

Aalto-yliopisto  
Insinöörیتieteiden korkeakoulu  
Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma  
Rakennetekniikka

Joni Helminen

## **Tietomallipohjainen rakennettavuuden hallinta koulurakennuksen tuotantovaiheessa**

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

Espoossa 21. helmikuuta 2016  
Valvoja: Professori Jari Puttonen  
Ohjaaja: Matti Tauriainen, TkL

---

**Tekijä** Joni Helminen

---

**Työn nimi** Tietomallipohjainen rakennettavuuden hallinta koulurakennuksen tuotantovaiheessa

---

**Koulutusohjelma** Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma

---

**Valvoja** Professori Jari Puttonen**Koodi** Rak. thes.

---

**Laitos** Rakennustekniikan laitos

---

**Työn ohjaaja(t)** Matti Tauriainen TkL, Lujatalo Oy

---

**Päivämäärä** 21.02.2016**Sivumäärä** 81+9 s.**Kieli** suomi

---

### Tiivistelmä

Rakennettavuus on noussut tärkeäksi työkaluksi rakentamisen tehokkuuden, tuottavuuden ja laadun parantamisessa. Viime aikoina tehdyissä tutkimuksissa on esitetty, että rakennettavuutta voi edistää tietomallilla. Tämä tutkimus keskittyy kehittämään tietomallipohjaisia ratkaisuja, joilla voidaan edistää rakennettavuutta tuotantovaiheessa. Tietomallipohjaisilla ratkaisulla pyritään parantamaan ja visualisoimaan rakennettavuutta, poistamaan rakennettavuusongelmia sekä etsimään optimaalisia ratkaisuja tuotantoon ja rakentamiseen.

Tehty empiirinen tutkimus koostui kolmesta osasta; haastatteluista, toiminta- ja kirjallisuustutkimuksesta. Tutkija toimi tietomalleista vastaavana kehittäjänä ja edistäjänä koulun laajennustyömaalla. Haastattelut suoritettiin puolistrukturoituina teemahaastatteluina, joissa keskityttiin kahteen aihealueeseen; rakennettavuus ja tietomallinnus. Haastatteluissa tunnistettiin useita rakennettavuusongelmia. Toimintatutkimuksessa tutkija auttoi tietomallipohjaisilla keinoilla työmaan johtohenkilöstöä ratkaisemaan jokapäiväisiä ongelmia ja etsimään optimaalisia ratkaisuja rakennettavuuden edistämiseksi. Tietomallipohjaisten ratkaisujen soveltuvuutta testattiin jälkikäteen henkilöstön kanssa. Tutkimuksen käyttökelpoisuutta varmennettiin työn aikana tehdyn kirjallisuustutkimuksella.

Tutkimuksessa tunnistettiin erilaisia rakennettavuutta parantavia tietomallipohjaisia ratkaisuja tuotantovaiheessa, kuten 4D-aikataulu, 3D-aluesuunnitelma, tiedonhaku, visualisointi, suunnittelun ohjaus ja törmäystarkastukset. Tietomallipohjainen rakennettavuuden kehittäminen painottui 4D-aikataulun ympärille. Tietomallipohjaisella 4D-aikataululla oli helpompi hallita ja ohjata työntekijöitä, suunnitella tehtäviä etukäteen, tehdä hankintoja sekä suunnitella asennusjärjestystä. Tietomalli mahdollistaa nopean tiedonhaun, kuten elementtien painojen määrittelyn sekä suunnitteluprosessin edistymisen ja korkojen tarkastelun. Tietoa käytettiin esimerkiksi suunnitteluprosessin ohjaukseen sekä runkorakennusvaiheen aikataulun ja torninosturin nostokapasiteetin visualisointiin. Myös turvallisuutta ja työmaan järjestelyä edistettiin 4D-aikataululla ja väliaikaisten tukien ja rakenteiden mallintamisella. Tuloksien perusteella kehitettiin luonnos tietomallipohjaisesta toteutusprosessista ja ohjeet tietomallin käytöstä rakennustyömaalla. Tutkimustulokset ovat hyödynnettävissä kohdeyrityksen tulevilla rakennusprojekteilla.

---

**Avainsanat** rakennettavuus, tietomallinnus, tuotantovaihe

---

---

**Author** Joni Helminen

---

**Title of thesis** BIM-based management of constructability in the construction phase of a school building

---

**Degree programme** Degree programme in structural engineering and building technology

---

**Thesis supervisor** Professor Jari Puttonen**Code** Rak.thes.

---

**Department** Department of Civil Engineering

---

**Thesis advisor(s)** Mr. Matti Tauriainen Lic.Sc., Lujatalo Oy

---

**Date** 21.02.2016**Number of pages** 81+9 p.**Language** Finnish

---

**Abstract**

Constructability has emerged as an important tool for improving construction efficiency, productivity and quality. Recent research has suggested constructability can be promoted through the use of building information modeling (BIM). This thesis focuses on BIM-based methods used on the building site in order to improve constructability at the construction stage. Suitable BIM-based methods were developed to improve and visualize constructability, remove constructability problems and search for optimum solutions for production and construction.

An empirical study was carried out by using three different research methods: interviews, action research and literature review. The researcher worked as a BIM developer and a facilitator on the construction site of a school building project. The interviews were executed as semi-structured interviews focusing on two main themes: constructability and BIM. In the interviews, several constructability issues were identified. In the action research, the researcher helped construction site leadership to solve daily issues and to search optimum solutions for constructability with BIM-based methods. Afterwards the suitability of BIM solutions was tested with the leadership. The utility of the study was confirmed and verified by literature review which was carried out during the study.

The study identified different BIM-based methods, such as visualization, 4D-schedule, 3D-site layout, information searching, planning guidance and clash checks, to improve the constructability at a construction stage. The BIM-based constructability development concentrated on the 4D-schedule. With the BIM-based 4D-schedule, it was easier to control and instruct workers, plan tasks beforehand, make procurements and plan an assembly sequence. BIM enables the fast search of information, such as defining element weights, the progress of a design process and elevations. This information was used, for example, to guide design processes and to visualize assembly schedules and the lifting capacity of a tower crane. Furthermore, the safety and arrangement of the building site were improved by the 3D-site layout and by modelling temporary supports and structures. As its result, this thesis presents the draft of a BIM-based execution process and guides for using BIM on a construction site. The results will be utilized in other building projects of the building company in question.

---

**Keywords** constructability, buildability, building information model, construction stage

## Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulun rakennustekniikan laitokselle. Työn valvojana on toiminut talonrakennustekniikan professori Jari Puttonen ja työn ohjaajana on toiminut Lujatalo Oy:n tietomalliasiantuntija, tekniikan lisensiaatti Matti Tauriainen.

Haluan kiittää Matti Tauriaista asiantuntevasta ja kannustavasta ohjauksesta läpi työn. Kiitän myös Jari Puttosta hyvistä kehitysehdotuksista, joita sain työn edetessä. Lisäksi kiitokset kuuluvat kohdeyrityksen henkilökunnalle, sillä he ovat mahdollistaneet työskentelyn tiloissaan ja työmaillaan sekä ovat olleet osana tutkimusta. Kohdeyrityksen työntekijöiden panos on ollut avainasemassa työn valmistumiselle.

Suuret kiitokset myös perheelleni ja ystäville, joka ovat kannustaneet minua koko opiskelu-urani ajan ja auttaneet minua selviytymään opiskelun haasteista. Ilman teitä en olisi päässyt näin pitkälle.

Espoossa 21. helmikuuta 2016

Joni Helminen

# Sisällysluettelo

Alkusanat

Käytetyt lyhenteet ja käsitteet

1 Johdanto.....	1
1.1 Tutkimuksen tausta ja tutkimusongelma.....	1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus .....	3
1.3 Tutkimuksen kulku ja rakenne .....	4
2 Tutkimusmenetelmät .....	6
2.1 Puolistrukturoitu teemahaastattelu .....	6
2.2 Toimintatutkimus .....	6
2.3 Toimintajärjestelmä .....	8
3 Rakennettavuus.....	11
3.1 Rakennettavuuteen vaikuttavat tekijät tuotannon näkökulmasta .....	11
3.2 Rakennettavuuden parantaminen tietomallilla .....	14
4 Tietomallintaminen.....	17
4.1 Yleiset tietomallivaatimukset.....	17
4.2 Urakoitsijoiden vaatimukset tietomalleille .....	18
4.3 Mallien tarkastaminen ja tietomallikoordinaattorin tehtävät .....	19
5 Tietomallien käyttö työmaalla .....	21
5.1 Havainnollistaminen .....	21
5.2 4D-aikataulu.....	23
5.3 Työmaan aluesuunnitelma .....	24
5.4 Työturvallisuus.....	25
6 Tuotannon tehostaminen Lean-periaatteilla ja tietomallilla .....	27
6.1 Lean-periaatteet.....	27
6.2 Yhteydet lean-rakentamisen ja tietomallin välillä .....	29
7 Tietomallin käyttö esimerkkikohteissa 1 ja 2 .....	31
7.1 Kohde-esittelyt .....	31
7.2 Haastattelujen analyysi .....	32
7.2.1 Teema 1: Rakennettavuus.....	32
7.2.2 Teema 2: Tietomallinnus .....	35
8 Tietomallin käyttö esimerkkikohteessa 3 .....	41
8.1 Kohde-esittely .....	41
8.2 Haastattelujen analyysi .....	42
8.2.1 Teema 1: Rakennettavuus.....	42

8.2.2 Teema 2: Tietomallinnus .....	43
8.3 Tietomallin käyttöönotto.....	45
8.4 3D-aluesuunnitelma .....	46
8.5 Runkorakenteiden 4D-aikataulu .....	48
8.6 Työnaikaiset tuet, väliaikaiset rakenteet ja rakennuksen vaippa.....	54
8.7 Toteumatieto .....	59
8.8 Torninosturin nostokapasiteetin tarkastelu .....	60
9 Rakennettavuuteen vaikuttavat tekijät ja ongelmat esimerkkikohteissa .....	63
10 Rakennettavuuden parantaminen tietomallilla .....	66
11 Tietomallipohjainen toteutusprosessi ja toimintatapaohje .....	73
12 Tutkimustulosten arviointi ja kehitysehdotukset.....	76
13 Johtopäätökset ja yhteenveto .....	78
Lähdeluettelo .....	79
Liite 1: Tutkimukseen haastatellut henkilöt. 1 sivu.	
Liite 2: Haastatteluissa esitetyt kysymykset. 2 sivua.	
Liite 3: Toimintatapaohje. 4 sivua.	
Liite 4: Toteutusprosessitaulukot (A3). 2 sivua.	

## Käytetyt lyhenteet ja käsitteet

BIM	Building Information Model (suom. tietomalli)
CII	The Construction Industry Institute. Yhdysvaltojen rakennusteollisuuden instituutti, joka toimii Teksasin yliopiston alaisuudessa.
CIRIA	The Construction Industry Research and Information Association. Iso-Britannian rakennusalan tutkimusyhdistys.
IFC	Industry Foundation Classes. Tietomalliohjelmistojen yhteinen mallien kuvaustapa. Kirjainyhdistelmällä tarkoitetaan usein myös avointa tiedonsiirtomuotoa (IFC-tiedosto), jolla malleja voidaan siirtää ohjelmistosta toiseen.
PDF	Portable Document Format. Adobe Systems:in kehittämä ohjelmistoriippumaton, siirrettävä tiedostomuoto, jota käytetään pääasiallisesti sähköiseen julkaisemiseen, tulostamiseen ja painamiseen.
SMC	Solibri Model Checker. Solibri Oy:n kehittämä tietomallien laadunvarmistusohjelma.
XML	Extensible Markup Language. Merkintäkieli, jota käytetään sekä formaattina tiedonvälitykseen järjestelmien välillä että formaattina dokumenttien tallentamiseen.
2D	Two-dimensional space eli kaksiulotteinen alue (taso), joka sisältää pituuden ja leveyden
3D	Three-dimensional space eli kolmiulotteinen alue, joka sisältää pituuden, leveyden ja korkeuden
4D	Four-dimensional space eli nelikulotteinen alue, jossa aika on neljäs ulottuvuus (Kymmell, W., 2008, s. 254)
5D	Five-dimensional space eli viisiulotteinen alue, jossa kustannukset ovat yleensä viides ulottuvuus (Kymmell, W., 2008, s. 254)
SR	”Suunnittele ja rakenna”. Viittaa SR-urakkamuotoon.
IV	Ilmanvaihto
TATE	Talotekniikka
LVIS	Lämpö, vesi, ilmanvaihto ja sähkö
TPS	Toyota Production System eli Toyotan tuotantojärjestelmä.

IT	Informaatioteknologia eli tietotekniikka
PV	Paikallavalu
Lean-rakentaminen	Lean on johtamis- ja ajattelutapa, joka perustuu Toyotan tuotantojärjestelmään eli TPS:ään (Toyota Production System). Rakennusteollisuudessa lean-ajattelutavan soveltamista kutsutaan lean-rakentamiseksi. Tavoitteena lean-rakentamisessa on hukan poistaminen, asiakasarvon maksimi saavuttaminen sekä jatkuva parantaminen. Keskeinen tavoite on parantaa rakennusprosessia ja sitä kautta maksimoimaan asiakasarvo. (Sacks et al., 2010.)
BCF	Building Collaboration Format on tiedonvälitysmuoto, jolla voidaan siirtää älykkäitä viestejä eri tietomalliohjelmistojen välillä. Se on kehitetty alun perin suomalaisten buildingSMART jäsenten, Teklan ja Solibrin, yhteistyönä.



# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen tausta ja tutkimusongelma

Tutkimuksen taustana ovat Raikaan (2011), Meron (2012), Laakson (2012), Lemströmin (2012) ja Forsblomin (2013) rakennettavuutta käsittelevät diplomityöt sekä Tauriaisen lisensiaattityö (2015). Taurainen käsittelee työssään rakennettavuuden käsitettä ja määrittelee siihen vaikuttavia tekijöitä. Hän myös kehittää tietomallipohjaista rakennettavuuden arviointimenetelmää. Mero käsittelee työssään rakennettavuutta suunnittelun näkökulmasta. Hän tutkii rakennettavuuteen mittaamista ja siihen vaikuttavia kvantitatiivisia tekijöitä. Laakso on kehittänyt Meron työn pohjalta kvantitatiivisen tietomallipohjaisen mittausmetodiikan, jolla voidaan arvioida rakennusrungon rakennettavuutta. Forsblom tutkii työssään rakennettavuuden merkitystä arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelijoille. Raikaa ja Lemström käsittelevät töissään rakennettavuutta tuotannon näkökulmasta. Lemström tutkii rakennettavuuteen vaikuttavia kvalitatiivisia ominaisuuksia rakennusprosessissa, kuten mm. tiedonkulun helpottamista tietomalleilla tuotantopuolen ja suunnittelijoiden välillä. Raikaa tutkii kuinka tietomallinnusta voitaisiin käyttää paremmin työturvallisuuden suunnittelussa, ohjaamisessa ja valvonnassa ohjelmistoratkaisuja kehittämällä.

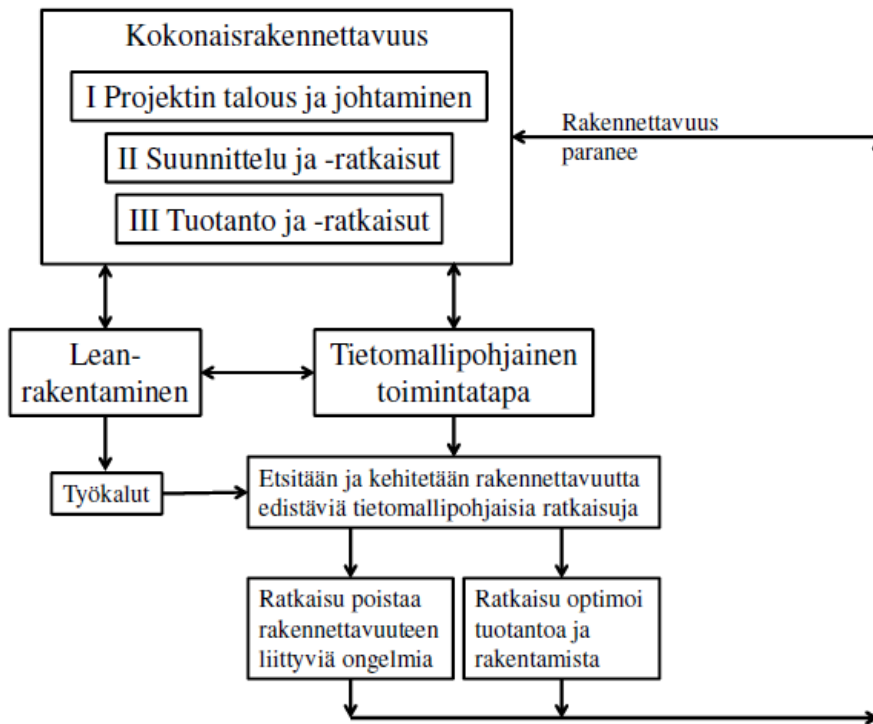
Tietomallin käyttö työmailla on vielä hyvin vähäistä. Krantzin (2012), Mäen, Kerosuon (2015) ja Eastmanin (2011) mukaan tietomallin käyttöä työmaalla rajoittavat osaaminen, tarvittavien työkalujen puute, totutut toimintatavat, käyttöönotosta aiheutuvat kulut sekä yhteensopivuusongelmat. Krantzin (2012) mukaan tällä hetkellä työmailla vain harvoilla työmaapäälliköillä ja – insinööreillä on tietomallin käyttöön vaadittavaa osaamista. Lisäksi työmailta puuttuvat tarvittavat työkalut tietomallien katseluun sekä mallit ovat työmaakäyttöön puutteellisia. Mobiililaitteiden puute vaikuttaa siihen, että mallia ei voida tarkastella työmaakonttorin ulkopuolella siellä, missä itse rakentaminen tapahtuu. (Krantz, 2012)

Tietomallin käyttö edellyttää työntekijöiden totuttujen toimintatapojen muutosta. Muutoksen pelko ja haluttomuus tietomallia kohtaan luovat esteitä tietomallin käyttöönotolle. (Krantz, 2012) Odottamattomat tapahtumat hyväksytään osaksi normaalia toimintaa, eikä niitä pyritä estämään esisuunnittelulla. Urakoitsijat näkevät rakennustyön taitoja ja improvisaatiokykyjä vaativana ongelmien ratkaisutehtävänä, missä odottamattomat tapahtumat vaativat välitöntä huomiota ja nopeaa reagoimista. (Mäki, T. & Kerosuo, H., 2015)

Selkein tietomalleista aiheutuva haitta on käyttöönotosta aiheutuvat kulut. Tietomallin käyttö edellyttää uuden teknologian hankintaa ja sen opettelua, mikä aiheuttaa huomattavan määrän alkukustannuksia sekä vaatii aikaa työntekijöiden kouluttamiseen. (Eastman et al., 2011) Yksi ongelma on myös yhteensopivuusongelmat ohjelmistojen välillä. Suunnittelijat, urakoitsijat ja tavarantoimittajat työskentelevät yleensä heille totuttujen ohjelmistojensa kanssa, mitkä eivät välttämättä ole yhteensopivia tietomalliohjelmiston kanssa. Ohjelmistojen valmistajat luovat usein ohjelmilleen omat ohjelmistokohtaiset formaattinsa, joita muut ohjelmistot eivät osaa täydellisesti lukea. Tämä aiheuttaa tiedonsiirto-ongelmia, missä tieto siirrettäessä häviää tai muuttuu. (Krantz, 2012)

Tietomallin käyttöä on tutkittu paljon suurissa ja hankalissa projekteissa, mutta todisteita ja näyttöä sen toiminnasta pienissä projekteissa ei juuri ole. (McGraw H., 2012) Lisäksi vain harvat tutkimukset keskittyvät tietomallin käyttöön työmaalla. (Mäki, T. & Kerosuo, H., 2015) Suomessa tietomallin käyttö tuotantovaiheessa on vielä vain muutamien työmaainsinöörien tai projektipäälliköiden käsissä. Tekijöillä ei ole selviä ohjeita kuinka käyttää mallia, joten he ovat vapaita muokkaamaan sen käyttöä omiin tehtäviinsä sopivaksi. Tietomallin nykyisen käytön laajuus riippuu henkilön tehtävästä, roolista ja vastuualueista. (Mäki, T. & Kerosuo, H., 2015)

Tässä diplomityössä keskitytään etsimään tietomallipohjaisia ratkaisuja, joilla rakennettavuutta voidaan hallita rakennushankkeen tuotantovaiheessa. Tapaustutkimuksen kohteena on koulurakennus. Kaaviossa 1 esitetään, kuinka tietomallipohjaisilla ratkaisuilla pyritään edistämään rakennettavuutta poistamalla siihen liittyviä ongelmia sekä etsimällä optimiratkaisuja tuotantoon ja rakentamiseen. Lean-rakentaminen tarjoaa työkaluja tietomallipohjaisten ratkaisujen etsimiseen ja kehitykseen.



Kaavio 1. Rakennettavuuden edistäminen tietomallipohjaisilla ratkaisuilla.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Tämän tutkimuksen kolme päätavoitetta ovat:

- I. Selvittää, millä tietomallinnuksen ratkaisuilla koulurakennuksen tuotantovaiheen rakennettavuutta voidaan edistää.
- II. Kehittää luonnos tuotantovaiheen tietomallipohjaisesta toteutusprosessista.
- III. Laatia toimintatapaohje, jossa opastetaan tietomallin käyttötapoja työmaatuotannossa.

Rakennettavuutta tuotantovaiheessa pyritään edistämään visualisoimalla tietomallipohjaisesti runkovaiheen aikataulutusta, hankintoja, työmaajärjestelyjä ja -tuotantoa, logistiikkaa, työnaikaisten tukien suunnittelua sekä työturvallisuutta. Logistiikkaa ja työmaajärjestelyjä hallitaan työmaan aluesuunnitelmalla. Tutkimuksessa keskitytään vain rakennuksen kantaviin runkorakenteisiin.

Työn toinen päätavoite on kuvata tuotantovaiheen tietomallipohjainen toteutusprosessi, jossa esitetään keskeiset tietomallintamiseen liittyvät asiat työmaatuotannossa. Toteutusprosessissa esitetään prosessikaavioilla ja taulukoilla tietomallipohjaisen toimintatavan organisointi kohdeyrityksessä.

Tutkimuksen ohella luodaan myös tietomallin käytöstä toimintatapaohje. Toimintatapaohjeessa opastetaan, kuinka työssä tehtyjä visualisointeja tehdään ja mitä asioita niiden teossa on huomioitava sekä esitetään 3D-aluesuunnitelmaan liittyvät mallinnustehtävät.

Työssä pyritään vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

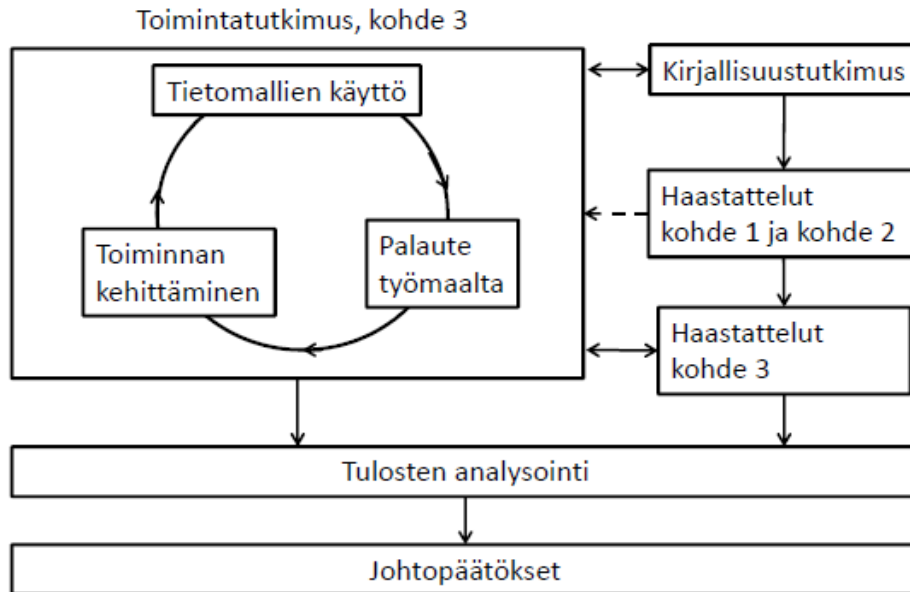
- a. Mitkä ovat rakennettavuuden kannalta vaikeita asioita hankkeen tuotantovaiheessa?
- b. Kuinka tietomalleja on hyödynnetty aikaisemmillä työmailla ja mitä hyötyjä niillä on saavutettu?
- c. Kuinka runkorakenteiden 4D-aikataulutusta parantaa kohteen rakennettavuutta?
- d. Voidaanko 3D-aluesuunnitelman käytöllä edistää logistiikkaa ja työmaajärjestelyjä?
- e. Mitä asioita tietomallilla kannattaa hankkeen tuotantovaiheessa visualisoida ja mitä hyötyä niistä on?
- f. Kuinka tietomallin käyttöä työmaalla voitaisiin parantaa?
- g. Kuinka tietomallin käyttö organisoidaan?

### 1.3 Tutkimuksen kulku ja rakenne

Tutkimus suoritetaan empiirisenä tutkimuksena, joka koostuu kolmesta osasta:

1. Haastattelut
2. Toimintatutkimus
3. Kirjallisuustutkimus

Tuloksia ja johtopäätöksiä johdetaan empiirisen tutkimuksen rinnalla samanaikaisesti. Tutkimuksen kulku esitetään kaaviossa 2.



Kaavio 2. Tutkimuksen kulku.

Kaikki haastattelut toteutetaan puolistrukturoituina teemahaastatteluina. Haastatteluissa keskitytään kahteen aihepiiriin; rakennettavuus ja tietomallinnus. Rakennettavuuden kannalta selvitetään, kuinka haastateltavat ymmärtävät käsitteen rakennettavuus ja mitkä asiat ovat sen kannalta olennaisimpia tuotantovaiheessa. Tietomallinnuksen suhteen selvitetään millaisia kokemuksia haastateltavilla on ollut tietomallintamisesta tuotantovaiheessa ja kuinka heidän mielestään sen käyttöä voitaisiin tehostaa. Haastatteluista varten laaditaan valmiit kysymykset, jotka toimivat keskustelua ohjaavana tekijänä. Valmiilla kysymyksillä keskustelua on helpompi pitää kiinni halutuissa teemoissa ja niiden avulla tulosten purkaminen ja yhdistely on helpompaa. Keskustelut pyritään pitämään vapaamuotoisena ja mahdollisimman avoimena. Kysymykset laadittiin esimerkkikohteille erikseen. Kaikki haastattelut äänitettiin ja niistä tehtiin muistiinpanot mahdollisimman pian haastattelutilaisuuden jälkeen. Haastateltavat henkilöt ja haastateltaville esitetyt kysymykset esitellään liitteissä A ja B. Haastattelut toteutettiin syksyllä 2015.

Esimerkkikohteiden 1 ja 2 haastattelututkimuksessa selvitetään, kuinka tietomalleja on käytetty hyväksi kohdeyrityksen aikaisemmilla työmailla. Esimerkkikohde 1 on rakenteilla oleva Espoon sairaalan laajennushanke ja esimerkkikohde 2 on valmistuneen Helsingissä sijaitsevan sairaalan korjaushanke. Haastatteluissa selvitetään pääosin tietomallin käyttö tuotantovaiheessa kyseisissä kohteissa, millaiset mallit ja mallinnustyökalut

työmaalla oli käytössä ja miten niitä käytettiin. Esimerkkikohteissa 1 ja 2 haastateltaviksi valitaan projektipäälliköitä ja työmaainsinöörejä, jotka ovat käyttäneet tietomallia rakennuksen tuotantovaiheessa.

Toimintatutkimuksessa diplomityöntekijä toimii tietomalleista vastaavana asiantuntijana esimerkkikohteen 3 työmaalla. Esimerkkikohteeseen 3 on koulurakennuksen laajennustyömaa Keravalla. Tietomalleista vastaavan henkilön toiminnan tarkoituksena on hallita ja havainnollistaa tietomallilla rakennettavuutta työmaalla. Työmaalla visualisoidaan ja simuloidaan tietomallilla rakennettavuuteen vaikuttavia tekijöitä työmaatuotannossa. Lisäksi osallistutaan mm. työmaakokouksiin, missä mallilla visualisoidaan kokouksessa käsiteltäviä asioita. Työmaan toimintaa pyritään myös kehittämään työntekijöiltä saadun palautteen perusteella. Palautteen kautta selvitetään tietomallilla tehtyjen visualisointien hyödyllisyys rakennettavuuden kannalta ja mahdolliset kehitysehdotukset. Palautetta kerätään haastatteluilla ja epävirallisilla keskusteluilla. Esimerkkikohteen 3 haastatteluissa pääpainona on selvittää, kuinka tietomallilla tehdyt visualisoinnit ovat vaikuttaneet kohteen rakennettavuuteen ja mitä muita asioita he haluaisivat tietomallilla visualisoidavan. Haastatteluissa selvitetään myös, miten tietomallin käyttö voidaan organisoida työmaalla sekä mitä asioita tietomallikoordinaattorin tehtäviin rakennettavuuden hallinnan kannalta kuuluu. Esimerkkikohteessa 3 haastatellaan työmaan vastaavaa mestaria, työpäällikköä ja – insinööriä.

Tutkimuksen käyttökelpoisuutta vahvistetaan ja varmennetaan työn aikana tehtävällä kirjallisuustutkimuksella. Kirjallisuustutkimuksen tarkoituksena on vahvistaa ja syventää empiirisen tutkimuksen tulosten käyttökelpoisuutta tutkimustuloksia tukevalla teorialla. Kirjallisuutta tutkitaan rinnan empiirisen tutkimuksen kanssa. Kirjallisuusosio käsittelee aikaisemman tiedon kuvausta rakennettavuudesta ja tietomallintamisesta.

## 2 Tutkimusmenetelmät

### 2.1 Puolistrukturoitu teemahaastattelu

Puolistrukturoitu haastattelu liittyy usein laadulliseen tutkimukseen, jossa korostuvat haastateltavan kokemukset tutkittavasta teemasta sekä kyky ja halukkuus keskustella aiheesta. Puolistrukturoidussa teemahaastattelussa haastattelijalla on valmiiksi määritelty kysymykset teemoittain. Kysymykset ovat kuitenkin vain keskustelua ohjaavia apuvälineitä, eikä niitä kaikkia välttämättä käydä jokaisessa haastattelussa läpi. Kysymysten järjestys voi myös muuttua riippuen siitä, mihin suuntaan keskustelu on menossa. Haastattelijalla voi kysyä tarkentavia lisäkysymyksiä keskustelun kohdatessa uusia aiheita tai ongelmia. Tavallisesti haastatteluista tehdään samaan aikaan muistiinpanot tai keskustelu äänitetään. (Gray, D.E., 2009. s. 373)

Puolistrukturoidussa teemahaastattelussa voidaan lisäkysymyksillä ohjata haastateltavaa pysymään halutussa teemassa tai laajentamaan hänen näkemyksiään ja mielipiteitään jostakin teemaan kuuluvasta osa-alueesta. Haastattelun ohjaus lisäkysymyksillä auttaa pääsyä tutkimuksen tavoitteisiin. Ominaista haastatteluille on, että haastattelun teemat ja kysymykset liittyvät haastateltavien henkilöiden subjektiivisiin kokemuksiin. Haastatteluissa korostuvat haastateltavien omat kokemukset ja näkemykset. (Gray, D.E., 2009. s. 373)

### 2.2 Toimintatutkimus

Termin ”action research” eli toimintatutkimus loi Kurt Lewin vuonna 1946 toisen maailmansodan jälkeen. Silloin termillä tarkoitettiin prosessia, jossa teoria ja käytännön asioiden tutkiminen yhdistyvät. Lewin näki toimintatutkimuksen tapana parantaa henkilöiden kanssakäymistä ja toimintaa sekä rohkaisemaan muutokseen yhteiskunnassa. Lewis painotti että on tärkeää suorittaa tutkimuksen kokeiluja käytännössä, keinotekoisien laboratorioskokeilujen sijaan. Toimintatutkimuksessa nähdään ja ymmärretään ongelmat osana kokonaisvaltaista ja monimutkaista henkilöiden kanssakäymisen ja toiminnan järjestelmää, yksittäisten muuttujien kautta tehtävän tutkimisen sijaan. Lewinin konsepti toimintatutkimuksesta on muuttunut ja nykyään se painottaa tietoisuuden lisäämistä, voimaannuttamista ja yhteistyötä.

Toimintatutkimuksen käytäntöä ei ole tarkoin määritelty ja sitä koskevia yleisohjeita on vain muutamia. Toimintatutkimuksen yleisohjeet ovat:

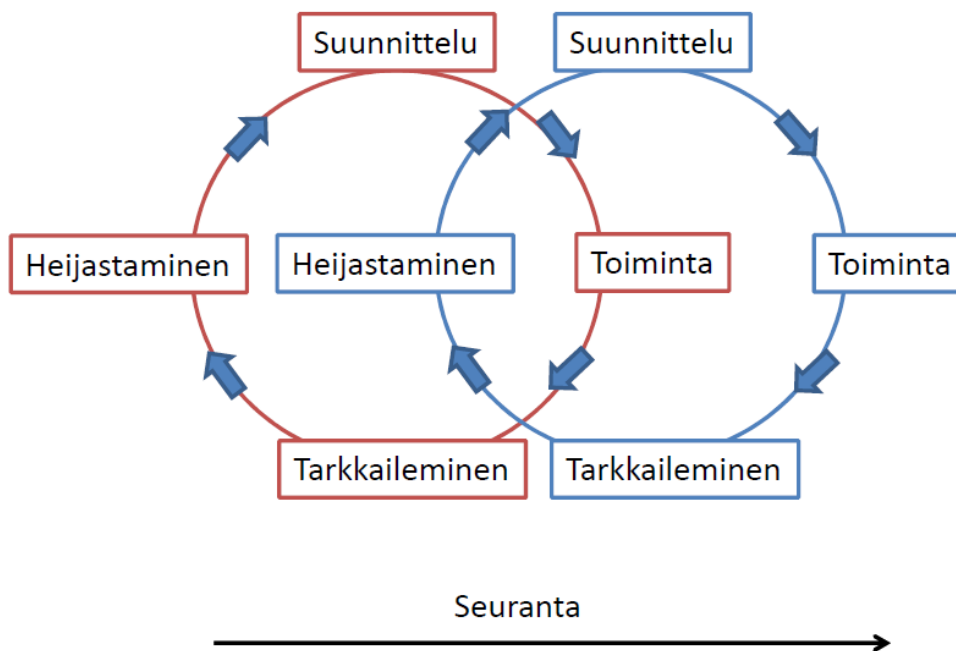
1. Tutkittavat henkilöt ovat itse tutkijoita tai he tekevät tasa-arvoista yhteistyötä tutkijan kanssa.
2. Tutkimus nähdään muutokseen vaikuttavana tekijänä.
3. Tutkimusdataa kerätään suoraan tutkimukseen osallistuneiden henkilöiden kokemusten kautta. (Gray, D.E., 2009. s. 313-331)

Toimintatutkimuksessa tutkija osallistuu suoraan tutkimusprosessiin eräänlaisena muutosagenttina. Tutkimusmenetelmässä yhdistyvät työn tekeminen ja tutkiminen. Organisaatioiden ja prosessien tutkimisen lisäksi hän pyrkii myös parantamaan niitä. Ideana tutkimusmenetelmässä on, että tutkija kysyy itseltään itse tutkimisen lisäksi ”Mitä voin tehdä asian puolesta”. Toimintatutkimuksessa tutkija on tarkoituksellisesti sitoutunut tutkimukseen. (Gray, D.E., 2009. s. 313-331)

Toimintatutkimuksessa tutkija toimii muutoksen katalyyttinä stimuloimalla ihmisiä arvioimaan heidän totut tapansa ja hyväksymään muutoksen tarve. Tutkijan ei ole tarkoitus esittää valmiita ratkaisuja vaan auttaa osallistujia kehittämään omat analyysinsä, suunnitelmat ja mahdolliset ratkaisunsa heitä kohtaaviin ongelmiin. Tutkijan tehtävänä on auttaa osallistujia suunnitelman täytäntöönpanossa analysoimalla sen mahdollisia heikkouksia ja auttamalla resurssien hankinnassa. Tutkijan ja osallistujien keskinäisen yhteistyön ja työprosessin sujuvuus ovat toimintatutkimuksen kulmakiviä. (Gray, D.E., 2009. s. 313-331)

Toimintatutkimuksen onnistuminen riippuu pitkälti siitä, kuinka hyvin tutkija onnistuu tekemään yhteistyötä tutkimukseen osallistuvien henkilöiden kanssa. Tämän takia osallistuvat henkilöt kannattaa valikoida tarkoin. Yhteistyön sujuvuutta helpottaa, kun osallistujat pidetään ajan tasalla tutkimuksen etenemisestä sekä kiitetään heitä osallistumisesta. Jos toimivaa yhteistyötä osallistujien kanssa ei saada aikaan, se voi vaarantaa koko tutkimuksen. Toimintatutkimuksen tarkoitus ei ole esittää lopullisia vastauksia ongelmiin vaan esittää erilaisia totuuksia ja realiteetteja. Jokainen ihminen tulkitsee samaa tietoa erilailla. Tulkintaan vaikuttaa heidän aikaisemmat kokemukset, maailmankatsomus ja kulttuuri. Tutkijan tavoitteena on tuoda poikkeavia mielipiteitä ja käsityksiä omaavat ihmiset yhteen, jolloin voidaan muodostaa kokonaisvaltaisia analyyssejä. (Gray, D.E., 2009. s. 313-331)

Toimintatutkimus on syklinen prosessi, joka muodostuu useista tehtävistä, kuten suunnittelusta, toiminnasta ja tarkkailusta sekä oman toiminnan arvioinnista. Nämä toiminnot kuitenkin limittyvät toistensa kanssa, jolloin jotkin tehtävät voivat tapahtua rinnakkain. Sykliä päällekkäisyyksiä tapahtuu kun esimerkiksi alkuperäisiä suunnitelmia muutetaan toiminnan kautta tehtyjen havaintojen perusteella. Lisäksi jokaista sykliä tarkkaillaan ja tehdään tarvittaessa muutoksia. Kuvassa 1 esitetään toimintatutkimuksen prosessimalli. Prosessi ei kuitenkaan aina etene järjestäytyneesti, vaan tehtäväjärjestykset voivat vaihdella sekalaisesti toistensa kanssa. (Gray, D.E., 2009. s. 313-331)



Kuva 1. Toimintatutkimuksen malli. (Gray, D.E., 2009. s. 318)

Toimintatutkimuksessa voidaan kerätä tietoa eri tapaa: päiväkirjoilla, haastatteluilla, keskusteluiden video- ja äänitetallenteilla sekä valokuvilla. Päiväkirjan pitäminen koko projektin ajan on suositeltavaa, sillä se sisältää vähintään tärkeitä kuvauksia tapahtumista, päivämääristä ja ihmisistä. (Gray, D.E., 2009. s. 313-331)

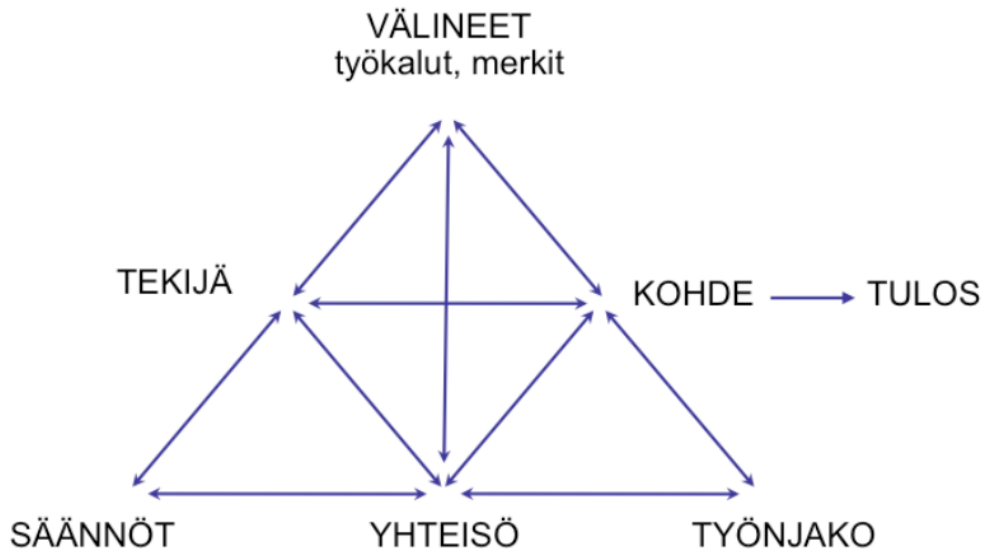
Toimintatutkimuksessa on kuitenkin omat haittapuolensa ja rajoituksensa. Tutkimusmenetelmässä kuuluu huomattavan paljon aikaa ja vaivaa yhteistyöympäristön ylläpitämiseen. Koska tavallisesti toimintatutkimukset vaativat enemmän aikaa kuin muut tutkimusmenetelmät, osallistujien mahdollinen vaihtuvuus tai heidän lähteminen projektista häiritsee ja vaikeuttaa tutkimusta. Vaikka toimintatutkimuksella saavutetaan tuloksia käytännön tasolla, niitä ei välttämättä julkaista laajasti tieteellisessä kirjallisuudessa. Tällöin ne eivät leviä julkisuuteen ja niiden käyttö muissa tilanteissa voi olla rajoittunutta. Yksi ongelma on myös yleistettävyyden puute, koska useat toimintatutkimukset ovat luonnostaan melko ainutlaatuisia tai omaleimaisia. (Gray, D.E., 2009. s. 313-331)

## 2.3 Toimintajärjestelmä

Toimintajärjestelmä on Engeströmin (1987) kehittämä malli, jolla voidaan analysoida yhteisön kulttuurisesti välittyneitä yhteistoimintaa. (Kaakinen, 2012) Välittymisellä tarkoitetaan vuorovaikutusta kohteiden välillä. Siinä korostuvat sosiaaliset tekijät sekä toiminnan ja ympäristön vuorovaikutus. Toimintajärjestelmän lähtökohtana toimii Vygotskyn (1978) ja Leontjevin (1981) laatima kolmiomalli. Kolmiomalli koostuu tekijästä, välineestä ja kohteesta. Se on kehitetty kuvaamaan yksilön kulttuurisesti välittyneitä tekoja. Kolmiomallin puutteena on, että sillä ei pysty kuvaamaan yksilön, tekojen ja yhteisön toiminnan välistä vuorovaikutusta. Engeströmin toimintajärjestelmä lisää Vygotskyn kolmiomalliin kollektiivisen tason eli yhteisön, työnjaon ja säännöt. (Korpela,



2011) Toimintajärjestelmän malliksi täydennetty välittyneen toiminnan kolmio esitetään kuvassa 2.



Kuva 2. Toimintajärjestelmän rakenne (Korpela, 2011)

Toimintajärjestelmässä kaikki toiminta kohdistuu johonkin kohteeseen. Kohde voi olla jokin abstrakti asia, kuten suunnitelma tai idea. Se voi olla myös jokin konkreettinen, materiaallinen esine. Kohde muodostuu koko toiminnan motiivia kuvaavaksi tulokseksi. Toimintajärjestelmässä tarkastelun kohteena olevaa toimijaa kutsutaan tekijäksi. Tekijä voi olla yksittäinen työntekijä tai ryhmä. (Korpela, 2011) Välineet ovat konkreettisia työkaluja tai abstrakteja käsitteitä tai ajattelutapoja. Ne välittävät ihmisen kohteeseen suuntautuvaa toimintaa. Yhteisöllä tarkoitetaan saman kohteen jakavia kollektiiviseen toimintaan osallistuvia toimijoita. (Kaakinen, 2012) Esimerkiksi eri alojen suunnittelijat, urakoitsijat ja rakennuttajat muodostavat yhteisön toimiessaan samassa rakennushankkeessa. Yhteisö koostuu useista eri tekijöistä, joilla on erilaisia näkökulmia ja intressejä. Tätä kutsutaan moniäänisyydeksi. Moniäänisyys voi aiheuttaa ongelmia tai toimia uusien innovaatioiden lähteenä. (Korpela, 2011) Työnjaolla kuvataan yhteisön tapa jakaa tehtävät, päätösvallan ja toiminnasta saadut edut eri toimijoiden välillä. Toimintajärjestelmän malli mahdollistaa myös yksilön ja yhteisön välisten suhteiden tarkastelun. Tätä suhdetta säätelevät eksplisiittiset (suoraan ilmaistut) ja implisiittiset (kirjoittamattomat) säännöt. (Kaakinen, 2012)

Toimintajärjestelmässä toiminnan eri osat toimivat toistensa välittäjinä. Muutokset yhdessä osassa tuottavat muutoksia myös muihin osiin. (Korpela, 2011) Kaikkien osien välillä on molemminpuoliset yhteydet. Esimerkiksi samalla, kun säännöt vaikuttavat yksilön toimintaan, yksilö voi muuttaa tai rikkoa niitä. (Kaakinen, 2012)

Toimintajärjestelmät muuttuvat ajan myötä samalla, kun esimerkiksi toiminnan kohde, välineet tai tekijä muuttuvat. Muutokset voivat aiheuttaa toimintaan häiriöitä. Esimerkiksi suunnittelun kehittyminen 2D-suunnittelusta tietomallintamiseen on vaatinut suunnittelijoilta uusien taitojen omaksumista. Välineiden muuttuessa myös toiminnan kohde muuttuu 2D-piirustuksista tietomalliin. (Korpela, 2011)

Toimintajärjestelmän sisälle ja eri toimintajärjestelmien välille kerääntyneitä jännitteitä kutsutaan ristiriidoiksi. Niille on keskeinen rooli toimintajärjestelmän muutoksessa ja kehityksessä. Toimintajärjestelmän ristiriitoja ei voi havaita suoraan. Niitä voidaan kuitenkin havaita ilmentymiensä kautta häiriöinä tai konflikteina. Ristiriidat aiheuttavat laadullisen muutoksen jossain toimintajärjestelmän osassa. Muutokset vievät usein eri suuntaan kuin vallitseva toimintalogiikka. Ristiriitoja voidaan poistaa vain uudelleenarvioimalla ja muuttamalla toimintaa. (Korpela, 2011)

### 3 Rakennettavuus

Rakennettavuus kuvaa yhteistyön avulla taloudellista, laadullista sekä ajallista tuottavuutta parantavaa rakennushankkeen hallintaa. Suomenkieliselle termille ”rakennettavuus” ei ole tarkkaa englanninkielistä vastiketta. Vastaavat englanninkieliset termit ovat ”buildability” ja ”constructability”, jotka molemmat kuvaavat rakennettavuutta, mutta eri tavalla. ”Constructability” on käsitteenä laajempi termi kuin ”buildability”. Se käsittää kaikkia rakennushankkeen vaiheita ja näin ollen on lähempänä suomenkielistä rakennettavuutta. (Griffith, A. & Sidwell, A.C., 1997)

Käsitteelle buildability on olemassa useita eri määritelmiä. Ensimmäinen määritelmä syntyi Iso-Britanniassa CIRIA:n (Construction Industry Research and Information Association) vuonna 1983 julkaisemassa tutkimuksessa. Tutkimus määritteli käsitteen:

*”buildability is the extent to which the design of a building facilitates ease of construction, subject to overall requirements for the completed building”.*

Buildability viittaa siis rakentamista helpottavaan, tehokkaaseen, taloudelliseen ja laatu-kriteerit täyttävään suunnitteluun. Buildability on hieman suppea termi, sillä sen määritelmän mukaan vain suunnittelulla voidaan vaikuttaa rakennushankkeen onnistumiseen ja rakentamisen sujuvuuteen. (Lam et al., 2007)

*Constructability* on hieman laajempi termi kuin buildability. Yhdysvaltalaisen rakennusteollisuuden instituutin CII:n (Construction Industry Institute) vuonna 1987 kehittämän määritelmän mukaan:

*”constructability is the optimum integration of construction knowledge and experience in planning, engineering, procurement and field operations to achieve overall project objectives.”,*

eli constructability on kaikkien rakennushankkeen eri vaiheiden muodostama optimaalinen tietotaidon ja kokemuksen kokonaisuus, jolla edesautetaan hankkeen tavoitteisiin pääsyä. Määritelmän mukaan constructability tarkoittaa, että rakennettavuuden hallinta kuuluu kaikille hankkeessa toimiville ja joka vaiheeseen hanketta, luonnossuunnittelu- vaiheesta käyttöönottoon. (Griffith, A. & Sidwell, A.C., 1997)

#### 3.1 Rakennettavuuteen vaikuttavat tekijät tuotannon näkökulmasta

Rakennettavuuteen vaikuttavat tekijät voidaan Tauriaisen (2015) mukaan luokitella kahdeksaan osa-alueeseen:

1. Rakennustalous
2. Rakennusprosessi
3. Suunnitteluratkaisut
4. Tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit
5. Standardisointi ja esivalmistus
6. Asennustyöt
7. Rakennustyöt
8. Työturvallisuus

Lisäksi nämä voidaan luokitella kolmeen pääkategoriaan; rakentamisen talous ja hallinnointi, suunnitteluratkaisut ja niiden visualisointi sekä rakentaminen ja tuotanto. (Tauriainen, 2015) Taulukossa 1 esitetään rakennettavuuteen vaikuttavien tekijöiden luokittelu osa-alueiksi ja niiden sisältö. Taulukon sisältö-sarakkeessa esitetään vain tuotantovaiheeseen vaikuttavat tekijät.

*Taulukko 1. Rakennettavuuden osa-alueet tuotannon näkökulmasta. (Tauriainen, 2015)*

<b>Pääkategoriat</b>	<b>Osa-alueet</b>	<b>Sisältö</b>
Rakentamisen talous ja johto	Rakennustalous	- Rakennustöiden tehokkuus - Rakennuskustannukset
	Rakennusprosessi	- Suunnittelun johtaminen ja valvonta - Suunnittelun ohjaus - Suunnittelu-aikataulun hallinta - Yhteistyö muiden alojen kanssa - Suunnitteluvaiheessa - Sopimusvaiheissa - Tuotanto- ja valmistusvaiheessa - Rakennusvaiheessa
Suunnitteluratkaisut ja niiden visualisointi	Suunnitteluratkaisut	- Tila- ja huonesuunnittelu - Talotekniikkajärjestelmien ja rakenteiden tila- ja aluevaraukset - Talotekniikkajärjestelmien yhteensopivuus - Joustavuus muutoksien suhteen
	Tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit	- Liitos- ja detaljipiirustukset - Tietomallin ja piirustuksien tarkistaminen
Rakentaminen ja tuotanto	Standardisointi ja esivalmistus	- Standardisointujen liitoksien ja detaljien käyttö - Standardisointujen rakennusmenetelmien käyttö - Esivalmistettujen elementtien ja järjestelmien käyttö sekä niiden asennus
	Asennustyöt	Rakennusjärjestys ja aikataulu - Käytännöllisyys - Nopeus
	Rakennustyöt	- Tietämys rakennusmenetelmistä - Paikallisten resurssien käyttö - Paikallisen ammattitaidon käyttö
	Työturvallisuus	- Työturvallisuuden hallinta ja valvonta - Purkutöiden turvallisuus - Runkorakennustöiden turvallisuus - Putoamis- ja nostosuojaukset - Asennustöiden työturvallisuus - Väliaikaisten tukien ja rakennustelineiden turvallisuus

Rakennustalous vaikuttaa projektin tavoitehinnasta ja kokonaiskustannuksista yksityiskohtien suunnitteluratkaisuihin ja rakennustöiden tuottavuuteen asti. Erityisesti talotekniikkaurakoitsijoiden kannalta suunnittelun hallinta ja valvonta on hyvin tärkeää rakennettavuuden kannalta. Suunnittelu- ja mallintamistyö on aikataulutettava niin, että rakennuksesta suunnitellaan ja mallinnetaan aina yksi osa kerralla kokonaan valmiiksi. Talotekniikan järjestelmien mallinnus ja piirtäminen on tehokkaampaa tehdä kerralla valmiiksi ja kopioida valmista järjestelmää tietomallin tai piirustuksen muihin osiin kuin uudelleen suunnitella tai korjata näennäisesti valmista talotekniikan tietomallia tai piirustusta jälkikäteen. Suunnitteluratkaisujen, rakennettavuuden ja rakennuskustannuksien samanaikainen arviointi tietomallilla nähdään tärkeänä kehitysalueena tulevaisuudessa. (Tauriainen, 2015)

Rakennettavuuden kannalta koko rakennusprosessi edellyttää syvempää yhteistyötä suunnittelijoiden ja rakennuttajien välillä. Suunnittelu- ja rakentamisvaiheen aikana rakennettavuuden hallintaan ja valvontaan pitäisi laatia selkeä prosessi, jonka mukaan edetään. Prosessi vaatii yhden henkilön nimittämisen rakennettavuudesta vastaavaksi henkilöksi. Suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja muiden ammattilaisten pitäisi suorittaa rakennettavuuden arviointi järjestelmällisesti suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa. Arvioinnissa pitäisi käyttää hyväksi tietomallia, piirustuksia ja muita rakennustietoja. (Sulankivi et al., 2014) Toteutussuunnitteluvaiheessa talotekniikkasuunnittelijoiden on tarkistettava talotekniikkajärjestelmien osien toteutettavuus, yhteensopivuus ja oikeellisuus runkorakenteiden kanssa. Tämä koskee erityisesti tärkeimpiä lämpö-, vesi-, ilmanvaihto- ja sähköasennuksia sekä tarvittavia alue- ja tilavarauksia. Tuotantovaiheessa talotekniikkasuunnittelijan olisi hyvä vieraila työmaalla säännöllisesti ja käydä mahdollisia rakennettavuusongelmia läpi työmaapäällikön kanssa. Rakennettavuuteen vaikuttavana tekijänä nähdään myös rakennusaikataulu. Jos suunnitteluajankataulu minimoidaan ja suunnittelu aloitetaan niin myöhään kuin mahdollista, rakennettavuusongelmat nousevat esiin heti rakennustöiden alkuvaiheessa, jolloin ne vahingoittavat suunnittelun loppuvaihetta sekä hankintojen ja rakennustöiden aloitusta. Suunnitteluvaiheessa tehdyt huolelliset kokoonpano- ja asennusjärjestysanalyysit sekä rakenne-, LVI- ja sähköelementtien sekä näiden järjestelmien aikataulutukset parantavat rakennettavuutta myöhemmin rakentamisvaiheessa. (Tauriainen, 2015)

Rakennettavuuteen vaikuttavat oleellisesti suunnitteluratkaisut. ”Rakentamisen suunnittelun” -idea on rakennettavuuden ja ammatillisen ajattelutavan ydin suunnittelutyössä. Erityisesti rakennesuunnittelijat ymmärtävät idean tärkeyden. Jos rakennettavuusongelmia nousee esiin suunnitteluvaiheessa, ongelmat on ratkaistava heti, jotta ne eivät jää tuotantovaiheen ongelmiksi. Periaate on sopusoinnussa lean-rakentamisen kanssa. (Tauriainen, 2015)

Piirustuksilla ja tietomalleilla visualisoidaan suunnitteluratkaisuja ja analysoidaan rakennuksen, sen rakenteiden ja järjestelmien rakennettavuutta. Piirustuksien ja tietomallien tarkastaminen pitäisi olla organisoitu suunnittelu- ja tuotantovaiheessa. Tietomallien ja piirustuksien sisältävä tieto pitää olla samanlaista, virheetöntä ja ristiriidatonta. Eri-laisten yhdistelmämallien tarkasteluissa pitäisi törmäystarkastelutyökaluja käyttää oikealla tavalla. Tietomallilla pitäisi visualisoida myös liitoskohtia ja erikoisdetaljeja. (Tauriainen, 2015)

Runkorakenteiden rakenneratkaisujen standardisointi detaljitasolla on rakennettavuuden kannalta hyödyllistä. Erityisesti urakoitsijat painottavat elementtien ja järjestelmien esivalmistuksen ja standardisoinnin vaikutusta rakennettavuuteen. Esivalmistetut ja standardisoidut elementit ja järjestelmät, kuten asennusvalmiit kylpyhuoneet, hissi-kuilut ja parvekkeet, vähentävät rakentamisen virheitä ja parantavat rakennustöiden tuottavuutta niiden valmistus- ja rakennustöiden tuotantovaiheessa. Rakennettavuusongelmien minimoimiseksi suunnittelijoille on ilmoitettava mahdollisimman aikaisessa vaiheessa halutut projektissa käytettävät esivalmistetut rakenteet. (Tauriainen, 2015)

Asennustyöt pitäisi suunnitella rakentamiseen tarvittavat tilat ja toleranssit huomioon ottaen. Rakennuksen talotekniikkajärjestelmien asennustyöt on suoritettava suunnitelmien mukaan eikä päinvastoin. Kokoonpanotöiden asennusjärjestys pitäisi suunnitella

siten, että työ voidaan suorittaa helposti ja nopeasti. Jos kokoonpanojen tilat ja toleranssit minimoidaan, elementtejä ei voi asentaa ilman, että rakennustyöt hidastuvat. Kokoonpanojen työjärjestys pitäisi analysoida suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden kesken ennen tuotantovaiheen alkamista. Työmaan logistiikan suunnittelua ja nosturien, väliaikaisten telineiden sekä tukien sijoittelua voitaisiin työmaalla simuloida tietomalliohjelmistoilla. (Tauriainen, 2015)

Rakennettavuuteen vaikuttaa myös rakennustyöt. Eri urakoitsijat käyttävät usein heille tuttuja ratkaisuja ja tuotantomenetelmiä. Heidän näkökulmastaan tutut ratkaisut ovat helpommin rakennettavissa kuin vieraat ratkaisut. Rakennettavuuden parantamisen kannalta suunnittelijoiden on tärkeää tuntea työmaalla käytetyt työkäytännöt ja rakennusmenetelmät sekä suunnitella sellaisia ratkaisuja, jotka ovat urakoitsijan mieleen. Suunnittelun alkuvaiheessa työmaajohdon pitäisi ilmoittaa suunnittelijalle työmaahenkilökunnalle tutut rakennustyömenetelmät. Työmaalla rakennettavuusongelmat pitäisi ratkaista heti kun ne havaitaan yhteistyössä työmaapäällikön, vastaavan mestarin, työnjohtajan ja suunnittelijoiden kanssa. Työmaapäälliköiden pitäisi suunnitella, johtaa ja valvoa rakentamista yhdistämällä piirustuksien ja tietomallin sisältämää tietoa päätösten tukena. Rakennusalan työntekijöiden saatavuus ja osaaminen vaihtelevat eri puolella Suomea. Koska urakoitsijat työllistävät pääasiassa paikallisia työntekijöitä, tehokas rakentaminen saavutetaan vain, jos suunnitteluratkaisut edistävät paikallisten resurssien käyttöä. (Tauriainen, 2015)

Työturvallisuus on tärkeä rakennettavuuteen vaikuttava tekijä. Pääurakoitsijalla on vastuu viestiä turvallisuusasioista aliurakoitsijoille ja työntekijöille. Työmaan käynnistymisen jälkeen yhteinen työympäristö sekä turvallisuuden hallinta ja valvonta muodostavat tärkeimmät vastaavan urakoitsijan toimenkuvat. Työmaalla turvallisuusasiakirjat ovat pakollisia. Asiakirjat sisältävät työmaan aluesuunnitelman, nostojen suunnitelmat ja ohjeet sekä putoamissuojaus-suunnitelmat. Perinteisesti turvallisuusasiakirjat ovat sisältäneet kirjoitettuja asiakirjoja ja 2D-piirustuksia. Turvallisuusasiakirjoista tiedottaminen aliurakoitsijoille ja työntekijöille nähdään haastavana. Tauriainen (2015) tutkimuksen mukaan tietomalleilla tehtävä visualisointi auttaa parantamaan turvallisuusongelmia työmaalla. Ongelmana on kuitenkin, että mallintamistyökalujen soveltaminen turvallisuuden mallintamiseen nähtiin vaikeana ja aikaa vievänä prosessina. Niin sanotun ”turvallisuusmallin” mallintamisprosessi suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden välillä pitäisi olla myös organisoitu asianmukaisesti. (Tauriainen, 2015)

### **3.2 Rakennettavuuden parantaminen tietomallilla**

Rakennettavuus syntyy tietomallintamisen eri vaiheiden, kuten vaatimus-, suunnittelu-, tuotanto- ja ylläpitomallien keskinäisestä tiedonsiirrosta ja välittymisestä. (Valjus et al., 2007) Tietomallintamisella ja rakennettavuudella on yhteisiä käsitteitä ja tavoitteita, kuten visuaalisuus, havainnollisuus, kommunikointi, tiedonvälitys, suunnitelmien laatu sekä työturvallisuus. (Mero, 2012)

Rakennettavuutta ja turvallisuutta voidaan edistää tietomallilla taulukossa 2 esitetyillä tavoilla. Osat näistä tavoista ovat jo johtavien yritysten käytössä ja niitä on testattu esimerkiksi tutkimusprojekteissa. Tutkimuksien perusteella muiden tapojen on havaittu olevan potentiaalisia, mutta ne tarvitsevat kuitenkin vielä pilotointia todellisissa hankkeissa ja lisäkehitystä ennen kuin niitä voidaan käyttää hyväksi rakennustuotannossa.

Taulukossa 2 on esitetty suurin osa tietomallin soveltuvuusalueista rakennettavuuden ja turvallisuuden kannalta. (Sulankivi et al., 2014)

*Taulukko 2. Rakennettavuuden ja turvallisuuden edistäminen tietomallilla. (Sulankivi et al., 2014)*

Means of using BIM	Maturity	Examples of utilization
1. Visual examination of BIM	In use	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Viewing architectural model</li> <li>- Viewing structural and MEP model before/while construction planning</li> <li>- Viewing details (if modelled) on site from the structural model</li> </ul>
2. Clash detection using combined model	In use	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eliminating clashes between MEP and structural parts</li> </ul>
3. BIM-based construction planning	Limited use in leading companies, under development	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3D site layout planning</li> <li>- Fall protection planning</li> <li>- 4D scheduling of permanent building parts (safety usually not included in practice)</li> <li>- Automated BIM-based safety planning</li> </ul>
4. Visualization in 3D or 4D	Limited use in leading companies, under development	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Static 3D visualizations (of e.g. planned safety solutions) for use in communication with client, site workers and safety authorities</li> <li>- Dynamic 4D visualizations of planned construction workflow / site status on specific date</li> </ul>
5. BIM as a tool for cooperation	Under development (Case studies/ test trials have been carried out)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BIM supporting discussions between e.g. contractor, structural and MEP engineer, target being in improving safety and constructability</li> </ul>
6. BIM-based checking, analysis, appraisal and measurement of safety or constructability	Under development (Case studies/ test trials have been carried out)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Constructability assessment or review, based on structural model</li> <li>- Automated safety checking</li> </ul>

Tällä hetkellä tietomallin visuaalinen tarkastelu on eniten käytetty menetelmä käytännössä. Myös yhdistelmämallien törmäystarkastelut tähän tarkoitetuilla ohjelmistoilla ovat yleisiä. (Sulankivi et al., 2014) Törmäystarkasteluilla voidaan tunnistaa rakenteiden törmäyksiä ja rakennettavuusongelmia suunnitelmissa ennen kuin ne normaalisti huomattaisiin työmaalla. Tämän ansiosta mahdolliset suunnitteluvirheet voidaan havainnoida etukäteen, jolloin säästetään aikaa, työtä ja resursseja. (Eastman et al., 2011) Geometrinen törmäystarkastelujen lisäksi ohjelmistoilla voidaan määritellä erikoissääntöjä turvallisuusasioiden ja rakennettavuuteen liittyvien ongelmien, kuten esimerkiksi erilaisten liitostyyppien lukumäärän tarkasteluun. Tietomallipohjainen rakentamisen suunnittelu, kuten asennusjärjestyksen suunnittelu, työtehtävien aikataulutukset sekä erilaiset 3D ja 4D -visualisoinnit ovat myös todettu olevan lupaavia tapoja käyttää tietomallia turvallisuuden ja sitä kautta rakennettavuuden edistämiseen. Tietomallilla rakentamisen työjärjestystä ja turvallisuussuunnittelua, kuten esimerkiksi putoamissuojauksien ja

aluesuunnitelman suunnittelua voidaan arvioida tarkemmin kuin perinteisten 2D-piirustuksien perusteella. Tietomallin on todettu parantavan ja virtaviivaistavan työmaan prosesseja. (Sulankivi et al., 2014)

Lisäksi tietomallinnus mahdollistaa yhteistyöhön perustuvan lähestymistavan tiedonvälitykselle. (Sulankivi et al., 2014) Kommunikaatio on pohja menestykselle ja korkealle tuottavuudelle projektissa. (Eastman *et al.*, 2011) Tietomallinnus voi edistää ymmärrystä eri hankkeen osapuolten välillä sekä lisätä rakennettavuuden ja turvallisuuden näkökantoja tavoiteltujen suunnitteluratkaisujen ja rakentamisen menettelyjen suhteen. Yhteistyön kehittämisessä rakennettavuuden ja turvallisuuden suhteen on kuitenkin esteitä, kuten heikko turvallisuusasioiden mallintamisen yhteensovittaminen rakennesuunnittelijoiden ja urakoitsijoiden välillä. (Sulankivi et al., 2014)



## 4 Tietomallintaminen

Tietomalli on digitaalisessa muodossa oleva rakennuksen ja rakennusprosessin koko elinkaaren aikaisten tietojen muodostama kokonaisuus. Kolmiulotteinen rakennuksen tietomalli sisältää kaiken suunnitteluun, rakentamiseen sekä käyttämiseen tarvittavan tiedon. Tietomallin voi jaotella rakenne-, arkkitehti-, LVIS-, sekä tuotantomalliin. Kansainvälisesti tietomalli tunnetaan terminä BIM eli Building Information Model. (Penttilä, Nissinen & Niemioja, 2006, s. 3)

Perinteiset rakentamisen toiminta-, menettely- ja tiedonhallintavat ovat uudistuneet tietomallin kautta (Mero, 2012). Viime vuosikymmenten aikana tietomallin kehitys rakennustuotannossa on nähty koko alaa kehittävänä asiana (Eastman et al., 2011). Pääpaino tietomallien käytössä on ollut kuitenkin vain suunnittelupuolella. Perinteisistä 2D-dokumenteista siirtyminen 3D-tietomalleihin on kokonaisuudessaan kannalta vasta alkutekijöissään. (Mero, 2012) Vasta viime vuosina tietomallit ovat alkaneet saada jalansijaa muissakin rakennusprosessin vaiheissa, kuten rakennustuotannon puolella (Mäki, T. & Kerosuo, H., 2015). Tietomallintaminen on jatkuvasti kehittyvä kokonaisuus. Samalla, kun tietomallinnuksen työkaluja ja menetelmiä otetaan käyttöön, uusia kysymyksiä nousee esille sekä lisätutkimuksien tarve kasvaa. (Mäki, T. & Kerosuo, H., 2015) Chelson (2010) mainitsee, että "The decision whether to use BIM is only the initial decision. How to use the BIM model becomes the question to achieve effective production", eli "Päätös käytetäänkö tietomallia on vain lähtökohtainen päätös. Tuottavuuden kannalta on tärkeämpää kysyä, kuinka tietomallia käytetään hyväksi hankkeessa."

Tietomallin katsotaan olevan mallit, tiedon ja dokumentit yhdistävä projektin keskusysteemi, josta on mahdollista saada kaikki tarvittava tieto ulos. Tämä keskusjärjestelmä mahdollistaa rakennushankkeen kaikkien osapuolten pysymisen ajan tasalla projektin edetessä, sillä kaikki informaatio päivitetään yhteen, samaan paikkaan. (Eastman *et al.*, 2011) Tietomalli tukee myös rakennettavuus- ja lean-periaatteita.

Tietomallintamisen tiedonsiirrossa käytetään kansainvälistä ohjelmistoriippumatonta IFC-tiedonsiirtostandardia. Tämän ansiosta eri mallinnusohjelmistoilla tehtyjä malleja voidaan avata ja käyttää toisilla mallinnusohjelmistoilla. Yhteinen tiedonsiirtostandardi estää tietoa katoamasta tai vääristymästä siirtojen tai tallennuksien yhteydessä. (Valjus et al., 2007)

### 4.1 Yleiset tietomallivaatimukset

Suomessa tietomallien hyödyntäminen rakennusalalla on ollut toistaiseksi puutteellista yhteisten mallintamisen pelisääntöjen puutteen vuoksi. Tietomallista on ollut ongelmallista tunnistaa rakenteita, tuottaa määräluetteloja ja sen tietosisältö on ollut myös puutteellinen. (Laakso, 2012) Vuonna 2012 julkaistiin laajapohjaisen kehityshankkeen, CO-BIM 2011 – projektin lopputuloksena Yleiset tietomallivaatimukset (YTV) 2012. Sen tarkoituksena oli luoda rakennusalalle yhteiset tietomallivaatimukset ja –ohjeet ja näin ollen vastata edellä lueteltuihin ongelmiin. Lähtökohtana julkaisusarjalle ovat olleet tilaaja-organisaatioiden aikaisemmat ohjeet ja niistä saadut käyttökokemukset sekä ohjeiden kirjoittajien kokemus mallipohjaisesta toiminnasta. (YTV 2012, osa 1)

YTV 2012 sisältää vaatimuksia ja ohjeita koskien uudis- ja korjausrakennuskohteita sekä rakennuksen käyttöä ja ylläpitoa. Siinä esitetään vähimmäisvaatimukset tietomallin-

nukselle ja mallien tietosisällölle. YTV 2012 julkaisusarja koostuu 14 osasta. Yleinen osuus (osa 1) ja laadunvarmistuksen periaatteet (osa 6) koskevat jokaista tietomallihankkeen osapuolta. Näiden lisäksi jokaisen hankkeeseen osallistujan on tutustuttava muissa osissa käsiteltäviin oman alansa tietomallivaatimuksiin. (RT 10-11066)

## 4.2 Urakoitsijoiden vaatimukset tietomalleille

Urakoitsijoiden kannalta YTV 2012 osa 13 asettaa vaatimuksia tietomallien määrittelyyn:

1. urakka-asiakirjoissa,
2. tuotantoon luovutettavien tietomallien määrittelyssä,
3. urakoitsijan vastuulla olevasta suunnittelusta sekä
4. tietomallin ylläpitoon rakentamisvaiheessa.

Urakka-asiakirjoissa määritellään urakoitsijaa koskevat tietomallivaatimukset, mallien käyttöoikeudet ja niiden luovuttaminen urakoitsijan käyttöön. Tietomallien luovuttamisesta koskevan määrittelyn tarkoituksena on todeta tietomallien asema hankkeessa, osapuolten vastuut niistä ja tietomallien käyttöoikeudet. Määrittely voidaan sisällyttää esimerkiksi urakkaohjelmaan tai urakkaneuvottelupöytäkirjaan. Minimimäärittelynä tietomallien luovuttamisessa YTV 2012 mukaan on, että urakoitsijoilla on oltava käytettävissä suunnittelijoiden ajan tasalla olevat tietomallit ja tietomalliselostukset. Lisäksi urakka-asiakirjoissa on syytä tarkentaa, että rakennushankkeessa hyödynnetään tietomallia siten, että nimettyjen suunnittelualojen suunnittelu tehdään mallintamalla. Toinen vaihtoehto on nimetä luovutettavat tietomallit urakkasopimuksen teknisiksi asiakirjoiksi ja määrittää niille pätevyysjärjestys suhteessa muihin asiakirjoihin. Urakka-asiakirjoihin on kirjattava urakoitsijan oikeus luovuttaa tietomalli kolmannelle osapuolelle, alihankkijalle. Urakoitsija on velvollinen esittämään alihankkijalle tietomallin käyttöä ja luovuttamista koskevat rajoitukset. Urakka-asiakirjoissa esitetään myös mahdolliset urakoitsijan tietomallintamista koskevat yksilöidyt velvoitteet. (YTV 2012, osa 13)

Urakkaneuvotteluvaiheessa järjestetään katselmus, jossa rakennuttaja, pääsuunnittelija ja muut tarvittavat suunnittelijat sekä urakoitsija tarkastavat käytössä olevien tietomallien pääsisällön, käyttötarkoituksen, valmiusasteen ja version sekä niiden tuottamisessa käytetyt mallinnusohjelmat ja versiot. Katselmuksessa tulee myös todeta, onko laadunvarmistus suoritettu ja onko mallit yhteen sovitettu toistensa kanssa. Mallisisältöjen lisäksi katselmuksessa todetaan muut jatkotehtävät, kuten mm. mallintamisen eteneminen ja mallien tarkentuminen, erityiset mallien julkaisuvaiheet, työmallien päivitysväli, mallien jakelu projektipankin kautta, muutosten ja versioiden hallinta, laadunvarmistus sekä näihin liittyvät koordinoititehtävät ja vastuut. Osapuolten on myös sovittava mitä muuta tietoa, kuten esimerkiksi suunnittelu-aikataulun määrittelyä mallissa tai hankintapakettijaon esittämistä malliin tallennetaan ja kuka sen tekee. Katselmuksen jälkeen tietomallien alkuperäis- ja IFC-versiot luovutetaan tuotantoon. (YTV 2012, osa 13)

Tuotannon käyttöön luovutettavat tietomallit pitää YTV 2012 mukaan yksilöidä ja niiden käyttötarkoitus sekä laadunvarmistus on todettava osapuolten yhteisessä katselmuksessa. Urakoitsijalle on esiteltävä mallin käyttöön liittyvät menettelyt ja käytännöt. Luovutuksessa on lisäksi sovittava tarvittavista katselmusmenettelyistä ja –tilaisuuksista rakentamisen aikana. Urakoitsija on omalta kannaltaan velvollinen esittämään mihin tarkoitukseen tietomalleja tullaan käyttämään. (YTV 2012, osa 13)

Jos urakoitsijan vastuulla oleva tuoteosien suunnittelu tehdään mallintamalla, tulee YTV 2012 mukaan mallinnus sovittaa yhteen hankkeen muun tietomallisuunnittelun kanssa. Tuoteosien mallinnusvaatimuksesta voidaan sopia projektikohtaisesti. Urakoitsijan on velvoitettava tuoteosasuunnittelija hyväksyttämään ja yhteen sovittamaan tuoteosasuunnittelun tilaajan suunnittelijoiden kanssa urakka-asiakirjojen mukaisesti. Tuoteosasuunnittelijan on myös noudatettava projektikohtaisia ja yleisiä tietomallinnusohjeita. (YTV 2012, osa 13)

YTV 2012 mukaan tietomalleja on ylläpidettävä rakentamisen aikana. Tietomallien on oltava yhdenmukaisia tuotannolle luovutettujen muiden suunnitelma-asiakirjojen kanssa. Kun piirustukset tai muut suunnitelma-asiakirjat muuttuvat tai täydentyvät, pitää myös malli niiltä osin päivittää ja laittaa jakeluun. Mallien päivitysväli ja piirustuksien julkaisuaikataulu sovitaan aloituskatselmuksessa. Tehdyt muutokset on kirjattava tietomalliselostukseen tietomallin päivityksen yhteydessä. Jos urakoitsija havaitsee tietomallissa virheitä tai puutteita, hän on velvollinen ilmoittamaan niistä suunnittelijalle ja hankkeen tietomallikoordinaattorille. Suunnittelija on velvollinen päivittämään mallia virheiden osalta ja toimittamaan uuden tietomalliversioon. (YTV 2012, osa 13)

### **4.3 Mallien tarkastaminen ja tietomallikoordinaattorin tehtävät**

Malleissa olevia virheitä voidaan havaita ja kartoittaa tarkastusohjelmistoilla. Suurissa projekteissa yhtä mallia suunnittelee usein monta henkilöä samanaikaisesti. Rakenne-, talotekniikka-, ja arkkitehtisuunnittelijat laativat usein omat osamallinsa. Lisäksi esimerkiksi rakennemallia on voinut mallintaa useampikin rakennesuunnittelija samanaikaisesti. Tällöin mahdollisilta virheiltä ja päällekkäin suunnitelluilta kohdilta on melkein mahdoton välttyä. (Penttilä, Nissinen & Niemioja, 2006, s. 52-56)

Mallien tarkastamisella voidaan säästää kuluja, aikaa ja työvoimaa sekä vähentää virheitä. Tarkastusohjelmistoilla voidaan analysoida mallin laatu ja varmistaa, ettei yhdistetyissä malleissa ole päällekkäisyyksiä ja, että ne on integroitu oikein. Ohjelmistoilla voidaan myös laskea mallin toimivuus. Malleja voidaan tarkastella myös kävelemällä virtuaalisesti mallin sisällä. Mallien tarkastus mahdollistaa lopputuloksen tarkastelun ennen rakentamisen aloittamista. (Solibri Model Checker)

Malleja tarkastetaan yleensä kolmessa vaiheessa:

1. Mallien visuaalinen tarkastelu
2. Tarkastetaan sääntöjen pitävyys
3. Raportointi

Mallien tarkastus aloitetaan yleensä visuaalisella tarkastelulla. Visuaalisessa tarkastelussa malleja tutkitaan päällisin puolin mittaamalla, leikkaamalla ja suodattamalla sitä erilaisilla toiminnoilla. Visuaalisella tarkastelulla voidaan etsiä erilaisia suunnitteluvirheitä ja -puutteita. (Virolainen, S., 2009)

Visuaalisen tarkastelun jälkeen mallia tarkastetaan säännöillä. Tarkastusohjelmistoilla mallille suoritetaan tarkastus erilaisilla säännöillä ja tarkistetaan niiden paikkansapitävyys. Säännöt mahdollistavat mallissa olevien virheiden ja puutepaikkojen, kuten epäjatkuvuuskohtien ja päällekkäisten objektien havainnoinnin. Mallintarkastusohjelmat sisältävät sisäänkirjoitettuja oletussääntöjä, joita käyttäjä voi halutessaan myös muokata

halutunlaisiksi. Käyttäjän on mahdollista myös laatia uusia omia sääntövaatimuksia ja tarkistaa niillä mallia. Sääntöihin on mahdollista sallia myös poikkeuksia ja ne voidaan rajata koskemaan vain tiettyä osaa mallista. Sääntöjä voi näin luoda ja muokata esimerkiksi rakennettavuutta koskien. Tarkastuksen jälkeen saadaan lista tuloksista ja palaute erikseen jokaista sääntöä koskien. Listan perusteella käyttäjä voi käydä mallin ongelmakohdat läpi ja korjata ne. (Virolainen, S., 2009)

Viimeinen vaihe on raportointivaihe, jossa tuloksia käsitellään ja kommentoidaan. (Virolainen, S., 2009) Tehdyt raportit voidaan jakaa tai lähettää suunnittelijalle tai urakoitsijalle erimuotoisina formaatteina, kuten esimerkiksi exel-, bcf- (BIM collaboration format) tai pdf-tiedostoina.

Mallien tarkastus on tavallisesti tietomallikoordinaattorin tehtävä. YTV 2012 osan 11 mukaan rakennuttajan on nimettävä rakennusprojektille tietomallikoordinaattori hankkeen alkuvaiheessa. Tietomallikoordinaattorin on oltava kokenut projektihenkilö, jolla on riittävä asiantuntemus tietomallintamisesta ja projektinhallinnasta. Hänen tehtävänä on huolehtia projektikohtaisen alustavan tietomallinnussuunnitelman laadinnasta ja eri suunnittelualojen tietomallinnustehtävien koordinoinnista. Yhdessä projektinjohdon kanssa tietomallikoordinaattorin tulee kuvata tietomallinnustavoitteet, -päämäärät sekä tietomallinnuksen käytön laajuus. Hänen on myös selvitettävä jokaiselle osapuolelle tietomallinnustehtävät, vastuut ja velvollisuudet sekä raportoitava vähintään tietomallintamisen statuksesta, tehdyistä toimenpiteistä, laadunvarmistuksen tuloksista sekä mahdollisista ongelmista hankkeen johdolle tai suunnittelujohdolle sovitusti esimerkiksi suunnittelukokouksien yhteydessä. Yhteistyössä pääsuunnittelijan kanssa tietomallikoordinaattori huolehtii, ohjeistaa, koordinoi ja ohjaa tietomallinnustehtäviä koko hankkeen ajan. Tietomallikoordinaattorin tehtäviä voi olla myös yhdistelmämallin tuottaminen ja tietoteknisen yhteensovittamisen varmistaminen. (YTV 2012, osa 11)

## 5 Tietomallien käyttö työmaalla

Tietomallipohjainen suunnittelu vähentää lähtökohtaisesti ongelmatilanteita työmaalla. Kun eri suunnittelualojen suunnitelmat sovitetaan etukäteen yhteen, mahdolliset risteyskohdat ja ongelmalliset liittymät voidaan havaita etukäteen. Lisäksi tietomallipohjainen suunnittelu tarkentaa suunnitelmien mitoitusta mm. korkeusasemien osalta. (YTV 2012, Osa 13)

Urakointiyrietykset hyödyntävät tietomalleja rakentamisen tarjous-, valmistelu- ja rakentamisvaiheessa. Tietomallilla urakoitsijat voivat:

- perehtyä kohteeseen ja sen suunnitelmiin tarjousvaiheessa, hankinnoissa ja työmaatoteutuksessa,
- hakea tietoa,
- visualisoida vaikeasti rakennettavia paikkoja,
- laskea määriä hankintoja ja tuotantosuunnittelua varten,
- koordinoita yleisiä rakentamisen aikaisia toimintoja,
- suunnitella tuotannon 4D-aikataulutusta ja työjärjestystä sekä havainnollistaa toteumatilannetta,
- yhdistää malleja eri suunnittelualojen välillä mm. talotekniikan asennusjärjestysten ohjaamista ja rakennettavuustarkasteluja varten,
- siirtää rakenteiden sijaintitietoa mittalaitteisiin ja
- suunnitella työmaa-alueen käyttöä ja turvallisuutta, kuten esimerkiksi putoamisvaaroja. (Eastman *et al.*, 2011, YTV 2012, Osa 13)

Tuotannon kannalta yksi oleellisimpia seikkoja on mallien oikeellisuus. Tietomallit on oltava tehty teknisesti oikein ja tarkastettu suunnittelijan toimesta sekä sovitettu yhteen muiden suunnittelualojen kanssa. Mallinnettujen rakenteiden dimensiot, sijainnit ja tunnukset on oltava oikein sekä ne tulee olla mallinnettu oikeilla työkaluilla. Mallissa ei saa olla esillä vaihtoehtoratkaisuja. (YTV 2012, Osa 13)

Tuotannon mallinnustehtävissä urakoitsijat käyttävät pohjana suunnittelijoiden laatimia malleja. Malleja, joihin on täydennetty jokin tuotanto-ohjauksen näkökulma, kutsutaan yleisnimityksellä tuotantomalli. Se ei ole täsmällisesti määritelty tietomalli. Tuotantomalleja ovat esimerkiksi 4D-aikataulumalli sekä työmaan 3D-aluesuunnitelma. Yksi tuotantomalli voi sisältää useita eri tuotantosuunnitelmia. (YTV 2012, Osa 13)

Tietomallit eivät korvaa piirustuksia tai muita suunnitelma-asiakirjoja. Suunnitelma-asiakirjojen on kuitenkin oltava yhteneviä tietomallien kanssa ja piirustuksia on voitava tulostaa suoraan tietomalleista. Tarvittaessa mallista luotuja piirustuksia voidaan muotoilla vastaamaan piirustusstandardeja tai parantamaan niiden luettavuutta. Muutokset eivät saa olla kuitenkaan ristiriidassa tietomallin kanssa. (YTV 2012, Osa 13)

### 5.1 Havainnollistaminen

Kun suunnittelu tehdään mallintamalla, tuotetaan automaattisesti jonkintasoista kolmiulotteista havainnollistamismateriaalia. Asioiden havainnollistaminen tietomallilla tukee suunnittelija ja projektinjohdon työtä sekä parantaa kommunikointia suunnitteluryhmän, projektiosapuolien ja tilojen käyttäjien kesken. Havainnollistaminen optimoi suunnitelmien laatua, helpottaa eri ratkaisuvaihtoehtojen vertailua, lisää vuorovaikutusta eri osa-

puolten välillä sekä tukee kiinteistökehitystä ja markkinointiprosessia. Havainnollistamisella on kaksi eri päämuotoa. Se voi olla joko

1. valokuvamaista visualisointia tai
2. teknistä havainnemateriaalia. (YTV 2012, Osa 8)

Ensimmäinen havainnollistamisen muoto, valokuvamainen visualisointi, kuvaa suunnittelijan näkemystä hankkeesta ja sen suunnitteluratkaisuista. Visualisointien laatuvaatimukset ovat usein niin korkeita, että parhaimmillaan mallinäkömön ja valokuvan erotaminen toisistaan voi osoittautua haasteelliseksi.

Tietomallilla tehdyt visualisoinnit ovat tehokas työkalu projektin suunnittelu- ja tarjousvaiheessa. Yritykset esittävät visualisoinneilla suunnitelmaehdotuksia ja -ratkaisuja asiakkaille ja tilaajille. (Eastman et al., 2011) Tietomalli mahdollistaa ratkaisuvaihtoehtojen tarkastelun visuaalisesti suoraan tilamallin tai rakennusosamallin avulla. Ratkaisuvaihtoehtojen vertailujen pohjalta voidaan arvioida kvantitatiivisia (määrällinen) ja kvalitatiivisia (laadullinen) suunnitteluratkaisuja. Visualisointi pohjaa tavallisesti alkuperäiseen arkkitehti- tai rakennemalliin. (YTV 2012, Osa 8) Lähtökohtana on kehittää visualisointia niin, että siitä olisi hyötyä koko rakennusprojektin ajan tarjousvaiheesta rakennuksen luovutusvaiheeseen. (Eastman et al., 2011)

Toinen havainnollistamisen muoto, tekninen havainnemateriaali toimii kommunikatiivisena suunnitteluryhmälle, tilaajalle, hankkeen johdolle ja työmaalle. Teknisten havainnemateriaalien laatuvaatimukset ovat visualisointeja vaatimattomammat. Esimerkiksi värit kuvaavat usein todellisten materiaalien sijaan erilaisia järjestelmiä. Molemmat käyttötavat voivat sisältää myös liikkuvaa kuvaa tai mahdollisuuden liikkua mallissa reaaliaikaisesti. Nykyisten katselu- ja laadunvarmistusohjelmien ansiosta erityisesti teknisissä havainnemateriaaleissa mallissa liikkuminen on itsessään selvä perusominaisuus. (YTV 2012, Osa 8)

Tekninen havainnemateriaali mahdollistaa monia hyötyjä rakennuttajille. Tietomallilla suunnitelmia voidaan tarkastella kolmiulotteisessa ympäristössä, mikä mahdollistaa havainnollisemman tavan välittää tietoa kuin esimerkiksi määräluettelo tai taso- ja leikkauspiirustuksia lukemalla. (Laakso, 2012) Tietomallissa liikkuminen ja sen pyörittäminen antaa katsojalle selkeämmän ymmärryksen siitä, miltä rakennus on tarkoitus näyttää. (Eastman et al., 2011) Rakennuksen tai rakenteiden hahmottaminen 2D-piirustuksista johtaa helpommin vääriin tulkintoihin. Esimerkiksi raudituspiirustuksien väärin tulkitseminen on hyvin yleistä. YTV 2012 mukaan työmaalla suunnitelmien havainnollistaminen on vielä tällä hetkellä tietomallien merkittävin käyttötapa. Tärkeimpiä havainnollistamisen kohteita ovat perehtyminen kohteeseen ja rakenteisiin sekä työjärjestyksen suunnittelu ja töiden yhteensovittaminen. (YTV 2012, Osa 13)

Lähtökohtaisesti tietomalli on tekninen asiakirja. Sen käyttö havainnollistamisessa tulee arvioida projektikohtaisesti. Mallintamisen tarkkuuteen vaikuttaa mallista haluttavan tietosisällön tarve. Tämä ei kuitenkaan aina vastaa visualisointien tarpeita. (YTV 2012, Osa 8) Mallin tarkkuusaste on tärkeä tekijä siinä, kuinka tehokkaasti tietomallia voidaan viimekädessä käyttää. (YTV 2012, Osa 13) Visualisointien kannalta olennaiset asiat voivat taas kuormittaa mallia turhaan, eivätkä ne tarjoa mitään hyötyä mallin muuhun hyötykäyttöön. Näin ollen tarvittavat visualisoinnit on hyvä kohdentaa vain niihin mallin osiin, jotka nähdään tarpeellisiksi. (YTV 2012, Osa 8)

## 5.2 4D-aikataulu

Tilaaajan kannalta rakentamisaikataulu ja siinä pysyminen on tärkeimpiä ja seuratuimpia asioita hankkeessa. 4D-aikataulu mahdollistaa rakentamisen simuloinnin animaatioilla. Animaatiot ovat liikkuvaa visualisointia ja ne ovat tehokas keino havainnollistamaan työvaiheita tai asennuksia. (Laakso, 2012) Tietomallipohjaisen 4D-aikataulun ja sen toteuttamisen esittäminen esimerkiksi työmaakokouksissa on perinteistä esitystapaa huomattavasti havainnollisempaa. (YTV 2012, Osa 13) Perinteisesti aikataulu on esitetty viivoina jana-aikataulussa tai paikka-aika kaaviossa.

Kun tietomallit luovutetaan urakoitsijalle, ne on oltava sellaisessa muodossa, että aikataulutaminen on mahdollista. Työmaalla 4D-aikataulu voidaan esittää mallinäkökuvana, jossa eri aikoihin toteutettavat rakennusosat ilmenevät mallista erivärisillä sävyillä. Aikataulun tarkkuustasosta riippuen aikataulua voidaan tarkastella eri päivinä, viikkoina tai kuukausina. Mallinäkökuvassa voidaan esittää myös tulevat, seuraavan ajanjakson aikana toteutettavat rakenteet. Mallinäkökuvat voidaan jakaa muille osapuolille ilman tarvetta erilliseen tietomallipohjaiseen ohjelmaan. (YTV 2012, Osa 13)

Tietomallipohjainen 4D-aikataulun visualisointi voidaan esittää vain niiden rakenteiden osalta, jotka on mallinnettu. Tällöinkin rakenteiden rakennekokonaisuuksien tai kokonpanojen erittelytarkkuus vaikuttaa merkittävästi aikataulun tarkkuustasoon. (YTV 2012, Osa 13) Rakennusjärjestyksen ja aikataulun mallintamisessa tulee miettiä millä ajan ja osien tarkkuudella rakentamisen simulointi on kannattavaa. Kuukausia tai vuosia kestävässä, muutoksille alttiissa rakennushankkeessa esimerkiksi liitoskomponenttien pulttien asennuksen erotteleminen minuuttien tarkkuudella ei ole kannattavaa. Liitoskomponentit voivat kuitenkin sisältää yksityiskohtaiset asennusohjeet, vaikka se ei olekaan sidottu aikatauluun. Rakentamiseen kuluva aika on rakennettavuuteen vaikuttava kvantitatiivinen suure, joka on yhteydessä rakenneratkaisun toteutettavuuteen ja taloudellisuuteen. (Laakso, 2012)

YTV 2012 mukaan tietomalliin on kirjattava tärkeimpien rakennusosien ja järjestelmien suunnitellut asennusajankohdat. Malliin viedään vähintään projektin kannalta kriittisten rakennusosien tai työvaiheiden, kuten esimerkiksi perustuksien, rungon ja purkutöiden aikataulutietoa. Tietomallipohjainen aikataulu jaetaan myös hankkeen muiden osapuolten käyttöön. Tietomallipohjainen aikataulu täydentää tilaajalle annettavaa rakentamisaikataulua ja ohjaa mm. täydentävän suunnittelun järjestystä. Myös suunnittelu-aikataulun havainnointi mallilla on mahdollista. (YTV 2012, Osa 13)

4D-aikataulun käyttö on Zhou et. al. (2014) mukaan mahdollistanut tehokkaan suunnitteluvirheiden havaitsemisen rakennusprosessissa. Tutkimuksen mukaan 4D-tietomallit näyttävät rakennusprosessin laajemmasta perspektiivistä ja mahdollistavat rakennusjärjestyksen simuloinnin hyvin tarkalla tasolla. Tutkimuksessa tietomallipohjainen 4D-aikataulutuksen paljasti aikataulutuksen virheitä, joita olisi ollut vaikea havaita normaalin menetelmin. 4D-aikataulun simulointi hyvin tarkalla tasolla helpottaa eri toimintojen vuorovaikutuksien arvioinnin toistensa kanssa. Lisäksi tutkimus osoitti, että 4D-aikataulun avulla eri osastoilla tai jopa eri työmailla työskentelevät työntekijät saavat paremman ymmärryksen työvälineiden ja -laitteiden sekä rakennustoiminnan väliaikaisista riippuvuussuhteista. Tutkimuksessa 4D-tietomallien käyttö auttoi työntekijöitä päätöksenteossa, aluesuunnittelussa ja resurssien aikataulutuksessa. Varsinkin koskien

koko rakennusprojektin optimointia koskevissa päätöksissä 4D-tietomallit olivat erityisen hyödyllisiä. (Zhou et. al., 2014)

Bargstädtin (2015) tutkimus osoittaa, että tietomallipohjainen runkorakennussuunnitelma, joka on yhdenmukainen kaikkien projektiin osallistuvien osapuolien toimintojen välillä, luo vahvan kurinalaisuuden rakennustyömaalle. Tietomallipohjainen 4D-aikataulu ei ole hyödyllinen suunnannäyttäjänä ainoastaan rakennustöiden hallintaa, vaan se on osoittautunut myös tehokkaaksi psykologiseksi tueksi aikataulutuskeskusteluissa sitomalla vahvemman siteen aikataulun ympärille. Simulointien avulla tehtävät tarkistukset aikataulussa liittävät aikatauluun yksityiskohtaista tietoa, mikä on tärkeä piirre hyvässä aikataulutuksessa. (Bargstädt, 2015)

### 5.3 Työmaan aluesuunnitelma

Työmaan aluesuunnitelma kuuluu osaksi rakennushankkeen toteutuksen tuotantosuunnittelua. Se on työmaa-alueen käyttöä ohjaava suunnitelma. Aluesuunnitelma toimii työmaan työ- ja turvallisuusjärjestelyjen sekä sisäisten ja ulkoisten logistiikkajärjestelyjen tiedotusvälineenä rakennushankkeessa toimiville osapuolille. Työmaan aluesuunnitelmassa esitetään kuinka työmaatoiminnot sijoitetaan rakennuspaikalla. Se pitää sisällään työmaan liikenne- ja nostojärjestelyt, työmaatilojen määrän ja niiden sijoituspaikat, työnaikaiset LVVST-järjestelmät, rakennustarvikkeiden varastointijärjestelyt, työtilat ja -alueet sekä työmaa-alueen erottamisen aitaamisella sekä erilaiset suojaukset. Rakentamisen edetessä aluesuunnitelmaa täydennetään, muutetaan ja laajennetaan rakennusvaiheittain. Eri vaiheita ovat yleissuunnittelu, maarakennus- ja perustusvaihe, runkotyövaihe sekä sisätyövaihe. (RATU C2-0299)

Tietomallipohjaisessa työmaan aluesuunnitelmassa on esitettävä työmaa-alueen tontti rakennuksineen sekä kaikki perinteisessä 2D-suunnitelmassakin vaadittavat asiat. Väliaikaiset varusteet, kulkutiet ja tilavaraukset esitetään joko täsmällisinä 3D-objekteina tai -komponentteina tai yksinkertaistettuina 3D-kappaleina. Mallinnus tulee tehdä niin, että suunnitelmaan sisältyvät osat ovat tunnistettavissa visuaalisesti. Työmaan aluesuunnitelmassa on myös esitettävä kaikki työmaan vaikutusympäristössä olevat katualueet ja esimerkiksi nosturin vaikutusalueella olevat rakennukset ja rakenteet. 3D-aluesuunnitelma on oltava helposti ymmärrettävissä ja käytettävissä myös perinteisenä 2D-piirustuksena. Objekteihin on näin liitettävä tarpeelliset tekstiselitykset ja lisätiedot riippumatta siitä, onko mallinnus tehty karkeina 3D-levyinä tai –kappaleina (aluevarauksina) tai visuaalisesti helpommin tulkittavina 3D-objekteina. 3D-suunnitelmaa on päivitettävä työmaalla koko toteutuksen ajan, jotta se pysyisi mahdollisimman ajantasaisena. (YTV 2012, Osa 13)

Työmaan aluesuunnitelma on tärkeä osa tuotannon suunnittelua. Aluesuunnitelma edistää rakennettavuuden kannalta tärkeitä tekijöitä, kuten työmaan käyttöä, siisteyttä sekä turvallisuutta (Sulankivi et. al., 2009) Aluesuunnitelmalla voidaan myös vähentää materiaalikäsittelyn kustannuksia ja parantaa tuottavuutta. (Srinath, et al., 2015) Tietomallipohjaisella aluesuunnitelmalla voidaan myös havainnollistaa riskialueita ja ulottuvuuksia. Esimerkiksi siihen voidaan merkitä nosturin ulottuvuus tai vaara-alue sekä hälytysajoneuvoille varatut ajoväylät. (YTV 2012, Osa 13)

Työmaan logistiikan hallinnassa tietomallipohjaista aluesuunnitelmaa voidaan käyttää visuaalisena työkaluna ja tiedon välittäjänä. Tietomallin visuaalisten ominaisuuksien ja



rakentamiseen tarvittavan tietosisällön avulla voidaan tehostaa kulkureittien, varastointipaikkojen sekä väliaikaisten rakenteiden ja tarvikkeiden, kuten työvälaineiden, apurakenteiden, nostokaluston, henkilöresurssien ja tilavarausten hallintaa. (Laakso, 2012) Työmaalla tarvitaan tilaa väliaikaisille varastoille, kuten työmaaverstaille sekä materiaalien- ja elementtien säilytystiloille. Työmaan aluesuunnittelussa tavoitteena on määritellä mahdollisimmat hyvät väliaikaistilojen sijoituspaikat niin, että kohteen asennuspaikan ja säilytyspaikan etäisyydet ja työmaan tilantarve saadaan optimoituksi. Useimmiten työmaan vapaiden tilojen tarve on rajallinen. Tällöin niiden käyttö vaatii suunnittelua ja harkintaa, jotta saatavuudesta, turvallisuudesta ja ruuhkista aiheutuvia ongelmia voidaan välttää. Työmaan aluesuunnitelmalla voidaan taata sujuvat materiaalien- ja tarvikkeiden kuljetukset sekä työskentelyolosuhteet työmaalla. Tämä parantaa työmaan turvallisuutta ja tehostaa tuotantoa. (Srinath, et al., 2015)

Aluesuunnitelman malleja on kahdenlaisia, staattisia ja dynaamisia malleja. Staattisissa malleissa kaikille väliaikaisille tiloille on omat tilavarauksensa koko työmaatuotannon ajan. Dynaamisissa malleissa väliaikaisille tiloille määritellään tietty ajanjakso, jonka aikana sitä tarvitaan työmaalla. Dynaamiset mallit ovat aina projektikohtaisia. Niiden suunnittelu perustuu kolmeen perusmuuttujaan: tarvittavien tilojen tyyppi ja määrä, tilojen tilantarve sekä aikajakso, jonka aikana tilaa tarvitaan työmaalla. (Srinath, et al., 2015)

## 5.4 Työturvallisuus

YTV 2012 Osa 13 esittää kolme rakennustyön työturvallisuutta parantavaa tietomalliavusteista vaihtetta:

1. Suunnitellaan ja mallinnetaan työn toteutus ja työmaalla tarvittavat turvallisuusjärjestelyt sekä käytettävät varusteet.
2. Varmistetaan, että rakenne on toteutettavissa turvallisesti, ja että tarvittaville turvavälaineille on suunniteltu ja mallinnettu rakenteisiin tarvittavat kiinnitysosat.
3. Varmistetaan, että suunnitellut turvallisuusratkaisut on dokumentoitu riittävän havainnollisesti. (YTV 2012, Osa 13)

Putoamissuojaus ja elementtituet mallinnetaan tietomalliin vähintään tilaajan kanssa sovittulla tarkkuudella ja laajuudella. Mallinnettavia työturvallisuusratkaisuja ovat esimerkiksi:

- putoamissuojaukseen käytettävät turvakaitteet,
- aukkosuojat,
- valjaiden kiinnityspisteet,
- turvaverkot ja
- elementtituet. (YTV 2012, Osa 13)

Tietomallipohjainen työturvallisuussuunnittelu voidaan toteuttaa geometrialtaan joko tarkkana tai viitteellisenä mallinnuksena. Tarkassa mallinnuksessa esimerkiksi kaideosat ovat visuaalisesti tunnistettavissa tietäntyyppisiksi kaidetolpiksi. Viitteellisessä mallinnuksessa sama kaideosa on mallinnettu vain yhtenäisenä nauhana, jolla voi olla jokin väritunniste. Mallissa voidaan esittää vain käytettävät kaidetyyppiratkaisut tai rajata mallinnus koskemaan esimerkiksi yhtä kerrosta tai aluetta. Perinteistä kaidesuunnitelmaa voidaan täsmentää geometrialtaan tarkoilla kaidetyyppitunnuksilla. Tällöin esimerkiksi käytettävät erityyppiset turvakaitteet merkitään eri väreillä 2D-tasopiirustukseen ja

kustakin tyyppiratkaisusta esitetään periaatteellinen yksityiskohtainen 3D-mallinnus. Lähtökohtaisesti mallinnus tehdään rakennemalliin. Jos rakennemallia ei ole saatavissa tai työturvallisuuteen liittyvä mallinnus toteutetaan eri ohjelmalla kuin rakennemallinnus on tehty, rakennesuunnitelmia käytetään mallinnuksessa vain lähtötietoina. (YTV 2012, Osa 13)

Rakennemallissa olevat työturvallisuuteen liittyvät kiinnityselimet ja muut varaukset, kuten turvalajaiden kiinnityspisteet ja kaiteiden kiinnityskohdat rakenteissa on tarkistettava yhteistyössä päätoteuttajan ja rakennesuunnittelijan toimesta. Myös elementtitukien sijainnit tarkistetaan mallilla päätoteuttajan ja rakennesuunnittelijan toimesta sekä työturvallisuuden että logistiikan kannalta. Elementtitukien sijoittelussa on tarkistettava, että esimerkiksi seinäelementeille löytyy tarvittava tukipiste holvilta. Lisäksi mallilla voidaan tarkastella ja ennaltaehkäistä elementtitukien mahdollisia haittoja työmaalogistiikalle, kuten kohtuuttoman vaikeita kulkureittejä tai välivarastointia holveilla. Välivarastoinnista aiheutuvat kuormat tai rakennustöissä käytettävien koneiden painot ovat kriittisiä, kun ne ylittävät holvien mitoituksessa käytettävän hyötykuorman arvon. (YTV 2012, Osa 13) YTV 2012 antaa vaatimuksia rakennusvaiheen työturvallisuusratkaisujen varmistamiseen tietomallilla. Toteutuksesta vastaavat urakoitsijat ja suunnittelijat tarkistavat tietomallilla elementtiasennussuunnitelman ja paikallavalurakenteet. Lisäksi heidän on hyväksyttävä keskeiset asennusjärjestykset, työnaikaiset tuennat, jäykistykset ja muottijärjestelmät. (YTV 2012, Osa 13)

Tietomallipohjainen esitystapa parantaa työturvallisuuteen liittyvää kommunikointia ja helpottaa tiedon välittämistä ja ymmärtämistä. Turvallisuuden suunnittelu sekä työ- ja asennusjärjestyksen suunnittelu liittyvät hyvin läheisesti toisiinsa. Turvallisuuden suunnittelun voi sisällyttää myös 4D-aikataulukseen. Esimerkiksi, kun jonkin taso saadaan valmiiksi, siihen liittyvät turvakaiteet ilmestyvät näkyviin aikataulun mukaisesti. Turvallisuuden suunnittelu liittyy myös läheisesti rakennesuunnitteluun. Esimerkiksi turvavälineiden kiinnitys voi edellyttää jo elementtitehtaalla tai konepajalla asennettavia osia rakenneosiin ja valjaiden kiinnityspisteen määrittely rakenteeseen voi edellyttää rakenteellista asiantuntemusta. (Sulankivi et al., 2014)

## 6 Tuotannon tehostaminen Lean-periaatteilla ja tietomallilla

Tuotannon käytäntöjen huomioonottaminen suunnittelussa tehostaa tuotantoa (Cockerham, Fox & Marsh, 2001). Tehdastuotannossa halutusta lopputuloksesta voidaan rakentaa prototyyppi, jonka perusteella lopullisen tuotteen valmius- ja kustannustehokkuutta voidaan kehittää. Autoteollisuus on tässä asiassa yksi edelläkävijöistä. Rakennuksien projektiluontoisen tuotannon takia, niiden lopullisesta tuotteesta ei ole yleensä olemassa prototyyppiä. (Laakso, 2012) Laakson (2012) mukaan tietomallit voisivat toimia rakennuksien prototyyppinä. Tällöin rakentamisen vaiheita voitaisiin analysoida tarkasti ennen varsinaisen rakentamisen aloittamista.

4D-tietomalli mahdollistaa mallintamisen lisäksi rakentamisen visuaalisen simuloinnin, jossa rakentaminen esitetään vaiheittain sen etenemisen mukaan. Näin koko rakennusprojekti voidaan esittää digitaalisesti ikään kuin rakentamisen ”kenraaliharjoituksena” ennen itse rakentamista. Tällä tietomallin ominaisuudella voidaan havaita mahdolliset työnkulkuun liittyvät ongelmat ennen kuin ne tavallisesti havaittaisiin työmaalla, jolloin ongelmat voidaan vielä korjata ennen kyseisen vaiheen rakentamisen alkamista. Simulointi auttaa myös työntekijöitä sisäistämään kyseisen työvaiheen paremmin, minkä ansiosta jopa vähemmän kokemusta omaava työntekijä voi suoriutua tehtävästä yhtä hyvin kuin kokenutkin työntekijä. Simuloinneilla rakennuttaja ja suunnittelija voivat tarkastella eri rakennusjärjestyksen vaihtoehtoja ja optimoida heille itsellensä parhaan mahdollisen ratkaisun. (Laakso, 2012)

### 6.1 Lean-periaatteet

Lean-käsite on peräisin teollisuudesta, mutta nykyään se on otettu käyttöön hyvin tuloksin melkein jokaisella toimialalla. Laatu, aika, kustannukset ja tuotto ovat parantuneet selkeästi. (Forbes & Ahmed, 2011) Lean on johtamis- ja ajattelutapa, joka perustuu Toyotan tuotantojärjestelmään eli TPS:ään (Toyota Production System). Sen keskeisiä periaatteita ovat asiakasarvon lisääminen, arvoketjun virtauksien hallinta, imuohjaus ja jatkuva parantaminen. Tämän toisen maailmansodan jälkeen kehitetyn innovatiivisen prosessimuutoksen kautta Toyota pyrki ylläpitämään tuotannon virtaa ja vastaamaan räätälöidymmään kysyntään. (Lean enterprise institution, 2014) Rakennusteollisuudessa lean-ajattelutavan soveltamista kutsutaan lean-rakentamiseksi. Tavoitteena lean-rakentamisessa on hukkan poistaminen, asiakasarvon maksimointi sekä jatkuva parantaminen. Keskeinen tavoite on parantaa rakennusprosessia ja sitä kautta asiakasarvon maksimointi. (Sacks et al., 2010.)

Lean-käsitteestä on tehty useita hieman erilaisia määritelmiä. Greg Howell ja Glenn Ballard Lean Construction instituutista määrittävät lean-käsitteen uudeksi tavaksi hallita rakentamista. Yhdistelemällä lean-rakentamisen tavoitteita, periaatteita ja tekniikoita on muodostettu uusi tuotteiden toimitusprosessi. Tätä uutta toimintatapaa käyttämällä voidaan saavuttaa merkittäviä parannuksia monimutkaisissa, epävarmoissa ja nopeissa hankkeissa. Rakennusteollisuus instituutti (The Construction Industry Institute) määrittelee lean-käsitteen:

*“jatkuvana hukkaa eliminoivana prosessina, joka täyttää tai ylittää kaikki asiakkaiden vaatimukset keskittyen koko rakennusprosessiin ja tavoitellen suoritusten täydellisyyttä rakennusprojekteissa”.* (Forbes & Ahmed, 2011)

Kun lean-periaatteet otetaan käyttöön rakennusteollisuudessa, täytyy huomioida erilainen hukan tyyppi. Rakennusteollisuudessa on tavallista, että tehtävät aloitetaan ennen kuin on varmistettu, että kaikki tarvittavat resurssit, kuten materiaalit, osaava työvoima tai tarvittava tieto on saatavilla. Tämä voi johtaa helposti vähentyneeseen tehokkuuteen. Hukkatyyppiä kutsutaan nimellä ”making do”, joka tarkoittaa sitä, että vaikka jotakin työn suorittamisen kannalta oleellista puuttuu, yritetään silti kovasti pärjätä. (O'Connor & Swain, 2013, Dave et al., 2013)

Perinteinen rakentamisen ja hallinnan lähestymistavan mukaan rakennusprojekti ymmärretään erilaisten vaiheiden sarjana. Projektin kokonaisoptimointi tehdään optimoimalla vaiheet erikseen omina kokonaisuuksinaan. Lean-ajattelutapa tunnistaa nämä eri vaiheet, mutta ottaa myös huomioon, että kaikki vaiheet ovat toisistaan riippuvaisia ja sisältävät hukkaa. Kokonaisoptimointi voidaan tehdä hukkaa poistamalla. Koska vaiheet ovat toisistaan riippuvaisia, projektin vaiheiden optimointi erikseen johtaa arvon vähenemiseen ja hukan muodostumiseen, sillä jokaista vaiheiden liitäntää ja päätöstä on mahdoton huomioida. Lean-ajattelutavan mukaan jokaisen vaiheen erikseen optimoinnin sijaan projekti pitäisi optimoida kokonaisuutena. Lean tarkoittaa yksinkertaisimmillaan hukan eliminoimista jokaisesta prosessin työvaiheesta ja samaan aikaan lisäarvon tuottamista asiakkaalle. Lisäarvoa tuovat toiminnot suoritetaan niin tehokkaasti ja nopeasti kuin mahdollista sekä arvoa tuottamattomat toiminnot pyritään minimoimaan tai poistamaan. (O'Connor & Swain, 2013, Dave et al., 2013)

Lean-periaatteet ja johtamistapa mahdollistavat useita hyötyjä, kuten koko hankkeeseen keskittymisen, hukan vähenemisen ja arvon nousun kasvattamisen. Lisäksi on helpompi saavuttaa yhteinen lähestymistapa. Tutkimukset ovat näyttäneet, että oikeanlainen lean-periaatteiden käyttö projektissa tulee merkittävästi vähentämään tai jopa poistamaan riskejä liittyen kustannuksiin, aikaan, laatuun ja turvallisuusongelmiin. Tutkimukset osoittavat myös, että lean-periaatteiden positiivinen vaikutus kasvaa samalla kun projektin monimutkaisuus ja niihin liittyvät riskit kasvavat. (Dave et al., 2013, Zimina et al., 2012)

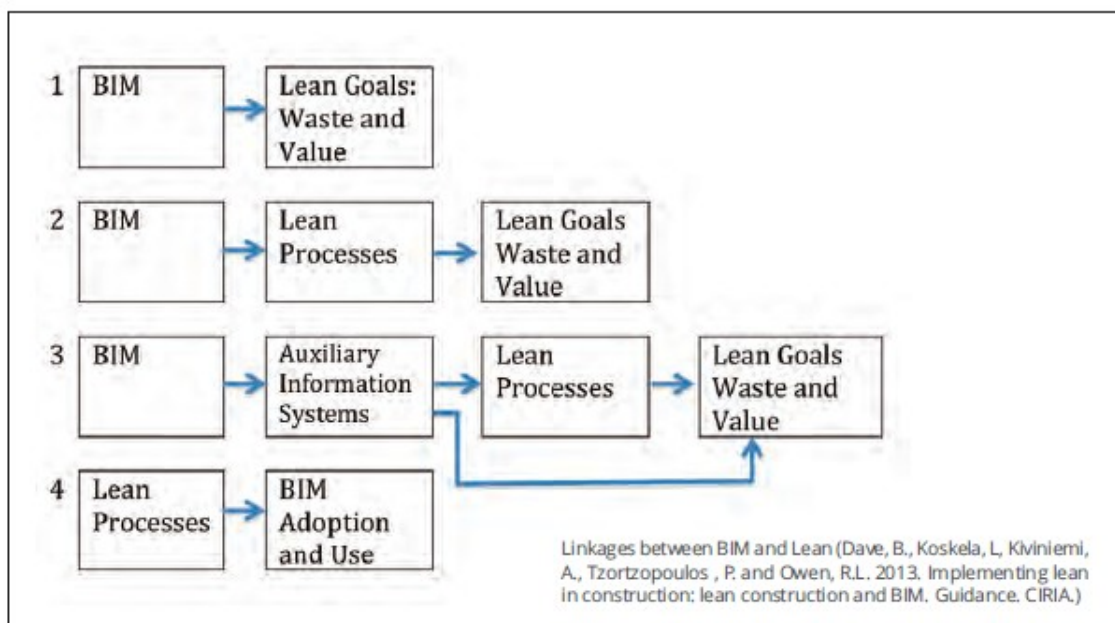
Lean-ajattelutavan ytimenä on prosessia parantavien tehokkaampien toimintatapojen ja työkalujen etsintä. Kun uusia toimintatapoja ja työkaluja löydetään, ne yhdistetään nykyisten kanssa. Lean-periaatteiden käyttöönotossa ei kuitenkaan riitä pelkkä lean-työkalujen kerääminen, vaan tärkeämpää on koko lean-oppimisprosessi ja sopeutuminen lean-periaatteisiin. Pyrkimys täydellisyyteen johtaa parempaan suorituskykyyn ja virheettömään toimintaan. Jatkuva parantaminen nähdään lean-periaatteiden yhtenä tärkeimpänä elementtinä. Se vaatii kuitenkin henkilöstön panoksen ja sen on oltava systemaattista ja säännöllistä pysyvien parannuksien saavuttamiseksi. Merikallio & Haapasalon (2009) mukaan lean-periaatteiden käyttö voi alentaa rakennusprojektien kustannuksia jopa 10-40 prosenttia. (Merikallio & Haapasalo, 2009)

Tietomalli ja lean-rakentaminen ovat toimineet itsenäisiä kokonaisuuksina yli kaksi vuosikymmentä. Alle kymmenen vuotta sitten ymmärrettiin, että niiden välillä on merkittävästi synergiaa. Ne sopivat yhteen kuin käsi ja hanska. Tästä lähtien tietomallin ja lean-rakentamisen välistä sopusointua on pyritty tutkimaan akateemisissa tutkimuksissa ja käytännön kehityksellä. (Koskela, 2015)

## 6.2 Yhteydet lean-rakentamisen ja tietomallin välillä

Lean-rakentamisella on yhteisiä tavoitteita tietomallinnuksen kanssa. Molemmat pyrkivät rakennusprosessin kokonaisvaltaiseen kehitykseen, minkä ansiosta niiden periaatteita on alettu soveltaa yhdessä. Perinteisesti rakennusprosessi jaetaan erilaisten vaiheiden sarjaan. Optimoimalla kukin vaihe parhaimmin mahdollisin keinoin voidaan saavuttaa optimoitu kokonaisprosessi. Lean-ajattelutavan kaksi periaatetta hylkäävät tämän vanhan periaatteen esittämällä kaksi argumentaatiota. Ensimmäiseksi Lean-periaatteen mukaan jokainen vaihe sisältää hukkaa ja niitä voidaan parantaa. Toiseksi vaiheet eivät ole riippumattomia toisistaan, vaan niiden välillä on riippuvuuksia. Kun jokainen vaihe optimoidaan erikseen, jää niiden väliset riippuvuuden huomioimatta. Lean-ajattelutavan mukaan prosessi on optimoitava erilaisten vaiheiden sijaan kokonaisuutena. (Dave et al., 2013, s. 2.)

Yhteydet tietomallin ja lean-rakentamisen välillä voidaan jakaa kuvan 3 esittämällä tavalla neljään kategoriaan. Ensimmäiseksi tietomallilla voidaan toteuttaa suoraan lean-periaatteita. Esimerkiksi törmäystarkasteluissa eri suunnittelualojen välillä voidaan tarkastella suunnitelmien ristiriitaisuuksia ja havaita eri suunnittelualojen mallien välisiä törmäyksiä. Tämän ansiosta suunnittelijat voivat korjata ja tarkentaa suunnitelmiaan ennen rakennusvaiheen alkamista, jolloin mahdolliset myöhästymiset ja lisätyöt vähenevät työmaalla. Eri suunnittelualojen suunnitelmien väliset ristiriitaisuudet ovat yksi huomattavimmasta ongelmasta työmaalla. (Koskela, 2015)



Kuva 3. Yhteydet lean-rakentamisen ja tietomallin välillä (Koskela, 2015).

Toiseksi tietomallilla voidaan tukea ja helpottaa lean-tavoitteiden saavuttamista. Tietomalliohjelmiä käyttäen on mahdollista toteuttaa lean-käytäntöjä ja -periaatteita systemaattisesti. Esimerkiksi rakennejärjestyksen simuloinnilla voidaan tuoda esille eri rakennusvaiheiden väliset rajapinnat. Tietomallilla tehtävän visualisoinnin johdosta kommunikointi työmaalla paranee ja työntekijät ymmärtävät paremmin mitä ovat tekemässä. Tämä johtaa suoraan hukkan vähenemiseen ja asiakasarvon nousuun. (Dave et al. 2013, s. 15.)

Kolmanneksi tietomallipohjaisia työkaluja ja menetelmiä on mahdollista kehittää ja käyttää yhteistyössä lean-periaatteiden mukaan. Tietomallin toimintoja laajennetaan tai täydennetään lean-periaatteiden ja käytäntöihin sopiviksi. Toimintaa kehittävät iteraatioprosessit ovat lean-ajattelutavan ydinkohta. Esimerkiksi tietomallista voidaan saada aputyökaluilla suorat lähtötiedot energia, kustannus ja hiilijalanjäljen laskentaan. Suunnitelmia voidaan myös muuttaa laskelmien tulosten perusteella kohti parempaa lopputulosta. Tämä jatkuva iteraatioprosessi on lean-ajattelutavan yksi ydinkohdista. (Koskela, 2015)

Viimeisenä yhteytenä lean-periaatteiden ja tietomallin välinen linkki ei ole kuitenkaan vain yksisuuntainen vaan molemminpuolinen. Lean-periaatteet helpottavat tietomallin käyttöönottoa. Lean-ajattelutavassa painotetaan ennustettavuutta, kuria ja yhteistyötä eli samoja asioita, joita tietomallilla pyritään kehittämään. Vastaavasti tietomallilla tehtävä tiedonjaon ja sen mahdollistama yhdistetty työyhteisön kehitys luovat lean-periaatteiden käyttöönotolle suotuisan pohjan rakentamisessa. Molemmat osapuolen hyötyvät toinen toisistaan. Tietomalli mahdollistaa ihmisten, välineiden ja rakennusmateriaalien oikea-aikaisen virran ja toimii työkaluna parempaan suunnitteluun sekä aikataulutukseen. Tuotannon sujuva eteneminen on edellytys materiaali- ja resurssihukan vähentämiselle. (Koskela, 2015)

## 7 Tietomallin käyttö esimerkkikohteissa 1 ja 2

### 7.1 Kohde-esittelyt

Esimerkkikohde 1 on Helsingissä sijaitsevan vanhan sairaalan korjaushanke. Hankkeen kokonaislaajuus on 35 620 brm<sup>2</sup>, kerrosala 33 629 kem<sup>2</sup> ja tilavuus 115 231 m<sup>3</sup>. Rakennus koostuu kahdesta kellarikerroksesta, 15:ta hoitokerroksesta ja katolla sijaitsevasta, kaksi kerrosta korkeasta IV-konehuoneesta. Yhteenlaskettu kerrosmäärä on 18 kerrosta. Vanhan rakennuksen julkisivu on suojeltu. Korjaushankkeen urakkamuotona oli tavoittehtintainen projektinjohtourakka. Suunnittelu oli tilaajan vastuulla ja talotekniikka tehtiin sivu-urakkoina. Tuotantovaiheessa kohdeyrityksellä oli käytössä rakenne-, talotekniikka- ja arkkitehtimalli. Esimerkkikohteen 1 haastatellut henkilöt esitetään liitteessä 1. Esimerkkikohde esitetään kuvassa 4.



*Kuva 4. Esimerkkikohde 1. Saatavissa:  
[https://fi.wikipedia.org/wiki/Meilahden\\_tornisairaala](https://fi.wikipedia.org/wiki/Meilahden_tornisairaala)*

Esimerkkikohde 2 on Espoon sairaalan laajennushanke. Hankkeen kokonaislaajuus on 68 600 brm<sup>2</sup> ja kokonaistilavuus 310 000m<sup>3</sup>. Rakennus koostuu seitsemästä lohkosta. Kellarikerroksia on 3 ja maanpäällisiä kerroksia lohkosta riippuen 3 tai 4. Rakennukset perusolosuhteet olivat hankalat, sillä perustusvaihe sisälsi sekä louhintaa, että paalutusta. Rakennuksen runkoratkaisu on pilari-palkki-elementtirunko, missä kantavat seinät ovat betonirakenteisia sandwich-elementtejä. Liittorakenteiset välipohjat muodostuvat kuorilaatasta ja sen päälle tulevasta paikallavalusta. Julkisivut ovat graafista betonia. Urakkamuoto oli SR-urakka eli ”suunnittele ja rakenna” urakka. Tuotantovaiheessa kohdeyrityksellä oli käytössä rakenne- ja talotekniikkamalli. Esimerkkikohteen 2 haastatellut henkilöt esitetään liitteessä 1. Esimerkkikohteen 2 havainnekuva esitetään kuvassa 5.



Kuva 5. Esimerkkikohteen 2 havainnekuva. Saatavissa: [http://www.betoni.com/download/24609/BET1404\\_52-59.pdf](http://www.betoni.com/download/24609/BET1404_52-59.pdf)

## 7.2 Haastattelujen analyysi

### 7.2.1 Teema 1: Rakennettavuus

#### Rakennettavuus käsitteenä ja sen kannalta olennaisimmat asiat

Esimerkkikohteessa 1 sisäpuolen vastaavan mestarin mukaan rakennettavuus tarkoittaa suunnitelmien oikeellisuutta ja toteutettavuutta. Esimerkkikohteen 1 tuotantoinisööri painottaa myös suunnitelmien yhteensovitusta. Hänen mukaansa rakennettavuus tarkoittaa sitä, että suunnitelmat on laadittu ja yhteen sovitettu niin, että kaikki eri rakennusosat voidaan asentaa suunnitelmien mukaisesti ja niiden mukaiseen paikkaan. Korjausrakentamisen suhteen esimerkkikohteen 1 työpäällikkö näkee, että rakennettavuus liittyy vanhan rakennuksen soveltuvuuteen muutostöille eli kuinka helposti tai vaikeasti haluttu lopputulos on toteutettavissa teknisesti.

Esimerkkikohteen 1 tuotantoinisöörin mukaan suunnitelmissa on oltava huomioitu rakennusosien vaatimukset niin, että ne ovat asennettavissa. Hän kertoo, että usein suunnitelmien puutteet liittyvät rakennusjärjestelmän asennukseen. Rakennusjärjestelmän pitäisi olla rakennettavissa työturvallisesti ja normaaleja asennustapoja käyttäen. Tuotantoinisööri huomauttaa, että esimerkiksi torninosturin sijoituspaikka pitäisi suunnitella työmaan toiminnan kannalta niin, että se olisi sellaisessa paikassa, mihin sen käytännössä voi asentaa. Hänen mukaan rakennettavuuteen vaikuttaa olennaisesti myös tehdyt törmäystarkastelut sekä varaussuunnittelu. Kun törmäystarkastelut ja varaussuunnittelu on tehty kunnolla, päästään häiriöttä tekemään työsuorituksia. Tuotantoinisööri huomauttaa, että työvaiheen kesto on suoraan verrannollinen kustannuksiin.

Esimerkkikohteen 1 työpäällikkö näkee, että rakennettavuuteen vaikuttaa kuinka vanhaa rakennusta, sen muotoja ja tilaratkaisuja, käytetään hyväksi suunnittelussa. Olennaisimpia asioita ovat talotekniikan kuilujako ja kuilurakenne sekä kuinka ne ovat toteutetta-



vissa. Myös huonekorkeus on rakennettavuuden kannalta olennainen asia. Esimerkkituotantovaiheeseen 1 sisäpuolen vastaava mestari näkee, että tuotantovaiheessa rakennettavuuden kannalta olennaisimmat selvitykset, kuten risteilytarkastukset ja suunnitelmien oikeellisuuden tarkastukset, tulisi olla tehty jo ennen rakentamisen aloittamista suunnittelijoiden toimesta. Mahdollisesti myös rakennusratkaisujen toistettavuus ja energiatehokkuuteen liittyvät asiat pitäisi olla jo ennen tuotantovaiheen aloittamista tarkastettu. Hän lisää myös, että rakennettavuuteen vaikuttaa olennaisesti rakennuksen huollettavuus käyttövaiheessa.

Esimerkkikohteessa 2 rakennettavuus tarkoittaa hankintainsinöörin mukaan suunnitelmien yksiselitteisyyttä. Suunnitelmat ovat yksiselitteisiä, kun ne on laadittu siten, että niitä voidaan yksiselitteisesti tulkita. Tällöin jokainen ymmärtää suunnitelmat samalla tavalla, eikä työmaalla tarvitse arvuutella, miten niitä pitäisi soveltaa halutun lopputuloksen saamiseksi. Hänen mielestään rakennettavuuden kannalta olennaisimpia asioita ovat mitat ja mahdollisimman tarkka kuvaus rakenteen sisällöstä.

### **Rakennettavuuteen liittyvät ongelmat esimerkkikohteissa**

Esimerkkikohteessa 1 matala kerrokorkeus ajoi talotekniikan hormiratkaisut hajautettuun järjestelmään, jossa IV-tekniikka jouduttiin tuomaan huonekohtaisissa hormoneissa sisään. Tämä ei ole nykypäivänä kovin haluttu ratkaisu ja tämän takia hormien kokonaislukumäärä kasvoi hyvin suureksi. Lisäksi hormit oli mitoitettu vain putki ja eriste huomioiden eli niiden mitoituksessa ei oltu osattu ottaa huomioon putkien kannatusrakenteiden vaatimaa tilantarvetta. Liian pieniin hormoneihin jouduttiin jälkikäteen piikaamaan reikiä kannatusrakenteille.

Rakennettavuutta häiritsi myös jälkikäteen tulleet järjestelmämuutokset. Esimerkiksi maalämpöjärjestelmän lisäys kesken rakennusvaihetta vaikutti lämmöntalteenottopiirin rakenteeseen ja aiheutti huomattavan tilanpuutteen. Tilat meinasivat yksinkertaisesti loppua kesken ja ongelman ratkaisemiseksi lisäsuunnittelu vei paljon ylimääräistä aikaa.

Esimerkkikohteessa 1 vanhojen rakenteiden kuntotarkastukset oli laiminlyöty, eikä lähtötilannetta ollut selvitetty riittävällä tarkkuudella. Tämä huononsi kohteen rakennettavuutta aiheuttamalla huomattavan määrän lisä- ja muutostöitä. Lisä- ja muutostyöt puolestaan viivästyttivät aikataulua ja vaikuttivat merkittävästi hankkeen kustannuksiin. Esimerkiksi vanhan maanvaraisen alapohjan alapuolelta löydettiin onkaloita ja vanhoja muottitarvikkeita. Lattiat jouduttiin purkamaan ja niiden alapuoliset rakenteet puhdistamaan. Tämän jälkeen tehtiin uudet sepeletäytöt ja huoltoluukut. Lisäksi oletettua huonokuntoisemmat pintalattiat jouduttiin purkamaan. Suunnitelmien mukaan vanhat pintabetonilattiat oli tarkoitus säilyttää. Lattiat olivat kuitenkin halkeilleet paljon ja osittain ne olivat jopa irti pohjastaan. Tämän johdosta ne päätettiin purkaa kokonaisuudessaan. Lisätöitä aiheuttivat myös puutteet vanhojen betoniseinien korjaussuunnitelmissa. Suunnitelmiin merkitty ”vanhan tasoitteen poisto” tarkoitti todellisuudessa useiden senttien rappauksen poistoa. Myös asbesti tarkastukset oli laiminlyöty.

Esimerkkikohteen 1 tuotantopäällikkö huomauttaa, että vanhoissa rakennuksissa korot saattavat heitellä hyvinkin suuresti. Pitkän rakennuksen päätyjen korot voivat olla jopa 100 mm eri tasoissa. Hän painottaa, että korkojen tasaaminen on tavallisesti isotoinen prosessi. Esimerkkikohteessa 1 olemassa olevia korkoja ei oltu tarkastettu riittävällä tarkkuudella, mikä aiheutti sen, että korkojen heitot nousivat julkisivujen kannalta hy-

vinkin suureksi ongelmaksi. Uusi julkisivujärjestelmä ei antanut anteeksi vanhan rakennuksen vinoutta, jolloin ikkuna-aukot jouduttiin piikkaamaan jälkikäteen oikeisiin kohtiin.

Esimerkkikohteen 1 tuotantopäällikön mukaan vanhasta rakennuksesta pitäisi tehdä riittävän laaja esitutkimus esimerkiksi keilausmittauksella (laser-keilaus). Myös sisäpuolen vastaava mestari painottaa, että korjausrakentamiskohteessa vanhat rakenteet tulisi olla tarkemmitattu suunnitelmiin. Tällöin saataisiin tarkat lähtötiedot vanhasta rakenteesta ennen rakentamisen aloittamista. Työpäällikkö lisää myös, että vanhojen rakenteiden kunto olisi hyvä tarkistaa ennen rakennustöiden aloittamista, esimerkiksi koepurkujen avulla. Hän huomauttaa, että pelkästään vanhoja suunnitelmia tutkimalla esimerkkikohteen 1 lisätöitä ei olisi saatu karsittua, koska kyseiset ongelmat eivät olleet esillä suunnitelmassa.

Esimerkkikohteessa 2 arkkitehtimallin puuttuminen aiheutti sen, että törmäystarkasteluja ei voitu suorittaa täydessä laajuudessaan. Törmäystarkastelut oli myös tehty osittain puutteellisesti. Ongelmaksi nousi isojen ”jäykkien” IV-järjestelmäosien, kuten suurien putkien ja virtakiskojen väliset törmäykset. Näiden osien siirtäminen osoittautui työlääksi prosessiksi, missä osa jo tehdystä työstä jouduttiin purkamaan, jotta tietyt osat saatiin asennettua. Ongelmia aiheutti myös poikkeuksellinen elementtien asennusjärjestys, mutta kokeneet elementtityönjohtajan ansiosta ongelmat huomattiin ja saatiin ratkaistua etukäteen. Rakennettavuuden kannalta ongelmia toi myös täydentävien rakenteiden sekä tukirakenteiden suunnittelu. Täydentäviä rakenteita jouduttiin tarkentamaan työn edetessä ja erilaisia tukirakenteita palo-oville, katoksille, siirtoseinille ja ripustuksille jouduttiin kyselemään suunnittelijoilta erikseen. Myös urakkamuoto toi omia ongelmiaan. Kohteen toteuttamismuoto oli SR-urakka, missä urakoitsijan vastuulla on suunnittelu ja rakentaminen. Esimerkkikohteen 1 tuotantoinsinöörin mielestä SR-urakka on sairaalarakentamiseen väärä urakkamuoto, koska käyttäjien tuoma kehitys ja muutos aiheuttavat huomattavan määrän lisä- ja muutostyötä. Hän näkee, että erikoisissa kohteissa, kuten sairaaloissa suunnitteluvastuu pitäisi olla tilaajalla. Taulukossa 3 esitetään haastatteluissa ilmenneet rakennettavuuteen liittyvät ongelmat esimerkkikohteessa 1 ja 2.

*Taulukko 3. Rakennettavuuteen liittyvät ongelmat esimerkkikohteissa.*

<b>Esimerkkikohde 1</b>	<b>Esimerkkikohde 2</b>
Talotekniikan toteutus hajautettuna järjestelmänä	Törmäystarkasteluja ei voitu tehdä täydessä laajuudessa
Tilanpuute TATE-järjestelmille	Törmäykset järjestelmien ja rakenteiden välillä
Riittämättömät lähtötiedot	Elementtien asennustyöt
Julkisivuelementtien haasteellinen asennus.	Täydentävien rakenteiden ja tukirakenteiden suunnittelun puutteet
	Käyttäjien tuomat muutokset

## 7.2.2 Teema 2: Tietomallinnus

### Tietomallien käyttö työmaalla

Haastateltavilla oli kokonaisuudessa hyvin vähän aikaisempaa kokemusta tietomallintamisesta. Esimerkkikohteen 1 sisäpuolen vastaavamestari ja esimerkkikohteen 2 hankintainsinööri kertoivat, että he olivat tutustuneet tietomallintamiseen opiskeluaikoinaan ja omalla vapaa-ajallaan. Ainoastaan esimerkkikohteen 1 sisäpuolen vastaavalla mestarilla oli aikaisempaa kokemusta tietomallin käytöstä työelämässä.

Esimerkkikohteessa 1 tietomallia käytettiin vain tiedonhakuun ja visualisointiin, koska käytössä olivat vain mallien katseluohjelmat. Etukäteen tehtyjen risteilytarkastuksien ansiosta saatiin karsittua paljon mahdollisia suunnitteluvirheitä ennen töiden alkamista. Tietomallista otetuilla leikkauksilla voitiin tarkastella putkien asennusjärjestystä ja niiden paikkojen mitoitusta. Viemärien ja ilmanvaihdon lähtöjen sekä oksien mallinnus auttoi huomattavasti tekniikkaratkaisujen havainnointia ja niiden sijoittelun suunnittelua. Putkien asennusjärjestystä käytettiin hyväksi aikataulutuksessa ja työjärjestelyissä. Mallia käytettiin hyväksi myös hormien asennusjärjestyksen suunnittelussa. Kohteessa hormimuuraukset tehtiin vähintään kahdessa vaiheessa. Mallilla tarkasteltiin mikä seinä pitää olla hormista muurattu, ennen kuin voidaan aloittaa tekniikka-asennukset. Samalla periaatteella suunniteltiin myös hormien umpeen muuraukset ja levytykset. Alakattojen purkamisen jälkeen vanhat alakaton yläpuoliset reiät mitattiin ja mallinnettiin sekä niitä käytettiin hyväksi reikäsuunnittelussa. Mallilla otettiin myös asennuskorkoja ongelma- paikoista.

Esimerkkikohteen 1 tuotantoinasinööri huomautti, että suunnittelijat eivät tavallisesti piirrä paperileikkausta vaikeasta kohdasta. Mallista voidaan saada myös vaikeiden kohtien leikkaukset, sillä tietomallipohjaisella suunnittelulla vaikeat kohdat on pakko miettiä ja mallintaa jossain vaiheessa suunnittelua. Suunnittelukokouksissa tietomallia hyödynnettiin rakenteiden törmäystarkasteluiden osalta. Niissä katsottiin vain erittäin hankalia kohtia, joita ei olisi saatu muuten ratkaistua.

Suunnittelukokouksien lisäksi esimerkkikohteessa 1 tietomallia katseltiin myös urakoitsijapalaverissa. Käyttö oli kuitenkin melko vähäistä. Käytön vähäisyyteen vaikuttivat myös hitaat tietoliikenneyhteydet. Ongelmia käytiin enemmän läpi sähköpostin välityksellä havainnollistavia mallinäkymiä käyttäen. Putkiurakoitsija tulosti myös kuvia asentajille vaikeasti rakennettavista paikoista ja neuvoi asennusjärjestystä. Esimerkkikohteen 1 työpäällikön mukaan työmaalla osoitettiin mallin avulla ongelmia ja tehtiin linjauksia siitä, miten jotkin asiat ratkaistaan.

Esimerkkikohteessa 1 tietomallit ladattiin fyysisesti työmaan tietokoneelle projektipankista noin joka toinen viikko. Tietomalli oli jaoteltu osiin suunnittelualojen ja kerroksien mukaan omiksi tiedostoiksi, mikä nopeutti tiedostojen lataamista projektipankista.

Esimerkkikohteessa 2 elementtien toimitusajasta laskettiin taaksepäin niiden valmistusajankohta eli koska elementtien suunnitelmat on oltava valmiina tehtaalla. Elementtisuunnittelija merkkasi malliin elementtijaot ja elementtien valmiusasteen erivärisillä tunnuksilla (status-tunnus). Elementtien suunnittelun etenemistä seurattiin viikoittain ja samalla sitä ohjattiin haluttuun suuntaan. Elementtien valmiusasteiden visuaalisen esittämisen ansiosta ongelmakohdat tulivat selkeästi esille. Esimerkkikohteen 2 hankintainsinööri painottaa, että tietomallilla voitiin kiinnittää erityishuomiota vaikeasti rakennet-

taviin paikkoihin. Esimerkiksi jonkin alueen rakenteellisen suunnittelun ollessa hankalaa, alueen elementit pysyivät samanvärisinä useita viikkoja. Tällöin ongelmakohtiin osattiin puuttua ja ratkaista niitä yhteisissä suunnittelukokouksissa. Suunnitteluohjauksella elementit saatiin oikeassa järjestyksessä tuotantoon, mikä on tärkeää, sillä tehtailla ei ole valmiutta tehdä suuria määriä elementtejä varastoon odottamaan työmaalle kuljuttamista. Elementtien suunnittelun ohjauksen lisäksi tietomallia käytettiin hyväksi risteilytarkastuksissa sekä järjestelmien sijoituksen ja huollettavuuden havainnollistamisessa.

Suunnitelmien kommentointipalavereissa ja käyttäjäkokouksissa tietomallia käytettiin hyväksi havainnollistamiseen ja taustatietojen lähteenä. Hankintainsinööri huomauttaa, että vaikka kokouksissa käytävistä asioista oli olemassa kirjalliset ohjeet, asiat on helpompi ymmärtää kun ne nähtiin konkreettisesti mallista. Tietomallin käyttö oli kuitenkin melko vähäistä. Sitä ei käytetty, ellei sen käyttöön ollut välttämätöntä tarvetta.

Esimerkkikohteessa 2 uusin tietomalli sijaitsi niin ikään projektipankissa, mutta käytännössä tuorein malli kulki elementtisuunnittelijan mukana muistitikulla. Työmaalla oli yksi tietokone, missä tietomalli sijaitsi fyysisesti. Työmaalla oli käytössä rakennemallin natiivimalli, johon tuotiin muiden suunnittelualueiden malleja referensseinä. Tämä ei ollut tehokas ratkaisu, sillä natiivimalli käynnistyy hitaasti ja sitä on raskas käyttää. Taulukossa 4 esitetään haastatteluissa ilmenneet tietomallin käyttökohteet esimerkkikohteissa 1 ja 2.

*Taulukko 4. Tietomallien käyttökohteet esimerkkikohteissa.*

<b>Esimerkkikohte 1</b>	<b>Esimerkkikohte 2</b>
Törmäystarkastelut	Törmäystarkastelut
Talotekniikan asennusjärjestyksen aikataulun ja sijoituksen suunnittelu	Elementtisuunnitteluohjauksen väline
Hormien asennusjärjestyksen suunnittelu	Havainnollistaminen
Asennuskorkojen ottaminen	Järjestelmien sijoituksen ja huollettavuuden havainnointi
Vaikeasti rakennettävien kohtien tarkastelu	Vaikeasti rakennettävien kohtien tarkastelu
	Taustatietojen lähde

### **Ongelmat tietomallin käytössä**

Esimerkkikohteen 1 rakennemallissa vanhat rakenteet oli mallinnettu vanhojen suunnitelmien mukaan, jolloin ne eivät sisältäneet esimerkiksi vanhoja sijaintivirheitä ja muutoksia. Rakennemalli oli siis vain vanha teoreettinen malli olemassa olevasta rakennuksesta, josta puuttui kaikki poikkeavat tilanteet ja rakenteet. Tämä ei palvellut korjausrakentamista, joten mallia ei juuri käytetty. Esimerkkikohteen 1 tuotantoinsinööri toivoi, että rungon lähtötilanne olisi tarkemmitattu ja mallinnettu tarkemmin. Tällöin rakennemallia olisi voitu käyttää hyväksi korjaussuunnitelmien laadinnassa. Hän huomauttaa, että jos rakennemallia halutaan tulevaisuudessa käyttää korjausrakentamisessa, olemassa olevien rakenteiden keilausmittaus purkutöiden jälkeen olisi suositeltavaa.

Esimerkkikohteessa 1 tietomalleissa oli puutteita talotekniikan mallinnoituksen osalta. Osista talotekniikan malleista puuttui eristeet ja osa tekniikasta oli mallinnettu väärin

kokoisina. IV-putket kannakoidaan yleensä U-kiskoilla ja, kun koko paketti eristetään, sen paksuus on jotain aivan muuta, kuin pelkän putken. Esimerkkikohteen 1 työpäällikön mukaan talotekniikkamallilla ei tee juuri mitään, jos eristeet puuttuvat. Osa pumpuista, liitoslaipoista ja sulkuventtiileistä oli mallinnettu väärän kokoisina. Työpäällikkö painottaa, että varsinkin manuaalisten sulkuventtiilien mallinnus on olennaista, jotta niiden kääntösäde voidaan huomioida suunnittelussa. Kohteessa niitä jouduttiin siirtämään käytäville, jotta ne mahtuisivat kääntymään.

Työpäällikkö lisää myös, että IV-konehuonesuunnittelun suunnitelmat olivat mallissa myöhässä, mikä aiheutti sekaannuksia ja niistä aiheutuvia lisätöitä. Tehtyjä reikiä piti täyttää jälkikäteen, koska reikien varaukset olivat olleet liian isoja ja päivitykset malliin tulivat liian myöhään.

Esimerkkikohteen 1 tietomallissa olevia detaljeja ei oltu mallinnettu työmaan kannalta tarpeeksi tarkasti, jolloin malliin ei ollut luottamista niiden osalta. Alakattojen ruutujaon puuttuminen tietomallista nousi merkittäväksi ongelmaksi. Ruutujaon puuttuminen aiheutti sen, että tekniikkaa, kuten ilmanvaihtoa, sprinklereitä, valaisimia ja ilmaisimia, oli samoissa ruuduissa päällekkäin. Alakattoa jouduttiin purkamaan, jotta kaikki tekniikka saatiin sinne oikein asennettua. Esimerkkikohteen 1 työpäällikkö huomauttaa, että jos alakaton ruutujako olisi mallinnettu tietomalliin, koko ongelma olisi voitu väistää.

Puutteita ilmeni myös yhdistelmämallin päivityksessä. Se ei ollut aina ajan tasalla, mikä aiheutti ristiriitaisuuksia suunnitelmien kanssa. Uusimmat tietomallit saatiin työmaalle aina päivityksien yhteydessä IFC-formaatteina, mutta niistä ei aina tehty yhdistelmämallia ajallaan.

Vastoin esimerkkikohteen 1 tilaajan toivomuksia, tietomallia ei käytetty hyväksi aikataulutuksessa. Esimerkkikohteen 1 työpäällikkö huomauttaa, että tietomallipohjaisen aikataulun tekeminen korjausrakennuskohteesta ei ollut kannattavaa, sillä rakennemallista puuttui kaikki pinnat. Korjausrakentamisessa pintatyöt käsittävät noin 70% kaikista töistä. Aikataulun mukaisia pintatöitä, kuten matto- ja tasoitetöitä sekä pohja- ja pinta-maalausta ei voida linkittää tietomallin objekteille, jos niitä ei ole mallinnettu. Työpäällikön mukaan 4D-aikataulutuksen käyttö pintatöiden osalta edellyttää sitä, että ratkaistaan kuinka kyseiset työt mallinnetaan ja kuinka se tehdään niin, että mallista ei tule kohtuuttoman ”raskasta”. Esimerkkikohteen 1 tuotantoinsinööri huomauttaa, että pintarakenteiden mallintaminen mahdollistaisi myös huomattavasti tarkemman määrälaskennan.

Esimerkkikohteessa 2 haittapuolia tietomallin käytöstä ilmeni pääosin talotekniikkapuolella, kun jotkin asentajat käyttivät mallia orjallisesti ja toiset eivät juuri ollenkaan. Sähkösuunnitelmat eivät olleet mallissa tarkalla tasolla, joten sähköasentajat eivät sitä käyttäneet. Ongelmia syntyi, kun putkimiehet tekivät omat tarkoin mallinnetut asennuksensa orjallisesti mallin mukaan, jolloin sähköasentaja joutui siirtämään omia asennuksiaan.

Esimerkkikohteessa 2 elementtejä oli mallinnettu samoilla tunnuksilla. Tämän johdosta tietomallilla ei voitu esimerkiksi tehdä tarkkaa elementtistausta, koska mallissa oli samoja elementtejä moneen kertaan. Elementeillä on kaksi tunnusta, elementtitunnus, jonka mukaan elementti on valmistuksessa ja mallinumero. Mallista ei saatu elementin

elementtitunnusta, minkä takia mallia ei voitu käyttää elementtien tilaukseen. Esimerkkikohteen 2 hankintainsinöörin mukaan elementtitunnukset oli tehty alun perin väärällä tavalla. Jokaisella elementillä pitäisi olla hänen mukaansa yksilöllinen tunnus. Toinen syy, miksi mallia ei käytetty hyväksi elementtien tilauksessa oli, että elementtityönjohtaja ei suostunut opettelemaan mallin käyttöä. Taulukossa 5 esitetään Haastatteluissa ilmenneet tietomalliin liittyviä ongelmia esimerkkikohteissa 1 ja 2.

*Taulukko 5. Tietomalliin liittyvät ongelmat esimerkkikohteissa.*

<b>Esimerkkikohte 1</b>	<b>Esimerkkikohte 2</b>
Epätarkka rakennemalli	Tietomallien vaihteleva käyttö TATE- asentajien kesken
Talotekniikan puutteellinen mallinnus	Elementtitunnusten mallinnus puutteel- lista
IV-Konehuonesuunnittelun mallinnus myöhässä	Ennakkoluulot ja haluttomuus tietomalleja kohtaan
Puutteet detaljien mallinnuksessa	
Yhdistelmämallin ajantasaisuus	
Pintojen puuttuminen tietomallista	

### **Tietomallien käytön tehostaminen työmaalla**

Esimerkkikohteen 1 tuotantoinisinöörin mukaan tietomallien käyttö työmaalla vaatii henkilöstön koulutusta ja helppokäyttöisiä katseluohjelmistoja. Hän huomauttaa, että varsinkin leikkaustoiminnon käyttö pitäisi olla helppokäyttöistä ja sujuvaa. Esimerkkikohteen 2 hankintainsinööri painottaa, että ensin pitäisi saada vastaavat työnjohtajat ymmärtämään tietomallin luonne ja sisältö, sekä mihin kaikkeen sitä voi käyttää. Tietomallin käytön pitäisi olla myös helppoa. Hankintainsinööri lisää, että mallin käyttöä voitaisiin laajentaa käytännössä, kun mahdollisimman moni tutkisi ja sisäistäisi sen sisältävää tietoa. Tällöin varsinkin talotekniikan asennukset onnistuisivat huomattavasti sujuvammin ja tarvittavat varaukset tulisivat lisääntyneen keskustelun ansiosta tehtyä. Tällä hetkellä eri osapuolet eivät keskustele riittävästi keskenään, jotta talotekniikan asentaminen onnistuisi ongelmitta. Hankintainsinöörin mukaan mestareilla pitäisi olla omalla koneellaan mahdollisuus katsoa ja tarkastella mallia. Esimerkkikohteen 1 tuotantoinisinööri lisää, että työmaalla pitäisi olla tarvittavat työkalut myös mallien muokkaamiseen.

Esimerkkikohteen 1 tuotantoinisinöörin mukaan suurten tiedostojen lataaminen projekti-  
pankista työmaan tietokoneelle oli liian hidasta. Työmaan tietoliikenneyhteyksien kehitys on hänen mukaansa avainasemassa, jotta tietomalleja voidaan sujuvasti käyttää. Myös IT-tuki pitäisi saada sujuvammaksi. Esimerkiksi ohjelmien päivitys vaatii aina järjestelmäoikeudet, jotka ovat vain IT-tuella. Käytännössä ohjelmien päivittäminen vaatii aina vierailua IT-henkilön luona. Taulukossa 6 esitetään haastatteluissa ilmenneitä keinoja, joilla tietomallien käyttöä työmaalla voidaan tehostaa.

*Taulukko 6. Keinoja, joilla tietomallien käyttöä työmaalla voidaan tehostaa.*

Henkilöstön koulutus ja vähintään tutustuminen malleihin
Helppokäyttöisiä katseluohjelmistoja
Tietomallit kaikkien saatavilla
Nopeammat tietoliikenneyhteydet
Sujuvampi IT-tuki

Esimerkkikohteen 1 tuotantoinisinööri ja sisäpuolen vastaava mestari toivovat, että tulevaisuudessa aikataulua voisi tehdä tietomallin pohjalta 4D-aikatauluna, jolloin esimerkiksi elementtitehtäälle voitaisiin lähettää tiedot aikataulusta ja elementtien järjestyksestä. Myös esimerkkikohteen 2 hankintainsinööri toivoo, että elementtitilauksen teko suoraan mallista olisi mahdollista. Mallista voisi naputella suoraan elementtejä tilaukseen, kun tiedetään, kuinka paljon autoon mahtuu kuormaa. Tämä vähentäisi myös elementti-työnjohtajan urakkaa.

Esimerkkikohteen 2 hankintainsinööri näkee, että tietomallipohjaista aluesuunnitelmaa käyttäen voitaisiin laskea optimaalisia paikkoja jätepisteille ja varmistamaan niille esteetön kulku. Hän painottaa, että ”aluesuunnitelma pitäisi suunnitella eikä piirtää”. Myös työturvallisuuden suunnittelua voitaisiin hänen mukaan tietomallilla parantaa. Esimerkiksi turvakaidemäärää voisi laskea suoraan mallista.

Vaikeasti rakennettavien kohtien visualisointi on esimerkkikohteen 2 hankintainsinöörin mukaan myös yksi tärkeä mahdollinen tietomallin hyödyntämismahdollisuus. Hänen mukaansa detalji ja siihen liittyvät osat sekä niiden käyttö pitäisi ymmärtää kokonaisuudessaan ennen kuin sen rakentaa. Hankintainsinööri kertoo, että elementtien asennuksessa ilmenee usein ongelmia, kun pultti tai muu kiinnike asennetaan vain jonnekin suurin piirtein kuvan mukaan. Elementtien asennuksessa mallilla tehtävien visualisointien avulla voitaisiin ymmärtää paremmin detaljeihin liittyvä kokonaisuus ja rakentaa liitos siten, että elementti voidaan laskea kiinnitykseen ongelmitta. Esimerkkikohteen 1 sisäpuolen vastaava mestari lisää, että tietomalli tulisi mallintaa tarkasti detaljitasolla niin, että siitä voitaisiin suoraan tulostaa kuvia asentajien käyttöön.

Esimerkkikohteen 1 sisäpuolen vastaava mestari ja työpäällikkö toivovat, että mallin saisi näkymään tabletissa, jolloin sitä voisi tarkastella myös itse työmaalla. Työmaalla oli muutamia tabletteja käytössä, mutta tarkastelut niiden ilmaisilla mallinkatseluohjelmilla eivät esimerkkikohteen 1 työpäällikön mukaan tuoneet paljoa lisäarvoa. Tableteilla katsottiin pääosin vain Solibrilla tehtyjä raportteja, joissa oli kuva ja selitys jostakin ongelmasta.

Esimerkkikohteen 1 tuotantoinisinööri näkee, että tulevaisuudessa pilvipalvelu on ainut oikea paikka tietomallille. Myös sisäpuolen vastaava mestari huomauttaa, että tietomallit olisi hyvä saada jollekin pilvipohjaiselle palvelimelle, mistä ihan jokainen asentajakin pystyisi älypuhelimella tai tabletilla käydä katsomassa mallia ja suunnitella kuinka jokin kohta tehdään.

Esimerkkikohteessa 2 siirryttiin suuren paperimäärän takia 2D suunnitelmien digitaaliseen tarkasteluun. Suunnitelmia oli niin paljon, että niiden paperiversioiden selailu ja lajittelu olisi ollut ongelmallista. Esimerkkikohteen 2 hankintainsinööri huomauttaa, että 2D-piirustuksien digitaalisesta tarkastelusta ei ole enää pitkä matka kokonaisvaltaiseen

tietomallien käyttöön siirtymiseen. Taulukossa 7 esitetään haastatteluissa ilmenneet tietomallin hyödylliset käyttökohteet tuotantovaiheessa.

*Taulukko 7. Tietomallin hyödylliset käyttökohteet tuotantovaiheessa.*

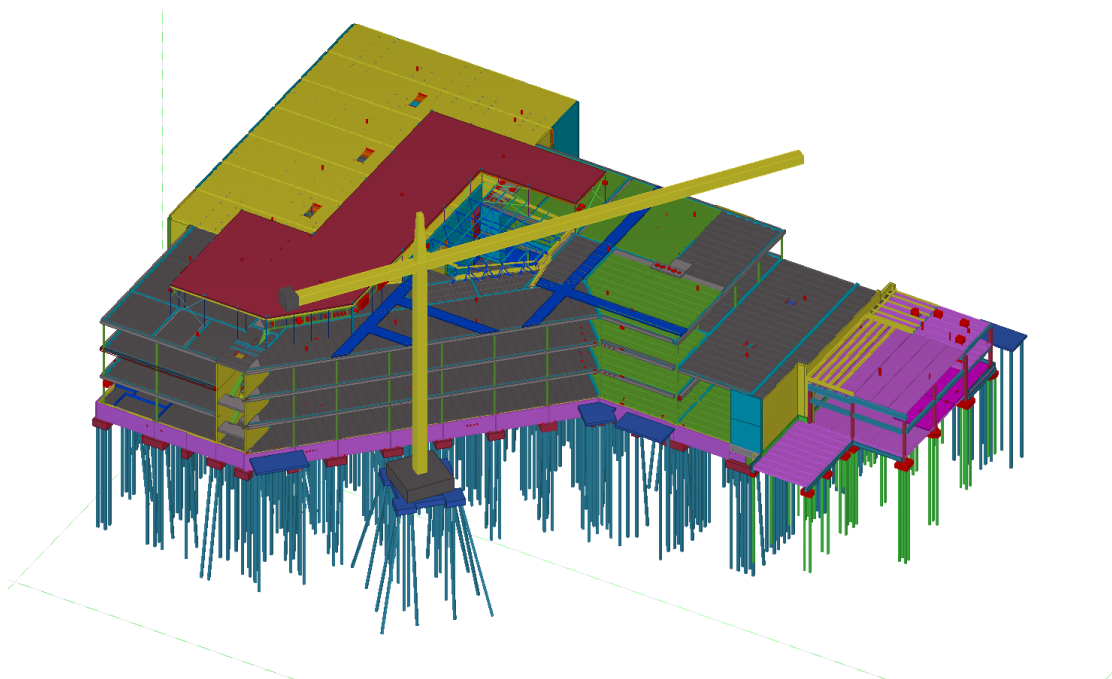
4D-aikataulu ja elementtien tilaus suoraan mallista
Aluesuunnitelma ja työturvallisuuden suunnittelu
Vaikeasti rakennettavien kohtien visualisointi
Tablettien hyödyntäminen mallien katselussa



## 8 Tietomallin käyttö esimerkkikohteessa 3

### 8.1 Kohde-esittely

Diplomityön toimintatutkimuksen kohteena toimi koulun laajennustyömaa Keravalla. Kohteen bruttopinta-ala on 7781 m<sup>2</sup>. Rakennus koostuu yhdestä kellarikerroksesta, kolmesta pääkäyttötarkoituksen mukaisesta kerroksesta ja katolla olevasta IV-konehuoneesta. Rakennus on perustettu paalujen varaan. Hankkeen urakkamuotona oli jaettu urakka. Kuvassa 6 esitetään kohteen rakennemalli. Kohteen rakenne-, talotekniikka-, ja arkkitehtimallit olivat valmiiksi saatavilla. Esimerkkikohteen 3 haastatellut henkilöt esitetään liitteessä 1.



Kuva 6. Esimerkkikohteen 3 rakennemalli.

Suurimmalle osalle työmaan henkilöstöstä tietomalli oli täysin uusi työkalu rakentamisessa. Vain vastaavalla mestarilla, työpäälliköllä ja tuotantoinsinöörillä oli aikaisempaa kokemusta tietomallintamisesta. Rakennemalliin oli mallinnettu paikallavalurakenteiden pelkkä geometria sekä esivalmistetut rakenteet raudoituksineen. Myös liitoksia oli periaatasolla mallinnettu. Rakennemalli oli jaettu eri vaiheisiin kerroksittain.

## 8.2 Haastattelujen analyysi

### 8.2.1 Teema 1: Rakennettavuus

#### **Rakennettavuus käsitteenä ja rakennettavuuden kannalta vaikeat kohdat**

Kaikkien haastateltavien mielestä rakennettavuus tarkoittaa yleisesti rakennusjärjestelmän toteuttamiskelpoisuutta. Esimerkkikohteen 3 työpäällikkö painottaa, että rakentaminen pitää olla mietitty niin, että se on toteutettavissa mahdollisimman järkevällä tavalla. Hän huomauttaa, että rakennettavuutta ei saa sekoittaa rakenteiden kanssa, jotka ovat vaikea rakentaa. Jokin kohdat voi olla vaikea tehdä, mutta kun niiden rakentamiseen vaativat ratkaisut ovat tarpeeksi harkittuja, ne ovat kuitenkin rakennettavissa. Esimerkkikohteen 3 tuotantoinsinööri lisää, että rakentaminen suunnitelmien tasolla on aina eri asia kun rakentaminen käytännössä.

Maarakennusvaihe oli esimerkkikohteen 3 vastaavan mestarin mukaan haastava, koska alueen pohjaolosuhteet olivat lähinnä liejua ja savea. Erityisesti kellarikerroksen väestönsuojan perustaminen saven sekaan oli ongelmallista. Esimerkkikohteen 3 tuotantoinsinööri kertoo, että paalutusvaiheen jälkeen alueelle jouduttiin lisäämään teräspaaluja korjaussuunnitelman mukaan, koska asennetut paalut olivat liikkuneet työkoneiden liikenteen seurauksena. Pohjan kaivuutöiden ohessa pohjalle asennettiin geoverkko ja suodatinkangas sekä niiden päälle murskepeti. Tuotantoinsinöörin mukaan tällä tavalla työkoneiden, kuten paalutus- ja kaivinkoneiden sekä rekkojen, uppoaminen savimaahan saatiin estettyä.

Esimerkkikohteen 3 liikuntasalin seinät toteutettiin korkeina, 12.6 metrisinä, paikallavaluseinä, jotka olivat vastaavan mestarin ja tuotantoinsinöörin mukaan haasteellisia rakennettavuuden kannalta. Tuotantoinsinöörin mukaan haasteellista oli saada ne tehtyä täysin suorina ja niin, että ne pysyvät pystyssä ennen jäykistävien kattopalkkien asennusta. Jäykistävät palkitkaan eivät ole helppoja asentaa. Yli 50 tonnia painavien, 2,6 metriä korkeiden ja yli 30 metriä pitkien palkkien asennus toi tuotantoinsinöörin mukaan paljon lisähaasteita. Vastaava mestari lisää myös, että yli 10 metriä korkeat paikallavaluseinät ovat nykypäivänä hyvin harvinaisia.

Kohteessa rakennettavuuden ongelmat liittyivät myös kohtiin, joissa suunnitelmat olivat puutteellisia. Esimerkkikohteen 3 työpäällikön mukaan kellarin seinän liitoksen työjärjestystä ei oltu suunniteltu riittävän hyvin. Liitoksessa oli rakennettavuutta vaikeuttavia rajoitteita, joten sen toteuttamista lykättiin myöhempään vaiheeseen. Työpäällikkö huomauttaa, että liitos olisi voitu suunnitella helpomminkin toteutettavalla tavalla.

Uuden laajennusosan ja vanhan rakennuksen liitoskohta oli myös rakennettavuuden kannalta hankala väliaikaisten teknisten järjestelmien, kuten sähköjen ja viemärintien, järjestelyjen osalta. Esimerkkikohteen 3 työpäällikön mukaan suunnittelussa ei oltu huomioitu liitoksen vanhalla puolella tehtävien rakennustöiden vaikutusta vanhan osan käytettävyyteen. Liitosalueen tekniset järjestelmät piti poistaa käytöstä työn ajaksi, mikä hankaloitti vanhan osan normaalia käyttöä.

Esimerkkikohteen 3 vastaavan mestarin mukaan rakennettavuuden kannalta haasteita toi myös paikallavalu- ja elementtirakenteista koostuva sekarakenteinen rakennusjärjestelmä, joka vaikeutti rakennusjärjestyksen ja aikataulun suunnittelua. Pelkistä elementeistä tai paikallavaluista koostuva rakennus on huomattavasti helpompi aikatauluttaa kun se-

karakenteinen rakennus. Taulukossa 8 esitetään haastatteluissa ilmenneet rakennettavuuden kannalta vaikeat asiat ja kohdat esimerkkikohteessa 3.

*Taulukko 8. Rakennettavuuden kannalta vaikeat asia ja kohdat esimerkkikohteessa 3.*

Maanrakennusvaihe
Korkeat liikuntasalin seinät
Massiiviset kattopalkit
Puutteellisesti suunniteltu liitoksen työjärjestys
Uuden laajennusosan liitos vanhaan rakennukseen
Paikallavalu- ja elementtirakenteista koostuva sekarakenteinen rakennusjärjestelmä

## 8.2.2 Teema 2: Tietomallinnus

### Tietomallin käytön organisointi työmaalla

Esimerkkikohteen 3 työpäällikkö näkee, että työmaatuotannolle tarvitaan tietomallintamisen suhteen oma kokonaisprosessikuvaus, jonka kautta määritellään eri prosessien suoritukseen vaikuttavat tekijät ja tietomallin hyödyntäminen niissä. Hänen mukaansa ”prosessi on kartta, jonka avulla voidaan puhua samasta asiasta”. Ensimmäiseksi määritellään jokin prosessi, kuten esimerkiksi hankinnat, jonka jälkeen prosessiin mennään syvemmälle ja määritetään mitä tehdään, kuka tekee ja kuinka tietomallia hyödynnetään. Kun prosessi on kuvattu, sitä testataan käytännössä. Työpäällikkö huomauttaa, että yksi sama kokonaisprosessi ei kuitenkaan toimi kaikilla työmailla. Erityyppisillä työmailla, missä on eri urakkamuoto, on myös erityyppinen kokonaisprosessi.

Työpäällikön mukaan yrityksessä pitäisi toimenkuvatasoisesti määritellä, mikä kenenkin osaaminen pitää olla eri projekteissa tietomallin käytön suhteen. Erikoisprojekteissa, joissa on vaatimuksena tietomallin käyttö, työskentelisi osaava ja koulutettu henkilökunta. Muissa kuin erikoisprojekteissa riittäisi, että henkilöstön osaamistasossa olisi jollakin määrin määritellyllä perustasolla. Työpäällikkö huomauttaa, että kysymykseksi nouseekin ”mille perustasolle henkilöstöä koulutetaan ja keitä koulutetaan korkeammalle tasolle?”. Esimerkkikohteen 3 työpäällikön ja tuotantoinsinöörin mielestä tietomallin käytön minimivaatimuksena jokaisen pitäisi osata käyttää jotain ohjelmistoa vähintään tietomallien katseluun. Esimerkkikohteen 3 vastaavan mestarin mielestä tietomallin katseluominaisuudet pitäisi olla vähintään työmaainsinöörin ja työpäällikön sekä vastaavan mestarin hallussa. Esimerkkikohteen 3 työpäällikkö huomauttaa, että tällä hetkellä erot osaamistasojen välillä ovat rajuja, kun osa henkilöstöstä ei osaa käyttää edes 2D piirustusohjelmia. Hänen mukaansa ongelmana koulutuksen suhteen on se, että jos asioita tehdään vain muutamia kertoja vuodessa, ne unohtuvat helposti. Työpäällikön mukaan henkilöstöä pitäisi valita tietomalliohjelmistojen koulutuksiin sen mukaan, ketkä tulisivat tarvitsemaan koulutettua ohjelmistoa työssään päivittäin.

Esimerkkikohteen 3 työpäällikkö näkee, että erityisosaajia, jotka hallitsevat esimerkiksi 4D-aikataulutuksen, 3D-aluesuunnitelman ja tietomallipohjaisen määrälaskennan tarvitaan vain rajattu määrä. Nämä erikoisosaajat voisivat muodostaa eräänlaiset BIM-osaston, jonka tarkoituksena olisi toimia erikoiskohteissa ja suurimmilla työmailla sekä auttaa muita työmaita tietomallinnusta koskevilla asioilla. Työpäällikkö huomauttaa, että työmaalla kiinni olevan henkilön aika ei välttämättä riitä esimerkiksi 4D-aikataulun tekoon. Tämän takia tietomallinnusta koskevia asioita varten olisi hyvä olla useaa työmaata palveleva osasto.

## Tietomallin käytön tehostaminen työmaalla

Esimerkkikohteen 3 työpäällikön mukaan tietomallia käytetään tuotantovaiheessa hyvin vähän. Itse työmaalla ei lainkaan. Työpäällikkö painottaa, että työmaahenkilökunnan koulutus tietomallien käyttöön on avainasemassa niiden käyttöönottoon. Ennen kun tietomallin käyttöä voidaan tehostaa, kaikkien on osattava käyttää sitä.

Esimerkkikohteen 3 vastaava mestari toivoi, että aikataulutiedon saisi sisällytettyä tietomallin objekteihin, jolloin sitä voisi seurata IFC-muodossa tietomallien katseluohjelmistoilla. Vastaava mestari ja tuotantoinsoööri toivovat myös, että tasojen pinnat saataisiin sisällytettyä tietomalliin. Tuotantoinsoöörin mukaan tietomallin käyttö työmaalla tehostuisi, jos aikataulutiedon lisäksi tietomalli sisältäisi tiedon rakennusosien toimitajista, hinnoista ja esimerkiksi kalusteiden malleista. Hän painottaa lean-periaatteen käyttöä, jossa rakennusosien toimitukset tehtäisiin mallipohjaisesti silloin kun niitä tarvitaan ja asennettaisiin heti paikoilleen.

Tableteilla voitaisiin esimerkkikohteen 3 tuotantoinsoöörin mukaan visualisoida työmiehille rakennettavia kohteita. Hän kertoo, että kun halutun lopputuloksen voi nähdä visuaalisesti ennen rakentamista, sen toteuttaminen on huomattavasti helpompaa. Tietomallista voitaisiin ottaa eri kohdista esimerkiksi Solibri Model Viewer -ohjelmistolla mittoja ja havainnekuvia, tehdä niistä valmiita esityksiä ja visualisoida esityksiä työmiehille paikanpäällä. Tällöin suunnitelmien havainnointi paikanpäällä ei vaatisi sitä, että paikalle kannetaan kädet täynnä piirustusmappeja ja tarkastellaan niitä. Myös aluesuunnitelman sisältämä tieto voisi tulla lähemmäksi urakoitsijoita ja toimijoita kentällä. Esimerkkikohteen 3 vastaava mestari huomauttaa, että tällä hetkellä työmaan aluesuunnitelman sisältämä tieto on pääosin vain vastaavilla mestarilla ja työmaainsinööreillä. Hän näkee, että aluesuunnitelmalla voisi olla enemmän käyttöä, jos se olisi havainnollisemmin kaikkien saatavilla esim. tablettien välityksellä. Taulukossa 9 esitetään esimerkkikohteen 3 haastatteluissa ilmenneet keinot, joilla tietomallin käyttöä voidaan tehostaa.

Taulukko 9. *Keinoja, joilla tietomallien käyttöä työmaalla voidaan tehostaa.*

Työmaahenkilökunnan koulutus
5D-tietomallit
Tietomalli kaikkien saatavilla

## Tietomallikoordinaattorin tehtävät

Esimerkkikohteen 3 työpäällikkö näkee, että tietomallikoordinaattorin tulisi olla projektin ulkopuolinen henkilö. Tällöin hän pystyisi esittämään mallissa olevia vikoja ja virheitä ulkopuolisena tekijänä, jolloin kukaan ei ottaisi mahdollista kritiikkiä henkilökohtaisesti. Tietomallikoordinaattorin vastualueeseen voisi työpäällikön mukaan kuulua risteilytarkastukset ja toiminta eräänlaisena ”virheiden löytämisen aktivoijana”. Esimerkkikohteen 3 tuotantoinsoööri näkee, että tärkeimpiä tietomallikoordinaattorin tehtäviä olisi suunnittelun ohjaus ja suunnitelmien ristiriitaisuuksien karsiminen. Työpäällikkö lisää, että tietomallikoordinaattorin tehtävänä olisi myös päivystää, että virheitä etsitään oikeaan aikaan, sillä esimerkiksi myöhässä tehdyt risteilytarkastukset voivat muuttaa suunnitelmia olennaisesti ja pahimmassa tapauksessa jopa aiheuttaa jo kertaalleen rakennettujen rakenteiden purkutöitä. Esimerkkikohteen vastaava mestari näkee, että tietomallikoordinaattori voisi olla BIM-tukihenkilö, joka toimii ohjelmistoista vastaavana tukena työmailla.

### 8.3 Tietomallin käyttöönotto

Toimintatutkimuksen alussa yksi suurimmista haasteista tietomallin käyttöönotossa esimerkkikohteessa 3 olivat työntekijöiden vanhat tottumukset. Kommunikoinnin apuvälineenä oli totuttu käyttämään työmaatilojen seinät täyttäviä 2D-piirustuksia. Kun tutkija kysyi toimintatutkimuksen alussa työmaahenkilöstöltä, mitä he haluaisivat tietomallista saatavan irti, yleisin toivomus oli visuaaliset paperitulosteet, joissa pv-seinät, deltapalkit tai liittopilarit olisivat korostettuina. Tämä on tietomallin käyttöönotossa yksi kehitysaskel, mutta pidemmällä tähtäimellä riittämätön. Ajatus, että tietomallista saadaan vain tulosteita työmaan käyttöön rajoittaa tietomallin todellisia mahdollisuuksia. Erilaisten simulointien ja visualisointien tehokas tarkastelu edellyttää tietomallin digitaalista tarkastelua. Samassa ajassa, kun tietomallista tulostetaan havainnollisia tulosteita, samat asian on katsottu tietokoneen näytöltä jo useaan kertaan läpi. Tulosteiden kanssa ongelmana oli myös, että esimerkkikohteen 3 työmaatulostin tulosti maksimissaan A3 paperikokoa, joka ei ole tarpeeksi suuri tehokkaaseen visuaaliseen tarkasteluun. Tulosteet oli tulostettava kohdeyrityksen toimistolla A1 kokoon ja vietävä ne sen jälkeen työmaalle. Tämä ei ollut kovin tehokasta toimintaa. Työmaalla oli kuitenkin käytössä tarvittava tietotekniikka; tehokas tietokone, suuri 27-tuumainen näyttö ja videoheitin. Suunnittelukokouksissa videoheitintä käytettiin vain 2D-piirustuksien katseluun, mutta pääasiassa vain sen takia, että tietomallia ei osannut katsella kukaan muu kuin tutkija.

Esimerkkikohteessa 3 ennakkoluulot tietomallia kohtaan eivät olleet ongelma. Tietomalli otettiin toimintatutkimuksen alussa innolla vastaan. Tietomallin tehokas käyttö työmaalla vaatii kuitenkin normaalin toimintatavan muutosta. Tietomalli pitäisi saada osaksi työntekijöiden normaalia kommunikointia. Sen sijaan, että työmaahenkilöstö käy tarkastelemassa seinillä olevia paperitulosteita, pitäisi avata tietomalli ja tarkastella sitä. Tämä vaatii kuitenkin työnjohdon perehdyttämistä ja koulutusta tietomallin käyttöön. Aluksi riittäisi, että työnjohtoa opastettaisiin käyttämään tietomallin katseluohjelmistoa, kuten esimerkiksi Solibri Model Viewer (SMV) -ohjelmistoa, jolla mallia voidaan pyörittää, tehdä siitä leikkauksia, tallentaa erilaisia näkymiä muistiin ja laatia esimerkiksi määräluettelo rakenneosista. Tutkimuksen edetessä esimerkkikohteen 3 vastaavalle mestarille opetettiin SMV:n alkeet. Tämän ansiosta vastaava mestari pystyi pyörittämään ja tarkastelemaan tietomalleja esimerkiksi urakoitsijapalaverissa.

Tietomallien käyttöönoton edellytyksenä on toimiva ja nopea tiedonsiirto. Esimerkkikohteessa 3 oli käytössä langaton 4G-yhteys. Pienien tiedostojen avaaminen ja katselu verkkolevyltä ei aiheuttanut ongelmia, mutta esimerkiksi arkkitehdin IFC-mallin avaamiseen meni yli 25 minuuttia. Jos mallia halutaan katsella, se on saatava auki nopeasti ilma suurempia viiveitä. Ratkaisuna ongelmaan IFC-tiedostot muunnettiin Solibri Model Checker -ohjelmistolla SMC-muotoisiksi tiedostoiksi ja ne siirrettiin työmaan tietokoneen fyysiselle kovalevyille. Muunto IFC-tiedostosta SMC-tiedostoksi pakkaa tietomallin pienentämällä sen kokoa yli 10-kertaisesti, jolloin sen siirto verkkolevyltä tapahtuu huomattavasti nopeammin. Toisena vaihtoehtona kokeiltiin myös pilvipalveluja, mutta niiden kautta tiedonsiirto oli yhtä hidasta kuin verkkolevyltäkin. Tämä johtui siitä, että työmaan langaton yhteys nousi rajoittavaksi tekijäksi tiedonsiirrossa.

Tietomallit oli päivitettävä esimerkkikohteen 3 työmaan tietokoneelle säännöllisin väliajoin. Päivitystä ei tarvinnut kuitenkaan tehdä usein, koska tietomallia ei työmaan käynnistymisen jälkeen juuri enää päivitetty muuten kuin tietomallikoordinaattorin toi-

mesta. Tietomallin päivitykseen vaikuttaa urakkamuoto ja tietomallin tarkkuustaso. Esimerkkikohteessa 3 suunnitelmien toteutuspiirustukset tuotettiin perinteisiä, 2D-piirustusohjelmia käyttäen ja mallia käytettiin hyväksi pääosin vain geometrian tuonnissa piirustusohjelmaan. Jos kohde olisi mallinnettu niin tarkasti, että työpiirustukset olisi tulostettu suoraan mallista, malli olisi päivittynyt paljon vielä työmaan aloituksen jälkeenkin. Taulukossa 10 esitetään toimintatutkimuksessa ilmenneet tietomallin käyttöönottoa parantaneet ja vaikeuttaneet asiat.

*Taulukko 10. Tietomallin käyttöönottoa parantaneet ja vaikeuttaneet asiat.*

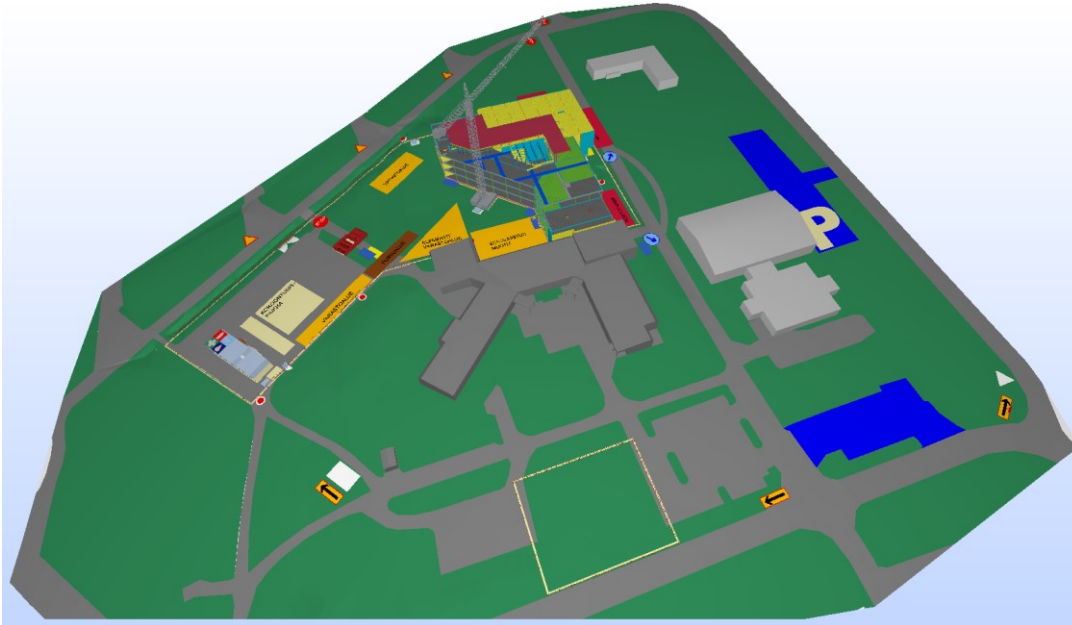
<b>Parantavat käyttöönottoa</b>	<b>Vaikeuttavat käyttöönottoa</b>
Asenne	Vanhat tottumukset ja toimintatavat
Halu oppia	Hitaat tietoliikenneyhteydet

## 8.4 3D-aluesuunnitelma

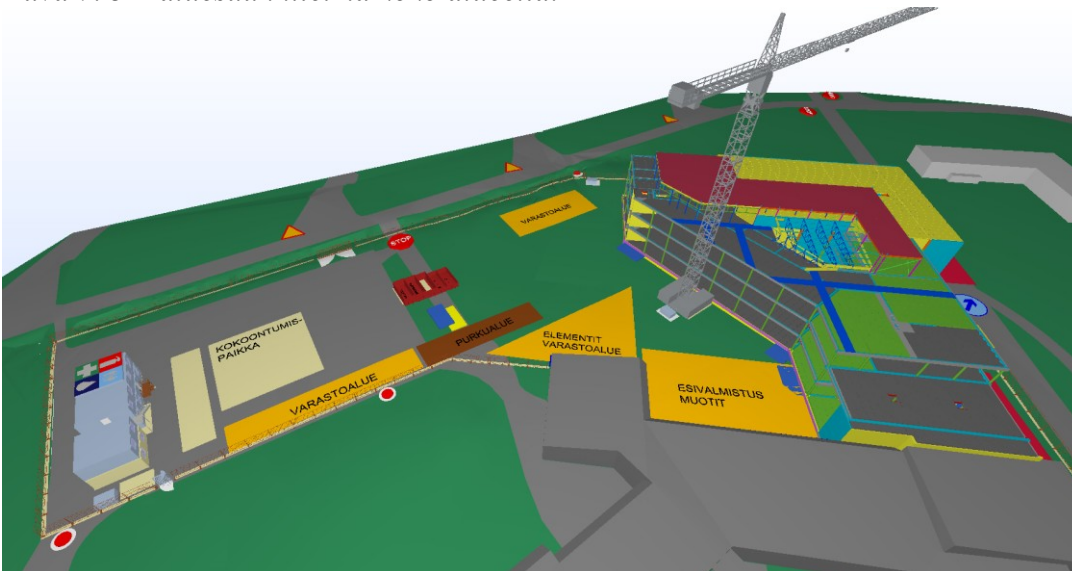
Toimintatutkimuksen alussa esimerkkikohteen 3 työmaan 3D-aluesuunnitelma oli tehty alustavasti SketchUp Pro -ohjelmistolla. SketchUp Pro on Trimble:n 3D-mallinnusohjelmisto, joka pohjautuu komponenttipohjaiseen mallintamiseen. Ohjelmisto on tarkoitettu pääasiassa nopeaan luonnossuunnitteluun. Komponentit ovat rinnastettavissa tietomallien objekteihin, mutta ne sisältävät vain rajallisen määrän tietoa.

Tutkimuksessa tutkija siirsi SketchUp -ohjelmistolla tehdyn 3D-aluesuunnitelma IFC-muotoiseksi, jotta sitä voi tarkastella tietomallien katseluohjelmistoilla ja yhdistelmämalleissa. 3D-aluesuunnitelman siirrossa kohdattiin useita ongelmia. Aluesuunnitelman muunto IFC-tiedostoksi hävitti komponenttien tietoja, kuten esimerkiksi värejä. Alustava 3D-aluesuunnitelma näytti katseluohjelmistoilla kauttaaltaan harmaan väriseltä, jolloin siitä ei ollut visuaalisesti hyötyä.

Tiedon häviäminen IFC-muunnon yhteydessä estettiin määrittelemällä SketchUp -ohjelmistossa jokaiselle komponentille erikseen pelkistetty (simplified) IFC-tunnusosa. Tällöin tietomallien katseluohjelmistot ymmärsivät 3D-aluesuunnitelman komponentit älykkäinä objekteina Yksinkertaistetut IFC-tunnukset sisältävät perusrakenneosat, kuten palkit, laatat, anturat, pilarit, paalut jne. Jos komponentille ei anneta yksinkertaistettua IFC-tunnusta, ne määrittyvät ”IFCBuildingElementProxy” – objekteiksi. Tällöin vain niiden geometria välittyi IFC-malliin. Ennen kuin komponenteille määriteltiin IFC-tunnus, ne oli eriteltävä omiksi ryhmikseen. Jos esimerkiksi kärkikolmio-liikennemerkki halutaan näkymään oikein väritettynä IFC-mallissa, sen eriväriset osiot on määriteltävä omiksi ryhmikseen, jonka jälkeen jokaisesta ryhmästä tehdään oma komponentti. Tällöin, kun komponenteille annetaan IFC-tunnus, tietomalliohjelmisto ymmärtää merkin eri osat ja näyttää ne omina väreinään. Kuvissa 7 ja 8 esitetään lopullinen 3D-aluesuunnitelma yhdistelmämallissa. Kuvissa näkyy myös rakennemalli.



Kuva 7. 3D-aluesuunnitelma koko alueelta.



Kuvat 8. 3D-aluesuunnitelma lähennettynä työmaa-alueeseen.

3D-aluesuunnitelma esitettiin työmaalle heti tutkimuksen alussa. Ongelmana oli, että työmaa oli ehtinyt jo käynnistyä, joten 3D-aluesuunnitelmasta ei ehditty saamaan kaikkea mahdollista hyötyä irti. Esimerkkikohteen 3 työpäällikön mukaan 3D-aluesuunnitelma tulisi olla tehty jo tarjouslaskentavaiheessa. Tällöin aluesuunnitelmasta voitaisiin laskea esimerkiksi tarvittavien aitojen juoksumetrit ja hinnat.

Työmaahenkilöstö näki 3D-aluesuunnitelman hyödyllisenä apuvälineenä tilankäytön, työmaatilojen sijoittelun ja aitojen suunnittelussa. Esimerkkikohteen 3 työpäällikkö näki, että 3D-aluesuunnitelma antoi paremman käsityksen työmaan todellisesta tilasta. Hänen mukaan olennaisinta aluesuunnitelman teossa on se, että se oikeasti suunnitellaan, eikä vain piirretä. Kun aluesuunnitelmassa huomioidaan esimerkiksi kuorma-autojen kääntyvyysäteet vaatimat tilantarpeet, siitä saadaan käytännön tasolla hyvinkin toimiva. 3D-aluesuunnitelman kolmannen ulottuvuuden avulla voitiin tarkastella esimerkiksi nosturien korkeuksia.

Esimerkkikohteen 3 työpäällikkö huomautti, että varsinkin ahtailla työmailla, joissa on paljon rajoitteita, 3D-aluesuunnitelman 3. ulottuvuudesta olisi merkittävää hyötyä. Tuotantoinsinööri lisäsi, että aluesuunnitelman hyödyllisyys riippuu alueesta. Esimerkiksi kaupungin keskustan korjausrakentamiskohteessa logistiikan ja elementtien nostojen suunnittelu nousee hyvinkin tärkeäksi tekijäksi. Esimerkkikohteen 3 työmaalla oli hyvin paljon vapaata tilaa ja liikenne oli vähäistä, mikä aiheutti sen, että 3D-aluesuunnitelman käyttö oli melko vähäistä. Kun työmaalla ei ole toimintaa rajaavia rajoitteita, ei ole suurta tarvetta myöskään työmaan käytön suunnitteluun ja hallintaan. Tuotantoinsinöörin mukaan aluesuunnitelma voi auttaa myös lupien hakemista rakennusvalvonnasta. Kun aitojen, huomiokylttien ja torninosturien sijoittelut sekä kiertotiesuunnitelmat voidaan visuaalisesti esittää, työmaan järjestelyt on helpompi ymmärtää ja hyväksyä. Taulukossa 11 esitetään toimintatutkimuksessa ilmenneet 3D-aluesuunnitelman hyödyt ja haitat/ongelmat.

*Taulukko 11. 3D-aluesuunnitelman hyödyt ja haitat/ongelmat.*

<b>Hyödyt</b>	<b>Haitat/ongelmat</b>
Hyödyllinen apuväline tilankäytön, työmaatilojen sijoittelun ja aitojen suunnittelussa	3D-aluesuunnitelman siirto IFC-tiedostoksi
Antaa paremman käsityksen työmaan todellisesta tilasta	Myöhäinen käyttöönotto esimerkkikohteessa
Kääntyvyysäiteiden huomiointi suunnittelussa	
Tehostaa logistiikkaa ja elementtien nostojen suunnittelua	
Auttaa lupien hakemista rakennusvalvonnasta	

## 8.5 Runkorakenteiden 4D-aikataulu

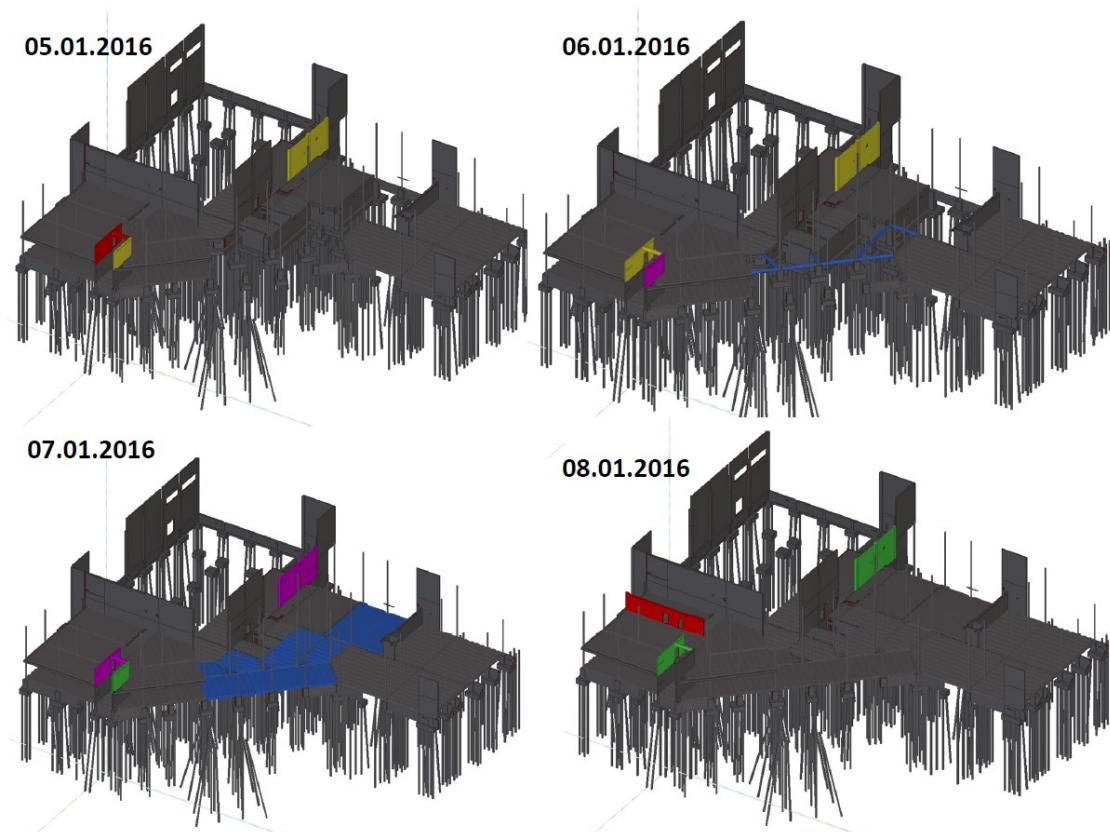
Toimintatutkimuksessa tutkija teki esimerkkikohteeseen 3 4D-aikataulun Tekla Structures -ohjelmistolla. Aikataulun tekoa varten Tekla Structures sisältää Task Manager -työkalun. Task Manager -työkalulla voi tehdä aikataulutehtäviä ja antaa niille aloitusaika, kesto ja loppumisaika. Tehtävän kesto voidaan määrittellä resurssimuotoisesti tai tehtävän aloitus- ja lopetuspäivän mukaan. Resurssimuotoisessa aikataulutuksessa tehtävälle määritetään tehtävätyyppi, joka määrittelee tehtävän luonteen. Tehtävätyyppi sisältää menekkipohjaisen keston tehtävälle jonkin parametrin mukaan. Esimerkiksi tehtävä ”anturan muotitus” määrittelee kuinka monta neliötä yksi työmies ehtii yhden päivän aikana muotittaa. Tehtävätyyppiä voi määrittellä manuaalisesti tai valitsemalla jokin sopiva Task Manager -työkalun valmiiksi sisältämistä tyypeistä. Task Manager sisältää valmiiksi kaikki tavallisimmin tarvittavat tehtävätyypit anturoiden muotituksesta, palkkien raudoitukseen ja teräspilarien asentamiseen. Task Manager -työkaluun voi myös tuoda projektin aikataulun xml-muotoisena, jolloin sitä voidaan käyttää pohjana 4D-aikataulun laadintaan. Tällöin tehtävien nimet ja tyypit ovat valmiina ja ne täytyy vain liittää mallinnusobjekteihin.



Tutkimuksessa oli tehtävänä siirtää esimerkkikohteen 3 runkoaikataulu Task Manager –työkaluun. Esimerkkikohteen 3 runkoaikataulu oli tehty xml-tallennusmuotoa tukevalla PlaNet+ 6.4 -ohjelmalla. Runkoaikataulun siirto olisi teoriassa ollut mahdollista, mutta selvittämättömien ongelmien takia Task Manager ei tunnistanut sitä. Koska aikataulun siirto xml-muodossa ei onnistunut, aikataulutehtävät lisättiin manuaalisesti aloitus- ja lopetuspäivämäärän mukaan esimerkkikohteen runkoaikataulun mukaisesti Task Manager -työkaluun. Lisäksi tehtävät jaoteltiin manuaalisesti osiin määriteltyjen tehtävätyyppien mukaan. Tehtävätyyppien määrittely esitetään liitteessä 3. Esimerkkikohteen runkoaikataulu ei sisältänyt esimerkiksi paikallavaluseinien aikataulutusta tehtävätyyppien tarkkuudella, joten tehtävätyyppien aikataulutus tehtiin omakohtaisen kokemuksen sekä työmaalta saatujen neuvojen mukaisesti. Tehtävätyyppien aikataulutus tehtiin päivä-tarkkuudella, jolloin esimerkiksi kolme päivää kestävä ontelolaattojen asennus jaettiin päivittäin eteneviksi osatehtäviksi.

Runkoaikataulun laadinnan jälkeen sen etenemistä voitiin simuloida Project Status Visualization –työkalulla. Visualisointia varten Tekla Structures –ohjelmiston Object Representation -valikosta määriteltiin objektiryhmiä ajan funktiona ja annettiin niille halutut näkymäasetukset. Tehtyjen näkymäasetuksien määrittely esitetään liitteessä 3.

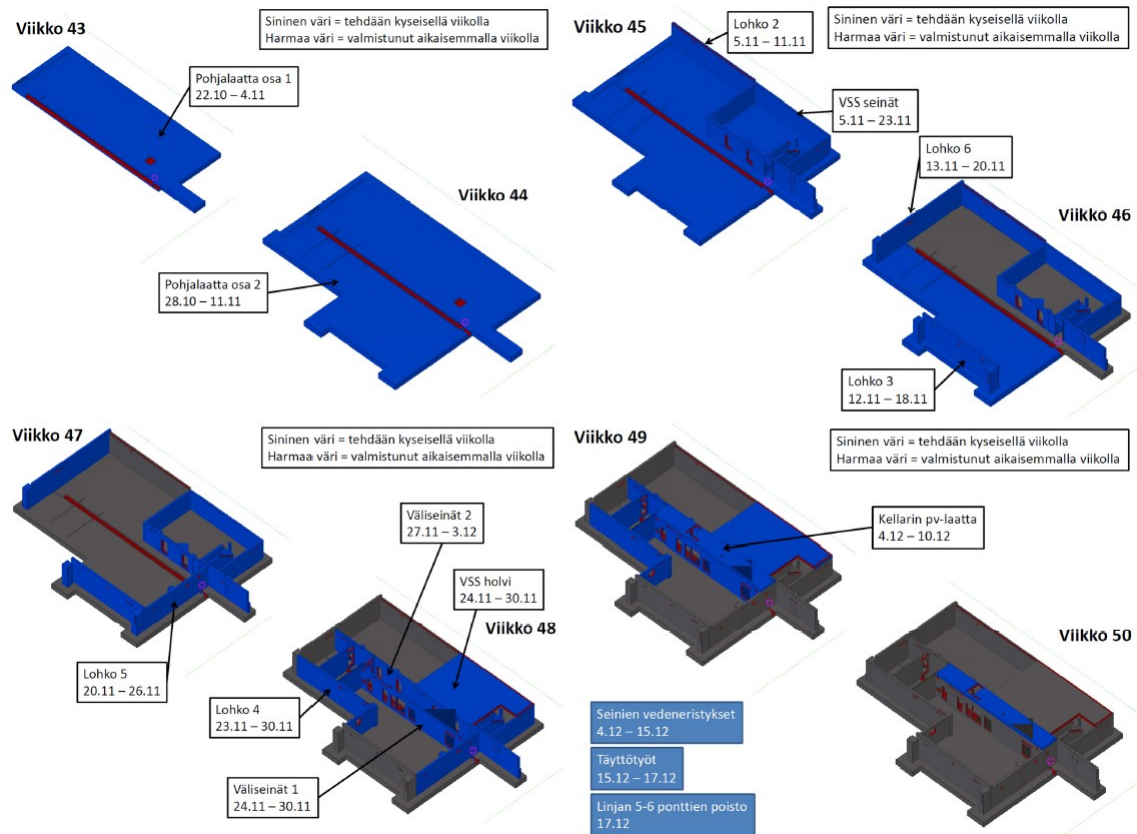
Näkymäasetuksien määrittelyn jälkeen 4D-aikataulua visualisoitiin työmaahenkilöstölle päivätarkkuudella halutun päivän mukaan. Päiväkohtaista aikataulua käytettiin työmaalla runkoaikataulun suunnittelun apuvälineenä. Sen avulla päivitettiin ja täydennettiin työmaalla tehtyä runkoaikataulua vastaavan mestarin avustuksella. Kuvassa 9 esitetään päiväkohtainen 4D-runkoaikataulu tammikuun 5. – 8. päivä. Ongelmana aikataulun simuloinnissa Project Status Visualization –työkalulla oli, että päiväkohtainen eteneminen oli ”klikkailtava” hiirellä eteenpäin päivä päivältä. Project Status Visualization -työkalussa ei ole toimintoa, joka simuloisi automaattisesti tietyn ajanjakson läpi.



Kuva 9. Päiväkohtainen 4D-runkoaikataulu. Punainen väri = muotitus, keltainen väri = raudoitus, violetti väri = tuplausmuotitus, vihreä väri = valu, sininen väri = elementin asennus ja harmaa väri = valmistunut työvaihe.

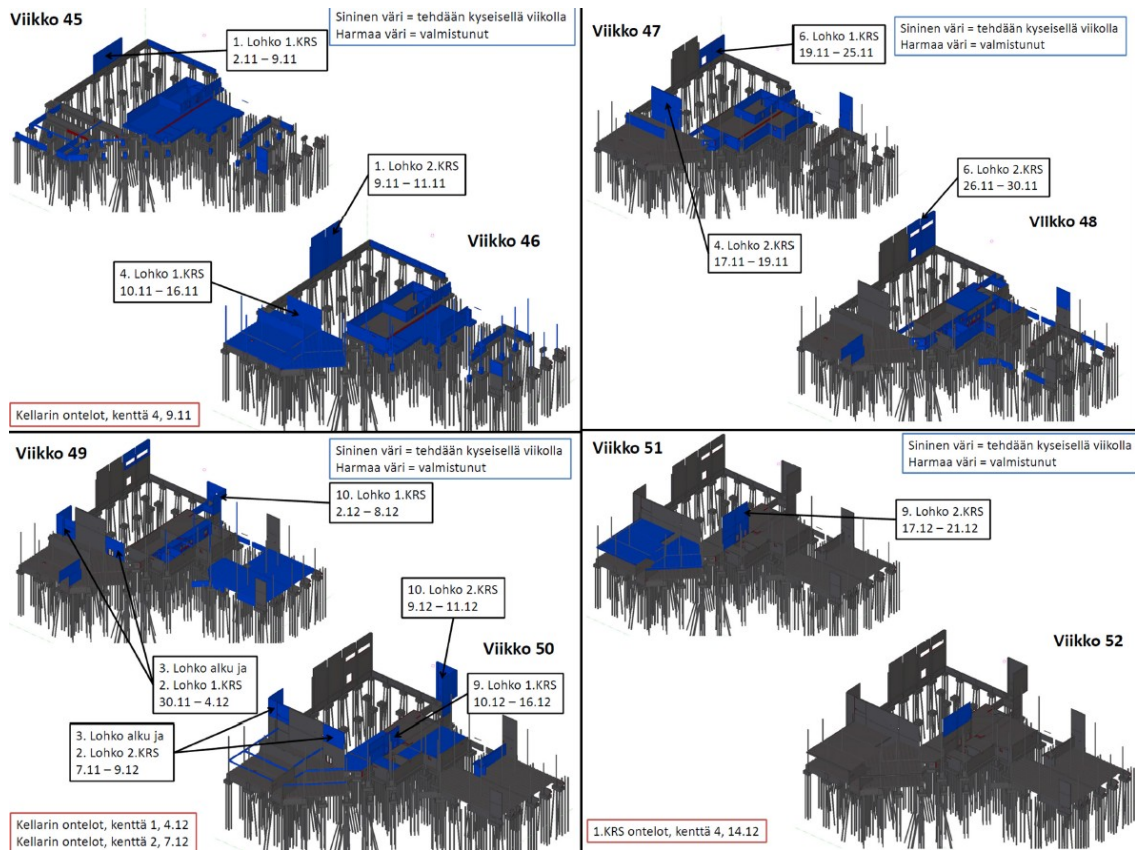
Työmaan toivomuksesta 4D-runkoaikataulua havainnollistettiin viikkokohtaisten mallinäkyillä. Viikkokohtaisessa aikataulussa esitettiin kaikki tietyn viikon aikana tehtävät työt. Viikkokohtaisen aikataulun visualisointia varten oli kuitenkin tehtävä erilaiset näkymäasetukset ja objektiryhmien määrittelyt. Tehdyt viikkokohtaisten näkymäasetusten määrittelyt esitetään liitteessä 3.

4D-aikataulun pohjalta tietomallista tulostettiin mallinäkyä työmaalle, joissa esitettiin tehtävät, mitä minäkin viikkona oli aikataulun mukaan tarkoitus tehdä. Viikkokohtaisissa mallinäkyissä aikataulutehtävien jako tehtävätyyppien tasolla ei ollut kannattavaa, sillä viikon aikana esimerkiksi seinän muotittaminen voidaan saada valmiiksi ja aloittaa jo seuraava työvaihe, jolloin tehtävätyyppikohtaiset värikoodit menisivät sekaisin. Kuvassa 10 esitetään ensimmäinen työmaalle tulostettu mallinäky kellarikerroksen viikkokohtaisesta 4D-aikataulusta.



Kuva 10. Viikkokohtainen 4D-aikataulu kellarikerroksesta.

4D-aikataulua kehitettiin työmaalta saadun palautteen mukaisesti. Palautteen mukaan ympäröivät rakenteet voisivat myös näkyä mallinäkymissä. Tällöin voidaan huomioida ympäröivien rakenteiden vaikutukset tietyn osakohdan työsuorituksiin sekä tarkastella liitoskohtia niihin. Seuraavassa 4D-aikataulussa tulostettiin mallinäkyvät koko rakennuksen osalta. Tulosteissa kuitenkin painotettiin liikuntasalin seinien rakennusvaiheita ja ontelolaattojen asennuksia, koska ne olivat runkoaikataulun suhteen kriittisiä työvaiheita. Kuvassa 11 esitetään koko rakennuksen viikkokohtainen 4D-aikataulu viikoilla 45–52. Vaikka kaikkien aikataulutehtävien tarkkaa ajankohtaa ei esitetty mallinäkymissä, niiden vaikutukset ja riippuvuudet painotettiin työvaiheisiin olivat kuitenkin selkeästi nähtävissä. Mallinäkyvät tulostettiin 4D-runkoaikataulusta koko runkorakennusvaiheen osalta. Näin tulevia työvaiheita voitiin tarkastella ja suunnitella aina kuukausia eteenpäin. Tulevia työvaiheita ei tarvinnut merkitä mallinäkyymään, koska ne näkyivät aina seuraavan viikon mallinäkyymässä.



Kuva 11. Viikkokohtainen 4D-runkoaikataulu. sininen väri = viikolla tehtävä työ, harmaa väri = valmistunut työvaihe.

Eniten hyötyä 4D-aikataulutuksesta saa irti, kun sitä tarkastelee suoraan tietomallista Tekla Structures -ohjelmistolla. Tällöin esimerkiksi muutosten teko ja erilaiset vaihtoehtojen aikataulujen vertaileminen on mahdollista. Esimerkkikohteen 3 työmaa ei kuitenkaan ottanut Tekla Structures -ohjelmistoa käyttöön, koska heillä ei ollut sen käyttöön tarvittavaa osaamista. Aikataulun 4D-simulointi suoraan tietomallista olisi aina tarvinnut tutkijan läsnäoloa, mikä ei olisi ollut käytännöllistä eikä mahdollista.

4D-Aikataulun tekeminen edellyttää, että rakenteet on mallinnettu rakennemallissa työsaumojen mukaan. Esimerkkikohteen rakennemallissa ei näin ollut. Liittopilarit, seinät ja osa anturoista oli pilkottava työsaumoittain omiin lohkoihinsa. Tämä työ olisi voitu estää tarkemmalla mallintamisen ohjeistamisella.

Tekla Structures sisältää myös rakenteiden lajitteluun tarkoitetun Model Organizer -työkalun. Ohjelmalla voidaan lajitella rakennuksen rakenteet lohkoittain, kerroksittain ja rakennusosittain tekemällä erilaisia suodattimia. Tällöin voidaan tarkastella vain tiettyjä rakennuksen rakenteita halutun sijainnin mukaan. Esimerkiksi asettamalla liittopilarit ja toisen kerroksen suodattimet aktiivisiksi, voidaan tarkastella vain kyseisiä liittopilareita kyseisessä kerroksessa. Rakenteiden suodattaminen helpotti 4D-aikataulun tekoa.

Tutkimuksessa 4D-aikataulutusta kokeiltiin myös Tekla Structures -ohjelmiston Construction Sequencer -lisäosalla. Lisäosa on tarkoitettu asennusjärjestyksen suunnitteluun. Lisäosalla rakenteita voidaan asettaa haluttuun järjestykseen niiden suunnitellun asennusjärjestyksen mukaan. Tämä on hyödyllinen työkalu esimerkiksi elementtien asennus-

järjestyksen suunnittelussa. Kun halutut rakenteet on asetettu järjestykseen niiden asennusjärjestyksen mukaan, ohjelmalla voidaan simuloida asennusjärjestys halutulla nopeudella. Lisäosalla voidaan suunnitella etukäteen tarkka ja toimiva elementtien asennusjärjestys, jolloin eliminoidaan mahdollisia ongelmia ja väärinkäsityksiä asennusvaiheessa.

Tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, että lisäosa ei sovellu hyvin kuitenkaan paikallavalurakenteiden simulointiin ja näin ollen lisäosaa ei käytetty 4D-aikataulun tekemisessä. Lisäosa ei sovellu paikallavalurakenteiden simulointiin kahdesta syystä:

1. Lisäosa ei huomioi työvaiheiden päällekkäisyyksiä.
2. Lisäosalla ei voi tarkastella muotitus-, raudoitus ja valuajankohtia.

Ensimmäinen ongelma on useat työvaiheet. Paikallavalurakenteiden rakentamisessa on useita eri työvaiheita, kuten muotitus, raudoitus ja valu. Kutakin työvaihetta tekee omat ryhmänsä. Esimerkiksi paikallavalulaatan rakentamisessa aluksi muotitusryhmä laudoittaa laatalle muotin, minkä jälkeen raudoitusryhmä asentaa raudoitukset ja valuryhmä valaa laatan. Kun tietty työvaihe on jonkin rakenteen osalta saatu valmis, sitä tehnyt ryhmä siirtyy tekemään samaa työvaihetta seuraavaan rakenteeseen. Tällöin eri paikallavalurakenteiden työvaiheet limittyvät toistensa kanssa, mikä tarkoittaa sitä, että paikallavalurakenteita on samaan aikaan useita työn alla. Paikallavalurakenteiden asettaminen järjestykseen asennusjärjestyksen perusteella ei näin ollen ole suositeltavaa, sillä asennusjärjestys antaa käsityksen, että vasta tietyn rakenteen valmistuttua, siirrytään tekemään toista rakennetta. Toiseksi paikallavalurakenteiden teossa on olennaista muotitus- ja raudoitus- ja valuajankohdat. Näiden tärkeiden ajankohtien ajoittamisen ei onnistu Construction Sequencer –työkalulla.

Tutkimuksessa 4D-aikataululla voitiin ohjata ja valvoa tehokkaammin rakennustöiden edistymistä työmaalla, mikä edesauttoi aikataulussa pysymistä. Esimerkkikohteen 3 työpäällikön mukaan 4D-aikataulun mallinäkyvät konkretisoivat paremmin, mitä viikossa on saatava aikaiseksi. Hän painottaa, että ne ovat huomattavasti parempia kuin perinteiset jana-aikataulut työmaatoimiston seinillä. Mallista otetuilla mallinäkymillä voitiin selkeästi näyttää työmiehille mitä tehtäviä milläkin viikolla tehdään ja missä kohteet sijaitsevat. Mallinäkymiä käytettiin hyväksi esimerkiksi laudoitusurakoitsijan kanssa käydyissä palavereissa, joissa niiden avulla käytiin läpi tulevia työvaiheita ja niiden ajankohtia. Tämä eliminoi väärinkäsityksiä ja auttoi työmiehiä ymmärtämään paremmin rakennettava kokonaisuus. Työpäällikkö huomauttaa, että kuvat näyttävät selkeämmin työjärjestyksen ja niiden avulla voi löytää helpommin mahdollisia ajatusvirheitä. Mallinäkymistä näkee myös kuinka rakenteet liittyvät muihin rakenteisiin. Esimerkkikohteen 3 tuotantoinsinööri huomauttaa, että esimerkiksi seinälohko on paperilla vain kaksi viivaa. Tietomallipohjaisilla visualisoinneilla nähdään seinälohkon geometria, sijainti ja ympäröivät rakenteet sekä saadaan ymmärrys siitä, miltä sen pitäisi näyttää valmiina. Esimerkkikohteen 3 vastaava mestari lisää, että 4D-aikataulusta oli myös hankintojen puolella hyötyä. Tarvittavat osat olivat visuaalisesta nähtävissä ja näin ne oli helppo jakaa tilauksiksi. Taulukossa 12 esitetään toimintatutkimuksessa ilmenneet 4D-aikataulun hyödyt ja haitat/ongelmat.

Taulukko 12. 4D-aikataulun hyödyt ja haitat/ongelmat.

Hyödyt	Haitat/ongelmat
Mahdollistaa tehokkaamman rakennustöiden edistymisen ohjauksen ja valvonnan työmaalla	Aikataulun siirto Task Manager – työkaluun ei onnistunut
Viikkoaikataulu konkretisoi paremmin mitä viikossa on saatava aikaiseksi.	Rakennemallia ei oltu mallinnettu työsaumojen mukaan, mikä vaikeutti 4D-aikataulun tekoa
Eliminoidi väärinkäsityksiä ja auttaa työntekijöitä ymmärtämään paremmin rakennettava kokonaisuus	Construction Sequencer –lisäosa ei sovelly 4D-aikataulutukseen
Optimoi rakennusjärjestystä ja aikataulua	
Sen avulla voidaan löytää mahdollisia ajatusvirheitä.	
Visualisoi kuinka rakenteet liittyvät muihin rakenteisiin	
Helpottaa rakenneosien jakoa tilauksiksi ja tilauksien tekoa oikeaan aikaan	

## 8.6 Työnaikaiset tuet, väliaikaiset rakenteet ja rakennuksen vaippa

Esimerkkikohteen 3 haastattelussa esiintyneiden kehitysehdotusten pohjalta tutkija täydensi rakennuksen 4D-aikataulua väliaikaisten tukien ja –rakenteiden, julkisivuelementtien sekä vesikattotöiden osalta. Väliaikaiset rakenteet käsittivät korkeiden paikallaväliseinien työnaikaiset tuennat, putoamissuojaukset ja suojaseinät.

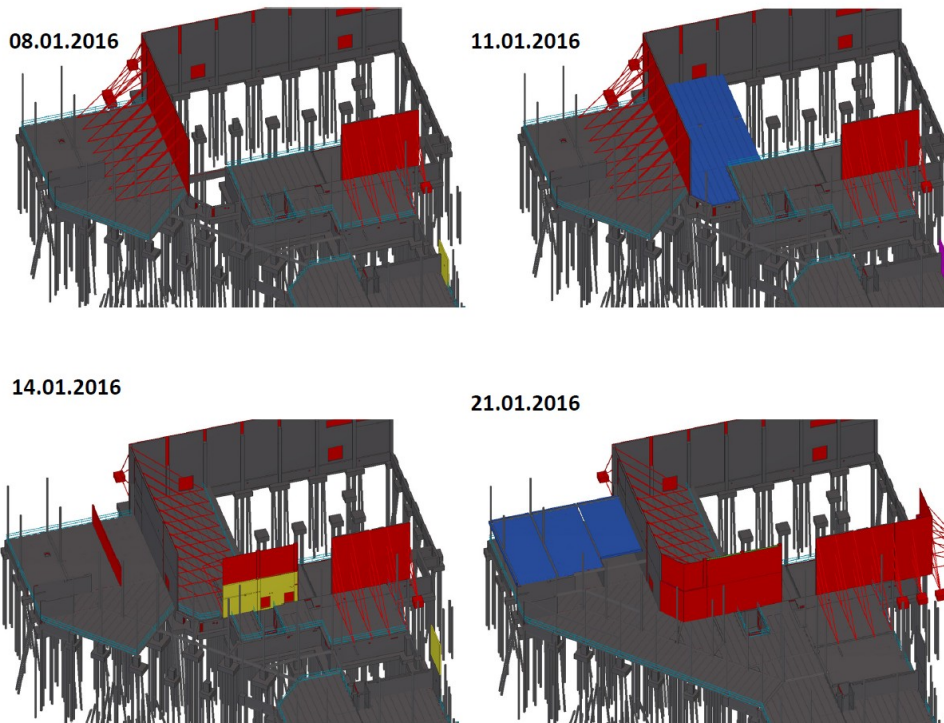
Esimerkkikohteen 3 rakennemalli ei sisältänyt rakennuksen vaipan muodostavia julkisivuelementtejä eikä vesikattorakenteita. Niiden mallintamista ei tavallisesti edellytetäkään rakennesuunnittelijalta. Rakennuksen vaipan mallintaminen kuuluu tavallisesti arkkitehdin työhön. Julkisivuelementtien asennuksen ja vesikattotöiden 4D-aikataulutus vaatii kyseisten rakenneosien mallintamista rakennemalliin. Julkisivuelementit mallinnettiin arkkitehtimallin pohjalta seinäelementteinä. Tarkkaa elementtijakoa ei ollut tiedossa, joten elementit mallinnettiin pilarivälien mukaan. Vesikattotöiden visualisointia varten katolle mallinnettiin vesikattorakennetta kuvaavat pintarakenteet laattatyökälulla.

Esimerkkikohteen 3 arkkitehtimalli sisälsi julkisivuelementit ja vesikattorakenteet, mutta niiden linkittäminen Task Manager -työkaluun ei ole mahdollista Tekla Structures 21.0 –versiolla. Task Manager mahdollisti vain objektien ja –kokoonpanojen lisäämisen aikatauluun. Arkkitehtimalli on tuotava Tekla Structures – ohjelmistoon IFC-muotoisena referenssitiedostona, jolloin referenssitiedoston sisältämiä komponentteja ei voi viedä Task Manager - työkaluun. Uuden Tekla Structures 21.1 –versiopäivityksen jälkeen myös komponentteja voi viedä Task Manager –työkaluun. Päivitys tuli kuitenkin asennettavaksi vasta tutkimuksen loppupuolella, joten sen tuomia ominaisuuksia ei voitu tutkimuksessa hyödyntää.

Väliaikaiset rakenteet mallinnettiin tietomalliin erilliselle vaiheelle (phase), jolloin ne oli mahdollista piilottaa tarpeen tullen näkyvistä. Väliaikaiset rakenteet törmäilevät usein muiden rakenteiden kanssa, mikä saa tietomallin näyttämään virheelliseltä. Tämän

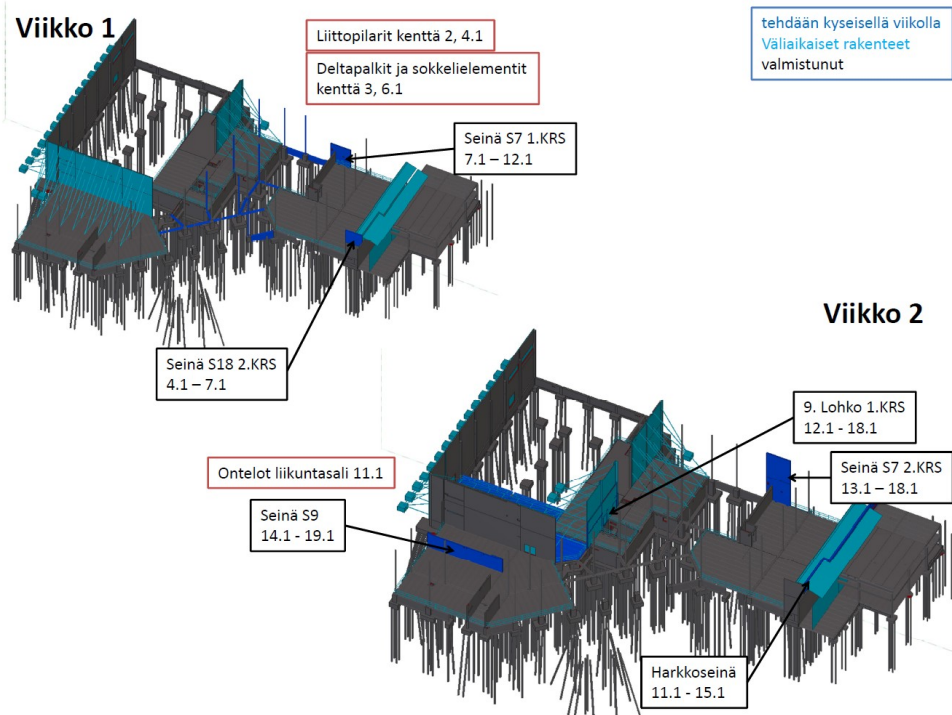
takia ne on tärkeää erotella erikseen omalle vaiheelle, jotta ne eivät sekoitu pysyvien rakenteiden kanssa.

Kuvassa 12 esitetään väliaikaisten rakenteiden visualisointi päiväkohtaisessa näkymässä. Paikallavaluseiniin työnaikaiset tuennat vaativat suuren tilantarpeen, jota visualisoinneilla pyrittiin havainnollistamaan. Kuvassa esitetään liikuntasalin vasemmanpuolisten rakenteiden riippuvuus liikuntasalin seinien tuennoista. Liikuntasalin vasemmanpuolista seinää ja sen myötä seuraavia kerroksia ei päästä tekemään ennen kun liikuntasalin seinien tuennat siirretään liikuntasalin sisäpuolelle. Kuvassa visualisoidaan myös putoamissuojauksen toteutusta. Pohjakerroksen ontelolaattakentät tehdään eri vaiheissa, jolloin jokainen kenttä on ympäröitävä erikseen suoja-aidoilla. Vasta kun kaikki kentät on asennettu, voidaan ylimääräiset suoja-aidat poistaa.



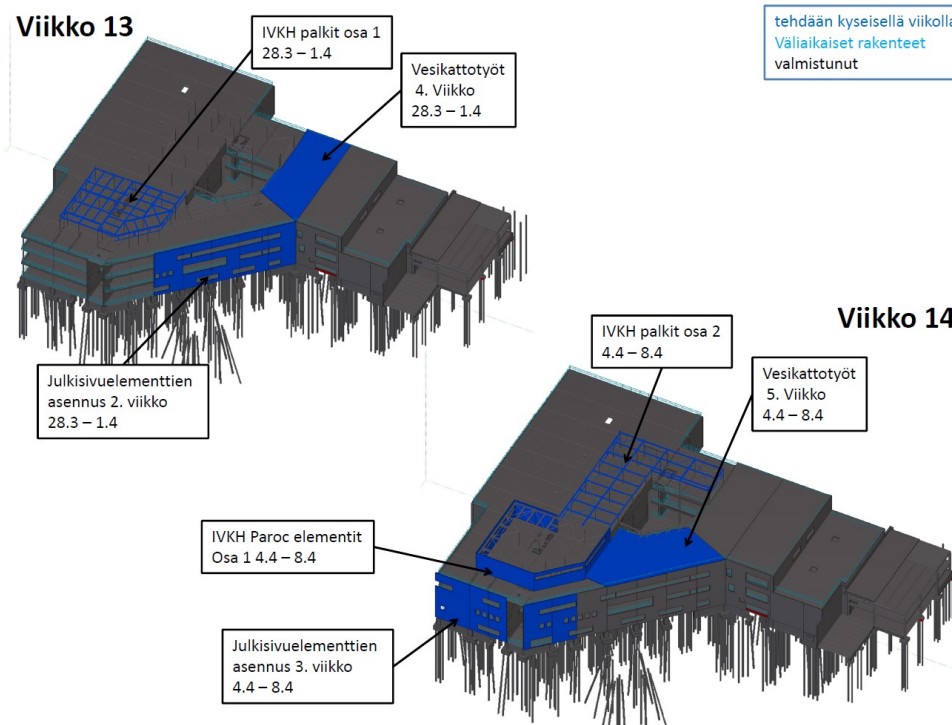
*Kuva 12. Väliaikaisten tukien ja -rakenteiden visualisointi.*

Väliaikaisten rakenteiden mallintamisen ja aikatauluttamisen jälkeen työmaalle tulostettiin uudet viikkokohtaiset mallinäkyvät. Kuvassa 13 esitetään viikkojen 1 ja 2 päivitetty 4D-aikataulu. Väliaikaisten rakenteiden lisääminen 4D-aikatauluun auttoi työmaahenkilökuntaa hahmottamaan paremmin työmaan todellisen tilanteen, huomioimaan väliaikaisten rakenteiden riippuvuussuhteet työvaiheisiin ja rakenteisiin sekä arvioimaan väliaikaisten rakenteiden, kuten putoamissuojausten tarvittavaa määrää.



Kuva 13. Viikkokohtainen 4D-aikataulu sisältäen väliaikaiset rakenteet.

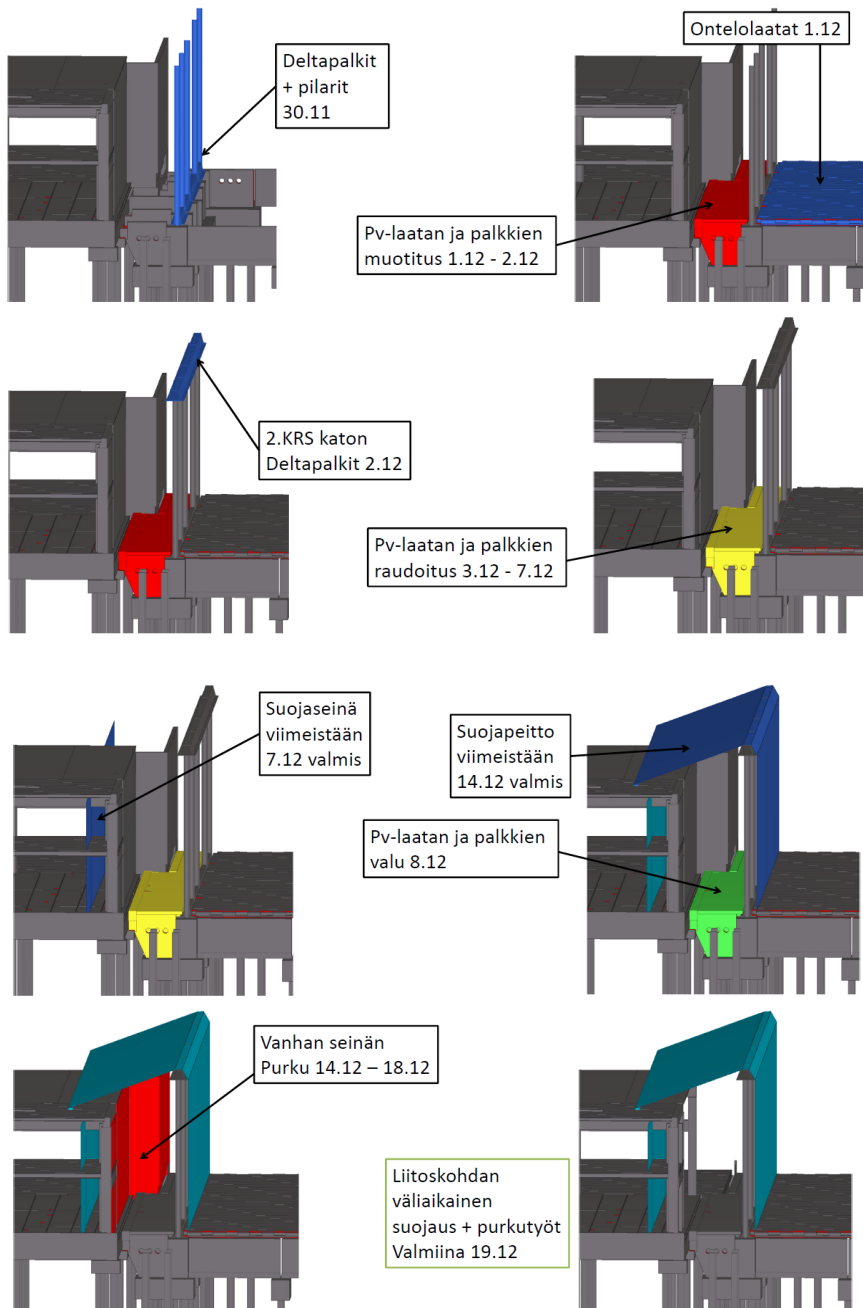
4D-runkoaikataulu visualisoitiin työmaalla viikkokohtaisina mallinäkyminä aina sisärakennusvaiheen aloitusajankohtaan asti. Kuvassa 14 esitetään julkisivuelementtien asennus-, vesikattotöiden sekä IV-konehuoneen aikataulutus. Julkisivuelementtien ja vesikattotöiden 4D-aikataulutus auttoi työmaata suunnittelemaan sisärakennusvaiheen aloitusajankohtaa, lohkojakoa ja etenemistä.



Kuva 14. Julkisivuelementtien asennus- ja vesikattotöiden 4D-aikataulutus.



Työmaan toivomuksesta uuden laajennusosan ja vanhan rakennuksen liitosalueesta tehtiin erillinen 4D-aikataulu. Alue nähtiin rakennettavuuden kannalta haasteelliseksi, sillä vanhan osan oli tarkoitus jatkaa normaalia toimintaa rakennustöiden ohella. Esimerkiksi vanhan seinän joulukuussa tehtävät purkutyöt pyrittiin aikatauluttamaan niin, että ne eivät häiritse koulun joulujuhlaa tai muita joulukuun tapahtumia. Kuvassa 15 esitetään alueen 4D-aikataulutus. Haastavan liitosalueen suunnittelua edesauttoi tietomallin tarkastelu. Tarkasteluilla voitiin suunnitella esimerkiksi erilaisia vaihtoehtoja suojaseinien sijainneille, niiden muodolle ja toteutukselle. Liitosalueen 4D-aikataulun pohjalta urakoitsija piti kouluhenkilökunnalle esityksen alueella tehtävistä rakennustyöistä.



Kuva 15. Vanhan ja uuden rakenteen liitoskohdan aikataulutus.

4D-aikataululla kouluhenkilökunnalle visualisoitiin myös liitosalueella tehtävien töiden suunnitellut ajankohdat. Tämä auttoi kouluhenkilökuntaa ymmärtämään mitä töitä alueella tehdään ja koska niitä tehdään, sekä varautumaan purkutöistä aiheutuvaan meteliin. Kun rakennustöiden vaikutuksista tiedotetaan tarpeeksi hyvin niistä kärsiville osapuolille, syntyy vähemmän riitatilanteita. Tällöin rakennustöissä voidaan keskittyä riitosten ratkaisemisen sijaan itse rakentamiseen. Taulukossa 13 esitetään toimintatutkimuksessa ilmenneet väliaikaisten tukien ja –rakenteiden sekä rakennuksen vaipan mallintamisen hyödyt ja haitat/ongelmat.

*Taulukko 13.* väliaikaisten tukien ja –rakenteiden sekä rakennuksen vaipan mallintamisen hyödyt ja haitat/ongelmat.

<b>Hyödyt</b>	<b>Haitat/ongelmat</b>
Auttaa hahmottamaan paremmin työmaan todellisen tilanteen	Referenssimallin objektien liittäminen Task Manager –työkaluun ei ole mahdollista (versio 21.0)
Visualisoi väliaikaisten rakenteiden riippuvuussuhteita työvaiheisiin ja rakenteisiin	
Putoamissuojausten tarvittavan määrän arviointi	
Auttaa sisärakennusvaiheen aloitusajankohdan, lohkojaon ja etenemisen suunnittelua	
Visualisoinnit toimivat tehokkaana tiedottamisen apuvälineenä ulkopuolisille henkilöille.	

## 8.7 Toteumatieto

Aikataulussa pysymistä seurataan toteumatiedolla. Tutkimuksessa tutkija visualisoi toteumatietoa Tekla Structures –ohjelmistolla. Toteumatieto lisättiin Task Manager -työkaluun, mikä laski tehtävien valmiusasteen automaattisesti suunniteltujen- ja toteutuneiden päivämäärien mukaan. Tällöin toteutuneet tehtävät näkyivät aikataulussa 100 %:n valmiusasteella. Toteumatiedon visualisointia varten objektiryhmät ja niiden näkymäasetukset määriteltiin liitteessä 3 esitetyllä tavalla.

Kun näkymäasetukset oli määritelty, tietomallilla visualisoitiin aikataulun toteumatietoa halutun päivämäärän mukaan. Toteumatiedon visualisointi esitetään kuvassa 16. Toteumatietoa pyrittiin keräämään työmaalta jokaisen viikon lopulla työmaakäyntien tai sähköpostin välityksellä, jolloin visualisoinnit ehdittiin valmistella ja tulostaa työmaalle aina seuraavan viikon alusta. Ongelmaksi nousi kuitenkin, että aika ei riittänyt kerätä toteumatieto viikoittain. Toteumatiedon keruu ja sen lisääminen tietomalliin pitäisi tulevaisuudessa olla tuotanto- tai työmaainsinöörin tehtävä.

### Aikataulun toteumatieto

16.11.2015

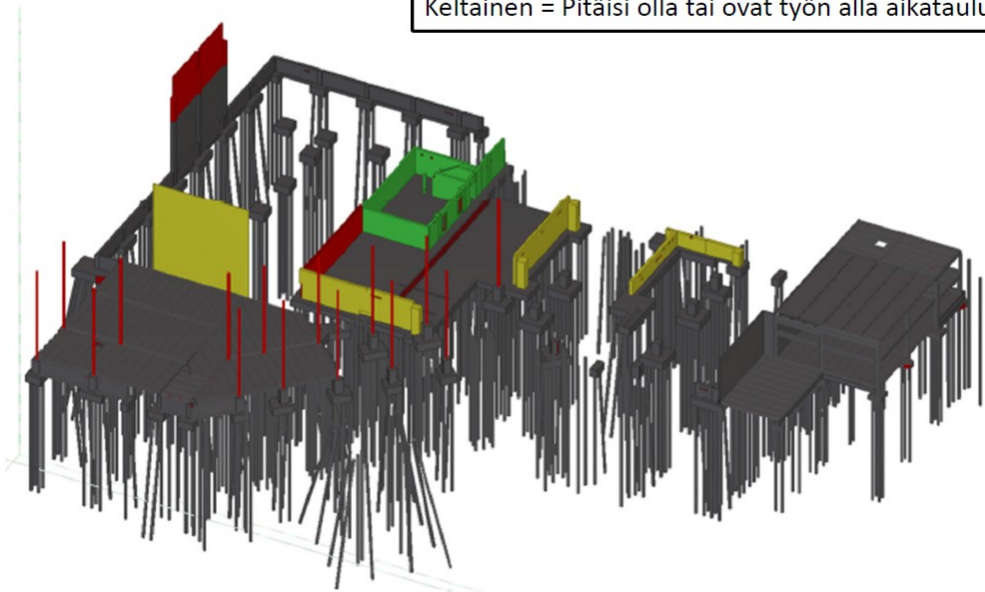
#### Väriselitteet:

Harmaa = Valmistuneet/olemassa olevat rakenteet

Vihreä = Valmis, edellä aikataulua

Punainen = Jäljessä aikataulusta

Keltainen = Pitäisi olla tai ovat työn alla aikataulun mukaan



*Kuva 16. Toteumatiedon visualisointi.*

Toteumatiedon visualisointeja käytettiin esimerkkikohteen 3 työpäällikön mukaan hyväksi työmaajohdon ja esimerkiksi muottityöporukan kanssa käytävissä aikataulupalaverissa. Esimerkkikohteen 3 vastaavan mestari näki, että toteumatiedon visualisoinnit olivat havainnollisia ja työmaan ohjauksen kannalta erittäin käyttökelpoista tietoa. Taulukossa 14 esitetään toimintatutkimuksessa ilmenneet toteumatiedon visualisoinnin hyödyt ja haitat/ongelmat.

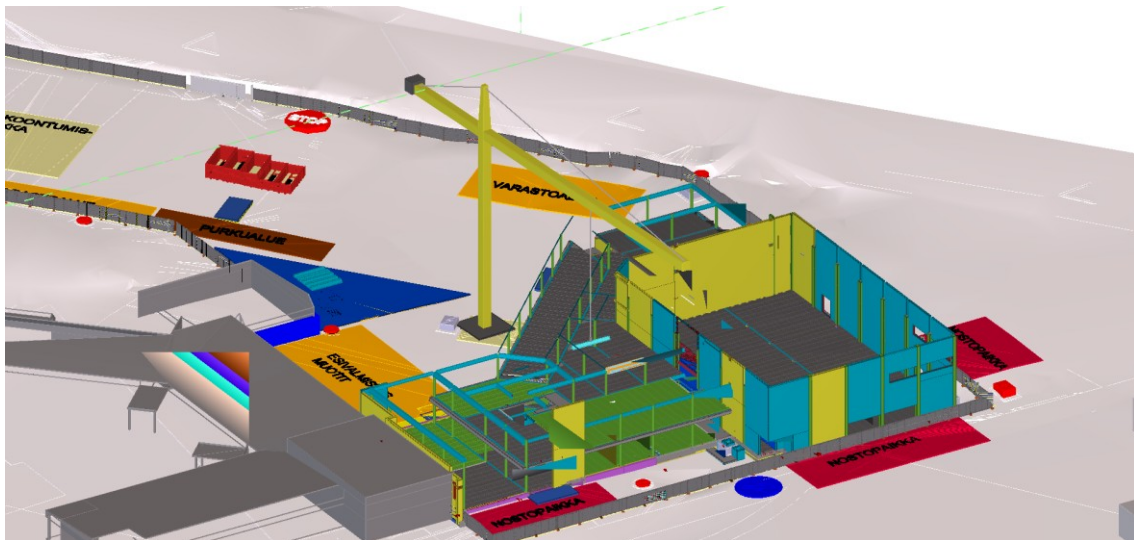
Taulukko 14. toteumatiedon visualisoinnin hyödyt ja haitat/ongelmat.

Hyödyt	Haitat/ongelmat
Visualisoinnit ovat tehokas apuväline työmaalla käytävissä aikataulupalaverissa	Toteumatiedon keruu ja sen lisääminen tietomalliin pitäisi olla tuotanto- tai työmaainsinöörin tehtävä.
Tehostaa työmaan ohjausta	

## 8.8 Torninosturin nostokapasiteetin tarkastelu

Tutkimuksessa pyrittiin simuloimaan rakentamista ja tarkastelemaan torninosturin nostokapasiteettia Tekla Structures -ohjelmiston Crane Console -lisäosalla. Lisäosa mahdollistaa torninosturin liikkeen simuloinnin tietomallissa. Torninosturin voi lisätä tietomalliin komponenttina. Lisäosalla voi säädellä torninosturin liikkeitä ja parametreja kuten ulottuvuutta ja korkeutta.

Crane Console -lisäosa osaa lukea Construction Sequencer -työkalulla tehtyä asennusjärjestystä. Tämä mahdollistaa sen, että torninosturi on mahdollista saada osaksi asennusjärjestyksen simulointia, jolloin rakenteet eivät vain ilmesty paikoilleen järjestyksessä, vaan torninosturi nostaa ne määritellyltä varastointipaikalta ja vie paikoilleen. Tutkimuksessa kuitenkin huomattiin, että tietokoneen tehon riittämättömyys aiheutti ongelmia sovelluksen käytön suhteen. Torninosturin liikkeen animaatio oli aivan liian pätkivää ja hidasta, jotta sitä olisi käytännöllistä katsella. Kuvassa 17 esitetään asennusjärjestyksen simulointi torninosturin kanssa.

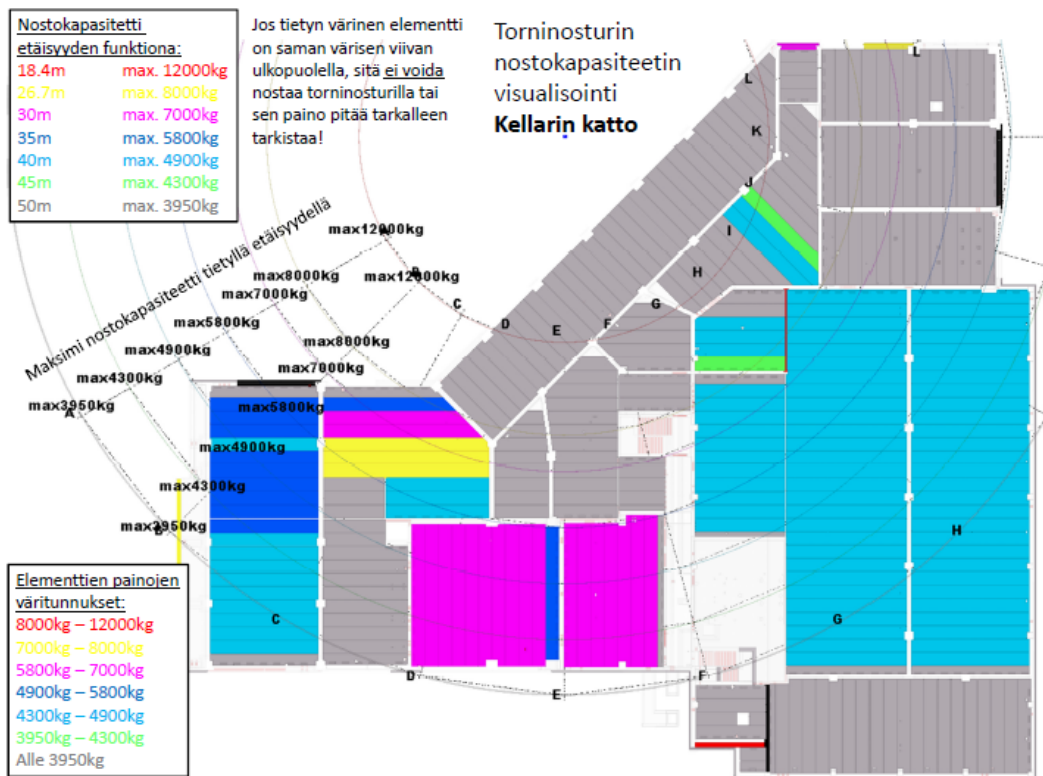


Kuva 17. Asennusjärjestyksen simulointi Crane Console -lisäosalla.

Toinen hyödyllinen lisäosan käyttömahdollisuus on torninosturin nostokapasiteetin tarkasteleminen. Työkalulla on mahdollista tulostaa lista, jossa on esitetty kaikki torninosturin vaikutussäteellä olevat rakenteet ja tarkastella, mitkä niistä ovat nostettavissa torninosturilla ja mitkä eivät ole. Toiminnon ongelmana oli, että tarkastelu oli tehtävä lisäosan tulostamasta listasta manuaalisesti rakenteen etäisyyden ja painon mukaan. Tämä nousi hieman ongelmalliseksi kun torninosturin vaikutusalueella oli yli 1000 listattua rakennetta.

Lisäosan puutteiden ja toimimattomuuden takia esimerkkikohteen 3 torninosturin nostokapasiteetin tarkastelu tehtiin käyttämällä Tekla Structures -ohjelmiston suodatintyökaluja. Elementtien painot jaoteltiin suodattimilla eri kategorioihin ja jokaista painokategoriaa vastaavan torninosturin maksimiulottuma mallinnettiin lieriöobjektina tietomalliin. Lisäksi pohjalle lisättiin radiaalisen koordinaatistoruudukon, missä esitettiin lieriötä vastaavan maksimiulottuman arvo. Kuvassa 18 on esitetty torninosturin kapasiteetin tarkistus Tekla Structures -ohjelmistolla. Kuvassa esitetään pohjakerroksen (=kellarin) katon elementit.

Torninosturin nostokapasiteettitarkastelu tehtiin erikseen jokaiselle kerrokselle. Käytettyjen näkymäasetuksien tekeminen esitetään liitteessä 3. Torninosturin nostokapasiteetin visualisointikuvat eivät anna suoraa vastausta siihen, että mitkä elementit ovat nostettavissa ja mitkä eivät. Vastaus kysymykseen saadaan kuitenkin helposti kuvaa lukemalla. Jos tietyn värinen elementti on samanvärisen viivan ulkopuolella, sitä ei voida nostaa torninosturilla ja vastaavasti jos se on viivan sisäpuolella, se voidaan nostaa.



Kuva 18. Torninosturin nostokapasiteetti, kellarin katon elementit.

Torninosturin nostokapasiteetin tarkastelu mahdollisti nopean ja tehokkaan havainnoinnin siitä, mitkä elementit ovat torninosturilla nostettavissa ja mitkä eivät. Tämä edesauttoi tarvittavan lisänostokaluston hankintaa ja suunnittelua. Esimerkkikohteen 3 työpäällikön mukaan torninosturin nostokapasiteetin tarkastelut tulisi olla tehty jo tarjouslaskentavaiheessa. Nostokapasiteetin tarkasteluilla työmaan torninosturille voitaisiin valita mahdollisimman optimaalinen koko ja sijainti sekä arvioida mahdollisten muiden nostolaitteiden tarvetta. Työpäällikkö toivoi myös, että torninosturin kapasiteettitarkastelu

saataisiin tietomallilla tehtyä automaattiseksi siten, että ne elementit, joita torninosturi ei pysty nostamaan tulisivat automaattisesti erivärisiksi. Taulukossa 15 esitetään toimintatutkimuksessa ilmenneet torninosturin nostokapasiteetin tarkastelujen hyödyt ja haitat/ongelmat.

*Taulukko 15. torninosturin nostokapasiteetin tarkastelujen hyödyt ja haitat/ongelmat.*

<b>Hyödyt</b>	<b>Haitat/ongelmat</b>
Mahdollistaa nopean ja tehokkaan havainnoinnin siitä, mitkä elementit ovat torninosturilla nostettavissa ja mitkä eivät.	Crane Console –lisäosa puutteellinen eikä sitä kannata käyttää hyväksi nostokapasiteetin tarkasteluihin
Edesauttaa tarvittavan lisänostokaluston hankintaa ja suunnittelua	Tarkastelu pitäisi tehdä jo aikaisemmassa vaiheessa
Torninosturille voidaan valita mahdollisimman optimaalinen koko ja sijainti	Tarkastelua ei voi automatisoida

## 9 Rakennettavuuteen vaikuttavat tekijät ja ongelmat esimerkkikohteissa

Kaikkien esimerkkikohteiden haastateltavat ymmärtävät rakennettavuuden suunnitteluratkaisujen kautta. Haastateltavien mukaan käsite rakennettavuus tarkoittaa suunnitelmien oikeellisuutta, toteutettavuutta, yksiselitteisyyttä sekä sitä, että ne on yhteen sovitettu. Korjausrakentamisessa rakennettavuus käsittää myös, kuinka vanhaa rakennusta, sen muotoja ja tilaratkaisuja käytetään hyväksi suunnittelussa. Haastateltavat näkevät, että rakennettavuuden kannalta olennaisimpia asioita ovat huonekorkeus, mitat, törmäystarkastelut, varaussuunnittelu, rakennusjärjestelmän suunnittelu sekä se, että suunnitelmissa esitetään mahdollisimman tarkka kuvaus rakenteen sisällöstä. Rakennettavuuden kannalta oleellisia asioita ovat myös talotekniikan kuilujako ja –rakenne sekä niiden toteutettavuus. Taulukossa 16 esitetään haastatteluiden mukaan rakennettavuuteen vaikuttavat tekijät.

*Taulukko 16. Rakennettavuuteen vaikuttavat asiat.*

<b>Rakennettavuuteen vaikuttavat tekijät</b>	<b>Oleellisia asioita</b>
Suunnitelmien oikeellisuus	- Mitat
Suunnitelmien toteutettavuus	- Suunnitelmissa huomioidaan rakennusosien vaatimukset - Rakennusjärjestelmä rakennettavissa työturvallisesti ja normaaleja asennustapoja käyttäen - Rakennuksen huollettavuus
Suunnitelmien yhteensovitus	- Törmäystarkastelut - Varaussuunnittelu
Kuinka vanhaa rakennusta, sen muotoja ja tilaratkaisuja käytetään hyväksi suunnittelussa	- Tekniikan kuilujako ja –rakenne sekä niiden toteutettavuus - Huonekorkeus
Suunnitelmien yksiselitteisyys	- Tarkka kuvaus rakenteen sisällöstä

Haastatteluissa ja toimintatutkimuksessa havaittiin yhteensä 29 rakennettavuuteen liittyvää ongelmaa. Ongelmiin johtavat syyt analysoitiin ja luokiteltiin Tauriaisen (2015) esittämiin rakennettavuuden osa-alueisiin;

1. rakennustalous,
2. rakennusprosessi,
3. suunnitteluratkaisut,
4. tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit,
5. standardisointi ja esivalmistus,
6. asennustyöt,
7. rakennustyöt sekä
8. työturvallisuus.

Rakennettavuuden ongelmat, niihin johtavat syyt ja luokittelu esitetään taulukossa 17. Taulukko on järjestelty rakennettavuuden osa-alueiden mukaan.

Taulukko 17. Rakennettavuuden ongelmat, niihin johtavat syyt ja luokittelu rakennettavuuden osa-alueisiin.

Rakennettavuuden ongelma	Syy	Rakennettavuuden osa-alue
Hankintojen optimointi	Tilauksien määrittely ja luokittelu vaikeaa jana-aikataulun pohjalta	Rakennusprosessi ja rakennustalous
Tilanpuute TATE-järjestelmille	Jälkikäteen tulleet talotekniikkamallin järjestelmämuutokset	Rakennusprosessi
Tietomallit eivät ole ajan- tasalla	Tietomalleja ei päivitetä tarpeeksi usein	Rakennusprosessi
Myöhästyminen aikataulusta	Rakennustöiden edistymisen ohjaus ja valvonta puutteellista	Rakennusprosessi
Hukka-aika	Riidat ihmisten kanssa, joita rakennustyöt häiritsevät	Rakennusprosessi
Elementit haastavaa saada oikeaan aikaan tuotantoon	Vaikeat kohdat elementtisuunnittelussa	Rakennusprosessi ja suunnitteluratkaisut
Talotekniikan toteutus hajautettuna järjestelmänä	Matala kerroskorkeus	Suunnitteluratkaisut
Riittämättömät lähtötiedot	Olemassa olevien rakenteiden selvitykset puutteellisia (as-built tieto)	Suunnitteluratkaisut
Julkisivuelementtien haasteellinen asennus	Olemassa olevien korkojen mittaus puutteellista	Suunnitteluratkaisut
Vanha ja uuden rakennuksen liitosalueen toteutus vaikeaa	Väli aikaisten TATE-järjestelmien suunnittelu puutteellista	Suunnitteluratkaisut
Järjestelmien huollettavuus vaikeaa	Suunnitelmissa ei ole huomioitu järjestelmien huollettavuutta	Suunnitteluratkaisut
Elementtien asennustyöt haastavat	Poikkeuksellinen elementtien asennusjärjestys	Suunnitteluratkaisut ja asennustyöt
Rungon asennusjärjestyksen suunnittelu haastavaa	Sekarakenteinen rakennusjärjestelmä	Suunnitteluratkaisut, asennustyöt ja rakennustyöt
Aluesuunnitelma ei toimi käytännössä	Puutteellinen aluesuunnitelman suunnittelu	Suunnitteluratkaisut ja rakennustyöt
Tarjousvaiheessa vaikea arvioida työmaajärjestelyjen hintoja	Tiedon puute tarvittavista työmaajärjestelyistä	Suunnitteluratkaisut ja rakennustyöt
Korkeiden pv-seinien rakentaminen	Haastavat työvaiheet ja tuennat	Suunnitteluratkaisut ja rakennustyöt
Maanrakennusvaihe haastava	Vaikeat pohjaolosuhteet	Suunnitteluratkaisut ja rakennustyöt
TATE:n ja hormien asennusjärjestyksen ja sijoittelun suunnittelu haastavaa	2D-piirustuksista vaikeaa havaita rakenteiden riippuvuuksia	Tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit
Tietojen etsiminen piirustuksista hidasta	Piirustuksien suuri määrä	Tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit



<b>Rakennettavuuden ongelma</b>	<b>Syy</b>	<b>Rakennettavuuden osa-alue</b>
Ristiriidat tietomallien välillä	Suunnitelmia ei ole yhteen sovitettu tarpeeksi hyvin	Tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit
Puutteita TATE- ja ARK-mallissa	Puutteita detaljien ja järjestelmien mallinnuksessa	Tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit
Törmäystarkasteluja ei voida tehdä täydessä laajuudessa	Arkkitehtimallin puute	Tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit
Törmäykset järjestelmien ja rakenteiden välillä	Suunnitelmia ei ole yhteen sovitettu tarpeeksi hyvin	Tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit
Täydentävien- ja tukirakenteiden suunnittelun puutteet	Suunnitelmien puutteet täydentävien- ja tukirakenteiden osalta	Tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit
Ongelmia TATE-asennustöissä	Epätarkka sähkömalli	Tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit
Taustatietojen etsiminen piirustuksista hidasta	Piirustuksien suuri määrä	Tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit
Elementtien painojen etsiminen piirustuksista hidasta	Piirustuksien suuri määrä	Tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit
Muutosten hallinta vaikeaa	Vanhoiden ja uusien suunnitelmien vertaileminen työlästä	Tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit
Työturvallisuuden hallinta ja valvonta heikkoa	Putoamissuojauksen suunnittelu heikkoa	Työturvallisuus

Rakennettavuuden ongelmiin johtavat syyt liittyvät tulosten mukaan eniten suunnitteluratkaisuihin (11 kappaletta) sekä tietomalliin, piirustuksiin ja teknisiin dokumentteihin (11 kappaletta). Seuraavaksi eniten syyt liittyvät rakennusprosessiin (6 kappaletta), rakennustöihin (4 kappaletta) ja asennustöihin (2 kappaletta). Rakennustalouteen ja asennustöihin liittyi vain yhden rakennettavuuden ongelmiin johtavat syyt. Standardisoimiseen ja esivalmistukseen ei liittynyt yhtäkään syytä.

## 10 Rakennettavuuden parantaminen tietomallilla

Tutkimuksessa rakennettavuuden ongelmiin määriteltiin tietomallipohjaisia ratkaisuja, jotka poistavat ongelmiin johtavia syitä tai optimoivat toimintaa parantaen rakennettavuutta. Taulukossa 18 esitetään kuinka tietomallipohjaisilla ratkaisuilla voidaan edistää rakennettavuutta.

*Taulukko 18. Rakennettavuuden edistäminen tietomallilla.*

Syy/ongelma	Tietomallinnuksen keino (ratkaisu)	Kuinka ratkaisu parantaa rakennettavuutta
Tilauksien määrittely ja luokittelu vaikeaa jana-aikataulun pohjalta	4D-aikataulu	4D-aikataulu helpottaa rakenneosien jakoa tilauksiksi ja tilauksien tekoa oikeaan aikaan
Jälkikäteen tulleet talotekniikkamallin järjestelmämuutokset	Suunnittelun ohjaus	Suunnittelijoita ohjataan tuotannon näkökulmasta haluttuihin ratkaisuihin ja suunnittelemaan järjestelmät oikeaan aikaan
Tietomalleja ei päivitetä tarpeeksi usein	Tietomallien päivitys säännöllisin väliajoin	Tietomalleihin voidaan luottaa ja niitä voidaan käyttää
Rakennustöiden edistymisen ohjaus ja valvonta puutteellista	4D-aikataulu	4D-aikataulu optimoi rakennusjärjestystä ja aikataulua sekä helpottaa aikataulun ohjausta ja valvontaa
Riidat ihmisten kanssa, joita rakennustyöt häiritsevät	4D-aikataulu	4D-aikataulu optimoi rakennusjärjestystä ja aikataulua sekä helpottaa aikataulun ohjausta ja valvontaa
Vaikeat kohdat elementtisuunnittelussa	Elementtisuunnittelun ohjaus	Elementit saadaan oikeassa järjestyksessä ja oikeaan aikaan tuotantoon
Matala kerroskorkeus	Visualisointi	Visualisointi edesauttaa vaikeasti rakennettavien paikkojen suunnitteluratkaisujen tarkastelua ja asennustöitä.
Olemissa olevien rakenteiden selvitykset puutteellisia (as-built tieto)	Tietomallien oikeellisuus: Rakennuksen laserkeilaus ja olemassa olevien rakenteiden mallintaminen RAK-malliin	Tarkka ja luotettava tietomalli edesauttaa suunnittelua, rakentamista, asennustöitä ja suunnitelmien yhteensovittamista

<b>Syy/ongelma</b>	<b>Tietomallinnuksen keino (ratkaisu)</b>	<b>Kuinka ratkaisu parantaa rakennettavuutta</b>
Olemassa olevien korkojen mittaaminen puutteellista	Tietomallien oikeellisuus: Rakennuksen laserkeilaus ja olemassa olevien rakenteiden mallintaminen rakennemalliin	Tarkka ja luotettava tietomalli edesauttaa suunnittelua, rakentamista, asennustöitä ja suunnitelmien yhteensovittamista
Väliaikaisten TATE-järjestelmien suunnittelu puutteellista	Visualisointi	Visualisointi edesauttaa vaikeasti rakennettavien paikkojen suunnitteluratkaisujen tarkastelua ja asennustöitä.
Suunnitelmissa ei ole huomioitu järjestelmien huollettavuutta	Visualisointi	Visualisointi edesauttaa järjestelmien huollettavuuden suunnittelua
Poikkeuksellinen elementtien asennusjärjestys	4D-aikataulu	4D-aikataulu optimoi rakennusjärjestystä ja aikataulua sekä helpottaa aikataulun ohjausta ja valvontaa
Sekarakenteinen rakennusjärjestelmä	4D-aikataulu	4D-aikataulu optimoi rakennusjärjestystä ja aikataulua sekä helpottaa aikataulun ohjausta ja valvontaa
Puutteellinen aluesuunnitelman suunnittelu	3D-aluesuunnitelma	3D-aluesuunnitelma tehostaa työmaan käytön optimointia huomioiden tilantarpeet älykkäiden objektien avulla
Tiedon puute tarvittavista työmaajärjestelyistä	3D-aluesuunnitelma	3D-aluesuunnitelma tohostaa kustannuksien arviointia.
Haastavat työvaiheet ja tuennat	4D-aikataulu ja väliaikaisten rakenteiden ja -tukien mallintaminen	4D-aikataulu optimoi rakennusjärjestystä ja aikataulua sekä helpottaa aikataulun ohjausta ja valvontaa
Vaikeat pohjaolosuhteet	3D-aluesuunnitelma: Maamassojen mallintaminen	Kaivuu- ja täyttötöiden määrien analysointi ja aikataulutus optimoi rakentamista
2D-piirustuksista vaikeaa havaita rakenteiden riippuvuuksia	Visualisointi	Visualisointi edesauttaa vaikeasti rakennettavien paikkojen suunnitteluratkaisujen tarkastelua ja asennustöitä.

<b>Syy/ongelma</b>	<b>Tietomallinnuksen keino (ratkaisu)</b>	<b>Kuinka ratkaisu parantaa rakennettavuutta</b>
Piirustuksien suuri määrä	Tiedon haku	Tietomalli nopeuttaa tiedonhakuja
Suunnitelmia ei ole yhteen sovitettu tarpeeksi hyvin	Törmäystarkastelut	Törmäystarkastelut vähentävät suunnitelmien ristiriitoja parantaen rakennettavuutta
Puutteita detaljien ja järjestelmien mallinnuksessa	Mallinnuksen tarkkuuden parantaminen	Tarkka tietomalli edesauttaa suunnittelua, rakentamista, asennustöitä ja suunnitelmien yhteensovittamista
Arkkitehtimallin puute	Arkkitehtimallin mallintaminen	Tarkka tietomalli edesauttaa suunnittelua, rakentamista, asennustöitä ja suunnitelmien yhteensovittamista
Suunnitelmien puutteet täydentävien- ja tukirakenteiden osalta	Väli aikaisten rakenteiden ja –tukien mallintaminen	Työmaajärjestelyjen ja työturvallisuuden valvonta ja hallinta paranee
Epätarkka sähkömalli	Mallinnuksen tarkkuuden parantaminen	Tarkka tietomalli edesauttaa suunnittelua, rakentamista, asennustöitä ja suunnitelmien yhteensovittamista
Vanhon ja uusien suunnitelmien vertaileminen työlästä	Muutosten hallinta (uuden ja vanhan tietomallin revisioiden vertailu)	Tietomallien tarkastus nopeuttaa ja helpottaa muutosten havainnointia ja hallintaa
Putoamissuojauksen suunnittelu heikkoa	4D-aikataulu ja väliaikaisten rakenteiden ja –tukien mallintaminen	Työturvallisuuden valvonta ja hallinta paranee

Tutkimuksessa löydetty tietomallipohjaiset ratkaisut jaoteltiin kolmeen pääkategoriaan, niiden käyttötarkoituksen mukaan. Kategoriat ovat rakentamisen optimointi, hallinta ja valvonta, tietomallipohjainen työskentely sekä tietomallien luotettavuus. Rakennettavuutta parantavat tietomallipohjaiset ratkaisut ja niiden kategorisointi esitetään taulukossa 19.

Taulukko 19. Tietomallipohjaiset ratkaisut ja niiden kategorisointi.

Pääkategoria	Tietomallipohjainen ratkaisu
Rakentamisen optimointi, hallinta ja valvonta	Suunnittelun ohjaus
	4D-aikataulu
	3D-aluesuunnitelma
	Väliaikaisten rakenteiden ja -tukien mallintaminen
Tietomallipohjainen työskentely	Visualisointi
	Tiedonhaku
	Mallien revisioiden vertailu
	Törmäystarkastelut
Tietomallien luotettavuus	Tietomallien oikeellisuus
	Mallinnuksen tarkkuuden parantaminen
	Mallien päivitys säännöllisin väliajoin

Tietomalli mahdollistaa tehokkaan välineen suunnittelun ohjaukseen. Tietomallista voi tarkastella eri rakenteiden suunnittelun valmiusasteita ja seurata näin suunnittelun etenemistä sekä ohjata sitä tarvittaessa haluttuun suuntaan. Suunnitteluohjauksella urakoitsijat voivat ohjata suunnittelijoita tuotannon näkökulmasta haluttuihin ratkaisuihin sekä auttaa heitä suunnittelemaan rakenteet ja järjestelmät oikeaan aikaan. Urakoitsijoille tutujen ratkaisujen ja tuotantomenetelmien käyttö parantaa rakennettavuutta. Suunnittelun ohjaus mahdollistaa myös urakoitsijoiden ammattitaidon tuonnin lähemmäksi suunnittelemaa, jolloin suunnitteluratkaisuista saadaan rakennettavuuden kannalta toimivimpia.

4D-aikataulu parantaa rakennettavuutta edistämällä rakennusjärjestystä ja aikataulua sekä helpottaen aikataulun ohjausta ja valvontaa. 4D-aikataulu näyttää selkeästi työjärjestyksen ja rakenteiden väliset riippuvuudet, jolloin aikataulua on mahdollista suunnitella hyvin tarkalle tasolle. Sillä voidaan löytää myös mahdollisia ajatusvirheitä alkuperäisestä aikataulusta. 4D-aikataululla voidaan ohjata ja valvoa tehokkaasti rakennustöiden edistymistä työmaalla, mikä edesauttaa aikataulussa pysymistä. Sillä voidaan selkeästi näyttää työmiehille mitä tehtäviä milläkin viikolla on tarkoitus tehdä, missä kohteet sijaitsevat ja miten ne vaikuttavat ympäröiviin rakenteisiin. 4D-aikataulu näyttää halutun lopputuloksen ennen itse rakentamista. Tämä eliminoi väärinkäsityksiä ja auttoi työmiehiä ymmärtämään paremmin rakennettava kokonaisuus. 4D-aikataulu tehostaa myös hankintoja, sillä se auttaa rakenneosien jakoa tilauksiksi ja tilauksien tekoa oikeaan aikaan.

3D-aluesuunnitelma tehostaa työturvallisuuden hallintaa ja valvontaa sekä tukee lean-periaatteiden käyttöä. Sillä voidaan parantaa rakennettavuutta optimoimalla työmaan tilankäyttöä, työmaatilojen sijoittelua ja nostokaluston kokoa ja määrää. 3D-aluesuunnitelma helpottaa myös työmaatilojen, aitojen ja nostokaluston kustannusten arviointia hankkeen tarjousvaiheessa. Maarakennusvaiheen rakennettavuutta voidaan parantaa mallintamalla maamassat 3D-aluesuunnitelmaan ja analysoimalla tarvittavia kaivu- ja täyttötöitä. Työt voidaan myös aikatauluttaa, mikä auttaa maarakennustöiden hallintaa ja valvontaa.

Rakennettavuutta voidaan parantaa väliaikaisten rakenteiden ja -tukien mallintamisella. Väliaikaisten rakenteiden ja -tukien mallintaminen parantaa työmaajärjestelyjen ja työturvallisuuden valvontaa ja hallintaa. Mallintaminen auttaa hahmottamaan paremmin

työmaan todellisen tilanteen, huomioimaan väliaikaisten rakenteiden riippuvuussuhteet työvaiheisiin ja rakenteisiin sekä arvioimaan putoamissuojauksien tarvittavaa määrää.

Visualisointi on tietomallipohjaisista ratkaisuista helpoiten toteutettavissa. Tietomallilla voidaan visualisoida suunnitteluratkaisuja, asennustöitä sekä analysoida rakennuksen, sen rakenteiden ja järjestelmien rakennettavuutta. Visualisointi helpottaa vaikeasti rakennettavien kohtien tarkastelua. Kun suunnittelu tehdään mallintamalla, vaikeat kohdat on pakko miettiä ja mallintaa jossain vaiheessa suunnittelua. Rakenteiden, rakennusosien ja järjestelmien esittäminen 3D-näkymässä mahdollistaa, että lopputuloksen voi nähdä visuaalisesti ennen rakentamista, jolloin niiden toteutus on huomattavasti helpompaa.

Tietomallipohjainen tiedonhaku parantaa rakennettavuutta mahdollistaen huomattavasti nopeamman tiedonhaun 2D-piirustuksiin verrattuna, kun kaikki tieto on yhdessä paikassa. Tietomallista voidaan tarkastella tehokkaasti rakennusosien määriä, sijainteja, mittoja, korkoja, materiaalitietoja, taustatietoja, elementtien painoja ja aikataulutietoa. Tietomallien tarkastusohjelmistoilla voidaan myös tarkastella tietomallien revisioita ja analysoida niissä olevia muutoksia. Tämä parantaa rakennettavuutta tehostamalla muutosten hallintaa.

Tietomallien luotettavuus vaikuttaa olennaisesti niiden hyödyntämiseen tuotantovaiheessa. Se toimii edellytyksenä tietomallipohjaiselle työskentelylle, kuten visualisoinnille ja tiedonhauille. Luotettavuuteen vaikuttavat tietomallien oikeellisuus, yhteensovitus, tarkkuus ja ajantasaisuus. Jos tietomalli ei ole luotettava, sitä ei käytetä tuotantovaiheessa, jolloin myöskään rakennettavuutta ei voi sillä parantaa. Tehokas tiedonhaku tietomalleista ja visualisointi edellyttää, että järjestelmät, tekniikka, rakenteet ja rakennusosat mallinnetaan suunnitelmien mukaan ja yhteen sovitetaan muiden suunnittelualojen kanssa. Tietomallit on pidettävä myös ajan tasalla. 2D-piirustuksien kuuluu pohjautua tietomalliin, jolloin uusin suunnittelutieto löytyy aina piirustuksien ohella myös tietomallissa.

Törmäystarkastelut parantavat rakennettavuutta vähentämällä eri suunnittelualojen tietomallien sisäisiä ja niiden välisiä ristiriitoja. Muutokset ja korjaukset ovat aina edullisempia ja helpompia tehdä, mitä aikaisemmin ristiriidat havaitaan ja korjataan.

Tietomallin tarkkuustaso vaikuttaa siihen, kuinka laajasti sitä voidaan hyödyntää tuotantovaiheessa. Yksityiskohtien ja TATE:n tarkka mallinnus mahdollistaa tietomallin käytön asennus- ja rakennustöissä sekä vähentää ristiriitoja eri suunnittelualojen tietomallien kesken. Esimerkiksi jos tietomalli sisältää paikallavalurakenteiden raudoitukset, sitä voidaan hyödyntää raudoitusten asennuksessa ja raudoitustarkastuksissa. Korjausrakentamisessa rakennettavuutta voidaan parantaa tekemällä kattavat lähtötilanteen selvitykset mittaamalla olemassa olevat rakenteet purkutöiden jälkeen ja mallintamalla ne rakennemalliin. Tällöin rakennemallia voidaan käyttää hyväksi korjaussuunnitelmien laadinnassa ja rakentamisessa. Yksityiskohtien tarkalla mallinnuksella voidaan myös vähentää tietomallien välisiä ristiriitoja. Esimerkiksi arkkitehtimallin katon ruutujaon mallinnus auttaa talotekniikkasuunnittelijaa sijoittelemaan TATE-järjestelmät oikeisiin kohtiin.

Taulukoita 17 ja 18 vertailemalla voidaan selvittää, onko rakennettavuuden osa-alueiden ja tietomallipohjaisten ratkaisujen välillä yhteyksiä. Yhteyksiä tarkasteltiin vertailemalla

kutakin rakennettavuuden ongelman aiheuttaman syyn rakennettavuuden osa-aluetta sitä edistävään tietomallipohjaiseen ratkaisuun. Taulukossa 20 esitetään mitkä tietomallipohjaiset ratkaisut edistävät kutakin rakennettavuuden osa-aluetta ja mikä niiden suhde on.

*Taulukko 20. Rakennettavuuden osa-alueiden ja tietomallipohjaisten ratkaisujen välinen yhteys.*

<b>Rakennettavuuden osa-alue</b>	<b>Liittyvien ongelmien lukumäärä</b>	<b>Tietomallipohjaisten ratkaisujen ja niiden pääkategorioiden suhteellinen osuus ongelmien hallinnassa</b>
Rakennustalous	1	<b>1/1 Rakentamisen optimointi, hallinta ja valvonta</b> 1/1 4D-aikataulu
Rakennusprosessi	6	<b>5/6 Rakentamisen optimointi, hallinta ja valvonta</b> 3/6 4D-aikataulu 2/6 Suunnittelun ohjaus <b>1/6 Tietomallipohjainen työskentely</b> 1/6 Mallien päivitys säännöllisin väliajoin
Suunnitteluratkaisut	11	<b>6/11 Rakentamisen optimointi, hallinta ja valvonta</b> 2/11 4D-aikataulu 3/11 3D-aluesuunnitelma 1/11 Väliaikaisten rakenteiden ja -tukien mallintaminen <b>3/11 Tietomallipohjainen työskentely</b> 3/11 Visualisointi <b>2/11 Tietomallien luotettavuus</b> 2/11 Tietomallien oikeellisuus
Tietomallit, piirustukset ja tekniset dokumentit	11	<b>1/11 Rakentamisen optimointi, hallinta ja valvonta</b> 1/11 Väliaikaisten rakenteiden ja -tukien mallintaminen <b>7/11 Tietomallipohjainen työskentely</b> 1/11 Visualisointi 3/11 Tiedon haku 1/11 Mallien revisioiden vertailu 2/11 Törmäystarkastelut <b>3/11 Tietomallien luotettavuus</b> 1/11 Tietomallien oikeellisuus 2/11 Mallinnuksen tarkkuuden parantaminen
Standardisointi ja esivalmistus	0	
Asennustyöt	2	<b>2/2 Rakentamisen optimointi, hallinta ja valvonta</b> 2/2 4D-aikataulu
Rakennustyöt	5	<b>5/5 Rakentamisen optimointi, hallinta ja valvonta</b> 2/5 4D-aikataulu 3/5 3D-aluesuunnitelma
Työturvallisuus	1	<b>1/1 Rakentamisen optimointi, hallinta ja valvonta</b> 1/1 4D-aikataulu sekä väliaikaisten rakenteiden ja -tukien mallintaminen

Taulukosta 19 voidaan havaita yhteys rakentamisen optimoinnin, hallinnan ja valvonnan sekä rakennusprosessin, asennus- ja rakennustöiden välillä. Rakennusprosessiin liittyvistä rakennettavuuden ongelmista 5/6 voidaan ratkaista tai optimoida 4D-aikataululla ja suunnittelun ohjauksella. Asennus- ja rakennustöihin liittyvät rakennettavuuden ongelmat voidaan kaikki ratkaista tai optimoida 4D-aikataululla ja 3D-aluesuunnitelmalla. Taulukosta 19 voidaan havaita myös yhteys tietomallien, piirustuksien ja teknisten dokumenttien sekä tietomallipohjaisen työskentelyn välillä. Tietomalliin, piirustuksiin ja teknisiin dokumentteihin liittyvistä rakennettavuuden ongelmista 7/11 voidaan ratkaista tai optimoida visualisoinneilla, tiedon haulla, mallien revisioiden vertailulla ja törmäystarkasteluilla. Suunnitteluratkaisuihin liittyviä tietomallipohjaiset ratkaisut jakautuivat niin tasaisesti, että selkeää yhteyttä niiden ja rakennettavuuden osa-alueiden välillä ei voitu havaita. Työturvallisuuden ja rakennustalouden korrelaatiosuhdetta ei voitu määrittää, koska niihin liittyviä ongelmia oli vain yksi kappale.

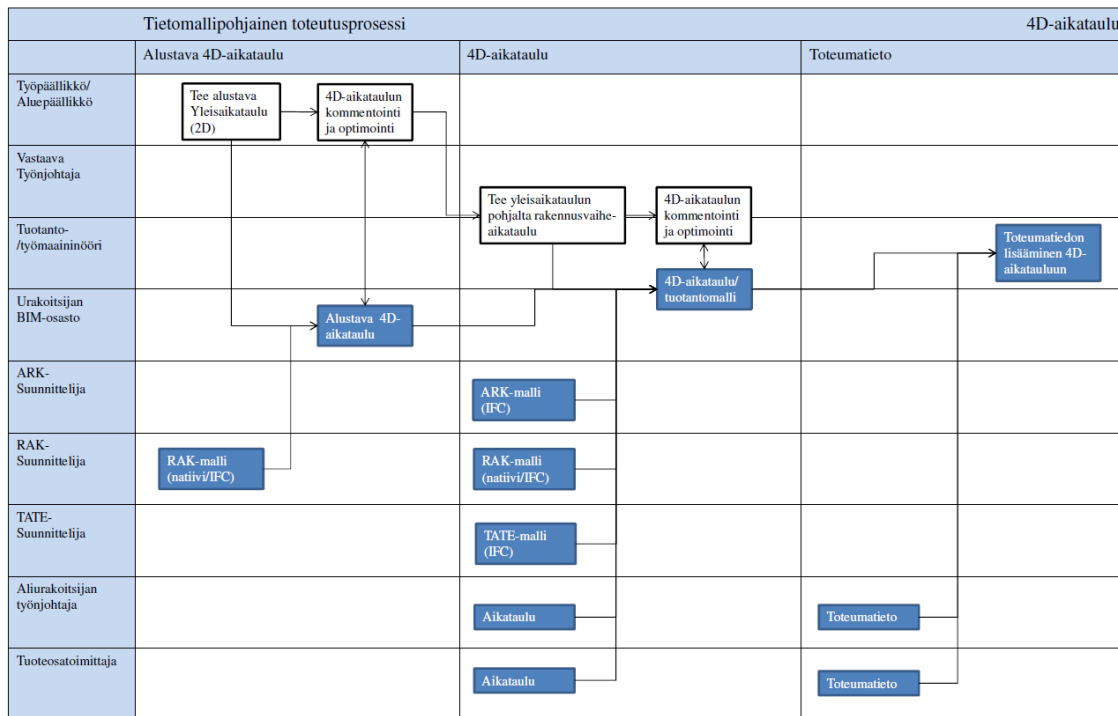


## 11 Tietomallipohjainen toteutusprosessi ja toimintata-paohje

Tutkimuksen perusteella kehitettiin luonnos kohdeyrityksen tietomallipohjaisesta toteutusprosessista tuotantovaiheessa. Toteutusprosessit sisältävät kuvauksen, kuinka rakennettavuutta parantavia tietomallipohjaisia ratkaisuja toteutetaan tuotantovaiheessa. Toteutusprosessit kuvataan 4D-aikatulun ja 3D-aluesuunnitelman osalta, sillä tietomallipohjaisista ratkaisuista näiden toteutuksesta vastaa urakoitsija.

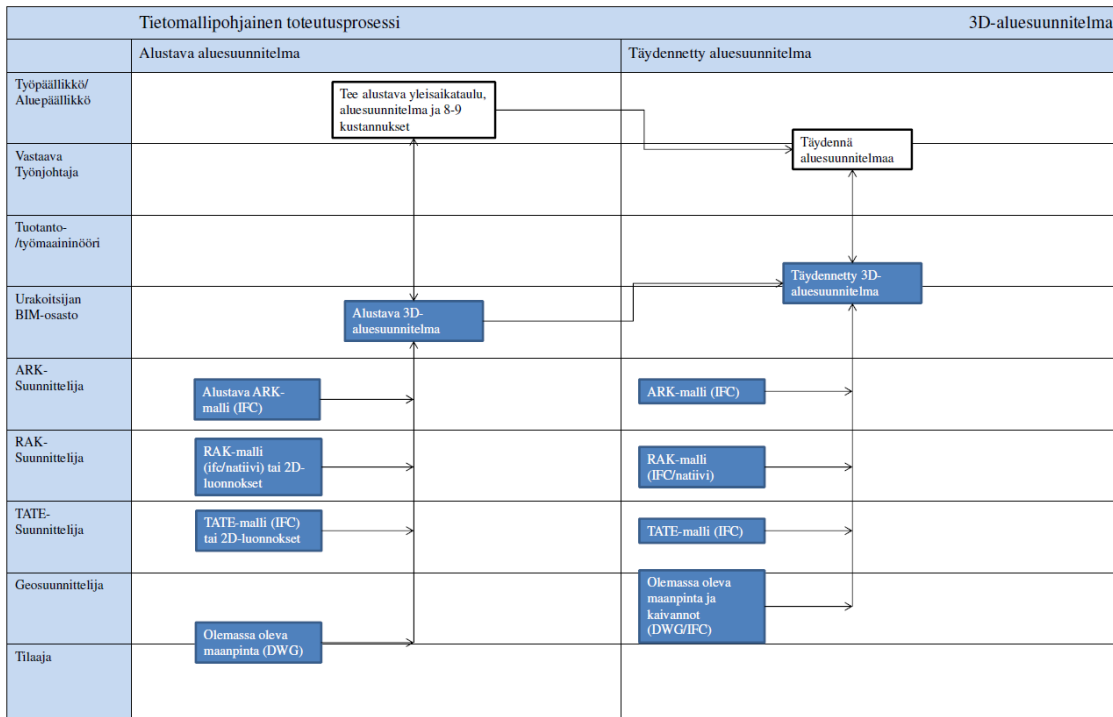
Toteutusprosessien luonnostelussa käytettiin hyväksi toimintajärjestelmän mallia. Ensimmäiseksi toteutusprosessilla kuvattava toiminta taulukoitiin toteutusprosessitaulukoon toimintajärjestelmän mukaisesti osiin; kohde, tekijä, yhteisö, toimintatapa (työnjako), säännöt ja välineet. Toiminnan kohde eli tulos jaoteltiin rakentamisen vaiheiden ja urakkamuodon perusteella omiin kokonaisuuksiin. Toteutusprosessitaulukko esitetään liitteessä 4. Lopuksi taulukon sisältämä tieto visualisoitiin prosessikaavion muodossa. Tietomallipohjaisen toteutusprosessin teossa käytettiin hyväksi kohdeyrityksen olemassa olevia prosessikaavioita, joita käytettiin pohjana prosessin laadinnassa. Olemassa oleviin prosessikaavioihin lisättiin tietomallinnukseen liittyviä tehtäviä. Kaavioissa 3 ja 4 siniset laatikot esittävät tietomallinnukseen liittyviä tehtäviä ja valkoiset laatikot tietomallinnukseen liittymättömiä tehtäviä tai kohdeyrityksen olemassa olevien prosessikaavioiden mukaisia tehtäviä.

Kaaviossa 3 esitetään tietomallipohjainen toteutusprosessi 4D-aikataulusta. 4D-aikatulun toteutusprosessi laadittiin haastatteluissa ja toimintatutkimuksessa ilmenneiden, hyväksi todettujen, toimintatapojen mukaisesti. Tarjouslaskenta- tai suunnitteluvaiheessa urakoitsijan BIM-osasto tekee alustavan 4D-aikataulun työ- tai aluepäällikön laatiman alustavan yleisaikataulun pohjalta. Lähtötiedoksi alustavan 4D-aikataulun tekoon tarvitaan rakennesuunnittelijalta rakennemalli. Työ- tai aluepäällikkö kommentoi alustavaa 4D-aikataulua ja optimoi sitä yhteistyössä BIM-osaston kanssa. Optimointi parantaa rakennettavuutta edistämällä rakennusjärjestystä ja aikataulua. Rakentamisen valmisteluvaiheessa luodaan tuotantomalli. Tällöin urakoitsijan BIM-osasto tai tuotanto- tai työmaainsinööri tekee rakennemallin lohkotuksen Organizer -työkalulla sekä täydentää 4D-aikataulua vastaavan työnjohtajan tai tuotanto- tai työmaainsinöörin laatiman rakennusvaiheaikataulun pohjalta. Tässä vaiheessa projektia 4D-aikataulun tekijällä on oltava käytössä kaikkien suunnittelualojen IFC-mallit sekä aliurakoitsijoiden ja tuotesatoimittajien aikataulut. Täydennetyin 4D-aikataulun laadinnan jälkeen sitä optimoidaan vastaavan työnjohtajan kanssa. BIM-osaston aika ei riitä toteumatiedon keruuseen, joten työmaatoteutusvaiheessa toteumatiedon lisääminen 4D-aikatauluun on tuotanto- tai työmaainsinöörin tehtävä. Aluksi 4D-aikataulun laadinta projektin eri vaiheissa on pääosin BIM-osaston tehtävä, mutta tietomallinnusosaamisen yleistyessä sen laatiminen siirtyy yhä enemmän tuotanto- tai työmaainsinöörin tehtäväksi. Täydennyksiä 4D-aikataulun toteutusprosessiin esitetään liitteessä 4.



Kaavio 3. Tietomallipohjainen toteutusprosessi 4D-aikataulusta.

Kaaviossa 4 esitetään tietomallipohjainen toteutusprosessi 3D-aluesuunnitelmasta. 3D-aluesuunnitelman toteutusprosessi laadittiin niin ikään haastatteluissa ja toimintatutkimuksessa ilmenneiden, hyväksi todettujen, toimintatapojen mukaisesti. Tarjouslaskenta- tai suunnitteluvaiheessa urakoitsijan BIM-osasto tekee alustavan 3D-aluesuunnitelman yhteistyössä työ- tai aluepäällikön kanssa. 3D-aluesuunnitelman lähtötiedoksi tarvitaan arkkitehdiltä alustavat rakennuksen sijainnit, korot ja suunniteltu maanpinta sekä tilaaljalta tai geosuunnittelijalta tieto olemassa olevasta maanpinnasta. Lisäksi 3D-aluesuunnitelmaa varten tarvitaan rakenne- ja talotekniikkasuunnitelmat. Saatavien lähtötietojen kattavuus riippuu urakkamuodosta. Alustavassa 3D-aluesuunnitelmassa suunnitellaan työmaa-alueen käyttö, optimoidaan nosturien sijainnit rakennemallin avulla tehtävän torninosturin kapasiteettitarkastelun avulla sekä sijoitellaan työmaatilat leanperiaatteita käyttäen. Rakentamisen valmisteluvaiheessa urakoitsijan BIM-osasto tai tuotanto- tai työmaainsinööri täydentää 3D-aluesuunnitelmaa vastaavan työnjohtajan tai työ- tai aluepäällikön ohjeistuksen mukaan vastaamaan RATU-ohjeiden tietosisältöä. Tässä vaiheessa tarkistetaan tai täydennetään myös torninosturien sijainnit ja työmaati- lojen sijoittelut. Rakennusvaiheiden edetessä 3D-aluesuunnitelman päivitys on tuotanto- tai työmaainsinöörin vastuulla. 3D-aluesuunnitelma on teknisesti helpompi tehdä kuin 4D-aikataulu, joten sen tekeminen on lähtökohtaisesti tuotanto- tai työmaainsinöörin vastuulla. BIM-osasto tarjoaa tarvittaessa opetusta ja opastusta. Täydennyksiä 3D-aluesuunnitelman toteutusprosessiin esitetään liitteessä 4.



Kaavio 4. Tietomallipohjainen toteutusprosessi 3D-aluesuunnitelmasta.

Tutkimuksessa laadittiin myös toimintatapaohje, jossa opastetaan tietomallin käyttötapoja työmaatuotannossa sekä esitetään 3D-aluesuunnitelman tehtävälista. Toimintatapaohje on esitetty liitteessä 3. Tietomallipohjaisissa käyttötavoissa opastetaan, kuinka Tekla Structures -ohjelmistolla luodaan omia tehtävätyyppejä sekä 4D-aikataulun ja torninosturin kapasiteettitarkastuksien näkymäasetuksia. Käyttötavoissa esitetään lisäyksiä ja tarkennuksia jo olemassa oleviin ohjeisiin. Niissä on huomioitu Tekla:n omilla internetsivuilla esitetyt ohjeet. Tietomallipohjaisten käyttötapojen lisäksi toimintatapaohjeessa esitetään 3D-aluesuunnitelman muistilista, jossa esitetään kaikki siihen liittyvät tietomallinustehtävät.

## 12 Tutkimustulosten arviointi ja kehitysehdotukset

Tutkimus onnistui vastaamaan hyvin tutkimuksen tavoitteisiin ja tutkimuskysymyksiin. Tutkimustulokset ovat hyödynnettävissä kohdeyrityksen muissa rakennusprojekteissa ja ne ovat myös yleistettävissä muihin rakennushankkeisiin. Tietomallipohjainen toteutusprosessin kuvaus auttoi kohdeyritystä tietomallien käyttöönoton organisoinnissa.

Tutkimustuloksien arvioinnissa voidaan nostaa esiin kaksi huomiota:

1. toimintatutkimuksen teorian mukainen suorittaminen ja
2. maarakennusvaiheen sisällyttäminen 4D-aikatauluun.

Toimintatutkimusta ei onnistuttu suorittamaan täysin teorian mukaisella tavalla. Yleisohje ”tutkittavat henkilöt ovat itse tutkijoita” ei toteutunut. Esimerkkikohteen 3 työmaahenkilökuntaa ei saatu sitoutumaan täysin toimintatutkimukseen mukaan. Toimintatutkimukseen sitoutuminen olisi vaatinut työmaahenkilökunnalta suurempaa panostusta toimintatutkimusta kohtaan ja oma-aloitteisuutta.

4D-aikatauluun olisi ollut hyvä sisällyttää myös rakennettavuuden kannalta merkittävä maarakennusvaihe. Työn aloittamisajankohtana maarakennusvaihe oli kuitenkin jo niin pitkällä, että sen aikataulutukseen ei enää ehtinyt mukaan. Jälkikäteen tehtynä maarakennusvaiheen 4D-aikataulun hyötyjä olisi ollut vaikea arvioida ilman konkreettista näyttöä sen vaikutuksista.

Tutkimuksessa esiin nousseita kehitysehdotuksia ovat:

1. älypuhelimien ja tablettien käyttö tuotantovaiheessa,
2. työmaan koulutustarpeet sekä
3. ali- ja sivu-urakoitsijoiden ottaminen mukaan rakennettavuuden arviointiin ja kehittämiseen.

Tulevaisuudessa tietomallia voidaan käyttää käsitetokoneiden, kuten älypuhelimien tai tablettien kautta. Tämä on tulevaisuudessa yksi mahdollisuus laajentaa tietomallin käyttöä työmaalla. Tabletin avulla työntekijöillä olisi mahdollisuus nähdä haluttu lopputulos ja he myös saisivat siitä kaiken tarvittavan tiedon työtehtävänsä suorittamiseen. Tabletilla tietomallia voisi visuaalisesti tarkastella ja siitä voisi tuoda jonkin työvaiheen kannalta tarvittavia 2D-piirustuksia. Tämä vähentäisi työmailta 2D-piirustuksien tarvetta. Tulevaisuudessa tietomallien olisi hyvä sijaita pilvipalvelussa, josta jokainen työmaalla työskentelevä henkilö pystyisi älypuhelimella tai tabletilla käydä katsomassa niitä ja suunnitella niiden avulla rakentamista.

Tutkimuksessa havaittiin, että työmaahenkilökunnan koulutus on avainasemassa tietomallien käyttöönotossa. Ennen kun tietomallin käyttöä voidaan tehostaa, kaikkien on osattava käyttää sitä. Tietomallien käyttöönoton alussa pitää toimenkuvatasoisesti määrittellä, mikä kenenkin osaamisen pitää olla eri projekteissa tietomallin käytön suhteen. Erikoisprojekteissa, joissa on vaatimuksena tietomallin käyttö, työskentelee osaava ja koulutettu henkilökunta. Henkilöstöä pitäisi valita tietomalliohjelmistojen koulutuksiin sen mukaan, ketkä tulisivat tarvitsemaan koulutettua ohjelmistoa työssään päivittäin. Muissa kuin erikoisprojekteissa riittää, että tuotanto- ja projektijohdon osaamistasossa on perustasolla. Perustasolla tietomallien käytön suhteen jokaisen pitäisi osata käyttää jotain ohjelmistoa vähintään tietomallien katseluun. Erityisosaajia, jotka hallitsevat esi-

merkiksi 4D-aikataulutuksen, 3D-aluesuunnitelman ja tietomallipohjaisen määrälaskennan tarvitaan vain rajattu määrä. Nämä erikoisosajat voivat muodostaa esimerkiksi urakoitsijan BIM-osaston, jonka tarkoituksena on toimia erikoiskohteissa ja suurimmilla työmailla sekä auttaa muita työmaita tietomallinnusta koskevissa asioissa.

Esimerkkikohteen 3 työmaalla tietomallit olivat vain pääurakoitsijan saatavilla. Ali- ja sivu-urakoitsijoilla ei ollut mahdollisuutta tarkastella tietomallia muuten kuin urakoitsijakokouksissa, joissa pääurakoitsija esitti tulosteita 4D-aikataulusta ja toteumatiedosta. Myös ali- ja sivu-urakoitsijoilla pitäisi olla tietomallit sekä tarvittavat ohjelmistot ja laitteet käytössä. Jos tuotantoinsinööri ja vastaava työnjohtaja katsoisivat tietomallia ja analysoisivat rakennettavuutta yhdessä ali- ja sivu-urakoitsijoiden kanssa, ongelmat työmaalla vähentyisivät sekä päätöksen teko ja kommunikaatio tehostuisivat. Tietomallin käytöstä hyötyvät erityisesti TATE-urakoitsijat. He voivat tietomallipohjaisen visualisoinnin avulla suunnitella ja asentaa järjestelmiä ja tekniikkaa. Sisärakennusvaiheessa yksi tehokkaaksi todistettu keino on pystyttää työmaalle niin sanottu ”BIM-kioski”. BIM-kioski tarkoittaa sitä, että viedään esimerkiksi kannettava tietokone lähelle TATE-asennuksia, jolloin työmiehet voivat tarkastella tietomallia ja suorittaa sen avulla asennuksia.

## 13 Johtopäätökset ja yhteenveto

Tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää, millä tietomallinnuksen keinoin koulurakennuksen tuotantovaiheen rakennettavuutta voidaan edistää. Rakennettavuutta pyrittiin edistämään poistamalla siihen liittyviä ongelmia sekä etsimällä optimiratkaisuja tuotantoon ja rakentamiseen. Tutkimuksessa löydettiin yhteensä 29 rakennettavuuteen liittyvää ongelmaa. Ongelmiin johtavat syyt luokiteltiin Tauriaisen (2015) mukaan kahdeksaan osa-alueeseen ja niille etsittiin tietomallipohjaisia ratkaisuja, jotka poistavat niitä tai optimoivat toimintaa parantaen rakennettavuutta. Rakennettavuuden ongelmiin johtavat syyt liittyvät tulosten mukaan eniten suunnitteluratkaisuihin sekä tietomalliin, piirustuksiin ja teknisiin dokumentteihin. Tutkimuksessa löydetyt tietomallipohjaiset ratkaisut rakennettavuuden edistämiseksi jaoteltuna kolmeen pääkategoriaan ovat:

### I. Rakentamisen optimointi, hallinta ja valvonta

1. Suunnittelun ohjaus
2. 4D-aikataulu
3. 3D-aluesuunnitelma
4. Väli aikaisten rakenteiden ja -tukien mallintaminen

### II. Tietomallipohjainen työskentely

4. Visualisointi
5. Tiedonhaku
6. Mallien revisioiden vertailu
7. Törmäystarkastelut

### III. Tietomallien luotettavuus

8. Tietomallien oikeellisuus
9. Mallinnuksen tarkkuuden parantaminen
10. Mallien päivitys säännöllisin väliajoin

Tutkimustuloksissa havaittiin yhteys tietomallipohjaisten ratkaisujen ensimmäisen kategorian, rakentamisen optimoinnin, hallin ja valvonnan, sekä rakennusprosessin, asennus- ja rakennustöiden välillä. Rakennusprosessiin sekä asennus- ja rakennustöihin liittyviä rakennettavuuden ongelmiin johtavia syitä voidaan ratkaista ja optimoida tehokkaimmin 4D-aikataululla, 3D-aluesuunnitelmalla sekä suunnittelun ohjauksella. Tutkimuksessa havaittiin myös yhteys tietomallien, piirustuksien ja teknisten dokumenttien sekä tietomallipohjaisen työskentelyn välillä. Tietomalliin, piirustuksiin ja teknisiin dokumentteihin liittyviä rakennettavuuden ongelmiin johtavia syitä voidaan ratkaista ja optimoida tehokkaimmin visualisoinneilla, tiedon haulla, mallien revisioiden vertailulla ja törmäystarkasteluilla.

Tutkimuksen toisena ja kolmantena tavoitteena oli kehittää kohdeyritykselle luonnos tietomallipohjaisesta toteutusprosessista tuotantovaiheessa ja toimintatapaohje. Toimintatapaohje, jossa opastetaan tietomallin käyttötapoja työmaatuoannossa esitetään liitteessä 3. Tietomallipohjainen toteutusprosessi tuotantovaiheessa 4D-aikatulun ja 3D-aluesuunnitelman osalta esitetään kaavioissa 3 ja 4 sekä niihin liittyvät täydennykset liitteessä 4.

## Lähdeluettelo

Bargstädt H.J. 2015. Challenge of BIM for construction site operations. *Procedia Engineering*. Vol. 117. P. 52-59. [Verkkolehti, viitattu 31.12.2015]. ISSN: 18777058

Chelson, D.E. 2010. The Effect of Building Information Modelling on Construction Site Productivity. Doctoral Thesis. University of Maryland. USA.

Cockerham, Graham & Fox, Stephen. 2001. Matching design and production. *The Architects' Journal*. Vol 9. [Verkkolehti, viitattu 02.12.2015]. ISSN: 0003-8466

Dave, B. & Koskela, L. & Kiviniemi, A. 2013. Implementing Lean in construction. Lontoo, Iso-Britannia: CIRIA. 44+29 s. ISBN 9780860177272

Eastman, C. & Teicholz, P. & Sacks, R. & Liston, K. 2011. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. 2nd edition. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons. 626 p. ISBN: 978-0-470-54137-1.

Forbes, L. & Ahmed, S.M. 2011. Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices. CRC Press, New York.

Gray, D.E. 2009. Doing research in the real world. 2nd edition. SAGE Publications Ltd, London, UK. 604 s. ISBN: 978-1-84787-336-1

Griffith, A. & Sidwell, A. C. 1997. Development of constructability concepts, principles and practices. *Engineering Construction and Architectural Management*. Vol. 4, Issue 4. P. 295-310. [Varkkolehti, viitattu 19.10.2015]. ISSN: 1365-232X.

Kaakinen, M. 2012. Toiminnasta yhteistoimintaan – Osallisuuden muodostuminen toiminnassa. Sosiaalipsykologian Pro Gradu –tutkielma. Tampereen yliopisto. Yhteiskunta- ja kulttuuritieteen yksikkö. Tampere. 111 s.

Korpela, J. 2011. Tietomallintamisen hyödyt ja haasteet rakennushankkeen eri osapuolten näkökulmasta. Diplomityö. Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennustekniikan laitos. Espoo. 75 s.

Koskela, L. 2015. BIM and Lean Construction – a Clear Synergy. *BIM Today*. May 2015, P. 58-59. [Verkkolehti, viitattu 19.10.2015]. Saatavissa: <http://planningandbuildingcontrolday.co.uk/bim-today-001-pages-index/>

Krantz, F. 2012. Building Information Modelling in the Production Phase of Civil Works. Master Thesis. KTH. Stockholm. Sweden.

Laakso, P. 2012. Metodiikka rakennettavuuden mittaamiseen ja kehittämiseen tietomallipohjaisessa työskentelyssä. Diplomityö. Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennustekniikan laitos. Espoo. 132 s.

Kymmell, W. 2008. Building information modelling: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations. USA. McGraw-Hill. 2008. s. 270. ISBN: 978-0-07-149453-3.

Lam, P. & Wong, F. & Chan, E. & Shen, L. Y. 2007. A study of measures to improve constructability. International Journal of Quality & Reliability Management. Vol. 24, Issue 6. P. 586-601. [Verkkolehti, viitattu 19.10.2015]. ISSN: 0265-671X.

Lean Enterprise institution 2014. What is Lean – Principles. [Elektroninen lähde, viitattu 20.10.2015]. Saatavissa: <http://www.lean.org/WhatsLean/Principles.cfm>

Merikallio, L. & Haapasalo, H. 2009. Projektituotantjärjestelmän strategiset kehittämiskohteet kiinteistö- ja rakennusalalla. Helsinki: Rakennusteollisuus RT.

Mero, A. 2012. Rakennettavuus ja sen arviointi tietomallilla suunnittelun näkökulmasta. Diplomityö. Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennustekniikan laitos. Espoo. 96 s.

McGraw, Hill. 2010. Green BIM: how building information modeling is Contributing to green design and construction. SmartMarket Report

Mäki, T. & Kerosuo, H. 2015. Site Managers daily work and the uses of building information modelling in construction site management. Construction Management and Economics, Vol. 33:3. S. 163-175. [Verkkolehti, viitattu 19.10.2015]. ISSN: 1466-433X.

O'Connor, R. & Swain, B. 2013. Implementing Lean in construction: Lean tools and techniques - an introduction. CIRIA, London, UK

Penttilä, H. & Nissinen, S. & Niemioja, S. 2006. Tuotemallintaminen arkkitehtisuunnittelussa. Rakennusteollisuus RT ry:n Pro IT -hanke. Tampere: Tammer-Paino. 2006. 96 s. ISBN: 978-951-682-798-1.

RATU C2-0299. 2007. Rakennustyömaan aluesuunnittelu. Rakennusteollisuus RT ja rakennustietosäätiö RTS. 16 s.

Sacks, R. & Koskela, L. & Dave, B. & Owen, R. 2010. Interaction of lean and building information modeling in construction. Journal of construction engineering and management. Vol. 136:9. S. 968-980. [Verkkolehti, viitattu 20.10.2015]. ISSN: 1943-7862.

Solibri. Solibri Model Checker. [Elektroninen lähde, viitattu 8.4.2010] [<http://www.Solibri.com/Solibri-model-checker.html>]

Srinath, S. Kumar & Jack C.P. Cheng. 2015. A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites. Automation in Construction. Vol 59. S. 24–37. [Verkkolehti, viitattu 19.10.2015].

Sulankivi, K. & Tauriainen M. & Kiviniemi M. 2014. Safety aspect in constructability analysis with BIM. Proceedings of CIB W099 International Conference Achieving Sus-



tainable Construction Health and Safety: 586 – 596. Lund University, Sweden, June 2014.

Sulankivi, K. & Mäkelä, T. & Kiviniemi, M. Tietomalli ja työmaan turvallisuus. Tutkimusraportti, VTT. 2009. [Verkkodokumentti, viitattu 19.10.2015]. Saatavissa: [http://www.vtt.fi/files/projects/turvabim/turvabim\\_loppuraportti\\_090312.pdf](http://www.vtt.fi/files/projects/turvabim/turvabim_loppuraportti_090312.pdf)

Tauriainen, M. 2015. The content of constructability. Preliminaries for co-operational development of constructability in Finland. Lisensiaatityö. Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennustekniikan laitos. Espoo. 80 s.

Valjus, J. & Varis, M. & Penttilä, H. & Nissinen, S. 2007. Tuotemallintaminen rakennussuunnittelussa. Rakennusteollisuus RT ry:n Pro IT -hanke. Tampere: Tammer-Paino. 64 s. ISBN: 978-951-682-799-8.

Virolainen, S. 2009. Mallitarkastajan viides sukupolvi - Solibri Model Checker. Archi-Mad. 2/2009. s. 10-12. [Verkkolehti, viitattu 19.10.2011]. Saatavissa: <http://www.Solibri.fi/>

Yleiset tietomallivaatimukset 2012, versio 1.0. Osa 1. Yleinen osuus. Helsinki: Rakennustieto Oy. 21 s.

Yleiset tietomallivaatimukset 2012, versio 1.0. Osa 8. Havainnollistaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy. 14 s.

Yleiset tietomallivaatimukset 2012, versio 1.0. Osa 11. Tietomallipohjaisen projektin johtaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy. 29 s.

Yleiset tietomallivaatimukset 2012, versio 1.0. Osa 13. Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa. Helsinki: Rakennustieto Oy. 22 s.

Zhou, Y. & Ding, L. & Wang, X. & Truijens, M. & Lou, H. 2014. Applicability of 4D modeling for resource allocation in mega liquefied natural gas plant construction. Automation in construction. Vol. 50, P. 50-63. [Verkkolehti, viitattu 31.12.2015] ISSN: 09265805

Zimina, D. & Ballard, G. & Pasquire, C. 2012. Target value design: using collaboration and a lean approach to reduce construction cost. Construction Management and Economics. 30 (5). 383-398.

## Liite 1: Tutkimukseen haastatellut henkilöt

### Esimerkkikohde 1

- Jyrki Tuohimetsä, työpäällikkö 20.10.2015
- Antti Isotalo, tuotantoinsinööri/apulaistyöpäällikkö 29.10.2015
- Mika Sairanen, sisäpuolen vastaava mestari 30.10.2015

### Esimerkkikohde 2

- Tomi Varonen, hankintainsinööri 12.10.2015

### Esimerkkikohde 3

- Ismo Koivusalo, työpäällikkö 05.11.2015
- Seppo Ung, vastaava mestari 12.10.2015
- Tapio Jokinen, tuotantoinsinööri 03.12.2015

## Liite 2: Haastatteluissa esitetyt kysymykset

### Esimerkkikohteet 1 ja 2

1. Millainen työtausta ja koulutus sinulla on? Mikä oli sinun roolisi hankkeessa?

#### **Rakennettavuus:**

2. Mitä ymmärrät käsitteellä rakennettavuus? Mitkä asiat ovat rakennettavuuden kannalta olennaisimpia tuotantovaiheessa?

3. Millaisia haasteita projektin tuotantovaiheessa ilmeni rakennettavuuden kannalta? Kuinka ratkaisitte ongelmat?

#### **Tietomallinnus:**

4. Oliko sinulla aikaisempaa kokemusta tietomallin käytöstä ennen projektia?

5. Mitkä olivat merkittävimmät hyödyt/haitat tietomallin käytössä työmaalla?

6. Miten tietomalleja hyödynnettiin työmaalla? Mietittiinkö mallilla työnaikaista tuentaa, aluesuunnitelmaa, työturvallisuutta, asennusjärjestystä, aikataulua tai muita työmaan järjestelyjä?

7. Oliko käytetyssä tietomallissa joitakin puutteita työmaan kannalta? Jos oli niin mitä? Onko jotain asioita, joita toivoisit mallin nykyisen sisällön lisäksi sisältävän?

8. Hyödynnettiinkö tietomallia suunnittelukokouksissa yms.? Millä tavalla?

9. Missä malli sijaitsi ja oliko se helposti saatavilla? Verkkolevy/pilvi/PC

10. Kuinka tietomallin käyttöä voitaisiin mielestäsi parantaa työmaalla?

### **Esimerkkikohde 3**

1. Millainen työtausta ja koulutus sinulla on? Mikä on roolisi nykyisessä hankkeessa?

#### **Rakennettavuus:**

2. Mitä ymmärrät käsitteellä rakennettavuus?

3. Mitkä ovat rakennettavuuden kannalta vaikeita kohtia nykyisessä hankkeessa? Kuinka olette ratkaisseet tai aiotte ratkaista ongelmat?

#### **Tietomallinnus:**

4. Oliko sinulla aikaisempaa kokemusta tietomallin käytöstä ennen nykyistä projektia?

5. Ovatko kohteeseen tehdyt tietomallipohjaiset visualisoinnit parantaneet kohteen rakennettavuutta? Jos ovat niin miten?

6. Mitä asioita tai työvaiheita tulisi mielestäsi nykyisten asioiden lisäksi mallilla visualisoida? Mitä hyötyjä uskoisit niillä saavutettavan?

7. Mitä informaatiota toivoisit tietomallin sisältävän oman työtehtäväsi kannalta?

8. Kuinka tietomallin käyttöä voitaisiin mielestäsi parantaa työmaalla?

9. Miten tietomallin käyttö organisoidaan työmaalla? Kuka voisi toimia mallin pääkäyttäjänä?

- Mikä rooli olisi vastaavalla mestarilla, työpäälliköllä, tuotantoinsinöörillä, IT-osastolla?

10. Millaisia tehtäviä näkisit mahdollisen tietomallikoordinaattorin tehtävä sisältävän?

## Liite 3: Toimintatapaohje

Tässä ohjeessa opastetaan tietomallin käyttötapoja työmaatuotannossa sekä esitetään 3D-aluesuunnitelman tehtävälista. Tietomallipohjaisissa käyttötavoissa opastetaan, kuinka Tekla Structures -ohjelmistolla luodaan omia tehtävätyyppejä sekä 4D-aikataulun ja torninosturin kapasiteettitarkastuksien näkymäasetuksia. Lisäksi toimintatapaohjeessa esitetään 3D-aluesuunnitelman muistilista, jossa kuvataan kaikki siihen liittyvät tietomallinustehtävät.

### 1 4D-aikataulun teko ja sen visualisointi

4D-aikataulun laadintaa varten esimerkkikohteen 3 runkoaikataulu tuotiin Task Manager -työkaluun tehtävien aloitus- ja lopetuspäivämäärän mukaan. Tällöin työkalun sisältämiä, valmiita menekkipohjaisia tehtävätyyppejä ei voitu käyttää, koska ne olisivat laskeneet tehtävien lopetuspäivämääräksi jonkin muun ajankohdan kuin runkoaikataulussa oli määritelty. Tehtävätyypit piti määrittellä niin, että ne eivät sisällä menekkitietoa. 4D-aikataulun laadinta ja tehtävätyyppien luonti:

1. Lisää tehtävä Task Manager – työkaluun.
2. Luo menekkitietoa sisältämätön tehtävätyyppi ja aseta se lisätylle tehtävälle. Tutkimuksessa luodut tehtävätyypit olivat:

MUOTITUS = Paikallavalurakenteiden muottityöt

RAUDOITUS = Paikallavalurakenteiden raudoitustyöt

TUPLAUS = Paikallavaluseinien toisen puolen muottityöt

VALU = Paikallavalurakenteiden valutyöt

ASENNUS = Elementtien asennustyöt

4. Määritä tehtävälle aloitus- ja lopetusajankohta
5. Linkitä tehtävä tietomallin objekteihin.

4D-aikataulun laadinnan jälkeen tehtävätyypit on määriteltävä objektiryhmiksi ja niille on luotava näkymäasetukset **Object Representation** –valikosta. Päiväkohtaisen 4D-aikataulun objektiryhmien ja näkymäasetuksien luonti:

1. Luo jokaiselle edellä mainitulle tehtävätyypille objektiryhmä ajan funktiona niin, että tehtävän suunniteltu aloitusajankohta on ennen tarkasteltavaa päivämäärää ja suunniteltu lopetusajankohta on tarkasteltavan päivämäärän jälkeen.
2. Luo valmistuneille tehtäville objektiryhmä niin, että objektiryhmä käsittää kaikki työt, joiden suunniteltu lopetusajankohta on ennen tarkasteltavaa päivämäärää.
3. Määritä myös objektiryhmä, joka sisältää kaikki tietomallin objektit. Objektiryhmän avulla voidaan myöhemmin näkymäasetuksissa piilottaa näkyvistä kaikki muut paitsi työn alla olevat ja valmistuneet tehtävät. Tämän ansiosta aloittamattomille tehtäville ei tarvitse määrittellä erikseen omaa objektiryhmää.
4. Määritä näkymäasetuksissa objektiryhmille halutut väri- ja läpinäkyvyysasetukset. Objektiryhmien järjestys vaikuttaa olennaisesti siihen, kuinka ohjelma ymmärtää ja suorittaa objektiryhmien näkymäasetuksia. Tekla Structures -ohjelmisto toteuttaa listassa ylimpinä olevien objektiryhmien näkymäasetukset ensisijaisina ja alemmat toissijaisina.

5. Kun objektiryhmät ja näkymäasetukset on määritelty, päiväkohtaista 4D-aikataulua visualisoidaan **Project Status Visualization** -työkalua käyttäen. Työkalulla voidaan tarkastella aikataulua tietyinä päivinä tai simuloida rakentamista etenemällä aikataulussa päivä tai useampi päivä kerrallaan.

Viikkokohtaisessa 4D-aikataulussa määritetään objektiryhmät tarkasteltavana päivänä ja sitä seuraavina viikonpäivinä tehtäville töille. Viikkokohtaisen 4D-aikataulun objektiryhmien ja näkymäasetuksien luonti:

1. Luo objektiryhmät tehtävätyyppien sijaan tiettyinä päivinä tehtävien töiden perusteella. Kaikki tehtävätyypit asetetaan samaan objektiryhmään tietyn ajan funktiona niin, että tehtävien suunniteltu aloitusajankohta on ennen tarkasteltavaa päivämäärää ja suunniteltu lopetusajankohta on tarkasteltavan päivämäärän jälkeen. Tarkasteltavaa päivämäärää voidaan muuttaa käsittämään 1 päivä tarkasteltavan päivän jälkeen, 2 päivää tarkasteltavan päivän jälkeen jne.
2. Määritä myös valmistuneille tehtäville sekä kaikille tietomallin objekteille objektiryhmät päiväkohtaisen aikataulun tapaan.
3. Luo objektiryhmille (eli viikon eri päiville) halutut näkymäasetukset.
4. Kun objektiryhmät ja näkymäasetukset on määritelty, viikkokohtaista 4D-aikataulua voidaan visualisoida **Project Status Visualization** -työkalua käyttäen. Visualisointi on hyvä aloittaa maanantaista ja asettaa asetukset niin, että aikataulussa eteneminen tapahtuu aina 7 päivää kerrallaan kerralla.

Toteumatiedon objektiryhmien määrittelyssä käytetään hyväksi Completeness – ominaisuutta, minkä **Task Manger** työkalu laskee automaattisesti siihen kirjatun toteumatiedon perusteella. Toteumatiedon objektiryhmien ja näkymäasetuksien luonti:

1. Luo objektiryhmät eri vaiheissa oleville tehtäville. Tutkimuksessa määritetyt objektiryhmät olivat: edellä aikataulua olevat tehtävät, toteutuneet tehtävät, työn alla olevat tehtävät ja jäljessä aikataulua olevat tehtävät (aikataulun mukaan valmiit tehtävät). Edellä aikataulua olevat ja toteutuneet tehtävät määriteltiin **Task Manger** työkalun Completeness – ominaisuuden avulla.
2. Määritä objektiryhmille halutut näkymäasetukset. Tutkimuksessa näkymäasetuksissa käytettiin hyväksi objektiryhmien järjestyksen vaikutusta niiden näkyvyyteen. Kun aikataulun mukaan valmiiden tehtävien objektiryhmä sijoitettiin toteutuneiden tehtävien ja työn alla olevien tehtävien objektiryhmien alapuolelle, sen avulla näkymäasetuksissa voidaan esittää aikataulua jäljessä olevat tehtävät.
3. Kun objektiryhmät ja näkymäasetukset on määritelty, toteumatietoa voidaan visualisoida **Project Status Visualization** -työkalua käyttäen.

## 2 Torninosturin nostokapasiteettitarkastelu

Torninosturin nostokapasiteetin tarkastelu voidaan tehdä **Object Representation** -valikossa käyttämällä Tekla Structures -ohjelmiston suodatintyökaluja. Torninosturin nostokapasiteetin tarkastelun objektiryhmien ja näkymäasetuksien luonti:

1. Määrittele elementeille painokategoriat torninosturin kapasiteetikäyrän avulla ja luo niille objektiryhmät. Kuvassa A1 esitetään esimerkkikohteessa 3 käytetyn torninosturin kapasiteetikäyrä. Painokategoriat voidaan laatia esimerkiksi 1000kg välein. Objektiryhmät määritellään koskemaan vain elementtejä suodattamalla ne kokoonpanotyyppien (assembly type) mukaan:

Assembly type: 0 = elementtirakenne

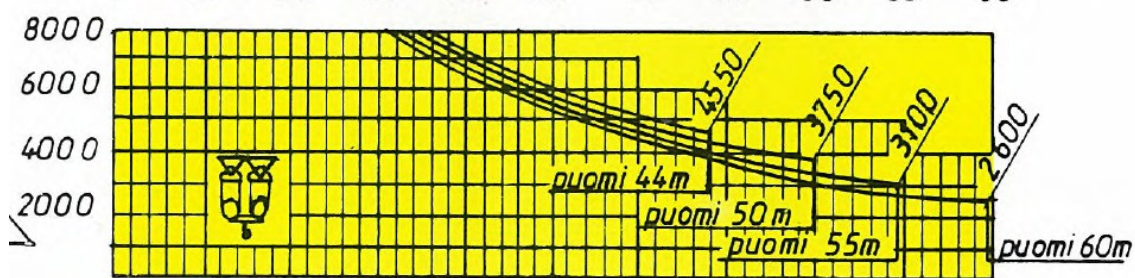
Assembly type: 1 = paikallavalurakenne

Assembly type: 2 = teräsrakenne

Assembly type: 3 = puurakenne

Assembly type: 6 = sekarakenne

2. Mallinna painokategorioita vastaavat maksimiulottumat lieriöobjekteina tietomalliin. Lieriöobjektit häiritsevät tietomallin muuta käyttöä, joten ne on hyvä mallintaa omalle vaiheelleen (phase), jolloin ne saa helposti asetettua pois näkyvistä. Tutkimuksessa lieriöobjektit mallinnettiin vaiheelle 0.



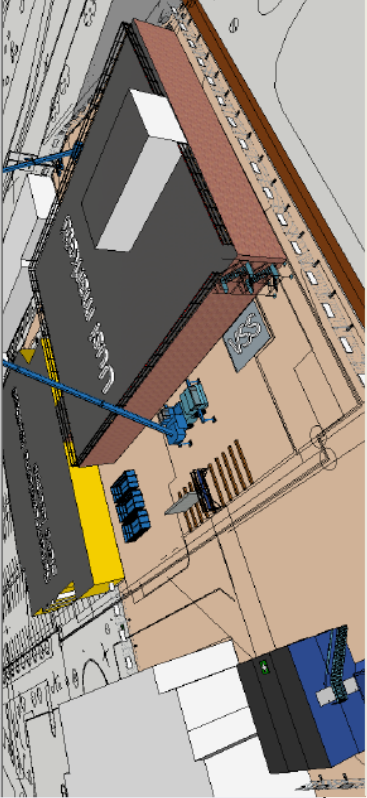
Kuva A1. Esimerkkikohteen torninosturin kapasiteetikäyrä.

3. Luo objektiryhmät jokaista painokategoriaa vastaavalle mallinnetulle maksimiulottumaa kuvaavalle lieriöobjektille. Lieriöobjektit on hyvä nimetä mallintamisen yhteydessä selkeästi. Esimerkiksi lieriö, joka vastaa 8000kg maksimiulottumaa nimettiin "max8000".
4. Luo vielä objektiryhmä, joka suodattaa kerroksia. Tämän ryhmän avulla voidaan tarkastella elementtien painoja tietyissä kerroksissa.
5. Määritä objektiryhmille halutut näkymäasetukset. Painokategorioille ja niitä vastaaville maksimiulottumille on määritettävä samat väri- ja läpinäkyvyysasetukset. Torninosturin nostokapasiteetin tarkastelussa on olennaista esittää vain elementit, joten kaikille muille rakenteille, kuten paikallavalurakenteille asetettiin läpinäkyvyysasetus 90%.

Jos halutaan tarkastella vain elementtien painoja, voidaan torninosturin kapasiteettitarkastelu, maksimiulottumien mallintaminen ja vastaavien objektiryhmien määrittely jättää tekemättä. Tällöin riittää painokategorioiden määrittely objektiryhmiksi ja niiden näkymäasetuksien luonti.

### 3 3D-aluesuunnitelman mallinnustehtävät

Kuvassa A2 esitetään 3D-aluesuunnitelman muistilista, jossa kuvataan kaikki siihen liittyvät tietomallinnustehtävät.

BIM, toimenpiteitä aiheittain (☑ = vietävissä aluesuunnittelumalliin / samaan pohjaan)		
<p><b>Turvallisuus</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aluesuunnittelu ☑</li> <li>Nostopaikkojen ja järjestyksen suunnittelu ☑</li> <li>Kulkureittien suunnittelu ☑</li> <li>EA-pisteet, kopit, aitaukset, kokoontumispaikat jne. ☑</li> </ul> <p>Turvallisuussuunnittelu suunnittelu- ja tuotannon suunnitteluvaiheessa</p> <p>Putoamissuojaukset</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Vesikatto ☑</li> <li>Holvit ☑</li> <li>Portaat</li> <li>Aukot ☑</li> <li>Kaidemäärät ja hinnat ☑</li> </ul> <p>Sähköistysuunnittelu ☑</p> <p>Visuaaliset tulosteet esim. perehdytykseen, alueella liikkuville, tiedotteisiin ja työntekijöille. Tulostus alueelta, kerroksesta tai lohkoista ☑</p>	<p><b>Pölynhallinta</b></p> <p>Lohkojako, alipaineistettavien alueiden ja alipaineistuksen suunnittelu ☑</p> <p>Keskuspölynimurin sijainnin suunnittelu ☑</p> <p>P1-vaatimuksiin tähtävien toimenpiteiden suunnittelu lohkoittain (Mietittävä vielä)</p>	<p><b>Kosteudenhallinta</b></p> <p>Sääsuojien suunnittelu, sijoittuminen ja tarkastelu ☑</p> <p>Logistinen suunnittelu ja varastointi ☑</p> <p>Kosteudenmittausuunnitelma ja dokumentointi tiloittain (Mietittävä vielä)</p> <p>Työnäikaisen vedenjakelun ja vesipisteiden suunnittelu ☑</p> <p>Työnäikaisen lämmityksen ja ilmanvaihdon suunnittelu</p>
		
<p>Esim. ifc tai dwg-pohjat SketchUpiin</p>		

Kuva A2. 3D-aluesuunnitelman mallinnustehtävien muistilista.



# Liite 4: Toteutusprosessitaulukot (A3)

Taulukko A1. 4D-aikataulun toteutusprosessitaulukko.

4D-aikataulu				
Alustava 4D-aikataulu tarjouslaskentavaiheessa urakkakilpailu	Alustava 4D-aikataulu suunnitteluvaiheessa SR-urakka ja omajohtoinen tuotanto	Täydennetty 4D-aikataulu rakentamisen valmisteluvaiheessa SR-urakka, urakkakilpailu ja omajohtoinen tuotanto	Toteumatielo työmaatoteutusvaiheessa SR-urakka, urakkakilpailu ja omakohtainen tuotanto	
<p><u>Tekijät:</u> Työ-/projektipaaliikkö BIM-osasto</p> <p><u>Yhteisö:</u> RAK-malli (natiiv/IFC) ARK-malli (IFC)</p> <p><u>Toimintatapa:</u> 1. Työ-/projektipaaliikkö tekee yleisaikataulun VC:lla (2D) 2. BIM-osasto tekee alustavan 4D-aikataulun yleisaikataulun pohjalta VC:ssä tai jatkaa työtä CM:ssä (RAK-malli) 3. Työ-/projektipaaliikkö kommentoi 4D-aikataulua ja esittää mahdollisia muutosehdotuksia tuotannon tehostamiseksi 4. BIM-osasto täydentää 4D-aikataulua kommenttien perusteella ja tulostaa tarvittaessa 4D-aikataulusta paperitulosheet VC:lla tai PV:lla</p> <p><u>Säännöt:</u> RATU aikataulumenekkiteidot (Yrityskohittaiset menekkiteidot)</p> <p><u>Välitteet:</u> Tekla Structures Construction Modelling (CM) Vico Control Schedule Planner (VC) Tekla Structures Project Viewer (PV) Jaeut Tekla Structures ja Vico Control -mallit</p>	<p><u>Tekijät:</u> Työ-/projektipaaliikkö BIM-osasto</p> <p><u>Yhteisö:</u> RAK-malli (natiiv/IFC) ARK-malli (IFC)</p> <p><u>Toimintatapa:</u> 1. Työ-/projektipaaliikkö tekee yleisaikataulun VC:lla (2D) 2. BIM-osasto tekee alustavan 4D-aikataulun yleisaikataulun pohjalta VC:ssä tai jatkaa työtä CM:ssä (RAK-malli) 3. Työ-/projektipaaliikkö kommentoi 4D-aikataulua ja esittää mahdollisia muutosehdotuksia tuotannon tehostamiseksi 4. BIM-osasto täydentää 4D-aikataulua kommenttien perusteella ja tulostaa tarvittaessa 4D-aikataulusta paperitulosheet VC:lla tai PV:lla</p> <p><u>Säännöt:</u> RATU aikataulumenekkiteidot (Yrityskohittaiset menekkiteidot)</p> <p><u>Välitteet:</u> Tekla Structures Construction Modelling (CM) Vico Control Schedule Planner (VC) Tekla Structures Project Viewer (PV) Jaeut Tekla Structures ja Vico Control -mallit</p>	<p><u>Tekijät:</u> Vastaava työnjohtaja ja/tai tuotanto-/yömaainsinööri Aliurakoitsijan työnjohtaja (Tuoteosatoimittaja) BIM-osasto</p> <p><u>Yhteisö:</u> ARK-malli (IFC) TATE-malli (IFC) RAK-malli (natiiv)</p> <p>Aliurakoitsijoiden aikataulut Tuoteosatoimittajan aikataulu</p> <p><u>Toimintatapa:</u> 1. Vastaava työnjohtaja ja/tai tuotanto-/yömaainsinööri tekee rakennusvaihe aikataulun VC:lla yleisaikataulun pohjalta 2. BIM-osasto tekee RAK-mallin lohkotuksen Organizer-työkalulla, ja muut tarvittavat täydennykset -&gt; tuotantomalli 3. BIM-osasto täydentää 4D-aikataulua tuotantomallin CM ohjeistimistolla hankkeen rakennusvaihe aikataulun mukaan 4. Vastaava työnjohtaja ja/tai tuotanto-/yömaainsinööri kommentoi 4D-aikataulua ja esittää mahdollisia muutosehdotuksia tuotannon tehostamiseksi 5. BIM-osasto tai tuotanto-/yömaainsinööri täydentää tuotantomallin 4D-aikataulua kommenttien perusteella ja tulostaa tarvittaessa 4D-aikataulusta paperitulosheet Vastaava työnjohtaja ja tuotanto-/yömaainsinööri tarkastelee aikataulua PV:lla</p> <p><u>Säännöt:</u> RATU aikataulumenekkiteidot Yrityskohittaiset menekkiteidot</p> <p><u>Välitteet:</u> Tekla Structures Construction Modelling (CM) Vico Control Schedule Planner (VC) Tekla Structures Project Viewer (PV) Jaeut Tekla Structures ja Vico Control -mallit</p>	<p><u>Tekijät:</u> Vastaava työnjohtaja ja tuotanto-/yömaainsinööri Aliurakoitsijan työnjohtaja (Tuoteosatoimittaja) BIM-osasto</p> <p><u>Yhteisö:</u> Aliurakoitsijoilta toteumatietoa Tuoteosatoimittajalta toteumatietoa</p> <p><u>Toimintatapa:</u> 1. Tuotanto-/yömaainsinööri (tai BIM-osasto) kirjaa toteumatietoa tuotantomallin PV:lla 2. Toteumatiedon visualisointi tuotantomallin avulla ja/tai tiedon takaisin VC:hen, jossa toteumatiedon estys pakka-aika kaaviossa. Vastaava työnjohtaja ja tuotanto-/yömaainsinööri tarkastelee toteumatietoa PV:lla ja/tai VC:lla</p> <p><u>Säännöt:</u></p> <p><u>Välitteet:</u> Tekla Structures Construction Modelling (CM) Vico Control Schedule Planner (VC) Tekla Structures Project Viewer (PV) Jaeut Tekla Structures ja Vico Control -mallit</p>	

Taulukko A2. 3D-alue suunnitelman toteutusprosessitaulukko.

3D-alue suunnitelma			
Alustava alue suunnitelma Tarjouslaskentavaiheessa	Alustava alue suunnitelma suunnitteluvaiheessa	Alustava alue suunnitelma suunnitteluvaiheessa	Täydennetty alue suunnitelma rakentamisen valmisteluvaiheessa
<p><b>SR-urakka</b></p> <p><b>Tekijät:</b> BIM-osasto Työ-/projektipäällikkö</p> <p><b>Yhteisö:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Arkkitehdiltä ARK-malli (IFC), Alustavat rakennuksen sijainnit, korot ja suunniteltu maanpinta</li> <li>- RAK ja TATE 2D-tuonnokset</li> <li>- Tilaajalta/geosuunnittelijalta olemassa oleva maanpinta (pisteipvi/DWG)</li> </ul> <p><b>Toimintatapa:</b> BIM-osasto tekee alue suunnitelman Revit/SketchUp ohjelmistolla hankkeen lähtötietojen perusteella</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Työmaatioiden sijoittelu Lean-periaatteita käyttäen</li> </ul> <p>Konsultointi työ-/projektipäällikön kanssa, joka tarkastelee mallia SMC:lla</p> <p><b>Säännöt:</b> Alue suunnitelmassa noudatettava RATU C2-0299 ohjeita</p> <p><b>Välineet:</b> SketchUp tai Revit Solibri Model Checker (SMC)</p>	<p><b>Urakkakilpailu</b></p> <p><b>Tekijät:</b> BIM-osasto Työ-/projektipäällikkö</p> <p><b>Yhteisö:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Arkkitehdiltä ARK-malli (IFC), Alustavat rakennuksen sijainnit, korot ja suunniteltu maanpinta</li> <li>- RAK (natiivi/IFC) ja TATE (IFC) mallit</li> <li>- Tilaajalta/geosuunnittelijalta olemassa oleva maanpinta (pisteipvi/DWG)</li> </ul> <p><b>Toimintatapa:</b> BIM-osasto tekee alue suunnitelman Revit/SketchUp ohjelmistolla hankkeen lähtötietojen perusteella</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimoidaan nosturien sijainnit rakennemallim avulla tehtävän torninosturin kapasiteettitarkastelun avulla (CM)</li> <li>- Työmaatioiden sijoittelu Lean-periaatteita käyttäen</li> </ul> <p>Konsultointi työ-/projektipäällikön kanssa, joka tarkastelee mallia SMC:lla</p> <p><b>Säännöt:</b> Alue suunnitelmassa noudatettava RATU C2-0299 ohjeita</p> <p><b>Välineet:</b> SketchUp tai Revit Solibri Model Checker (SMC) Tekla Structures Construction Modelling (CM)</p>	<p><b>Oma johtoinen tuotanto</b></p> <p><b>Tekijät:</b> BIM-osasto Työ-/projektipäällikkö</p> <p><b>Yhteisö:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Arkkitehdiltä ARK-malli (IFC), Alustavat rakennuksen sijainnit, korot ja suunniteltu maanpinta</li> <li>- RAK (natiivi/IFC)</li> <li>- TATE 2D-tuonnokset</li> <li>- Geosuunnittelijalta olemassa oleva maanpinta (pisteipvi/DWG)</li> </ul> <p><b>Toimintatapa:</b> BIM-osasto tekee alue suunnitelman Revit/SketchUp ohjelmistolla hankkeen lähtötietojen perusteella</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimoidaan nosturien sijainnit rakennemallim avulla tehtävän torninosturin kapasiteettitarkastelun avulla (CM)</li> <li>- Työmaatioiden sijoittelu Lean-periaatteita käyttäen</li> </ul> <p>Konsultointi työ-/projektipäällikön kanssa, joka tarkastelee mallia SMC:lla</p> <p><b>Säännöt:</b> Alue suunnitelmassa noudatettava RATU C2-0299 ohjeita</p> <p><b>Välineet:</b> SketchUp tai Revit Solibri Model Checker (SMC) Tekla Structures Construction Modelling (CM)</p>	<p><b>SR-urakka, urakkakilpailu ja omakohtainen tuotanto</b></p> <p><b>Tekijät:</b> BIM-osasto Vastaava työnjohtaja ja tuotanto-/yömaainsinööri</p> <p><b>Yhteisö:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Arkkitehdiltä ARK-malli (IFC), Lopulliset rakennuksen sijainnit, korot ja suunniteltu maanpinta</li> <li>- RAK (natiivi/IFC) ja TATE (IFC) mallit</li> <li>- Geosuunnittelijalta olemassa oleva maanpinta (pisteipvi/DWG/IFC)</li> </ul> <p><b>Toimintatapa:</b> BIM-osasto ja/tai tuotanto-/yömaainsinööri täydentää alue suunnitelmaa Revit/SketchUp ohjelmistolla vastaamaan RATU C2-0299 tietosisältöä</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tarkastetaan/työdemetään nosturien sijainnit rakennemallim avulla tehtävän torninosturin kapasiteettitarkastelun avulla (CM)</li> <li>- Työmaatioiden sijoittelu tarkastetaan/työdemetään Lean-periaatteita käyttäen</li> <li>- Suunnitellaan (ja mallinetaan) kulkuväylät ja kääntövyöhykkeet yms.</li> <li>- Tuotanto-/yömaainsinööri päivittää alue suunnitelmaa rakennusvaiheiden mukaan</li> </ul> <p>Konsultointi työjohtajan ja vastaavan työnjohtajan kanssa Mallin katselu ja tarkastus SMC:lla ja/tai TF3D:lla</p> <p><b>Säännöt:</b> Alue suunnitelmissa noudatettava RATU C2-0299 ohjeita</p> <p><b>Välineet:</b> SketchUp tai Revit Solibri Model Checker (SMC) Tekla Structures Construction Modelling (CM) Tekla Field 3D (TF3D)</p>