

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Rakennustekniikka

Projektinhallinta

INSINÖÖRITYÖ

SKANSKAN TUOTANTOMALLIN KÄYTTÖ TUOTANNOSSA

**Työn tekijä: Aini Karling
Työn valvoja: Mika Lindholm
Työn ohjaaja: Simo Laihi**

Työ hyväksytty: __. __. 2008

**Mika Lindholm
yliopettaja**



ALKULAUSE

Tämä insinööriyö tehtiin Skanska Talonrakennus Oy:n Etelä-Suomen asuntorakentamisen yksikölle. Haluan kiittää projektissa mukana olleita Simo Laihia, Mika Alapihaa sekä Juho-Pekka Hämäläistä.

Kiitos myöskin Mika Lindholmille insinööriyön ohjauksesta kuluneen puolen vuoden aikana.

Suuri kiitos Petelle, Penalle ja Ranelle jaksamisesta ja elämän tasapainottamisesta.

Helsingissä 26.3.2008

Aini Karling

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Aini Karling	
Työn nimi: Skanskan tuotantomallin käyttö tuotannossa	
Päivämäärä: 11.4.2008	Sivumäärä: 50 s. + 4 liitettä
Koulutusohjelma: Rakennustekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Projektin hallinta
Työn valvoja: yliopettaja Mika Lindholm	
Työn ohjaaja: Simo Laihi	
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Skanska Talonrakennus Oy:n asuntorakentamisen Etelä-Suomen yksikölle. Skanska Talonrakennus rakentaa 08/2007-12/2008 Kirkkonummelle kolmen kerrostalon kohdetta nimeltä As. Oy Kirkkonummen Lukkarinhovi, jonka tuotantomallintamista tämä insinöörityö käsittelee. Skanskassa käytetään rakennustyömaiden toteutus- ja toteumamalleista termiä tuotantomalli.</p> <p>Tuotantomallit on kehitetty tietomallien pohjalta tuotannon suunnittelun apuvälineeksi. Tuotantomallin avulla voidaan seurata ja ohjata rakentamista projektin edetessä sekä suunnitella tarkasti työmaan toiminnot. Tuotantomallin visuaalinen ominaisuus helpottaa työmaan henkilöstöä suunnittelemaan resursseja, elementtiasennusjärjestyksiä sekä materiaalinostoja. Tuotantomalleilla pyritään tehostamaan tuotantoa ja sitä kautta alentaa kustannuksia. Tuotannon tehostaminen toteutuu määrälaskennan parantumisen sekä hankintojen, aikataulujen ja logistiikan tarkentumisen kautta.</p> <p>Lukkarinhovin tuotantomallin tehtiin Enterprixe Oy:n kehittämällä tuotantomallisovelluksella. Tuotantomallia varten oli kohteen piirustuksista laadittu 3D-malli, johon linkitettiin Control 2007:llä tehty aikataulu. Tuotantomallilla oli tarkoitus tutkia Enterprixen soveltuvuutta tuotannon käyttöön kohteen anturoiden sekä kahden kerrostalon osalta. Insinöörityö tehtiin tuotannonnäkökulmasta.</p> <p>4D-suunnitelmista tehtiin kaksi eri versiota, toinen alkuperäisen aikataulusuunnitelman mukaisesti ja toinen toteutuneiden työsaavutusten mukaisesti. Insinöörityön teonaikana Enterprixe oli vielä vahvasti kehitysvaiheessa ja uusia versioita ohjelmasta ilmestyi kuukausittain.</p>	
Avainsanat: Tuotantomalli, tietomalli, aikataulu, IFC, tiedonsiirto, valvonta, ohjaus, Enterprixe	

ABSTRACT

Name: Aini Karling	
Title: Skanskas Construction Models in Production	
Date: 11.4.2008	Number of pages: 49
Department: Civil engineering	Study Programme: Project management
Instructor: Mika Lindholm	
Supervisor: Simo Laihi	
<p>This final thesis is about construction models and it was made for Skanska Talonrakennus Ltd. Skanska is building three apartment buildings in Kirkkonummi and they together are called As. Oy Kirkkonummen Lukkarinhovi. The building takes place from August 2007 to December 2008.</p> <p>Including the construction timetable into an information model (BIM) results in construction models. The construction models are made to help when organizing the construction site's order. The models are also useful when planning work safety and when creating orders. The visual aspect of the construction model helps site managers plan the resources and take care of both material deliveries and work orders. The construction models are made to increase construction and cost efficiency.</p> <p>Lukkarinhovi's construction model was made with a construction-modelling program made by Enterprixe Oy. First the 3D model had to be made from the construction plans and then the construction timetable was linked to the 3D-model in order to create the construction model.</p> <p>Two different kinds of construction models were made from Lukkarinhovi. Enterprixe's construction modelling programme was incomplete and new versions were released every month.</p>	

SISÄLLYS

ALKULAUSE	2
INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
KÄSITTEET	7
1 JOHDANTO	1
1.1 Insinööriyön tausta	1
1.2 Insinööriyön tavoite	1
1.3 Tutkimuksen toteutus	3
2 TUOTANTOMALLINTAMISEN OSA-ALUEET	4
2.1 Tietomallintaminen	4
2.1.1 Tietomallintamisen vaiheet	4
2.1.2 Tietomallintaminen suunnitteluvaiheessa	6
2.1.3 Tietomallintamisen hyödyt	8
2.1.4 Tietomallintamisen tietotekniikka	10
2.1.5 Tiedonsiirto	11
2.2 Aikataulusuunnittelu	14
2.3 Tuotannonohjaus	18
2.4 Tuotantomalli, 4D-malli	20
3 ENTERPRIXEN TUOTANTOMALLIOHJELMA	23
3.1 3D-mallin luonti	23
3.2 Tuotantomalli Enterprixe-ohjelmassa	24
3.3 Linkitys sekä muokkaus	25
3.4 Päivittäminen	26
3.5 Toteuma	27
3.6 Navigointi	27
4 CASE LUKKARINHOVI	29
4.1 Kohteen tiedot	29
4.2 Lukkarinhovin tietomalli	30
4.3 Lukkarinhovin aikataulusuunnittelu	30
4.3.1 Yleisaikatalu	30
4.3.2 Tarkennettu suunnittelu	32

4.4	Lukkarinhoverin tuotantomalli	33
4.5	Valvonta ja ohjaus toteumamallin avulla	35
5	TUTKIMUSTULOKSET	38
5.1	Hyödyt tuotantomalleista Skanskan näkökulmasta	38
5.2	Miten Enterprixe-ohjelma palvelee tuotantoa	38
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	40
6.1	Käyttökokemukset Enterprixe-ohjelmasta	40
6.2	Kehitysehdotukset	40
7	YHTEENVETO	41
	LÄHDELUETTELO	42
	LIITTEET	44
	LIITE 1 YLEISAIKATAULU, VERSIO 1	
	LIITE 2 YLEISAIKATAULU, VERSIO 2	
	LIITE 3 KÄYTTÖKOKEMUSPÄIVÄKIRJA	
	LIITE 4 ENTERPRIXE OY:N HENKILÖSTÖN HAASTATTELU	

KÄSITTEET

3D-malli	Kolmiulotteinen tietomalli.
4D	3D +aika.
4D-malli	Tietomalli johon on lisätty aikataulutietoa. Ks. tuotantomalli
ArchiCAD	Arkkitehdin suunnitteluohjelmisto.
Allplan	Arkkitehti- ja rakennesuunnitteluohjelmisto.
Attribuutti	Tiedostojen pienin osa, joka määrää objekteille niiden ominaisuudet.
CAD	Computer Aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
Control 2007	Aikatauluohjelma
Enterpuxe	Tuotantomalliohjelma
IFC	Industry Foundation Classes -tiedonsiirtomuoto.
Lohko	Rakentamiselle määritetty osakohde.
Local cache	Enterpuxen välimuisti
Modelling client	Enterpuxen mallinnusohjelma
Navigointi	Tuotantomallin visuaalinen
Objekti	Synonyymi sanalle olio.
Objekti- / Tuotekirjasto	Työkalu, johon on koottu ohjelmistoissa käytettäviä objekteja.
Olio	Synonyymi sanalle objekti. Tiettyä asiaa kuvaavien tietojen kooste, jota sovelluksissa käsitellään yhtenä kokonaisuutena. Oliopohjaisessa mallintamisessa tai tuotemallintamisessa asioita

	kuvataan olioilla, joilla on ominaisuuksia sekä yhteyksiä toisiin olioihin.
Pro It	Tuotemalleja kehittävä yksikkö
Projektipankki	Verkossa toimiva järjestelmä, johon hankkeen osapuolet voivat koota dokumentit.
RFID-tunniste	Radio Frequency Identification. Radiotaajuustunniste.
Smart client	Enterprixen pääpalvelimelle tietoja vievä sovellus.
Solmu	Enterprixen lohko, jolle on myöskin määritetty ajalliset tavoitteet.
Tietomalli	Sama kuin tuotemalli. Todellista kohdetta kuvaava malli, jossa rakenteet sekä materiaalit on mallinnettu todellisuutta vastaavaksi.
Tietomallipalvelin	Keino tallentaa rakennuksen tietomalli yhteen loogiseen sijaintipaikkaan siten, että eri sovellusohjelmat voivat hyödyntää mallia ilman, että itse malli joudutaan kopioimaan järjestelmästä toiseen.
Toteutusmalli	Tuotantomalli suunnitteluvaiheen ratkaisusta.
Toteumamalli	Tuotantomalli toteutuneesta rakentamisesta.
Tuotantomalli	Skanskan termi rakennustyömaiden toteutus- ja toteumamalleille. Ks. 4D-malli
Tuoteosa	Tietystä kaupallisesta tuotteesta tai materiaalista tehtävä rakenneos.
T3-aika	Tehollinen aika, työvuoroaika
T4-aika	Kokonaisaika, työvaiheaika
XML	Control 2007:sta tuotavien tietojen tiedostomuoto

1 JOHDANTO

1.1 Insinööriyön tausta

Skanska Oy on yksi Suomen johtavista rakennusyrityksistä, jonka toimialoihin kuuluvat talonrakentaminen, maa- ja ympäristörakentaminen, talotekniikkapalvelut, toimitilojen ja asuntojen projektikehitys sekä julkisen sektorin elinkaarihankkeet. Skanska Oy on osa Skanska AB-konsernia. Skanska toimii maan laajuisesti Suomessa tuotannon pääpainon ollessa pääkaupunkiseudulla. Skanska Oy on perustettu vuonna 1994 ja henkilöstömäärä on noin 3350.¹

Tämä insinööriyö tehdään Skanska Talonrakennus Oy:n asuntorakentamisen Etelä-Suomen yksikölle. Skanska Talonrakennus rakentaa 08/2007-12/2008 Kirkkonummelle kolmen kerrostalon kohdetta nimeltä As. Oy Kirkkonummen Lukkarinhovi, jonka tuotantomallintamasta tämä insinööriyö käsittelee. Skanskassa käytetään rakennustyömaiden toteutus- ja toteutumamalleista termiä tuotantomalli.

Tuotantomalli eli 4D-malli on vielä yleisesti rakennusalalla pilottivaiheessa. Ajatuksena 4D-mallinnus on ollut jo pitkään olemassa, mutta vasta nyt tietotekniikka ja osaaminen on kehittynyt mahdollistamaan aikataulun liittämisen 3D-malliin. Tuotantomallit on kehitetty tietomallien pohjalta tuotannon suunnittelun apuvälineeksi. Tuotantomallin avulla voidaan seurata ja ohjata rakentamista projektin edetessä sekä suunnitella tarkasti työmaan toiminnot. Tuotantomallin visuaalinen ominaisuus helpottaa työmaan henkilöstöä suunnittelemaan resursseja, elementtiasennusjärjestyksiä sekä materiaalinostoja. Aiemmin mainituilla tuotantomallin ominaisuuksilla pyritään tehostamaan tuotantoa ja sitä kautta alentamaan kustannuksia. Tuotannon tehostaminen toteutuu määrälaskennan parantumisen sekä hankintojen, aikataulujen ja logistiikan tarkentumisen kautta.

1.2 Insinööriyön tavoite

Skanskalla on usealla työmaalla käytössä tuotantomallit, mutta niiden teon sekä muokkauksen hoitaa Enterprixe Oy. Lukkarinhovin tuotantomalli on ensimmäinen ainoastaan työmaan toimihenkilön suunnittelema ja päivittämä.

¹ Skanska Intra

Tulevaisuudessa tuotantomallintamista pyritään siirtämään Skanskan henkilöstön käyttöön, jolloin tarvetta Enterprixe Oy:n konsultoinnille ei ole.

Insinööriyön tavoitteena on kehittää tuotantomallintamista As. Oy Kirkkonummen Lukkarinhovista. Tuotantomalli tehdään perustuksista sekä B- ja A-talojen elementtiasennuksista. Kohteesta 3D-tietomallin loi Enterprixe Oy, johon linkitettiin Vico Softwaren Control -ohjelmistolla tehty aikataulu. Kun tietomalliin on yhdistetty aikataulu, voidaan yhdistelmää pitää 4D-tietomallina eli tuotantomallina. Tavoitteena on myöskin tutkia miten tuotantomalli ja Enterprixe-ohjelma soveltuvat työmaakäyttöön, sekä mitä hyötyä ohjelmasta on. Insinööriyö tehdään tuotannon näkökulmasta, millä pyritään selvittämään tuotantomallien käyttäjäryhmä työmailla. 4D-suunnitelmista tehtiin kaksi eri versiota, toinen alkuperäisen aikataulusuunnitelman mukaisesti ja toinen toteutuneiden työsaavutusten mukaisesti. Insinööriyön teon aikana Enterprixe oli vielä vahvasti kehitysvaiheessa ja uusia versioita ohjelmasta ilmestyi kuukausittain.



Kuva 1: As Oy Kirkkonummen Lukkarinhovi (Enterprixe)

1.3 Tutkimuksen toteutus

Insinööriyö tehdään aikavälillä 29.9.2007-28.3.2008 As Oy Kirkkonummen Lukkarinhovissa. Insinööriyöhön laaditaan kirjallisuustutkimus ja kokeillaan tuotantomallia Enterprike-ohjelmalla case-kohteessa. Kirjallisuustutkimuksessa lähteinä käytetään rakennusalan kirjallisuutta sekä internetsivustoja. Case-tutkimuksen lähtötietoina toimii rakennesuunnittelijoiden 2D-suunnitelmien pohjalta luotu tietomalli, josta tehdään tuotantomalli linkittämällä Control 2007 -ohjelmalla tehtävä aikataulu rakennusosiin. Lukkarinhovin kohteesta tehdään anturoiden teosta ja elementtiasennuksesta toteutus- ja toteutumamallit. Tuotantomallin luontia ja muokkausta käsitellään tarkemmin luvussa 4.3. Insinööriyöhön liittyy myöskin aikataulun suunnittelu ja valvonta, jota suoritetaan viikoittain Tutkimuksen tuloksiin hyödynnettään myös Skanska Talonrakennuksen toimihenkilöiden mielipiteitä ja heidän kanssaan käytäviä keskusteluja, sekä Enterprike Oy:n henkilöstön haastattelua.

2 TUOTANTOMALLINTAMISEN OSA-ALUEET

2.1 Tietomallintaminen

2.1.1 Tietomallintamisen vaiheet

Tietomalli eli tuotemalli on kokonaisvaltainen rakennusprosessin tiedon hallintatapa, joka yhdistää suunnittelussa, tuotevalmistuksessa, rakentamisessa, rakennuksen käytössä, sekä ylläpidossa tarvittavat tiedot. Tietomallit on kehitetty rakennuksen koko elinkaaren ajaksi, rakentamisesta käytön ja huollon apuvälineeksi. Rakennusvaiheessa tietomalli helpottaa resurssien, aikataulun kuin myös tuotannosuunnittelua. Tietomalleja voi hyödyntää rakentamisen ja käytön suunnittelun apuvälineenä, sillä niihin syötetty tieto voidaan eritellä kerroksittain tai ominaisuuksien perusteella.^{2 3}



Kuva 2 Tuotemallipohjainen suunnittelu (VTT)

Perinteinen käsin piirtäen tapahtunut rakennussuunnittelu kehittyi ensin CAD-pohjaiseen suunnitteluun ja siitä taas on vähitellen siirrytty kohti 3D-mallintamista eri ohjelmistojen ja sovellusten avulla. Tietomallitekniologia on kehittynyt vuodesta 2002 lähtien Pro IT -projektin johdosta yhteistyössä rakennusalan johtavien yritysten kanssa. Pro IT -projektin tarkoituksena on kehittää tietomallipohjaista suunnittelu-, toteutus- sekä ylläpitoprosessia lisäämällä niiden hallittavuutta. Tarkoituksena on myös kehittää niiden menetelyitä niin, että ne palvelevat mahdollisimman hyvin projektin kaikkia osa-

² Pro it: Tuotemallintaminen arkkitehtisuunnittelussa

³ Wikipedia

puolia. Rakennusteollisuus RT:n jäsenyritykset ovat laajasti testanneet Pro IT -projektin tuloksia käytännön projektien ja tuotteiden avulla. Kehitystyön ollessa käynnissä kaikkien projektin osallisten sekä sidosryhmien toimesta, tuloksena syntyy yhteiset tietomallintamisen pelisäännöt, menettelytavat sekä ohjeet alalle.⁴

Tietomallinnushankkeen vaiheistus seuraa perinteistä hankkeen vaiheistusta suurelta osin, sillä tietomallien suunnittelu etenee hankkeen vaiheiden mukaisesti. Tietomalli tarkentuu vaihe vaiheelta projektin osanottajien tarpeiden mukaisesti samalla kuin suunnitelmat etenevät. Aluksi tietomalleja hyödynnetään havainnollistamaan alustavia suunnitelmia sekä tilojen tarpeita. Kun hankesuunnitteluvaiheessa on tehty päätös, mitä tullaan rakentamaan, tietomallinnetaan tarvittavat tilat vaatimusmalliksi. Vaatimusmallista ilmenee, mitä tarpeita ja vaatimuksia tulevilla hankkeella on. Kun perusteelliset suunnitelmat tulevasta kohteesta on laadittu, voidaan rakennuksen toteutuksen suunnitteluvaiheessa tehdä tietomallinnuksella toteutusmalli, johon suunnitellaan työmaan toteutus.⁵

Taulukko 1: Rakennushankkeen vaiheet perinteisesti ja tietomallihankkeessa (Pro It)

Perinteinen hankevaiheistus	Päätökset	Tietomallinnushankkeen vaiheistus	Päätökset
Tarveselvitysvaihe	Hankepäätös	Hankeohjelmointi, visualisoinnit, massamallit	Hankepäätös Investointipäätös
Hankesuunnitteluvaihe	Investointipäätös	Vaatimusmalli Tilamalli	
Luonnossuunnitteluvaihe		Alustava rakennusosamalli	Rakentamispäätös
Toteutussuunnitteluvaihe	Rakentamispäätös	Rakennusosamalli	
Rakennuksen toteutuksen suunnitelmat		Toteutusmalli	
Rakentamisen suunnitelmien lopullinen toteuma	Vastaanottopäätös	Toteumamalli	Vastaanottopäätös
Käyttöönottovaihe	Takuiden vapauttaminen	Ylläpitomalli	Takuiden vapauttaminen

⁴ Diplomityö: Juhani Salo

⁵ Pro it: Tuotemallintaminen rakennushankkeessa yleiset periaatteet s.27-32

Toteutusmallia päivittämällä valvontatiedon mukaisesti saadaan aikaiseksi toteumamalli, jota tutkailemalla voidaan perehtyä rakentamisen todelliseen kulkuun. Rakennushankkeen valmistuttua voidaan tietomallin tietoja hyödyntää laatimalla ylläpitomalli, jota voidaan hyödyntää huoltotoimenpiteiden yhteydessä esimerkiksi määrälaskennan osalta.⁶

2.1.2 Tietomallintaminen suunnitteluvaiheessa

Tietomallintamisella pyritään saamaan suunnitelmien lopputuloksesta sekä suunnitelmien tietosisällöistä tarkempia ja monipuolisempia. Lisäksi tietomallinnuksella pyritään parantamaan havainnollisuutta, helpottamaan tarkastelua, aikaistamaan suunnitteluvirheiden havaitsemista sekä parantamaan tietomallien sisältämien tietojen jatkohyödyntämistä. Tietomallintamisella tuotettua suunnitelmatietoa voidaan hyödyntää rakennuttajan ja rakennuksen tulevan käyttäjän päätöksenteossa, tuoteosien valmistuksessa, rakentamisen tuotannosuunnittelussa, rakentamisessa sekä kiinteistötiedon hallinnassa.⁷

Tietomallipohjaisessa suunnittelussa suunnittelijat suunnittelevat 2D-suunnitelmien sijaan kohteet suoraan 3D-mallina. Tietomallin avulla pyritään hallitsemaan suunnitelmien tieto tehokkaammin perinteisiin piirustuksiin verrattuna. Tietomalli kattaa geometrian, tilojen jakautumisen sekä maantieteelliset ominaisuudet. Tietomalleista näkee myös, toimivatko suunnitelmat. Lisäksi mahdollisten vaihtoehtoisten ratkaisujen tuottaminen ja tutkiminen on vaivatonta. Tietomallin lähtökohtana on ajatus siitä, että kootaan kaikki rakennusprosessiin liittyvä tieto yhteen malliin, joka saadaan kaikkien sitä tarvitsevien ulottuville.^{8 9}

Mikäli rakennus suunnitellaan suoraan 3D-malliksi, voidaan siihen määritellä tarkasti kaikki rakenteiden ominaisuudet valmiiden tuotteiden valmistajien rakennusosakirjastoja avulla. Tietomallikirjastoista löytyy valmiita rakenteita jolloin suunnittelu käy vaivattomasti ja ne yleensä perustuvat Talo 2000 -nimikkeistöön. 3D-mallintamisessa ohjelmista saa pienellä vaivalla suurimman osan työmaalla tarvittavista piirustuksista, jolloin suunnitelmien valmistaminen tehostuu. Hyvin suunnitellusta tietomallista saa myös määräluette-

⁶ Pro it: Tuotemallintaminen rakennushankkeessa yleiset periaatteet s.27-32

⁷ Pro it: Tuotemallintaminen arkkitehtisuunnittelussa s.9

⁸ TKK Arkkitehtiosasto

⁹ Wikipedia

lon, joka tehostaa hankkeeseen ryhtyessä kustannuslaskentaa. Määräluette-
loista saadaan noin 70-80% kohteen kaikista määristä. Näin myös mahdolli-
set laskuvirheet eliminoituvat.¹⁰

Tietomalleihin pystytään lisäämään tietomallipohjaisia tuoteosia valmistajien
kirjastoista, mikä mahdollistaa suunnitelmien luonnin hakemalla kaikki ra-
kennusosat tietomallikirjastosta. Valmiit tietomallikirjastot tehostavat suunni-
telmien laatimista. Tietomallikirjastoista voidaan lisätä detaljeja ja rakenne-
osia suunnitelmiin. Malleista voidaan antaa tuoteosa- ja elementtivalmistajille
mittatarkkaa tietoa heidän tarpeisiinsa. Lisäksi niistä saadaan suoraan kaikki
rakennuksen huoltokirjan määrät ja tiedot. Tietomallien toimiessa palvelimi-
en välityksellä, ajan tasalla oleva tieto on aina saatavilla.¹¹

Perinteiseen piirustus- ja dokumenttikeskeiseen suunnitteluun verrattuna tie-
tomallipohjainen suunnittelu eroaa edukseen seuraavilta ominaisuuksilta:¹²

- suunnittelun lopputulos tarkentuu ja tietosisältö monipuolistuu
- suunnitteluvirheiden havaitseminen tapahtuu aiemmin
- suunnitelmat ovat havainnollisempia
- eri suunnitelmien yhteensovittaminen ja niiden ristiriitojen tarkastami-
nen tulee mahdolliseksi
- eri vaihtoehtojen tutkiminen helpottuu
- tietomallin jatkohyödyntäminen huoltotoimenpiteisiin sekä kiinteistö-
tiedon hallintaan on mahdollista
- helpottaa rakennuttajan ja rakennuksen tulevan käyttäjän päätöksen-
tekoa
- tuoteosien valmistus sekä asennus tulee yksiselkoiseksi.

Tietomallipohjaiseen suunnitteluun ryhdyttäessä olisi hyvä laatia projektitoi-
mintaohje, missä selvitetäisiin jokaiseen hankkeeseen liittyvän osapuolen
tehtävät, tiedonsiirtotarpeet ja -tavat, tietomallin tietosisältö sekä tulosteet.

¹⁰ Pro it: Tuotemallintaminen arkkitehtisuunnittelussa s.10

¹¹ Diplomityö Juhani Salo s.11

¹² Pro it: Tuotemallintaminen rakennushankkeessa yleiset periaatteet s.10

Projektitoimintaohjeessa määritetään käytettävät sovellukset, mallintamistarkkuus, mallin jako osamalleihin, mallien tarkistustoimenpiteet, aikataulut, oikeudet sekä projektin päätöstoimenpiteet. Projektitoimintaohjeessa määritetään myöskin kaikki hankkeen tekniset asiat, jotta yhteistoiminta sujuisi mutkattomasti.¹³

2.1.3 Tietomallintamisen hyödyt

Tietomallinnuksen hyödyt voidaan jakaa kuuteen eri kategoriaan: yleiset, suunnitteluvaiheen, käyttäjän, toteutusvaiheen, viranomaistarkastelujen sekä ylläpitovaiheen hyödyt. Yleisellä tasolla päällimmäisinä hyötyinä voidaan pitää tietomallien tiedon hyödyntämistä rakennuksen koko elinkaaren aikana sekä tietomallien havainnollisuutta suunnitelmien yhteensopivuutta ja riskejä tarkasteltaessa. Suunnitteluvaiheen hyödyt ovat pääasiallisesti suunnittelun ja tilanhallinnan tehostuminen sekä tietomallin toiminen päätöksenteon tukena. Käyttäjät hyötyvät tietomalleista myös päätöksen teon yhteydessä sekä rakennuksen elinkaaritiedon hallinnassa, mikä on myös ylläpitovaiheen merkittävin hyöty. Viranomaistarkastelujen apuna tietomallit toimivat tarkasteluja selventävinä komponentteina sekä kaupunkikuvan arvioinnin apuvälineenä.¹⁴

Tietomallilla saadaan hyödyllistä tietoa visualisoimalla sekä vertailemalla vaihtoehtoja toiminnallisesti ja kustannuksiltaan. Nämä tiedot auttavat asiakkaita ostopäätöksen teossa. Tietomalleista saadaan myöskin tarkka kustannusarvio, sillä tietomalliin voidaan lisätä myös mitä rakennustarvikkeita ja -tuotteita käytetään.¹⁵

Suunnitelmien muutoksien hallinta tietomallintamisessa vaatii tarkkaa toimintatapaa, jotta kaikki projektiin osallistujat ovat tietoisia tapahtuneista muutoksista. Muutoksia tehtäessä tietomallipohjaisessa suunnittelussa voidaan muutoksia kopioida kerroksesta toiseen, jolloin kerralla saadaan monistettua muutokset ja siltä osin huolimattomuusvirheiltä vältytään. Muutosten hallintaan on suunnittelijoiden käyttöön saatavissa välineitä esimerkiksi automatisoitu sähköpostitiedote muutosten yhteydessä, joka nopeuttaa työtä.¹⁶

¹³ Pro it: Tuotemallintaminen rakennushankkeessa yleiset periaatteet s.23

¹⁴ Pro it: Tuotemallintaminen rakennushankkeessa yleiset periaatteet s.13-16

¹⁵ Diplomityö Juhani Salo s.6

¹⁶ Pro it: Tuotemallintaminen rakennushankkeessa yleiset periaatteet s.25-26

Tietomallien hyödyt ilmenevät suunnittelu- ja toteutusvaiheissa. Suunnittelu- vaiheessa suunnittelu tehostuu, sillä detaljit syntyvät automaattisesti ja muutosten hallinta on nopeaa. Toteutusvaiheessa tietomallit ovat visuaalinen havainnoinnin apuväline, jolloin voidaan suorittaa toteutuksen suunnittelu kes- ton osalta laatimalla aikataulut määräluettelon pohjalta. Myöskin tuotannon puolella hyödytään suunnittelun tehostumisesta, kun kuvia saadaan ajallaan. Tiedonvälityksessä tietomallit mahdollistavat tehokkaamman suunnittelutyön ohjauksen. Tuotannosuunnittelussa ja ohjauksessa tietomalleja voidaan hyödyntää toimitusketjun tehostamisella sekä kustannuksien ja määrien tarkastamisessa. Tuoteosasuunnittelua tehostaa jo alkuvaiheessa toimitusko- konaisuuksiin ryhmittely, mikä parantaa logistiikkaa ja ryhmittelyt voidaan kytkeä yrityksen omiin hankintajärjestelmiin.¹⁷

Tietomallintamisen laaja-alaista käyttöä varten tehdyt tekniset edellytykset ovat jo valmiina, mutta siihen tarvitaan myöskin asenteiden ja rakennuspro- sessin työtapojen muutoksia. Jotta tietomallipohjainen toimintatapa leviäisi yleiseksi käytännöksi, tulee tilaajien edellyttää tietomallintamisen käyttöä. Suunnittelijoiden tulee osata tuottaa tietoa tietomallimuodossa sekä käyttää yhtenäisiä sovelluksia sekä tiedonsiirto- ja tallennusmuotoja. Yhtenä tärkeä- nä tekijänä tietomallien yleistymiselle on sen käytölle tarvittavat resurssit yri- tyksissä. Ohjelmien oppimiseen ja uusien toimintatapojen omaksumiseen kuluu huomattavan paljon aikaa, mikä on pois työmaan muista tehtävistä.¹⁸

Tietomallintamista edistäviä askeleita sen käyttöönotossa ovat yhtenäinen tietomallintamisen käsitteistö, Talo 2000 -nimikkeistön käyttäminen sekä yh- tenäiset tietomallirakenteiden sisältökuvaukset, CAD-järjestelmien kuva- tasojen nimeämiset ja tiedonsiirtotavat. Myöskin tietomallin rakennushank- keisiin yleistymisen edellytyksenä on yhteistyökumppaneiden tietomallinta- miseen siirtymisen valmiuksien selvittäminen, tietomallintamiseen tarvittavi- en ohjelmien ja niiden kustannusten selvittäminen, tietomallintamisen testa- us sekä sen hyötyjen ja haittojen ylöskirjaus. Suunnittelijoiden järjestöt kuten Safa ja ATL ovat jo vuodesta 2005 lähtien kannustaneet ammattikuntaansa käyttämään tietomalleja.¹⁹

¹⁷ Pro it: Tuotemallintaminen rakennushankkeessa yleiset periaatteet s.15-16

¹⁸ Pro it: Tuotemallintaminen arkkitehtisuunnittelussa s.10

¹⁹ Pro it: Tuotemallintaminen arkkitehtisuunnittelussa s.14

2.1.4 Tietomallintamisen tietotekniikka

Tietomallien yleistyessä rakennusalalla useat ohjelmistotalot ovat alkaneet kehittämään tietomallintamisohjelmia rakennusalan yritysten tarpeiden mukaisiksi. Ohjelmistotalot pyrkivät yritysten kanssa yhteistyöhön jolloin ohjelmien todelliset tarpeet tulevat esille ja suurin hyöty saadaan aikaiseksi. Ohjelmistotalot kuten Tekla, Archicad, Enterprixe sekä Allplan ovat erikoistuneet tietomalleihin.²⁰

Tietomallien tietotekniikka pohjautuu tietomalleihin, jotka ovat tietoa sisältäviä attribuutteja. Tietomalleja tehdessä käytetään eri tietokonesovelluksia, joilla kullakin on käytössä sopiva koodaamisen kieli. Koodaamisen kielet voidaan jakaa kahteen eri ryhmään: graafiset diagrammikielet ja tekstimääritteiset kielet. Graafiset diagrammikielet soveltuvat ohjelmien alkuvaiheiden kehitykseen, sillä ohjelmien kehittyessä kaavioista tulee hyvin monimutkaisia ja niiden päivittämisen hallinta on hyvin vaativaa. Graafisia kieliä, joita on käytetty tietomallien suunnittelussa ovat idefix, niam sekä express-g.²¹

Tekstimääritteiset kielet sopivat paremmin suurien tiedostojen käsittelyyn sekä tietokoneen prosessointia varten. Tekstimääritteisissä kielissä on myöskin paremmat mahdollisuudet ehdollistaa komentoja sekä toimintatapoja joiden esittäminen graafisesti on hyvin hankalaa. Tekstimääritteisiä kieliä, joita käytetään tietomalleissa ovat express sekä step.²²

Tietomalleissa jokaisella rakennusosalla on yksilöllisiä attribuutteja, joissa on vähintään tiedot sen tunnisteista, mitoista, sijainnista sekä materiaalista. Lisäksi rakennusosille on mahdollista lisätä attribuutteja kuten suunnitellut sekä toteutuneet tiedot valmistus-, kuljetus- ja asennuspäivämääristä. Tietomallien tekeminen voidaan suorittaa monesta eri lähtökohdasta. Joissain sovelluksissa tietomalli laaditaan tilaratkaisujen sekä niiden välisten suhteiden pohjalta (GSD 1991), toiset taas rakennusosien pohjalta. Näistä jälkimmäinen on yleistynyt käytännöllisyytensä vuoksi.²³

²⁰ Tekla Finland

²¹ Bo-Christer Björk s. 30-31.

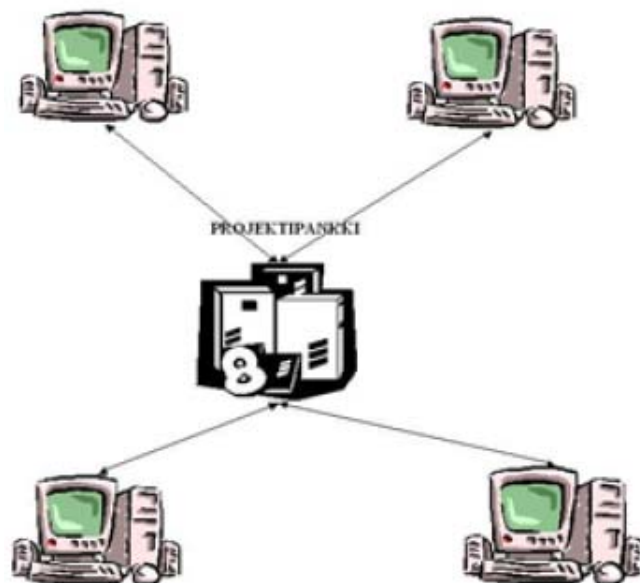
²² Bo-Christer Björk s.31.

²³ Bo-Christer Björk s.42

2.1.5 Tiedonsiirto

Yleisesti

Tiedonsiirto rakennushankkeen osapuolten välillä on muuttunut digitaaliseksi. Rakennusprojektien digitaalinen dokumentointi ja projektin hallinta toimivat projektipankeissa sekä omilla tietomallipalvelimilla, jolloin ajan tasalla oleva tieto muutoksista välittyy projektin kaikille osapuolille välittömästi. Yhtenevien tallennus- ja tiedonsiirtomuotojen käyttäminen edellyttää hankekoh-
taisia sopimuksia, joita tulee noudattaa koko projektin ajan. Projektipankkeihin kootaan kaikki kohteeseen kuuluvat dokumentit, jolloin tarvittavien tietojen löytäminen helpottuu. Projekti-pankkeihin koottu tieto on kuitenkin usein vielä 2D-muotoista, jolloin projektipankkeja ei suoraan voida käyttää 3D-kuvien yhteensovittamiseen. Tällöin suunnittelijat joutuvat päivittämään tietomallinsa käyttämällä 2D-kuvia.²⁴



Kuva 3 Yhteinen tuotemalli (Diplomityö Juhani Salo)

Tietomallipalvelin tarjoaa yhteiskäyttöisen tietomallitietokannan ja tietomallin hallintapalveluita. Tiedon yhteiskäyttö mahdollistaa usean yhtäaikaisen sovelluksen käytön ja päivityksen yhteisestä tietokannasta olevista tiedoista. Tietomallipalvelimessa tieto voi siirtyä osamalleissa joko automaattisesti tai käsivaraisesti. Tietomallipalvelimet toimivat tiedonsiirron avulla. Tiedonsiirto

²⁴ TKK Arkkitehtiosasto

mahdollistaa tietojen hyödyntämisen eri ohjelmistojen välillä. Yleisempiä tiedonsiirtomuotoja ovat .pdf, .ifc, .dwg sekä .doc.²⁵

Mikäli eri suunnittelualat käyttävät yhtä yhteistä tietomallia samanaikaisesti, tulee tietoliikenneyhteyksien olla hyvin nopeita ja suunnittelijoiden töiden edistyä yhtäaikaaisesti samoissa paikoissa. Mikäli työt etenevät samaan aikaan samoissa mallin osissa on vaarana mallin päivityksien unohtaminen ja näin toisilla suunnittelijoilla voi olla epätäydelliset mallit toisten malleihin verrattuna. Ratkaisuna ongelmaan on koko mallin tai vain hajautetusti tietyn mallin osan lukitseminen yhden suunnittelijan käyttöön. Hajautettu tietomalli ei vaadi yhtä nopeita tietoliikenneyhteyksiä, sillä tietomallien päivitys tapahtuu tietyin aikavälein.²⁶

IFC-tiedonsiirto

IFC-tiedonsiirto on yleisin rakennushankkeissa käytettävä tiedonsiirtomuoto ja se on myös Enterprixe-ohjelman käyttämä tiedonsiirtomuoto. IFC eli Industry Foundation Classes on kansainvälinen tiedonsiirtostandardi rakentamisen ja kiinteistönpidon tuotetietojen tiedonsiirrosta sekä yhteiskäytöstä. IFC-tiedonsiirtoa käytetään erityisesti tietomalliperusteisessa rakennussuunnittelussa. IFC :n avulla kaikki osapuolet voivat käyttää muiden tuottamaa tietoa suoraan omissa tietojärjestelmissään. IFC määrittelee tietokonesovellusten tiedonsiirron yhteensopivuuden perustan. IFC on International Alliance for Interoperability (IAI) kehittämä rakentamisen ja kiinteistönpidon tiedonsiirron standardi, joka on julkaistu kansainvälisen standardointijärjestön ISO :n 16739 Publicly Available Specification (PAS) -dokumenttina.²⁷

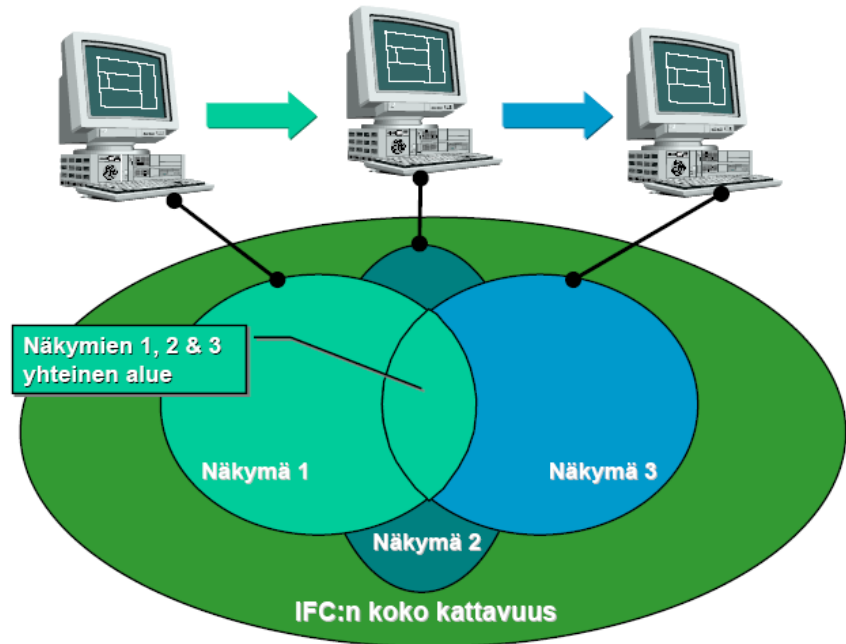
IFC määrittelee tietokonesovelluksista riippumattoman tavan siirtää digitaalista tuotetietoa sovellusten kesken (Kuva 3). IFC:n tarkoituksena on kattaa rakennushankkeiden ja rakennusten koko elinkaaren aikainen tiedonsiirto, -säilytys sekä yhteiskäyttö. Nykyään IFC:llä voidaan hallita rakennuksen suunnitteluun, toteutukseen sekä kiinteistön ylläpitoon liittyviä tiedostoja. Tiedon välittäminen ohjelmistojen välillä tulisi tapahtua IFC-standardin mu-

²⁵ Pro it: Tuotemallintaminen rakennushankkeessa yleiset periaatteet s.54

²⁶ Tuotemallintaminen rakennushankkeessa yleiset periaatteet s. 37

²⁷ e-EHYT IFC-selvitys Kari Karstila / Eurostepsys Oy

kaisesti. IFC:llä siirretään ainoastaan oliotietoa eli tietoa 3D-geometriasta ja parametreista, eikä sillä voida siirtää 2D-muotoista tietoa.²⁸



Kuva 4 IFC-tiedonsiirto (Pro It)

IFC-tiedostot sisältävät paljon tietoa, kuten rakenteiden muoto ja materiaali-tiedot, jolloin IFC-tiedostojen koot kasvavat hyvin suuriksi. Tiedostojen suuruus vaikuttaa ohjelman toimintanopeuteen ja samalla myös käyttömukavuuteen. Nykyisin IFC- muotoiset tiedostot ovat pääasiassa 3D-malleja. Piirustusmuotoisia tiedostoja ei vielä kyetä siirtämään IFC-muotoisina. Siitä johtuen rakennushankkeissa on vielä tarvetta muille tiedonsiirtotavoille.^{29 30}

IFC- tiedonsiirto ei edellytä yhtenäisiä ohjelmistoja vaan sen toiminta perustuu tiedon muuttumiseen yhtenevään muotoon. Esimerkiksi arkkitehti suunnittelee rakennukset ArchiCADilla ja tallentaessaan sen koneelleen hän voi tehdä siitä myös IFC-tiedostomuodon IFC-exportin avulla. Kun rakennesuunnittelija avaa tiedoston Teklalla, Tekla osaa lukea IFC-muotoisen tiedoston ja muuttaa sen omaan sisäiseen muotoonsa. Useat suuret tietomalliohjelmistot pohjautuvat IFC-tiedostomuotoon edesauttaen eri suunnittelijoiden yhteistyötä ja -käyttöä.³¹

²⁸ e-EHYT IFC-selvitys Kari Karstila / Eurostepsys Oy

²⁹ Yhteiset tietosisällöt huoltokirjoissa: Yhteensopiva tiedonsiirto avoimella xml-teknologialla. Harri Oesch, Juha Tiuruniemi 2004

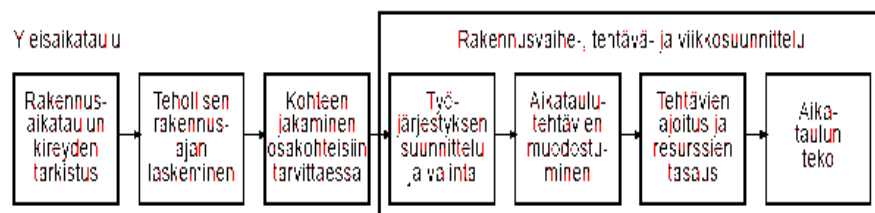
³⁰ Tuotemallintaminen rakennushankkeessa yleiset periaatteet s. 37

³¹ Tuotemallintaminen rakennushankkeessa yleiset periaatteet s. 37

2.2 Aikataulusuunnittelu

Rakentamisen onnistuminen edellyttää tuotannonsuunnittelua, valvontaa sekä tuotannonohjausta. Keskeisin osa tuotannonsuunnittelua on aikataulusuunnittelu, valvonta sekä ohjaus, jotka luovat perustan muun suunnittelun onnistumiselle sekä paljastavat epäkohdat ja suunnitelmista poikkeamiset tehokkaasti.³²

Aikataulu on hankkeen toteutuksen malli. Aikataulua suunniteltaessa etsitään työn realistinen toteutusmalli käytettävissä olevien tietojen perusteella. Aikataulussa asetetaan tavoitteet hankkeelle ja yksittäisille työtehtäville. Tavoitteet koskevat tehtävien aloittamista ja päättämistä aikataulun mukaisesti sekä työvoiman käyttöä. Rakennushankkeiden kokonaisaikataulut ovat yleensä päätoteuttajan vastuulla. Rakennusprojektien kokonaisaikataulut jakautuvat hankesuunnittelu-, rakennussuunnittelu-, rakennus- ja käyttöönotovaiheisiin. Rakennushankkeiden kokonaisaikatauluihin kuuluu myös työmaatoimintojen aikataulusuunnitelmat.³³



Kuva 5 Ajallisen suunnittelun kulku (Mittaviiva)

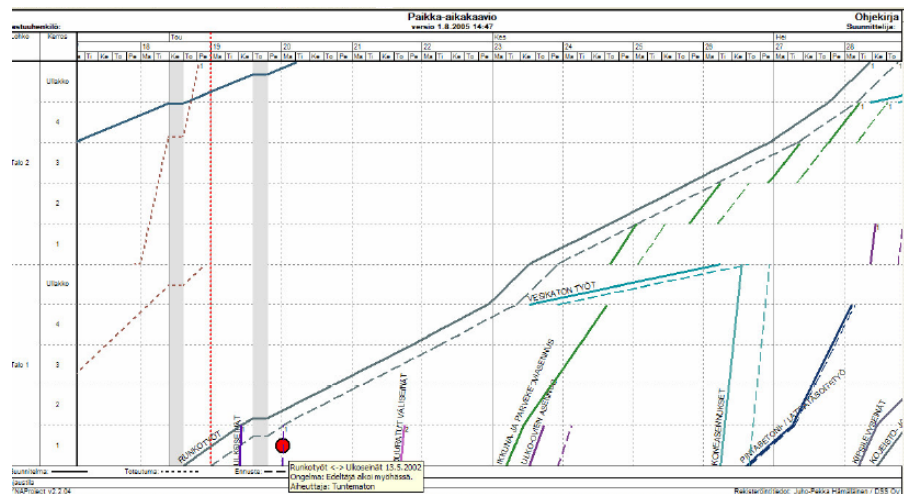
Aikataulusuunnittelussa on tärkeää, että aikataulut ovat toteutuskelpoisia ja ne perustuvat todellisiin työmääriin sekä tuotantotehokkuuteen. Aikataulut eivät koskaan kerro lopullista totuutta vaan ne määräävät projektille reunaehdot, joiden sisällä aikataulutehtävät tulee suorittaa. Työvaiheaikataulut perustuvat todellisiin tehtävien kestoihin ja ne toimivat osana tuotannonsuunnittelua sekä ohjausta. Tarkennetuilla aikataulusuunnitelmissa ja valvonnalla

³² Mittaviiva Oy

³³ Ratu: Aikataulukirja

varmistetaan kohteen valmistuminen sille annettujen tavoitteiden mukaisesti.³⁴

Aikataulumuotoja on toimintaverkko, jana-aikataulu, paikka-aikakaavio ja tuotantoaikakaavio,. Toimintaverkossa kuvataan tehtävien riippuvaisuuksia ja kestoja verkkokaaviolla. Jana-aikataulussa tehtävät kuvataan janoina, joiden pituus määräytyy niiden keston mukaan. Tehtäville asetetut riippuvuudet ilmenevät jana-aikataulussa nuolina. Myöskin välitavoitteita on mahdollista lisätä jana-aikatauluun. Jana-aikataulu soveltuu hyvin viikkosuunnitelmiin tai suurien kokonaisuuksien kuvaamiseen, mutta sen heikkoutena on aikataulun valvonta. Mikäli aikataulu jää jostain syystä jälkeen, ei siitä aiheutuvia haittoja tai seurauksia voi nähdä. Tuotantoaikakaavio vuorostaan ilmentää aikataululliset muutokset selvästi, sillä se kuvaa tuotantonopeutta. Tuotantoaikakaavion pystyakselina on valmiusprosentti ja vaak-akselia kuvaa aika. Tuotantoaikakaavio soveltuisi hyvin rakennustuotantoon valmiusasteiden valvonnan ansiosta.³⁵



Kuva 6: Paikka-aika kaavion valvonta (Gaphisoft control)

Paikka-aikakaavion kyky esittää jokaisen tehtävän tuotantonopeus niille määritetyissä paikoissa on tehostanut rakennustyömaiden tuotannonsuunnittelua. Paikka-aikakaavioon syötetty valvontatieto näyttää suoraan miten saavutettu tuotantonopeus vaikuttaa tehtävän tai koko kohteen valmistumi-

³⁴ Ratu: Aikataulukirja s. 8

³⁵ Ratu: Rakennushankkeen ohjaus s.10-11

seen. Paikka-aikakaavio soveltuu hyvin yleisaikataulusuunnitteluun sekä työvaihesuunnitteluun.³⁶

Aikataulusuunnittelu alkaa hankesuunnitteluvaiheessa rakennuttajan alustavan aikataulun laatimisesta ja jatkuu hankkeen edetessä ajallisesti ja työsisällöllisesti tarkasti määritellyiksi tehtäväkohtaisiksi aikatauluiksi. Olennaista koko rakennustyömaan ja yksittäisen tehtävän ohjauksen kannalta on laadittujen aikataulujen toteutuskelpoisuus. Toisin sanoen ne perustuvat työkohteen ominaisuuksia vastaavaan työmenekkilaskentaan ja resurssisuunnitteluun. Aikataulut tulee suunnitella riittävän kireiksi, jolloin tuotanto etenee tehokkaasti, mutta suunnittelussa tulee myös huomioida mahdolliset häiriöt sekä tuotannolliset poikkeamat.³⁷

Talonrakennuskohteiden aikataulusuunnittelu lähtee liikkeelle urakkasopimuksen aloitusajankohdan valitsemisella, tehollisen rakennusajan laskemisella sekä rakennusaikataulun kireyden tarkastuksella. Tehollinen rakennusaika määräytyy urakkasopimuksessa sovitusta kestosta huomioiden lomat, työajan lyhennys- ja pakkaspäivät sekä mahdolliset häiriöt työvaiheissa. Rakennusaikataulun kireys tarkastetaan laskukaavoilla, jotka määräytyvät kohteen koosta ja resurssien tuntimäärästä. Aikatauluja laadittaessa tulee huomioida kohteen laajuus, tuotantoratkaisu sekä resurssit, joista kukin osaltaan voi pidentää tai lyhentää hankkeiden kestoa. Riittävä perehtyminen kohteeseen ehkäisee aikataulun suunnitteluvirheet. Aikatauluja suunnitellessa otetaan huomioon töiden etenemisjärjestys ja osakohteisiin jako, mikä tuottaa järkevimmän lopputuloksen.³⁸

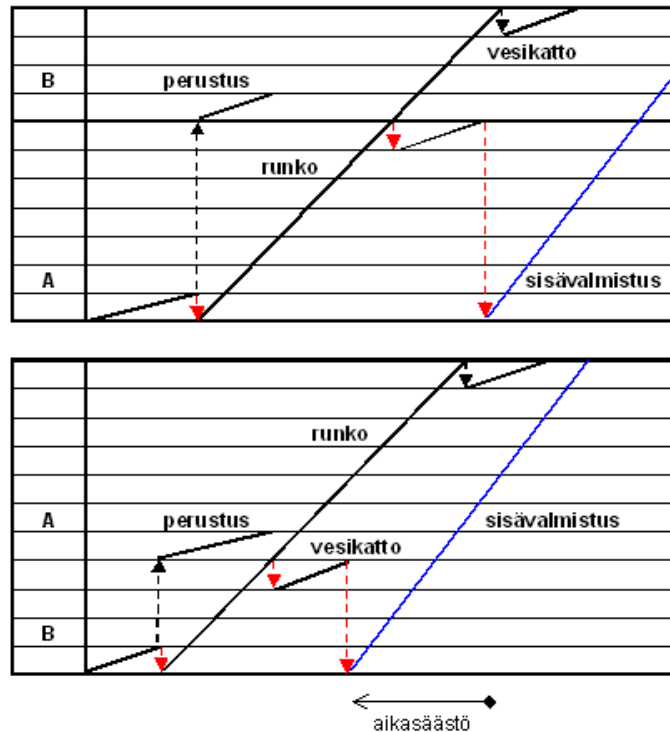
Osakohteisiin jakamisessa kohde jaetaan tuotantotekniikoiltaan, sijainniltaan tai rakennusajaltaan eroaviin osiin. Osakohteiden oikealla valinnalla sekä niiden järjestämisellä oikeaan järjestykseen voidaan kestossa säästää jopa muutama kuukausi, riippuen kohteen koosta. Osakohteiden eli lohkojen järjestystä voidaan miettiä Hossin sääntöjen avulla. Hossin perussäännön mukaan rakennushankkeen ensimmäiseksi lohkoksi tulee valita se lohko missä perustus- sekä runkovaiheet ovat lyhimät ja viimeiseksi lohkoksi se jäljellä oleva lohko missä sisävaihe on lyhin. Hossin laajennetun säännön mukaan ensimmäiseksi lohkoksi tulee valita se lohko, jonka sisävalmistusvaiheen

³⁶ Ratu: Rakennushankkeen ohjaus s.11-12

³⁷ Ratu: rakennushankkeen ohjaus s. 14

³⁸ Ratu: rakennushankkeen ohjaus s.16-18

tuntimäärän suhde verrattuna perustus- ja runkovaiheiden tuntimääriin on suurin ja viimeiseksi lohkoksi tulee valita se jäljellä oleva lohko, jossa kyseisen suhde on pienin.³⁹



Kuva 7: Hossin säännön vaikutukset (Skanska Talonrakennus Riku Kolhonen)

Yleisaikataulua laadittaessa käytetään T4-aikoja eli kokonaisaikoja ja rakentamisvaihe aikatauluja sekä tehtäväsuunnitelmia laadittaessa käytetään tehollisia T3-aikoja. Yleisaikataulun tehtäväluettelo laaditaan siten, että siinä esitetään kaikki mitoittavat tai rakennustöiden etenemisen kannalta merkittävät tehtävät. Kohteesta laaditun määräluettelon avulla tehtäville voidaan suunnitella sopiva työryhmä. Työryhmän tekemä työ saa keston laskemalla työmäärä kerrottuna työryhmän kokonaistyömenekillä. Työmenekkeinä käytetään yleensä Ratu-tiedoston mukaisia menekkejä, jotka tiedostoissa on esitetty työmenekkitutkimuksen mukaisille yleisimmille työryhmille. Työryhmät, niiden koko ja lukumäärä sekä tehtävien työsisältö mitoitetaan kohde- ja tehtäväkohtaisesti niin, että tavoitteet saavutetaan ja tuotanto etenee tehokkaasti.⁴⁰

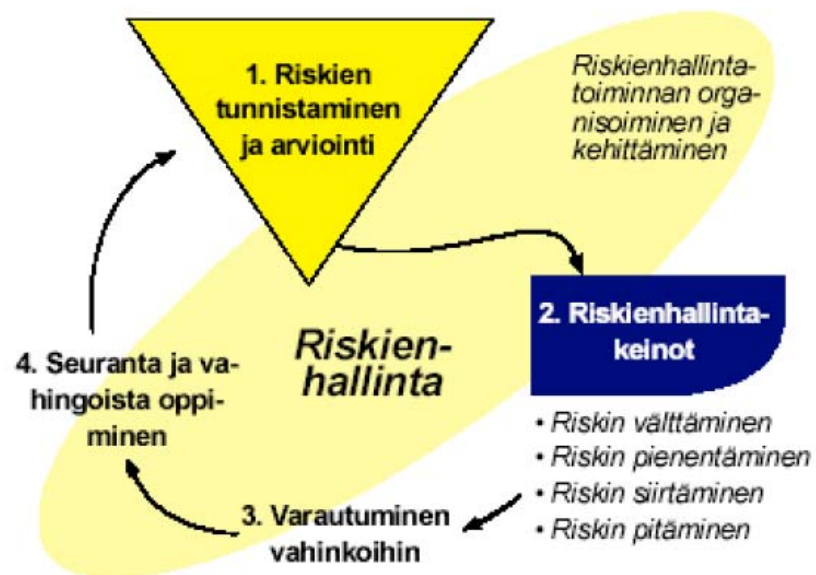
³⁹ Ratu: rakennushankkeen ohjaus s.19-20

⁴⁰ Mittaviiva Oy

Rakennusvaihe aikataulua tarkentavaa suunnittelua tehdään tehtäväsuunnittelun ja viikkosuunnittelun keinoin. Tehtäväsuunnittelun tarkoituksena on suunnitella ja ohjata tuotantoa tehtäväkohtaisesti niin, että tuotanto saavuttaa sille asetetut ajalliset, taloudelliset ja laadulliset tavoitteet. Viikkosuunnittelun tarkoituksena on suunnitelmien täydentäminen ja tarkentaminen rakentamisen sen hetkisen tilanteen mukaiseksi. Tarkentuvalla aikataulusuunnittelulla varmistetaan hankkeen tavoitteiden saavuttaminen. Laadittujen aikataulujen avulla havaitaan tuotannon aikataulupoikkeamat ja ohjataan tuotantoa siten, että ajalliset tavoitteet saavutetaan.⁴¹

2.3 Tuotannonohjaus

Tuotannonohjaus on toimintaa, joka jatkuu läpi kohteen rakentamisen. Tuotannonohjaus kulkee käsikädessä tuotannon valvonnan kanssa halutun lopputuloksen varmistamiseksi. Tuotannonohjauksella pyritään ennalta ehkäisemään suunnitelmien mukaisen toiminnan poikkeamia ja mikäli poikkeuksia tapahtuu ohjauksella pyritään saamaan tilanne suunnitellun mukaiseksi. Valvonnalla varmistetaan, että suunniteltu toiminta tapahtuu tavoitteiden mukaisesti.⁴²



Kuva 8: POA-analyysi (VTT)

⁴¹ Mittaviiva Oy

⁴² Ratu: rakennushankkeen ohjaus s.36

Tuotannosuunnittelua voidaan pitää ennakoivana ohjauksena, jonka avulla varaudutaan tuleviin tehtäviin sekä niiden mahdollisiin häiriöihin. Häiriöihin varautumista voidaan myös kutsua potentiaalisten ongelmien analyysiksi eli POA-menettelyksi. Kun tehtävien mahdolliset riskit on kartoitettu, voidaan niitä aktiivisesti yrittää estää sekä varautua tilanteen korjaavaan toimintaan häiriön minimoimiseksi. Ennakoinnin päättelyketju voidaan vaiheistaa seuraaviin ajatuksen kulkuihin:⁴³

- mitä ei-suotavaa tuotannossa voi tapahtua
- mikä aiheuttaa ei-suotavan tapahtuman ja mitä seurauksia siitä on tuotannolle
- mikä merkitys tuotannon häiriöttömyydelle on ei-suotavalla tapahtumalla
- millä toimenpiteillä voidaan torjua ei-suotava tapahtuma
- miten ei-suotavan tapahtuman seurauksiin tulee varautua sen vaikutusten minimoimiseksi.

Tehtäväsuunnitelmia voidaan myös pitää ennakoivina suunnitelmina. Tehtäväsuunnitelmia laaditaan kaikista aikataulullisesti kriittisistä, pitkäkestoisista sekä työsisällöltään laajoista tehtävistä. Tehtäväsuunnitelmissa suunnitellaan kyseessä olevan tehtävän osapuolet, resurssit, tuotantonopeus, kustannukset, ajoitus, tavoitteet, riskit sekä työturvallisuus. Tehtäväsuunnitelmaa laadittaessa työvaiheen työnjohtajalle sekä työryhmälle käy selväksi tavoitteet sekä miten häiriön tapahtuessa toimitaan. Tehtäväsuunnitelmat auttavat myös tuotannon ennakoimisessa, sillä tehtäväsuunnitelmat pakottavat miettimään aliurakoiden sopimista, hankintojen oikea aikaisuutta sekä materiaalien ja työkalu- ja koneiden hankintaa ja varastointia.⁴⁴

Tehtävien käynnistyttyä alkaa niiden toteutumisen valvominen ja suunnitelmaan vertaaminen. Tehtäviä valvotaan niiden valmistumisen sekä tuottavuuden osilta. Valmistumista viivästäviä tekijöitä tuotannossa on tehtävän myöhäinen aloitus, alhainen tuotantonopeus, tuotannon keskeytyminen sekä

⁴³ Ratu: rakennushankkeen ohjaus s.36

⁴⁴ Ratu: rakennushankkeen ohjaus s.37

työn sisällön muuttuminen. Myös tuottavuuden osalta on riski mikäli tuotantonopeus on liian alhainen. Mikäli riskejä toteutuu, voidaan mahdollisesti joutua suunnittelemaan uudelleen tehtävän kulku, jotta haluttu lopputulos saavutetaan.⁴⁵



Kuva 9: Rakennushankkeen ohjaus (TKK)

Rakentamisen aikaista ohjausta voidaan harjoittaa monella eri tavalla. Kaikilla ohjaustoimenpiteillä on kuitenkin sama tavoite: saavuttaa suunniteltu lopputulos. Yleisiä ohjausta vaativien häiriöiden syitä ovat työmaasta riippumattomat tekijät kuten materiaalityöimien häiriöt, työvoiman poissaolo ja alirakoitsijoiden tuotanto- ja resurssiongelmien. Lisäksi työmaan omasta toiminnasta riippuvia häiriöitä aiheuttavia tekijöitä ovat mm. työkohteiden tai kaluston puuttuminen, työsuunnitteluvirheet, huono työmaan järjestys sekä huonot ja virheelliset työmenetelmät. Valvonnalla havaitut häiriöt pyritään korjaamaan ohjaustoimenpiteillä, jotka suunnataan poikkeaman syihin.⁴⁶

2.4 Tuotantomalli, 4D-malli

Rakennuksen tuotantomallilla eli 4D-mallilla tarkoitetaan tietokoneella ylläpidettyä rakennuksen 3D-mallia, johon on liitetty myös aikataulutieto. Tuotantomallia voidaan pitää työmaan kokonaisvaltaisena hallintatapana. Mallia ylläpidetään verkkopalvelimilla ja se on siten kaikkien osapuolten nähtävillä ja hyödynnettävissä ajasta ja paikasta riippumatta. Tuotantomallia voidaan

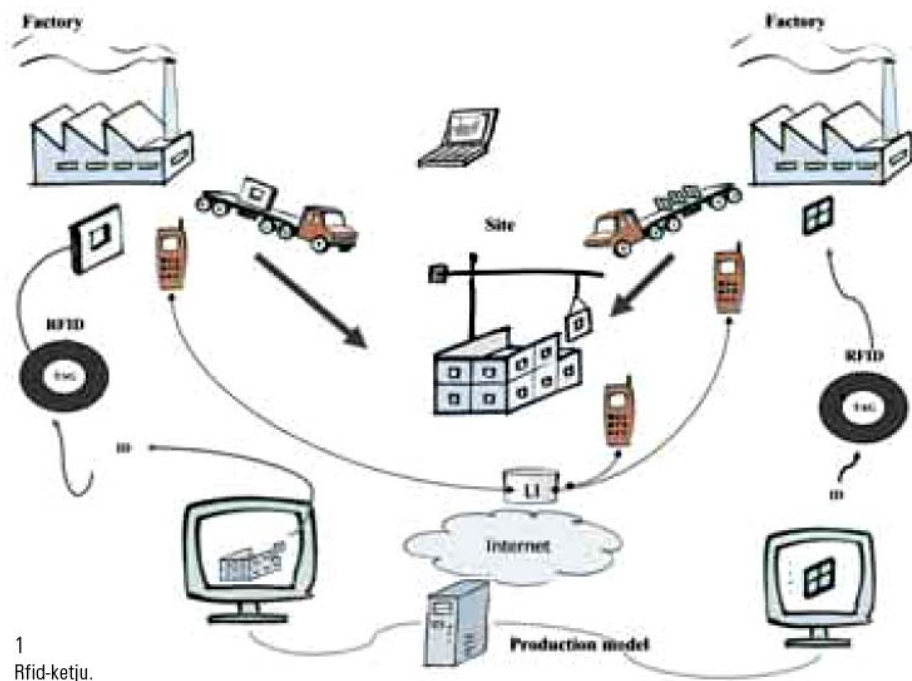
⁴⁵ Ratu: rakennushankkeen ohjaus s.40

⁴⁶ Ratu: rakennushankkeen ohjaus s.45

käyttää tehokkaana tuotannosuunnittelun apuvälineenä ja sitä voidaan hyödyntää rakennuksen suunnittelusta valmistumiseen asti.⁴⁷

Tuotantomalleista saadaan suurin hyöty kun jo hankesuunnitteluvaiheessa päätetään käyttää tietomallintamista. Luonnos- ja rakennussuunnittelussa tuotantomalleista saadaan määrä- ja kustannustietoja, joiden pohjalta voidaan suunnitella aikataulut sekä resurssit. Lisäksi ne edesauttavat rakennuttajan ja tilaajan päätöksentekoa. Kun hankkeesta on tietomalli valmiina, voidaan siihen liittää aikataulu ja sen avulla suunnitella tuotantoratkaisuja.⁴⁸

Teknologiaa hyödynnettiin kehityksen alkuvaiheessa ensisijaisesti valmisosien toimitusketjujen hallintaan sekä tarkkaan työvaihesuunnitteluun. Jokaiselle betonielementille tuotetaan malliin toimitusketjun eri vaiheisiin liittyviä tavoite- ja toteumapäivämäärätietoja esim. milloin elementtipiirustukset on vastaanotettu tehtaalla.⁴⁹



Kuva 10 Tuotantomalli betonielementtien toimitusketjun hallinnassa (Betonilehti)

Tuotantomallien kehitys on mahdollistanut myös uudenlaisen tavan hallita toimitusketjua: RFID-tekniikan yhdistäminen tietomalleihin. RFID:lla (Ra-

⁴⁷ Tekla Finland

⁴⁸ Tekla Finland

⁴⁹ Skanska Oy

radio frequency identification) eli radiotaajuisella etätunnisteella voidaan jäljitellä elementtejä niiden suunnittelusta asennukseen saakka. Elementtien suunnitteluvaiheessa jokainen elementti saa ID-tunnisteen, joka seuraa sitä läpi hankkeen. ID-tunnisteen tiedoista jokainen elementille asennetaan oma RFID-tunnistin, jonka avulla elementtien toimitusketju voidaan paikallistaa vaihe vaiheelta.⁵⁰

RFID-tunnistin on antennin sisältävä tunnistin, joka voi olla aktiivinen, passiivinen tai puoli-passiivinen. Tunnistimet ovat hyvin pienikokoisia ja ne tyypillisesti sisältävät vain ID-tunnisteen. Passiiviset tunnistimet eivät sisällä omaa virtalähdettä vaan ne toimivat lukulaitteen induktiosähkövirran avulla skannauksen aikana, jolloin ne lähettävät tiedon skannauslaitteeseen. Puoli-passiivisissa tunnistimissa on oma virtalähde, mutta niistä puuttuu oma lähete. Aktiivisilla tunnistimilla on omat virtalähteet ja lähettimet. Aktiivisiin tunnistimiin voi syöttää ja tallentaa tietoja. Passiivisten tunnistimien kantosäde on 10 mm-5 m. Puoli-passiivisilla ja aktiivisilla tunnistimilla saavutetaan suuremmat toimintasäteet 10 metriin asti.⁵¹

Rakennesuunnitteluvaiheessa elementit nimetään ID-tunnisteilla, jotka siirretään tuleviin RFID-tunnisteisiin. Jokaiselle elementille laitetaan elementtitehtaalla RFID-tarratunnisteet narun avulla elementtien päähän. Tarratunnisteista luetaan ID-koodit RFID-lukimen avulla, joka voidaan sijoittaa esimerkiksi matkapuhelimen takakuoreen. Puhelimiin asennetaan ohjelmisto, johon tiedot siirtyvät tarratunnisteista ja josta ne voidaan siirtää edelleen tietokoneelle. Näin voidaan seurata elementtien toimitusketjua suunnittelusta asennukseen asti.⁵²

⁵⁰ Betoni lehti 2/2006 s.46-47

⁵¹ Wikipedia

⁵² Betoni lehti 2/2006 s.46-47

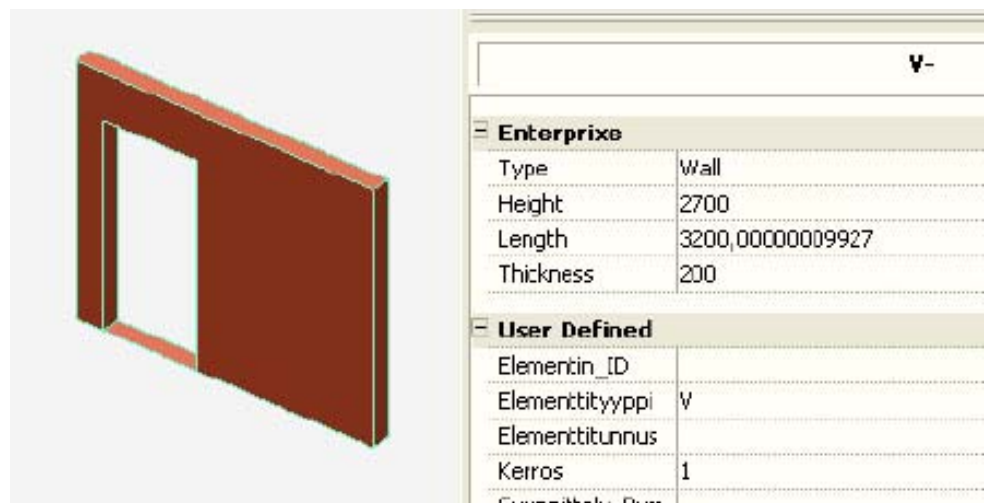
3 ENTERPRIXEN TUOTANTOMALLIOHJELMA

Lukujen 3.1-3.6 tiedot perustuvat Skanska Talonrakennus Oy:n Juho-Pekka Hämäläisen insinööriyön tekijälle antamaan käyttökoulutukseen, joka suoritettiin aikavälillä 29.9-30.11.2007, ohjelman käyttökokemuksiin sekä Enterprixe Oy:n henkilöstön haastatteluun.⁵³

3.1 3D-mallin luonti

Tietomalli eli 3D-malli voidaan luoda kahdella eri tavalla: rakenteet suunnitellaan suoraan 3D-muotoon tai rakenteiden 3D-oliokomponentit tuodaan 2D-plaanipiirustuksen päälle koodaamalla. Malliin voidaan syöttää jokaisen elementin tieto sekä tieto maastosta. Maastomallinnus luodaan tuomalla puolen metrin korkuisia maakerroksia piha- ja pintavesisuunnitelman päälle. Kuvassa 11 näkyy kaikki tieto mikä on tarvittu elementin koodaamiseen malliin. Elementeistä tulee tietää sen tyyppi, tunniste, sijainti sekä koko. Rakennusosat luodaan mallitietokannan hierarkiassa omiin solmuihinsa. Jokaisella komponentilla on omat attribuutit, joihin on mahdollista lisätä elementeille erilaisia tietoja kuten paino, valmistuspäivämäärä sekä toimituspäivämäärä.

54



Kuva 11: Enterprixestä yhden elementin tiedot (Enterprise)

⁵³ Enterprixe haastattelu Liite 4

⁵⁴ Enterprixe haastattelu Liite 4

Jos kohteesta ei ole valmiita tietomalleja, joutuu Enterprixe Oy koodaamaan mallin piirustuksien pohjalta 3D-muotoon. Jos kohteesta on jo valmis tietomalli, voidaan se siirtää IFC-tiedonsiirrolla Enterprixe-mallipalvelimelle ja siitä voidaan suoraan tehdä tuotantomalli. Näin myös säästetään tietomallinnuskustannuksissa mallinnustyön vähentyessä Enterprixe Oy:ltä.⁵⁵

3.2 Tuotantomalli Enterprixe-ohjelmassa

Enterprixe-ohjelma toimii palvelimen kautta, jolloin ohjelma on kaikkien projektiin osallistuvien käytettävissä ilman erillisiä projektipankkeja. Projektin sijaitessa palvelimella, edellisen kerran jälkeen muiden käyttäjien malliin syötämät tiedot latautuvat jokaiselle käyttäjälle ohjelman käynnistyksen yhteydessä. Ohjelmaa käynnistettäessä projektin hierarkiapuu näkyy himmeästi, sillä sitä ei vielä ole ladattu load-komennolla. Latauksen yhteydessä mallin sisältämä tieto avautuu ja 3D-malli tulee esiin.

Kun malli on kerran ladattu koneelle, jäävät tiedot paikalliseen välimuistiin eli local cacheen. Ohjelmassa voidaan valita tehdäkö muutoksia on- vai offline-tiloissa. Online-tilassa muutokset päivittyvät suoraan palvelimelle ja offline-tilassa ne jäävät local cacheen. Mallit tallentuvat automaattisesti local cacheen ja muita tallennustoimenpiteitä ei tarvitse suorittaa. Offline-ominaisuus mahdollistaa mallien avaamisen sekä muokkaamisen ilman verkkoliittymää sen jälkeen kun malli on kertaalleen ladattu omalle koneelle. Tehdyt muutokset siirtyvät seuraavalla kerralla palvelimelle, kun siirtyy online-tilaan. Offline-toiminto edesauttaa muutoksien teon ilman verkkoyhteyttä.

Ohjelmassa tiedot jakautuvat hierarkiatasomaisesti. Hierarkioita kutsutaan solmuiksi. Pääsolmuna ohjelmassa on koko projekti, joka jakautuu kahteen eri alaosolmuun: RAK (3D-malli) sekä 4D (tuotantomalli). RAK on arkkitehdin suunnitelmien pohjalta muokattu 3D-malli. 4D-tuotantomalli on Control 2007-ohjelmasta tuodun aikataulutiedon sekä 3D-mallien yhdistyssolmu. Jokaisessa solmussa on valitun lohkojaon mukaiset alaosolmut.

Tuotantomallia muokatessa tulee muokattava solmu lukita itselle (check out), jolloin muut käyttäjät eivät pääse samanaikaisesti tekemään muutoksia ja näin päällekkäisyyksiltä välttyään. Päätettäessä mallin muokkauksen tulee

⁵⁵ Enterprixe haastattelu Liite 4

malli taas vapauttaa muille käyttäjille (check in). Sen jälkeen kuin 3D-malli on valmis, ei muiden solmujen kuin 4D-solmun muokkaus ole tarpeellista.

3.3 Linkitys sekä muokkaus

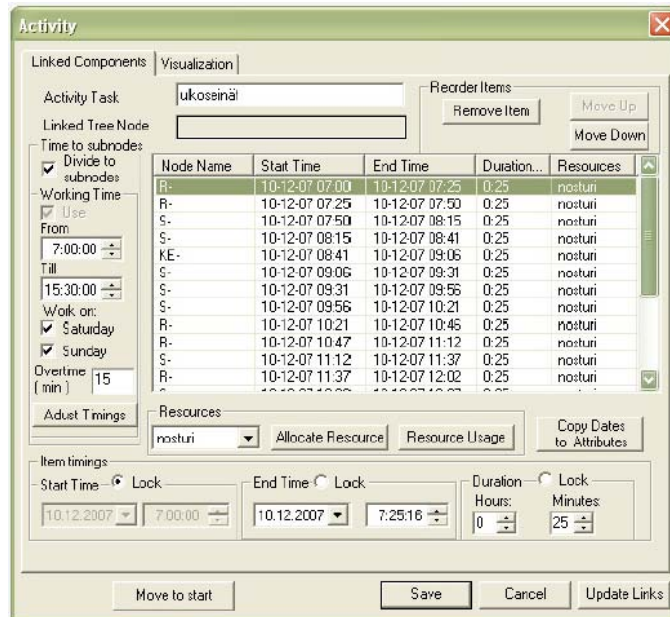
Tuotantomalli syntyy linkittämällä aikataulutiedot tietomalliin. Aikataulu muutetaan Control 2007:ssä XML-tiedostomuotoon, joka voidaan syöttää Enterprixe ohjelmaan. XML-tiedosto ladataan tietokoneelta mallinussohjelmaan. XML-tiedosto sisältää aikatauluun syötetyt tehtävät lohko kohtaisesti. Kun aikataulussa ja tietomallissa on käytetty samaa lohkojakoa sekä tehtävänimikkeitä ei tietomallin linkitys aikatauluun tuota ongelmia. XML-tiedostosta muodostuu solmu 4D-solmun alle, josta löytyy kaikki aikataulutieto. Samoja tehtävänimikkeitä kuin Enterprixen mallia käytettäessä, voidaan ilman sekaannusta yhdistää. Esim. RAK-solmun A-talon 3. kerroksen ulkoseinäelementit voidaan yhdistää 4D-solmun solmun A-talon 3. kerroksen ulkoseinäelementteihin.

Skanska Talonrakennus Oy tilasi yhteistyön alkaessa Enterprixen mallinussohjelmasta tiettyjä ominaisuuksia, joista Link Activity to model dialogi kokonaisuudessaan on merkittävin. Sieltä nähdään kaikki 4D-solmuun lisätty tieto ja kaikki muutokset tehdään sen kautta.

Linkitys voidaan vaiheistaa useaan eri tehtävään. Linkityksen alussa valitaan ensin 4D-solmusta aikataulutehtävä jota halutaan käsitellä. Sen jälkeen suoritetaan seuraavan listan toiminnot Activity-ikkunan avulla:

1. valitaan aikataulutehtävää vastaavat elementit joko hierarkiapuun rakennesolmun alta tai manuaalisesti mallista.
2. painetaan update links sekä divide to subnodes, jolloin valitut objektit muuttuvat linkitetyksi komponenteiksi ja saavat aikataulutiedon.
3. valitaan elementeille käytettävä resurssi alusvetovalikosta sekä painamalla allocate resource työkohteille.
4. visualization-välilehdellä muokataan mallin ulkoasua navigoinnin eri vaiheissa värien avulla.
5. valitaan käytettävä työaika, sekä mahdollinen ylityöaika joka varataan käytettäville resursseille.

6. mahdolliset väärin valitut elementit voidaan poistaa remove item-komennolla.



Kuva 12: Link activity to model (Enterprise)

Mikäli elementit ovat väärässä asennusjärjestyksessä valinnan jälkeen voidaan järjestystä muuttaa Move up- ja Move down-komennoilla. Myöskin asennusjärjestyksen voi määrittää valitsemalla elementtejä shift-näppäin pohjassa manuaalisesti halutussa järjestyksessä, jonka jälkeen painamalla Move to start ohjelma muuttaa järjestyksen todenmukaisen asennusjärjestyksen mukaiseksi. Resurssille voidaan lisätä työpäiviin kuuluvat tauot sekä mahdolliset välityösuoritukset, joiden aikana resurssi ei ole käytettävissä. Tehtävien aloitusajankohtaa sekä kestoa voidaan muuttaa aikataulusta riippumatta activity-ikkunassa muuttamalla joko start time lock, end time lock tai duration lock -muuttujia.

3.4 Päivittäminen

Tuotantomalli päivittää projektin muiden osallistujien tekemät muutokset aina ohjelman käynnistyksen yhteydessä. Tulevat muutokset näkyvät Enterprixen smart clientissa Upcoming eventseinä. Samalla tavalla käyttäjän itse tekemät muutokset näkyvät muilla upcoming eventseinä.

Aikataulumuutoksien päivittäminen voidaan suorittaa kahdella eri tavalla. Kun Control 2007:ssa on ensin tehty muutokset aikatauluun, tehdään siitä uusi XML-tiedosto, joka ladataan Enterprixen puolella halutun solmun päälle.

Update from file -toiminnolla ohjelma päivittää olemassa olevien tehtävien kestot ja aloituspäivämäärät. Näin toimiessa siirretyt tiedot eivät automaattisesti päivity vaan jokainen solmu tulee päivittää painamalla divide to subnodes -painiketta.

Toinen solmun päivitysvaihtoehto on Import activity data, jonka avulla voidaan muokkata perusteellisemmin 4D-solmua esimerkiksi lohkojakoa uudistettaessa. Update from file -toiminto on käyttökelpoisempi pelkkiä ajallisia muutoksia tehtäessä.

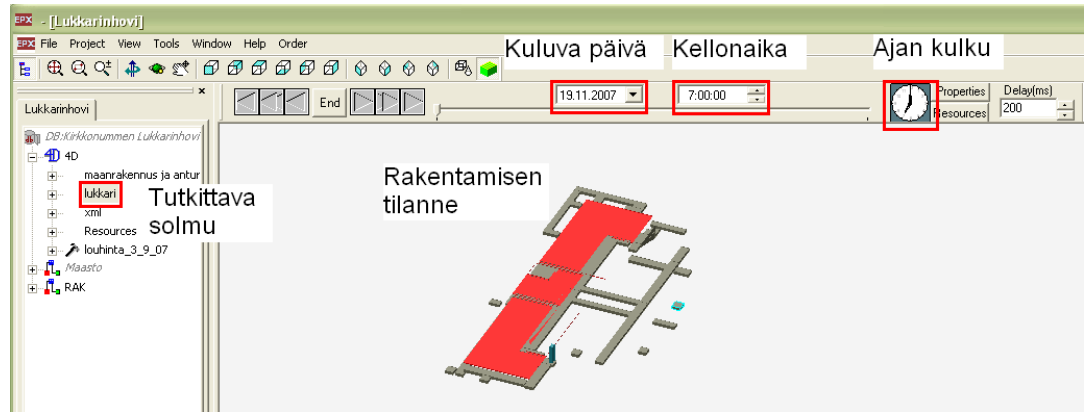
3.5 Toteuma

Tuotantomallin seuraaminen tapahtuu siten, että suunnitellusta 4D-solmusta luodaan erillinen toteuma 4D-solmu. Vaihtoehtoisesti voidaan valmiiksi suunniteltu tavoitesolmu kopioida ja nimetä se toteumasolmuksi. Toteumia voidaan syöttää kahdella eri tavalla. Joko manuaalisesti syöttämällä toteumatieto jokaisen elementin osalta erikseen tai luomalla Control 2007:ssä toteuma-aikataulu ja päivittämällä se toteumatiedoston päälle.

Manuaalisesti toteumatiedon lisääminen jokaiselle elementille on varsinkin suurissa kohteissa hyvin raskas työ. Mikäli manuaalisesti haluaa lisätä kestot, tulee jokaiselle elementille erikseen määrittää asennusajankohta. Manuaalisesti toteumien syötön voi myöskin tehdä muuttamalla jokaisen tehtävän aloituspäivämäärän tai keston link activity to model -dialogissa, jolloin alkuperäinen suunniteltu kesto ja ajankohta muuttuvat toteutuneeksi, eikä tällöin suunnitellun ja toteutuneen vertailua voida suorittaa. Mikäli ei haluta säilyttää alkuperäisiä päivämääriä on helpoin vaihtoehto toteumatietojen päivittäminen Control 2007:ssä, päivittää tiedot aiemman 4D-solmun päälle.

3.6 Navigointi

Navigoinnilla tarkoitetaan tuotantomallin 3D-animaatiota, josta käy ilmi rakennusjärjestys, rakennusaika sekä resurssien käyttö. Navigointi voidaan suorittaa monella eri tarkkuustasolla kuten esimerkiksi koko 4D-solmun osalta tai tarkemmin yhden kerroksen elementiasennuksien osalta. Myöskin tietyn ajanjakson tarkkailu on mahdollista navigoinnin avulla. Navigoinnin tarkkuus valitaan unload-komennolla navigoinnista poisvalitut kohteet, jolloin haluttu tarkkuus saavutetaan. Navigoinnin aikana voidaan valmiiksi esiin tulleita elementtejä piilottaa valitsemalla hide-toiminto.



Kuva 13: Navigointi (Enterprixe)

Navigoinnin aikana tuotantomallia voidaan pyörittää xyz-koordinaatiston mukaisesti joka suuntaan. Lisäksi mallia voidaan lähentää sekä loitontaa, jolloin mallin tarkastelu monipuolistuu. Näin voidaan tutkailla joka suunnasta työvaiheiden kulkua. Navigoinnissa työvaiheet etenevät suunnitellussa rakennusjärjestyksessä. Kun työvaihe on työn alla, se näkyy navigoinnissa punaisella ja valmistuttuaan näkyy se suunnitellulla värillä, kuten kuvassa 13 maanvarainen laatta on esitetty punaisella ja valmiit anturat harmaina. Jos työvaihe ei tule kerralla valmiiksi, voi keskeneräiselle työvaiheelle valita eri värin esimerkiksi sinisen, jolloin mallista erottaa keskeneräiset työvaiheet tapahtumahetkessä.

Navigoinnin aikana voi aukaista resurssien käyttöä kuvaavan dialogin, josta käy ilmi, mikä resurssi on varattuna. Navigoinnissa on myös dialogi, josta voi seurata mitkä työkohteet ovat työn alla.

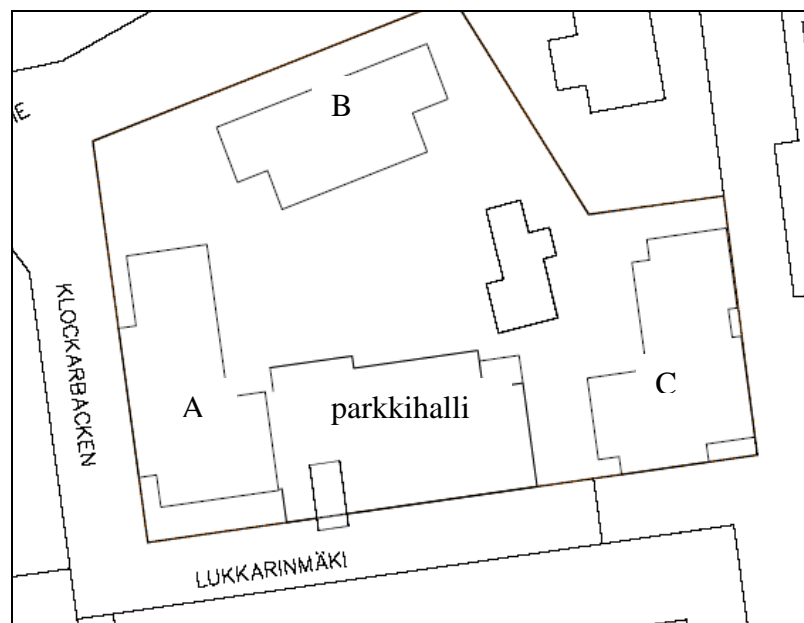
Enterpixin henkilökunta voi tuottaa videon navigoinnista kuvaruudunkaappausmenetelmällä. Videosta käy ilmi suunnitellun sekä toteutuneen mallin erot. Molemmat 4D-solmut laitetaan pyörimään päällekkäin ja väreillä osoitetaan miten suunnitelmat ja toteumat eroavat tuotantonopeudeltaan. Vaihtoehtoisesti voidaan toteutus- ja toteumamallit laittaa pyörimään vierekkäin samaa kalenteria seuraten, jolloin aikatauluerot huomataan eriaikaisena asennustyön alkamisena sekä loppumisena.

4 CASE LUKKARINHOVI

Luku 4 käsittelee kokonaisuudessaan As Oy Kirkkonummen Lukkarinhovin perustietoja, tuotannon etenemistä, tuotantomallia ja siihen liittyviä vaiheita. Tiedot perustuvat työmaan suunnitelmiin sekä työmaan toteutuneisiin tapahtumiin.

4.1 Kohteen tiedot

Asunto osakeyhtiö Kirkkonummen Lukkarinhovi sijaitsee Kirkkonummen keskustassa lähellä kirkkoa. Pääurakoinnin kohteessa suorittaa Skanska Talonrakennus Oy ja rakennuttamisesta vastaa Skanska Kodit Oy. Kohteen rakentaminen alkoi elokuussa 2007 ja on määrä loppua joulukuussa 2008. Kohde koostuu kolmesta viisikerroksisesta kerrostalosta, kaksikerroksisesta parkkihallista sekä vanhasta talosta, joka rakentamisen yhteydessä kunnostetaan taloyhtiön ulkovälinevarastoksi. Kohteen kahden talon alimmat kerrokset, sekä parkkihallin alin kerros ovat kokonaan tai osittain maanalaisia kellarikerroksia.



Kuva 14: As Oy Kirkkonummen Lukkarinhovin asemapiirustus (Arkkitehtitoimisto Vuorelma)

Lukkarinmäen maapohja on tiivistä kalliota, joten laajat louhintatyöt oli suoritettava anturaperustuksille. Talojen alapohjat ovat vaihtelevasti maanvaraisia laattoja sekä ontelolaattoja. Asuinrakennukset ovat täyselementtitaloja ja ulkovälinevarastona toimii vanha suojeltu hirsitalo. Kohteen rakentaminen

aloitettiin tontin pohjoislaidalla sijaitsevasta B-talosta, jonka jälkeen rakennetaan tontin itälaidalla sijaitseva A-talo. Viimeisenä asuinrakennuksista rakennetaan C-talo, jonka jälkeen rakennetaan parkkihalli.

Rakennustyöt perustus- ja runkovaiheissa suoritetaan maanrakentamista lukuun ottamatta omana työnä. Työryhmänä runkoasennuksessa toimii pääasiallisesti 3 ram + 2 rm. Maanrakennustyöt suorittaa Maanrakennus Engman Oy elokuu 2007 - helmikuu 2008 välisenä aikana. Perustusten teko aloitettiin lokakuussa 2007 ja kokonaisuudessa kohteen perustusten ja runkojen suunniteltu valmistuminen on toukokuussa 2008. Anturat myöhästyivät aikataulustaan resurssipulan ja maanrakennuksen hitaan etenemisen takia.

4.2 Lukkarinhovin tietomalli

Lukkarinhovin tietomallin laati arkkitehdin ja rakennesuunnittelijoiden suunnitelmien pohjalta Enterprixe Oy. Enterprixen ohjelmoijat koodasivat jokaisen elementin tiedot attribuutteina malliksi Enterprixen Modelling client mallinnus -ohjelmalla. Malli luotiin tuomalla 3D-komponentteja 2D-plaanipiirustuksen päälle. Malliin syötettiin jokaisen elementin tieto sekä tieto maastosta. Maastomallinnus luotiin myöskin tuomalla puolen metrin korkuisia maakerroksia piha- ja pintavesisuunnitelman päälle. Lukkarinhovin elementeistä oli tietoina niiden tyyppi, tunniste, sijainti sekä koko, jotka koodattiin jokaisen elementin oliotietoihin. Jokaiselle komponentille olisi voinut koodata omat attribuutit, joihin voi lisätä elementeille erilaisia tietoja kuten paino, valmistuspäivämäärä sekä toimituspäivämäärä. Rakennusosat luotiin mallitietokannan hierarkiassa omiin solmuihinsa.⁵⁶

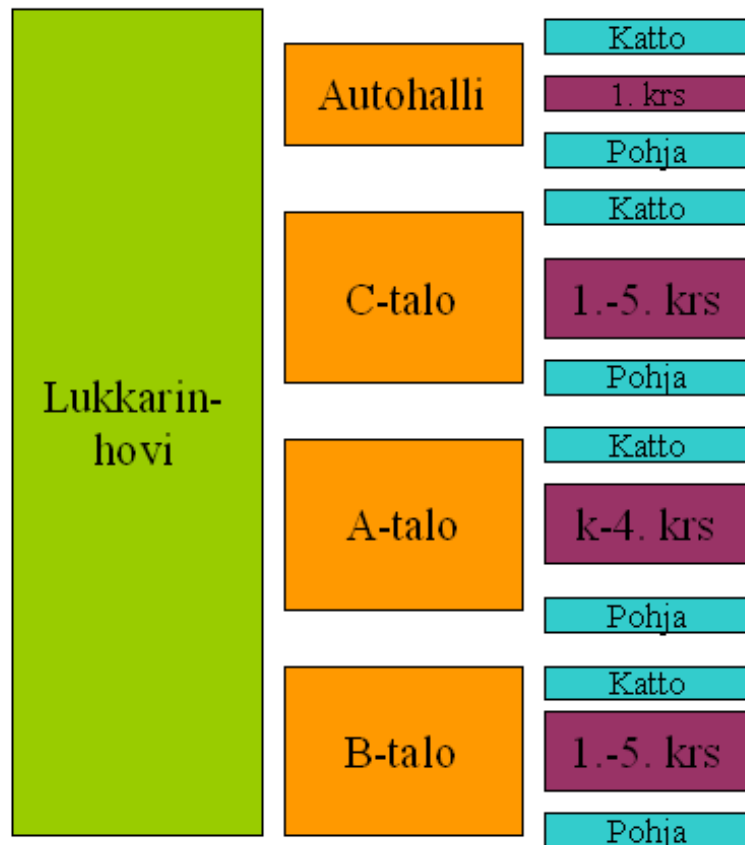
4.3 Lukkarinhovin aikataulusuunnittelu

4.3.1 Yleisaikatalu

Kohteen aikataulu laadittiin Vico Softwaren Control 2007 -ohjelmalla. Aikataulun lähtötietoina käytettiin kohteen piirustuksia sekä TCM-laskentaohjelmistolla laadittua määräluetteloa, johon laskennan henkilöstö oli lisännyt menekit. Kohteen määräluettelo oli laskettu kerroskohtaisesti, jolloin määrien kohdistaminen aikataulutehtäville paikoittain sujui helposti.

⁵⁶ Enterprixe haastattelu Liite 4

Aikataulu suunniteltiin lisäämällä annetuille määrille resurssit sekä riippuvuudet. Resurssien lisäyksen jälkeen tehtävien kestoja muokattiin tarvittaessa vastaavan mestarin näkemyksen mukaisiksi. Aikataulun lohkojako määräytyi tietomallista sekä rakennusjärjestyksestä. Lohkojako on esitetty kuvassa 15. Myöskin määrien laskenta oli suoritettu saman lohkojaon mukaisesti. Aikataulussa jokainen kerros oli oma osakohteensa.



Kuva 15: Lukkarinhovin lohkojako

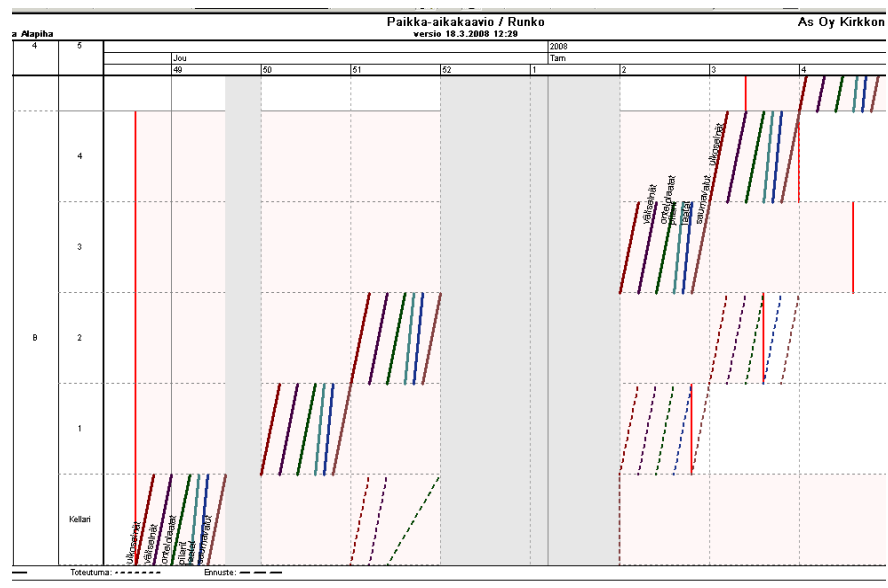
Aikataulun laadinnassa kiinnitettiin erityistä huomiota anturoihin sekä elementtiasennukseen, sillä kyseisten työvaiheiden rakentaminen käy parhaiten selväksi tuotantomallista. Anturoiden tekemiselle kestoa suunniteltiin alunperin 15 työvuorota jokaista taloa kohden. Anturoiden aloitusväli talojen välissä oli noin 10 työvuorota. Elementtiasennuksen suunniteltu kesto on viisi työvuorota kerrosta kohti eli yhteensä 75 työvuorota. Elementtiasennuksessa jokainen kerros B-talon ensimmäistä kerrosta lukuun ottamatta on suunniteltu alkavan maanantaisin, jolloin saumavalut voidaan suorittaa perjantaisin ja niillä on aikaa kuivua viikonlopun yli ja näin voivat työt taas jatkua seuraavana maanantaina uudessa kerroksessa. Alkuperäinen yleisaikataulu on nähtävissä liitteessä 1.

Työvaiheet suoritettiin omana työnä ja työryhminä molemmissa työvaiheissa toimi Skanska Talonrakennuksen omista työntekijöistä koostuva 3 RAM+2RM ryhmät. C-talon anturoissa työryhmänä toimi 2RAM+ 1RM. Tietomallissa oli ryhmitelty jokainen työkohte elementtityypeittäin, jolloin suurimman hyödyn aikaansaamiseksi oli aikataulukin tarkennettava. Aikataulua valvottiin viikoittain ja näin jo varhaisessa vaiheessa voitiin reagoida viivästyksiin.

4.3.2 Tarkennettu suunnittelu

Kun yleisaikataulu oli laadittu, ryhdyttiin aikataulua tarkentamaan tuotantomallin tarkkuustason mukaiseksi. Työvaiheista laadittiin ohjaustilassa tarkentavan suunnittelun tasu-tehtävät. Yleisaikataulun puolella suunnittelutilassa tehtävä kulkee yhtenä tehtäväviivana koko aikataulunäkymässä, mutta työmaan seurantaan tarkoitettussa ohjaustilassa elementtiasennustehtävä on jaettu kerroksittain eri alatehtäviin tarkennetun suunnitelman avulla.

Alatehtävät määräytyivät työvaiheissa suoritetuista työnosista tai asennusjärjestyksestä. Anturoiden tasu-tehtävä on jaettu muottityöhön, raudoitukseen sekä betonointiin. Elementtiasennus on jaettu kuuteen eri alatehtävään, jotka ovat ulkoseinä, väliseinä, ontelolaatta, laatta, pilari sekä saumavalu. Jako tarkempiin tehtävään oli välttämätön, jotta tietomallin ja aikataulun tarkkuustasot olisivat yhtenevät.



Kuva 16: Tarkennettu suunnitelma B-talon elementtiasennus: punainen = ulkoseinät, liila = väliseinät, vihreä = ontelolaatat, vaalean sininen = pilarit, tumman sininen = laatat ja vaaleapunainen = saumavalut (Control 2007)

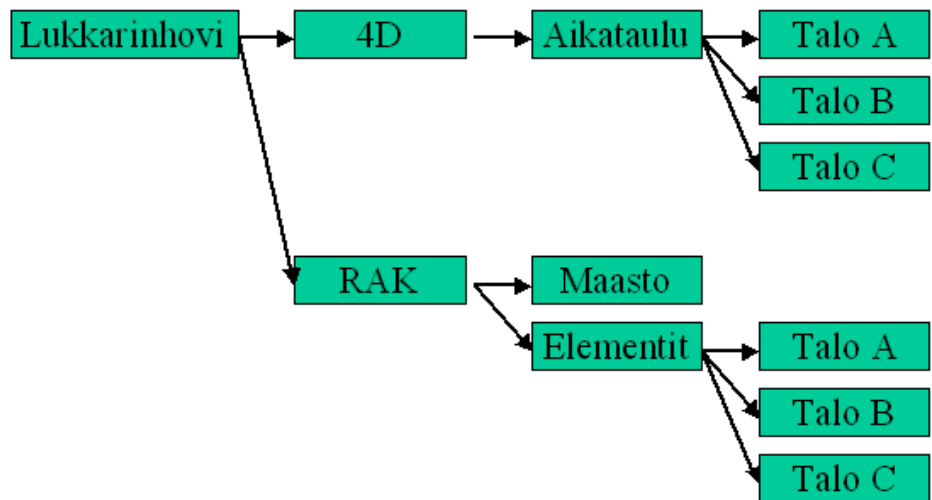
Alatehtävistä ulkoseinille, onteloille sekä väliseinille kullekin suunniteltu kesto on yksi työvuoro ja palkeille sekä laatoille puoli työvuoroa. Jokainen kerros suunniteltiin alkavaksi maanantaipäivisin, jolloin kaikki elementit olisi asennettu torstaina, ja perjantaina voisi suorittaa saumavalut. Tarkennettua suunnittelua jouduttiin muuttamaan toteumavaihetta tutkittaessa lisäämällä jokaisen talon loppuun yhden viikon pituinen vesikaton valmistustauko. Siitä johtuen elementtiasennus piteni alunperäiseen suunnitelmaan verrattuna kolme viikkoa. Toteumavaiheessa lisäksi elementtiasennuksen aloitus muutettiin oikealle paikalle 2,5 viikkoa myöhästyneenä viikon 51 alkuun.

4.4 Lukkarinhovin tuotantomalli

Lukkarinhovin tuotantomallin tarkoituksena oli tutkia tuotantomallintamisen hyötyjä sekä soveltuvuutta työmaakäytössä. Enterprixen tuotantomallinnusohjelmaa ei ole millään muulla Skanskan työmaalla käytössä tuotannon toimihenkilöiden toimesta, vaan muilla työmailla tuotantomallinnukseen tehtävät muutokset hoitaa Enterprixe Oy:n henkilöstö. Tutkimuksessa oli tarkoitus myös tutkia, tarvitseeko tuotantomallin käyttö ylimääräisiä resursseja ja miten se soveltuu työmaan rutiinien ohelle. Lukkarinhovin toimihenkilöryhmä koostui työpäälliköstä, vastaavasta mestarista sekä vanhemmasta työnjohtajasta.

Lukkarinhovin solmuhierarkia jakautui RAK- (3D-malli) sekä 4D-solmuihin (tuotantomalli). RAK on arkkitehdin suunnitelmien pohjalta muokattu 3D-malli. 4D-tuotantomalli on Control 2007 -ohjelmasta tuodun aikataulutiedon sekä 3D-mallien yhdistyssolmu. Jokaisessa solmussa on valitun lohkojaon mukaiset alasolmut. As Oy Kirkkonummen Lukkarinhovissa RAK-solmu on jaettu kahteen, joista toinen on maastosolmu ja toinen runkosolmu.

Maastosolmussa on esitettyä suunniteltu maaperän louhinta lohkojen mukaisesti jaettuna. Maasto on jaettu puolen metrin korkuisiin paloihin, jotka muodostavat korkeusaseman mukaisen pinnan. Runkosolmu jakautuu ensin talokohtaisesti ja sen jälkeen kerroskohtaisesti. 4D-solmussa jokaisesta kerroksesta löytyy vielä suunnitellut tehtävät, joista elementtiasennus on jaettu ulkoseiniin, väliseiniin, ontelolaattoihin, laattoihin ja pilareihin. Anturat jakautuvat muottitöihin, raudoitukseen sekä betonointiin.



Kuva 17: Lukkarinhovin hierarkiapuu solmu

Tuotantomalli syntyy linkittämällä aikataulutiedot tietomalliin. Aikataulusuunnittelun valmistuttua Control 2007:llä, muutettiin aikataulun tiedot .xml-muotoon. XML-tiedosto ladattiin Enterprixeen, jolloin sen sisältämä aikataulutieto tuli 4D-solmuun lohkokokohtaisesti. Aikataulu linkitettiin tarkasti elementteihin. Linkityksen jälkeen muokattiin malli suunnittelun suoritusjärjestyksen mukaiseksi.

Resurssiksi malliin valittiin nosturi, mutta kaikkiin elementteihin sitä ei lopulta saatu lisättyä. Tässä kohteessa ei taukoja tai välinostoja lisätty, sillä se olisi aiheuttanut 160 työvuorolle kullekin kolmen tauon lisäämistä manuaalisesti. Enterprixe Oy ei saanut resurssien lisäämistä toimimaan ilman virheitä, joten Lukkarinhovin malleista ne puuttuvat osittain.

Lukkarinhovin tuotantomallien päivitys suoritettiin update from file toiminnolla. Lukkarinhovissa ei toteutusmallia päivitetty sen valmistumisen jälkeen, jolloin toteutusmalli kuvasi alkuperäistä suunnitelmaa. Toteumia Lukkarinhovissa päivitettiin ensin muokkaamalla aikataulutiedostossa tehtävien kestoja niiden toteutumisen mukaan. Aikataulun muokkauksen jälkeen toteutumamallin 4D-solmu päivitettiin.

4.5 Valvonta ja ohjaus toteumamallin avulla

Ongelmakohtia tuotannosuunnittelussa oli resurssien saaminen, riittävän suuren nosturin saaminen, ahdas tontti sekä tontin keskellä sijaitseva suojeltu kallioalue. Myös kohteen sijainti Kirkkonummen keskustassa liikkeiden välittömässä läheisyydessä aiheutti useita järjestelyjä materiaalityöiden sekä töiden suoritus- ja toteuttamisessa. Tontilla suoritettavat louhintatyöt osakseen myös hankaloittivat töitä jo valmiiksi vaikealla tontilla, vähentämällä varastointialuetta. Materiaalit toimitettiin täsmätoimituksina, jolloin välivarastointia ei tarvittu.

Anturoille alunperin suunniteltu kesto, joka oli alunperin 15 työpäivää jokaisesta talosta kohti 10 työpäivän aloitusvälillä, ei toteutunut. Anturoiden aloitusväliseksi muodostui noin puolitoista kuukautta. B-talon anturoiden työt kestivät 20 työpäivää, mutta kiirettä ei niiden osalta ollut maanrakennuksen ollessa jäljessä. Työryhmä, joka teki anturoita aloitti B-talon elementtityön, jolloin A-talon anturoiden teko siirtyi 6 viikkoa eteenpäin. C-talon anturat aloitettiin 5 viikkoa A-talon anturoiden lopun jälkeen.

Kiireisestä rakennusaikakaudesta johtuen kaikki riittävän suuret torninosturit olivat käytössä, jolloin ensimmäinen talon elementit jouduttiin nostamaan autonosturilla. Autonosturi jouduttiin sijoittamaan kävelytielle louhitusta tontista johtuen eikä vaihtoehtoista liikenneväylää pystytty toteuttamaan. Torninosturi oli varattu jo elokuussa joulukuuksi, mutta sopivaa ei vapautunutkaan riittävän aikaisin. Torninosturi saatiin työmaalle vasta tammikuun lopussa kaksi kuukautta elementtiasennustöiden alkamisen jälkeen. Torninosturin rata sijoitettiin parkkihallin kohdalle, jolloin sen ulottuvuus riitti A- ja C-talojen kaivimaisia elementtejä varten painoluokkien mukaisesti.

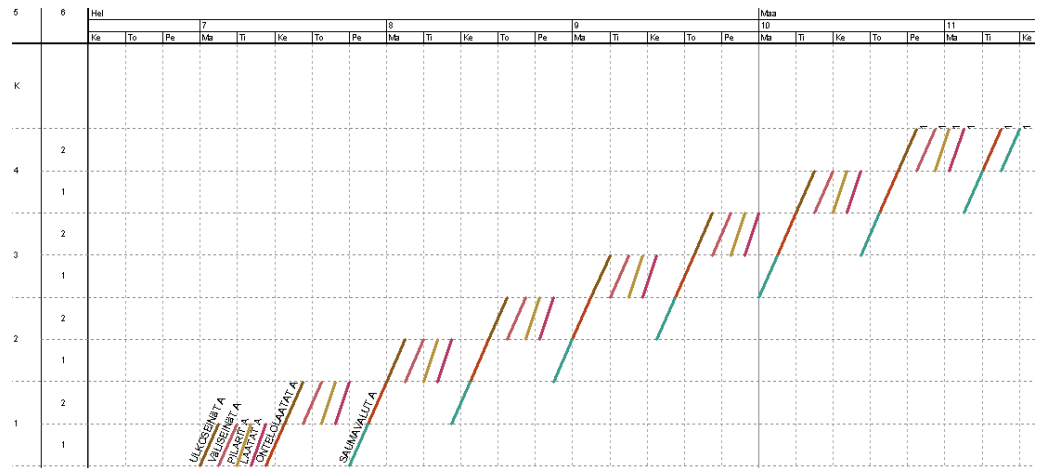
Työmaa jäi alkuperäisestä runkoaikataulusta aloituksen osalta jälkeen, kun suunniteltu työryhmä ei päässyt aiemmasta työstään ajallaan. Ryhmä pääsi paikalle vasta 3 viikkoa elementtiasennuksen aloituksen jälkeen. Korvaavan työryhmän tuotantonopeus ei riittänyt aikataulussa pysymiseen. Alkuperäisen tuotantonopeuden ollessa kerros viikossa, ensimmäinen työryhmä sai kerroksen valmiiksi kahdessa viikossa. Kun suunniteltu työryhmä pääsi paikalle, heille tuli kiire saada aikataulua kiinni ja he saivat yhden kerroksen kurottua kiinni. Aikataulun lähemmän tarkastelun jälkeen, jokaiseen taloon oli lisättävä ylimääräiset viikot vesikaton elementtejä varten. Alkumyöhästymi-

nen ja 3 lisäviikkoa aiheuttivat elementtiasennuksen lopun venymisen viidellä viikolla eteenpäin. Aikataulun versio 2 on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 2: Elementtiasennussuunnitelma ja toteuma

viikko	suunniteltu krs	suunniteltu määrä	toteutunut krs	toteutunut määrä
vk 49	B-k	80		0
vk 50	B-1	77		0
vk 51	B-2	75	B-k	60
vk 2	B-3	75	B-k, B-1	97
vk 3	B-4	80	B-2	75
vk 4	A-k	93	B-3	75
vk 5	A-1	109	B-4	71
vk 6	A-2	94	B-vk	9
vk 7	A-3	94	A-k	93
vk 8	A-4	104	A-1	109
vk 9	C-1	79	A-2	94
vk 10	C-2	100	A-3	94
vk 11	C-3	100	A-4	94
vk 12	C-4	100	A-vk	10
vk 13	C-5	93	C-1	79

Aikataulun tuotantonopeuteen päästyä kävi ilmi, että suunniteltu tuotantonopeus oli liian suuri muiden kuin B-talon osalta, sillä A- ja C-talot olivat suurempia kuin B-talo. Elementtiasennusryhmän nokkamies ratkaisi ongelman jakamalla A-talon kerrokset kahteen eri lohkokoon, joilla suunniteltu tuotantonopeus saavutettaisiin. Elementtiasennus alkaisi ensimmäisessä lohossa joka maanantaiaamuna ulkoseinillä ja päättyisi keskiviikkoamupäivällä pilareihin. Toisen lohkon ulkoseiniasennus alkaisi keskiviikkoiltapäivällä, jolloin perjantaaamupäivällä asennetaan toisen lohkon pilarit. Saumavalut ensimmäiseen lohkokoon suoritetaan perjantai iltapäivän aikana ja toiseen lohkokoon seuraavan viikon keskiviikkoiltapäiväisin. Näin valmiit lohkot kestävät päälle tulevien elementtien painon. C-talon elementtiasennus tullaan suorittamaan saman mallin mukaisesti. Elementtiasennusryhmälle tarjottiin työ urakkana kireän aikataulun vuoksi. Työryhmä joutui usein jäämään ylitöihin saavuttaakseen viikoittaiset tavoitteet.



Kuva 18: Elementtiasennus A-talon osalta (Control 2007)

Aikataulun muokkaaminen alkuperäisestä oli pakollista alun myöhästymisien takia. Muokkausten johdosta sisävalmistusvaiheessa B-talon lopun ja A-talon alun väliseksi muodostui 5 viikkoa, jolloin työt eivät päässeet etenemään yhtenäisesti läpi työmaan.

5 TUTKIMUSTULOKSET

5.1 Hyödyt tuotantomalleista Skanskan näkökulmasta

Skanskan tavoitteena on tuotantomallien avulla parantaa kilpailukykyä, tuotavuutta ja tehokkuutta toiminnassaan.⁵⁷

Tuotannosuunnittelussa tuotantomalleja voitaisiin hyödyntää visuaalisilta ominaisuuksilta, työmaalle perehdyttämisen apuvälineenä, työmaajärjestelyjen suunnittelussa sekä työturvallisuuden suunnittelussa. Tuotantomallien avulla on mahdollista havainnollistaa valitut tuotantotavat sekä tarpeen vaatiessa laatia tehokkaampia tuotantotapoja.⁵⁸

Tuotantomallista saadaan suurempi hyöty tuotannonohjaukseen, kun malli on valmiina jo ennen aikataulusuunnittelua. Tällöin määrätieto on havainnointavissa ja aikataulusuunnittelu saadaan tarkemmaksi. Tuotantomalleilla voidaan valvontatieto muuttaa visuaaliseksi malliksi kohteen edistymisen myötä.⁵⁹

5.2 Miten Enterprixe-ohjelma palvelee tuotantoa

Lähtökohtaisesti tuotannossa tulisi olla käytettävissä tietoteknisiä työkalua, joiden käytön monimutkaisuus sekä hitaus ei koidu esteeksi niiden yleistymiselle.⁶⁰

Rakentamisen vaiheessa Enterprixen mallia ei tällä hetkellä voida hyödyntää tuotannon ohjauksen työkaluna sen liian tarkan toiminnan suunnittelun vuoksi. Työmaalla tilanne elää ja ikinä ei voi olla täysin varma, mitä seuraavana päivänä tapahtuu. Työntekijät voivat sairastua äkillisesti tai toimitukset voivat epäonnistua, jolloin työt viivästyvät ja aiheuttavat korjaavia toimenpiteitä. Näihin reagoiminen tuotantomallin avustuksella vaatii sen käytön iskostumisen rutiiniksi monen vuoden käytön jälkeen. Tuotannon suunnittelua tuotantomallin avulla ei myöskään koeta samoista syistä tarpeelliseksi. Tuotan-

⁵⁷ Skanska Talonrakennus Ilkka Romo, Marjo Peltomäki Tuotemallien kehitys 8.4.2008

⁵⁸ Skanska Talonrakennus Ilkka Romo, Marjo Peltomäki Tuotemallien kehitys 8.4.2008

⁵⁹ Työpäällikkö Skanska Talonrakennus Simo Laihi 10.4.2008

⁶⁰ Skanskan toimintatapa

tomallin tuonti työmaakäyttöön on uusi ajatus, jonka laaja-alainen käyttö vaatii monen vuoden sisäänajon.⁶¹

Lukkarin hovissa ei tuotantomallin hyötyjä havaittu käytön osalta. Siihen vaikutti se, ettei kohteen tuotantomallit olleet jo kohteen alkaessa valmiita vaan niiden valmistuminen ajoittui vasta siihen kun kohteen louhinta, anturat A- ja B-talojen osalta olivat jo valmiina ja rungot olivat jo kokonaisuudessaan B-talon osalta ja puoliksi A-talon osalta nousseet. Tuotantomallin hyötyjä kuitenkin pystyttiin paremmin mieltämään tuotantomallin muuttuessa pelkämästä käsitteestä konkreettiseksi sovellukseksi.⁶²

⁶¹ Vastaavamestari Skanska Talonrakennus Mika Alapiha 29.2.2008

⁶² Vastaavamestari Skanska Talonrakennus Mika Alapiha 1.2.2008

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Käyttökokemukset Enterprixe-ohjelmasta

Enterprixe-ohjelman käyttöönotto oli helppo. Ohjelman tekijöiltä pyydettiin oikeudet ja he lähettivät tunnusluvut sähköpostitse. Tämän jälkeen ohjelman senhetkinen uusin versio ladattiin Enterprixen kotisivuilta. Ohjelmasta ei ole olemassa käyttöohjeita, joten opetus tapahtui henkilökohtaisesti usean päivän aikana. Ohjelma on suunniteltu lähtökohtaisesti helppokäyttöiseksi käyttöliittymän osalta. Ohjelmassa oli vähän toimintoja, mikä sinänsä teki ohjelmasta helppokäyttöisen ja sen käytön oppimisen helpoksi.

Tuotantomallin hyötyjä ei aikavälillä 29.9.2007- 28.3.2008 päästy kokeilemaan ohjelman keskeneräisyyden takia.

6.2 Kehitysehdotukset

Ohjelma on helppokäyttöinen ja työmaakäyttöä ajatellen vähäisiä toimenpiteitä vaativa. Heikkoutena on ohjelman hidaskäyttöisyys, kaatumisherkkyyys ja käyttöohjeen puute. Enterprixestä itsestään puuttuu kalenteri täysin, jolloin navigointi rullaa aikatauluun merkityt arkipyhät sekä lomat läpi. Ohjelmasta puuttuu useita toimintoja, joilla saisi mallien muokkausta nopeutettua, sillä samoja muokkauksien vaihteita on lukematon määrä. Myöskin ohjelman käyttö perustuu paljon hiiren oikean näppäimen takaa löytyviin valintoihin. Käyttöä varten voisi myöskin suunnitella jonkinlainen työkalurivi, josta löytyisi helposti tarvittavat ominaisuudet.

Ohjelmassa toteutumien syöttäminen ei aiheuta minkäänäköistä seuraamusta ja sitä ei voi havainnollistaa mitenkään. Havainnollistamiselle voisi ratkaisuna olla navigoinnin kehittäminen siten, että siitä voisi havaita värikoodien avulla suunnitellun ja toteutuneen rakentamisen valmiustilan, yhtäläisyydet sekä erot. Vaihtoehtoisesti navigointia voisi kehittää niin, että siinä voisi esittää kaksi eri solmua samanaikaisesti joista toinen olisi suunnitelmasolmu ja toinen toteumasolmu. Näillä vaihtoehdoilla työmaan tilanteen havainnollistaminen onnistuisi.

Aluksi ohjelman voisi ottaa käyttöön työmaille, joilta todetusti löytyy tietoteknisesti osaavaa sekä motivoitunutta henkilökuntaa.

7 YHTEENVETO

Tuotantomallien yleistyminen Skanska Talonrakennuksen työmailla vaatii jo hankkeensuunnitteluvaiheessa päätöksen tuotantomallin hyödyntämisestä, jolloin voidaan vaikuttaa suunnittelija valintoihin. Suunnittelijat valitaan tietomallinnusohjelmien käytön perusteella.

Enterprixeltä tuotantomallin hyödyntämisen leviäminen edellyttää ohjelmaa kaatavien virheiden poistaminen sekä käytön helpottaminen monipuolisesti ominaisuuksien sijainnin uudelleenjärjestelyllä sekä muokkaustoimintojen kopioinnin tai automatisoinnin mahdollistamisella. Myöskin käyttöopas ohjelman käytön periaatteista sekä ohjelman ominaisuuksista helpottaisi innokkaita ohjelman käytön aloittelijoita.

Tarkan tuotannonsuunnittelun lisäksi työmaa hyötyisi Enterprixen tuotantomalliohjelmasta suunnitelmien muutosten suoraan päivittämisestä tuotantomalliin sekä elementtien toimintaketjun varmentamisesta RFID-tunnisteiden avulla. RFID-tunnisteilla voidaan seurata elementtien toimitusketjua suunnittelupöydältä paikalleasennukseen asti. Sen lisäksi, että suunnitelmien päivitys toimisi automaattisesti olisi hyvä että suunnitelmia voisi tutkia lähemmin detaljitasolla suoraan tietokoneen näytöltä. Suurimman hyödyn tuotantomallista saisi silloin, kun kaikki eri suunnitelmat on tehty samaan malliin, jolloin työmaalla olisi käytössä yksi täydellinen malli kohteesta.

As. Oy Kirkkonummen Lukkarinhovissa ei erityisemmin tuotantomallin hyötyjä havaittu aikavälillä 29.9.2008-28.3.2009, koska ohjelma oli vielä kehitysvaiheessa.

Tuotantomallien hyötyjen tutkimista jatketaan seuraavalla Kirkkonummen työmaalla. Suunnittelijat on valittu tulevaan kohteeseen sillä perusteella, että he suunnittelevat tietomallintamalla kohteet. Tulevassa kohteessa otetaan mahdollisesti toimitusketjun seuranta RFID-tunnisteilla käyttöön.

Tuotantomallien kehitys jatkuu aktiivisesti Skanskassa tuote- ja tuotantomalleja kehittävän ryhmän toimesta.

LÄHDELUETTELO

Betoni lehti 2/2006 s.46-47

Bo-Christer Björk: Requirements and information structures for building product data models 1995, VTT 1995

Diplomityö Juhani Salo: Tuotemallin hyödyntäminen korjausrakentamisen tuotannossa 2005

Enterprike Oy: <http://www.enterprike.com/> 17.10.2007

Insinööri työ Anu Kairantaus: Tuotemalli toimitilarakentamisen asiakasmuutosten hallinnan apuvälineenä 2007

Mittaviiva Oy: http://www.mittaviiva.fi/ratufLOW/1_1_aikataulusuunnittelu.html 9.11.2007

Pro it: Tuotemallintamisen rakennushankkeessa yleiset periaatteet, Penttilä, Nissinen, Niemioja, Rakennustieto Oy 2006

Pro it: Tuotemallintaminen arkkitehtisuunnittelussa, Penttilä, Nissinen, Niemioja, Rakennustieto Oy 2006

Ratu: Rakennushankkeen ohjaus 1995, Rakennustieto Oy 1996

Ratu: Aikataulukirja 2004, Mäki, Olenius, Koskenvesa, Rakennustieto Oy 2003

Senaattikiinteistöt Oy: http://www.senaatti.fi/tiedostot/20070917_Mallipohjainenprosessi.pdf 17.10.2007

Skanska Oy intra: <http://intra/asp/system/empty.asp?P=11015&VID=default-&SID=700007553511127&A=closeall&S=0&C=27427> 17.10.2007

Tekla Finland: http://www.tekla.com/user_nf/default.asp?root_id=4092&ala_id=23161&apu=0&mode=readdoc&r=23161&site=2 29.2.2008

TKK Arkkitehtiosasto: http://arkit.tkk.fi/kurssit/A91181/tuotemallintamisen_perus-kasitteet.htm 17.10.2007

Yhteiset tietosisällöt huoltokirjoissa: Yhteensopiva tiedonsiirto avoimella xml-tekniologialla. Harri Oesch, Juha Tiuruniemi 2004

Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Building_Information_Modeling 17.10.2007

Wikipedia: <http://fi.wikipedia.org/wiki/RFID> 6.3.2008

Kuvien ja taulukoiden lähteet

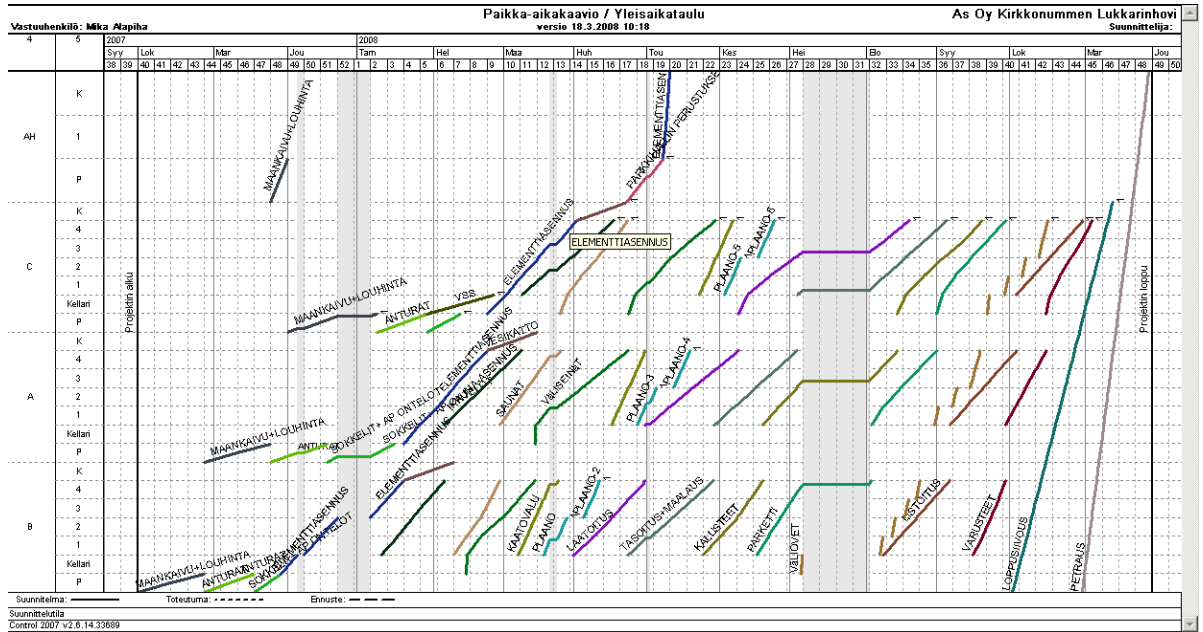
Kuva 1. Enterprike tuotantomalli

Kuva 2. VTT <http://www.vtt.fi/rte/cmp/projects/proit/> 9.11.2007

- Taulukko 1. Pro it: Tuotemallintamisen rakennushankkeessa yleiset periaatteet s.32
- Kuva 3. Diplomityö Juhani Salo: Tuotemallin hyödyntäminen korjausrakentamisen tuotannossa 2005.
- Kuva 4. PRO IT OP1.2 IFC -ohjelmistototeutusten tilanne - yhteenveto
- kuva 5. Mittaviiva http://www.mittaviiva.fi/ratufLOW/1_1_ aikataulusuunnittelu.html 9.11.2007
- Kuva 6. Graphisoft control: projektin valvonta s.7
- Kuva 7. Skanska Talonrakennus Riku Kolhonen Tuotannon laadunvalvonta
- Kuva 8. VTT <http://mango2.vtt.fi/virtual/riskianalyysit/index1d4c.html> 1.2.2008
- Kuva 9. TKK <http://www.tkk.fi/Yksikot/Rakentamistalous/Tutkimus/projektit /malli.jpg> 1.2.2008
- Kuva 10. Betoni lehti 2/2006 s.46-47
- Kuva 14. Arkkitehtitoimisto Vuorelma

LIITTEET

LIITE 1 YLEISAIKATAULU, VERSIO 1



LIITE 2 YLEISAIKATAULU, VERSIO 2

