



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

VESA KÄMPPI
TIETOMALLIT JA LAST PLANNER -MENETELMÄ
RAKENNUSTUOTANNON SUUNNITTELUSSA JA
OHJAUKSESSA

Diplomityö

Tarkastajat:
professori Jarmo Laitinen
Tarkastajat ja aihe hyväksytyt
Rakennetun ympäristön
tiedekuntaneuvoston kokouksessa
9.10.2013

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

KÄMPPI, VESA: Tietomallit ja Last Planner -menetelmä rakennustuotannon suunnittelussa ja ohjauksessa

Diplomityö, 58 sivua, 3 liitesivua

Joulukuu 2013

Pääaine: Rakennustuotanto ja -talous

Tarkastajat: professori Jarmo Laitinen

Avainsanat: Tietomalli, talotekniikka, lean construction, last planner, rakennustuotanto.

Tietomallien käyttö rakennusalalla on lisääntynyt huomattavasti viime vuosien aikana. Nykyään yhä suurempi osa suunnittelutyöstä tehdään mallintamalla ja myös rakennustyömailla tietomallien hyödyntäminen on lisääntynyt. Tietomallien avulla suunnitelmista saadaan laadukkaampia, joka näkyy työmaalla lisääntyneenä tuottavuutena. Suurin osa ongelmista pystytään tietomallien avulla ratkaisemaan jo suunnittelupöydällä, jolloin työmaalla voidaan keskittyä tuotannon sujumiseen.

Last Planner -menetelmä on yksi Lean Constructionin työkaluista. Menetelmän tavoitteena on suunnitella työmaan tuotanto mahdollisimman virtaavaksi. Hyvin virtaavan tuotannon ansiosta voidaan aikaansaada niin kustannus- kuin aikataulusäästöjä. Last Planner -menetelmään kuuluu tarkka töiden ennakkosuunnittelu. Tehtäville kartoitetaan aloitusedellytykset, joiden on oltava varmistettuna ennen kuin tehtävä voidaan aloittaa. Näin varmistetaan, että tehtävän suorituksen aikana ilmenee mahdollisimman vähän ongelmia, jotka huonontavat tehokkuutta.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on ollut yhdistää tietomallien ja Last Planner -menetelmän hyödyntäminen rakennustyömaan tuotannon suunnittelussa ja ohjauksessa. Case kohteen avulla on pyritty löytämään keinoja tietomallien hyödyntämiseen keskittyen Last Planner -menetelmän valmistelevaan suunnitteluun ja viikkosuunnitteluun. Lisäksi selvitettiin tietomalleilta vaadittavia ominaisuuksia, jotta töiden suunnittelu tietomallien avulla olisi mahdollisimman luotettavaa.

Tietomallien ja Last Planner -menetelmän avulla on mahdollista saavuttaa huomattavia etuja rakennustyömaan tuotannon suunnittelussa ja ohjauksessa. Keskeisimpiä etuja ovat kustannussäästöt ja rakentamisaikataulun nopeutuminen. Ongelmana tällä hetkellä on kuitenkin osaaminen ja tietomallien osalta myös ohjelmat. Henkilöstön koulutus niin tietomallien kuin Last Planner -menetelmän käytöstä on tärkeää.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

KÄMPPI, VESA: Building Information Models and the Last Planner Method in Construction Production Planning and Management

Master of Science Thesis, 58 pages, 3 Appendix pages

December 2013

Major: Construction Management and Economy

Examiners: Professor Jarmo Laitinen

Keywords: Building information model, BIM, mechanical, electrical and plumbing, MEP, lean construction, last planner, construction production.

The use of building information models in construction has grown significantly in the past few years. Designers are using modeling tools more and more nowadays and also contractors have started to find benefits from building information models. With building information models the design work shows more quality than before which can be seen in better productivity in construction sites. Most problems can be solved in the design table and therefore people on the construction site can focus on the flow of the production.

The Last Planner method is one of the tools of Lean Construction. Last Planner's objective is to plan the flow of construction process. Considerable cost savings and shorter production time can be achieved through well flowing production. One part of Last Planner method is precise work planning. Critical part of work planning is to ensure that planned work is possible to execute. This helps to reduce problems that impair productivity.

The objective of this research has been combining the advantages of building information models and Last Planner method in planning and controlling construction production. New ways to exploit building information models in Last Planner methods planning phases have been tested. In addition the required properties of building information models to make the planning process reliable have also been studied.

With building information models and Last Planner method it is possible to achieve significant advantages in planning and controlling construction production. Essential benefits are cost savings and shorter construction schedule. The problem at the moment seems to be missing know-how and poor computer programs. Important part of putting things into practice is educating the personnel.

ALKUSANAT

Kaikki tulee aikanaan päätökseen ja minun onnekseni myös tämä diplomityöprosessi on pian vain historian siipien havinaa. Yksi vaihe elämästä on saatu viimein päätökseen. Helppoa se ei ollut eikä tulos ehkä mairittelevin, mutta ohi on!

Haluan kiittää diplomityön ohjaajiani Jarmo ja Tonia hyvistä ideoista, kärsivällisyydestä ja tuesta. Kiitän myös ystäviäni, jotka loppuvaiheessa jaksoivat kannustaa saattamaan työni loppuun. Kiitos myös tutkimuksessa haastatetuille henkilöille ja muille, jotka ovat minua tämän suhteen tukeneet.

Lopuksi haluan kiittää vielä perhettäni, jonka luo olen heikkoina hetkinä päässyt turvaan pahaa maailmaa.

Helsingissä 14.11.2013

Vesa Kämppi

SISÄLTÖ

1. Johdanto.....	1
1.1. Tutkimuksen tausta.....	1
1.2. Tavoitteet ja rajaukset.....	2
1.3. Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen rakenne	3
2. Lean tuotanto	4
2.1. Lean Production	4
2.2. Lean Construction	6
2.2.1. Yleistä	6
2.2.2. Hukka rakennusalalla.....	7
2.2.3. Rakennustyömaan virtaavan tuotannon luominen	9
2.3. Last Planner -menetelmä	10
2.3.1. Menetelmä yleisesti ja erot perinteiseen tuotannon ohjaukseen	10
2.3.2. Yhteinen rakentamisvaihesuunnittelu.....	14
2.3.3. Valmisteleva suunnittelu.....	14
2.3.4. Viikkosuunnittelu	15
2.3.5. Toteutuksen valvonta.....	16
2.3.6. Last Planner -menetelmällä saavutettavissa olevat hyödyt.....	17
3. Tietomallit	18
3.1. Yleistä.....	18
3.2. Tietomallien käyttö rakennustuotannossa.....	21
3.3. Suunnitelmien yhteensovittaminen ja törmäystarkastelut	22
3.4. Töiden suunnittelu, aikataulutus ja toteuman seuranta.....	25
3.5. Tietomalleista tavoiteltavissa olevat hyödyt.....	28
4. Tuotannon suunnittelu ja ohjaus työmaalla	31
4.1. Case työmaan esittely	31
4.2. Tuotannon suunnittelu ja ohjaus tietomallien ja Last Planner menetelmän avulla	32
4.2.1. Yleistä	32
4.2.2. Käytettävät ohjelmat.....	32
4.2.3. Valmisteleva suunnittelu.....	33
4.2.4. Viikkosuunnittelu	41
4.2.5. Työn toteuman valvonta	43
4.2.6. Syiden etsintä ja niihin vaikuttaminen.....	44
4.3. Tietomallilta vaadittavat ominaisuudet	45
4.3.1. Yleiset tietomallivaatimukset 2012	45
4.3.2. Haastattelut.....	48
4.3.3. Tutkimuksen aikana tehdyt havainnot	51
5. Johtopäätökset.....	53
5.1. Yhteenveto	53
5.2. Jatkotutkimusideat.....	55

Lähteet.....	56
Liitteet.....	59

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

3D	3-ulotteinen
4D	3D + aika
BIM	Building Information Model = tietomalli
CAD	Computer Aided Design = tietokoneavusteinen suunnittelu
IFC	Industry Foundation Classes
LVIS	Lämpö, vesi, ilma, sähkö

1. JOHDANTO

1.1. Tutkimuksen tausta

Tietomallien käyttö rakennusalalla on lisääntynyt viime vuosikymmenen aikana merkittävästi. Varsinkin suunnittelussa on siirrytty enenevässä määrin tietomallipohjaiseen suunnitteluun. Rakennustyömailla tietomallien hyödyntäminen on myös lisääntynyt merkittävästi. Etenkin runkovaiheen aikataulut ja tuotannonohjaus rakennemallin avulla on jo arkipäivää. Arkkitehti- ja talotekniikkamallien käyttö työmailla on ollut varsinkin viime vuosina kovassa nousussa.

Rakenne-, arkkitehti- ja talotekniikkamallien yhdistelmää kutsutaan yhdistelmämalliksi. Suunnittelupuolella yhdistelmämallia hyödynnetään esimerkiksi talotekniikan reikävarauksia suunniteltaessa. Työmaakäytössä yhdistelmämallia voidaan hyödyntää esimerkiksi työjärjestyksen ja aikataulun suunnittelussa. Talotekniikkamallien erityisenä etuna on vaikeiden kohteiden havainnollistaminen. 3D-mallista on helppo nähdä esimerkiksi ilmanvaihto-, viemäri-, lämpö-, ja vesiputkien sekä kaapelihyllyjen reitit ja korkoasemat yksiselitteisesti.

Lean tuotanto on tehnyt tuloaan monille eri aloille, niin myös rakennusalalle. Rakennusalan oma sovellus Lean tuotannosta kantaa nimeä Lean Construction. Leanin periaatteena on erilaisen hukkan vähentäminen ja töiden suorittaminen imuperiaatteella. Rakennusalalla perinteisenä ongelmana on töiden aloittamiseen ja lopettamiseen liittyvät ongelmat. Lean Constructionin työkalu Last Planner-menetelmä pyrkii vähentämään näitä ongelmia. Last Plannerin ideana on varmistaa, että työtä aloitettaessa kaikki aloitusedellytykset ovat kunnossa ja työn aikana kaikki edellytykset työn suorittamiseen liittyen varmistetaan viikoittain.

Tämän tutkimus liittyy yhdistelmämallin ja Last Planner-menetelmän hyödyntämiseen rakennustyömaan tuotannon suunnittelussa ja ohjauksessa. Yhdistelmämallin ja Last Plannerin avulla pyritään tehokkaasti ohjaamaan töiden yhteensovittamista ja varmistamaan työmaan häiriötön eteneminen. Kun työt pystytään suunnittelemaan huolellisesti ennalta, vähenee toteutuksen aikaisten ongelmien määrä huomattavasti. Näin ollen on mahdollista saavuttaa parempaa laatua, parantaa työturvallisuutta ja pienentää kustannuksia.

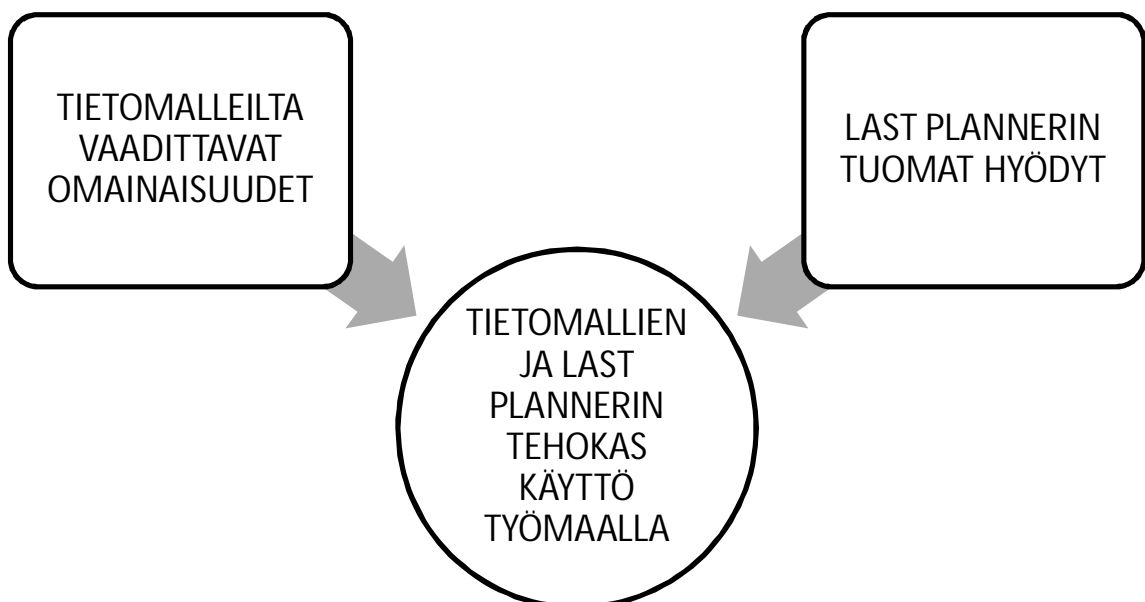
1.2. Tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen päätavoitteena on selvittää, miten yhdistelmämallia ja Last Planner menetelmää voidaan tehokkaasti hyödyntää työmaan tuotannon suunnittelussa ja ohjauksessa. Painopiste tulee olemaan sisävalmistustöissä. Tutkimukseen on päätetty ottaa seuraavat työvaiheet:

- muuraukset,
- otsarakenteet,
- ilmanvaihtokanavat,
- vesi- ja viemärijärjestelmä,
- lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä sekä
- kaapelihyllyt.

Nämä työvaiheet on valittu mukaan sillä periaatteella, että niiden työjärjestys on hyvin läheisesti kytköksissä toisiinsa ja usein varsinkin talotekniikkaosien ja alakattojen kanssa on korko-ongelmia. Näiden lisäksi tuodaan esiin yhteistyön tarvetta rakennetöiden ja talotekniikkatöiden välillä. Erilaiset pintarakenteet on jätetty tutkimuksen ulkopuolelle.

Tutkimuksessa on kaksi alatavoitetta. Ensimmäinen alatavoite on selvittää tietomalleilta vaadittavat ominaisuudet, jotta töiden suunnittelu yhdistelmämallin avulla olisi luotettavaa. Toisena alatavoitteena on tuoda esiin Last Planner-menetelmän kautta saatavia hyötyjä työmaan tuotannon suunnittelussa ja ohjauksessa.

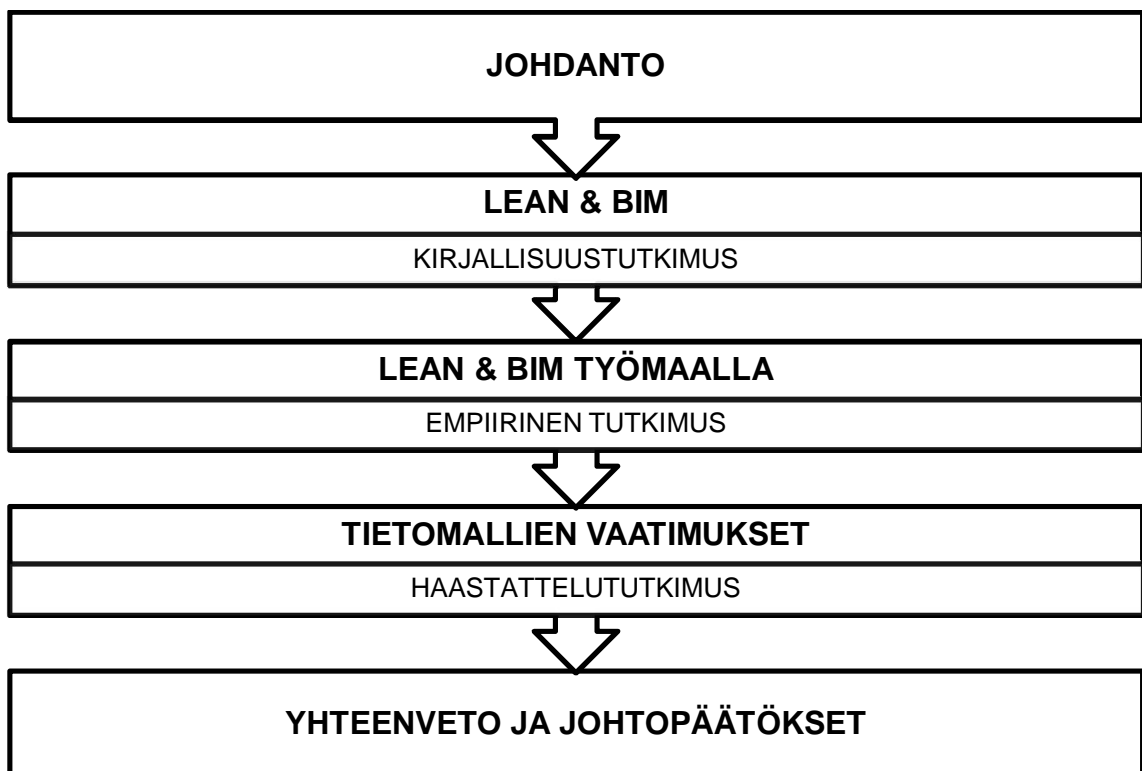


Kuva 1.1 Tutkimuksen tavoitteet.

1.3. Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen rakenne

Tutkimusraportti koostuu yhteensä viidestä luvusta. Ensimmäinen luku on johdanto tutkimukseen. Toinen ja kolmas luku käsittelevät tutkimuksen taustalla olevaa teoriaa. Luvut kaksi ja kolme toteutetaan kirjallisuustutkimuksena. Neljännessä luvussa käsitellään tietomallin ja Last Planner menetelmän avulla tapahtuvaa työmaan tuotannon suunnittelua ja ohjausta sekä mietitään tietomalleilta vaadittavaa tarkkuustasoa, jotta töiden suunnittelu ja ohjaus olisi luotettavaa. Tutkimusmenetelminä käytetään tässä kohtaa empiiristä tutkimusta ja haastattelututkimusta. Tutkimuksen tulosten yhteenveto on esitetty kappaleessa viisi. Tutkimuksen eteneminen on esitetty kuvassa 1.2.

Varsinainen tutkimustyö aloitetaan kirjallisuustutkimuksesta. Tavoitteena on tutkia Lean Constructionia ja Last Planner -menetelmää sekä tietomalleja teoreettisesta näkökulmasta. Seuraavassa vaiheessa tutkitaan miten tietomalleja ja Last Planner -menetelmää voidaan yhdessä hyödyntää rakennustyömaan tuotannon suunnittelussa ja ohjauksessa. Case kohteena toimii erää rakennusliikkeen urakoima työmaa. Kohteen tarkempi esittely on esitetty luvussa 4.1. Lisäksi haastatellaan suunnittelijoita ja selvitetään tietomalleilta vaadittavia ominaisuuksia, jotta tietomalleilla tehtävä tuotannon suunnittelu ja ohjaus olisi mahdollisimman luotettavaa.



Kuva 1.2 Tutkimusprosessi.

2. LEAN TUOTANTO

2.1. Lean Production

Lean tuotannon voidaan katsoa saaneen alkunsa Toyotan tehtaalla Japanissa. Toyota alkoi kehittää uutta tuotantotapaa toisen maailmansodan jälkeen ja tämä tapa sai myöhemmin nimekseen Toyota Production System (TPS). Lähtökohtana systeemin kehittämiseen oli resurssien niukkuus ja kova kilpailu automarkkinoilla. (Merikallio & Haapasalo 2009.)

Englanninkielinen termi ”lean” luotiin autoteollisuuden parissa työskennelleen tutkimusryhmän toimesta. Termin katsottiin kuvaavan hyvin niin hukan vähentämistä kuin massatuotannon välttämistä. Tavoitteena oli tuottaa yksilöllisiä tuotteita juuri asiakkaan tarpeiden mukaan. (Howell 1999.)

Toyotan tuotantosysteemin tarkoituksena oli tavoitella täydellisyyttä kaikilla osa-alueilla. Tämä auttoi keskittymään koko tuotantolinjaston tehokkuuteen, mikä edisti tuotantosysteemin jatkuvaa kehitystä. Kustannusten minimointi oli myös tärkeä päämäärä, mitä ei voitu saavuttaa ilman seuraavia alatavoitteita:

- tuotettavien määrien kontrollointi,
- laadun varmistus ja
- ihmisyyden kunnioittaminen.

Jokainen näistä vaikuttaa kustannusten minimointiin. Toyotalla ymmärrettiin, että jokaisen alatavoitteen on toteuduttava, jotta varsinainen päämäärä voidaan saavuttaa. (Merikallio & Haapasalo 2009.)

Tärkeimpinä TPS:n työkaluina voidaan pitää Just In Timea (JIT) ja jidokaa. Lyhyesti kiteytettynä JIT:n periaate on valmistaa ja toimittaa vain se määrä mitä tarvitaan juuri oikeaan paikkaan ja oikeaan aikaan. Jidoka puolestaan tähtää laadun rakentamiseen tuotteen sisään. Jokainen tuotantoon osallistuva henkilö valvoo tuotteen laatua ja keskeyttää tuotannon, kun havaitsee virheen. Virheet korjataan välittömästi ja näin ne eivät siirry häiritsemään seuraavien työvaiheiden toimintaa. (Merikallio & Haapasalo 2009.)

Lean tuotanto jatkaa edelleen kehittymistään, mutta perussisältö on selkeä. Suunnittele tuotantosysteemi, joka toimittaa asiakkaalle tuotteen heti tilauksesta, mutta älä ylläpidä varastoja. Leanin peruskäsitteet voidaan kirjata seuraavasti:

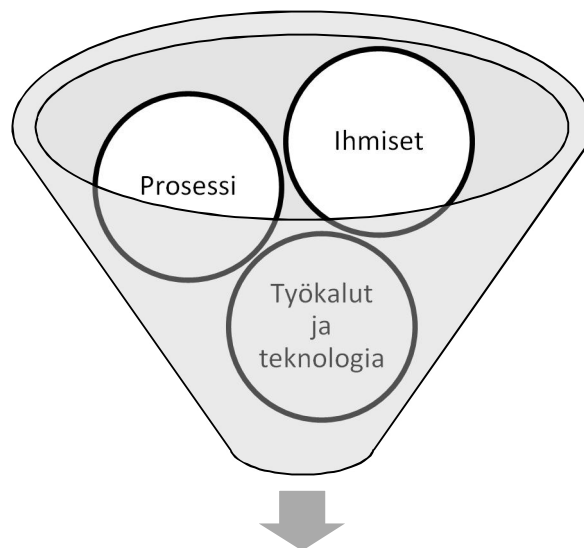
- tunnista asiakkaalle arvoa tuottavat ja tuottamattomat toiminnot sekä eliminoi arvoa tuottamattomat toiminnot,
- organisoi tuotanto jatkuvaksi virtaukseksi,
- viimeistele tuote ja luo luotettava virtaus, ja
- tavoittele täydellisyyttä.

Tiivistettynä Lean tuotanto tähtää tuotantojärjestelmän suorituskyvyn optimointiin tinkimättä tuotteen laadusta ja asiakkaan vaatimuksista. (Howell 1999.)

Lean tuotanto koostuu kolmesta osa-alueesta, joita ovat

- ihmiset,
- työkalut ja teknologiat sekä
- prosessi.

Paras mahdollinen hyöty saadaan, kun nämä kolme osa-aluetta toimivat tasapainossa. (Merikallio & Haapasalo 2009.)



Lean tuotantojärjestelmä

Kuva 2.1 Lean tuotantojärjestelmän osa-alueet. (Lähde: Merikallio & Haapasalo 2009.)

Prosessilla tarkoitetaan kaikkia tehtäviä tai tehtäväketjuja, joita tarvitaan vaaditun tuotteen aikaansaamiseksi. Jotta tuotantoprosessi toimisi halutulla tavalla, on kaikkien siihen liittyvien tehtävien oltava huolellisesti suunniteltuja. Tärkeimpiä asioita prosessin

kokonaisvaltaisen toimivuuden kannalta on hukan minimointi, tuotannon järjestäminen virtaukseksi ja virtauksen tasapainottaminen. (Merikallio & Haapasalo 2009.)

Ihmiset ovat tärkeässä osassa Leanissa. Työntekijöiden on oltava motivoituneita ja osaavia. Henkilöstöä on kannustettava ideoimaan ja kehittämään tehokkaampia työtapoja ja keinoja virheiden minimoimiseksi. Jatkuva suoritusten parantaminen vaatii kaikkien osapuolten panosta. Jokaisen olisi ymmärrettävä oman tehtävänsä vaikutus kokonaisuuden kannalta. (Merikallio & Haapasalo 2009.)

Lean tuotannon toteuttamiseksi on olemassa suuri joukko työkaluja. Niitä ei saa pitää itse tarkoituksena vaan ne on nähtävä apuvälineinä suuremman kokonaisuuden hallitsemiseksi. (Merikallio & Haapasalo 2009).

2.2. Lean Construction

2.2.1. Yleistä

Rakennusalalla on usein tyrmätty ideoita teollisesta tuotannosta siinä uskossa, että rakennustuotanto on erilaista. Rakennustuotannossa on useita ominaispiirteitä, joita ovat muun muassa uniikit projektit, tuotteen valmistus paikan päällä, muuttuvat projektiryhmät, epävarmat olosuhteet ja tiukat aikataulut. Edellä mainitut asiat asettavat omat haasteensa rakennustuotannolle. (Howell 1999, Alarcon 1997.)

Lean Construction eli vapaasti suomennettuna ”hoikka rakentaminen” on Lean tuotannon sovellus rakennusalalle. Lähtökohtaisesti hukka valmistavassa tuotannossa ja rakentamisessa syntyy samasta toimintaan keskittyneestä ajattelutavasta, vaikka tuotantoprosessit ovat hyvin erilaisia (Howell 1999). Lean Constructionin tavoite yksinkertaistettuna on tuottaa rakennus maksimoimalla arvo asiakkaalle ja minimoimalla hukka (Bertelsen 2004). Nykyinen tuotannonohjaus rakennusalalla perustuu massatuotannosta johdettuihin oppeihin, joiden mukaan on tärkeää pitää työt käynnissä kaikin keinoin. Tämä johtaa siihen, että yksittäisiin työvaiheisiin keskitytään enemmän kuin kokonaisuuteen. Yksittäisiin tehtäviin keskittyminen kätkee syntyvän hukan, jota esiintyy tehtävien välillä. Yksinkertaistettuna nykyinen toimintamalli on toimintapainotteista sivuuttaen virtaus- ja arvonäkökohdat. (Howell 1999.)

Lean tuotannon kannalta ensimmäinen huoli on riippuvuuksien ja vaihtelun hallinta. Etenkin monimutkaisissa ja nopeissa projekteissa on olennaista minimoida riippuvuuksien ja vaihtelun määrä. Luotettavuuden parantaminen edellä mainitun kaltaisissa projekteissa on ilmeinen. Lean Constructionin tavoitteena on ymmärtää tuotannon taustalla olevat ”lait”. Tärkeimpänä voidaan pitää riippuvuuden ja vaihtelun vaikutusten hallintaa toimitus- ja asennusketjun aikana. Nämä asiat jätetään huomiotta nykyisessä toimintamallissa, jossa keskitytään enemmän yksittäisten ryhmien töiden etenemiseen ja kaupallisiin sopimuksiin. (Howell 1999.)

Jos jokin urakka asetetaan ensisijaiseksi ja valvotaan vain sen toteutumista, on hyvin todennäköistä, että muut urakat kärsivät siitä. Pahimmassa tapauksessa kustannusten

pienentäminen ja työn nopeuttaminen jonkin tietyn urakan kohdalla voi johtaa siihen, että tuotantosysteemin tehokkuus kokonaisuutena kärsii. (Tommelein & al. 1999.)

Hyvä esimerkki riippuvuuden ja vaihtelun vaikutuksista saadaan niin sanotusta aliurakoiden ”paraatista”. Rakennustuotannossa on suuri määrä erikoisurakoita, jotka yleisesti tapahtuvat samassa toistuvassa järjestyksessä siirtyen kerroksesta toiseen. Nämä urakat tulisi järjestää loogiseen järjestykseen ja näin ollen muodostaa niistä toimiva virtaus. (Tommelein & al. 1999.)

Yleisiä syitä epäluotettavaan virtaukseen ovat muun muassa suunnitelmamuutokset, lisätietojen pyytäminen myöhään, materiaalien puute ja huonot työskentelyolosuhteet. Jotta näitä ongelmia pystyttäisi välttämään, tulisi työnjohtajien ennakoida tilanteita huolellisella töiden suunnittelulla ja huomioida yksityiskohdat tarkasti. (Tommelein & al. 1999.)

Lean rakentamisen näkökulmasta on tärkeää, että töitä ajatellaan kokonaisuuden kannalta ja pyritään optimoimaan koko tuotantoketjun tehokkuus. Tuotannon suunnittelu ja kontrollointi ovat kuin kolikon kääntöpuolet, jotka vaihtelevat koko rakennusprojektin ajan. Hyvällä tuotannon suunnittelulla määritellään kriteerit menestymiselle ja luodaan strategia tavoitteiden saavuttamiseksi. Onnistuneella kontrolloinnilla saadaan tuotanto etenemään suunnitelman mukaan ja edistetään toimintatapojen kehittämistä. (Howell 1999.)

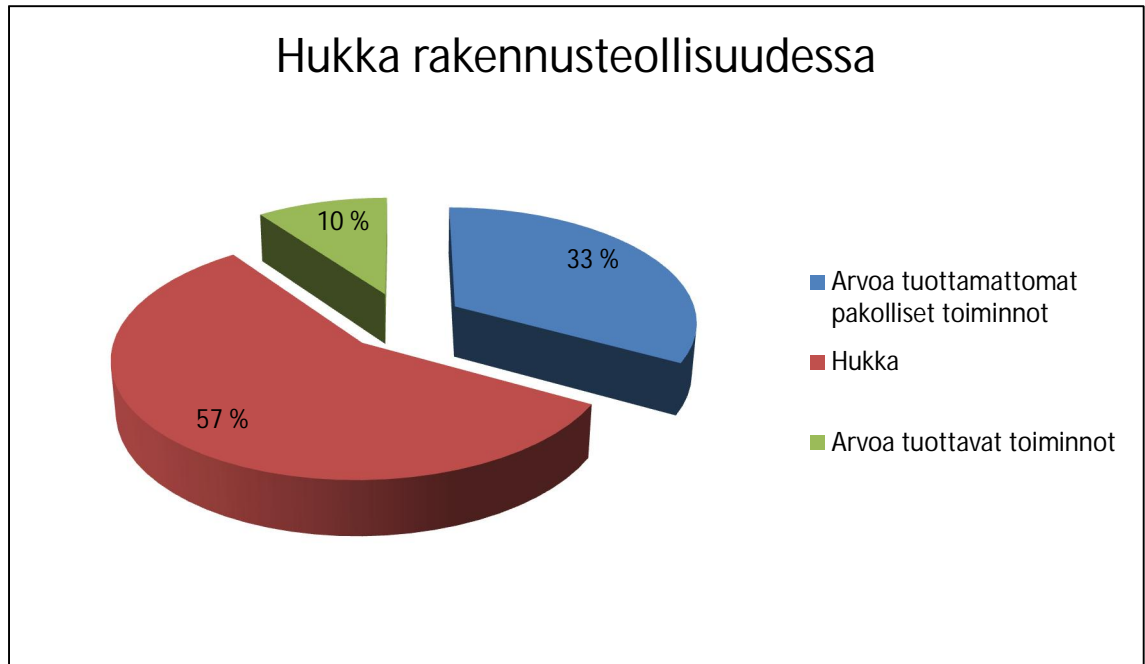
2.2.2. Hukka rakennusalalla

Lean tuotannon yksi tärkeistä osa-alueista on hukan poistaminen tuotantoketjusta. Hukalla tarkoitetaan toimintoja, jotka eivät luo lisäarvoa tuotteelle asiakkaan näkökulmasta. Perinteisiä hukan eri muotoja ovat muun muassa käytetty aika, materiaali, työntekijät ja tehty työ, jotka eivät tuota lisäarvoa asiakkaalle.

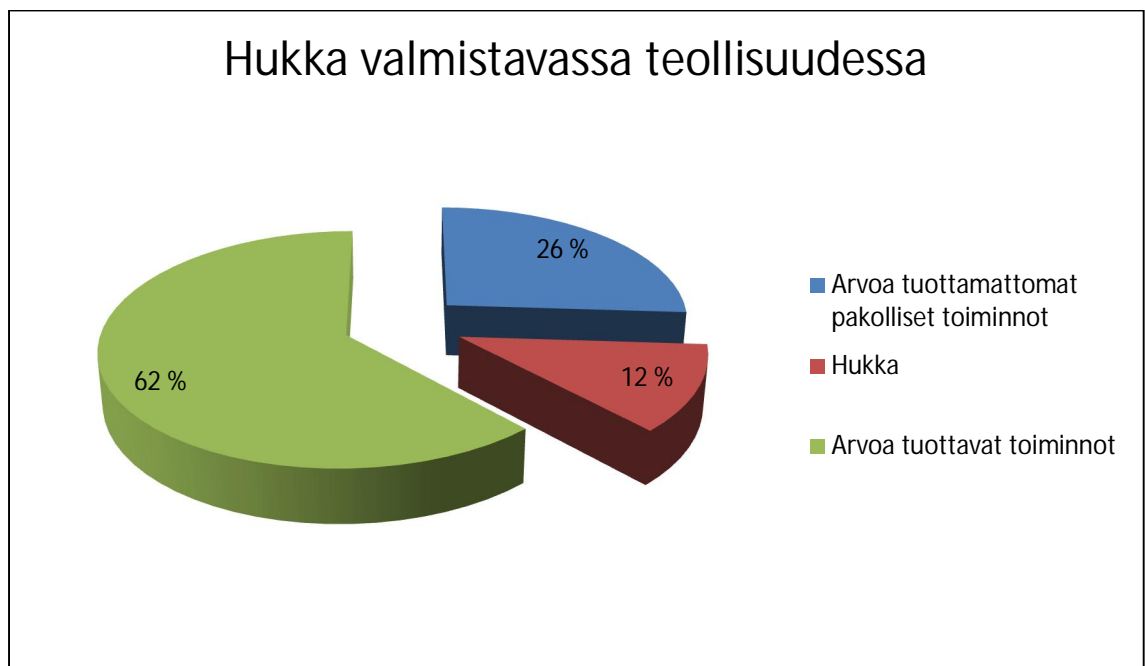
Yhtenä rakennusteollisuuden suurista ongelmista voidaan pitää suurta hukan määrää tuotannossa verrattuna muuhun valmistavaan teollisuuteen. Lean tuotannossa tuotanto voidaan jakaa kolmeen eri osa-alueeseen, jotka ovat

- arvoa tuottavat toiminnot,
- arvoa tuottamattomat pakolliset toiminnot ja
- hukka.

Kuvassa 2.2 on kuvattu rakennusteollisuuden ja kuvassa 2.3 valmistavan teollisuuden tuotannon jakautuminen edellä mainittuihin osa-alueisiin.



Kuva 2.2 Hukka rakennusteollisuudessa (Lähde: Blakey 2008.)



Kuva 2.3 Hukka valmistavassa teollisuudessa (Lähde: Blakey 2008.)

Kuvien 2.2 ja 2.3 perusteella voidaan todeta, että rakennusteollisuus on jäänyt huomattavasti jälkeen muusta valmistavasta teollisuudesta. Rakennusteollisuudessa tuskin tullaan pääsemään samoihin lukuihin kuin muussa valmistavassa tuotannossa johtuen rakennusprojektien uniikista luonteesta.

Lauri Koskela on tohtorin väitöskirjassaan (2000) esittänyt rakennusalalla syntyvän hukan koostuvan seuraavista tekijöistä:

- huono laatu
- rakennettavuusongelmat (huonot suunnitelmat)
- huono materiaalien hallinta (huono logistiikka/varastointi)
- materiaalihukka
- tuottamaton työskentely
- työskentely epäsuotuisissa olosuhteissa
- turvallisuuden puute

Huono laatu voidaan jakaa kahteen osaan. Ensimmäinen on suunnittelun heikko laatu, mistä aiheutuu ongelmia työmaalle ja toinen on huono suunnitelman toteutus. Useiden tutkimusten mukaan huono laatu aiheuttaa jopa 10-20 % koko projektin kustannuksista. (Koskela 2000.)

Rakennettavuudella tarkoitetaan suunnitelmien toteuttamiskelpoisuutta. Suunnitelmien rakennettavuus riippuu hyvin paljon suunnittelijoiden kyvystä harkita tapauskohtaisesti toteutettavan kohteen rajoitteita ja mahdollisuuksia. Kohteissa, joissa on erityisesti panostettu suunnitelmien rakennettavuuteen, on raportoitu 6-10 % kustannussäästöjä. (Koskela 2000.)

Hyvällä materiaalien/varastojen hallinnalla on arvioitu voitavan saavuttaa 10-12 % säästöt työvoimakuluissa. Tämän lisäksi on todettu olevan mahdollista pienentää ”metritavaran” ylijäämän määrää 5-10 %:sta 1-3 %:iin. (Koskela 2000.)

Laajojen tutkimusten mukaan on todettu, että noin 10 % kaikesta työmaalle toimitetusta materiaalista päätyy jätteeksi Isossa Britanniassa. Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan materiaalien liiallinen käyttö on keskimäärin 10 % vaihdellen materiaalista riippuen 5-30 %:n välillä. (Koskela 2000.)

Tuottamattomalla työllä tarkoitetaan työtä, joka ei varsinaisesti lisää tuotteen arvoa. Rakennustyömaan työprosesseista on arvioitu, että vain noin 32-26 % työhön käytetystä ajasta on arvoa tuottavaa työtä. (Koskela 2000.)

Epäsuotuisten olosuhteiden on todettu johtavan huomattavaan tuottavuuden laskuun. Esimerkiksi LVI-töissä keskeytykset ovat niin yleisiä, että niistä aiheutuvaa 5-10 % kustannusten nousua voidaan pitää melko yleisenä. Työnjohtajien hyvän töiden suunnittelun ja valmistelun on todettu parantavan tuottavuutta jopa 20 % normaaliin verrattuna. (Koskela 2000.)

Turvallisuuden puute on myös yksi tekijä, joka aiheuttaa hukkaa. Yhdysvalloissa on arvioitu, että tapaturmiin ja onnettomuuksiin liittyvistä kustannuksista muodostuu noin 8-15 % koko projektin kustannuksista. (Koskela 2000.)

2.2.3. Rakennustyömaan virtaavan tuotannon luominen

Rakennuttajilla, suunnittelijoilla ja pääurakoitsijoilla on kaikilla keskeinen rooli pyrittäessä luomaan häiriötöntä työympäristöä rakennustyömaalle. Kaikkien osapuolten tulisi ymmärtää luotettavan virtauksen konsepti, kun valitaan tai arvioidaan aliorakoitsijoita. Tärkeää on myös ymmärtää, että projektisuunnittelun ja tuotannon suunnittelun tulisi kulkea rinnakkain. (Tommelein & al. 1999.)

Luotettavan töiden virtauksen suunnitteluun on käytettävä huomattavasti aikaa. Tulevia töitä on ennakoitava, jotta pystytään luomaan puskureita ja näin ollen töiden määrä saadaan pidettyä vakiona. (Tommelein & al. 1999.) Virtauksen vaihtelevuudella voi olla suuri vaikutus rakennustuotannossa, koska yhden urakan myöhästyminen voi pahimmassa tapauksessa vaikuttaa koko projektin valmistumiseen. (Salem et al. 2006.)

Yleisiä syitä epäluotettavaan töiden virtaukseen ovat muun muassa muutostyöt, hitaat vastaukset työmaan tietopyyntöihin, materiaalien puute ja työpaikan eli mestan ruuhkautuminen. Sen sijaan, että hyväksytään viivästyksyet ja keskeytykset työn aikana, tulisi työnjohtajien ennakoida työn virtauksen muutoksia ja lieventää tai jopa eliminoida ne huolellisella töiden suunnittelulla ja detaljien huomioimisella. (Tommelein et al. 1999.)

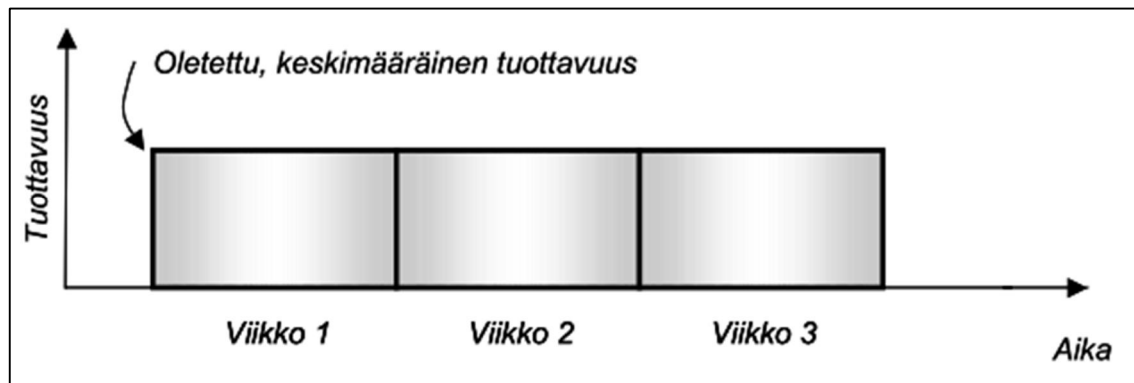
Rakentamisen hallintaan tarvitaan käytännönläheistä lähestymistapaa. Ballard ja Howell (1998) ovat esittäneet, että työnjohtajat alkaisivat käyttää Last Planner menetelmää suojatakseen työryhmänsä epävarmuudelta ja luodakseen luotettavia työsuunnitelmia. Last Planner menetelmän avulla pyritään varmistamaan, että suunniteltu työ päästään toteuttamaan suunnitelman mukaisesti. Töitä ennakoidaan työmenekkien avulla ja aliurakoitsijoita voidaan vaatia suhteuttamaan omat resurssinsa tehtävissä olevaan työn määrään. Samaan aikaan on varmistettava työskentelyalueen eli mestan valmius edeltävien työvaiheiden osalta. Työmaa on jaettava myös loogisiin alueisiin, joita ovat esimerkiksi työskentelyalueet, varastointialueet ja kulkureitit. Edellä mainitut asiat voivat vaikuttaa arkisilta asioilta, mutta usein niitä laiminlyödään, jolloin urakoitsijat työskentelevät satunnaisen mallin mukaan tai väärässä järjestyksessä. (Tommelein et al 1999.)

2.3. Last Planner -menetelmä

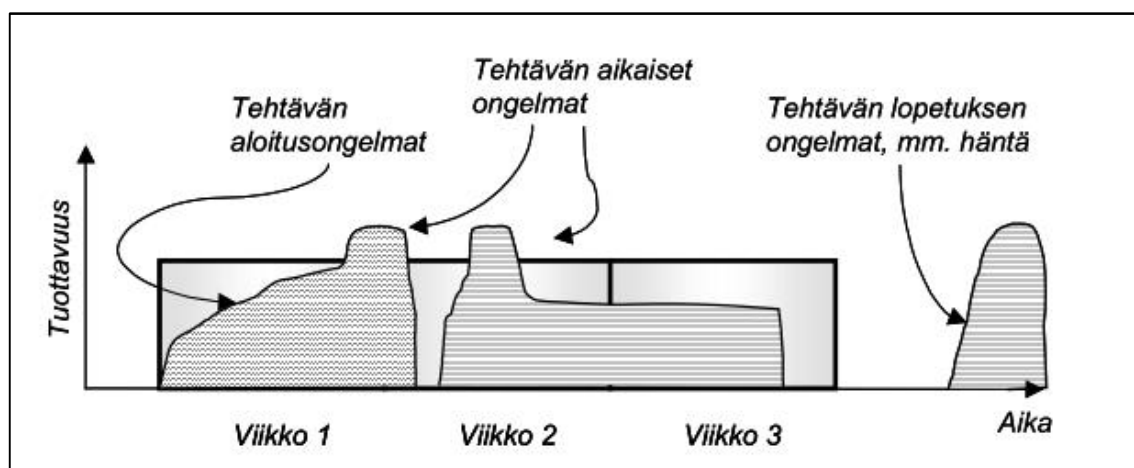
2.3.1. Menetelmä yleisesti ja erot perinteiseen tuotannon ohjaukseen

Last Planner on rakentamisen tuotannon ohjaukseen kehitetty menetelmä, jonka kehittäminen alkoi Yhdysvalloissa 1990-luvulla. Menetelmää on kehitetty iteratiivisesti rakennushankkeiden aika suoritettujen kokeilujen avulla ja vuonna 1996 menetelmän keskeiset osat olivat muotoutuneet. Lähtökohtana menetelmän kehittämiseksi oli huomio, jonka mukaan vain noin puolet viikkosuunnitelman mukaisista tehtävistä saadaan suoritetuksi kyseisen viikon aikana. (Koskela & Koskenvesa 2003.)

Perinteiseen tuotannonohjaukseen sisältyy oletus, jonka mukaan tehtävä suoritetaan alusta loppuun tasaisella tuottavuudella (kuva 2.4). Todellisuudessa tuottavuus kuitenkin vaihtelee huomattavasti työn suorituksen aikana (kuva 2.5). Tehtävän alussa on usein aloitusongelmia, tehtävän aikana voidaan kohdata erilaisia ongelmia ja lisäksi tehtävän lopetukseen liittyy myös ongelmia. (Koskela & Koskenvesa 2003.)



Kuva 2.4 Perinteisen tuotannonohjauksen mukainen oletus tasaisesta tuottavuudesta. (Lähde: Koskela & Koskenvesa 2003)



Kuva 2.5 Tosiollisen tuottavuuden vaihtelu työhön liittyvien ongelmien mukaan. (Lähde: Koskela & Koskenvesa 2003)

Last Planner -menetelmä pyrkii poistamaan nämä kolme tehtävän tuottavuuteen liittyvää ongelmaa erilaisten vaikutuskeinojen avulla. Näitä vaikutuskeinoja ovat eritasoiset suunnitelmat, niiden toteuman valvonta, syihin vaikuttaminen ja jatkuva parantaminen. Tavoitteena on hoitaa koko työmaatuotannon kokonaisuutta, jolloin huomion keskipisteenä ovat kaikki tehtävät tasavertaisesti. Oletuksena on, että myös taloudellisesti vähäpätöiset työt voivat olla muiden töiden edistymisen kannalta yhtä tärkeässä roolissa kuin mikä tahansa työ. (Koskenvesa & Sahlstedt 2011.)

Oleellisin ero Last Planner menetelmän ja perinteisen tuotannon ohjauksen välillä on töiden suunnittelussa, toteutuksessa ja valvonnassa. Tehtävien suunnittelu perustuu hierarkkiseen suunnittelijoiden ketjuun, jossa niin kutsuttu Last Planner toimii toteutusta valvovana tekijänä. Työmaan tehtävät jaetaan kolmeen ryhmään, jotka ovat:

1. Tehtävät, jotka pitäisi suorittaa.
2. Tehtävät, jotka voidaan suorittaa.
3. Tehtävät, jotka halutaan suorittaa.

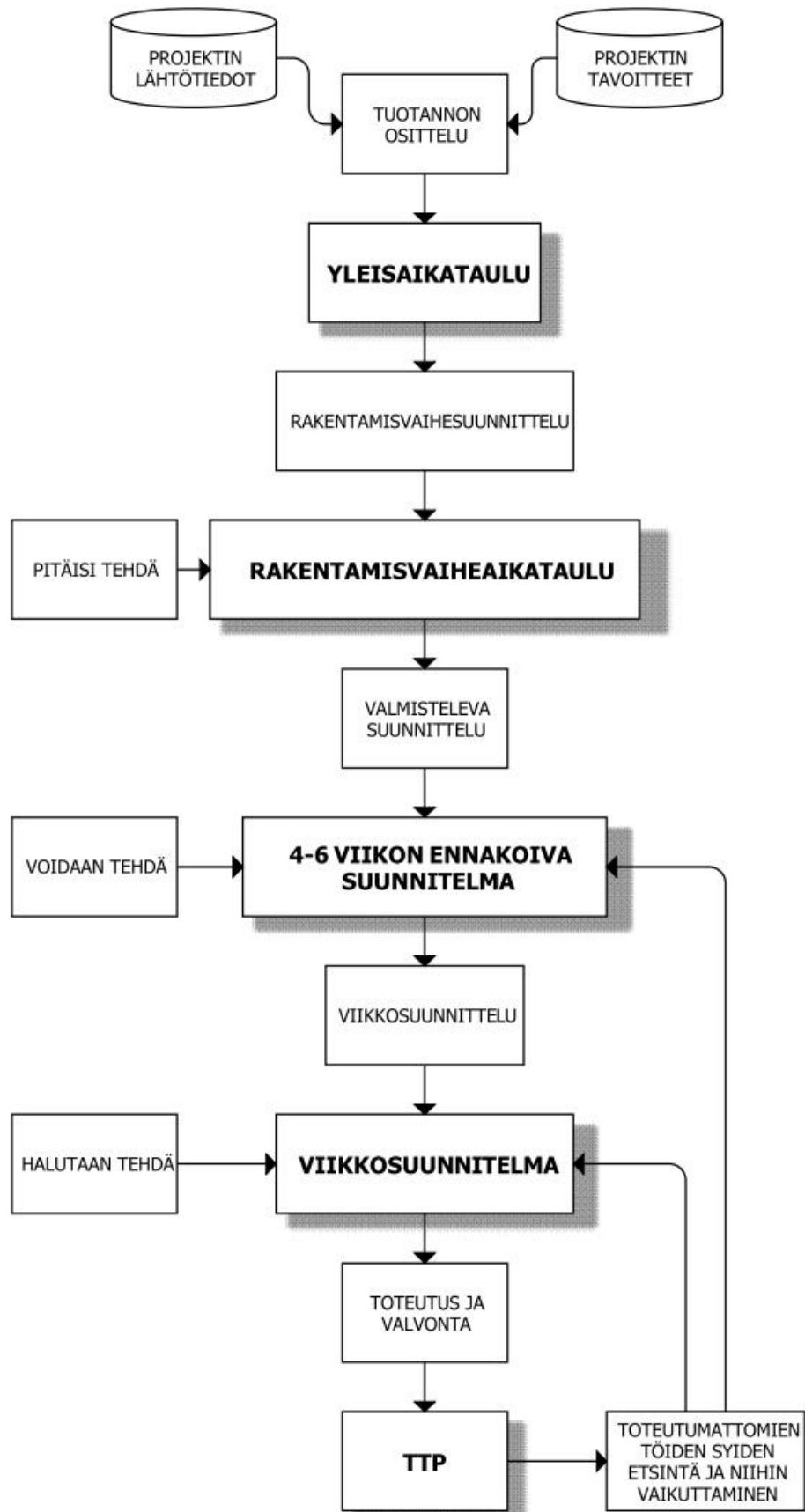
Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat tehtävät ovat yleisaikataulun tai rakentamisvaihe aikataulun tehtäviä. Toisen ryhmän tehtävät on otettu mukaan ennakoivaan suunnitteluun, jolloin niiden aloitusedellytykset työmaalla pyritään varmistamaan. Kolmannen ryhmän tehtävät ovat viikkosuunnitelman tehtäviä, jotka tullaan suorittamaan tulevan viikon aikana ja joiden kaikki aloitusedellytykset ovat kunnossa. Toinen periaate on ylläpitää riittävää tehtäväpuskuria. Jos suunniteltu työtehtävä osoittautuukin mahdottomaksi toteuttaa, on työryhmällä varakohde. (Koskela & Howell 2002.)

Tehtävien toteutus aloitetaan yhteisellä päätöksellä. Työnjohtajat, aliurakoitsijat ja työryhmät ovat kaikki yhteisymmärryksessä kunkin viikon tavoitteista. Tehtävien on oltava luotettavasti toteutettavissa eli aloitusedellytysten tulee olla varmistettu. Työtä ei siis tule viedä viikkosuunnitelmaan, jos jokin aloitusedellytyksistä ei ole toteutunut. Viikon lopulla raportoidaan tehtävien etenemisestä ja ilmoitetaan onko edetty asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Kommunikoinnin on toimittava luotettavasti molempiin suuntiin. Työryhmät tulee sitouttaa annettuihin tehtäviin hyvien suunnitelmien avulla, jolloin omien töiden vaikutus muiden töihin ymmärretään. Lisäksi on asetettava velvollisuus raportoida töiden etenemisestä. (Koskela & Howell 2002.)

Tehtävien valvontaan kuuluu kolme osaa, jotka ovat tehtävien toteutumisen seuranta, toteutumattomien töiden syiden etsintä ja toteutumattomien töiden syihin vaikuttaminen. Tähän on kehitetty menetelmä, jota kuvataan sanoilla työn toteuma prosentti (TTP). Perinteisessä tuotannonohjauksessa valvonta perustuu pääosin suoritettun työmäärän vertaamisesta keskiarvoon eikä syitä töiden hitaalle etenemiselle etsitä. (Koskela & Howell 2002.)

Last Planner -menetelmän vaikutuskeinoja ja vaiheita ovat Koskenvesan ja Sahlstedin (2011) mukaan:

- Yhteinen rakentamisvaihe aikataulusuunnittelu, jossa luodaan edellytyksen valmistelevalle suunnittelulle ja viikkosuunnittelulle.
- Valmisteleva suunnittelu, jossa luodaan ja varmistetaan seuraavien viikkojen tehtäville edellytykset.
- Viikkosuunnittelu, jossa varmistetaan tehtävien edellytykset, tehtävän vastuuhenkilön sitoutuminen tehtävän suorittamiseen ja muiden osapuolten sitoutuminen viikkosuunnitelman tehtävän suorittamiseen.
- Toteutuksen valvonta, jossa tarkistetaan viikkosuunnitelman tehtävien toteutuminen (TTP), selvitetään syyt tehtävien toteutumatta jäämiselle ja päätetään keinot joilla vaikutetaan toteutumattomien töiden syihin.



Kuva 2.6 Last Planner kokonaisuus. (Lähde: Merikallio & Haapasalo 2009. Piirretty uudelleen.)

Etenemissuunnaltaan Last Planner -tuotannosuunnittelu on samankaltainen kuin perinteinenkin. Ensimmäisenä laaditaan yleisaikataulu, mistä edetään eri suunnittelutasojen kautta kohti viikkosuunnittelua. Huomion keskipiste on viikkosuunnittelussa ja sen toteutuksessa eikä yleisaikataulun toteuttamisessa. Tavoitteena on työmaan tehokkuuden varmistaminen. Last Planner menetelmässä yleisaikataulu kertoo mitä tehtäviä tullaan suorittamaan, mutta ei pakottavasti määrää tehtävien aloitusajankohtia, lukuun ottamatta kohteen valmistumisajankohtaa ja välitavoitteita. (Koskela & Koskevesa 2003.)

2.3.2. Yhteinen rakentamisvaihesuunnittelu

Rakentamisvaihesuunnitelma tehdään yhteistyössä eri töiden vastuuhenkilöiden kanssa. Jokainen vastuuhenkilö kirjaa ylös omien töidensä vaatiman ajan ja tilan. Tämän jälkeen työt asetetaan parhaaseen mahdolliseen toteutusjärjestykseen kokonaisuuden kannalta. Suunnittelu aloitetaan rakentamisvaiheen loppupäästä, jolloin se toteutuu niin sanotulla imuperiaatteella. Eri tehtävät voivat vaatia erilaisia aloitusedellytyksiä ja niiden läpikäynti yhteisessä vaihesuunnittelussa tulee ottaa huomioon. Olemassa olevista tehtävistä valitaan häiriöherkimmät tehtävät ja aikataulupuskurit asetetaan niiden yhteyteen. Last Planner -menettelyn rakentamisvaihesuunnittelulla on kolme tarkoitusta.

1. Pyritään saamaan paras mahdollinen tietämys rakentamisvaihesuunnitelman lähtökohdaksi kunkin urakoitsijan erikoisosaamisen mukaan.
2. Jokaisen osapuolen sitoutuminen suunnitelmaan tulee kuin luonnostaa, koska he ovat olleet mukana suunnitelman laatimisessa.
3. Yhteisessä suunnittelutilaisuudessa eri urakoitsijat tutustuvat toisiinsa, mikä helpottaa jatkossa tapahtuvaa yhteistyötä.

Yhteinen rakentamisvaihesuunnittelu toimii lähtökohtana valmistelevalle suunnittelulle. (Koskela & Koskenvesa 2003; Koskevesa & Sahlstedt 2011.)

2.3.3. Valmisteleva suunnittelu

Valmistelevan suunnittelun keskeisenä tehtävänä on varmistaa viikkotehtävien aloitusedellytykset 4-6 viikon tähtäyksellä. Tavoitteena on ylläpitää riittävä varanto aloituskelpoisia viikkotehtäviä. Valmisteleva suunnittelu tapahtuu rullaavana ja toimii imuohjausperiaatteella eli aloitusedellytysten olemassaolo varmistetaan aktiivisesti. (Koskela & Koskenvesa 2003; Koskela et al. 2011.)

Varmistettavia aloitusedellytyksiä ovat tuotantonopeus, suunnitelmat, sopimukset, työryhmä, edeltävät työt, liittyvät työt, materiaalit, olosuhteet, turvallisuus, mesta, koneet ja kalusto sekä jätehuolto. Valmistelevassa suunnitelmassa oleva tehtävä voidaan hyväksyä aloitettavaksi vain, jos kaikki tehtävän vaatimat aloitusedellytykset ovat kunnossa. Eri tehtävien aloitusedellytykset voivat luonnollisesti poiketa toisistaan.

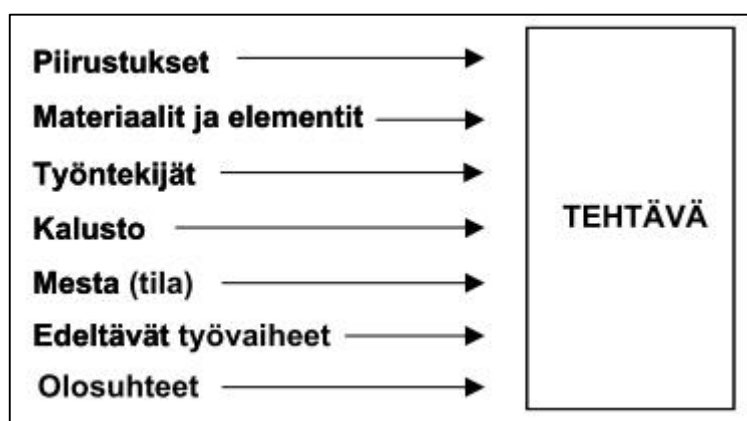
Joidenkin tehtävien kohdalla ei välttämättä tarvitse varmistaa kaikkia edellä mainittuja asioita ja joihinkin tehtäviin voi liittyä varmistettavia asioita, joita ei listalta löydy. Tärkeintä aloitusedellytysten varmistamisessa on, että varmistaminen tapahtuu aidosti. (Koskela et al. 2011.)

2.3.4. Viikkosuunnittelu

Viikkosuunnittelu on Last Planner -menetelmän tärkein osa-alue. Tavoitteena on pyrkiä välttämään tehottomuutta, joka aiheutuu riittämättömästä suunnittelusta ja puutteellisista edellytyksistä. Viikkosuunnitelman laatu on tärkeässä roolissa Last Planner -menetelmässä. Laadukkaassa viikkosuunnitelmassa jokainen viikkosuunnitelman tehtävä on

- hyvin määritelty eli lopputulos on sovittu selkeästi,
- työjärjestyksen kannalta tarkoituksenmukainen,
- työmäärän osalta oikein suunniteltu ja
- kaikkien tehtävien aloitusedellytykset tulee olla varmistettu.

Viikkosuunnitelmaan hyväksytään tehtäviä vain sillä edellytyksellä, että tehtävän vastuuhenkilö katsoo pystyvänsä toteuttamaan tehtävän. Toisin sanoen kaikkien aloitusedellytysten on oltava kunnossa. Aloitusedellytykset vaihtelevat eri urakoiden osalta, mutta yleisinä aloitusedellytyksinä voidaan pitää kuvan 2.6 mukaisia asioita. Aliurakoitsijoiden kanssa tulisi sopia aloitusedellytyksistä jo aliurakkasopimuksessa tai viimeistään työn aloituskokouksessa. (Koskela & Koskenvesa 2003; Koskela et. al 2011.)



Kuva 2.7 Rakentamistehtävän aloitusedellytykset. (Lähde: Koskela & Koskenvesa 2003)

Viikkosuunnitelmat tulisi laatia palaverissa, jossa ovat läsnä kaikki työnjohtajat ja tarvittaessa myös työryhmien edustajat. Viikkosuunnitelman laatiminen voidaan jakaa kolmeen osaan, jotka ovat valmistelu, neuvottelu ja sitoutuminen. Suunnitelman valmistelu tapahtuu tarkistamalla käynnissä olevien tehtävien tosiasiallinen tilanne sekä laatimalla suunnitelma seuraavan viikon tehtävistä. Palaverissa voidaan neuvotella

avoimesti toteuttavista tehtävistä ja koordinoida helposti eri töiden välillä olevia riippuvuuksia. Palaverin lopuksi osallistuneet sitoutuvat suorittamaan tehtävät suunnitelman mukaisesti ja tietävät vastuunsa muihin nähden. (Koskela & Koskenvesa 2003; Koskela et al. 2011.)

2.3.5. Toteutuksen valvonta

Viikkosuunnitelmien toteutumista seurataan aktiivisesti ja havaittuihin ongelmiin reagoidaan heti. Tehtävä on toteutunut, jos viikkosuunnitelmassa kirjatut asiat ovat toteutuneet. Jos pienikin osa työstä on jäänyt suorittamatta, se ei silloin ole toteutunut suunnitelman mukaisesti. Viikkosuunnitelman toteutumista mitataan työn toteuma prosentilla eli niin sanotulla TTP-luvulla. TTP-luku osoittaa, kuinka suuri prosentuaalinen osuus suunnitellusta työstä on viikon aikana saatu toteutettua. Viikkosuunnitelmaan merkitään toteutuneiden tehtävien kohdalle ykkönen ja toteutumatta jääneen tehtävän kohdalle nolla. Kun lasketaan toteutuneiden tehtävien lukumäärä yhteen ja jaetaan se kaikkien tehtävien lukumäärällä, saadaan laskettua TTP-luku. TTP-luvun kehityksestä voidaan ylläpitää kuvaajaa, joka tulisi asettaa näkyviin työmaalle. (Koskela & Koskenvesa 2003; Koskela et al. 2011.)

Yleisesti voidaan sanoa, että alle 60 %:n toteuma edustaa huonoa suoritustasoa, yli 80 %:n toteuma hyvää suoritustasoa ja yli 85 %:n toteuma erinomaista suoritustasoa. Koska rakennushankkeet ovat yksilöllisiä, eivät eri työmaiden TTP-luvut ole yleensä vertailukelpoisia. Yleisimpiä syitä toteutumatta jäämiseen ovat Ballardin (1994 ja 1999) mukaan muun muassa:

- materiaalien puute
- huono työryhmien koordinointi
- suunnitelmapuutteet
- telinepuutteet
- työvälineiden tai tarvikkeiden puute
- muutokset toteutusjärjestyksessä
- muutokset projektissa
- liian kireä aikataulu
- töiden aloitus on myöhästynyt
- sääolosuhteet

Viikkosuunnitelman toteutumattomien tehtävien osalta selvitetään syyt toteutumatta jäämiseen. Syyt ryhmitellään tavoitteiden mukaisella tavalla ja niiden esiintymisestä pidetään tilastoa. Näin saadaan hyvä ja luotettava tietokanta tuotannon ongelmista. (Koskela & Koskenvesa 2003; Koskela et al. 2011.)

2.3.6. Last Planner -menetelmällä saavutettavissa olevat hyödyt

Teoriassa Last Planner -menetelmän avulla voidaan parantaa ja kehittää työmaan tuottavuutta, kestoja, työturvallisuutta, laatua ja työmaan ilmapiiriä. Empiiriset havainnot tukevat useimpia näistä hyödyistä, vaikka tutkimuksia ei vielä ole laajalti tehty. (Koskela & Koskenvesa 2003.)

Tuottavuutta kohottava vaikutus perustuu pääosin siihen, että jokainen tehtävä päästää aloittamaan suunnitelman mukaisesti, kun aloitusedellytykset on varmistettu. Tarkalla viikkosuunnittelulla pyritään siihen, että suunnittelematonta ja improvisoitavaa työtä tulee eteen entistä vähemmän. Tehtävät saatetaan kerralla valmiiksi ja tuottavuutta alentavia häntiä ei jää. (Koskela & Koskenvesa 2003.)

Last Planner -menetelmän avulla tuotannon ennustettavuus paranee. Tämä johtaa siihen, että peräkkäisten tehtävien aloitusväliä voidaan lyhentää, mikä puolestaan johtaa rakennusajan lyhentymiseen. (Koskela & Koskenvesa 2003.)

Työturvallisuuden ja laadun parantuminen voidaan selittää sillä, että aiempaa suurempi osa tehtävistä voidaan tehdä hallitusti ja suunnitelluissa olosuhteissa. Myös työntekijän sitoutumisella suunnitelmaan voidaan katsoa olevan parantava vaikutus niin työturvallisuuteen kuin laatuunkin. (Koskela & Koskenvesa 2003.)

3. TIETOMALLIT

3.1. Yleistä

Tietomallintaminen on viime aikoina kerännyt paljon huomiota rakennusalaalla ympäri maailman ja sitä voidaan pitää yhtenä lupaavimmista kehitystyön tuloksista rakentamisteollisuudessa (Azhar et. al 2008; Eastman et. al 2008). Tietomalli on digitaalinen malli toteutettavasta rakennuksesta, joka sisältää tarkat geometriset mittasuhteet ja olennaista dataa tukemaan koko rakennusprosessia. Oikein käytettynä tietomallin avulla on mahdollista saavuttaa huomattavia etuja koko rakennuksen elinkaaren aikana. (Eastman et. al 2008.)

Tietomallit auttavat arkkitehteja, suunnittelijoita ja urakoitsijoita havainnollistamaan rakennettavaa kohdetta ja tunnistamaan mahdolliset suunnittelu- ja rakentamisongelmat sekä mahdolliset toiminnalliset ongelmat (Azhar et. al 2008). Nykyisten tietomallintamistyökalujen avulla on mahdollista luoda hyvin yhteen sovitettuja ja rakennuskelpoisia suunnitelmia. Voidaan sanoa, että tietomallintaminen on muuttanut tapoja suunnitella, analysoida, rakentaa ja hallita rakennuksia. (Hardin 2009.)

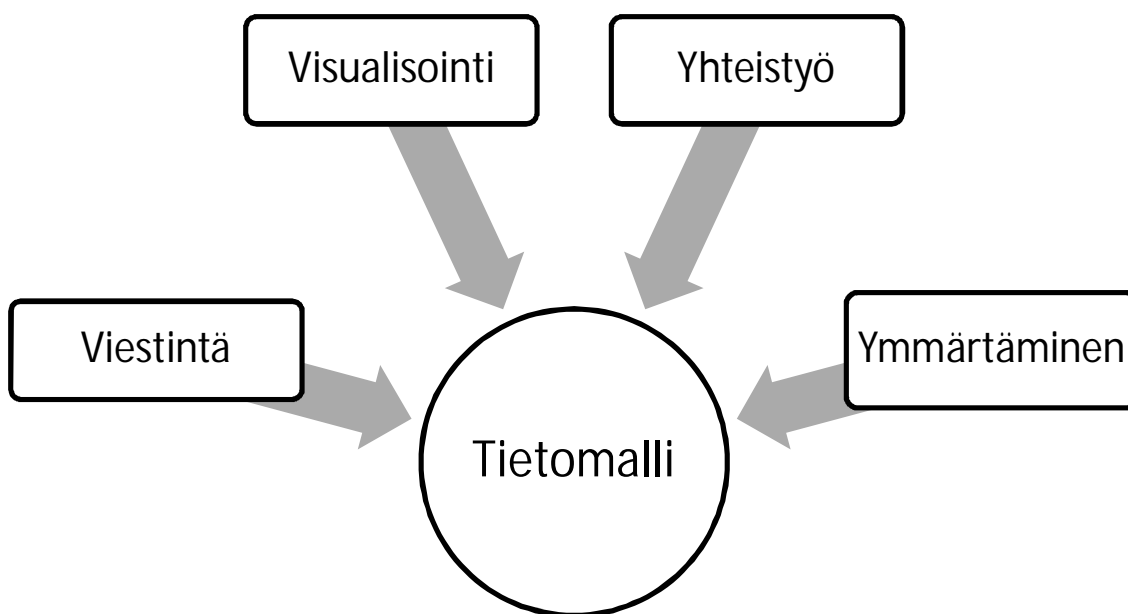
Tällä hetkellä on olemassa paljon teorioita siitä mihin tietomallia voidaan käyttää ja kuinka projektipäällikkö löytää tietomallista vastaukset kaikkiin projektiin liittyviin kysymyksiin. Tietomalleihin on mahdollista sisällyttää paljon hyödyllistä tietoa, mutta tietomallien käyttö saattaa tuntua haasteelliselta, koska kaikki tieto näyttää sulautuvan yhteen. Tämä voi aluksi tuntua turhautavalta, sillä tiedon etsiminen saattaa vaikuttaa vaikealta. (Hardin 2009.)

Asianmukaisella tietomallin käytöllä helpotetaan suunnittelun ja rakentamisen integroimista, mikä puolestaan johtaa projektin osalta parempaan laatuun, pienempiin rakennuskustannuksiin ja lyhyempään toteutusaikatauluun (Eastman & al. 2008). Tietomallien käyttöönotto todellisessa projektissa on kuitenkin monimutkainen prosessi, joka tulee toteuttaa koordinoitusti. On olemassa paljon teknisiä, menetelmällisiä ja organisatorisia asioita, jotka voivat vaikuttaa tietomallien käyttöönottoon. Urakoitsijoiden on vaikea investoida riittävästi resursseja uuden teknologian käyttöönottoon, jos malleista saatavia hyötyjä ja ohjeita käyttöönottoa varten ei pystytä tarjoamaan. (Staub-French & Khandoze 2007.)

Tietomalliprosessilla on mielenkiintoinen ominaisuus, jonka ansiosta se tekee projektinhallintaprosessista läpinäkyvämmän. Kolmiulotteisesta mallista on helppo havaita mitä on saavutettu ja mitä ei ole saavutettu tietyillä alueilla. Projektin heikkoudet on myös helpompi havaita tietomallista, sillä suurin osa prosesseista pyörii visuaalisen mallin ympärillä. Prosessin läpinäkyvyyttä voidaan pitää prosessin kannalta hyvänä asiana, mutta siitä voi tulla myös este sellaisille projektihenkilöille, jotka eivät

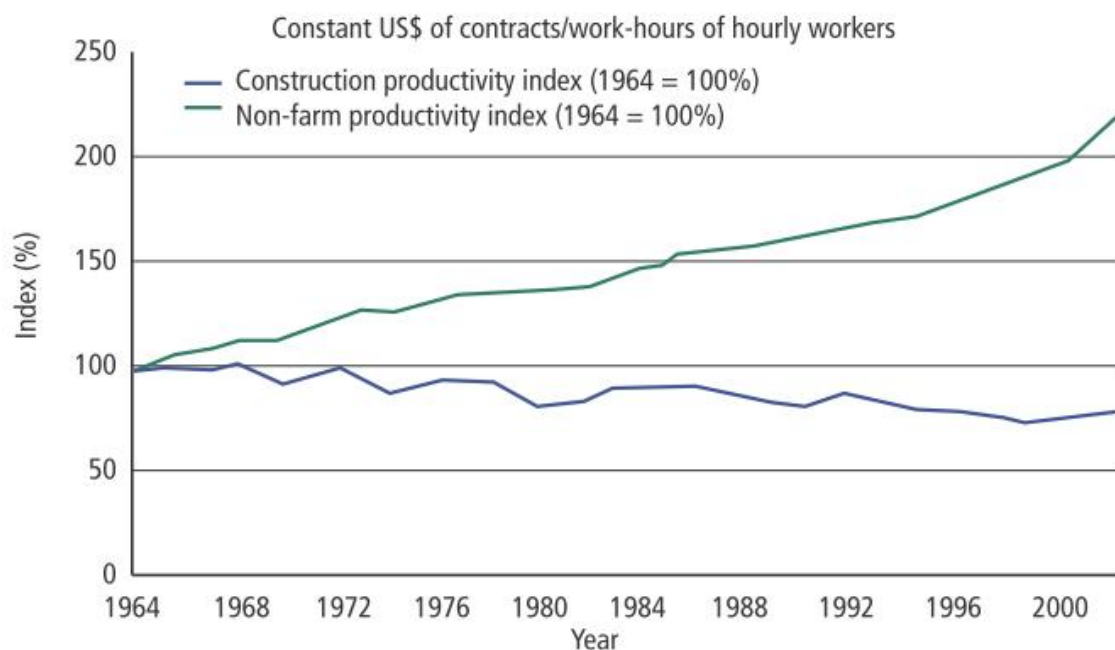
ole tottuneet työskentelemään avoimessa ja läpinäkyvässä ympäristössä. Menestyksellinen tietomallien hyödyntäminen tarvitsee erilaista psykologista lähestymistapaa kuin mihin rakennusalalla on yleensä totuttu. Rakennusprojektin kaikkien osapuolten tulee työskennellä yhteisten tavoitteiden mukaan, jolloin tietomalleista on mahdollista saada irti paras mahdollinen hyöty. (Kymmell 2008.)

Ihmisten välinen kanssakäynti perustuu yleensä neljään peruskäsitteeseen, joita ovat viestintä, visualisointi, yhteistyöt ja ymmärtäminen. Jokainen edellä mainituista käsitteistä luo ja vahvistaa toinen toisiaan. Tietomallit ovat keino yhdistää nämä neljä periaatetta, mikä on esitetty kuvassa 3.1. (Kymmell 2008.)



Kuva 3.1 Tietomalli yhdistää ihmisten välisen kanssakäymisen käsitteet.

Erityisesti sanat viestintä ja yhteistyö ovat yleistyneet tietomalleihin liittyvissä keskusteluissa viime aikoina. Kuvasta 3.2 käy ilmi, että rakentamisen tuottavuus on pysynyt lähes saman 1960-luvulta aina 2000-luvulle asti, kun samaan aikaan muu teollisuus on samana aika kasvattanut tuottavuuttaan yli kaksinkertaiseksi. Tämä johtuu hyvin pitkälti siitä, että rakennusalalla tiedon viestintä ja yhteistyö on ollut puutteellista. (Hardin 2009.)



Kuva 3.2 Tuottavuuden kehitys valmistavassa teollisuudessa ja rakennusteollisuudessa (Lähde: Blakey 2008.)

Tilajaat, suunnittelijat ja urakoitsijat ovat alkaneet tutkia rakentamisen prosesseja ja vaatia parempaa yhteistyötä eri projektiryhmien välillä. Lisäksi halutaan parempia työkaluja tietomallien hyödyntämiseen. (Hardin 2009.)

Rakennusurakoitsijalle tietomalli toimii virtuaalisena mallina rakennettavasta kohteesta. Tietomalli ja siihen sisällytetty tieto voidaan jakaa yhtenä tiedostona projektin sidosryhmien kesken. Näin tehtäessä on mahdollista parantaa viestintää ja yhteistyötä projektin aikana. (Hardin 2009.)

Tietomalleilla ja niiden asianmukaisella hyödyntämisellä on parhaimmillaan merkittävä positiivinen vaikutus projektin toteutukseen. Staub-French ja Khandoze (2007) ovat listanneet tietomalleilla tavoiteltavia hyötyjä seuraavasti:

- työmaan häiriöiden eliminointi
- vähemmän uudelleen tehtävää työtä
- tuottavuuden kasvu
- vähemmän lisätietopyyntöjä
- vähemmän muutostöitä
- parempi kustannusten hallinta
- lyhyempi rakennusaika

Erityisesti mallit auttavat projektihenkilöstöä tunnistamaan suunnitteluristiriidat, suunnitteluvirheet, rajoitteet työjärjestyksissä, valmistusdetaljit ja rajoitteet hankinnoissa, mitkä vaikuttavat projektin toimitusprosessin tehokkuuteen. Mallinnustyökalujen käyttö auttaa projektitiimejä pienentämään riskejä, vetää puoleensa

osaavia projektihenkilöitä ja tulee olemaan arkipäivää lähivuosien aikana. (Staub-French & Khandoze 2007.)

3.2. Tietomallien käyttö rakennustuotannossa

Tietomallien käytöllä voidaan saavuttaa rakennusaikana suuria etuja, jotka säästävät rahaa ja aikaa. Lisäksi tarkka tietomalli rakennettavasta kohteesta hyödyttää kaikkia projektin sidosryhmiä. Tietomallien avulla rakennustyöt voidaan suunnitella tarkemmin, jolloin työt voidaan toteuttaa nopeammassa aikataulussa. Tällöin myös rahaa säästyy ja mahdollisten virheiden ja ristiriitojen määrä vähenee. (Eastman et al. 2008.)

Urakoitsijoille olisi tärkeää päästä mukaan projekteihin aikaisessa vaiheessa, jolloin mahdollisuudet vaikuttaa tietomallien sisältöön ja tarkkuuteen kasvavat. Pääurakoitsijoiden ja tilaajien tulisi myös ottaa aliurakoitsijat mukaan tietomallien kehittämiseen. Perinteiset urakkamuodot rajoittavat urakoitsijoiden mahdollisuuksia sisällyttää omaa osaamistaan suunnitteluvaiheessa, jolloin olisi mahdollista saavuttaa suuria etuja. Vaikka urakoitsijat eivät olisikaan mukana vielä suunnitteluvaiheessa, on tietomallien avulla mahdollista saavuttaa huomattavia hyötyjä rakentamisen aikaisten prosessien tukemisessa. (Eastman et al. 2008.)

Tietomalleihin sisällytettävien detaljien tarkkuus riippuu tietomallin käyttötarkoituksista. Tarkkaa kustannusarviointia varten tietomalli on laadittava mahdollisimman tarkasti, jotta tarkka kustannusarviosta saadaan luotettava. Aikataulutusta varten myös vähemmän yksityiskohtia sisältävä malli on riittävä, mutta malliin on sisällytettävä myös väliaikaisia rakenteita, jotka vaikuttavat töiden aikataulutukseen ja suunnitteluun. Lisäksi tietomallista on käytävä ilmi eri rakennusvaiheet. (Eastman et al. 2008.)

Urakoitsijoilla on useita mahdollisuuksia, miten tietomallia voidaan hyödyntää rakentamisen apuvälineenä. Eastman et al. (2008) ovat listanneet tietomallien tärkeitä sovellusalueita seuraavasti:

- törmäystarkastelut
- määrälaskenta ja kustannusarviointi
- rakentamisen arviointi ja suunnittelu
- kustannus- ja aikatauluhallinta
- rakennuspaikan ulkopuolella tapahtuvat valmistustyö
- tarkistukset, ohjeistukset ja rakennustöiden seuranta

Yksi tärkeimmistä tietomalleista saatavista hyödyistä syntyy aliurakoitsijoiden läheisestä yhteistyöstä. Tämä edellyttää, että aliurakoitsijat osallistuvat tietomallien käyttämiseen ja tarkentavat tietomallia omien töidensä osalta. Näin on mahdollista luoda tarkka törmäystarkastelu ja törmäysten korjaus ennen kuin niistä aiheutuu ongelmia työmailla. Myös työmaan ulkopuolella tapahtuvaa esivalmistusta on

mahdollista tehdä enemmän, mikä puolestaan vähentää pienentää työmaan kustannuksia, lyhentää työmaan aikataulua ja parantaa tarkkuutta. (Eastman et al. 2008.)

Yleisten tietomallivaatimusten 2012 osan 13 mukaan urakoitsijat voivat hyödyntää tietomalleja rakentamisen valmistelu- ja rakentamisvaiheissa esimerkiksi seuraavissa toiminnoissa:

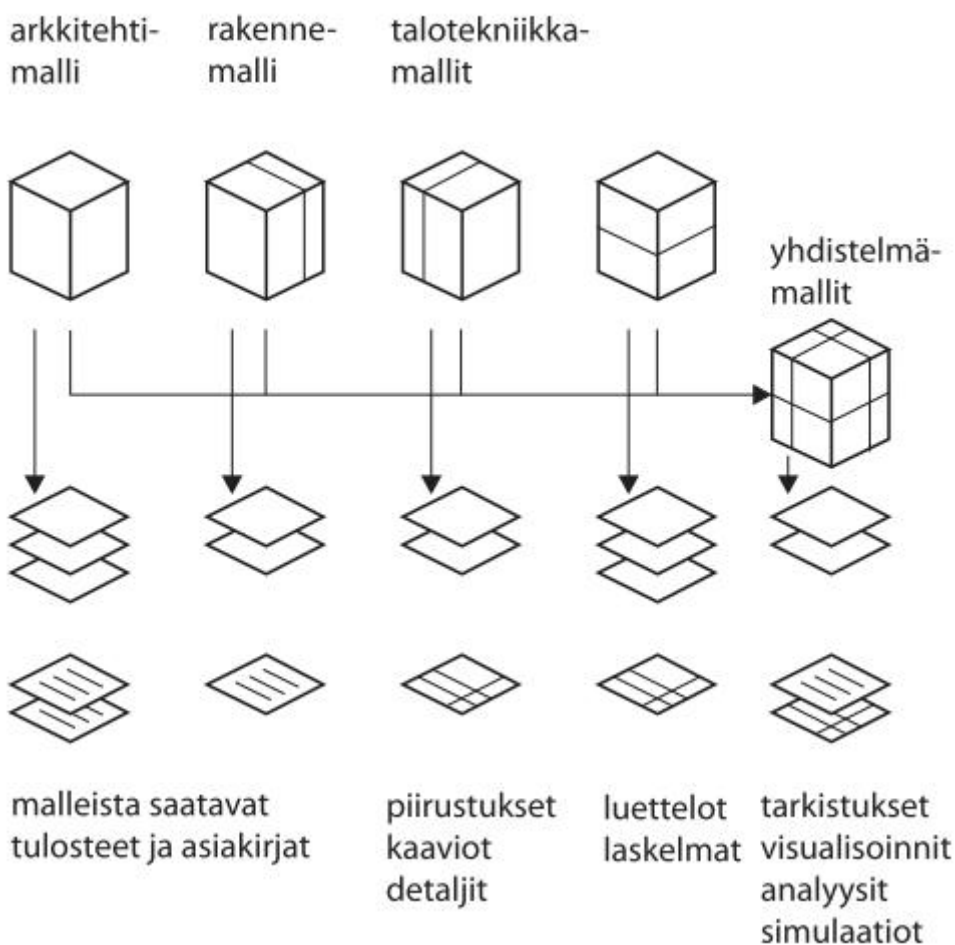
- kohteeseen ja sen suunnitelmiin perehtyminen ja tiedonhaku tarjousvaiheessa, hankinnoissa ja työmaatoteutuksessa
- määrien laskenta tarjouslaskentavaiheessa sekä rakentamisaikana hankintoja ja tuotannonsuunnittelua varten
- yleinen rakentamisen aikainen toimintojen koordinointi ja tiedonvaihto
- tuotannon 4D-aikataulutus ja työjärjestysten suunnittelu sekä toteutumatilanteen havainnollistaminen
- eri suunnittelualojen mallien yhdistäminen muun muassa talotekniikan asennusjärjestysten ohjaamista varten ja rakennettavuustarkasteluihin
- rakenteiden sijaintitiedon siirto mittalaitteisiin
- työmaa-alueen käytön suunnittelu ja turvallisuussuunnittelu

Tietomallien käyttöönotto rakennustuotannossa ei kuitenkaan onnistu ilman asianmukaisia muutoksia prosesseissa ja riittävää koulutusta. Jokaisen urakoitsijan tulisi olla tietoinen, että tietomallien käyttöönottoon liittyy merkittävä oppimiskäyrä. Muutos perinteisistä paperikuvista tietomallin käyttöön ei ole täysin yksinkertainen, sillä lähes jokainen prosessi ja liikesuhde altistuu muutoksille, jotta tietomallien tarjoamat mahdollisuudet voidaan hyödyntää täysimääräisesti. (Eastman et al. 2008.)

3.3. Suunnitelmien yhteensovittaminen ja törmäystarkastelut

Tietomallihankkeessa eri alojen suunnittelijat tekevät työtään enimmäkseen itsenäisesti. Ennalta sovitussa tarkastuspisteissä suunnittelijoiden suunnitelmat yhdistetään. Näissä tarkastuspisteissä eri suunnittelijoiden tuottamat osapuolimallit kootaan yhdistelmämalliksi, joka on esitetty kuvassa 3.4. Tarkastuspisteet sijoitetaan rakennushankkeen päätöksenteon ja keskeisten valintojen yhteyteen. Tiedonsiirtovaiheessa tulee suunnittelijoiden rajata malleista pois kaikki vain omiin käyttötarkoituksiin oleva materiaali. Osapuolimallien tulee sisältää vain ennalta sovittua tietoa. Yhdistelmämallin avulla tehdään suunnitelmien päällekkäisyys- ja törmäystarkastelut. (RT 10-10992.)

Suunnittelijoiden tietomallit



Kuva 3.3 Suunnittelijoiden tietomallit (Lähde: RT 10-10992)

Yhdistelmämallien tarkastusten jälkeen suunnittelijat tekevät sovitut muutokset suunnitelmien alkuperäistiedostoihin ja -malleihin. Tämän jälkeen suunnittelijat toimittavat korjatuista tiedostoista uudet revisiot. Korjauksista ja muutoksista tulee tiedottaa hankkeessa sovitulla tavalla. (RT 10-10992.)

Yleisten tietomallivaatimusten 2012 osassa 6 on listattu suunnittelijoiden tehtäviä edellä mainituissa tarkastuspisteissä seuraavasti:

- Suunnittelijan tehtävänä on suorittaa ensin alkuperäismallin tarkistus ohjelmiston omilla välineillä. Mahdolliset ongelmat korjataan alkuperäismalliin. Näin toimien saadaan usein suuri osa perusongelmista ratkaistua ja säästytään todennäköisesti yhdeltä IFC-mallin tarkastuskierrokselta.
- Seuraavassa vaiheessa tehdään alkuperäismallista IFC-malli, joka tarkastetaan. IFC-malli tulee olla tehtynä projektissa sovitulla IFC-versiolla. Tulee varmistaa, että mallissa on vaaditut komponentit mukana. Samalla tulee tarkistaa, ettei mallissa ole ylimääräisiä ko. vaiheeseen kuulumattomia komponentteja.

- Suunnittelijan tai suunnittelua tekevän ryhmän tulee tarkistaa alkuperäismalli ja myös IFC-malli (omatarkastus). On suositeltavaa, että toinen suunnittelija tai toinen mahdollisesti laadunvarmistukseen erikoistunut henkilö suunnittelutoimistossa tarkastaa IFC-mallin (toisen henkilön tekemä tarkastus). Tämän tehtävän organisointi on kuitenkin suunnittelutoimiston sisäinen asia. Mikäli tarkastuksessa löytyy ongelmia, tulee korjaukset tehdä alkuperäismalliin.
- IFC-mallin tarkastuksesta laaditaan mallin mukainen raportti, joka toimitetaan projektissa sovittuun tallennuspaikkaan esim. projektipankkiin yhdessä tarkastetun mallin kanssa.'
- Lisäksi tehdään tietomalliselostus, jossa kuvataan tarkastuksessa havaittuja asioita tai esim. valmiusasteeseen liittyviä selventäviä seikkoja.

Myös suunnitteluryhmän tehtävät on listattu Yleisten tietomallivaatimusten 2012 osassa 6 seuraavasti:

- Koota suunnittelijoiden IFC-tietomallit yhteen tai useampaan yhdistettyyn tietomalliin.
- Varmistaa, että eri suunnittelijoiden mallit ovat ”samaa versiota ja vaihetta” ja siten keskenään vertailukelpoisia. Käytetyt tiedostot ja niiden päiväykset tulee kirjata ylös.
- Suunnittelijoiden tietomalliselostusten läpikäynti.
- Varmistaa mallien keskinäinen oikea sijoittelu.
- Suorittaa arkkitehti- ja rakennemallien keskinäinen vertailu, jossa todetaan, että esim. kantavat rakenteet ja aukot on sijoitettu toisiaan vastaavasti.
- Suorittaa TATE –suunnittelijoiden mallien ja arkkitehtimallin keskinäiset törmäystarkastelut. Tässä pääpaino on tilankäytön suunnittelussa. Suorittaa TATE suunnittelijoiden mallien ja rakennemallin keskinäiset törmäystarkastelut. Tässä pääpaino on rakenteiden ja TATE-komponenttien törmäilyt ja mahdollisesti tarvittavat läpiviennit.
- Mahdolliset korjaukset on tehtävä suunnittelijoiden toimesta alkuperäismalleihin ja sen jälkeen toistettava laadunvarmistusprosessin aikaisemmin esitetyt vaiheet.
- Viimeisenä toimenpiteenä tarkastetaan tietomallien pohjalta tehdyt suunnitelmadokumentit aina silloin, kun myös ne on tarpeen toimittaa projektipankkiin. Mikäli dokumenteissa on korjattavaa, tehdään vastaavat korjaukset myös alkuperäiseen tietomalliin siltä osin kuin tieto on siitä peräisin tai vaikuttaa siihen.

Usein törmäystarkastelut tehdään manuaalisesti asettamalla yksittäiset järjestelmäpiirustukset päällekkäin ja näin pyritään löytämään mahdolliset ristiriidat. Toinen samankaltainen tapa on käyttää kaksiuolotteisia CAD-työkaluja, joiden avulla eri järjestelmien piirustukset voidaan asettaa päällekkäin ja tällä tavoin tunnistaa olemassa

olevat ristiriidat. Manuaaliset lähestymistavat ovat kuitenkin hitaita, kalliita ja virheatteita sekä riippuvat ajan tasalla olevista piirustuksista. (Eastman et al. 2008.)

Tietomallipohjainen törmäystarkastelu tarjoaa useita etuja verrattuna perinteisiin manuaalisiin menetelmiin. Tietomalleilla tehtävät törmäystarkastelut mahdollistavat tiettyihin sääntöihin perustuvan analyysin. Näin ollen voidaan tutkia eri järjestelmien esimerkiksi sähkö- ja ilmanvaihtojärjestelmien välillä olevia ristiriitoja. Tietomallien avulla tämä on mahdollista, koska jokainen suunniteltu komponentti edustaa tiettyä järjestelmää. (Eastman et al. 2008.)

Törmäystarkastelu tietomallien avulla on mahdollista tehdä millä tahansa tarkkuusasteella ja kaikkien järjestelmien tai rakenteiden välillä. Tietomallit mahdollistavat myös niin sanottujen pehmeiden törmäysten etsimisen. Pehmeät törmäykset tarkoittavat, että komponentit eivät varsinaisesti törmää, mutta niiden väliin halutaan jättää tietty toleranssi. Tämän tyyppiset törmäystarkastelut ovat mahdollisia vain hyvin määritellyillä ja tehdyillä tietomalleilla. (Eastman et al. 2008.)

Riippumatta tietomallien tarkkuudesta, urakoitsijan on varmistettava, että rakennus mallinnetaan riittävällä määrällä detaljeja. Malleista on löydettävä tarvittava määrä yksityiskohtia putkille, kanaville, rakenneosille, liitoksille ja myös muille komponenteille, jotta ristiriidat voidaan selvittää luotettavasti. Jos yksityiskohtien suunnittelu on epätarkkaa, jää suuri määrä ongelmista ratkaistavaksi työmaalla. Työmaalla ratkaistavat ongelmat voivat olla kustannuksiltaan suuria verrattuna suunnitteluvaiheessa tapahtuvaa ongelman ratkaisua ja kuluttavat yleensä paljon tehokasta työaikaa. (Eastman et al. 2008.)



Kuva 3.4 Törmäystarkastelu talotekniikka- ja rakennemallin välillä (Lähde: YTV2012 osa 6.)

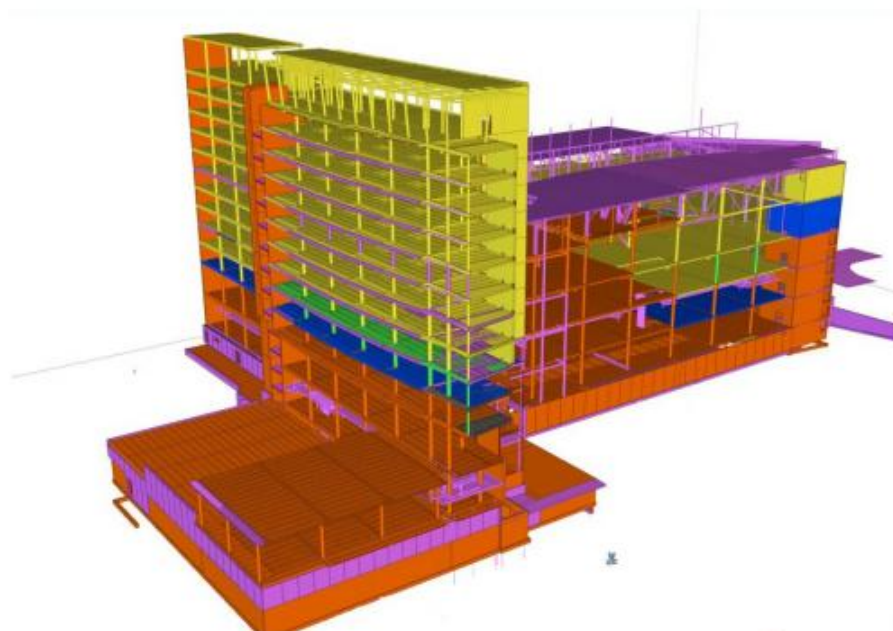
3.4. Töiden suunnittelu, aikataulutus ja toteuman seuranta

Rakentamisen suunnittelu ja aikataulutus sisältää erilaisten tehtävien jaksotusta ajallisesti ja sijainnillisesti. Tärkeä tehtävä rakentamisen suunnittelussa on määrittää

oikea järjestys rakennustehtävien välille niin, että resurssit on kohdennettu asianmukaisesti ja aliurakoiden koordinointi on optimoitu. Nykyinen projektinhallintajärjestelmä käyttää CPM-menetelmää (Critical Path Method) aikataulujen luomisessa, jonka avulla esitetään rakennuksen valmistuminen lyhimmässä mahdollisessa ajassa. CPM-menetelmällä luodut aikataulut näyttävät tehtävien väliset riippuvuudet, mutta ne eivät tarjoa linkkiä 3-ulotteisen tilan ja ajan välille. Edellä mainittujen asioiden sisäiset riippuvuudet ovat kuitenkin kriittisiä rakentamisen suunnittelun, arvioinnin, seurannan ja koordinoinnin kannalta. (Staub-French & Khandoze 2007 & Eastman et al. 2008)

Kokeneet rakennusalan ammattilaiset pystyvät vuosien kokemuksen ansiosta visualisoimaan rakennusprosessin mielessään. Tiedon välittäminen periteisin menetelmin on kuitenkin tehotonta, mikä johtaa erilaisiin käsityksiin rakentamisprosessista ja työ tehdään todellisuudessa eri järjestyksessä kuin alun perin oli suunniteltu. Näin ollen monet ongelmat voivat jäädä huomaamatta jolloin joudutaan reagoimaan nopeasti ongelmien esiintyessä. Tämä heikentää tuotannon tehokkuutta, koska ongelmia joudutaan ratkaisemaan kesken työn teon. Jotta rakentamisprosessia voidaan hallita ennakoivasti, on projektitiimin pystyttävä visualisoimaan rakennettava kohde neliulotteisesti (3D+aika). (Staub-French & Khandoze 2007.)

Tietomallien avulla on mahdollista yhdistää kolmiulotteinen malli rakennettavasta kohteesta ja rakentamisaikataulu. Näin ollen pystytään luomaan tietokoneanimaatio rakentamisen etenemisestä. Kuvassa 3.5 on esitetty runkovaiheen tietomallipohjainen aikataulu. Kolmiulotteisen mallin ja siihen yhdistetyn aikataulun avulla projektihenkilöstön on helppo arvioida eri työvaiheiden tilatarpeita esimerkiksi varastoinnille ja telineille. Myös aliurakoitsijoiden kanssa käytävä keskustelu ja aliurakoiden ohjaaminen helpottuu. (Staub-French & Khandoze 2007.)



Kuva 3.5 Runkovaiheen tietomallipohjainen aikataulu. Värikoodit: oranssi = valmis, sininen = kuluva viikko, vihreä = seuraava viikko, keltainen ja lila = aikataulutettu, yli kaksi viikkoa (Lähde: YTV2012 osa 13)

Staub-French ja Khandoze (2007) ovat tutkimuksessaan tunnistaneet kuusi olennaista askelta luotettavan ja yksityiskohtaisen 4D-aikataulun luomiseen. Nämä kuusi askelta ovat:

1. Pilko työ sopiviin osiin ja suunnittele töiden virtaus
2. Suunnittele asennusjärjestys
3. Järjestele tietomalli tarkoituksenmukaisesti
4. Hio aikataulu kuntoon
5. Linkitä tietomallin objektit ja tehtävät
6. Hio 4D-aikataulu kuntoon

Ensimmäinen askel 4D-aikataulun luomisessa on pilkkoa työ sopivan kokoihin palasiin ja suunnitella kuinka työ saadaan kulkemaan jatkuvana virtauksena aliurakoitsijalta toiselle. Tähän prosessiin tarvitaan yhteistyötä aliurakoitsijoiden työnjohtajien kanssa, jotka suunnittelet työt omalta osaltaan. Pääurakoitsijan tehtävä on konsultoida tarvittavien aliurakoitsijoiden työnjohtajien ja työmaan valvojan kanssa, jotta kriittiset työvaiheet saadaan määritettyä, oikea työjärjestys laadittua ja töiden virtaus suunniteltua jatkuvaksi koko projektin ajaksi. (Staub-French & Khandoze 2007.)

Kun työ on jaettu sopivan kokoihin osiin, on seuraava vaihe määrittää asennusjärjestys pienemmille työalueille. Asennusjärjestys suunnitellaan konsultoimalla eri aliurakoitsijoita ja työmaan valvojaa. Näin pyritään tunnistamaan eri toimialojen

vaatimukset ja tarpeet sekä keskinäiset suhteet jokaisella työalueella. (Staub-French & Khandoze 2007.)

Kolmannessa vaiheessa tietomalli järjestellään uudelleen. Tavoitteena on saada vaiheessa kaksi suunnitellut asennusjärjestykset linkitettyä tietomalliin luontevasti. Uudelleen järjestely on tärkeätä, koska alkuperäinen tietomalli on luotu suunnittelijan näkökulmasta ja tavoitteena on esittää malli rakentamisen kannalta parhaasta näkökulmasta. Tämä vaihe vie useasti eniten aikaa 4D-mallin kehittämisessä. (Staub-French & Khandoze 2007.)

Neljäs vaihe asennusjärjestyksen määrittelyn jälkeen on aikataulun tarkastaminen ja korjaaminen vastaamaan todellista työjärjestystä jokaisella työskentelyalueella. Tämän tarkemman työskentelyjärjestyksen esittämistä varten voidaan tarkistaa ja korjata yleisaikataulua tai luoda kokonaan oma erillinen aikataulu tietyille laajuudelle. (Staub-French & Khandoze 2007.)

Viidennessä vaiheessa tietomallit tuodaan 4D-aikataulutukseen soveltuvaan ohjelmaan ja tietomallin osat linkitetään suunniteltuun aikatauluun. Linkitysprosessi on mahdollista automatisoida, mutta se riippuu käytettävistä ohjelmista. (Staub-French & Khandoze 2007.)

Viimeinen eli kuudes vaihe on 4D-aikataulun esittämistavan hiomista. Useimmilla tähän tarkoitukseen olevilla ohjelmilla on mahdollista muokata objektien esittämistapaa esimerkiksi värejä ja läpinäkyvyyttä. Monesti on hyödyllistä luoda useita eri simulaatioita ottaen huomioon projektiosapuolten erilaiset näkökulmat. (Staub-French & Khandoze 2007.)

3.5. Tietomalleista tavoiteltavissa olevat hyödyt

Rakentamisen suunnittelu käyttäen 4D CADiä tarvitsee linkitystä rakentamissuunnitelmasta tietomalliin ja sen objekteihin. Näin on mahdollista simuloida rakentamisprosessi ja näyttää miltä rakennustyömaa näyttää missä tahansa työn vaiheessa. Tämä graafinen simulointi tarjoaa huomattavaa näkemystä siitä miten rakennus tullaan rakentamaan päivä päivältä ja paljastaa mahdollisten ongelmien lähteet ja mahdollisuudet erilaisille parannuksille (työmaa, resurssit, välineet, turvallisuus jne.). Tämänlainen analysointi ei ole mahdollista paperikuvista. Lisäksi tietomalleihin on mahdollista lisätä väliaikaisia rakentamiseen liittyviä tarpeita kuten tukirakenteet, telineet, torninosturit ym. suuremmat väliaikaiset tarpeet, jotka on mahdollista linkittää aikatauluun. (Eastman et al. 2008.)

Koska tietomalli on kaikkien 2D ja 3D suunnitelmien lähde, suunnitteluvirheet, jotka johtuvat yhteensopimattomista 2D suunnitelmista häviävät. Lisäksi kaikkien eri tieteenalojen suunnitelmat voidaan yhdistää ja verrata keskenään, jolloin on mahdollista systemaattisesti etsiä järjestelmien komponenttien törmäilyjä ja visuaalisesti muita mahdollisia epäkohtia suunnitelmissa. Konfliktit huomataan jo ennen kuin ne esiintyvät työmaalla. Koordinointi suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden välillä paranee ja laiminlyönneistä johtuvien virheiden määrä pienenee huomattavasti. Tämä nopeuttaa

rakennusprosessia, pienentää kustannuksia, minimoi riitojen todennäköisyyden ja tarjoaa tasaisemman prosessin läpiviemisen koko projektihenkilöstölle. (Eastman et al. 2008.)

Suunnitelmaristiriitoihin ja työmaan ongelmiin on mahdollista reagoida nopeasti. Suunnitelmamuutokset on mahdollista päivittää nopeasti tietomalleihin. Muutoksen vaikutukset liittyviin rakenteisiin ja järjestelmiin on mahdollista analysoida nopeasti, koska tietomalleja on helppo jakaa, tutkia ja arvioida. Lisäksi ongelmat voidaan ratkaista ilman aikaa kuluttavaa paperikuvien siirtoa. (Eastman et al. 2008.)

Valmis tietomalli sisältää tarkat määrät ja ominaisuudet lähes kaikille materiaaleille ja objekteille riippuen tietomallin tarkkuudesta. Näitä määriä ja ominaisuuksia voidaan hyödyntää materiaalien hankinnassa. (Eastman et al. 2008.)

Tietomallit mahdollistavat paremmin Lean Construction tekniikoiden kuten Last Planner menetelmän käyttöönoton työmailla. Huolellinen töiden suunnittelu pääurakoitsijan ja aliurakoitsijoiden välillä helpottuu, jolloin on mahdollista pienentää hukkaa ja vähentää työmaalla tapahtuvan varastoinnin määrää. Koska tietomalli tarjoaa tarkan mallin rakennettavasta kohteesta ja tarvittavista materiaaleista, on mahdollista suunnitella työvoiman, materiaalien ja muiden tarpeiden saatavuus juuri oikeaan aikaan. Näin on mahdollista pienentää kustannuksia ja parantaa yhteistyötä rakennustyömaalla. (Eastman et al. 2008.)

Tärkein hyöty tietomalleista on tarkka geometrinen malli rakennettavasta kiinteistöstä ja sen osista. Azhar et al. (2008) ovat listanneet tietomalleihin liittyviä hyötyjä tutkimuksessaan seuraavasti:

- Nopeammat ja tehokkaammat prosessit – tietoa on helpompi jakaa, arvoa voidaan lisätä ja käyttää uudestaan
- Parempaa suunnittelua – vaihtoehtoja voidaan analysoida tiukasti, simulaatioita voidaan tehdä nopeasti, suorituskykyä voidaan vertailla, mahdollistetaan paremmat ja innovatiiviset ratkaisut
- Kontrolloidut elinkaarikustannukset ja ympäristödata – ympäristöllinen suorituskyky on ennustettavampaa ja elinkaarikustannukset ymmärretään paremmin
- Parempi tuotteen laatu – dokumenttien luominen on joustavaa ja hyödyntää automaatiota
- Automatisoitu asennus – digitaalisen tuotteen tietoa voidaan hyödyntää pienemmissä prosesseissa ja tietoa voidaan käyttää eri systeemien valmistamiseen ja kokoonpanoon
- Parempi asiakaspalvelu – ehdotukset on helpompi ymmärtää tarkan visualisoinnin kautta
- Elinkaaridata – vaatimukset, suunnittelu, rakentaminen, ja operatiivinen tieto voidaan käyttää kiinteistön hoidossa ja hallinnassa

Azhar et al. (2008) ovat raportoineet tutkimuksessaan tietomallia hyödyntäneistä projekteista seuraavanlaisia hyötyjä:

- Jopa 40 % pienemmät budjetoimattomat kustannukset
- Kustannusarvion tarkkuus < 3 % / kolmen prosentin sisällä
- Kustannusarvion laatimiseen kuluva aika on noin 80 % pienempi
- Jopa 10 % säästö sopimussummasta törmäystarkastelujen ansiosta
- Projektin läpimenoaika noin 7 % lyhyempi

Tietomallintaminen on kehittymässä innovatiiviseksi tavaksi hallita rakennusprojekteja, Rakentamisen tehokkuus ja ennustettavuus paranevat huomattavasti tietomallien käyttöönoton myötä. Tietomallien käytön lisääntyessä yhteistyö projektihenkilöstön kesken pitäisi nousta, mikä johtaa parempaan tuottavuuteen, pienempiin kustannuksiin, parempaan ajanhallintaan ja parempiin asiakassuhteisiin. (Azhar et al. 2008.)

4. TUOTANNON SUUNNITTELU JA OHJAUS TYÖMAALLA

4.1. Case työmaan esittely

Tämän tutkimuksen kohdetyömaana toimii Ilmarisen rakennuttama kiinteistöosakeyhtiö Vantaan Tietotie 11. Rakennus tunnetaan myös nimellä House of Travel and Transportation eli lyhyemmin HOTT.

Kohde koostuu seitsemänkerroksisesta toimistorakennuksesta ja seitsemänkerroksisesta pysäköintirakennuksesta, jonka kerroksista kolme on maanalaisia ja neljä maanpäällisiä. Toimisto- ja pysäköintirakennuksen kokonaisbruttoala on noin 67 000 brm².

Kohteen erityispiirteenä voidaan mainita LEED-sertifiointin hakeminen. LEED tulee sanoista Leadership in Energy and Environmental Design eli vapaasti suomennettuna johtajuus energia- ja ympäristösuunnittelussa. Tavoitteena on edistää vihreää rakentamista ja näin ollen suunnitteluratkaisuissa pyritään ympäristöystävällisiin ratkaisuihin. Näitä asioita edistävä muun muassa kohteeseen rakennettava maalämpöjärjestelmä, päivänvalon mukaan automaattisesti säätyvä valaistus ja vettä säästävät vesikalusteet.

Suunnittelussa ja rakentamisessa on hyödynnetty tietomalleja, joiden avulla on havainnollistettu rakennettavaa kohdetta. Tietomalleja on myös hyödynnetty talotekniikan törmäystarkasteluissa sekä rakentamisen aikataulutuksessa ja seurannassa.



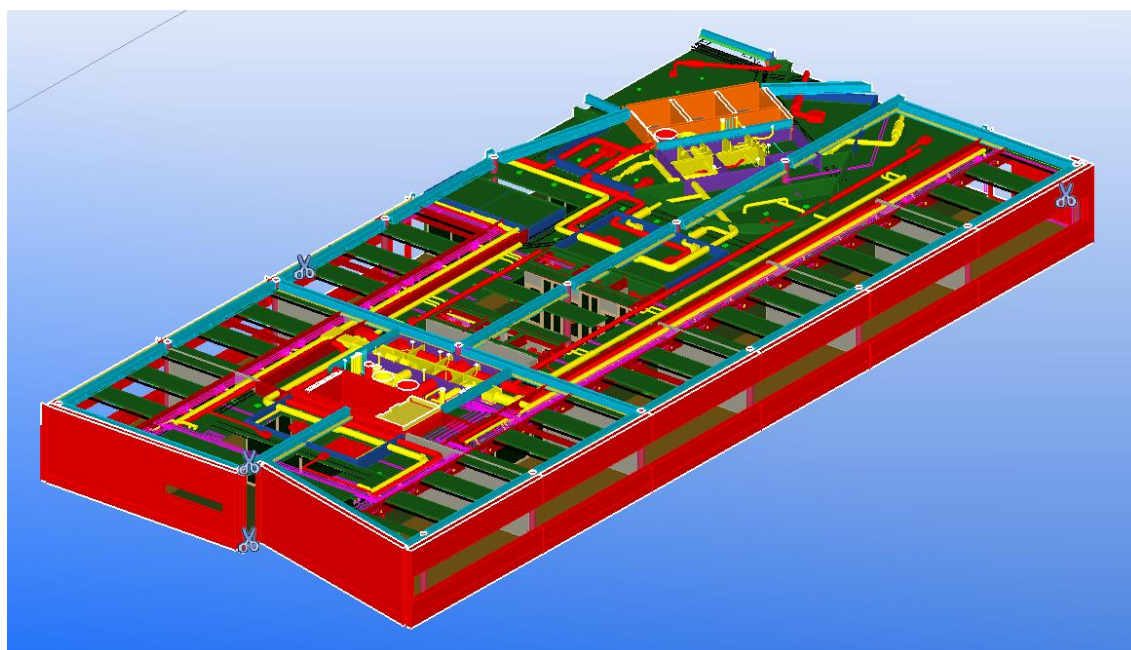
Kuva 4.1 Arkkitehdin havainnekuva rakennuskohteesta. (Lähde: Arkkitehtitoimisto Helin & Co.)

4.2. Tuotannon suunnittelu ja ohjaus tietomallien ja Last Planner menetelmän avulla

4.2.1. Yleistä

Tutkimuksen kohteena on case kohteen 4. kerroksen A-lohkon sisävalmistustöiden suunnittelu tietomallia ja Last Planner menetelmää apuna käyttäen. Kuvassa 4.2 on esitetty yhdistelmämalli suunniteltavasta alueesta. Yhdistelmämallissa on näkyvissä rakenne-, arkkitehti-, lvi- ja sähkötietomalli. Tavoitteena on luoda 4D-aikataulu, joka sisältää:

- muuratut väliseinät,
- otsarakenteet,
- ilmanvaihtokanavat,
- vesi- ja viemärijärjestelmät,
- lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät sekä
- kaapeliyhlyasennukset.



Kuva 4.2 Yleiskuva suunniteltavasta alueesta.

4.2.2. Käytettävät ohjelmat

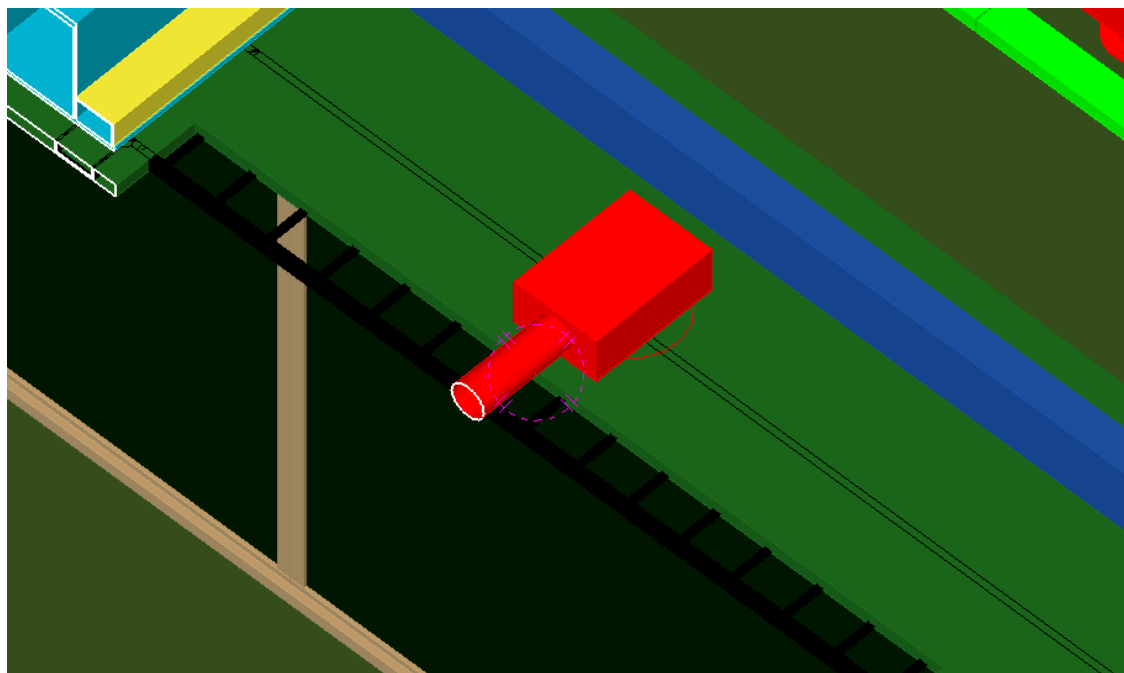
Tutkimuksessa on käytetty pääsääntöisesti Teklan ohjelmia. Käytössä olivat Tekla Structures Construction Management moduulilla varustettuna ja Tekla BIMsight. Lisäksi käytössä oli Solibrin Model Checker ohjelma. Aikataulutusta, visualisointia ja törmäystarkasteluja tehtiin Teklan ohjelmilla, kun taas materiaalmääriä laskettiin Solibrin ohjelmalla.

4.2.3. Valmisteleva suunnittelu

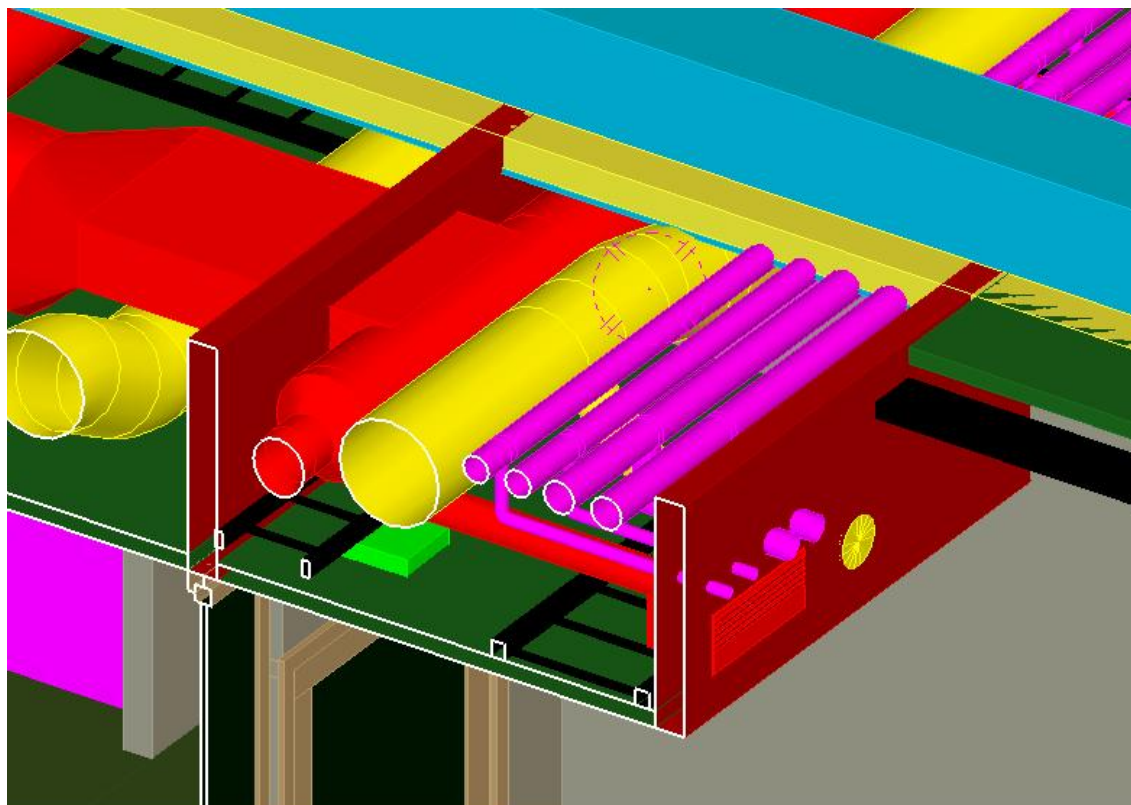
Valmistelevan suunnittelun tehtävänä on varmistaa, että riittävä määrä aloituskelpoisia tehtäviä jokaiselle viikolla on olemassa. Tärkeä osa valmistelevaa suunnittelua on suunniteltujen tehtävien aloitusedellytysten varmistaminen. Valmisteleva suunnittelu tulisi tehdä 4-6 viikkoa ennen varsinaista toteutusajankohtaa, jolloin on vielä aikaa ennalta ehkäistä mahdollisia ongelmatilanteita. Tietomallien käyttö valmistelevassa suunnittelussa auttaa muun muassa suunnitelmien tarkastamisessa ja yhteensovittamisessa, tehtävien visualisoinnissa, työjärjestysten suunnittelussa, logistiikan ja varastoinnin suunnittelussa sekä työturvallisuuden suunnittelussa.

Suunnitelmien tarkastaminen

Ensimmäinen vaihe valmistelevassa suunnittelussa on suunnitelmien eli tässä tapauksessa tietomallien läpikäynti. Läpikäyntiin voidaan käyttää automaattista törmäystarkastelua, mutta se voi antaa virheellisen kuvan todellisesta tilanteesta, sillä kaikki törmäykset eivät ole toteutuksen kannalta oleellisia. Automaattisen törmäystarkastelun lisäksi törmäykset on hyvä tutkia myös manuaalisesti, jotta todelliset ongelmakohdat saadaan selville. Kuvissa 4.3 ja 4.4 on esitetty tutkittavan kohteen ongelma-kohtia.



Kuva 4.3 Kaapelihylly kulkee alakaton kanssa samassa korossa ja iv-päätelaite törmää kaapelihyllyyn.



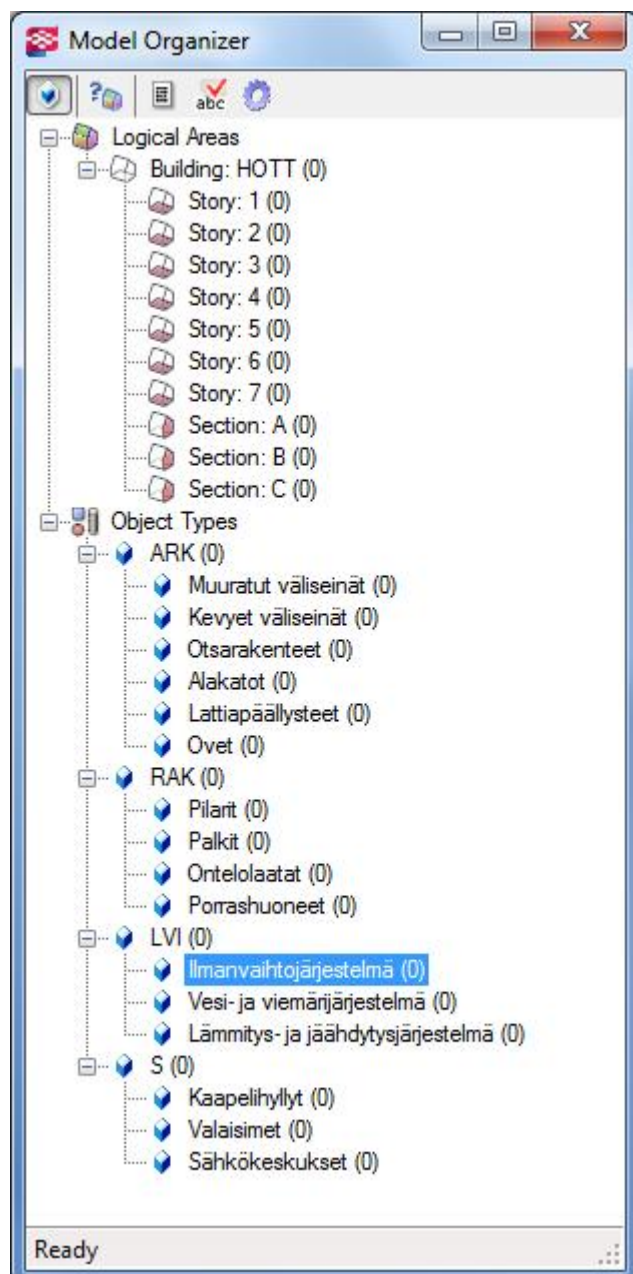
Kuva 4.4 Jäähdytys- ja lämmitysputket sekä ilmanvaihtokanava törmäävät palkkiin. Muutosten vaikutukset alla olevaan talotekniikkaan sekä alakattomaailmaan on tutkittava.

Ongelmakohdat tulee käydä läpi suunnittelijoiden kanssa pitämällä erillinen risteilypalaveri, jossa sovitaan tarvittavista toimenpiteistä ongelmien ratkaisemiseksi. Palaveri on pidettävä hyvissä ajoin ennen työmaavaiheen aloitusta, jotta suunnittelijoilla on aikaa ratkaista ongelmat riittävällä tarkkuudella. Rakentamisen käynnistyessä suunnitelmien tulisi olla kunnossa, jotta rakentamisen aikaisilta ongelmilta vältytään. Näin ollen työ voidaan toteuttaa ennakkoon suunnitellussa järjestyksessä, jolloin säästetään aikaa ja rahaa.

Tietomallien järjestely

Törmäystarkastelujen jälkeen suunnittelijoiden tietomallit voidaan järjestellä uudelleen. Tavoitteena on järjestellä tietomallit työjärjestyksen suunnittelua mahdollisimman hyvin palvelevalla tavalla. Tämä helpottaa eri työvaiheiden suunnittelua ja eri järjestelmäkokonaisuuksien hahmottamista.

Suunnittelijat toimittivat omat tietomallinsa työmaan käyttöön IFC-muodossa. IFC-mallit tuotiin Tekla Structures ohjelmaan, jonka avulla tietomalleista pystyttiin Model Organizer työkalulla tekemään sellaisia kokonaisuuksia kuin itse haluttiin. Kohteen arkkitehti ei mallintanut, mutta työmaalta löytyi mallintamistaitoinen henkilö, joka laati arkkitehtimallin 2D-kuvien pohjalta. Arkkitehdin tekemä tietomalli on erittäin tärkeässä roolissa rakennustyömaan tuotantoa suunniteltaessa.



Kuva 4.5 Tietomallien järjestely Model Organizer työkalulla.

Tässä työssä esiintyviä tietomalleja ovat arkkitehdin tietomalli, rakennesuunnittelijan tietomalli, lvi-suunnittelijan tietomalli ja sähkösuunnittelijan tietomalli. Edellä mainittujen tietomallien järjesteleminen Tekla Structuresin Model Organizer työkalulla on yksi aikaa vievimpiä tehtäviä, mutta palkitsee lopulta käyttäjänsä. Esimerkiksi tietomallien objektien linkittäminen aikatauluun helpottuu merkittävästi, kun tietomallit on järjestelty järkevasti. Kuvassa 4.5 on esitetty yksi tapa tietomallien luokitteluun. Rakennus on ensin jaettu loogisiin alueisiin kerroksittain ja lohkoittain.

Tämän jälkeen eri suunnittelualojen malleista on mietitty kokonaisuuksia, jotka on hyvä erottaa. Arkkitehtimallista on töiden suunnittelun kannalta hyvä erottaa ainakin muuratut väliseinät, kevyet väliseinät, otsarakenteet, alakatot ja lattiapäällysteet. Rakennemallista on puolestaan eroteltu pilarit, palkit, ontelolaatat ja porrashuoneet. LVI-suunnittelijan tietomallista on eroteltu eri järjestelmät omiksi ryhmikseen. Erottelua on mahdollista viedä vielä

tarkemmalle tasolle. Ilmanvaihtojärjestelmästä voidaan erotella tulo- ja poistoilmapuoli ja edelleen runko- ja haarakanavat omiksi ryhmikseen. Sähkösuunnittelijan tietomallista omiksi ryhmikseen on hyvä jakaa kaapelihiyllyt, valaisimet ja sähkökeskukset.

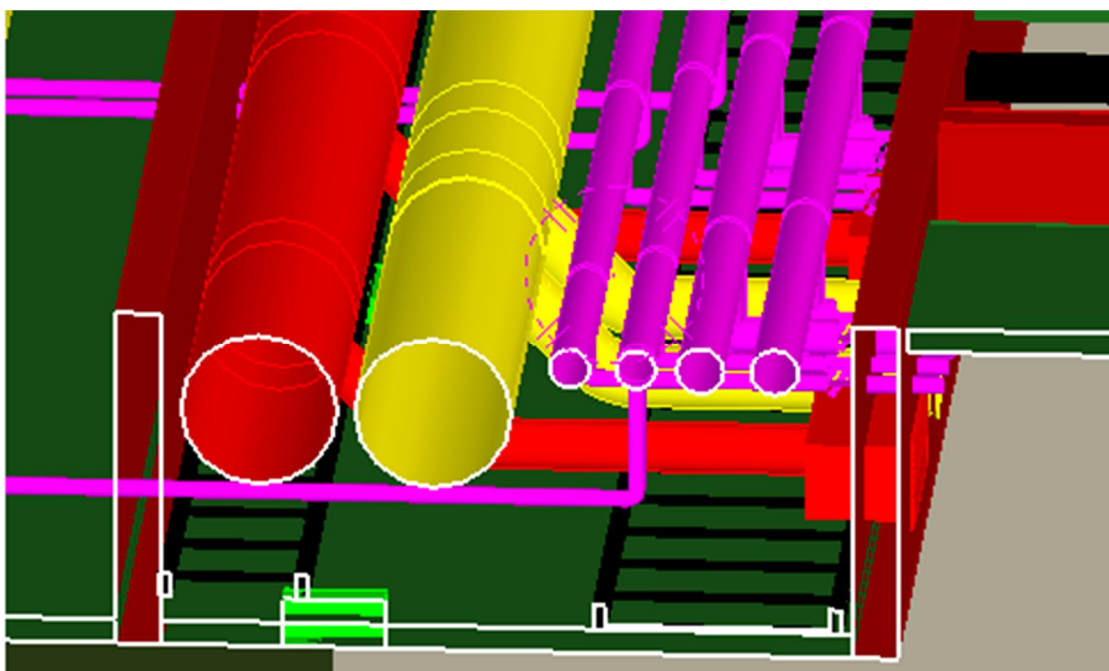
Asennusjärjestyksen ja virtauksen suunnittelu

Törmäystarastelujen ja tietomallien järjestelyn jälkeen voidaan suunnitella looginen asennusjärjestys ja virtaus rakennustöille. Asennusjärjestyksen suunnittelu helpottuu huomattavasti, kun tietomallit on järjestelty hyvin. Erilaisten näkymien luominen kuin myös työvaiheiden hahmottaminen helpottuu. Case kohteen suunniteltavia tehtäviä ovat:

asennusjärjestys eri talotekniikkajärjestelmille vaikeammissakin tilanteissa. Kuvasta 4.7 voidaan päätellä seuraavanlainen asennusjärjestys käytävän talotekniikalle:

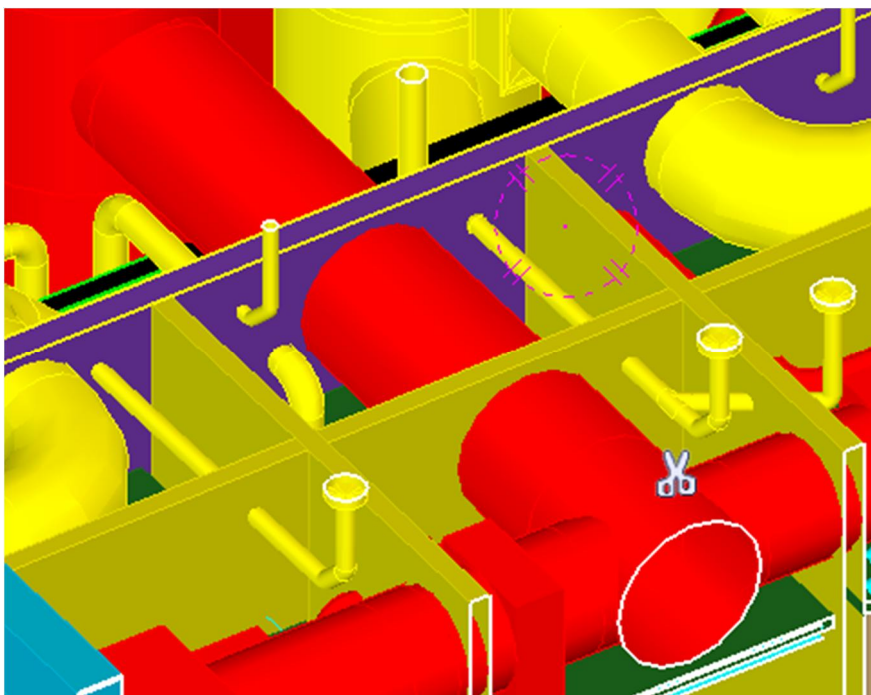
1. Ilmanvaihdon runkokanavat
2. Jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmän runkoputket
3. Jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmän haaraputket
4. Ilmanvaihdon haarakanavat
5. Kaapelihyllyt

Työjärjestyksen suunnittelu onnistuu helposti yhdeltä istumalta. Tietomallista nähdään helposti oikea järjestys, eikä korkomaailmaan tarvitse vielä perehtyä millin tarkasti tässä vaiheessa. Tärkeää on edelleen tehdä havaintoja mahdollisten törmäysten varalta, vaikka törmäystarkastelut on jo tehty aiemmassa vaiheessa.



Kuva 4.7 Toimiston käytävän alakaton yläpuolella sijaitseva talotekniikka.

Talotekniikan tarpeet tulee huomioida hyvissä ajoin. Tällä tarkoitetaan, että esimerkiksi kaikkia muurattavia seiniä ei tarvitse muurata lattiasta kattoon, sillä suurille ilmanvaihtokanaville on jätettävä tilaa. Tilannetta on havainnollistettu kuvassa 4.8. Talotekniikkaa varten on myös tehtävä läpimenot otsarakenteisiin valmiiksi, jotta lvis-työt pääsevät etenemään mahdollisimman hyvin. Jos suunnitelmat on laadittu riittävällä tarkkuudella, ei reikien sijaintien kanssa pitäisi tulla ongelmia.



Kuva 4.8 Kuilulta lähteville suurille ilmanvaihtokanaville on jätettävä tilaa muuratun väliseinän (lila ja keltainen) yläpäähän.

Asennusjärjestys tulee suunnitella virtauksen kannalta järkevästi. Jokaisella työvaiheella on oltava oma aikansa, jolloin toteutus on suoritettava tietyllä alueella. Näin työvaiheet eivät kasaudu samalle alueelle ja vältetään päällekkäin samalla alueella tapahtuvia töitä. Rakennuskohteiden lohkottaminen on hyvä keino alueiden varaamiseen, mutta joskus lohkot voivat olla yksin niin isoja, että on tarpeen jakaa lohkot edelleen pienempiin osiin. Esimerkkikohteessa on kaksi käytävää, jotka voidaan toteuttaa eri aikaan ja tällä tavoin suunnitella työn virtausta.

Kun asennusjärjestys on suunniteltu ja aikataulutettu, pidetään palaveri työhön osallistuvien aliurakoitsijoiden työnjohtajien kanssa. Palaverissa käydään läpi laadittu tuotantosunnitelma ja sitoutetaan aliurakoitsijat toimimaan suunnitelman mukaisella tavalla. Aliurakoitsijat voivat vielä tässä vaiheessa tuoda esiin omia näkemyksiään asennusjärjestyksestä tai yleisistä toimintatavoista. Tavoitteena on kokonaisuuden kannalta paras mahdollinen toteutusvaihtoehto. Yhteisen palaverin jälkeen jokaisen urakoitsijan tulisi olla tietoinen niin omasta kuin muidenkin urakoitsijoiden aikatauluista. Näin ollen tiedetään omien töiden mahdollisen viivästymisen vaikutus muihin töihin. Tärkeää on myös, että tiedot kaikista mahdollisista ongelmista saadaan nopeasti, jolloin ongelmiin voidaan vaikuttaa heti.

Aloitusedellytykset eri työvaiheille

Eri työvaiheet eroavat myös aloitusedellytystensä osalta. Kaikkia jäljempänä mainittuja aloitusedellytyksiä ei välttämättä tarvitse varmistaa, mutta joillain tehtävillä lista voi olla pidempikin. Kertauksena vielä Last Planner -menetelmän mukaan yleiset aloitusedellytykset tehtäville ovat:

- tuotantonopeus,
- suunnitelmat,
- edeltävät työt,
- liittyvät työt,
- materiaalit,
- olosuhteet,
- turvallisuus,
- mesta,
- koneet ja kalusto sekä
- jätehuolto.

Yksi valmistelevan suunnittelun tehtävistä on määrittää aloitusedellytykset eri työvaiheille. Varmistettavat aloitusedellytykset määräytyvät aina kunkin tehtävän mukaan. Aloitusedellytyksiä määritettäessä voidaan apuna käyttää RATU-kortteja. Esimerkiksi otsarakennetöiden aloitusedellytysten lista näyttää seuraavalta:

- muuraukset valmiit,
- suunnitelmat kunnossa,
- mesta siivottu edeltävien työvaiheiden jäljiltä,
- telineet tilattu,
- aliurakoitsijan kanssa aloituspalaveri pidetty, aikataulu käyty läpi, aikataulutavoitteet tiedossa ja resurssit määritelty,
- jätehuolto järjestetty,
- materiaalimenekit tiedossa, materiaalit tilattu ja tarvittava tila varastoinnille suunniteltu.

Vastaavanlainen lista tulee määrittää valmistelevan suunnittelun aikana jokaiselle työtehtävälle. Näin helpotetaan viikkosuunnittelun taakkaa, kun aloitusedellytykset on valmiiksi listattu. Työnjohtajien tehtävänä on varmistaa, että vaaditut aloitusedellytykset ovat kunnossa ja tarvittaessa he täydentävät aloitusedellytysten listaa, jos huomaavat siinä puutteita. Jos kaikkia aloitusedellytyksiä ei pystytä varmistamaan, ei kyseessä olevaa tehtävää voida ottaa mukaan viikkosuunnitelmaan.

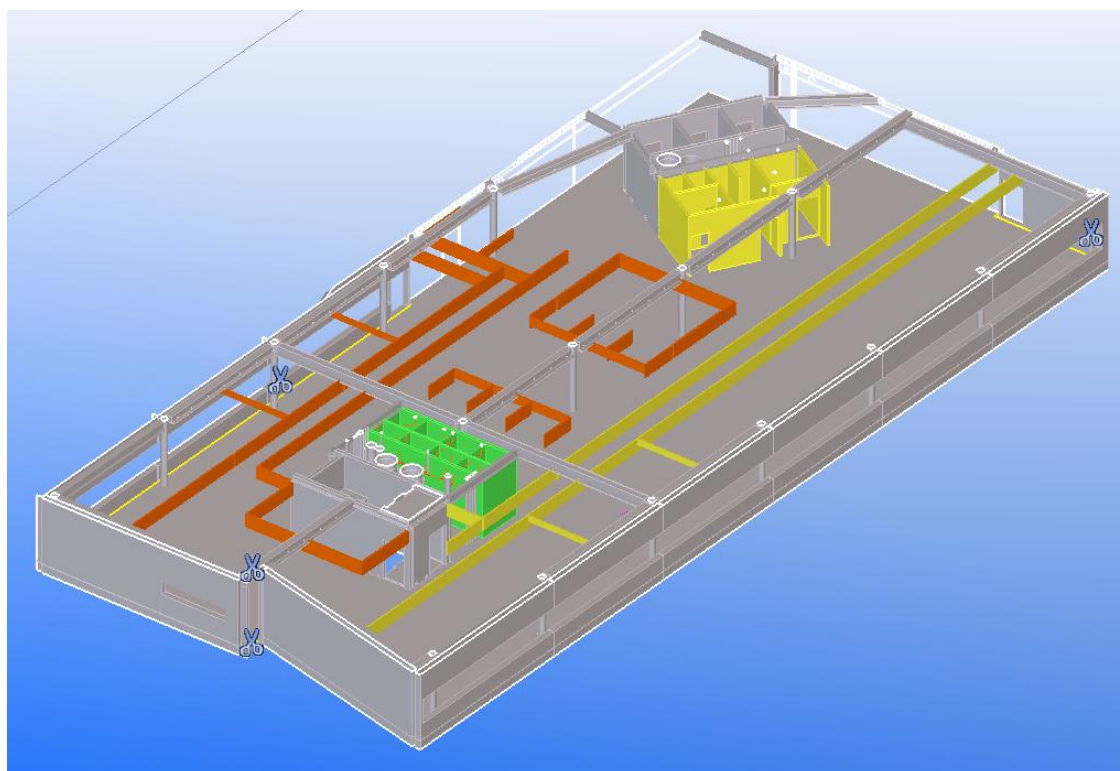
Viikkosuunnittelua tehtäessä on varmistettava tarvittavat resurssit, työmenekit ja materiaalimenekit, minkä jälkeen voidaan helposti suunnitella telinetarpeet ja varastoinnit. Tietomallia voidaan tässä kohtaa hyödyntää varastointialueiden suunnittelussa ja materiaalimenekien tarkistamisessa. Tietomallista voidaan ottaa kuvakaappauksia kerroksittain, joihin voidaan merkitä erikseen varastointialueet eri urakoitsijoille. Kun yhteen kuvaan merkitään jokaisen urakoitsijan varastointialueet, ei ongelmatilanteita pitäisi syntyä. Tietomallista saatavien materiaalimenekien avulla voidaan suunnitella työmaan materiaalilauksen esimerkiksi urakoitsijoittain ja lohkoittain. Tämä helpottaa työmaan logistiikkaa ja varastointia. Hyvä logistiikka- ja varastointisuunnittelu on tärkeää etenkin työmailla, joilla ei ole suuria varastointitiloja.

4D-aikataulu

Ennen 4D-aikataulun luomista tulee tietomallit olla järjesteltynä aikataulutuksen kannalta sopivalla tavalla ja aikataulu tulee olla suunniteltuna. Kun nämä vaiheet ovat valmiit, voidaan aikataulu ja tietomallit linkittää keskenään. Näin saadaan aikaan erittäin hyvä visuaalinen aikataulu, jossa väreillä voidaan eritellä eri töiden työvaiheita. Tietomallien ja aikataulun linkitys tapahtuu Tekla Structuresin Task Managerilla. Task Manageriin luodaan halutut tehtävät ja niihin linkitetään tietomalleista niihin kuuluvat objektit. 4D-aikataulun esittämistapa tulee olla selkä ja helppolukuinen. Tämän vuoksi käytettävät värit tulee miettiä tarkkaan ja värikoodien merkitykset tulee avata, jotta väärinkäsityksiltä vältytään.

Kuvassa 4.9 on esitetty 4D-aikataulu käytännössä. Kuvassa näkyviä tehtäviä ovat muuraustyöt ja otsarakennetyöt. Värikoodien merkitykset ovat seuraavanlaiset:

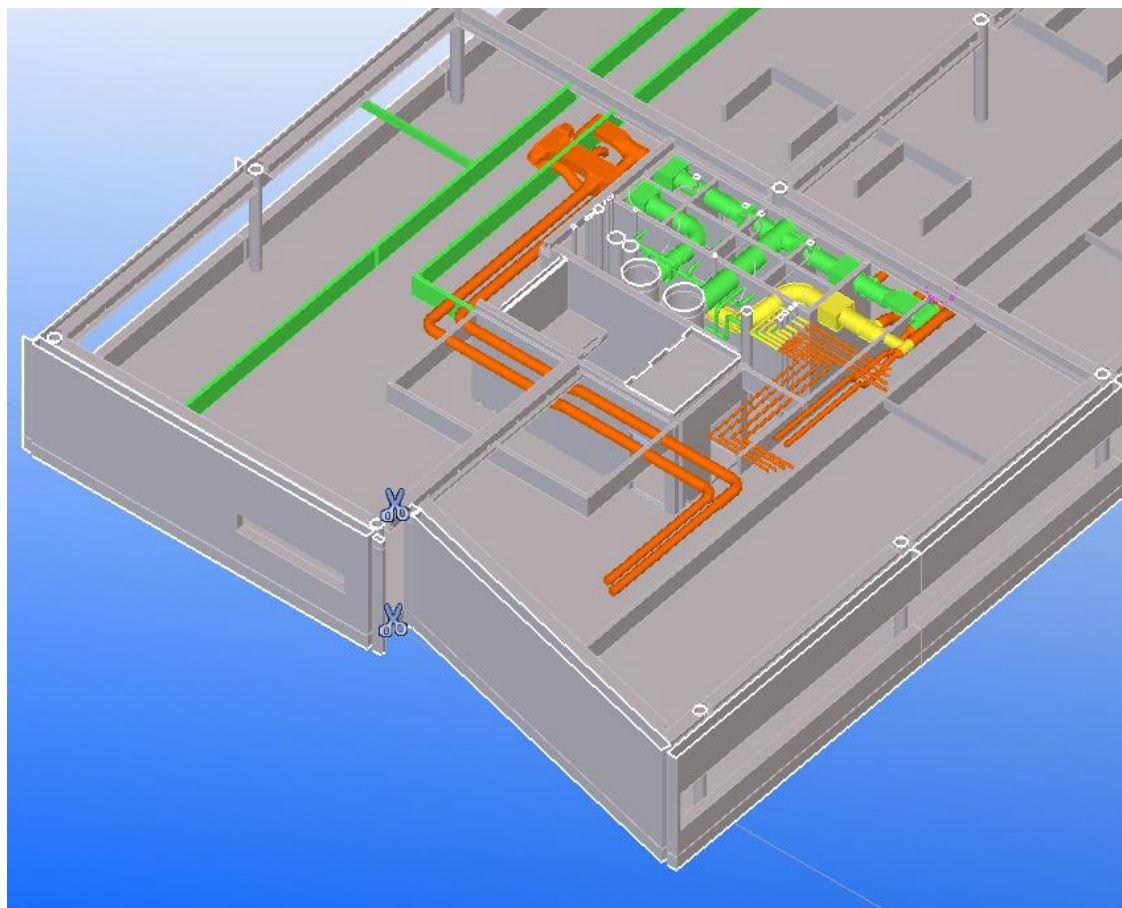
- harmaa = valmistunut työ,
- vihreä = viime viikolla valmistunut työ,
- keltainen = tällä hetkellä käynnissä oleva työ,
- oranssi = kahden seuraavan viikon sisällä käynnistyvä työ.



Kuva 4.9 4D-aikataulu käytännössä.

Näillä tiedoilla voidaan päätellä, että otsarakennetyöt ovat käynnissä pitkällä käytävällä ja muuraustyöt ovat valmistuneet lohkon päädyssä jonka jälkeen muurarit ovat siirtyneet keskialueella oleviin muuraustöihin. Värikoodien käytöstä voidaan sopia aina halutulla tavalla. Tärkeää on kuitenkin, että värit erottuvat selkeästi ja ne ovat yksiselitteisiä.

Kuvan 4.10 4D-aikataulussa on mukana myös talotekniikkatöitä, joiden aikataulutus on mahdollista toteuttaa samalla tavalla kuin muidenkin tietomalleissa näkyvien rakenteiden. Tietomallien avulla talotekniikkatöiden korkojen ja asennusjärjestysten hahmottaminen helpottuu huomattavasti. Tämän vuoksi on hyödyllistä, että talotekniikkatöistä laaditaan myös 4D-aikataulu.



Kuva 4.10 Talotekniikkatöiden 4D-aikataulutusta.

Tietomalleista voidaan saada huomattavia etuja talotekniikkatöiden niin töiden suunnitteluun kuin valvontaan. Kaikkia talotekniikkajärjestelmiä voidaan tarkastella yhdellä istumalla, mikä helpottaa erityisesti kokonaisuuden hahmottamista. Näiden lisäksi myös mahdollisten päällekkäisyyksien hahmottaminen helpottuu.

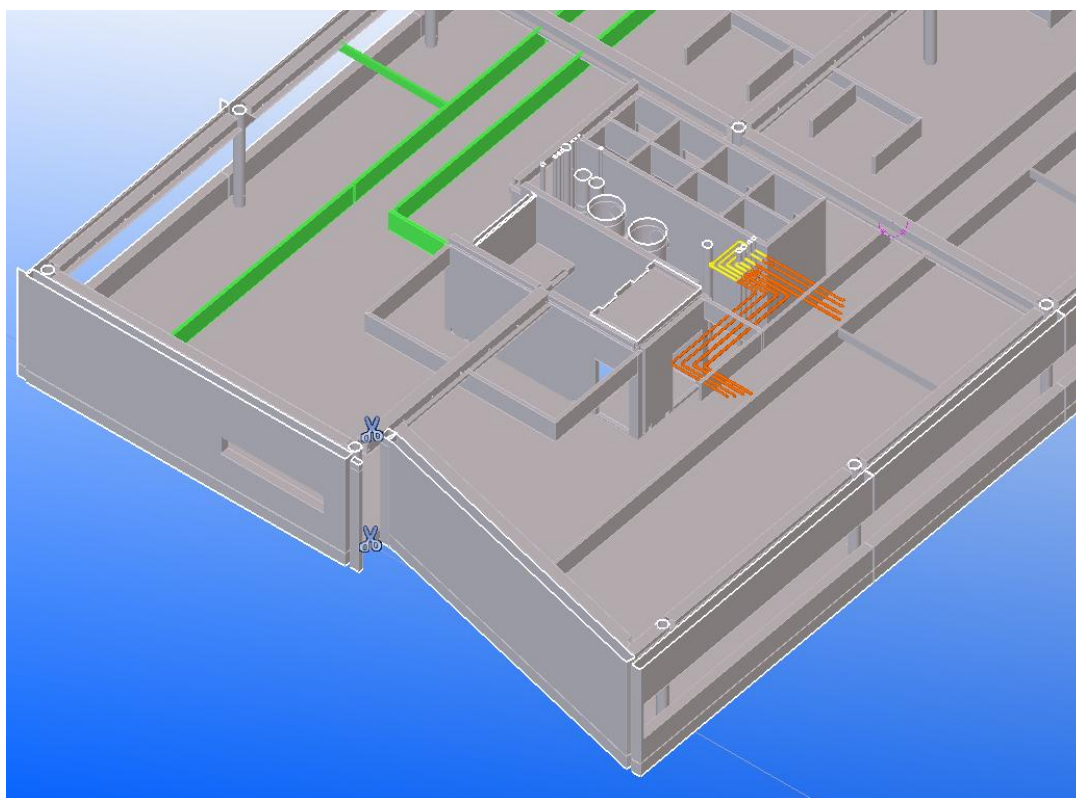
4.2.4. Viikkosuunnittelu

Viikkosuunnittelu pohjautuu valmistelemaan suunnitteluun. Työnjohtajat laativat omat viikkosuunnitelmansa valmistelemaan suunnitelman pohjalta omien vastualueidensa mukaisesti. Sisävalmistustyövaiheessa on tärkeää, että rakennepuolen työnjohtajat toimivat yhteistyössä talotekniikkapuolen työnjohtajien kanssa. Näin on mahdollista saavuttaa kokonaisuuden kannalta paras mahdollinen lopputulos.

Työnjohtajien tehtävänä on varmistaa jokaiselle tehtävällä aloitusedellytysten toteutuminen. Kun aloitusedellytykset on aidosti varmistettu, töiden eteneminen on

jouhevaa ja turhilta ongelmilta työn aikana vältetään. Töiden tarkka suunnittelu ennakkoon vähentää työnaikaisia ongelmia. Kaikille viikkotehtäville on myös asetettava selkeät tavoitteet ja varmistettava, että aliurakoitsijan työnjohtaja on ymmärtänyt asetetut tavoitteet ja sitoutuu tekemään parhaansa tavoitteiden saavuttamiseksi. Listat kunkin tehtävän aloitusedellytyksistä tulisi olla laadittuna jo valmistelevan suunnittelun aikana 4-6 viikkoa ennen varsinaista toteutusta.

Tärkeä osa viikkosuunnittelua on 4D-aikataulun tulostaminen aliurakoitsijoiden työnjohtajien tai nokkamiesten käyttöön. Tulostetulla 4D-aikataululla on helppo esittää viikon tavoitteet ja sitouttaa aliurakoitsija yhteiseen päämäärään. Jokaiselle aliurakoitsijalle on mahdollista tulostaa vain heidän töihinsä liittyvät rakenneosat. Kuva 4.11 esittää samaa tilannetta ajallisesti kuin kuva 4.10, mutta kuvassa näkyy vain valmistuneet työt sekä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmään liittyvät työt. Viikon alussa jokaiselle aliurakoitsijan työnjohtajalle jaetaan 4D-aikataulu viikon tavoitteista ja palaute edellisen viikon töistä sekä tieto onko aikataulussa pysytty.



Kuva 4.11 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmään liittyvät sekä valmistuneet työt 4D-aikataulussa.

Työnjohtajat voivat käyttää tietomalleja viikkosuunnittelunsa tukena myös muilla tavoilla. Esimerkiksi telinearpeiden hahmottaminen onnistuu tietomallin avulla erittäin helposti. Tietomallista on myös mahdollista nopeasti ottaa mittoja, jos on tarvetta tarkastaa suuruusluokkia toteutettavan työn osalta. Määrälaskenta tietomallin avulla onnistuu myös ja tätä tietoa voidaan käyttää materiaalien tilaamiseen. Myös logistiikan ja varastoinnin suunnitteluun voidaan tietomallin kautta hakea tukea. Varastointia ja

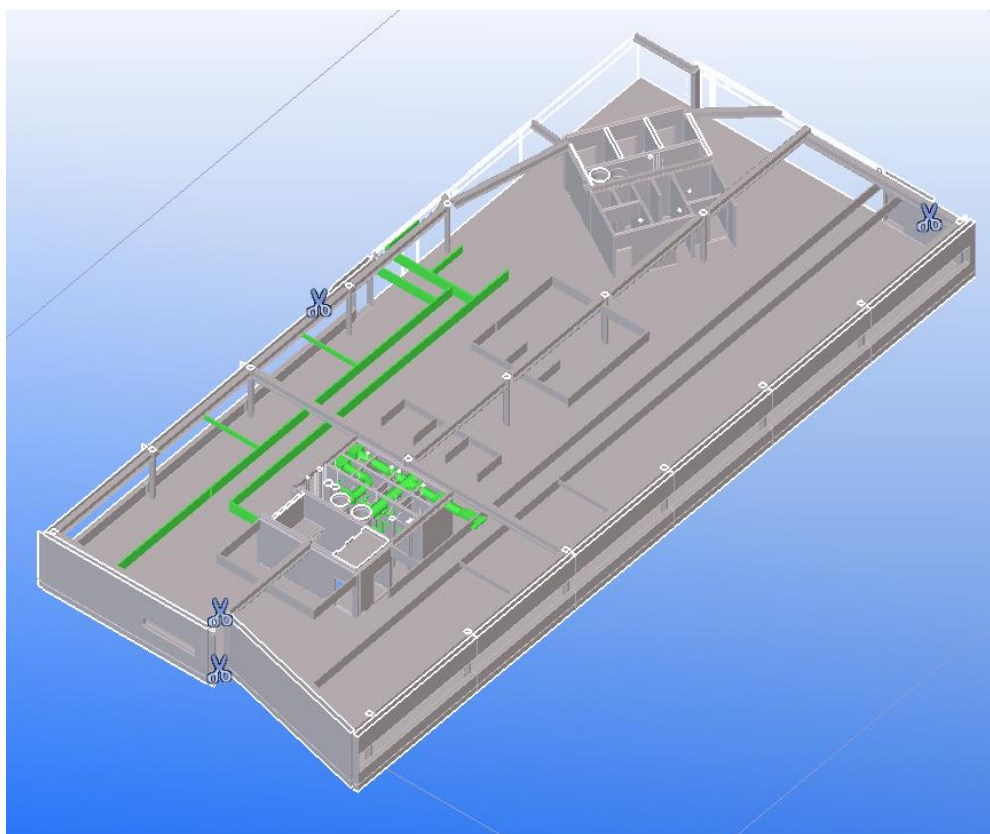
logistiikkaa ajatellen tietomallista voidaan ottaa kuvakaappaus, johon lisätään myöhemmin varastointialueet eri urakoitsijoille. Alueet tulee olla merkitty selkeästi.

4.2.5. Työn toteuman valvonta

Viikkosuunnitelmien töiden toteumaa tulee valvoa aktiivisesti. Mahdolliset ongelmat on heti raportoitava ja kirjattava muistiin. Näin ongelmatilanteisiin voidaan miettiä ratkaisuja tulevaisuutta ajatellen. Viikkosuunnitelman toteuman seurannalla on kolme tärkeää merkitystä, jotka ovat (Koskela et al. 2011):

1. Viikkosuunnitelmat on tarkoitettu toteutettaviksi.
2. Kun työt todetaan valmiiksi, voidaan mesta luovuttaa seuraavalle urakoitsijalle.
3. Tehtävien toteutumatta jäämisestä saadaan tietoa mahdollisista ongelmista.

Viikkosuunnitelmien toteuman valvonta on pääasiallisesti viikkosuunnitelmasta vastaavan työnjohtajan tehtävä. Työnjohtaja valvoo töiden etenemistä työmaalla ja raportoi töiden etenemisestä viikoittain aikatauluinsinöörille, joka päivittää työnjohtajilta saamansa toteumatiedon tietomalliin. Suunniteltua aikataulua voidaan näin verrata toteumaan. Jos suunnitellusta aikataulusta aletaan jäädä jälkeen, tulee asiaan puuttua välittömästi, selvittää syyt aikataulusta jäämiseen ja korjata asia sen vaatimalla tavalla.



Kuva 4.12 Toteuman esittäminen tietomallin avulla.

Työnjohtajat laskevat myös viikoittain tehtävien toteumaprosentin (TTP). Tehtävien toteumaprosentti muodostuu viikkosuunnitelman suunniteltujen ja toteutuneiden tehtävien suhteesta. Viikkosuunnitelman tehtävät merkitään joko toteutuneeksi tai toteutumattomaksi. Tavoitteeksi TTP:lle tulee asettaa yli 80 %, jolloin töiden suunnittelun tason voidaan sanoa olevan hyvällä tasolla. Erinomaisena suoritustasona voidaan pitää yli 85 % tulosta (Koskela et al. 2011).

TTP seurannan tulee olla ehdottoman rehellistä, koska muutoin tavoiteltavissa olevia hyötyjä ei voida saavuttaa. Jotta tehtävä voidaan merkitä valmiiksi, tulee sen olla 100 % valmis. Jos 95 % valmis tehtävä merkitään 100 % valmiiksi, saadaan virheellinen tulos, joka on jatkoa ajatellen hyödytön. Liitteessä A on esitetty työmaalla tehty viikkosuunnitelma.

Tietomalleihin päivitetty aikataulutilanne ja TTP tulokset tulee käydä läpi aliurakoitsijapalaverissa viikoittain. Palaverissa käsitellään toteutuneet tehtävät ja toteutumatta jääneet tehtävät sekä tehtävien kulkua hidastaneet tekijät. Kuvassa 4.12 on esitetty tietomalliin päivitetty toteumatilanne. Toteumatilannetta esitettäessä on hyvä piilottaa näkyvistä suunnitelmissa olevat tehtävät eli näytetään vain toteutuneet työt. Värikoodit ovat samat kuin aiemmin.

4.2.6. Syiden etsintä ja niihin vaikuttaminen

Tärkeä osa viikkosuunnittelua on viikon tavoitteiden toteutumisen tai toteutumattomuuden läpikäyminen. Jos tehtävä on onnistunut tavoitteiden mukaisesti, voidaan olla tyytyväisiä omaan työsuunnittelutasoon. Jos tavoitteista ollaan syystä tai toisesta jääty jälkeen, on oleellista, että syyt tavoitteiden toteutumattomuuteen selvitetään. Syytä tavoitteista jäämiseen voi olla useita, minkä vuoksi on tärkeää tutkia asiaa, jotta seuraavalla viikolla osataan kiinnittää huomiota oikeisiin asioihin. Tavoitteena on, että jatkossa pystytään paremmin huomioimaan ongelmia aiheuttaneita tekijöitä.

Työnjohtajien tulee käydä viikkosuunnitelmansa aina läpi viikon päätteeksi, jolloin he toteavat onko tehtävä tullut tehdyksi. Jos tehtävä ei ole valmistunut suunnitelman mukaisesti, kirjaavat työnjohtajat ylös syitä miksi työ ei ole valmistunut. Työnjohtajien tulee olla myös itsekriittisiä, sillä vika voi myös olla omassa suunnittelussa. Toisin sanoen odotukset ovat olleet liian korkealla todellisuuteen nähden. Yleisimpiä syitä töiden toteutumatta jäämiselle ovat seuraavat:

- materiaalien puute,
- töiden huono koordinointi,
- tiedon puute,
- muutokset,
- resurssien puute,
- työkalut (ei työkaluja tai rikkiäiset työkalut),
- ristiriitaiset suunnitelmat ja

- onnettomuudet.

Syiden ja syyllisten etsintä tulee kuitenkin pitää eri asioina. Tarkoituksena ei ole esittää kenen syytä on, että aiottu työ ei ole valmistunut vaan etsiä kaikki syyt, jotka ovat vaikuttaneet myöhästymiseen. Näin toimittaessa on mahdollista parantaa jatkossa omaa työskentelyä syyttelyn sijaan.

4.3. Tietomallilta vaadittavat ominaisuudet

4.3.1. Yleiset tietomallivaatimukset 2012

Yleiset tietomallivaatimukset 2012 on COBIM kehittämishankkeen tulos. Tietomallintamisen käyttö rakennusalalla on kasvanut nopeasti viime vuosina ja näin on syntynyt tarve yleisille tietomallivaatimuksille. Tällä hetkellä on tarve määritellä entistä täsmällisemmin mitä ja miten mallinnetaan kaikissa rakennushankkeen vaiheissa. (YTV2012 osa 1.)

Yleiset tietomallivaatimukset 2012 koostuu neljästätoista osasta, jotka ovat:

1. Yleinen osuus
2. Lähtötilanteen mallinnus
3. Arkkitehtisuunnittelu
4. Talotekninen suunnittelu
5. Rakennesuunnittelu
6. Laadunvarmistus
7. Määrälaskenta
8. Mallien käyttö havainnollistamisessa
9. Mallien käyttö talotekniikan analyysissä
10. Energia-analyysit
11. Tietomallipohjaisen projektin johtaminen
12. Tietomallien hyödyntäminen rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana
13. Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa
14. Tietomallien hyödyntäminen rakennusvalvonnassa

Jokaisessa osassa esitetään vaatimukset, joiden on tarkoitus selkeyttää tietomallilta haluttuja ominaisuuksia. Vaatimusten lisäksi on annettu ohjeet, jotka auttavat halutun vaatimuksen saavuttamisessa. Tässä tutkimuksessa painotetaan tietomallien hyödyntämistä rakennustuotannon näkökulmasta.

Yleisten tietomallivaatimusten 2012 osassa 11 on esitetty rakentamisen ohjaukseen liittyvät vaatimukset ja ohjeet seuraavalla tavalla:

”Vaatus

Rakennus rakennetaan valmiiksi asiakirjojen ja tietomallien osoittamalla tavalla, rakennustyön aikana päätettävien muutosten mukaisesti. Koordinoidaan

tietomallinnuksen toimintatavat ja yhteistyö. Rakentamisen ohjauksella varmistetaan sopimuksenmukainen toteutus, rakentamisaikaisten tietomallinnustehtävien suoritus, tavoitteet täyttävä lopputulos sekä tarvittavat käyttö- ja ylläpitovalmiudet. Rakennuksen valmistuminen suunnitelmien mukaisesti todetaan vastaanotossa. Tietomallikoordinaattori huolehtii siitä, että kaikki vastuulliset osapuolet ovat toimittaneet sopimuksissa vaaditut toteumatiedot.

Ohje

”Tietomallien avulla voidaan tehostaa erilaisia työmaan prosesseja. Urakoitsija voi hyödyntää tietomalleja työmaalla esimerkiksi:

- kokonaisuuden ja tilankäytön hahmottamisessa
- työvaiheiden aloituspalavereissa
- hankintatoimessa
- sijaintikohtaisessa määrälaskennassa
- mittojen ja korkeusasemien tarkastelussa
- työmaa-alueen käytön suunnittelussa (mm. aidat, työmaatilat, työmaaliikenne, paikoitus, varastointi, sähkö ja valaistus)
- logistiikkasuunnittelussa kuten nostojen ja siirtojen suunnittelussa (esim. torninostureiden ulottuvuudet ja rakennushissien sijoitus)
- konepaja- ja elementtituotannossa
- laitteiden ulkomittojen tarkentamisessa mm. tarvittavien haalausreittien osalta
- työturvallisuussuunnittelussa ja riskien arvioinnissa (esim. putoamissuojaukset, suojakaiteet, suojakatokset, kiinnitykset ja ankkuroinnit)
- telinesuunnittelussa
- urakoitsijapalavereissa ja työvaiheiden aloituspalavereissa
- osapuolten välisessä 4D-aikatauluhallinnassa (suunnittelu, valmistus, asennus)
- visualisoinnissa.”

Tuotantoon luovutettavien tietomallien määrittelyä on käsitelty yleisten tietomallivaatimusten 2012 osassa 13. Vaatimukset ja ohjeet on esitetty seuraavalla tavalla:

”Vaatus

Tuotannon käyttöön luovutettavat tietomallit yksilöidään, ja niiden käyttötarkoitus sekä laadunvarmistus todetaan osapuolten yhteisessä katselmuksessa. Urakoitsijalle esitellään mallien käyttöön liittyvät menettelyt ja käytännöt. Lisäksi sovitaan tarvittavista katselmusmenettelyistä ja -tilaisuuksista rakentamisen aikana. Urakoitsija esittää omalta kannaltaan mihin tarkoitukseen tietomalleja tullaan käyttämään.

Ohje

Urakkaneuvotteluvaiheessa suunnitelmien katselmoinnin yhteydessä järjestetään katselmus, jossa rakennuttaja, pääsuunnittelija ja muut tarvittavat suunnittelijat sekä urakoitsijat toteavat käytössä olevat tietomallit sekä niiden tuottamisessa käytetyt mallinnusohjelmat ja versiot. Samalla todetaan urakkasopimukseen sisältyvät malliversiot. Tuotantoon luovutetaan tietomallien alkuperäis- ja IFC-versiot.

Katselmuksessa todetaan myös tietomallien pääsisältö, käyttötarkoitus, valmiusaste ja versio. Nämä voidaan todeta tietomalliselostuksen avulla, ja samalla varmistetaan, että tietomalliselostus on ajan tasalla. Lisäksi todetaan mahdolliset muut tilaajan suunnittelijoille esittämät mallinnusvaatimukset ja -ohjeet, jotka ovat vaikuttaneet mallien sisältöön ja esim. käytettäviin tunnisteesiin yms.

Katselmuksessa tulee todeta myös, että suunnittelijat ovat tehneet mallien laadunvarmistuksen osaltaan ja mallit on yhteensovitettu yhdistämällä eri suunnittelualueiden mallit. Samalla varmistetaan mahdollisten sovittujen korjausten toteutus tai tilanne. Laadunvarmistukseen liittyvien dokumenttien tulee olla urakoitsijoiden käytettävissä, mm. tietomallivaatimusten osan 6. Laadunvarmistus mukaiset tarkastuslistat.

Katselmuksessa sovitaan myös yhdistelmämallin kokoamisesta, kenen vastuulla kokoaminen on sekä käytettävät työkalut ja osamallit.

Mallisisältöjen lisäksi todetaan muut osapuolten jatkotehtävät ja niihin liittyvät menettelytavat. Näitä ovat mm. mallintamisen eteneminen ja mallien tarkentuminen, erityiset mallien julkaisuvaiheet, työmallien päivitysväli, mallien jakelu projektipankin kautta, muutosten ja versioiden hallinta, laadunvarmistus sekä näihin liittyvät koordinoititehtävät ja vastuut.

Yhtenä osa-alueena katselmuksessa todetaan urakoitsijoiden vastuulla olevat mallinnustehtävät ja -ohjelmistot sekä näiden tietomallien mahdollinen muu käyttö ja jakelu.

Osapuolten tulee myös sopia mitä muuta tietoa malliin tallennetaan sekä kuka määrittelee ja tallentaa tiedon eri malleihin. Näitä ovat esim. suunnitteluaikeakaudun määrittely mallissa, hankintapakettijaon esittäminen tai suunnittelun valmiusasteen esittäminen mallin osille.

Muiden suunnitelmadokumenttien osalta todetaan, mitkä piirustukset on tulostettu mallista, ja on suositeltavaa, että tietomallilähde merkitään näkyviin piirustusluetteloihin.

Tietomallien valmiusasteen ja muiden hankkeen erityistarpeiden perusteella osapuolten tulee sopia myös tarvittavista mallintamista koskevista jatkokatselmuksista.

Tietomallien katselmointi tulee dokumentoida yhteiseen kokousmuistioon tai vastaavaan.”

Tietomalliohjeissa on määritelty vaatimuksia tietomalleille yleisellä tasolla melko hyvin. Jos ajatellaan tietomallien hyödyntämistä työmaalla, on tietomalleilta vaadittavissa asioissa mentävä tarkemmalle tasolle. Riippuen käytössä olevista ohjelmistoista ja tietomallia hyödyntävän tahon tavoitteista, tulisi tietomalleille määritellä erilaisia asioita liittyen tietomalleihin sisällytettäviin tietoihin. Oleellisimpia asioita tuotannon kannalta ovat lohko- ja kerrostiedot, materiaalitiedot ja fyysiset mitat.

4.3.2. Haastattelut

Haastateltavat

Tietomallintamisen tämänhetkistä tilannetta selvitettiin haastattelujen avulla. Haastatteluihin osallistui yhteensä viisi henkilöä eri suunnittelutoimistoista. Mukana oli arkkitehtisuunnittelija, lvi-suunnittelijoita ja sähkösuunnittelija. Tavoitteena oli kerätä eri suunnittelualojen asiantuntijoiden näkemyksiä tietomallintamisen nykytilanteesta ja selvittää minkälaisella tarkkuudella tietomalleja on mahdollista tehdä. Haastatteluihin osallistuivat seuraavat henkilöt:

- Mikko Liikanen, RE-Suunnittelu
- Juha Pentikäinen, ClimaConsult
- Janne Kivelä, Helin & Co
- Roni Leppänen, Lausamo
- Tuomo Korpi, Projectus Team

Haastattelumenetelmänä käytettiin teemahaastattelua. Teemahaastattelun hyvänä puolena voidaan pitää sen vapaamuotoisuutta, jolloin haastattelutilanteesta muodostuu molemmille osapuolille luonteva tapahtuma. Haastattelun runkona toimi yhtenäinen kysymyssarja, joka oli sama kaikille suunnittelijoille. Haastattelukysymykset on esitetty liitteessä B.

Tulokset

Kaikki haastateltavat olivat yksimielisiä siitä, että varsinkin suurten kohteiden suunnittelu tapahtuu pääsääntöisesti mallintamalla. Mallintamalla suunniteltaessa suunnitelmista saadaan laadukkaampia, mutta suunnittelu vie enemmän aikaa (Pentikäinen 2013; Liikanen 2013). Tällä hetkellä mallintamista rajoittavana tekijänä voidaan pitää osaamista. Suunnittelemisen mallintamalla on erilainen prosessi kuin perinteisellä tavalla suunnittelu. Tämä vaatii prosessiuudistuksia ja erityistä huomiota

suunnitteluaikatauluun. (Kivelä 2013.) Luonnollisesti myös rakennuttajilla on suuri vaikutus suunnittelutavan valintaan (Korpi 2013; Leppänen 2013).

Haastateltavat nimesivät mallintamiseen ja mallien tarkastelemiseen yleisimmin käytettävät ohjelmat seuraavasti:

- Autodesk Revit
- Graphisoft ArchiCAD
- MagiCAD
- Autodesk Navisworks
- Solibri Model Checker
- Tekla BIMSight

Listasta puuttuu Tekla Structures ohjelma, jota useat rakennesuunnittelijat käyttävät mallinnustyössään. Haastatteluissa ei kuitenkaan ollut mukana rakennesuunnittelijaa, koska pääpaino tutkimuksessa on sisävalmistustöissä.

Tämänhetkinen mallinnus tapahtuu pääosin YTV2012 ohjeistuksen mukaan, mutta välillä tilaajat voivat vaatia myös tarkempaa suunnittelua. Suunnittelijoiden tavoitteena on mallintaa mahdollisimman tarkasti, mutta tietyt toleranssi on kuitenkin huomioitava. Mallinnus on mahdollista toteuttaa millin tarkkuudella, mutta tarkempi mallinnus ja muutosten tekeminen tarkkoihin malleihin vie enemmän aikaa. Yleisesti ottaen hyvänä toleranssina LVIS-suunnittelussa voidaan pitää 50 millimetriä. Kivelän (2013) mukaan lähes minkä tahansa mallintaminen on mahdollista. Mallintamiselle on kuitenkin varattava sitä enemmän aikaa mitä tarkempia tietomalleja halutaan. On kuitenkin muistettava, että mallinnettavilla asioilla on oltava jokin tarve. Esimerkiksi patteriputkien kytkentäjohtojen millintarkkaa mallintamista voidaan jo pitää tarpeettomana. LVIS-suunnittelijoilla on käytössään kattavat objektikirjastot, joista löytyy muun muassa erilaisia päätelaitteita, sulkuventtiilejä, johtoteitä, sähkökeskuksia ja valaisimia. Leppäsen (2013) mukaan sähkösuunnittelijan tietomalliin on mahdollista mallintaa myös kytkimet ja pistorasiat, mutta tämä tekee mallista raskaan käyttää. Objektikirjastojen avulla voidaan mallintaa olemassa olevilla tuotteilla. Joissain kohteissa urakoitsija on toimittanut suunnittelijoille oman tuotekirjaston käyttämistään tuotteissa, jolloin suunnittelijat pystyvät mallintamaan urakoitsijan käyttämillä tuotteilla.

Tietomalleihin voidaan sisällyttää tietoa lähes rajattomasti. Tavoitteena on kuitenkin, että malleihin sisällytetään vain sellaista tietoa, josta on hyötyä hankkeen osapuolille. Yksi tärkeimmistä tietomallista saatavista tiedoista on määrätieto. Tätä varten tietomallien objektit on tyypitettävä ja määritettävä oikein. Arkkitehtisuunnittelijan tietomallista yleisimmin tarvittuja tietoja ovat:

- tilojen määrät,
- pinta-alat ja
- rakennusosien tyypit.

LVI-suunnittelijoiden tietomalleista löytyy yleisesti seuraavat tiedot:

- putkien koko,
- putkien tyypit,
- laitetiedot,
- eristeet ja
- materiaalipaksuudet.

Sähkösuunnittelijan tietomallissa kerrotaan yleensä:

- tyyppinumerot,
- mallit ja
- käyttöjännitteet.

Kaikkien suunnittelijoiden tietomalleihin lisätään yleensä myös kerros- ja lohkotietoja. Tämä helpottaa materiaalien varastoinnin ja logistiikan suunnittelussa sekä materiaalilistojen tekemisessä. Tietomalleihin voidaan lisätä lähes mitä tahansa tietoa tilaajan tarpeiden mukaan. Tietyille objekteille voidaan antaa yksilöllisiä tietoja, mikä helpottaa esimerkiksi tarkastuksissa. Jälleen on kuitenkin muistettava, että lisättävällä tiedolla on oltava jonkinlainen funktio. Tiedon lisääminen tietomalliin on aina jonkun työtehtävä.

Haastateltujen henkilöiden mukaan suurimmat ongelmat tietomallien kanssa työskennellessä tulevat tällä hetkellä aikatauluista. Suunnittelu-aikatauluissa tulisi huomioida, että mallintamalla suunniteltaessa suunnitteluun tulisi varata enemmän aikaa kuin perinteisessä suunnittelussa. Varsinkin luonnossuunnitteluvaiheessa suunnitteluun joudutaan panostamaan enemmän ja tekemään jo tiettyjä linjauksia lopputulosta ajatellen. Joskus tilaajat haluavat tietomalleja, vaikka tarvittavia lähtötietoja ei ole vielä saatavilla. Suunnittelun rytmittämiseen tulisi kiinnittää entistä enemmän huomiota. Rakenne- ja arkkitehtisuunnittelun tulisi kulkea selkeästi edellä talotekniikkasuunnittelua. Yleinen ongelma on rakennesuunnitelmiin tulevat muutokset myöhäisessä vaiheessa, jolloin talotekniikkasuunnittelu on jo edennyt pitkälle. Rakennesuunnitelmiin ilmestyy esimerkiksi uusia kantavia rakenteita, jotka risteävät ilmanvaihtokanavien kanssa. Arkkitehtisuunnitelmista tärkeä on esimerkiksi alakattomaailma, joka määrittää hyvin paljon taloteknisten päätelaitteiden sijaintia. Hyvällä suunnittelu-aikataululla on mahdollista säästää aikaa ja rahaa. Suurissa kohteissa ongelmaksi saattaa muodostua myös tietomallien suuri koko. Tämänhetkisten tietokoneiden kapasiteetti ei riitä käsittelemään tietomalleja.

Suunnittelijoiden välinen tietomallien jakaminen tapahtuu yleensä projektipankin kautta. Jokainen suunnittelija tallentaa mallinsa projektipankkiin ja voi hakea sieltä muiden suunnittelijoiden malleja. Mallien tallennus projektipankkiin tapahtuu yleensä IFC-muodossa. Tietomallien tallentamisesta projektipankkiin sovitaan yleensä

tietomallintamisen aloituspalaverissa. Sopiva tallennusrytmi on 2-4 viikko riippuen kohteesta. Säännöllisin väliajoin pidetään myös tietomallien yhteensovituspalavereja, joissa käydään läpi eri suunnittelualojen risteilyjä ja sovitaan ongelmien ratkaisemisesta. Projektipankkiin olisi hyvä luoda erilliset kansiot suunnittelijoita ja työmaata varten. Tämä ehkäisee väärinkäsitysten syntymistä ja väärillä suunnitelmilla tapahtuvaa toteutusta.

Tietomallintaminen nostaa suunnitelmien laatua huomattavasti ja helpottaa eri suunnittelualojen suunnitelmien yhteensovittamista. Tilajien tulisi löytää tietomalleista hyötyjä itselleen, jolloin tiedettäisi paremmin mistä maksetaan, kun tilataan tietomallisuunnittelua. Varsinkin luonnossuunnitteluvaiheeseen tulisi varata enemmän aikaa. Hyvien lähtötietojen toimittaminen ja hyvä suunnitteluajakataulu ovat tärkeässä roolissa tietomallisuunnittelun onnistumisessa. Tulevaisuudessa näihin asioihin tulisi panostaa enemmän. Kaikki haastateltavat olivat yksimielisiä, että tietomallien käyttö tulee lisääntymään, kun osaaminen ja käytettävät ohjelmat kehittyvät.

4.3.3. Tutkimuksen aikana tehdyt havainnot

Eri suunnittelualojen suunnitelmien yhteensovittaminen on tärkeässä roolissa etenkin suurissa rakennuskohteissa. Tietomallien avulla törmäystarkastelujen tekeminen helpottuu huomattavasti verrattuna perinteiseen paperikuvien avulla tehtävään suunnitelmien vertailuun. Työmaan työjärjestys tulisi suunnitella hyvissä ajoin, jotta suunnittelijat pystyvät hyvissä ajoin tarkastamaan törmäykset. Työjärjestys voi olla esimerkiksi kerroksittain ylhäältä alaspäin, jolloin suunnittelijat voivat hioa suunnitelmat kuntoon järjestelmällisesti sovittu alue tai kerros kerrallaan.

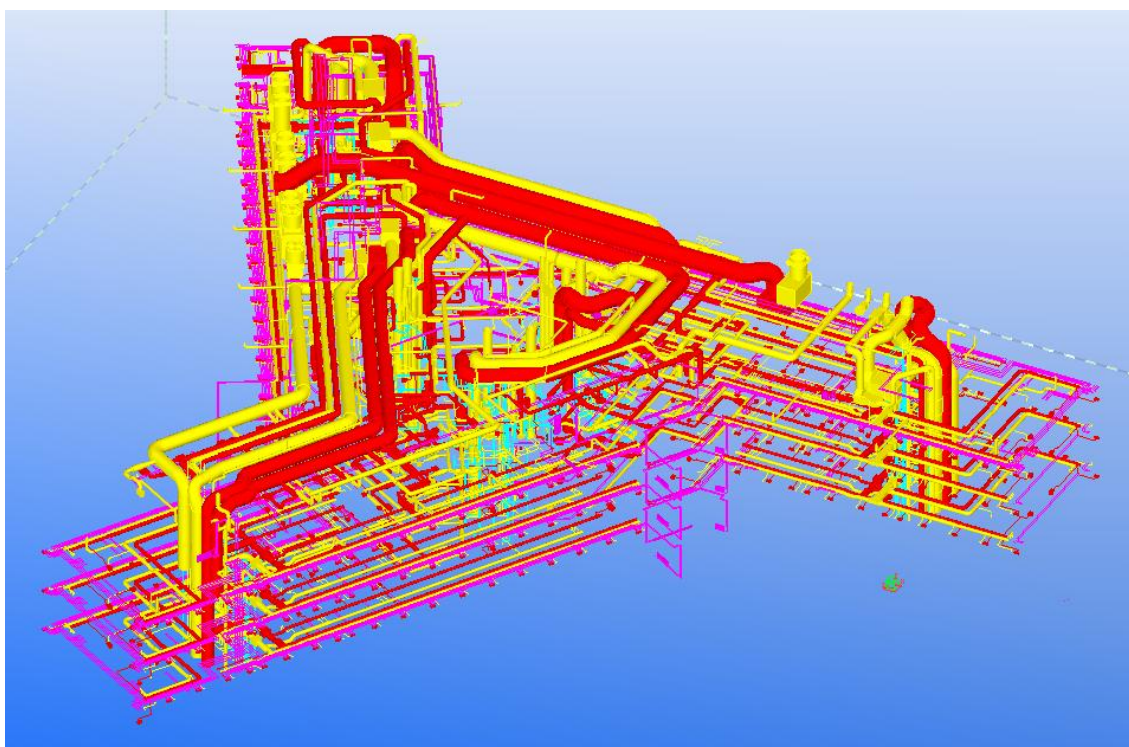
Törmäystarkasteluja varten suunnittelijoiden olisi hyvä jakaa tietomallinsa kerroksittain. Jokaiselta suunnittelijalta tulisi olla oma IFC-malli jokaisesta kohteen kerroksesta. Lisäksi eri järjestelmät olisi hyvä eritellä omiin IFC-malleihin. HOTT kohteessa esimerkiksi LVI-suunnittelijan tietomalli toimitettiin kahtena IFC-mallina. Ensimmäisessä mallissa oli kerrokset 1-3 ja toisessa mallissa kerrokset 4-7. Kuvassa 4.13 on LVI-suunnittelijan IFC-malli kerroksista 4-7. Samassa tietomallissa on esitetty vesi- ja viemäriverkosto, lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä sekä ilmanvaihtojärjestelmä. Jos samaan näkymään lisätään vielä arkkitehdin, rakennesuunnittelijan ja sähkösuunnittelijan tietomallit, voi kokonaisuuden käsittely käydä jo raskaaksi käytössä olevalle tietokoneelle. Tämän vuoksi tietomallit olisi hyvä jakaa pienempiin kokonaisuuksiin. Myös kappaleessa 4.2.3 puhutusta tietomallien järjestelystä tulee helpompaa, jos LVI-suunnittelija luo valmiiksi eri tiedostot eri järjestelmille kerroksittain. Hyvä tapa mallien jakamiseen voisi olla esimerkiksi järjestelmittain:

1. Vesi- ja viemärijärjestelmä
2. Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä
3. Ilmanvaihtojärjestelmä

Myös sähkösuunnittelijan tietomalli voidaan jakaa osiin esimerkiksi seuraavalla tavalla:

1. Johtotiet ja sähkökeskukset
2. Valaisimet

Lisäksi tietomallit voidaan edelleen jakaa kerroksittain, jolloin yhden kerroksen törmäystarkastelujen tekeminen ja töiden suunnittelu helpottuu. Tärkeää on kuitenkin, että kaikille suunnittelijoille on annettu yhtenäiset ohjeet tietomallien tallentamisesta projektipankkiin.



Kuva 4.13 *HOTT kohteen LVI-suunnittelijan tietomalli.*

Työmaan näkökulmasta tärkeimmät asiat tietomallien hyödyntämisessä ovat törmäystarkastelut, materiaalimenekit ja työjärjestyksen suunnittelu. Törmäystarkastelujen avulla voidaan etukäteen selvittää mahdolliset ongelmatilanteet, jolloin työmaalla voidaan keskittyä toteutukseen eikä ongelmanratkaisuun. Materiaalimenekkien avulla voidaan aluekohtaisesti suunnitella työmaan tilaukset, jolloin vältetään turhalta varastoinnilta työmaalla. Työmaan materiaalitilaukset voidaan suunnitella esimerkiksi 1-2 viikon tarpeiden mukaan. Tämä on hyödyllistä etenkin kohteissa, joissa on vähän varastointitilaa. Tavoitteena on saada oikea määrä materiaalia työmaalle oikeaan aikaan ja oikeaan paikkaan. Hyvällä työjärjestyksen suunnittelulla vältetään niin sanottua uudelleen tekemistä. Kun asiat tehdään oikeassa järjestyksessä, ei tarvitse välillä purkaa ja tehdä uudestaan.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1. Yhteenveto

Tietomallien käyttö rakennusallalla on ollut suuressa kasvussa viimeisen vuosikymmenen aikana. Tilaajat, suunnittelijat ja urakoitsijat ovat kaikki löytäneet suuria etuja tietomallipohjaisesta suunnittelusta. Suurissa projekteissa tietomallipohjaista suunnittelua voidaan nykyään pitää jo edellytyksenä projektin toteutukselle. Tulevaisuudessa tietomallipohjainen suunnittelu tulee lisääntymään entisestään ja mahdollisesti kaikki suunnittelu tulee siirtymään tietomallipohjaiseksi.

Projektissa, jossa kaikki suunnittelijat tekevät tietomallipohjaista suunnittelua, on mahdollista ainakin teoriassa ratkaista kaikki ongelmat suunnittelupöydällä. Tietomallipohjaiselle suunnittelulle tulisi kuitenkin varata enemmän aikaa kuin perinteisellä suunnittelutavalla suunniteltaessa. Suunnitteluaiakataulua luotaessa yksi tärkeimmistä asioista on arkkitehtisuunnittelun ja rakennesuunnittelun eteneminen selkeästi talotekniikkasuunnittelun edellä. Tavoitteena on varmistaa, että kaikki kantavat rakenteet ovat kunnossa ennen kuin talotekniikkasuunnittelua lähdetään viemään toden teolla eteenpäin. Usein ongelmia on aiheutunut esimerkiksi uusien palkkien ilmestymisestä rakennesuunnitelmiin, kun talotekniikkasuunnittelua on jo viety pitkälle. Näin tapahtuessa joudutaan talotekniikan reitit suunnittelemaan uudestaan, mikä aiheuttaa ylimääräistä työtä, joka olisi voitu välttää paremmalla suunnitteluaiakataululla.

Rakennusten tarkka suunnittelu ei pitäisi olla ongelma, jos vertauskuvaksi otetaan laiva- tai autosuunnittelu. Laivoissa ja autoissa tarvittavalle tekniikalle on suhteellisesti paljon vähemmän tilaa kuin rakennuksissa, mutta toteutusvaiheen ongelmia ilmenee rakennustuotannossa tähän nähden yllättävän paljon. Yksi erittäin tärkeä osa rakennusten suunnittelussa on suunnittelun ohjaus, jonka tulisi ohjata suunnitelmien valmistumista kokonaisuutta halliten. Hyvällä suunnittelun ohjauksella voidaan aikaansaada hyvät ja luotettavat suunnitelmat, joiden avulla toteutusvaiheessa voidaan enemmän keskittyä toteutukseen eikä suunnitelmien korjaukseen. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa tulisi olla nimettynä tietomallikoordinaattori, joka huolehtii eri suunnittelualojen tietomallien yhteensopivuudesta ja aikataulusta.

Myös urakoitsijat ovat alkaneet hyödyntää tietomalleja entistä enemmän. Tietomalleja käytetään muun muassa törmäystarkasteluissa, töiden suunnittelussa ja aikataulutamisessa. Runkorakenteiden aikataulutusta tietomallien avulla on jo melko yksinkertaista, mutta sisävalmistustöiden aikataulutusta ei vielä suuressa määrin ole tehty. Sisävalmistustöiden aikataulutusta voidaan ainakin teoriassa tehdä samalla tavalla kuin runkovaiheen aikataulutusta. Esimerkiksi arkkitehtimallista on aikataulutettavissa muun muassa muuraukset, otsarakenteet, väliseinät ja lattiapinnoitteet. Muuraukset ja

otsarakenteet ovat helppoja aikataulutettavia, mutta väliseiniin liittyy jo enemmän haasteita. Väliseinät koostuvat rungosta, levytyksestä, villoituksesta, sähköputkituksesta ja tuplauksesta. Näiden kaikkien asioiden esittäminen tietomallin avulla on tällä hetkellä erittäin haastavaa. Lisäksi väliseiniin liittyy myös tasoitus- ja maalaustyöt. Väliseinää voidaan esittää yhtenä objektina, joka voidaan esittää aikataulussa työn alla olevana objektina tai valmiina objektina. Tämä voi mahdollisesti aiheuttaa hämmennystä aikataulutuksessa, koska näkymä ei muutu, vaikka työvaihe on eri. Sama asia aiheuttaa ongelmia alakattotöiden aikataulutuksessa. Esimerkiksi metallikasettikattojen asennustyö koostuu kiinnikkeiden ja rungon asentamisesta, tekniikkasettien asentamisesta ja umpeen laittamisesta. Tekniikkasettien asentamisen jälkeen talotekniikkaurakoitsijat asentavat alakattoihin liittyvät päätelaitteet. Näitä työvaiheita on myös vaikea visualisoida tietomallin avulla, jos alakatot on mallinnettu huoneittain tai alueittain isoina objekteina. Tulevaisuudessa arkkitehdin tehtäviin kuuluu luultavasti alakattojaon tekeminen tietomalliin, jolloin myös talotekniikkasuunnittelijoiden työ helpottuu. Alakattosuunnitelma on tärkeä osa talotekniikan päätelaitteiden osalta. Tämä on myös yksi syy siihen, miksi arkkitehtisuunnittelun tulee kulkea reilusti talotekniikkasuunnittelun edellä.

Talotekniikkaosien aikataulutus tietomallia hyväksi käyttäen onnistuu hyvin ainakin vesi- ja viemärijärjestelmien, ilmanvaihtojärjestelmän, lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän sekä kaapelihyllyjen osalta. Aikataulutus edellä mainituille järjestelmille onnistuu samaan tapaan kuin runkovaiheen aikataulutus. Hyvä ominaisuus talotekniikkamalleille olisi materiaaliluetteloiden ottaminen tietomallista. Jos tietomalleihin pystytään mallintamaan osat sellaisina kuin ne työmaallakin ovat, voidaan tietomalleista ottaa täydelliset osaluettelot. Osaluetteloiden avulla voidaan tilata juuri oikeat osat, juuri oikeaan aikaan ja juuri oikeaan paikkaan.

Töiden suunnittelussa voidaan tietomallien lisäksi hyödyntää myös Lean Construction työkalua nimeltään Last Planner. Menetelmä on saanut alkunsa jo 1990-luvun alussa, mutta ei jostain syystä ole vielä vakiintunut käytäntö työmaan ohjauksessa. Menetelmän tavoitteena on erityisesti vähentää tuotantovaiheessa syntyvää hukkaa. Rakennusalan hukkaa ovat muun muassa huono laatu, rakennettavuusongelmat, huono materiaalien hallinta, materiaalihukka, tuottamaton työskentely, työskentely epäsuotuisissa olosuhteissa ja turvallisuuden puute. Hukan vähentämiseen pyritään tarkalla töiden suunnittelulla ja aloitusedellytysten varmistamisella. Yleisimmät varmistettavat aloitusedellytykset ovat tuotantonopeus, suunnitelmat, edeltävät työvaiheet, liittyvät työvaiheet, materiaalit, olosuhteet, turvallisuus, mesta, koneet ja kalusto sekä jätehuolto. Aloitusedellytykset ja niiden varmistaminen tuntuvat töiden toteutuksen kannalta luontevilta asioilta, mutta yllättävän usein niiden varmistaminen kuitenkin laiminlyödään tai oletetaan kaiken olevan kunnossa sen enempää asioita tutkimatta. Tärkeää on siis todella varmistaa, että vaaditut asiat ovat kunnossa, eikä vain luulla, että ne ovat kunnossa.

Tietomallia voidaan luontevasti käyttää Last Planner -menetelmän tukena tai päinvastoin. Jos työmaata ohjataan Last Planner -menetelmän oppien mukaan, voidaan

tietomallia hyödyntää valmisteleivassa suunnittelussa suunnitelmien tarkastamisessa, tuotannon virtauksen suunnittelussa, aikataulun esittämisessä 4D-muodossa ja materiaalimenekkien laskemisessa. Viikkosuunnittelutasolla tietomallia voidaan hyödyntää materiaalien tilauksissa, varastoinnin suunnittelussa, telineiden suunnittelussa ja työturvallisuuden tukena sekä tietysti aikataulusuunnittelussa ja aikataulun valvonnassa. Tietomallien ja Last Planner -mentelmän tueksi tuotannon suunnitteluun on hyvä ottaa vielä RATU-kortisto, josta löytyy työ- ja materiaalimenekkejä erilaisille työtehtäville sekä ohjeita työturvallisuuden parantamiseksi. Näiden kolmen asia linkittämiseen tulisi löytää toimiva keino, jolloin tuotannon suunnittelun ja ohjauksen avuksi olisi erittäin hyvä työkalu.

Hyvällä tuotannon suunnittelulla ja ohjauksella on mahdollista lyhentää rakennusaikataulua, kasvattaa työturvallisuutta, parantaa rakentamisen laatua ja luoda kustannussäästöjä. Työkalut hyvään tuotannon suunnitteluun ja ohjaukseen on jo olemassa, mutta niiden hyödyntäminen ei ole itsestäänselvyys. Uusien menetelmien käyttöönotto vaatii uudistuksia myös totuttuihin toimintatapoihin ja prosesseihin, mikä vie oman aikansa, mutta palkitsee varmasti lopuksi. Tietomallien ja Last Planner -menetelmän käyttöönottoon tarvitaan huomattavasti nykyistä enemmän tukea ja koulutusta. Nuoria rakennusalan osaajia tulee rohkaista opettelemaan, kokeilemaan ja tuomaan esiin uusia oppeja ja kehitysehdotuksia. Uusien asioiden jalkauttaminen työmaalle ei onnistu ilman johtajien halua kehittää ja olla tukena jalkauttamisprosessissa.

5.2. Jatkotutkimusideat

Haastatteluja tehtäessä kävi ilmi, että luonnossuunnitteluvaiheeseen varattu aika on sama riippumatta siitä onko kyseessä perinteinen suunnittelu vai tietomallipohjainen suunnittelu. Kaikki suunnittelijat vastasivat, että tietomallipohjainen suunnittelu vaatisi luonnossuunnitteluvaiheessa enemmän aikaa kuin perinteinen suunnittelu, jotta suunnitelmat voidaan tehdä riittävän hyvin. Myös yleisesti tietomallisuunnittelulle tulisi varata enemmän aikaa, koska pitkälle vietyihin tietomallisuunnitelmiin muutosten tekeminen vie enemmän aikaa. Hyvä tutkimuskohde voisi siis olla tietomallipohjaisen projektin suunnittelu-aikataulu.

Toinen mielenkiintoinen aihe voisi löytyä arkkitehtimallin tilaobjektien hyödyntämisestä tuotannon suunnittelussa ja ohjauksessa. Olisiko tilaobjektien avulla mahdollista varata tiloja eri urakoitsijoille ja näin luoda jonkinlaista paikka-aikakaaviota. Etenkin asuntokohteissa tilaobjekteilla voisi olla mahdollista valvoa asuntojen etenemistä vinjetin tyyliisesti. Tilaobjekteille tulisi vain pystyä antamaan tietoja tuotantoon liittyvistä asioista, joita voisivat olla esimerkiksi eri työvaiheiden valmius tilassa. Tilaobjekteja voisi myös hyödyntää luovutusvaiheessa erilaisten testien, toimintakokeiden ja loppusiivouksen valvonnassa.

LÄHTEET

Kirjallisuus

Alarcon, L (editor). 1997. Lean Construction. Rotterdam, A.A. Belkema, 497 p.

Auada, J., Scola, A. & Itri Conte, A.S. 1998. Last Planner as a Site Operations Tool.

Azhar, S., Hein, M. & Sketo, B. 2008. Building Information Modeling (BIM): Benefits, Risks and Challenges.

Ballard, G. 1999. Improving Work Flow Reliability.

Ballard, G. 2000. The Last Planner System of Production Control.

Ballard, G. & Howell, G. 1998. Shielding Production: Essential Step in Production Control. Journal of Construction Engineering & Management

Becerik-Gerber, B. & Rice, S. 2010. The Perceived Value of Building Information Modeling in the U.S. Building Industry. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Vol. 15.

Bertelsen, S. 2004. Lean Construction: Where Are We and How to Proceed? Lean Construction Journal 2004 Vol. 1.

Blakey, R. 2008. An Introduction to Lean Construction. Hospital Engineering & Facilities Management 2008 Vol 6.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. 2008. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc. 490 p.

Hardin, B. 2009. BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows. Indianapolis, Wiley Publishing, Inc. 340 p.

Howell, G.A. 1999. What is Lean Construction. Proceedings, International Group for Lean Construction, 7

Koskela, L. 2000. An exploration towards a production theory and its application to construction. Espoo. Technical Research Centre of Finland, VTT publications 408. 296 p.

Koskela, L. & Howell, G. 2002. The Theory of Project Management: Explanation to Novel Methods. Proceedings, International Group for Lean Construction, 10

Koskela, L. & Koskenvesa, A. 2003. Last Planner -tuotannonohjaus rakennustyömaalla. VTT Tiedotteita 2197. 82 s.

Koskela, L., Koskenvesa, A. & Sipi, J. 2011. Työmaan toimiva tuotannonohjaus: Opas Last PlannerTM -menetelmään. Kouvola, Solver palvelut Oy. 42 s.

Koskenvesa, A. & Sahlsted, S. 2011. Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus.

Kymmell, W. 2008. Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations. USA, McGraw-Hill Professional. 270 p.

Merikallio, L. & Haapasalo, H. 2009. Projektituotantojärjestelmän strategiset kehittämiskohteet kiinteistö- ja rakennusallalla.

Olofsson, T., Lee, G. & Eastman, C. 2008. Benefits and Lessons Learned of Implementing Building Virtual Design and Construction (VDC) Technologies for Coordination of Mechanical, Electrical and Plumbing (MEP) Systems on a Large Healthcare Project. ITcon Vol. 13.

Sacks, R., Akinci, B. & Ergen, E. 3D Modeling and Real-Time Monitoring in Support of Lean Production of Engineered-to-Order Precast Concrete Buildings.

Sacks, R., Radosavljevic, M. & Barak, R. 2010. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. Automation in Construction. 19, 5, pp. 641-655.

Sacks, R., Koskela, L., Dave, B.A. & Owen, D. 2009. The Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. Journal of Construction Engineering & Management.

Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A. & Minkarah, I. 2006. Lean Construction: From Theory to Implementation. Journal of Management in Engineering ASCE.

Staub-French, S. & Khandoze, A. 2007. 3D and 4D Modeling for Design and Construction Coordination: Issues and Lessons Learned. ITcon Vol. 12

Tommelein, I., Riley, D. & Howell, G. 1999. Parade Game: Impact of Work Flow Variability on Trade Performance. Journal of Construction Engineering and Management.

Muut kirjalliset lähteet

RT 10-10992 Tietomallinnettava rakennushanke. 2010.

Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 1. Yleinen osuus.

Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 6. Laadunvarmistus.

Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 11. Projektin johtaminen.

Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 13. Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa.

Haastattelut

Kivelä, Janne. Helin & Co. Helsinki. Haastattelu 25.9.2013.

Korpi, Tuomo. Projectus Team Oy. Espoo. Haastattelu 30.9.2013.

Leppänen, Roni. Lausamo. Vantaa. Haastattelu 27.9.2013.

Liikanen, Mikko. RE-Suunnittelu. Helsinki. Haastattelu 23.9.2013.

Pentikäinen, Juha. ClimaConsult. Espoo. Haastattelu 24.9.2013

LIITTEET

Liite A: Viikkosuunnitelma

Liite B: Haastattelukysymykset

LIITE B: HAASTATTELUKYSYMYKSET

1. Yleiset tiedot: nimi, yritys, työtehtävä, koulutus?
2. Millainen on tämänhetkisen suunnittelun tila yleisesti? Suunnitellaanko mallintaen vai perinteisesti?
3. Millä ohjelmilla mallinnus tapahtuu?
4. Millä tarkkuudella tietomallinnus yleensä tapahtuu?
5. Kuinka tarkasti on mahdollista / järkevää tällä hetkellä mallintaa?
6. Mitä tietoja tietomalleihin yleensä sisällytetään?
7. Onko mahdollista saada materiaalilistat / osaluettelot tietomallista? Mitä vaatii tietomallilta?
8. Mitä ongelmia / haasteita on tietomalleilla suunniteltaessa?
9. Miten tietomalli toimii eri suunnittelijoiden yhteydenpidossa? Miten käytetään, mitä ongelmia, mitä kehitettävää? Entä tuotannon ja suunnittelun yhteydenpidossa?
11. Suunnittelijan näkemys tietomallin hyödyntämisestä työmaalla? (mitä, miten) Hyödyt työmaahenkilöstölle mallintamisen tarkkuuden mukaan?
12. Miten tietomallien käyttöä voitaisi kehittää? Miltä näyttää tietomallien tulevaisuus?
13. Ohjeita / vinkkejä haastattelijalle jatkoa varten?