kaikkea oleellista tietoa tuottavuuden parantamisen kannalta. Tietomallinnuksen on myös havaittu joissakin tapauksissa lisäävän työkuormaa, sillä tietomallia ja siihen liittyvää tietoa tulee päivittää myös tavanomaisten projektiin liittyvien asioiden ohella (Fox, 2014, s. 411).

### 2.7.2 Tietomallinnuksen hyödyt suunnitteluvaiheessa

Redmond *et al.* (2012, s. 178) esittävät tutkimuksessaan, että tietomallinnuksella voidaan juuri suunnitteluvaiheessa tuottaa eniten arvoa rakennusprojektille. Näistä erityisesti projektin alkupäässä tapahtuvalla suunnitteluvaihtoehtojen vertailulla voitaisiin välttää kustannusten turhaa sitomista, jos esimerkiksi projekti ei näytä yltävän tavoitteisiinsa. (Redmond *et al.*, 2012, s. 178; Shourangiz *et al.*, 2011, s. 79) Ghassemi & Becerik-Gerber (2011, s. 46) havaitsivat tietomallinnuksen auttavan projektin osapuolia selkeyttämään tavoitteensa, parantavan yhteistyötä ja lisäävän läpinäkyvyyttä. Bryde *et al.* (2013) esittävät tietomallinnuksen rakennushankkeessa vaikuttavan positiivisesti ainakin seuraaviin asioihin: aikataulu, kommunikaatio, koordinointi ja laatu (Bryde *et al.*, 2013, s. 978). Toiteuttavat osapuolet, kuten työmaa ja aliurakoitsijat pystyvät taas suuresti hyötymään hankkeen visuaalisesta esityksestä työtekniikoiden ja rakennusjärjestysten optimoinnissa (Philipp, 2013, s. 3; Khanzode *et al.*, 2008).

Tiedon jakaminen ja yhteinen työskentelyalusta ovat olennaisessa osassa onnistunutta projektia (Go & London, 2010, s. 998; Singh *et al.*, 2010, s. 135). Yksi tietomallinnuksen eduista onkin juuri tiedon avoimuus kaikille hankkeen osapuolille sekä työskentely yhdellä selkeällä alustalla (Abbasnejad & Moud, 2013, s. 292; Philipp, 2013, s. 2; Redmond *et al.*, 2012, s. 180). Tiedon hakemiseen ja sen saamiseen kuluva aika on suuressa osassa suunnittelun edistymistä. Tämän nopeuttamiseksi yhteinen työskentelyalusta osapuolten käytössä voi tarjota huomattavia etuja odotusajan vähentämiseksi. (Redmond *et al.*, 2010, s. 182) Ho *et al.* (2013) tutkivat rakennushankkeen tiedon vaihtoa käyttämällä tietomallia keskitettynä tietolähteenä. Tietomallin eri rakennusosiin yhdistettiin tietoa aikaisemmista projekteista ja opituista asioista. Kun tieto oli syötetty järjestelmään, määritetyt henkilöt saivat tiedon uudesta huomiosta. Tämä koettiin hyväksi oppimistavaksi ja tilanteiden visualisointi mallin avulla auttoi oppimista. (Ho *et al.*, 2013)

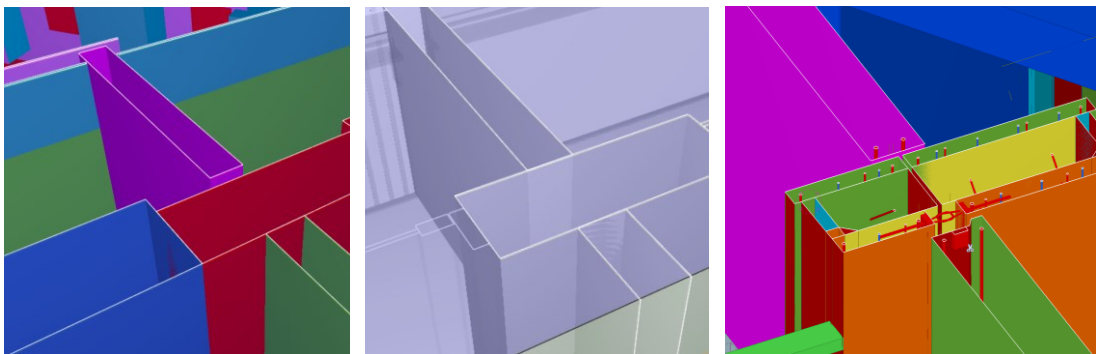
### 2.7.3 Tietomallinnuksen vaatimukset suunnittelutyölle

Tietomallinnus vaatii toimiakseen osapuoliltaan vakiooidut toimintatavat, joilla osoitetaan projektin tehtävät ja vastuut (Singh *et al.*, 2010, s. 135; Redmond *et al.*, 2012, s. 179). Hankekohtainen tietomallinnuksen projektisuunnitelma taas auttaa suunnittelun osapuolia hahmottamaan tavoitteensa ja vastuunsa. (Mitchell, 2012, s. 3; Philipp, 2013, s. 3; Abbasnejad & Moud, 2013, s. 293) Singh *et al.* (2010, s. 142) esittävät tutkimuksessaan, että asioiden riippuvaisuussuhteiden visualisoiminen ja esille tuonti auttaisivat osapuolia hahmottamaan projektin tavoitteet tehokkaammin. Tietomallipohjainen suunnittelu vaatii koordinoitua varsinkin toteutussuunnittelun aikana, sillä mikäli virheitä tai yhteensopimattomuuksia muiden suunnittelualojen kesken ei havaita, suunnitelma siirtyy virheellisenä tuotteen valmistajalle (Tommelein & Gholami, 2012, s. 2).

Projektien sopimusasiakirjat tulisi päivittää sellaisiksi, että ne tukevat nykypäivän tietomallityöskentelyä (Redmond *et al.*, 2012, s. 179). Projektia suunniteltaessa kannattaa kuitenkin arvioida, mitkä tehtävät kannattaa tehdä tietomallinnusta hyödyntäen. Projekteissa on yleensä tiettyjä toisistaan riippumattomia tehtäviä, joiden suorittamisessa tietomallinnamisella ei ole mainittavaa hyötyä. (Go & London, 2010, s. 998)

#### Tietomallin tarkkuus

Se, kuinka tarkka tietomallin missäkin rakennusprojektin vaiheessa tulee olla ja mitä tietoa sille syötetään, riippuu tietomallin käyttötarkoituksesta. Esimerkiksi tietomallipohjainen määrälaskenta hyötyy suuresti siitä, että jokaiselle rakenneosalle on syötetty materiaalitieto, työmaa taas hyötyy suuresti rakennusosan asentamisen aikataulutiedosta (Eastman *et al.*, 2011, s. 264). Hankkeen osapuolien tulisikin yhdessä päättää mahdollisimman aikaisin ja tarkkaan, mitä kukin osapuoli tietomallista tarvitsee ja miten sitä aiotaan käyttää. Tällöin muodostetaan tarvittava tarkkuustaso mallinnukselle. (Khanzode *et al.*, 2008, s. 329) Myös Tommelein & Gholami (2012) nostavat tietomallinnuksen tarkkuuden varsinkin suunnitteluosapuolien välillä yhdeksi tärkeäksi asiaksi hukan vähentämisen tavoittelussa. Toisaalta liian suuri tietomäärä liian aikaisessa vaiheessa aiheuttaa vain turhaa työtä (Smith, 2016, s. 199; Berard & Karlshoej, 2012, s. 72; Monteiro & Martins, 2013, s. 240).



Kuva 5. Tietomallin tarkkuutta havainnollistavat kuvat. Vasemmassa reunassa Firan kustannustietomalli, keskellä arkkitehdin tietomalli ja oikealla valmis rakennesuunnittelun toteumatietomalli. (Fira, 2016)

Hankkeen suunnittelun edetessä tuotetun tiedon määrä lisääntyy, kuten kuvassa 5 on esitetty. Esimerkiksi ehdotussuunnitteluvaiheen tarkkuus on merkittävästi pienempi kuin toteutussuunnitteluvaiheen. Toteutussuunnitteluvaiheessa suunnittelun koordinoitua vai-

keutuu ja rakentamisen kustannukset alkavat kasvaa. Monesti tämä johtaa eri suunniteluosapuolien suunnitelmien ristiriitaisuuksiin ja esimerkiksi rakennus- ja talotekniikkaosien yhteensopimattomuuksiin. (Mokhtar *et al.*, 1998, s. 82)

### 3 Tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta

Tässä luvussa tarkastellaan tietomallipohjaista määrä- ja kustannuslaskentaa. Itse määrää- tai kustannuslaskennan prosessia tai suorittamista ei esitetä tarkasti, vaan pääpaino on tietomallin hyödyntämisessä muutosten tutkimisessa. Teknologia ja uudet menetelmät muuttavat rakennusalan rooleja ja tietotekniikan hyödyntäminen on koko ajan suurem-  
massa osassa rakennusliikkeiden toimintaa (Sacks *et al.*, 2016, s. 480; Smith, 2016, s. 194). Suunnittelun ohjaaja tulee suorittamaan tietomallipohjaista määrä- ja kustannuslas-  
kenta erityisesti suunnitteluvaihtoehtojen vertailuja tehdessään (Taboada & Garrido-  
Lecca, 2014, s. 1479; Mitchell, 2012). Tämän myötä toteutussuunnitteluvaiheen muutos-  
ten hallinta tulee tapahtumaan paljolti tietomallinnusta hyödyntäen.

#### 3.1 Rakennusprojektin määrä- ja kustannuslaskenta yleissuun- nitteluvaiheessa

Määrälaskenta- ja kustannuslaskenta ovat yksiä rakennusprojektin avainprosesseista (Olatunji *et al.*, 2010, s. 69; Monteiro & Martins, 2013, s. 238; Shen & Issa, 2010, s. 235; Wijayakumar & Jayasena, 2013, s. 70). Perinteinen 2D-dokumenteista tapahtuva määrä-  
laskenta voidaan jakaa kolmeen osaan: 1) rakennusosien ja niiden keskinäisten suhteiden tunnistaminen, 2) mittatietojen selvittäminen ja 3) näihin tietoihin perustuva laskenta ja ryhmittely (Shen & Issa, 2010, s. 236). Kärjistäen voidaan sanoa, että 2D-suunnitelma on suunnittelijan luoma yhdistelmä viivoista, jolloin sen käyttö rajoittuu yhdellä tavalla esitettyyn muotoon. Myöskin suunnitteludokumentit ovat erillisiä. Ne eivät ole yhtey-  
dessä toisissaan, jolloin ne muodostaisivat yhtenäisen kokonaisuuden. Tällöin myös määrä- ja kustannuslaskentaa varten itse laskijan täytyy käyttää paljon aikaa voidakseen suorittaa laskennan, joka huomioi rakennuksen kokonaisuutena. (Samphaongoen, 2010)

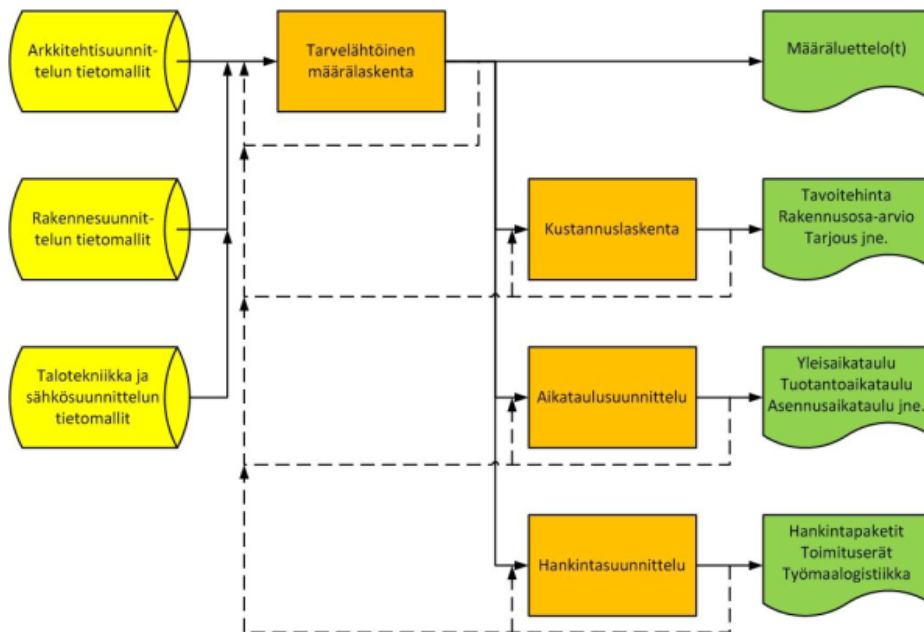
Kustannus- ja määrälaskija tuottaa siis olemassa oleviin suunnitelmiin ja tietoihin poh-  
jautuen rakennusprojektin kustannuslaskelman. Suunnitelmat päivittyvät kuitenkin usein, joka vaatii laskijoilta nopeaa ja luotettavaa tietoa muutoksista (Taboada & Garrido-Lecca, 2014, s. 1474). Tämän vuoksi kustannuslaskijan ja suunnittelijoiden välinen kommuni-  
kointi on erittäin tärkeää, sillä suunnitelmamuutokset tarkoittavat muutosta myös raken-  
nusprojektin budjettiin (Matipa *et al.*, 2008, s. 164). Hankkeen kustannusarvio päivittyy harvoin yhtä tiheästi suunnittelun mukana tai se ei vastaa todellista tilannetta. Kustannus-  
arvio on kuitenkin aina vain tiettyä hetkeä heijastava (Eynon, 2013, s. 48-50).

Yleissuunnitteluvaiheessa hankkeen rakennuskustannukset perustuvat suunnitelmista laskettuihin määriin, joita täydennetään tarvittaessa (kaikkia asioita ei vielä esitetä suunnitelmissa tässä vaiheessa, mutta niiden tiedetään olevan välttämättömiä). Määrälaskel-  
miin perustuvalla hinnoittelulla luodaan tämän jälkeen rakennusosakohtainen kustannus-  
arvio projektille. (Lindholm, 2009, s. 15; Haahtela, 2013, s. 105) Taboadan & Garrido-  
Leccan (2014, s. 1474) mukaan laadukkaan kustannusarvion tekeminen vaatii vähintään kolme asiaa: luotettavan informaation, projektin tuotantoaikataulun sekä resurssit kustan-  
nusarvion tekemiseen.

## 3.2 Määrä- ja kustannuslaskenta tietomallia hyödyntäen

### 3.2.1 Automaattinen määrälaskenta

Rakennushankkeen määrälaskenta on muuttunut suuresti tietomallinnuksen myötä, sillä manuaalinen mittaaminen jää vähemmälle tietokoneen suorittaessa laskemisen (Wu *et al.* 2014, s. 558; Wijayakumar & Jayasena, 2013, s. 70). Määrätietoja voidaan laskea eri suunnittelualojen (esimerkiksi arkkitehti, rakenne, sähkö) tietomalleista ja se tapahtuu huomattavasti nopeammin kuin perinteinen 2D-piirustuksista tehtävä mittaaminen. Kuva 6 esittää tietomallintamisen hyötyjä varsinkin määrä- ja kustannuslaskennan kuvakulmasta katsottuna.



Kuva 6. Tietomallintamisen käyttömahdollisuuksia. (buildingSMART, 2012, YTV2012 osa 7.)

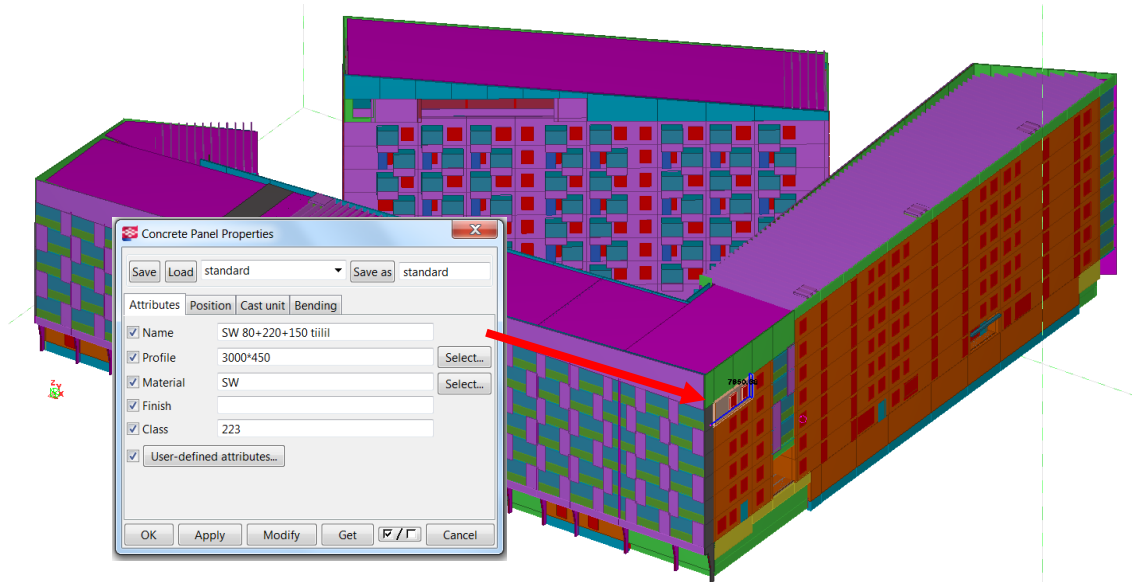
Määrälaskennan automatisoituessa kustannus- ja määrälaskennan ammattilainen voi keskittyä kehittämään ja tarjoamaan parempia palveluita rakennusprojektille, joilla voidaan lisätä eri osapuolien kustannustietoutta (Smith, 2016, s. 194). Esimerkiksi lähtötietojen kelpoisuus ja rakennettavuuden arviointi ovat asioita, jotka perustuvat laskijan osaamiseen, eivät tietomallinnustyökalun ominaisuuksiin (buildingSMART, YTV2012 osa 7.). Matipa *et al.* (2008) esittävät tutkimuksessaan määrälaskennan olevankin yhä enenemissä määrin muuta kuin määrien mittaamista. Mittauksen automatisoituessa arvoa täytyy tuottaa jollakin muulla tavalla. (Matipa *et al.*, 2008, s. 178) Rakennusosakohtainen kustannusarvio on kuitenkin hyvin riippuvainen suunnitelmien tarkkuudesta ja laskijan ammattitaidosta, kuin myös laskentamenetelmästä (Lindholm, 2009, s. 16).

### 3.2.2 Hintatieto ja kustannusten tarkastelu

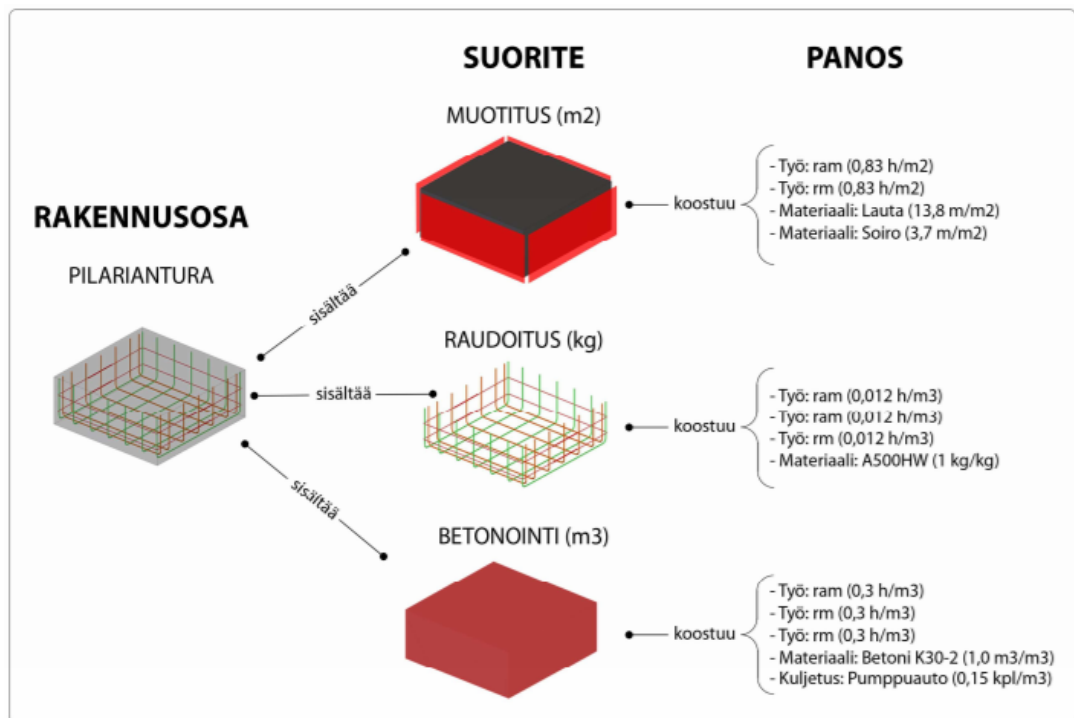
Rakennusprojektin kustannusmuutoksia voidaan tarkastella nopeammin ja hanketta voidaan ohjata tehokkaammin haluttuun suuntaan, kun kustannukset (5D) otetaan mukaan tietomallintamiseen (Mitchell, 2012). Tietomalli voidaan esimerkiksi linkittää kustannuslaskentaohjelmaan. Tällöin rakennusosien sisältämät tiedot voidaan lukea suoraan tietomallista ja kustannuslaskentaohjelman avulla esimerkiksi suorite- ja panostiedot voidaan automaattisesti sisällyttää tietomallin objektiin (kuva 7). Kuva 8 rakennusosan sisällöstä



ja sen valmistamiseksi tarvittavista suoritteista ja panoksista selkeyttää tämän kaltaista kustannuslaskentamenetelmää (Teittinen, 2009, s. 6). Rakennusosa tarvittavine tietoineen luodaan mallinnusohjelmalla. Suorite- ja panostiedot saadaan kustannuslaskentaohjelmasta ja ne mallinnetaan vain osittain (esimerkiksi anturan betoni ja rauditus mallinnetaan, muottiin tarvittavan materiaalin mallinnus ei ole välttämätöntä, sillä se voidaan ohjelmoida laskettavaksi suoraan betonin tiettyjen pintojen alojen mukaisesti).



Kuva 7. Kustannustietomalli ja objektin tiedot määrä- ja kustannuslaskentaa varten. Rakennusosa on nimetty kirjaston mukaisesti, jolloin tietyllä nimellä on olemassa hinta. Rakennusosan määrätiedot saadaan luettua automaattisesti ohjelmistoja hyödyntämällä. (Fira, 2015)



Kuva 8. Rakennusosan sisältämät tiedot kustannusarvion luomiseksi. (Teittinen, 2009)

### 3.2.3 Tietomallinnuksen tuomat haasteet määrä- ja kustannuslaskennassa

Tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta nopeutuvat huomattavasti tietomallin hyödyntämisellä, mutta siinä on myös tietyt haittapuolensa (Fox, 2014; Smith, 2016). Määrä- ja kustannuslaskennan ammattilainen arvioi laskentaprosessin aikana vaihtoehtoisia ratkaisuja ja tuotantotapoja, joiden vertailu saattaa jäädä liian vähälle huomiolle laskennan automatisoituessa. Näin ollen laskennassa säästetty aika voi aiheuttaa kustannuksia myöhemmässä vaiheessa. (Fox, 2014, s. 408; Smith, 2016) Markkinoilla tarjolla olevat ohjelmistot eivät suoraan sellaisenaan ole kaiken ratkaiseva apu, sillä ohjelmistojen yhteensopivuudet toistensa kanssa, tai hankkeen luonne soveltuvat parhaiten vain tietyille määrälaskentaohjelmille (Wu *et al.* 2014, s. 558).

Taboada & Garrido-Lecca (2014) esittävät tutkimuksessaan tietomallinnuksen nopeuttavan määrälaskentaa- ja kustannuslaskentaa, mutta se vaatii tiettyjä asioita toimiakseen: yrityksen ylimmän johdon tulee suhtautua myönteisesti tietomallinnukseen, ihmisten välisen yhteistyön ja kommunikoinnin täytyy toimia, tietomallinnuksen toimintatavat tulisi vakioida ja uusien työkalujen käyttöönotolle täytyy antaa aikaa, jotta niistä voidaan hyötyä.

Smith (2016) esittää tutkimuksessaan haasteiksi yritysten välisen yhteistyön ja luottamuksen. Jotta tietomallia voidaan hyödyntää määrä- ja kustannuslaskennassa mahdollisimman tehokkaasti, osapuolten välisen tiedonvaihdon tulisi olla erittäin avointa. (Smith, 2016, s. 195, Mitchell, 2012) Usein kustannuslaskenta on oma irrallinen työvaiheensa, joka ei näy muille osapuolille (Mitchell, 2012, s. 4). Lisäksi yritysten omien intressien vuoksi hintatieto pidetään salassa kilpailullisista syistä (Monteiro & Martins, 2013, s. 239). Toisaalta taas esimerkiksi Smith (2014, s. 482) esittää tutkimuksessaan, että kustannustiedon jakaminen tulee yhä tärkeämpään rooliin tietomallinnuksen yleistyessä. Tietoa joko jaetaan tai yritys ei ole mukana hankkeessa.

Ammattitaitoon perustuva rakennettavuuden arviointi on tarpeellinen, jotta kustannusarvio saadaan tarpeeksi hyvin vastaamaan todellisuutta. (Monteiro & Martins, 2013, s. 240; Shen & Issa, 2010, s. 239) Esimerkiksi tietomallin objektista saatava mittatieto ei aina välttämättä ole suoraan kustannuslaskennan mittauserusteisiin sopiva (tietokoneohjelma saattaa antaa tuotteen kokonaispainon, vaikka tuotteesta haluttaisiin paino/juoksumetri). (Wijayakumar & Jayasena, 2013, s. 77) Kustannus- ja määrälaskennan aikana rakennusosan lopputulos on määritelty suunnitelmien mukaisesti, kun taas sen rakentamiseen käytettävä tekniikka on usein työmaakohtainen. Tämä vaikuttaa rakennusosan kustannuksiin ja ainakaan toistaiseksi sitä ei ole sisällytetty tietomalleihin. (Shen & Issa, 2010, s. 236)

### 3.2.4 Visualisointi

Mitchell (2012) esittää, että tietomallinnusta hyödyntämällä pystytään vertailemaan mahdollisia rakennusprojektin toteuttamisvaihtoehtoja huomattavasti perinteistä paperikuvista mittaamalla käytettyä tekniikkaa nopeammin. Suunnittelijat saavat nopeasti palautetta ratkaisujensa kustannuksista, sillä vaikutukset voidaan suoraan yhdistää visuaalisesti esitettyihin vaihtoehtoihin (Mitchell, 2012; Wijayakumar & Jayasena, 2013, s. 70; Shen & Issa, 2010). Määrälaskija pystyy myös paremmin hyödyntämään ammattitaitoaan käymällä tarvittavat asiat kokonaisvaltaisemmin läpi, esimerkiksi rakennettavuuden arviointi helpottuu visualisoinnin myötä (Boon & Prigg, 2012, s. 95; Kim *et al.*, 2009, s. 493).

### 3.2.5 Yhteiset toimintatavat

Yhteisten mittausmenetelmien käyttö on ehdoton vaatimus laajamittaisessa tietomallinnuksen hyödyntämisessä määrä- ja kustannuslaskennassa (Olatunji *et al.*, 2010, s. 69; Monteiro & Martins, 2013, s. 238; Wijayakumar & Jayasena, 2013, s. 78). Yrityksillä ja organisaatioilla tulee kuitenkin olla myös omat ohjeensa tarkempaan mallinnusohjeiden määrittelyyn, jotta niitä voidaan hankekohtaisesti tarvittaessa muokata ja tarkentaa (Sacks *et al.* 2016, s. 500). Boon & Prigg (2012) havaitsivat tutkimuksessaan, että määrälaskija saattaa usein tarvita sekä tietomallia että perinteisiä suunnitelmia saadakseen riittävän tarkan arvion rakennusarvioon tarvittavista osista. Yhteinen hintakirjasto sen sijaan nähtiin joidenkin yritysten mukaan riskialttiina, koska jokainen hanke on omanlaisensa haasteineen ja sijainteineen. Tällöin yhtenä riskinä voi olla ratkaisujen yleistäminen, joka johtaa väärään tietoon. (Boon & Prigg, 2012, s. 94-95)

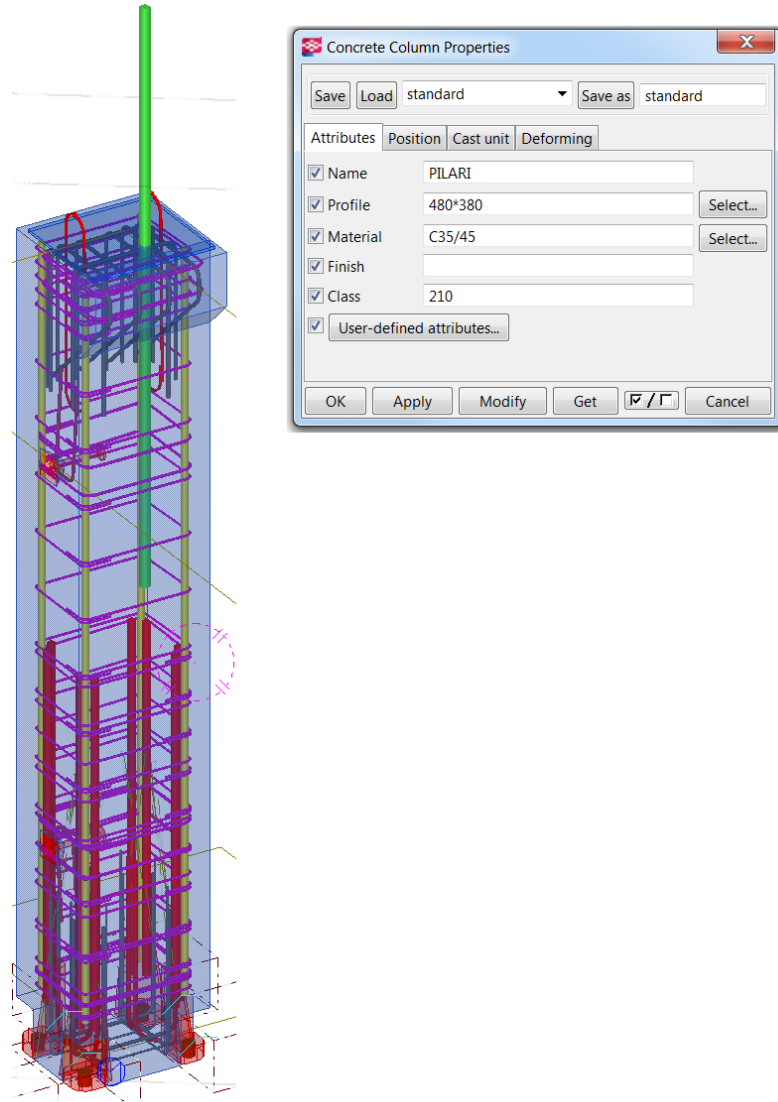
### 3.2.6 Mallinnusobjektit ja tietosisältö

Tietomallin tietosisältö on olennaisessa osassa, sillä sen puute tai väärä tieto vaikuttaa kaikkiin sen käyttäjiin. Sisällön määrittämisen avuksi on perustettu kansallisia ja kansainvälisiä työryhmiä (buildingSMART Finland; Smith, 2016, Sacks *et al.*, 2016; Olatunji *et al.*, 2010), joiden avulla erilaisia käytäntöjä tietomallin sisällölle pyritään yhdistämään.

Tietomallinnettu objekti (esimerkiksi betonipalkki, terästanko tai eristelevy) on tietomallinnuksen lähtökohta. Objektin geometria muodostuu mallintajan määrityksen mukaan ja tämän lisäksi objektille voidaan käytännössä sisällyttää loputtomasti tietoa. (Wijayakumar & Jayasena, 2013, s. 74) Objekti ei ole kuitenkaan irrallinen osa, vaan se on joukko parametreja, jotka voivat olla sidottu taas toisen osan parametreihin (Abbasnejad & Moud, 2013, s. 287; Redmond *et al.*, 2012, s. 175). Tämän ansiosta esimerkiksi seinäelementin raudoitukset pysyvät määrätyn suojaetäisyyden päässä betonipinnasta, vaikka seinäelementin paksuutta kasvatettaisiinkin. Kuva 9 esittää teräsbetonipilaria, joka on mallinnettu objekti. Betonipilari sisältää myös objekteja, kuten teräkset. Mikäli betoniobjektin profiilia kasvatetaan, teräshakojen mitat kasvavat, sillä suojabetonin paksuus pysyy määräysten mukaisesti lukittuna vaadittuun minimietäisyyteen.

Rakennusosat mallinnetaan siis objekteina ja mikäli niitä käytetään määrä- ja kustannuslaskennassa, niitä täytyy täydentää tiedolla (kuva 9). Kustannuslaskentaohjelmistojen suuresta määrästä johtuen tämän vaiheen toteutukseen on monia tapoja. Toistaiseksi suosituin tapa on tulostaa määräluettelot taulukkomuotoon, jonka jälkeen niitä on helppo hyödyntää haluamallaan tavalla. (Eastman *et al.*, 2011, s. 277)

Tietomallipohjaiseen kustannuslaskentaan ja alalla käytettäviin mittauskäytäntöihin sisältyvä yksi merkittävä haaste on ainakin se, että mallinnettu objekti ei välttämättä sisällä kaikkea tarvittavaa tietoa siitä, mitä kaikkea rakennusosa tarvitsee, jotta sen voidaan katsoa olevan asiakkaalle luovutettavassa kunnossa (Boon & Prigg, 2012, s. 93). Esimerkiksi ontelolaattavälikomponentti tarvitsee itse ontelolaattojen lisäksi saumavalun, saumojen raudoituksen, tasausbetonin valun, askeläänieristysmateriaalin ja pintamateriaalin ollakseen valmis rakennusosa. Näiden kaikkien osien mallintaminen voi olla hyvin työlästä, eikä monessakaan tapauksessa luo arvoa.



**Kuva 9. Tietomallinnusobjekteista (betonipilari + teräsosat) koostuva kokoonpano, joka muodostaa toteutusvalmiin teräsbetonipilarin tiedot. Kuvassa näkyy osa pilarin tietosisällöstä: nimi, pilarin profiili, betonin lujuusluokka ja tiedonkäsittelyä tehostava luokituskoodi, joka tässä tapauksessa syötetään kaikille teräsbetonipilareille. (Fira, 2016)**

## 4 Muutosten hallinta

Tässä luvussa käsitellään muutosten hallintaa rakennusprojektin suunnittelutyön ja sen vaikutusten näkökulmasta. Muutoksen hallinnan perusprosessi esitetään kuitenkin yleisemmällä tasolla, sillä siihen kuuluvat toimenpiteet ovat melko samanlaisia alasta riippumatta. Suunnitelmamuutokset havaitaan usein vasta työmaalla, jolloin niihin ei osata varautua. Tämä aiheuttaa suunnittelijalle uudelleen tehtävää suunnittelutyötä ja työntekijälle odottelua työmaalla. (Shourangiz *et al.*, 2011; Khanzode *et al.*, 2008, s. 326) Kumpikaan näistä ei ole arvoa tuottavia tehtäviä, joten niiden voidaan luokitella olevan hukkaa (Park & Peña-Mora, 2003; Ballard, 2000c).

Voropajev (1998) kuvaa muutosten hallinnan seuraavasti: ”Muutosten hallinta on välttämätön prosessi, joka liittyy kaikkiin projektin sisäisiin ja ulkoisiin tekijöihin: mahdollisten muutosten ennustamiseen, jo tapahtuneiden muutosten tunnistamiseen, ennaltaehkäisevien toimenpiteiden suunnitteluun ja koko projektissa tapahtuvien muutosten koordinointiin”. Muutosten hallinnalla pyritään suojaamaan projektia ulkoisilta ja sisäisiltä haittavaikutuksilta, toteuttamaan tarvittavat muutokset ja hallitsemaan itse muutosta tapahtumana/prosessina. (Voropajev, 1998, s. 17)

### 4.1 Muutosten syyt rakennusprojekteissa ja niiden suunnittelutyössä

Hao *et al.* (2008) mukaan rakentamiselle tyypillisiä piirteitä ovat hankkeiden kertaluonteisuus ja siihen osallistuvien osapuolten jatkuva vaihtuminen. Tämän lisäksi aikaisempien kokemusten hyödyntäminen on hankalaa, koska hankkeet suunnitellaan ja rakennetaan yksittäisesti sekä lähes aina eri paikkaan. (Hao *et al.*, 2008, s.2; Kankainen & Junnonen, 2017, s. 28) Edellä mainituista asioista johtuen rakennushankkeissa esiintyy muutoksia monista eri lähteistä ja syistä johtuen (Hao *et al.*, 2008, s. 2). Taulukko 2 esittää rakennusprojektin tyypillisiä muutoksia sen eri vaiheissa. Muutokset aiheuttavat tavallisesti kiistoja, osapuolten välisiä vaatimuksia, viivästyksiä ja kustannusten kasvamista (Sun & Oza, 2011, Shourangiz *et al.* 2011). Sun *et al.* (2006) esittävät muutosten hallinnan olevan yhtä tärkeässä asemassa projektin muiden osa-alueiden, kuten kustannusten ja suunnittelun ohjauksen kanssa (Sun *et al.*, 2006, s. 269).

**Taulukko 2. Rakennusprojektien tyypillisiä muutoksia eri vaiheissa. (muokattu lähteestä Hao *et al.* 2008, s. 3)**

Vaihe	Osapuoli	Muutostyyppi	Vaikutus	Toimenpide
Määrittäminen	Omistaja/Tilaja/Käyttäjä	Muutokset projektin vaatimuksissa ja tavoitteissa	Muutokset suunnittelun ja rakentamisen prosesseissa	Tarkkojen vaatimusten ja tavoitteiden kartoittaminen ja dokumentointi ennen urakkakilpailua.
Suunnittelu	Suunnittelija, konsultti	Keskeneräiset suunnitelmat, suunnitelmavirheet, suunnitelmamuutokset, määrärausten ja asetusten muutokset	Muutospyynnöt, suunnittelutyön ja suunnitelmien uudelleentekeminen, uudelleentekemisen työmaalla	Suunnitelmien päivitysten hallinta, työmaakäynnit, rakennettavuuden arviointi suunnittelussa
Rakentaminen	Urakoitsija, aliurakoitsija	Odottamattomat työmaolosuhteet, materiaaleja tai laitteita ei ole saatavilla, laatu- virheet	Uudelleentekeminen, muutospyynnöt, suunnitelma- muutokset	Laadunhallinta, työmaan hallinta, suunnitelmien ja dokumenttien koordinointi, päivittäinen loki

Hanhijärven & Kankaisen (2003, s.43, 56) tekemän tutkimuksen mukaan SR-urakkamuodoissa pääurakoitsijalla on joissakin tapauksissa vaikeuksia määrittää tilaajan tarpeita ja vaatimuksia. Jos näitä määrittämiä ei ole tehty tarpeeksi tarkasti, sopimusvaiheen jälkeen on hyvin todennäköistä, että suunnitelmiin tulee vielä muutoksia. Pääurakoitsijan ammattitaito on siis suuressa osassa suunnitelmamuutosten minimointia jo suunnittelun aikaisessa vaiheessa. SR-toteutusmuodossa asian tekee kuitenkin ongelmalliseksi se, että suunnitelmat eivät ole sopimusvaiheessa vielä tarkkoja. SR-toteutusmuodon olennaisena osana on, että suunnitelmia kehitetään yhdessä eteenpäin suunnittelun edetessä. Tämän vuoksi on vaikeaa määrittää, mikä on muutosta ja mikä ei.

## **4.2 Muutoksen hallinnan prosessi**

Muutosten hallinnan prosessi on tärkeä varsinkin projektin kustannustavoitteiden täytymisen kannalta. Muutosten hallinnan toteutus tulisikin tehdä selväksi kaikille projektin osapuolille heti alussa. Koska suunnitelmiin pohjautuvat kustannukset on määritetty jo toteutussuunnitteluvaiheen alkaessa, jokainen muutos tulee arvioida erikseen. Muutosten vaikutus projektin tavoitteisiin tulee aina tarkastaa sellaisten ilmaantuessa. (Eynon, 2013, s. 51)

Muutosten hallinnan kannalta ennakoitiin ja mahdolliset muutoksista seuraavat toimenpiteet tulisi kartoittaa hyvällä muutostenhallintatyökalulla. Muutos tässä tapauksessa viittaa työvaiheeseen, prosessiin tai työtapoihin, jotka eroavat alkuperäisistä suunnitelmista. Muutokset voivat olla tahattomia, jotka ovat seurauksia huonosta työn laadusta, huonoista työolosuhteista tai tavoitteiden muutoksista. Toisaalta muutokset voivat myös olla tarkoituksellisia, jolloin niiden hallintaan ja toteuttamiseen täytyy soveltaa alkuperäisistä suunnitelmista poikkeavia työtapoja tai prosesseja. (Park & Peña-Mora, 2003, s. 215, 216)

Muutokset voidaan luokitella kahteen eri luokkaan: hyödylliset ja haitalliset. Projektien parissa työskenteleviä henkilöitä ei siis tulisi rohkaista täysin muutoksia välttelevään työskentelyyn, sillä hyödyllisillä muutoksilla saavutetaan usein kustannus-, aikataulu- ja toteutusajurajat. Projektin parissa työskenteleviä henkilöitä tulisi kannustaa tämän kaltaisiin muutoksiin, eikä niitä tulisi turhaan vältellä. (Ibbs *et al.*, 2001, s. 160) Haitallisten muutosten osalta ongelmallista on, että niiden ilmenemistä ei pystytä tarkkaan ennakoimaan (Ibbs *et al.*, 2001; Park & Peña-Mora, 2003; Voropajev, 1998, s. 16). Muutosten hallinnan tulisi noudattaa vakioitua menettelyä, joka on selvästi näkyvillä kaikille projektin osapuolille. Tämän avulla myös projektin asioiden keskinäiset riippuvuudet voidaan tuoda esille ja osapuolet voivat ennakoita mahdollisia tulevia muutoksia. (Sun *et al.*, 2006, s. 269)

### **Muutoksen tunnistaminen**

Muutoksen tunnistamisen olennaisena osana on projektitiimin kommunikaatio: avoin keskustelu ja mahdollisten muutosten tunnistaminen yhdessä. Paras keino muutosten välttämiseksi olisikin mahdollisten muutospaikkojen tunnistaminen etukäteen. (Ibbs *et al.*, 2001, s. 161; Motawa *et al.*, 2007, s. 370) Hao *et al.* (2008, s. 7) toteavat tutkimuksessaan tämän vaiheen jäävän usein unohduksiin ja muutosten hallinnassa siirrytään suoraan muutoksen arviointiin.

## Muutoksen arviointi ja ehdotus

Päätös muutoksen toteuttamisesta tulisi tehdä sen vaikutuksiin perustuen. Usein päätösten seuraukset oluttuvat yhtä asiaa laajemmalle, jolloin laaja ymmärrys projektin sisällöstä on osa tehokasta päätösten tekoa. Tämän vuoksi hyvä kommunikaatio ja dokumentaatiotapa nousee tärkeään asemaan. (Ibbs *et al.*, 2001, s. 160) Projektin yhtenä tavoitteena on tuottaa tekijöilleen voittoa rahallisesti, joten varsinkin merkittävät muutokset tulisi arvioida taloudelliset seuraukset huomioiden. Muutokset voidaan myös jakaa niiden kii-reellisyyden mukaan. Tämä on hyvä tiedostaa siinä vaiheessa, kun mahdollisen muutoksen seurauksia arvioidaan. Muutoksia voidaan helposti mitata kustannuksilla esimerkiksi siten, vaikuttaako muutos työvaiheen kestoon pidentävästi vai lyhentävästi. Mikäli muutos ei tuota arvoa, sen toteuttaminen on hyvä kyseenalaistaa.

Päätöksen teko on hyvä tarkastuspiste projektitiimille: muutospäätöksen kohdalla voidaan miettiä, mikä on muutoksen vaikutus projektille. Yhtenä mittarina voidaan käyttää muutoksen hyöty/kustannus-suhdetta. Mikäli muutos tehdään projektin myöhemmässä vaiheessa, sitä suurempi kustannushyöty sillä tulee saavuttaa, sillä muutoksen vaikutusten arviointi tässä vaiheessa on haasteellisempaa. (Ibbs *et al.*, 2001, s. 162; Park & Peña-Mora, 2003) Jokaisen tehtävän vaikutuksen arviointi perustuu pitkälti ammattilaisen arviointikykyyn.

Esimerkkinä pakollisesta muutoksesta voi olla seinäpaksuuden kasvattaminen paloturvallisuusmääräysten vuoksi, kun taas valinnainen muutos voi liittyä räystäspellin pintakäsittelymateriaalin väriin.

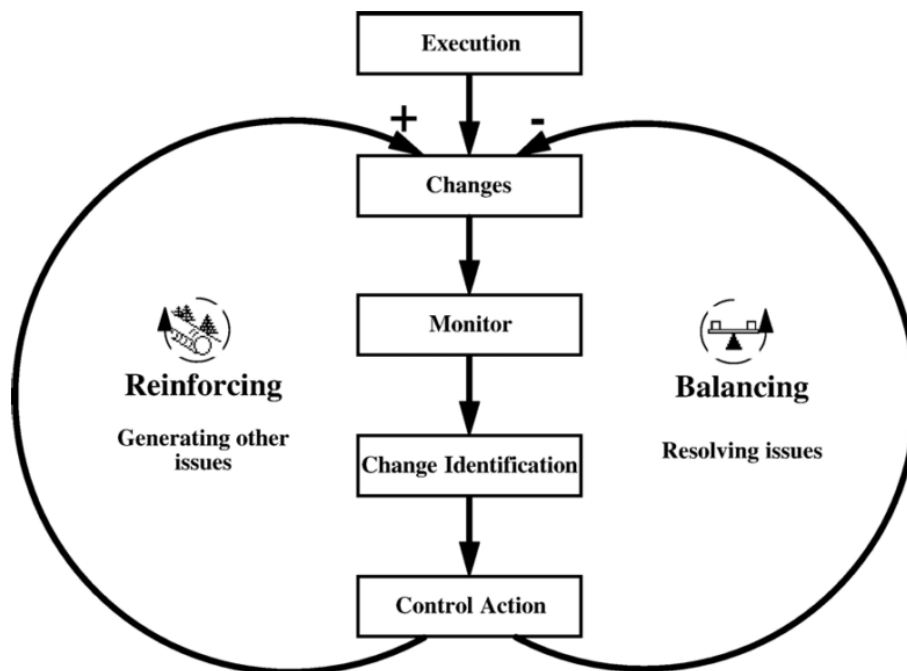
## Muutoksen toteuttaminen tai hylkääminen ja muutoksen seuranta

Muutoksen toteuttaminen tapahtuu vasta, kun siitä on ilmoitettu vaikutuksen alaisille osapuolille, muutos on hyväksytty ja se on pantu toimeen (Hao *et al.*, 2008, s. 11). Tässä kohtaa valitettavan usein törmätään siihen, että kaikkia muutokseen vaikuttavia osapuolia ei ole informoitu asiasta riittävän hyvin (Ibbs *et al.*, 2001, s. 163; Eastman *et al.*, 2011, s. 271). Muutoksen toteutuksen seuranta antaa hyvän mahdollisuuden ratkaista myös projektissa jo aiemmin ilmenneitä ongelmia. Muutoksen toteutus kaikkine vaiheineen tulisi dokumentoida hyvin, sillä sen avulla voidaan ratkaista mahdollisia myöhemmin ilmeneviä ongelmia sekä se toimii opetuksena myöhemmille vaiheille. Muutosten onnistunut toteuttaminen vaatii Freiren & Alarcón (2000, s. 7) mukaan ainakin seuraavien asioiden huomioimisen: tiimityöskentely, jatkuva kehittyminen ja organisaation oppiminen, joustavuus, aikainen osallistuminen ja tehtävien sujuva virtaus.

Toteutuksen myötä syntyvät muutokset joko parhaassa tapauksessa ratkaisevat ongelman tai ne synnyttävät lisää ongelmia. Ongelmia syntyy, jos muutos ei ole hyvin hallittu ja sen arviointi ei ole ollut riittävän tarkka. (Lee *et al.*, 2005, s. 891) Esimerkiksi työtehtävien kesto tai laajuus kasvaa usein suuremmaksi kuin alussa on suunniteltu. Tämä johtuu ennakoinnattomista muutoksista, jotka luovat lisätyötä kyseiselle työtehtävälle. (Lee *et al.*, 2005, s. 891) Mikäli toimenpide tai päätös on huono, se tehdään väärään aikaan tai sen vaikutuksia muihin liittyviin asioihin ei osata arvioida, se aiheuttaa todennäköisesti lisää ongelmia. Kuva 10 esittää toimenpiteiden syy-seuraus-kaaviota. (Motava *et al.*, 2007, s. 369)

Mikäli päätös toimenpiteistä tai vaihtoehtoista täytyy tehdä nopeasti, voidaan valita sellainen ratkaisu, joka täyttää varmasti vaatimukset. Yksi esimerkki rakennusprojektissa

tällaisesta tilanteesta on joukkopohjaiseen suunnitteluun (set-based design) perustuva rakenteiden ylimitoittaminen: rakenne suunnitellaan siten, että kestää mahdollisimman suuren kuorman, vaikka kuorman suuruus on vielä määrittämättä. Tiedetään vain, että rakenteelle tulee kuormaa. (Ballard, 2000c, s. 6)



Kuva 10. Toimenpiteiden syy-seuraus-kaavio. (Motava et al., 2007, s. 370)

### Jatkuva muutoksista oppiminen

Jatkuva oppiminen on olennainen osa muutosten hallintaa. Tämän tarkoituksena on tiedostaa muutoksen juurisyyt ja sitä kautta tiedostaa tapahtuneet virheet. Projektitiimin avoin kommunikaatio auttaa ymmärtämään muutoksen syyt ja seuraukset. Tulevissa projekteissa osataan myös ennaltaehkäistä tällaisia virheitä todennäköisemmin, jos virheiden todelliset syyt käydään läpi. (Ibbs *et al.*, 2001, s. 164; Motawa *et al.*, 2007, s. 370)

### 4.3 Tietomallipohjainen muutosten havainnointi

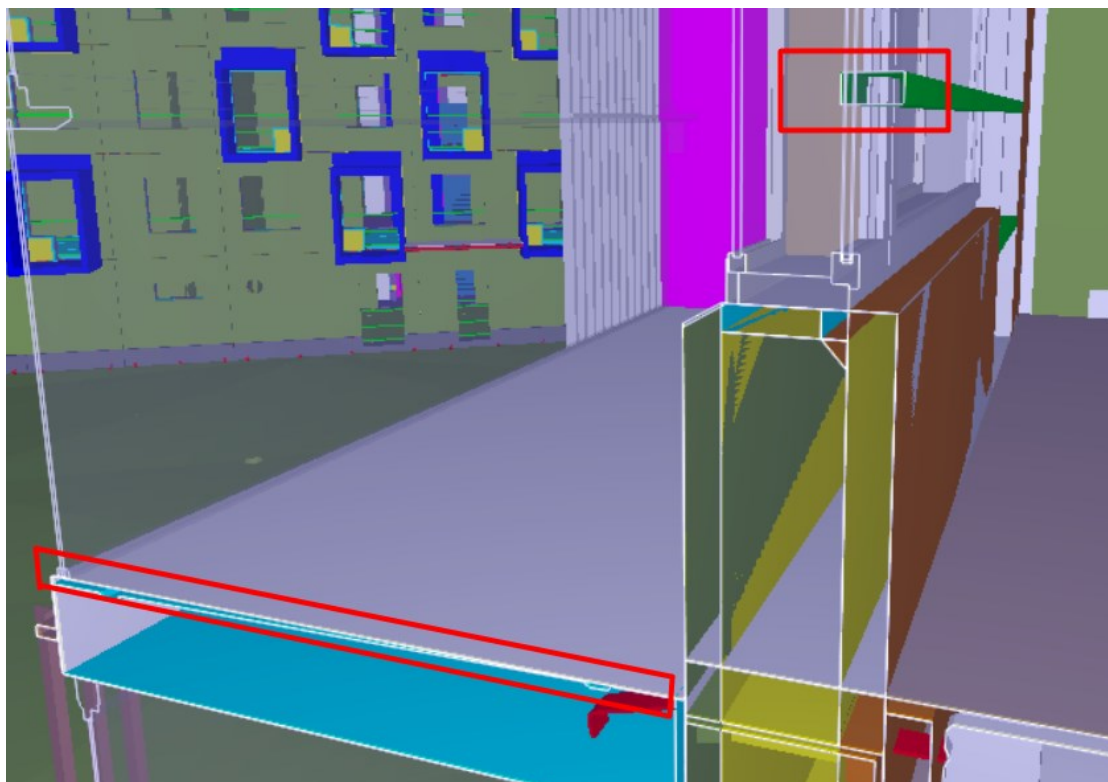
Tietomallipohjainen törmäystarkastelu on yksi tietomallinnuksen suurimmista eduista suunnittelutyön ja sen muutosten vähentämisen ja havainnoinnin osalta (Shourangiz *et al.*, 2011, s. 81). Tietomallinnuksessa suunnitelmien keskinäisten ristiriitaisuuksien tarkistamiseen ja muutosten havainnointiin voidaan käyttää visuaalista esitystä tai tietokoneohjelmistojen mahdollistamaa sääntöpohjaista, automatisoitua prosessia. Tämä säästää huomattavan määrän aikaa verrattuna siihen, että suunnitelmia tarkastellaan päällekkäin tietokoneella tai paperitulosteita vertaillaan valopöydän päällä. 3D-malli myös visualisoi suunnitteluosapuolien väliset ristiriitaisuudet 2D-suunnittelua selkeämmin. (Eastman *et al.*, 2011, s. 272-275; Khanzode *et al.*, 2008) Tommelein & Gholami (2012) ehdottavat tutkimuksessaan suunnitelmatörmäyksien jakoa kolmeen eri luokkaan:

- Kova törmäys (hard clash)
- Pehmeä törmäys (soft clash)
- Ajallinen törmäys (spatial clash).



**Kova törmäys** tarkoittaa rakennusosien törmäämistä toisiinsa tavalla, jolla niitä ei saada toteutettua. **Pehmeä törmäys** taas tarkoittaa esimerkiksi käyttövesiputkien sijaintia liian lähellä toisiinsa nähden. Tällöin rakennusosat ovat toteutettavissa, mutta ne vaativat työn aikana muutoksen, tässä tapauksessa putkien keskinäisen välimitan kasvattamisen. Tämä johtaa usein törmäyksen syyn tarkempaan tarkasteluun. **Ajallinen törmäys** taas viittaa jossakin vaiheessa tulevaan osaan, esimerkiksi talotekniikan tilavaraus voidaan mallintaa sen vaatiman tilan kokoisena objektina, vaikka tosiasiassa kyseisestä tilasta saattaakin lopulta tulla eri tarkoitusta palveleva. (Tommelein & Gholami, 2012)

Eri suunnittelualojen tietomallien päällekkäisyydet tulee huomioida tietomalleja tarkasteltaessa ja käytettäessä niitä tiedonlähteenä. Esimerkiksi arkkitehti- ja rakennesuunnittelija ovat saattaneet molemmat mallintavat seinäelementin, jolloin seurauksena ovat päällekkäiset objektit. Tämä ei kuitenkaan ole väärin, vaan silloin tulee arvioida tilanne ja käyttää tiedonlähteenä vain toisen suunnittelualan mallintamaa objektia, jotta vältytään sekaannuksilta. (buildingSMART, 2012, YTV2012 osa 7.) Kuva 11 esittää tämän kaltaista tilannetta, jossa tarkasteluun tarkoitettu ohjelma tulkitsee automaattisessa törmäystarkastuksessa tilanteen virheeksi. Tämän vuoksi törmäystarkastelujen tutkija tarvitsee riittävän ammattitaidon tilanteen arviointiin.



**Kuva 11.** Esimerkki objektien törmäyksestä arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan mallien välillä. Tämä ei kuitenkaan ole virhe, vaan objektien kuuluu ymmärrettävästi olla päällekkäin. Ohjelmistojen automatisoidut törmäystarkastelut saattavat kuitenkin raportoida jokaisen päällekkäisyyden, jolloin tarkastelut vievät suuren määrän aikaa, eivätkö tuota arvoa. (Fira, 2016)

Khanzode *et al.* (2008) tutkivat tietomallintamisen etuja suuren sairaalarakennusten hankkeen talotekniikan (LVIAS) suunnittelun ja toteuttamisen osalta. Rakennusaikainen muutostöiden ja tiedustelupyynnöiden määrän huomattiin olevan merkittävän vähäinen johtuen yhdessä suunnittelusta ja visualisoinnin hyödyntämisestä törmäystarkasteluissa. (Khanzode *et al.*, 2008, s. 338) Myös Staub-French & Khanzode (2007) esittävät tutkimukses-

saan tietomallintamisen tuovan merkittäviä etuja juuri talotekniikan koordinoinnissa. Lisäksi esivalmistusastetta saatiin nostettua mallin avulla, jolloin talotekniikan osat saatiin toimitettua suoraan määrämittäisin- ja kokoisina työmaalle.

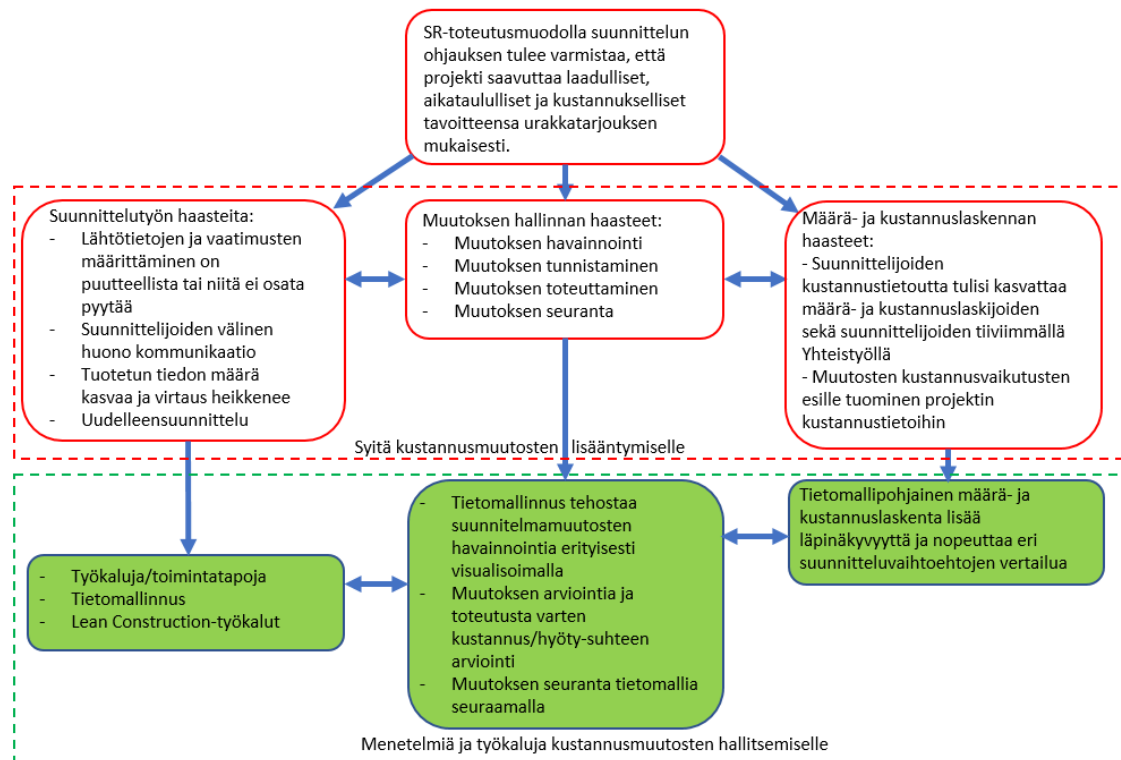
Mikäli hankkeen suunnittelu näkyy reaaliaikaisesti päivittyvässä yhdessä kootussa mallissa, muutosten toteaminen voi olla vaikeaa. Muutoksia tapahtuu mallissa tällöin sen mukaan, miten suunnittelija lähettää muutostietona muille suunnittelijoille. Tämä voi myös taas toisaalta helpottaa törmäystarkastelua, kuten Monteiro & Martins (2013) tutkimuksessaan esittävät. Tulevia muutoksia on mahdollista ennakoida tehokkaammin tietomallinnusta käytettäessä, sillä varsinkin suunnittelijat saavat nopeasti tietoa toistensa ratkaisuista ja niiden vaatimista toimenpiteistä hyödyntämällä mallien yhdistelemistä. (Khan & Tzortzopoulos, 2014, s. 941)

Mikäli tietomallia käytetään pääasiallisena suunnittelutietona, siihen liittyy kuitenkin muutamia mahdollisia ongelmia. Yksi niistä on ajan tasalla olevien muutosten tiedottaminen jokaiselle hankkeen osapuolelle. Perinteistä suunnittelua ja tietomallipohjaista suunnittelua yhdistelevässä projektissa muutokset saattavat ilmetä vain joissakin dokumenteissa. (Eastman *et al.*, 2011, s. 271) Redmond *et al.* (2012) löysivät tutkimuksessaan tiedon turvaamisen olevan tärkeä asia yhteisellä alustalla (tässä tapauksessa tarkoitetaan keskitettyä tietomallia) työskennellessä. Tieto pitäisi olla aina löydettävissä ja muokkausvaiheessa olevaa tietoa ei saisi sekoittaa jo julkaistuun tietoon. (Redmond *et al.*, 2012, s. 177) Tietomallin tarkoitus on myös toimia rakennus- ja ylläpitovaiheen aikaisena tietopankkina, joten kaikki hankkeessa tehdyt alkuperäisistä suunnitelmista poikkeavat asiat tulisi päivittää siihen. Tämä tarkoittaa, että myös työmaalla tapahtuvat mahdolliset viime hetken ratkaisut tulisi löytyä tietomallista. (Gu & London, 2010, s. 993)

## 5 Tutkimusmenetelmä

### 5.1 Kirjallisuuskatsaus

Kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena oli tutustua tutkimusongelman kannalta olennaiseen tutkimustietoon ja sillä luotiin tutkimuksen teoreettinen viitekehys. Tämän avulla voitiin kartoittaa kokonaiskuva tutkimusongelmaan liittyvistä aiheista. Lähteinä käytettiin pääasiassa alan tutkimusartikkeleita ja julkaisuja, sekä yleisen tiedon osalta myös muutamia kirjateoksia. Kuva 12 esittää yhteenvetoa asioista, jotka nousevat useimmin esille tutkituissa kirjallisuuslähteissä. Suunnittelutyön ja siihen kuuluvien muutosten hallinnan haasteet aiheuttavat kustannusmuutoksia. Määrä- ja kustannuslaskenta taas kulkee hieman suunnittelutyötä jäljessä, jonka vuoksi muutosten kustannusvaikutukset nousevat esille usein vasta siinä vaiheessa, kun muutos tai siihen johtaneet syyt on unohdettu. Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto toimii tutkimuksen pohdinnan vertailupohjana projektien kustannustiedoista sekä haastatteluista löydettyille asioille. Kuvasta 12 voidaan nähdä, että tietomallinnus ja tämän myötä kustannustietomalli jo itsessään on olennainen osa tutkimuksen ongelman ratkaisemista.



Kuva 12. Kirjallisuudesta koostettu yhteenveto tutkimuksen kannalta oleellisimmista aiheista. Vihreät laatikot esittävät kirjallisuudesta löydettyjä menetelmiä ja työkaluja kustannusmuutosten hallintaan.

### 5.2 Teemahaastattelut

Tutkimusongelman ratkaisun yhtenä osana suoritettiin tapaustutkimus. Hirsjärven (2000) mukaan tapaustutkimuksessa kerätään yksityiskohtaista tietoa yksittäisestä tapauksesta tai pienestä joukosta toisiinsa suhteessa olevia tapauksia. Teemahaastatteluiden tarkoituksena oli löytää tutkimusongelman mukaisesti rakennusprojektien kustannusmuutosten syitä. Tutkimus on luonteeltaan kvalitatiivinen tapaustutkimus (case study), sillä tutkittavien hankkeiden määrä on suhteellisen pieni. Aineistoa kerättiin useilla metodeilla, kuten

havainnoimalla, haastatteleamalla ja dokumentteja tutkimalla. (Hirsjärvi *et al.*, 2000, s. 123)

Tutkimusongelman selvittämiseksi suoritettiin myös kaksi haastattelukierrosta. Haastattelut olivat tyyliltään puolistrukturoituja. Kysymykset eivät olleet erityisen tarkkoja, mutta toistuivat samanlaisina jokaisessa haastattelussa. (Hirsjärvi *et al.*, 2014, s. 208) Haastattelut toteutettiin yksilö- ja parihaastatteluina. Taulukosta 3 nähdään haastateltujen henkilöiden toimenkuva yrityksessä, sekä haastattelun ajankohta. Haastattelusta kerätyn aineiston sisältöön ei vaikuttanut se, oliko haastateltavia yksi tai useampia samassa haastattelussa. Myös aineisto, jota haastattelussa tarkasteltiin, oli ennalta määritelty. Haastattelut nauhoitettiin ja niiden sisältö litteroitiin niiltä osin kuin se oli hyödyllistä. Tällä tarkoitetaan sitä, että kaikkea haastattelun sisältöä ei litteroitu sanasta sanaan, sillä haastattelun oleellinen sisältö oli tiivistettävissä huomattavasti suppeampaan muotoon. Esimerkiksi haastateltavan täytelauseet, eleet tai sanojen painotukset eivät olleet oleellisia tulosten kannalta. Haastatteluiden tulokset on pyritetty esittämään kirjoitusasultaan siten, että ne ovat selkeälukuisia ja yksiselitteisesti ymmärrettäviä. Tämän vuoksi tutkija ei ole nähnyt välttämättömäksi sisällyttää esimerkiksi suorien lainauksien esittämistä haastatteluiden tuloksissa.

**Taulukko 3. Haastateltavien henkilöiden toimenkuva ja haastattelun ajankohta.**

Haastateltava	Työnimike	Ajankohta
H1	Vastaava työnjohtaja	20.4.2017
H2	Työmaainsinööri	20.4.2017
H3	Vastaava työnjohtaja	25.4.2017
H4	Työmaainsinööri	25.4.2017
H5	Vastaava työnjohtaja	2.5.2017
H6	Työmaainsinööri	2.5.2017
H7	Kustannusasiantuntija	4.5.2017
H8	BIM Manager	8.5.2017
H9	Suunnittelupäällikkö	16.5.2017
H10	Suunnittelupäällikkö	16.5.2017
H11	Suunnitteluinsinööri	23.5.2017

### Rakennusprojektien valinta ja perustiedot

Kohdeyrityksen rakennusprojekteista valittiin 6 kappaletta uudisasuinrakennuksia, jotka on toteutettu tai ovat parhaillaan toteutuksen alla SR-toteutusmuodolla. Kohdeyritys siis vastaa hankkeen suunnittelusta ja rakentamisesta tilaajalle. Tällöin kohdeyrityksen tapa toteuttaa projekti on noudattanut pääpiirteiltään samoja prosesseja, jolloin tutkimusaineistolla on selvä yhteys toisiinsa. Valittujen hankkeiden kustannuslaskenta on myös toteutettu kustannustietomallin avulla, joka selkeyttää muutosten havainnointia ja tunnistamista, sekä yhdistää tutkimusaineiston myös tältä osalta toisiinsa. Rakennusprojektien perustiedot, kuten laajuus ja mahdollinen hankekehityksen osuus projektissa, selvitettiin projektien asiakirjoista tai projektiin osallistuneilta henkilöiltä. Tutkimusaineiston keruu **ensimmäisellä haastattelukierroksella** toteutettiin seuraavasti:

- Tutkija kävi läpi kohdehankkeiden urakkatarjouksen ja toteuman väliset kustannusmuutokset.
- Esille nostettujen kustannusmuutosten sisältö käytiin läpi kyseisten hankkeiden parissa työskentelevien kohdeyrityksen työntekijöiden kanssa, joilla oli paras tieto kustannusmuutosten sisällöstä. Kustannusmuutosten syyt etsittiin ja näin voitiin arvioida, mistä muutokset johtuivat. Näistä valittiin 5 suurinta muutosta, jotka

otettiin mukaan tarkempaan tarkasteluun ja haastattelujen seuraavalle kierrokselle.

- Haastattelukysymykset olivat
  - Mistä kustannusmuutos urakkatarjouksen ja toteuman välillä on aiheutunut?
  - Onko kustannusmuutos ollut suurimmilta osin työmaan toiminnasta johtuvaa vai liittyykö se vahvasti suunnittelun ohjaukseen / suunnitteluun?

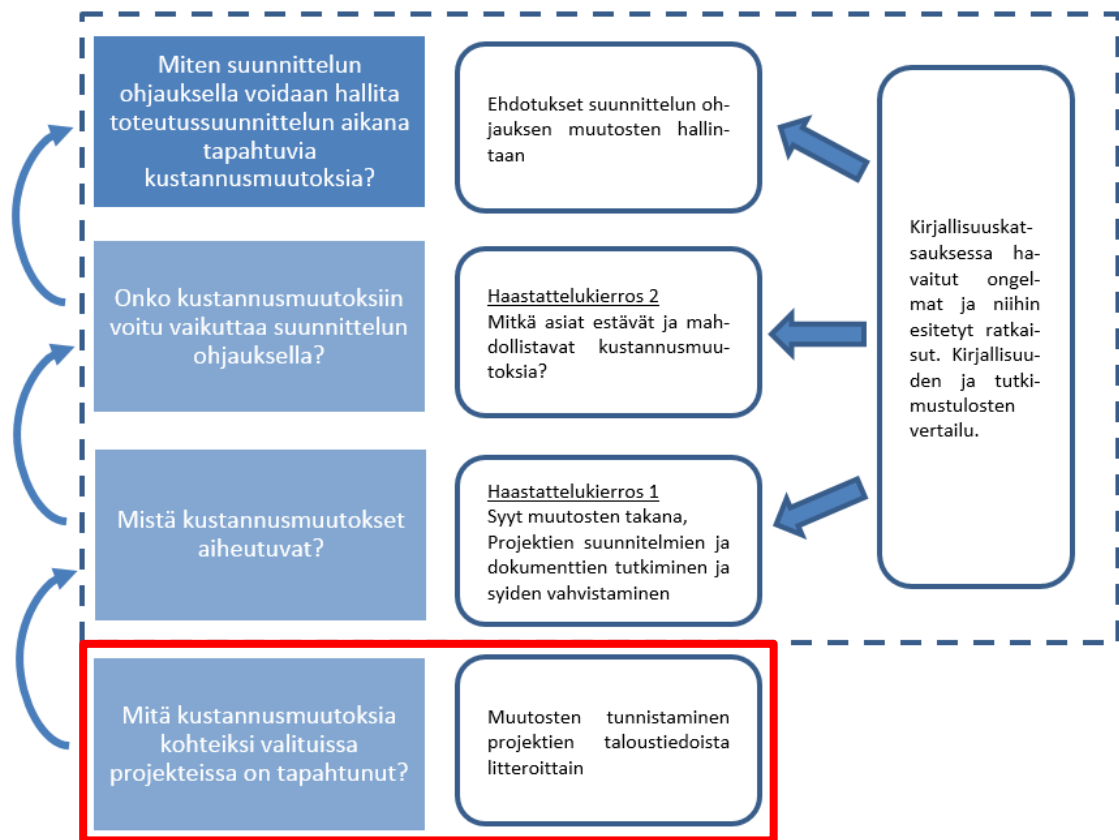
Nämä kaksi kysymystä olivat samanlaiset jokaisessa ensimmäisen kierroksen haastattelussa. Kysymyksiin liittyviä asioita käytiin kuitenkin syvemmin läpi, eikä haastattelutilanne noudattanut näiden kahden kysymyksen lisäksi mitään ennalta määrättyä tapaa tai järjestystä. Ensimmäisen haastattelukierroksen perusteella valittujen kohteiden suunnitelmia ja dokumentteja tutkittiin muutosten toteamisen vahvistamiseksi. Esimerkkejä haastattelujen tuloksista ja löydetyistä muutoksista esitetään kappaleessa kuusi. Aineiston keruu **toisella haastattelukierroksella** toteutettiin seuraavasti:

- Ensimmäisen haastattelukierroksen tuloksia ja suunnittelun ohjauksen vaikutusmahdollisuuksia kyseisiin tuloksiin kartoitettiin yrityksen suunnittelutyöhön ja suunnittelun ohjaukseen osallistuvilta henkilöiltä. Näin saatiin selvitettyä, missä ongelmapaikat suunnittelun ohjauksen ja kustannustietomalliin luomiseen osallistuvien henkilöiden arvioinnin mukaan esiintyvät.

## 6 Tulokset

### 6.1 Muutosten havainnointi ja niiden tunnistaminen

Tutkimusongelman selvittäminen aloitettiin muutosten havainnoinnilla (kuva 13). Muutoksen ilmaisimena päätettiin käyttää tutkittavaksi valittujen rakennusprojektien kustannustietoja, joista saatiin yksiselitteisesti havainnoitua negatiivinen kustannusmuutos (tässä tapauksessa siis muutos urakkatarjouksen kustannusennusteen ja toteuman välillä). Positiivisista kustannusmuutoksista käsitellään lyhyesti vain muutama esimerkki tässä työssä. Olennaisempaa on etsiä mahdollisia yhteneväisiä tuloksia tai eroavaisuuksien syitä rakennusprojektien ja niiden kustannuslitteroiden muutosten välillä sekä tarkastella niitä lähemmin.



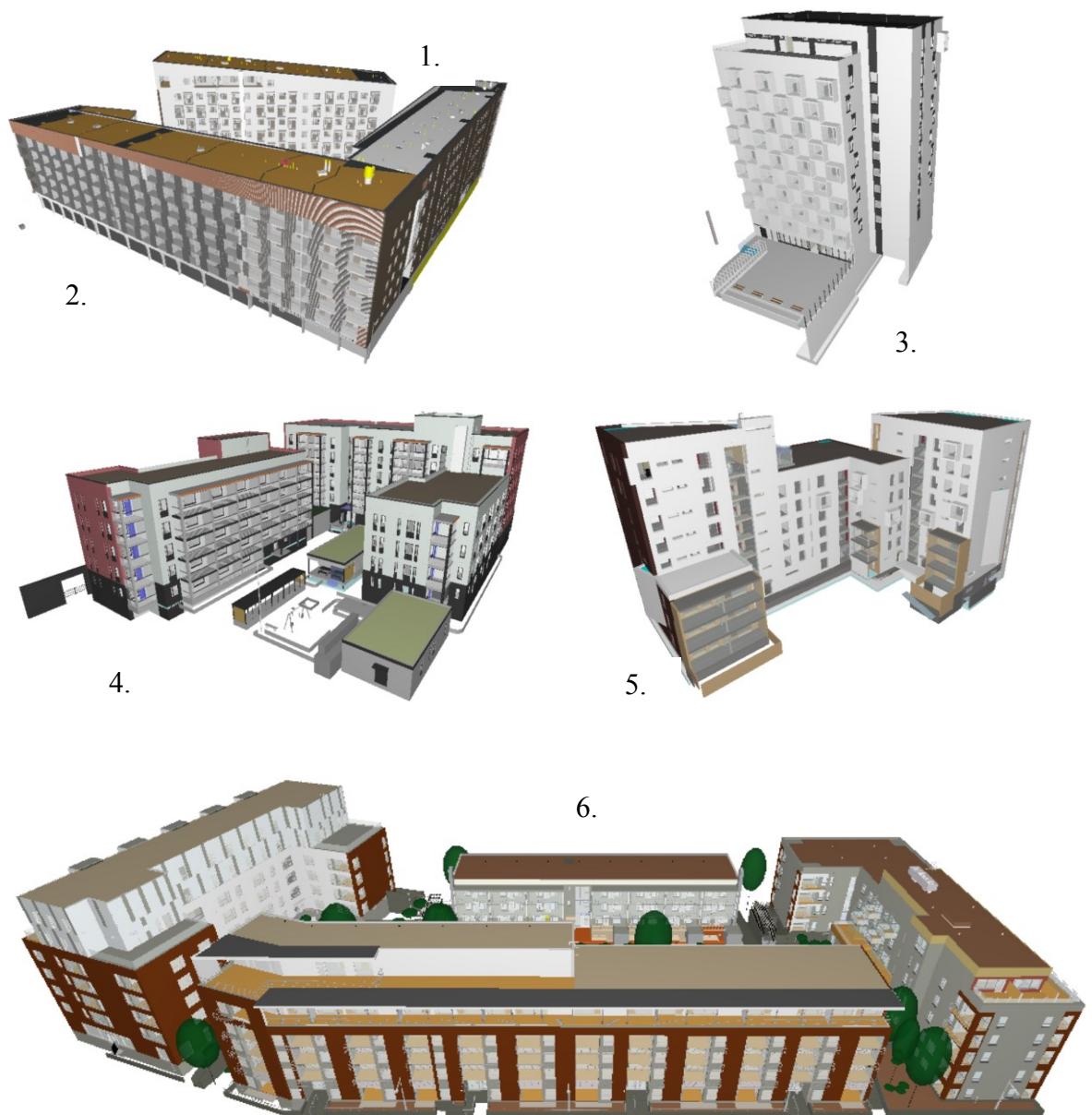
Kuva 13. Tutkimusongelman ensimmäiseen kysymykseen vastaaminen.

### 6.2 Kohteet

Taulukko 4 esittää tutkittujen kohteiden perustietoja ja niiden yhteyttä kustannustietomallin muodostamiseen. Fira on osallistunut suurimmalta osin tutkittujen kohteiden hankekehitykseen. Tämä tarkoittaa sitä, että Fira on voinut vaikuttaa kohteiden suunnitteluratkaisuihin, niiden hinnoitteluun ja lähtötietojen määrittämiseen. Tämän oletuksen pohjalta suuria toteutussuunnittelun aikaisia kustannusmuutoksia varsinkaan kustannustietomallissa määritellyissä asioissa ei pitäisi esiintyä. Poikkeuksena tälle on kohde 6, jossa tilaajan tarkat ohjeet ja vaatimukset vähensivät Firan mahdollisuutta kehittää kohteen ratkaisuja siinä määrin, kuin niistä olisi saatu merkittäviä kustannussäästöjä. Kohteiden koosta ja geometriasta on havainnollistettu kuvassa 14.

Taulukko 4. Tutkittujen rakennusprojektien yleistietoa. (Fira, 2017)

Rakennusprojekti	Laajuus	Asuntojen lukumäärä	Yritys mukana hankekehityksessä	Firan tuottama kustannustietomalli	Ulkopuolisen suunnittelutoimiston tuottama kustannustietomalli
Kohde 1	15 458 brm2	200	x	x	
Kohde 2	6000 brm2	81	x	x	
Kohde 3	4468 brm2	81	x		x
Kohde 4	7784 brm2	109	x		x
Kohde 5	6680 brm2	76	x		x
Kohde 6	11 100 brm2	155	(x)	x	



Kuva 14. ARK-tietomallit kohteista 1, 2, 3, 4, 5 ja 6. (Fira, 2017)

### 6.3 Suurimmat kustannusmuutokset

Taulukossa 5 esitetään tutkittujen rakennusprojektien suurimmat kustannusmuutokset. Taulukon tiedot on kerätty rakennusprojektien kustannuslitteroista sellaisenaan. Nämä toimivat lähtötietoina ensimmäiselle haastattelukierrokselle, joissa urakkatarjouksen ja toteuman välisten kustannusmuutosten syitä selvitettiin. Taulukosta voidaan havaita kustannuseriä, joiden sisältö liittyy vahvasti toisiinsa, kuten **Betonielementit** ja **Talotekniikka (LVIA)**. Samalla havaittiin tiettyjen kustannuserien ovat sellaisia, että niihin ei juurikaan voida itse suunnittelutyöllä vaikuttaa. Esimerkkejä tällaisista ovat **Työnaikainen siivous ja raivaus** ja **Rakennusalueen vuokra**. Taulukosta 5 voidaan jo nopeasti havaita, että tutkituissa rakennusprojekteissa negatiivinen kustannusmuutos liittyy usein betonielementteihin ja talotekniikkaan.

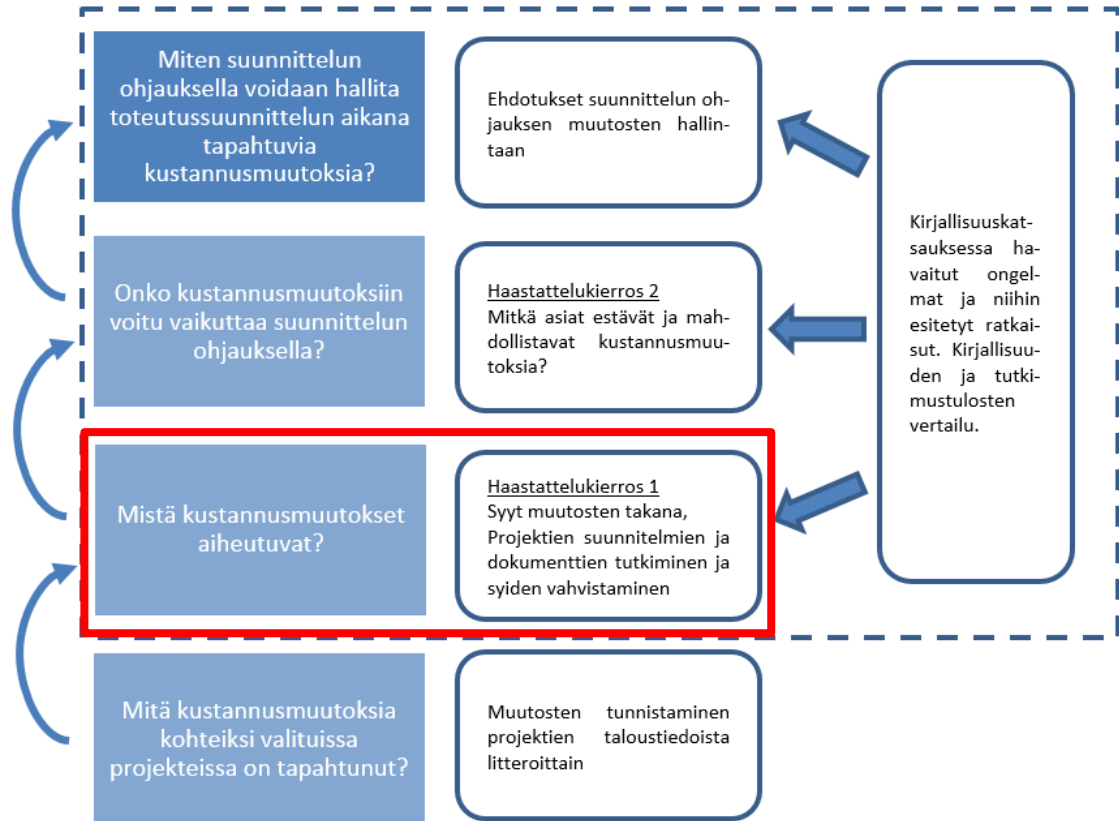
**Taulukko 5. Kustannusmuutoksia sisältävät litterat ja niiden esiintyvyys kohteittain. Suluissa olevat merkinnät tarkoittavat asioiden keskinäistä yhteyttä. Esimerkiksi LVIA-suunnittelun ongelmat heijastuivat IV + RAU-urakassa.**

Muutos	Kohde 1	Kohde 2	Kohde 3	Kohde 4	Kohde 5	Kohde 6
Betonielementit	x			x	x	
Betonipintojen jälkityöt	x	(x)		x		
Lisä- ja muutostyöt	x				(x)	
LVISA-apytyöt	x	x		(x)	(x)	
Delta- ja Petrapalkit	x					
Lämpö-, vesi- ja viemärytyöt		x				(x)
Vesikatto		x				
Perustusten muotti-, raudoitus- ja betonointityöt		x				
Sisäänkäyntikatokset ja savunpoistokuilu		x				
Metalli-ikkunat			x			
Pihatyöt + asfaltointi			x			
Työnaikainen siivous ja raivaus			x			
Rakennusalueen vuokra			x			
Kalusteet			x			
Palokatkot				x		
Siivous ja raivaus				x		
IV-urakka + RAU-urakka				x	(x)	
LVIA-suunnittelu				(x)	x	
Torninosturi- ja nosturiradat					x	
Paalut						x
Perustukset						x
Maanrakennus						x
Pellitys						x



## 6.4 Haastatteluiden tulokset rakennusprojektien kustannusmuutoksiin liittyen

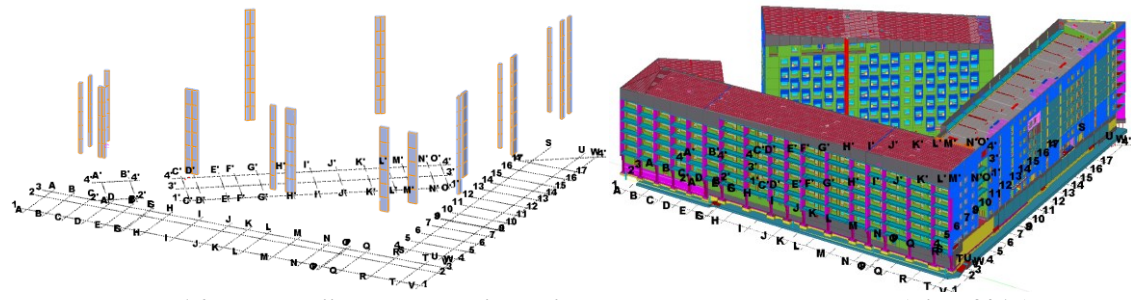
Kustannusmuutosten tunnistamisen jälkeen suurimpien muutosten syyt käytiin läpi haastatteluissa rakennusprojektien avainhenkilöiden kanssa. Näin saatiin vastattua tutkimusongelman toiseen kysymykseen (kuva 15).



Kuva 15. Vastaaminen tutkimusongelman toiseen kysymykseen.

### Rungon betonielementit (kohteet 1, 4 ja 5)

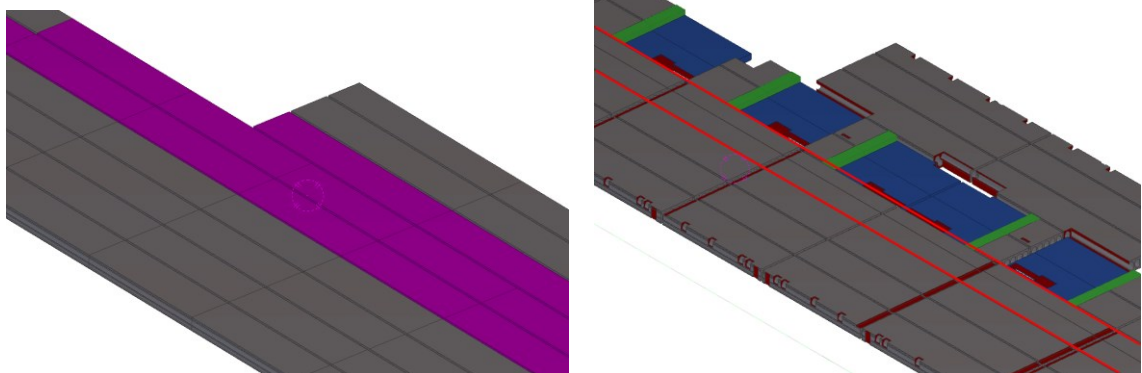
**Elementtirakenteisten talotekniikkahormien** (käytetään usein nimitystä ELPO, kuva 16) määrät vaihtelivat kustannustietomallin ja toteumamallin välillä kohteissa 1, 4 ja 5. ELPOilla tarkoitetaan asuinkerrostalossa osaksi runkorakenteita asennettuja betonista valmistettuja elementtejä, joiden sisälle on valmiiksi asennettu talotekniikan kanavia ja putkia. Tällä toteutuksella tietyille talotekniikan linjoille ei tarvitse erikseen rakentaa työmaalla kanavia suojaavia seinärakenteita. Talotekniikan määrän ja tilatarpeen tarkka suunnittelu on usein vaikeaa ennen toteutussuunnittelua, joten hankkeen kustannuslaskentavaiheessa talotekniikan vaatimat tilavaraukset ja reitit perustuvat vielä osittain oletuksiin. Talotekniikkahormien sijainti ja koko vaikuttavat myös hyvin paljon väli- ja yläpohjien laatastojen sijaintiin ja määrään. Monesti tapahtuu niin, että toteutussuunnittelun alkaessa talotekniikkahormien koko ja sijainti tarkentuvat, jonka myötä urakkatarjouksen aikaiset määrät ja kustannukset eivät enää vastaa toteutuneita ratkaisuja varsinkaan rungon laatastojen kohdalla. (H3, H4)



Kuva 16. Talotekniikan elementtihormit osana rakennuksen runkoa. (Fira, 2017)

Kohteiden 1 ja 2 märkätilat toteutettiin **esivalmistetuilla märkätilaelementeillä**, jotka nostetaan paikalleen aina kunkin kerroksen elementtien asennuksen aikana. Märkätilaelementteihin sisältyy useimmiten huoneiston WC, suihkutila sekä elementin kyljessä kiinni olevat talotekniikkalinjat. Näiden märkätilaelementtien pystysuorat talotekniikkalinjat vaikuttavat suuresti välipohjien rei'itykseen ja tämä taas vaikutti välipohjien **ontelolaattojen määrään**. Ontelolaattojen tuotantotekniikan vuoksi ne valetaan vain vakioleveyteen (1200 mm), joten myös vakioleveyttä kapeammat ontelolaatat sahataan pituusmitaansa aina täysleveyisestä laatasta. Tällöin yli jäävä osa, mikäli liian kapea käytettäväksi, on jätettä. Kustannukset täysleveään laatan mukaan siirtyvät kuitenkin laatan tilaajalle, tässä tapauksessa pääurakoitsijalle. Vakioleveyttä kapeammat ontelolaatat tarvitsevat myös asennusta varten laattaan upotetut nostolenkit, jotka hinnoitellaan yksikköhinnan mukaisesti. Nämä nostavat kavennettujen ontelolaattojen hintaa entisestään. Kuvassa 17 esitetään yksi esimerkki kustannustietomallin ja toteutussuunnittelun eroista asuinrakennuksen peruserrosten ontelolaattojen määrissä kohteessa 1 ja 2. (H3)

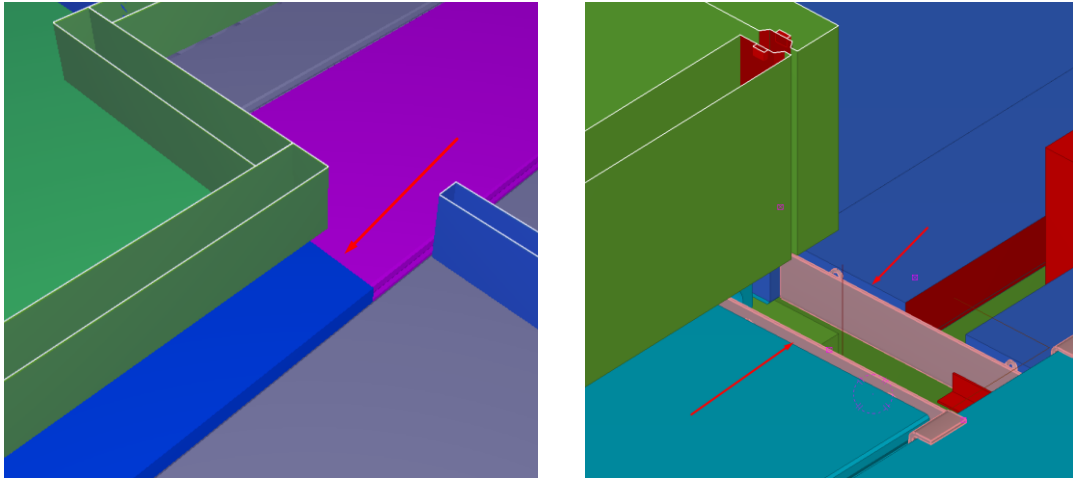
**Ontelolaattojen määrät** muuttuivat urakkatarjouksen ja toteutussuunnittelun välillä kohteissa 1,2 ja 5 (H1, H2, H3, H5). Laattajakoa muutettiin, jonka johdosta jo pelkkiin peruserrokseen jouduttiin tilaamaan 20 halkaistua ontelolaattaa lisää per kerros (H3). Kuva 17 näyttää yhtä kohtaa rakennuksesta, jossa koko linjalla täysleveät laatat jouduttiin vaihtamaan kahteen kavennettuun laattaan. Tällaisia linjoja havaittiin olevan useita joka kerroksessa.



Kuva 17. Esimerkki kustannustietomallin (vasemmalla) ja toteutusmallin (oikealla) laattojen määrämutoista. Vasemmassa kuvassa ontelolaattoja on rinnakkain 10 kpl ja oikealla 11 kpl. Sama toistui useissa lohkoissa ja jokaisessa kerroksessa (Fira, 2017)

Ontelolaatat toimivat päistään tuettuina yksiaukkoisina palkkeina. Mikäli jompaakumpaa ontelolaatan päätä ei saada tuettua seinän, pilarin tai muun vastaavan tuen päälle, se tulee tukea viereiseen laatastoon. Tähän tarvitaan usein teräskannakkeita (kuva 18), jotka täy-

tyy tilata erikseen erikoistuotteiden toimittajalta työmaalle. Erikoistuotteina niiden toimitusaika on ymmärrettävästi monta viikkoa. Kannakkeiden tarkkoja tietoja on vaikea tietää vielä urakkatarjousta laskettaessa, koska laatat ja kyseiset teräosat tarkentuvat usein vasta toteutussuunnitteluvaiheessa.



Kuva 18. Esimerkki erikoisteräsosien käytöstä ontelolaattojen tuennassa. Vasemmalla kustannustietomalli, jossa ontelolaatta tukeutuu väliseinäelementin päälle ja sininen kaista esittää paikallaavalettua osaa. Oikealla toteumamalli, josta nähdään, että kyseisessä kohdassa tarvittiin joka kerroksessa kaksi kappaletta erikoisteräsoasia per kerros laattojen kannatteluun. (Fira, 2016)

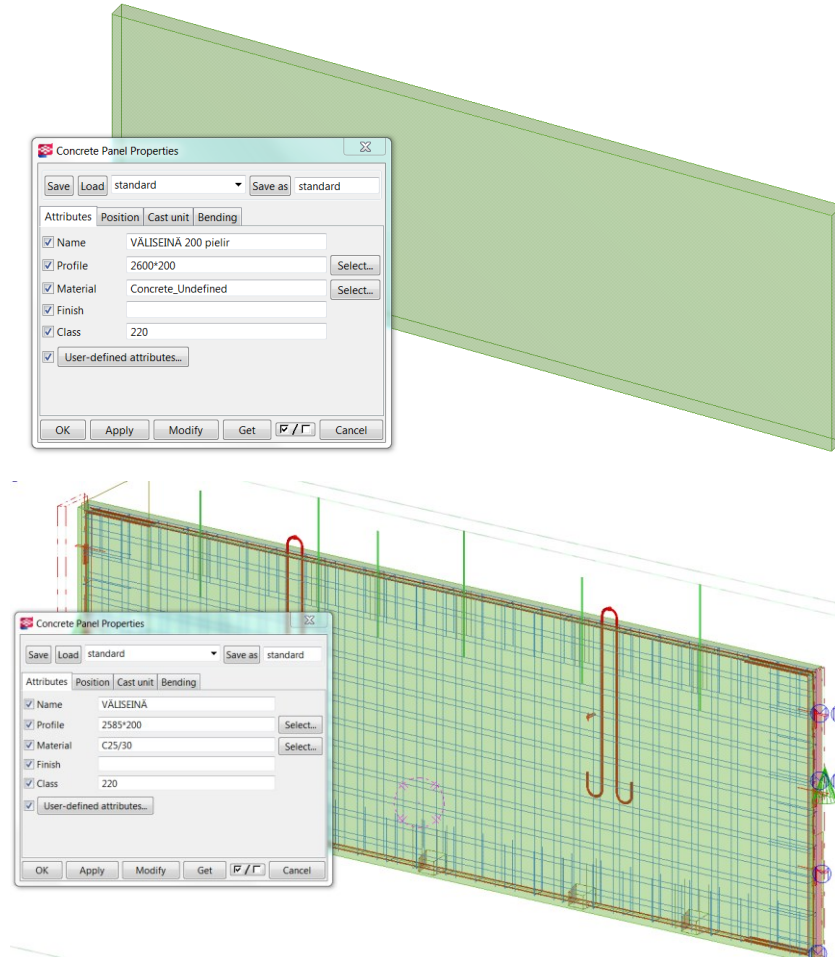
Parkkihallin alueella osa **betonisista palkeista** jouduttiin vaihtamaan erikoisvalmistetuiksi teräspalkeiksi, sillä talotekniikan linjat vaativat enemmän tilaa parkkihallin katossa, kuin urakkatarjousvaiheessa osattiin ennakoida. Nämä kustannusmuutokset liittyvät talotekniikan puutteelliseen suunnitteluun. (H3, H4)

Talo 3 kohteessa 1 sisälsi yli kahdeksan kerrosta, joten se kuului tällöin paloluokkaan P3. Tämä täytyi huomioida **kantavissa betonielementeissä** ja myös lämmöneristeenä käytettävissä materiaaleissa. Betonikuoristen sandwich-seinäelementtien lämmöneristemateriaalin tuli täyttää vaatimukset korkeamman paloluokan mukaan, jota ei oltu huomioitu kustannustietomallissa. Talo oli tuettu kantavien palkkien ja pilareiden päälle, sillä parkkihalli kattoi talon 3 kellarikerroksen. Tästä johtuen useampi talon kantavien väliseinälinjojen väliseinäelementeistä toimi rakennusta jäykistävinä seinämäisinä palkkeina, joka lisäsi elementtien neliöhintaa huomattavasti lisääntyneen ja monimutkaistuneen raudoituksen myötä. Tarjouslaskentavaiheessa rakennuksen jäykistykseen liittyviä asioita ei oltu huomioitu tarpeeksi laajasti, joten väliseinäelementit oli ajateltu raudoitettavaksi pelkästään elementin reunoissa kulkevilla pieliteräksillä. (H3, H4)

Kohteen 2 **betonista valmistettujen väliseinäelementtien** sisältämä teräsmäärä kasvoi huomattavasti. Karkeasti sanottuna pinnoiltaan verkkoteräksillä vahvistetun väliseinäelementin neliömetrihinta on noin 30 % korkeampi, kuin pelkillä pieliteräksillä varustetun. Verkkoteräksillä varustettujen seinäelementtien määrä kasvoi toteutussuunnitteluvaiheessa noin 60 % verrattuna tarjouslaskentavaiheeseen. (H3) Kustannustietomallissa väliseinäelementin teräsmäärä (pelkät pieliteräkset elementin reunoissa) on tässä tapauksessa sisällytetty seinäobjektin nimeen (kuva 19 ylhäällä), eikä sitä ole erikseen mallinnettu. Toteutuneessa elementissä taas on verkkoterästys molemmilla pinnoilla (kuva 19 alhaalla).

Onnettomuustilanteessa tapahtuva rakenteiden jatkuva sortuma tulee estää eurokoodien suunnittelutavan mukaisesti. Kohteiden 1 ja 2 pitkät (yli 6 metriä) väliseinäelementit tuli

sitoa keskikohdastaan seinän yläpuolella sijaitsevaan elementtiin, jotta mahdollinen kantavien rakenteiden sortuma saatiin estetettyä. Suunnitteluratkaisun optimointiin ei ollut aikataulun puutteissa resursseja, joten päädyttiin teräksestä valmistettuihin erikoisosiin. Pitkiä seiniä kohteissa 1 ja 2 oli noin 160 kappaletta. Tämä tarkoitti yli 300:en erikoisteräsosan lisätarvetta, sillä jokaiseen väliseinäelementtiin asennettiin teräsosa sekä ala- että yläreunaan. (H3, H4)

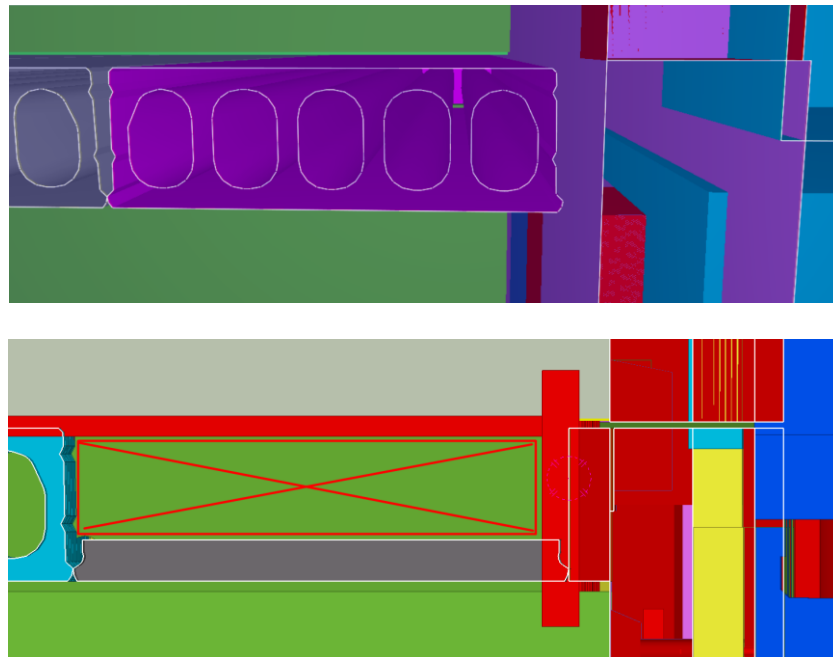


**Kuva 19.** Väliseinäelementti kustannustietomallissa (ylhällä) ja toteutusmallissa (alhaalla). Kustannustietomallissa oletettu määrä teräksiä on ilmoitettu objektin nimessä ”pieliraudat”, tarkoittaen elementtiä kiertävät kaksi terästankoa. Toteutuneessa elementissä teräksen määrä on huomattavasti suurempi. (Fira, 2017)

Talon 3 sisäpihan puoleisten parvekkeiden tuennan vuoksi välipohjien reunimaiset ontelolaatat jouduttiin vaihtamaan kuorilaatoiksi (kuva 20). Tämä tarkoitti sitä, että osa laattaston rakenteesta jouduttiin muotittamaan, raudoittamaan ja valamaan talviaikaan. (H3) Urakkatarjouksessa ja kustannustietomallissa tätä ei oltu huomioitu.

**Elementtisuunnittelu** oli jaoteltu usean suunnitteluyrityksen kesken kohteessa 4, joten tämä johti epäselvyyksiin elementtien suunnittelussa. Osittain havaittiin myös kahteen kertaan suunnittelua, esimerkiksi elementtien terästyksiä tehtiin useamman suunnittelijan toimesta monta kertaa uudestaan. Loppujen lopuksi useammallakin suunnitteluyrityksellä oli betonielementtien osalta omia vaateita loppuselvityksessä, johtuen suunnittelun sekaannuksista. Talotekniikan osuus toteutettiin tekniikkalaatoilla, jotka eroavat aikaisemmin mainituista pystysuuntaisista talotekniikkahormeista (ELPOT). Piharakennus oli ensin suunniteltu toteutettavaksi paikalla teräs- ja puurunkoisena rakennuksena, joka rakennetaan työmaalla. Varasto toteutettiin kuitenkin tehdasvalmisteisilla elementeillä. Osa

elementeistä oli jäänyt ensin elementtien hankintakaupoista pois ja nämä piti hankkia myöhemmin, jolloin hankinnan aikataulu kiristyi ja tilattavia elementtejä oli vähän. Molemmat asiat ovat hintaan negatiivisesti vaikuttavia. (H5, H6)



**Kuva 20.** Talon 3 sisäpihan puoleiset parvekkeet sidottiin kiinni välipohjalaatastoihin. Tämä vaatii joka kerrokseen seinän mittaisen paikallavalukaistaleen. Ylempänä kuva kustannustietomallista, jossa paikallavalua ei ole huomioitu. Alapuolella toteumamalli kuorilaatastolla. (Fira, 2016)

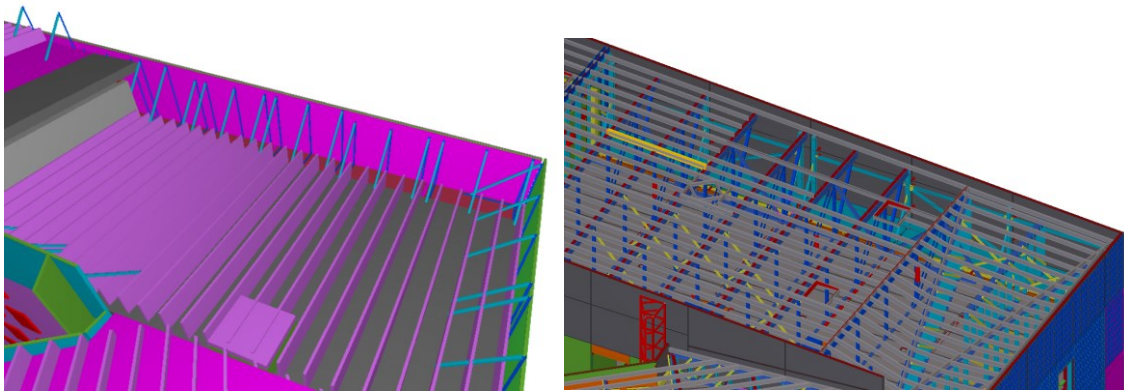
**Ontelolaatat, väliseinäelementtien terästys ja talotekniikkahormit** olivat suurin betonielementteihin liittyvä muutostekijä. Urakkatarjouksen ja toteutussuunnitelmien välillä näillä rakennusosilla on ainakin määräeroja. Mallielementtien puutos nostettiin myös yhdeksi syyksi, jolloin elementtien sisällöstä ei ole ollut tarpeeksi tarkkoja lähtötietoja urakkatarjousta antaessa, esimerkiksi seinäelementtien sisältämien terästen ja kiinnikkeiden määrä on lisääntynyt toteutussuunnitelmissa huomattavasti. Ontelolaattojen osalta esille nousivat kavennettujen laattojen lisääntynyt määrä toteutussuunnittelun aikana. Osa ontelolaatoista täytyi tukea viereisiin laattoihin, koska yksiaukkoisena päistään tuettuna rakenteena ontelolaatan toimivuus rakennusosana täytyi varmistaa. Tällöin laattojen väliin asennettiin PETRA-erikoiskannake (kuva 18), jonka päälle ontelolaatan toinen pää saatiin tuettua. Lähtötietovaatimusten epäiltiin olevan liian epätarkkoja, esimerkiksi tieto elementtien terästysten määristä tarjouslaskennassa ei välttämättä siirtynyt tarpeeksi hyvin suunnittelijalle. (H1, H2)

### **Betonipintojen jälkityöt (kohteet 1, 2 ja 4)**

Betonirakenteen pinnasta tulee irrottaa sen pintaan kuivunut sementtiliimaa, jotta pintamateriaali saadaan tarttumaan kiinni elementtiin. Tämä työ tehdään joko elementtitehtaalla tai työmaalla. Se, missä vaiheessa sementtiliima poistetaan, riippuu sopimuksesta ja elementtien valmistustekniikasta. Osassa tutkittuja kohteita sementtiliima poistettiin kuitenkin vasta työmaalla. Tämä vaikuttaa työmaalla lisääntyneen hiomistyön lisäksi siihen, että muut työvaiheet voivat häiriintyä työn suorituksesta seuraavasta pölyhaitasta. Seinäelementtien pysty- ja vaakasaumojen juotosbetonointi aiheutti myös kovettuneeseen runsaasti elementtien pintojen jälkitöitä, jotta vaadittu laatuso tasoitukselle ja maalaukselle saavutettiin. Negatiivinen kustannusmuutos on betonielementteihin liittyvä, mutta johtuu muusta kuin suunnittelutyöstä. (H3, H5)

## Vesikatto (kohde 2)

Vesikatto oli suunniteltu toteutettavaksi naularistikoilla tarjouslaskentavaiheessa, mutta tositilanne oli huomattavasti haasteellisempi (kuva 21). Työmaan ja suunnittelun avulla ongelmaan pyrittiin tarttumaan ajoissa, mutta projektin kiireellisyyden vuoksi asialle ei löydetty yksimielistä ratkaisua. Vesikaton runkorakenteet toteutettiin puurakenteisilla pilari-palkki-kehillä ja terästuilla. Toteutunut ratkaisu kasvatti materiaali- sekä työkuluja huomattavasti kustannustietomallin ehdotettuun ratkaisuun verrattuna. Negatiivinen kustannusmuutos johtuu suunnittelutyöstä ja varsinkin liian epätarkoista lähtötiedoista. (H3, H4)



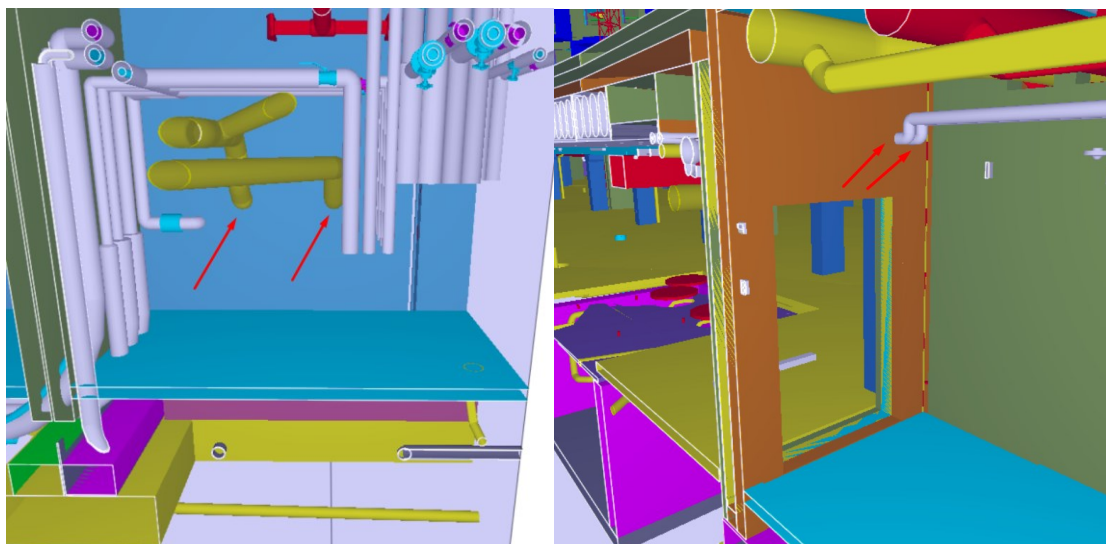
Kuva 21. Kohteen 2 vesikaton rakenteet naularistikoilla ja teräspukeilla kustannustietomallissa (vasemmalla) ja pilari-palkki-rakenteena toteumamallissa (oikealla). Samanlaisia muutoksia oli myös kohteen 1 molemmissa taloissa. (Fira, 2017)

## LVIA-suunnittelu ja LVISA-apytyöt (kohteet 1, 2, 4 ja 5)

Kohteen 1 talotekniikan suunnitteluratkaisut olivat usein ristiriidassa rakennesuunnitelmien kanssa. Suunnitelmat kärsivät myös myöhästymisistä ja puutteista. Suuri määrä talotekniikan, etenkin LVI-tekniikan, läpivientejä tehtiin jälkitoteutuksena (kuva 22). Tämä tarkoittaa sitä, että kyseiseen tehtävään erikoistunut ammattilainen kutsutaan paikalle aina tarpeen vaatiessa ja usein tehtävät ilmenevät yksitellen, jolloin ammattilainen työkaluineen on jo ehtinyt poistua työmaalta. Kohteessa 2 toistuvat samat ongelmat, kuin kohteessa 1. Talotekniikan läpivientejä on jouduttu tekemään todella paljon jälkitoteutuksena. Negatiivinen kustannusmuutos johtuu suunnittelutyöstä. (H3, H4)

LVIA-suunnittelu oli toiseksi suurin negatiivinen kustannusmuutos kohteessa 5. Tämän syyksi nostettiin se, että vaikka suunnittelu-urakalla on sovittu tavoite- ja kattohinta, niin kattohinta on ylitetty. Sen jälkeen tapahtuva suunnittelu toteutetaan lisätöinä. Arkkitehtisuunnittelun viivästyksset ja runsaat muutokset vaikuttavat tähän, joten myös erikoissuunnittelualat joutuvat tekemään suunnitelmiinsa paljon muutoksia, jotka eivät kuulu enää alkuperäiseen sopimuksessa määriteltyyn sisältöön. (H1, H2)

LVI- ja RAU-urakat kärsivät LVI-suunnittelun puutteesta kohteessa 4. Suunnittelijaa oli vaikea tavoittaa ja suunnitelmissa oli virheitä. Esimerkiksi huoneistojen patterinousut läpivientiosien kanssa olivat suunnitelmissa liian lähellä pattereita ja putket väärän kokoisia. Työmaa joutui tekemään uudet reiät ja vaihtamaan putkien kokoa. LVI-suunnittelijan tietomalli ja 2D-suunnitelmat olivat usein ristiriidassa keskenään. (H5, H6)



Kuva 22. Esimerkkikuvia tutkittujen kohteiden tietomalleista, joissa näkyville talotekniikan linjoille jouduttiin tekemään varauksia työmaalla jälkikäteen talotekniikan suunnitelmapuutosten takia. (Fira, 2016)

### Paalut ja perustukset (kohde 6)

Teräspaalujen valmistaja laati perustuspaalujen optimoinnin koko korttelin rakennusten perustuksille. Kohteen rakennesuunnittelija teki myös oman suunnitelmansa paalutuksesta, jonka myötä paalujen sijainnit muuttuivat tiheämmäksi ja tätä myötä niiden määrä kasvoi. Myös anturoiden teräsmäärät kasvoivat huomattavasti urakkatarjouksen ja toteutuman välillä. Tarkkaa syytä muutokselle ei löydetty ja suunnitteluratkaisu vaikutti olevan enemmänkin suunnittelijariippuvainen, kuin vaatimukset täyttävä. Kohteen vastavaan rakennesuunnittelijan allekirjoittamat dokumentit painoivat kuitenkin eniten tilanteessa. (H7)

Kohde 6 erosi merkittävästi muista kohteista siten, että siinä tilaajan vaatimukset olivat erittäin tarkat, eikä suunnitteluratkaisuja voitu optimoida. Kohde 6 oli ainoa tutkituista kohteista, jossa hankekehityksellä ei saavutettu merkittäviä säästöjä.

### Metalli-ikkunat

Metalli-ikkunat kohteessa 3 olivat suurin negatiivinen kustannusmuutos. Tähän vaikutti rakennuksen päädyissä sijaitsevien porrashuoneiden kautta tapahtuva savunpoistomääräys mahdollisen onnettomuustilanteen varalta. Porrashuoneiden päädyt olivat omia palo-osastojaan, joiden välissä oli joka kerroksessa käytävä, josta pääsi asuntoihin sisälle. Myös tämä käytävä oli oma palo-osastonsa ja kyseisen tilan savunpoisto piti hoitaa porrashuoneiden läpi. Savunpoistoikkunoiden moottorisointi vaikutti myös kustannuksia lisäävästi. Kerrosten korkea lukumäärä (11 kpl) vaikutti siihen, että savunpoistotarve ilmeni useassa kerroksessa. (H2)

### Positiivinen kustannusmuutos: Kohde 1, parvekelasit- ja kaiteet

Kohteen parvekkeiden lasituksessa saatiin merkittäviä säästöjä sillä, että lasitusten toimittaja pyydettiin aikaisin mukaan ratkaisujen mietintään. Urakoijan, arkkitehdin ja parvekelasien toimittajan hyvissä ajoin aloitettu yhteistyö oli siis merkittävin tekijä tässä positiivisessa kustannusmuutoksessa. Kustannusmuutos johtuu suunnittelutyöstä. (H3, H4)

## Positiivinen kustannusmuutos: Kohde 5, Sähköurakka

Kohteen 5 sähköurakka oli suurin positiivinen kustannusmuutos. Sähköurakoitsija otettiin mukaan suunnittelemaan ja optimoimaan ratkaisuja ennen kuin itse asennustyö alkoi, jonka myötä myös sähköurakan kustannuksiin saatiin merkittäviä säästöjä. Kohteen LVIA-urakat aiheuttivat kuitenkin negatiivisen kustannusmuutoksen, joten talotekniikan urakoitsijoita ei saatu laajasti hyödynnettyä. Sähköurakka ja LVIA-urakat eivät olleet saman yrityksen toimittamia. (H1, H2)

## Yhteenveto muutosten tunnistamisesta

Taulukossa 6 on esitetty kootusti tutkittujen hankkeiden suurimmat kustannusmuutoserät ja muutosten osuus kunkin hankkeen urakkatarjouksen hinnasta. Selvästi suurimpina tekijöinä muutosten osalta nousivat **rakennuksen rungon betonielementteihin ja talotekniikkaan** liittyvä suunnittelu ja siitä seuraavat muutokset. Nämä kustannukset todetaan usein hyvin myöhään, joka aiheuttaa sen, että työmaan taloustilanne ei ole ajan tasalla tulevista kustannusten muutoksista. Tämä näkyy myös koko yrityksen taloustiedoissa tällöin viiveellä.

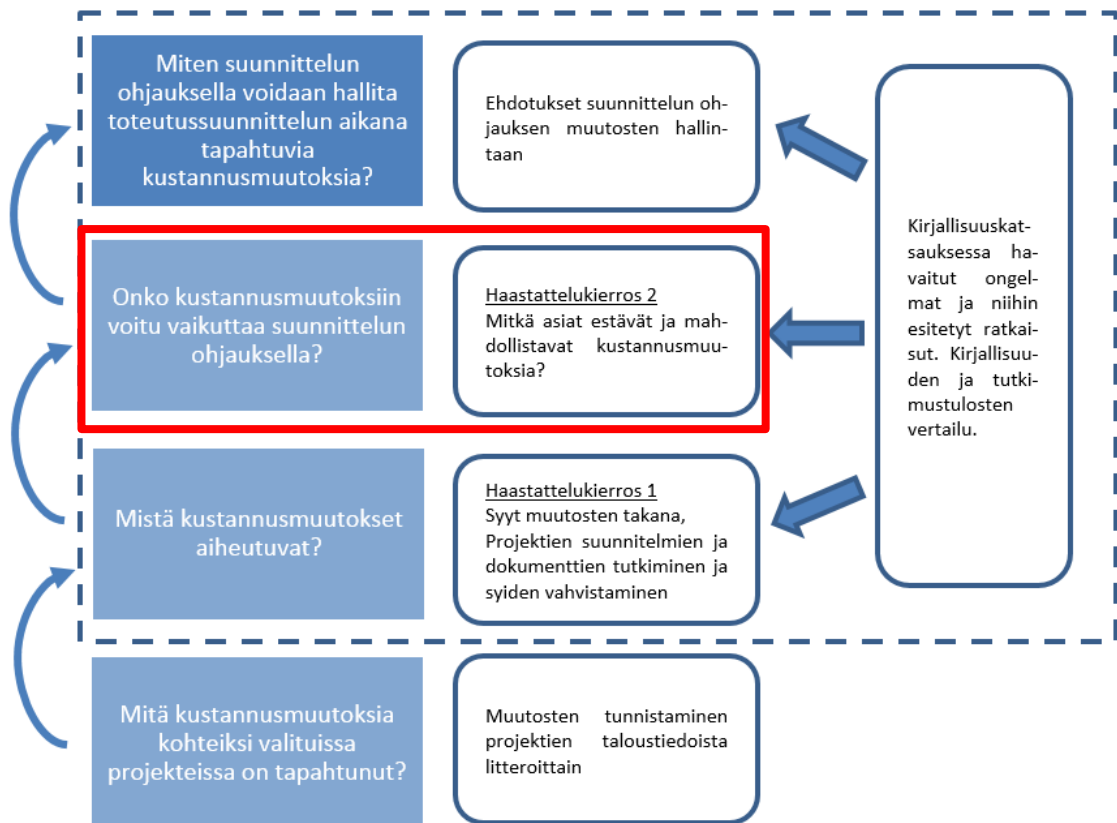
Taulukko 6. Tutkittujen hankkeiden suurimmat kustannusmuutoserät. (Fira, 2017)

Kohde 1, muutos	Toteutuneen muutoksen osuus koko urakkatarjouksesta [%]
Betonielementit	-0,398
Betonipintojen jälkityöt	-0,204
LVISA-aputyöt	-0,145
Parvekelasit ja -kaiteet	0,297
<b>Kohde 2, muutos</b>	
Lämpö-, vesi- ja viemäryöt	-0,255
Vesikatto	-0,084
LVISA aputyöt	-0,078
<b>Kohde 3, muutos</b>	
Metalli-ikkunat	-0,999
<b>Kohde 4, muutos</b>	
Betonielementit	-1,102
LVI- ja RAU-urakat	-0,714
<b>Kohde 5, muutos</b>	
Betonielementit	-2,588
LVI- ja RAU-urakat	-0,514
Sähköurakka	1,391
<b>Kohde 6, muutos</b>	
Paalut	-1,707
Perustukset	-0,371



## 6.5 Suunnittelun ohjauksen vaikutusmahdollisuudet muutoksiin

Toisella haastattelukierroksella selvitettiin toteutussuunnittelun lähtötietojen muodostumista erityisesti kustannustietomallin osalta ja suunnittelun ohjauksen vaikutusmahdollisuuksia toteutussuunnittelun aikaisiin muutoksiin (kuva 23). Haastatteluiden tulosten perusteella suunnittelun ohjauksen haasteet voitiin luokitella aihealueittain, sillä tietyt asiat nousivat esille toistuvasti.



Kuva 23. Vastaaminen tutkimusongelman kolmanteen kysymyseen.

### Toteutusmuoto, lähtötiedot ja tilaajan aineisto

Rakennusprojektin toteutusmuoto määrittelee pitkälti urakoitsijan mahdollisuudet vaikuttaa projektin päätöksiin. (H9) Mikäli yritys on ollut mukana hankkeen kehityksessä jo hyvissä ajoin, niin vaikutusmahdollisuudet ovat merkittävät verrattuna pelkkään projektinjohto-urakkaan tai rakentamisurakointiin. Usein hanketta kehitettäessä yritys voi palata soveltuvimmaksi arvioimansa arkkitehdin mukaan hankkeeseen, jolloin koko rakennuksen dimensioita voidaan optimoida ja tällöin kustannustehokkaiden ratkaisujen mukaan tuominen onnistuu paremmin. Jos taas yritys ei ole mukana kehittämässä hanketta, suurin osa rakennuksen sisällöstä on jo määritetty. Tällöin voidaan enää lähinnä vaikuttaa toteutustapaan (esimerkiksi siihen, miten rakennus ositellaan itse rakentamisen optimoimiseksi). Tilaajan tarjoama lähtötietoaineisto voi vaihdella myös todella paljon. (H8, H9)

Rakennusprojektin osapuolten väliset sopimusasiat määrittävät myös sen, mihin asioihin urakoitsija ja erityisesti urakoitsijan puolelta tuleva suunnittelun ohjaus voi vaikuttaa. Kustannustietomallissa saatetaan yksinkertaistaa asioita, kun taas sopimusasiakirjoissa voi olla hyvinkin tarkkoja kuvauksia ja määritelmiä. Dokumenttien pätevyysjärjestys on

aina projektikohtaista. Sopimuksessa voidaan tehdä kompromisseja, joista syntyvä tieto ei saavuta kustannustietomallin tekijää (H8). Esimerkiksi rakennustapaselostus tulee usein arkkitehdiltä ja tässä dokumentissa on määritelty monia projektin vaatimuksia. Kaupalliset syyt vaikuttavat suuresti muutoksiin. Haastavissa rakennuksissa vaikeita paikkoja ei olla välttämättä arvioitu riittävän tarkasti. Tilaaja voi hyväksyä arkkitehtoniset ratkaisut, vaikka näitä ei ole riittävästi tutkittu talotekniikan ja rakenteiden puolesta. (H9) Yhteistyön kannalta jokaiseen pieneen yksityiskohtaan puuttuminen ei ole mielekästä ja pahimmillaan se voi vahingoittaa tilaajan ja urakoitsijan välisiä suhteita. (H9)

Elementtien määrin on esimerkiksi todella vaikea vaikuttaa, jos kohteen arkkitehtisuunnitelmat ovat jo valmiit. Tällöin ratkaisujen optimointi voi olla hyvinkin rajoittunutta. (H8, H10) Suunnittelu on jatkuvasti päivittyvää toimintaa. Tämä vaikuttaa paljon siihen, että kustannustietomallissa lukkoon lyödyt ratkaisut eivät olekaan esillä enää toteutus-suunnitteluvaiheessa. (H8)

Se, mitä ei ole tarkasti määritetty, voidaan ymmärtää monella eri tapaa. Arvaukset ja oletukset lähtötiedoissa ovat aina alttiita muutokselle. Täytyy pystyä määrittämään se, kuinka tarkasti Firan antamaa lähtötietoaineistoa tulee noudattaa. Yksi olettaa elementtien sisältävän paljon terästä, kun toinen taas olettaa sen sisältävän vähän terästä. Mikäli tämän kaltaisia asioita ei ole ilmaistu sellaisena kuin ne urakkatarjouksen sisällössä ovat, ei voida lähtökohtaisesti olettaa suunnitelmien täsmäävän tarjouksen sisällön kanssa. (H9)

### **Aikataululliset rajoitteet tarjouslaskentavaiheessa ja kustannustietomallin luomisessa**

Kustannustietomalli ja kustannuslaskenta tekevät kohteen urakkatarjouksen tietyn ajan sisällä. Urakkatarjouksen sisältö pyritään laskemaan nopeasti kustannustietomallista, jolloin jotkin asiat jäävät pakostakin miettimättä. (H8) Kellarikerros ja vesikatto ovat usein suurimmat ongelmalliset asiat kustannustietomallia tehdessä. Talotekniikan tarvitsemia varauksia on vaikea ennakoida tarkasti ennen toteutussuunnittelun alkua, joten moni asia joudutaan olettamaan. Kellarissa ja vesikatoilla on yleensä eniten talotekniikkaa, eikä niissä voida hyödyntää useinkaan esivalmistettuja betonielementtejä, joihin kanavat saisi siirrettyä. (H8, H11)

Tietomallinnuksen hyödyntäminen urakkatarjouksen laskemisessa auttaa merkittävästi siinä, että rakennusosien määrät saadaan laskettua melko tarkasti jo kyseisessä vaiheessa. Kuitenkin esimerkiksi betonirakenteiden sisältämät kiinnikeosat ja terästys on vaikea määrittää tarkasti ennen varsinaista toteutussuunnittelua. Osiltaan tähän vaikuttaa se, että kustannustietomallin suunnitteluun käytettyä aikaa ei välttämättä saada maksettua takaisin siinä tapauksessa, että kohdeyrityksen urakkatarjous ei voitakaan tarjouskilpailua. (H8, H10, H11)

### **Muutokset toteutussuunnittelun aikana**

Suunnittelun lähtötietoja ei aina osata pyytää, joka vaikuttaa väärinymmärryksiin hyvinkin paljon. Lähtötietojen puutteista ei myöskään olla kovin tarkkoja, vaan mainitaan ai-noastaan se, että niitä puuttuu. Kaikkien osapuolien olisi hyvä tietää, mitä ja missä muodossa lähtötietoja yleensäkin tarvitaan. Myös lähtötietojen antamiseen sitoutumisessa on parannettavaa. Lähtötietotaulukon käyttöä on kokeiltu, mutta sen käyttöön ei sitouduttu. Tällaisessa tapauksessa toki saadaan dokumentoitua se, että tietoja on pyydetty, mutta se

ei poistaa itse ongelmaa. (H9) Kustannustietomallin osalta yritys on määrittänyt tiedot, jotka se toimittaa suunnittelijoille ja valmistajille. Nämä riittävät tiettyyn tarkkuuteen asti, esimerkiksi suurimpaan osaan hankinnoista, mutta tarkat ratkaisut ovat kohteen suunnittelijoiden vastuulla. (H10)

Muutoksia tulee, mutta niiden määrittäminen lisätöiksi ja normaaliksi töiksi riippuu paljon itse työstä. Tulee punnita, onko uudelleensuunnittelu lisäsuunnittelutyön hinnan arvoista, voiko muutos vaikuttaa moneen eri suunnittelualaan ja sotkeeko muutos suunnitteluprosessin. Jo itse lisä- ja muutostyön sopimuslapun tekeminen voi maksaa paljon, koska joku sen joutuu tekemään. Muutostarpeen alkulähde tulisi aina selvittää. Hankkeen hinnoittelua tulisi säätää kaikkien tekijöiden kautta. Tilaaja, suunnittelijat, hankemuoto yms. muodostavat yhdessä vaikutuksen laajuuden. (H9)

Toteutussuunnitteluvaiheessa suunnittelun ohjauksella on enää hyvin vähän mahdollisuuksia vaikuttaa elementtimääriin. Toisaalta varsinkin sellaisissa hankkeissa, joissa rakennuksen rungon ratkaisuihin on voitu vaikuttaa, elementtien määriin ei ole suurta tarvetta vaikuttaa. Ongelmat liittyvät pikemminkin esimerkiksi talotekniikan suunnitelmien tarkentumisen myötä ilmaantuviin muutoksiin. (H8, H11) Varsinkin asuinkerrostalojen kohdalla kellarikerros ja vesikatto ovat haasteellisimmat alueet talotekniikan ja rungon yhteensovituksessa. (H8)

Rakentamisen aikaiset suunnitelmat päivittyvät jatkuvasti. Hankkeen edetessä yhä useampi suunnitteluosapuoli sitoutuu enemmän projektiin ja tuotetun tiedon määrä kasvaa. Tämä aiheuttaa suunnittelutiedon hallinnassa suuria haasteita, sillä uusien tietojen sekoittuminen vanhentuneeseen tietoon. (H8, H9, H10) Suunnitelmamuutoksia ei osata kommentoida kaikille osapuolille, jolloin ei olla ajan tasalla. Osapuolilla ei ole tietoa siitä, kuka osaa vastata mihinkin tiedustelupyyntöihin. (H9)

Yleisaikataulu säätää myös toteutussuunnittelun aikataulua. Osapuolten sitoutuminen jo aikaisessa vaiheessa yleisaikatauluun auttaa myös itse toteutussuunnittelun toimivan aikataulun muodostamisessa. Liian tarkka aikataulu varsinkin aikaisessa vaiheessa ei useinkaan tule toteutumaan. Tämän vuoksi aikataulua tulisikin tarkentaa aina sopivassa vaiheessa. (H9)

### **Suunnittelun ja hankintojen yhteistyö**

Suunnitelmat toteutussuunnitteluvaiheessa pyritään hankkimaan suunnitelmapaketeissa ja toisaalta taas hankinnat vaikuttavat suunnitelmien valmistumiseen. Kustannustietomalli auttaa tietyissä ajallisesti vaativissa hankinnoissa, kuten rungon betonielementeissä. Tiedot kiirehankinnat taas vaativat toteutussuunnittelun tarkkuutta jo ennen varsinaista toteutussuunnittelun aloittamista. Rakennesuunnittelu suunnittelee ensin ylhäältä alas, koska kuormat siirretään perustuksille ja maaperään. Tämän jälkeen rakenteita voidaan alkaa suunnitella perustuksista ylöspäin. Hankinnat aloitetaan kuitenkin heti maanrakennustöistä kohti vesikattoa. (H8) Toteutussuunnittelu ja varsinkin varsinaisten työsuunnitelmien tekeminen aloitetaan maanrakennuksesta kohti vesikattoa. Hankinnat saattavat kuitenkin tarvitsemastaan ajasta riippuen vaatia tietyn tasoisia suunnitelmia eri suunnitelmapaketeista. (H9, H10)

Vaikka hankintapaketit olisi vakioitu, niin ne ovat aina projektikohtaisia. Hankintapaketit tulisi siis kuvata selkeästi jokaiselle projektille ja niiden sisältö tulee määrittellä kohteen

mukaan. (H9) Hankintapakettien ja suunnitelmapakettien tulisi olla selvillä kaikille suunnitteluun osallistuville osapuolille. Parempana ratkaisuna olisi vielä se, että ne olisivat yhdessä pääurakoitsijan ja suunnitteluosapuolien kanssa määritetty, jolloin vaatimusten määrittäminen ei jää vain pääurakoitsijan vastuulle. (H8, H9)

## 6.6 Yhteenveto tuloksista

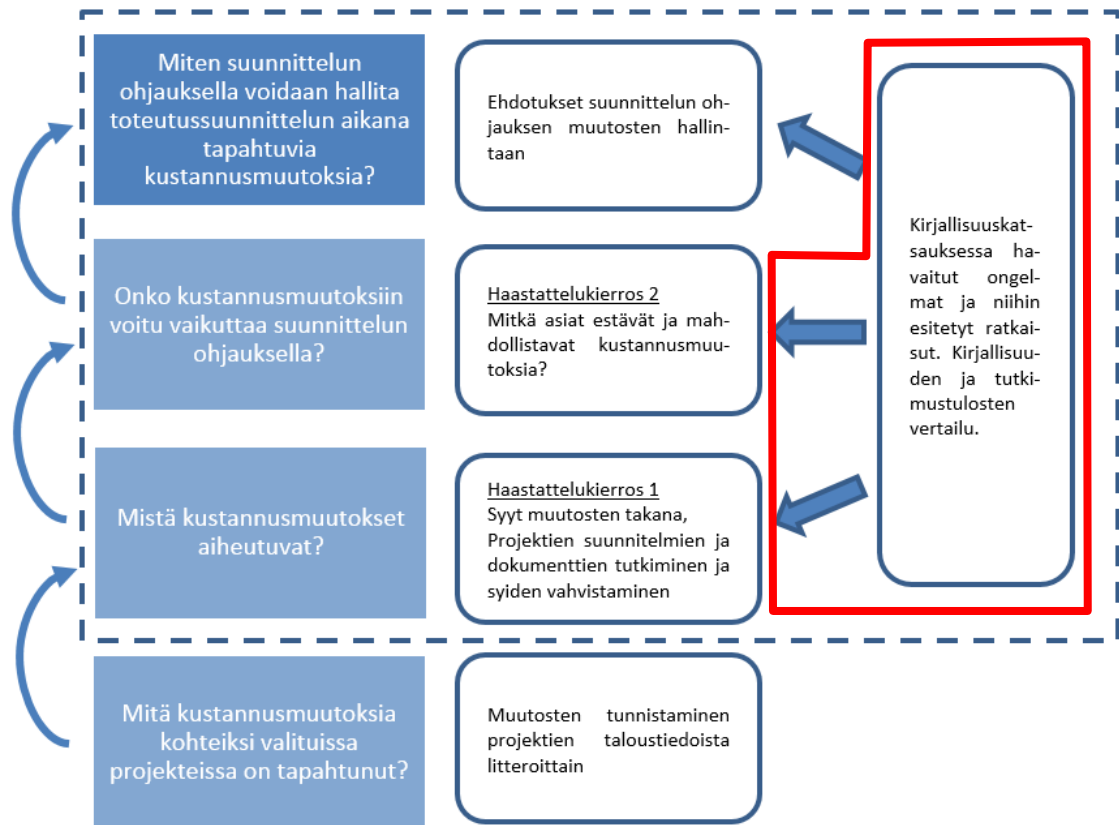
Kuva 24 esittää kirjallisuuslähteiden sekä tutkittujen hankkeiden kustannusmuutosten ja haastatteluissa ilmenneiden asioiden yhteenvetoa ja niiden yhteyttä toisiinsa. Tämä yhteenveto toimii pohjana luvussa 7 esittävälle kirjallisuuskatsauksen ja empiirisen osuuden välisten tulosten pohdinnalle.



**Kuva 24. Kustannustietojen ja haastatteluiden tulosten yhteenveto esitettynä sinireunaisissa laatikoissa. Punareunaiset laatikot esittävät samojen aihepiirien asioita kirjallisuudesta. Keltaisella taustalla empiirisen osuuden oleellisin tulos.**

## 7 Pohdinta

Tässä osassa vertaillaan kirjallisuudesta ja haastatteluista löydettyjä tuloksia (kuva 25). Näin lukijalle voidaan osoittaa, miten asiaa on aiemmin tutkittu ja miten tämä tutkimustyö liittyy jo olemassa oleviin tutkimuksiin (Hirsjärvi, 2000, s. 108-109).



Kuva 25. Kolmen ensimmäisen tutkimusongelman tulosten vertailu kirjallisuuteen.

Tutkimuksen aikana havaittiin asioita, joilla voidaan vaikuttaa toteutussuunnittelun muutosten hallintaan, vaikka ne sijoittuvat rakennusprojektissa ajallisesti vaiheisiin ennen toteutussuunnittelua. Esimerkiksi projektin hankekehitysvaiheessa rakennuksen rungon elementtien määrän ja sisältöön voi vaikuttaa, joten myös tällaiset asiat esitetään työssä. Kirjallisuudesta ja haastatteluista havaittiin, että lähtötiedot ja niihin liittyvät haasteet ovat olennaisessa osassa suunnittelua projektin joka vaiheessa. Pääasiallisesti tuloksia vertaillaan toteutussuunnittelun näkökulmasta, mutta myös yleissuunnitteluvaiheen asioita nostetaan esille, sillä toteutussuunnittelun merkittävimmät lähtötiedot määritetään kyseisessä vaiheessa.

### 7.1 Rungon betonielementit ja LVISA-suunnittelu

Luvun 6 selkeimmät tutkimustulokset liittyivät havaintuihin kustannusmuutoksiin betonielementtirungon osien ja talotekniikan osalta (kuva 26). Talotekniikan suunnittelun koordinointi ja sen tärkeys projektin onnistuneessa suunnittelussa nousivat esille myös kirjallisuudessa (Staub-French & Khanzode, 2007; Khanzode *et al.*, 2008; Tommelein & Gholami, 2014).



**Kuva 26. Talotekniikan suunnitteluun liittyvät asiat nousivat vahvasti esille sekä haastatteluissa että kirjallisuudessa.**

Staub-French & Khanzode (2007), Khanzode *et al.* (2008) ja Tommelein & Gholami (2014) esittävät tutkimuksessaan tietomallintamisen tuovan merkittäviä etuja varsinkin rakennusprojektin talotekniikan suunnittelun ja asennukseen liittyen. Tämä vaatisi kuitenkin jokaiselta osapuolelta aktiivisuutta tietomallintamiseen työskentelytapana. Kyseisen tutkimuksen kohteena olivat suuret toimitilarakennukset, joissa talotekniikan osuus on asuinrakennuksia suurempi ja määrittää enemmän toiminnallisia vaatimuksia. Tulokset ovat kuitenkin muun tutkimuksen kanssa yhteneväisiä: tuottavuus paranee ja muutoksia saadaan karsittua, kun tietomallinnusta käytetään osana projektia. Merkittävää on se, että aliurakoitsijat ovat osallistuneet talotekniikan suunnitteluun jo ehdotussuunnitteluvaiheessa, jonka ansiosta suurilta osaa haasteista ollaan vältytty. Tätä ei tutkimuksen asuntokohteissa tapahtunut, vaan positiiviset kustannusmuutokset liittyivät aliurakoitsijoiden osallistumiseen toteutussuunnitteluvaiheessa, jolloin myös tiettyjä ratkaisuja suunnitelmissa saatiin muutettua kustannustehokkaammiksi. Aliurakoitsijoiden mukaan kytkeä aikaisessa vaiheessa puoltaa myös Khanzode *et al.* (2008), Staub-French & Khanzode (2007) suorittamat tutkimukset. Sødal *et al.* (2014) esittävät tutkimuksessaan suunnittelutyön hyötyvän urakoitsijan aikaisesta osallistumisesta erityisesti suunnitteluratkaisujen rakennettavuuden ja kustannusten arvioinnista. Toisaalta taas haasteeksi havaittiin se, että urakoitsijan tiukat kustannuksia ja aikataulua painottavat näkemykset saattavat aiheuttaa erimielisyyksiä osapuolten välillä. (Sødal *et al.*, 2014)

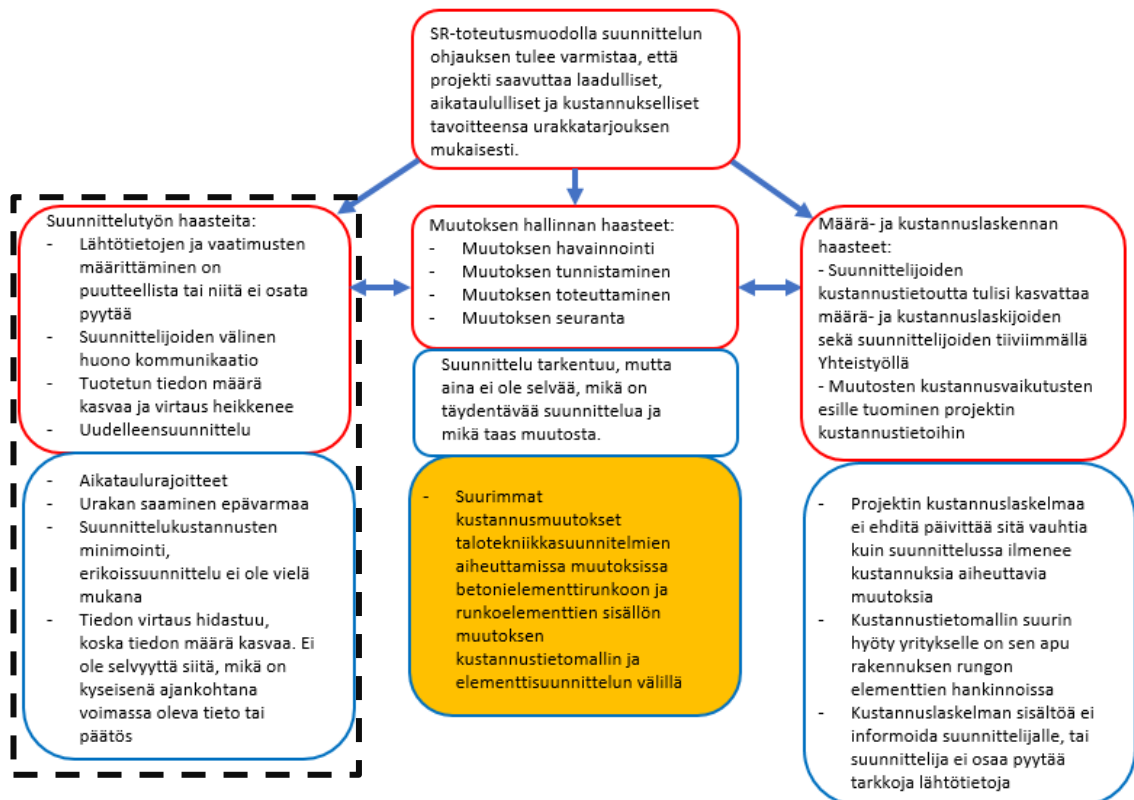
Monissa kirjallisuuslähteissä (Knotten *et al.*, 2014; Hao *et al.*, 2008; Mokhtar *et al.*, 1998) suunnittelutehtävien ja niiden välisten riippuvaisuuksien hahmottamisen esitettiin olevan erityisen haasteellista. Haastatteluissa tämä nousi selkeästi esille ja asian voi ilmaista myös siten, että mitä aiemmassa vaiheessa jokainen suunnitteluala on huomioitu, sitä vähemmän suunnittelutyön ongelmia ilmenee projektin edetessä. Talotekniikan muutokset

aiheuttivat useisiin muihin rakennusosiin muutoksia, joita ei osattu ennakoida ennen toteutussuunnittelua. Tiettyyn määrään muutoksia on varauduttu kustannusvarauksilla, mutta tosiasia on kuitenkin se, että rakentaminen on jokaiselle osapuolelle liiketoimintaa, jossa pyritään maksimoimaan yritykselle tuleva voitto. Ennakoimattomat muutokset heikentävät projektin taloudellista onnistumista suurimmassa osassa tapauksia.

Kirjallisuudesta ei löytynyt tämän tutkimuksen tarkkuudella esitettyjä asioita liittyen kerrostalojen runkoelementtien määrä- tai sisältömuutoksiin. Tähän varmasti vaikuttavat eri maissa vallitsevat rakennustavat ja tutkijan tapa hakea tietoa. Elementtirakentaminen on Suomessa yleinen tapa rakentaa asuinkerrostaloja, kun taas muualla paikallavalettu runko saattaa olla yleisempi. Suoraa vertailua kirjallisuuslähteisiin ei siis juuri tästä aiheesta saatu tämän tutkimuksen puitteissa tehtyä.

## 7.2 Puutteelliset lähtötiedot ja vaatimukset, kommunikaatio ja aikataululliset rajoitteet

Puutteelliset lähtötiedot ja lähtötietovaatimukset, lähtötietojen pyytäminen, huono kommunikaatio ja aikataululliset rajoitteet esiintyivät sekä kirjallisuudessa että haastatteluissa (kuva 27). Nämä asiat johtavat useimmiten uudelleensuunnitteluun, joka on käytännössä hukkatyötä. Myös tuotetun tiedon määrän kasvaminen ja huono kommunikaatio osapuolten välillä lisää uudelleensuunnittelun riskiä, sillä ajankohtaisen suunnittelutiedon määrittäminen selkeästi kaikille osapuolille on haasteellista.



Kuva 27. Suunnittelutyön olennaisimmat haasteet.

## Puutteelliset lähtötiedot ja vaatimukset sekä lähtötietojen pyytäminen

SR-muodolla toteutettavan rakennusprojektin ratkaisuihin voidaan vaikuttaa kohdeyrityksen toimesta eniten silloin, kun yritys on ollut mukana jo hankkeen kehityksessä. Suunnittelun ohjaajan kannattaa siis tutustua mahdollisimman aikaisin kaikkeen saatavilla olevaan materiaaliin, jonka tilaaja on jo hyväksynyt. Nämä toimivat lähtötietoina toteutussuunnittelulle ja tätä kautta voidaan määrittää, mihin kustannuksiin voidaan vielä vaikuttaa ja mihin ei. Kuten haastatteluissa selvisi, jos yritys ei ole ollut mukana kehittämässä hanketta, kannattaa silloin keskittyä enemmän muutosten hallintaan. Myös Aho (2014, s. 76) nostaa esille sen, että SR-toteutusmuodolla pääurakoitsijan suurimmat mahdollisuudet ovat tehokkaiden suunnitteluratkaisujen kehittämisessä. Tähän liittyen myös parhaista suunnitteluratkaisuista pitäisi muodostaa suunnitelmapankki, jonka sisältöä voidaan käyttää valmiina lähtötietoina uusissa projekteissa, jolloin kyseisen ratkaisun laatu ja kustannukset tiedetään jo aikaisemmasta kokemuksesta.

Lähtötietovaatimusten määrittämiseen ja niiden aikataulutukseen kirjallisuudesta esitettiin useimmiten **Last Planner**-menetelmää (Khan & Tzortzopoulos, 2014; Kerosuo *et al.*, 2012; Ballard, 2000b; Fosse & Ballard, 2016). Menetelmän todettiin vähentävän varsinkin suunnittelun lähtötietoihin liittyvää turhaa työtä ja parantavan osapuolten kommunikointia, edistäen näin tiedon virtausta. Haastatteluissa ei esiintynyt mitään tiettyä menetelmää lähtötietojen määrittämiseen tai aikataulutukseen, joten todennäköisesti jokainen suunnittelun ohjaaja suorittaa tätä omalla tyylillään. Last Planner-menetelmä vaikuttaisi sopivan parhaiten lähtötietoihin liittyvien haasteiden vähentämiseen ja osapuolten välisen kommunikaation parantamiseen varsinkin toteutussuunnitteluvaiheen aikana, jolloin suunnittelutehtävien määrä kasvaa huomattavan nopeasti. Yhdessä tekeminen myös mataltaisiin kynnykseltä siihen, että ongelmia nostetaan esille useammin.

Kirjallisuudesta löydettiin lukuisia tutkimuksia, jotka nostivat esille osapuolien välistä läpinäkyvyyttä ja keskitettyä tiedon säilyttämistä (Khan & Tzortzopoulos, 2014; Khanzode *et al.*, 2008; Bølviken *et al.*, 2012; Tribelsky & Sacks, 2011; Go & London, 2010). Keskitetty tieto ja sitä kautta osapuolien tiedonhaku yhdestä päivittyvästä tiedonlähteestä yhdenmäisi lähtötietojen sijaintia ja vähentäisi myöhemmin esiintyviä muutoksia. Tällä hetkellä projektin tiedot, kuten suunnitteludokumentit, ovat useassa eri sijainnissa, koska osapuolten yhteistyö ja teknologia ei mahdollista täysipainotteista tietomallityöskentelyä. Projektipankit ja sitä kautta hankittavat fyysiset dokumentit ovat toistaiseksi kätevimmin hankittavissa kopiolaitosten ja niiden tarjoamien tulostus- ja toimituspalveluiden kautta ja tämä onkin työmailla itse toteutuksen puolesta toimiva tapa. Lisäksi ”paperisuunnitelmat” ovat sopimusten mukaan laillisesti pätevimmät asiakirjat suunnitelmien osalta.

Keskitettynä tiedonlähteenä tietomalli vaikuttaa olevan tällä hetkellä yksi parhaista työskentelyalustoista, joka myös visualisuuksiensa ansiosta edistää kommunikaatiota. Haastatteluissa kävi kuitenkin selväksi, että varsinkaan kustannustietomallin tärkeyttä lähtötietovaatimuksena ei tuoda tarpeeksi painavasti esille tai suunnittelijat suhtautuvat siihen välinpitämättömästi. Kustannustietomalli sisältää hyvin paljon tietoa, mutta jos tietomallin ei ole suunnittelijalle tuttu asia, suunnittelija ei miellä mallia laajaksi tietolähteeksi.

## Uudelleensuunnittelu

Ballard (2000c), Ballard ja Zabelle (2000) ja Karhu (2013) esittävät tutkimuksissaan tiettyjen suunnitteluratkaisujen tarkentamisen siirtämistä projektin siihen vaiheeseen, kunnes se on välttämätöntä. Tätä menetelmää kutsutaan **joukkopohjaiseksi suunnitteluksi** (set-



based design). Ajatuksen siinä on, että suunnitteluratkaisu täyttää jo varhaisessa vaiheessa sille asetetut vaatimukset tietyllä tarkkuudella. Näiden vaatimusten sisällä ratkaisun tarkentamiselle jää vielä vaihtoehtoja, jolla vältetään liian tarkka aikaisen vaiheen suunnittelu. Esimerkkinä voidaan tutkia kantavan seinän raudoituksen määrä. Jo suunnittelun alussa sille tiedetään tulevan kuormaa, joten samalla sen tiedetään vaativan myös terästyä. Tarvittavan teräsmäärän tarkennus taas lyödään lukkoon vasta elementtiä suunniteltaessa. Firan tuottama kustannustietomalli on yksi esimerkki tällaisesta toimintatavasta: mallin tarkkuus on määritetty palvelemaan hankintoja ja suunnittelijoita tiettyyn rajaan asti. Tässä on myös kustannustietomallin heikkous, joka voi aiheuttaa myöhemmin uudelleen suunnittelua: ratkaisujen oletetaan olevan yhtä yksinkertaisia kuin kustannustietomallissa on esitetty, vaikka todellisuudessa tarkempi suunnittelu paljastaa lukuisan määrän haasteita vasta lähestyttäessä toteutusvaihetta.

Pikas *et al.* (2015) mainitsevat tutkimuksessaan ehdotussuunnitteluvaiheen olevan vaihe, jossa erikoissuunnittelualat osallistuvat vain vähän rakennusprojektin suunnitteluun. Esimerkiksi tilojen toiminnallisuuden varmistamiseksi erikoissuunnittelijoita voidaan konsultoida, mutta pääosin arkkitehti vastaa suunnittelutyöstä enemmän tai vähemmän eristäytyneenä muista suunnittelualoista. (Pikas *et al.*, 2015, s. 551) Samaa esittävät myös Ko & Chung (2015, s. 465). Nämä puolsivat haastatteluissa tehtyä havaintoa, jonka mukaan suunnitteluvaihtoehtojen optimointi on sitä vaikeampaa, mitä pidemmälle projektin ajanalla kuljetaan, Tällöin voi olla, että lähtötietomateriaali on pääosin vain yhden suunnittelualan tuottamaa, jolloin toteutussuunnittelun aikana moni suunnitteluratkaisu joudutaan suunnittelemaan uudestaan, sillä siihen liittyvät muiden suunnittelualojen vaatimukset ovat tarkentuneet.

### **Aikataululliset rajoitteet tarjouslaskentavaiheessa**

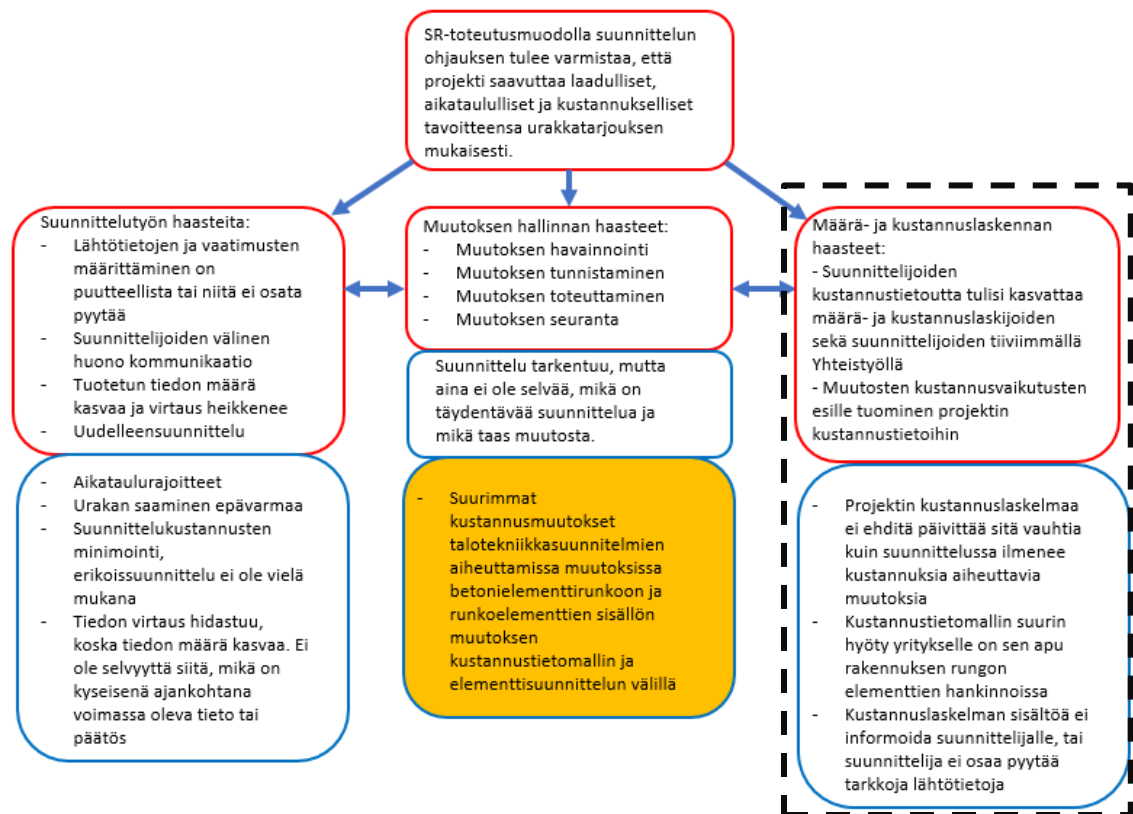
Tarjouslaskentaan käytettävä aika rajoittaa huomattavasti lähtötietojen tarkkuutta. Tarjouslaskentaan käytettävää aikaa ei saada välttämättä maksettua takaisin, jos yritys ei tule valituksi toteuttamaan rakennusprojektia. Myöskin suunnittelutyön muuttuva luonne vaikuttaa siten, että liian tarkka alkuvaiheen suunnittelu ei hyödytä itse projektia. Tarkempi suunnittelu tapahtuu yleensä vasta toteutussuunnitteluvaiheessa. Ahon (2014) tutkimus nostaa tarjousvaiheen aikataulurajoitteet yhdeksi merkittäväksi osaksi SR-toteutusmuodon haasteita. Ko & Chung (2014) esittivät tutkimuksessaan menetelmää, jossa suunnitteluvaiheesta seuraavaan siirrytään vasta, kun meneillään olevan vaiheen suunnitelmat ovat virheettömiä. Rajalliset resurssit aiheuttavat kuitenkin ongelmia tämän kaltaisen toiminnan suorittamiseen. Se, milloin tietty vaihe on valmis siirtymään seuraavaan, tulisi olla tarkkaan määritetty.

### **7.3 Tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta ja kustannustietomalli**

Haastatteluissa ei perehdytty itse määrä- ja kustannuslaskentaan, vaan kustannustietomallin käyttöön lähtötietovaatimuksena (kuva 28). Kirjallisuusosiossa taas pääpaino oli tietomallinnuksen hyödyntämisessä määrä- ja kustannuslaskennassa ja sen tuomissa hyödyissä ja vaatimuksissa. Kustannustietomallilla tässä tutkimuksessa tarkoitetaan tietomallia, joka tuotetaan palvelemaan sekä määrä- ja kustannuslaskentaa, suunnittelua, hankintatoimeja ja tuotantoa. Kala *et al.* (2010) tutkivat kustannustietomallin hyödyntämistä rakennushankkeen perustusten määrä- ja kustannuslaskennassa, työn aikataulutuksessa ja rakennettavuuden arvioinnissa. Tutkimuksessa kustannustietomallin havaittiin tuottavan

eniten hyötyä määrien linkittämisessä aikatauluun, jolla saatiin yhtenäistettyä perustuksiin kullakin hetkellä tarvittava resurssien virtaus. Toinen selkeä hyöty liittyi rakennettavuuden arvioinnin paranemiseen. Pelkällä tietomallipohjaisella määrä- ja kustannuslaskennalla tutkimuksessa ei havaittu saavutettavan yhtä suuria etuja.

Kustannusmuutosten ja vaihtoehtojen vertailu on tarkempaa tietomallien avulla, sillä niissä objektien muutosten vaikutusta kokonaisuuteen voidaan verrata 2D-suunnitelmia tehokkaammin. Tämä onnistuu sillä, että perinteistä manuaalista mittaamista suunnitelmista ei tarvita. (Mitchell, 2012; Smith, 2014; Wu *et al.*, 2014). Taboada & Garrido-Lecca (2014) esittävät tutkimuksessaan tietomallinnuksen nopeuttavan tarjouslaskennassa tapahtuvaa määrälaskentaa perinteiseen 2D-suunnitelmista verrattuun määrälaskentaan verrattuna. Myös haastattelussa nousi esille, että varsinkin nopea runkoelementtien määrälaskenta auttaa merkittävästi Firan hankintatoimea projektien toteuttamisessa. Kustannustietomallin tekemiseen ja urakkatarjouksen laskentaan käytettävä aika on kuitenkin lyhyt, joten merkittävä askel voi tulla vasta, kun uuden tietomallipohjaiseen projektinhallintaan kehitetyn ohjelmiston käyttö ollaan saatu jalkautettua Firan toimintaan. Tällöin tarjouslaskentavaiheen suunnitelmamuutokset saadaan arvioitua nykyistä nopeammin.



Kuva 28. Määrä- ja kustannuslaskennan ja kustannustietomallin yhteys suunnittelutyöhön.

Haastattelussa ei käyty tietomallipohjaista kustannusmuutosten vertailua läpi kustannuslaskijoiden kanssa, joten tämä aihe jäi vähälle huomiolle. Toteutussuunnitteluvaiheen tietomallipohjaista kustannusvertailua tuskin suoritetaan useinkaan, sillä kustannuslaskijat ovat kyseisen vaiheen alkaessa jo kiinni toisissa projekteissa. Ehdotus- ja yleissuunnitteluvaiheen aikana kustannusvertailua suoritetaan kustannustietomallien avulla, joita päivitetään kuitenkin vain tietyin aikavälein. Aikavälillä tapahtuvat muutokset ovat kuitenkin valitettavan usein sellaisia, jotka eivät täydessä laajuudessaan siirry kustannustietomalliin tai kustannuslaskijan tuottamaan laskelmaan huonon tiedonkulun vuoksi.

Mitchell (2012) esittää, että tietomallia tulisi hyödyntää projektin kustannusten hallitsemiseen jo hankkeen aikaisista suunnitteluvaiheista sen valmistumiseen ja ylläpitoon asti. Varsinkin merkittävien suunnitteluratkaisujen optimointi ja kustannusten reaaliaikainen tarkkailu ovat asioita, joita tietomallinnuksella voidaan hyödyntää. Myös hinnoittelun tulisi olla läpinäkyvä osa projektia, eikä täysin erillinen työvaiheensa. Kustannustietomallia käytetään tällä hetkellä jo ehdotussuunnitteluvaiheessa rakennuksen rungon ratkaisujen optimointiin, mutta kustannustieto ei ole reaaliajassa päivittyvää. Tämä johtaa siihen, että varsinkaan suunnitteluosapuolet eivät saa tietoa ratkaisujensa hintavaikutuksista, kuten myös Mitchell (2012) ja Wijayakumar & Jayasena (2013) esittävät.

## 7.4 Suunnitelmamuutokset ja muutosten hallinta sekä niihin liittyvät hankinnat

Muutosten hallinnan prosessia käytiin läpi kirjallisuuskatsauksessa, mutta haastatteluissa kyseinen prosessi jäi vähälle huomiolle (kuva 29). Haastattelijat tai haastateltavat eivät tuoneet prosessia selkeästi esille, josta voidaan päätellä, että siinä olisi kehitettävää. Kirjallisuudessa muutosten hallinnan prosessi taas tuotiin esille yhtenä projektin onnistumisen perusasiana (Voropajev, 1998; Sun *et al.*, 2006).

Suunnitelmien tarkkuus taas liittyy paljon suunnitelma- ja hankintapakettien muodostamiseen. Pääurakoitsijan hankintoja palvelevat suunnittelupaketit **hankintaa varten** eivät ole tarkkuudessaan vielä toteutussuunnitelmia. Suunnittelijalle on kuitenkin usein vain määritetty se, milloin **suunnittelupaketti toteutusta varten** tulee olla valmiina. Pääurakoitsijalle näiden välillä tapahtuva suunnittelu on lähtökohtaisesti tarkentuvaa suunnittelua, kun taas suunnittelijalle näkee tämän helposti uudelleensuunnitteluna.



Kuva 29. Suunnittelun kustannuksia lisääviä muutoksia voidaan hallita vain tehokkaan muutoksen hallinnan prosessin avulla.

## Muutoksen hallinta

Monissa tutkimuksissa (Smith, 2016, s. 195, Mitchell, 2012; Khanzode *et al.*, 2008) esille nousi tietomallin visualisoinnin hyödyntäminen suunnitteluvaihtoehtojen vertailussa. Samoja etuja voidaan myös hyödyntää muutoksen havainnoinnissa, arvioinnissa ja päätöksen teon apuna. Kustannustietomalli on eräs suunnitteluvaihtoehtojen- ja muutosten vertailun työkalu, mutta sen päivitystiheys ei riitä kattamaan yleissuunnitteluvaiheessa riittävän nopeaa muutosten aiheuttamien määrien ja kustannusten tarkastelua. Toteutusvaiheessa muutosten havainnointi kustannustietomallin ja toteumamallin välillä tapahtuu sen sijaan jatkuvana, kunnes toteutussuunnittelu on valmistunut.

Pääosin projekteissa esiintyy kaksi muutostyyppiä, jotka liittyvät toisiinsa: muutokset aikatauluissa ja muutokset teknisissä asioissa. Teknisille asioille löydetään usein muutokset kustannustiedoista ja niille voidaan määrittää tarkka suuruus jo suunnittelun alkaessa, mikäli niin halutaan. Aikataululliset muutokset ja niiden hallinta sen sijaan on vaikeampi, koska muutokset ilmaantuvat odottamatta. Sekä teknisissä että aikatauluihin liittyvissä muutoksissa päätöksenteon tulisi olla nopeaa ja perustua hyötyihin. Parrish & Tommelein (2009) ja Arryo *et al.* (2014) esittävät tutkimuksissaan päätöksentekoon työkalua **Choosing By Advantages** (CBA), joka perustuu eri vaihtoehtojen hyötyjen ja haittojen arviointiin. Tärkeänä osana on, että projektin osapuolet määrittävät yhdessä eri vaihtoehtojen hyödyt ja haitat. Tällöin voidaan esimerkiksi helposti kitkeä vaihtoehtoista pois pelkät tottumukset ja valita kuhunkin muutokseen tai avoimena olevaan suunnitteluratkaisuun siihen parhaiten soveltuva vaihtoehto objektiivisesti. Samalla muutoksen arviointi dokumentoidaan, jolloin siihen voidaan palata tarvittaessa tai sitä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa (Ouertani, 2008).

Ouertani (2008) nostaa tutkimuksessaan suunnitteluprosessin hallittavuuden kannalta vaikeaksi sen, että suunnittelutehtävä tarvitsee lähtötiedon ja se tuottaa lähtötiedon. Tätä kautta lähtötietotarve ja samalla informaation määrä kasvaa. Tähän liittyy varmasti myös haastatteluissa selvinnyt ongelma siitä, että toteutussuunnitteluvaiheessa voi olla vaikeaa vaikuttaa aikaisempien vaiheiden lukittuihin asioihin. Lisäksi suunnittelutietoa tulee lisää koko ajan, joten ajan myötä vanha ja uudempi suunnittelutieto sekoittuvat toisiinsa. Haastatteluissa ja tutkimuksessa nousi esille se, että muutosten laajuutta on miltei mahdotonta arvioida, kun päätös muutoksesta täytyy tehdä. Hyvänä esimerkkinä tutkittujen hankkeiden talotekniikkahormien lisääntynyt määrä, joka vaikutti myös erikoisteräskannakkeiden ja ontelolaattojen määrän lisääntymiseen. Aluksi kustannusmuutosta arvioidaan vain talotekniikkahormien määrän kautta, mutta myöhemmin saman muutoksen aiheuttamia vaikutuksia joudutaan laskemaan moneen kertaan.

Lisä- ja muutostöitä tulee usein ennalta-arvaamatta ja niiden toteutus häiritsee itse projektia. Monesti ne johtuvat tietyssä suunnitteluvaiheessa liian hätiköidysti tehdystä ratkaisusta. Ballard (2000c) käsittelee tutkimuksessaan joukkopohjaista suunnittelua, joka painottaa useiden suunnitteluvaihtoehtojen kuljettamista mukana siihen pisteeseen asti, kunnes päätös ratkaisusta voidaan tehdä vasta sillä hetkellä, kuin se on pakollista. Tällöin ei vielä aiheuteta vahinkoa projektin etenemiselle. (Ballard, 2000c, s.7-8) Haastatteluissa nousi esille, että liian tarkka suunnittelu liian aikaisin johtaa tarpeettomaan uudelleentekemiseen. Tällöin suunnittelija on saattanut tuottaa jo hyvinkin tarkan suunnitelman tilanteesta, mutta se täytyy tehdä uudelleen tarkentuneiden lähtötietojen mukaisesti. Mikäli pääurakoitsijan työmaahenkilöstöllä on eri näkemys suunnitteluratkaisusta, siitä syntyy todennäköisesti turhaa väittelyä. Kukaan ei oikeastaan tällaisessa tapauksessa ole tehnyt

virhettä, vaan ihmiset ajattelevat asiaa vain omasta näkökulmastaan. Suunnitelmatarkennuksen ja lisä- tai muutostyön välinen raja on häilyvä. Eri osapuolet tulkitsevat näitä omilla tavoillaan. Joukkopohjainen suunnittelu lisää osaltaan tulkinnanvaraa siitä, milloin suunnitelma on valmis, milloin sitä on täydennetty ja milloin sitä on muutettu.

Ibbs et al. (2001) ja Park & Peña-Mora (2003) esittävät tutkimuksessaan, että muutoksen kustannushyödyn tulee olla sitä suurempi, mitä myöhemmässä vaiheessa projektia ollaan. Muutosten vaikutusten arviointi on haasteellisempaa, sillä muutokset vaikuttavat suuremmalla todennäköisyydellä jo aikaisemmin lukittuihin asioihin. Tämä on varmasti pääura-koitsijan kannalta aina yksi painavimmista mittareista muutoksen arvioinnissa. Haastatteluissa tosin nousi esille, että joistakin muutoksista jo itse muutostyön tarjouksen tekeminen voi olla hintavampaa, kuin itse muutoksen nopea toteuttaminen tai hylkääminen.

### Suunnitelma- ja hankintapaketit

Hankintapaketit ja niiden myötä suunnitelmien julkaisun aikataulu vaikuttaa paljon siihen, millä tarkkuusasteella suunnitelmat ovat. Tämä aiheuttaa myös osaltaan sitä, että projektin osapuolien huomio kiinnittyy vain tiettyihin asioihin, jolloin jotakin jää aina huomioimatta. Monesti projekti toteutuu siten, että suunnittelu limittyy rakentamisen kanssa ja täydentyy samaan aikaan. Karhu (2013) on esittänyt diplomityössään kohdeyritykselle käännettyä SUKE-mallia, jossa toteutussuunnittelu on jaettu kahteen vaiheeseen: **suunnittelu hankintaa varten** ja **suunnittelu toteutusta varten**. Aho (2014, s. 92) nostaa esille suunnittelun ohjauksen tärkeyden hankintojen onnistumisessa. Suunnittelun ohjauksen tulisi huolehtia siitä, että suunnitelmat ovat riittävällä tarkkuudella hankintaa varten. Ongelmia tosin nousee esimerkiksi siinä, että hankintapaketien sisältö saattaa koostua usean suunnitelmapaketin sisällöstä ja osa tarvittavista tiedoista saadaan tietomallista, kun taas osaan tarvitaan 2D-dokumenteja. Mikäli suunnittelu-aikataulu on esitetty vain paketeittain, se ei ole riittävän tarkka. Vielä toteutussuunnittelun alussa ei osata nimetä tai tarkentaa kaikkia tarvittavia suunnitelmia, joita itse rakentaminen edellyttää.

Suunnittelun ohjauksen kannalta tulisi siis kiinnittää huomiota siihen, että suunnittelu etenee hankintapaketien ja suunnittelutyön loogisen järjestyksen edellyttämällä tavalla. Suunnitelmapaketin ja hankintapaketin sisältö on kuitenkin erilainen. Tämä hämmentää varmasti monia osapuolia. Tämä vaikeuttaa myös muutosten hallintaa, koska kaikkia toisiinsa liittyviä rakennusosia ei olla vielä mietitty loppuun asti. Haastatteluissa todettiinkin, että esimerkiksi hankinnat alkavat heti toteutussuunnittelun alussa perustuksista kohti vesikattoa, kun taas rakennesuunnittelijan tulee aloittaa kuormien tarkastelu vesikatolta perustuksiin. Viimeistään toteutussuunnittelun alussa koko suunnittelutiimin ja pääura-koitsijan tulisi käydä suunnitelmapaketit, niiden sisältö ja jokaisen paketin vaatimat lähtötiedot läpi. Kirjallisuudessa esitettiin (Kerosuo *et al.*, 2012; Rosas, 2013), että osapuolien osallistamisella saatiin projektin kulkua sujuvoitettua merkittävästi. Suunnitteluosapuolet ottivat aktiivisemmin osaa työnsä sisällön määrittämiseen, kun heidän panoksensa suunnittelun etenemiselle nousi esille. Kruus (2008, s. 69) esittää kolmea erilaista hankintamuotoa:

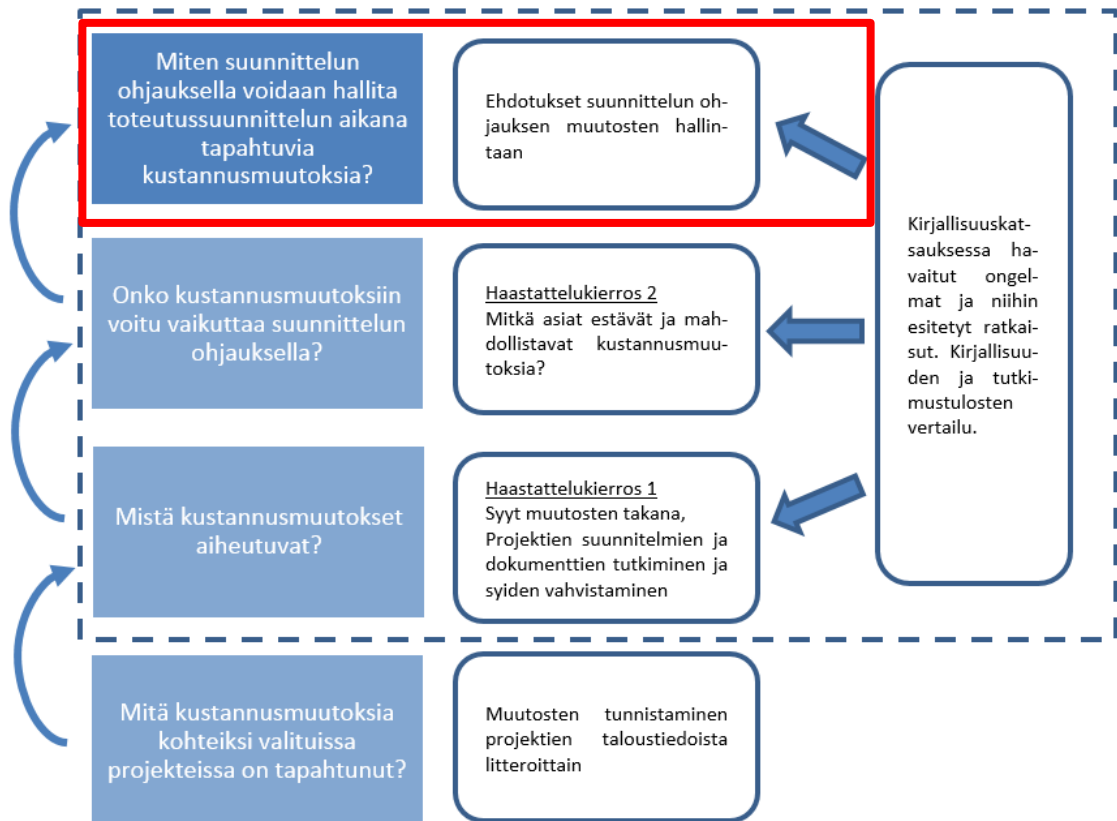
- Toteutussuunnitelmin tapahtuva hankinta
- Alustavin suunnitelmin tapahtuva hankinta
- Suunnitelmavaatimuksin tapahtuva hankinta

Asuntorakentamisessa tämä on kuitenkin vaikea toteuttaa, sillä toimittajat ovat usein mukana vain joissakin tapauksissa suunnitelmien kehittämisessä. Suunnitelmien valmiusastetta edellä esitettyihin kolmeen eri tasoon on myös vaikeaa määrittää suunnittelijoille.

## 8 Ehdotukset

Tässä osassa esitetään toimintatapoja suunnittelun ohjauksen tehostamiseksi rakennusprojektin yleissuunnittelu- ja toteutussuunnitteluvaiheessa. Esitetyt toimintatapaehdotukset perustuvat rakennusprojekteista löydettyihin ja tunnistettuihin muutoksiin, haastatteluloksiin sekä niiden yhteydestä kirjallisuudesta löydettyihin työkaluihin (kuva 30).

Tutkimustulokset osoittivat selvästi sen, että rakennusprojekteissa syntyy merkittäviä kustannusmuutoksia. Muutosten syyt taas johtavat suurilta osin samoihin asioihin, kuin kirjallisuudessa havaitut ongelmat samoista aiheista. Näin ollen onkin loogista, että havaittujen ongelmien välttämiseksi tutkija ehdottaa kirjallisuudesta löydettyjä työkaluja, sillä haastattelut paljastivat myös sen, että niitä ei tällä hetkellä käytetä. Huomioitavaa on, että ehdotukset liittyvät SR-toteutusmuotoon, jolloin pääurakoitsijaosapuolen suunnittelun ohjauksen tulee ottaa vahva rooli hankkeen suunnittelutyön eteenpäin kuljettamisessa.



Kuva 30. Vastaaminen tutkimuksen pääkysymykseen.

### 8.1 Yleissuunnitteluvaihe

Yleissuunnitteluvaiheessa päivitetään projektin hankeselostusta, jossa määritetään joukkopohjaisen suunnittelun (Set-based design) periaatteiden mukaisesti tietyt kustannus- ja laatuvaatimukset hankkeelle. Nämä asiat ovat lukittuja ratkaisuja, joita ei tulisi muuttaa enää toteutussuunnitteluvaiheessa. Hankeselostusta tarkemmat asiat ovat tämän määrittämisen myötä vaatimusten rajoissa, mutta tarkennuksiin ei käytetä vielä turhaa aikaa tässä vaiheessa. Hankeselostus päivittyy projektin etenemisen myötä ja siinä määritetään suurin osa tavasta, jolla itse rakentaminen toteutetaan. Tilaajan lähtötiedoista tulisi heti kar-

toittaa mahdolliset asiat, joihin Firalla olisi ehdottaa parempi ratkaisu. Hankeselostus toimii näin yhtenä lähtötietona myös yleissuunnitteluvaiheen määrä- ja kustannuslaskennalle.

Jo yleissuunnitteluvaiheessa eri toteutusvaihtoehtoja tulisi vertailla ja arvioida hyötyihin perustuvalla CBA-menetelmällä (Choosing By Advantages). Tällöin tilaajan ja suunnitteluosapuolien kanssa voidaan esittää ja arvioida eri vaihtoehtoja, jolloin lopputuloksena tulisi syntyä parhaan kustannus-/hyötysuhteen omaava vaihtoehto. Tämä vaatii kuitenkin muidenkin kuin vain arkkitehtisuunnittelijan osallistumista päätöksentekoon. Vaihtoehdot ja niiden päätökset tulisi dokumentoida ja valittu vaihtoehto viedään tämän myötä hankeselostukseen. Vaihtoehtoja tulisi nimenomaan menetelmän mukaisesti vertailla hyötyjen kannalta. Vaihtoehtoja arvioidessa pitää pyrkiä objektiivisuuteen. Päätökset perustuvat faktoihin ja ammattilaisten mielipiteisiin, joten tällaiset päätökset ja niiden sisältö tulisi tallentaa, jotta niistä voidaan oppia ja niitä voidaan käyttää tulevissa projekteissa. Tämä on osa ns. hiljaisen tiedon tallennusta. Päätöksestä syntyy CBA-kortti ja/tai päätöksen tekoon käytetään siihen tarkoitettua ohjelmistoa (Paramount Decisions). Myös läpinäkyvyys kasvaa ja tilaaja pääsee vaikuttamaan halutessaan enemmän päätöksiin, sillä päätökseen johtaneet asiat ovat selkeästi näkyvillä.

Kustannustietomalli rajaa joukkopohjaisen suunnittelun mukaisesti rakennuksen betonielementtirungon määrät ja niiden sisällön tiettyyn rajaan asti, mutta talotekniikasta päätetään usein vain pääreitit. Tämä tarkoittaa sitä, että suuri osa kustannuksista syntyy vasta työmaalla, eikä niitä osata ennakoida tässä vaiheessa. Talotekniikan tietomallin tekeminen olisi yksi keino parantaa asiaa, mutta todennäköisesti se tulisi tehdä kohteen varsinaisen talotekniikkasuunnittelijan toimesta. Talotekniikan suunnittelijaa ei ole kuitenkaan yleensä valittu vielä tässä vaiheessa. Tämä tutkimus toi kohdeyritykselle selvästi esille betonielementtien ja talotekniikan aiheuttamat kustannusmuutokset, joihin tulee tästä edespäin kiinnittää enemmän huomiota. Tutkimuksessa esitetyt negatiiviset kustannuspoikkeamat ovat käytännössä seurausta siitä, että näitä kyseisiä asioita ei ole osattu määrittää tarpeeksi tarkasti ennen toteutussuunnittelua. Tutkija ehdottaakin ammattitaitoisen talotekniikkasuunnittelijan aikaisempaa kiinnitystä osaksi projektin suunnittelutiimiä.

Yleissuunnitteluvaiheen lopussa, ennen rakennuslupahakemuksen jättämistä viranomaisille, RT-korttien (eri osapuolien tehtäväluettelot) mukaiset asiat tarkastetaan, jotta päätetään, milloin toteutussuunnitteluvaiheen alkamisen edellytykset on täytetty. RT-korttien tehtäväluettelot toimivat tässä vaiheessa hyvänä tarkastuspisteenä, sillä suunnittelutarjoukset perustuvat yleensä kyseisissä korteissa esitettyyn sisältöön. Myös yrityksen asettamat lähtötietovaatimukset ja lukitut asiat tulee tarkastaa tässä vaiheessa. Hankeselostuksessa tulisi olla selitettynä tiettyyn tarkkuuteen asti, miten hanke toteutetaan. Myöhemmin näistä asioista poikkeavat muutokset ovat siis lisä- ja muutostöitä, joita tulisi syntyä mahdollisimman vähän. Toteutussuunnittelun tarjouspyyntöjen tulisi olla selkeitä ja sisältää mahdollisimman paljon tietoa jo tarjouspyynnön lähettämisen ajankohtaan mennessä päätetyistä asioista. Pääurakoitsijan tulisi koota kattava lähtötietomateriaali tarjouspyyntöä varten ja vastaavasti sen tulisi myös osata vaatia tarkasti oikeita asioita suunnittelijoilta.

Suunnittelun ohjauksen tulee huolehtia, että suunnitteluosapuolilla on käytössään kaikki oleellinen tieto toteutussuunnittelun aloittamiseksi. Suunnittelijoilla on usein käytössään vähän lähtötietoja verrattuna siihen, kuinka paljon niitä on jo tuotettu projektin aikaisem-

missa vaiheissa. Kaikki oleelliset lähtötiedot tulisi kuitenkin kerätä ja toimittaa suunnittelijalle, jotta tarpeetonta uudelleen tekemistä syntyy mahdollisimman vähän. Usein esimerkiksi pääurakoitsijan ja tilaajan välisissä sopimuksissa on määritetty asioita, jotka liittyvät suunnitteluun. Nämä ovat kuitenkin tilaajan ja pääurakoitsijan välisiä sopimusasiakirjoja, jolloin niitä ei ole tarkoitettu julkiseen jakeluun. Mikäli projektin suunnittelun ohjaaja tulee pääurakoitsijan puolelta, hänen olisi hyvä käydä tämän kaltaiset dokumentit ja tiedot läpi ja poimia niistä toteutussuunnittelun kannalta oleelliset asiat.

Suunnittelun ohjauksen tulisi yhdessä hankintatoimen kanssa määrittää tarkka hankinta-aikataulu, joka on ristiriidaton suunnittelu-aikataulun kanssa. Karhu (2013) ja Aho (2014) esittävät diplomitöissään suunnittelun ohjauksen ja hankintatoimen yhteistyön olevan avainasemassa projektin toteutussuunnitteluvaiheessa ja luoden täten valmiudet hyvälle rakentamiselle. Suunnittelun ohjauksen ja hankintatoimen tulee yhdessä muodostaa projektikohtainen hankintasuunnitelma ja toteutussuunnittelun aikataulun vaatimukset. Näitä tietoja hyödyntämällä luodaan tarkka toteutussuunnittelun aikataulu tehtävineen yhdessä suunnittelijoiden kanssa.

Hankeselostus, kustannustietomalli ja muut vaatimukset tulee tuoda esille viimeistään yleissuunnitteluvaiheen lopussa. Hankeselostus tulisikin projektissa mahdollisimman näkyvästi esille jo hyvissä ajoin, mutta sitä muutetaan vain pääurakoitsijan toimesta. Tämä siksi, että SR-toteutusmuodossa pääurakoitsija vastaa projektin rakentamisesta ja suunnittelusta tilaajalle. Kustannusriski on siis pääurakoitsijalla. Yleissuunnitteluvaiheen lopussa muutoksia ei siis pitäisi enää tulla:

- RT-korttien suunnittelualakohtaisten tehtävälueletteloitten mukaisiin tehtäviin
- Hankeselostuksessa ja laatutasokuvauksissa lukittuihin lähtötietovaatimuksiin
- Firan kustannustietomallin sisältämiin lähtötietovaatimuksiin.

## **8.2 Toteutussuunnitteluvaihe**

Toteutussuunnittelun aikataulun tarkentuminen tapahtuu yleissuunnittelun ja toteutussuunnitteluvaiheen limittyessä. Tällä hetkellä suunnittelun ohjaaja tekee usein itse aikataulun, jonka suunnitteluosapuolet hyväksyvät tai sitä muokataan ehdotetulla tavalla. Kirjallisuudesta löydettiin useampi tutkimus, joka käsitteli Last Plannerin käyttöä suunnittelussa. Tutkimusten perusteella juuri projektitiimin kokonaisvaltainen osallistuminen loi parempaa yhteistyötä osapuolten välillä ja ihmiset olivat aloitteellisempia. Lähtötietojen määrittely tulisi myös tehdä imuohjautuvasti, sillä suunnittelijat ovat ne henkilöt, jotka parhaiten tietävät, mitä suunnittelutehtävän suorittaminen tarvitsee onnistuakseen. Keskitetyt tehtävähallintatyökalut ovat käytännöllisiä, mutta niiden käyttämiseen ei sitouduta kunnolla, sillä ne ovat vain yksi työkalu lisää muiden joukossa. Joitakin osapuolia voi hämmentää monen työkalun hyödyntäminen, jos esimerkiksi aikaisemmin on vain tottunut suunnittelemaan ja piirtämään suunnitelman ja tämän jälkeen tallentamaan sen projektipankkiin. Suunnittelun ohjaajan tulisi olla usein yhteydessä suunnittelijoiden kanssa ja mikäli suunnittelun eteneminen takkuilee, sen syy tulisi selvittää. Knotten *et al.* (2016) esittävät tutkimuksessaan työkalua, jossa suunnitteluosapuolet arvioivat säännöllisin väliajoin, mikä aiheuttaa pullonkauloja suunnittelutyölle. Tällainen työkalu voisi toimia paremmin kuin tiheät tiedustelupuhelut.

Toteutussuunnittelun jakaminen useisiin suunnitelmapaketteihin tukee lean construction-menetelmiä, varsinkin tuotantoerien pienentämisen myötä tapahtuvalla virtauksen parantamisella. Suunnitelmapaketit tukevat pääurakoitsijan projektinhallintaa, mutta suunnitelmapakettien jako (Kruus, 2008; Karhu, 2013) sekoittaa suunnittelutyön etenemisen



loogisen järjestyksen asuntorakentamisessa. Asuntorakentamisessa suunnitelmapakettien sisältö tulisi pystyä tarkentamaan jo ennen toteutussuunnittelun alkua. Toteutussuunnittelun alussa tuhlataan turhaa aikaa lähtötietojen selvittämiseen, kun ne tulisi olla selvitettyinä ja lukittuna jo yleissuunnitteluvaiheen lopussa. Toteutussuunnitteluvaiheessa voidaan siis tarkentaa suunnitteluaiakataulu ja suunnitelmapakettien sisältö projekteittain. Asuntorakentamisessa pitäisi kuitenkin pystyä etenemään hyvinkin standardisoiduilla paketeilla ja suunnittelijoiden tulisi määrittää, mitä kaikkea he tarvitsevat, jotta voivat suunnitella tietyn kokonaisuuden valmiiksi. Tällöin voidaan myös huomata, jos ”standardipaketit” eivät toimikaan olettamusten mukaisesti. Jokaiseen suunnittelupakettiin liittyvät korjaukset ja täydennykset tehtäisiin aina siten, että ne voidaan yhdessä hyväksyä kuhunkin suunnitelmapakettiin liittyvässä Big Room- palaverissa.

Toteutussuunnittelun alkaessa asuntorakentamiselle voidaan suunnitelmapakettien mukaisesti tehdä Big Room- runko, jossa käydään yhdessä osapuolien kanssa läpi mahdolliset lähtötietopuutteet ja suunnittelun edistyminen. Suunnittelun edistymistä mitataan PPC-mittareilla ja lähtötietopuutteiden poistamista viikkotyöaikataululla (WWP). Näin otetaan siis osa Last Planner-työkaluista käyttöön. Samaa ”Asuntorakentamisen toteutussuunnittelun Big Room”-prosessia käytetään sisältöä tarvittaessa muokkaamalla kaikissa asuntorakentamisen uudiskohteissa.

Suunnitelmapakettien ja hankintapakettien tulisi yhdessä muodostaa mahdollisimman vakioitu toteutussuunnittelun runko, joka käydään jokaisen projektin kohdalla läpi ennen varsinaisen toteutussuunnittelun alkua. Asuntorakentamisessa suunnitelmapakettien sisältö pysyy tuotettavien suunnitteludokumenttien osalta melko samanlaisena. Tämän myötä hankintapakettien tarkka määrittäminen tulee aina käydä ajoissa läpi suunnitelmapakettien kanssa. Tällöin esimerkiksi tuotteiden toimittajien mahdolliset ongelmat ja yleisen markkinatilanteen vaikutukset rakentamisessa vaadittavien tuotteiden saantiin ja toimitukseen voidaan tuoda esille. Kyseiset asiat voivat vaikuttaa projektin toteutukseen hyvinkin paljon. Suunnitelma- ja hankintapaketit luovat omat lähtötietovaatimuksensa suunnittelutyölle, joten niiden vakioinnilla vähennetään lähtötietoihin liittyvää epätarkkuutta ja usein esiintyviä puutteita. Tällöin myös hankinnoissa saadaan hyödynnettyä paremmin esimerkiksi vuosisopimuksia. Suunnittelutyön ja hankintojen sujuva yhteistyö lähtee pääurakoitsijan puolelta ja tähän tulisikin kiinnittää erityistä huomiota.

Suunnitelmien valmiusaste on vaikea määrittää, kun suunnittelussa yhdistetään tietomallintaminen ja 2D-suunnitelmat. Tietomalli on projektin suunnitteluvaiheessa jatkuvasti päivittyvä, keskitetty tiedonlähde sekä myös virallinen suunnitteludokumentti (mikäli niin on sovittu). Tietomalli toimii siis suunnitelmana hyvinkin kattavasti, mutta sieltä on haasteellista määrittää yhdellä dokumentilla, toisin sanoen näkymällä, samaa informaatiomäärää kuin 2D-kuvissa. Tämän vuoksi 2D-suunnitelmat tulevat vielä pitkään olemaan käytössä, eikä niistä kannata turhaan pyrkiä pois. Ne asiat, jotka eivät tarvitse 2D-suunnitelmia toteutukseen, voidaan hoitaa tietomallia käyttäen. Vastaavasti myös tietyissä suunnittelutilanteissa jokaisen yksittäisen osan mallintaminen ei ole hyödyllistä, jolloin 2D-suunnitelma palvelee tarkoitusta paremmin. Esimerkiksi monet hankinnat voidaan nykyään hoitaa jo täysin ilman 2D-dokumentteja, kunhan huolehditaan tietomallin riittävästä tarkkuudesta ja vaadittavasta tietosisällöstä.

Tulevaisuudessa rakennusprojektien kustannus- ja määrälaskenta tullaan suorittamaan yhdellä ohjelmalla. Sitä ei siis suoriteta enää ohjelmistojen välisellä tiedostojen vaihdolla tai linkityksellä toisiin ohjelmiin. Myös suunnittelun ohjaus voi suorittaa laaduntarkastusta tällaisella ohjelmalla. Suunnitelmamuutosten ilmaannuttua suunnittelun ohjaaja on

todennäköisesti ensimmäinen, joka havaitsee muutokset. Kustannuslaskenta on suoritettu samalla ohjelmalla, joten kustannusmuutokset voidaan arvioida heti. Tietyiltä osin tietomallinnus auttaa muutosten hallinnassa ja toisaalta se mahdollisesti lisää työtä, joka muutosten hallinnan kehittämiseksi täytyy tehdä. Tällä hetkellä kustannusvaikutuksen arviointi on liian hidasta, sillä se vaatisi kustannuslaskijan välitöntä työpanosta muutoksen havainnoinnin hetkellä. Rajallisten resurssien vuoksi kustannuslaskija on jo toisen kiireellisen hankkeen parissa.

Mikäli yleissuunnitteluvaiheessa lukitut asiat kohtaavat muutoksia, ne käsitellään mahdollisimman nopeasti Choosing By Advantages-menetelmää hyödyntäen. Päätöksenteossa ei välttämättä tarvita kaikkia osapuolia, vaan sen voi tehdä myös kevyemmin perustein. Esimerkiksi Big Room-tapaamisissa monen eri osapuolen osallistuessa päätöksentekoon, vaihtoehtotaulukon ja pisteiden painoarvojen määrittäminen ei välttämättä tuota lisää arvoa projektille. Mikäli päätös tehdään CBA-menetelmällä suurella osallistujamäärällä, suunnittelun ohjaajan tulee valmistella CBA-korttia, johon kirjataan tarvittavat asiat. Minimivaatimuksena on tyhjä korttipohja ennen palaverin aloittamista.

Muutos- ja lisätöiden ilmaantuessa tulisi aina tarkastaa hankeselostuksessa, kustannustietomallissa ja RT-kortissa olevat asiat, jotka on lukittu jo yleissuunnitteluvaiheen loppupuolella. Muutos- ja lisätöet tulee aina arvioida punnitsemalla sen hyötyjä ja haittoja (Choosing By Advantages). Suunnittelun ohjaajan tulisi tarttua näihin muutoksiin ja pysyä tekemään alustava arvioi muutoksen tarpeellisuudesta, jottei se aiheuta haittaa projektin etenemiselle. Tällaisissa tapauksissa syntyy usein turhaa uudelleensuunnittelua, koska suunnittelu on edennyt tietyllä olettamuksella, eikä asiaan olla puututtu riittävän nopeasti. Suunnittelun ohjaaja voi arvioida varsinkin rakennuksen rungon betonielementtien muutoksia tietomallinnuksen avulla. Tällöin määrä- ja kustannuslaskentaa voidaan hyödyntää nopeasti muutoksen kustannus/hyötysuhteen alustavaan arviointiin. Lisäksi muutos saadaan samalla selkeästi visualisoitua, sillä muutos on tietomallissa nähtävillä.

Suunnitelmien hyväksyntä kussakin valmiusasteessa tulisi suorittaa huolellisesti työmaan henkilöstön kanssa. Työmaan henkilöstöä ei kuitenkaan ole välttämättä valittu vielä toteutussuunnittelun ensimmäisten suunnitelmapakettien valmistuttua, joten tällöin suunnittelun ohjaaja voisi käydä suunnitelmat läpi kohteen työpäällikön kanssa, jotta toteutuskulma tulee varmasti huomioitua ja suunnittelijat saavat tärkeää palautetta pääuraakoitsijan puolelta. Tällä tavalla voidaan arvioida ja tehostaa suunnitteluratkaisujen rakennettavuuden arviointia. Pääuraakoitsijan puolelta tuleva suunnitelmien kommentointi ja hyväksyntä voi myös joissakin tapauksissa muodostua suunnittelutyön pullonkaulaksi, jos pääuraakoitsijan ei itse noudata laatimaansa suunnittelu-aikataulua näiltä osin.

Riskien arviointiin tulisi ottaa helppokäyttöinen verkkopohjainen ohjelma. Tällöin osapuolet voisivat ilmaista mielipiteensä nimettömästi, jolloin turha syyttely jää vähemmälle. Mikäli suunnittelutyön pullonkauloja halutaan tosissaan selvittää, se vaatii merkittävää panostamista niiden kartoittamiseen. Yrityksen pitäisi valita muutama esimerkkikohte, jossa yksi henkilö seuraa vain tiedonkulkua ja kirjaa tarkasti päivittäin tapahtuneet asiat. Toistaiseksi työn jatkuvaan ja tarkkaan seurantaan ei ole työkalua. Lähtökohtaisesti ajatus kokoaikaisesta työskentelyn ja aktiviteettien seurannasta voi tuntua yksityisyyttä loukkaavalta.

Toteutussuunnitteluvaiheessa muutoksia ei siis pitäisi enää tulla:

- RT-korttien suunnittelualakohtaisten tehtäväluetteloiden mukaisiin tehtäviin.
- Hankeselostuksessa ja laatutasokuvauksissa lukittuihin lähtötietovaatimuksiin
- Firan kustannustietomallin esittämiin lähtötietovaatimuksiin.
  
- Lisä- ja muutostöitä pitäisi syntyä enää vain, jos edellä esitetyissä asioissa tapahtuu muutoksia.
- Lisätöitä ei pitäisi tässä vaiheessa enää syntyä, vaan ne ovat tarkentavaa suunnittelua, joiden lähtötietovaatimukset on määritetty yleissuunnitteluvaiheessa
- Muutostyöt käsitellään kustannus/hyötysuhteen mittaamisella.

### **Ehdotukset tiedon virtauksen parantamiselle ja tiedon hyödyntämiselle**

Muotokulttuurin edistämiseksi projektissa esiintyneet muutokset tulisi kirjata heti niiden ilmenemisen hetkellä ylös, jolloin saadaan arvokasta tietoa mahdollisista haasteista tulevaisuutta varten. Tämä on tärkeä osa jatkuvaa oppimista ja *Lean Construction*-periaatteiden mukaista toiminnan tehostamista. Muutosten kirjaaminen ja niiden myöhempi käyttö ovat kuitenkin tällä hetkellä melko tehotonta, sillä kyseisen tiedon jalostamiselle ei ole hyvää käytäntöä. Kirjallisuudessa esitettiin hyviä tapoja esimerkiksi arvostella muutosten vaikutusta tietyllä numeerisella arvolla, jolloin sen merkittävyyden voi havaita tutkimalla muutospöytäkirjoja. Tärkeämpää olisi kuitenkin kerätä kaikki kirjaukset heti yhteiseen tietokantaan, jossa niiden frekvenssiä voitaisiin automaattisesti tutkia ja tätä kautta tulevaisuudessa kartoittaa mahdolliset muutokset, joita projekteissa ilmenee useimmin. Koska kirjausten tekeminen vie resursseja ja niukkuus vallitsee aina, muutoksille pitäisi olla jokin tietty ”vikakoodi”, joka voidaan muutamalla painalluksella syöttää tietokantaan. Tietokanta jalostaisi tämän jälkeen esimerkiksi kuukauden aikana kymmenen eniten noussutta vikakoodia automaattisesti esille. Näin voitaisiin tulevaisuudessa siirtyä suunnittelun esteiden ennakoiwaan poistamiseen nykyisen tulipalojen sammuttamisen sijasta. Esimerkkeinä vikakoodeista voisivat toimia kustannuslaskennan litterat. Tällöin litteroiden muutosfrekvensseihin perustuen niiden tarkempi sisältö voitaisiin käydä läpi kuukausittain, jolloin kyseiset muutokset olisivat vielä niistä ilmoittaneiden henkilöiden mielessä selvästi.

Suunnittelutarjoukset pyydetään usein RT-korttien suunnittelualakohtaisten tehtäväluetteloiden mukaan. Tällöin pitäisi myös tarkastaa, mitkä asiat tulee olla suunniteltuna ennen varsinaista toteutussuunnittelun aloittamista, jotta ne eivät myöhemmin nouse esille lisä- ja muutostöitä. Suunnittelun ohjaajan tulisi yhdessä suunnitteluosapuolien kanssa käydä toteutussuunnittelun aloittamisen edellytykset läpi ainakin RT 10-11107 *Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo* HJR12 ja suunnittelualakohtaisten tehtäväluetteloiden mukaisesti. Tämän lisäksi Firan toimintaan liittyvät edellytykset tulee varmistaa ennen toteutussuunnittelun alkua. Joukkopohjaisen suunnittelun periaatteita voidaan soveltaa siinä, että tietyt asiat voidaan lukita jo tässä vaiheessa. Nämä voisivat olla RT-korttien asioita. Avoimet asiat taas kulkevat mukana ja ne tulee päättää ajoissa.

## 9 Johtopäätökset

### 9.1 Tutkimuksen tarkastelu

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää Firan suunnittelun ohjauksen tapaa hallita projektien toteutussuunnitteluvaiheessa esiintyviä kustannusmuutoksia. Tavoitteen saavuttamiseksi oli ensin tarpeen määrittää kohdeyrityksen tietyt ehdot (SR-toteutusmuoto, asuinkerrostalo, kustannustietomalli) täyttävien rakennusprojektien ongelmatilanteita, tässä tapauksessa kustannusmuutoksia, ja suunnittelun ohjauksen vaikutusmahdollisuuksia niihin liittyen. Haastatteluiden ja rakennusprojektien taloustietojen avulla saatiin kartoitettua merkittävimmät kustannusmuutokset. Suunnittelun ohjauksen vaikutusmahdollisuuksia muutoksiin selvitettiin haastatteluilla ja tutkimusartikkeleilla. Suunnittelun ohjauksen haasteita on esitetty useissa tutkimuksissa (Karhu, 2013; Aho, 2014; Juntunen, 2015), mutta niissä ei ole esitetty konkreettisia muutoksia todellisten rakennusprojektien kautta, vaan ne ovat pohjautuneet haastatteluihin.

Tietomallinnus työskentelytapana on nostanut itse tietomallit suureen rooliin suunnittelu- ja toteutustyössä, joten nykyaikana tietomallityökalujen hallinta on yksi suunnittelun ohjaajan perustaidoista. Tietomallinnuksen hyödyntäminen ja sen tuomat vaatimukset eivät ole maakohtaisia, vaan samat asiat esiintyvät kaikissa tutkituissa lähteissä. Kohdeyritys laskee hankkeen urakkatarjouksen kustannustietomalliin pohjautuen, joten muutosten havainnointi kustannustietomallin ja toteutuneen suunnittelun välillä tapahtuu tietomallipohjaisesti. Myös suunnittelun ohjaajan olisi hyvä hallita tietomallipohjaisen määrä- ja kustannuslaskennan perusteet. Muutosten hallinta on osa jokaista projektin vaihetta, tarkoittaen sitä, että se on alati läsnä. Muutokset eivät yleensä ole hallittuja, joten projektin ongelmat kasvavat lumipallo-efektin tavalla tuottaen paikoitellen merkittävän suurta vahinkoa projektille sen tavoitteiden kannalta.

Toteutussuunnittelun aikaisten muutosten hallinnan lisäksi tutkimus ottaa kantaa myös muutosten välttämiseksi. Tutkimuksessa löydettyjen tulosten perusteella toteutussuunnittelun aikana voidaan vaikuttaa enemmän suunnittelutyön virtaukseen, suunnittelu-aikataulun ja suunnitelmapakettien laatuun sekä suunnitelmien ristiriitaisuuksien ennakointiin. Tutkimuksen kohteissa havaittujen merkittävimpien kustannusmuutosten sen sijaan havaittiin johtuvan pääosin yleissuunnitteluvaiheen ja jopa ehdotussuunnitteluvaiheen aika- taulun ja siihen liittyvien kustannusten rajoitteista, joiden takia suunnitteluratkaisuja ei ehditä tai niitä ei ole mielekästä miettiä loppuun asti.

#### Tutkimuksen reliabelius ja validius

Tutkimuksen reliabeliutta voidaan arvioida tulosten toistettavuutta tarkastelemalla. Validiutta taas voidaan arvioida tutkimusmenetelmän kykyä mitata sitä, mitä oli tarkoituskin mitata. (Hirsjärvi *et al.*, 2000, s. 213) Mikäli tutkimus toistettaisiin, samat asiat nousisivat esille. Poikkeuksena sellaisten hankkeiden kustannustiedot, jotka eivät olleet vielä ehtineet rungon asennusvaiheeseen. Tällöinkin kustannusmuutokset olisivat havaittavissa, mutta niiden järjestys taulukossa 6 (sivu 44) saattaisi muuttua. Esimerkiksi tässä työssä esitetyt suunnitelmadokumenttien poikkeamat ovat löydettävissä niin kauan, kuin dokumentteja säilytetään. Tapaustutkimus taas toimii parhaana tapana mitata todellisen elämän ilmiöitä, josta tässäkin ongelmassa on kyse.

Kirjallisuudesta löydettyjä työkaluja ja työtapoja toiminnan tehostamiseksi on todella paljon. On lähes mahdotonta valita pelkkien tutkimusartikkelien perusteella, mitkä asiat todella toimivat ja vaikuttavat positiivisesti rakennusprojektin kulkuun. Tässäkin varmasti pätee se, että käyttökelpoisimmat tavat kulkevat mukana ja heikommat putoavat pois käytöstä. Tämä voi kuitenkin automaattisesti johtaa siihen, että uudet menetelmät eivät koskaan pääse osoittamaan mahdollista tehokkuuttaan, sillä ihmiset ovat jo tottuneet tiettyyn tapaan tehdä asioita. Teknologian nopea kehitys vaikuttaa myös hyvin paljon siihen, kuinka ajankohtaisia tutkimuksissa esitetyt menetelmät ja työkalut ovat. Osa työkaluista vanhentuu nopeasti. Suurimpana ongelmana on kuitenkin varmasti rakennusalan kiireinen työskentelytahti, jonka vuoksi kehitystyö yrityksissä jää todella pieneksi. Vaikka ihmisillä on kiinnostusta uusien työtapojen ja työkalujen kokeiluun, niiden käytön opetteluun ei riitä aikaa.

Suunnittelun ohjauksen toimintaa voitaisi parhaiten tutkia käynnissä olevien esimerkkiprojektien kautta. Tutkimuksen kohteena olevien projektien tapauksessa oli kuitenkin se valitettava seikka, että kohteiden suunnittelun ohjaajat olivat siirtyneet toisen työnantajan palvelukseen. Tämän vuoksi suunnittelun ohjauksen näkökulmaa erityisesti tutkittujen projektien havaittuihin kustannusmuutoksiin ei saatu esille riittävästi. Tämän tutkimuksen aikaraamit eivät taas olisi riittäneet siihen, että tutkija olisi osallistunut useisiin käynnistyviin hankkeisiin, joiden suunnittelutyön alkamisajankohdasta ei ole tarkkaa tietoa tutkimuksen alkaessa.

## **9.2 Tutkimuskysymyksiin vastaaminen**

Tässä osassa arvioidaan sitä, miten hyvin tutkimus vastasi sille asetettuihin tavoitteisiin. Myös tulosten luotettavuutta arvioidaan.

### **Mitä kustannusennusteen ja toteuman välisiä kustannusmuutoksia tutkimuksen kohteiksi valituissa rakennusprojekteissa on esiintynyt?**

Kustannusmuutosten havainnointi onnistui selkeästi ja yksiselitteisesti tutkimalla Firan rakennusprojektien taloustietoja. Työmaan talouden hallinnan vuoksi kustannuslajit on litteroitu tavalla, jolla niitä voi suoraan verrata urakkatarjouksessa laskettuihin kustannusennusteisiin. Tutkija kävi itsenäisesti läpi rakennusprojektien taloustiedot ja keräsi niistä tarvittavan määrän tietoa, johon voitiin syventyä seuraavassa tutkimuskysymyksessä. Rakennusprojektien taloustiedot ovat objektiivisia, yksiselitteisiä asioita. Kustannusmuutosten rahallinen määrä on siis hyvin luotettava tieto, jonka pohjalta seuraava tutkimuskysymys voitiin alustaa.

### **Mistä kustannusmuutokset aiheutuivat?**

Kustannusmuutoksiin johtaneita syitä selvitettiin henkilöhaastatteluiden kautta, jotka toimivat osana tutkimuksen empiirisen aineiston lähteenä. Pohjatietona toimivat kunkin rakennusprojektin kustannustiedot litteroittain. Vaikka haastattelut olivat melko vapaamuotoisia, niiden asiasisältö oli tarkkaa. Varsinkin rungon betonielementtien osalta vastaukset olivat helposti yhdistettävissä fyysisiin objekteihin (seinäelementti, laattaelementti), joten vastausten tulkinta ei ole subjektiivista. Tulokset eivät siis olleet mielipiteitä, vaan perustuivat todettavissa oleviin faktoihin, kuten luvussa 6 on esitetty. Haastatteluissa ilmenneet muutokset voitiin todeta tutkimalla hankkeiden toteutussuunnittelun lähtötietoja sekä suunnitelmien eroavaisuuksia niiden eri revisioista. Tämä vahvistaa muutosten tunnista-

misen luotettavuutta, reliiabiliteettiä (Hirsjärvi *et al.*, 2000, s. 213). Todisteena kustannusten ja suunnitelmien muutoksesta ovat siis tarkasteltavan projektin taloustiedot, suunnitelmien eri vaiheiden ristiriitaisuudet ja muutokset sekä haastateltavien toteutusasiasta. Haastateltujen henkilöiden ammattitaito ja pitkä kokemus tekevät kustannusmuutosten syiden arvioinnista käyttökelpoista tietoa tutkimukseen.

Haastatteluiden tuloksissa ei huomioitu haastateltavien henkilöiden käyttäytymistä tai mielipiteitä muutokseen liittyen. Haastattelun aikana käytä keskustelu sisälsi myös mielipiteitä siitä, miten asioita haastateltavien mielestä olisi voitu tehdä paremmin, mutta nämä tiedot jätettiin tulosten ulkopuolelle. Haastatteluiden tulokset olivat siis tältä osin luotettavaa tutkimusmateriaalia.

### **Onko kustannusmuutoksiin voitu vaikuttaa toteutussuunnittelun aikaisella suunnittelun ohjauksella?**

Toteutussuunnittelun vaikutusmahdollisuuksia havaittuihin muutokseen kartoitettiin ja arvioitiin toisella haastattelukierroksella, joka toimi kustannustietojen ja ensimmäisen haastattelukierroksen lisäksi tutkimuksen empiirisen aineiston lähteenä. Haastatteluiden tulosten analysoinnissa esiin voitiin nostaa tiettyjä teemoja, joita ilmeni jo ensimmäisellä haastattelukierroksella. Näitä teemoja verrattiin kirjallisuuskatsauksen teemoihin. Näin saatiin muodostettua aihepiirit, joihin suunnittelun ohjauksen tulisi tarttua ja kiinnittää erityistä huomiota. Saman kaltaisia teemoja on havaittavissa myös muissa yrityksen tutkimuksissa (Karhu, 2013; Aho, 2014; Juntunen, 2015).

### **Pääkysymys: Miten suunnittelun ohjauksella voidaan hallita toteutussuunnittelun aikaisia kustannusmuutoksia?**

Tutkimuksen pääkysymyksen vastaukset perustuvat tutkijan suorittamaan tutkimuksen tulosten analysointiin ja niiden myötä ehdotettuihin parannustoimenpiteisiin. Osiltaan tähän vaikuttavat myös tutkijan omat havainnot rakennusalan toiminnasta, sillä niistä on löydettävissä yhtäläisyyksiä tutkimuksen tuloksiin. Alalla työskentelevänä kehittämisestä kiinnostuneena henkilönä on mahdotonta pysyä täydellisen objektiivisena tämän kaltaisessa tutkimuksessa.

Merkittävimmät kustannusriskit tässä työssä löydettiin tuloksiin verrattuna voidaan kartoittaa jo itse ennen varsinaista toteutussuunnittelua, sillä jo aiemmin kerrotun mukaisesti, rakennuksen rungon elementtien määrä ja niihin liittyvä talotekniikka (talotekniikan pääreitit) pyritään suunnittelemaan mahdollisimman tarkkaan jo yleissuunnitteluvaiheessa. Tässä vaiheessa pääurakoitsijan hankekehityksellä voidaan saada merkittäviä etuja eri ratkaisuvaihtoehtojen vertailulla. Kustannusriskit tulisi käydä läpi kaikkien suunnitteluosapuolien kanssa ja löytää yhteinen ratkaisu muutosten välttämiseksi. Nykyistä suurempi panostus talotekniikkaan yleissuunnitteluvaiheessa maksaa itsensä moninkertaisesti takaisin, koska sillä saadaan poistettua monta toteutussuunnittelun ja asentamisen aikaista ongelmaa.

Tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta on yhtenä suurena teemana kirjallisuuskatsauksessa. Vaikka määrä- ja kustannuslaskentaa ei yrityksen osalta tutkittu esimerkiksi haastatteleamalla, on se tärkeä osa muutosten hallintaa. Kirjallisuudessa esille nousi useassa tutkimuksessa kustannustiedon tärkeys ja kustannusten hallinta varsinkin tietomallinnuksen yhteydessä. Kustannusmuutokset toteutussuunnitteluna aikana saadaan havaittua reaaliaikaisesti, koska kustannuslaskenta ja muutosten tarkastelu toteutetaan samalla

ohjelmalla. Tällöin esimerkiksi pilarin pituuden muuttuessa sen tilavuus kasvaa. Tilavuudelle on syötetty kustannuslaskennan aikana jokin hinta ja tapa, jolla hinta lasketaan (tässä tapauksessa hinta on suoraan verrannollinen pilarin tilavuuteen). Kun tietomallin objektin tilavuus siis kasvaa, niin sen hintakin kasvaa. Tietomallista ei tarvitse tehdä enää erikseen omaa tiedostoa, joka luetaan toisella ohjelmalla tai projektin kustannustietoja ei tarvitse muuttaa käsin tällaisen muutoksen takia. Projektin budjetti päivittyy itsestään ja suunnittelun ohjaajan tehtävä on puuttua tähän ja tehdä se näkyväksi eri osapuolille. Määrä- ja kustannuslaskenta siis tavallaan jatkuvat vielä urakkatarjouksen jälkeenkin, mutta siitä eteenpäin suunnittelun ohjaaja tekee kustannuslaskentaa- ja arviointia omalla tavallaan. Tietomallit tällä hetkellä eivät sisällä kuitenkaan kaikkea rakennusprojektin suunnitelmiin tarvittavaa tietoa, joten myös perinteiset ”paperikuvat” pysyvät suunnittelutyössä mukana vielä pitkään. Tämän myötä muutosten hallinta ja siihen sisältyvät toimenpiteet liittyvät sekä tietomallintamiseen että perinteiseen suunnitteluun.

Yksi erittäin tärkeä tutkijan havainto on se, että suunnittelun ohjauksen rooli tulee yhä tärkeämmäksi ja tietomallinnuksen osa siinä suuri. Osaamisen vaatimukset varsinkin tietotekniikan työkaluja hyödyntämällä vaativat jatkuvaa kehittymistä ja uusien asioiden opettelua. Tietomallinnusta kokonaisvaltaisena työskentelytapana käytetään vielä vähän, sillä se vaatii jokaisen osapuolen aktiivista toimintaa ja aitoa halukkuutta tehdä asioita uusilla tavoilla. Suunnittelun ohjaajan ja kustannuslaskijan tulee lisätä tiedon vaihtoa, sillä tietomalli on hyvä tapa jakaa kustannustietoa visuaalisesti. Näin myös suunnittelun ohjaaja voi taas jakaa kustannustietoa suunnittelijoiden kanssa, mikäli he tulevat hankkeeseen vasta toteutus suunnitteluvaiheessa. Ilman avoimuutta ja läpinäkyvyyttä ihmisten välinen luottamus ei kasva, jonka vuoksi myöskään tieto ei virtaa avoimesti. Tämä tekee suuria tiedonkulun pullonkauloja jokaisessa projektissa. Tietomallit ovat jo vuosia olleet hyvä tapa jakaa tietoa kaikille osapuolille ymmärrettävässä muodossa ja kuten tutkimukset osoittavat, tavoitteena tulevaisuudessa on se, että tieto löytyy yhdestä sijainnista. Hyvin suurella todennäköisyydellä tämä tietolähde tulee olemaan hankkeen tietomalli palvelimella, josta kukin osapuoli voi hakea ja päivittää tietoa sitä tarvittaessa.

### **9.3 Tutkimuksen rajoitteet**

Tutkimus oli rajattu kohdeyrityksen asuntorakentamisen SR-hankkeisiin, jolloin suunnittelun ohjauksen rooli on erilainen kuin esimerkiksi toimitilarakentamisessa. Lisäksi suunnittelun ohjaajat ovat yksilöinä erilaisia. Toinen saattaa suosia enemmän tietotekniikkaa ja syventyä tiedonkulkuun, kun taas toinen voi keskittyä enemmän perinteisten suunnitelmien ristiriitaisuuksien tarkastamiseen ja lähtötietojen noudattamiseen. Tutkimuksessa havaittuja tuloksia ei voida siis yleistää siten, että kaikissa Firan ja rakennusalan talonrakennusprojekteissa suurimmat suunnitelmamuutokset liittyisivät juuri rakennuksen rungon betonielementteihin ja talotekniikkaan.

Tutkimuksessa ilmenneissä havainnoissa on syytä painottaa sitä, että kustannusten kertyminen tietylle litteralle (esimerkiksi ”betonielementtien hankinta”) on hyvin riippuvainen siitä, mitä tietoja kyseiselle litteralle annetaan. Esimerkiksi inhimilliset erehdykset tai huonossa tapauksessa kustannusten kirjaajan tiedon puute voi johtaa siihen, että tietty littera sisältää kustannuksia, jotka olisivat oikean kirjaamistavan mukaan kuuluneet jollekin toiselle litteralle. Tällöin ei voida olettaa, että urakkatarjouksen ja toteutuneiden kustannusten määrät täsmäisivät, vaikka toteutus vastaisi täysin urakkatarjouksen sisältöä. Huomioitava on, että tutkittujen hankkeiden kustannustiedot ovat joko toteutuneet tai ne ovat tutkimuksen ajankohdan mukaisia parhaita ennusteita. Tämä johtuu hankkeiden

eri valmiusasteesta. Esimerkiksi yksi tutkittava hanke on sisäpuolen töiltään valmis, jolloin perustusten ja rakennuksen rungon kustannukset ovat tarkasti selvillä. Toisaalta taas toinen hanke saattaa olla tilanteessa, jossa rakennuksen rungon elementtejä asennetaan. Tällöin perustusten kustannukset ovat selvillä, mutta rungon elementtien asennuksen kustannukset ovat ajan hetken parhaan arvion mukaiset.

Tutkimuksissa käsitellään monesti asioita siten, että itse rakennustyön tai suunnittelutyön suorittajat jäävät tarkastelun ulkopuolelle. Toisaalta, tapaustutkimukset ovat paljon resursseja vaativaa työtä, joten ymmärrettävästi kyseistä tutkimustapaa ei voida useinkaan hyödyntää.

Haastattelujen osalta näkemykset kustannusmuutoksista ja niiden syistä eivät välttämättä pysyneet täysin objektiivisina ja varsinkin mitä kauemmas muutoksista on menty ajallisesti, sitä vaikeampi kyseisten muutosten todellista syytä on löytää. Tiettyjä samankaltaisuuksia haastattelujen pohjaksi tutkitusta aineistosta kuitenkin löydettiin, joten löydösten voidaan olettaa olevan yleisesti esiintyviä ongelmia asuinrakentamisen SR-hankkeissa. Suunnitelman toteuttamiseksi voi olla monia tapoja, jolloin on taas vaikea määrittää, onko kustannusmuutosten syy suunnittelussa vai toteutuksessa. Siihen tässä tutkimuksessa ei otettu kantaa.

Haastateltavien määrää kustannuslaskennan ammattilaisten osalta olisi voitu lisätä. Toteutussuunnittelun ja rakentamisen aikana työmaahenkilöstö arvioi ja kirjaa kustannusten muutoksia, joten toteutussuunnittelun alussa ei ole oikeastaan selkeää roolia tai tehtävää siitä, kuka valvoo ja tuo ilmi yleissuunnitteluvaiheen lopussa ilmenevät suunnitelmamuutokset. Tämän vuoksi kustannuslaskijoiden toimenkuvaa ja sen analysoimista muutosten hallinnassa olisi voitu tehdä syvemmin tässä tutkimuksessa. Kustannuslaskijat ovat kuitenkin luoneet lähtötiedot monelle suunnitteluvaatimukselle rakennusosakohtaisen kustannusarvion muodossa. Kyseinen kustannusarvio perustuu kustannustietomalliin, mutta on hyvin paljon tarkempi dokumentti. Kuten aiemmin jo mainittiin, kustannustietomallin tarkkuus käsittää vain hankkeen suuret massat.

Tutkimuksessa ei ehditty käsitellä kappaleessa 8 ehdotettujen toimintatapojen jalkauttamista ja niiden toimintaa. Tämä johtui puhtaasti aikataulullisista haasteista. Toimintatavat ja työkalut koostuvat kuitenkin alalle jo valmiiksi tunnetuista käytännöistä. Se, kuinka paljon mitään työkalua käytetään missäkin projektin vaiheessa, eroaa ns. perinteisestä tyylistä. Tämä vuoksi voidaan olettaa, ettei toimintamalli aiheuta negatiivisia seurauksia projektin kululle.

Muutosten hyöty/kustannus-suhteen arviointitapa ja -menetelmä ovat suuressa osassa muutosten hallintaa, mutta aiheita ei käsitelty tässä tutkimuksessa riittäväällä tarkkuudella. Aihe nousikin enemmän esille vasta tutkimuksen loppuvaiheessa, jolloin tutkimuksen ajalliset rajoitteet tulivat vastaan. Tutkijan oman arvion mukaan aihe vaatisi tätä diplomityötä suuremman työmäärän, sillä tutkimuksessa tulisi seurata vähintään muutamia rakennusprojekteja, sekä haastatteluja pitäisi suorittaa tilaajan, pääurakoitsijan ja aliurakoitsijoiden henkilöstön kanssa.

Tutkimus on rajattu teknisiin asioihin, lähinnä suunnitelmien sisältöön. Ihmisten välinen toiminta ja luottamus on jätetty työn rajauksessa ulkopuolelle. Kuitenkin lähes jokaisessa rakennusprojektissa sen parissa työskentelevät henkilöt ovat yhteistyön näkökulmasta uusia. Vaikka teknisten asioiden hallintaan olisi todella hyviä työkaluja, osapuolten välinen hyvä yhteistyö on vähintään yhtä suuri osa onnistunutta projektia. Tiedyt työkalut, kuten



vaikka DSM (design structure matrix), ei sellaisenaan suoraan ole helposti jalkautettavissa. Tämä johtuu rakennusprojektien monimutkaisuudesta. Mikäli kyseinen työkalu jalkautettaisiin yritykseen, se tulisi tehdä pienillä kokonaisuuksilla, jolloin sen kokonaisvaltaista hyötyä voidaan paremmin arvioida. Monet työkalut on kehitetty tehdasteollisuuteen, jossa asioiden riippuvaisuussuhteet voidaan vakioida, kun taas rakennusprojekteissa vain osa asioista pysyy samanlaisena projektista toiseen.

#### **9.4 Ehdotukset jatkotutkimuksille**

Projektien kustannustieto tulee näkymään yhä useammalle ja sitä tullaan käyttämään yhä useammin. Kyseinen tieto taas on kiinnitetty tietomalliin, jolloin kenellekään ei pitäisi jäädä epäselväksi, mitä aihetta milläkin hetkellä tarkastellaan. Allianssi toteutusmuotona pyrkii suureen läpinäkyvyyteen osapuolten välillä, mutta tutkimus SR-toteutusmuotoisista rakennusprojekteista ja niiden avoimesta kustannustiedon jakamisesta voisi tuoda esille sen, miten kustannustiedon läpinäkyvyys vaikuttaa kyseisen toteutusmuodon projekteissa. Jos vaikuttaa ollenkaan.

Muutoksen kustannus-/hyötysuhteen arviontiin käytettävän työkalun tai toimintatavan kehittäminen ja sen jalkauttaminen yrityksen käyttöön olisi kiinnostava tutkimuskohde. Tällöin asiaa voisi tarkastella enemmän kustannuslaskennan näkökulmasta. Muutoksen kustannus-/hyötysuhteen arviointi ei ole selkeä asia. Arvoa voidaan tuottaa tilaajalle tai loppukäyttäjälle. Toisaalta arvoa voidaan myös tuottaa pääurakoitsijalle, mutta tämä ei välttämättä tarkoita myös arvon tuottamista suoraan tilaajalle ja loppukäyttäjälle. Riippuukin pitkälti juuri arvioijasta, onko muutos kannattavaa tehdä vai ei. Ongelma liittyy suoraan projektien monimutkaisuuteen ja osapuolien vaihtelevuuteen. Tässä työssä ehdotetaan CBA-menetelmää ja sen myötä päätöksenteon dokumentointia CBA-korttiin. CBA-menetelmän käyttöä ei kuitenkaan ehditty aikataulurajoitteiden vuoksi kokeilemaan missään projektissa.

Rakennuksen betonielementtien ja talotekniikan muutokset tuovat ilmi sen, että koko rakennuksen rakennejärjestelmää ja toimintaa tulisi arvioida tietystä näkökulmasta jo ehdotussuunnitteluvaiheessa. Betonielementit ja talotekniikka asettavat rakennukselle tiettyjä rajoitteita ja nämä tulisi huomioida koko rakennuksen ja sen tilojen huoneistojen päämittoja ja toiminnallisuutta suunnitellessa. Asuntorakentaminen ei kulje yleensä taloteknisten järjestelmien ehdoilla, kuten vaikkapa teollisuuslaitokset. Asuinrakennusprojektit, joissa tilojen toiminta on aloitettu taloteknisten vaatimusten ja käyttäjän vaatimusten mukaisesti voisi osoittaa, olisiko talotekniikan suunnittelun ja koordinoinnin tuomia haasteita mahdollisuus vähentää.

Hattabin & Hamzehin (2016) tutkimuksessa esitettiin työkalua, jolla projektin suunniteluosapuolista luodaan verkosto, jonka sisäistä tiedonkulkua ja ajankäyttöä pyritään seuraamaan. Tietoteknisesti tämä vaikuttaa haasteelliselta toteuttaa, sillä käytännössä kaikkia osapuolia pitäisi pystyä seuraamaan vuorokauden ympäri. Tutkimus, jossa keskityttäisiin seuraamaan yhden osapuolen käyttämää aikaa eri aktiviteetteihin (suunnittelu, odottaminen, kokoukset, uudelleensuunnittelu), voisi olla toteutettavissa. Tämä toisi varmasti tarkkaa tietoa suunnittelutyön ajankäytöstä ja miksi eri aktiviteetit vievät tietyn määrän aikaa valmistukseen.

## Lähdeluettelo

### Painetut:

Lindholm, M., 2009. Kustannushallinta rakennushankkeessa. Suomen Rakennusmedia Oy. Helsinki. 55 s. ISBN 978-952-5785-00-5.

Kankainen, J., Junnonen, J-M., 2017. Rakennuttaminen. Helsinki. Rakennustieto Oy. 126 s. ISBN 978-952-267-145-5.

Haahtela, Y., Kiiras, J., 2013. Talonrakennuksen kustannustieto. Tampere. Haahtela-kehitys Oy. 385 s. ISBN 978-952-5403-21-3.

Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P., 2000. Tutki ja kirjoita. 6. painos. Vantaa. Tekijät ja Kirjayhtymä Oy. 420 s. ISBN 951-26-4618-8.

Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P., 2014. Tutki ja kirjoita. 19. painos. Helsinki. Tekijät ja Kirjayhtymä Oy. 453 s. ISBN 978-951-31-4836-2.

### Sähköiset:

Abbasnejad, B., Moud, H.I., 2013. BIM and Basic Challenges Associated with its Definitions, Interpretations and Expectations. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA). 3:2, s. 287-284.

Aho, Tuomas. 2014. KVR-hankkeen projektikäsikirja. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 112 s.

Andersen, L., 2011. Virtual Design & Construction St. Olavs Hospital Kunskapscenteret. NTNU samfunnsforskning AS. Trondheim 2011.

Anumba, C., Evbuomwan, N., 1997. Concurrent engineering in design-build projects. Construction Management and Economics. 15:3, s. 271-281.

Arryo, P., Ballard, G., Tommelein, I.D., 2014. Choosing By Advantages and Rhetoric in building design: relationship and potential synergies. Proceedings for the 22<sup>nd</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Oslo, Norway. s. 391-400.

Ballard, G., Koskela, L., 1998. On the agenda of design management research. Proceedings 6<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. s. 1-13.

Ballard, G., 2000a. The Last Planner System of Production Control. Väitöskirja. Faculty of Engineering, The University of Birmingham. 125 s. + liitteet.

Ballard, G., 2000b. LCI white paper #8 – Lean Project Delivery System. Lean Construction Institute. 7 s.

Ballard G, 2000c. Positive vs. Negative Iteration in Design. Proceedings for the 8<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Brighton, UK. 2000. s. 1-12.

Ballard, G., Zabelle, T., 2000. Lean Design: Process, Tools & Techniques. White Paper #10. Lean Construction Institute. s. 1-15.

Berard, O., Karlshoej, J. 2012. Information Delivery Manuals to integrate building product information into design. Journal of Information Technology in Construction. Vol. 17. s. 64-74.

Boon, J., Prigg, C., 2012. Evolution of Quantity Surveying Practice in the Use of BIM – the New Zealand Experience. Proceedings of the CIB International Conference on Management and Innovation for a Sustainable Built Environment. s. 84-98.

Bølviken, T., Gullbreken, B., Nyseth, K., 2010. Collaborative Design Management. Proceedings 18<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Haifa, Israel. s. 103-118.

Bryde, D., Broquetas, M., Volm, J.M., 2013. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). International Journal of Project Management. Vol. 31, s. 971-980.

buildingSMART Finland. YTV2012, Yleiset tietomallivaatimukset. Osa 1. Yleinen osuus. Saatavissa: [http://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_1\\_yleinen\\_osuus.pdf](http://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf). [viitattu: 15.3.2017].

buildingSMART Finland. YTV2012, Yleiset tietomallivaatimukset. Osa 7. Määrälaskenta. Saatavissa: [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_7\\_maaralaskenta.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_7_maaralaskenta.pdf). [viitattu: 15.3.2017].

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. Liston, K. 2011. BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 2<sup>nd</sup> edition. John Wiley & Sons Inc. ISBN 978-0-740-95134-7 (e-kirja).

Elmualim, A., Gilder, J. 2013. BIM: innovation in design management, influence and challenges of implementation. Architectural Engineering and Design Management. 10:3, s. 183-199.

Emmit, S., Ruikar, K., 2013. Collaborative Design Management. Abingdon, Oxon: Routledge. Sivumäärä ei saatavilla. ISBN 978-0-203-81912-8 (e-kirja).

Eynon, J., 2013. Design Manager's Handbook. The Chartered Institute of Building. John Wiley & Sons, Ltd. 229 s. ISBN 978-0-470-67402-4 (e-kirja).

Formoso, C.T., Tzortzopoulos, P., Jobim, S.M.M., Liedtke, R., 1998. Developing a Protocol for Managing the Design Process in the Building Industry. Proceedings for the 6<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Guarujá, Brazil. 1998. 8 s.

Fox, Steven. 2014. Getting real about BIM Critical realistic descriptions as an alternative to the naïve frame and multiple fallacies of hype. International Journal of Managing Projects in Business. 7:3. s. 405-422.

Fosse, R., Ballard, G., 2016. Lean Design Management in Practice with the Last Planner System. Proceedings for the 24<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, MA, USA. 2016. s. 33-42.

Freire, J., Alarcón, J.F., 2000. Achieving Lean Design Process. The 8<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Guarujá, Brazil. 2000. 16 s.

Ghassemi, R., Becerik-Gerber, B., 2011. Transitioning to Integrated Project Delivery: Potential barriers and lesson learned. Lean Construction Journal (2011). s. 32-52.

Gu, N., London, K., 2010. Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. Automation in Construction. Vol. 19. s. 988-999.

Hammond, J., Choo, H.J., Austin, S., Tommelein, I.D., Ballard, G., 2000. Integrating Design Planning, Scheduling and Control with DePlan. Proceedings 8<sup>th</sup> Annual Conference International Group for Lean Construction. Guarujá, Brazil. 2000. 11 s.

Hansen, G.K., Olsson, N.O.E., 2011. Layered Project-Layered Process: Lean Thinking and Flexible Solutions. Architectural Engineering and Design Management. 2:7. s. 70-84.

Hao, Q., Shen, W., Neelamkavil, J., Russ, T., 2008. Change Management in Construction Projects. CIB W78 2008 International Conference on Information Technology in Construction Santiago, Chile. 11 s.

Hattab, M.A., Hamzeh, F., 2016. Modeling design workflow: Integrating process and organization. Proceedings for the 24<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA. 2016. s. 53-62.

Ho, S-P., Tserng, H-P., Jan, S-H., 2013. Enhancing Knowledge Sharing Management Using Management Technology in Construction. The Scientific World Journal. Vol. 10. s. 1-10.

Ibbs, C. W., Wong, K. C., Kwak, Y. H., 2001. Project Change Management System. Journal of Management in Engineering. 17:3. s. 159-165.

Juntunen, J. 2015. Big Room suunnittelun ohjauksen työkaluna. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 73 s.

Kala, T., Seppänen, O., Stein, C. 2010. Case study of using an integrated 5D system in a large hospital construction project. Proceedings for the 18<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Haifa, Israel, 2010. s. 664-673.

Karhu, M. 2013. Rakennussuunnittelun ohjauksen kehittäminen talonrakennusyrityksen kannalta. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 92 s.

Kerosuo, H., Mäki, T., Codinhoto, R., Koskela, L., Miettinen, R., 2012. In time at last – adaptation of Last Planner™ tools for the design phase of a building project. Proceedings for the 20<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. San Diego, USA. 2012. s. 1-10.

Khan, S., Tzortzopoulos, P., 2014. Effects of Interactions Between LPS and BIM on Workflow in two Building Design Projects. Proceedings for the 22<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Oslo, Norway, 2014. s. 933-944.

Khan, S., Tzortzopoulos, P., 2016. A Framework for Evaluating an Action Research Study on Lean Design Management. Proceedings for the 24<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, MA, USA. 2016. s. 113-122.

Khazode, A., Fischer, M., Reed, D., 2008. Benefits and lessons learned of implementing Building Virtual Design and Construction (VDC) technologies for coordination mechanical, electrical, and plumbing (MEP) systems on a large healthcare project. Electronic Journal of Information Technology in Construction. Vol 13. s. 342-342.

Kim, S.A., Chin, S., Yoon, S.W., Shin, T.H., Kim, Y.S., Choi, S., 2009. Automated Building Information Modeling System for Building Interior to Improve Productivity of BIM-based Quantity Take-Off. 26<sup>th</sup> International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC). s. 492-496.

Kim, T., Kim, Y., 2016. Activity-based Costing for Process Improvements. Proceedings for the 24<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, MA, USA. 2016. s. 53-62.

Knotten, V., Svalestuen, F., Aslesen, S., Dammerud, H., 2014. Integrated methodology for design management – A research project to improve design management for the AEC industry in Norway. Proceedings for the 22<sup>nd</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Oslo, Norway. 2014. s. 1391-1399.

Knotten, V., Svalestuen, F., Hansen, G.K., Laedre, O., 2015. Design management in the building process – A review of current literature. 8<sup>th</sup> Nordic Conference on Construction Economics and Organization. Procedia Economics and Finance. Vol. 21. s. 120-127.

Knotten, V, Svalestuen F., Laedre, Ola., Hansen, G., 2016. Improving Design Management with Mutual Assessment. Proceedings for the 24<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, MA, USA. 2016. s. 173-182.

Ko, C., Chung, N., 2014. Making design process lean. Proceedings for the 22<sup>nd</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Oslo, Norway. 2014. s. 463-474.

Koskela, L., Ballard, G., Tanhuanpää, V-P., 1997. Towards Lean Design Management. Proceedings for the 5<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Gold Coast, Australia. 1997. s. 1-13.

Koskela, L., Huovila, P., Leinonen, J., 2002. Design Management in Building Construction: From theory to practice. Journal of Construction Research. 3:1. s. 1-16.

Lee, S.H., Peña-Mora, F., Park, M., 2005. Quality and Change Management Model for Large Scale Concurrent Design and Construction Projects. Journal of Construction Management and Engineering. 131:8, s. 890-902.

Matipa, W.M., Kelliher, D., Keane, M., 2008. How a quantity surveyor can ease cost estimation at the design stage using a building product model. *Construction Innovation*. 8:3. s. 164-181.

Mitchell, D., 2012. 5D BIM: Creating Cost Certainty and Better Buildings. 2012 RICS COBRA, Las Vegas, Nevada USA, September 11-13, 2012. s 1-9.

Mokhtar, A., Bédard, C., Fazio, P., 1998. Information Model for Managing Design Changes in a Collaborative Environment. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 12:2. s. 82-92.

Monteiro, A., Martins, J.P., 2013. A survey on modeling guidelines for quantity-takeoff. *Automation in Construction*. Vol. 35. s. 238-253.

Motawa, I.A., Anumba, C.J., Lee, S., Peña-Mora, F. 2007. An integrated system for change management in construction. *Automation in Construction*. Vol 16. s. 368-377.

Munthe-Kaas, T.S., Hjelmbrække, H., Lohne, J., Laedre O., 2015. Lean design versus traditional approach. *Proceedings for the 23<sup>rd</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Perth, Australia. 2015. s. 578-588.

Olatunji, O.A., Sher, W., Gu, N. 2010. Building Information Modeling and Quantity Surveying Practice. *Emirates Journal of Engineering Research*. 15:1. s. 60-67.

Orihuela, P., Orihuela, J., Ulloa, K., 2011. Tools for design management in building projects. *Proceedings for the 19<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Lima, Peru. 2011. s. 1-11.

Ouertani, M.Z. 2008. Supporting conflict management in collaborative design: An approach to assess engineering change impact. *Computers in Industry*. Vol 59. s. 882-893.

Park, M., Peña-Mora, F., 2003. Dynamic change management for construction: introducing the change cycle into model-based project management. *System Dynamics Review*. 19:3. s. 213-242.

Parrish, K., Tommelein, I., 2009. Making design decisions using Choosing By Advantages. 17<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group of Lean Construction. Taipei, Taiwan. 2009. s. 501-510.

Pikas, E., Koskela, L., Bhargav, D., Roode, L., 2015. Case Study on Design Management: Inefficiencies and Possible Remedies. 23<sup>rd</sup> Annual Conference of the International Group of Lean Construction. Perth, Australia. 2015. s. 547-557.

Philipp, N.H., 2013. Building information modeling (BIM) and the consultant: managing roles and risk in an evolving design and construction process. *Acoustical Society of America. Proceedings of Meetings in Acoustics*. Vol. 19. s. 1-5.

Rakennustieto Oy. 2016. Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo. RT 10-11107. 24 s.

- Rakennustieto Oy. 2016. Talonrakennushankkeen kulku: toteutusmuodot. RT 10-11223. 9 s.
- Redmond, A., Hore, A., Alshawi, M., West, R., 2012. Exploring how information exchanges can be enhanced through Cloud BIM. *Automation in Construction*. Vol. 24. s. 175-183.
- Rosas, E., 2013. Integrating the design structure matrix and the Last Planner System™ into building design. 21<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group of Lean Construction. Fortaleza, Brazil. 2013. s. 389-398.
- Sacks, R., Gurevich, U., Shrestha, P. 2016. A review of building information modeling protocols, guides and standards for large construction clients. *Journal of Information Technology in Construction*. ITcon Vol. 21. s. 479-503.
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B.A., Owen, R., 2010. Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 136:9. s. 968-980.
- Samphaongoen, P., 2010. A Visual Approach to Construction Cost Estimating. Master's Theses. Marquette University. 93 s.
- Shourangiz, E., Mohamad, M.I., Hassanabadi, M.S., Banibashemi, S.S., Bakhtiari, M., Torabi, M., 2011. Flexibility of BIM Towards Design Change. 2<sup>nd</sup> International Conference on Construction and Project Management. Vol 15. s. 79-83.
- Smith, P. 2014. BIM & 5D Project Cost Manager. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 27<sup>th</sup> IPMA World Congress. Vol. 119. s. 475-484.
- Smith, P. 2016. Project cost management with 5D BIM. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 29<sup>th</sup> World Congress International Project Management Association (IPMA). Vol. 266. s. 193-200.
- Sødal, A.H., Laedre, O., Svalestuen, F., Lohne, J. 2014. Early contractor involvement: advantages and disadvantages for the design team. 22<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group of Lean Construction. Oslo, Norway. 2014. s. 519-531.
- Sun, M., Fleming, A., Senaratne, S., Motawa, I., Yoeh, M.L., 2006. A Change Management Toolkit for Construction Projects. *Architectural Engineering and Design Management*. 2:4. s. 261-271.
- Taboada J., Garrido-Lecca, A., 2014. Case study on the use of BIM at the bidding stage of a building project. *Proceedings for the 22<sup>nd</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Oslo, Norway. 2014. s. 1473-1482.
- Teittinen, Toni. 2009. Tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta. Erikoistyö. Tampereen teknillinen yliopisto. 8 s. Saatavilla: [https://webhotel2.tut.fi/vblab/prodigi/images/4/4b/Erikoistyö\\_raportti\\_tt.pdf](https://webhotel2.tut.fi/vblab/prodigi/images/4/4b/Erikoistyö_raportti_tt.pdf). [Viitattu 8.3.2017].

Tommelein, I.D., Gholami, S., 2012. Root Causes of Clashes in Building Information Models. Proceedings for the 20<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. San Diego, USA. 2012. 10 s.

Tribelsky, E., Sacks, R., 2011. The Relationship Between Information Flow and Project Success in Multi-Disciplinary Civil Engineering Design. Proceedings 19<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Lima, Perú. 2011. s. 140-150.

Voropajev, Vladimir. 1998. Change management – A key integrative function of PM in transition economics. International Journal of Project Management. 16:1. s. 15-19.

Wijayakumar, M., Jayasena, H.S., 2013. Automation of BIM quantity take-off to suit QS's requirements. The Second World Construction Symposium 2013: Socio-Economic Sustainability in Construction. s. 70-80.

Wu, S., Wood, G., Ginige K., Jong, S.W. 2014. A Technical review of BIM based cost estimating in UK quantity surveying practice, standards and tools. Journal of Information Technology in Construction. ITcon Vol. 19. s. 534-562.