



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ESA PURANEN  
RAKENNUSHANKKEEN AIKATAULUN VISUALISOINTI  
TARJOUSVAIHEESSA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Mikko Malaska  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Talouden ja rakentamisen tiedekunta-  
neuvoston kokouksessa 9. maaliskuuta 2016

## TIIVISTELMÄ

**ESA PURANEN:** Rakennushankkeen aikataulun visualisointi tarjousvaiheessa  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Diplomityö, 80 sivua, 4 liitesivua  
Toukokuu 2016  
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Rakennustuotanto  
Tarkastaja: professori Mikko Malaska

Avainsanat: 4D-malli, Aikataulun visualisointi, Tietomallipohjainen aikatauluttaminen, Aikataulusuunnittelu, Tietomallintaminen, BIM, Tarjousvaihe

Rakennusalan tuottavuuden kehitys on ollut heikkoa jo pitkään. Kehitystä hidastava tekijä on rakennusalalla vallitseva käytäntö suosia vanhoja toimintatapoja. Toisaalta tällä hetkellä ei löydy tai ei osata käyttää tarpeeksi tehokkaita menetelmiä tuottavuuden kehittämiseksi. Kasvava digitalisaatio ja rakentamisen tietomallintamisen yleistymisen tarjoaa paljon mahdollisuuksia rakennusalan tuottavuuden parantamiseksi. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tietomalliavusteisen aikataulun visualisoinnin etuja, ja miten visualisointi tulisi tarjousvaiheessa toteuttaa. Kohdeyrityksessä on jo toteutettu tietomalliavusteista aikataulun visualisointia rakentamisvaiheessa usein runkovaiheeseen liittyen. Tämä tutkimus käsittelee tarjousvaiheen aikataulun visualisointia ja sen mahdollisuuksia.

Työ jakautuu kolmeen osaan. Kirjallisuustutkimus esittelee aikataulusuunnittelun yleisiä käytäntöjä hankkeen eri vaiheissa ja tietomallintamisen mahdollisuuksia edeten tietomallipohjaisen aikataulutuksen teorioihin ja menetelmiin. Haastattelututkimuksella selvittää tarjousvaiheessa tehtävän aikataulun visualisoinnin potentiaalia, kannattavaa tarkkuustasoa ja visualisoinnin toteutustapoja. Tutkimuksessa haastateltiin viittä kohdeyrityksen sisäistä ja yhtä ulkopuolista asiantuntijaa. Ohjelmistotestauksessa selvitettiin kahden tietomalliohjelmiston ominaisuuksia ja käyttökelpoisuutta visualisoinnissa haastatteluissa selvinneiden näkökulmien perusteella.

Haastatteluiden mukaan aikataulun visualisoinnilla koettiin olevan potentiaalia tarjous-toiminnan tehostamiseksi, erityisesti runkovaiheen visualisoinnilla. Visualisointi tukee tuotannonsuunnittelua ja havainnollisuudellaan tilaajien ja asiakkaiden päätöksentekoa. Tarjousvaiheessa visualisoinnin tarkkuustasoksi riittäisi kerros- tai lohkokohtainen tarkkuus, eikä visualisointia kannata viedä elementtikohtaiselle asennusjärjestystasolle.

Tutkimus osoitti markkinoilla olevan lupaavia ohjelmistoja aikataulun visualisointiin. Molemmilla testattavilla ohjelmilla pystyttiin tekemään haastattelututkimuksen mukainen visualisointi. Kumpikaan ohjelmistoista ei ollut selkeästi toistaan parempi vaan molemmilla on omat vahvuutensa ja käyttöalueensa, mutta visualisointi ei kuitenkaan onnistunut täysin ongelmitta. Kohdeyrityksen käytössä oleva ohjelmisto oli puutteellinen yhdistelmämallien ja IFC-tiedostojen käsittelyyn, ja uudessa ohjelmassa aikataulun tuominen ei toiminut yksinkertaisesti. Yleiseksi ongelmaksi tarjousvaiheen visualisoinnissa ilmeni tietomallien laadun puutteellisuus. Kohdeyrityksen tulisi ensin pyrkiä edistämään mallintamisen laatua mallintamisesta kiinnostuneiden henkilöiden avulla, jotta voitaisiin hyödyntää paremmin tietomallipohjaista aikataulusuunnittelua ja ottaa käyttöön vaativampia ohjelmistoja.

## ABSTRACT

**ESA PURANEN:** Schedule Visualization of Construction Project in Tender Phase  
Tampere University of Technology  
Master of Science Thesis, 80 pages, 4 Appendix pages  
May 2016  
Master's Degree Programme in Civil Engineering  
Major: Construction production  
Examiner: Professor Mikko Malaska

**Keywords:** 4D-model, Schedule Visualization, BIM-Based Scheduling, Schedule Planning, Building Information Modeling, BIM, Tender Phase

Development of productivity has been low for a long time in the construction industry. Prevalent conventions to use old procedures and also the lack of skills or methods to improve productivity effectively enough are inhibitory factors for the development. Digitalization and generalization of building information modeling offers a lot of possibilities to enhance the low productiveness of the construction industry. This research examines advantages of BIM-based schedule visualization and how it should be done in tender phase. Target enterprise has already successfully used building information modeling for scheduling in construction phase and frameworks. Therefore this research should focus to schedule visualization of in tender phase.

The thesis is divided to three parts. The literature review presents general practices in the schedule planning in different phases and the possibilities of building information modeling proceeding to BIM-based scheduling theories and methods. Interviews aim to examine potential and profitable accuracy of schedule visualization in tender phase and how it should be implemented. In the research five experts in target enterprise and one external deputy was interviewed. In software testing, properties and usability of two example tools were studied within case project according to proposition of interviews.

According to interviews schedule visualization of tender phase have a lot of potential to enhance tender activity. Visualization would support construction planning and illustrate the effects of decisions which are made by clients. Especially visualization of frame erection and building sections was seen as economically worthwhile. Accuracy should not be in element specific installation sequence but in building section and floor level sequence.

The results of the research indicates that there are promising software in market to visualize schedule. Both of tested software were capable to generate schedule visualization that was described in interviews. Neither of these tools was clearly better than other but both had their own strengths and using ranges. Also some problems occurred during the tests. Other software had problems in managing combination models and IFC-format, whereas the other software was not able to import and export the schedule data with the content required. The content and quality of building information models available at the tender phase are typically low quality and incomplete which makes the visualization difficult. As a solution target enterprise should develop the quality of modeling with the help of motivated employee. The benefits of BIM-based scheduling and the effective use of sophisticated tools and software are then easier to achieve.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityötutkimus on suoritettu osana Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelmaa. Työ on tehty diplomityösuhteen aikana Skanska Oy:lle. Diplomityön aihe, aikataulun visualisointi, on mielenkiintoinen rakennusalan kehityksen ja tulevaisuuden kannalta. Tutkimuksen työstäminen alkoi marraskuussa 2015, ja se valmistui toukokuussa 2016. TTY:n puolesta diplomityön ohjaajana ja tarkastajana toimi professori Mikko Malaska, joka ohjasi oikean näkemyksen löytymisessä ja työn sopivassa rajaamisessa. Tutkimuksen tavoitteellisesta ja teknisestä ohjaamisesta vastasi Mikko Mäläskä (DI) ja Skanskan Oy:n kehitysjohtaja Ilkka Romo (DI), jotka auttoivat kokemuksellaan ja näkemyksillään aiheen valinnassa ja työn etenemisessä. Kiitän Malaskaa, Romoa, ja Mäläskää heidän diplomityölle antamasta panoksestaan sekä Skanska Oy:tä heidän suomista teknisistä, taloudellisista ja ajallisista resursseista, joita ilman tutkimuksen suorittaminen ei olisi ollut mahdollista.

Haluan kiittää myös kehitysinsinööri Sara Trobergia (DI) ja Peter Peltosta (DI) heidän tuestaan ja ohjauksestaan diplomityön loppuvaiheilla. Kiitän myös kaikkia kuutta henkilöä, jotka osallistuivat tutkimuksen haastatteluihin. Heidän tietoudellaan ja panoksellaan oli merkittävä osuus diplomityön onnistumisessa.

Lisäksi haluan kiittää kaikkia, jotka auttoivat ja kannustivat minua diplomityön aikana. Kiitän opiskelutovereitani ja perhettäni, jotka tukivat minua diplomityön teossa. Erikseen haluan kiittää myös tekniikan kandidaatti Veera Korjaa rohkaisevista sanoista ja kaikesta saamastani tuesta.

Tampereella, 18.5.2016

Esa Puranen

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Taustat .....	1
1.2	Tavoitteet ja rajaukset .....	2
1.3	Tutkimuksen toteutus ja rakenne.....	3
2.	RAKENNUSHANKKEEN AJALLINEN OHJAUS.....	4
2.1	Rakennusalan tuottavuus.....	4
2.1.1	Lean-rakentaminen.....	5
2.1.2	Lean-työkaluja .....	6
2.2	Rakennusprojektin hallinta.....	7
2.2.1	Hankkeen vaiheet.....	8
2.2.2	Tuotannon ajallinen suunnittelu.....	10
2.2.3	Hankkeen aikataulut.....	13
3.	TIETOMALLIT RAKENTAMISESSA .....	18
3.1	Tietomallintaminen ja sen edut .....	18
3.1.1	Yleiset tietomallivaatimukset.....	19
3.1.2	Tietomallintamisen hyödyt .....	20
3.1.3	BIM:n ulottuvuudet.....	20
3.1.4	Tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta .....	22
3.1.5	BIM ja LEAN -Rakentaminen .....	24
3.2	4D-suunnittelu.....	26
3.2.1	Tietomallipohjainen aikatauluttaminen.....	26
3.2.2	4D-mallintamisen prosessit.....	27
3.2.3	BIM-pohjaisen aikataulutuksen ongelmia ja ohjeita.....	30
3.2.4	Tietomalliohjelmistoja .....	32
4.	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO.....	37
4.1	Tutkimusmenetelmät.....	37
4.1.1	Kirjallisuusselvitys.....	38
4.1.2	Asiantuntijahaastattelut.....	38
4.1.3	Ohjelmistojen testaus case-kohteessa .....	39
4.2	Tutkimusmenetelmien arviointi .....	40
5.	TUTKIMUS AIKATAULUN VISUALISOINNISTA .....	41
5.1	Asiantuntijahaastattelujen tulokset.....	41
5.1.1	Tarjousvaiheen aikataulutus kohdeyrityksessä.....	41
5.1.2	Tarjousvaiheen visualisointi .....	43
5.2	Haastattelujen yhteenveto ja arviointi .....	52
6.	OHJELMISTOJEN TESTAUS.....	55
6.1	Käytettävä lähtötieto .....	55
6.2	Ohjelmistojen testaus 4D-suunnittelussa .....	58
6.2.1	Tekla Structures .....	58
6.2.2	Navisworks Manage.....	63

6.2.3	Ohjelmistojen vertailu.....	69
7.	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	72
7.1	Päätulosten yhteenveto ja analysointi .....	72
7.2	Ratkaisuehdotukset.....	73
7.3	Tutkimuksen onnistuminen ja jatkotutkimusehdotukset.....	74
	LÄHTEET.....	76

LIITE A: HAASTATTELURUNKO

LIITE B: NAVISWORKS – TUETUT TIEDOSTOMUODOT

LIITE C: XML – CSV MUUNNIN

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Tutkimuksen tavoitteiden ja metodien hierarkia.</i> .....	2
<b>Kuva 2.</b>	<i>Tutkimuksen eteneminen.</i> .....	3
<b>Kuva 3.</b>	<i>Projektinhallinnan prosessiryhmät (A guide to the project management body of knowledge: PMBOK® guide, 2013).</i> .....	8
<b>Kuva 4.</b>	<i>Rakennushankkeen vaiheet ja päätökset (muokattu lähteestä Koskenvesa &amp; Sahlsted 2013).</i> .....	9
<b>Kuva 5.</b>	<i>Aikataulusuunnittelun eteneminen rakennushankkeessa (Koskenvesa &amp; Sahlsted 2013).</i> .....	14
<b>Kuva 6.</b>	<i>Tärkeimmät sidosryhmät, jotka hyötyvät BIM:stä. (Tekla Structures)</i> .....	18
<b>Kuva 7.</b>	<i>Tiivistelmä nD-BIM toiminnoista (muokattu lähteestä Mubarak 2015).</i> .....	21
<b>Kuva 8.</b>	<i>Anturan tuotereseptin muodostuminen (Teittinen 2009).</i> .....	23
<b>Kuva 9.</b>	<i>Esimerkki tiedonkulusta ohjelmistojen välillä (Teittinen 2009).</i> .....	24
<b>Kuva 10.</b>	<i>Navisworks Manage – Timeliner-työkalu (Navisworks).</i> .....	27
<b>Kuva 11.</b>	<i>Manuaaliset &amp; 4D-BIM työkalut (muokattu lähteestä Eastman et al. 2011, s. 298).</i> .....	29
<b>Kuva 12.</b>	<i>4D-mallin muodostuminen Mubarakin mukaan (2015).</i> .....	30
<b>Kuva 13.</b>	<i>Tutkimusmenetelmät ja niiden tärkeimmät sisällöt.</i> .....	37
<b>Kuva 14.</b>	<i>Case-kohteen ARK- ja RAK-malli.</i> .....	39
<b>Kuva 15.</b>	<i>3D-aluesuunnitelma maanrakennus- ja runkotyövaiheessa (Sulankivi et al. 2009).</i> .....	46
<b>Kuva 16.</b>	<i>Kauppakeskus Puuvillan 3D-aluesuunnitelma (Tekla Structures).</i> .....	46
<b>Kuva 17.</b>	<i>Runkovaihe jana-aikataulu Vico Schedule Planner -ohjelmistossa.</i> .....	55
<b>Kuva 18.</b>	<i>Määrien kopioiminen Excelistä Schedule Planner -ohjelmistoon.</i> .....	56
<b>Kuva 19.</b>	<i>Tehtävien määrittely Schedule Planner -ohjelmistossa.</i> .....	57
<b>Kuva 20.</b>	<i>Vietävien tietojen valinta Schedule Planner -ohjelmistossa.</i> .....	57
<b>Kuva 21.</b>	<i>Tekla Structures -ohjelmiston Organizer-työkalun esittelyä.</i> .....	60
<b>Kuva 22.</b>	<i>Task Manager -työkalun järjestely aikataulu.</i> .....	61
<b>Kuva 23.</b>	<i>Visualisointiasetukset ja itse runkoverisualisointi TS:ssä.</i> .....	62
<b>Kuva 24.</b>	<i>Mallipuun rakenne SMC:ssä (vas.) ja Navisworks-ohjelmistossa (oik.).</i> .....	64
<b>Kuva 25.</b>	<i>Aikataulun tiedon tuominen ja kenttäasetukset Navisworks-ohjelmistossa.</i> .....	65
<b>Kuva 26.</b>	<i>Navisworks Timeliner -työkalu.</i> .....	66
<b>Kuva 27.</b>	<i>Haku-työkalun käyttö Naviswork-ohjelmistossa.</i> .....	67
<b>Kuva 28.</b>	<i>Simulointiasetukset ja runkovaiheen toteutuksen simulointi.</i> .....	68
<b>Kuva 29.</b>	<i>SMC:n (vasemmalla) ja Navisworks-ohjelmiston (oikealla) samasta rakennusosasta näyttämät tiedot.</i> .....	70

## TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1.</i>	<i>Tarjousvaiheen osatekijät (Koski 1995; Kujala 2014).....</i>	<i>10</i>
<i>Taulukko 2.</i>	<i>Ratun ja PMI:n mukaiset vaiheet aikataulusuunnittelussa (muokattu lähteestä Lahti 2014).....</i>	<i>11</i>
<i>Taulukko 3.</i>	<i>Rakennusalan kaupallisia tietomalliohjelmia, (Penttilä et al. 2006a; Laine T. 2008; Tohmo 2015).....</i>	<i>32</i>
<i>Taulukko 4.</i>	<i>Visualisoinnin lähtötieto työvaiheittain: *1 = ensisijainen soveltuvuus ja *2 toissijainen soveltuvuus. ....</i>	<i>47</i>
<i>Taulukko 5.</i>	<i>Tietomalliohjelmistoverailu (muokattu Peltonen 2015).....</i>	<i>50</i>
<i>Taulukko 6.</i>	<i>Mielipiteitä tarjousvaiheen visualisoinnista.....</i>	<i>53</i>
<i>Taulukko 7.</i>	<i>Tarjousvaiheen aikataulun visualisointi.....</i>	<i>72</i>
<i>Taulukko 8.</i>	<i>Ohjelmistojen vertailu ja toimenpide-ehdotukset käytön edistämiseen. ....</i>	<i>73</i>



## LYHENTEET JA MERKINNÄT

CAD	Computer-aided Design (CAD), tietokoneavusteinen suunnittelu.
BIM	Building information model, rakennuksen tietomalli.
ICT	Information Communication technology, informaatioteknologia.
Digitalisaatio	Tarkoittaa digitaalitekniikan integrointia jokapäiväiseen elämään digitoimalla kuvaa, ääntä, dokumenttia tai signaalia biteiksi ja tavuiksi kuvaamaan asioita ja tietosisältöä.
Oliot	Oliot ovat ennalta määriteltyjä tietopaketteja, joita käsitellään yhtenä kokonaisuutena. Oliot vertautuvat käytettyihin rakennusosiin, esimerkiksi pilari, ovi, ikkuna tai seinä. Olioista käytetään myös nimitystä objekti tai tietomalliobjekti.
Attribuutti	Tietomalliobjektin ominaisuus, kuten rakennetyyppi, taso ja leveys.
Mallipuu	Tietomalliohjelmiston näkymä mallin sisäisestä hierarkiasta, esimerkiksi kerrosjako ja kerroksien alla olevat tietomalliobjektit.
3D-BIM	Kolmiulotteiset mallit ovat digitaalisia esityksiä rakennusosista ja laitteista tilavuusulottuvuudessa (leveys, pituus, syvyys). Näihin tietomalliobjekteihin voidaan lisätä älykästä tietoa, kuten materiaaliominaisuudet, tyyppitunnisteet tai määrätiedot.
4D-BIM	Tietomalli, joka sisältää myös aikataulutiedon (4D).
5D-BIM	Tietomalli, joka sisältää kustannustiedon (5D).
Natiivimalli	Tietomalli tallennettuna sen mallintamisessa käytetyn ohjelman omassa alkuperäisessä tiedostomuodossa; tietosisältö on osittain laajempi kuin yleisissä tiedonsiirtoformaateissa, mutta sen hyödyntämiseen tai muuttamiseen yleiseen tiedonsiirtoformaattiin tarvitaan yleensä sama ohjelma. (engl. Native, natiivi, alkuperäinen).
IFC	Industry Foundation Classes (IFC) on tietomalliohjelmistojen yhteinen mallien kuvaustapa. Tällä kirjainyhdistelmällä tarkoitetaan usein myös avointa tiedonsiirtomuotoa (ifc -tiedosto), jolla malleja voidaan siirtää ohjelmistosta toiseen.
XML	Extensible Markup Language (XML) on merkinkielen yläkäsite tai standardi. XML-kieliä käytetään sekä formaattina tiedonvälitykseen järjestelmien välillä että formaattina dokumenttien tallentamiseen.
CSV	Comma Separated Value (CSV) on tiedostomuoto, jolla tallennetaan yksinkertaista taulukkomuotoista tietoa tekstitiedostoon; taulukkorakenteen kentät on eroteltu toisistaan pilkuilla ja rivinvaihoilla.

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Taustat

Rakennusteollisuuden tuottavuuden kehitys on ollut heikkoa muihin teollisuusaloihin verrattuna. Talouden heikko kehitys ja korkeat kustannukset pakottavat rakennusalaa löytämään uusia menetelmiä paremman tuottavuuden saavuttamiseksi (Koskenvesa & Sahlsted 2013). Tuottavuutta on yritetty kehittää alalle ominaisten menetelmien, kuten tuotannon suunnittelun ja -ohjauksen, avulla. Kehitystä hidastava tekijä on rakennusalalla vallitseva käytäntö suosia vanhoja toimintatapoja, mutta toisaalta tällä hetkellä ei löydy tarpeeksi tehokkaita menetelmiä käyttää tuottavuutta parantavia työkaluja. Tietotekniikasta ja rakentamisen tietomalleista voisi kuitenkin löytyä mahdollisuuksia tuotannon suunnittelun ja -ohjauksen tehostamiseksi. (Käpylä et al. 2008) Sneckin *et al.* (2007) mukaan matalan tuottavuuden alat, kuten rakennusala, tarvitsevat niille kehitettyjä liitännäisteknologioita. Viime vuosien aikana ala on aktivoitunut uusien liitännäisteknologioiden, kuten tietomallit ja tietotekniikka, laajempaan käyttöön. Parempi tuottavuus voidaan saavuttaa tietokoneiden edistyksellisellä käytöllä määrähallinnassa, simuloinnissa sekä taloudellisissa analyyseissä. Teknologisten innovaatioiden ja niiden käyttöönoton myötä on mahdollista avustaa projektihenkilöstöä hallitsemaan ja suunnittelemaan tuotantoa. Teknologian innovaatiot ja niiden tehokas hyödyntäminen ovat avaintekijöitä tuotannon tehostamiselle, ja etenkin informaatioteknologiassa (IT) piilee suuri potentiaali (Käpylä et al. 2008). Tuottavuuden kehittymistä voidaan edistää teknologilla ja sosiaalisilla innovaatioilla, jotka muokkaavat ja uudistavat toimintatapoja ja prosesseja. Rakentamisessa on kuitenkin suuri määrä toimijoita, jolloin uusien ratkaisujen vieminen eteenpäin voi olla hyvin haastavaa. (Sneck et al. 2007; Käpylä et al. 2008; Nunnally 2010)

Rakentamisen suunnittelulla on alan kehityksen kannalta merkittävä asema (Hendrickson 2008). Tietomallintaminen on yleistynyt tapa suunnitella rakennushanketta ja tietomallinnettujen projektien määrä kasvaa jatkuvasti. Täten tietomallintamisella on tärkeä rooli rakennusalan kehityksessä. Tietomallintamisen käytötavat ja sen kautta saavutettavat hyödyt lisääntyvät. Tietomalleihin saadaan tuotua tietoa rakennusosista, kuten mittatiedot, määrätiedot ja materiaalitiedot. Tietomallin antama 3D-näkymä on tavallista 2D-piirrosta havainnollisempi. Tietomallien käytön yleistymisen myötä on tutkittu ja toteutettu aikataulutiedon linkittämistä tietomalleihin. Tällöin puhutaan 4D-malleista, joiden luominen on aikataulun visualisointia. (Hergunsel 2011). Tämän diplomityötutkimuksen kohdeyritys, Skanska, on ollut näkyvästi mukana alan kehittämisessä ja tietomallien käytön edistämisessä rakentamisessa. Muutama vuosi sitten kohdeyritys teki strategisen pää-

töksen käyttää tietomalleja kaikissa omissa hankkeissaan. Tietomallipohjaista aikataulusuunnittelua on tutkittu lähinnä rakentamisvaiheen kannalta. Esimerkiksi Peltonen (2015), tutki diplomityössään, miten tietomalleja voitaisiin hyödyntää Skanskan sisävalmistusvaiheen aikataulusuunnittelussa ja -valvonnassa. Aikataulun visualisoimisella olisi saavutettavissa kuitenkin hyötyjä myös rakennushankkeen aikaisemmissa vaiheissa, kuten jo tarjousvaiheessa. Kohdeyrityksessä näitä mahdollisuuksia on tutkittu vielä vähän. Usein hankkeen alussa sidosryhmillä ei välttämättä ole vielä kovinkaan hyvää käsitystä tulevan rakennuksen ratkaisusta. Havainnollistamalla suunnitelmia pystytään helpommin analysoimaan toteutuksen eri vaihtoehtoja. Visualisointi antaa tukea pääurakoisijan omalle tuotannosuunnittelulle ja asiakkaan päätöksenteolle, ja parantaa näin suunnitelmien toteutettavuutta sekä asiakkaan tarpeiden toteutumista. Hankkeen alkuvaiheen päätöksillä on ratkaiseva merkitys hankkeen taloudelliselle onnistumiselle, ja alkuvaiheen päätöksillä muodostetaan koko hankkeen ajallisen ohjauksen raamit. Visualisointi tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia tarjoustoiminnan tehostamiseen.

## 1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Tällä tutkimuksella pyritään selvittämään, miten olemassa olevia tietomalliratkaisuja pystytään hyödyntämään Skanskan tarjousvaiheen aikataulusuunnittelussa. Työn päätavoitteena on löytää kohdeyrityksen käyttöön ratkaisu, joka mahdollistaa rakennushankkeen aikataulun tietomalliavusteisin visualisoinnin tarjoustoiminnan tueksi hankkeen alkuvaiheessa. Päätavoitteeseen edetään kuvassa 1 esitettyjen osatavoitteiden kautta.



**Kuva 1.** Tutkimuksen tavoitteiden ja metodien hierarkia.

Ensimmäisenä alatavoitteena on selvittää kirjallisuustutkimuksen avulla rakennushankkeen ajallisen hallinnan periaatteet. Toisena alatavoitteena perehdytään kirjallisuuskatsauksella tietomallipohjaisen aikataulutuksen nykytilaan ja näkökulmiin. Kolmantena alatavoitteena on selvittää haastattelututkimuksen avulla kohdeyrityksen näkökulmia aikataulutuksen ja visualisoinnin suhteen tarjousvaiheessa. Samalla kerätään tietoa siitä, miten visualisointi kannattaisi tarjousvaiheessa toteuttaa. Viimeisenä alatavoitteena pyritään löytämään visualisoinnin mahdollistava 4D-ohjelmisto. Lisäksi testataan ohjelmiston avulla visualisoinnin toteutusta sekä arvioidaan testikokemusten perusteella 4D-työkalujen soveltuvuutta tarjousvaiheen visualointiin.

Työssä pyritään löytämään työkalu rakennushankkeen aikataulun visualisointiin. Tutkimus rajataan hankkeen tarjousvaiheeseen. Tietomallit ovat tarjousvaiheessa vielä usein hyvin keskeneräisiä tai niitä ei ole vielä laadittu. Tässä työssä kuitenkin oletetaan, että tilaaja on toimittanut tarjousvaiheessa tietomallit osana tarjouspyyntöaineistoa. Tutkimuksen testivisualisoinnissa hyödynnetään jo toteutetun case-kohteen valmiita tietomalleja ja aikatauluja. Aikatauluohjelmisto rajataan käsittelemään Vico Schedule Planner ohjelmistoa. Tietomalliohjelmiston testauksessa perehdytään tarkemmin kahteen ohjelmistoon. Ohjelmistotestaus onkin osaksi jatkoa Peltosen (2015) tutkimukselle.

### 1.3 Tutkimuksen toteutus ja rakenne

Toisen ja kolmannen luvun sisältö koostuu tausteoriasta, jossa selvitetään diplomityön viitekehys kirjallisuuslähteiden avulla. Toisen luvussa esitetään rakennushankkeen ajallisesta suunnittelun perusteet ja keskeiset menetelmät. Kolmannen luvussa käydään läpi tietomallintamisen ja tietomallipohjaisen aikatauluttamisen peruseriaatteet, prosessit ja haasteet. Neljännessä luvussa esitellään tutkimuksen empiirisen osan tutkimusmenetelmät ja aineisto. Luvussa perustellaan valitut tutkimusmenetelmät sekä käydään läpi tutkimuksessa käytetty aineisto. Viidennessä luvussa esitellään haastattelututkimuksen tulokset. Kuudennessa luvussa esitetään visualisointityökalujen ja 4D-ohjelmistojen testauksessa saadut tulokset ja kokemukset. Seitsemäs ja viimeinen luku esittelee tutkimuksen tärkeimmät tulokset ja johtopäätökset. Tutkimuksen eri vaiheet sekä niissä sovelletut tutkimusmenetelmät ovat esitetty kuvassa 2.



*Kuva 2. Tutkimuksen eteneminen.*

## 2. RAKENNUSHANKKEEN AJALLINEN OHJAUS

### 2.1 Rakennusalan tuottavuus

Tuottavuudella tarkoitetaan tuotosten suhdetta panoksiin. Tuottavuus on suurimmillaan valmistettaessa tuotokset mahdollisimman vähillä panoksilla. Rakennusala on taloudellisesti merkittävä toimiala ympäri maailmaa, joten alan tuottavuus vaikuttaa suoraan kansantalouteen. Rakennusalan tuottavuus ja tuottavuuden kehitys on ollut kuitenkin alhainen muihin aloihin verrattuna. Olettaessa huomioon Suomen tämänhetkinen taloustilanne, isojen toimialojen tuottavuuden kehittäminen on yhteiskunnan talouden kasvun kannalta merkittävässä roolissa. Rakennusteollisuuden osuus on kattanut noin 10 % Suomen bruttokansantuotteesta. Vuonna 2008 rakennusinvestointien osuus Suomen kokonaisinvestoinneista oli yli 60 %. (Koskenvesa 2010) Yhdysvalloissa on havaittu vastaavanlainen ilmiö. Viimeisten vuosien aikana Yhdysvalloissa rakennusalan heikko tuottavuus ja korkeat kustannukset ovat vähentäneet rakentamisen osuutta valtion kokonaistuotannossa. Vuosien 1980 – 2007 välisenä aikana tuottavuus rakennusosalalla on kehittynyt vain 0,6 % vuotuisesti, ja viime vuosikymmenellä se on ollut jopa tätä heikompaa, eli rakentamisen tuottavuuden parantumisesta ei ole ollut mitään selvää merkkiä (Nunnally 2010). Rakennusala on huonon tuottavuuden vuoksi luokiteltu matalan tuottavuuden alaksi. Suomessa vallitsee toimintakulttuuri, missä eri toimijoiden valinta pohjautuu alimpaan tarjoushintaan. Teknologisella kyvykkyydellä tai osaamisella ei saa yleisesti kovinkaan suurta painoarvoa tarjouksia vertailtaessa. Julkisen hallinnon toimiessa tilaajana ei ole edes muita vaihtoehtoja kuin valita halvin tarjous, ellei tarjouspyynnön valintakriteereihin ole erikseen kirjattu erityisiä ehtoja. (Merikallio & Haapasalo 2009)

Forbesin ja Ahmedin (2011) mukaan heikon tuottavuuden syyt löytyvät muun muassa projektinomistajien vaatimattomista tavoitteista tuottavuudelle ja laadulle, tehottomista johtamiskäytännöistä, kasvaneesta aliurakoinnin osuudesta, innovaatioiden ja parhaiden käytäntöjen hitaasta omaksumisesta ja projektien ainutlaatuisuudesta. Nunnally (2010) esittää seuraavan listan tekijöistä, joilla voidaan kehittää rakentamisen tuottavuutta:

- hyvä työnsuunnittelu ja huolellisesti organisoitu työ
- tarkkaan valikoidut ja koulutetut työntekijät ja työnjohtajat
- tehokkaasti aikataulutetut työntekijät, materiaalit ja varusteet
- työntekoa säästävät tekniikat, kuten osatuotteet ja elementit
- korjaustöiden vähentäminen laadunvalvonnan avulla
- onnettomuuksien välttäminen hyvällä työturvallisuudella.

Tuotannonohjauksessa ongelmat kytkeytyvät myös suunnitteluun. Yleisaikataulun suunnitelmat vanhenevat nopeasti rakentamisen suuresta epävarmuudesta johtuen. Tuotannossa kuluu merkittävästi aikaa erilaisten häiriöiden selvittämiseen, jolloin suunnittelulle tai suunnitelmien parantamiselle jää vähemmän aikaa. (Koskenvesa & Sahlsted 2013)

## 2.1.1 Lean-rakentaminen

Tässä kappaleessa esitetään hyvin lyhyesti Lean-tuotannon (Lean Production) keskeisimmät periaatteet ja sitä miten Lean-rakentamisessa pyritään noudattamaan Lean-filosofian periaatteita. Tutkimuksen myöhemmässä vaiheessa (luku 3.1.5) pyritään löytämään synergiaa tietomallintamisen ja Lean-periaatteiden välillä.

Lean teoria on kehittynyt Japanilaisen autonvalmistajan Toyotan tuotantojärjestelmästä: Toyota Production System (TPS). Womack and Jones (2003) kehittivät uuden tuotanto metodin, joka kantoi nimeä Lean Production. Se pyrkii enempään vähemmällä, koska Lean-filosofiassa on keskeistä vähentää hukkaa jakeluketjussa ja tuotanto prosesseissa. Samanaikaisesti se keskittyy tuomaan arvoa käyttäjälle. Hukka tarkoittaa Lean-ajattelun mukaan toimintoja tai prosesseja, jotka eivät tuota arvoa. Womack & Jones (2003) mukaan Toyota tuotantofilosofian mukaisesti hukkaa koostuu seuraavista asioista:

1. *Ylituotanto*. Ylituotanto johtaa markkinoiden kysyntää suurempiin tuotantomääriin.
2. *Odottaminen*. Odottaminen tuotannon eri vaiheiden välillä johtaa menetettyyn
3. työpanokseen.
4. *Kuljettaminen*. Tuotteen kuljettaminen paikasta toiseen lisää energiankulutusta.
5. *Prosessointi*. Väärät prosessointitavat kuluttavat enemmän panoksia kuin tuotoksen valmistaminen vaatii.
6. *Varastointi*. Tarpeeton varastointi nostaa varastointikustannuksia.
7. *Liike*. Turha liike johtaa tuottamattomaan työskentelyyn.
8. *Vikojen korjaus*. Viallinen tuote on korjattava.

Lean tuotannossa esiintyy 5 periaatetta, joita voidaan soveltaa jokaiseen organisaatioon:

- Arvon tunnistaminen. Asiakkaan haluaman arvon tunnistaminen ja tuottaminen on ehdotonta.
- Arvovirran kartoittaminen. Tuotteen arvovirran kartoittaminen paljastaa hukan sekä auttaa sen poistamisessa. Osallistujien sekä sidosryhmien välinen yhteistyö on vakiinnutettava.
- Virtauksen luominen. Arvoa tuottavien vaiheiden välille on luotava virtaus.
- Imuohjauksen hyödyntäminen. Kaikki osapuolet hyödyntävät imuohjausta vastatakseen asiakkaan vaatimuksiin.
- Täydellisyyteen pyrkiminen. Edellisten periaatteiden yhteisvaikutuksella on pyrittävä kohti täydellisyyttä. (Forbes & Ahmed 2011; Womack & Jones 2003)

Lean kehitettiin alun perin tehdasmaiseen tuotantoon, joten se ei suoraan sovellu rakennusosalalle. Tämän vuoksi rakennusosalalle kehitettiin oma Lean-malli, Lean-rakentaminen (Lean Construction), joka sisältää rakentamiseen integroituja menetelmiä. Lean-rakentamisen käyttö rakennustoiminnan kehittämisen periaatteena leviää ympärimaailmaa. Lean Construction instituuttien mukaan Leanin avulla voidaan vähentää rakennushankkeen kustannuksia jopa 10 – 40 %. Lean Construction voidaan lyhyesti tiivistää Lean-tuotannonohjauksen eri menetelmien soveltamisena rakennusosalalle ja uutena teoriapohjaisena

metodologiana lähestymistapana rakentamiseen. Lean-ajattelun soveltaminen rakennusalalla on keskitetty työnvirtaukseen rakennusprosessissa. Työvirtauksen varianssi johtaa usein pidempään läpimenoaikoihin ja lisää prosessissa syntyvää hukkaa. Korkealla vaihtelevuudella työn tuottavuudessa on negatiivinen vaikutus koko projektin suorituskykyyn. (Forbes & Ahmed 2011, s. 26) Toisaalta Lean-ajatusmallin liittäminen rakentamiseen on pyrkimys parantaa työmaan tuottavuutta. Lean Construction -mallin tuotantojärjestelmän kehitystyön tavoitteina ovat arvovirran parantaminen ja esteiden poistaminen virrasta eli tarpeettomien toimintojen ja työryhmien välisten rajapintojen tunnistaminen ja poistaminen. Lisäksi tavoitteena on kasvattaa vakautta työssä, työryhmissä ja tiedossa. (Sacks & Goldin 2007)

## 2.1.2 Lean-työkaluja

Lean Project Delivery System (LPDS) on projektitoimituksen kehittämiseen pyrkivä kokonaisuus. Projektin jokaiseen vaiheeseen on mahdollista soveltaa Lean-filosofiaa, ja sen periaatteita ja työkaluja. Eri vaiheisiin on myös kehitetty ja sovellettu projektiliiketoimintaan soveltuvia päätöksentekoprosesseja ja työkaluja. Eniten näitä on sovellettu Last Planner -menetelmän mukaisessa projektin aikaisessa tuotannonohjauksessa. Lean projektin toimitussysteemin ideaali on toimittaa asiakkaalle täydellinen tuote projektitoimituksena ilman hukkaa tavoitellen täydellisyyttä. LPDS koostuu seitsemästä eri päävaiheesta.

1. Projektin määrittely sisältää asiakastarpeiden ja -arvojen määrittelyn, suunnittelukriteerit ja -reunaehtojen sekä konseptuaalisen suunnittelun.
2. Lean-suunnittelu koostuu konseptuaalisesta suunnittelusta, tuotteen suunnittelusta sekä tuotannon suunnittelusta.
3. Lean-hankinta koostuu tuotteen suunnittelusta, detaljisuunnittelusta sekä tuotteen valmistuksesta ja logistiikasta.
4. Lean-kokoonpano/rakentaminen koostuu valmistamisesta ja logistiikasta, asentamisesta ja rakentamisesta sekä testauksesta ja käyttöönotosta.
5. Käyttöön kuuluu testaus ja käyttöönotto, kunnossapito ja kohteen käyttö sekä kohteen muuntaminen ja korjaus.
6. Sekä tuotannonohjaus että, 7. työn osittaminen pyrkii työn virtaaman hallintaan. (Koskenvesa & Sahlsted 2013; Merikallio & Haapasalo 2009)

**Visuaalinen johtaminen** on nimensä mukaisesti näkyväksi tekemistä. Kun toiminta tehdään näkyväksi, näkyvät myös ongelmat. Visuaalisen johtamisen rooli on ennaltaehkäisevä. Visuaalinen ohjaus ja johtaminen selventävät käytettävissä olevaa informaatiota. Hyvä esimerkki visuaalisesta johtamisesta on työmaan 3D-aluesuunnitelma.

**Just-in-time (JIT) - Just in Time** -tuotannon tarkoituksena on valmistaa ja kuljettaa vain se määrä mitä tarvitaan, silloin kun tarvitaan ja sinne missä tarvitaan mahdollisimman nopeasti. Rakennusalan toiminnassa JIT on erityisen tärkeässä roolissa. Asennuksen jat-

kumisen takaamiseksi oikeat elementit tulee valmistaa oikeaan aikaan ja toimitus ja asentaminen, hoitaa niin ettei suuria välivarastoja synny. Just in Time -periaate soveltuu myös informaation kulkuun organisaatiossa.

**5 x Why (Viisi kertaa miksi)** on ongelmananalysointimetodi, jonka avulla voidaan löytää syy todettuihin ongelmiin palaamalla ongelmien alkulähteelle. Menetelmän periaatteena on yksinkertaisesti kysyä ”miksi?” niin kauan, että konkreettinen ja muutettavissa oleva ongelmanaiheuttaja löytyy.

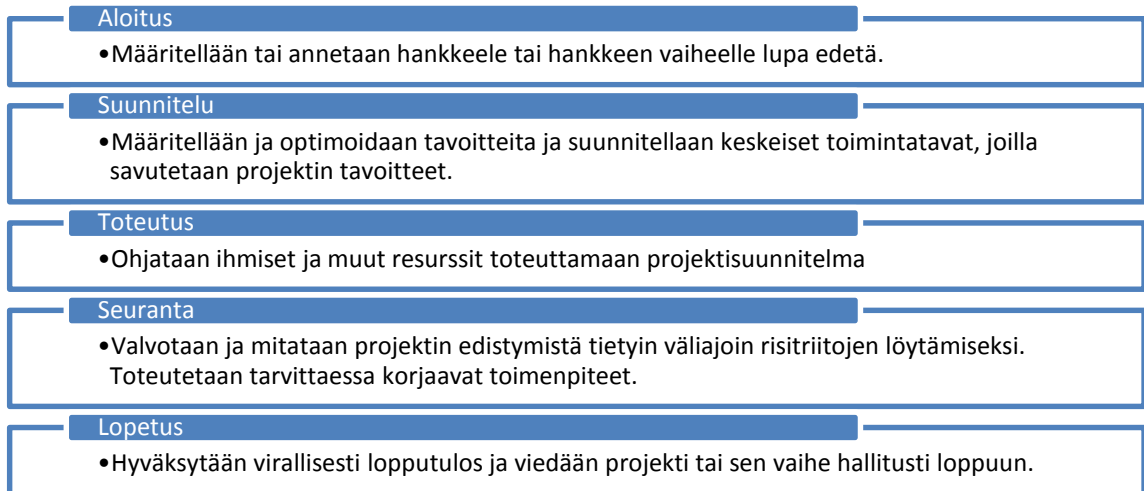
**Last Planner System (LPS)** on Yhdysvalloissa kehitetty rakennusprojektin tuotannon-ohjausmenetelmä, jolla pyritään parantamaan työmaan ennustettavuutta. Last Planner tarkoittaa nimensä mukaansa ”viimeistä suunnittelijaa”, eli usein tarkoitetaan työmaalla tehtävien toimeenpanijaa. Tyypillisesti Last Planner -menetelmässä huomio keskittyy enemmän yleisaikataulua tarkempiin aikatauluihin, kuten rakentamisvaihe- tai viikkoaikatauluihin.

## 2.2 Rakennusprojektin hallinta

Rakentamisen suunnittelu näyttelee tärkeää roolia rakennusalan kehityksessä. Se sisältää projektin suunnittelun aloituksesta tulokseen ja niiden osa-alueiden tunnistamisen, joilla haluttuun tulokseen päästään. Tämä on haastava tehtävä hankkeen henkilöstölle, koska projektin lopullista ulostuloa voidaan tarkastella vasta rakennuksen valmistuttua. (Hendrickson 2008) Rakennusprojekteille on luonteenomaista epävarmuus ja kompleksisuus. Näitä hallitakse rakennushankkeissa kootaan projektitiimi, joka osaa ratkaista monimutkaisia haasteita rakentamisen suunnittelun kautta (Li et al. 2009). Tehokas ennalta suunnittelu on tärkeää projektin aikaisessa vaiheessa; havaitaan mahdolliset ongelmat, valmistellaan mahdolliset ratkaisut ja sovitetaan työtehtävät oikeille työryhmille, jotka omaavat oikeat työtekniikat. Nämä ovat asioita, jotka parantavat onnistuneen lopputuloksen mahdollisuuksia. (Zanen & Hartmann 2010) Rakennussuunnittelu ei kuitenkaan rajoitu aikaan ennen rakentamista vaan se pitäisi ottaa huomioon myös koko projektin elinkaaren aikana. Ongelmiin ja muutoksiin täytyy reagoida suunnitelmia muuttamalla (Hendrickson 2008). Tehokas ja oikeintehty suunnitelma ei rajoita pelkästään ongelmien ilmenemisen mahdollisuuksia vaan se vähentää epäsuotuisien tapahtumien seuraamuksia (Zanen & Hartmann 2010).

Projektinhallintaoppaita on laadittu useita, joista tunnetuimpiin kuuluu Project Management Instituten (PMI) julkaisema A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK-Guide). Teos esittelee hyvän projektin johdon käytännön mallin, jossa käydään läpi projektinhallinnan prosessit ja osa-alueet (Kankainen & Junnonen 2015). Oppaan mukaan prosessit ovat lajiteltu viiteen prosessi ryhmään, joita esitellään kuvassa 3. Kirjasarjaa on täydennetty myös lisäosalla Construction Extension to the PMBOK Guide, jossa esitetään rakennusprojekteille tyypillisiä projektinhallinnan prosesseja.





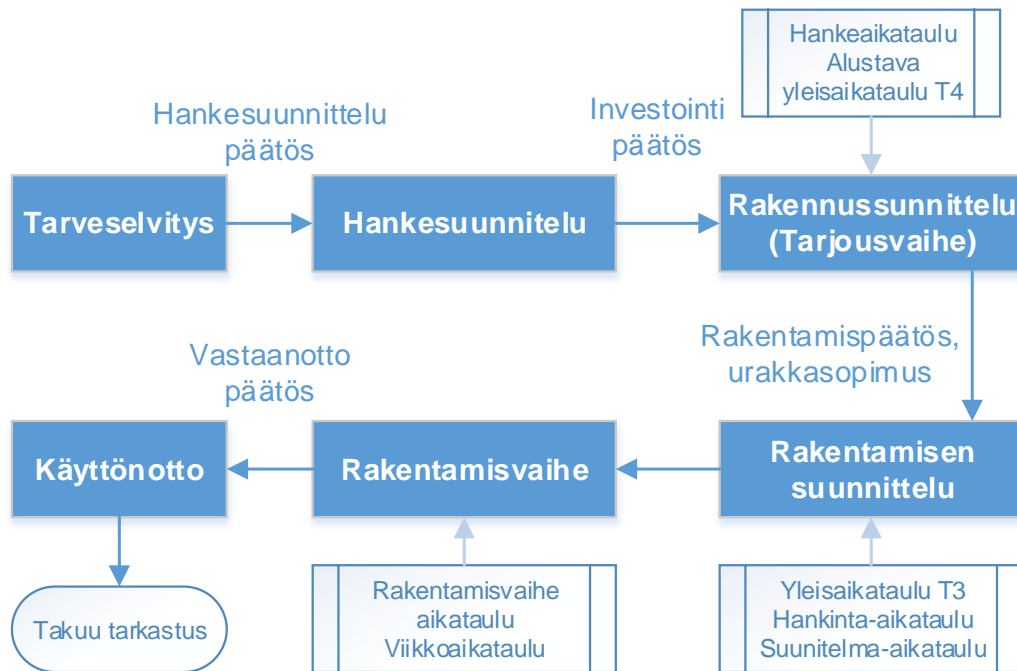
**Kuva 3.** *Projektinhallinnan prosessiryhmät (A guide to the project management body of knowledge: PMBOK® guide, 2013).*

Kankaisen ja Junnosen (2015) mukaan projektinhallinnan onnistumisen edellytyksenä on oikeanlainen projektin osittelu. Projektin sisältö esitetään jaettuna osiin, joista muodostetaan projektijohtamisen edellyttämät kokonaisuudet. Jaottelun pyrkimyksenä on:

- jakaa projekti selviin vastuukokonaisuuksiin ja osaprojekteihin
- jakaa projektin aikataulu osa-aikatauluiksi projektin ajallista ohjausta varten
- luoda edellytykset kustannusohjaukselle ja -valvonnalle
- määritellä tarvittavat resurssit
- muodostaa projektin osille hierarkkinen koodaus.

## 2.2.1 Hankkeen vaiheet

Projekti jaetaan yleensä vaiheisiin johdon päätöksenteon ja projektin arvioinnin helpottamiseksi. Talonrakennusprojektin ajalliset vaiheet ovat yleensä tarveselvitys, hankesuunnittelu, rakennussuunnittelu (Yleisten tietomallivaatimusten YTV2012 mukaan rakennussuunnittelu pitää sisällään ehdotussuunnittelun, yleissuunnittelun, sekä toteutussuunnittelun), toteutusvaihe sekä käyttöönotto. Toisaalta Koskenvesan & Salstedin (2013) mukaan toteutusvaihe on jaettu vielä rakentamisen suunnitteluun ja rakentamisvaiheeseen. Hankkeen eri vaiheita ja niiden välissä tehtäviä päätöksiä esitellään kuvassa 4. Projektin ajallinen vaiheistus on osin keinotekoinen, sillä käytännössä vaiheet limittyvät toistensa kanssa. Rakennushankkeen vaiheiden sijoittuminen peräkkäin tai rinnakkain riippuu hankkeelle valitusta toteutusmuodosta. (Kankainen & Junnonen 2015) Esimerkiksi kilpailutetussa urakassa rakennussuunnittelu ja toteutusvaihe limittyvät toisiensa kanssa. Projektinjohtourakoinnissa on hyvin tyypillistä, että toteutussuunnittelu tapahtuu rakentamisvaiheen kanssa yhtä aikaa limittyen.



**Kuva 4.** Rakennushankkeen vaiheet ja päätökset (muokattu lähteestä Koskenvesa & Sahlsted 2013).

Tarveselvitysvaiheessa perustellaan tilanhankinnan tarpeellisuus, selvitetään alustavasti tarvittavat tilat ja rakenteet ja niille asetetut vaatimukset. Tarveselvityksen pohjalta tehdään hankesuunnittelupäätös. Hankesuunnitteluvaiheessa asetetaan rakennushankkeelle täsmälliset laajuutta, kustannuksia, toimivuutta laatua, ajoitusta ja ylläpitoa koskevat tavoitteet. Hankesuunnitelman perusteella tehdään investointipäätös. Rakennussuunnittelun luonnosvaiheessa tutkitaan vaihtoehtoisia tontinkäyttöratkaisuja ja valitaan kohteelle tavoitteita parhaiten vastaavat suunnitteluratkaisut. Tältä pohjalta tehdään investoinnin kustannusarvio ja selvitys ylläpitokustannuksista. Rakentamisen toteutussuunnittelu vaiheessa tehdään valitun hankintamuodon edellyttämät hankinta-asiakirjat ja urakkakilpailujen toimeenpanoa sekä suunnitelmat rakentamista varten. Rakentamisen valmistelun päätteeksi tehdään rakentamispäätös. Rakentamisvaiheessa hankkeen suunniteltu rakennus rakennetaan. Rakentamisen ohjauksella varmistetaan sopimuksen mukainen toteutus ja laatuvaatimukset vastaava lopputulos. Lisäksi varmistetaan tarvittavat käyttö- ja ylläpitovalmiudet ja vaihe päättyy rakennuksen vastaanottopäätökseen. Käyttönottovaiheessa rakennuksen toiminta käynnistetään ja valvotaan käyttövalmiuden olemassa oloa. Vaihe ja samalla hanke päättyy takuutarkastukseen ja takuiden vapauttamiseen. (Koskenvesa & Sahlsted 2013)

Tässä työssä käsitellään tarjousvaihetta ja edellä mainitun vaihejaottelun mukaan se osuu investointi- ja rakentamispäätöksen väliin eli tarjousvaihe limittyisi rakennussuunnitteluvaiheen kanssa. Kosken (2002) määritelmän mukaan tarjousvaihe alkaa laskentapäätöksestä ja loppuu urakkatarjouksen jättämiseen. Tarjousvaiheen tärkeimpiä tehtäviä on hankkeen tuotantomenetelmien ja resurssien valinta, sekä selvittää kaikki kustannusarvi-

oon vaikuttava tekijät. Tärkeimmät tarjousvaiheessa syntyvät suunnitelmat ovat: Työmaan tehtävä- ja paikkaluettelo, hankkeen määräluettelo, alustavat tuotannon suunnitelmat ja tärkeimpien hankintojen suunnitelma. Taulukossa 1 kuvataan tarkemmin tarjousvaiheen eri vaiheita ja niiden tarkoituksia.

**Taulukko 1.** Tarjousvaiheen osatekijät (Koski 1995; Kujala 2014).

Laskentapäätös → Osallistutaan tarjouskilpailuun, jos yrityksellä on resursseja hoitaa ja toteuttaa laskenta, suunnittelu ja toteutus.				
Laskennan aloituspalaveri → Päätetään alihankinnat				
Projektin osittelu → Tavoitteena on jakaa projekti selviin vastuukokonaisuuksiin ja osaprojekteihin sekä aikataulu osa-aikatauluksi ajallista ohjausta varten. → Luo reunaehdot kustannusohjaukselle ja kustannusvalvonnalle.				
Määrälaskenta → Hinnoitellaan määrät ja luodaan pohja tuotantosuunnitelmille				
Alustavat tuotantosuunnitelmat → Tarkoituksena on tarkistaa rakentamisaajan toteutettavuus sekä kuvailla päätyömenetelmiä ja resurssitarpeita kustannusarvion ja varsinaisen aikataulun laatimista varten:				
Alustava yleisaikataulu	Alustava henkilöstösuunnitelma	Alustava kalustosuunnitelma	Alustava hankintasuunnitelma	Alustava alue-suunnitelma
Tarjouspalaveri → Määritetään tarjoushinta sekä tarkistetaan kustannusarvio; määritetään riskit ja kustannusten nousuvaraukset				
Tarjouksen tekeminen → Tehdään kirjallinen tarjous tilaajan ohjeiden mukaisesti				

## 2.2.2 Tuotannon ajallinen suunnittelu

Rakennushankkeen tuotannon suunnittelulla tarkoitetaan pääurakoitsijan tekemää tuotannon suunnittelua ja sen tarkoituksena on toteuttaa hanke mahdollisimman edullisesti suunnitelmien, taloudellisten, laadullisten ja sopimuskohtaisien tavoitteiden mukaisesti. Tuotannon suunnittelua tehdään hankkeen rakennussuunnittelu- ja rakentamisvaiheessa. Tuotannon suunnittelu voidaan jakaa suunnitelmien sisällön perusteella ajalliseen, taloudelliseen ja tuotannon yleiseen suunnitteluun. (Koski 1995)

Ajallinen suunnittelu on prosessi, jossa karkeamman tason suunnitelmat määrittelevät tarkemman tason tavoitteet (Lahtinen et al. 2015). Ajallinen suunnittelu on tehtävien sijoittelua kokonaisuuden hallitsemiseksi vastaamalla kysymyksiin mitä tehdään, miten tehdään, milloin tehdään ja missä järjestyksessä tehdään. (Koski et al. 2010) Koskenvesan (2011) haastattelututkimuksen mukaan aikataulu ja työmaan ajallinen hallinta ovat ylivertaisia tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Aikataulu nähtiin keskeisimpänä työmaan tuotantosuunnitelmana. Vastaavasti hankkeiden aikataulut ovat kiristyneet sekä lyhyellä että pitkällä tähtäimellä tarkasteltuna. Taulukossa 2 esitellään rakennustiedon Ratu Net (Ratu) kirjallisuuden mukaiset aikataulusuunnittelun vaiheet sekä PMI:n mukaiset prosessit.

**Taulukko 2.** Ratun ja PMI:n mukaiset vaiheet aikataulusuunnittelussa (muokattu lähteestä Lahti 2014).

Rakennushankkeen ajallisen suunnittelun vaiheet Ratu:n mukaan	Ajallisen suunnittelun prosessit PMI:n mukaan
<ul style="list-style-type: none"> <li>- rakennusaikataulun kireyden tarkistus</li> <li>- tehollisen rakennusajan laskeminen</li> <li>- kohteen osittelu</li> <li>- aikataulutehtävien muodostaminen</li> <li>- tehtävien mitoitus</li> <li>- työjärjestyksen suunnittelu ja valinta</li> <li>- tehtävien ajoitus ja resurssien tasaus</li> <li>- tuotantoa palvelevan aikataulun teko sekä</li> <li>- aikataulun toteutuskelpoisuuden tarkistaminen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tehtävien määrittäminen</li> <li>- tehtävien järjestäminen</li> <li>- tehtävien resurssien arviointi</li> <li>- tehtävien keston arviointi</li> <li>- aikataulun laatiminen</li> <li>- tehtävien painoarvon määrittäminen</li> <li>- edistymiskäyrien kehittäminen</li> </ul>

Taulukosta 2 nähdään, että Ratu:n ja PMI:n näkemykset ovat osin samankaltaisia. Toisaalta esitetään myös prosesseja ja vaiheita, joita toisessa ei ole. Suomessa Ratu:n esittämää ajallista suunnittelua voidaan pitää vakiintuneena käytäntönä. (Lahti 2014) Ratu-kirjallisuuden ohjeet ovat pitkäjänteisen ja järjestelmällisen tutkimuksen seurausta, jossa on ollut osallisena useita rakennusyhtiöitä ja työmaita. Tässä ajallisen suunnittelun kulku esitetään Ratu-kirjallisuuden (Lahtinen et al. 2015, s. 19 – 25) mukaisesti, mutta sitä täydennetään osin PMI:n mukaisten ja kohdeyrityksen tietojen perusteella.

**Rakennusaikataulun kireyden tarkastus:** Ratun mukaan aikataulun kireys tutkitaan vertailemalla hankkeen toteuttamiseen varattua aikaa normaalikeston. Normaalikestolla tarkoitetaan rakennushankkeen suunnitelmien ja normaalin kireystason mukaista rakennusaikaa, josta on ennalta tiedetyt keskeytykset ja kesälomakuukaudet. Normaalikeston laskemiseksi on kehitetty ajoitusmalli, jossa lasketaan tuotannollisen laajuuden eli työmaalla tehtävien kokonaistyöpanoksen perusteella. **Tehollinen rakennusaika** määritetään tehollisten työmenekkien avulla, jotka eivät sisällä tuotannon häiriöitä.

**Kohteen osittelu** eli lohkojako on suomalaisissa rakennushankkeissa tyypillistä ja on yksi hankkeen toteutuksen kannalta keskeisimmistä päätöksistä. Lohkot voidaan pilkkoa vielä pienempiin osa- tai työkohteisiin. Lohko on kohteen osa, kuten erillinen rakennus tai rakennuksen osa. Lohkojako toteutetaan kohteen osista, jotka ovat erilaisia sijainniltaan, kerrosluvultaan, suunnitteluratkaisuiltaan tai tuotantotekniikaltaan. Rajoina toimivat usein liikunta- ja työsaumat sekä moduulilinjat. Lohko jatkuu yleensä pystysuunnassa kellarista ylimpään kerrokseen. Osittelu lohkoihin ja edelleen osakohteisiin mahdollistaa rakennusvaiheiden (esimerkiksi runkovaihe, sisävaihe) aikaisemman aloituksen. Suoritusjärjestyksellä pyritään mahdollisimman lyhyeen rakennusaikaan. (Lahtinen et al. 2015) Suoritusjärjestyksen optimointiin pyritään ns. Hossin sääntöä soveltaen eli työt aloitetaan lohkoista, missä perustus- ja runkovaiheen kesto on lyhin ja viimeiseksi valitaan puolestaan lohko, jossa sisävalmistusvaiheen kesto on lohkoista lyhin. (Kolhonen et al. 2003)

**Aikataulutehtävien muodostaminen:** Aikataulutehtävät ovat toimintoja tai töitä, joiden toteuttamiseen tarvitaan aikaa ja resursseja. Tehtäviin liittyy myös huomioon otettavia täydentäviä suorituksia. Aikataulutehtävät suunnitellaan, niin että ne voidaan hallita haluttujen tavoitteiden mukaisesti. Tehtävävalinnassa otetaan huomioon kaikki työmaan osapuolet, niin pääurakoitsijan omat, kuin aliurakoitsijoiden työntekijät. PMI:n mukaan tehtävien määrittäminen tehdään työn kokonaisuuden osittamisen (work breakdown structure) pohjalta. Kokonaisuuden osittamisessa koko projektin laajuus jaetaan suoritteisiin, jotka jaetaan edelleen tehtäväpaketteihin. Aikataulutettavat tehtävät ovat niitä, jotka vaaditaan tehtäväpakettien suorittamiseksi. (Construction Extension to the PMBOK® Guide, 2007) Toisaalta Ratun mukaan työn osittelu tarkoittaa projektin jakamista pienempiin osiin, joita on helpompi hallita. Tehtävien suoritemäärät saadaan määräluettelosta tai ne lasketaan erikseen. Tietomallipohjaisen määrälaskennan yleistyessä, määräraportteja saadaan helposti suoraan tietomalleista. Mikäli määramittaus tehdään kustannusarviovaiheessa (vrt. tarjousvaihe) työkohteittain tai sijainneittain, se edesauttaa sekä aikataulusuunnittelua että myöhempää hankintojen järjestelyä ja tuotannon valvontaa (Kolhonen et al. 2003).

**Työjärjestyksen suunnittelu ja valinta:** Rakentamisessa tehtävien välillä on usein riippuvuuksia, jotka määrittävät tehtävien suoritusjärjestyksen. Kohdeyrityksen mukaan riippuvuudet voivat olla joko ehdottomia tai valittuja. Valittuihin riippuvuuksiin voidaan vaikuttaa valinnalla tai suunnitelulla. Toisaalta Ratun mukaan riippuvuudet voidaan jakaa neljään ryhmään: Loogiset riippuvuudet ovat ehdottomia teknisesti mahdollista suoritusjärjestystä kuvaavia (raudoitus ennen betonointia). Olosuhderiippuvuudet ovat sopimuksesta, työmaajärjestelyistä tai sääolosuhteista järjestyviä. Tekniset riippuvuudet johtuvat toteutusteknisistä seikoista. Resurssiriippuvuudet kuvaavat taas resurssien siirtymistä aikataulutehtävissä. Toisaalta resurssiriippuvuus tarkoittaa myös resurssien riittävyyttä (yksi työryhmä voi tehdä vain yhtä työtä kerrallaan).

**Tehtävien mitoitus** täydentää tehtäväluetteloa työmenetelmän mukaisella työmenekillä. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös työsaavutusta. Tehtävien keston mitoitus tulee pohjautua määriin, menekkeihin ja resursseihin. Valittaessa työryhmä, jolla on tietty työmenekki tai työsaavutus, saadaan laskettua tehtävän kesto. Työryhmien työmenekistä ja työsaavutuksista löytyy tietoa mm. Ratu-kirjallisuudesta. (Lahtinen et al. 2015)

**Tehtävien ajoitus ja resurssien tasaus** huomioidaan tehtävien tahdistuksen ja rytmityksen kautta sijoitettaessa tehtäviä aikatauluun (paikka-aikakaavio). Tahdistuksen tarkoituksena on saada tehtäville suurin piirtein sama tuotantonopeus ja rytmityksellä pyritään taas tehtävien etenemisen jatkuvuuteen työkohteesta toiseen. Tehtävien tahdistus tehdään kohdeyrityksessä paikka-aikakaaviossa aikataulusohjelmiston avulla. **Aikataulun toteutuskelpoisuus** arvioidaan ennen kuin aikataulu hyväksytään työaikatauluksi. Aikataulu toimii myös tilaajalle viestinnän välineenä, jotta tilaaja osaisi järjestää omia toimintojaan sen perusteella.

**Tuotantoa palveleva aikataulun teko:** Tehtäväluettelo, tehtävien mitoitus, työjärjestys sekä resurssien tasoitus toimivat lähtötietoina aikataulun laatimiselle. Suomessa aikataulut esitetään yleensä jana-aikatauluna tai vinoviiva-aikatauluna. Jana-aikatauluissa esitetään tehtävien lisäksi tyypillisesti välitavoitteet. Paikka-aikakaaviolla havainnollistetaan tehtäviä ja tehtävien aikavälejä eri lohkoissa. Yhdysvalloissa yleinen aikataulun laadintateknikka on myös kriittisen polun menetelmän (critical path method) ja kriittisen ketjun menetelmä (critical chain method). Kriittisen polun menetelmässä etsitään pisin peräkkäisten tehtävien jono, jolle määritetään lyhin mahdollinen toteutus aika. Kriittisen ketjun menetelmä perustuu kriittisen polun menetelmään. Siinä määritetään resurssien tasaimiseksi pelivaroja sellaisille tehtäville, jotka eivät ole kriittisellä polulla. Näissä tapauksissa aikataulu esitetään yleensä tehtäväverkkona. (Construction Extension to the PMBOK® Guide, 2007)

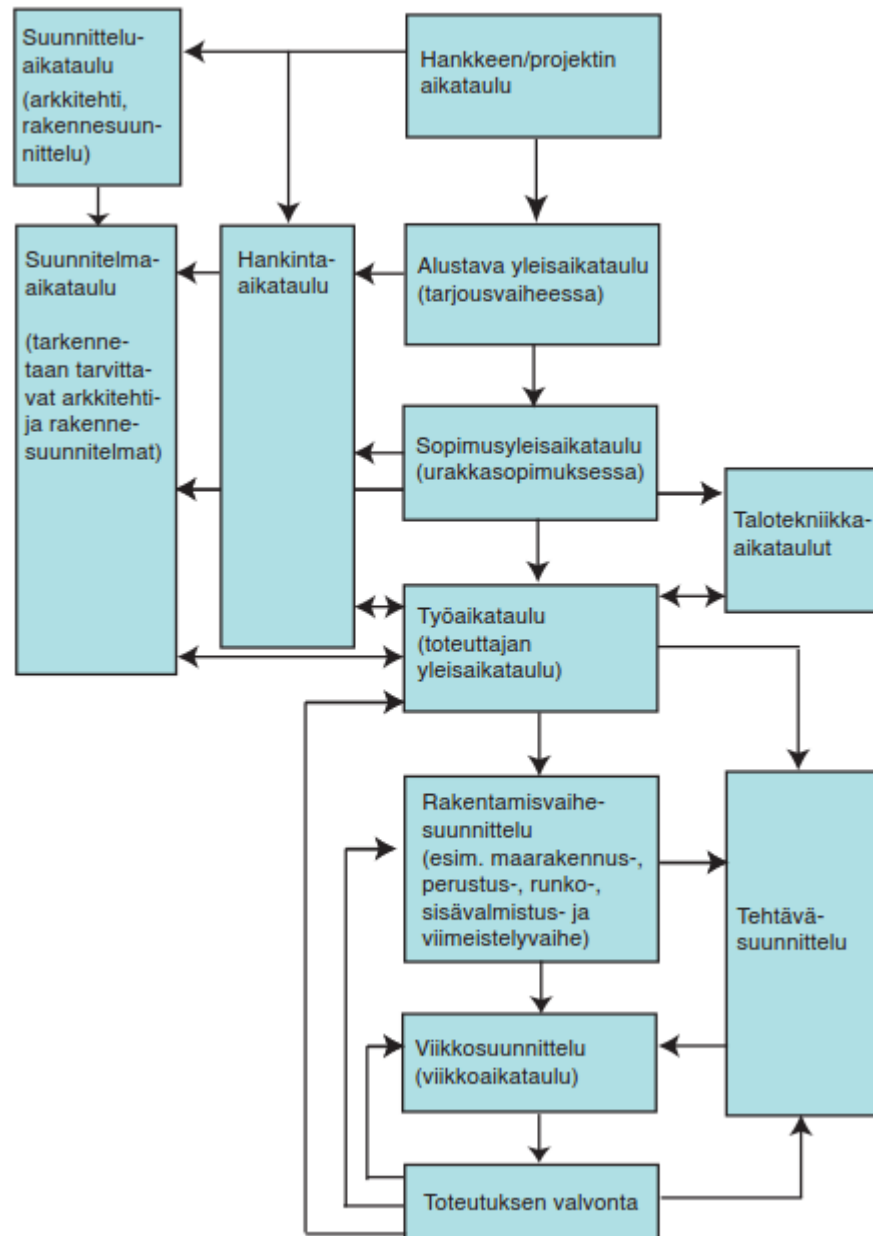
### 2.2.3 Hankkeen aikataulut

Aikataulusuunnittelun osalta keskeisimmät ratkaisut tehdään hankesuunnitteluvaiheessa, jossa rakennuttaja päättää hankkeen tavoitteet, ajalliset raamit ja laatii hankeaikataulun. Tästä eteenpäin aikataulut tarkentuvat vaiheittain määrättyihin ajankohtiin sidottuihin osatavoitteisiin ja ennalta määrätyn kestoisiin tehtäviin. Kuvassa 5 esitellään aikataulusuunnittelun tarkentuminen rakennushankkeessa ja mistä aikataulujen lähtötiedot tulevat. Tässä luvussa esitellään eri aikatauluja ja niiden merkitystä rakennushankkeen vaiheissa. Luvussa keskitytään enemmän hankkeen alkupään aikatauluihin, koska ne ovat tässä tutkimuksessa enemmän relevantteja. Työssä käytetään termiä tarjousvaiheen aikataulu, jolla tarkoitetaan kuvan 5 alustavaa yleisaikataulua.

#### Hankeaikataulu eli projektiaikataulu

Hankeaikataulun laatii rakennuttaja tarkistaakseen, että projekti voidaan toteuttaa normaalissa ajassa. Hankeaikataulu kuvaa koko hankkeen etenemisen. Hankeaikataulu on tärkeä työkalu rakennuttajalle hankkeen oikea-aikaisen valmistumisen ja laadun kannalta. Epärealistinen aikataulu aiheuttaa laatuvirheitä ja aikataulullisia ongelmia. Huolella valmisteltu projektiaikataulu jättää tarpeeksi aikaa luovutuksen valmisteluun. Rakennuttajan hankeaikataulun avulla tilaaja voi hoitaa oman osuutensa (suunnitelmat ja rahoitus) soivasti. Hankeaikataulussa varataan myös joustoa muutoksille ja yllätyksille, jotta urakoitsijalle jää pelivaraa. (Koskenvesa & Sahlsted 2013) Rakennuttajan keskeisimpiä aikataulupäätöksiä hankeaikatauluun Koskenvesan ja Sahlstedin mukaan (2013) ovat:

- kokonaiskesto ja vuodenaika
- välitavoitteet
- suoritusjärjestys
- suunnitelmien valmistumisajankohdat
- suunnittelun ja rakentamisen limittäminen.



*Kuva 5. Aikataulusuunnittelun eteneminen rakennushankkeessa (Koskenvesa & Sahlsted 2013).*

### Yleisaikataulu

Yleisaikataulu on urakoitsijan tai päätoteuttajan näkökulma rakennustöiden ajoittamiselle. Yleisaikataulu on hyvin keskeinen osa rakennushankkeen aikataulusuunnittelua. Yleisaikataulu on työmaan toteutuksen ja ajallisen ohjauksen malli. Yleisaikataulun myötä tulee mitoitettua myös pääresurssit, toimien lähtötietona resurssisuunnitelmille ja tarkemman tason aikatauluille. Yleisaikataulu jakautuu käyttötarkoitukseltaan, sisällön tarkkuustasoltaan ja laadinnan ajankohdaltaan kolmeen erilaiseen aikatauluun: Alustava yleisaikataulu, sopimusaikataulu ja työaikataulu. Tyypillisesti työmaalla yleisaikataululla tarkoitetaan työaikataulua. (Lahtinen et al. 2015)

### **Alustava yleisaikataulu**

Ennen rakentamispäätöstä tai urakkatarjouksen antamista päätoteuttaja laatii hankkeelle alustavan yleisaikataulun. Sen tehtävä on tarkistaa miten rakennustyöt sopivat rakennuttajan hankeaikataulun rakennusaikaan ja selvittää hankkeen ajallinen kireystaso. Alustava yleisaikataulu toimii myös tarjouslaskennan apuvälineenä töiden ajoituksen kannalta ja aikasidonnaisten kustannusten laskentaperusteena. Tämän aikataulun tarkoituksena on hankkeen eri toteutusvaihtoehtojen analysointi ja vertailu. (Koskenvesa & Sahlsted 2013)

Alustavan aikataulun avulla arvioidaan muun muassa:

- hankkeen kustannuksia ja riskejä
- muita alustavia tuotannosuunnitelmia
- välitavoitteiden saavuttaminen
- aikataulun kireys ja vuoden aikojen vaihtelu
- aikaan sidotut työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset
- henkilöstö ja kalustoresurssit ja niiden ajoittuminen
- tärkeimpien materiaali- ja alihankintojen toimitusajat.

Alustavan yleisaikataulun lähtötietoina toimivat tarjouspyyntöasiakirjat, eli tarjouspyyntökirje, kaupalliset ja tekniset asiakirjat. Urakkaohjelmassa määritellään urakoitsijalta vaadittavat laadunvarmistusmenettelyt, urakka-aikaa koskevat erityisvaatimukset ja sakkolliset välitavoitteet. Tekniset suunnitelma asiakirjat koostuvat piirustuksista sekä rakennus- ja työselostuksista. Tietomallintamisen yleistyessä osa tiedoista voi olla sisällytetty tietomalleihin. (Koskenvesa & Sahlsted 2013, s. 43 – 44)

Alustavassa yleisaikataulussa otetaan huomioon vain tärkeimmät aikataulutehtävät, piirustusten, työselostusten, suunnitelmien ja kokemuksen perusteella. Yleensä ensiksi laaditaan töiden aikataululuonnos, johon nimikkeitä valitaan rakennuskohteesta riippuen noin 20 – 40, joskus useampiakin. Alustavassa yleisaikataulussa rakennusvaiheille ja tehtäville määritetään aloitus- ja lopetusajankohdat, hankesuunnitelman mukainen valmistuspäivämäärä ja välitavoitteet sekä muut merkittävät tavoitteet, kuten lämpö päälle tai sähköpääkeskus asennettu. Tehtävien osalta aikatauluun merkitään määrä ja yksikkö, jotka saadaan määräluettelosta. Jokaiselle tehtävälle määritetään tahdistava resurssi ja työmenekki. Aikataulutuksen lähtötietoina voidaan käyttää yrityksen aiempaa kokemusta, yrityksen tiedostoja tai Ratu-tiedostoa. Lähtötieto kannattaa merkitä aikatauluun, jotta tiedon hyödyntäminen ja arviointi mahdollistuu jatkossakin. Menekkitietojen avulla määritetään kunkin tehtävän kesto kokonaisaikana eli työvaihe aika T4. (Koskenvesa & Sahlsted 2013, s. 43 – 44)

### **Sopimusyleisaikataulu**

Alustava yleisaikataulu käydään läpi sopimusneuvotteluissa. Tarvittaessa alustavaa yleisaikataulua muokataan ja tarkennetaan. Kun sopimusosapuolet hyväksyvät ja tarkentavat aikataulun, liitetään se sopimukseen sopimusyleisaikatauluksi. Rakennuttajan ja päätoiteuttajan välisessä sopimusaikataulussa on keskeistä, että siitä löytyy tärkeät ajankohdat



sekä rakennuttajan että toteuttajan näkökulmasta; rakennuttajan hankinnat ja toimintakeiden käynnistäminen. Sopimusaikataulusta tulee tulla ilmi ainakin aloitus- ja valmistuminen ja välitavoitteet. Sopimusaikataulu on rakennuttajan työkalu valvoa ja ohjata pääurakoitsijan toimia. Välitavoitteisiin voidaan liittää sakkoa, jolloin lohkojen työjärjestystä tai tehtävien kestoja on vaikeampaa muuttaa urakkasopimuksen jälkeen. Jos aikataulua halutaan vielä muokata tämän jälkeen, pitää sopimuksessa mainita tapa, jolla päätoteuttaja voi hyväksyttää tarkennetun aikataulun rakennuttajalla. (Koskenvesa & Sahlsted 2013, s. 45)

### **Työaikataulu**

Sopimusyleisaikataulun tarkennetaan pääurakoitsijan toimesta työaikatauluksi työmaata ja eri aliurakoitsijan töiden yhteensovittamista varten. Työaikataulu toimii päätoteuttajan ja aliurakoitsijoiden välisten sopimusten ajallisena pohjana. Työmaalla työaikataulusta käytetään nimitystä yleisaikataulu. Työaikataulu toimii hankkeen toteutusprosessin puolisena lankana ja siten tarkemman tason aikataulut perustuvat työaikatauluun. Työaikataulun lähtötietona toimivat aikaisemmat aikataulut ja niiden tarkentuneet lähtötiedot. Laadinta tehdään aiempaa tarkemmin, kun tehtävät jaetaan alatehtäviin ja lohkoihin. Lohkoilla tarkoitetaan kohteen fyysisiä osia, joita voidaan tarkastella omina kokonaisuuksinaan. Lohkot muodostetaan yleensä moduulilinjoittain tai kerroksittain. Lohkojaon avulla aikataulua voidaan tiivistää, kun tehtävät aloitetaan lohkoittain aikaisemmin edeltävän tehtävän siirtyessä seuraavaan lohkoon. Kaikki tehtävät, niin pääurakoitsijan omat kuin aliurakoitsijoiden, esitetään mitoitettuina ja riippuvuuksineen. Tehtävät mitoitetaan tehollisten työvuoroaikojen (T3) perusteella. Tehtävien häiriöt eli yli tunnin mittaisiin katkoksiin varatut ajat esitetään aikatauluissa. (Koskenvesa & Sahlsted 2013, s. 45 – 47)

Taloteknisten töiden eteneminen esitetään myös työaikataulussa, mutta usein ne esitetään selvyyden vuoksi myös omana aikatauluna eli **talotekniikka-aikatauluna**. Aikataulu laaditaan työaikataulun pohjalta talotekniikkaurakoitsijoiden yhteistyön tuloksena. Aikataulussa esitetään tehtävät jaoteltuna sopimuskokonaisuuksittain tai tekniikkajärjestelmittäin. (Koskenvesa & Sahlsted 2013, s. 53)

### **Tarkempien aikataulujen tarkoitus**

**Rakentamisvaihe aikataulu** laaditaan rakentamisvaiheelle tai ajanjaksolle. Sen tarkoituksena on varmistaa työaikataulun saavuttaminen. Tällöin mitoitetaan tärkeimpien työvaiheiden resurssit tehollisten työmenekkien (T3-ajat), tehtävien limitysten ja vaihtoehtolaskelmien avulla. Rakentamisvaihe aikataulu pohjautuu työaikatauluun ja se antaa vastaavasti puitteet viikkoaikataulujen laadintaan. Rakentamisvaihe aikataulu laaditaan työmaalla yleensä 2 – 6 kuukauden ajanjaksoille tai rakentamisvaiheille, kuten maanrakennus, perustus, runko ja vesikatto-, sisävalmistus sekä viimeistely ja luovutusvaihe. Aikataulun tärkeimmät lähtötiedot koostuvat sopimusasiakirjoista, työaikatauluista, tarkennetuista määrälaskelmista ja teknisistä suunnitelmista. Aikataulussa esitellään rakennustek-

niset työt, tärkeimmät aliurakat mitoitettuna sekä niiden töiden välisiä riippuvuuksia. Laadinta toteutetaan yleensä aliurakoitsijoiden kanssa yhteistyönä, jotta urakoitsijat saataisiin sitoutumaan aikatauluun. (Lahtinen et al. 2015)

Lahtisen et al. mukaan **viikkoaikataululla** pyritään varmistamaan lyhyen aikajänteen töiden tavoitteiden toteutuminen sekä resurssien tehokas käyttö ja riittävyys. Vastaava työnjohtaja tai työpäällikkö selvittää tavoitteet vaihe- tai yleisaikataulun perusteella. Tavoitteena voi toimia esimerkiksi tietty rakenne tai alue ja sen valmius määrättyinä päivinä. Myös yhteistyö muiden työnjohtajien töiden kanssa tarkistetaan. Viikkoaikataut laaditaan 1 – 3 viikoksi eteenpäin tehtävien mukaan. Työnjohtajat laatii omat aikataulunsa ja ne sovitetaan yhteen vastaavan työnjohtajan johdolla. Viikkosuunnitelulla pyritään varmistamaan työn edellytykset, kuten vapaa työkohte, suunnitelmat, koneet, kalusto, materiaalit ja tekijät eli resurssit sekä riittävä aika toteutukseen.

**Tehtäväsuunnittelun** tarkoituksena on varmistaa yksittäisen rakennustyön toteutuminen, sille asetetun ajallisten, taloudellisten ja laadullisten tavoitteiden puitteissa. Tehtäväsuunnittelussa karkeamman tason suunnittelu tarkentuu niin, että suunnitelma tarjoaa konkreettiset välineet työmaan johdolle tuotannonohjausta varten. Tehtäväsuunnitelman laatii joko vastaavatyönjohtaja, tehtävään nimetty työnjohtaja tai aliurakoitsijoiden työnjohto. Tehtäväsuunnitelmassa selvitetään mm. työnkokonaisuuteen kuuluvat työnosat, aika- ja kustannustavoitteet, liittyminen toisiin töihin, tarvittavat resurssit, aloitusedellytykset, laadun tavoitteet ja varmistus ja potentiaaliset ongelmat. Tehtäväsuunnitelma käydään yleensä läpi tehtävän aloituspalaverin yhteydessä. (Lahtinen et al. 2015)

### **Hankinta- ja suunnitelma-aikataulu**

**Hankinta-aikataulu** tarkoittaa rakennushankkeen ajallista suunnittelua hankintojen osalta. Rakennushankkeen käynnistyessä osa hankintatyöstä aloitetaan aikailematta, jottei aloitus viivästyisi. Siksi hankintoja aikataulutetaan karkeasti jo hankkeen alussa ja se tarkennetaan hankinta-aikatauluksi työaikataulun laadinnan yhteydessä. Hankinta-aikataululla sidotaan hankinnat työaikatauluun. Hankinnat ajoitetaan toimitushetkestä taaksepäin, jotta tarjousprosessille (tarjouspyyntö, tarjouksen antaminen, käsittely, neuvottelu ja päätös) varataan riittävästi aikaa. Karkean hankinta-aikataulun lähtötiedot tulevat hankinta-aikataulusta ja lähtötieto tarkentuu yleisaikataulun tarkentumisen myötä. Hankinta-aikataulu toimii lähtötietona suunnitelma-aikataululle. (Koskenvesa & Sahlsted 2013, s. 51 – 53)

**Suunnitelma-aikataulu** (piirustusaikataulu) laaditaan suunnittelunjohtamisen tueksi. Aikataulussa esitetään suunnitelmien ajankohdat, jolloin suunnitelmien tulisi olla valmiina ja käyttökelpoisia. Oikein mitoitettu ja ohjattavissa oleva suunnitelma-aikataulu on keskeinen suunnittelujohtamisen työkalu. Suunnitelma-aikataulu liittyy keskeisesti myös hankinta-aikatauluun, koska suunnitelmat toimivat lähtötietoina hankinnoille ja ovat osana hankintojen tarjouspyyntöjä. (Koskenvesa & Sahlsted 2013, s. 48 – 50)

## 3. TIETOMALLIT RAKENTAMISESSA

### 3.1 Tietomallintaminen ja sen edut

Yksi lupaavimmista saavutuksista arkkitehtuuri- ja insinööri- ja rakennusalan kehityksessä viime vuosina on rakennusten tietomallintaminen. Tietomallien avulla rakennetaan rakennusten virtuaalisia malleja digitaalisesti. Nämä tietokoneavusteisesti valmistetut mallit sisältävät täsmällistä tietoa rakennuskomponenttien geometriasta ja muuta tarpeellisesta tietoa valmistuksesta, rakentamisesta ja hankintatoimista. Tietomallintamisen avulla voidaan tehdä simulointi- ja elinkaarianalyysyjä. Tietomallien tehokkaalla käytöllä on mahdollista tuottaa rakennushankkeen kokonaisvaltainen suunnittelu- ja rakennusprosessi, minkä tuloksena syntyy laadukkaampi tulos projektin keston ja kustannusten pienenessä. (Eastman et al. 2011) Penttilän et al. (2006a) mukaan mallintaminen on kokonaisvaltainen ja integroitu keino hallita hankkeen tietoja digitaalisessa muodossa. Tietomallien avulla rakennusten suunnittelussa, toteuttamisessa, käytössä ja ylläpidossa tarvittava tieto on perinteisiä piirustuksia paremmin hallittavissa.



**Kuva 6.** Tärkeimmät sidosryhmät, jotka hyötyvät BIM:stä. (Tekla Structures)

Tietomallipohjaista tietoa voidaan käsitellä ja tulkita ihmisten lisäksi myös tietokoneohjelmilla ja -järjestelmillä. BIM tähtää parantamaan yhteistyötä sidosryhmien (Kuva 6) välillä vähentäen projektin dokumentaatioon vaadittavaa aikaa ja tuottaen ennustettavampaa projektin ulostuloa. BIM tarjoaa mahdollisuuden saavuttaa tarkkuutta ja varmuutta tuotteiden ja palveluiden jakelussa. Tietomallinnus parantaa tehokkuutta ja sallii suunnit-

teluprosessien uudelleenkäyttöön. (BuildingSMART UK 2010). Tietomalliin voidaan tallentaa ja siitä saadaan poimittua tietoa mm. rakennuksen tiloista, rakenteista, materiaaliominaisuuksista sekä mitoista ja määristä. Tietomallien avulla tietoa voidaan tallentaa ja siirtää rakennushankkeen eri osapuolten välillä nopeammin, luotettavammin ja tehokkaammin verrattuna perinteisiin menetelmiin. (Penttilä et al. 2006)

### 3.1.1 Yleiset tietomallivaatimukset

Vuonna 2012 valmistui päivitys ”Yleiset tietomallivaatimukset 2012” (YTV12) alun perin vuonna 2007 Senaatti-kiinteistöjen toteuttamiin yleisiin tietomallivaatimuksiin. Hanke toteutettiin COBIM-hankkeen muodossa ja siinä oli mukana myös paljon muita osapuolia, kuten kiinteistön omistajia, rakennuttajia, rakennusliikkeitä sekä ohjelmistotaloja (buildingSMART Finland). Tarve näille vaatimuksille syntyi rakennusalalla nopeasti kasvavasta tietomallien käytöstä. Rakennushankkeen jokaisessa vaiheessa on tärkeä määrittellä entistä tarkemmin mitä ja miten mallinnetaan. Yleiset tietomallivaatimukset 2012 -julkaisusarjan lähtökohtana olivat COBIM-hankkeen tilaajaorganisaatioiden aiemmat ohjeistukset ja niistä saadut kokemukset. Yleiset tietomallivaatimukset 2012 -julkaisusarjassa esitellään vähimmäisvaatimukset tietomallintamiselle ja mallien tietosisällölle. Nämä vähimmäisvaatimukset on tarkoitettu noudatettavaksi kaikissa tietomallinnettavissa hankkeissa, ja niiden lisäksi voidaan tapauskohtaisesti esittää lisävaatimuksia. YTV 2012 käsittää 14 osaa, joissa tietomallinnettavan hankkeen kulku ja eri osapuolten tehtävät sekä tuotettavien dokumenttien vaatimukset on kuvattu seikkaperäisesti. Yleiset tietomallivaatimukset (2012aa) koostuvat seuraavista osista:

- Yleinen osuus
- Lähtötilanteen mallinnus
- Arkkitehtisuunnittelu
- Talotekninen suunnittelu
- Rakennesuunnittelu
- Laadunvarmistus
- Määrälaskenta
- Mallien käyttö havainnollistamisessa
- Mallien käyttö talotekniikan analyyseissä
- Energia-analyytit
- Tietomallipohjaisen projektin johtaminen
- Tietomallien hyödyntäminen rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana
- Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa
- Tietomallien hyödyntäminen rakennusvalvonnassa

Lisäksi julkaisusarjaan kuuluvat seuraavat täydentävät liitteet:

- YTV2012 Täydentävä liite ARK Tilaaajan ohje
- YTV2012 Täydentävä liite RAK Tilaaajan ohje
- YTV2012 Täydentävä liite Talotekniikan määrälaskentaohje
- YTV2012 Täydentävä liite Talotekniikan mallinnusvaatimuksia.

### 3.1.2 Tietomallintamisen hyödyt

Rakennusten tietomallintaminen on kokonaisvaltainen tapa hallita rakennushankkeen tietoja virtuaalisessa muodossa. Eri suunnittelualojen malleja ja niistä tuotettavia yhdistelmä malleja voidaan hyödyntää tehokkaasti monin eri tavoin. Tietomallintamisen avulla on saavutettavissa paljon erilaisia hyötyjä. Seuraavassa listassa esitellään kohdeyrityksen näkökulmia tietomallintamisen hyödyistä:

- vaihtoehtojen analysointi havainnollisten suunnitelmien avulla erityisesti hanke-suunnitteluvaiheessa
- tuki asiakkaan päätöksenteolle ja vastaavuus asiakkaan tarpeisiin
- suunnitteluprosessin tehostaminen
- suunnitelmien yhteensopivuuden varmistaminen ennen rakentamista ja suunnitelmien virheettömyys
- toiminnan tehostaminen määrä- ja kustannuslaskennassa, tuotannosuunnittelussa, rakentamisessa ja hankinnoissa.

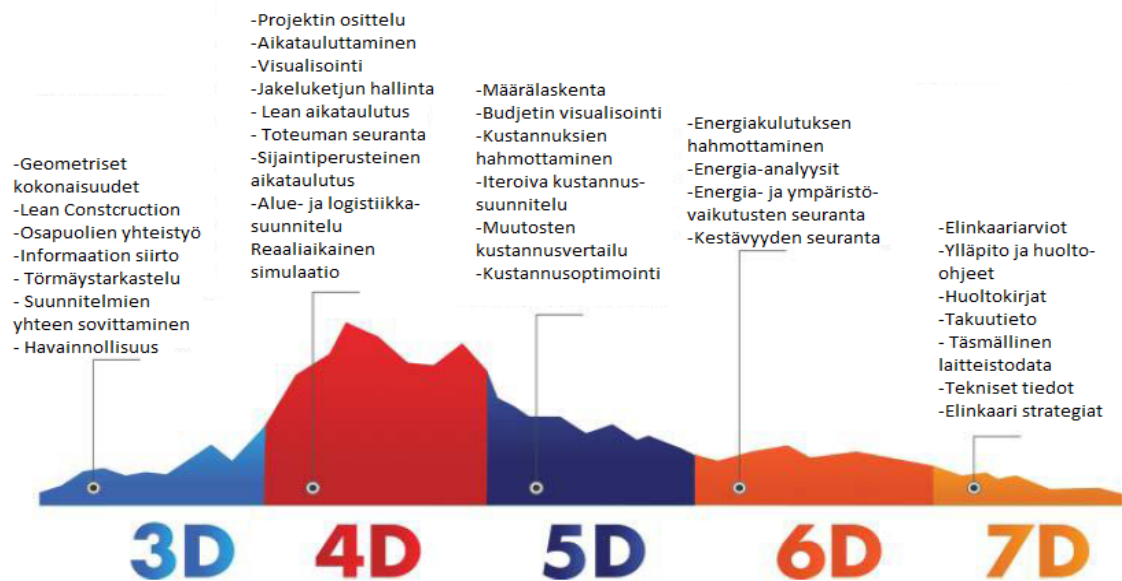
Tietomallinnettujen projektien määrä kasvaa jatkuvasti. Kohdeyrityksen tavoitteena on, että pyritään mallintamaan omassa asunto-, liike ja toimitilakehityksessä kaikki kohteet kokonaisuudessaan. Malleja käytetään määrälaskennassa, hankinnan ja tuotannosuunnittelun tukena. Suunnitteluvaiheessa mallien tarkastuksella tähdätään laadukkaampaan suunniteluun ja sujuvampaan tuotantoon. (Skanska) Tietomalleja hyödynnetään nykyään rakennuksen koko elinkaaren ajan aina suunnittelun alusta jatkuen itse rakentamisen jälkeen, käytön ja ylläpidon aikana. COBIM hankkeen tuloksena valmistuneiden yleisten tietomallivaatimusten mukaan tietomallit mahdollistavat muun muassa:

- investointipäätöksien tuen vertailemalla ratkaisujen toimivuutta
- energia-, ympäristö- ja elinkaarianalyysit ratkaisujen vertailua, suunnittelua ja ylläpidon tavoiteseurantaa varten
- suunnitelmien havainnollistamisen ja rakennettavuuden analysoimisen
- laadunvarmistuksen, tiedonsiirron parantamisen ja suunnittelun tehostamisen,
- rakennushankkeiden tietojen hyödyntämisen käytön ja ylläpidon aikaisissa toiminnoissa. (COBIM 2012aa)

### 3.1.3 BIM:n ulottuvuudet

BuildingSMART UK (2010) määrittelee rakennuksen tietomallin (BIM) seuraavasti: ”Rakennuksen tietomalli on joukko informaatiota joka on koottu niin, että data on mahdollista jakaa. BIM on digitaalinen malli rakennuksesta, johon on varastoitu projektin tietoa. Se voi olla 3D-, 4D- (aikaulottuvuus) tai 5D-malli (kustannustieto) – aina nD-malleihin saakka. (Termi pitää sisällään muut tietomallien informaatioulottuvuudet.) Projektin tiedonmaljana BIM on massiivisen monipuolinen ja potentiaalinen.” Kuvassa 7 esitellään tietomallien toimintoja informaatioulottuvuuksien mukaan. Kuvan y-akseli esittää

Mubarakin (2015) mukaan tietomallintamisen nykytilanteen kehityksen painottumista eri informaatioulottuvuuksille.



*Kuva 7. Tiivistelmä nD-BIM toiminnoista (muokattu lähteestä Mubarak 2015).*

### 3D-BIM

Kolmiulotteiset mallit ovat digitaalisia esityksiä rakennuskomponenteista ja laitteista tilavuusulottuvuudessa (leveys, pituus, syvyys). Rakennuskomponentteihin voidaan lisätä älykkäitä ominaisuuksia, jotka antavat informaatiota materiaaleista, liitettävyydestä, objektien budjettikoodirakenteesta, materiaalin toimittajista ja vastuullisista aliurakoitsijoista. Verrattuna perinteisiin 2D piirroksiin, tietomallit ovat paljon älykkäämpiä. Kolmiulotteisissa mallissa pystytään tekemään myös törmäystarkastelua, joka paljastaa mahdolliset ristiriidat ja puutteet esimerkiksi eri suunnittelualojen suunnitelmissa. (Mubarak 2015, s. 393 – 420) 3D-mallien käyttöönotolla mallin suunnittelun koordinointi projektin osapuolien kesken tehostuu ja virheet vähenevät. Tämä johtaa tehokkaampaan rakennusprosessiin ja pienempiin kustannuksiin samalla minimoiden mahdollisia riitatilanteita. (Eastman et al. 2011)

### 4D-BIM

Yleisesti 4D-mallit määritellään 3D-malleiksi, joihin on liitetty aikaulottuvuus. 4D-BIM vaatii rakennusaikataulun linkittämisen 3D-malliin, mikä mahdollistaa rakennuksen ja työmaan visualisoinnin näkyvään muotoon missä tahansa rakennusprosessin vaiheessa. 4D-työkalut sallivat suunnittelijoiden kommunikoida visuaalisesti ja suunnitella tehtäviä ajan ja tilan ehdoilla. (Eastman et al. 2011) 4D-mallia voidaan pitää rakennusprojektin virtuaalisena simulaationa, johon on sisällytetty tietoa hankkeen sijainneista, resursseista ja etenemisestä. Aikataulun visualisointi mahdollistaa rakennushankkeen osapuolien tutkia ja havainnollistaa kuinka projekti toteutuu sille määrättyssä ajassa. (Mubarak 2015, s. 393 – 420). Tämä mahdollistaa erilaisten toteutusvaihtoehtojen vertailun lohkojakojen ja

aikataulujen osalta. Visualisointi sallii aikataulutehtävien määrittämisen tarkasti työsaavutuksen ja sijainnin suhteen. Parantamalla työsaavutuksia, varsinkin toistuvissa tehtävissä, voidaan saavuttaa merkittäviä tehokkuusetuja. (Kymmell 2008) Simulaation seurauksena rakennushankkeen eteneminen tulisi tutkittua paljon tarkemmin. Tämä voisi paljastaa mahdollisia ongelmia ja tai parantamiskohteita työmaassa, työryhmien koossa, varusteissa, tilakonflikteissa ja turvallisuusasioissa. Tämän tyyppistä analyysiä ei toteuteta paperidokumenteista. Rakennusosien lisäksi aikataulutehtävissä voitaisiin tutkia väliaikaisten objektien vaikutusta rakennustöiden etenemisessä (rakennustuet, -telineet, torninosturit) linkittämällä näitä aikatauluihin. (Eastman et al. 2011; Chau et al. 2004)

Aikataulun visualisoimista voidaan hyödyntää laajasti rakennushankkeen osapuolien (urakoitsijat, suunnittelijat, tilaajat, aliurakoitsijat ja tavaran toimittajat) kesken suunnittelun eri vaiheissa. Rakennusprojektin osapuolien aikaisen osallistumisen myötä 4D-mallintamisen avulla voidaan välttää rakennusprojektin pullonkauloja. Näitä pullonkauloja eli rakennuttavuusongelmia voivat olla esimerkiksi työvoimaresurssien jakaminen ja torninosturin sijainti ja valinta. (Mubarak 2015, s. 393 – 420) Rakentamisen toimialan kommunikaatio- ja koordinaatio-ongelmia voitaisiin minimoida jakamalla projektin informaatiota virtuaalisen alustan avulla projektin osapuolille. 4D-mallien käytöllä arkkitehti-, rakenne ja LVIS-suunnitelmia sekä tuotantosuunnitelmia voitaisiin tehokkaasti hakea ja jakaa projektien osapuolien kesken sekä hankkeen suunnittelu- että rakennusvaiheissa. (Boton et al. 2013)

## 5D-BIM

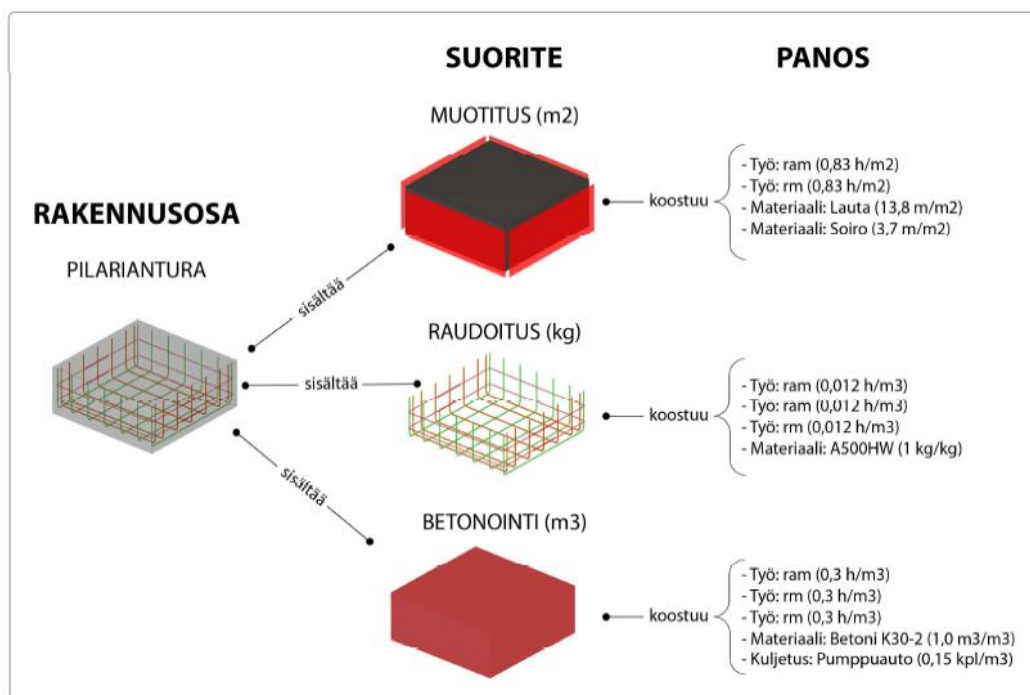
Tietomallipohjainen kustannuslaskenta määritellään usein termillä 5D-BIM, jossa BIM tarkoittaa rakennuksen tietomallintamista ja 5D sen kustannuslaskentaa. (Mitchell & Brandtman 2012) Kohdeyrityksen mukaan tietomalliperusteinen kustannuslaskenta tarkoittaa määrätiedon linkittämistä kustannusarvio-ohjelmaan tai määräluetteloksi. Mitchell ja Brandtman taas (2012) erottelee määrälaskennan ja 5D-tietomallin toisistaan. Heidän mukaansa 5D tarkoittaa kustannustiedon linkittämistä 3D-malliin. Mubarakin (2015) mukaan 5D-mallissa yhdistyy projektin 3D-malli, aika- ja kustannuslaskentatiedot. 4D:n tuodessa aika- ja aikataulutiedot 3D:hen, 5D tuo kustannuslaskennan arvioidakseen koko projektin kustannuksia.

### 3.1.4 Tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta

Määräluettelon laadinta on yksi keskeisimpiä tehtäviä rakennusprosessissa, koska moni muu tehtävä pohjautuu määrätietoihin. Onnistuneen aikataulusuunnittelun, kustannusarvioinnin ja hankintatoimen perusta on kattava ja paikkaansa pitävä määräluettelo. (Eastman et al. 2011) Määrälaskennan näkökulmasta mallin tärkein ominaisuus on johdonmukaisuus: kaikki rakennus- ja tekniikkaosat mallinnetaan projektikohtaisten vaatimusten mukaan, ja käytetty mallinnustapa dokumentoidaan tietomalliselostukseen. (COBIM 2012ab) Yhdenmukainen ja yksityiskohtainen mallinnus pienentää kustannuslaskennan

riskiä. Tämä voi johtaa alempaan tarjoushintaan, koska määrälaskennan epävarmuus pienenee. Tarjousvaiheessa määräluettelon avulla selvitetään projektin kustannukset ja tehtävien ajalliset kestot. Ennen rakentamista määrätietoja käytetään rakennustoimintojen suunnittelussa. Rakennusvaiheessa määriä tarvitaan projektin taloudelliseen hallintaan. (Hardin & McCool 2015; Monteiro & Poças Martins 2013)

Hankkeen alkupäässä tehdään määrätietoihin perustuva rakennusosa-arvio. Arkkitehdin laatimasta rakennuksen tietomallista saadaan hankkeen kustannuksiin tärkeimmät rakennusosamäärät. Rakennesuunnittelijan mallista saadaan rakenteisiin liittyviä määrätietoja, kuten paalupituudet, raudoitukset ja betonielementit. Kaikki mallinnetut rakennusosat saadaan listattua hinnoiteltaviksi riveiksi. Laadittaessa suorite- tai panospohjaista kustannusarviota, tietomallin rakennusosat linkitetään laskentajärjestelmän tuoterakenteisiin tai suoritteisiin. Mallia päivitettäessä määrätiedot muuttuvat automaattisesti. Tietomallipohjaisen määrä- ja kustannuslaskennan perusajatuksena on tuoterakennekirjastojen hyödyntäminen. Tuoterakennekirjastot sisältävät tyyppirakenteiden tuoterakenteita. Kuvassa 8 on esitetty esimerkki pilarianturan tuoterakenteesta. Tuoterakenteesta käytetään yleisesti myös käsitettä tuoteresepti. (Teittinen 2009)

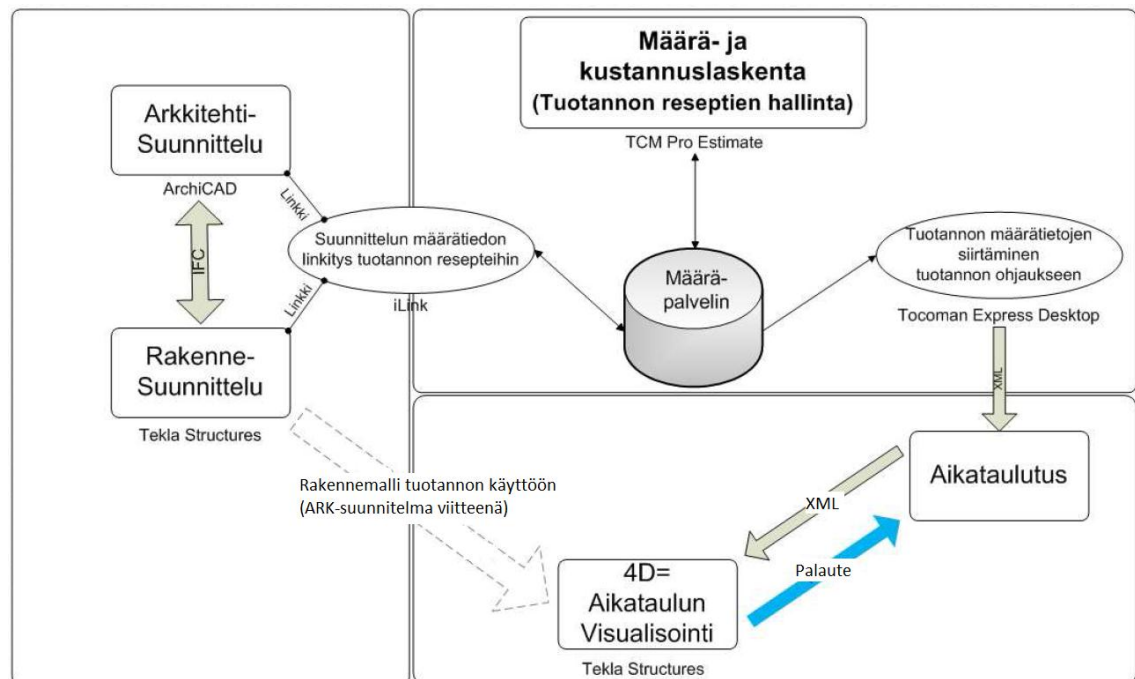


**Kuva 8.** Anturan tuotereseptin muodostuminen (Teittinen 2009).

Tuotanto määrittelee ennen määrälaskentaa, minkälaisista sijainneista perustuvaa määrätietoa tarvitaan (määrät eriteltyinä rakennuksen, lohkon, kerroksen tai portaan mukaan). Sijainnin mukaan eritelty tieto voidaan linkittää tietomallista laskentajärjestelmään tehtyjen sijaintimäärittelyjen mukaisesti. Sijainnin mukaan eriteltyt määrät saadaan myös aikataulusuunnitteluohjelmaan, jolloin työn suunnittelu tarkentuu. Yleensä mallien tarkastus kohdeyrityksessä tehdään ennen määrälaskentaa suunnittelijoiden ja kohdeyrityksen



yhteistyönä. Määrä- ja kustannuslaskennassa mallit voidaan vielä tarkistaa tarkastusohjelmistolla (esimerkiksi Solibri Model Checker). Laskentaohjelmistoilla voidaan tuottaa suunnittelijoiden laatimista tietomalleista sijainnin mukaista määrätietoa. (Skanska)



**Kuva 9.** Esimerkki tiedonkulusta ohjelmistojen välillä (Teittinen 2009).

Kuvassa 9 on esimerkki ohjelmistojen välisistä suhteista ja tiedonsiirrossa käytetyistä tiedostomuodoista määrätietojen linkittämiseksi tuoterakenteisiin. Kuvassa määrätiedon ja tuotannon reseptien väliseen linkittämiseen on käytetty Tocomanin iLink -ohjelmaa, jonka avulla määritellään tietomallin objekteille sääntöpohjaiset ryhmittelyperusteet. Sääntöpohjainen ryhmittely mahdollistaa muutosten nopean kustannusvaikutusten tarkastelun. (Teittinen 2009)

### 3.1.5 BIM ja LEAN -Rakentaminen

Tietomallintamisen ja Lean Construction välillä on nähtävissä vahva yhteys, koska BIM:n käyttö tukee Lean-rakentamisen ja Lean-tuotannon periaatteita. Perinteisten suunnitelmien epäjohtonmukaisuuksista ja tiedonjakamiseen liittyvistä ongelmista syntyy paljon tarpeetonta työtä ja hukkaa. Tietomallintamisen avulla näitä hukkan lähteitä pystytään vähentämään ja lisäksi se parantaa työvirtausta rakennusprosessissa monella tapaa suorasti ja epäsuorasti. (Sacks et al. 2009)

Sacks et al. (2009) tekivät selvityksen Lean Constructionin kytkeytymisestä tietomallintamiseen. Selvityksessä päädyttiin siihen tulokseen, että tietomalliin pohjautuva visuaalinen esitys on erinomainen työkalu prosessin läpinäkyvyyden tarjoamiseen. Visualisoinnilla on lukuisia hyötyjä päivittäisessä rakennussuunnittelussa ja rakentamisessa. BIM

mahdollistaa sekä rakennustuotteiden että prosessien visualisoinnin. Esimerkiksi runkoasennuksen asennusjärjestystä ja liitosdetaljeja voidaan hahmottaa ja tutkia etukäteen tietomalliohjelmistojen 4D-animaatioiden kautta. (Hardin & McCool 2015) Työntekijöille annettu tehtävä ja olosuhteet tulevat entistä selvemmiksi, mikä kasvattaa työntekijöiden motivaatiota. Työnteko paranee vähentäen hukkaa, kun epävarmuus ja väärinkäsitykset poistuvat. (Sacks et al. 2009)

Valmistuksen kokonaiskeston pienentäminen on kaikissa tuotantosysteemeissä tärkeä tavoite. Se auttaa vähentämään työtä prosessissa, vaadittuja varastoja ja parantaa systeemin sopeutuvuutta muutoksiin. Määrien muutokset ovat rakentamisen aikana yleinen ongelma. Muutokset voivat johtua monimutkaisuudesta, asiakkaiden toivomuksista tai laskennallisista virheistä suunnitteluvaiheessa. (Monteiro & Poças Martins 2013) Tietomallien ansioista automaattinen määrälaskenta on nykyään mahdollista (Penttilä et al. 2006a). Määrälaskennan automatisoiminen helpottaa merkittävästi työmäärä hankkeen aikataulusuunnittelussa ja kustannusarvioinnissa. Tietomalleista saadaan helposti sijaintieriteltyä määrätietoa, joka on piirustuksista laskettuna erittäin työlästä. Tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta nopeuttaa kustannusarvioiden tekemistä. Näin suunnitelma- muutoksiin pystytään reagoimaan paljon pienemmällä viiveellä kustannusarvioiden osalta. (Monteiro & Poças Martins 2013) BIM:n käyttö automatisoi aikataulutehtävien generoinnin, rakennusprosessin simuloimisen ja 4D-visualisoinnin, jotka kaikki palvelevat läpivientiaikojen lyhenemistä rakennusoperaatioissa, koska ne auttavat mahdollisten konfliktien ennakoimista. (Eastman et al. 2011, s. 298)

Lisäksi BIM vähentää vaihtelevuutta. Tietomallien avulla voidaan visualisoida muotoa ja tutkia toimintoja ja muuntautua vaihtoehtoratkaisujen välillä, ylläpitää tietoa ja yhteen sovittaa suunnitelmia. Automaattisten raporttien tuottaminen auttaa täsmällisemmän ja luotettavamman informaation luontia. Tämä vähentää suuresti uudelleen tehtävää työtä ja nopeuttaa tiedonkulkua. Tietomallien vakiintuminen vaikuttaa kaikkiin rakennushankkeen osapuoliin, mutta sen taloudellinen vaikutus on voimakkain suoraan itse rakentamisessa. (Mubarak 2015, s. 418 – 419; Eastman et al. 2011, s. 297 – 300)

Tietomallintamien tukee useita Lean-periaatteita LDPS:n (luku 2.1.2) mukaisessa suunnitteluvaiheissa. Asiakkaat ymmärtävät suunnitteluratkaisut paremmin, kun ne havainnollistetaan mallien avulla ja suunnittelijat voivat suorittaa täsmentäviä suoriutumisanalyysejä. Edellytyksien tavoitettavuus ja informaatiovirta paranee. Suunnitelmien ja piirrosten tehostuneet läpivienti ajat tarkoittaa, että rakennus- ja rakentamisen suunnittelulle voidaan varata enemmän aikaa. Tämä mahdollistaa vaihtoehtoratkaisujen tarkemman tutkimuksen optimaalisimman ratkaisun löytämiseksi. (Mubarak 2015, s. 418 – 419; Eastman et al. 2011, s. 297 – 300)

## 3.2 4D-suunnittelu

Tässä luvussa kerrotaan seuraavaksi tarkemmin tietomallipohjaisen aikataulutuksen periaatteista, 4D-mallintamisen prosesseista, ohjeista ja ongelmista kirjallisuuden mukaan. Lopuksi esitellään rakennusalan yleisimpiä tietomalliohjelmistoja, keskittyen aikataulun visualisoinnin suhteen potentiaaliin ohjelmistoihin.

### 3.2.1 Tietomallipohjainen aikataulutaminen

Tietomallien avulla aikataulutehtävät voidaan linkittää suoraan malliin, mikä tuo merkittäviä etuja aikataulusuunnittelussa. Linkityksessä yksi rakennusosa voi esittää useita toimintoja, esimerkiksi paikallavaluseinä voi sisältää muottityön, raudoittamisen, betonoinnin ja muottien purun. Lisäksi visualisoinnin avulla voidaan vähentää monia ongelmia, jotka liittyvät ongelmallisiin suoritusjärjestyksiin tai aikataulun virheelliseen tulkintaan (Hardin & McCool 2015). Toisaalta tietomallipohjaista aikataulutusta voidaan tehdä ilman linkittämistä; visuaalisen tarkastelun avulla nähdään, mikä suoritusjärjestys olisi tuotannon näkökulmasta järkevää. Tämän perusteella osataan arvioida sopiva suoritusjärjestys ja ajallinen kesto ilman aikataulutiedon teknistä linkitystä. Tässä tutkimuksessa käsitellään kuitenkin teknisempää BIM-aikataulutusta, jossa on tarkoituksenmukaista muodostaa linkki tietomalliobjektien ja aikataulutehtävien välille.

Kuten luvussa 2.2.2 mainittiin, ajallinen suunnittelu sisältää aikataulutuksen ja tehtävien osittelun ajallisesti ja sijainnillisesti, resurssien huomioimisen, hankinnat, tilalliset rajoitteet ja muut suunnitteluprosessin vaiheet. Manuaalinen aikataulutus on raskas työtaakka ja se ei aina synkronoidu täysin suunnitelmien kanssa ja tällöin projektiosapuolien voi olla hankala ymmärtää aikataulua ja sen vaikutusta työmaan logistiikkaan. (Hardin & McCool 2015) 4D-teknologia on kehittynyt paikkaamaan nämä puutteet. Rakennusallalle on kehittynyt jo useita kaupallisia työkaluja, jotka soveltuvat 4D-mallien luomiseen. Ohjelmistot pystyvät linkittämään 3D-geometrian aikataulutehtäviin (Kuva 10). BIM-työkalut mahdollistavat aikataulutajan luoda, tutkia ja hyödyntää 4D-malleja, mikä tuottaa luotettavampia ja tehokkaampia aikataulusuunnitelmia. (Eastman et al. 2011) Näitä ohjelmistoja käsitellään myöhemmin tarkemmin luvussa 3.2.4 (Tietomalliohjelmistot).

4D-mallintaminen sallii aikataulun simuloimisen ja tutkimisen. Tietomallin objektien ryhmittely tulisi tehdä eri rakennusvaiheiden mukaan ja linkittää relevantteihin toimintoihin aikataulun mukaan (Büchmann-Slorup & Andersson 2010). Väliaikaiset toiminnot ja rakenteet, kuten torninosturi ja rakennustelineet voitaisiin myös huomioida simuloinnissa. Pääurakoitsijan tietämys on merkittävässä osassa 4D-mallia rakentaessa. Mikäli malli tehdään rakennushankkeen suunnitteluvaiheessa (liimittyy tarjousvaiheen kanssa), niin urakoitsija voi antaa palautetta suunnitelmien rakennettavuudesta, arvioiduista kustannuksista ja kohteen osittelusta. Simulaatiot toimivat rakentamisen suunnitteluprosessissa kommunikaation työkaluna mahdollisten pullonkauloja paljastamisessa ja projektiosapuolien yhteistyön parantamisessa. (Eastman et al. 2011)



*Kuva 10. Navisworks Manage – Timeliner-työkalu (Navisworks).*

### 3.2.2 4D-mallintamisen prosessit

Tässä luvussa esitellään esimerkkejä kirjallisuudesta löytyvistä 4D-mallintamisen prosesseista. Eastman et al. (2011) laatiman BIM – Handbook -teoksen mukaan 4D-mallit voidaan luoda kolmella eri tavalla.

1. Manuaalinen metodi 3D työkalujen avulla
2. Sisäänrakennetut 4D-ominaisuudet 3D- tai BIM-työkalussa
3. 3D/BIM tiedoston vieminen 4D-työkaluun, johon tuodaan aikataulutieto.

#### Manuaaliset CAD-pohjaiset menetelmät

Rakennussuunnittelijat ovat esittäneet rakentamisen etenemistä vuosikymmeniä värikyvien ja piirroksien avulla käyttäen eri värejä rakennushankkeen osille näyttääkseen etenemistä ajan suhteen. Tämä on muuntunut tietokoneavusteiseksi CAD -ohjelmien myötä. Enimmäkseen suunnittelijat ovat tehneet yhteistyötä kolmannen osapuolen kanssa luodakseen esitettävässä muodossa olevia animaatioita visualisoidakseen aikataulua. Tietomallissa voidaan kytkeä päälle ja pois päältä eri rakennusosia jolloin luodaan erilaisia näkymiä, ja näin voidaan luoda erilaisia näkymiä kuvankaappauksien avulla, joihin voidaan liittää aikataulun mukaisia päivämääriä. Tällaiset animaatiot ovat visuaalisesti näyttäviä

ja toimivat siten hyvinä markkinointimateriaaleina. Toisaalta ne eivät ole niinkään tarkoituksenmukaisia työsuunnittelussa tai aikataulutamisessa, koska ne tuotetaan manuaalisesti. Suunnitelmien tai aikataulujen päivittyessä suunnittelijan täytyy uudelleen synkronoida 4D-esitys manuaalisesti aikataulun kanssa ja luoda uusi joukko kuvankaappauksia tai animaatioita. Manuaalisen päivittämisen vuoksi, näiden menetelmien käyttö rajoittuu rakennusprojektin varhaisiin vaiheisiin, kun rakennusprosessin visualisointia tehdään asiakkaalle tai ulkopuoliselle toimijalle. (Eastman et al. 2011)

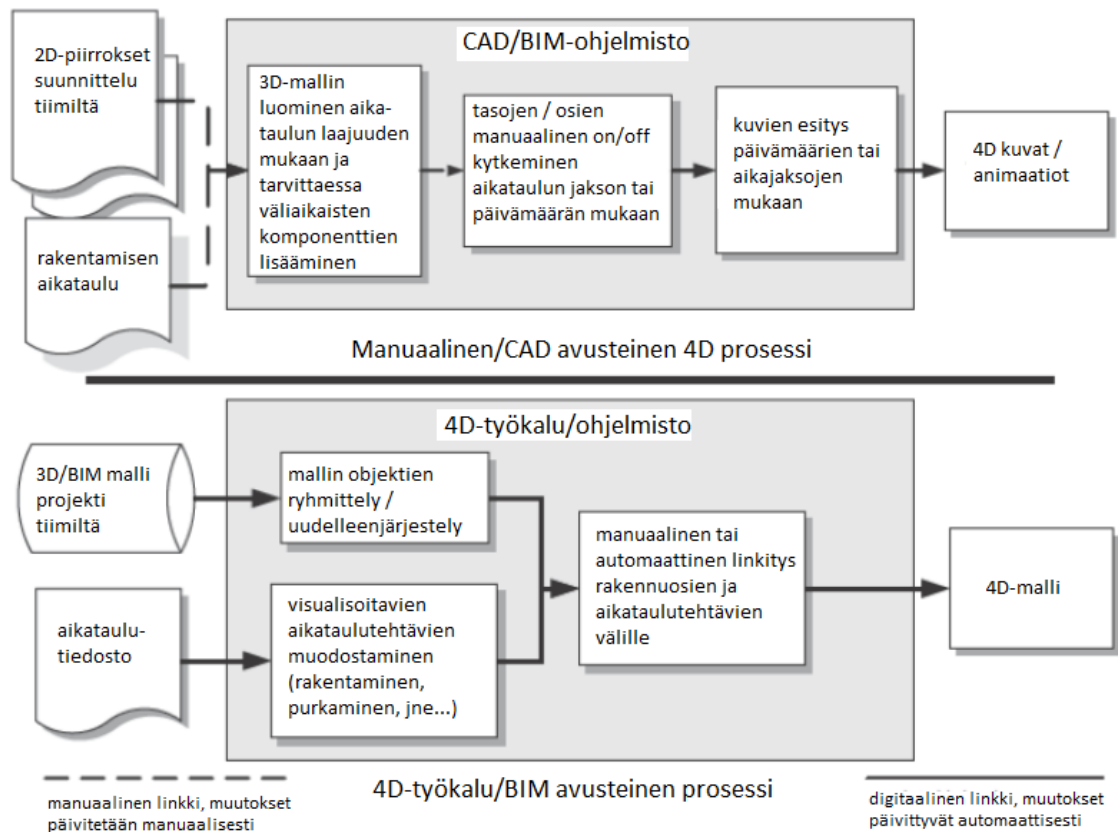
### **BIM-työkalut 4D-ominaisuuksilla**

Toinen tapa simuloida 4D kuvankaappauksia on sovelluksien avulla, jotka ominaisuuksillaan voivat lajitella tietomallin objekteja automaattisesti niiden ominaisuuksien tai parametrien mukaan. Esimerkiksi Solibri Model Checker -ohjelmassa objektit voidaan määrittää kuuluvaksi ”vaiheeseen”, joka voidaan nimetä esimerkiksi ”viikko 47” tai ”purettavat osat” ja järjestää nämä vaiheet haluttuun järjestykseen. Tämän tyyppiset toiminnot mahdollistavat simuloinnin kuvankaappauksien avulla, mutta se ei vielä linkitä tietomalliobjekteja suoraan aikatauludataan. Edistyneempänä ohjelmaesimerkkinä esitellään Tekla Structures, BIM-työkalu, jossa on sisäänrakennetut aikatauluominaisuudet (Task Manager -työkalu). Tämän kaltaiset sovellukset mahdollistavat linkityksen tietomallin rakennusosien ja aikataulutehtävien välillä. Yksi fyysinen objekti voidaan linkittää useaan eri toimintoon tai yhteen toimintoon voidaan linkittää useampi eri objekti, mikä mahdollistaa rakennuskohteen etenemisen simuloimisen. Näihin simulaatioihin voidaan lisätä myös väliaikaisia laitteita ja telineitä. Kuitenkin, suurin osa BIM-työkaluista ei omaa aika- tai päivämäärän linkitysominaisuuksia, vaan vaativat erikoistuneita lisäosia tai 4D-moduuleja linkityksen mahdollistamiseksi. (Eastman et al. 2011)

### **4D työkalu, joka yhdistää 3D/BIM:n ja tuodun aikataulun**

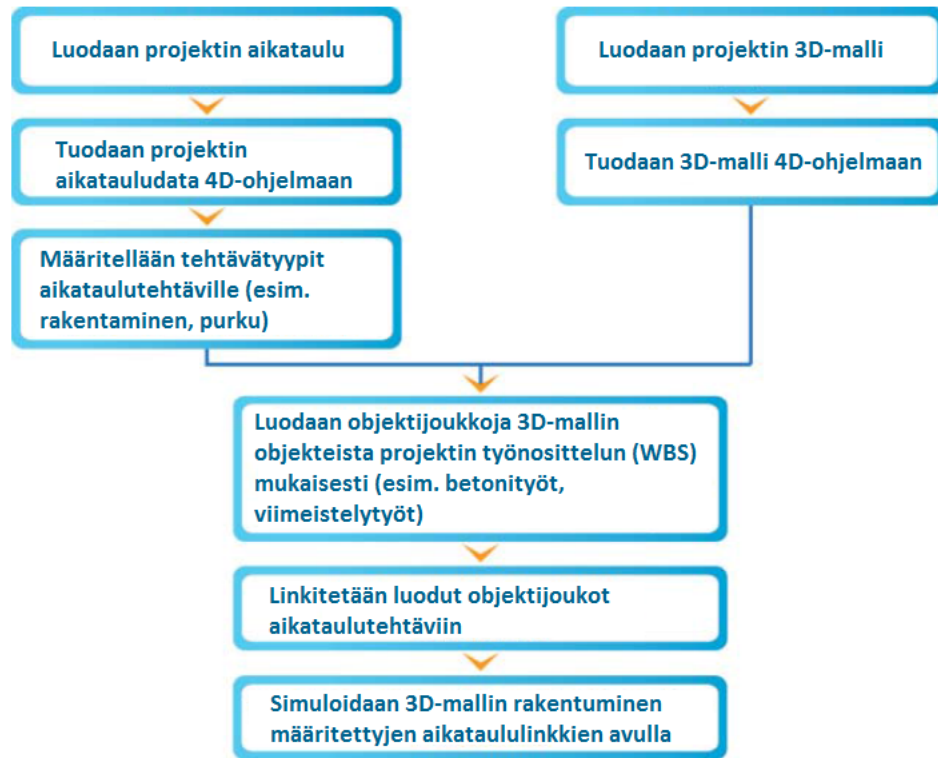
Manuaalisten 4D-menetelmien puutteiden vuoksi useat ohjelmistojen tarjoajat ovat kehittäneet simulointiin erikoistuneita sovelluksia, joilla 4D-malleja voidaan tuottaa 3D-malleista ja aikatauludatasta. Tällaiset 4D-työkalut (esimerkiksi Navisworks) helpottavat 4D-mallien tuotantoa ja editoimista ja tarjoavat aikataulutajalle lukuisia ominaisuuksia kustomoida ja automatisoida 4D-mallien tuotantoa. Tyypillisesti tällaiset sovellukset tarvitsevat 3D-mallin CAD tai BIM ohjelmasta yleensä IFC-muodossa. Useimmissa tapauksissa 3D-malli on rajoittunut geometriaan ja minimaaliseen joukkoon attribuutteja kuten nimi, väri, ryhmä tai hierarkiataro. Aikatauludata voidaan tuoda aikataulu ohjelmistoista, kuten Vico, MS Project tai Primavera. Aikatauluttaja linkittää 3D-mallin komponentit aikataulun tehtäviin ja asettaa niille visualisointisäännöt. Kuva 11 havainnollistaa kahta eri lähestymistapaa 4D-esityksen luomiseksi. Kuvan ylempi prosessi, esittää, kuinka rakennusprosessia voidaan simuloida kuvankaappauksien avulla tehtävien kuvasarjojen avulla, kun lähtötietona ovat 2D-piirrokset. Toisaalta prosessi on samankaltainen, mikäli lähtötietona toimisi 3D-malli. Alempi prosessi taas kuvaa, kuinka todellinen 4D-malli

voidaan luoda 3D-mallista käyttämällä 4D-suunniteluun erikoistunutta työkalua. (Eastman et al. 2011)



**Kuva 11.** Manuaaliset & 4D-BIM työkalut (muokattu lähteestä Eastman et al. 2011, s. 298).

Seuraavaksi esitellään vertailupohjaksi 4D-mallin prosessi Mubarakin (2015). Hänen esittelemä prosessi on kuvan 11 alemman osan kaltainen. Mubarakin (2015) mukaan rakennuksen 3D-malli kehitetään suunniteluun tarkoitetulla ohjelmistolla (Tekla Structures, Archicad, Revit jne.), jolla luodaan älykkäät objektit ja rakennusosien sovinnainen ryhmittely. Rakennusosat tulisi luoda hierarkkiseen ryhmittelyyn perustuen, jotta aikataulutehtävät voitaisiin helposti linkittää 3D-malliin. Suunnittelijan 3D-mallin kehittymisen aikana pääurakoitsijan osallistuminen tarpeellista, koska urakoitsijan voi antaa palautetta suoritusjärjestyksestä, rakennettavuudesta ja rakennuksen kestävydestä. Objektien ryhmittely ”valintasetteihin” pitäisi muodostaa yhteensopivaksi työn osittelun rakenteen (WBS) kanssa, jota on käytetty myös aikataulusuunnittelussa. Projektin aikataulu kannattaa luoda 4D-työkalun kanssa yhteensopivalla aikataulutuksen ohjelmalla (Vico, MS Project, Primavera). Projektin aikataulu kehitetään tuotantoa palvelevalla tavalla (tässä luvun 2.2.2 perusteella). Aikataulun ja rakennuksen 3D-mallin ollessa valmis, nämä voidaan tuoda 4D-ohjelmistoon. Visualisoitavat tehtävät linkitetään relevantteihin 3D-objekteihin edellä mainittujen ”valintasettien” avulla. Linkityksen jälkeen 4D-malli voidaan generoida siten, että se näyttää elokuvamaisen esityksen kohteen rakentumisesta askeleittain. 4D-mallin muodostaminen työnkulku on esitetty kuvassa 12.



*Kuva 12. 4D-mallin muodostuminen Mubarakin mukaan (2015).*

### 3.2.3 BIM-pohjaisen aikataulutuksen ongelmia ja ohjeita

Mallintamisen ja aikataulutuksen systeemi ja mekanismi vaihtelee merkittävästi riippuen suunnittelijan työkaluista ja ohjelmistoista. Eastman et al. (2011, s. 287 – 293) mukaan on kuitenkin ongelmia, joita kaikkien 4D-mallien luojien kannattaa ottaa huomioon mallia kehittäessään:

**Mallin laajuus** näyttelee tärkeätä roolia sen luonnissa. Mallin elinkaari on suhteellisen lyhyt, mikäli se on kehitetty vain markkinointiin tai tarjouskilpailua varten. Yksityiskoh-tien taso riippuu tilaajan vaatimuksista. Toisaalta jos mallia käytetään koko rakennus-hankkeen ajan, 4D-esitys voi sisältää yksityiskohtaisempia toimintoja kattaen jokaisen tärkeän askeleen rakennusprojektissa.

**Tarkkuustaso** mallissa riippuu siitä, kuinka paljon aikaa sen luomiseen on käytettävissä, mallin koosta ja visualisoitavien tehtävien määrästä. Arkkitehti voi tuottaa todella yksi-tyiskohtaisen seinäsystemin tukeakseen eri materiaalien esille panoa. Pääurakoitsija voi valita taas esittävänsä saman paljon yksikertaisemmin, koska on tärkeämpää simuloida tehtävien suoritusjärjestystä lohkoittain tai kerroksittain. Detaljeja sisältävien rakennus-osien simuloiminen voi joissain tapauksissa vaatia kattavampaa mallia, jotta asennus voi-taisiin visualisoida tarkemmin. Yksi rakennusosa voi vaatia useamman tehtävän suoritta-mista, jolloin voidaan linkittää useampi tehtävä kyseiseen komponenttiin. Esimerkiksi yksi seinä voi vaatia raudoitusta, muottityötä, betoninvalua ja seinän viimeistelytyötä.

**Ryhmittely:** Aikataulutaja voi luoda kustomoidun ryhmittelyn komponenteille ja sovitaa ne aikataulutehtäviin suurimmassa osassa 4D-työkaluja. Tämä on tärkeä ominaisuus, koska suunnittelijoiden luomat ryhmittelyt sopivat harvoin suoraan aikataulutehtäviin. Esimerkiksi suunnittelija voi ryhmittää samanlaiset komponentit, kuten pilarit tai laatat helpottaakseen muutoksien tekemistä ja kopiointia. Nämä komponentit täytyy kuitenkin uudelleen järjestellä urakoitsijan toimesta uudelleen työnosittelua palvelevalla tavalla. Komponenttien ryhmittely on kriittistä kehittäessä tarkkaa ja joustavaa 4D-mallia.

**Hajottaminen ja yhdistäminen:** 4D-mallin kehityksen aikana yhtenä komponenttina näkyvät rakennusosat voidaan joutua hajottamaan pienemmiksi kokonaisuuksiksi, jotta voidaan näyttää kuinka ne rakennetaan. Toisaalta, joissain tapauksissa voi olla tarpeen myös yhdistää rakennusosia isommiksi kokonaisuuksiksi. (Eastman et al. 2011)

**Väliaikaiset komponentit:** 4D-malli voi sisältää väliaikaisia rakenteita ja toimintoja muodostaakseen tehokkaan kokonaisuuden joka mukailee realistista rakennusprosessia. Kaivannot, telineet, torninosturit ja muut toiminnot ovat tärkeä osa rakentamista. Telineiden ja torninosturin lisääminen 4D-malliin auttaa tutkimaan rakennettavuutta ja suorituksen turvallisuutta. Telineiden visualisoiminen voi olla myös ahtaissa paikoissa tarpeellista, koska se aiheuttaa tilallisia haasteita ihmisille ja rakennusvarusteille.

**Aikataulusuunnittelun ominaisuudet:** 4D-mallit käyttävät usein aikaisimman alun ja lopun päivämääriä simuloidakseen rakentamista. Joissain tapauksissa voi olla tarpeen tutkia muita päivämääriä, kuten viimeisin alku ja loppu. Tämä mahdollistaisi vaihtoehtoisten aikataulujen tutkimisen. (Eastman et al. 2011)

#### **4D-työkalua valittaessa on hyvä ottaa huomioon:**

- **BIM-tuominen:** Mitä geometriaa tai BIM-formaatteja käyttäjät voivat ohjelmaan tuoda ja minkä tyyppisiä tietoja voidaan tuoda: Geometria, nimet, rakennetyypit
- **Aikataulun tuominen:** Mitä aikataulutiedosto muotoja voidaan tuoda ja missä muodossa; natiivitiedostot, tekstitiedostot, xml, csv
- **3D/BIM-mallin yhdistäminen/päivittäminen:** Voiko käyttäjät yhdistää malleja yhdeksi ja päivittää omia osuuksiaan näin syntyneestä yhdistelmämallista. Yleensä projektin yhdistelmämalli kootaan usean eri suunnittelualan ohjelmistoilla luoduista malleista, joten 4D-työkalun olisi tärkeää pystyä yhdistelemään näitä.
- **Ryhmittely:** Voiko dataa järjestellä uudelleen, kun tiedostot ovat tuotu työkaluun? Työkalut, jotka tarjoavat järjestelymahdollisuuden edistävät visualisoinnin prosessia.
- **Väliaikaiset komponentit:** Voiko käyttäjät lisätä (ja myöhemmin poistaa) väliaikaisia komponentteja, kuten torninosturit, telineet, varastoalueet?
- **Animaatiot:** Voidaanko simuloida asennuksien tai liitoksien detaljeja? Jotkut 4D-työkalut sallivat lisätä esitykseen kohdennettuja animaatioita detaljeista.
- **Analyysit:** Voidaanko ohjelmalla tuottaa erikoistuneita analyysiä, kuten aika-tila konflikteja, jotta nähdään toiminnot jotka tapahtuvat samassa tilassa samaan aikaan.



- **Lopputuote:** Voiko käyttäjät tuottaa helposti useita kuvasarjoja määrättyjen aikajaksojen osalta tai voidaanko tuottaa video-esitys määrättyistä näkymistä? Onko lopputuote helposti jaettavissa projektiosapuolien kesken?
- **Automaattinen linkitys:** Voiko käyttäjät automaattisesti linkittää rakennusosia ja/tai aikataulutehtäviä toisiinsa osittelun tai sääntöjen pohjalta? Tämä hyödynnäisi projektin yhtenäistä rakennusosien nimeämistä.

### 3.2.4 Tietomalliohjelmistoja

Tässä luvussa luodaan lyhyt katsaus alalla yleisesti käytössä olevista ja tutkimukseen liitetyistä ohjelmistoista. Kaikki tietomalliohjelmistot pystyvät käsittelemään tietomalliohjeiteja. Kuitenkaan kaikkia ohjelmia ei ole tarkoitettu objektien luomiseen. (Penttilä et al. 2006a, s. 52 – 56) mukaan tietomalliohjelmat voidaan jaotella neljään eri luokkaan, jotka ovat suunnitteluohjelmat, tietomallipalvelimet, tietomallien tarkastusohjelmat ja tietomallien analysointi- ja simulointiohjelmat. Tietomalliohjelmia on esitelty taulukossa 3, jossa esitellään alan tunnetuimpia ja käytetyimpiä ohjelmistoja.

**Taulukko 3.** Rakennusalan kaupallisia tietomalliohjelmia, (Penttilä et al. 2006a; Laine T. 2008; Tohmo 2015).

Sovellustyyppi	Käyttökohde	Tuotenimi	Kehittäjä
Suunnittelu	ARK-suunnittelu	ArchiCAD	Graphisoft
Suunnittelu	ARK- ja RAK-suun.	Revit	Autodesk
Suunnittelu	GEO-suunnittelu	Novapoint	Novapoint
Suunnittelu	GEO- ja infrasuunnittelu	Tekla Civil	Tekla / Trimble
Suunnittelu	RAK-suunnittelu	Tekla Structures	Tekla / Trimble
Suunnittelu	RAK-suunnittelu	Vertex	Vertex
Suunnittelu	TATE-suunnittelu	AutoCAD MEP	Autodesk
Suunnittelu	TATE-suunnittelu	MagiCAD	Progman
Suunnittelu	TATE-suunnittelu	Revit MEP	Autodesk
Tietomallipalvelin	Tietomallien yhteiskäyttö	BIM Server	BIMserver.org
Tietomallipalvelin	Tietomallien yhteiskäyttö	Graphis BIM Server	Graphisoft
Tarkastus	Määrä- ja kustannusl.	Express	Tocoman
Tarkastus	Mallien tarkastus	Tekla BIMsight	Tekla / Trimble
Tarkastus	Mallien tarkastus ja viimeistely	Simplebim	Datacubist Oy
Tarkastus	Mallien tarkastus ja määrälaskenta	Solibri Model Checker	Solibri
Analyysi/simulointi	Mallien tarkastus, määrälaskenta, 4D ja 5D	Navisworks Manage	Autodesk
Analyysi/simulointi	Määrälaskenta ja 4D	Navisworks Simulate	Autodesk
Analyysi/simulointi	Määrälaskenta	iLink	Tocoman
Analyysi/simulointi	Mallien tarkastus, määrälaskenta, 4D ja 5D	Vico Office	Vico Software / Trimble
Analyysi/simulointi	Mallien tarkastus ja määrälaskenta, 4D	Synchro	Synchro Software Ltd
Analyysi/simulointi	Yhteinen 4D-suunnittelu	VisiLean	VisiLean Ltd
Analyysi/simulointi	Olosuhteet ja energia	Riuska	Granlund
Analyysi/simulointi	Olosuhteet ja energia	IDA ICE	Equa
Analyysi/simulointi	Rakenteiden statiikka	STAAD	Bentely
Analyysi/simulointi	Rakenteiden statiikka	Robot	Autodesk

Tietomallipohjaisia suunnitteluohjelmia käytetään rakennusosien ja järjestelmien suunnitteluun, objektien luomiseen sekä piirustusten tuotantoon. Tietomallipalvelimia tarvitaan kokoamaan eri suunnittelualojen tietomallit yhteen paikkaan ja tietomallien samanaikaisessa käytössä ja yhdistämisessä. Tarkastusohjelmia sovelletaan eri suunnittelualojen tietomallien yhdistämiseen, mallinnustyön koordinointiin ja virheiden poistamiseen. Analysointi- ja simulointiohjelmia sovelletaan tietomallin kuvaamien rakennusosien erilaisien ominaisuuksien tutkimiseen (Penttilä et al. 2006a, s. 52 – 56).

Tässä tutkimuksessa keskitytään ohjelmistoihin, joilla on mahdollista visualisoida aikataulua tai joita on muilla keinoin mahdollista hyödyntää aikataulun visualisoinnissa. Seuraavaksi esitellään visualisoinnin kannalta potentiaalisia ohjelmistoja ja niiden keskeisimpiä ominaisuuksia. Suurin osa esiteltävistä ohjelmistoista kuuluu analyysi/simulointiohjelmistojen luokkaan. Valtaosa ohjelmistoista hyödyntää IFC-standardia (Industry Foundation Classes). Se on tietomalliohjelmistojen yhteinen mallien kuvaustapa. Kirjainyhdistelmällä tarkoitetaan myös avointa tiedonsiirtomuotoa (ifc-tiedosto), jolla malleja voidaan siirtää ohjelmistosta toiseen. (buildingSMART Finland).

### **Vico Office**

Vico Office -ohjelman on valmistanut Vico Software Inc, joka on nykyisin osa Trimble Buildings yksikköä Trimble Navigation Ltd:ssä. Trimble Solutions toimii Suomessa Vico -ohjelmistojen jälleen myyjänä. Vico Office -ohjelmistossa on työkaluja suunnittelunohjaukseen, sijaintiperusteiseen tuotannonohjaukseen ja aikataulutukseen. Ohjelmistossa voidaan yhdistää eri toimittajien tietomalleja ja samalla hyödyntää niitä kustannuslaskennassa ja aikataulutuksessa. Ohjelman keskeisimmät hyödyt ovat:

- tietomallien ja piirustusten tarkastelu, vertailu ja
- sijaintipohjaiset määrät ja kustannukset tietomallista
- tietomallista saatujen määrien ja kustannusten muutostenhallinta ja vertailu
- paikka-aikakaavio (Schedule Planner)
- aikataulun visualisointi tietomallin avulla
- aikataulutehtävien ja resurssien hallinta ja optimointi
- rakennushankkeen ennustettavuus ja ohjattavuus
- yhteensopivuus Tekla-ohjelmistojen kanssa.

**Vico Schedule Planner** on osa Vico Office -ohjelmistoa, mutta se toimii myös itsenäisenä sovelluksena. Schedule Planner on ratkaisu sijaintipohjaiseen aikataulusuunnitteluun ja tuotannonohjaukseen ja se toimii sekä tietomalli, että piirustus pohjaisesti. Sijain-teja, työsaavutuksia ja määriä hyödyntämällä saadaan tarkat aikataulut. Etuna on myös Tekla -ohjelmistojen kanssa linkittyvä aikataulun suunnittelu. (Vico -ohjelmistot)

### **Tekla Structures**

Tekla Structures on pääasiallisesti rakennesuunnitteluun luotu monipuolinen tietomalliohjelmisto. Ohjelmisto on alkuperäisin suomalaisesta Tekla Oy:stä, joka on vuodesta

2011 lähtien ollut osa Trimbleä. Tekla Structures toimii kaikkien materiaalien ja monimutkaisimpien rakenteiden kanssa. Isojen ja kattavien tietomallien luominen ja yhdistäminen onnistuu riippumatta projektin koosta tai rakenteiden monimutkaisuudesta. Ohjelmistossa on työkaluja tuotannosuunnitteluun ja projektinhallintaan, kuten määrälaskentaan, aikataulutukseen ja rakennettavuusanalyysien tekemiseen. Tekla Structures sisältää Task Manager -työkalun, jolla laadittu tai muualta tuotu aikataulu (Primavera, Asta ja MS Project) saadaan linkitettyä tietomallin objekteihin. Tekla Structures toimii erityisesti Vico -ohjelmistojen kanssa, koska Vico -ohjelmistot ovat myös osa Trimblen ohjelmistoja (Tekla Structures). Tekla Structures -ohjelmiston käyttökohteita ovat:

- monipuolinen rakennesuunnittelu
- projektin osapuolten tehtävien koordinointi, ristiriitojen ratkaisu ja rakentamisen suunnittelu
- projektin osapuolien välisen yhteistyön tehostaminen
- tehtävä- ja asennusjärjestyksen suunnittelu
- seuranta elementtitasolla ja havainnolliset visualisoinnit.

### **Navisworks**

Navisworks on Autodesk Inc:n ohjelmistoperhe, johon kuuluu seuraavat tuotteet Navisworks Manage, Simulate ja Freedom. Freedom on ilmaisversio, joka soveltuu lähinnä tietomallien visuaaliseen tarkasteluun. Navisworks Manage ja Simulate -ohjelmistoilla voidaan tarkastella tiedostomuodoissa olevia tietomalleja ja yhdistää eri suunnittelualojen tuottamia tietomalleja yhdeksi kevyeksi yhdistelmämalliksi. Manage-version etuna on ohjelman törmäystarkastelu ominaisuudet. Seuraavassa listassa esitellään Navisworks-ohjelmiston tärkeimmät ominaisuudet:

- yhdistelmämallit ja törmäystarkastelu
- oma pienikokoinen tallennusmuoto
- eri tiedostomuotojen yhdistäminen
- 4D-simulaatiot ja esitykset
- kustannusseuranta.

Manage-versiolla voidaan luoda monipuolisia simuloitteja ja animaatioita yhdistämällä aikataulutietoa tietomallien objekteihin tai tallettamalla erilaisia näkymiä valintatyökalujen avulla. Navisworks tukee lukuisia CAD/BIM tiedostomuotoja. Aikataulun tiedon voi luoda itse tai sitten sen voi tuoda muista ohjelmistoista suoraan tai CSV-vaihtomuodossa. (Navisworks) CSV (comma-separated values) on tiedostomuoto, jolla tallennetaan taulukkomuotoista tietoa.

### **Synchro**

Iso-Britanniasta peräisin oleva Synchro Software tarjoaa rakentamisen optimointiin Synchro Pro -ohjelmiston. Ohjelmalla voidaan visualisoida rakennusprojektin aikataulua

reaaliajassa ja tehdä rakennusobjektien törmäystarkastelua. Simulointi mahdollistaa konfliktien tutkimisen ennen kuin rakentaminen edes alkaa. Synchro Pro:n tärkeimmät edut ovat:

- konfliktien sijainnillinen ja ajallinen tunnistaminen
- hukan poistaminen toteutusvaihtoehtojen ennalta tutkimisen kautta
- reaaliaikainen aikataulusimulointi
- havainnollistavat 3D/4D esitykset ja raportit
- useiden eri tiedostomuotojen tuki.

Aikatauluttaminen onnistuu suoraan Synchro Pro:ssa. Vaihtoehtoisesti aikataulun voi tuoda ja synkronoida rakennusteollisuuden tyypillisistä aikataulusuunnitteluohjelmistoista, kuten Oracle, Primavera, Microsoft Project, Excel, Asta Powerproject. Synchro Pro tukee myös yli 60:ntä CAD- ja BIM-tiedostomuotoja ja lisäksi Navisworks- ja ifc-tiedostoja. (Synchro)

### **VisiLean**

VisiLean on pilvipalvelu rakentamisen projektinhallintaan. Nimensä mukaisesti VisiLean tukeutuu Lean-tuotanto -ajattelun mukaiseen tuotantosuunnitteluun ja työnkulun kontrolliin yhdistettynä tietomallintamiseen. Ohjelma tarjoaa ratkaisun eri osapuolien yhteisen työnkulun suunnittelun ja tietomallintamisen välille. VisiLeanin aikataulusuunnittelu perustuu Lean -ajattelun mukaiseen Last Planner -menetelmään, jossa työtä suorittavat ryhmät voivat itse osallistua aikatauluttamiseen ja visualisointiin. Aikataulun voi tuoda yleisistä aikatauluohjelmista, kuten Primavera, MS Project tai Vico. VisiLean mahdollistaa aikataulun linkittämisen tietomalliobjekteihin ja sitä kautta aikataulun simuloinnin. (VisiLean)

### **ArchiCad**

ArchiCad on Graphisoftin tarjoama mallinnusohjelmisto, joka on tarkoitettu pääasiassa arkkitehtisuunnitteluun. Suomessa ArchiCad:n edustajana toimii M.A.D. Oy (Micro Aided Design Oy). Suurin osa suomalaisista (70 %) arkkitehtitoimistoista käyttää ohjelmistoa. ArchiCad on rakennussuunnittelijan näkökulmasta kehitetty suunnittelijan työkalu. ArchiCad-ohjelma pohjautuu ajatukseen rakennuksen visualisoinnista. ArchiCad:llä arkkitehti luo kolmiulotteista rakennusmallia. ArchiCad:ssä visualisointia voidaan toteuttaa erilaista animaatioiden avulla. Tiedostomuodot ovat sellaisinaan sopivia internetkäyttöön, vaikkapa esitettäväksi toimiston kotisivuilla. ArchiCad perustuu rakennusosien ja objektien käyttöön. Ohjelmistolla voidaan tuottaa erilaisia näkymiä: Leikkaukset & 3D. Ohjelmisto tukee IFC-formaattia ja siihen voidaan asentaa lisäsovelluksia, joilla voidaan tuottaa esimerkiksi käytettävyyss- ja energia-analyyssejä. (M.A.D. ArchiCad) Sovelluksen vahvuuksia ovat helppo käytettävyys ja suuret objektkirjastot sekä tuki tuotannon ja kiinteistöhallinnan ohjelmistoille. Ohjelman heikkous on suurten tietomalliprojektien käsittelyyn riittämätön muistikapasiteetti. (Eastman et al. 2011)

### **Solibri Model Checker**

Solibri Model Checker -ohjelmiston valmistaja on suomalainen ohjelmistotalo Solibri Oy. Ohjelmisto mahdollistaa eri suunnittelualojen tietomallien yhdistelyn ja tarkastelun. Ohjelman pääasiallinen käyttö on ja tietomallien laaduntarkastamisessa ja yhdistelmämallien törmäystarkastelussa. Käyttäjä voi tarkastella eri suunnittelijoiden tuottamia tietomalleja ja verrata niitä keskenään sekä toteuttaa suunnitelmien törmäystarkasteluja. Ohjelmiston erikoisuutena ovat luotavat säännöt, joiden mukaan tietomalleja verrataan ja tarkastellaan. Ominaisuutena on myös informaation talteenotto -työkalu, jonka avulla saadaan esimerkiksi määräraaportteja. (Solibri)

### **Simplebim**

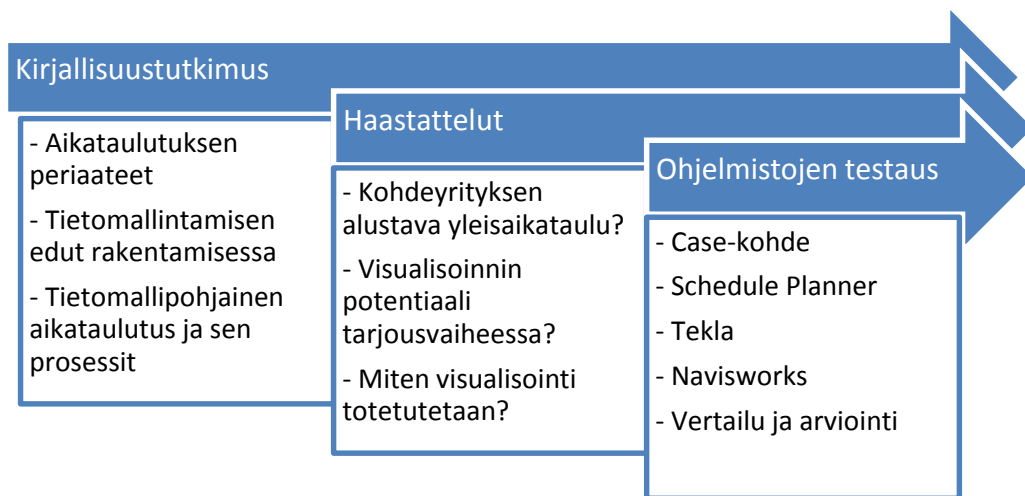
Simplebim on suomalaisen Datacubid Oy:n tarjoama ohjelmisto. Simplebim on IFC-muotoisten tietomallien viimeistelyyn tarkoitettu ohjelmisto. johon voidaan tuoda ja viedä IFC-tiedostoja. Viimeistellyn IFC:n etuna on pienempi ja nopeampi tiedosto. Keskeiset ominaisuudet ohjelmassa ovat mallien trimmaus, editointi ja rikastuttaminen. Ohjelmalla voidaan esimerkiksi vaihtaa tietomallin lohkojakoja tai rakennusosien tietosisältöjä. (Simplebim)

## 4. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO

Tässä luvussa perustellaan valitut tutkimusmenetelmät ja käydään läpi tutkimuksessa käytetty aineisto. Ensiksi esitellään käytetyt tutkimusmenetelmät ja sitten arvioidaan niiden soveltuvuutta tutkimuksessa.

### 4.1 Tutkimusmenetelmät

Diplomityön tutkimusongelmana on rakennushankkeen aikataulun visualisointi tarjousvaiheessa. Tavoitteena on selvittää miten aikataulun visualisointi kannattaisi tarjousvaiheessa toteuttaa ja löytää 4D-ohjelmisto, jolla visualisointi voitaisiin tehdä lähtötietojen puitteissa järkevällä työpanoksella. Tutkimuksen ratkaisuun edetään kuvassa 13 esiteltyjen vaiheiden kautta. Diplomityön tutkimusmenetelmät ovat kauttaaltaan kvalitatiivisia. Tutkimustyön menetelmät jakautuvat kolmeen osaan, joita esitellään kuvassa 13. Tutkimusaineisto koostuu kirjallisuusselvityksestä, asiantuntijahaastatteluista ja case-kohteesta, joiden avulla määritetään eri vaiheiden tulokset. Tutkimuksessa tekijän oma kontribuutio näkyy case-kohteen ja haastateltavien valintana, jota ohjattiin ohjausryhmän toimesta.



**Kuva 13.** Tutkimusmenetelmät ja niiden tärkeimmät sisällöt.

Tarjousvaiheen aikataulun visualisoinnin tutkimusmenetelmiksi valikoitui kolme: kirjallisuusselvitys, asiantuntijahaastattelu ja ohjelmistojen testaus case-kohteen avulla. Case kohdetta esitellään myöhemmin tässä luvussa. Kirjallisuusselvityksen ja haastattelun löydöksiä hyödynnetään tutkimustyön edetessä. Kirjallisuustutkimus täydentää haastattelu-tutkimusta ja saatua tietoutta hyödynnetään ohjelmistojen testauksessa. Seuraavaksi esitellään menetelmät ja niiden käyttökohteet tutkimustyön eri vaiheissa.

### 4.1.1 Kirjallisuusselvitys

Kirjallisuusselvityksen tavoite on kerätä ajantasaista tietoa aikataulun teorioista, tietomallinnuksesta ja aikataulun visualisoinnista. Kirjallisuusselvityksellä pyritään myös esittelemään 4D-mallinnusta ja sen hyötyjä sekä siihen soveltuvia ohjelmistoja. Tutkimuksen viitekehukseen aineistoa kerätään kirjallisuudesta, artikkeleista, standardeista, ohjeista ja kohdeyrityksen arkistoista. Kirjallisuusanalyysiin käytetään hyväksi kirjastoja, etenkin TTY:n kirjastoa. Valtaosa aineistosta on hyödynnettävissä sähköisessä muodossa. Lähteviitteet ovat pääosin esitetty tutkimuksen toisessa ja kolmannessa luvussa.

### 4.1.2 Asiantuntijahaastattelut

Tutkimuksen toisena vaiheena toteutetaan asiantuntijahaastattelut, joilla selvitetään tarjousvaiheen aikataulun visualisoinnin haluttua tarkkuustasoa. Asiantuntijahaastatteluilla yritetään saada tarkennusta siitä, mitä tehtäviä kannattaisi huomioida tarjousvaiheen aikataulutuksessa ja mitä tehtäviä kannattaisi lähteä visualisoimaan? Lisäksi pyritään saamaan tietoa, minkälaista lähtötietoa laskentavaiheessa on aikataulutuksen suhteen yleensä käytössä. Haastattelurunko on esitetty diplomityön liitteessä A. Haastattelurunkoa lähdettiin suunnittelemaan seuraavien teemojen pohjalta:

- Millainen tarjousvaiheen aikataulun tulisi olla?
- Mitä lähtötietoa tarjousvaiheen aikataulutuksessa on käytössä?
- Miten tietomalleja on hyödynnetty tarjousvaiheessa?
- Mitä aikataulutehtäviä kannattaisi lähteä visualisoimaan?
- Miten visualisointi voitaisiin toteuttaa?

Haastattelut toteutettiin joulukuun (2015) ja maaliskuun (2016) välisenä aikana. Haastattelut toteutettiin teemahaastatteluina, jossa haastattelurunko ja kysymykset olivat ennalta määrätty. Haastattelurunkoa muovattiin hieman haastattelututkimuksen edetessä aiempien haastattelujen ja palaverien perusteella sekä haastateltavasta riippuen, mutta pääosin haastattelurunko ja haastattelujen asiasisältö pysyi samankaltaisena. Haastateltaviksi valittiin aikataulutukseen ja tietomallintamiseen orientoituneita henkilöitä kohdeyrityksestä ja yhteistyöyrityksestä. Haastattelut toteutettiin (yhtä lukuun ottamatta) Skype for Business ohjelmiston kautta. Yhtä henkilöä haastateltiin paikan päällä. Haastattelut nauhoitettiin Skype-ohjelmiston tai puhelimen avulla myöhempää tarkastelua varten. Tässä tutkimuksessa haastateltiin seuraavia henkilöitä:

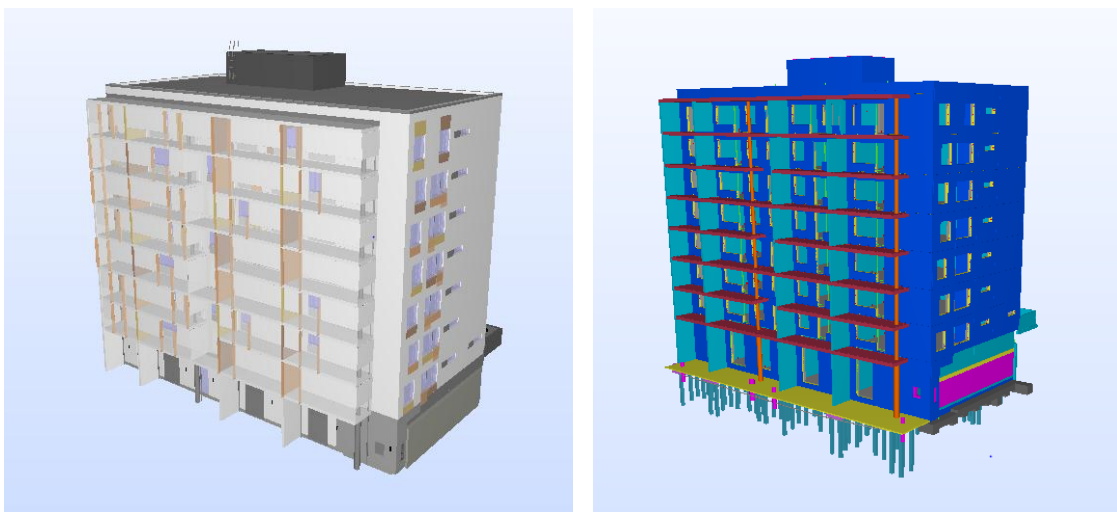
- Juha-Pekka Hämäläinen, Tekninen päällikkö. Skanska Talonrakennus Oy
- Perttu Pitkälä, Kehityspäällikkö. Skanska Talonrakennus Oy
- Ilkka Halinen, Rakennuspäällikkö. Skanska Talonrakennus Oy
- Kimmo Hänninen, Tuotantoinsinööri. Skanska Talonrakennus Oy
- Juha-Pekka Jylhä, Tuotantoinsinööri. Skanska Talonrakennus Oy
- Johan Appelqvist, Toimitusjohtaja, Byggnadsekonomi Oy

Kaikki haastattelut äänitettiin ja tiivistettiin myöhemmin paperille. Tällä menetelmällä pyrittiin edesauttamaan keskustelun sujuvuutta, sekä varmistamaan, että kaikki haastattelussa ilmenneet asiat saatiin talteen. Näin saadun laadullisen aineiston analysointimetodina käytettiin lähteissä esitettyä teemoittelua (Eskola & Suoranta 1998, s. 174 – 180).

### 4.1.3 Ohjelmistojen testaus case-kohteessa

Ohjelmisto vaihtoehdot testataan käyttämällä tutkimukseen soveltuvia Skanskan asuinrakennuskohteen tietomalleja. Testauksen tarkoituksena on kokeilla ainoastaan visualisointi ominaisuuksien ja prosessin toimintaa, eikä testausta viedä todellisiin olosuhteisiin. Ohjelmistotestauksen tavoitteena on löytää menetelmiä, joilla voidaan hyödyntää tietomalleja paremmin aikataulun visualisoinnissa. Samalla voidaan arvioida ohjelmistojen soveltuvuutta visualisointiin tarjousvaiheessa.

Aikataulutiedon tuottamisessa on käytetty kohdeyrityksen toimintojärjestelmän mukaista ohjelmaa: Vico Schedule Planner. Tutkimuksessa ei keskitytä aikataulun tuottamiseen vaan, selvitetään miten aikatauludata saadaan tuotua ohjelmasta testattavaan 4D-ohjelmistoon. Testauksessa päädyttiin kokeilemaan kahta tietomalliohjelmistoa. Ensimmäinen ohjelmisto on jo kohdeyritykselle tuttu Tekla Structures. Ohjelmalla on kohdeyrityksessä varsinaisessa käytössä ja sillä on toteutettu muun muassa aikataulun ja aluesuunnitelman visualisointia. Pyrkimyksenä on selvittää tarkemmin Teklan visualisointiominaisuudet ja kuvailla visualisoinnin työnkulkua. Toinen testattava ohjelmisto on Navisworks Manage. Haastatteluiden ja kirjallisuuden perusteella Navisworks on potentiaalinen ohjelmisto aikataulun visualisoinnin suhteen. Lisäksi Navisworks-ohjelmiston testaamista puolsi diplomityön ohjausryhmän mielipiteet ja intressit. Ohjelmiston käytöstä ei ole juuri aikaisempaa kokemusta kohdeyrityksen kotimaan yksikössä. Testattavia ohjelmistoja pyritään vertailemaan keskenään visualisointiominaisuuksien osalta.



**Kuva 14.** Case-kohteen ARK- ja RAK-malli.



Ohjelmistotestauksen (luku 6) CASE-kohteena käytetään Skanskan asuinrakennuskohdetta pääkaupunkiseudulle. Kohde on toteutettu perustajaurakointina. Kyseessä on yhden porrashuoneen ja 39 asunnon laajuinen kerrostalo. Kohde on aloitettu heinäkuussa 2014 ja se on valmistunut joulukuussa 2015. Kohteesta oli saatavilla yleisaikataulu sekä arkkitehti-, että rakennemalli, joita esitellään kuvassa 14. Aikataulu on tuotettu Vico Schedule Planner -ohjelmistolla. Arkkitehtimalli on luotu ArchiCAD:llä ja rakennemalli Tekla Structures -ohjelmistolla.

## 4.2 Tutkimusmenetelmien arviointi

Tutkimus jakautuu kolmeen osaan (Kuva 13). Kirjallisuusselvityksellä selvitettiin, aikataulutuksen, tietomallintamisen ja 4D-suunnittelun periaatteita. Haastatteluilla haettiin mielipiteitä ja ohjeita siitä, miten aikataulun visualisointi tulisi tarjousvaiheessa toteuttaa. Ohjelmistovaihtoehdot testataan käyttämällä tutkimukseen soveltuvia Skanskan asuinrakennuskohteen tietomalleja.

Tutkimuksen kirjallisuuskatsaukseen käytettiin sekä kansallista, että kansainvälisiä julkaisuja. Aikataulutuksen periaatteisiin käytettiin hyödyksi rakennustiedon sivuilta löytävää aineistoa, jonka voi olettaa olevan luotettavaa. Tietomallintamisen ja visualisoinnin suhteen tietoutta haettiin laajasti sekä kotimaisesta, että ulkomaisesta kirjallisuudesta tutkimuksen aihepiiristä. Käytetyn aineiston taso vaihteli julkaistujen kirjojen, RATU-kirjallisuuden, tutkimusartikkelien ja opinnäytetyötasoisten tutkimusten välillä.

Tutkimuksen ohjausryhmä vaikutti tutkimuksen tekijän ohella asiantuntijahaastattelun otannan valintaan. Tietoa kerättiin kohdeyrityksen toimintakulttuurin osajilta, joilla on kokemusta aikataulutamisesta, tietomallintamisesta ja kohdeyrityksessä käytettävistä aikataulutus- ja tietomalliohjelmistoista. Haastatteluun valittiin viisi asiantuntijaa kohdeyrityksestä ja lisäksi haastateltiin yhtä Skanskan yhteistyöyrityksen edustajaa. Asiantuntijoiden kokemustausta tiedustellaan myös haastatteluiden yhteydessä, jolloin vastausten oikeellisuutta voitaneen myöhemmin arvioida. Haastattelurungon kirjoittaminen vaatii tutkijalta tietoa aiheesta, mutta se saattaa myös rajata aihetta ja ohjata osallistujien vastauksia. Haastattelurungon toimivuutta arvioidaan haastattelujen jälkeen.

Case-kohteen luotettavuutta lisää sen vaatima tarkkuus uutena toteutettavana kohteena. Tämä tarkoittaa, että tietomallit sisältävät kattavasti rakenteita ja se, että mallit on toteutettu laskennan vaatimusten mukaisesti. Ohjelmistojen testausta helpottaa tutustuminen kohteeseen ja perehtyminen visualisoinnissa käytettävään lähtötietoon. Tutkimuksen luotettavuutta lisäksi useamman ja erilaisten case-kohteiden käyttäminen. Case-kohde on toteutettu perustajaurakointina eli urakka ei ole kilpailutettu, joten case-kohteessa ei ollut tarjousvaihetta. Tutkimukseen sopivaa mallinnettavaa tarjouskohdetta, jonka tietoja olisi avoimesti voitu käyttää, ei ollut saatavilla. Toisaalta testauksen päätavoitteena on kokeilla ainoastaan ohjelmistovaihtoehtojen toimintaa, eikä testausta viedä todellisiin olosuhteisiin, joten varsinaisen tarjousvaiheen puuttuminen ei koidu ongelmaksi.

## 5. TUTKIMUS AIKATAULUN VISUALISOINNISTA

### 5.1 Asiantuntijahaastattelujen tulokset

Haastateltavien kokemukset tietomallien käytöstä olivat erilaisia. Osalla haastatelluista henkilöistä oli vain vähän kokemusta, kun taas osa käytti malleja päivittäin. Tämä vaikutti myös haastattelujen keston, sillä ne vaihtelivat puolen tunnin ja puolentoista tunnin välillä. Tietomalleja käyttäneet henkilöt pystyivät kertomaan enemmän näkemyksiä tietomallien käytöstä aikatauluttamisessa. Toisaalta vähemmän tietomalliorientoituneet osasivat kertoa aikatauluttamisen periaatteista kattavammin. Seuraavaksi esitetään haastattelututkimuksen tuloksia, joita on osin täydennetty kirjallisuudesta ja diplomityön ohjausryhmän palaverista saadun tiedon avulla.

#### 5.1.1 Tarjousvaiheen aikataulutus kohdeyrityksessä

Haastatteluista kävi ilmi, että tarjousvaiheen aikataulutus on kohdeyrityksessä hyvin hankekohtaista. Pyrkimyksenä on kuitenkin löytää yhtenäisempi tapa aikatauluttamiseen. Kohdeyrityksen toimintajärjestelmästä löytyy joitain ohjeita, mutta todellisuudessa aikataulutus on hyvin yksikkö ja/tai hankekohtaista. Yhtenäinen tapa aikataulutuksessa palvelisi riskienhallintaa ja vähentäisi vaihtelevuutta (Lean). Etenkin toimitilakohteet eroavat toisistaan, joten aikataulut voivat olla hyvin erilaisia eri hankkeiden välillä. Asunorakentamisen puolella voisi olla helpompaa löytää yhtenäisiä aikataulutusmetodeja, koska yleensä asuinkerrostalot muistuttavat tuotantotekniikoiltaan enemmän toisiaan, kuin esimerkiksi kaksi sairaala- tai kauppakeskuskohdetta.

Haastatteluista ilmeni samankaltaisuuksia alustavan yleisaikataulun merkityksestä kohdeyrityksen ja Ratun (2013) näkökulmien välillä, joita esiteltiin luvussa 2.2.3. Kohdeyrityksessä alustava aikataulu on tarjousvaiheessa laadittava karkea aikataulu, jolla selvitetään tärkeimmät työvaiheet ja -menetelmät, hankkeen kesto, aikataulun kireys ja tärkeimpien resurssien tarve ja ajoittuminen. Osa kustannuslaskennasta tehdään alustavan yleisaikataulun perusteella, joten aikasidonnaisia kustannuksia selvitetessä on tärkeää olla luotettavaa aikataulutietoa. Alustava aikataulu ei toimi pelkästään hinnoittelun, vaan myös riskienhallinnan apuna. Alustavan aikataulun on hyvä sisältää pääpiirteittäin samat tehtävät kuin työaikataulun, koska tämä palvelisi riskienhallintaa. Lähtötiedon puitteissa voidaan tehdä todella tarkka aikataulu, mutta siihen ei välttämättä saada aina asiakkaan tai tilaajan toteutuslupaa. Esimerkiksi kauppakeskuskohteessa kaikkia sisävaiheen tehtäviä ei välttämättä vielä tiedetä tarjousvaiheessa, koska loppukäyttäjä ei ole vielä selvillä. Toisaalta lähtötietojen ollessa suppeat, karkeampi aikataulu voisi riittää, mikäli se on realistinen ja toteuttava.

Ratun (Koskenvesa & Sahlsted 2013) mukaan nimikkeitä valitaan rakennuskohteen laajuuden ja monimuotoisuuden mukaan 20 – 40, joskus useampiakin. Haastateltavien ja eri rakennuskohteiden perusteella alustavan yleisaikataulun nimikkeiden määrät vaihtelivat suuresti, mutta lukumäärien suurusluokat pysyttelivät lähellä Ratun näkemystä. Nimikkeiden järkevä määrä riippuu siis täysin kohteesta ja sen laajuudesta. Haastatteluissa annettiin esimerkki sairaalakohteen alustavasta yleisaikataulusta. Haastateltavan mukaan esimerkkiaikataulu on harvinaisen tarkka alustavaksi yleisaikatauluksi, mikä johtui hankkeen vaikeus- ja laajuusasteesta. Alla olevassa listassa esitellään esimerkki sairaalakohteen aikataulusta tarjousvaiheessa, jossa nimikkeitä on noin 50 – 60, kun tehtävät ositellaan rakennuslohkoille erikseen.

1. **Maanrakennus:** kaivu, louhinta ja paalutus
2. **Perustukset:** anturat ja sokkelit
3. **Runko:** pilarit, palkit, paikallavaluholvit, seinät, ontelot, elementtiasennukset, betonilattiat ja vesikatto
4. **Sisustus 1:** muuratut ja levyväliseinät, tasoitus ja pohjamaalaus (luovat käytäville talotekniikan asennusvalmiuden) ja ikkuna-asennukset
5. **Talotekniikka:** Asennusjärjestyksen riippuvuus on tarkka, kun on yhteiskannatus järjestelmä: Lämpö-, vesiputket, sprinkleri-asennukset (mentävä kahteen tasoon), alakattojen sisustat, IV-työt. IV-asennus käytäville, sairaalakaasut, sähköt. putki-postit ja sprinklerit uudestaan
6. **Sisustus 2:** Pintamaalaus, alakattorungot, lattiapinnat, ovet ja kalusteet
7. **Luovutusvaihe:** koekäyttö ja toimintakokeet, mittaukset, alakattojen sulut, loppusiivous (ensiksi karkea siivous P1-puhtaustasoon ja sitten loppusiivous).

Tarjousvaiheessa tilaaja esittää sakollisia välitavoitteita, joilla ohjataan projektin tuotantoa ennalta määrättyihin tavoitteisiin. Välitavoitteet voivat olla tilaajan itsensä määräämiä, tai sitten pääurakoitsija nimeää itse vaaditun määrän välitavoitteita, jotka tilaaja hyväksyy. Tyypillisiä välitavoitteita on esimerkiksi lohkon vesitiiveys, ulkovaipan saaminen umpeen, jota usein kuvataan termillä myös ”lämmöt päälle”. Isoissa kohteissa välitavoitteet voidaan myös asettaa koskemaan määrättyjä lohkoja tai kerroksia. Edellä esitellyssä sairaalakohteessa tilaaja esitti pääurakoitsijan nimeämään 20 kumulatiivista välitavoitetta. Ensimmäiset välitavoitteet liittyivät lohkojen vedenpitävyyteen, jotka asettavat sisävaiheille töille aloitusvalmiuden. Toiset välitavoitteet liittyivät taloteknisten töiden aloitusvalmiuteen. Muut välitavoitteet liittyivät sähköasennuksiin, ilmanvaihtoasennuksiin, P1-puhtaustasoon ja urakoitsijan taloteknisiin toimintakokeisiin. Haastatteluista ilmeni, että talotekniikan merkitys on kasvanut aikataulusuunnittelussa taloteknisten järjestelmien kehittymisen ja monimutkaistumisen myötä. Edellä mainittiin, miten välitavoitteet voivat usein liittyä taloteknisiin asennusvalmiuksiin tai toimintakokeisiin. Talotekniset asennukset vaikuttavat oleellisesti sisävaiheen työjärjestyksiin. Talotekniikka aikataulua on tärkeää yhteen sovittaa yleisaikataulun kanssa, mikä usein liittyy kuitenkin vasta hankkeen rakennusvaiheeseen.

## 5.1.2 Tarjousvaiheen visualisointi

### Visualisoinnin potentiaali tarjousvaiheessa

Arkkitehtisuunnitelmien visualisointien kautta on jo pitkään havainnollistettu ehdotussuunnittelun ja luonnossuunnittelun ratkaisuja. Visualisointi auttaa ymmärtämään tilojen liittymistä toisiinsa ja havainnollistaa myös suunnitelmien rakennettavuutta, esimerkiksi suoritusjärjestyksen ja detaljien visualisoinnin kautta. Perustajaurakointikohteissa myyntiorganisaatio voi havainnollistaa tuleville asukkaille miten projekti valmistuu. Tarjousvaiheessa olevien kilpailutettujen urakoiden toteutustavan visualisoinnilla voidaan saada taas merkittäviä etujaa kilpaileviin urakoitsijoihin nähden. Visualisointi mahdollistaa tehokkaimman rakennustavan kartoittamisen ja siten toteutusvaihtoehdon optimoinnin. Rakennussuunnittelija ja elementtitoimittaja voivat saada runkoaikataulun visualisoinnista arvokasta tietoa. Rakennussuunnittelija voi laatia tällaisesta visualisoinnista suunnitelma- aikataulun, ja saada tietoa milloin suunnitelmien täytyy olla valmiina ja toimitettuna elementtitehtaalle.

Aikataulun visualisoinnin kautta saavutettava lisäarvo ilmenee suorittavalle urakoitsijalle aikataulusuunnittelun apuna. Tarjousvaiheessa on oleellista tutkia aikataulun toteutettavuutta ja visualisointi tarjoaisi tähän ratkaisun. Visualisoinnin avulla aikataulu ja lohkojako tulee tutkittua paljon perusteellisemmin ja mahdolliset ongelmat nousisivat helpommin esille jo aikaisessa vaiheessa. Tutkimalla voitaisiin nähdä esimerkiksi määrien pohjalta resurssien riittävyys lohko-kohtaisesti: Tarvitaanko runkoryhmään 4 vai 8 tekijää? Millainen on nosturin tarve ja mikä olisi hyvä nosturin sijainti? Laskentavaiheessa onnistunut lohkojako on kilpailukykyisen tarjouksen edellytys. Lohkojaon merkitys kasvaa varsinkin suurissa hankkeissa. Pääurakoitsijan aikataulusuunnittelun tukemisen lisäksi, visualisointi toimii myös tilaajan päätöksenteon tukena. Visualisointi auttaa urakoitsijaa havainnollistamaan aiottuja toteutusvaihtoehtoja tilaajalle, sekä muille projektiosapuolille. Visualisoinnin kautta voitaisiin näyttää, kuinka asetettuihin välitavoitteisiin aiotaan päästä. Hyvä visualisointi aikaistaa päätöksiä, tarjoaa vertailtavia ratkaisuja ja tehostaa yhteistyötä.

Toisaalta haastatteluista ilmeni myös, että tarjousvaiheessa ei välttämättä kannata ryhtyä äärettömään tarkkaan visualisointiin, koska se vaatii liikaa aikaa ja resursseja sen tuottamaan lisäarvoon nähden. Kokenut aikatauluttaja voi visualisoida aikataulua esimerkiksi Vico Schedule Planner -ohjelmistolla tehdyn paikka-aikakaavion avulla ja nähdä miltei samat asiat mitä 4D-simulaatiosta. Kohdeyritykselle paikka-aikakaaviot ovat tuttuja, mutta projektin muille osapuolille simulointi on havainnollistavampi esitys. Tämän lisäksi riippuu myös paljon tilaajasta, miten paljon 4D-simulaatiolle annetaan painoarvoa. Haastateltavien mukaan usein muille projektiosapuolille riittäisi hyvin yksinkertaisempi visualisointi, esimerkiksi diakalvoesitys kuvankaappauksien ja päivämäärien avulla. Haastatteluista selvisi, että 4D-simuloinnilla on kyllä potentiaalia, mutta toistaiseksi Suo-

nessa ei sellaista ole paljoa tutkittu. Tällä hetkellä tarjousvaiheen tietomallit ovat kuitenkin usein riittämättömiä visualisointiin tai sitten ei ole työkaluja ja keinoja, joilla aikataulun visualisoinnin saisi helposti tehtyä.

### **Mitä tehtäviä kannattaa visualisoida tarjousvaiheessa?**

Visualisoinnissa kannattaa ottaa huomioon erityisesti taloudellisesti, teknisesti ja laadullisesti merkittävät tehtävät. Myös tuntemattomat tehtävät kannattaisi visualisoida. Tunte mattomilla tehtävillä tarkoitetaan tehtäviä, joissa piilee riski tai mahdollisuus. Kaikkia alustavan yleisaikataulun tehtäviä ei kannattaisi lähteä visualisoimaan, koska laskentavaiheessa on usein vähän resursseja ja aikaa visualisointiin. Tämän vuoksi täytyy osata nähdä oikeat tehtävät, jotka otetaan visualisoinnissa huomioon. Etenkin kriittisten ja tahdistavien työvaiheiden visualisoinnilla olisi saavutettavissa hyötyjä.

Haastattelujen mukaan suurimmat hyödyt tarjousvaiheessa olisi perustuksen ja runkovaiheen visualisoinnilla. Runkovaihe on melkein poikkeuksetta taloudellisesti merkittävin työvaihe. Usein runkoasennus toimii myös tahdistavana työvaiheena. Tarjousvaiheessa rungon asennusjärjestys on tärkein ja sitä kannattaa tutkia visualisoinnin kautta optimi-ratkaisun löytämiseksi. Mitä suurempi rakennuskohde on, vielä suuremmaksi runkovaiheen asennusjärjestyksen ja lohkojaon merkitys muodostuu. Tarjousvaiheessa aikataulusuunnittelua ei kannata kuitenkaan viedä elementtikohtaiselle asennusjärjestystasolle vaan karkeampi tarkkuustaso, kuten kerros- ja lohkotaso on riittävä tarkka. Aikataulun ja runkovisualisoinnin kautta saataisiin myös elementtisuunnittelu-aikataulu ja tämän avulla voitaisiin vertailla tuotanto- ja suunnittelu-aikataulua elementtitehtaan maksimikapasiteetin kannalta. Näin voidaan tarkistaa ylittyykö tehtaan maksimikapasiteetti valitulla toteutusratkaisulla. Mikäli detaljisuunnittelua on toteutettu tarjousvaiheessa, voitaisiin tutkia monimutkaisia liitoksia ja detaljeja perustus- ja runkovaiheessa.

Runko rakentuu perustusten varaan, joten perustukset ovat kriittinen tekijä ennen runkoasennusta. Etenkin haastavalle pohjalle rakennettaessa perustuksien tarkempi tutkiminen on merkittävää. Perustusten ja rungon välisten liitosten detaljikohtainen visualisointi voisi auttaa sopivien ratkaisujen löytymisessä. Maanrakennus ja sen kytkeytyminen perustuksiin on merkittävä osa rakentamista. Maanrakennus luo aloitusedellytykset perustukselle. Maanrakennuksen lohkotus on merkittävää, ja sitä pitäisi ajatella kuten talon lohkokottamista. Visualisointi voisi edesauttaa rakennustöiden hahmottamista maanrakennuksessa. Nähtäisiin miten suuria alueita urakoisijat tarvitsisivat, ja miten maanrakennuksen pitäisi edetä, jotta se vapauttaisi alueita muita työvaiheita palvelevalla tavalla.

Haastatteluista ilmeni, että sisävaiheen visualisoimisen laajuus riippuu rakennuskohteesta ja saatavilla olevasta lähtötiedosta. Tärkeitä sisävaiheen tehtäviä ovat, väliseinät, ikkunasennukset, kosteat tilat, alakattojen asennukset, lattioiden ja seinien tasoitus ja maalaus. Usein arkkitehtimallit eivät ole vielä kovin kattavia tarjousvaiheessa, joten ne eivät välttämättä kelpaa tarkan visualisoinnin lähtötiedoksi. Karkeimmillaan riittäisi vain yhden

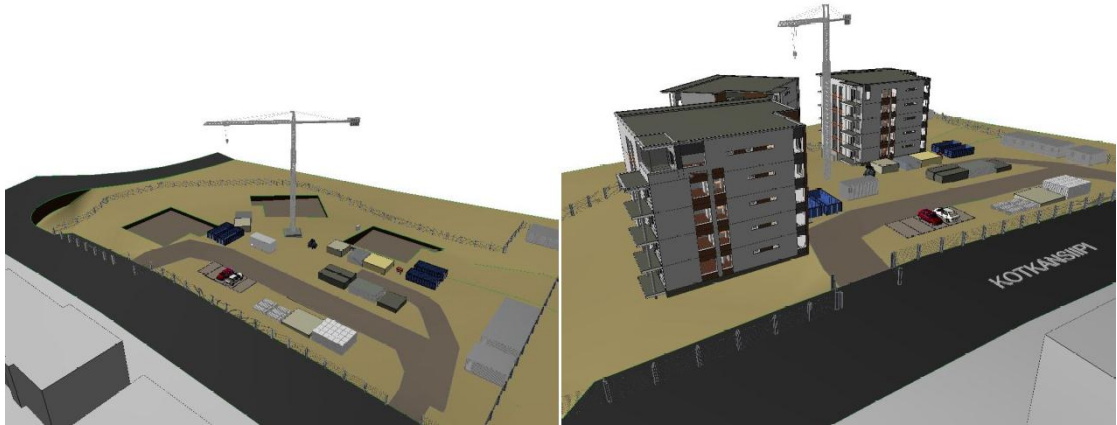
ison summatehtävän – sisävaiheen – visualisointi, joka näyttäisi missä järjestyksessä sisävaiheen tehtävät etenevät lohkoittain. Olisi havainnollistavaa nähdä, missä sisävaiheen tehtävät ja työryhmät ovat milloinkin menossa ja miten se korreloi runkoasennuksen kanssa, etenkin, jos sisävaiheen suoritusjärjestys eroaa runkokierrosta. Taloteknisiä asennuksia olisi myös hyvä yhteen sovittaa sisävaiheentehtävien kanssa, koska talotekniset tehtävät ovat aikataulullisesti merkittävä osa-alue sisävaiheessa. Taloteknisten ja sisävaiheen tehtävien simuloinnilla konfliktitilanteita voitaisiin tutkia ja ennaltaehkäistä, mutta tämä vaatisi myös tarkempaa sisävaiheen visualisointia. Lisäksi taloteknisten tehtävien osalta voitaisiin visualisoida, että mitkä kaikki alueet ja rakennusosat täytyvät olla rakentajan puolesta valmiita taloteknisiä toimintakokeita varten.

Haastatteluista tuli ilmi, että myös tuntemattomat tekijät on hyvä visualisoida. Tuntemattomilla tekijöillä tarkoitetaan esimerkiksi uusia asioita, joista ei ole tai on vain vähän kokemusta. Yleensä tällaisissa tekijöissä voi piillä taloudellisia riskejä. Haastatteluista nousi esille esimerkkitapaus: Arkkitehdin suunnittelemat suuret kattoikkunat aiheuttavat kohteessa rakenteellisen, toiminnallisen ja taloudellisen riskin. Toisaalta uusien keinojen ja rakenteiden avulla on mahdollista saavuttaa myös kustannussäästöjä. Visualisoinnin kautta tuntemattomien asioiden riskejä ja mahdollisuuksia voitaisiin tutkia tarkemmin.

### **Mitä muuta kannattaa visualisoida?**

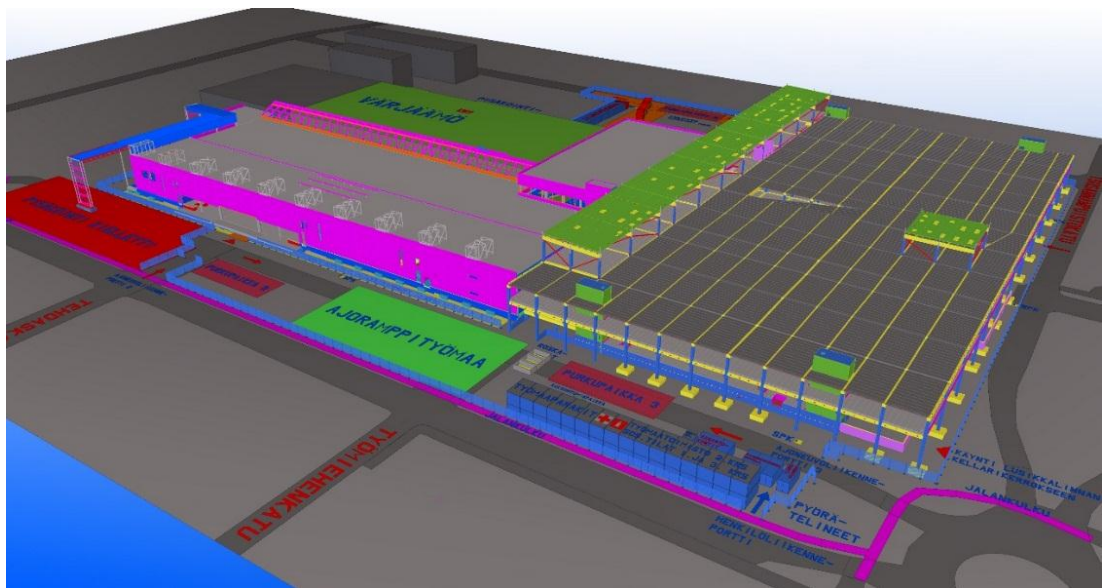
Aluesuunnitelmien visualisointia on kohdeyrityksessä toteutettu jo pidemmän aikaa. Haastateltavien mukaan 3D-aluesuunnitelma havainnollistaa työmaata hyvin. Aluesuunnitelman visualisoinnilla voidaan esittää, muun muassa työmaan logistiikkaa ja sijoittumista ympäristöön nähden. Olennaisia kysymyksiä aluesuunnitelmaa visualisoitaessa ovat: Miten työmaa sijoittuu? Miten ahdas työmaa on? Mikä on työmaan varastointi kapasiteetti? Miten ajotiet sijoitetaan? Näitä asioita voitaisiin hahmotella visualisoinnin kautta jo tarjousvaiheessa. Aluesuunnitelma tulee päivittää hankkeen edetessä ja kuvassa 15 esitetään esimerkki 3D-aluesuunnitelmasta maanrakennus- ja runkotyövaiheessa.

Logistiikka on isossa roolissa kohteissa, jotka sijaitsevat kaupungin keskellä tai muutoin liikennöidyillä alueilla. Rakennuskohteen ollessa yksinkertainen voi alueen ja ympäristön huomioon ottaminen olla jopa rakennuksen visualisointia tärkeämpää. Myös vuodenaikojen vaikutusta rakentamisessa ja sääsuojausratkaisuja voitaisiin visualisoida. Korjausrakentamiskohteissa voitaisiin visualisoida myös rakennuksen mahdollista käyttöä korjaushankkeen aikana. Tällöin nähtäisiin mitkä rakennuksen toiminnot ja alueet ovat korjauksen aikana käytettävissä ja mitkä korjaustyön alla.



*Kuva 15. 3D-aluesuunnitelma maanrakennus- ja runkotyövaiheessa (Sulankivi et al. 2009).*

Puuvillan rakennushanke käsittää teollisuuskiinteistö Värjäämön muuntamisen liike- ja toimistotiloiksi. Kauppakeskus Puuvilla valittiin Tekla Global BIM Awards 2013 -voittajaksi Total BIM -sarjassa. Puuvilla voitti myös Suomen Tekla BIM Awards -kilpailun. Puuvillan KVR-urakoitsijana toimi Skanska Talonrakennus Oy. ”Tietomallien käyttö nähtiin riskin sijaan mahdollisuutena ja jopa välttämättömänä laadukkaan lopputuloksen aikaansaamiseksi, kertoo Skanska Oy:n projektipäällikkö Juha-Matti Kujanpää. Tietomalleista on saatu vauhtia ja varmuutta myös päätöksentekoon, kun keskusteltavat aiheet on saatu havainnollistettua kaikille osapuolille.” Puuvillassa peräti kolmetoista projekti-osapuolta hyödynsi tietomalleja. Osapuolien kesken oli yhteisymmärrys siitä, että mallintavan suunnittelun avulla sekä rakentamisen, että lopputuloksen laatu paranee merkittävästi. Täten osapuolet halusivat hyödyntää mallinnusta suunnittelussa, tuotannon ohjauksessa ja tuotannossa. (Tekla Structures)



*Kuva 16. Kauppakeskus Puuvillan 3D-aluesuunnitelma (Tekla Structures).*

### **Mitä lähtötietoa aikataulun visualisointi vaatisi?**

Haastatteluissa tiedusteltiin, minkälaista lähtötietoa erilaiset visualisoitavat tehtävät tarvitsevat. Kyselyn tuloksia esitellään taulukossa 4. Taulukossa on ylärivillä esitelty eri suunnittelualojen tietomallit ja pystyivillä visualisoinnin osa-alueita. Soveltuvuutta on arvioitu kaksiportaisesti, jossa 1 kuvaa ensisijaisesti soveltuvaa lähtötietoa ja 2 kuvaa toissijaista soveltuvuutta.

**Taulukko 4.** Visualisoinnin lähtötieto työvaiheittain: \*1 = ensisijainen soveltuvuus ja \*2 toissijainen soveltuvuus.

	ARK	RAK	LVIAS	GEO/YMP.
Aluesuunnitelma	2	2		1
Maanrakennus		2		1
Perustusvaihe		1		2
Runkovaihe	2	1		
Sisätyövaihe	1	2		
Talotekniset työt	2		1	
Toimintakokeet	2		1	

Aluesuunnitelmaa visualisoitaessa parhaana lähtötietona toimisi maanrakennusmalli (GEO) tai ympäristömalli (YMP). Kohdeyrityksessä aluesuunnitelmia on kuitenkin luotu Tekla Structures -ohjelmistolla rakennemallia muokkaamalla. Muun muassa kuvan 16 aluesuunnitelma on toteutettu ohjelmiston avulla. Myös maanrakennusvaiheen visualisointiin olisi parasta olla maanrakennus- tai ympäristömalli, mutta näitä harvemmin on saatavilla tarjousvaiheessa. Perustus- ja runkovaiheen visualisointiin sopii parhaiten rakennemalli (RAK). Haastateltavat arvioivat, että arkkitehtimalli olisi taas parempi sisätyövaiheen töihin parempi lähtötieto. Toisaalta arvioitiin myös runkoverisoinnin onnistuvan myös arkkitehtimallin ja jotkut sisätyövaiheen tehtävistä rakennemallin avulla. Yleensä mallinnus alkaa arkkitehdin tilamallista kehittyen, joten tarjousvaiheessa arkkitehtimalli on todennäköisesti pisimmälle viety malli. Yhdistelmämallissa olisi saatavilla molempien suunnittelualojen lähtötiedot, mutta tarjousvaiheessa eri suunnittelualojen mallit vaativat törmäystarkasteluja ennen varsinaisen yhdistelmämallin muodostamista. Taloteknisten töiden ja toimintakokeita visualisoitaessa tarvittaisiin sekä talotekniikkamallia (LVIAS), että arkkitehtimallia tai niiden yhdistelmää. Usein sähkösuunnittelu toteutetaan LVI:stä erikseen ja tällöin se mallinnetaan omana kokonaisuutena. Haastatteluissa todettiin myös, että sairaalakohteissa on tavanomaista, että kiinteät sairaalalaitteet (KSL) suunnitellaan omana erikseen mallinnettavana kokonaisuutena.

### **Miten mallintamista voitaisiin ohjata tarjousvaiheessa?**

Tietomalliorientoituneet haastateltavat nostivat esille, että visualisointia varten olisi hyvä ohjata tilaajaa tietomallintamisessa, jotta he osaisivat koota tietomallit visualisoinnissa



vaadittavalle tasolle. Vaatimuksien luomisessa voitaisiin käyttää hyväksi yleisiä tietomallivaatimuksia 2012. Tarkemmin määriteltynä vaatimuksien esittämisessä voitaisiin hyödyntää YTV2012 täydentäviä liitteitä, etenkin ARK Tilaajan ohjetta ja RAK Tilaajan ohjetta. YTV2012 Täydentävissä liitteissä löytyy myös ohjeita Talotekniikka suunnittelulle. Eräs haastateltava nosti esille yleisissä tietomallivaatimuksissa (luku 3.1.1) ei ole esitetty ohjeita ympäristö- ja maanrakennusmallinnukselle. BuildingSMART Finland (bSF) TaloGEO -kehityshankkeessa luodaan aiheesta YTV2012-kokonaisuuteen uutena osana 15 julkaistava ohjeistus, sekä tilaajaohje. Kehityshankeryhmä on muodostettu Suomen geoteknillisen yhdistyksen perustamasta tietomallitoimikunnasta ja bSF:n TaloGeo -ryhmästä (buildingSMART Finland). Usein suunnittelusopimuksissa mainitaan, että mallintamisessa noudatetaan YTV2012 ohjeistusta, mutta tilaaja tai suunnittelijat eivät itse aina osaa tai ymmärrä YTV:ssä esitettyjä vaatimuksia. Täten tilaajan olisi hyvä nimetä hankkeeseen tietomallikoordinaattori, joka ohjaisi ja valvoisi mallien kokoamista ja tietosisältöä. Kohdeyrityksen näkökulmasta tietomalleja tarkastaa kohdeyrityksen tietomallintamisen tukioorganisaatio tai projektien tietomalliasiatuntijat yhteistyössä suunnittelijoiden kanssa.

YTV2012 Osa 11 Tietomallipohjaisen projektin johtaminen (COBIM) mukaan: Rakennuttajan tehtävänä on nimetä hankkeen alkuvaiheessa riittävän pätevä ja osaava henkilö, joka huolehtii projektikohtaisen alustavan tietomallinnussuunnitelman laadinnasta ja erisuunnittelualojen tietomallinnustehtävien koordinoinnista. Tietomallikoordinaattorilla tulee olla riittävä asiantuntemus tietomallintamisesta ja projektinhallinnasta. Tietomallikoordinaattorin tehtäviin kuuluvat yhdessä projektinjohdon kanssa tietomallinnustavoitteiden, -päämäärien sekä tietomallinnuksen käytön laajuuden kuvaaminen. Hänen tulee selvittää jokaiselle osapuolelle tietomallinnustehtävät, -vastuut ja -velvollisuudet. Vastuuhenkilö huolehtii, ohjeistaa, koordinoi ja ohjaa tietomallinnustehtäviä koko hankkeen ajan yhteistyössä pääsuunnittelijan kanssa. Tietomallikoordinaattori raportoi hankkeen johdolle ja suunnittelujohdolle sovitusti esimerkiksi suunnittelukokousten yhteydessä. Raportointi kattaa vähintään tietomallintamisen statuksen, tehdyt toimenpiteet, laadunvarmistuksen tulokset sekä mahdolliset ongelmat. Koordinaattorin tehtäviin voi sisältyä yhdistelmämallien tuottaminen ja tietoteknisen yhteensovittamisen varmistaminen.

Haastatteluissa nousi esille tietomallinnettava sairaalakohde, missä tietomalleja oli saatavilla jo tarjousvaiheessa. Aikataulutusta varten ensimmäiset lähtötiedot koostuivat L2-luonnoksista, eli pohjakuvista ja runkokaaviosta. Siitä lähtötiedot päivittyivät tarkentuneisiin suunnitelmiin ja rakennuttajan tilaamin määrälaskelmiin. Tarjousvaiheen alussa saatiin ensimmäiset tietomallit, eli arkkitehti- ja rakennemalli. Nämä olivat suppeita tietosisällöltään ja soveltuivat lähinnä tilojen ja ulkomuotojen hahmottamiseen. Tiedot eivät pitäneet paikkaansa; materiaali- ja tyyppitiedoissa oli ristiriitoja ja rakenteita ei ollut jaoteltu järkeviin kokonaisuuksiin. Arkkitehtimallista puuttui tilaobjektit ja tilatiedot olivat aluksi mallinnettu rakennusosiin, mutta aluksi sekin oli epäloogista. Kohteen henkilöstö kommentoi malleja suunnittelijoille, mutta ensimmäiset korjatut versiot eivät juuri tästä

parantuneet. Vasta tietomallikoordinaattorin nimeämisen jälkeen mallinnuksen tarkkuus parantui. Kolmannet versiot tietomalleista (ARK- ja RAK-mallit) soveltuivat lohkopuusteiseen määrälaskentaan. Kohdeyritykselle tuli malleista päivityksiä noin kolmen kuukauden välein, joten tietomallien päivittäminen oli ollut aikaa vievä prosessi. Yhdistelmämalli saatiin vasta noin 10 kuukautta ensimmäisten mallien tulon jälkeen. Yhdistelmämalli oli koottu seuraavista tietomalleista: Arkkitehtimalli (ARK), Rakennemalli, LVI-SASPR malli (lämpö, vesi, ilma, automaatio, sprinkleri) ja KSL-malli ja sähkömalli.

### **Miten visualisointeja on toteutettu (tarjousvaiheessa)?**

Haastatteluiden mukaan varsinaisia 4D-malleja ei ole juurikaan testattu tarjousvaiheessa ja usein tuotantosuunnitelmien tarkempi visualisointi tehdään, kun urakkakilpailu on voitettu, eli rakentamisvaiheessa. Haastatteluiden perusteella kohdeyrityksen visualisoinnit toteutetaan tällä hetkellä kuvankaappauksien avulla. Toisaalta ilmeni myös tapauksia, joissa tarjousvaiheessa on visualisoitu toteutettavia ratkaisuja aikataulun mukaan.

Haastatteluista selvisi, että kohdeyrityksessä Tekla Structures (TS) vaikutti oleva tutuin mallinnus työkalu. Ohjelmistolla on toteutettu perustus- ja runkovaiheen visualisointeja melko tarkasti; elementtiasennukset jopa elementtikohtaisesti, ja on näytetty mitkä elementit ovat suunnittelun, valmistuksen tai asennuksen alla. Rakentamisvaiheessa on tehty Tekla Structures -ohjelmiston avulla toteuman seuranta elementtejä merkkäämällä. Näin elementtiasennusketju saadaan täysin hallintaan. Tosin tällaisia tarkempia visualisointeja on ryhdytty sen vaativuuden vuoksi vasta rakentamisvaiheessa. Tarjousvaiheessa runkoviisualisoinnin tarkkuustason ei tarvitse olla välttämättä niin tarkka; tarkastelu viikkotasolla tai kuukausitasolla voisi riittää, jotta nähtäisiin lohkokohtainen tai kerroskohtainen toteutusjärjestys. Haastatteluista ilmeni, että TS:llä on tehty karkeita visualisointeja sammuttamalla mallista eri tasojia sammuttamalla ja käynnistämällä aikataulun edellyttämien näkymien mukaan. Aikataulu on usein syötetty ohjelmaan manuaalisesti, eikä aikataulua ole tuotu toisesta ohjelmasta. Tällöin visualisoinnin päivitys on työlästä aikataulutiedon muuttuessa.

Solibri Model Checker (SMC) on toinen ohjelmisto joilla visualisointeja on toteutettu. SMC:stä puuttuu aikataulutyykalut, joten visualisoinnit on tehty lähinnä erilaisia näkymiä muokkaillen ja kuvankaappauksien avulla. Peltonen (2015) selvitti työssään myös Solibri Model Checker ja Vico Office -ohjelmiston (VO) ominaisuuksia ja näitä esitellään taulukossa 5. SMC:n käyttö perustuu ohjelmassa tehtäviin luokittelukuvauksiin ja tiedonkeräämisen sääntöihin. Malliin ei voida syöttää tietoja, mikä on myös IFC-muodon tarkoitus. Aikataulusuunnittelua voidaan tehdä ainoastaan SMC:n luokittelusääntöjen mukaisesti, joten visualisointituotosta voidaan jakaa kuvankaappauksien avulla. SMC:n alkuperäiset tarkoitukset ovat muualla aikataulusuunnittelussa, joten varsinaiset aikataulutyykalut puuttuvat ohjelmasta.

Vico Office pyrkii taas olemaan sovelluspaketti, jolla kokonaisvaltainen rakennushankkeen hallinta olisi mahdollista. Tämän huomaa ohjelmiston monipuolisista ominaisuuksista, mutta ohjelman suuri ominaisuuksien määrä tekee myös ohjelman käyttöliittymästä monimutkaisen ja haastavan. VO:n määrälaskentapohjat ovat sidoksissa rakennusosien tietosisältöön, joten rakennusosien nimeämiskäytännön täytyy olla yhteneväinen. VO:n hyvänä puolena on, että se ilmoittaa automaattisen määrälaskennan virheet. Aikataulusuunnittelun osalta VO:n hyvänä puolena voidaan pitää yhteen toimivuutta Schedule Planner -moduulin kanssa, joka on kohdeyrityksen toimintajärjestelmän mukainen aikataulutushjelmo. Aikataulu ja toteutukset päivittyvät automaattisesti Schedule Plannerista VO:hon. Ohjelmaan voidaan tuoda malleja IFC-tiedostosta, tai Revit-, ArchiCad- ja Tekla Structures -natiivimalleista, niihin asennettavan lisäosan avulla. Toisaalta IFC:n tiedoston käsittelyyn Vico Office on osin puutteellinen, koska ohjelma ei pysty näkemään kaikkia IFC:hen tallennettuja rakennusosien tunnistetietoja. Peltonen (2015) toteaa Vico Office -ohjelmiston olevan monipuolinen ja potentiaalinen ohjelmisto tietomallipohjaiseen aikataulusuunnitteluun ja -valvontaan, mutta se vaatii Schedule Planner käytön edistämistä, mallien tietosisältöjen tarkastamista oikeelliseksi ja VO:n testaamisen jatkamista ja ohjelmaan perehtymistä. (Peltonen 2015)

**Taulukko 5.** Tietomalliohjelmistoverailu (muokattu Peltonen 2015).

<b>Tekla Structures</b>	<b>Solibri Model Checker</b>	<b>Vico Office</b>
<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Tuttu ohjelma</li> <li>+ Kattavat informaatio rakenne-mallista</li> <li>+ Referenssimallit</li> <li>+ Aikataulun suunnittelu ja visualisointi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Riittävän yksinkertainen</li> <li>+ Suomenkielisyys</li> <li>+ Yhdistelmämallit</li> <li>+ Soveltuu sisävaiheeseen</li> <li>+ Tarkat mittaus työkalut</li> <li>+ Määräraporttien helppous</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Natiivimallien tuki (myös IFC)</li> <li>+ Määrälaskenta</li> <li>+ Schedule Planner moduuli</li> <li>+ Visuaalinen aikataulusuunnittelu ja toteutuksen seuranta</li> <li>+ Kustannussuunnittelu</li> </ul>
<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Referenssimalleista ainoastaan geometriset tiedot</li> <li>- Huono soveltuvuus sisävalmistusvaiheeseen</li> <li>- Liikaa ominaisuuksia → monimutkainen ohjelmisto</li> <li>- Muutosten päivitys on työlästä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Käyttöliittymän toiminnot erilaiset TS:iin verrattuna → vaatii totuttelua</li> <li>- Ei ole aikataulun suunnitteluun tai visualisointiin soveltuvaa työkalua</li> <li>- Aikataulun manuaalinen päivityminen hidasta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Käyttöliittymän monimutkaisuus ja omaperäisyys</li> <li>- Työläs ohjelmisto tarkkaan aikataulutuksen</li> <li>- Puutteellinen IFC:n tietosisältöjen käsittelyssä (luokittelu)</li> <li>- Sijaintimäärittelyn ristiriidat</li> </ul>

Haastatteluista ilmeni, että Navisworks on lupaava ohjelmisto tietomallipohjaiseen aikataulutukseen, joka on kohdeyrityksessä jäänyt vähälle huomiolle. Useamman haastateltavan mielestä Navisworks-ohjelmiston ominaisuuksia tulisi testata. Eräs haastateltava arvioi ohjelman olevan markkinoiden vahvin 4D-työkalu tällä hetkellä ja soveltuvan tarjousvaiheeseen. Tarkemmin sanottuna on kyse ohjelmistoperheen versiosta Navisworks Manage 2015. Ohjelmiston tärkeimpiä ominaisuuksia esiteltiin luvussa 3.2.4. Tutkimuksen ohjelmistotestausosiossa paneudutaan Navisworks-ohjelmiston tarkempaan testaukseen aikataulun visualisoinnissa.

### **Visualisoinnin tekninen linkki aikataulutuksessa haastatteluiden mukaan:**

Trimblen ja Tocomanin (tietomalliohjelmistojen tarjoajia) ratkaisut perustuvat siihen, että tietomallissa on objekti ja sillä tunniste (esimerkiksi pilarityyppi 1). Pilarin tyyppi on rakenteeltaan tietyyntyyppinen, eli sillä on pilariluokka, betonin kovuusluokka ja pintakäsittely. Näihin kaikkiin liittyy suoritteita eli materiaali-, työ- ja kalustoresurssi, mitkä voidaan menekkien avulla aikatauluttaa ja siten hinnoitella. Yksikkökustannusten kautta voidaan tutkia eri työvaiheiden hintaa ja täten työvaihekohtaiset kustannukset voidaan tuoda rakennusosaan. Sijaintitiedon ollessa mukana (lohkojako A, B ja C) Esimerkiksi lohossa A on 56 pilaria, joten tiedetään miten paljon betonia ja raudoitusta menee. Tiedetään myös, kuinka paljon betonia pumpataan määrättyllä työryhmällä. Tämä toimii aikataulutuksen pohjana ja se tekee aikataulusta luotettavan. Kun, tiedetään missä työ tehdään, voidaan hakea määrät ja selvittää, kuinka paljon työtä määrättyssä paikassa tehdään ja se voidaan aikatauluttaa. Tällöin aikataulu voidaan linkittää taas takaisin tietomalliohjelmiin. Haastateltavan mukainen ajattelu täsmää Teittisen (2009) esittämien periaatteiden kanssa (luku 3.1.4).

### **Tarjousvaiheen visualisointiin liittyviä haasteita**

Haastatteluiden mukaan markkinoilla olevat ohjelmat perustuvat siihen, että tietomallit on pitkälle viety tai melkein valmiita. Mallinnuksen ollessa hyvällä tasolla tietomallipohjaisen aikataulutuksen tekninen linkki mahdollistaa sijaintipohjaisen määrälaskennan ja aikataulutuksen. Haaste on siinä, että usein tarjousvaiheessa tietomalleja ei ole saatavilla tai sitten ne ovat liian alkeellisia tai viimeistelemättömiä määrälaskentaa, aikataulutusta ja siten visualisointia ajatellen. Visualisointia keskeneräisestä tietomallista vaatii lisätyötä urakoitsijalta. Keskeneräisiä malleja jouduttaisiin täydentämään ja siivoamaan siihen tarkoitetuilla sovelluksilla, esimerkiksi Simplebim-ohjelmalla. Tarjousvaiheen tietomallipohjaisesta aikataulutuksesta palvelisi myös mallipohjaista kustannuslaskentaa. Ongelmana on kustannuslaskennan ja budjetoinnin tapahtuminen ennen mallinnusta tai siinä vaiheessa, kun tietomallit ovat vielä puutteellisia määrälaskennan näkökulmasta. Esimerkiksi, jos suunnitteluohjauspalaverissa tehdään muutoksia, niin halutaan tietää kustannusvaikutuksia, ennen kuin on edes suunnitelmia valmiina.

Mallinnuksen puutteet voivat aiheuttaa epäilyjä mallipohjaisen tuotannosuunnittelun suhteen. Voidaan mitoitaa vaan asiat, joita mallissa on ja tällöin päästään kysymykseen mitä mallissa ei ole, eli mitä mallista puuttuu? Jos mallissa on virheitä, niin ne tulee löytää ja korjata. Tulee miettiä, että kuka on mallin tuottanut, kuka on ohjannut mallintamista, kuka on vastuussa mallin tietosisällöstä ja voidaanko malleihin täten luottaa? Haastatteluiden mukaan mallinnus on yleensä suunnittelua jäljessä, joten mallien valmistuminen ja täydentyminen vie aikansa. On huono ajattelutapa, että suunnitellaan ensin ja mallinetaan sitten. Tarkoituksenmukaista olisi suunnitella mallintamalla.

## 5.2 Haastattelujen yhteenveto ja arviointi

Haastatteluissa painotettiin, että tarjousvaiheen aikataulutuksessa ja sen visualisoinnissa kannattaa keskittyä taloudellisesti, teknisesti ja laadullisesti merkittäviin työvaiheisiin. Kohdeyrityksessä tarjousvaiheessa laaditaan alustava yleisaikataulu, jolla selvitetään tärkeimmät työvaiheet ja -menetelmät, hankkeen kesto, aikataulun kireys ja tärkeimpien resurssien tarve ja ajoittuminen. Tätä näkemystä tukee myös kirjallisuusaineiston luku 2.2.3. Toisaalta tarjousvaiheen aikataulutuksen kannattaa pyrkiä sisältämään pääpiirteittäin samat tehtävät kuin työaikataulun, koska tällöin saataisiin mahdollisimman luotettavaa tietoa aikataulusidonnaisia kustannuksia selvittäessä. Tarjouksen riskit vähenisivät, mikäli tarjous tehdään realistisella aikataululla ja luotettavalla kustannustiedolla.

Suurin osa haastateltavien asenteista oli myötämielisiä aikataulun visualisoinnin suhteen ja he totesivat visualisoinnissa piilevän paljon potentiaalia. Haastatteluista ja kirjallisuudesta (luku 3) ilmeni yhteneväisyyksiä 4D-suunnitelun mahdollisuuksista. Havaitut yhtäläisyydet esitellään alla olevassa listassa:

- rakennustöiden parempi visualisointi
- tarkempi ja yksityiskohtaisempi työsuunnitelma
- tehokkaampi suunnittelu
- parempi kommunikointi osapuolien kesken
- väliaikaisten töiden ja rakenteiden visualisointi
- tarkka ja nopea määrälaskenta
- työmaan aluesuunnittelu ja logistiikka.

Lueteltuja ominaisuuksia pystyttäisiin hyödyntämään tuotannosuunnittelun ja tarjous-toiminnan tukena. Optimaalisten toteutusratkaisujen ja valitun ratkaisun toteutettavuuden tutkiminen olisi paljon tarkempaa ja havainnollisempaa visualisoinnin avulla. Tästä hyötyisi tuotannosuunnittelu, mutta lisäarvoa tulisi myös ratkaisujen havainnollistamisesta tilaajalle ja asiakkaalle. Tosin riippuu täysin tilaajasta tai asiakkaasta, miten paljon painoarvoa he 4D-suunnittelulle antaisivat. Tutkimuksen perusteella ei tarjousvaiheen visualisoinnista löydetty pelkkää hyvää. Ideaalitilanne olisi, että mallit annetaan valmiina tarjouspyyntöaineiston yhteydessä, jotta päästäisiin suorittamaan tietomallipohjaista, määrälaskentaa, aikataulutusta ja hinnoittelua. Useat visualisointiin luodut ohjelmistot ovat luotu ajatellen, että lähtötietona toimivat mallit ovat pitkälle vietyjä tai valmiita. Näin ei kuitenkaan käytännössä tapahdu, koska usein tarjousvaiheessa käytettävät mallit ovat puutteellisia. Tällöin mallintaminen vaatii ohjausta ja tarkastamista tietomalleihin perehtyneiltä henkilöiltä, mikä lisää työmäärää. Lisäksi haastateltavat pohtivat, että onko tarjousvaiheessa visualisoinnista saatavissa tarpeeksi lisäarvoa siihen käytettävän työnpanokseen nähden. Taulukossa 6 esitellään haastatteluista ilmenneitä näkökulmia tarjousvaiheen visualisoinnista.

**Taulukko 6.** *Mielipiteitä tarjousvaiheen visualisoinnista.*

Tarjousvaiheen aikataulun visualisointi	
Puolesta	Vastaan
+ Luotettavan tarjouksen tekeminen + Alustavien tuotannosuunnitelmien tuki + Aikataulun toteutettavuuden tutkiminen resurssien ja määrien pohjalta + Havainnollisuus sidosryhmille	- Sovellukset perustuvat pitkälle vietyihin tai valmiisiin malleihin - Lähtötiedon heikko taso tarjousvaiheessa voi aiheuttaa luotettavuus ongelmia - Monimutkainen ohjelmisto lisää työmäärä

Kaikki haastateltavat totesivat, että runkovaiheen ja lohkojaon visualisoinnilla olisi säävutettävissä suurimmat hyödyt. Runkovaihe on lähes poikkeuksetta rakennushankkeen taloudellisesti merkittävin työvaihe, joten sen toteutusta on hyvä tutkia tarkemmin tarjousvaiheessa optimiratkaisun löytämiseksi. Tämän myötä tulisi tutkia myös lohkojako. Haastatteluista ilmeni, että perustusten kytkeytymistä runkovaiheeseen olisi hyödyllistä visualisoida. Maanrakennustavaihetta voidaan myös visualisoida, mutta harvemmin tarjousvaiheeseen tähän on lähtötietoa tietomallimuodossa olemassa. Myös sisätyövaiheen suoritusjärjestyksen lohkokiertoa kannattaa visualisoida, etenkin, jos se eroaa runkovaiheen lohkokierrosta. Talotekniikan etenemistä muiden sisältöiden rinnalla olisi hyvä tarkastella, jos lähtötiedot tämän mahdollistavat. Arkkitehtimalli ja rakennemalli ovat yleensä ensimmäiset mallinnettavat tietomallit, joten tämä puoltaisi perustus-, runko- ja sisävaiheiden visualisointia. Visualisoinnin ei välttämättä tarvitse olla kovin tarkkaa tarjousvaiheessa. Visualisointi voitaisiin toteuttaa esimerkiksi runkoasennuksessa viikko tai jopa kuukausittaisella tarkkuudella. Tarjousvaiheessa aikataulusuunnittelua ei kannata tehdä elementtikohtaisen asennusjärjestyksen tarkkuudella, vaan karkeampi kerros- tai lohkokohtainen suoritusjärjestyksen visualisointi riittäisi. Työn seuraavassa luvussa testataan runkoasennuksen visualisointia valituilla ohjelmistoilla.

### **Haastattelutulosten arviointi**

Asiantuntijahaastatteluiden ongelmana on kysymysrunгон toimivuuden varmistaminen. Onko kysymykset aseteltu siten, että niillä saadaan vastauksia oikeisiin asioihin. Ovatko kysymykset esitelty niin, että haastateltava ymmärtää mihin on vastaamassa ja onko hänellä riittävä asiantuntevuus? Välillä vastauksia saatiin liian yleisellä tasolla ja esimerkiksi tarjousvaiheen näkökulma jäi toisarvoiseksi. Haastattelurunko annettiin ohjausryhmän nähtäväksi ja hyväksytettäväksi. Lisäksi haastatteluista ja ohjausryhmältä saatiin ehdotuksia jatkohaastatteluja varten. Haastattelurunkoa muovattiin hieman haastattelujen edetessä ja tutkijan aihealueen tietouden lisääntyessä. Haastattelujen kestojen perusteella, haastattelurunгон hiomisesta vaikutti olevan hyötyä, koska keskimääräisesti haastattelujen kestot pitenivät kahdesta ensimmäisestä haastattelusta puolesta tunnista reiluun tuntiin.

Haastattelussa teemoja painotettiin riippuen siitä, oliko haasteltava enemmän aikataulutamiseen vai tietomalleihin orientoitunut henkilö. Enimmäkseen vastaukset olivat samassa linjassa odotettujen vastauksien kanssa. Odotukset perustuivat kirjallisuuteen, diplomityöpalaveriin ja edeltäneisiin haastatteluihin. Oman myötävaikutuksen vähentämiseksi vältettiin haastateltavien tarkempaa ohjaamista. Näin saatiin informaatiota, jota ei olisi välttämättä haastattelurungon avulla saatu. Toisaalta välillä keskustelu saattoi harhautua aiheen kannalta liian kauas, jolloin keskustelua ohjattiin tarvittaessa tutkimusta edesauttavaan suuntaan. Tarjousvaiheen visualisoinnin tuoman lisäarvon kattavammaksi selvittämiseksi voitaisiin lisätä haastattelun otantaa ja haastatella myös tilaajan edustajia tilaajaorganisaatioiden näkökulman selvittämiseksi.

## 6. OHJELMISTOJEN TESTAUS

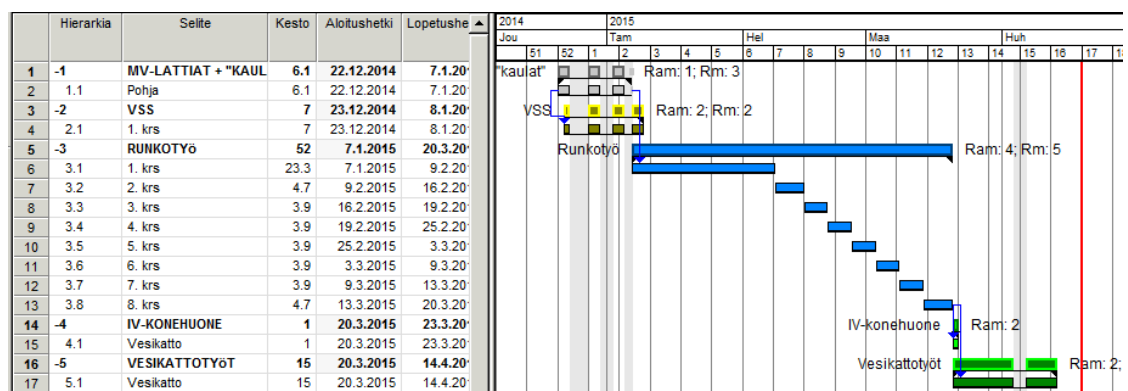
### 6.1 Käytettävä lähtötieto

Tutkimukseen käytettävä aineisto on kohdeyrityksen asuinrakennuskohteen toteutus- suunnitteluun ja tuotannonsuunnitteluun käytettävää aineistoa. Lähtötieto koostuu suunnittelijoiden tuottamista tietomalleista ja pääurakoitsijan yleisaikataulusta.

Ohjelmistojen testaamisessa käytettiin Skanskan asuinrakennuskohteen, As Oy Espoon Konkarin malleja. Konkari on uusi kohde, joten mallit ovat melko uusia (päivitetty vuonna 2014). Käytettävissä on ifc-muodossa oleva arkkitehtimalli, joka on luotu Archi-Cad-ohjelmistolla. Kohteesta on saatavilla myös Tekla structures -ohjelmistolla luotu rakennemalli sekä natiivimallina että ifc-mallina. Tietomalleja analysoidaan tarkemmin ohjelmistotestauksen yhteydessä.

#### Aikataulu

Työssä ei suoriteta tietomallipohjaista määrälaskentaa (luku 3.1.4), määrätiedon tuontia tai aikatauluttamista, vaan hyödynnetään case-kohteen yleisaikataulua. Aikataulun osalta lähtötietona käytetään Vico Schedule Planner -ohjelmistolla tuotettua yleisaikataulua paikka-aikakaavion muodossa. Ohjelmiston aikataulu saadaan myös jana-aikataulu näkymään, josta ilmenee töiden hierarkia, selitteet sekä töiden aloitus- ja lopetushetket. Aikataulusta hyödynnetään vain osia, jotka liittyvät visualisoitaviin tehtäviin. Kuvan 17 näkymä on muokattu yleisaikataulun runkovaiheosuudesta. Vaikka luvun pääanti on soveluksen aikataulun viemisen ominaisuuksien kuvailussa, käydään lyhyesti läpi määrätiedon tuominen ohjelmistoon ja tehtävien määrittely ohjelmiston ohjeita (Control 2008 User Guide 2008) apuna käyttäen.



*Kuva 17. Runkovaihe jana-aikataulu Vico Schedule Planner -ohjelmistossa.*



**Määrätieto** voidaan syöttää Schedule Planneriin joko käsin, kopioimalla Excelistä, siirtotiedostolla Excelistä tai TCM:stä, XML-palvelinyhteydellä suoraan TCM:stä, Vico Office -ohjelmasta. Käydään lyhyesti läpi määrätietojen kopioiminen Excelistä. Oletetaan, että määrälaskenta on tehty tietomallipohjaisesti. Kuvassa 18 näytetään Schedule Plannerin määrätaulukko ja alla olevassa listauksessa ohjeistetaan määrätaulukon käyttö.

- Tietomalleista määrät saadaan yleensä ulos Excel-raporttina, jotka voidaan kopioida Schedule Planner -ohjelmistoon
- Tietomallista on siis saatava määrätieto excel-muodossa
- Excelin sarakkeisto on muokattava vastaamaan Schedule Planner -määräluettelo.
- Sarakkeisto riippuu määräluettelon tarkkuustasosta, eli onko määrät laskettu kokonaismäärinä projektikohtaisesti vai tarkemmin lohkoittain tai kerroksittain
- Kun sarakkeistot täsmäävät, määrät voidaan kopioida.

*Kuva 18. Määrien kopioiminen Excelistä Schedule Planner -ohjelmistoon.*

**Tehtävien määrittäminen** tapahtuu ohjelmassa seuraavien vaiheiden mukaisesti:

1. Avaa määräluettelo, aktivoi tehtävään kuuluvat määrärivit ja valitse tee aikatauluotehtävä -komento (Kuva 18).
2. Perustiedot: Määrittele tehtävän nimi, valitse aloitusajankohta, määrittele paikkojen tarkkuus (Kuva 19).
3. Määrien jyvitys: Valitaan kohdistettavat määrät ja asetetaan paikkojen suhde (%).
4. Resurssit: Määritetään resurssit tuodun resurssitiedon avulla alasvetovalikosta valitsemalla. Vaihtoehtoisesti määritetään uusi resurssi, ja tämän jälkeen syötetään ja tarkistetaan työmenekki / työsaavutus.
5. Riippuvuudet: Valitaan edeltävät tehtävä alasvetovalikosta ja määritellään riippuvuustyyppi ja tarkkuustaso.
6. Määrät: Valitaan valvontayksikkö ja tarkastetaan keskimääräinen työsaavutus
7. Kesto: Tarkistetaan kesto paikoittain ja muutetaan tarvittaessa työsaavutuksen kerrointa, eli kasvatetaan työryhmien määrää
8. Paikka-aikakaavio: Tarkastetaan tulos paikka-aikakaaviosta.

Tehtävän muokkaus: TEHTÄVÄ 44 (Kokonaisvalvontamäärä: 1 ERä, Suunniteltu työsaavutus: 1.0 ERä/tv)

Tehtävän osa: Tehtävä 44 [Jaa osiin...] [Yhdistä...] [Kopioi]

7: Valvonta | 8: Kustannus | 9: Menoerät | 10: Ulkoasu | 11: Lisätietoja  
 1: Perustiedot | 2: Resurssit | 3: Riippuvuudet | 4: Määrät | 5: Kesto | 6: Riskit

Tunniste  
 Koodi: [ ] [Hae oletukset]  
 Nimi: Tehtävä 44  
 Osatehtävän nimi: [ ]

Ajoitus  
 Aloitushetki: 20.10.2014 [ ] [Aikaisin mahdollinen] [Rytmitetty] [Aikaisin alku ja rytmitetty]  
 Lopetushetki: 20.10.2014 [ ]  
 Kesto: 0 [ ] työvuo[roa]  
 Kalenteri: Projektkalenteri [Muokkaa]

Paikkojen suoritusjärjestys  
 Pohja  
 2. krs  
 3. krs  
 4. krs  
 5. krs  
 6. krs  
 7. krs  
 8. krs  
 1. krs  
 Vesikatto  
 [Ylöspäin] [Alaspäin] [Kaännä] [Muokkaa...]  
 Projektin oletukset  
 [Tuo] [Vie]

Paikkojen tarkkuus: KRS [ ]

Toimittaja: <ei valintaa> [Uusi]  
 Vastuuhenkilö: <ei valintaa> [Uusi]

Käytä riippuvuusjärjestystä  [ ] << OK ja edellinen [OK ja seuraava >> [ ] [OK] [Peruuta]

*Kuva 19. Tehtävien määrittely Schedule Planner -ohjelmistossa.*

**Aikataulun vientiä** varten voidaan ohjelman näkymä vaihtaa koskemaan esimerkiksi runkovaihetta (kuva 20), jos määritetään erikseen runkovaiheeseen kuuluvat tehtävät. Ominaisuus helpottaa myös aikataulun viemisessä, koska tietojen vienti -työkalussa voidaan valita runkovaihe, mikä valikoi automaattisesti kaikki runkovaiheeseen yhdistetyt aikataulutehtävät. Huomataan, että aikataulua viedessä tehtävien hierarkiat muuttuvat. Vientityökalu ottaa tehtävähierarkian määräluetelossa olevan hierarkian eikä aikataulu-tehtävien hierarkian mukaan. Valinta voidaan tehdä myös manuaalisesti eri kohtia valitsemalla, jolloin haluttu aikataulutieto saadaan vietyä. Aikataulun vientituotteena ulos saadaan joko xml-tiedosto, MS Project -tiedosto tai Primavera -tiedosto. Kokeilemalla vaihtoehtoja, saadaan ulostulona vain xml-tiedostoa, mikä ei ole esimerkiksi MS Project -ohjelmiston oma tiedostomuoto. Viedessä tiedostoa ohjelma varoittaa seuraavalla tavalla: ”Ennen kuin avaat tämän xml-tiedoston MS Projectissa tai Primaverassa, varmista, että kalenteri ja lomapäivät täsmäävät Schedule Planner -ohjelmiston projektkalenterin kanssa, jotta päivämäärät siirtyisivät oikein.”

Tietojen vienti

Tehtävät:

Hierarkia	Koodi	Nimi	Viedään?
1		Runkotyö	<input checked="" type="checkbox"/>
2		Maarakennus	<input type="checkbox"/>
3		Paalutus	<input type="checkbox"/>
4		Anturan kaivuu & täyttö + salaojat	<input type="checkbox"/>
5		Perustukset	<input type="checkbox"/>
6		SP-täytöt	<input type="checkbox"/>
7		MV-lattiat + "kaulat"	<input checked="" type="checkbox"/>
8		IV-konehuone	<input checked="" type="checkbox"/>
9		Vesikattotyöt	<input checked="" type="checkbox"/>
10		Ikkunat ja parvekkeet	<input type="checkbox"/>

*Kuva 20. Vietävien tietojen valinta Schedule Planner -ohjelmistossa.*

## 6.2 Ohjelmistojen testaus 4D-suunnittelussa

Testauksen tavoitteena oli löytää menetelmiä, joilla hyödyntää tietomalleja paremmin aikataulusuunnittelussa tarjousvaiheessa runkovaiheen visualisoinnin osalta. Testattavaksi valittiin kaksi ohjelmaa: kohdeyrityksen valmiiksi käytössä oleva ohjelmisto ja uusi ohjelmisto. Näin pyrittiin selvittämään, voiko nykyisillä ohjelmistoilla (Tekla Structures) hyödyntää tietomalleja tehokkaammin, vai onko toinen ohjelmisto (Navisworks) parempi tähän tarkoitukseen. Perusteluita ohjelmien valinnalle esitettiin myös luvussa 4.1.3. Lisäksi perusteluita valintaan annettiin haastattelutuloksien kohdassa: Miten visualisointeja on toteutettu (tarjousvaiheessa)?

Haastatteluissa ilmenneet näkemykset huomioitiin ohjelmistojen testattaessa. Ohjelmiston helppokäyttöisyys oli haluttu ominaisuus, jolloin sitä yritettiin arvioida mahdollisimman kattavasti. Seuraavassa listassa esitellään tutkittavia piirteitä:

1. toimintaperiaate
2. ohjelman kyky hallita tietoa
3. ominaisuudet aikataulusuunnittelussa ja visualisoinnissa
4. käytettävyys.

Edellä esitetyt kohdat arvioitiin ohjelmistojen testausten aikana ilmenneiden havaintojen pohjalta. Jokainen työvaihe ja ongelmakohta dokumentoitiin kuvakaappauksilla ja muistiinpanoilla, minkä pohjalta johtopäätelmät muodostettiin. Tekla Structures -testauksen tulokset saatiin testaamalla ohjelmiston ominaisuuksia aikataulun visualisoinnissa. Navisworks -testaus suoritettiin ohjelmiston ohjeiden mukaisesti (Navisworks Help). Ohjelmistojen testauksessa on rajoitettu ainoastaan runkovaiheen työkokonaisuuden visuaaliseen aikataulusuunnitteluun ja sen esittämiseen.

### 6.2.1 Tekla Structures

Tekla Structures (TS) on mallinnusohjelmisto rakennusteollisuuden tarpeisiin projektin hallintaan, suunnittelijoille, tuotantoon ja työmaalle. TS:llä on mahdollista mallintaa useita eri materiaaleja ja mitä monimutkaisimpia rakenteita. Tekla Structures on rakennesuunnitteluun tarkoitettu ohjelmisto, jota voidaan käyttää kattavasti hyödyksi myös tuotannosuunnittelussa ja rakentamisessa. Ohjelmiston tärkeimpiä ominaisuuksia käsiteltiin aikaisemmin tietomalliohjelmistojen käsittelevässä luvussa (Tekla Structures). Tekla Structures on käytössä kohdeyrityksessä, ja sen käyttäjät ovat pitäneet ohjelmaa hyvänä. Ohjelmisto on kehitetty rakennesuunnitteluun, jolloin sen ominaisuudet painottuvat enemmän runkovaiheeseen. Haastatteluiden mukaan kohdeyrityksessä ohjelmalla on toteutettu runko- ja aluesuunnitelman visualisointeja. Runkovisualisointeja on tehty lähinnä erilaisista näkymistä kuvankaappauksien avulla, joten aikataulun tuomisen ja Task Manager -työkalun käyttö on jäänyt vähemmälle huomiolle. Testaus keskittyy TS:n aikataulusuunnittelun ja visualisoinnin ominaisuuksiin. Ohjelmistotestauksessa käytettiin Tekla Structures 21.0 -versiota.

## Ominaisuudet

Tekla Structures kuuluu luvun 3.2.4 mukaisen jaottelun mukaan suunnitteluohjelmien luokkaan. Ohjelmisto on ensisijaisesti kehitetty rakennesuunnittelua varten, mutta siitä löytyy myös kattavia työkaluja tuotannon suunnitteluun; määrälaskentaan ja aikataulu-suunnitteluun ja visualisointiin. Seuraavaksi esitellään lyhyesti ohjelmiston keskeisiä työkaluja aikatauluvisualisointiin liittyen Teklan omaa ohjesivua apuna käyttäen (Tekla Product Guide). Työkalut löytyvät ohjelmiston Tools-valikosta.

**Organizer** on työkalu mallitiedon ja objektien ominaisuuksien hallintaan ja järjestelyyn. Tällä järjestelytyökalulla päästään käsiksi kaikkeen mallitietoon, mukaan lukien IFC. Tietoa voidaan hallita yhdestä paikasta tehokkaasti. Organizer on tehokas työkalu hankkeen osapuolille missä tahansa rakennusprojektin vaiheessa. Tuotannonsuunnittelijat voivat katsoa ja luoda raportteja rakennusosien ja kokoonpanojen ominaisuuksista, kuten määrätiedoista. Organizer on aina ajan tasalla, koska se synkronoi päivitetyn mallin kanssa. Organizer muodostuu kahdesta osasta:

- Object Browser -työkalulla voi tarkastaa ja luoda raportteja tietomalliobjektien tiedoista perustuen valintoihin.
- Categories-työkalulla voidaan määrittellä rakennukselle sijainnit (kerros- ja lohkojako), joihin mallin objektit voidaan määrittää. Lisäksi työkalulla voidaan luoda eri kategorioita objektien tietosisällön avulla. Mallin automaattisessa päivityksessä voidaan käyttää suodattamia valitsemalla kategorioita. Kategorioiden sisältöä voi muokata manuaalisesti.

**Task Manager** (TM) on työkalu urakoitsijoille, alihankkijoille ja projektipäälliköille. TM:n avulla malliin voi lisätä aikataulutietoa ja hallita sitä halutulla tarkkuustasolla projektin eri vaiheissa. Task Manager -työkalulla voidaan luoda, varastoida ja hallita aikataulutehtäviä ja liittää ne haluttuihin objekteihin. Tehtävien avulla on mahdollista luoda muokattavia näkymiä ja 4D-simuloida projektin etenemistä. Task Manager -työkaluun voidaan tuoda tehtäviä myös ulkoisista ohjelmistoista, kuten MS Project, Primavera ja Vico. Tuotuja aikatauluja voi täydentää tarkemmin Task Manager -työkalussa.

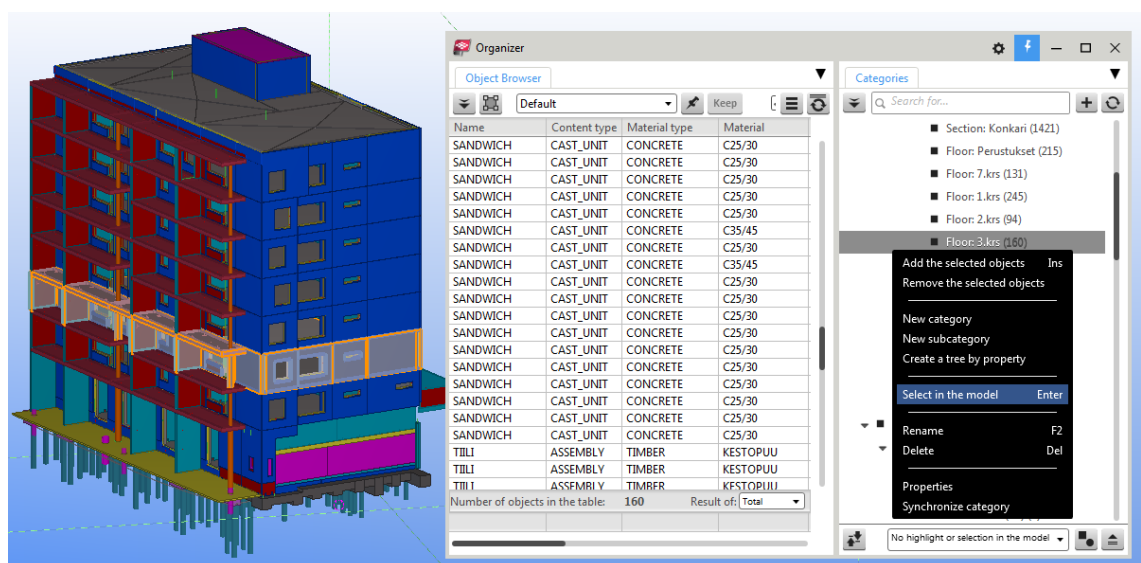
Projektin status-visualisoinnin (**Project Status Visualization**) avulla voidaan näyttää mallin objekteja valitulla aikavälillä. Työkalulla voidaan esimerkiksi tarkastella mallin asennusaikataulua antamalla rakennusosille eri värejä aikataulun mukaan. Ennen kuin projektin tilaa voidaan visualisoida, tulee määrittää väri- ja näkyvyysasetukset objekti-ryhmille, joihin on linkitetty aikataulutieto. Aikataulu voidaan linkittää suoraan rakennusosiin tai käyttämällä Task Manager -työkalua. Käyttäjän määrittelemät attribuutit (User Defined Attributes, UDA) sisältävät lisätietoa mallin objekteista. Ne ovat osien metatietoa ja voivat sisältää numeroita, tekstiä, päivämääriä tai listoja. Tätä voidaan hyödyntää linkittäessä aikadata suoraan objekteille.

Tekla Structures käyttää natiivimuotona db1-formaattia, mutta siihen pystyy myös tuomaan referenssimalliksi ja viemään ulos tiedostoja IFC-muotoisina. IFC-muodon lisäksi

Tekla Structures tukee myös SDNF-, CIS/2-, DSTV-, IGES-, STEP-, DGN- ja DWG-muotoja (Tekla Structures). Case-kohteesta on saatavilla Tekla Structures -natiivimalli, joten visualisointi toteutetaan sen avulla.

### Aikataulun visualisointi

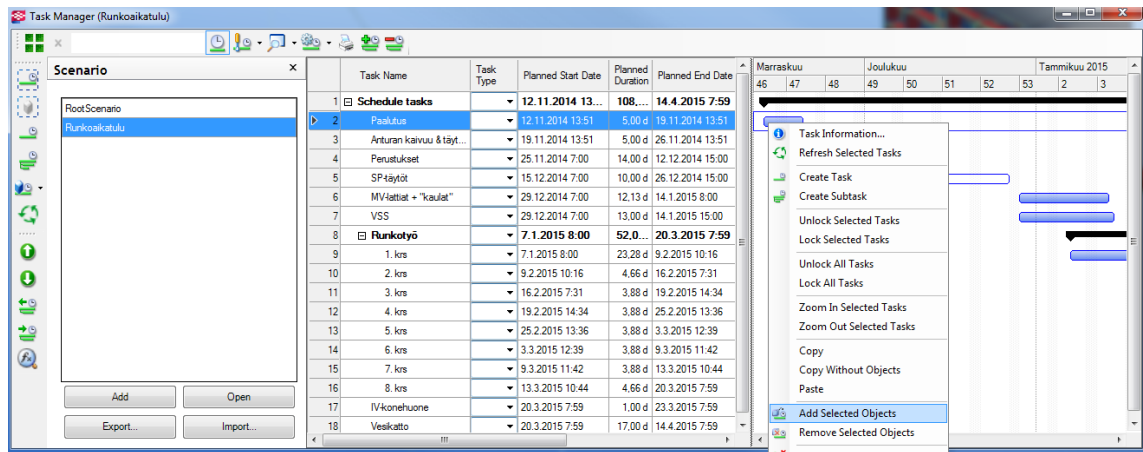
TS:ssä visualisointiprosessi kannattaa aloittaa jaottelemalla tietomalliobjektit Organizer-työkalun kategorioimaisuudella kerroksiin, lohkoihin ja rakennetyyppeihin. Uudemmissa versioissa (versiosta 20 lähtien) kategorioiden luontiin on saatu myös automaattisia toimintoja. Kategorioita on mahdollista luoda, poistaa ja tuoda työkaluun muista projekteista xml-siirtomuodossa tai viedä muihin projekteihin. Case-kohteen ollessa pieni ei lohkojaotteluun ryhdytä, koska sitä ei aikataulussakaan ole. Case-kohteen natiivimallissa rakennusosat oli valmiiksi jaoteltu kerros- ja rakennetyyppikohtaisesti, mikä helpottaa tehtävien linkittämistä aikatauluun. Kategorioita voidaan aktivoida painamalla Enter tai oikean hiiren näppäimen Select in the model -komennon kautta. Kuvassa 21 on valittuna 3. kerroksen runkoasennukseen liittyvät rakennusosat. Kategorioita voidaan myös muokata manuaalisesti valittuja objekteja lisäämällä ja poistamalla. Kun malli on jaoteltu, voidaan aloittaa aikatautiedon määrittäminen rakennusosille.



*Kuva 21. Tekla Structures -ohjelmiston Organizer-työkalun esittelyä.*

Seuraavaksi avataan Task Manager -työkalu. Työkalun saa avattua Tools-valikosta. Ensin luodaan uusi skenaario Add-komennolla. Työkalussa voidaan luoda aikataulutehtävät itse tai ne voidaan tuoda ulkoisesta ohjelmasta xml-siirtomuodossa (Import). Tuodessa uusi xml-tieto täytyy valita Schedule Planner -ohjelmistosta tuotu MS Project vaihtoehto, jotta aikataulu siirtyy oikein. Työkalun näkymässä huomataan, että aikataulutehtävät eivät välttämättä tule suoraan oikeaan järjestykseen, vaan niitä täytyy hieman järjestellä. Tuonnissa tulleet ylimääräiset tehtävät voidaan poistaa aikataulusta. Tehtävät saa järjestettyä esimerkiksi aloituspäivämäärän mukaan painamalla Planned Start Date -painiketta. Ku-

vassa 22 esitellään järjestelty aikataulu Task Manager -työkalussa. Ohjelman eduksi huomataan, että summatehtävät säilyvät siirrossa. Päivämääriä tarkasteltaessa huomataan pieniä poikkeamia aloitus- ja lopetusajankohdissa (verrataan kuvia 17 ja 22). Muutokset johtuvat Schedule Plannerin projektikalenterin lomapäivistä, koska päivämäärien muutokset näyttäisivät tapahtuvan lomien aikaan. Task Manager -työkaluun saadaan kuitenkin asetettua tai tuotua lomapäiviä määrittämällä ne asetuksista (General Settings and Actions: Non-working Periods). Päivämäärät saa korjattua myös manuaalisesti. Tässä tapauksessa se on kannattava vaihtoehto, koska muutoksia tapahtui vain kahden tehtävän osalta. Huomataan, että aikataulu päivittyy vain, jos tehtävänimikkeet ja hierarkia täsmäävät. Synkronointi on siis riippuvainen summatehtävien ja tehtävien nimikkeistä.

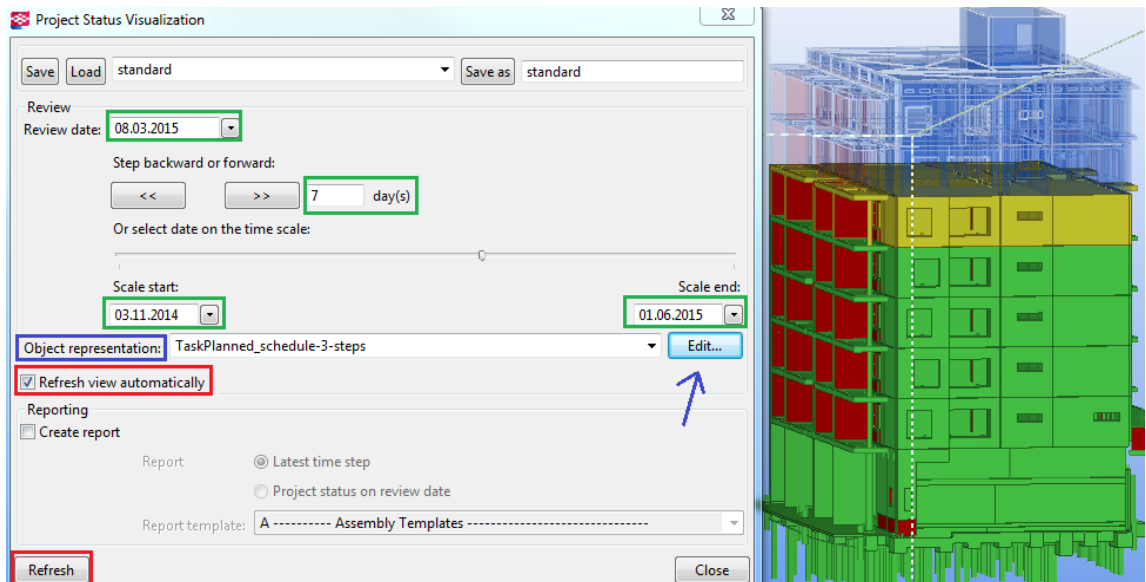


**Kuva 22.** Task Manager -työkalun järjestelty aikataulu.

Seuraava vaihe visualisoinnissa on linkittää halutut objektit aikataulutehtäville. Työvaiheen helpottamiseksi ikkunat järjestellään niin, että Task Manager, Organizer ja itse malli ovat kokoajan näkyvillä. Linkitys tapahtuu määritettyjä kategorioita aktivoimalla. Aktiivoidaan esimerkiksi Category-työkalusta kerros 3 (Kuva 21). Valintaa voidaan tarkastella visuaalisesti mallista ja piilottamalla valinnan ulkopuoliset objektit (Hide Unselected Objects). Objektien ollessa aktivoituna voidaan palata Task Manager -työkaluun, klikata oikealla hiirennäppäimellä valitusta tehtävästä ja valita Add Selected Objects -painike (kuva 22). Nyt objektit ovat liitettynä kyseiseen aikataulutehtävään. Linkityksen säilyminen onnistuu aikataulua päivittäessä vain, jos TM:n ja päivitystiedoston tehtäväjärjestys ja nimet täsmäävät. Tehtävien ominaisuuksia päästään muokkaamaan oikeaa hiiren näppäintä painamalla valitun tehtävän kohdalta valitsemalla Task Information -painike. Avautuvasta ikkunasta löytyy erilaisia asetuksia tehtäviin liittyen. Sieltä voidaan muun muassa tarkastaa tehtävään linkitetty objektit ja poistaa ylimääräiset objektit. Tämän toiminnon avulla eroteltiin esimerkiksi väestönsuojaan kuuluvat objektit 1. kerroksen kategoriasta. Valikosta voidaan määrittää myös asennusjärjestys ja syöttää päivämääriä yksittäisille elementeille, mutta tätä varten täytyy määrittää tehtäville tehtävyyt. Vaihtoehtoisesti päivämäärät voitaisiin asettaa manuaalisesti rakennusosille suoraan ilman Task Manager -työkalua ominaisuusikkunan kautta. Tällöin voidaan asettaa erikseen aikatau-

lutietoa suunnittelun, valmistuksen ja asennuksen alaisista elementeistä. Tarjousvaiheessa halutaan esittää toteutuksen mahdollinen aikataulu, joten tieto tulisi syöttää asennus-välilehden tietokenttiin. Tutkimuksessa ei kuitenkaan paneuduta enempää manuaaliseen päivämäärien asettamiseen, koska se on työlämpi tapa aikataulun linkitykseen.

Linkityksen jälkeen päästään itse visualisointiin Project Status Visualization -työkalun avulla, jota esitellään kuvassa 23. Ikkunasta voidaan valita visualisoinnin tarkasteluväli, tarkastelupäivämäärä ja visualisoinnin tarkkuustaso. Näkymää voidaan päivittää manuaalisesti painamalla Refresh -painiketta tai sitten voidaan laittaa näkymä päivittymään automaattisesti. Visualisoinnin esitystapa riippuu esitysasetuksista (Object Representation). Kohdeyrittäjällä on muutama valmiiksi määritetty esitystapa visualisoinneille. Mikäli halutaan visualisoida Task Manager -aikataulua, täytyy valita Task Planned -vaihtoehto. Valitaan testaukseen Task Planned schedule-3-steps -vaihtoehto. Esityksen näkvyysasetuksia visualisoinnin aikana voidaan muokata valitsemalla Edit -komento. Näkymäasetuksissa voidaan muuttaa objektien väritysväriä ja ehtoja, minkä mukaan osa värjäättyy tai piilotetaan. Oletusasetuksina vihreä väri edustaa suoritettuja tehtäviä, keltainen aloitettuja ja läpinäkyvä sininen aloittamattomia tehtäviä. Valikossa täytyy olla aina määritetty joku asetus All-ryhmälle. Testivisualisointi suoritettiin viikkotarkkuudella (7 päivää). Näkymää voidaan vaihtamalla päivämäärää (Review date) tai sitten liikkumalla aikajanalla. Kuvassa 23 esitellään ajankohtaa jossa, runkovisualisointi on käynnissä 6. kerroksessa.



**Kuva 23.** Visualisointiasetukset ja itse runkovisualisointi TS:ssä.

Visualisointi esitys saadaan ulos ohjelmasta vain kuvasarjan muodossa. Kuvankaappaukset voidaan ottaa Tekla Screen Shot -työkalulla, jolla saadaan tallennettua sen hetkinen näkymä suoraan kuvatiedostoksi. Mikäli kuvankaappauksia tulee runsaasti, on työkalu työläs käyttää ilman automatisointia. Kohdeyrittäjällä on kuitenkin käytössä ohjelmaan soveltuvia makroja, joiden avulla kuvasarjan tallennusta saadaan automatisoitua. 4D-

makron avulla voidaan tallettaa kuvat määrättyltä aikaväliltä määrättyyn kansioon. Kuvasarjat saadaan esitettävämpään muotoon esimerkiksi MS Powerpointin avulla.

### **Ohjelman käytettävyys**

Tekla Structures -ohjelmiston toimintavarmuus on hyvä. Visualisoinnin aikana törmättiin kuitenkin pariin pieneen ongelmaan, esimerkiksi välillä visualisointiin tuli näkyviin ylimääräisiä asioita, mutta ne poistuivat päivittämällä näkymää. Ohjelmaa käytettäessä huomattiin, että se on suhteellisen raskas. Esimerkiksi suurempia objektijoukkoja valittaessa ohjelma jäi ajoittain latailemaan valintaa. TS:ää enemmän käytettäessä kannattaa varmistua, että koneessa on tarpeeksi tehoja ohjelman pyörittämiseen. Hiiritoiminnot vaikuttivat aluksi hieman omaperäisiltä, mutta pienen kokeilun jälkeen niihin tottui. Näppäinkomennoista löytyi paljon käyttöä helpottavia yhteneväisyyksiä Windows-käyttöjärjestelmään ja yleisiin toimistosovelluksiin (Control + A = Valitse listassa kaikki). Eri työkalujen ikkunoiden järjestely tuotti välillä ongelmia, koska työkaluikkunat hävisivät välillä toistensa taakse tai jopa ruudun ulkopuoliseen tilaan. Tarpeelliset ikkunat saadaan näkymään jatkuvasti, valitsemalla Stay on top -komento. Kuten edellä mainittiin, Tekla Structures on ensisijaisesti rakennesuunniteluun tarkoitettu ohjelmisto, joten se sisältää paljon ylimääräisiä toimintoja visualisointia ajatellen. Toisaalta visualisointiominaisuudet ovat eroteltu omiksi työkaluikseen, joten sekaannuksia on helppo välttää.

## **6.2.2 Navisworks Manage**

Navisworks Manage (Navisworks), on tietomalleja käsittelevä ohjelmisto, jolla arkkitehtuuri, insinööri- ja rakennusalan ammattilaiset voivat kokonaisvaltaisesti tutkia ja käsitellä tietoa ja tietomalleja, jotta projektiosapuolet saisivat projektin paremmin hallintaan. Ohjelmistolla pystytään tekemään muun muassa määrälaskentaa, järjestysten ja rakennusosien törmäystarkastelua, aikataulun simulointia ja kustannussuunnittelua. Ohjelmiston tärkeimpiä ominaisuuksia käsiteltiin aikaisemmin tietomalliohjelmistoja käsittelevässä luvussa (Navisworks). Ohjelmisto on vähäisissä määrin kokeiltu kohdeyrityksessä, ja sen ominaisuudet vaikuttavat lupaavilta. Testauksessa käytettiin Navisworks Manage 2015 (64-bit) -versiota. Tässä testauksessa ohjelmistoa kokeiltiin vain pintapuolisesti ja keskityttiin lähinnä aikataulun simuloinnin ominaisuuksiin.

### **Ominaisuudet**

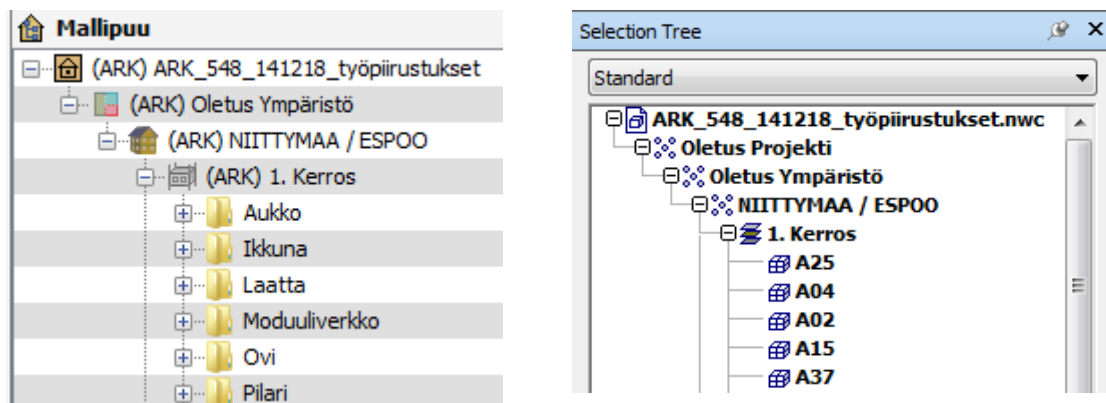
Navisworks Manage ei ole suunnitteluohjelma, vaan se kuuluu analyysi/simulointi ohjelmistojen luokkaan luvun 3.2.4 jaottelun mukaisesti. Navisworks-ohjelmistolla voidaan muuntaa BIM- ja 3D-tiedostot ohjelmiston omaan natiivitiedostomuotoon (nwd, nwf, nwc). Työn liiteistä (Liite B) löytyy koko lista ohjelman tukemista tiedostomuodoista. Listauksesta huomataan, ettei ohjelmisto tue kohdeyrityksen kannalta tärkeiden suunnitteluohjelmistojen (Tekla, ArchiCAD) natiivimalleja. Toisaalta nämä tiedostot voidaan



muuntaa Navisworks-ohjelmiston tukemiin tiedostomuotoihin, kuten ifc:hen. Tutkimuksen kannalta tärkeää on, että ohjelmisto tukee ifc-muotoa. Avattaessa Navisworks, huomataan siitä löytyvän seuraavat työkalut:

- Clash Detection – törmäystarkastelu
- Timeliner – aikataulu- ja kustannussuunnittelu ja simulointi
- Quantification – määrälaskenta
- Autodesk Rendering – materiaalien, valaistuksen ja ympäristön kuvantaminen
- Animator – työkalu animaatioiden luontiin esimerkiksi detaljien esittäminen
- Scripter – työkalu toimintojen lisäämiseksi animaatioihin ja simulointeihin

Avattaessa suunnitteluohjelmalla luotua IFC-tiedostoa se luo automaattisesti tiedostosta oman version: nwc-tiedoston. Tämän etuna on pienempi tiedostokoko. Navisworks tallentaa samaan tiedostosijaintiin 6:MB:n kokoisen nwc-tiedoston, kun avataan Tekla Structures -ohjelmistolla luotu 70 MB:n kokoinen ifc-tiedosto. Vertailun vuoksi avataan ifc-tiedosto Solibri Model Checker- ja Navisworks-ohjelmistoilla. Huomataan Navisworks-ohjelmiston mukaisen mallipuun näyttävän erilaiselta, koska se ei jaottele rakennusosia, kuten aukkoja ja pilareita omiksi kokonaisuuksikseen. Tietomalliobjektit ovat jaoteltu sekasortoisesti kerroskokonaisuuksien alle. Tilannetta esitetään kuvassa 24. Kerrosjako näyttää kuitenkin säilyneen siirrossa. Sama asia tapahtuu, sekä arkkitehtimallia, että rakennemallia avattaessa. Rakennemallia tarkasteltaessa huomataan, että kaikki rakennesosat eivät noudata kerrosjakoa, joten päätetään visualisoinnissa käytettävän arkkitehtimallia.



**Kuva 24.** Mallipuun rakenne SMC:ssä (vas.) ja Navisworks-ohjelmistossa (oik.).

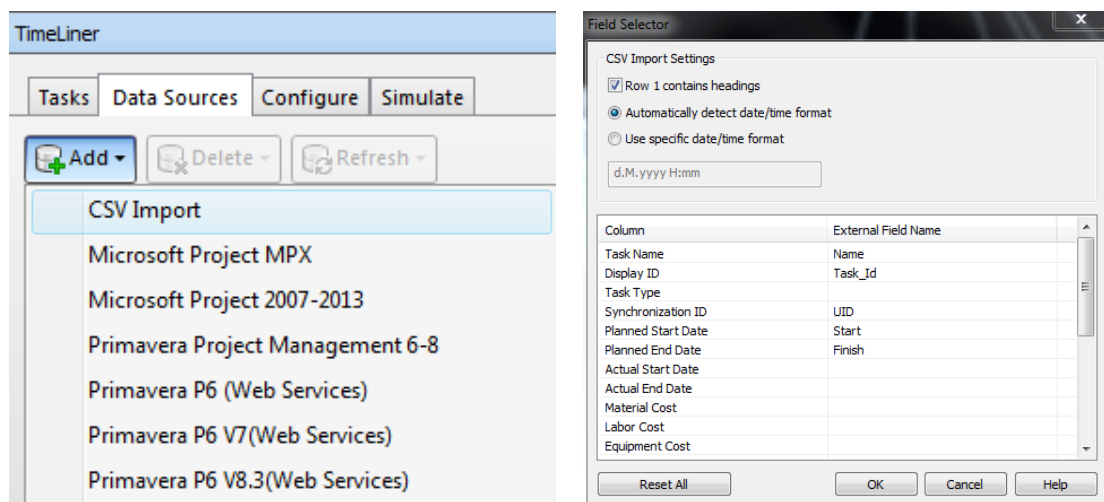
### **Aikataulun visualisointi**

Timeliner -työkalun alta löytyy seuraavat ominaisuudet: Task, Data Source, Configure ja Simulate (Kuva 25). Task -välilehti on aikataulun luomista, editointia ja tietomalliobjekteihin linkitystä varten. Data Source -valikko on aikataulun tuomista varten. Configure -valikosta voidaan määrittellä miten eri tehtävätyypit (rakentaminen, purku, väliaikaiset) näkyvät simuloinnin aikana. Tällä työkalulla voitaisiin myös visualisoida toteumia eri

väreillä. ”Simulate” on välilehti aikataulun simulointia ja sen asetuksia varten. Aikataulutehtävät voi luoda itse tai tuoda ohjelmiston Timeliner -työkalulla 3: eri tapaa:

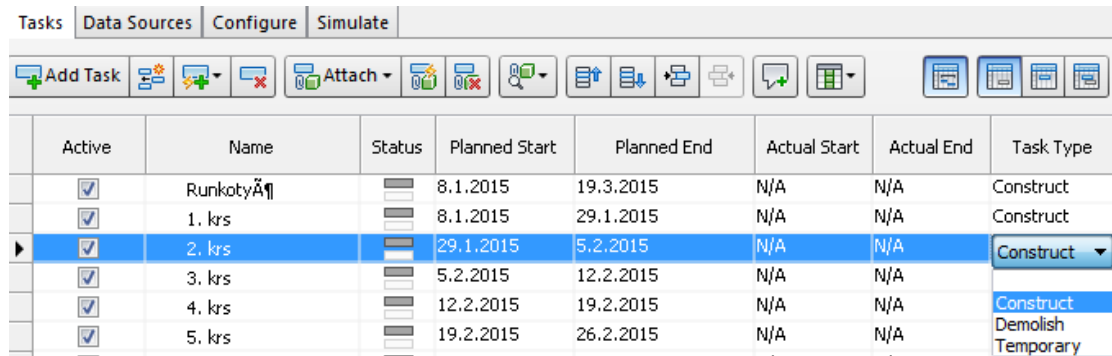
1. manuaalisesti, mikä on työlästä aikataulun sisältäessä paljon tehtäviä
2. automaattinen luonti; perustuen tietomalliobjektien ryhmittelyrakenteeseen
3. aikataulun tuominen ulkoisesta lähteestä.

Ensimmäinen vaihtoehto ei tue tämän tutkimuksen tarkoitusta, koska simulointi prosessia pyritään automatisoimaan mahdollisimman paljon. Toinen vaihtoehto luo aikataulutehtävät tietomallin objektiijaottelun (esimerkiksi kerrosjako) tai settien mukaan, jolloin linkitys tehtävien ja objektien välillä tapahtuu automaattisesti. Tällöin tietomalliobjektit tulisi olla jo valmiiksi ryhmiteltynä aikataulutehtävien mukaisiksi kokonaisuuksiksi. Kokeiltaessa toimintoa case-kohteen malleihin saadaan kerrosjaon mukaiset aikataulutehtävät: 1 krs. 2 krs ja niin edelleen. Kolmas vaihtoehto palvelee tutkimuksen tarkoitusta parhaiten, koska pyritään hyödyntämään kohdeyrityksen käyttämän aikatauluohjelman tuottamaa dataa. Tätä kokeiltaessa törmätään ongelmaan: Schedule Planner -ohjelmistolla luotua xml-siirtotiedostoa ei saa suoraan tuotua Navisworks-ohjelmistoon, koska se tukee vain kuvassa 25 esiteltyjä tiedostomuotoja.



**Kuva 25.** Aikataulun tiedon tuominen ja kenttäasetukset Navisworks-ohjelmistossa.

Xml-tiedosto täytyy muuttaa csv:ksi tai sitten viedä Schedule Planner -aikataulu MS Project -ohjelmistoon. Kohdeyrityksellä ei ole MS Projectia käytössä, joten xml-tiedostoa yritettiin muuttaa Excelillä csv:ksi, mutta Navis ei suostunut tätä lukemaan. Google-haku koneen avulla (hakusana xml to csv) löytyi xml – csv muuntimia, joista valittiin FlameWare Solution tarjoama vaihtoehto (Flame-Ware). Muuntimen avulla (Liite C) saatiin Task.csv tiedosto, joka sisälsi tarvittavan aikatauludatan. Csv:tä tuodessa täytyy varmistaa Navisworks-ohjelmiston tietokenttien vastaavuus tuodun tiedoston kenttiin Field Selector -valikossa. Kuvan 25 mukaisilla asetuksilla aikataulutehtävien nimet sekä aloitusta lopetuspäivämäärät saatiin Navisworks-ohjelmistoon, kun valittiin Rebuild Task Hierarchy -komento. Synchronize-komennolla olemassa oleva data saadaan päivitettyä. Ohjelmistolla voitaisiin seurata myös toteutunutta syöttämällä toteutuneet päivämäärät.

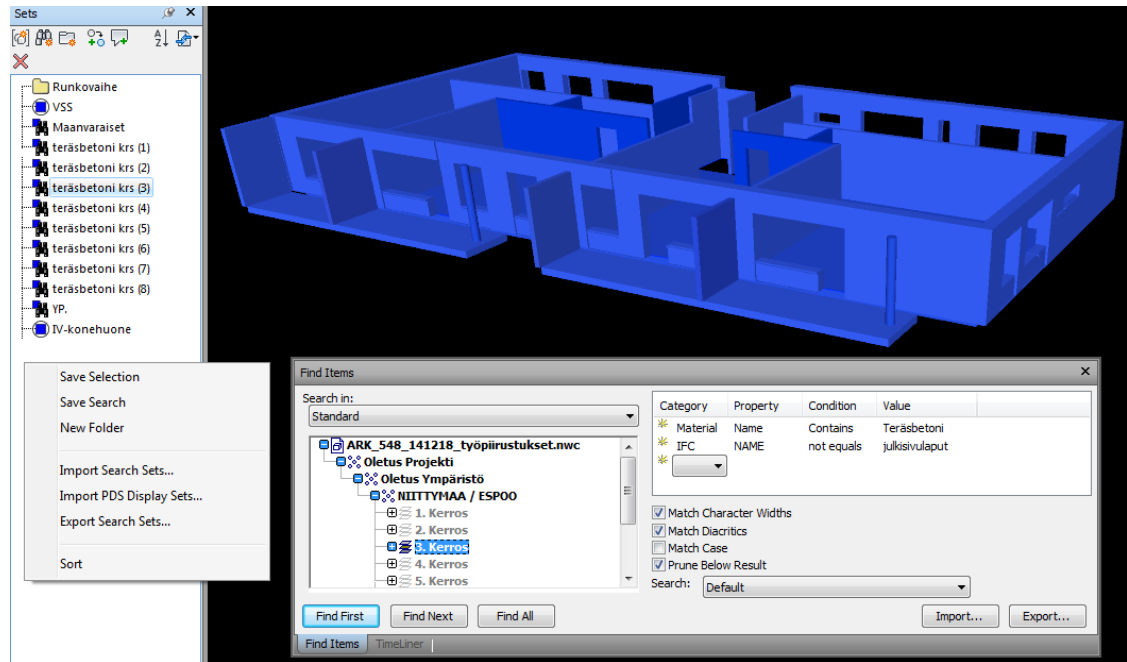


Active	Name	Status	Planned Start	Planned End	Actual Start	Actual End	Task Type
<input checked="" type="checkbox"/>	Runkotyö		8.1.2015	19.3.2015	N/A	N/A	Construct
<input checked="" type="checkbox"/>	1. krs		8.1.2015	29.1.2015	N/A	N/A	Construct
<input checked="" type="checkbox"/>	2. krs		29.1.2015	5.2.2015	N/A	N/A	Construct
<input checked="" type="checkbox"/>	3. krs		5.2.2015	12.2.2015	N/A	N/A	Construct
<input checked="" type="checkbox"/>	4. krs		12.2.2015	19.2.2015	N/A	N/A	Construct
<input checked="" type="checkbox"/>	5. krs		19.2.2015	26.2.2015	N/A	N/A	Demolish Temporary

**Kuva 26.** Navisworks Timeliner -työkalu.

Aikataulutehtävien nimien ja päivämäärien tuominenkaan ei ollut täysin saumatonta. Tuotu aikataulu (Kuva 26) ei vastaa aivan Schedule Planner -aikataulua (Kuva 17). Yleis-aikataulun kaikki päänimikkeet siirtyivät Navisworks-ohjelmistoon, mutta summatehtävien ja riippuvuuksien tuominen ei onnistu. Lisäksi aloitus- ja lopetuspäivämäärissä havaittiin muutoksia alkuperäiseen nähden. Tämä selittyy osin Schedule Plannerin projektikalenterin lomapäivistä, joita ei saa vietyä Navisworks-ohjelmistoon. Toisaalta havaittiin myös muita päivämäärämuutoksia, joille ei löydetty yksinkertaista syytä. Työkalulla saadaan järjesteltyä aikataulut oikeaan järjestykseen ja summatehtäviksi. Virheelliset päivämäärät voidaan korjata manuaalisesti, mutta tämä lisää työmäärää. Toisaalta tehtävämäärien ollessa vähäinen päivämäärien manuaalinen määrittäminen ei aiheuta suurta lisätyötä. Päivämäärien automaattisen päivittämisen mahdollisuus poistuu, jos päivämääriä joudutaan korjaamaan jokaisin tuonnin jälkeen manuaalisesti.

Seuraavaksi linkitetään tietomalliobjektit aikataulutehtäviin. Tähän ohjelmisto tarjoaa useamman eri vaihtoehdon. Ensiksi kannattaa avata tarvittavat ikkunat työkalupalkista View/Windows -valikon kautta. Helpoin tapa linkitykseen on käyttää hakujoukkoja (Search Sets). Toinen tapa on luoda valintajoukkoja (Selection Sets). Objektijoukkoja yritettiin tuoda TS:n kategoria -työkalusta, mutta se ei onnistunut. Nyt valmiita hakujoukkoja ei ollut käytettävissä, joten lähdettiin luomaan uusia hakujoukkoja hakutyökalun avulla. Haetaan esimerkiksi 3. kerroksen teräsbetoniset osat kuvan 27 mukaisesti. Haussa voidaan hyödyntää arkkitehtimallin valmista kerrosjakoa sekä rakennusosien ja materiaali- ja tyyppitietoja. Valittuja tai haettuja rakennusosia voidaan tarkastella siihen tarkoitettulla työkalulla. Tällä työkalulla voidaan esimerkiksi poistaa rakennusosia yksitellen, jos hakuun tai valintaan tulee ylimääräisiä osia.



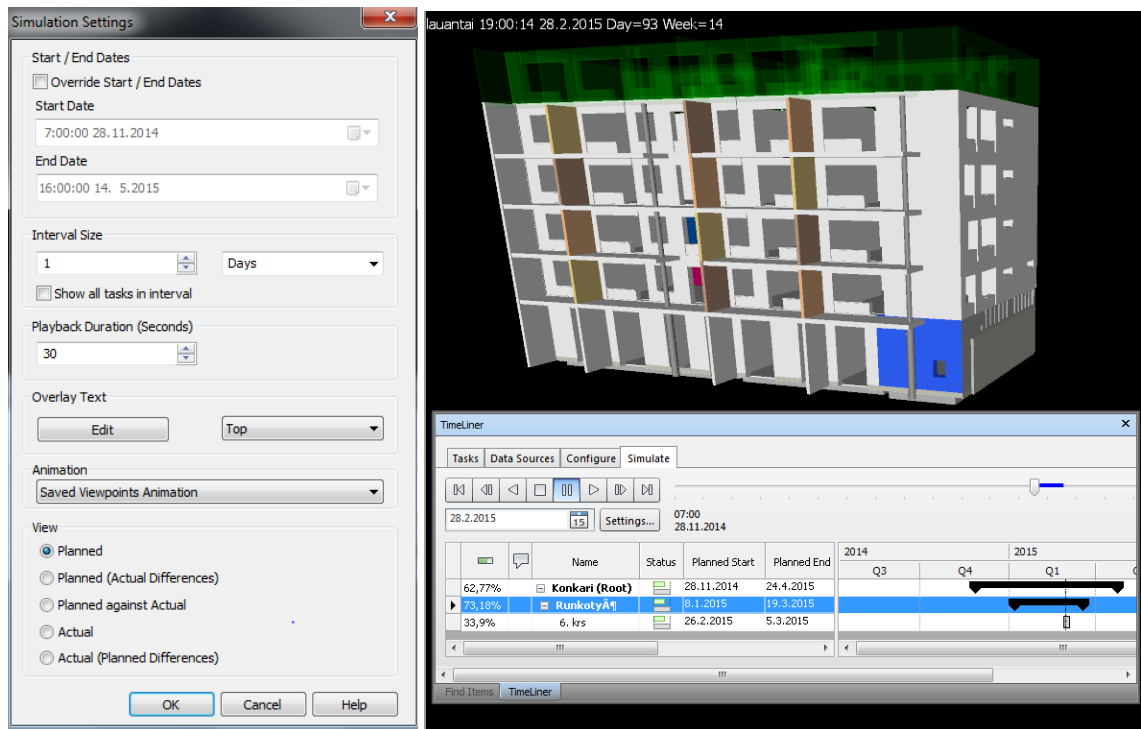
*Kuva 27. Haku-työkalun käyttö Naviswork-ohjelmistossa.*

Haku- ja valintasettejä luomalla voidaan tallentaa objektijoukkoja myöhempää käyttöä varten. Task-välilehdellä haku- ja valintasetit saadaan linkitettyä aikataulutehtäviin. Linkittämisen voi tehdä hiiren tehtävän kohdalta vasenta hiirennäppäintä painamalla. Vaihtoehtoisesti linkittämisen voi tehdä myös sääntöpohjaisella työkalulla, mutta tällöin Task-välilehden nimikenttien täytyisi vastata asetettujen objektiryhmien nimiä. Eri tietomalliobjektien löytämisen helppous riippuu paljolti tietomalliobjektien attribuuttien yhteneväisyydestä. Kuten edellä mainittiin, nyt voitiin hyödyntää arkkitehtimallin kerrosjakoja ja objektien attribuutteja. Rakennusosien nimien, materiaali- ja tyyppitietojen ollessa ristiriitaisia löytäminen vaikeutuu. Haku vaikeutuu, jos saman rakennetyypin kaksi eri tietomalliobjektia olisi nimetty tyyppitiedoltaan US1 ja US01.

Configure-välilehdellä voidaan luoda erilaisia tehtävätyyppejä ja nämä voidaan kohdistaa aikataulutehtäviin. Jokaiselle tehtävälle voidaan määrittää yksilöllinen värikoodi, mikä helpottaa eri työvaiheiden hahmottamista visualisoinnissa. Välilehdellä voidaan määrittää miltä tehtävät näyttävät rakentamisen tai sen valmistumisen jälkeen. Jätettäessä esimerkiksi ulkoseinät osittain läpinäkyväksi nähtäisiin myös mitä rakennuksen sisäpuolella tapahtuu. Toteumaa seurattaessa voidaan myös näyttää eri väreillä myöhässä ja aikaisessa olevia tehtäviä.

Seuraava vaihe simuloinnissa on itse simulointiasetusten määrittäminen. Valikon avulla (kuva 28) asetetaan simuloitava osuus, jos ei haluta koko aikataulua simuloitavan. Valikosta voidaan määrittää simuloinnin aikavälit ja niiden pituus (esimerkiksi 2 päivää tai 1 viikko tai prosentuaalinen osuus simuloinnin kokonaiskestosta). Asetuksista voidaan myös asettaa koko simuloinnin ajallinen kesto, eli kuinka nopeasti simulointi kestää

alusta loppuun. Otsikkoriville saadaan valittua näytettävä tieto, kuten päivämäärä tai suorituksen alla olevien tehtävän nimet ja valmiusprosentit.



**Kuva 28.** Simulointiasetukset ja runkovaiheen toteutuksen simulointi.

Simulointi suoritettiin kuvan 28 asetuksilla, ja siinä esitellään pysäytyskuvaa simuloinnista 6. kerroksen runkoasennuksen ollessa käynnissä. Aikataulussa esiteltiin runkoasennus kerroskohtaisesti, joten siihen linkitettiin kaikki kyseisen kerroksen betonielementit ja valettavat osat. Esimerkiksi, jos visualisoidaan 6. kerroksen runkoasennusta, niin simuloinnissa esitetään kaikki kyseisen kerroksen betonielementit ja valettavat betonirakenteet, eikä tarkemmin, esimerkiksi päiväkohtaisesti asennettujen elementtien mukaan. Tätä varten tulisi jaotella aikataulutehtävät pienempiin kokonaisuuksiin ja tehdä tarkempi vastaava objektiryhmittely päiväsuunnitelmien mukaisesti.

Simulointiin on mahdollista liittää myös erilaisia näkymiä viewpoint- ja animator-työkalujen avulla. Asetuksista voidaan asettaa koko simulointiin vaikuttavia animointeja tai sitten task-työkalussa voidaan liittää näkymät tai animaatiot valittuihin tehtäviin. Työkaluilla voidaan asettaa esimerkiksi näkymiä talosta eri ilmansuunnista, jolloin simuloinnin aikana nähdään kaikki julkisivut. Ohjelmassa voidaan havainnollistaa myös detaljeja simuloinnin aikana edellä mainittujen työkalujen avulla. Voidaan esimerkiksi asettaa detaljikuva väestönsuojan pilarista väestönsuojan simuloinnin yhteyteen. Animointi ja näkymä-työkalut ovat hyödyllisiä, kun halutaan visualisoida eri kuvakulmia, liitoksia tai detaljeja. Simulointi saadaan ulos ohjelmasta joko kuvasarjana tai videotiedostona. Näin simulointi voidaan jakaa projektiosapuolille, joilla Navisworks-ohjelmistoa ei ole käytössä. Ulostulo tiedostoon voi valita tuotoksen sijaan myös luotuja animaatioita. Lisäksi ohjelmisto mahdollistaa mallien ja tehtyjen suunnitelmien viemisen pilvipalvelimeen.

Pilvipalvelimeen vietyjä tietoja pystytään hyödyntämään esimerkiksi tablettilaitteissa BIM 360 -ohjelmalla.

### Ohjelman käytettävyys

Navisworks-ohjelmiston toimintavarmuus on hyvällä tasolla. Ohjelmistotestauksen aikana ohjelmisto ei kaatuillut paria poikkeusta lukuun ottamatta. Tällöin voitiin jatkaa ohjelman teettämästä varmuuskopiosta. Ohjelma vaikutti helposti lähestyttävältä, koska testaaja itse ei ollut ennen käyttänyt ohjelmaa ja omaksui ohjelman käytön Navisworks-ohjelmiston omien ohjeistuksien ja opetusvideoiden avulla nopeasti. Muut kokemukset Autodesk-ohjelmistoista helpottavat ohjelmaan tutustuessa. Ohjelman näppäinkomennot olivat osaksi tuttuja Autodeskin ohjelmistoista, Windows -käyttöjärjestelmästä ja MS-Officesta. Esimerkiksi Control + Z -yhdistelmä kumosi totutusti tehdyn toimenpiteen. Myös Navisworks-ohjelmiston 3D-näkymän hiiritoiminnot olivat helppoja oppia ja olivat osin samankaltaisia kuin Solibri Model Checker -ohjelmistossa. Toiminnot olivat hieman erilaisia, mutta siihen tottui pienen kokeilun kautta. Navisworks tarjoaa kattava määrän eri ominaisuuksia ja työkaluja rakennustuotannon hallintaan, mutta näihin perehtyminen vie oman aikansa. Autodesk tarjoaa kattavat ohjeet Navisworks-ohjelmiston käyttöön helpisivustollaan (Navisworks Help), mitkä esitellään diplomityön lähteissä. Ohjelmaa käytettäessä täytyy osata englantia, koska ohjelmistosta ei löydy suomenkielen tukea.

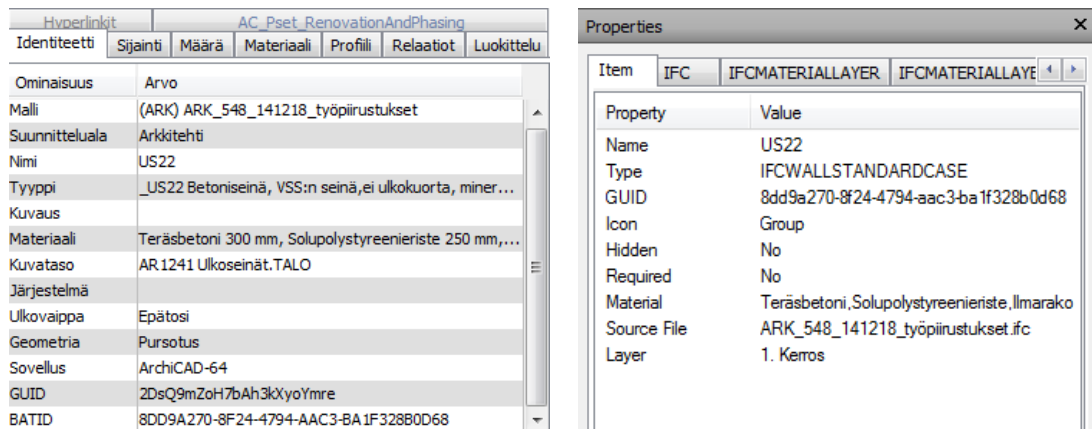
### **6.2.3 Ohjelmistojen vertailu**

Aikataulutiedon tuominen Schedule Planner -ohjelmasta Navisworks-ohjelmistoon oli testauksen suurin haaste. Xml-muoto on projektitiedon yleinen siirtomuoto ja ohjelma. Navisworks tukee kyllä xml-muotoa, mikäli halutaan tuoda esimerkiksi haku- tai valintasettejä muista projekteista tai ohjelmista, mutta aikataulutietoa ei kyseisessä muodossa voi tuoda. Toisaalta on hämmentävää, että ohjelmistoon ei voi tuoda aikataulua xml-muodossa, koska Navisworks voi itse viedä aikataulun ulos ohjelmasta kyseisessä muodossa. Lisäksi projektikalenterin tietoja ei ainakaan muunnetussa csv-muodossa saatu ohjelmaan tuotua. Tällöin Navisworks ei ota Schedule Planner -ohjelmistossa asetettuja lomapäiviä huomioon, mikä aiheuttaa muutoksia päivämäärissä. Manuaalinen korjaaminen aiheuttaa lisätyötä. Mikäli aikataulu vietäisiin Microsoft Projectin kautta Navisworks-ohjelmistoon, päivämäärät saattaisivat siirtyä helpommin. Csv-siirtoa kannattaa käyttää, kun tehtävämäärä on runsaampi, kuten yleisaikataulussa. Esimerkiksi kymmentä tehtävää varten ei csv-siirtoon kannata ryhtyä, vaan päivämäärät voidaan asettaa myös manuaalisesti. Tosin manuaaliseen aikatauluttamiseen Navisworks-ohjelmiston omat ominaisuudet ovat melko yksinkertaiset.

Tekla Structures -ohjelmistossa aikataulun tuominen onnistui Navisworks-ohjelmistoa helpommin. Tiedosto saatiin tuotua suoraan xml-muodossa, ilman välivaiheita. Xml-tiedosto saatiin Schedule Planner -ohjelmistosta suoraan Task Manager-työkaluun. TS:n osalta projektikalenterin lomapäivät eivät siirtyneet tiedostoa tuodessa. Tosin suurin osa

aloitus- ja lopetuspäivämääristä olivat samoja, mutta parin tehtävän osalta aiheutui pie-nehköjä muutoksia päivämääriin ja tehtävien kestoihin. Päivämäärät vastasivat toisiansa kuitenkin paremmin kuin Navisworks-ohjelmistossa. Tekla Structures -ohjelmiston etuna huomataan tehtäväriippuvuuksien säilyvän siirrossa. Täten aikataulua on helpompi muokata itse Task Manager -työkalussa. Aikataulun päivittäminen onnistui molemmissa ohjelmistoissa. TS:n tehtävienimien täytyy täsmätä synkronoinnin onnistumiseksi. Task Manager on Navisworks-ohjelmiston Task-työkalua kattavampi ja Task Manager tarjoaa tehtävien muokkaukseen ja tuontiin enemmän ominaisuuksia. Lisäksi TS:ssä voidaan luoda useampi skenaario, eli voidaan tarvittaessa käsitellä yhtä aikaa useampaa eri aikataulua.

Navisworks vaikuttaisi pystyvän käsittelemään IFC:hen tallennettua tietoa hyvin, miltei yhtä kattavasti kuin esimerkiksi Solibri Model Checker (Kuva 29). Naviksessa voitiin tarkastella rakennusosien tietosisältöä, kuten nimi-, materiaali- ja tyyppitietoja. Tämä mahdollisti rakennusosien etsimisen ja edesauttoi linkittämistä aikataulutehtävien ja rakennusosien välillä. Mallipuun rakenne ei ole kuitenkaan niin selkeä kuin Solibrissa: Kerrosjako säilyy, mutta rakenneosat tai tilaobjektit ovat kerrosjaon alla melko sekasortoisesti (Kuva 24). Hakutyökalun käyttö on pitkälti mallipuun rakenteesta ja rakennusosien nimeämiskäytännön loogisuudesta kiinni. Mikäli halutaan visualisoida lohkokohtaista asennusjärjestystä, rakennusosissa tulee olla lohkokohtaista sijaintitietoa oikeiden rakennusosien löytämiseksi. Valinnat täytyy tehdä manuaalisesti, jos hakutyökalua ei voida hyödyntää. Valintatyökalun käyttö linkittämisessä on työlästä, jos tehtävään kuuluvia rakennusosia on paljon. Etenkin pieniä ulkokuorien sisälläolevia objekteja on hankala löytää manuaalisesti (liitokset, sisävaihe, talotekniikka).



**Kuva 29.** SMC:n (vasemmalla) ja Navisworks-ohjelmiston (oikealla) samasta rakennusosasta näyttämät tiedot.

Navisworks osaa lukea IFC-tietoa huomattavasti paremmin kuin Tekla Structures. TS:ään voidaan tuoda IFC-tiedosto referenssimalliksi, mutta sen tietosisältö on puutteellinen. Usein referenssimallit toimivat apuna varsinaisen Tekla-mallin luonnissa. Tietomalliobjektien tietosisällöt ovat todella suppeita tuodessa IFC-muotoinen arkkitehtimalli TS:ään.

TS:ssä rakennusosien ryhmittely ja hallinta oli Organizer-työkalun ansiosta helppoa. Nyt oli käytettävissä valmiit jaottelut case-kohteen Tekla-mallista, joita voitiin hyödyntää objektien löytämisessä ja linkittämisessä. Tämä nopeutti suuresti visualisointi prosessia. Uudet Tekla Structures -versiot osaavat muodostaa tietomallista kategorioita automaattisesti. Aloittaessa ryhmittely puhtaalta pöydältä on aikaa vievää. Kategoriatyökalulla voidaan luoda lohkorajoja korkotietojen ja koordinaattien avulla. Vaihtoehtoisesti oikeiden objektien löytämiseen voidaan käyttää suodattimia. Näin löytyneitä objekteja voidaan tallettaa kategorioiksi myöhempää käyttöä varten. TS:n linkittämisen työläys on paljon valmiiden kategorioiden hyödynnettävyydestä ja objektien tietosisältöjen loogisuudesta kiinni. Tekla Structures on yleinen rakennesuunniteluun käytetty ohjelmisto. Mallin tullessa rakennesuunnittelijoilta urakoitsijoille voi se sisältää jo valmiiksi ryhmiteltyjä kategorioita. Toisaalta riippuu suunnittelijoiden mallinnustavasta, kuinka hyödynnettäviä tällaiset kategoriat olisivat.

Itse simulointi- ja visualisointiominaisuudet ovat Navisworks-ohjelmistossa Tekla Structures -ohjelmistoa kattavammat ja monipuolisemmat. Testauksessa Navisworks-ohjelmiston ominaisuuksia kokeiltiin pintapuolisesti, koska runkovaiheen visualisointiin käytettiin betonielementtejä ja valettavia betoniosia kerroskohtaisesti. Ohjelmistolla voidaan visualisoida esimerkiksi väliseinä- ja ikkuna-asennuksien etenemistä runkoasennuksen suhteen. Lisäksi erilaisia näkymiä ja animointeja luomalla voi rakennussimulaatioihin lisätä näkymiä detaljeista ja liitoksista, mikäli tietomalli näitä sisältää. TS:ssä ei ole taas mahdollista viedä esitystä ulos ohjelmasta videoformaattina, vaan vastaavat esitykset täytyy toteuttaa erilaisia kuvankaappauksia tallettamalla kuvasarjojen muodossa. Toisaalta usein tällainen kuvasarjojen avulla luotu esitys on riittävän havainnollistava.

Tekla Structures vaikuttaisi runkoverisualisointia ajatellen paremmalta sovellukselta kuin Navisworks, koska TS:n natiivimallin tietosisällöt ovat IFC-mallia kattavammat. Lisäksi työmäärä vähenee, jos rakennesuunnittelijan luomia kategorioita voidaan hyödyntää. Toisaalta TS:n puutteellinen kyky hallita IFC-tiedostoja on haittatekijä, jos haluttaisiin visualisoida taloteknisiä tai sisävaiheen tehtäviä. Navisworks-ohjelmiston avulla taas IFC-muodossa olevia talotekniikka- ja arkkitehtimallia voidaan hallita paremmin ja siten niitä voidaan hyödyntää visualisoinnissa. Ohjelmiston runkoverisualisointi toteutettiin rakennemallin sijaan arkkitehtimallilla, joten visualisointiin olisi voitu lisätä helpommin myös sisävaiheen tehtäviä. Navisworks-ohjelmiston etuna ovat myös laajemmat ominaisuudet visualisoinnissa ja simuloinnissa, koska Tekla Structures -ohjelmistosta elokuva-  
maisaiset simulointiominaisuudet puuttuvat.



## 7. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Diplomityötutkimuksen tavoitteena oli selvittää tarjousvaiheen visualisoinnin mahdollisuuksia, kannattavaa tarkkuustasoa ja toteutustapaa. Tässä luvussa käydään läpi tutkimuksen päätulokset ja niiden analysointi, tutkimuksen tuotoksena syntyneet ratkaisuehdotukset, tutkimuksen onnistuminen ja jatkotutkimusehdotukset.

### 7.1 Päätulosten yhteenveto ja analysointi

Tietomallien yleistyminen rakennusalalla on merkittävä kehitysaskel, joka luo paljon uusia mahdollisuuksia parempaan tuottavuuteen ja laadukkaampiin lopputuloksiin. Tietomallintaminen mahdollistaa aikataulutussuunnittelun automatisoinnin ja rakennettavuusanalyysit. Näin voidaan tutkia erilaisten vaihtoehtojen toteutettavuutta ja kannattavuutta ja poistaa ennalta mahdollisia ongelmia. Tarjousvaiheessa tietomallien hyödyntämisellä olisi mahdollista tehostaa tarjoustoimintaa, luoda kilpailukykyisempiä tarjouksia ja havainnollistaa toteutustapaa tilaajalle ja asiakkaalle.

Haastattelututkimuksen mukaan tarjousvaiheen aikataulun visualisoinnissa nähtiin paljon potentiaalia. Keskeisimpänä asiana tarjoustoiminnan tehostamiseksi nähtiin aikataulun ja lohkojaon tarkempi toteutettavuuden tutkiminen ja vaihtoehtojen tarkastelu parhaiden ratkaisujen löytämiseksi. Lisäksi visualisointi havainnollistaisi rakennustapoja tilaajalle ja muille projektin sidosryhmille. Tulokset visualisoinnin edusta vastasivat kirjallisuudesta löytyviä näkökulmia. Toisaalta haastatteluista ilmeni, että mallien hyödyntäminen ei käytännössä vastaa aina sitä, mitä asiasta kirjoitetaan. Tietomalleja on käytetty visualisoinnissa vain vähän rakennushankeen tarjousvaiheessa, ja aikataulun visualisointi on tällä hetkellä keskittynyt enemmän rakentamisvaiheeseen. Tarjousvaiheessa tietomallit ovat usein vasta luomisvaiheessa ja siten puutteellisia. Lisäksi useat 4D-työkalut perustuvat siihen, että tietomalli ja suunnitelmat ovat jo pitkälle viety. Mallien heikko taso ja työkalujen puute vaikuttaisi olevan syynä tietomallien hyödyntämisen vähyyteen tarjousvaiheessa. Taulukossa 7 esitellään kootusti haastattelututkimuksessa ilmenneitä näkemyksiä tarjousvaiheen visualisoinnin kannattavuudesta.

*Taulukko 7. Tarjousvaiheen aikataulun visualisointi.*

Mielipiteitä tarjousvaiheen aikataulun visualisoinnista	
Puolesta	Vastaan
+ Luotettavan tarjouksen tekeminen	- Ohjelmistot perustuvat pitkälle vietyihin tai valmiisiin malleihin
+ Alustavien tuotannosuunnitelmien tuki	- Lähtötiedon heikko taso tarjousvaiheessa voi aiheuttaa luotettavuusongelmia
+ Aikataulun toteutettavuuden tutkiminen resurssien ja määrien pohjalta	- Monimutkaiset ohjelmistot
+ Havainnollisuus sidosryhmille	- Lisäarvo / työmäärä suhde
+ Kilpailuvaltti tarjouskilpailussa	

Aikataulun visualisointi on kohdeyrityksessä keskittynyt runkovaiheeseen. Haastateltavat painottivat tarjousvaiheessa erityisesti runkovaiheen visualisointia lohko- ja kerrostarkkuudella. Runkovaiheessa on pystytty toistaiseksi hyödyntämään tietomalleja paremmin, koska eri toimijoiden ja tehtävien määrä on merkittävästi pienempi kuin sisävalmistusvaiheessa. Sisävalmistusvaiheessa ei myöskään ole käytössä sitä varten kehitettyä sovellusta, kun taas runkovaiheeseen on olemassa Tekla Structures, joka mahdollistaa koko runkovaiheen kattavan toteutuksen suunnittelun.

Ohjelmistotestauksessa pyrittiin löytämään työkalu aikataulun visualisoinnille tarjousvaiheessa. Testauksessa havaittiin Navisworks-ohjelmiston olevan monipuolinen ja lupaava ohjelmisto aikataulun visualisointiin. Laajat ominaisuudet rakennemallin käsittelyssä ovat Tekla Structures -ohjelmiston merkittävä etu Naviswork-ohjelmistoon verrattuna. Kohdeyrityksen käyttämä Tekla Structures soveltuu hyvin runkovaiheeseen, mutta Navisworks tarjoaa paremmat mahdollisuudet sisävalmistusvaiheen ja taloteknisten töiden visualisointiin. Lisäksi Navisworks-ohjelmiston simulointiominaisuudet ovat huomattavasti kattavammat. Ohjelmistoverailun tärkeimmät tulokset löytyvät kootusti taulukosta 8.

**Taulukko 8.** Ohjelmistojen vertailu ja toimenpide-ehdotukset käytön edistämiseen.

Tekla Structures 21.0	Navisworks Manage 2015
<b>Vahvuudet</b>	<b>Vahvuudet</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Kohdeyritykselle valmiiksi tuttu ohjelmisto</li> <li>+ Kattavat tiedot rakennemalleista</li> <li>+ Runkovaiheen visualisointi</li> <li>+ Aikataulun suunnittelu ja visualisointi</li> <li>+ Toimivuus Vico-ohjelmistojen kanssa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Kattavat ominaisuudet simuloinnissa</li> <li>+ Laaja tiedostomuotojen tuki (IFC)</li> <li>+ Yhdistelmämallien tarkastelu</li> <li>+ Visuaalinen aikataulusuunnittelu</li> <li>+ Pieni ja nopea tiedostomuoto</li> </ul>
<b>Heikkoudet</b>	<b>Heikkoudet</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Referenssimalleista vain geometriset tiedot</li> <li>- Huono soveltuvuus sisävalmistusvaiheeseen</li> <li>- Muutosten päivitys on työlästä.</li> <li>- Simulointi ominaisuuksien puute</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aikataulun tuominen xml-muodossa</li> <li>- Projektikalenteriasetusten puute</li> <li>- Aikataulutyökalun yksinkertaisuus</li> <li>- Uusi opeteltava ohjelmisto</li> </ul>
<b>Toimenpiteet käytön edistämiseen</b>	<b>Toimenpiteet käytön edistämiseen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Käytön jatkaminen ja kehittäminen siitä kiinnostuneiden henkilöiden ja projektien parissa</li> <li>* Task Manager -työkalun hyödyntäminen</li> <li>* Makrot kuvankaappauksien automatisointiin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Aikataulun tuomisen kehitys (MS Project)</li> <li>* Ohjelman testaaminen todellisissa olosuhteissa</li> <li>* Ohjelmiston muiden työkalujen tutkiminen</li> <li>* Menettelyohjeet</li> </ul>

## 7.2 Ratkaisuehdotukset

Tutkimuksesta selvisi runkovaiheen olevan lähes poikkeuksetta rakennushankkeen rakenteellisesti ja taloudellisesti merkittävin vaihe. Runkoasennus ja sen lohkokohtainen toteutusjärjestys tulisi aina tutkia tarkasti tarjousvaiheessa. Mallipohjainen visualisointi tarjoaa tähän sopivan ratkaisun. Tarjousvaiheessa visualisointia ei kannata viedä asennusjärjestyksen tarkkuudelle, vaan karkeampi taso, kuten kerros- ja lohkotaso riittää. Kun käytetään rakennemallia, pienellä lisäpanostuksella voidaan visualisoida myös perustusten kytkeytymistä runkovaiheeseen. Lisäksi arkkitehtimallin avulla voidaan tarkastella karkealla tasolla sisävalmistusvaiheen etenemistä runkovaiheeseen nähden. Riittävä tarkkuustaso

olisi tässäkin lohko- tai kerroskohtainen toteutusjärjestys. Mikäli talotekniikkamalli on saatavilla, kannattaa tarkastella myös talotekniikan etenemistä samalla tarkkuustasolla.

Ohjelmistoista kumpikaan ei ole toistaan parempi, eikä niitä tulisi korvata toisillaan. Molemmilla ohjelmistoilla on omat käyttöalueensa ja vahvuutensa. Taulukossa 8 esitetään tarjousvaiheen aikataulun visualisointiin soveltuvat ohjelmat, heikkoudet ja vahvuudet ja toimenpiteitä niiden käytön edistämiseen. Tekla Structures -ohjelmiston avulla tehtävää visualisointia tulee jatkaa kohdeyrityksessä, koska ohjelmisto on jo omaksuttu ja sillä osataan toteuttaa aikataulun visualisointeja. Mikäli Tekla Structures -ohjelmistolla tuotettu rakennemalli on saatavilla, niin sitä kannattaa hyödyntää visualisoinnissa. Navisworks soveltuu taas sisävaiheen tehtävien visualisointiin paremmin. Lisäksi ohjelmalla voidaan tarkastella useamman eri suunnittelualan malleja. Näin syntyneiden yhdistelmämallien avulla voidaan sovittaa esimerkiksi taloteknisiä tehtäviä sisävaiheen tehtävien kanssa. Navisworks pystyy myös hallitsemaan paremmin IFC-mallin tietosisältöjä. Navisworks-ohjelmiston käyttöönotto vaatisi kuitenkin enemmän tutkimista ja ohjelman testausta todellisissa olosuhteissa. Mikäli ohjelmalla haluttaisiin hyödyntää kohdeyrityksen käytössä olevaa Schedule Planner -ohjelmistolla tuotettua aikadataa, tulisi aikadatan siirtoon saada csv-siirtotiedostoa parempi menetelmä. Navisworks tarjoaa paljon erilaisia ominaisuuksia ja työkaluja, joten niihin perehtyminen vie aikansa.

Tietomallien käyttö visualisoinnissa vaatii tarjousvaiheessa tietomallinnusvaatimusten noudattamista ja mallintamisen valvomista heti hankkeen alusta lähtien. Näin saadaan laadukkaampia tietomalleja, joita voidaan hyödyntää tarjousvaiheessa määrä- ja kustannuslaskentaan sekä aikatauluttamiseen ja visualisointiin. Tietomallien lisäksi tietomalliohjelmistojen tulisi olla mahdollisimman käyttövalmiita, jotta visualisointi olisi tarjousvaiheessa mahdollisimman sujuvaa, eikä siihen uppoaisi liikaa resursseja. Teklan Structures -ohjelmistolla tehtävää visualisointia voidaan tehostaa lisäämällä Task Manager -ohjelmiston käyttöä ja automatisoimalla kuvankaappausta. Navisworks vaikuttaa potentiaaliselta ohjelmistolta ja sen käyttöä voidaan tehostaa kehittämällä aikataulun tuomisen toimintoja ja perehtymällä simuloinnin lisäksi ohjelmiston muihin ominaisuuksiin.

### **7.3 Tutkimuksen onnistuminen ja jatkotutkimusehdotukset**

Diplomityön tavoitteena oli tutkia tarjousvaiheen aikataulun visualisoinnin tarkkuustasoa ja potentiaalia sekä testata tarjolla olevien ohjelmistojen soveltuvuutta. Kirjallisuustutkimuksen tavoitteena oli perehtyä tietomallintamiseen, tietomalliohjelmistoihin sekä tietomallipohjaiseen aikataulusuunnitteluun ja visualisointiin. Kohdeyrityksen työlle asettama tavoite oli testata aikataulun visualisoinnin toteutusta valituilla ohjelmistoilla ja arvioida visualisoinnin kannattavaa tarkkuustasoa tarjousvaiheessa. Diplomityötutkimuksen tavoitteet toteutuivat työlle asetetussa aikataulussa.

Tutkimuksen viitekehys koostui aihepiirin kirjallisuudesta. Tutkimusosuuden aineisto kerättiin haastattelujen pohjalta ja sitä täydennettiin kohdeyrityksen neuvojen, diplomityöpalaverien ja kirjallisuuden avulla. Mikäli tutkimuksella olisi ollut enemmän aikaa, haastatteluosuudesta olisi saatu laajempi haastatteleamalla myös asiakkaiden ja tilaajien edustajia asiakas- ja tilaajanäkökulman kartoittamiseksi. Nyt haastateltavien määrä rajattiin koskemaan kohdeyrityksen asiantuntijoita, yhtä kohdeyrityksen yhteistyöyritystä lukuun ottamatta. Ohjelmistotestaus suoritettiin Skanskan tietomallintamisen (BIM) tukiorganisaatiolle. Testauksessa käytettiin apuna teoriaosuuden ja haastatteluosuuden tietoja. Tutkimuksen tuloksena tuotettiin ratkaisuehdotuksia tarjousvaiheen visualisoinnin sisällölle ja kahden visualisointiin soveltuvan ohjelmiston ominaisuuksien kuvailu ja vertailu. Lisäksi tutkimuksen sivutuotteena laadittiin Navisworks-menettelyohje kohdeyrityksen sisäiseen käyttöön.

Tässä tutkimuksessa ohjelmistojen testausta ei suoritettu oikeissa olosuhteissa. Tietomallien ja aikataulun visualisoinnin hyötyjä voidaan tutkia konkreettisemmin tarjoustoiminnan alla olevien case-kohteiden avulla. Tällöin voidaan tutkia tarjousvaiheessa olevien mallien laadun kehittämistä ja ohjelmien toimivuutta, kun mallit ovat puutteelliset. Lisäksi tarjousvaiheen visualisointiprosessia voi tutkia myös enemmän kokonaisuutena suorittamalla itse mallipohjainen määrälaskenta, aikataulutusta ja tehdä sen pohjalta visualisointi. Mielenkiintoinen aihe on myös mallipohjainen kustannuslaskenta ja kustannusmuutosten vaikutusten havainnollistaminen visualisoimalla. Lisäksi uusien ohjelmistojen mahdollisuuksia kannattaa tutkia. Tarjousvaiheen visualisoinnin näkökulmasta Simplebim-ohjelma vaikuttaa potentiaaliselta silloin, kun tietomallin tietosisällössä on virheitä. Ohjelmalla voidaan korjata IFC-tietokenttiin esimerkiksi oikeat objektien määrittelyt. Ohjelmalla voidaan tiedottaa korjauksista suunnittelijoita. Kohdeyrityksen tietomallintamisohjeet ja -standardien soveltuvuutta voidaan kokeilla visualisointi prosessissa. Oleellisessa asemassa on ryhmittelyyn käytettävien attribuuttien oikeellisuus.

## LÄHTEET

Boton, C., Kubicki, S. & Halin, G. (2013). Designing adapted visualization for collaborative 4D applications, *Automation in Construction*, Vol. 36pp. 152-167.

buildingSMART Finland , buildingSMART Finland, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.3.2016): <http://www.buildingsmart.fi/>.

Büchmann-Slorup, R. & Andersson, N. (2010). BIM-based scheduling of Construction—A comparative analysis of prevailing and BIM-based scheduling processes, *Proc.*, 27 th Int. Conf. of the CIB W78, pp. 113-123.

Chau, K., Anson, M. & Zhang, J. (2004). Four-dimensional visualization of construction scheduling and site utilization, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 130(4), pp. 598-606.

COBIM (2012aa). YTV2012 Osa 1 Yleinen osuus, Yleiset tietomallivaatimukset 2012 RT 10-11066, Rakennustietosäätiö RTS, Helsinki, 12 s.

COBIM (2012b). YTV2012 Osa 11 Tietomallipohjaisen projektin johtaminen, Yleiset tietomallivaatimukset 2012 RT 10-11076, Rakennustietosäätiö RTS, Helsinki, 12 s.

COBIM (2012ab). YTV2012 Osa 7 Määrälaskenta, Yleiset tietomallivaatimukset 2012 RT 10-11072, Rakennustietosäätiö RTS, Helsinki, 11 s.

Construction Extension to the PMBOK® Guide, (2007). 3rd ed., Project Management Institute, 208 p.

Control 2008 User Guide (2008). Vico Software, 2008, 236 p. Available: [http://www.vicosoftware.com/Portals/658/docs/Vico\\_Control\\_User\\_Guide.pdf](http://www.vicosoftware.com/Portals/658/docs/Vico_Control_User_Guide.pdf).

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 ed., John Wiley & Sons, Hoboken, N.J, xiv, 648 p.

Eskola, J. & Suoranta, J. (1998). Johdatus laadulliseen tutkimukseen, Vastapaino, Tampere, 268 s.

Flame-Ware XML-2-CSV, Flame-Ware Solutions, web page. Available (accessed 7.4.2016): <http://www.flame-ware.com/products/xml-2-csv/>.

Forbes, L.H. & Ahmed, S.M. (2011). Modern construction lean project delivery and integrated practices, CRC Press, Boca Raton, xxxiv, 490 p.

A guide to the project management body of knowledge: PMBOK® guide, (2013). 5th ed., Project Management Institute, XXI, 589 p.

Hardin, B. & McCool, D. (2015). BIM and Construction Management : Proven Tools, Methods, and Workflows, 2nd ed., Wiley, New York, 404 p.

Hendrickson, C. (2008). Project Management for Construction - Fundamental Concepts for Owners, Engineers, Architects and Builders, pp. 13.3.2016.  
[http://pmbook.ce.cmu.edu/09\\_Construction\\_Planning.html](http://pmbook.ce.cmu.edu/09_Construction_Planning.html).

Hergunsel, M.F. (2011). Benefits of building information modeling for construction managers and bim based scheduling, Master of Science, Worcester Polytechnic Institute, 73-16 p. Available: [http://www.wpi.edu/Pubs/ETD/Available/etd-042011-135239/unrestricted/MHergunsel\\_Thesis\\_BIM.pdf](http://www.wpi.edu/Pubs/ETD/Available/etd-042011-135239/unrestricted/MHergunsel_Thesis_BIM.pdf).

Kankainen, J. & Junnonen, J. (2015). Rakennuttaminen, 3. tark. p., Rakennustieto, Helsinki, 101-52 p.

Kolhonen, R., Kankainen, J. & Junnonen, J. (2003). Rakennushankkeen ajallinen hallinta, Teknillinen korkeakoulu, Espoo, 107 s.

Koskenvesa, A. & Sahlsted, S. (2013). Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2013, Rakennustuotanto-kirjasarja Ratu KI-6021, Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, Helsinki, 144 s.

Koskenvesa, A. (2010). Rakennustyön tuottavuus 1975-2010, Rakentajain kalenteri 2011, 95. vuosikerta, Rakennustieto Oy, Helsinki, pp. 138-146.

Koski, H., Koskenvesa, A., Mäki, T. & Kivimäki, C. (2010). Rakentamisen tuotantotekniikka, Rakennustuotanto-kirjasarja Ratu KI-6020, Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, Helsinki, 274 s.

Koski, H. (1995). Rakennushankkeen tuotannosuunnittelu ja -ohjaus, Rakennustuotanto-kirjasarja Rakennustieto, Helsinki, 113 s. Saatavissa: <http://tutcat.linneanet.fi/cgi-bin/Pwebrecon.cgi?BBID=113010>.

Kujala, T. (2014). Tuotannonohjauksen kehittäminen, Insinööriyö, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki, 42-1 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201405065936;>

Kymmell, W. (2008). Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations. McGraw-Hill, New York, 416 p.

Käpylä, J., Jääskeläinen, A., Seppänen, S., Vuolle, M. & Lönnqvist, A. (2008). Tuottavuuden kehittäminen Suomessa - Haasteet ja tutkimustarpeet, Työsuojelurahaston selvityksiä 1/2008, Työsuojelurahasto, Helsinki, 127-9 s. Saatavissa: [https://www.tsr.fi/tsarchive/files/Selvityksia/1\\_2008tuottavuusraportti.pdf](https://www.tsr.fi/tsarchive/files/Selvityksia/1_2008tuottavuusraportti.pdf).

Lahti, J. (2014). Rakennushankkeen integroiva tuotannonohjaus menetelmä, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 81-2 s. Saatavissa: <http://URN.fi/URN:NBN:fi:tyy-201410271516;>

Lahtinen, M., Koskenvesa, A., Kivimäki, C., Mäki, T. & Sahlsted, S. (2015). Aikataulukirja 2016, Rakennustuotanto-kirjasarja Ratu KI-6028, Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, Helsinki, 392 s.

- Laine T. (2008). Tuotemallintaminen talotekniikka suunnittelussa, Rakennusteollisuus, Helsinki, 48 s.
- Li, H., Chan, N., Huang, T., Guo, H.L., Lu, W. & Skitmore, M. (2009). Optimizing construction planning schedules by virtual prototyping enabled resource analysis, *Automation in Construction*, Vol. 18(7), pp. 912-918.
- M.A.D. ArchiCad, M.A.D. Oy, web page. Available (accessed 7.3.2016): <http://www.mad.fi/mad/archicad.html>.
- Merikallio, L. & Haapasalo, H. (2009). Projektituotantojärjestelmän strategiset kehittämisskohteet kiinteistö- ja rakennusalalla, Rakennusteollisuus RT ry ja Lean Construction Institute Finland yhteisraportti, Espoo, 43 s.
- Mitchell, D. & Brandtman, M. (2012). 5D – Creating Cost Certainty and Better Buildings, in: Gudnason, G. & Cherer, R. (ed.), *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2012*, CRC Press, The Netherlands, pp. 253-258.
- Monteiro, A. & Poças Martins, J. (2013). A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design, *Automation in Construction*, Vol. 35, pp. 238-253.
- Mubarak, S.A. (2015). *Construction Project Scheduling and Control*, 3rd ed., Wiley, Somerset, 531 p.
- Navisworks, Autodesk, web page. Available (accessed 6.3.2016): <http://www.autodesk.com/products/navisworks/overview>.
- Navisworks Help, Autodesk, web page. Available (accessed 13.4.2016): <http://help.autodesk.com/view/NAV/2015/ENU/>.
- Nunnally, S.W. (2010). *Construction methods and management*, 8th ed., Prentice-Hall, 360 p.
- Peltonen, P. (2015). Tietomallit asuinrakentamisen sisävalmistusvaiheen aika-taulusuunnittelussa ja -valvonnassa, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 92-2 s.
- Penttilä, H., Nissinen, S. & Niemioja, S. (2006a). Tuotamallintaminen rakennushankkeessa, yleiset periaatteet, Rakennustuoteteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS, Helsinki, 64 s.
- Sacks, R. & Goldin, M. (2007). Lean Management Model for Construction of High-Rise Apartment Buildings, *Journal of Construction Engineering & Management*, Vol. 133(5), pp. 374-384.
- Sacks, R., Treckmann, M. & Rozenfeld, O. (2009). Visualization of Work Flow to Support Lean Construction, *Journal of Construction Engineering & Management*, Vol. 135(12), pp. 1307-1315.

Simplebim, Datacubist Oy, web page. Available (accessed 7.3.2016):  
<http://www.datacubist.com/>.

Skanska BIM - Building Quality, Skanska, web page. Available (accessed 8.3.2016):  
[http://skanska.smartpage.fi/en/bim\\_building\\_quality/](http://skanska.smartpage.fi/en/bim_building_quality/).

Skanska Tietomallintaminen, Skanska, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.3.2016):  
<http://www.skanska.fi/fi/Tietoa-Skansasta/Kehitystoiminta/Tietomallintaminen/>.

Sneck, T., Huovari, J., Volk, R., Hannula, P., Taivassalo, V., Karlund, J., Kivi-niemi, A. & Vainio, T. (2007). Matalan tuottavuuden alojen kehitys ja innovaatiopolitiikka, Tekesin teknologiakatsauksia 218/2007, Tekes, Helsinki, 94 s. Saatavissa: [https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/matala\\_tuottavuus.pdf](https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/matala_tuottavuus.pdf).

Solibri, Solibri Inc., web page. Available (accessed 7.3.2016): <https://www.solibri.com/>.

Sulankivi, K., Mäkelä, T. & Kiviniemi, M. (2009). Tietomalli ja työmaan turvallisuus, Tietomalli työmaaprosessien turvallisuuden edistäjänä VTT-R-01003-09, VTT, Tampere, 72-4 s. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>.

Synchro, Synchro Software Ltd, web page. Available (accessed 6.3.2016):  
<https://synchrold.com/synchro-pro/>.

Teittinen, T. (2009). Tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta, Erikoistyö, Tampereen teknillinen yliopisto, 10 s. Saatavissa: [http://webhotel2.tut.fi/vblab/prodigi/images/4/4b/Erikoityo\\_raportti\\_tt.pdf](http://webhotel2.tut.fi/vblab/prodigi/images/4/4b/Erikoityo_raportti_tt.pdf);

Tekla Product Guide, Tekla, web page. Available (accessed 13.4.2016):  
<https://teklastructures.support.tekla.com/product-guides>.

Tekla Structures, Tekla, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 6.3.2016):  
<http://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>.

Tohmo, S. (2015). Suunnittelijoiden tietomalliohjeet rakennuttaja konsultin näkökulmasta, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 128-94 s. Saatavissa: <http://URN.fi/URN:NBN:fi:tty-201510011636>;

Vico -ohjelmistot, Trimble, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 6.3.2016):  
<http://www.tekla.com/fi/tuotteet/vico-ohjelmistot>.

VisiLean, VisiLean, web page. Available (accessed 6.3.2016): <http://visilean.co.uk/>.

Womack, J.P. & Jones, D.T. (2003). Lean thinking : banish waste and create wealth in your corporation, Rev. and updated. ed., Free Press, New York, 396 p.

Zanen, P. & Hartmann, T. (2010). The application of construction project management tools and overview of tools for managing and controlling construction projects, University of Twente, Twente, 14 p. Available: <https://www.utwente.nl/ctw/visico/Publications/WP/WP3.pdf>.



**Haastattelut:**

Appelqvist, Johan, Toimitusjohtaja, Byggnadsekonomi Oy, Helsinki. Haastattelu 9.3.2016.

Halinen, Ilkka, Rakennuspäällikkö. Skanska Talonrakennus Oy, Tampere. Haastattelu 28.1.2016.

Hämäläinen, Juho-Pekka, Tekninen päällikkö, Skanska Talonrakennus Oy, Helsinki. Haastattelu 15.12.2015.

Hänninen Kimmo, Tuotantoinsinööri. Skanska Talonrakennus Oy, Jyväskylä. Haastattelu 5.2.2016.

Jylhä, Juha-Pekka, Tuotantoinsinööri. Skanska Talonrakennus Oy, Jyväskylä. Haastattelu. 19.2.2016

Pitkälä Perttu, Kehityspäällikkö. Skanska Talonrakennus Oy, Tampere. Haastattelu 18.12.2015.

## LIITE A: HAASTATTELURUNKO

**Perustiedot:** Nimi, asema, tehtävät?

1. Mitkä ovat tarjousvaiheen aikataulun tärkeimmät tehtävät?
  2. Onko Skanskalla mitään ohjeellista tapaa tarjousvaiheen yleisaikataulun laadintaan vai tehdäänkö aikataulu aina tapauskohtaisesti hankkeesta riippuen?
  3. Millainen tarjousvaiheen aikataulun tarkkuustason kannattaisi olla?
  4. Minkälaisia välitavoitteita voidaan esittää?
  5. Millaista on osittelu / lohkojaon määrittely alustavissa yleisaikatauluissa?
  6. Mitä tehtäviä tarjousvaiheen aikataulun tulisi sisältää?
  7. Paljonko nimikkeitä tulisi olla kaiken kaikkiaan? (Ratu: nimikkeitä 20 – 40)
  8. Pidetäänkö alustavaa yleisaikataulua tehdessä myös hankintoja mielessä?
  9. Kuka tai ketkä yleensä laatii tarjousvaiheen yleisaikataulut?
  10. Tarjousvaiheessa tuotannosuunnittelussa käytettävä lähtötieto:
    - Millaista lähtötietoa tarjousvaiheessa on käytettävissä aikataulutuksessa?
    - Riittääkö lähtötieto yleensä haluttuun aikatauluun tarjousvaiheessa?
    - Onko yleensä olemassa lähtötietomallia tarjousvaiheessa? Mallien laatu?
    - Miten mallintamista on ohjattu tarjousvaiheessa?
    - Onko hyödynnetty tietomallipohjaista määrälaskentaa / aikataulutusta tarjousvaiheessa?
  11. Mitä ongelmia tarjousvaiheen visualisointiin voisi liittyä?
  12. Miten aikataulu tulisi visualisoida?
    - Mitä olisivat kriittiset tehtävät visualisoinnin suhteen?
    - Tulisiko visualisoida kaikki vai keskittyä tärkeimpiin?
    - Mitä muuta kuin aikataulutehtäviä voitaisiin visualisoida?
  13. Mikä on visualisoinnin potentiaali tarjousvaiheessa?
    - Mitkä ovat keskeiset saavutettavat hyödyt aikataulun visualisoinnilla?
    - Onko parempi visualisoida vain kriittiset tehtävät ja esimerkiksi aluesuunnitelmaa vai todella kattava aikataulun visualisointi? Kummalla olisi enemmän lisäarvoa tarjousvaiheessa?
    - Olisiko visualisoinnin kautta saavutettava hyöty enemmän tuotannon aikataulusuunnitteluun työkaluna vai havainnollistaminen asiakkaalle?
  14. Miten Skanskalla on toteutettu visualisointia?
    - Onko tehty aikataulu visualisointia? Minkälaista?
    - Miten muutoin tietomalleja on hyödynnetty visualisoinnissa?
    - Mitä ohjelmistoja visualisointiin on käytetty?
- **Ohjeita / vinkkejä haastattelijalle jatkoa varten?**
    - Jatko haastattelut?
    - Muuta, ohjelmistoehdotuksia?

## LIITE B: NAVISWORKS – TUETUT TIEDOSTOMUODOT

Supported CAD File Formats		
Format	Extension	File Format Version
Navisworks	.nwd .nwf .nwc	All versions
AutoCAD	.dwg, .dxf	Up to AutoCAD 2016
MicroStation (SE, J, V8 & XM)	.dgn .prp .prw	v7, v8
3D Studio	.3ds .prj	Up to Autodesk 3ds Max 2016
ACIS SAT	.sat .sab	All ASM SAT. Up to ACIS SAT v7
Catia	.model .session .exp .dlv3 .CAT-Part .CATProduct .cgr	V4, v5
CIS/2	.stp	STRUCTURAL_FRAME_SCHEMA
DWF/DWFX	.dwf .dwfx	All previous versions
FBX	.fbx	FBX SDK 2016.0
IFC	.ifc	IFC2X_PLATFORM, IFC2X_FINAL, IFC2X2_FINAL, IFC2X3, IFC4
IGES	.igs .iges	All versions
Inventor	.ipt .iam .ipj	Up to Inventor 2016
Informatix MicroGDS	.man .cv7	v10
JT Open	.jt	Up to 10.0
NX	.prt	Up to 9.0
PDS Design Review	.dri	Legacy file format. Support up to 2007.
Parasolids	.x_b	Up to schema 26
Pro/ENGINEER	.prt .asm .g .neu	Wildfire 5.0, Creo Parametric 1.0-3.0
RVM	.rvm	Up to 12.0 SP5
Revit	.rvt	2011 - 2016
SketchUp	.skp	v5 up to 2015
Solidworks	.prt .sldprt .asm .sldasm	2001 Plus-2015
STEP	.stp .step	AP214, AP203E3, AP242
STL	.stl	Binary only
VRML	.wrl .wrz	VRML1, VRML2
PDF	.pdf	All versions
Rhino	.3dm	Up to 5.0
Supported Laser Scan Formats		
Format	Extension	File Format Version
Autodesk ReCap	.rcs .rcp	
ASCII Laser File	.asc .txt	n/a
Faro	.fls .fws .iQscan .iQmod .iQwsp	FARO SDK 5.1
Leica	.pts .ptx	n/a
Riegl	.3dd	Version 3.5 or high
Trimble	Native file NOT supported. Convert to ASCII laser file	Same as ASCII laser file
Z+F	.zfc .zfs	SDK version 2.2.1.0

Supported Exporters		
Product \ Exporter	32 bit	64 bit
Autodesk AutoCAD 2010 – 2016	Yes	Yes
Autodesk 3ds Max 2010 - 2016	Yes	Yes
Autodesk 3ds Max Design 2010 – 2015	Yes	Yes
Autodesk Revit Architecture / Structure / MEP 2010 – 2016	Yes	Yes
Microstation J	Yes	
Microstation 8	Yes	
Microstion 8.9	Yes	
Microstion V8i	Yes	
ArchiCAD 15	Yes	Yes
ArchiCAD 16	Yes	Yes
ArchiCAD 17		Yes
ArchiCAD 18		Yes

Supported Scheduling software			
Vendor	Product	File Format	Notes
Asta	Powerproject 11 (11.x) 12 (12.0.03-042)	.pp	Requires Asta Powerproject to be installed on same machine, to make link.
Microsoft	Project 2007 (SP1) to 2013	.mpp	Requires Microsoft Project to be installed on same machine, to make link.
Oracle	Oracle Primavera Engineering and Construction 6.2.1 (SP4 Hot Fix 1) 7.0 (SP4) 8.2	n/a	Requires Primavera v6 , 7 or 8 Engineering and Construction to be installed locally or remotely, along with the corresponding version of the Primavera SDK. TimeLiner connects to the Primavera database via an ODBC data source link.
Oracle	Primavera P6 Web Services 6.2.1 (SP1 Hot Fix 1) 7.0 (SP1 Hot Fix 1) 8.2. 8.3	n/a	Requires Primavera P6 v6, 7 or 8 Web Services installed within a suitable Web Application Server such as Oracle Web Logic or JBoss on the same machine as your P6 database.
Microsoft	Microsoft Project Exchange Format	.mpx	Does not require any project software to be installed. This is the common project exchange format which can be exported to from a number of scheduling packages.
N/A	CSV Exchange Format	.csv	Does not require any project software to be installed. This is a common exchange format which can be exported from a number of applications including, Microsoft Excel. Navisworks Simulate and Manage can additionally export TimeLiner task information to this format.

(Navisworks Help)

## LIITE C: XML – CSV MUUNNIN

### XML-2-CSV 1.0

---

#### Overview

Free on-line tool that converts any XML to a series of CSV files.

Try it now for FREE:

#### Step 1:

Select a file from your computer that you want to convert to CSV files:

#### Step 2:

Click the "Convert" button

#### Step 3:

Created 21 tables. Click the Download button bellow to open / save the generated CSV file/s.

(Flame-Ware)