

Lappeenranta University of Technology

School of Business and Management

Tuotantotalous

Paula Kokko

**TIETOMALLIEN HYÖDYNTÄMINEN BETONIELEMENTTIPROSESSISSA**

Diplomityö 2017

Tarkastajat: Jorma Papinniemi, tutkija-lehtori

Jouni Koivuniemi, tutkijaopettaja

<b>TIIVISTELMÄ</b>	
<b>Tekijä:</b> Paula Kokko	
<b>Työn nimi:</b> Tietomallien hyödyntäminen betonielementtiprosessissa	
<b>Vuosi:</b> 2017	<b>Paikka:</b> Lappeenranta
<b>Diplomityö</b>	
Lappeenranta University of Technology	
School of Business and Management	
Tuotantotalous	
84 sivua, 13 kuvaa ja 2 taulukkoa	
<b>Tarkastajat:</b> Tutkija-lehtori Jorma Papinniemi Tutkijaopettaja Jouni Koivuniemi	
<b>Hakusanat:</b> tietomalli, toiminta, betonielementti, prosessi	
<p>Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia tietomallien hyödynnettävyyttä ja edellytyksiä sekä yleisesti että betonielementtiprosessin parantamisessa ja tehostamisessa. Lisäksi tutkimuksessa kartoitettiin betonielementtiprosessissa esiintyviä haasteita ja etsittiin ratkaisuja niihin aiemmista tutkimuksista. Tutkimuksessa selvitettiin rakennusalan erityispiirteiden ja tietomallipohjaisen toimintatavan vaikutuksia betonielementtiprosessiin.</p> <p>Tutkimus oli osa projektia, jossa kehitettiin toiminnan tietomallia. Yhtenä toiminnan tietomallin validoimiskohteena oli tutkittava betonielementtiprosessi. Tutkimus toteutettiin laadullisena induktiivisena tapaustutkimuksena kahden betonielementtiprosessiin kytkeytävän osapuolen näkökulmista.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena määriteltiin toiminnan tietomalli ja sen käytön edellytykset yleisesti ja betonielementtiprosessissa. Toiminnan tietomallin ja aiempien tutkimusten perusteella betonielementtiprosessin haasteisiin on löydettävissä erilaisia ratkaisuja, joista tietomallintaminen on yksi olennaisimmista.</p> <p>Toiminnan tietomallin avulla yrityksellä on mahdollisuus parantaa toimintaansa. Toiminnan tietomallin käytön edellytyksenä on, että tiedot toiminnan tietomalliin on mahdollista saada avoimessa tiedostomuodossa ja yhteisesti hyväksytyjen standardien mukaisina.</p>	

<b>ABSTRACT</b>	
<b>Author:</b> Paula Kokko	
<b>Subject of the thesis:</b> The utilization of information models in the process of the precast concrete element	
<b>Year:</b> 2017	<b>Place:</b> Lappeenranta
<b>Master's Thesis</b>	
Lappeenranta University of Technology	
School of Business and Management	
Industrial Engineering and Management	
84 pages, 13 figures and 2 tables	
<b>Examiners:</b> Senior Lecturer Jorma Papinniemi	
Associate Professor Jouni Koivuniemi	
<b>Keywords:</b> information model, function, precast concrete element, process	
<p>The aim of the study was to examine the utilization and requirements of information models to improve and to enhance the process of the precast concrete element. In addition, the challenges in the process were mapped and solutions were sought from previous studies. The study clarified the complexity of the construction industry and the challenges of the concrete element process based on information modelling.</p> <p>The study was part of the project, in which a functional information model was developed. One of the validated objects in the functional information model was a precast concrete element process. The study was conducted as a qualitative and inductive case study from the viewpoint of the two stakeholders in the process of the precast concrete element.</p> <p>As a result, the functional information model was determined generally and for the process of the precast concrete element. The requirements for the utilization of the functional information model were defined. Both the functional information model and previous studies provided several alternative solutions to the challenges in the process of the precast concrete element.</p> <p>The functional information model enables companies to enhance their business processes. The utilization of the functional information model requires data and information in an open and standardized format.</p>	

## ALKUSANAT

Diplomityö on tehty osana DORF II – Toiminnan tietomallit älykkään rakennetun ympäristön voimavarana -projektia, jossa toiminnan tietomallien määrittelyn validointia tehtiin neljään eri kohteeseen. Neljästä validoitavasta kohteesta yksi oli betonielementtiprosessin kytkeytyminen toiminnan tietomalliin yhdessä rakennusten tietomallien kanssa.

Suuret kiitokset rakennusliike Karjalan Rakennus ja Maalauksen Petri Siitoselle ja rakennusliike U. Lipsasen Matti Lipsaselle, että sain tehdä diplomityöni heidän yrityksilleen ja tutustua mielenkiintoiseen ja haastavaan aiheeseen. Suuret kiitokset myös molemmille hyvistä neuvoista, kommenteista ja vapaudesta toteuttaa työ omalla tavallani. Kiitokset myös rakennusliike U. Lipsasen Jörg Hansmanille avusta hahmottaa betonielementtitehtaan tuotannosuunnittelua ja toimitusprosessia sekä Imatran Juvan Tero Koikkalaiselle, joka avasi suunnittelun aikaista tietomallinnusta betonielementtiprosessissa käytännön esimerkkien kautta.

Kiitokset ohjaajalleni Lappeenrannan teknillisen yliopiston Jorma Papinniemielle, joka auttoi näkemään asioita eri näkökulmasta ja antoi neuvoja tarvittaessa. Kiitokset myös DORFII -projektin LUT:n projektipäällikölle Jouni Koivuniemielle, joka avasi solmuja toiminnan tietomallin suhteen.

Kiitokset niin Saimaan ammattikorkeakoulun kuin Lappeenrannan teknillisen yliopiston DORF II -projektihenkilöstölle. Ilman heidän korvaamatonta apuaan ei toiminnan tietomallin määrittelyä olisi syntynyt, eikä todella mielenkiintoisia keskusteluja olisi käyty.

Ikuiset rakastavat kiitokset miehelleni Timolle tuesta, kannustuksesta ja mielipiteiden vaihdosta niin tämän diplomityön osalta kuin aina muutenkin yhteiselämässämme. Kiitos kuuluu myös pojilleni Elmolle, Aappolle ja Kasperille kommenteista, jotka eivät aina suoranaisesti liittyneet työhöni, mutta jotka auttoivat näkemään asioita eri tavalla, myös tässä työssäni.

Lappeenrannassa 18.10.2017

Paula Kokko

## **SISÄLLYSLUETTELO**

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>9</b>
1.1 Tutkimuksen tausta.....	10
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus.....	11
1.3 Tutkimuksen toteutus ja raportin rakenne .....	12
<b>2 RAKENTAMISEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ</b> .....	<b>14</b>
2.1 Talonrakentamisen kokonaiskuva .....	15
2.2 Betonielementtiprosessi rakennushankkeen osana .....	19
2.3 Tiedonsiirto ja -hallinta rakennusprosessissa.....	25
<b>3 TIETOMALLINNUS RAKENNUSALALLA</b> .....	<b>29</b>
3.1 Tietomallin määritelmä ja olemus.....	30
3.2 Tietomallinnus uutena toimintatapana.....	34
3.3 Tietomallinnuksen tuomat haasteet.....	39
<b>4 TOIMINNAN TIETOMALLI ÄLYKKÄÄN TOIMINNAN TUKENA</b> .....	<b>43</b>
4.1 DORF II -projektin taustaa .....	43
4.2 Toiminnan tietomallin määritelmä.....	47
4.3 Toiminnan tietomallin hyödyntämisen edellytykset.....	52
4.4 Toiminnan tietomallin kytkeminen betonielementtiprosessiin .....	54
<b>5 TIETOMALLIT BETONIELEMENTTIPROSESSISSA</b> .....	<b>58</b>
5.1 Haasteet tietomallipohjaisessa betonielementtiprosessissa .....	59
5.2 Aiemmat tutkimukset ja ratkaisut betonielementtiprosessin haasteisiin .....	61
5.3 Toiminnan tietomallin kytkeminen yritysten kokemuksiin haasteisiin.....	67
<b>6 JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>69</b>
6.1 Keskeiset tulokset.....	71
6.2 Tulosten arviointi.....	72
6.3 Jatkoimenpiteet ja suositukset .....	73
<b>7 YHTEENVETO</b> .....	<b>74</b>
<b>LÄHTEET</b> .....	<b>79</b>

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Rakennusprosessiin osallistuvat toimijat pääpiirteittäin	s.17
Kuva 2. Talonrakennushankkeen vaiheet	s.18
Kuva 3. Rakennusprosessin vaiheet ja tutkimusalue	s.19
Kuva 4. Betonielementtiprosessi pääpiirteittäin	s.20
Kuva 5. Tuoteosakauppojen jaottelu elementtien hankinta-ajankohdan perusteella	s.21
Kuva 6. Elementtiprosessin toimijat ja tietovirrat	s.23
Kuva 7. Esimerkkinä palvelujen tietomalli	s.31
Kuva 8. Esimerkki rakennuksen tietomallista tietoineen	s.34
Kuva 9. DORF II -projektin sisältö tavoitteineen, ratkaisuneen ja tuloksineen	s.44
Kuva 10. Tietomallien muodostama verkosto	s.45
Kuva 11. Toiminnan tietomallin mahdolliset käyttötarkoitukset	s.49
Kuva 12. Toiminnan tietomallin sisältö osatekijöineen	s.50
Kuva 13. Betonielementtiprosessi tietomalleja hyödynnettäessä	s.57
Taulukko 1. Elementtikaupamallien jaottelu toimituksen laajuuden perusteella	s.22
Taulukko 2. Betonivalmisosatoimitusten aikataulutus	s.24

## KÄSITE- JA LYHENNELUETTELO

BIM	(Building Information Model(ing)), tietomalli(nnus), uudenlainen tapa suunnitella 3D-perustaisesti rakennuksia sekä rakentaa ja ylläpitää rakennuksen tietoja, jotta niitä voivat hyödyntää kaikki rakennushankkeen osapuolet. Suunnittelun ja rakentamisen tuloksena syntynyt tietomalli sisältää rakennuksen kaikki tarvittavat tiedot koko elinkaaren ajalta.
DIGITAALINEN	tekstin, kuvan ja äänen muunto paloitteluiksi ja numeerisiksi biteiksi eli pieniksi tietoalkioiksi, jotka voivat olla joko 0 tai 1. Tietoalkioiden määrästä ja järjestyksestä sekä käytetystä standardista riippuen määrittyy, onko kyseessä kuva, teksti, liikkuva kuva tai ääni.
IFC	(Industry Foundation Classes) on yleinen, yhteinen ja avoin tiedostomuoto ja standardi, jolla rakennuksen tietomallien tiedot toimitetaan toiselle osapuolelle tietomallinnusprosessissa.
PLM	(Product Lifecycle Management) on tuotteen elinkaaren hallintajärjestelmä, jonka avulla hallinnoidaan ja ylläpidetään tuotteeseen liittyviä dataa, tietoja ja toimintoja. Käytössä etenkin autoteollisuudessa.
PROSESSI	on toimenpiteiden ja tehtävien sarja, joka muodostaa kokonaisuuden ja etenee johdonmukaisesti alusta loppuun. Prosessi määrittyy kunkin organisaation vision, strategian ja toimintatapojen mukaan. Tässä työssä prosessilla tarkoitetaan toimenpiteiden ketjua, joka lähtee päätöksestä valita betonielementit rakennukselle ja loppuen betonielementtien toimitukseen rakennustyömaalle.

STANDARDI	on jonkun yhteisön tai organisaation määritelmä jollekin asialle siitä, miten asia tulisi hoitaa. Tunnetuimpia kansainvälisiä standardiorganisaatioita ovat ISO ja Suomessa SFS.
TOIMINTA	tässä työssä kuvaa niitä ihmisten tai yritysten eri toimintoja, joista muodostuu betonielementtiprosessi.
TIETOMALLI	on malli, joka sisältää digitaalisessa muodossa olevia ko. asiaan liittyviä tietoja, jotka kytkeytyvät toisiinsa erilaisten relaatioiden kautta.
TUOTETIETOMALLI	määrittelee mitä tietoja tuotemalli kattaa, mitä olioita tuotemallissa voi olla, mitä ominaisuuksia ja relaatioita olioilla on. Keskeisimpiä tuotetietomallien määrittelyn tarkoituksia on tuotetietojen standardoitu tiedonsiirto eri tietokonesovellusten välillä.
UML-MALLINNUS	(Unified Modeling Language) on graafinen mallinnuskieli, jolla voidaan kuvata jotain toimintaa, järjestelmää tai muuta vastaavaa. UML sisältää 13 erilaista kaaviota, joista kuudella kuvataan rakennetta, kolmella käyttäytymistä ja neljällä vuorovaikutusta.

## 1 JOHDANTO

Koko markkinatalous niin kansallisesti kuin kansainvälisesti on murroksessa. Niin uudet kuin vanhat ansaintalogiikat etsivät paikkaansa ja kannattavuuttaan yhä kansainvälistyvässä ympäristössä. Ennusteiden tekeminen tai niiden luotettavuus jopa lyhyellä aikataululla on hankalaa, koska olosuhteet vaihtuvat ja asiat kehittyvät nopealla tahdilla. Kaikkialle leviävä digitaalisuus tuo oman vivahteensa kaiken muun muutoksen sekaan.

Tietojen, järjestelmien, prosessien ja toimintatapojen digitalisoimisella halutaan enenevässä määrin tehostaa toimintaa ja lisätä kilpailukykyä kaikilla aloilla. Toisaalta digitaalisuudesta on puhuttu niin monessa yhteydessä, että se sanana alkaa olla loppuun kulutettu, eikä sitä enää haluaisi edes kuulla missään yhteydessä. Jopa yksi hallituskauden tavoitteista on digitaalisuus, kokeilut ja normien purkaminen. Hallituksen tavoitteena oli, että digitaalisuuden tuomien mahdollisuuksien avulla pyritään saamaan aikaan tuottavuusloikka niin julkisissa palveluissa kuin yksityisellä sektorilla (Hallituksen julkaisusarja 2015).

Rakennusalaalla digitaalisuuden yksi merkittävin ja näkyvin muoto on tietomallintaminen, jonka juuret juontavat alkunsa 1990-luvulle, mutta joka vasta nyt on alkanut konkretisoitua rakennusalan toimijoiden keskuudessa, pääasiassa vielä suunnittelijoiden, mutta yhä enenevässä määrin myös muiden toimijoiden. Tietomallintamisen ja rakennusten tietomallien avulla pyritään lisäämään rakennusyritysten kilpailukykyä ja rakentamisen laatua, jotka molemmat ovat olleet pitkään alhaisella tasolla verrattuna muihin teollisuuden aloihin. Tietomallintaminen tuo myös ratkaisevaa helpotusta tietojen välitykseen toimijoiden kesken.

Joskus halutaan digitalisoida asioita miettimättä digitalisoimisen tarkoituksenmukaisuutta, mutta yleisesti ottaen digitaalisuus luo paljon mahdollisuuksia, joita ei kannata vähätellä. Digitaalisuutta ei pidä myöskään ottaa pakotteena, vaan mahdollistajana omia ennakkoluuloja rikkoen, sillä digitaalisuuden hyödyntämisessä joutuu usein siirtymään pois omalta mukavuusalueeltaan ja haastamaan itsensä uusiin toimintatapoihin. Digitaalisuus, kuten mikä tahansa uusi asia, saattaa aluksi aiheuttaa ylimääräistä työtä, ennen kuin sopivat tavat hyödyntää sitä omassa toiminnassa löytyvät. Toivottavaa on, että digitaalisuutta ja tietomallintamista ei koeta pelkästään työllistäviksi, vaan niiden tuomat taloudelliset, toiminnalliset ja ajalliset hyödyt käyttäjille nähdään laajemmin.

Jotta asiat kehittyisivät eteenpäin ja uudet asiat tulisivat tutuiksi yleisimmin, on syytä tutkia ja tarkastella niitä eri näkökulmista. Digitaalisuudesta eri aloihin liittyen löytyy tutkimuksia todella paljon, kuten myös tietomallintamiseen liittyen. Tämän tutkimuksen alkaessa rakennusalan tietomallintamista oli tutkittu pääasiassa suunnittelijoiden työkaluna ja tietojen vaihtamisen välineenä muille rakennushankkeessa toimiville. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kehittää rakentamisen tietomallintamista askeleen pitemmälle ottaen tarkasteluun mukaan toiminta. Dynaamisen toiminnan kytkeminen rakennusten staattisiin tietomallin tietoihin avaa uuden ulottuvuuden, jota ei ole vielä aiemmin tutkittu.

### 1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennusten tietomallien ja digitaalisuuden mahdollisuuksien innoittamina Saimaan ammattikorkeakoulu ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto hakivat Tekesin Fiksu kaupunki 2013–2017 -ohjelman kautta rahoitusta Älykkäät toiminnan tietomallit rakennetun ympäristön voimavarana -projektille, josta jatkossa käytetään lyhennettä DORF II. DORF II -projekti on Saimaan ammattikorkeakoulun, Lappeenrannan teknillisen yliopiston ja elinkeinoelämän kanssa verkottunut tutkimusprojekti, joka alkoi 1.3.2015 ja päättyi 30.4.2017. DORF II -projektissa tutkittiin mahdollisuutta kehittää rakennusten tietomalleihin verrattavaa toiminnan tietomallia sekä hyödyntää sitä erilaisten tietojen ja toimintojen yhdistämiseen eri ajankohdina. Projektissa pyrittiin löytämään digitaalisuutta hyödyntäen tehokkaampi ja avoimempi tapa toimia.

Projektia haettaessa Saimaan ammattikorkeakoulu ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto olivat edellä aikaansa, sillä hallituksen kärkihankkeeksi digitaalisuus tuli vasta syksyllä 2015, jolloin projekti oli jo käynnistynyt. Projektilla pyrittiin tehokkaamman ja avoimemman toimintatavan lisäksi lisäämään yritysten kilpailukykyä, joka on myös yksi hallituksen tavoitteista. Tämän tutkimuksen aikana rakennusalan tietomallien hyödyntäminen on edennyt isoin harppauksin, mutta silti niin tutkittavaa kuin kehitettävää riittää. Lisäksi ennen projektin alkua rakennusten tietomalleista saatavan datan hyödyntämistä liiketoiminnallisesta näkökulmasta ei ollut vielä tutkittu laajemmin. Aiemmat tutkimukset keskittyivät pääasiassa rakennusten tietomallien hyödyntämiseen suunnittelussa ja suunnittelijoiden väliseen tiedon vaihtoon tietomallien avulla. Aiemmissa tutkimuksissa ei myöskään ollut otettu huomioon toiminnan kytkemistä staattisiin tietoihin.

DORF II -projektissa toiminnan tietomallin yleisen määrittelyn jälkeen määriteltiin toiminnan tietomallin parametrit ja niiden pohjalta valittiin neljä kohdetta toiminnan tietomallin parametrien validoimiseksi. Yksi validoitavista kohteista on tämä tutkimus, joka kohdistuu betonielementtiprosessin ja toiminnan tietomallin väliseen yhteyteen. Tarkoituksena on määrittää ne edellytykset, joilla tietomallipohjainen betonielementtiprosessi ja toiminnan tietomalli olisi mahdollista kytkeä toisiinsa. Ja jos mahdollista, tarkoituksena on myös löytää toiminnan tietomallin avulla ratkaisuja betonielementtiprosessissa esiintyviin haasteisiin, jotka nousivat esiin projektiin osallistuneissa yrityksissä.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Tutkimuksen tavoitteena on tutkia toiminnan tietomallin hyödynnettävyyttä yleisesti ja betonielementtiprosessissa. Tutkimuksessa keskitytään tietomallipohjaisen toimintatavan vaikutuksiin betonielementtiprosessissa huomioiden samalla rakennusalan erityispiirteet, jotka luovat prosessiin omat haasteensa. Toiminnan tietomallin lisäksi tavoitteena on kartoittaa betonielementtiprosessissa esiintyviä haasteita kahden projektiin ja betonielementtiprosessiin kytkeytyvän yrityksen näkökulmasta. Betonielementtiprosessissa tarkastellaan rakennuttajan/urakoitsijan betonielementtien hankinta-tuotannonohjausprosessia ja betonielementtitehtaan tuotannonohjaus-toimitusprosessia. Tutkimus toteutetaan laadullisena tapaututkimuksena kahden betonielementtiprosessiin kytkeytyvän yrityksen näkökulmista.

Päätutkimuskysymyksenä on:

Mitkä ovat toiminnan tietomallin hyödyntämisen edellytykset?

Alatutkimuskysymyksinä ovat:

Mitkä tekijät vaikuttavat betonielementtiprosessin toimintaan?

Millaisia haasteita betonielementtiprosessissa esiintyy?

Miten betonielementtiprosessin haasteita voidaan vähentää?

Miten toiminnan tietomallilla voidaan parantaa betonielementtiprosessia?

Tutkimuksessa keskitytään betonielementtiprosessin haasteisiin kahden projektiin osallistuneen yrityksen näkökulmasta: asiakkaan eli rakennuttajan/urakoitsijan sekä toimittajan eli betonielementtitehtaan näkökulmasta. Betonielementtiprosessiin liittyvät muut osatekijät huomioidaan vain siltä osin, kun ne vaikuttavat prosessin kulkuun tai toiminnan tietomalliin.

Betonielementtien varsinaista suunnittelu- ja valmistusprosessia ei tässä työssä tutkita tai kehitetä, koska molempien prosessien osalta aiempia tutkimuksia on jo tehty ja asianomaiset yritykset kehittävät omia prosessejaan tarpeidensa mukaisesti. Tutkimuksessa huomioidaan myös organisaatioiden yli kulkeva prosessi ja miten prosessia olisi mahdollista parantaa tietomalleja hyödyntäen.

### 1.3 Tutkimuksen toteutus ja raportin rakenne

Toiminnan tietomallin yleinen määrittely tapahtuu DORF II -projektissa yhdessä projektihenkilöstön ja projektiin osallistuvien yhteistyötahojen kanssa. Tähän tutkimukseen kuuluu toiminnan tietomallin validoiminen betonielementtiprosessissa ja tutkija vastaa tähän liittyvästä määrittelystä ja käytön edellytysten kartoittamisesta. Tutkimus tapahtuu samanaikaisesti toiminnan tietomallin määrittelyn kanssa.

Toiminnan tietomallin ja betonielementtiprosessin välisten yhteyksien lisäksi tutkimuksessa selvitetään tekijöitä, jotka vaikuttavat betonielementtiprosessiin ja aiheuttavat haasteita rakennuttajan/urakoitsijan ja betonielementtitehtaan näkökulmasta. Tutkimuksessa huomioidaan betonielementtiprosessin lisäksi yleiset rakennusalaalla vallitsevat toimintatavat, jotka vaikuttavat yli organisaatiorajojen tapahtuvaan liiketoimintaan. Tutkimus suoritettiin pääosin DORF II -projektin aikana. Tutkimus aloitettiin alkuvuodesta 2016 ja päätettiin elokuussa 2017. Tutkimuksessa kartoitettiin ensin mukana olevien yritysten kautta haasteet, joita esiintyy betonielementtiprosessissa. Näihin haasteisiin ja prosessin sujuvaan kulkuun haettiin ratkaisuja aiemmista tutkimuksista ja DORF II - projektissa kehitetystä toiminnan tietomallista. Toiminnan tietomallista etsittiin parametreja, joilla pystytään vaikuttamaan prosessin tehokkaampaan toimintaan ja haasteiden vähentämiseen.

Tutkimus on induktiivinen tapaustutkimus, jossa keskitytään johtopäätöksien ja mallin tekemiseen sekä pyritään selittämään asioiden kontekstia ja luonnetta. Tavoitteena on luoda uutta ymmärrystä. Tutkimuksessa keskitytään DORF II -projektiin osallistuneen kahden yrityksen betonielementtitoimintaan ja etsitään uuden mallin parametrit. Tutkimuksen lähtökohtana on ollut näiden kahden yrityksen näkemät haasteet betonielementtiprosessissa. Haasteet on saatu esille haastatteleamalla molempien yritysten edustajia keväällä 2016. Ratkaisuja haasteisiin on etsitty aiemmista tutkimuksista, betonielementtiprosessiin kytkeyty-

vien toimijoiden haastatteluista sekä toiminnan tietomallin määrittelystä. Toiminnan tietomallin määrittelyssä ovat olleet mukana Saimaan ammattikorkeakoulun ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston projektihenkilöstö, projektin ohjausryhmä ja projektiin osallistuneiden yritysten edustajat. Toiminnan tietomallia on työstetty erilaisissa työpajoissa erilaisin kokoonpanoin ja eri teemoin.

Tutkimusraportti koostuu seitsemästä osasta, joista ensimmäisessä osassa aukaistaan tutkimuksen taustaa ja tarkoitusta, toisessa osassa keskitytään yleisesti rakennusalaan ja siihen liittyviin erityispiirteisiin, kolmannessa osassa syvennytään rakennusten tietomalleihin ja tietomallintamiseen, neljännessä osassa paneudutaan toiminnan tietomallin määrittelyihin sekä kartoitetaan edellytykset toiminnan tietomallille, viidennessä osassa tutustutaan betonielementtiprosessin haasteisiin yritysten näkökulmasta, haetaan ratkaisuja aiemmista tutkimuksista ja kytketään toiminnan tietomalli betonielementtiprosessiin, kuudennessa osassa käydään läpi keskeiset tulokset, arvioidaan tuloksia ja esitetään jatkotoimenpiteet sekä viimeisessä eli seitsemännessä osassa kootaan työ yhdeksi kokonaisuudeksi.

## 2 RAKENTAMISEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ

Rakentaminen on monimutkainen kokonaisuus, jolla on vankat, perinteisiin pohjautuvat ominaispiirteet ja toimintatavat. Rakennukset, varsinkin julkiset rakennukset, ovat ainutlaatuisia kokonaisuuksia, jotka eivät toteudu samanlaisessa muodossa eivätkä samojen rakentajien toimesta toista kertaa. Jopa talopaketit, joita pidetään liukuhihnatuotteina, toteutuvat lopulta jokaisen ostajansa näköisenä ja eri toimijoiden yhteistyön tuloksena. Voidaan sanoa, ettei ole olemassa kahta samanlaista rakentamiseen liittyvää toteutusta, jotka toteutuisivat saman suunnitelman tai rakentajaryhmän mukaisina.

Ainutlaatuisen arkkitehtuurinsa lisäksi rakennusprosessiin liittyy monia eri alojen asiantuntijoita, jotka eivät ole saman yrityksen sisältä. Karhun, Keitelän ja Lahdenperän (1997, 9) mukaan rakennusprosessin ainutlaatuisuuden, kertaluontoisuuden ja eri yrityksistä osallistuvien erityisasiantuntijoiden suuren määrän vuoksi rakentamisen kokonaisprosessin johtaminen ja koordinointi on hankalaa. Rakennushankkeen johtamista vaikeuttaa entisestään se, että rakentamiseen liittyy moninaisia vaiheita ja tehtäviä, jotka ovat toisistaan erittäin riippuvaisia ja haavoittuvaisia mahdollisille häiriöille (Ibid). Sen vuoksi onkin vaikeaa löytää yhtenäistä toimintatapaa, joka sopisi kaikille organisaatioille ja toimijoille. Siitä syystä myös yritysten on vaikea sitoutua yhteisiin sääntöihin, joilla edesautettaisiin uusien yhteisten toimintatapojen kehitystä ja edistymistä.

Timo Silén (1997, 43) kuvaa kansallista laatustrategiaa koskevassa selvityksessään rakennusalaan sisäänpäin kääntyneenä klusterina, jossa keskitytään mekaaniseen sääntöjen noudattamiseen ja hallinnointi on korvannut täysin johtajuuden. Lisäksi Silénin mukaan mekaanisten sääntöjen noudattamisen takia aivojen käytölle ja luovuudelle ei anneta tilaa. Silénin toiminnan arviointimallissa rakennusklusteri pyrkii näennäislaatuun, jossa laadun ja asiakaskeksisen toiminnan kehittämiseen ei panosteta. Rakennusosalalla ei myöskään pyritä tulokselliseen yhteistyöhön toimintaverkoston organisaatioiden kanssa. (Silén 1997, 43 & 72.) Nämä kaikki yhdessä aiheuttavat erilaisia ongelmia laatuun, yhteistyön tekemiseen ja yhteisen tavoitteen saavuttamiseen eli rakennuksen valmistumiseen.

Koivun (2002) mukaan rakennusyrietykset puolestaan mieluummin pyrkivät kustannussääntöihin kuin parempaan laatuun korkeammalla hinnalla. Koivun mukaan rakennusalan laatua

määrittävät pääasiassa viranomaisvalvonta ja -ohjaus sekä rakennustuoteteollisuuden laadunvarmistusyhdistyksen tekniset hyväksynnit. (Koivu 2002, 40 & 41.) Sekä Silénin että Koivun argumentit kuvastavat pitkälti rakennusalan sisäänpäin kääntyneisyyttä ja ei-asiakaskeskeistä toimintatapaa myös nykyaikana. Rakennusalalla on onneksi tapahtunut kehitystä parempaan suuntaan edellä mainittujen julkaisujen jälkeen. Muun muassa rakennusten tietomallintaminen on enenevässä määrin pakottanut yritykset yhteistyöhön ja mahdollistanut asiakkaiden mukaan ottamisen rakennusprojektiin aikaisemmassa vaiheessa. Silti vanhoista tavoista on vaikea päästä eroon tai muuttaa niitä, jollei jokin ulkopuolinen taho pakota toimijoita siihen.

Kehitettävää on siis vielä ja mallia voitaisiin ottaa muista maista. Esimerkiksi RAKLIn Kustannuserot Itävallan ja Suomen asuinkerrostalokohteissa -tulosraportissa (2016) todetaan, että Itävallassa on sopimusasiakirjoissa kaikilla hankkeen osapuolilla velvoite sovittaa työsuoritukset yhteen muiden osapuolten kanssa ennen töiden aloittamista, mikä lisää töiden tehokkuutta. Raportissa esitetään, että Suomessa pitäisi etsiä vastaavanlaisia toimia, joilla rakennuskulttuuria kehitettäisiin ja prosessia tehostettaisiin yhteisvoimin kustannusten alentamiseksi. Raportissa suositellaan myös etsimään keinoja, joilla lisätään kustannusten ja hinnoittelun näkyvyyttä. Raportin mukaan avoimuuden ja luottamuksen lisääminen osapuolten välillä tehostaisi prosessia ja alentaisi kustannuksia. (RAKLI 2016, 8, 14 & 16.)

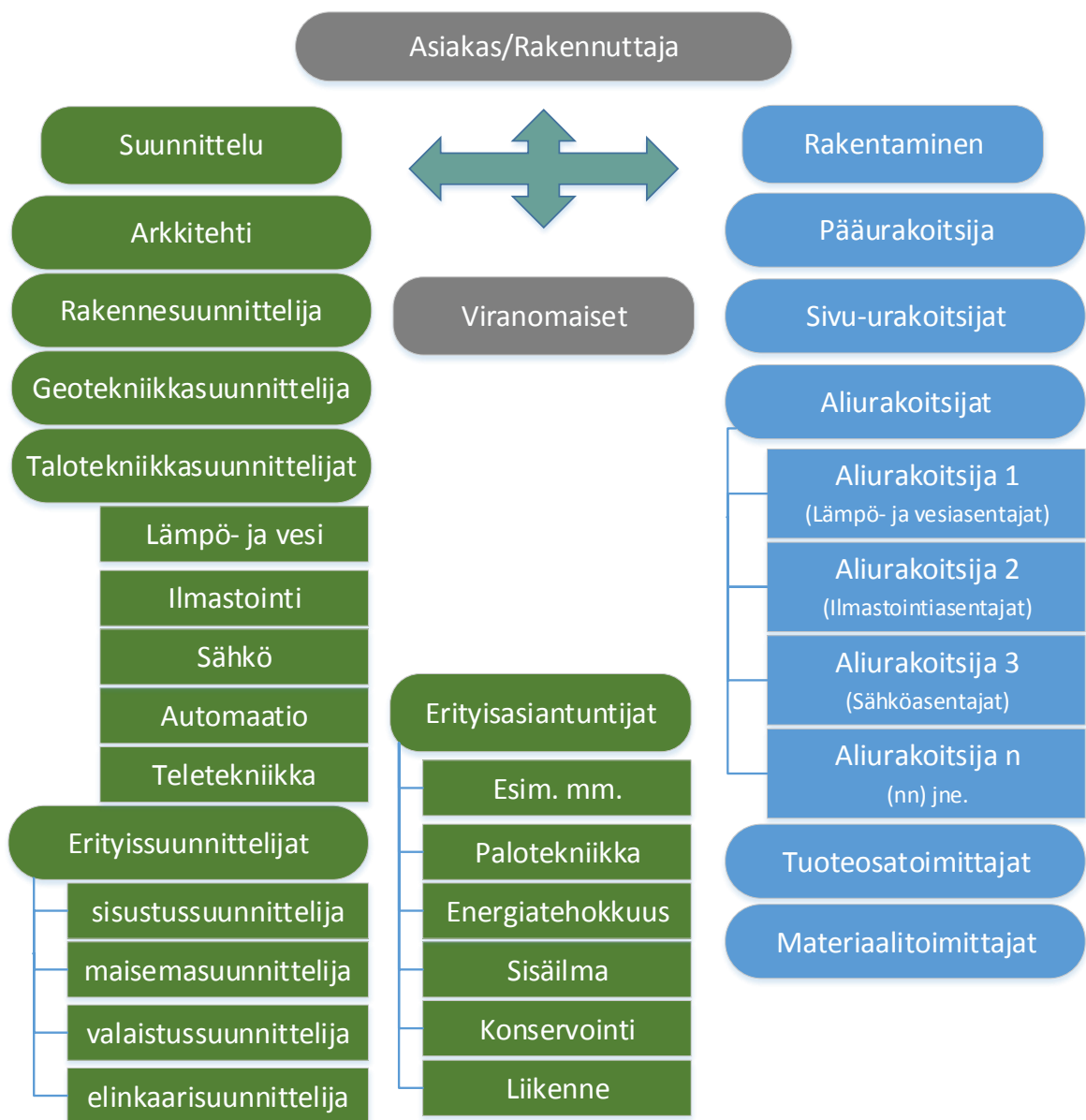
Kuten aiemmista tutkimuksista näkyy, eri toimijoiden välinen yhteistyö rakennushankkeessa on tiedostettu tärkeäksi tekijäksi niin prosessin kehittämisen kuin taloudellisuuden näkökulmasta, ja ei ainoastaan kansallisesti vaan myös kansainvälisesti. Suositeltavaa olisi myös ottaa prosessien tehostamisen ja tiedonvälityksen kannalta mallia muilta aloilta kuten autoteollisuudesta, jossa tuotetiedon hallintaa koko tuotteen elinkaaren ajalle on kehitetty jo useampien vuosien ajan. Myös haasteiden ratkaisuun voisi vastauksia löytyä muiden alojen vastaavanlaisista tapauksista.

## 2.1 Talonrakentamisen kokonaiskuva

Rakennushanke alkaa, kun rakennushankkeeseen ryhtyvä saa idean rakennuksesta ja vie asiaa eteenpäin suunnittelun ja rakentamisen kautta, päättyen siihen, kun rakennus on valmis. Rakennushankkeeseen ryhtyvä on luonnollinen tai juridinen henkilö, jolle rakentamisen

luvut on myönnetty, yleensä kiinteistön omistaja (RT10-11222, 2016, 1). Sopimusasiakirjoissa rakennushankkeeseen ryhtyvistä puhutaan yleensä rakennuttajasta tai tilaajasta.

Jo rakentamisprosessin alkuvaiheessa yksinkertaisimpiinkin rakennushankkeisiin liittyy useampi toimija muun muassa suunnittelija, rakentaja ja rakennusviranomainen. Vaativimmissa rakennushankkeissa mukana ovat tilaajan ja viranomaisten lisäksi eri suunnittelijat kuten arkkitehti, rakennesuunnittelija ja talotekniikkasuunnittelija. Varsinaisen rakentamisen alkaessa projektiin liittyy lisää uusia toimijoita kuten pääurakoitsija, rakentajat, sähkö-, lämpö- ja vesi-, ilmastointi-, automaatio- ja telekommunikaatioasentajat, kattoasentajat ja niin edelleen, ja joista jokainen voi olla eri yrityksestä. Lopullinen eri toimijoiden määrä koko rakennusprosessin ajalta on huomattavan suuri, kuten pääpiirteittäin kuvasta 1 näkyy. Kuvassa 1 esitetyistä toimijoista vain osaa tarvitaan pienemmissä rakennushankkeissa, mutta suuremmissa ja poikkeuksellisen vaativissa rakennushankkeissa saattavat kaikki toimijat olla edustettuina ja aliurakoitsijoiden määrä on useampia kymmeniä. Tulevaisuudessa rakennuksen varsinaiset käyttäjätkin pyritään saamaan rakennushankkeeseen mukaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jolloin rakennuksesta tulisi tilaajien ja käyttäjiensä toiveiden mukainen.

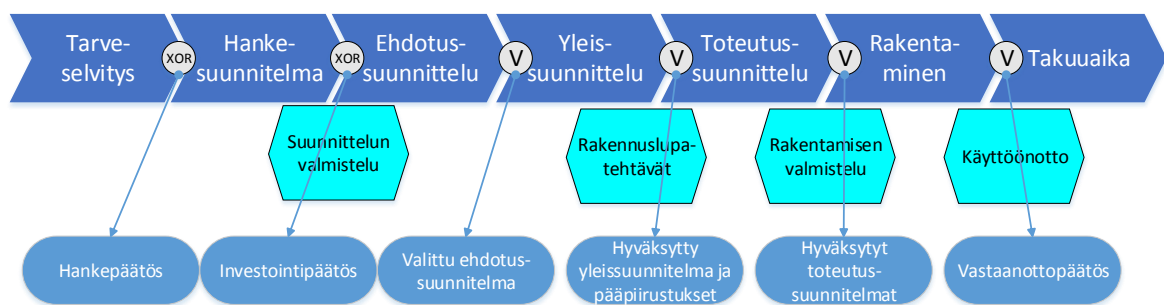


Kuva 1. Rakennusprosessiin osallistuvat toimijat pääpiirteittäin.

Rakennusprosessi on yksi monimutkaisimmista prosesseista, jossa on suuri määrä eri toimijoita eri yrityksistä työskentelemässä samanaikaisesti saman tuotteen valmistamiseksi. Lisäksi haasteita rakennusprosessiin tuo se, että toimintoja, kuten suunnittelua, rakentamista ja viranomaisvalvontaa, ei voida irrottaa toisistaan erillisiksi toiminnoiksi, vaan kaikki ovat tiiviissä kytköksissä toisiinsa.

Rakennushanketta säätelee maankäytön ja rakennuslain lisäksi asetukset, viranomaismääräykset ja ohjeet sekä erilaiset säännökset, joiden avulla viranomaiset valvovat rakennushanketta ja joita noudattamalla suunnitelmat ja rakentaminen tulee tehdä. Rakennuslain lisäksi rakentamista ohjaa voimakkaasti Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMK), joka sisältää velvoittavia määräyksiä ja ohjeita hyväksytyistä ratkaisuksista. Rakennustuotteita ja materiaaleja ohjaa puolestaan tuotehyväksyntälaki, johon on sisällytetty Euroopan unionin rakennustuotedirektiivit. Rakennushankkeessa voidaan edellä mainittujen lisäksi hyödyntää myös muita standardeja ja ohjeita, jotka ovat vapaaehtoisia asiantuntijaohjeita.

Talonrakennushanke jakautuu useampaan vaiheeseen ja päätökseen, joiden pohjalta tähdätään systemaattisesti valmiiseen rakennukseen. Talonrakennushankkeen vaiheet näkyvät kuvasta 2 (RT 10-11224, 2016, 1).



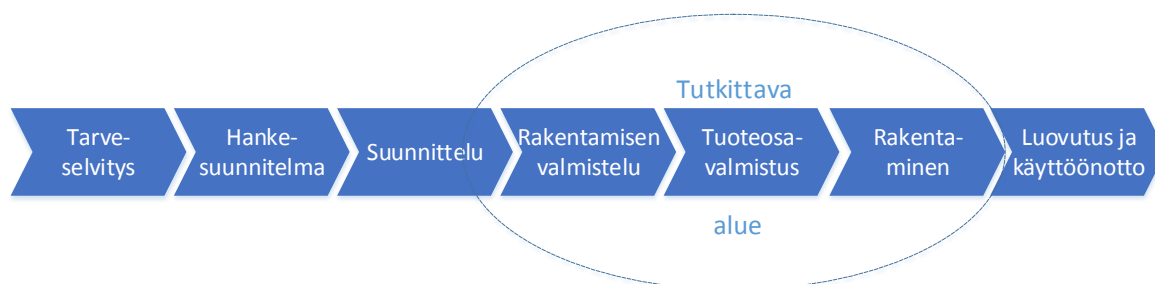
Kuva 2. Talonrakennushankkeen vaiheet Rakennustietosäätiön RT-kortin 10-11224 (2016, 1) mukaan.

Yleensä prosessilla on omistaja, joka on kiinnostunut sen johtamisesta ja kehittämisestä. Rakennusprosessin yhtenäistäminen ja toimintatapojen samanlaiseksi saaminen ovat hankalaa, sillä Karhun ym. (1997, 9) mukaan rakennusprosessiin liittyvillä eri toimijoilla on kiinnostusta kehittää vain omaa toimintaansa ja prosessejaan tehokkaammaksi ja kustannuksiltaan matalammaksi, muttei koko prosessia. Koivun mukaan organisaatiot puolestaan eivät niinkään halua kehittää rakennusprosessia tai rakennuksen laatua, vaan ne tähtäävät ennemminkin standardien mukaiseen laatu-järjestelmään tai todistukseen vastaavuudesta standardiin (Koivu 2002, 51). Rakennusprosessin kokonaiskehittämistä tarvittaisiin ehdottomasti, varsinkin digitaalisuuden ja tietomallien yleistyessä sekä yhteistyön lisääntyessä eri toimijoiden välillä. Koivun (2002, 55) mukaan tulisi löytää keinoja, joilla voidaan moti-

voida rakennusprosessin eri osapuolia kehittämään prosessia yhteistyönä ja kokonaisuutena, eikä kehittää vain oman prosessin osa-aluetta. Rakennusprosessin koostuessa useista erilaisista vaiheista ja eri organisaatioiden toimijoista, ei voida myöskään välttyä ongelmilta ja mielipide-eroilta (Karhu ym. 1997, 9 & 11).

## 2.2 Betonielementtiprosessi rakennushankkeen osana

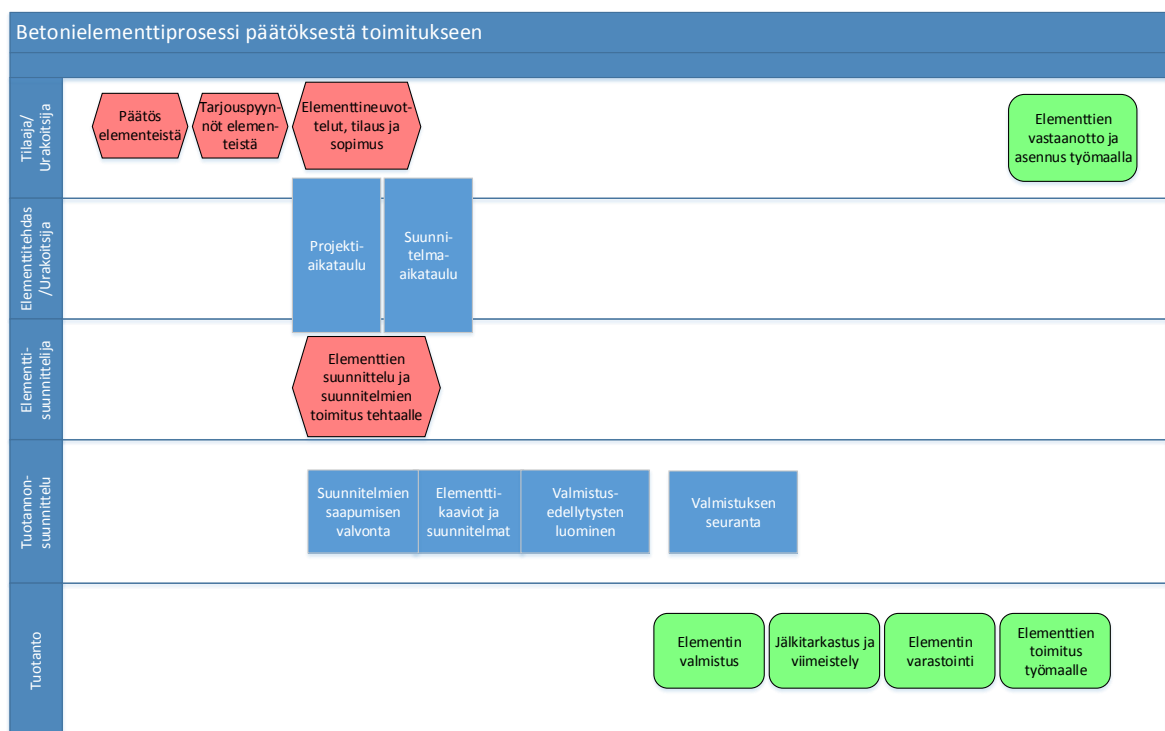
Yleisesti toimitusketjusta puhutaan teollisuuden aloilla, joissa tavaraa ja materiaalia liikkuu yritykseltä toiselle. Rakennusalalla toimitusketjuja on monenlaisia ja suurimmassa osassa niistä liikkuvat tavarat ja materiaalit ovat kokoluokaltaan isoja. Yksi rakennusalan toimitusketjuista on valmisosarakentaminen, johon paneudutaan tässä tutkimuksessa (kuva 3). Valmisosarakentamisesta otetaan tarkastelun kohteeksi tarkemmin betonielementtiprosessi, joka alkaa päätöksestä valita rakennuksen rakenteiksi betonielementit ja loppuu elementtien asentamiseen rakennustyömaalla.



Kuva 3. Rakennusprosessin vaiheet ja tutkimusalue.

Betonielementtiprosessi, kuten koko rakennusprosessikin, sisältää useita eri toimintoja ja toimijoita. Perinteistä betonielementtiprosessia on tutkittu paljon betonielementtivalmistajan kannalta, sillä tuoteosakauppaprosessista on pyritty saamaan mahdollisimman tehokas ja kannattava. Rakennusteollisuus ry ylläpitää kaikkia palvelevaa elementtisuunnittelu.fi-sivustoa, josta löytyy elementteihin liittyen tietoa liitoksista, valmisosarakentamisesta, suunnitteluprosessista, elementtien kaupasta ja asennuksesta. Sivustolta löytyy myös ohjeita, suosituksia ja apuvälineitä paremman prosessin hallintaan.

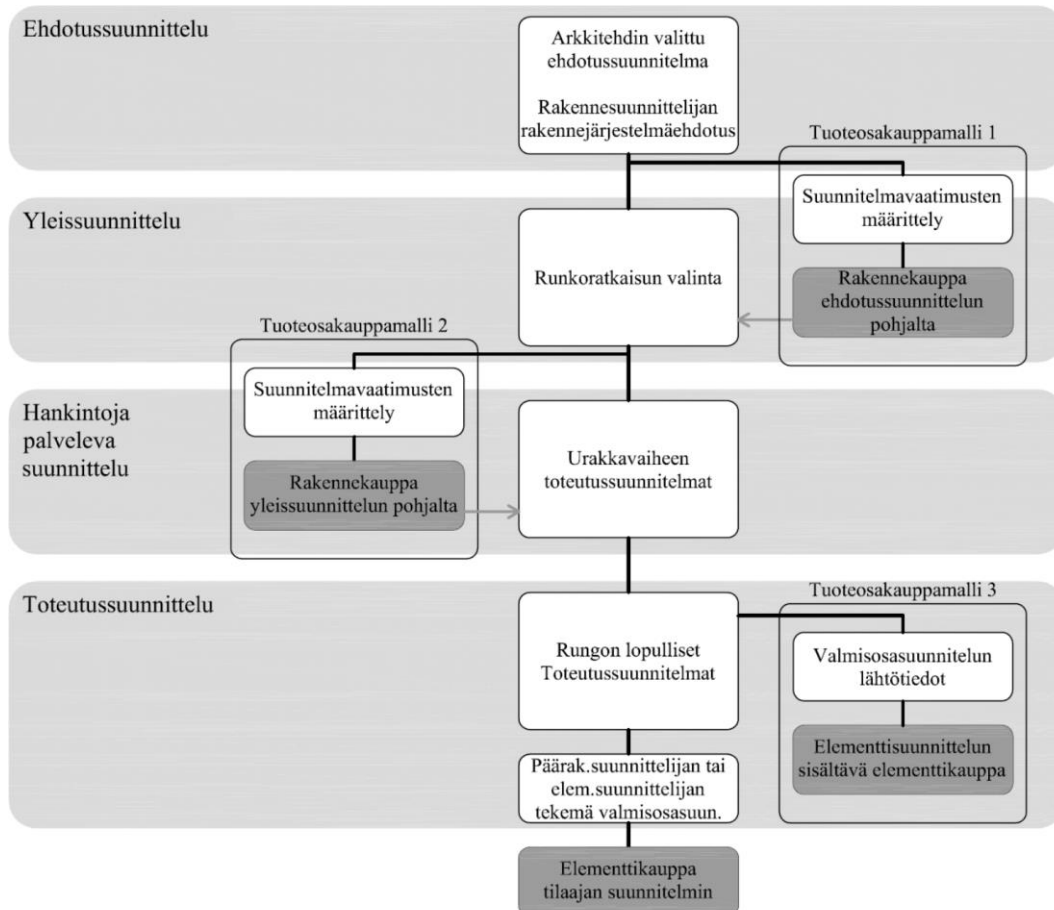
Kokonaisuudessaan betonielementtiprosessi koostuu kustannus-, aikataulu- ja resurssi-suunnittelusta niin urakoitsijan kuin betonielementtitehtaan osalta, elementtien ja tuotannon suunnittelusta, tuotannosta, kuljetuksesta, asennuksesta ja rakentamisesta. Myös tietomallintaminen on tullut mukaan betonielementtiprosessiin, ei niinkään erillisenä toimintona vaan uutena suunnitteluvälineenä, tietojen välittäjänä ja laajemmin katsottuna uutena toimintatapana. Kuvassa 4 on pääpiirteittäin betonielementtiprosessi lähtien päätöksestä valita elementit ja päättyen niiden työmaalle toimittamiseen.



Kuva 4. Betonielementtiprosessi pääpiirteittäin.

Betonielementtikauppa on tuoteosakauppaa, jolloin rakennusosan toimittaja vastaa pääosin tuotteen suunnittelusta, valmistuksesta ja asennuksesta. Betonielementteihin liittyvät tuoteosakaupat jakaantuvat kolmeen erilaiseen tuoteosakauppamalliin elementtien hankinta-ajankohdan perusteella. Kuvassa 5 näkyy tuoteosakauppojen jaottelu hankinta-ajankohdan perusteella. Valitusta tuoteosakauppamallista riippuen kukin kauppaan liittyvä toimija vastaa omalta osaltaan elementteihin liittyvien tietojen toimittamisesta sovitussa aikataulussa, jotta betonielementit saadaan rakennustyömaalle suunnitelmien mukaisesti. Tu-

teosakaupoissa noudatetaan rakennuslakien, asetusten ja säädösten lisäksi Rakennustuotteiden yleisiä hankinta- ja toimitusehtoja (RYHT 2000) ja Rakennusurakan yleisiä sopimusehtoja (YSE1998).



Kuva 5. Tuoteosakauppojen jaottelu elementtien hankinta-ajankohdan perusteella. (Harmanen 2010, 49.)

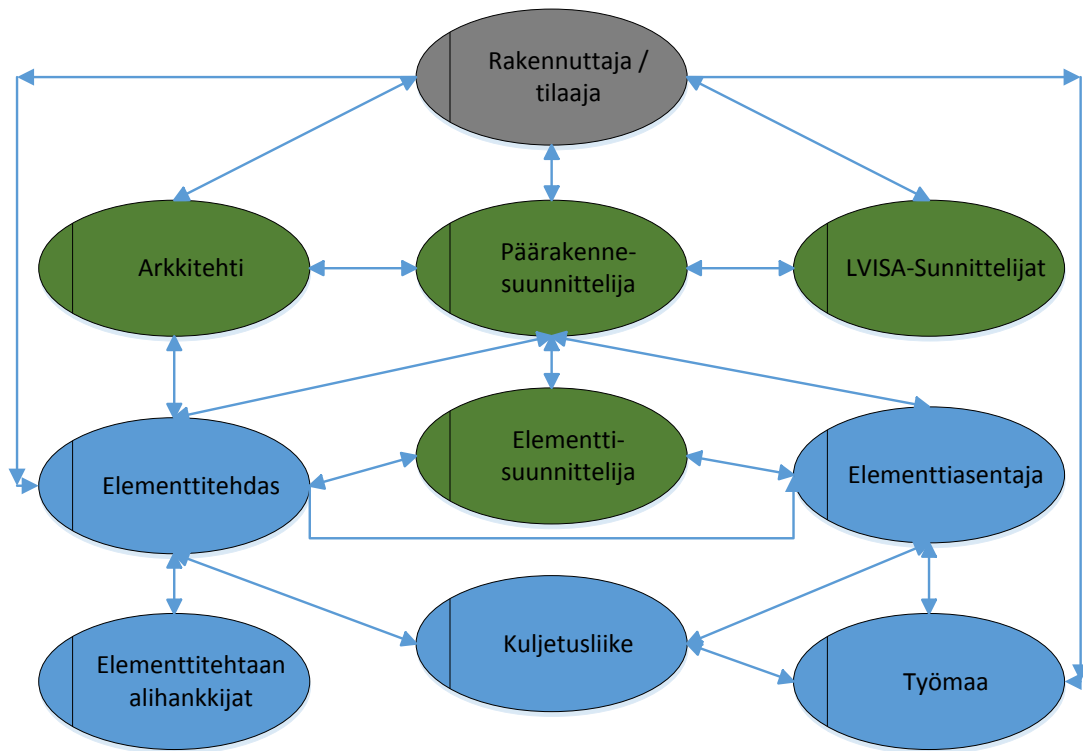
Perinteisessä valmisarakentamisen tuoteosakaupamallissa 1 elementtikauppa tehdään arkkitehdin ehdotussuunnitelman pohjalta ja tuoteosakaupamallissa 2 elementtikauppa tehdään puolestaan hankintoja palvelevan suunnittelun pohjalta. Tuoteosakaupamallissa 3 elementtien toimittaja tekee myös elementtien suunnittelun.

Harmanen uudisti diplomityössään tuoteosakaupan nimeksi rakennekauppa ja lisäksi jaotteli elementtikaupamallit toimituksen laajuuden mukaan (Harmanen 2010, 50). Taulukossa 1 Harmanen esitys.

Taulukko 1. Elementtikaupamallien jaottelu toimituksen laajuuden perusteella (Harmanen 2010, 50).

Tuoteosa- kaupamalli nro.	Nimi (käytetään myös nimeä)	Rakennejärjestelmän kehitys	Rakennesuunnittelu	Elementtisuunnittelu	Punossuunnittelu	Valmistus	Asennus
1	Rakennekauppa ehdotussuunnittelun pohjalta (ST runkourakka, ST julkisivu-urakka)	X	X	X	X	X	X
2	Rakennekauppa yleisuunnittelun pohjalta (Runkourakka, Julkisivu-urakka)		X	X	X	X	X
3	Elementtisuunnittelun sisältävä elementtikauppa			X	X	X	(X)
-	Elementtikauppa tilaajan suunnitelmin				(X)	X	(X)

Kuten rakentamisprosessiinkin niin myös betonielementtiprosessiin liittyy suuri määrä toimijoita. Betonielementtiprosessin toimijat, kuten rakentamishankkeen toimijat, ovat pääasiassa eri yritysten edustajia, joilla on erilaiset tehtävät betonielementtien valmistumiseksi. Petri Suutarinen on kuvannut diplomityössään elementtiprosessiin liittyvät toimijat, niiden väliset yhteydet ja tietovirrat toimijoiden välillä (Suutarinen 1990, 20). Elementtiprosessin toimijat ja tietovirrat on esitetty kuvassa 6 mukailleen Suutarisen kaaviota aiheesta.



Kuva 6. Elementtiprosessin toimijat ja tietovirrat (mukaillen Suutarinen 1990, 20).

Mikko Harmanen on kehittänyt betonielementtikohteiden tietomallipohjaista suunnitteluprosessia, jota myös Rakennusteollisuus ry on käyttänyt pitkälti apunaan omalla internetsivustollaan elementtisuunnittelu.fi. Tietomallipohjainen betonielementtiprosessi on kuvattu tarkasti niin aikataulujen kuin sisältöjen osalta elementtisuunnittelusivustoilla (Betoniteollisuus & Talonrakennusteollisuus 2012, 1-16) ja Harmanen diplomityössä (Harmanen 2010, 48-73).

Aikatauluihin liittyen betonielementtiprosessissa toimiville annetaan ohjeet suositelluista aikatauluista, joita noudattamalla tulos olisi kaikkien osapuolien osalta mahdollisimman toimiva. Aikataulusuosituksista huolimatta, aikataulujen noudattamiseen vaikuttavat kuitenkin koko rakentamishankkeen aikataulu, elementtien valinnan ajankohdat, elementtitehtaiden mahdollisuudet vastata tarjouspyyntöihin sekä elementtien kustannukset suhteessa koko rakennushankkeen kustannuksiin. Aikatauluista sovitaan vielä erikseen tarjousneuvotteissa ja sopimuksen solmimisen yhteydessä tilaajan ja betonielementtitehtaan kanssa.

Taulukossa 2 näkyy betonivalmisosatoimitusten suositeltava aikataulutus Harmasen mukaan. Aikataulutus löytyy myös Betoniteollisuuden ja Talonrakennusteollisuuden ylläpitämillä internet-sivuilta.

Taulukko 2. Betonivalmisosatoimitusten aikataulutus (Harmanen 2010, 11).

<b>Tehtävä</b>	<b>viikkoa ennen toimituksen aloitusta</b>
valmisosien tarjouspyyntö	13-18
toimitussopimus	10-15
valmisosasuunnittelun aloituskatselmus/aloituskokous, alustava työmaasuunnitelma	12-14
suunnittelun lähtötiedot	9-14
valmisosasuunnittelun aikataulu ja aloitus	9-13
tieto erikoismateriaaleista ja erikoiskuljetuksista	8-10
elementtikaaviot	8-9
punossuunnittelu, koe-elementit, muut ennakkokokeet	6-7
mallielementtien katselmus	5-6
valmistuskuvat lohkoittain ja valmistuksen aloitus, karkea asennusaikataulu	4-6
elementtien asennusaikataulu lohko-/kerrostarkkuudella	3-4
asennustyön aloituskokous työmaalla	1-2

Harmasen työssä on kuvattu aikataulusuosituksen lisäksi myös sisällöllisesti kunkin toimijan tehtävät kussakin suunnitteluvaiheessa kolmen eri tuoteosakaupan mukaan jaoteltuina. Kunkin toimijan tehtävien osalta on korostettu tehtäviä, jotka kussakin vaiheessa ovat ratkaisevia tai tärkeitä. Tarkemmin tehtävät ja jaottelu ovat nähtävissä prosessikaaviosta, joka löytyy sekä Mikko Harmasen diplomityöstä että elementtisuunnittelu.fi-sivustolta.

Rakennesuunnittelussa käyttöön otettu tietomallintaminen on tullut osaksi myös betonielementtisuunnittelua. Betonielementtien mallinnukseen on tehty ohjeistus (BEC2012), jonka tarkoituksena on määrittellä pelisääntöjä betonielementtien tietomallinnukselle, joita kaik-

kien tietomallintajien suositellaan noudattavan. Ohjeistuksessa ei oteta kantaa, millä työkalulla mallinnus tulisi tehdä, vaan määritellään tietomallin oikea sisältö, jotta mallit olisivat samankaltaisia suunnittelijasta tai mallintajasta riippumatta. (Betoniteollisuus ry 2012, 4.) Ohjeistusta noudattamalla malleja voivat hyödyntää rakennesuunnittelijoiden lisäksi muut toimijat, kuten urakoitsijat ja betonielementtitehtaat.

Huomattavaa on myös, että tietomallipohjaisessa betonielementtiprosessissa elementtitoimijan on mahdollista saada elementtien tiedot tuotantomalliin, mikäli elementtisuunnittelu on tehty tietomallintamalla (Harmanen 2010, 62). Tietomallien parempi hyödyntäminen nopeuttaa aikataulullisesti ja myös tiedollisesti kaikkia osapuolia. Ongelmana on, että vaikka elementtisuunnittelija sisällyttäisi elementtisuunnitelmiin kaiken mahdollisen tarvittavan aina raudoitukseen asti, elementtitehtaat eivät vielä pysty hyödyntämään annettuja tietoja omassa tuotannossaan (Koikkalainen 2017). Syynä tähän on se, että elementtitehtaiden järjestelmät eivät pysty vastaanottamaan tietomallien tuottamaa tietoa annetussa tiedostomuodossa ja toisaalta osaamistakaan ei vielä löydy tarpeeksi tietomallien käyttöön.

### 2.3 Tiedonsiirto ja -hallinta rakennusprosessissa

Rakentamiseen liittyvien eri toimijoiden takia tiedonhallintaan ja -kulkuun tulee kiinnittää erittäin suurta huomiota. Valitettavasti rakentamisessa juuri tiedonhallinnassa ja -kulussa esiintyy suuria puutteita, puhuttiinpa sitten koko rakennusprosessista tai yksittäisestä rakennusprosessin osasta. Jopa Rakennustieto Oy on julkaissut erillisen ohjekortin valmisosarakentamisen tiedonhallinnasta (RT 10-10995), jotta saataisiin varmistettua hankkeen osapuolten tarvitsemien tietojen saatavuus ja oikea-aikaisuus (RT 10-10995, 2010, 1). Ohjekortin mukaan tiedonsiirrosta tulisi tehdä sopimus, jossa otetaan huomioon seuraavat asiat:

- tiedon omistusoikeus,
- tiedon käyttöoikeus
- vastuu tiedon oikeellisuudesta (tiedon tuottajalla)
- tiedon talletuspaikka
- tiedonsiirron muoto
- tiedonsiirron järjestely

Lisäksi ohjekortissa korostetaan, että siirrettäessä tietoja sähköisessä muodossa on tiedonsiirrosta sovittava yksityiskohtaisesti (RT 10-10995, 2010, 2).

Asad, Khalfan ja McDermott (2000) ovat koonneet yhteen rakennushankkeen tiedonhallintaan liittyviä tutkimustuloksia eri tutkimuksista. Tutkimustulosten mukaan rakennusprosessissa sujuvalla tiedonhallinnalla yli organisaatio rajojen saavutetaan monia etuja ja vahvistetaan kilpailuasemaa muihin toimijoihin nähden. Yritysten yhteisillä tiedonhallintamekanismeilla saavutettavia etuja ovat muun muassa kulujen ja ajan väheneminen tuottavuuden lisääntyessä, prosessien (niin omien kuin yritysten yhteisten) kehittyminen paremmaksi ja tiedon välityksen paraneminen (niin omassa yrityksessä kuin yritysten välissä kanssakäymisessä). Tutkimustulosten mukaan myös asiakaskeinen toimintatapa kehittyy ja samalla asiakastytyväisyys lisääntyy. Tutkimustulosten perusteella rakenteiden ja prosessien läpinäkyvyys lisääntyy, päätösten ja ennusteiden tekeminen helpottuu ja laatu paranee. Edellä mainitut parannukset näyttäytyvät laadukkaampana henkilöstönä ja työtyytyväisyyden lisääntymisenä sekä menestyksen lisääntymisenä ja markkinaosuuden kasvamisena. (Asad, Khalfan & McDermott 2000. s.229.) Jos edellä mainitut edut saataisiin todistettavasti osoitettua rakennusalan toimijoille, kaikki toimijat hyödyntäisivät tietomallintamista.

Betonielementtitehtaat, kuten kaikki rakennusalalla toimivat, joutuvat tietomallintamisen yleistyessä miettimään omien järjestelmiensä uusimista tai ainakin kehittämistä, jotta pysyvät vastaanottamaan ja hyödyntämään tietomallien tarjoamat tiedot. Asadin ym. mukaan (2000, 230) uutta yhteistä tiedonhallintajärjestelmää suunniteltaessa tulee ensimmäiseksi arvioida yritysten valmius tehdä yhteistyötä toistensa kanssa ja jakaa tietoa yli organisaatiorajojen. Yritysten tulee välittää tietoa yrityksessä yhteisistä päämääristä ja tavoitteista, jotta tieto saadaan välitettyä yli organisaatiorajojen. Huomiota tulee kiinnittää myös yritysten rakenteisiin ja kulttuuriin toimia yhteistyössä toisten yritysten kanssa. Yritysten yhteinen tiedonhallinta tulee onnistumaan paremmin, mikäli yritysyritys yhteistyö jatkuu pitkällä tähtäimellä ja opitaan useamman hankkeen aikana yhteisiä toimintatapoja, tiedonvälitystä ja -hallintaa. Pitemmällä aikavälillä yhteisellä kehittämisellä jaetaan tiedonhallinnasta aiheutuvat kulut. Yhteistä keskitettyä tiedonhallintaa suunniteltaessa on huomioitava, että edistetään yhteisiä tapoja toimia ja hyödynnetään yhteisiä standardeja, edistetään yhteisten tietojen jakamista erilaisin tietoteknisin välinein ja edistetään joustavuutta toimia vaihtelevissa olosuhteissa erilaisissa hankkeissa yhteisen päämäärän ja tavoitteiden mukaisesti (Asad, Khalfan & McDermott 2000. s.230-231).

Yrityksen pyrkiessä hyödyntämään tietomallintamista tietojen välityksessä tuotannonohjausjärjestelmiin ja rakennusten ylläpitoon tai elinkaarenhallintajärjestelmiin, yrityksen on varauduttava väliaikaiseen tuottavuuden pudotukseen. Holzerin (2014, 81) mukaan muun muassa henkilöstön uudelleen kouluttaminen tai uusien asiantuntijoiden palkkaaminen, yrityksen sisäisen ja yritysten välisten järjestelmien uudelleen organisointi sekä tietojen integrointi järjestelmiin aiheuttavat kustannuksia, joiden tulokset näkyvät vasta jonkin ajan kuluttua. Panostamalla tietomallintamiseen ja mahdollistamalla avointen tiedostomuotojen hyödyntämisen ja integroinnin kaikissa järjestelmissä yli organisaatorajojen, yritys saavuttaa kilpailukyvyyn globaaleilla markkinoilla, säästää radikaalisti tuotantokustannuksissa, kasvattaa pääomaa ja liikevoittoa sekä muuttaa roolia enemmän rakentajasta tuottajaksi. (Holzer 2014, 81.) Samalla yritys tehostaa voimakkaasti omaa toimintaansa ja tiedonvälitystä.

Harmanen (2015, 74) puolestaan toteaa, että tietomallintamista käytettäessä on huomioitava, että tiedonsiirron tulisi olla automatisoitua, jolloin vähennetään inhimillisiä virheitä ja tehostetaan prosessia. Lisäksi hän toteaa, ettei tietoa tulisi missään vaiheessa tulostaa, muuttaa tietoa paperille ja vielä muuntaa paperissa oleva tieto uudelleen digitaaliseksi toiseen tietojärjestelmään (Harmanen 2010, 74). Siirryttäessä digitaalisuudesta paperiversioon ja takaisin digitaalisuuteen menetetään tietomallintamisen idea, jossa tieto kulkee tietomalleissa alusta loppuun asti digitaalisesti. Vaihdettaessa digitaalisuudesta paperiversioon ja takaisin kasvaa inhimillisten virheiden syntyminen ja katoaa mahdollisuus hyödyntää tietoja omassa toiminnassa tarvitsemallaan tavalla ja ajantasaisesti.

Tulevaisuudessa rakennushankkeiden tiedonsiirrossa käytetään enenevässä määrin pilvipalveluja tietojen tallentamis- ja jakamispäikkänä tai projektipankkina. Tällöin eri osapuolilla on mahdollisuus päästä käsiksi samoihin yhteisiin materiaaleihin mistä ja milloin tahansa, kunhan toimintatavoista sekä tallentamis- ja jakamissäännöistä on sovittu yhteisesti. Useissa tutkimuksissa pilvipalvelujen on todettu olevan tehokas ja tuloksekas tapa toimia ja jonka avulla tiedot kulkevat reaaliaikaisesti toimijalta toiselle (Abedi, Rawai, Fathi, & Mirasa 2014, 7; Kim, Cheng, Sohn & Changin 2015, 237; Harmanen 2010, 75). Pilvipalveluisakin saattavat tietomallien suuret tiedostokoot aiheuttaa haasteita, mutta palvelimien kehittyessä tämäkin ongelma saattaa poistua.

Oleennaista tiedonsiirrossa ja jaettavien tietojen osalta näyttäisi olevan se, että tiedostot ovat sellaisessa muodossa, jotta kaikkien niitä käyttävien on mahdollista aukaista ne ja hyödyntää niitä. Tiedostot eivät voi olla ohjelmistosidonnaisia, sillä eri yrityksillä on eri ohjelmistoja, jotka eivät välttämättä vastaanota muiden ohjelmistojen tiedostoja. Talonrakennuksen puolella rakennusten tietomallit jaetaan yleensä avoimessa IFC-standardimuodossa, jolloin tiedostot ovat käytettävissä eri ohjelmilla ja tarvittavat tiedot siirtyvät tiedostojen mukana ohjelmistosta toiseen ohjelmistosta riippumatta. Avoimia tiedostomuotoja käytettäessä saattaa oleennaista tietoa jäädä siirtymättä, jolloin tiivis yhteistyö ja kommunikointi eri toimijoiden välillä on merkittävässä asemassa.

Toinen olennainen asia tiedonsiirroissa on, että yhteisesti sovittuja ja standardoituja ohjeita ja toimintatapoja on noudatettu tiedostojen tekemisessä. Tietomallintamisen osalta Suomessa löytyy ohjeistusta asiaan liittyen Yleisistä tietomallivaatimuksista 2012. Standardoitujen tiedostojen käyttö mahdollistaa tiedostojen käytön ohjelmistoista huolimatta ja täten myös yhteistyön tekeminen helpottuu. Ehkäpä jossain vaiheessa voidaan jopa puhua rakennusalan yhteisestä avoimesta tuotetietomallista, joka on kaikkien hyödynnettävissä.

### 3 TIETOMALLINNUKSEN RAKENNUSALALLA

Kuten aiemmin todettiin, rakennusala digitaalisuuden merkittävin ja näkyvin muoto on tietomallintaminen. Tietomallintaminen on merkinnyt rakennusala suurta muutosta, kun tietomallintaminen on pikkuhiljaa saanut jalansijaa rakennusalan toimijoiden välisenä uutena työtapana. Lisäksi tietomallintaminen ei ole ainoastaan tuonut digitaalisuutta alalle, vaan se on muuttanut ja muuttaa edelleen jatkuvasti perinteisiä toimintatapoja. Tietomallintaminen vähentää omalta osaltaan virheitä ja kustannuksia, mutta toisaalta tuo uusia haasteita perinteiseen toimintatapaan ja asenteisiin. Tietomallintamisen käytön lisääntyessä tietomallintamisen tuomia haasteita on tarpeellista tutkia ja levittää tietoa tutkimustuloksista, jotta alan toimijat välttyvät toistuvilta virheiltilta ja pystyvät kehittymään paremmin.

Tietomallinnus rakennusala tarkoittaa sekä käytettävää teknologiaa että yhteistyöhön perustuvaa prosessia. Tietomallinnuksen tulisi teoriassa helpottaa kaiken olennaisen tiedon esitystä digitaalisessa muodossa sekä tiedon välitystä, käyttöä ja uudelleen hyödyntämistä rakennuksen koko elinkaaren ajalta aina suunnittelusta rakennuksen ylläpitoon asti. (Jupp & Nepal 2014, 45.) Tietomallintamisen avulla pyritään luomaan rakennuksesta paremmin hahmotettava kuva visualisoinnin avulla kaikille rakennushankkeeseen osallistujille, jopa rakennuksen loppukäyttäjälle. Lisäksi tietomallintavalla tehtyjä rakennuksen tietomalleja voidaan hyödyntää analyysien ja simulaatioiden tekemiseen sekä työkulujen johtamiseen (Jupp & Singh 2014, 35).

Tietomallintamista käytetään rakennushankkeissa melko laajasti varsinkin pääkaupunkiseudulla ja isoimmissa rakennuskohteissa. Ei voida vielä puhua täysin tietomallipohjaisesta suunnittelemisesta tai rakentamisesta, mutta usein rakennushankkeen toimijat käyttävät tietomallintamista, vaikka rakennuskohteen tilaaja ei sitä olisi vaatinutkaan. Tietomallinnusta käyttävät ovat huomanneet tietomallien tuovan enemmän hyötyjä kuin haittoja, myös pelkästään omaa käyttöä varten tietomallinnettaessa. Tietomallintamista ovat tähän mennessä käyttäneet pääasiassa arkkitehdit sekä rakenne- ja talotekniikkasuunnittelijat. Enevässä määrin tietomalleja on hyödynnetty myös rakentamisessa, mutta ei vielä siinä laajuudessa, johon tietomalleja olisi mahdollista hyödyntää. Tietomallien käyttö rakennuksen ylläpidossa on vasta kehittyvässä vaiheessa.

Tietomallien avulla pyritään parantamaan ja tehostamaan tiedonhallintaa ja tiedon jakamista kaikkien osapuolien välillä. Toisaalta tietomallien avulla pyritään helpottamaan päätöksentekoa ja havainnollistamaan visuaalisesti rakennusta niin tilaajille, rakennusallalla toimiville kuin rakennuksen tuleville käyttäjille. Haasteita tietomallien ja tietomallinnuksen käyttöön luo se, että uusien käyttäjien on aluksi vaikea ymmärtää, mistä tietomallissa on kysymys ja mihin sitä voidaan käyttää. Haasteellista on myös oivaltaa käyttää kaikille yhteisiä standardeja sovitulla tavalla ja toimia yhteisten ohjeiden mukaisesti, jotta tietomallista saadaan tarkoituksen mukainen ja kaikkia osapuolia hyödynnettävä.

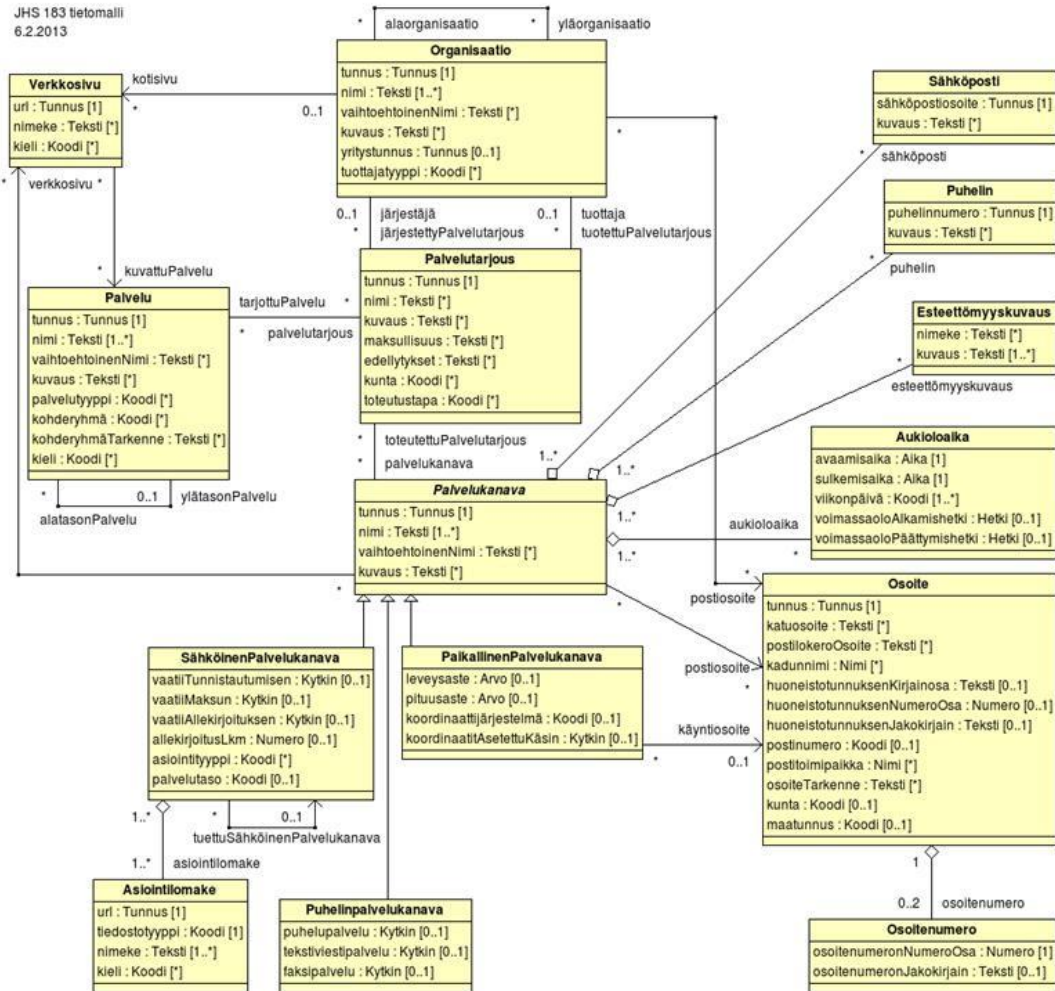
Oletettavaa on, että lähivuosina tietomallit tulevat olemaan olennainen osa rakennusalan toimijoiden toimintaa ja muutaman kymmenen vuoden kuluttua tietomallintaminen on yhtä joka päiväistä kuin tällä hetkellä tietokoneiden käyttö työvälteenä alalla kuin alalla. Toivottavaa on, että rakennuksen varsinaiset käyttäjätkin pääsevät jossain vaiheessa osalliseksi tietomallin tuomista hyödyistä ja mahdollisuuksista.

### 3.1 Tietomallin määritelmä ja olemus

Tietomallilla tarkoitetaan tietojen formaalia määrittelyä, jossa määritetään tiedot ja niiden väliset yhteydet. Käytännössä tietomalli on esitystapa, jolla yhdistetään mikä tahansa konsepti ja siihen liittyvät elementit, rajoitteet, säännöt ja operaatiot. Tietomalleissa on määritettyinä erilaiset attribuutit, relaatiot ja tietotyypit, joista voidaan johtaa tietomallin rakenne. Attribuutit kuvastavat kunkin osan tai parametrin ominaisuuksia ja relaatiot puolestaan osien tai parametrien suhteita toisiinsa. Tietotyypit määrittävät sen, mitä kyseisellä tiedolla voidaan tehdä. Tietotyypit jaetaan merkkijono-, numeeriset ja aikatietotyyppeihin ja niistä jokainen kuvastaa omalta osaltaan tietomallin rakennetta. Attribuutti-, relatio-, sekä tietotyyppimäärittysten jälkeen tietomallista voidaan koneellisesti johtaa tietokantarakenne, jota voidaan hyödyntää erilaisiin tarkoituksiin.

Tietomallista käytetään myös joissain tapauksissa nimitystä käsitelmä. (Sarén 2014, 4). Käsitelmä ei määrittele IT järjestelmän tietorakennetta, vaan sääntöjä ja se on riippumaton käytettävästä teknologiasta. Käsitelmä yhdistetään pääasiassa liiketoiminnan prosessimalleihin. (Melama, H. & Österberg, J-E.). Tietomalli sanana on yleisemmin käytössä tietotekniikassa tietokantojen yhteydessä määrittäessä käsitteitä ja niihin liittyviä sääntöjä ja yhteyksiä. Kuvassa 7 näkyy esimerkki yleisestä tietomallista relatioineen, jonka Julkisen

hallinnon tietohallinto on tehnyt palveluista. Palvelujen tietomallissa on hyvin nähtävissä eri osatekijät määritteineen, tietotyyppineen ja relaatioineen.



Kuva 7. Esimerkinä palvelujen tietomalli. (Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2013, 8.)

Tässä tutkimuksessa käsiteltävä tietomalli on kehittynyt rakennusalalla aiemmin käytetystä tuotetietomallista vastaamaan koko rakennuksen tietoja kuvaavaa tietomallia. Rakennusalalla käytetään vielä joissain tapauksissa tietomallin sijasta tuotemallisanaa, mutta sen katsotaan kuvaavan tuotetiedon hallintaa ja olevan liian suppea kuvaamaan rakennusta kokonaisuudessaan. Nykyinen rakennuksen tietomalli -sana pohjautuu englanninkielisiin sanojen information model. Rakennuksen tietomalli -sanan eli Building Information Model

(BIM) katsotaan parhaiten kuvaavan rakennuksesta tehtyä kolmiulotteista virtuaalista mallia, siihen liittyviä tietoja ja niiden välisiä suhteita. Rakennuksen tietomallia voidaan pitää tietokantana, joka sisältää geometrisia, määrällisiä, sisällöllisiä, toiminnallisia ja ajallisia tietoja rakennettavasta kohteesta. (Hietanen 2005, 26-35.) Rakennuksen tietomalli toimii myös tietovarastona ja tiedon välityskanavana rakennushankkeen eri osapuolille.

### ***Rakennusten tietomallien määritelmä***

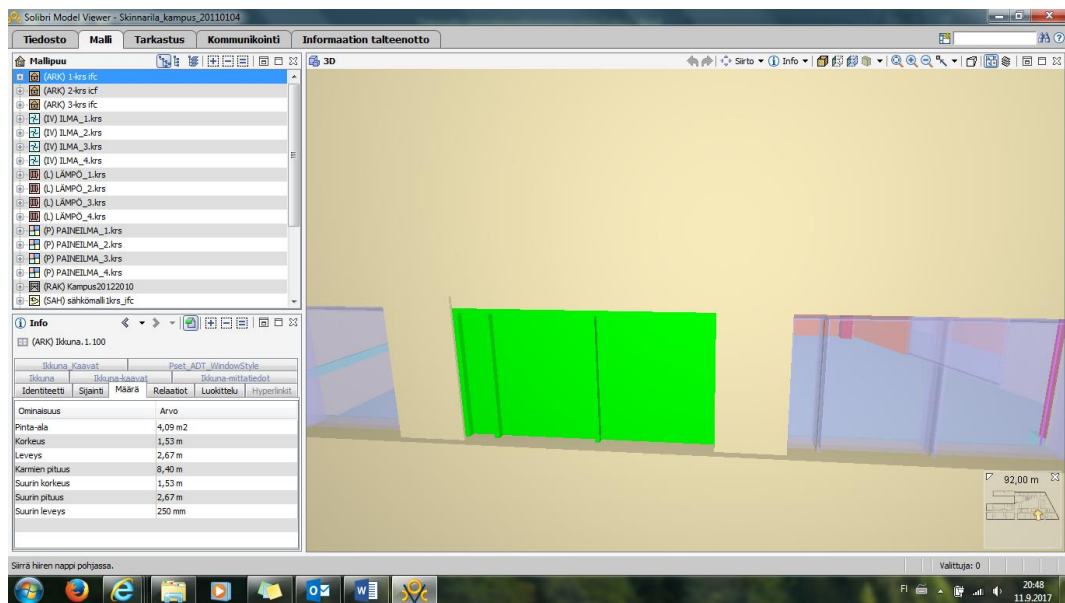
Jiri Hietanen on selventänyt tietomallien ja rakennusten suunnittelun yhteyttä jo tietomallituksen alkuaikoina. Hietanen kuvaa tietomallin koostuvan alkioista, joilla on ominaisuuksia ja yhteyksiä toisiinsa. Rakennuksessa alkioiksi luetaan seinät, ovet, ikkunat, laatat, pilarit, portaat, huonekalut ja niin edelleen ja jotka kytkeytyvät toisiinsa tavalla tai toisella. Tietomallin ”tietosisältö määrää tarkemmalla tasolla, mitä kaikkea tietomallilla voidaan tehdä”. (Hietanen 2005, 22-28.)

Hietasen mukaan rakennuksen tietomallit koostuvat kymmenestä erilaisesta ominaisuudesta. Ensinnäkin tietomallit ovat yksinkertaistettua todellisuutta, jossa malli kuvaa hyvin karkeasti tai varsin tarkasti likiarvoa todellisuudesta. Mitä tarkempi likiarvo on, sitä enemmän malli sisältää yksityiskohtia ja sitä vaikeampi sitä on muuttaa. Toiseksi tietomalleilla on rakenne, joka määrää, mitä sen avulla voidaan mallintaa ja mihin sitä voidaan käyttää. Esimerkiksi rakennuksen tietomallilla ei voida mallintaa autoa tai toisinpäin, vaikka sisältävätkin samoja osia kuten ikkunoita. Kolmanneksi tietomallit erottavat tiedon ja esityksen, jolloin tietomalliin tallennettu tieto voidaan suodattaa eri sääntöjen avulla ja esittää erilaisin näkymin kuten pohjapiirustuksina, leikkauksina, julkisivuina ja määräluetteloina. Neljänneksi tietomallit ovat aktiivisia, jolloin tietomallin alkiot, kuten seinät, ovat kytköksissä toisiinsa ja niiden muuttaminen vaikuttaa toisiin alkioihin. Viidenneksi tietomalleilla on käyttöliittymä, joka näkyy vuorovaikutteisina näkyminä. Kun seinää siirretään pohjapiirroksessa, välittyy siirtotieto tietomalliin ja on välittömästi esimerkiksi leikkausten ja julkisivujen käytössä. (Hietanen 2005, 29-32.)

Kuudenneksi Hietasen mukaan tietomallit ovat muokattavia, jolloin niitä voidaan muuttaa ja monistaa tarpeen mukaan luovuuden kärsimättä tai teknologian kulumatta. Muokattavuus auttaa käytännön työn tekemistä, kun muutoksen voi tehdä yhdellä kerralla dataan eikä erikseen jokaiseen esitykseen. Seitsemänneksi tietomallit rajaavat mahdollisuuksia, jolloin

reaalimaailma asettaa rajoituksia tai rajataan tietoisia tai virheellisiä mahdollisuuksia. Reaalimaailman rajoituksia voisi olla muun muassa ovi- tai askelkorkeus. Tietoisten mahdollisuuksien rajaamisessa on kyse esimerkiksi johonkin mitta- tai suhdejärjestelmään sitoutumisesta. Virheellisissä mahdollisuuksissa on kyse joko ohjelmiston tai objektin huonosta toteutuksesta, johon voidaan onneksi vaikuttaa. Kahdeksanneksi tietomallit ovat luotettavia, sillä ne toimivat oletusarvoisesti täsmälleen niin kuin niiden on käsketty toimia, myös silloinkin, kun ne toimivat väärin. Yhdeksänneksi tietomallit ovat mittakaavattomia eli skaalautuvia. Tietomallit voivat olla tietomäärältään erittäin suuria ja mutkikkaita, jos vain järjestelmän laskentatehot riittävät. Viimeiseksi eli kymmenenneksi tietomallit eivät ole paikkaan sidottuja eli niitä voidaan siirtää nopeasti ja edullisesti fyysisen median, verkkojen tai langattomien verkkojen välityksellä. (Hietanen 2005, 33-35.)

Voidaan siis sanoa, että rakennuksen tietomallilla on useita eri olemuksia, jotka sisältävät paljon tietoa ja jotka kytkeytyvät tiiviisti toisiinsa. Rakennuksen tietomalli on paljon enemmän kuin tietotekniikan tietomalli, sillä malliin on kytkeytynyt myös kolmiulotteinen visuaalinen näkymä. Rakennuksen tietomallin suomenkielisestä nimestä käydään edelleen keskustelua. Kyse on siitä, kuvaako tietomalli sitä mitä sen halutaan kuvaavan vai kuvaisiko tietomallia joku muu sana vielä paremmin tuotaessa esille rakennuksen ja tietomallintamisen omaleimaisuutta. Kuvassa 8 näkyy esimerkki rakennuksen tietomallista tietoineen, jossa näkyy oikealla puolella visuaalinen kuva ikkunasta ja vasemmalla puolella ikkunan kytkeytyminen muuhun rakennukseen sekä ikkunan yksilötiedot. Rakennuksen tietomallista on myös saatavissa IFC-tiedostomuodossa lista rakennuksen alkioista ja niiden välisistä yhteyksistä, mutta visuaalisesti siitä on vaikeampi hahmottaa kaikki alkiot, niiden yksilötiedot ja niiden väliset yhteydet.



Kuva 8. Esimerkki rakennuksen tietomallista tietoihin.

Rakennusten tietomallien käytössä on rakennusalan toimijoita ajatellen se hyvä puoli, että kaikki osapuolet voivat vastaanottaa tietomalleja, luoda niihin uusia tietosisältöjä ja jakaa omilla tietosisällöillään täydennetyt tietomallin muiden käyttöön. Olennaista on, että noudatetaan yhteisiä sääntöjä, standardeja ja ohjeita tietosisältöjä luotaessa tai täydennettäessä. Sujuva mallien ja tiedon välitys mallien avulla on vielä kehittyvässä vaiheessa, mutta mitä enemmän rakennusalan toimijat käyttävät malleja ohjeistuksien mukaisesti, sitä lähempänä ideaalista toimintaa lähestytään.

### 3.2 Tietomallinnus uutena toimintatapana

Vaikka tietomallintaminen on saanut alkunsa jo 1990-luvun alussa, Suomessa tietomallintamista on alettu käyttämään enemmän 2000-luvulla. Rakennusteollisuus RT ry:n Pro IT -hanke vuosina 2002 - 2005 loi pohjaa tulevalle tietomallintamiselle. Pro IT -hankkeen tavoitteena oli kehittää rakennusprosessiin kansallinen tuotemallipohjainen tiedonhallintatapa. Hankkeessa tuotemallipohjaisella tiedonhallinnalla pyrittiin parantamaan asiakaspalvelua, tehostamaan ja nopeuttamaan suunnittelua, parantamaan rakentamisen laatua ja tuottavuutta sekä edistämään rakennuksen elinkaaren hallintaa (Pro IT -hankesivusto,

2003) eli haluttiin kehittää juuri niitä rakentamisen erityispiirteitä ja haasteita, jotka ovat olleet esteenä rakennusalalla vallitsevien toimintatapojen kehittymiselle yli organisaatorajojen.

Vuonna 2010 Rakennustieto Oy on julkaissut ohjekortin tietomallinnettavasta rakennushankkeesta (RT10-10992), jossa kuvataan tietomallipohjaisen rakennushankkeen tavoitteita, toimintatapoja ja erityispiirteitä. Kyseessä olevaan ohjekorttiin on käytetty Pro IT -hankkeen tuottamaa aineistoa. Lisäksi suomalaisten kiinteistö- ja infra-alan omistajien ja palvelujen tuottajien muodostama yhteistyöfoorumi BuildingSMART Finland on julkaissut Yleiset tietomallivaatimukset 2012 (YTV2012), jotka antavat tarkemmat ohjeet ja säännöt rakentamisen tietomallintamiseen liittyen. BuildingSMART-foorumin pääasiallisena tarkoituksena on muutenkin levittää tietoa tietomallintamisesta ja tukea toiminnassa mukana olevia tietomallipohjaisten prosessien käyttöönotossa.

Rakennustieto Oy:n julkaiseman tietomallinnettava rakennushanke -ohjekortin mukaan tietomallintamisella parannetaan rakennushankkeen yhteistoimintaa ja tehostetaan hankkeen kokonaisvaltaista tiedonhallintaa. Tietomallintamishankkeeseen osallistuvilta edellytetään kehitysmuotoista asennetta, sillä tietomallintaminen uudistaa organisaatioiden toimintatapoja. Lisäksi tietomallintamisen uudet toimintatavat vaikuttavat väistämättä myös sopimuksiin, vastuunjakamiseen ja päätöksentekemiseen. (RT10-10992, 2010, 1.)

### ***Tietomallinnettava rakennushanke verrattuna perinteiseen rakennushankkeeseen***

Tietomallinnettava rakennushanke -ohjekortissa on vertailtu perinteisen rakennushankkeen ja tietomallintamiseen pohjautuvan hankkeen eroja. Esille tulevat erot kuvaavat hyvin tietomallintamisen tuomia uusia käytänteitä ja miten ne vaikuttavat rakennushankkeeseen. Ohjekortin mukaan tietomallintamiseen perustuvassa hankkeessa tiimit muodostuvat pääasiassa aiempien hankkeiden perusteella, painottavat toiminnassaan yhteistyökykyä ja niitä johdetaan avoimesti parhaiden käytössä olevien kykyjen perusteella, kun taas perinteisessä hankkeessa tiimit ovat hajautuneita ja niitä johdetaan hierarkkisesti. Tietomallintamiseen perustuvassa hankkeessa tiimit toimittavat tarvittavat tiedot oikea-aikaisesti, tulevia hankevaiheita ennakoiden sekä vapaasti ja avoimesti tiedon tarvitsijoille, kun perinteisessä puolestaan on totuttu hamstraamaan tietoa ja kokoamaan tieto viime hetkellä sekä toimittamaan ainoastaan pyydetyt tiedot pyytäjälle. Tietomallintamisen tiimit perustuvat eri

osapuolten osaamisten yhdistämiseen ja kun taas perinteisessä tiimit perustuvat eriytyneeseen ammattitaitoon. (RT10-10992, 2010, 2.)

Tietomallintamishankkeeseen liittyvät prosessit ovat samanaikaisia, päällekkäisiä ja monitasoisia, kun perinteisessä hankkeessa prosessit ovat vaiheittaisia, erillisiä ja eriytyneitä. Kommunikaation pohjana tietomallipohjaisessa hankkeessa ovat tietomallit (3-, 4- ja 5-ulotteiset), kun perinteisessä hankkeessa kommunikaatio pohjautuu piirustuksiin. Tietomallintamishankkeessa riskit kohdistuvat kaikkiin osapuoliin ja jaetaan tarkoituksenmukaisesti. Tietomallintamishankkeessa riskit pienenevät hankkeen hallittavuuden parantuessa. Perinteisessä hankkeessa puolestaan riskit kohdistuvat yksittäisiin osapuoliin. Näiden pohjalta on myös selvää, että tietomallipohjaisen hankkeen sopimukset kannustavat yhteistyöhön, edistävät ja tukevat avointa tiedonjakoa, kun taas perinteisessä hankkeessa puolestaan sopimukset kannustavat yksipuoliseen toimintaan ja pyrkivät kohdentamaan riskejä. (RT10-10992, 2010, 2.)

Rakennushankkeen tietomallinnuksen tarkoitus, tavat ja tarkkuus tulee määrittää jo hankesuunnittelu- ja sopimusvaiheessa. Tavoitteena tietomallinnuksen osalta olisi saada tietomallista rakennuksen koko elinkaaren kattava, kaikkien osapuolien tietojen hallinta sähköisessä muodossa, jolloin digitaalisesti tuotettu tieto olisi mahdollisimman helposti ja täydellisesti uudelleen käytettävissä. (RT10-10992, 2010, 3.)

### ***Tietomallintamisen tuomat uudet toimintatavat***

Valittaessa tietomallinnus työskentelytavaksi, kaikkien rakennushankkeessa toimivien toimintatavat muuttuvat perinteiseen hankkeeseen verrattuna. Kaikkien rakennushankkeen osapuolien tulee sitoutua hankkeen läpiviemiseen mallintamisella, sillä jos yksikin jättää toimimatta tietomallipohjaisesti, lopullista tavoitetta ei välttämättä saavuteta. Tilaajan tulee alkuvaiheessa sitoutua tietomallintamiseen ja määrittää ennen hankkeen aloitusta, mihin tarkoitukseen tietomallia tarvitaan: suunnitteluun, rakentamiseen, ylläpitoon, vaihtoehtoisten ja analysoivien tietojen saamiseksi päätöksen teon tueksi vai johonkin muuhun. Tarkoituksen lisäksi tulee määrittää mallinnuksen tarkkuus ja tavat riittävän täsmällisesti ja riittävän aikaisin. Tilaajan kannalta olennainen muutos perinteiseen rakennushankkeeseen verrattuna on se, että tietomallipohjaisessa hankkeessa tilaaja saa tarkempaa ja havainnollisempaa tietoa aiemmassa vaiheessa ja pystyy tekemään päätöksiä valinnoista ja muutoksista

aiemmin. Tilaajan kannalta kustannukset ovat hankkeen alkuvaiheessa korkeammat perinteiseen rakentamistapaan verrattuna, mutta toisaalta kustannukset koko rakennuksen elinkaaren ajalta ovat moninkertaisesti pienemmät kuin perinteisessä rakennuksessa.

Suunnittelijoiden osalta tietomallintamisessa pystytään hyödyntämään muiden tietomalleja omien suunnitelmien pohjaksi ja keskittymään varsinaiseen suunnitteluun ja sisällöntuottamiseen paremmin. Suunnittelijoiden tulee yhtä lailla antaa omat mallinsa myös muiden hyödynnettäväksi sovitussa muodossa. Yhdistelmämallia hyödyntämällä huomataan myös virheet aiemmassa vaiheessa perinteiseen suunnitteluun verrattuna. Harmanen toteaa diplomityössään, että tietomallinnuksen vaikutukset suunnitteluprosessiin tulisi ottaa paremmin huomioon, jolloin mallintamisen hyödyt kumoaisivat rasitteet. Harmanen mielestä tietomallintaminen tulisi nähdä enemmänkin mahdollisuutena ja rakentamisen laatua parantavana tekijänä. (Harmanen 2010, 7 & 9.)

Tietomallintamisen myötä uusiksi työskentelytavoiksi ovat muodostumassa niin sanottu Big Room -työskentely ja solmutyöskentely. Big Room -työskentely on käytössä muun muassa Yhdysvalloissa isoissa useiden miljoonien dollareiden rakennushankkeissa. Big Room -työskentelyn ideana on, että eri osapuolet työskentelevät päivittäin samassa tilassa lähellä päätöksentekijöitä ja voivat hyödyntää ja välittää tiiviimmin tietoja koko rakennushankkeen ajan. Suomessa Big Room -työskentelyä on testattu isoissa ja vaativissa rakennushankkeissa. Testausta on tehty pienoiskoossa eli osapuolet ovat kokoontuneet silloin tällöin esimerkiksi päiväksi työskentelemään saman ongelman parissa samaan tilaan. Saadut kokemukset ovat olleet myönteisiä ja on huomattu asioiden etenevän nopeammin.

Solmutyöskentelyssä on kyse melkein samasta kuin Big Roomissa, sillä siinäkin rakennushankkeen osapuolet kokoontuvat yhteen työskentelemään yhteisen ongelman ratkaisemiseksi. Erona Big Roomiin on, että osapuolet eivät työskentele jatkuvasti yhdessä, vaan kokoontuvat ratkaisemaan silloin tällöin jonkun ongelman. Tällöin tiedon kulku ja ratkaisujen löytyminen nopeutuvat sekä kaikki osapuolet ovat tietoisia hankkeen tilanteesta välittömästi. Tietomallipohjaisen työskentelyn haasteita ja erilaisia työskentelytapoja rakennushankkeissa on tutkittu ”Hankkeista oppiminen - Tietomallintamisen johtaminen, organisointi ja koordinointi rakennushankkeissa” -tutkimus- ja kehittämisprojektissa (Kerosuo, Paavola, Miettinen & Mäki 2017.). Projektin loppuraportissa esitellään molempien työskentelytapojen, Big Roomin ja solmutyöskentelyn, käytänteitä ja miten ne on vastaanotettu testattaessa

niitä oikeissa rakennushankkeissa. Suomen mittakaavassa ei välttämättä toteuteta niin isoja rakennushankkeita, että Big Room -työskentelyä voitaisiin toteuttaa koko rakennushankkeen ajan eri asiantuntijoiden kanssa, mutta solmutyöskentelyä hyödyntäenkin saadaan aikaiseksi toimivia ratkaisuja valitseviin rakennushankkeiden haasteisiin ja työskentelytapoihin.

Perinteisessä rakennushankkeessa toimivalta on edellytetty oman alan osaamista ja yhteistyökykyä toimia muiden kanssa. Tietomallipohjaisessa rakennushankkeessa toimivalta odotetaan ensinnäkin oman alan osaamista, mutta myös tietomallintamiseen liittyvää osaamista. Toiseksi tietomallintamista hyödyntävässä tiimissä toimiessaan edellytetään, että oman toimialansa lisäksi tulee tietää, kuinka toimia yhteistyössä muiden tietomalliasiantuntijoiden kanssa samassa tiimissä, mitä toimijalta odotetaan ja mitä toimijan tulee vaatia muilta. (Suwal, Singh & Shaw 2016, 662.)

Jupp ja Nepal tuovat esille vertaileessaan tuotteen elinkaaren hallintaa ja tietomallintamista, että tietomallinnuksessa korostuvat avoin kommunikointi ja tietojen vaihto, yhteistyöhön perustuva päätöksien teko, rakennushankkeeseen osallistuvien aikainen osallistuminen ja myötävaikuttaminen tiedon välitykseen sekä sitä kautta tietomallintaminen edistää osapuolien riskien jakoa. Juppin ja Nepalin mukaan tietomallintaminen tuo esiin myös muutoksia työkäytänteissä niin organisaation sisällä kuin yli organisaatorajojen. Uudet työkäytänteet ovat vaikuttaneet uusien työskentelytapojen, kuten Big Roomin ja solmutyöskentelyn, syntyyn. Uusien työskentelytapojen lisäksi tarvitaan uudenlaista projektien, tietojen ja prosessien hallintaa. (Jupp & Nepal 2014, 45.)

Yhdysvalloissa Rosewood-kokeilussa vertailtiin samaan rakennukseen samanaikaisesti 2D-piirustusten ja 3D-mallien pohjalta tehtyjen elementtien tuotantoa ja siitä saatuja kokemuksia. Kokeilun tuloksena huomattiin, että jopa vähäisellä tietomallien hyödyntämisellä ilman vahvistettuja yhtenäisiä kansallisia standardeja pystyttiin saavuttamaan 57 % tuottavuuden kasvu. Kaikki tarvittavat tiedot pystyttiin tuottamaan suunnittelun koordinoitua, tuotantoa ja rakentamista varten tietomalleja hyödyntäen. Hyvistä tuottavuuden tuloksista huolimatta tutkimuksessa kaivattiin yhtenäisiä standardeja ja ohjeistusta tietomallien tekemiseen. (Sacks, Kaner, Eastman & Jeong 2010, 419-431.)

### 3.3 Tietomallinnuksen tuomat haasteet

Kuten otettaessa käyttöön mikä tahansa uusi järjestelmä tai toimintatapa, tuo se hyötyjen lisäksi myös haasteita. Haasteet eivät välttämättä ole huono asia järjestelmän tai toimintatavan kehittymisen kannalta, vaan haasteiden avulla kyseenalaistetaan järjestelmän tai toiminnan järkevyyden ja sitä kautta saadaan kehitettyä järjestelmä tai toiminta paremmaksi ja toimivammaksi.

#### ***Tietomallien omistajuus***

Yksi tietomallintamisen tuomista haasteista on mallien omistajuus ja siihen liittyvät oikeudet. Luovuttaessaan mallin muiden suunnittelijoiden käyttöön, kokevat suunnittelijat menettävänsä oikeuden malliin ja siihen käytetyn kehitystyön (Harmanen 2010, 4). Etenkin ongelmaksi on muodostunut natiivimallien eli alkuperäisten ohjelmistoista tallennettujen mallien luovuttaminen muiden käyttöön sellaisenaan. Mallin luovuttaminen IFC-formaatissa ei aiheuta samanlaista omistajuuden katoamista, koska tällöin mallista siirtyy vain geometriatiedot ja rajoitetusti attribuuttitietoja. IFC-muodossa luovutettua mallia voi katsella eri ohjelmilla, mutta malliin ei pystytä tekemään muutoksia. Muutokset on tehtävä natiivimalliin ja muutettava takaisin IFC-formaattiin.

Mallien omistajuusoikeudesta huolimatta, mallien jakaminen tulisi saada toimimaan luotettavasti yli organisaatorajojen (Sulankivi 2014, 20). Tietomallintamisen onnistumiseen tarvitaan avoimempaa yhteistyötä kaikkien rakennusalaalla toimivien kesken ja mallit tulisi jakaa toisten hyödynnettäviksi silläkin uhalla, että oma kehitystyö siirtyy toisten hyödynnettäväksi. Toisaalta on ajateltava, että kun jokainen antaa oman kehitystyönsä toisten hyödynnettäväksi, saa hän vastavuoroisesti toisten kehitystyön omaan käyttöönsä. Tietomallien omistajuus ja hallinta rakennushankkeen eri vaiheissa ovat epäselviä monille rakennushankkeessa toimivalle ja siihen tulisi löytää ratkaisu, jotta tietomallia voitaisiin hyödyntää kaikissa rakennuksen elinkaaren vaiheissa (Parhiala, Yalcinkaya & Singh 2014, 14). Mallien omistajuus ja mallien jako toisten osapuolien käyttöön on yksi isoimmista haasteista, jonka osalta tarvitaan niin asennemuokkausta kuin sopimuksia asian eteenpäin viemiseksi.

### ***Tietomallien vaatimukset käyttäjille ja hyödyntäjille***

Haasteena on myös saada tilaajat ja rakennuttajat ymmärtämään oma ratkaiseva osansa tietomallintamisprosessissa. Rakennuttajien on nähtävä tietomalleista saatavat hyödyt pitemmällä aikavälillä eli koko rakennuksen elinkaaren osalta. Toisaalta rakennuttajien on ymmärrettävä jo rakennushankkeen alussa, mitä mallinnetaan, millä tarkkuudella ja mitä varten. Nämä ovat olennaisia asioita niin tietomallintamisen kuin tilaajien oman toiminnan kehittymisen kannalta. Tilaajien sisällyttäessä sopimuksiin tietomallien käytön, pakottavat he, mahdollisesti sakkouhan kera, toiminnallaan muut toimijat sitoutumaan tietomallien käyttöön rakennushankkeen aikana.

Jotta rakennuksen tietomalleja voitaisiin hyödyntää kaikissa rakennushankkeen vaiheissa, tulisi jokaisen hankkeeseen osallistuvan sitoutua tietomallien käyttämiseen. Suunnittelijoiden tulee laatia suunnitelmat noudattaen yleisiä tietomallintamisen sääntöjä ja jakaa mallit vähintään avoimessa standardoidussa tiedostomuodossa. Myös muutokset tulee tehdä tietomalleihin, eikä paperisiin piirustuksiin, joista tieto ei enää välity tietomalliin. Työmaallakin tehdyt muutokset tai lisäykset tulisi siirtää suoraan tietomalliin, jotta tieto olisi saatavilla myös ylläpitomallissa.

Tietomallien hyödyntäminen rakennusten ylläpidossa ja koko rakennuksen elinkaaren ajan vaatii tietomallien tuomien hyötyjen voimakasta esilletuontia sekä asenteiden muokkausta niin tilaajille kuin kiinteistöjen ylläpitäjillekin. Tietomallien hyödyntämisen esteinä kiinteistön ylläpidossa nähdään useita samanlaisia haasteita, joita nähdään kaikessa tietomallintamisen käyttöönoton alkuvaiheessa olevissa toimijoissa, prosesseissa ja järjestelmissä. Codinhon ja Kiviniemen mukaan esteinä ovat muun muassa, ettei kiinteistön ylläpidossa ole tarpeeksi teknistä asiantuntijuutta tietomallien käsittelemiseen ja ylläpitämiseen, ja että uusi tietomallipohjainen prosessi aiheuttaa muutosvastarintaa, johon ei haluta tarkoituksellisesti siirtyä. Lisäksi eri ohjelmistot eivät ole yhteensopivia toistensa kanssa, vaan tarvitaan uusia ohjelmistoja tietomallien hyödyntämiseksi sekä kaivataan selkeitä vaatimuksia, ohjeita ja standardeja tietomallintamiseen ja tietomalleihin liittyen. Tietomallien hyödyntäminen kiinteistönylläpidossa vaatii toimiakseen myös järjestelmän, josta tieto on saatavissa helposti kaikille toimijoille. (Codinhoto & Kiviniemi 2014, 70 & 71.)

Haasteena elementtisuunnittelun ja elementtiasennuksen välillä on se, että rakenteellisten osien tiedot numerointineen ja yksilötunnisteineen eivät vielä välity yhdenmukaisesti yhdestä mallista urakoitsijalle työmaalle (Sulakivi 2014, 6). Varsinkin pääkaupunkiseudun ulkopuolella tietojen välittyminen pelkästään rakennesuunnittelijalta elementtitehtaalle katkeaa, koska elementtitehtaat eivät vielä pysty vastaanottamaan täysin mallinnettuja elementtejä, vaan tuottavat elementtipiirustukset itse (Koikkalainen 2017). Samalla katoaa prosessin tehokkuus ja virheettömyys, kun elementti suunnitellaan useampaan kertaan (Sulakivi 2014,19).

Tietomallintamisen käyttöönotto on varsinkin pienille ja keskisuurille yrityksille kynnyskysymys. Tietomallintamiseen panostaminen tarkoittaa ensinnäkin kouluttautumista ja ammattitaidon lisäämistä tietomallintamisen suhteen, mutta myös panostamista ohjelmistoihin, joilla voi vastaanottaa, tuottaa tai muokata tietomalleja. Yrityksen kokoon nähden suhteellisen korkeasta alkupanostuksesta huolimatta, tietomallintamiseen panostaminen on kannattavaa pitemmällä tähtäimellä. Vaikka yleinen käytäntö tai sopimukselliset vaatimukset eivät velvoittaisi yritystä panostamaan tietomallintamiseen, niin yritykset hyötyvät tietomallintamisesta omassa toiminnassaan, mikäli ovat vain huolehtineet tietomallintamisen omaksumisesta ja toteuttamisesta yrityksessä selkein visioin ja strategisoin ohjauksin (Poirier, Staub-French & Forgues 2015, 62).

### ***Tietomallintamiseen liittyvät tehtävät ja johtaminen***

Kerosuo ym. (2017) ”Tietomallintamisen johtaminen, organisointi ja koordinointi rakennushankkeissa” -tutkimus- ja kehittämisprojektin loppuraportissa todetaan haasteeksi se, että tietomallintaminen ja siihen liittyvät tehtävät eivät ole vielä vakiintuneita, tehtävien määrittely on usein hankekohtaista ja riippuu sopimussuhteista. Toisaalta tietomallipohjaisen hankkeen johtamisen haasteet ja ongelmat liittyvät alan toimijoiden vaihtelevaan tietomallin-  
nusosaamiseen, mallintamisen tarkkuustasoon ja käytäntöihin, mutta myös siihen, että tietomallintamisen vastuutehtävissä ei ole virallista päätösvaltaa ja se vaikeuttaa hankkeiden toteutusta. Loppuraportissa todetaan myös, että tällä hetkellä kaikille toimijoille yhteisen, yhden tietomallin käyttö rakennuksen elinkaaren aikana on epärealistista, koska eri toimijoilla on erilaiset tarpeet ja tietojärjestelmät. (Kerosuo ym. 2017, 62-63.)

Sopimukselliset asiat tietomallintamisen suhteen ovat kehittyvässä vaiheessa ja niihin pitäisikin vielä panostaa enemmän. Sopimukset selkeyttäisivät toimijoiden niin rooleja kuin kunkin tehtäviä ja veloituksia tietomallintamiseen liittyen. Sopimuksissa tulisi ottaa huomioon, mihin malleja saa käyttää ja kuka sekä lisäksi kuka on vastuussa käytettävistä malleista ja millä tavalla ja mihin saakka. Sopimuksien puuttuminen aiheuttaa epävarmuutta suunnittelijoissa ja haluttomuutta luovuttaa malleja, koska mallien käytöstä eri tilanteissa ei ole erikseen sovittu, eikä myöskään vastuukysymyksiä ole tarkemmin mietitty.

## 4 TOIMINNAN TIETOMALLI ÄLYKKÄÄN TOIMINNAN TUKENA

Saimaan ammattikorkeakoulu ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto aloittivat yhdessä kolmen yrityksen kanssa maaliskuussa 2015 Toiminnan tietomallit älykkään rakennetun ympäristön voimanlähteenä -tutkimusprojektin, josta jatkossa käytetään lyhennettä DORF II. Projektin keskeisenä tavoitteena oli lisätä yritysten ymmärrystä digitaalisesta jatkuvuudesta. Lisäksi projektissa tutkittiin irrallisten tietomallien, avoimen datan ja yksittäisten ratkaisujen sitomista osaksi rakennetun ympäristön kokonaisuutta, liiketoiminnan kehittämistä tietomallipohjaiseksi sekä aktiivisen käyttäjän toimimista älykkäässä ympäristössä.

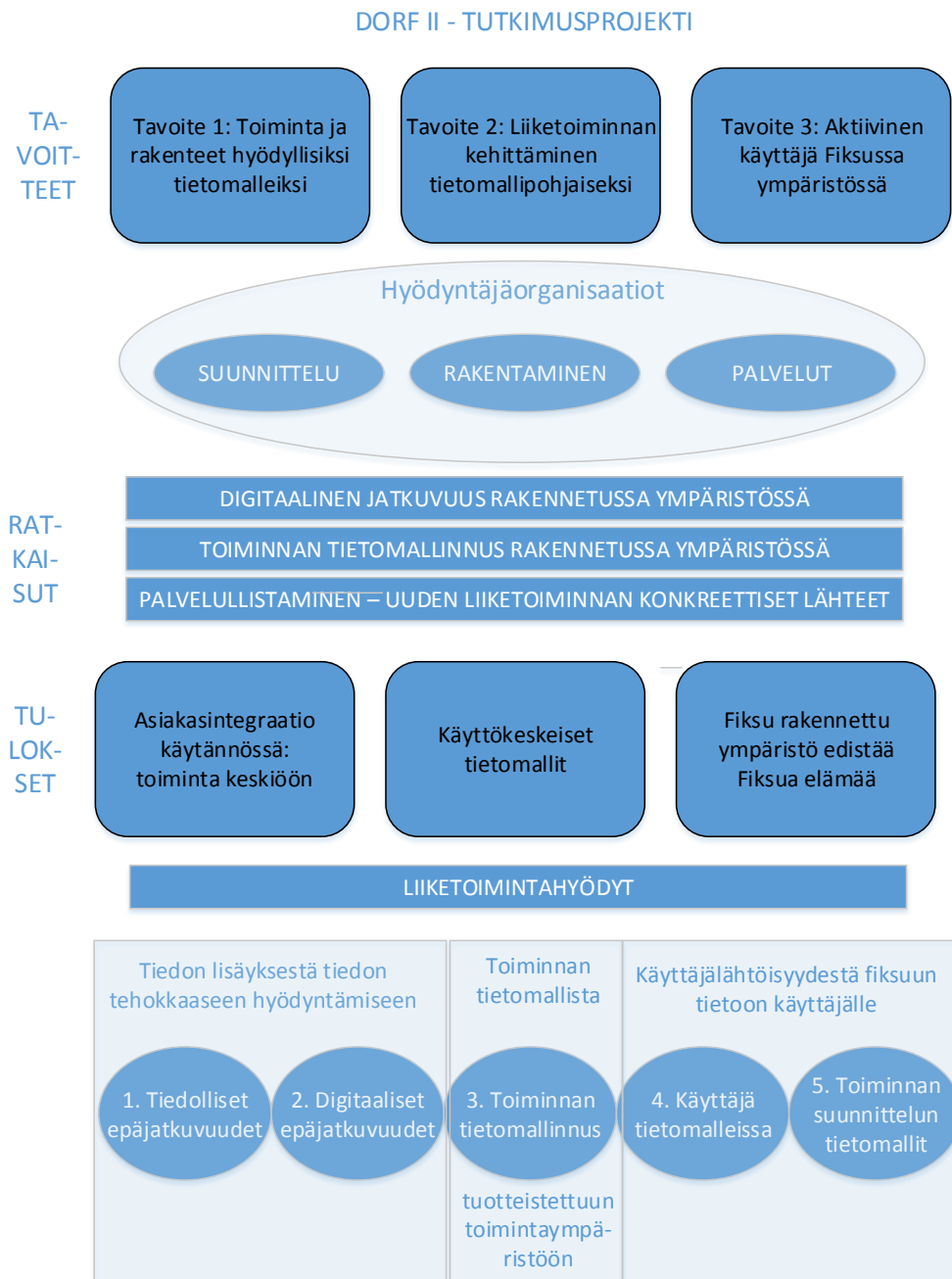
### 4.1 DORF II -projektin taustaa

DORF II -tutkimussuunnitelman mukaan rakennettu ympäristö ei lähtökohtaisesti ole älykäs – se mahdollistaa yhdessä teknologian kanssa älykkyyden, mutta itsessään ei kumpikaan älykkyyttä tuota. Älykkyydellä tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että rakennetun ympäristön tietomallit sekä niihin kytketyt tiedot ja teknologiat pystyvät keskustelemaan toistensa kanssa ja välittämään tarvittaessa tietoja eri osapuolille. Projektin taustalla on kolme näkökantaa, joista jokaisessa tapahtuu kehittymistä merkittävästi koko ajan:

1. Rakennettu ympäristö on tietomallinnettu yhä useammin, mutta tietomallien hyödyntäminen on yhä vähäistä.
2. Rakennettua ympäristöä älyllistetään sekä kuluttajasovelluksilla että yrityssovelluksilla, mutta päämäärät eivät välttämättä ole yhteneväiset.
3. Rakennettu ympäristö elää ja älyllistyy vain, jos se mahdollistaa toiminnan toteuttamisen älykkäästi.

Tutkimus kohdistettiin liiketoimintalähtöiseksi palvelemaan suomalaisia rakennetun ympäristön toimintakentässä toimivia yrityksiä. Tausta-ajatus oli, että toiminta on ainoa muutosvoima ja vain toiminnasta synnytetty tieto sekä toiminnan oikeanlainen ohjaus muuttavat rakennetun ympäristön traditioita, rakenteita ja kilpailukykyä. Rakennettu ympäristö, organisaatioiden toimintaprosessit, käyttäjien prosessit, tilat, erilaiset tuotteet ja palvelut muodostavat kukin itsenäiset tietomallit, joiden avulla edetään kohti uusia tietomallipohjaisia liiketoimintamahdollisuuksia. Tutkimuksen kautta haluttiin lisätä myös yritysten käyttäjäm-

määrystä sekä tämän ymmärryksen tiedollistamista osana koko rakennetun ympäristön toiminnan tietomallia. Tutkimuksen sisältö tavoitteineen, ratkaisuihineen ja tuloksineen näkyvät tiivistetysti kuvasta 9. (Tutkimussuunnitelma 2015, 2 & 6.)

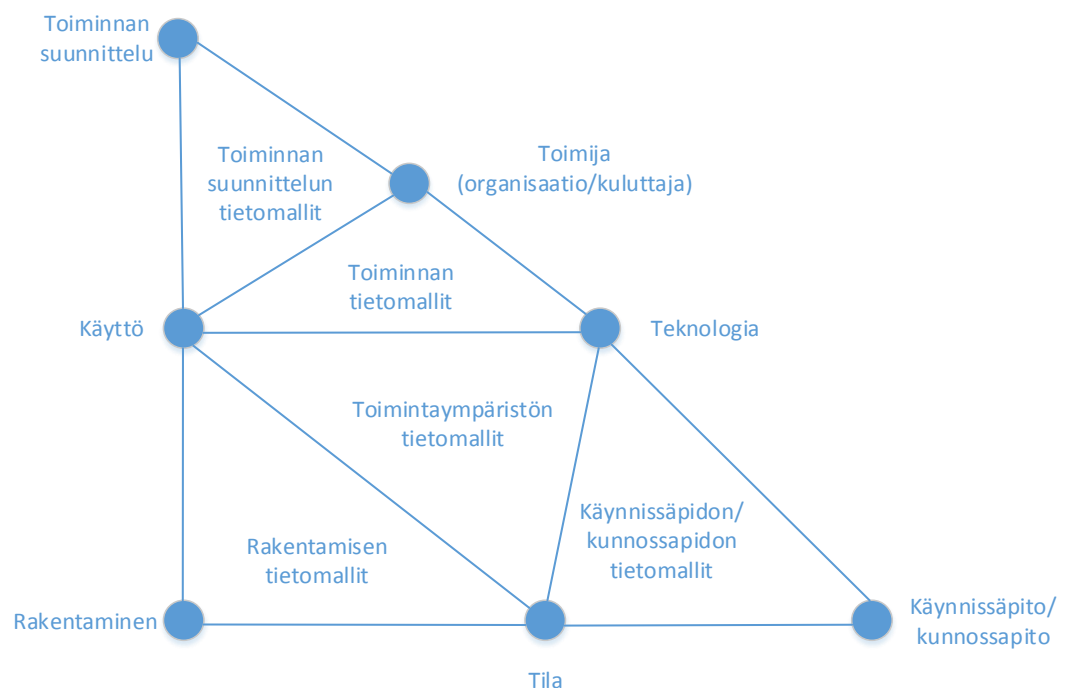


Kuva 9. DORF II -projektin sisältö tavoitteineen, ratkaisuihineen ja tuloksineen.

Projektin keskeinen tavoite oli lisätä yritysten ymmärrystä digitaalisesta jatkuvuudesta, jolla tarkoitettiin yksittäisten ratkaisujen ja rajapintojen sijaan laajaa tietomallipohjaa, joka on helpposti muunkin kuin tietoteknisen ihmisen ymmärrettävissä. Digitaalisessa jatkuvuudessa otettiin huomioon laajennettu mallipohjaisuus, jolloin mahdollistui toisistaan irrallisten digitaalisten ja ei-digitaalisten ratkaisujen hahmottuminen samanaikaisesti. Samalla pyrittiin löytämään rajapintoja hyödyntävät mallit. (Tutkimussuunnitelma 2015, 6.)

DORF II -projektin tutkimussuunnitelmassa määritettiin yritysten ymmärryksen lisäämisen lisäksi kolme päätavoitetta:

1. tavoite: Toiminta ja rakenteet hyödyllisiksi tietomalleiksi, jolloin irralliset tiedot, tietomallit ja yksittäiset ratkaisut kootaan osaksi rakennetun ympäristön kokonaisuutta. Rakennettu ympäristö koostuu toimijoiden, toiminnan, tilojen, teknologian, tietomallien ja ylläpidon verkostosta, josta alla kuva 10.



Kuva 10. Tietomallien muodostama verkosto.

2. tavoite: Liiketoiminnan kehittäminen tietomallipohjaiseksi, jolla pyritään laajentamaan yritysten kilpailukykyä siten, että yrityksen laajennettu tietomalliosaaminen mahdollistaa sellaisen tiedon hyödyntämisen liiketoiminnan osana, jota muut eivät osaa joko hyödyntää tai liittää osaksi jo olemassa olevia tietomalleja. Uusi avoin tai

suljettu tieto nähdään arvokkaana, vain jos sen voi liittää osaksi olemassa olevia tietomalleja, sillä voi korvata tai se muuttaa radikaalisti jotain olemassa olevia rakenteita.

3. tavoite: Aktiivinen käyttäjä Fiksussa ympäristössä, jolloin pyritään hahmottamaan yrityslähtöisiä tapoja liittää aktiiviset käyttäjät osaksi tietomallikenttää ja siten mahdollistaa yrityksille kyvyn seurata käyttäjän muutosta ja luoda käyttäjille monipuolisia rooleja eri toimintaympäristöissä.

Projektin tulokset määrittyivät tulosalueiden perusteella. Tulosalueita olivat:

1. Käyttäjälähtöisyydestä asiakasintegraatioon, jolloin toiminta on keskiössä. Integraation pohjana ovat toiminnan muutokset ja asiakasintegraatiolla yritetään löytää toiminnan muutoksista juoni. Ideaalina tunnistetaan kaava, jonka mukaisesti asiakas/käyttäjä toimii, eli miten toiminta rakentuu. Tätä kautta projektissa konkreettisesti tuotetaan liike-elämälle suomenkielinen ymmärrys ja työkalut todellisen asiakasintegraation toteuttamisesta rakennetussa ympäristössä.
2. Käyttökeskeiset tietomallit, jolloin olennaista on saada tuotettua asiakasintegraation pohjaksi toiminnan tietomalli. Tarkasteluun otetaan asiakkaan prosessit ja toiminnot, jotka pyritään yhdistämään jo olemassa oleviin tietomalleihin ja rakennettuun ympäristöön.
3. Sillanrakennus kohti Fiksua elämää mahdollistuu kahden ensimmäisen tulosalueen perusteella, joissa on hahmotettu asiakkaan toiminta ja luotu toiminnan tietomalli. Projektissa tuotetaan konkreettisesti työkaluja, jotka linkitetään tietomallipohjaisesti toiminnan tietomalleihin ja jo olemassa oleviin rakennetun ympäristön (rakennukset ja ympäristöt) tietomalleihin.

Kaiken kaikkiaan projektin päätyttyä saavutettiin kaikille ymmärrys digitaalisesta jatkuvuudesta sekä tietojen ja tietomallien hyödyntämisestä erilaisissa toiminnoissa. Tiedon lisäämisen sijasta pyrittiin enemminkin tiedon hyödyntämiseen, toiminnan tietomallista siirryttiin lähemmäs tuotteistettua toimintaympäristöä sekä käyttäjälähtöisyydestä luotiin fiksua tietoa käyttäjälle, jolloin toiminnan suunnittelu helpottui. Edellä mainittujen avulla löydettiin kullekin

tapaukselle sopivat työkalut toimintojen älykkäämpään hyödyntämiseen erilaisissa konteksteissa.

#### 4.2 Toiminnan tietomallin määrittely

Koska kyse on toiminnan tietomallista, on syytä määrittää toiminta tässä kontekstissa. Toiminnalla tarkoitetaan ”yksittäisen tai kollektiivisen toimijan tavoitteellinen joukko tekoja, joilla pyritään haluttuun lopputulokseen” (Luukkonen, Mykkänen, Itälä, Savolainen & Tamminen 2012, 140). Eli toiminnalla on aina joku tarkoitus, johon pyritään ja toimijana voi olla yksittäinen henkilö, tiimi tai yritys. Jotta toimintaa ja siihen liittyviä järjestelmiä voidaan kehittää ja mallintaa, tulee tuntea eri osatekijät ja niiden väliset yhteydet sekä toimintaa ohjaavat periaatteet. Toiminnan ja prosessien kuvaukset ohjaavat tietojärjestelmänäkökulmaa määrittäen, kuinka toiminnan ja prosessin tarpeita tuetaan ja toteutetaan tietojärjestelmien avulla. (Luukkonen ym. 2012, 23).

Projektin esittelyssä todettiin DORF II -projektissa tutkittavan mahdollisuutta kehittää rakennusten tietomalleihin verrattavaa toiminnan tietomallia asiakkaiden toiminnan tehostamiseksi sekä hyödyntää toiminnan tietomallia erilaisten tietojen ja toimintojen yhdistämiseen eri ajankohtina. Projektissa pyrittiin löytämään digitaalisuutta hyödyntäen tehokkaampi ja avoimempi tapa toimia. Toiminnan tietomallit linkittyvät olennaisesti yritysten kykyyn mahdollistaa ja hyödyntää mallipohjaisuutta myös toiminnan suunnittelussa (tutkimussuunnitelma 2015, 11).

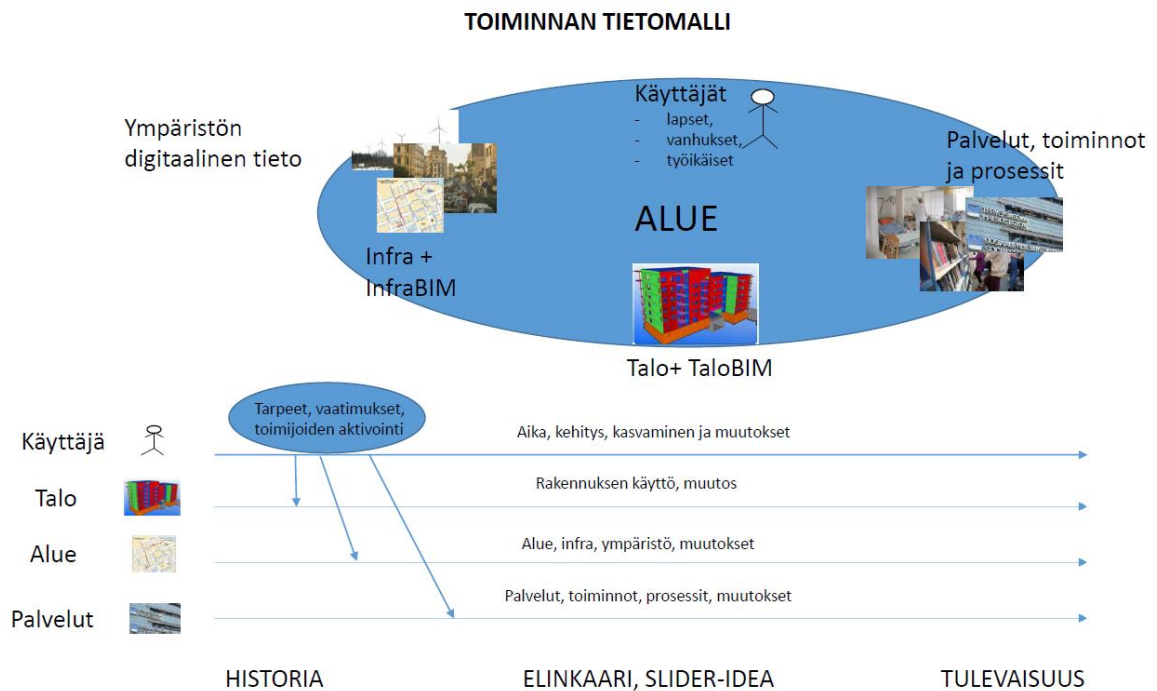
Toiminnan tietomallin tarkoituksena on auttaa yrityksiä ja julkisia toimijoita liiketoimintojen tehostamisessa ja läpinäkyvyydessä sekä kehittää uusia ratkaisuja toimintoihin. DORF II -projektin tuloksia voidaan hyödyntää uusien liiketoiminta- ja ansaintamallien tunnistamiseen, luomiseen, kehittämiseen ja tukemiseen. Projektin tulosten avulla tunnistetaan niin tiedolliset kuin digitaaliset epäjatkuvuudet ja mahdollisesti poistetaan ne. Myös monimuotoisten toimintojen ja käyttäjien hyödyntäminen toiminnan tietomallissa auttaa yrityksiä ja julkisia toimijoita siirtymään rakennusten tietomalleista asiakasintegroituineihin toiminnan tietomalleihin, jotka aktiivisesti hyödyntävät toimintatietoa yhdistettynä rakennetun ympäristön tietoihin. Hankkeen tulosten avulla herätetään kiinnostusta myös kansainvälisissä yhteistyökumppaneissa hyödyntämään tietomalleja paremmin. (Koivuniemi & Kokko 2016.)

### ***Toiminnan tietomallin alkumäärittely***

Toiminnan tietomallin pohjana on alusta asti ollut rakennusten tietomallit, joihin liittyvää logiikkaa ja standardeja on hyödynnetty toiminnan tietomallissa. Tietomalleista saatavaa tiedon hyödyntämistä on tutkittu projektin ajan eri konteksteissa. Ideoidusta toiminnan tietomalliaihiosta kehittyi onnistuessaan käyttäjä- ja tuottajatahoja integroiva ratkaisu, mikä edistää aiempaa tilannetietoisemman tietomallipohjaisen palvelu- ja teknologiaekosysteemin kehittymisen fiksun asumisen ympärille. Toiminnan tietomallin tueksi tai yhteyteen liitettävien olemassa olevien merkityksellisten tietoaineistojen hyödyntäminen ei aina vaadi suuria investointeja. (Koivuniemi & Kokko 2016.)

Toiminnan tietomallin määrittelyssä lähdettiin liikkeelle yleiskuvauksesta, mitä toiminnan tietomallilla ylipäätään tarkoitetaan. Projektin alkuvaiheessa tutkimusryhmä määritteli toiminnan tietomallin seuraavasti: Toiminnan tietomallilla tarkoitetaan mallia, jossa käyttäjistä, rakennuksista, ympäristöstä, palveluista ja toiminnasta kerätty tieto voidaan yhdistää, suodattaa ja hyödyntää kunkin käyttäjän tarpeisiin. Hankkeessa pyritään luomaan digitaalisesti hyödynnettävä toiminnan tietomalli, jota pitäisi pystyä tarkastelemaan niin menneisyyden, nykyisyyden kuin tulevaisuuden näkökulmasta.

Toiminnan tietomallille annettiin yleispyöreä kuvaus siitä, mihin sitä voitaisiin käyttää ja missä hyödyntää. Yleispyöreän kuvauksen tarkoituksena oli luoda yhteinen ymmärrys toiminnan tietomallista niin projektissa toimivien kuin projektin hyödyntäjäorganisaatioiden kesken. Toiminnan tietomallista luotiin myös alustava kuva (kuva 11), jolla pyrittiin avaamaan toiminnan tietomallia ja sen mahdollisia käyttötarkoituksia projektin tulosten hyödyntäjäorganisaatioille ja myös projektin ulkopuolisille toimijoille.



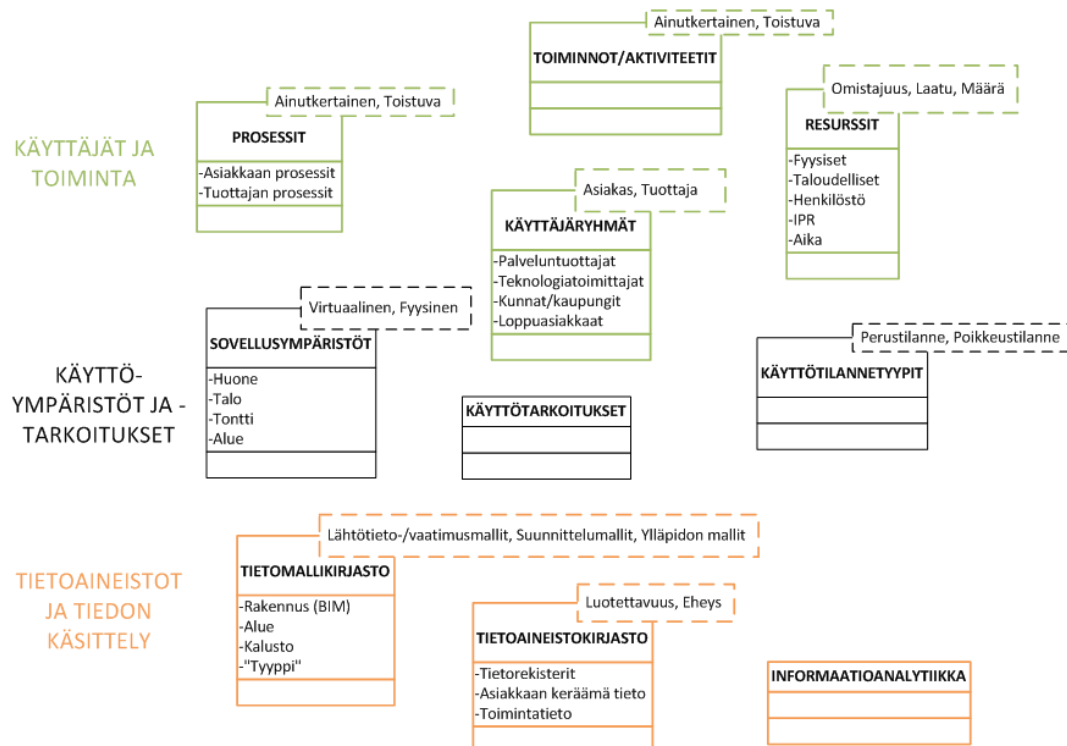
Kuva 11. Toiminnan tietomallin mahdolliset käyttötarkoitukset.

### ***Toiminnan tietomallin jatkokehittäminen***

Työryhmä jatkoi toiminnan tietomallin määrittelyä ja seuraavaksi määritettiin, mitä osia toiminnan tietomallissa tulisi olla. Toiminnan tietomallissa kuten tietomalleissa yleensä on osien lisäksi määritettyinä erilaiset attribuutit, relaatiot ja tietotyypit, joista voidaan johtaa tietomallin rakenne. Attribuutit kuvastavat kunkin osan tai parametrin ominaisuuksia ja relaatiot puolestaan osien tai parametrien suhteita toisiinsa. Tietotyypit määrittävät sen, mitä kyseisellä tiedolla voidaan tehdä. Tietotyypit jaetaan merkkijono-, numeeriset ja aikatietyyppeihin ja niistä jokainen kuvastaa omalta osaltaan tietomallin rakennetta. Attribuutti-, relatio-, sekä tietotyyppimäärittysten jälkeen tietomallista voidaan koneellisesti johtaa tietokantarakenne, jota voidaan hyödyntää erilaisiin tarkoituksiin.

Toiminnan tietomallin sisällön ensimmäinen ideahahmotelma luotiin syksyllä 2015. Toiminnan tietomallin ideahahmotelman tarkentamiseksi pidettiin useampia työpajoja, joihin osallistui niin projektihenkilöstöä kuin projektin ohjausryhmän edustajia. Toiminnan tietomallin ideoinnissa pyrittiin löytämään mahdollisimman erilaisia näkemyksiä eri aloilta. Ja siksi työryhmissä oli edustettuina rakennusalan lisäksi asiantuntijoita liiketaloudesta, terveystaloudesta,

tietotekniikka-alalta, innovaatioalalta, kaupunkikehityksestä ja tuotantotaloudesta. Työpajojen tuloksena saatiin aikaiseksi toiminnan tietomallin ensimmäinen versio, jonka sisältö on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Toiminnan tietomallin sisältö osatekijöineen.

Toiminnan tietomallin yleisessä sisällöllisessä määrittelyssä on löydettävissä kolme isompaa kokonaisuutta:

1. käyttäjät ja toiminta
2. käyttöympäristö ja -tarkoitukset
3. tietoaaineistot ja tiedon käsittely.

Kukin kolmesta isommasta kokonaisuudesta jakaantuu edelleen osatekijöihin, joiden avulla voidaan tarkentaa toiminnan tietomallia tapauskohteeseen sopivammaksi. Ensimmäinen käyttäjät ja toiminnot -osio jakaantuu osatekijöihin, jotka kuvaavat tarkemmin käyttäjiä ja niihin liittyviä toimintoja. Ensimmäisen osan osatekijöiden avulla saadaan toiminnan tietomalliin kartoitettua ko. ympäristössä toimivat sekä pääasiallinen toiminta. Kartoitus tapahtuu

prosessien, toimintojen ja aktiviteettien, resurssien sekä käyttäjäryhmien kuvauksilla. Osatekijöiden kuvaukset voivat olla yleispiirteisiä tai yksityiskohtaisia. Pääasia on, että toiminta ja toimijat saadaan kartoitettua tarkkuudella, joka antaa mahdollisimman totuudenmukaisen kuvan toimintaympäristöstä, johon toiminnan tietomallia rakennetaan.

Toisen kokonaisuuden eli käyttöympäristö ja -tarkoitukset -osion tarkoituksena on kuvata sitä, mihin toiminnan tietomallia tarvitaan ja halutaan käyttää. Toinen osio jakaantuu osatekijöihin kuten sovellusympäristöt, käyttötarkoitukset ja käyttötilannetyypit, joiden avulla tarkennetaan edelleen sitä, mihin toiminnan tietomallia mahdollisesti tarvitaan, millaisissa käyttötilanteissa, esimerkiksi perustilanne vai poikkeustilanne, sitä on tarve käyttää ja millaisia muita sovelluksia toiminnan tietomalliin halutaan yhdistää.

Kolmas kokonaisuus eli tietoaineistot ja tiedon käsittely -osio kuvaa sitä, mistä tietoja toiminnan tietomalliin haetaan ja miten niitä tulkitaan. Kolmannen osion osatekijät koostuvat tietomallikirjastosta, tietoaineistokirjastosta ja informaatioanalytiikasta. Tietomalli- ja tietoaineistokirjastoista toiminnan tietomalli saa tietonsa, jotka se pystyy esittämään käyttäjälleen tarvittavassa muodossa. Informaatioanalytiikan avulla toiminnan tietomallissa pystytään suodattamaan tarvittavat tiedot tietomalli- ja tietoaineistokirjastoista.

Määrittelemällä edellä mainitut kolme osiota ja niihin liittyvät osatekijät, voidaan luoda kuhunkin tapaukseen liittyvä toiminnan tietomalli. Eri tapauksien toiminnan tietomalleihin ei välttämättä tarvitse määrittää kaikkia osia tai osatekijöitä, jotta toiminnan tietomalli olisi sopeva tilanteeseen. Olennaista on kuitenkin määrittää toiminnan tietomallia varten toimijat, toiminta ja tiedot, joita varten toiminnan tietomalli luodaan.

Toiminnan tietomallin kehittämistä kokonaisuuksista ja osatekijöistä eteenpäin jatkettiin edelleen erilaisissa työpajoissa erilaisin kokoonpanoin. Syksyllä 2016 toiminnan tietomallissa toiminnan kuvaaminen otettiin tarkempaan tarkasteluun ja etsittiin sopivia toimintaa kuvaavia tapoja. Toiminnan tietomallissa ensimmäiseksi on kuvattava käyttötapa eli mitä tarkoitusta varten mallia ollaan rakentamassa ja miten määritetään toimintajärjestelmän rajat. Kun tiedetään, mihin tarkoitukseen mallia käytetään, on malliin liittyvä toiminta kuvattava joko prosessina tai toimintokokonaisuutena jollakin loogisella menetelmällä. Mallin tarkoituksen ja toiminnan selvittämisen jälkeen on määriteltävä toiminnalliset vaatimukset eli mitä

toimintaa mallilla pitää pystyä tukemaan. Toimintaa tukevat tietotarpeet määritetään toiminnan tietomallin viimeistelemiseksi. Lopuksi luodaan tietomallirakenne jollain mallinnustyökalulla, esimerkiksi UML-mallinnusta hyödyntäen.

Toiminnan tietomallin validoimiseksi DORF II -projektissa oli neljä erilaista käyttötapauskohdetta, johon jokaiseen pyrittiin löytämään omanlainen ratkaisu toiminnan tietomallista. Validoitavaksi valitut neljä kohdetta olivat: 1) toiminnan tietomalli betonielementtiprosessin tukena, 2) toiminnan tietomalli ennakkomyyntisovelluksen apuna, 3) toiminnan tietomallin tuomat uudet liiketoimintamahdollisuudet ja 4) toiminnan tietomallin hyödynnettävyys alueelle muuttavan asukkaan näkökulmasta. Valitut kohteet olivat kukin täysin erilaisia toisistaan, kuten toimintakin. Valituissa kohteissa tarkennettiin toiminnan asettamia vaatimuksia toiminnan tietomallille ja pyrittiin löytämään sopiva kuvaustapa, millä toiminta saadaan parhaiten esille kussakin tapauksessa. Toimintaa voidaan kuvaustavallisesti määrittää laadullisin kuvauksin, prosessikuvauksina, toiminnan tuottamaa dataa analysoimalla sekä simuloinnin avulla. Johtuen toiminnan luonteesta ja asetetuista tavoitteista kullekin valitulle kohteelle soveltuu erilainen kuvaustapa (Koivuniemi & Kokko 2016).

#### 4.3 Toiminnan tietomallin hyödyntämisen edellytykset

Jotta toiminnan tietomallia voidaan hyödyntää, tulee toiminta olla hyvin kuvattuna prosessien, tarinoiden, mallien, simulaatioiden tai muiden vastaavien avulla, sillä kuten nimikin sanoo, toiminta on keskiössä. Toiminnan kuvaaminen on useimmiten vaikeaa, sillä esimerkiksi rakennuksen tai asunnon käyttäjät eivät osaa kertoa toiminnastaan, joka on useimmiten automaattista ja tiedostamatonta. Sama koskee usein myös yrityksiä tai yhteisöjä, jotka eivät tunnista tai osaa kuvata toimintaansa. Toiminnan tietomallin kannalta on kuitenkin olennaista, että toiminta saadaan jollain tasolla kuvattua, jolloin voidaan määrittää toiminnan tietomallin parametrit ja tarkoitus, johon toiminnan tietomallia tarvitaan ja toiminnan tietomallista saadaan tarpeiden mukainen. Kun rakennusten tietomallien osalta tilaajien rooli oli keskeinen, niin toiminnan tietomallissa käyttäjien rooli on olennainen. Käyttäjien tulee pystyä kertomaan, millaista tietoa he tarvitsevat oman toimintansa tukemiseksi tai päätöksien tekemiseksi ja toisaalta heidän pitää pystyä kuvaamaan toimintaansa jollain tasolla.

Toiminnan tietomallissa tärkeiksi tekijöiksi muodostuvat myös järjestelmät ja tiedostot, jotka kytketään toiminnan tietomalliin. Järjestelmien ja tiedostojen väliset rajapinnat ovat olennaisessa asemassa, jotta järjestelmät ja tiedostot saadaan keskustelemaan toistensa kanssa. Lisäksi järjestelmistä ja tiedostoista saatavat tiedot tulisi olla yhteensopivassa muodossa, esimerkiksi avoimessa tiedostomuodossa kuten IFC, jotta niitä voidaan hyödyntää toiminnan tietomallissa. Tässäkin, kuten rakennusten tietomalleissa, tärkeää on standardien luonti, jotta tiedot saadaan yhdenmukaisina ja toisiin järjestelmiin yhteensopiviksi. Toiminnan tietomallia varten ei ole järkevää luoda uusia ohjelmia, vaan ennemminkin pitää pystyä hyödyntämään olemassa olevia ohjelmia, jotta ne vastaanottavat avoimessa muodossa olevia tiedostoja ja myös tuottavat tiedostoja, joita muut ohjelmistot voivat hyödyntää.

Toiminnan tietomallien hyödyntämiseen liittyy osaamisvalmiuksia ja -vaatimuksia, joille on kasvavaa kysyntää työelämässä. Toiminnan tietomallien soveltaminen vaatii useimmiten aiemmin hyödyntämättömien tietoaineistojen uudenlaista yhdistämistä (esim. IFC-data ja avoin aluedata), merkityksellisten havaintojen tuottamista tietoyhdistelmistä sekä näiden palvelullistamista. Osaamisena tämä tarkoittaa muun muassa innovatiivista data- ja liiketoiminta-analytiikkaa sisältäen monimuotoiset työkalut ja menetelmät sekä näitä tukevien tietoteknisten järjestelmien soveltamista ja kehittämistä. (Koivuniemi & Kokko 2015.)

Merkittävä toiminnan tietomallin hyödyntämisen edellytys on, että käyttäjät saadaan alusta lähtien näkemään toiminnan tietomallin tuomat hyödyt ja heidät saadaan mukaan toiminnan ja tietotarpeiden määrittelyyn. Toinen merkittävä toiminnan tietomallin hyödyntämisen edellytys on, että tiedot ja järjestelmät saadaan integroitua toiminnan tietomalliin mahdollisimman kivuttomasti, jolloin toiminnan tietomalli toimii kokoavana yhteisenä alustana. Samaan johtopäätökseen rakennuksen tietomallien hyödyntämisen osalta ovat tulleet Kerosuo ym. (2017) loppuraportissaan, jossa he toteavat, että osittainen, askeleittain etenevä tietomallien ja tietoinfrastruktuurin linkitys ja integrointi voisivat olla mahdolliset tavat edetä yhteisen, yhden mallin käyttöön rakennuksen elinkaaren aikana. (Kerosuo ym. 2017, 63.)

Kerosuon ym. (2017, 63) mukaan tarvitaan myös uudenlaisia ohjelmistoja ja palveluja tietomalleihin liittyen, jotta yksi yhteinen rakennuksen elinkaaren ajan toimiva tietomalli olisi mahdollinen. Kuten edellä mainittiin, niin uudet ohjelmistot eivät varsinaisesti ratkaise asiaa, vaan ennemminkin avoimet tiedostomuodot, jotka ovat eri ohjelmistojen hyödynnettävissä ja

muokattavissa tarpeen mukaan. Mutta uudenlaisia palveluita puolestaan tarvitaan toiminnan tietomallin suhteen, jotta toiminnan tietomallin tueksi saadaan tietoja, joita on kerätty ja jalostettu informaatioanalytiikan avulla ja tuotu tarjolle avoimessa muodossa hyödynnettäväksi muissa yhteyksissä. Toiminnan tietomallin käyttöönotossa uudet palveluntarjoajat ovat yhtä ratkaisevassa osassa kuin avoimet tiedostomuodot.

Toiminnan tietomallia tulee kehittää edelleen teoriapohjaisesta määritelmästä ja osatekijöistä käytännön tasolla toimivaksi systeemiksi, joka tarjoaa käyttäjilleen mahdollisuuden useampien eri tietojen ja toimintojen yhdistämiseen tuottajasta, toimijasta tai ajankohdasta riippumatta. Käytännön tasolla toimiva toiminnan tietomalli toteutuu vain, kun käyttäjät vaativat nykyisten yksittäisiin organisaatioihin ja tietojärjestelmiin perustuvien järjestelmien monipuolistamista ja parempaa kattavuutta heidän tarpeisiinsa.

#### 4.4 Toiminnan tietomallin kytkeminen betonielementtiprosessiin

Betonielementtiprosessin ja -toiminnan kuvaus voidaan katsoa prosessikuvauksien osalta kuuluvan toiminta- ja tietokokonaisuuksien tasoon, jolloin toiminnasta saadaan yleiskuva ja jossa tarkastellaan sosiaalisen verkoston toimintaa yli organisaatorajojen. Prosessin ja toiminnan kehittämiseksi pitää analysoida nykytilaa kehittämistarpeiden tunnistamiseksi sekä suunnitella ja mallintaa tavoitetila. Tällöin kaikki osapuolet ymmärtävät kehittämistyön tulokset omassa työssään. (Luukkonen ym. 2012, 31.)

Toiminnan tietomallin kytkemisessä betonielementtiprosessiin lähdetään liikkeelle perusmäärittelyistä kunkin kokonaisuuden ja osatekijöiden osalta. Betonielementtiprosessiin liittyvässä toiminnan tietomallissa osion 2. käyttöympäristöt ja -tarkoitukset sovellusympäristönä on tietenkin betonielementtiprosessi eli prosessi betonielementtien valinnasta betonielementtien asennukseen työmaalla. Käyttötarkoituksena on tietomallien hyödyntäminen betonielementtiprosessissa ja käyttötilanteena perustilanne, jossa on otettava huomioon tuoteosakaupan kolmesta erilaisesta tapauksesta, joita käytiin läpi kohdassa 2.2 Betonielementti rakennushankkeen osana, tilanteessa käytettävä.

Toiminnan tietomallin osion 1. käyttäjät ja toiminta osalta betonielementtiprosessiin liittyy monia toimijoita, toimintoja ja vaiheita. Käyttäjryhmiä ja toimijoita betonielementtiprosessissa on useampia, jotka esiteltiin aiemmin kohdassa 2.2 kuvassa 5 sivulla 23. Jokaisella

toimijalla on omat vaatimuksensa toiminnan tietomallin suhteen, mutta myös betonielementtiprosessin suhteen. Toisaalta niin rakennuksen tietomalli kuin toiminnan tietomalli asettavat vaatimuksia jokaiselle toimijalle, jotta niin rakennuksen tietomallit kuin toiminnan tietomalli hyödyntäisivät kaikkia osapuolia.

Betonielementtiprosessiin kuuluvia toimintoja on useita ja ne jakaantuvat eri toimijoiden kesken. Tässä tapauksessa käsitellään pääpiirteittäin niitä toimintoja ja vaiheita, jotka kytkeytyvät prosessiin päätöksestä valita elementit, suunnitella, valmistaa, toimittaa ja asentaa ne. Olennaista kaikkien betonielementtiprosessiin kytkeytyvien toiminnoissa on, että kaikki sitoutuvat käyttämään tietomallintamista niin suunnittelussa kuin tuotannossa sekä sitoutuvat noudattamaan yhteisiä tietomallintamisen standardeja ja ohjeita. Kaikkien sitoutuminen tietomallintamiseen vaikuttaa siihen, että tietojen saanti, käsittely ja jakaminen helpottuvat, jos tiedot löytyvät tietomalli- ja tietokirjastoista yhteisten sääntöjen ja ohjeistuksien mukaisina ja ajantasaisina.

Pääpiirteissään tietomallipohjainen betonielementtiprosessi ei poikkea olennaisesti perinteisestä betonielementtiprosessista. Betonielementtiprosessin käynnistymiseen tarvitaan päätös siitä, että rakenteeksi valitaan betonielementti, jolloin päätöksen jälkeen valitaan, millä tuoteosakaupan mallilla betonielementtien toimitus tehdään. Tuoteosakaupan valinnasta riippuen toiminnot vaihtelevat sen mukaan, kuka tekee elementtisuunnittelun. Tuoteosakauppavalinta vaikuttaa betonielementtiprosessin etenemiseen ja se alkaa sillä, että työmaan osalta tehdään työmaalle elementtien tehtävä- ja aikataulusuunnittelu ja elementtitehtaalla puolestaan elementtien tuotannonsuunnittelu aikatauluineen. Sekä työmaan että elementtitehtaan suunnittelujen tulee olla linjassa keskenään, jotta oikeat elementit saadaan työmaalle oikeaan aikaan rakentamista ajatellen. Työmaan ja elementtitehtaan yhteisymmärrys molemmille sopivasta aikataulusta ja toimituksista varmistetaan aloitusneuvottelujen kautta. Betonielementtiprosessin sujuvuus määräytyy pitkälti niin urakoitsijan kuin elementtitehtaan välisestä kommunikaatiosta ja tietojen välityksestä. Molempien pitää ajantasaisesti välittää niin tietomalleja kuin tietoja mahdollisista alkuperäiseen suunnitelmaan tulleista muutoksista, jotta prosessi etenee suunnitelman mukaisesti. Mikäli kaikki toteutuu suunnitellusti tietomalleja käyttäen, betonielementtiprosessi päättyy siihen, kun valmiit elementit on asennettu rakennukseen.

Betonelementtiprosessissa tärkeiksi tekijöiksi nousevat valintapäätöksen teko ja ajankohta. Nämä kaksi, päätökset ja ajankohdat, määrittävät betonelementtiprosessin onnistumisen. Ensimmäinen ratkaiseva päätös betonelementtiprosessissa koskee tilaajaa, joka päättää, että rakennushanke tehdään tietomallintamalla määrittäen samalla, mitä varten tietomallinnus tehdään ja millä tarkkuudella sekä sitouttamalla rakennushankkeeseen osallistuvat tietomallintamiseen. Toinen ratkaiseva päätös koskee betonelementtien valitsemista rakennuksen rakenteeksi, joiden perusteella valitaan elementtitoimittajat ja suunnitellaan elementit. Näiden päätösten ja niihin liittyvien ajankohtien jälkeen tulee vielä löytää yhteisymmärrys ja halu tietomallintamisen käyttämisestä elementtien suunnittelussa ja tuotannossa. Kun kaikki osapuolet ymmärtävät tietomallipohjaisen betonelementtiprosessin toimintatavan ja ohjeistukset, saavutetaan ennen kaikkea kaikkia osapuolia hyödyntävä toimintatapa, joka on tehokas niin toiminnaltaan kuin tiedonvälittäjänä, mutta joka auttaa myös betonelementtiprosessin kehittämisessä yli organisaatorajojen.

Betonelementtiprosessiin liittyvästä toiminnan tietomallista on tärkeää saada ulos kullekin toimijalle tarpeellisia tietoja ajallisesti oikeaan aikaan ja kunkin toimijan ohjelmistoihin sopivassa muodossa. Ensimmäinen ajankohta, jolloin toiminnan tietomallista tarvitaan tietoja, on päätös betonelementtien valinnasta, jolloin urakoitsija pystyy aloittamaan tuoteosakauppavalmistelut. Toinen tärkeä ajankohta on, kun betonelementtivalmistaja on valittu ja tarvitaan yhteinen toiminta-alusta, josta kaikki voivat nähdä ja saada tarvittavat tiedot digitaalisessa muodossa: mallit, suunnitelmat, aikataulut, päätökset, muutokset, toimijat, sopimukset ja niin edelleen. Toiminnan tietomallista tulisi kaikkien osapuolien pystyä seuraamaan ajantasaisesti betonelementtien tilannetta vaihe vaiheelta.

Kuten aiemmin todettiin betonelementtiprosessi ei sinällään muutu alkuperäisestä, vaan olennaista on tietomallien hyödyntäminen tehokkaammin suunnittelusta aina tuotantoon asti, päätösten tekeminen aikaisemmassa vaiheessa sekä sitoutuminen tietomallien käyttöön standardien ja ohjeiden mukaisesti tai muulla sovitulla tavalla, jotta tietomalleja voidaan hyödyntää niin suunnittelussa kuin tuotannossa. Toiminnan tietomallin tarkoituksena betonelementtiprosessissa on tuoda kaikille betonelementtiprosessiin kytkeytyville toimijoille näkyvämmäksi betonelementtien tilanne, niihin kytkeytyvät tarvittavat tiedot ja mahdollisuus hyödyntää niitä omassa toiminnassaan ajankohdasta huolimatta. Betonelementtiprosessi kuvattuna toiminnan tietomallin ajatusta hyödyntävänä prosessina on kuvassa 13.



Kuva 13. Betonielementtiprosessi tietomalleja hyödynnettäessä

Toiminnan tietomallin kehittäminen tietomallipohjaisessa betonielementtiprosessi vaatisi alustan luontia ja testaamista todellisessa kohteessa tai ympäristössä. Haasteena voi olla, että kaikki toimijat eivät vielä pysty tuottamaan tietomalleja yhteisten sovittujen sääntöjen ja ohjeistusten mukaisina. Lisäksi muiden betonielementtiprosessiin liittyvien avointen tiedostojen saaminen vaatii vielä tietojen tuottajilta asennemuokkausta, jotta ne suostutaan luovuttamaan muiden toimijoiden nähtäville, saataville ja hyödynnettäväksi.

## 5 TIETOMALLIT BETONIELEMENTTIPROSESSISSA

DORF II -tutkimusprojektin keskiössä olivat yritykset, jotka toimivat jo osittain mallipohjaisesti omassa toiminnassaan ennen projektin alkua. Mallipohjaisuudella viitataan tässä yhteydessä rakennetun ympäristön osalta yritysten kykyyn tuottaa tietomalli omasta tuotteestaan (rakennus, talotekninen ratkaisu, asunto, toiminta, etäohjaus yms.) osana kohdeympäristöä, jossa projektin ratkaisuja testataan tai hyödynnetään. Keskiössä oli toiminnan tietomallinnus ja käyttäjän roolin (asiakas/kuluttaja/yritys) tunnistaminen ja liittäminen osaksi toiminnan tietomallia. Toiminnan tietomallilla ei tarkoiteta perinteisiä toiminnanohjausjärjestelmiä, jotka rakentuvat älykkyyden näkökulmasta väärinpäin. Toiminnan tietomallin lähtökohtana on toiminta, joka rakentuu ihmisistä käsin, joko enemmän (yritykset) tai vähemmän (kuluttajat) ohjattuna. (Tutkimussuunnitelma 2015, 2.)

Projektin keskiössä oleva mallipohjaisuus keskittyi erityisesti olemassa olevan malliosaimisen laajempaan hyödyntämiseen ja ennen kaikkea toiminnan tietomallien tuottamiseen osaksi rakennetun ympäristön suunnittelua, toteutusta ja varsinaisia käyttöprosesseja. Projektin osalta käyttäjälähtöisyys tarkoitti ensisijaisesti käyttäjän tietomallintamista ja käyttäjän oman aktiivisuuden huomiointia tässä mallissa. Käyttäjän tietomallinnus ei koskenut ainoastaan kuluttajanäkökulmaa, vaan myös yritysten työntekijät ja yritysten prosessit kuuluivat tältä osin toiminnan tietomallinnuksen piiriin ja edustivat siten käyttäjää. Projektissa tietomallien määrittelyssä ja liittämisessä osaksi rakennettua ympäristöä tarkasteluun otettiin tieto, joka on joko olemassa tai se on tuotettava. Tiedon tämän hetkinen saatavuus ja luonne eivät voineet olla esteenä osaamisen ja tietomallien hyödyntämisen edistämiseksi. (Tutkimussuunnitelma 2015, 9.)

Projektiin osallistuneista yrityksistä kaksi oli rakennusalan yrityksiä, joista molemmat olivat kohdanneet erilaisia haasteita betonielementtiprosessissa. Toinen rakennusalan yrityksistä toimii rakennuttajana/urakoitsijana ja tässä tutkimuksessa toisen yrityksen rooli oli enemmän betonielementtien tuottajana, vaikka yrityksen pääasiallinen toiminta liittyi urakointiin. Molemmat yritykset olivat myös kiinnostuneita tietomallien hyödyntämisestä betonielementtiprosessissa ja tutkimaan löytyisikö tietomallien avulla ja eri tietoja yhdistämällä vastauksia betonielementtiprosessissa esiintyviin haasteisiin. Molemmat yritykset olivat jo tutkineet erilaisia vaihtoehtoisia ratkaisuja haasteiden ratkaisemiseksi, mutta eivät vielä olleet löytäneet

y yrityksille sopivaa ratkaisua. Projektissa hyödynnettiin yritysten kohdeympäristöjä ja projektiin liittyvien yhteistyötahojen kohteita. Kohdeympäristöt antoivat hyvän kuvan nykytilasta ja osin konkretisoivat jo hankkeen valmistelun yhteydessä tunnistettuja tarpeita.

Rakennusten tietomallien käyttö on tähän mennessä keskittynyt pääasiassa suunnittelu- puolelle ja tietomallien laajempi käyttö ja hyödyntäminen muualla ovat vielä alkutekijöissä. Täten myös tietomallien käytön mahdollisuudet ja hyödyntäminen erilaisissa ympäristöissä ja kohteissa ovat vasta alkutekijöissään. Betonielementtiprosessin kytkemisellä sekä rakennusten tietomalleihin että toiminnan tietomalliin tuodaan esiin tietomallien uusia käyttö- ja liiketoimintamahdollisuuksia, joilla pyritään edistämään yritysten ymmärrystä tietomallien käyttö- ja hyödyntämismahdollisuuksista.

#### 5.1 Haasteet tietomallipohjaisessa betonielementtiprosessissa

Betonielementtiprosessissa, kuten rakennusprosessissakin, on useita haasteita, joita on tutkittu eri näkökulmista. Useimmiten betonielementtiprosessin haasteita on tutkittu betonielementtitehtaan näkökulmasta yrittäen löytää juuri kyseessä olevan yrityksen ongelmaan ratkaisua. Haasteiden tutkiminen yli organisaatorajojen on jäänyt vähemmälle huomiolle. Perinteisen betonielementtiprosessin haasteiden lisäksi tietomallintaminen on tuonut kuvaan mukaan uusia haasteita, jotka osaltaan linkittyvät rakennusprosessissakin ilmenneisiin haasteisiin.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää projektiin osallistuneiden kahden rakennusyrityksen haasteet betonielementtiprosessissa ja pyrkiä vähentämään tai jopa poistamaan niitä rakennusten tietomallien ja toiminnan tietomallin avulla. Betonielementtiprosessin haasteita ja niihin liittyviä ratkaisuja selvitettiin niin yritysten kokemusten kuin aiempien tutkimusten perusteella. Yrityksien kokemukset olivat pääosassa haasteiden tunnistamisessa. Ratkaisujen etsimessä pääpaino oli puolestaan aiemmilla tutkimuksilla ja toiminnan tietomallilla.

Betonielementtiprosessissa ilmenneet haasteet selvitettiin keskustelemalla kummankin rakennusyrityksen edustajien kanssa keväällä 2016. Toinen yrityksistä edusti rakennuttajaa/urakoitsijaa ja toinen betonielementtitehdasta, joilla molemmilla oli useiden vuosien kokemukset rakentamisesta ja elementtien käytöstä rakentamisessa. Keskustelujen pohjalta

löytyivät haasteet, joihin tutkimuksessa paneuduttiin ja joihin pyrittiin löytämään ratkaisuja rakennusten tietomallien, toiminnan tietomallin ja aiempien tutkimusten avulla.

Rakennuttajan/urakoitsijan kanssa käydyn keskustelun pohjalta esiin nousivat seuraavat haasteet betonielementtien tilaus-toimitusprosessissa:

1. Urakoitsija pääsee mukaan rakennusprojektiin liian myöhään tuotannosuunnittelun kannalta.
2. Urakoitsija tarvitsee oman tietomallipohjaista suunnittelua tekevän elementtisuunnittelijan, mikäli rakennesuunnittelija ei tee suunnitelmia tietomallipohjaisesti.
3. Tietomallien tuottaminen ja hyödyntäminen on vähäistä tai niitä ei ole ollenkaan. Urakoitsijan näkökulmasta tietomalleja voitaisiin hyödyntää aikataulu- ja tuotannosuunnittelussa sekä työmaalla.
4. (Muutos)tietojen siirto-/hallintaongelmat, sillä tietojen välittyminen toisille osapuolille ei ole vielä sujuvaa ja oikeassa muodossa tai kaikki eivät reagoi tai eivät pysty reagoimaan (muutos)tietoihin urakoitsijan toivomalla tavalla.
5. Elementtienhallintaongelma tuotannosuunnittelussa ja työmaalla.

Betonielementtitehtaan edustajien kanssa käydyn keskustelun pohjalta esiin nousivat puolestaan seuraavat haasteet tuotannosuunnittelussa ja toimitusprosessissa:

1. Aitoja tietomalleja ei saatavilla tuotannosuunnittelua varten.
2. Tehdään turhaa tai päällekkäistä työtä (esim. reikäpiirroskierrokset, joita ei malleja käyttämällä tarvittaisi)
3. Suunnittelun ja elementtien toimituksen aikatauluongelmat.
4. (Muutos)tietojen siirto-/hallintaongelmat eli miten saada (muutos)tiedot kulkemaan läpinäkyvästi läpi prosessin? Muutostiedot vaikuttavat moneen asiaan ja niihin on vaikea vastata tiedonhallinnan ja aikataulujen osalta.
5. Elementtienhallinta tuotannosuunnittelussa ja toimitusprosessissa.

Molempien toimijoiden osalta löytyi samanlaisia haasteita, vaikka toiminta oli erilaista. Tosin myös erilaisia haasteita löytyi. Molempien osalta on todettava, että aitoja tietomalleja on harvoin saatavilla ja vielä harvemmin niitä on mahdollista hyödyntää omassa toiminnassa. Molemmat olivat jo tiedostaneet tietomallien tuomat hyödyt ja niiden mahdollisuudet omassa toiminnassaan sekä toivoivat pääsevänsä tehokkaammin toimimaan tietomallipohjaisessa rakennushankkeessa. Molemmissa yrityksissä tiedon siirto- ja hallintahaasteet

haittasivat voimakkaasti työn sujuvaa etenemistä. Tiedon siirto- ja hallintahaasteisiin voidaan lukea myös elementtienhallinta, joka oli ongelmallista molemmille yrityksille.

Yritysten kokemien haasteiden pohjalta pyrittiin löytämään ratkaisuja aiemmista tutkimuksista ja toiminnan tietomallista. Ratkaisujen etsimisessä otettiin huomioon tietomallien tuomat haasteet, elementtienhallintaan liittyvät haasteet ja näihin kytkeytyneet ratkaisut. Lisäksi ratkaisuja ja vastaavuuksia koettiin haasteisiin haettiin myös muilta aloilta, joissa tuotetiedonhallintaa on kehitetty useamman vuosikymmenen ajan.

## 5.2 Aiemmat tutkimukset ja ratkaisut betonielementtiprosessin haasteisiin

Ennen tietomallintamisen hyödyntämistä betonielementtiprosessissa, Petri Suutarinen oli tutkinut elementtitoimituksien haasteita diplomityössään betonielementtirungon rakentamisen nopeuttamiseksi. Suutarinen (1990, 30) on todennut jo silloin betonielementtiprosessin haasteiksi seuraavat asiat:

- *”rakennuttaja/tilaaja valitsee elementtiurakoitsijan ja elementtisuunnittelijan myöhään*
- *arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan detaljisuunnittelun tulee olla valmis ennen elementtisuunnittelun aloittamista*
- *suunnittelusopimukset ovat puutteellisia ja suunnittelun tehtäväjaoissa on epäselvyyksiä*
- *elementtisuunnittelulle ei ole varattu tarpeeksi tai ollenkaan aikaa hanke-aikataulussa.”*

Edelleen lähes 30 vuoden jälkeenkin elementtiurakoitsija ja elementtisuunnittelija valitaan liian myöhään, sillä elementtisuunnittelu sisällytetään useimmiten rakennusurakkaan. Rakennusurakoitsija pääsee valitsemaan elementtisuunnittelijan ja elementtiurakoitsijan vasta voitettuaan urakkakilpailun. Elementtisuunnittelulle ei ole myöskään tarpeeksi aikaa ja usein elementtisuunnittelua tehdään rintarinnan muun suunnittelun ja rakentamisen kanssa.

Suutarisen ratkaisu betonielementtiprosessin virheiden ja myöhästymisten vähentämiseksi oli, että betonielementtikohteissa keskityttäisiin enemmän tuotannon ohjelmoinnin lisäksi elementtiprosessin ohjaukseen. Elementtiprosessin ohjauksessa elementtitehdasta auttaisi

koko prosessia käsittävä aikataulutus- ja ohjausjärjestelmä. Ratkaisu keskittyi vain ko. elementtitehtaan elementtiprosessin ohjaukseen, jossa ei huomioitaisi muita osapuolia. Suutarinen esittää käyttöön otettavaksi elementtitoimituksen ohjausmallia, jossa asennussuunnittelu, tuotannon ohjelmointi ja projektin ohjaus kootaan yhteen. (Suutarinen 1990, 93.) Suutarisen luoma ohjausmalli on idealtaan sama, mitä toiminnan tietomallilla haetaan eli kootaan yhteen tietoja ja toimintoja, jotka liittyvät kyseessä olevaan toimintaan.

### ***Tietomallien hyödyt betonielementtiprosessissa***

Otettaessa tietomallintaminen mukaan, tietomallintamisen ja tietomallien odotetaan tuovan myös betonielementtiteollisuudelle useita hyötyjä. Tietomallintaminen parantaa elementtien helpompaa määrittelyä tarjouspyynnöissä, sillä malleista elementit ovat paremmin hahmotettavissa sekä laskettavissa määrällisesti, mikäli mallit annetaan tarjouspyyntöjen mukana. Tietomallien myötä kustannusarvioiden tekeminen tarkentuu, kun malleista saadaan yksityiskohtaisempia ja tarkempia tietoja. Elementtitehtaan ja tilaajan välinen reagointi muutokseen ja tiedonvälitykseen parantuu huomattavasti tietomalleja hyödynnettäessä. Myös elementtitehtaan sisäinen tiedonvälitys paranee ja mallista saatavia tietoja voidaan hyödyntää tuotantolinjalla. Virheiden määrä vähentyy piirustuksiin verrattuna ja täten myös tuottavuus lisääntyy. Haasteina tietomallipohjaisessa elementtiprosessissa nähdään elementtien ja elementtiprosessin standardisointi, joka auttaisi parantamaan työnkulkua entisestään tietomallintamisen lisäksi. (Nath, Attarzadeh, Tiong, Chidambaram & Yu 2015, 55 & 67.)

Mikäli rakennesuunnittelussa on käytetty tietomallinnusta, elementtien tuotantopiirustukset voidaan tuottaa suoraan tietomalleista ja reikämallinnukset voidaan tehdä ennen elementtitehtaan vientiä. Tietomallista voidaan suoraan ottaa määräluetteloita, tietoja, detaljeja, 3D-kuvia ja niin edelleen sekä tuotannonohjausjärjestelmille että työmaat tuotantoa varten, mikäli tietomallit on tehty yhteisiä mallinnusperiaatteita ja sopimuksia noudattaen. Ottamalla elementtisuunnittelu mukaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa voidaan vähentää virheitä ja kustannuksia, parantaa työturvallisuutta työmaalla ja tehostaa elementtiprosessia. Lisäksi elementtitoimittajalla on mahdollisuus kehittää tuotteitaan ja palvelujaan paremmin. (Sulankivi 2014, s. 4 & 19.)

### ***Ohjeet, standardit ja tiedostomuodot***

Olennaista tietomallien hyödyntämisessä betonielementtiprosessissa on, että kaikki toimijat noudattavat yhteisiä ohjeita, sääntöjä ja standardeja. Tietotojensiirrossa ja hallinnassa tällä hetkellä soveltuvin tiedostomuoto on IFC. Jotta tarvittavat tiedot saadaan ulos oikeantyyppisinä, on jokaisen toimijan suunniteltava osat oikein ja lisättävä tietoja oikein. Yhteiset standardit auttavat suunnitelmien ja tietojen käsittelyn hallintaan, jotta saavutetaan oikeanlainen malli. Samaan tulokseen tulivat myös Jeong, Eastman, Sacks & Kaner (2009, 484) tutkimuksessaan, jossa he vertailivat kahden eri tiedostomuodon sopivuutta tietoja siirrettäessä eri osapuolien välillä. Jotta tietomallien käyttö sujuisi kaikilta osapuolilta vaivattomammin ja toiminta olisi yhteensopivaa, kannattaa jokaisen tietomalleja hyödyntävän tutustua BuildingSMART-yhteisön ja Rakennustieto Oy:n yhdessä julkaisemaan Yleiset tietomallivaatimukset 2012 -ohjeistukseen, johon on koottu tietomallintamiseen liittyvät ohjeet ja säännöt Suomessa. Ohjeistukseen on tehty täydentäviä osio, jotka on luotu ohjeistuksen luonnin jälkeisten kokemusten perusteella. Ohjeistuksia noudattamalla myös tiedonsiirtojen tulisi toimia sujuvammin.

Vertailtaessa autoteollisuudessa käytettyä tuotetiedonhallintaa ja rakennusten tietomallintamista, olennaista molemmissa on pystyä synkronoimaan standardoitu data kaikkien järjestelmien kanssa sekä omassa organisaatiossa kuin muiden rakennushankkeessa toimivien järjestelmissä. Lisäksi jo niin rakennuksen kuin toiminnan suunnittelussa on sovittava kaikkien toimijoiden kesken yhteisestä logiikasta luoda, nimetä, merkitä ja hallinnoida objekteja sekä neuvoteltava mahdollisuudesta hyödyntää standardoitua dataa muissa järjestelmissä kunkin toimijan tarpeen mukaan. (Holzer 2014, 78.) Suomessa objektien luomiseen ja nimeämiseen on selkeät ohjeet Yleisissä tietomallivaatimuksissa 2012 ja siihen tehdyissä täydentävissä liitteissä. Betonielementtien tietomallintamiseen on erikseen tehty elementtisuunnittelun mallinnusohje BEC2012 (Betoniteollisuus ry 2012).

### ***Tuotetietokirjastot***

Avoimet tuotetietokirjastot, joita voidaan hyödyntää tietomallipohjaisessa hankkeessa, eivät vielä ole rakennusalalla toimivien käytettävissä siinä laajuudessa, kuin se olisi tarpeellista. Tällä hetkellä käytettävissä on seitsemän erilaista tuotetietokirjastotyyppiä. Nämä ovat Tarandin ja Vahenurmen (2016, 154) mukaan:

- CAD/BIM tuotekirjastot, jotka tulevat ohjelmiston mukana sisältäen yleisiä BIM-objekteja.
- Tuotetyyppisiä kirjastoja, joita erilaiset yhdistykset ovat laatineet sisältäen. standardoituja komponentteja alalle, esimerkiksi johtoihin ja putkiin liittyen.
- Valmistajien kirjastoja sisältäen valmistajan omia spesifisiä tuotteita.
- Projektikirjastoja, jotka ovat valittu ja tehty juuri ko. projektia varten.
- Yrityksen omat kirjastot, jotka ovat hyväksi havaittuja ja valittu aiempien projektien perusteella.

Nämä kirjastot ovat kuitenkin rakenteeltaan, sisällöltään ja formaatiltaan hyvin erilaisia ja niihin on saatavissa rajoitetusti tukea yksityiskohtien ja tietojen osalta. Rakennusalalla olisi tarvetta kaikille ohjelmille ja osapuolille yhteensopivasta avoimesta ajan tasalla pysyvistä tuotetietopankista koko rakennuksen elinkaaren ajalle. (Tarandi & Vahenurm 2016, 154.)

Tuotetietokirjastojen yhteensopivuus ja avoimuus tietomallintamiseen on tärkeää, sillä silloin tietojen välitys eri ohjelmien välillä yleisten liiketoiminta mallien, samanlaisten tiedostoformaattien sekä ohjelmisto protokollien kautta olisi mahdollista. Dynaamisen tiedon lisääminen tietomalleihin on vielä harvinaista, mutta mahdollista. Tuotetiedon käyttö tietomalleissa lähtee liikkeelle vasta, kun kaupalliset ohjelmistomyyjät hyödyntävät tuotetietokirjastoa ja lisäävät tuotetietojaan sinne osana tuotteidensa markkinointia, tai kun tuotteiden valmistajat hyödyntävät tuotetietokirjastoa tietojen hankkimisalustana. (Palos, Kiviniemi & Kuusisto 2014, 64-65).

### ***Elementtienhallinta***

Elementtienhallintaa niin elementtien tuotantoprosessissa kuin rakennustyömaalla voidaan parantaa, jos noudatetaan yhteisesti sovittuja sääntöjä, myös tietomallintamisessa. Rakennesuunnittelijan, elementtisuunnittelijan, elementtitehtaan ja urakoitsijan tulee sopia yhteisesti jo alusta lähtien, mitä numerointi- ja yksilöintitietoja elementeissä käytetään elementtejä tietomallinnettaessa. Aiemmin elementtien tunnistamiseen on käytetty viivakoodeja, jotka on tulostettu paperille ja kiinnitetty elementtiin. Paperille tulostettujen viivakoodien ongelmana on ollut, että ne kasvavat, jolloin niiden lukeminen työmaalla esimerkiksi älypuhelimella ei ole onnistunut. Myös hämärä valaistus heikentää viivakoodin lukemista. (Vartiainen, Kallonen & Ikonen 2008, 2.)

Paperille tulostettujen viivakoodien sijaan elementteihin kytketyt tiedot voidaan asentaa elementteihin RFID-tunnisteita (Radio Frequency IDentification) hyödyntäen elementtitehtaalla, jolloin elementtien tiedot ovat hyödynnettävissä aina lopullisessa rakennuksessa. RFID-tunnisteiden asennuspaikka tulee huomioida jo suunnitteluvaiheessa, jotta niitä voidaan lukea myös elementtien asentamisen jälkeen valmiissa rakennuksessakin. RFID-tunnisteisiin pystytään päivittämään tietoja työmaalla, jolloin reaaliaikainen tietojen välitys työtekijöiden, tietojärjestelmien ja valmiin rakennuksen osalta toimii. RFID-tunnisteiden lukua varten tarvitaan työmaalle usein erillinen laite, joka saatetaan kokea uutena haasteena työn sujuvuutta ajatellen. (Ikonen, Knutas, Hämäläinen, Ihonen, Porras, & Kallonen 2013, 119-147.) Sen lisäksi, että RFID-tunnisteisiin voidaan lisätä tietoja työmaalla, RFID-tunnisteiden dataa voidaan viedä takaisin tietomalleihin. Yhdistämällä RFID-tunnisteiden data ja tietomallit voidaan niitä hyödyntää yhdessä myös turvallisuuden seuraamiseen ja hallintaan rakentamisen aikana. (Ding, Zhou, & Akinci 2014, 91.)

RFID-tunnisteiden lisäksi elementit voidaan merkitä GUID-tunnusnumeroiden (Globally unique identifier) avulla ja hyödyntää niitä tietomallipohjaisessa suunnittelussa ja rakentamisessa. (Nissilä, Heikkilä, Romo, Malaska & Aho 2014, 1-5.)

### ***Tietomallipohjaisen betonielementtiprosessin hallinta***

Just in Time (JIT) eli Lean-mallin hyödyntäminen betonielementtiprosessissa on haastavaa, mutta kannattavaa. Siitä huolimatta, että betonielementtiprosessi jakaantuu eri toimijoiden hallitsemiin prosesseihin, voidaan kaikkien yhteistyöllä kehittää betonielementtiprosessista tehokas ja kaikkia paremmin hyödyntävä prosessi kiinnittämällä huomiota pullonkaulakohtiin ja tiedonhallintaan. (Benton 2014, 198 & 282.) Tämä edellyttää yhteistyötä yli organisaatorajojen ja halukkuutta muuttaa toimintatapoja yhdessä toisten osapuolien kanssa.

Iso osa rakennustyömaalla tehtävistä virheistä voidaan tietomallien avulla huomata jo etukäteen ja poistaa kokonaan, jolloin säästetään kustannuksissa huomattavasti (Park, Lee, Kwon & Wang 2012, 62). Jo pelkästään eri suunnittelijoiden tekemien mallien törmäystarkastelussa huomataan useimmat virheet ja vältetään samojen virheiden esiintyminen työmaalla sekä säästetään kustannuksissa. Eräässä tutkimuksessa rakennustyömaalla esiintyvien virheiden korjaamisessa hyödynnettiin telematiikalla toimivaa digitaalista työpöytää.

Telematiikalla tarkoitetaan langattoman viestinnän ja paikkatiedon yhdistämistä informaatioteknologian ja automatiikan avulla. Telematiikalla toimivan työpöydän katsottiin tuovan hyötyjä etenkin ajantasaisen tiedon välittämisessä suunnittelijoille, mutta esimerkiksi työmaalla työpöytä ja tietojen välitys koettiin turhauttavana. Myös tekniset virheet lisääntyivät työmaalla toimivien keskuudessa. (Dong, Maher, Kim, Gu & Wang 2009, 823-824.)

Työmaan valvonnassa, tehtävien hallinnassa ja reaaliaikaisen tiedon jakamisessa on mahdollisuus hyödyntää mobiililaitteissa käytettäviä digitaalista karttaa ja lisättyä todellisuutta. Lisätyllä todellisuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä virtuaalisten kuvien tai tietojen tuontia todellisen kuvan tai kartan päälle. Digitaalisen kartan ja lisätyn todellisuuden avulla rakennuttaja/urakoitsija saa tarvittavan määrän reaaliaikaista tietoa työmaalta työmaatehtävien hallitsemiseksi. Työmaainsinöörien on puolestaan helpompi hahmottaa annetut työmaatehtävät digitaalisten karttojen ja lisätyn todellisuuden avulla. (Kim, Park, Lim & Kim 2013, 422.) Lisättyä todellisuutta voidaan rakennustyömaan lisäksi hyödyntää rakennusten ylläpidossa tietomalleihin yhdistämällä, jolloin esimerkiksi tarkastuksia, poikkeamia ja korjauksia on mahdollista ensin tutkia digitaalisesti. (Sampaio, Gomes & Santos 2012, 132).

Rakennustyömaan hallinnointi vaatii tarkkaa ja ajantasaista tiedonvälitystä kaikilta rakennushankkeessa työskenteleviltä. Dave, Kubler, Främbling & Koskela (2015) korostavat, että rakennushankkeessa toimivien tulisi käyttää sellaisia järjestelmiä ja ohjelmistoja, jotka mahdollistavat tiedon välityksen suoraan työmaalle ja toisaalta tiedon täydentämisen rakennustilanteesta toimistolle. Lisäksi he korostavat tutkimuksessaan avoimien tiedostomuotojen ja standardien käyttöä, jotta tiedot ovat kaikkien toimijoiden käytettävissä ohjelmistoista riippumatta. Daven ym. tapaustutkimuksessa todettiin, kuinka Lean-malliin pohjautuvia rakennushankkeen hallinnointiin tehtyjä ohjelmia VisiLean ja KanBIM voidaan parantaa ja tehostaa hyödyntämällä IoT-standardeihin perustuvia tiedostomuotoja. Samalla saadaan parannettua tehtävätilanteiden raportointia työmaalta sekä eri järjestelmien ja organisaatioiden yhteen toimivuutta. (Dave, Kubler, Främbling, & Koskela 2015, 86-96)

Rakennushankkeen materiaalitoimituksien haasteisiin Ala-Risku ja Kärkkäinen (2006) esittävät ratkaisuksi Last Planner-ohjelman hyödyntämistä siten, että siihen olisi kytketty materiaalitoimitusten seuranta varastojen läpinäkyvyyden aikaansaamiseksi sekä proaktiiviset materiaalitoimitukset varastojen pitämiseksi kohtuullisen kokoisina ja ajantasaisina niin ma-

terialtoimittajien kuin työmaan näkökulmasta. Täten säästyttäisiin turhilta varastojen ylikuormituksilta niin materiaalien toimittajien kuin työmaankin osalta. Ja toisaalta varmistettaisiin paremmin materiaalien saatavuus työmaan tarpeisiin aikataulujen mukaisesti. (Ala-Risku & Kärkkäinen 2006,19-27.)

### ***Esimerkin ottaminen muilta aloilta***

Rakennusalan siirtyessä tietomallintamisen myötä enemmän ja enemmän digitaalisessa muodossa olevien tietojen ja tiedostojen hyödyntämiseen erilaisissa järjestelmissä, on järkevää ottaa mallia muista aloista, kuten auto- tai ilmailuteollisuudesta, joissa tuotetiedon hallintaa on kehitetty pidemmän aikaa. Näillä aloilla tuotetiedon hallinta on ulotettu koko tuotteen elinkaaren ajalle aina suunnittelusta tuotteen loppusijoitukseen asti. Jupp ja Nepal tuovat esille monia samankaltaisuuksia tuotteen elinkaaren hallinnan ja tietomallintamisen välillä kuten tietojen jakamisen, projektien hallinnan, tuotteiden toimituksiin ja aikatauluihin kytkeytyvät organisaatiotiimit sekä oliopohjaiset visualisointitoiminnot. Olennaiset muutokset tuotteen elinkaaren hallinnassa ovat tapahtuneet kahdessa liiketoimintaan liittyvässä perusasiassa: 1. siirtyminen perinteisestä tuotteen toimituksesta tuotteen loppukäyttöön ja asiakkaan kokemuksiin ja käyttöön keskittymiseen ja 2. siirtyminen tuotteen ideoinnista ja immateriaalioikeuksista koko tuotteen elinkaaren hallintaan. Nämä muutokset ovat puolestaan vaikuttaneet yritysten verkostoitumiseen, muutoksiin asiakaskunnassa ja tuotantotavoissa ja tuotteiden massakustomointiin. Muutokset ovat vaikuttaneet kaikkien osapuolien suhteisiin aina alihankkijoista ja tuottajista asiakkaisiin asti. (Jupp & Nepal 2014, 41 & 44.) Samat muutokset ovat nähtävissä nyt myös tietomallintamisessa ja siihen liittyvässä liiketoiminnassa.

### 5.3 Toiminnan tietomallin kytkeminen yritysten kokemuksiin haasteisiin

Toiminnan tietomallin kytkemisessä yritysten kokemuksiin haasteisiin tarvitaan samoja edellytyksiä kuin toiminnan tietomallin hyödyntämisessä minkä tahansa toiminnan suhteen. Toiminnan tietomallin tarkoituksenahan on kytkeä yhteen sekä toiminta että tiedot ajallisesti missä vaiheessa vain. Toiminnan tietomallin käytön edellytyksenä on, että toiminta ja toimijat ovat kuvattuna tasolla, jonka kaikki ymmärtävät ja josta voidaan muodostaa tietomalli. Betonielementtiprosessiin liittyvät toiminnot rakennushankkeen toimijat tuntevat omalta

osaltaan, mutta kytkettäessä mukaan tietomallintaminen, on jokaisen ymmärrettävä ja tunnettava myös toisten osapuolten toimintaa sillä tasolla, että tietävät, mitä heiltä odotetaan ja vastaavasti, mitä heidän tulisi odottaa toisilta. Toisten osapuolten toiminnan tunteminen pelkästään tietomallintamiseen liittyen on jo haaste, joka on ensimmäiseksi ymmärrettävä. Jos ymmärtää betonielementtiprosessin ja tietomallintamisen periaatteet ja toiminnan omalta sekä muiden osalta, on toiminnan tietomallin edellytyksistä suurin osa otettu haltuun.

Toinen edellytys toiminnan kuvaamisen lisäksi on toiminnan tietomalliin kytkeytyvät tiedot. Aiempien tutkimusten pohjalta on todettavissa, että olennaista niin järjestelmien kuin toiminnan tietomallin osalta on panostettava avointen tiedostomuotojen ja yhteisten standardien käyttöön, jotta ne ovat hyödynnettävissä kaikissa järjestelmissä ohjelmistoista huolimatta. Toiminnan tietomallin kytkeminen yritysten haasteisiin lähtee siitä, että yrityksellä on sellaiset ohjelmistot, joilla voidaan tuottaa, vastaanottaa ja hyödyntää avoimia tiedostomuotoja kuten IFC-tiedostoja.

Niin toiminnan tietomallin ja rakennuksen tietomallien käyttöön otossa kuin haasteiden ylläpitää ratkaisemisessa avaintekijänä on yrityksen oma kulttuuri uusia asioita ja muutoksia kohtaan. Toiminnan tietomallia ja tietomallintamista otettaessa käyttöön on yrityksen ylimmän johdon sitouduttava ja ylläpidettävä sitoutumista valittuun toimintatapaan voimakkaasti, jotta osoitetaan strategisesti läpi koko organisaation, mihin halutaan panostaa. Organisaatiokulttuuri, jossa työntekijät jakavat yhteiset arvot ja päämäärät sekä ovat vastaanottavia muutoksille, mahdollistaa parhaiten uusien toimintatapojen kuten tietomallintamisen ja toiminnan tietomallin omaksumisen. Jos näihin lisätään vielä työntekijöiden koulutus ja tuki sekä asiaankuuluvat työvälineet, jotta uusi toimintatapa voidaan ottaa käyttöön, on luotu erinomaiset mahdollisuudet uuden toimintatavan omaksumiselle ja käytölle. Avointen tiedostomuotojen käytön lisäksi avoin tiedonjako ja kommunikointi organisaation sisällä auttavat myös uuden toimintatavan omaksumisessa. (Abbasnejad, Nepal & Drogemuller 2016, 630.)

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakennusalalla ja betonielementtiprosessissa vaikuttavat vahvasti vanhat toimintatavat ja perinteet, joita on vaikea muuttaa nopealla aikataululla, ja joita ei vapaaehtoisesti edes haluttaisi muuttaa. Tietomallintaminen on yksi niistä tekijöistä, joka pakottaa yritykset muuttamaan toimintatapojaan ja järjestelmiään. Yrityksiltä vaaditaan ennakkoluulottomuutta ja innovatiivisuutta lähteä uudistamaan niin omia toimintatapojaan ja järjestelmiään kuin yhteistyötään muiden rakennusalalla toimivien yritysten, jopa kilpailevien, kanssa. Tulevaisuudessa rakennusalalla ollaan menossa tietomallintamisen myötä kohti tiimityöskentelyä, jossa pitää huomioida muiden yritysten tavoitteet omien lisäksi sekä luoda yhteisiä käytäntöjä ja toimintatapoja jakaen samalla voitot ja tappiot.

Yritys joutuu tietomallintamisen käyttöönoton alkuvaiheessa väistämättä panostamaan hyvinkin paljon uusien toimintatapojen ja järjestelmien omaksumiseen. Panostaminen uuden toiminnan ja järjestelmien omaksumiseen on kuitenkin välttämätöntä, koska tietomallintaminen on tullut jäädäkseen, ja mikäli yritykset aikovat saada jatkossa töitä rakennushankkeissa, on tietomallintamiseen liittyvä osaaminen ja toimintatavat tultava osaksi yrityksen osaamista. Aiemmat tutkimukset ja kokemukset todistavat, että tietomallintamisesta saata- vat hyödyt korvaavat panostukset, vaikka tutkimusten perusteella on myös nähtävissä, että tietomallintamisen osalta on vielä paljon kehitettävää, ennen kuin toiminta eri osapuolien välillä on sujuvaa ja tietomalleja on mahdollista hyödyntää rakennuksen koko elinkaaren ajalle. Tietomallintamiseen panostaminen voi pienemmällä yrityksellä merkitä kohtuutonta panostusta, mikä tarkoittaa, että yrityksen on mietittävä tulevaisuuttaan tarkkaan; ensinnäkin mihin heillä on mahdollisuus ja varat panostaa sekä toiseksi millaisiin rakennusurakoihin heillä on mahdollisuus osallistua tulevaisuudessa, mikäli he eivät panosta tietomallintamiseen.

Jotta tietomallintamisen hyödyt toteutuisivat ja tietomallit ovat kaikkien hyödynnettävissä, myös rakennuksen elinkaaren lopussakin, kaikkien tietomallintamista hyödyntävien osapuolien on sitouduttava yhteisiin sääntöihin, standardeihin ja ohjeisiin, joita tietomallintaminen edellyttää. Toisaalta yhteiset standardit voivat heikentää tuotteen laatua pidemmällä ajanjaksolla, sillä standardit eivät ole yleensä joustavia vaihtoehtoisten tai parempien ratkaisujen ilmetessä, sillä niiden tuominen standardoituun ympäristöön on vaikeaa.

Tietomallintaminen ei haasta pelkästään omia ja oman organisaation asenteita ja toimintatapoja, vaan se koskettaa kaikkia rakennusalaan liittyviä toimijoita yli organisaatorajojen. Olennaista tietomallien laajemman käytön kannalta on, että tilaajat ja käyttäjät saadaan oivaltamaan tietomallien tuomat erittäin suuret niin taloudelliset kuin rakenteelliset hyödyt ja mahdollisuudet heidän kannaltaan. Rakennushankkeiden tilaajien tai rakennusten käyttäjien vaatiessa tietomallintamisen käyttöönottoa, pakottavat he rakennusalan toimijat ottamaan tietomallintamisen käyttöön omassa toiminnassaan ja luovuttamaan mallit niin omaan kuin toisten osapuolien käyttöön ja mahdollisesti jopa eri tarkoitukseen kuin, mihin tietomallit alun perin oli suunniteltu.

Toivottavaa olisi, että tulevaisuudessa rakennuksen ja rakentamisen laatua arvioitaessa otettaisiin huomioon entistä enemmän asiakkaan kokema laatu ja tietomalleista saatava hyöty. Toivottavaa olisi myös, että niin suunnittelussa kuin rakentamisessa työskenneltäisiin yhtenäisen hyvän eteen eli asiakkaan tilaaman rakennuksen saamiseksi mahdollisimman hyvin asiakkaan tarpeita vastaavaksi, eikä tavoiteltaisi pelkästään taloudellista voittoa oman organisaation osalta.

Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että rakennuslalle tai betonielementtiprosessiin ei pystytä löytämään yhtä ylitse muiden olevaa ratkaisua, joka ratkaisisi edes osan rakennuslalla ja betonielementtiprosessissa olevista haasteista. Rakennusten tietomallien lisäksi toiminnan tietomalli on yksi niistä, joilla voidaan edesauttaa toiminnan tehostumista ja avoimuutta. Jotta näin tapahtuisi, tulisi rakennusten tietomallit saada tehokkaammin hyödynnettyä rakennushankkeissa ja avoimesti kaikkien toimijoiden käyttöön. Lisäksi tarvitaan muidenkin avoimien tiedostojen käyttöä yhteisellä alustalla, josta tiedot ovat ajantasaisesti noudettavissa tarpeen mukaan.

Toiminnan tietomallin avulla on hyvät edellytykset saada toiminta tehokkaammaksi kaikkien toimijoiden osalta, ei ainoastaan yritysten vaan myös yritysten asiakkaiden. Toiminnan tietomalli tekee toiminnan näkyvämmäksi kaikille toimijoille ja tuo lisäksi esille tiedollisia epä-jatkuvuuskohtia, jotka tunnistamalla ja poistamalla voidaan parantaa toimintaa.

## 6.1 Keskeiset tulokset

Tutkimuksen tuloksena saatiin selkeä kuva rakennusalan erityispiirteistä ja niiden vaikutuksista rakennushankkeissa toimiviin, rakennusprosessiin ja betonielementtiprosessiin. Rakennusalalla vanhoihin perinteisiin ja toimintatapoihin pohjautuviin työskentelytapoihin ja haasteisiin on vaikea vaikuttaa nopealla aikavälillä ilman ulkopuolisia pakotteita. Rakennusten tietomallintaminen on saanut aikaan muutoksen rakennusalalla ja kehittänyt uusia toimintatapoja toimijoiden välille ja samalla luonut pohjan tietomallien uusille hyödyntämismahdollisuuksille.

Tutkimuksen keskeisenä tuloksena syntyi toiminnan tietomallin määritelmä, jonka pohjalta saatiin kartoitettua toiminnan tietomallin käytön edellytykset niin yleisesti kuin betonielementtiprosessiin liittyen. Toiminnan tietomallin hyödyntämisen edellytyksenä on, että toimijat osaavat kuvata toimintaansa tarkkuudella, jonka pohjalta tietomalli on luotavissa. Edellytyksenä on myös, että toiminnan tietomalliin tarvittavat tiedot ovat saatavissa avoimessa ja standardoidussa muodossa, jotta niitä voidaan hyödyntää eri ohjelmissa ja järjestelmissä.

Esille nousseisiin betonielementtiprosessin haasteisiin ei ole löydettävissä yhtä ainoaa ratkaisua, mutta merkittävimmäksi ratkaisuksi useampiin haasteisiin nousi tietomallintaminen. Yhteisiä tietomallintamisen sääntöjä, ohjeita ja standardeja noudattamalla betonielementtiprosessin toimijat pystyvät hyödyntämään tietomallin tietoja omissa toiminnoissaan, mutta myös yli organisaatorajojen liittyvissä toiminnoissa. Rakennusten tietomalleja ja toiminnan tietomallia hyödyntämällä voidaan tehostaa niin yrityksen omaa kuin koko rakennushankkeen toimintaa.

Toiminnan tietomallilla voidaan rakennusten tietomallien avulla edistää betonielementtiprosessin tehokkuutta ja toiminnallisuutta. Rakennusten tietomalleista saatujen tietojen yhdistäminen toiminnan tietomallissa kaikkien betonielementtiprosessiin osallistuvien toimijoiden kesken edesauttaa kaikkia osapuolia tietojen välittämisessä ajantasaisesti osapuolelta toiselle ja samalla luomaan yhteisen avoimen toimintakulttuurin, jolla saavutetaan tehokkaampi ja nykypäivää vastaava liiketoiminta.

## 6.2 Tulosten arviointi

Suurelle osalle rakentamisen parissa toimivista rakentamis kokonaiskuva saattaa tuntua selkeältä, mutta useimmiten toimijat näkevät vain oman toimintansa läheisyydessä olevan kuvan ja haasteet, eivät niiden kytkeytymistä osana isompaa kokonaisuutta. Tässä tutkimuksessa rakentamisen kokonaiskuvan avaaminen auttoi ymmärtämään paremmin niin rakentamisessa kuin betonielementtiprosessissa esiintyviä haasteita yli organisaatorajojen. Kokonaiskuvan ja niistä aiheutuvien haasteiden näkeminen auttoi myös ratkaisujen etsimisessä. Löydetyt ratkaisut eivät välttämättä sellaisenaan ratkaise yrityksen kokemia haasteita, vaan niitä on tarkasteltava ja testattava vielä tapauskohtaisesti yrityksen toiminnassa.

Toiminnan tietomallin määrittely ja sen osatekijöiden luominen ovat tutkimustuloksina uutta. Toiminnan tietomallista ei ole aiemmin edes puhuttu tai rakennusten tietomalleista saatujen tietojen ja muiden avointen tietojen yhdistämistä ei ole vielä koskaan aiemmin tutkittu. Siksi toiminnan tietomalli jo pelkkänä käsitteenä on uutta, jonka kehittäminen edelleen vaatii määrittelyn jatkamista, alustan luomista ja testaamista eri konteksteissa. Samoin rakennusten tietomallien tutkimista ja testaamista erilaisissa konteksteissa on tutkittava, jotta löydetään parhaat mahdolliset käyttö- ja toimintatavat eri osapuolille. Myös dynaamisten tietojen yhdistäminen tietomalleihin on lähitulevaisuudessa mahdollista ja täten tutkimisen arvoista.

Tietomallipohjaista betonielementtiprosessia ja toiminnan tietomallia voidaan verrata tuotteen elinkaarenhallintaan (PLM = Product Lifecycle Management), jonka osalta tuotetietojen ja järjestelmien yhteensopivuutta on kehitetty pitkään ja pyritty löytämään mahdollisimman useaa toimijaa hyödyntävä toimintatapa toimitusketjun hallinnassa. Toiminnan tietomallia kehitettäessä Juppin ja Singhin tuotteen elinkaaren hallinnan toiminnallisuuden näkökulma voisi olla yksi tapa, jolla toiminnan tietomallia voitaisiin kehittää eteenpäin. Juppin ja Singhin tuotteen elinkaaren hallinnan toiminnallisuus perustuu neljään järjestelmäkomponenttiin: IT infrastruktuuriin, tuotetiedon mallinnusarkkitehtuuriin, kehitystyökalupakkiin ja liiketoimintasovelluksiin. Jokaisella komponentilla on omat tehtävänsä ja vaatimuksensa, joiden perusteella varmistetaan järjestelmien ja tietojen yhteensopivuus ja toiminnallisuus. Lisäksi tuotteen elinkaaren hallinnan järjestelmässä on kahdenlaisia vaatimuksia toiminnallisella ja data-tasolla. Toiminnallisen tason vaatimukset käsittävät sekä strukturoidut että strukturoimattomat datat, joita on käsitelty eri tavoin useissa eri sovelluksissa laajennetun

organisaation sisällä. Toiminnallisen tason datan tulee olla ajantasaista, yhteensopivaa laitteiden ja järjestelmäsovellusten kanssa ja integroitavissa olemassa olevien järjestelmien, palvelujen ja yhteistoimintaympäristön kanssa. Data-tason vaatimukset käsittävät puolestaan tuotteeseen liittyvät tiedot, joiden tulee olla standardoitua ja yhteensopivaa sekä, jotka ovat jäljitettävissä olevia niin tuotetiedon kuin käyttäjien osalta. (Jupp & Singh 2014, 33-34.)

### 6.3 Jatkotoimenpiteet ja suositukset

Toiminnan tietomallin määrittelyä ja kehittämistä tulee jatkaa, jotta siitä saadaan käytännössä toimintaa ja toimijoita tukeva työkalu. Kehittämisen kautta löytyy myös uusia mahdollisuuksia hyödyntää sitä. Toteutuessaan toiminnan tietomallilla on hyvät edellytykset palvella niin yrityksiä kuin yksittäisiä henkilöitä luomalla mahdollisuuksia koota laajasti tarvittavia tietoja ja toimintoja. Toiminnan tietomallin jatkohyödyntämisen edellytyksenä on kuitenkin, että avoimia tiedostoja on saatavilla enenevässä määrin ja, että toiminnan tietomallin käyttäjät pystyvät kuvaamaan omaa toimintaansa mahdollisimman tarkasti. Käyttäjien oman toiminnan kuvaamisen avulla toiminnan tietomalli vastaa käyttäjien tarpeisiin paremmin.

Vastaavasti betonielementtiprosessin kehittämisessä rakennusalan yritykset ovat keskeisessä asemassa. Rakennusalan yritykset voivat kehittämällä omaa toimintaansa tietomallipohjaiseksi ja avointa tiedostomuotoa hyödyntäväksi, saavuttaa erinomaisen kilpailuedun jopa maailmanlaajuisesti. Tietomallien avulla on myös parempi mahdollisuus tehdä yhteistyötä muiden tietomalleja hyödyntävien yritysten kanssa ja jopa tarjota yhteisesti isommissa urakkakilpailuissa, jos oma osaaminen ei riitä.

Tässä tutkimuksessa korostuivat pääasiassa tietomallintamisen ja tietomallien tuomat edut ja hyödyt. Tulevaisuutta ja tietomallien hyödyntämismahdollisuuksia ajatellen olisi hyvä tutkia laajemmin myös tietomallintamisen ja tietomallien tuomia haasteita ja ongelmia, joita jokainen tietomallintamisen kanssa työskentelevä on kokenut.

## 7 YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia toiminnan tietomallin hyödynnettävyyttä yleisesti ja betonielementtiprosessissa. Tutkimuksessa keskityttiin tietomallipohjaisen toimintatavan vaikutuksiin betonielementtiprosessissa huomioiden samalla yleiset rakennusalalla vallitsevat toimintatavat, jotka vaikuttavat yli organisaatorajojen tapahtuvaan liiketoimintaan. Toiminnan tietomallin ja betonielementtiprosessin välisten yhteyksien lisäksi tutkimuksessa selvitettiin tekijöitä, jotka aiheuttivat haasteita betonielementtiprosessiin kahden betonielementtiprosessiin kytkeytyvän yrityksen näkökulmasta. Tutkimus toteutettiin osana Tekesin rahoittamaa Älykkäät toiminnan tietomallit rakennetun ympäristön voimavarana -projektia (DORF II) alkukevään 2016 ja elokuun 2017 välisenä aikana.

Toiminnan tietomallin kehittäminen aloitettiin DORF II -projektissa loppukeväästä 2015. Tämä tutkimus oli osa projektissa validoitavia toiminnan tietomallin kohteita ja aloitettiin keväällä 2016. Tutkimuksessa kartoitettiin ensin mukana olevien yritysten kokemat haasteet betonielementtiprosessissa. Näihin haasteisiin ja prosessin sujuvampaan kulkuun haettiin ratkaisuja aiemmista tutkimuksista, betonielementtiprosessiin kytkeytyvien toimijoiden haastatteluista ja DORF II -projektissa kehitetystä toiminnan tietomallista. Ennen ratkaisujen etsintää selvitettiin rakennusalalla vallitsevia tekijöitä, joilla on vaikutusta toimintaan ja haasteisiin betonielementtiprosessissa.

Rakennusalalla vaikuttavat edelleen voimakkaasti vanhat toimintatavat ja perinteet, joissa korostuu rakennushankkeen ainutkertaisuus ja monimutkaisuus. Rakennushankkeessa toimii useita eri alan asiantuntijoita eri yrityksistä, jotka ovat aikojen kuluessa oppineet toimimaan vain oman yrityksensä ja kannattavuutensa eteen. Tällöin yhteisten toimintatapojen ja prosessien kehittäminen tehokkaammaksi ja paremmaksi yli organisaatorajojen on haasteellista ja hidasta. Rakennusalalla tietomallintaminen uutena toimintatapana on kuitenkin hiljalleen alkanut muuttaa vanhoja toimintatapoja ja jopa yli organisaatioiden kulkevia prosesseja.

Myös suurimpaan osaan yritysten kokemista haasteista betonielementtiprosessissa näyttäisi aiempien tutkimusten perusteella vastaus löytyvän tietomallintamisesta. Olennaista tietomallintamisen hyödyntämiselle on se, että tietomallintamisessa on noudatettu yhteisesti

sovittuja sääntöjä, ohjeita ja standardeja sekä avoimia tiedostomuotoja. Tällöin tietomalleista saatavia tietoja voidaan hyödyntää eri järjestelmissä ja ohjelmissa kunkin toimijan tarpeisiin sopivalla tavalla. Myös tiedonvälitys ja kommunikointi yli organisaatorajojen on tärkeässä roolissa sujuvan ja tehokkaan toiminnan saavuttamiseksi.

Tietomallintamista hyödyntäen tietojen siirto- ja hallinta paranevat niin oman yrityksen kuin yhteistyötä tekevien yritysten kanssa, kun mallit on tehty yleisesti sovittujen ohjeiden ja standardien mukaisesti ja toimitettu ajantasaisesti toimijalta toiselle yhteistä tiedostomuotoa käyttäen. Tietojen kulku osapuolelta toiselle on sujuvampaa ja muutostietoihin on mahdollisuus reagoida nopeammin. Lisäksi tietomalleja on mahdollista hyödyntää kunkin yrityksen omassa toiminnassa esimerkiksi tuotannon- tai aikataulusuunnittelussa tai työmaalla, jos sopimuksin on mallien hyödyntämisestä muussa toiminnassa sovittu.

Elementtienhallintaan tietomallintaminen tuo myös helpotusta, mikäli rakennesuunnittelija, elementtivalmistaja ja urakoitsija ovat yhteisesti sopineet elementtien merkitsemisestä, nimeämisestä ja numeroimisesta. Elementteihin pystytään myös lisäämään tietoja RFID-tunnisteita hyödyntäen ja lisäksi niihin lisätty tieto voidaan viedä takaisin tietomalleihin. Elementtien reikäpiirroksia voidaan tehdä tietomalleja ja törmäystarkasteluja hyödyntäen. Suunnittelun ja elementtien toimituksen aikatauluihin pystytään myös vaikuttamaan tietomalleja hyödyntäen, jos kaikki osapuolet toimittavat mallit sovitusti ajallaan ja yhteisiä sääntöjä noudattaen tehtyinä.

Yksi yritysten kokemista haasteista, eli urakoitsijan ja betonielementtivalmistajan mukaan ottaminen rakennushankkeeseen aikaisemmassa vaiheessa, ei ratkea pelkästään tietomallintamisen mukaan ottamisella. Tosin tietomallintamisesta on hyötyä siinä, koska tilaaja pystyy tekemään päätöksiä ja valintoja aikaisemmassa vaiheessa tietomallien avulla, jolloin myös urakoitsijoiden ja elementtivalmistajan mukaanotto aikaisemmassa vaiheessa mahdollistuu.

Tutkimuksen keskeisin tulos oli toiminnan tietomallin yleisen määritelmän luominen ja toiminnan tietomallin käytön edellytysten kartoittaminen betonielementtiprosessissa. Toiminnan tietomallin yleisessä määrittelyssä ja työstämisessä erilaisissa työpajoissa erilaisin kokoonpanoin ja teemoin olivat mukana Saimaan ammattikorkeakoulun ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston projektihenkilöstö, projektin ohjausryhmä ja projektiin osallistuneiden

yritysten edustajat. Toiminnan tietomallin käytön edellytysten kartoittamisesta betoniele-  
menttiprosessissa vastasi tutkija itse.

Toiminnan tietomallin määrittely aloitettiin yleispyöreästä kuvauksesta, jossa toiminnan tie-  
tomallilla tarkoitettiin mallia, jossa käyttäjistä, rakennuksista, ympäristöstä, palveluista ja toi-  
minnasta kerätty tieto voidaan yhdistää, suodattaa ja hyödyntää kunkin käyttäjän tarpeisiin.  
Ajatuksena oli, että digitaalisesti hyödynnettävää toiminnan tietomallia pitäisi pystyä tarkas-  
telemaan niin menneisyyden, nykyisyyden kuin tulevaisuuden näkökulmasta.

Alkukuvauksen jälkeen toiminnan tietomallin kehittämistä jatkettiin sisällön määrittelyllä.  
Toiminnan tietomallissa kuten tietomalleissa yleensä määriteltiin erilaiset attribuutit, re-  
laatiot ja tietotyypit, joista voidaan johtaa tietomallin rakenne. Toiminnan tietomallissa kes-  
keisenä tekijänä katsottiin olevan toiminta, joka voi olla joko yksilön tai yrityksen toimintaa.  
Toiminnan tietomallia määrittävät käyttäjien ja toiminnan lisäksi käyttöympäristö ja -tarkoi-  
tukset, saatavat tietoaaineistot ja tiedon käsittelymahdollisuudet. Kukin edellä mainituista te-  
kijöistä voidaan jakaa vielä tarkentaviin osatekijöihin toiminnan tietomallin määrittämiseksi.

Käyttäjät ja toiminnot -osio jakaantuu osatekijöihin, jotka kuvaavat tarkemmin käyttäjiä ja  
niihin liittyviä toimintoja. Näiden osatekijöiden avulla saadaan toiminnan tietomalliin kartoit-  
tettua ko. ympäristössä toimivat sekä pääasiallinen toiminta. Kartoitus tapahtuu prosessien,  
toimintojen ja aktiviteettien, resurssien sekä käyttäjäryhmien kuvauksilla. Osatekijöiden ku-  
vaukset voivat olla yleispiirteisiä tai yksityiskohtaisia. Pääasia on, että toiminta ja toimijat  
saadaan kartoitettua tarkkuudella, joka antaa mahdollisimman totuudenmukaisen kuvan toi-  
mintaympäristöstä, johon toiminnan tietomallia rakennetaan.

Käyttöympäristö ja -tarkoitukset -osion tarkoituksena on kuvata sitä, mihin toiminnan tietom-  
allia tarvitaan ja halutaan käyttää. Tämä osion osatekijöitä ovat sovellusympäristöt, käyt-  
tötarkoitukset ja käyttötilannetyypit, joiden avulla tarkennetaan edelleen sitä, mihin toimin-  
nan tietomallia mahdollisesti tarvitaan, millaisissa käyttötilanteissa (perustilanne vai poik-  
keustilanne) ja millaisia muita sovelluksia toiminnan tietomalliin halutaan yhdistää.

Tietoaaineistot ja tiedon käsittely -osio kuvaa sitä, mistä tietoja toiminnan tietomalliin haetaan  
ja miten niitä tulkitaan. Tämän osion osatekijät koostuvat tietomallikirjastosta, tietoaaineisto-

kirjastosta ja informaatioanalytiikasta. Tietomalli- ja tietoaineistokirjastoista toiminnan tietomalli saa tietonsa, jotka toiminnan tietomalli pystyy esittämään käyttäjälleen tarvittavassa muodossa. Informaatioanalytiikan avulla toiminnan tietomallissa pystytään suodattamaan tarvittavat tiedot tietomalli- ja tietoaineistokirjastoista.

Toiminnan tietomallissa ensimmäiseksi on määritettävä käyttötapa eli mitä tarkoitusta varten mallia ollaan rakentamassa ja mitä toimintaa mallilla pitää pystyä tukemaan. Käyttötarkoituksen ja toiminnallisten vaatimusten pohjalta malliin kytkettävä toiminta on kuvattava joko prosessina tai toimintokokonaisuutena jollakin loogisella menetelmällä. Toimintaa tukevat tietotarpeet määritetään toiminnan tietomallin viimeistelemiseksi. Edellä määritettyjen osioiden pohjalta luodaan tietomallirakenne tarkoitukseen sopivalla mallinnustyökalulla.

Yleisesti toiminnan tietomallin hyödyntämisen edellytyksenä voidaan pitää sitä, että käyttäjät osaavat kuvata omaa toimintaansa ja tarvettaan toiminnan tietomallille tasolla, jolla toiminnan tietomallin parametrit voidaan määrittää. Lisäksi toiminnan tietomallin käytön edellytyksenä on, että toiminnan tietomalliin on saataville tietoja, jotka ovat avoimesti hyödynnettävissä, ja jotka on tehty yleisesti sovittujen standardien ja ohjeiden mukaisesti. Järjestelmien ja tiedostojen väliset rajapinnat ovat olennaisessa asemassa, jotta järjestelmät ja tiedostot saadaan keskustelemaan toistensa kanssa. Tähän vaikuttaa olennaisesti, että eri järjestelmistä ja tiedostoista saatavat tiedot olisivat yhteensopivassa muodossa.

Samat edellytykset pätevät niin betonielementtiprosessiin kytkeytyvässä toiminnan tietomallissa kuin yleisesti hyödynnettävässä toiminnan tietomallissa. Betonielementtiprosessissa toiminnan tietomallilla voidaan edistää tietomallien ja tietojen välittämistä ja hyödyntämistä ajantasaisesti. Toiminnan tietomallin tarkoituksena betonielementtiprosessissa on tuoda kaikille betonielementtiprosessiin kytkeytyville toimijoille näkyvämmäksi betonielementtien tilanne, niihin kytkeytyvät tarvittavat tiedot ja mahdollisuus hyödyntää niitä omassa toiminnassaan ajankohdasta huolimatta. Betonielementtiprosessissa korostuu se, että kaikkien betonielementtiprosessiin kytkeytyvien on sitouduttava käyttämään tietomallintamista ja sitouduttava noudattamaan yhteisiä tietomallintamisen standardeja ja ohjeita. Sitoutumisella pystytään varmistamaan, että tietojen saanti, käsittely ja jakaminen helpottuvat, jos tiedot löytyvät tietomalli- ja tietokirjastoista yhteisten sääntöjen ja ohjeistuksien mukaisina ja ajantasaisina.

Toiminnan tietomallin määrittely on uutta kaikkia aloja ajatellen ja sen kehittäminen käyttökelpoiseksi rakenteeksi vaatii jatkomäärittelyjä ja testaamista erilaisissa kohteissa ja käyttäjillä. Toiminnan tietomallin ja rakennusten tietomallien hyödyntäminen muualla kuin suunnittelussa on myös uutta rakentamisen alalla ja toiminnan tietomallin jatkotyöstämistä erilaisissa kohteissa kannattaa ehdottomasti edistää.

## LÄHTEET

Abbasnejad, B., Nepal, M. & Drogemuller, R. 2016. Key Enablers for Effective Management of BIM Implementation in Construction Firms. Conference Paper in Kähkönen, K., & Keinänen, M. (Eds.). Proceedings of the CIB World Building Congress 2016: Volume I - Creating built environments of new opportunities. Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering. s. 622-634.

Abedi, M., Rawai, N.M., Fathi, M.S. & Mirasa, A.K. 2014. Cloud Computing as a Construction Collaboration Tool for Precast Supply Chain Management. Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) Vol. 70 (7), s. 1-7.

Ala-Risku, T. & Kärkkäinen, M. 2006. Material delivery problems in construction projects: a possible solution. International Journal of Production Economics Vol. 104 (1) s. 19-29.

Asad, S., Khalfan, M. M. A. & McDermott, P. 2000. Managing knowledge across the construction supply chain. s.225-235. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 1.5.2017]. Saatavissa: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB16777.pdf>.

Benton, W.C. Jr. 2014. Supply Chain Focused Manufacturing Planning and Control. Joe Sabatino 2014, s. 386.

Betoniteollisuus ry. 2012. BEC 2012 - Elementtisuunnittelun mallinnusohje. Versio 1.04. 2014. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 23.4.2017]. Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/suunnitteluprosessi/mallintava-suunnittelu>. s. 38.

Betoniteollisuus ry. 2016. Elementtisuunnittelun verkkosivusto. [Viitattu 9.6.2016]. Saatavilla: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi>.

Betoniteollisuus ry & Talonrakennus ry. 2012. Betonivalmisosatoimitusten toimintamalli. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 29.4.2017]. Saatavilla: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/rakentamisprosessi>

Codinhoto, R. & Kiviniemi, A. 2014. BIM for FM: A Case Support for Business Life Cycle. Conference Paper in Product Lifecycle Management for a Global Market, 11th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2014, Yokohama, Japan, July 7-9, 2014. Revised Selected Papers. s. 63-74.

Dave, B., Kubler, S., Främpling, K. & Koskela, L. 2015. Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards. Automation in Construction Vol. 61 s. 86-97.

Ding, L., Zhou, Y. & Akinci, B. 2014. Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. Automation in Construction Vol. 46 s. 82-93.

Dong, A., Maher, M.L., Kim, M.J., Gu, N. & Wang, X. 2009. Construction defect management using a telematic digital workbench. Automation in Construction Vol. 18, s. 814-824.

Harmanen, M. 2010. Betonielementtikohteiden tietomallipohjainen suunnitteluprosessi. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. s. 85.

Hietanen, J. 2005. Tietomallit ja rakennusten suunnittelu - Filosofinen selvitys tieto- ja viestintätekniikan mahdollisuuksista. Rakennustieto Oy, Helsinki. s. 93.

Holzer, D. 2014. Fostering the Link from PLM to ERP via BIM - The AEC Industry in Transition. Conference paper in Product Lifecycle Management for a Global Market, 11th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2014, Yokohama, Japan, July 7-9, 2014, Revised Selected Papers s. 75-82.

Ikonen, J., Knutas, A., Hämäläinen, H., Ihonen, M., Porras, J. & Kallonen, T. 2013. Use of embedded RFID tags in concrete element supply chains. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Vol. 18, s. 119-147.

Jeong, Y.-S., Eastman, C.M., Sacks, R. & Kaner, I. 2009. Benchmark tests for BIM data exchanges of precast concrete. Automation in Construction Vol. 18 s. 469-484.

Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. 2013. JHS 183 Julkisen hallinnon palvelujen tietomalli ja ryhmittely verkkopalveluissa -raportti. Versio: 1.1 / 10.9.2015. Julkaistu: 28.2.2013. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 26.4.2017]. Saatavissa: [www.jhs-suositukset.fi](http://www.jhs-suositukset.fi).

Jupp, J.R. & Singh, V. 2014. Similar Concepts, Distinct Solutions, Common Problems: Learning from PLM and BIM Deployment. Conference paper in Product Lifecycle Management for a Global Market, 11th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2014, Yokohama, Japan, July 7-9, 2014, s. 31-40.

Jupp, J.R. & Nepal, M. 2014. BIM and PLM: Comparing and Learning from Changes to Professional Practice across Sectors. Conference paper in Product Lifecycle Management for a Global Market, 11th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2014, Yokohama, Japan, July 7-9, 2014, s. 41-50.

Karhu, V., Keitilä, M. & Lahdenperä, P. 1997. Construction process model – Generic present state systematisation by IDEF0. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Julkaisuja 1845, s. 109.

Kerosuo, H., Paavola, S., Miettinen, R. & Mäki, T. 2017. Hankkeista oppiminen: Tietomallintamisen johtaminen, organisointi ja koordinointi rakennushankkeissa. Loppuraportti. Helsingin yliopisto, käyttäytymistieteiden tiedekunta. s. 68.

Kettunen, J. & Simons, M. (toim.) 2001. Toiminnanohjausjärjestelmän käyttöönotto pk-yrityksessä: teknologialähtöisestä ajattelusta kohti tiedon ja osaamisen hallintaa. Vantaa: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) Julkaisuja 854. s. 232.

Kim, C., Park, T., Lim, H. & Kim, H. 2013. On-site construction management using mobile computing technology. *Automation in Construction* 35, s. 415-423.

Kim, M-K., Cheng, J.C.P., Sohn, H. & Chang, C-C. 2015. A framework for dimensional and surface quality assessment of precast concrete elements using BIM and 3D laser scanning. *Automation in Construction* 49, s. 225-238.

Koivu, T. 2002. Toimintamalli rakennusprosessin parantamiseksi. VTT Publications 475. Otamedia Oy, Espoo 2002. s. 206.

Koivuniemi, J. & Kokko, P. 2015. DORF II -projektin väliraportit.

Koikkalainen, T. Imatran Juva. Haastattelu 20.4.2017.

Luukkonen, I., Mykkänen, J., Itälä, T., Savolainen, S. & Tamminen, M. 2012. Toiminnan ja prosessien mallintaminen. Tasot, näkökulmat ja esimerkit. SOLEA-hanke. Itä-Suomen yliopisto ja Aalto-yliopisto. Kuopio. s. 141.

Melama, H. & Österberg, J-E. Digitalisoinnin opas/Digitalisoinnin onnistumisen edellytyksiä /Arkkitehtuuri ja Digitalisaatio. ite wiki. [Verkkodokumentti]. [Viitattu: 3.1.2017]. Saatavilla: <http://www.itewiki.fi/opas/arkkitehtuuri-ja-digitalisaatio/>

Nath, T., Attarzadeh, M., Tiong, R.L.K., Chidambaram, C. & Yu, Z. 2015. Productivity improvement of precast shop drawings generation through BIM-based process re-engineering. Automation in Construction Vol. 54, s. 54-68.

Nissilä, J., Heikkilä, R., Romo, I., Malaska, M. & Aho, T. 2014. BIM based Schedule Control for Precast Concrete Supply Chain. The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC) s.1-5.

Palos, S., Kiviniemi, A. & Kuusisto, J. 2014. Future perspectives on product data management in building information modeling. Construction Innovation, Vol. 14 (1), s. 52-68.

Parhiala, K., Yalcinkaya, M. & Singh, V. 2014. Maintenance of Facilities and Aircrafts: A Comparison of IT-Driven Solutions. Conference paper in Product Lifecycle Management for a Global Market, 11th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2014, Yokohama, Japan, July 7-9, 2014. s.11-20.

Park, C-S., Lee, D-Y., Kwon, O-S. & Wang, X. 2012. A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template. Automation in Construction 33, s. 61-71.

Poirier, E., Staub-French, S. & Forgues, D. 2014. Embedded contexts of innovation BIM adoption and implementation for a specialty contracting SME. Construction Innovation, Vol. 15 Iss. 1, s. 42-65.

Rakennusteollisuus RT ry. Pro IT – Tuotemallitieto rakennusprosessissa hankesivusto. [Verkkosivusto]. [Viitattu: 8.9.2016]. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/>.

RAKLI ry. 2016. Kustannuserot Itävällan ja Suomen asuinkerrostalokohteissa - FIAT. Tulosraportti. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 14.4.2017]. Saatavilla: <http://view.24mags.com/mobilev/ae966f6fe505cb39ac2d89be9526b2f0#/page=1>.

RT 10-10992, LVI 03-10456. 2010. Tietomallinnettava rakennushanke – ohjeita rakennuttajalle. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö RTS.

RT 10-10995. 2010. Valmisosarakentamisen tiedonhallinta – Betonielementtirakentaminen. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö RTS.

RT 10-11222, LVI 03-10579 & KH 90-00595. 2016. Talonrakennushankkeen kulku – Rakennushankkeen osapuolet. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö RTS.

RT 10-11224, LVI 03-10581 & KH 90-00597. 2016. Talonrakennushankkeen kulku - Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö RTS.

Sacks, R., Kaner, I., Eastman, C. M. & Jeong, Y.-S. 2010. The Rosewood experiment - Building information modeling and interoperability for architectural precast facades. Automation in Construction Vol. 19, s. 419-432.

Sampaio, A. Z., Gomes, A. R. & Santos J. P. 2012. Management of building supported on virtual interactive models: construction planning and preventive maintenance. Journal of Information Technology in Construction - ISSN 1874-4753, ITcon Vol. 17, s. 121-133.

Serén, K. (toim.). 2014. InfraBIM-sanasto, versio 0.7. InfraBIM. Eurostep Oy. s. 50.

Silén, T. 1997. Kansallista laatustrategiaa koskeva selvitys. Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM), Teollisuusosasto. Oy Edita Ab. Tutkimuksia ja raportteja 15/1997. s. 100.

Sulankivi, K. 2014. Betonielementtien BIM-pohjainen tuoteosakauppa, case väliseinäelementit. Tutkimusraportti VTT-R-03335-13, VTT. Tampere. s.1-23.

Suutarinen, P. 1990. Betonielementtirungon rakentamisen nopeuttaminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittausinsinööriosasto. Espoo.

Suwal, S., Singh, V. & Shaw, C. 2016. Towards a Framework to Understand Multidisciplinary in BIM Context - Education to Teamwork. Conference Paper in Kähkönen, K., & Keinänen, M. (Eds.). Proceedings of the CIB World Building Congress 2016: Volume I - Creating built environments of new opportunities. Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering. s. 658-672.

Tarandi, V. & Vahenurm, R. 2016. BIM Product Libraries for Life Cycle Support. Conference Paper in Saari, A., & Huovinen, P. (Eds.). Proceedings of the CIB World Building Congress 2016: Volume III - Building Up Business Operations and Their Logic. Shaping Materials and Technologies. Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering. s. 153-164.

Teriö, O., Koski, H., Rantanen, E. & Ruuhilehto, K. 2003. Runkoprosessin re-engineering: Betonivalmisosarakentamisen suunnittelu-toteutus-prosessin uudistaminen. VTT-tiedotteita 2222. Espoo 2003. s. 96.

Tutkimussuunnitelma. 2015. DORF II – Toiminnan tietomallit älykkään rakennetun ympäristön voimanlähteenä. Saimaan ammattikorkeakoulu ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto. s. 21.

Valtioneuvoston kanslia. 2015. Toimintasuunnitelma strategisen hallitusohjelman kärkihankkeiden ja reformien toimeenpanemiseksi. Hallituksen julkaisusarja 13/2015. s. 92.

Vartiainen, J., Kallonen, T. & Ikonen, J. 2008. Barcodes and Mobile Phones as Part of Logistic Chain in Construction Industry. IEEE Xplore, Digital Library. s.1-4