

Ronja Korhonen

# 4D-mallintaminen rakennushankkeen tuotantovaiheessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

27.4.2017

Tekijä(t) Otsikko	Ronja Korhonen 4D-mallintaminen rakennushankkeen tuotantovaiheessa
Sivumäärä Aika	41 sivua 27.4.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennesuunnittelu
Ohjaaja(t)	Lehtori Mervi Toivonen Kehitysinsinööri Merja Ronkainen Kehitysinsinööri Sara Troberg
<p>Tämä opinnäytetyö kirjoitettiin Skanska Oy:lle tavoitteena selvittää 4D-mallintamisen hyödyt rakennushankkeen tuotantovaiheessa ja vertailla kolmen eri ohjelman ominaisuuksia aikataulun simuloimiseen tietomallin avulla. Työn tilaajalle tärkeässä asemassa oli selvittää, miten helppo ohjelmia on käyttää ja mitkä asiat vaikuttavat sopivimman ohjelman valitsemiseen.</p> <p>Kaikkien ohjelmien testaamisessa käytettiin saman rakennuksen tietomallia tasapuolisen vertailun onnistumiseksi. Jokaisella ohjelmalla luotiin muutamia erilaisia aikatauluja ja prosessin aikana kirjattiin ylös vertailulle tärkeitä toimintoja.</p> <p>Tutkimuksessa havaittiin toisten ohjelmien soveltuvan paremmin valmiin aikataulun visualisointiin ja toisten aikataulun optimoimiseen visualisoinnin avulla tehtyjen havaintojen perusteella. Ohjelmien testauksessa kävi myös ilmi, että kattavan ja monipuolisen ohjelman opetteleminen vaatii enemmän perehtymistä kuin yksinkertaisemmän.</p> <p>Tutkimuksen tuloksien avulla voidaan ohjelmien ominaisuuksiin perehtyä. Kun ohjelmien rajoitukset ja niiden väliset olennaiset erot ovat selvillä, voidaan projektille valita helposti parhaiten soveltuva ohjelma.</p>	
Avainsanat	Aikataulusuunnittelu, 4D-mallintaminen, BIM

Author(s) Title	Ronja Korhonen 4D modeling in the production phase of the construction process
Number of Pages Date	41 pages 27 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Mervi Toivonen, Senior Lecturer Merja Ronkainen, Development Engineer Sara Troberg, Development Engineer
<p>This project was commissioned by Skanska Oy with the goal to research the benefits of 4D modeling in the phase of the construction project. Three programs with 4D modeling attributes were compared determine how to choose the most effective and user-friendly program for a project.</p> <p>All of the programs were tested using the same building information model to ensure an impartial comparison. Different kinds of schedules were visualized during the testing. Important steps for combining the schedules with a 3D model were written down.</p> <p>The comparison showed that other programs are good for visualizing a done schedule, whereas other programs include tools for optimizing a schedule. Also, the programs with more versatile commands require more time to get familiar with than the more simple ones.</p> <p>The results can be used to get to know the differences between the programs. Knowing the crucial differences and limits helps the user to choose a program that meets the demands.</p>	
Keywords	Scheduling, 4D-modeling, BIM

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tietomallintaminen rakennushankkeessa	2
2.1	Tietomalli käsitteenä	2
2.2	Rakennushankkeen tietomallit	2
2.3	Suunnitelmien yhteensovittaminen tietomallien avulla	3
2.4	Tietomallien käyttö tuotantovaiheessa	4
3	Tuotantovaiheen ajallinen suunnittelu	5
3.1	Ajankäytön suunnittelu	6
3.1.1	Kohteen jakaminen osiin	6
3.1.2	Aikataulutehtävien muodostaminen ja mitoitus	7
3.1.3	Työjärjestys ja tehtävien tahdittaminen	8
3.2	Tuotannon aikataulut	9
3.2.1	Työaikataulu	9
3.2.2	Rakentamisvaiheaikataulu	10
3.2.3	Viikkoaikataulu	11
3.2.4	Toteuman valvonta	12
4	4D-mallintaminen tuotantovaiheessa	12
4.1	4D-mallintaminen käsitteenä	12
4.2	Erihausten aikataulujen 4D-mallintaminen	13
4.3	4D-mallintamisen edut tuotantovaiheessa	14
4.3.1	Aikataulusuunnittelun työkalu	14
4.3.2	Kustannustehokkuutta parantava työkalu	15
4.3.3	Aikataulun havainnollistaminen kaikille hankkeen osapuolille	15
5	Tekla Structures 21.0	16
5.1	Aikataulutietojen yhdistäminen tietomalliin	16
5.1.1	Aikataulutehtävien luominen ja mitoitus	17
5.1.2	Valmiin aikataulun yhdistäminen tietomalliin	18
5.1.3	Objektien liittäminen aikataulutehtäville	19

5.1.4	Asennusjärjestyksen tarkentaminen	21
5.1.5	Aikataulun visualisoiminen	21
5.2	Aikataulun päivittäminen	22
6	Navisworks Simulate 2016	23
6.1	Aikataulutietojen yhdistäminen tietomalliin	23
6.1.1	Aikataulutehtävien luominen	24
6.1.2	Objektien liittäminen aikataulutehtäville	26
6.2	Aikataulun visualisoiminen	28
6.3	Aikataulun päivittäminen	29
7	Synchro Pro 2016.2	30
7.1	Aikataulutietojen liittäminen tietomalliin	30
7.1.1	Aikatauluun liittyvät projektiasetukset	30
7.1.2	Aikataulutehtävien luominen ja hallitseminen	31
7.1.3	Objektien liittäminen aikataulutehtäville	33
7.2	Aikataulun visualisoiminen	34
7.3	Aikataulun päivittäminen	35
8	Ohjelmien vertailu	36
8.1	Helppokäyttöisyys	36
8.2	Tietojen päivittäminen	37
8.2.1	Aikataulun päivittäminen	37
8.2.2	Tietomallin päivittäminen	37
8.3	Valmiin aikataulun visualisointi, vai työkalu aikataulun optimointiin	38
9	Yhteenveto	39
	Lähteet	40

## Lyhenteet

- ACN *Assembly Control Number*. Tekla Structures -suunnitteluohjelmassa määriteltävä yksilöivä numerointi kokoonpanolle
- BIM *Building Information Model*. Lyhenne tietomallille, joka voi sisältää koko rakennusprosessin elinkaaren aikaiset tiedot digitaalisessa muodossa.
- IAI *International Alliance for Interoperability*. Kansainvälinen organisaatio, jonka tavoitteena on parantaa tiedon siirtämistä eri alojen suunnitteluohjelmien välillä.
- IFC *Industry Foundation Classes*. Tiedostomuoto, joka mahdollistaa tietomallien sisältämän geometrian ja parametrien siirtämisen sitä tukevien tietomallinnusohjelmien välillä.

## 1 Johdanto

Tämä insinööri työ on kirjoitettu Skanska Oy:n Suomen kehityksen ja tuottavuuden yksikölle. Yksikössä oli tarve selvittää yrityksen käytössä olevien 4D-mallintamiseen soveltuvien ohjelmien ominaisuuksia. Työssä käydään läpi Tekla Structures 21.0, Navisworks Simulate 2016 ja Synchro Pro 2016.2 -ohjelmilla tuotantovaiheen aikataulujen yhdistämistä tietomalliin ja näiden visuaalisten aikataulujen simuloimista. Insinööri työ aikana tehdyn selvityksen pohjalta 4D-mallintamisen mahdollisuuksia esitellään työmaiden toimihenkilöille. Myös 4D-mallintamisen tuomia hyötyjä tuotantovaiheen aikataulusuunnitteluun haluttiin kartoittaa.

Tietomallinnus ja analysointiohjelmiä on nykyään markkinoilla tarjolla useita. Jokaiseen ohjelmaan perehtyminen vaatii aikaa, mikä johtaa usein siihen, että käyttäjät suosivat tuttuja ohjelmia. Tämän työn aikana pyritään selkeästi perustellen esitellä Tekla Structures 21.0, Navisworks Simulate 2016 ja Synchro Pro 2016.2 -ohjelmien vahvuudet ja heikkoudet 4D-mallintamisessa. Ohjelmien välisten erojen selvittämiseksi yhdistetään kaikilla ohjelmilla eri tarkkuudella tehtyjä aikatauluja samaan tietomalliin, minkä avulla varmistetaan tasapuolinen vertailu. Simulaatioiden luomiseen vaadittavaa työpanosta ja siitä saatua hyötyä arvioitiin tärkeänä osana työtä.

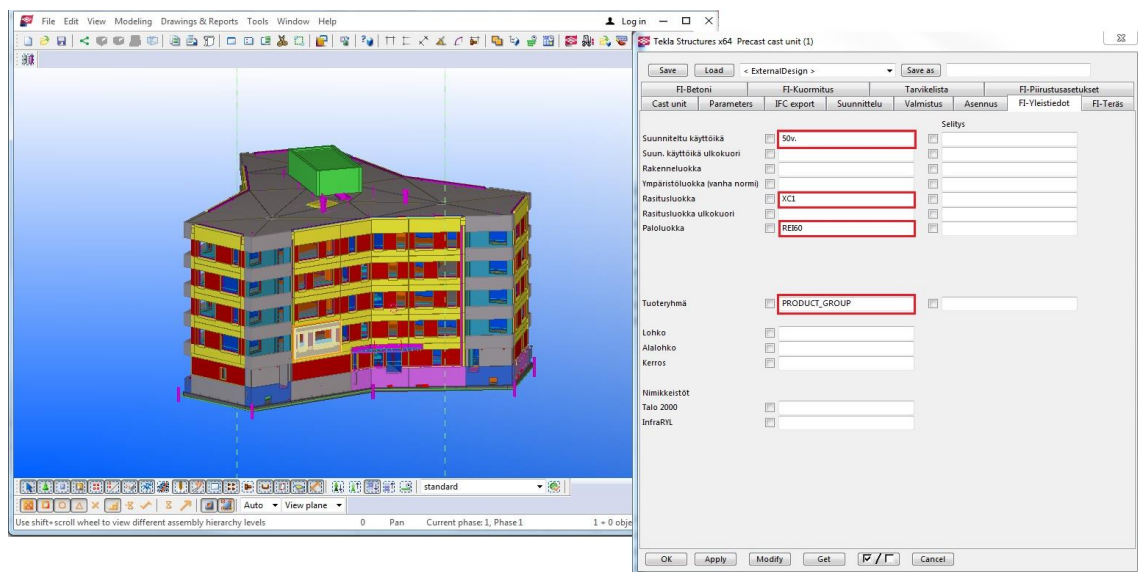
Ohjelmien välisten erojen lisäksi käsitellään myös tietomallin niitä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat 4D-mallintamiseen. Näitä seikkoja voidaan tulevaisuudessa tuoda esille sellaisten rakennushankkeiden suunnittelijoille, joissa halutaan käyttää 4D-malleja apuvälineenä tuotannonohjauksessa.

Insinööri työ lisäksi tutkimuksen aikana kerätyt havainnot kootaan ohjeistukseksi, jotka on tarkoitus jakaa yleiseen käyttöön. Se pidetään yksinkertaisena ja helposti tulkittavana myös sellaisille henkilöille, joilla on vähäistä kokemusta ohjelmien kanssa. Tämän avulla halutaan ohjata käyttäjän tarpeita parhaiten vastaavan ohjelman valinnassa ja laskea kynnystä kokeilla 4D-mallintamista.

## 2 Tietomallintaminen rakennushankkeessa

### 2.1 Tietomalli käsitteenä

Rakennuksen tietomalli on tietokoneella luotu, rakennusosista eli digitaalisista objekteista koostuva, kolmiulotteinen malli. Rakennusosien geometriatietojen lisäksi tietomallin objektit sisältävät osien välisiä yhteyksiä, sekä suunnittelijoiden lisäämää ominaisuustietoa, kuten suunniteltu käyttöikä, rasitus- ja käyttöluokka (Kuva 1). Mitä enemmän tietoa mallin objekteille lisätään, sitä monipuolisemmin sitä voidaan käyttää. Kolmiulotteinen tietomalli mahdollistaa koko rakennuksen analysoimisen toisin kuin mitkään rakennuksesta esitetyt yksittäiset piirustukset. Tietomalleihin syötetystä datasta voidaan myös analyysien avulla tuottaa tietoa, jota ei suoraan ole luettavista alkuperäisestä tietomallista. Tällaisia ovat esimerkiksi rakennuksen energiankulutuksen-, tai valaistuksen analyysit. [1, s. 26–27; 2, s. 12–16.]



Kuva 1. Suunnittelijat voivat lisätä tietomallin objekteille ominaisuustietoja.

### 2.2 Rakennushankkeen tietomallit

Tietomallinnuksen avulla voidaan tukea kokonaisvaltaisesti rakennushankkeen elinkaaren ajan suunnittelua ja rakentamisen laatua, tehokkuutta, turvallisuutta, sekä kestäväää kehitystä. Tietomalleista käytetty lyhenne BIM (Building Information Model) käsittääkin



nykyisin koko rakennusprosessin elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuutta digitaalisessa muodossa. Suunnitteluprosessin edetessä mallia voidaan päivittää ja tarkentuneita tietoja lisätä, hankkeen aikaiset tietomallit voidaankin jaotella suunnitteluvaiheiden mukaan (Taulukko 1). [3, s.3-5.]

Taulukko 1. Hankkeen elinkaaren tietomallit jaoteltuna suunnitteluvaiheiden mukaan. [8.]

Suunnittelun vaihe	Tietomalli
Tarveselvitys	Vaatimusmalli
Hankesuunnittelu	Tilamalli
Luonnossuunnittelu	Alustava rakennusosamalli
Toteutussuunnittelu	Rakennusosamalli
Rakennuksen toteutuksen suunnitelmat	Toteutusmalli
Rakentamisen suunnitelmien lopullinen toteuma	Toteumamalli
Käyttöönotto	Ylläpitomalli

Tietomallien avulla voidaan jo ennen hankkeen investointipäätöstä havainnollistaa suunnitelmien toimivuutta ja vertailla niiden kustannusvaikutuksia. Niiden avulla voidaan myös tehdä energia-, ympäristö- ja elinkaarianalyysien simulaatioita, joiden avulla tutkitaan tilaajan ja viranomaisten asettamien vaatimusten toteutuminen. Suunnitteluprosessin edetessä suunnitelmat tarkentuvat ja mallien sisältämä tietomäärä kasvaa. Rakennusprosessin loppuessa mallit päivitetään vastaamaan toteutunutta rakennusta. [3, s.3-5; 2, s.18–24.]

### 2.3 Suunnitelmien yhteensovittaminen tietomallien avulla

Hyvällä ja kokonaisvaltaisella suunnittelutyöllä luodaan rakennushankkeen laadulliselle ja taloudelliselle onnistumiselle hyvät edellytykset. Kun suunnitteluprosessissa on mukana useampia osapuolia, nousee tärkeäksi osaksi suunnittelutyötä tahojen välinen kommunikointi, sekä suunnitelmien ristiriitaisuuksien ja päällekkäisyyksien poistaminen. Näiden päällekkäisyyksien havaitseminen hankkeen aikaisessa vaiheessa mahdollistaa ongelmakohtiin puuttumisen ja uudelleen suunnittelun. Yksiselitteiset ja huolella tehdyt suunnitelmat tukevat töiden sujuvaa etenemistä rakentamisvaiheessa. [4.]

IAI-järjestön (International Alliance for Interoperability) kehittämä ja ylläpitämä kansainvälinen tiedonsiirtostandardi IFC (Industry Foundation Classes) mahdollistaa tiedonsiirron eri mallinnusohjelmien välillä. IFC on objekti-orientoitunut tiedostomuoto, jonka avulla keskitytään siirtämään geometriaa ja parametreja. Tämä mahdollistaa eri suunnittelualojen mallinnusohjelmissa tehtyjen tietomallien yhdistämisen IFC-muotoiseksi yhdistelmämalleiksi. Yhdistelmämalleilla yhteen sovitetaan kolmiulotteisesti suunnitelmat ja ohjelmien avulla voidaan suorittaa törmäystarkasteluja. Törmäystarkasteluilla haetaan objektit, joiden geometria on päällekkäin tai ne objektit, joiden etäisyydet toisistaan ovat annettuja minimietäisyyksiä pienempiä. [5, s. 37; 6.]

#### 2.4 Tietomallien käyttö tuotantovaiheessa

Rakennushankkeen tuotantovaiheessa mallipohjaisesti tehdystä suunnittelutyöstä on erityisesti hyötyä laadukkaampien suunnitelmien ja kattavamman tietosisällön kautta. Kun ristiriitaisuuksia ei tarvitse selvittää, tai päällekkäisyyksille suunnitella uusia ratkaisuja, vältetään töiden seisahtamisilta. Rakennettavan kohteen tietomallia voidaan tämän lisäksi hyödyntää monipuolisesti tuotannonohjauksessa, esimerkiksi tilattavien materiaalien määriä saadaan vaivattomasti haettua mallista, suunnitelmia voidaan esittää helposti tulkittavassa muodossa hankkeen eri osapuolille ja tehokkaina työjärjestystä simuloita visuaalisesti. [2, s.56–57.]

Tietomallinnusohjelmat ja mallien analysointiohjelmat tarjoavat erilaisia hakutyökaluja, joiden avulla saadaan helposti materiaalien, tai rakennettavien osien määrä- ja mallitietoja. Tietomallista haetut määrätiedot ovat usein käsin 2D-suunnitelmista laskettuja tietoja tarkempia, niiden huomioidessa pienetkin muutokset rakenteissa ja poistaessa inhimilliset laskuvirheet. Lähes kaikilla ohjelmilla on mahdollista viedä näitä määräluetteloja taulukkomuotoon Excel-tiedostoksi, joka voidaan liittää työmaan tarjouspyyntöön, tai tilaukseen. Esimerkiksi kerroskohtainen elementtiluettelo halutuilla tiedoilla saadaan Tekla Structures -tietomallinnusohjelmasta käyttämällä Organizer-työkalua (Kuva 2). [7.]

Name	Material type	Material	Position number	Profile	Top level / mm	Height / mm	Length / mm	Width / mm	Volume / m3	Weight / t
E9_PORRASELEMENTTI	CONCRETE	C32/40	T\1	PL1200*262	50 500	2 430	1 600	1 200	0.8	1.944
HORMI	CONCRETE	Hormielementti	EH\12	1050*400	51 985	1 050	3 000	400	1.3	2.419
HORMI	CONCRETE	Hormielementti	HE\7	650*300	51 985	650	3 000	300	0.6	1.123
HORMI	CONCRETE	Hormielementti	HE\8	550*300	51 985	550	3 000	300	0.5	0.950
HORMI	CONCRETE	Hormielementti	HE\15	3245*400	51 985	3 245	3 000	400	3.9	7.466
HORMI	CONCRETE	Hormielementti	HE\19(?)	1300*400	51 985	1 300	3 000	400	1.6	2.995
HORMI	CONCRETE	Hormielementti	HE\18	1100*400	51 985	1 100	3 000	400	1.3	2.526
HORMI	CONCRETE	Hormielementti	HE\16(?)	1495*400	51 985	1 495	3 000	400	1.8	3.439
HORMI	CONCRETE	Hormielementti	HE\21(?)	550*500	51 985	550	3 000	500	0.8	1.586
HORMI	CONCRETE	Hormielementti	HE\22	800*300	51 985	800	3 000	300	0.7	1.357
HORMI	CONCRETE	Hormielementti	HE\23	850*300	51 985	850	3 000	300	0.7	1.439
KAIDE-ELEMENTTI	CONCRETE	C30/37	Z\104	1305*110	52 675	1 305	4 552	110	0.6	1.609
KAIDE-ELEMENTTI	CONCRETE	C30/37	Z\103	1305*110	52 675	1 305	795	110	0.1	0.278
KAIDE-ELEMENTTI	CONCRETE	C30/37	Z\104	1305*110	52 675	1 305	4 552	110	0.6	1.609
KAIDE-ELEMENTTI	CONCRETE	C30/37	Z\103	1305*110	52 675	1 305	795	110	0.1	0.278
KAIDE-ELEMENTTI	CONCRETE	C30/37	Z\102	1305*110	52 675	1 305	795	110	0.1	0.278

Number of objects in the table: 87      Result of: Total      Of these rows: All

Kuva 2. Rakennusosien määrätietojen hakeminen tietomallista.

Tietomallin yhtenä merkittävimpänä hyötynä rakentamiselle pidetään suunnitelmien havainnollisuutta. Työmaan alussa se on erinomainen tapa työnjohdolle tutustua alkavaan kohteeseen ja muodostaa siitä yleiskuva. Useiden kohtien hahmottaminen vaatisi useisiin eri 2D-suunnitelmiin tutustumisen, siinä missä 3D-mallista kokonaisuus näkyy yhdellä silmäyksellä. Joskus detalji- tai leikkauskuvia ei ole piirretty kaiken tarpeellisen informaation välittämiseksi ja tällöin tietomallista voidaan ottaa mittoja, tai tehdä omia leikkauksia. Malleja voidaan käyttää perehdytyksissä ja palaverissa keskustelun apuvälineenä ja siten varmistaa, että kaikki hahmottavat mistä puhutaan. Myös työjärjestyksiä voidaan suunnitella ja esittää tietomalleja apuna käyttäen. [2, s.56–57.]

### 3 Tuotantovaiheen ajallinen suunnittelu

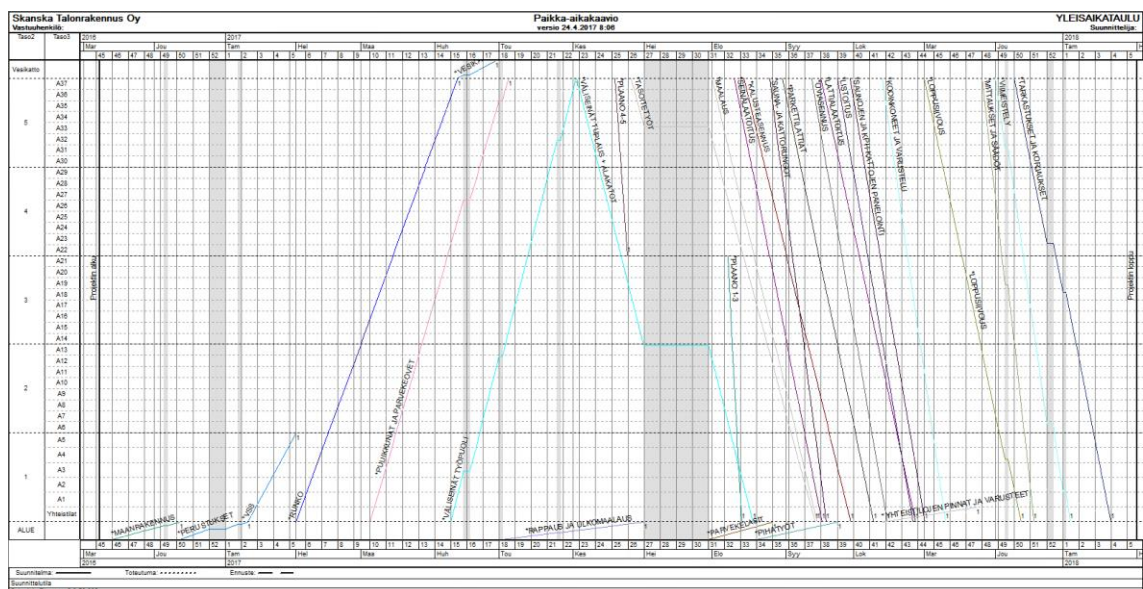
Rakennushankkeen aikataulusuunnittelun prosessi aloitetaan varhaisessa vaiheessa ja sitä jatketaan hankkeen valmistumiseen saakka. Rakennuttaja määrittää hankesuunnitteluvaiheessa projektille kokonaiskeston, ottaen siinä huomioon asettamansa laajuus- ja laatutavoitteet. Riittävän ajan varaaminen hankkeen toteutukselle mahdollistaa oikea-aikaisen valmistumisen lisäksi laadullisten tavoitteiden mukaisesti toteutetun lopputuloksen. Kokonaiskesto luo raamit, joiden pohjalta aletaan laatimaan tarkempia aikatauluja, jotka toimivat ohjekarttoina projektin läpiviemiselle. [9, s.8; 10, s.62.]

## 3.1 Ajankäytön suunnittelu

### 3.1.1 Kohteen jakaminen osiin

Tehokkaamman aikataulun suunnittelua edesauttaa rakennettavan kohteen fyysinen jakaminen pienempiin osiin, joita kutsutaan usein lohkoiksi. Tätä rakennuksen osittelua voidaan tehdä eri tasoilla, ensin muutamaksi isommaksi lohkoksi, joita jaetaan sitten edelleen pienemmiksi. Ylimmällä tasolla omiksi lohkoikseen voidaan jakaa esimerkiksi samaan rakennushankkeeseen kuuluvat erilliset rakennukset. Tarkemmalla tasolla rakennukset voidaan jakaa edelleen kerroksittain ja kerrokset niissä sijaitseviin asuntoihin. [10, s.71–75.]

Kun koko rakennushankkeen työvaiheiden etenemistä halutaan esittää ajan lisäksi myös paikan suhteessa, käytetään yleisimmin paikka-aikakaaviota (Kuva 3). Paikka-aika-kaaviossa lohkojako sijoitetaan suoritusjärjestyksessä pystyakselille ja vaaka-akselilla kuvataan ajan kulkua sopivalla tarkkuudella. Sijaintikohtainen töiden etenemisen seuranta mahdollistaa töiden tiheämmän aikataulutuksen ilman päällekkäisyyksien syntymistä, mikä puolestaan lyhentää rakennusaikaa. Tarkempaa lohkojakoa käyttämällä voidaan aikataulussa havainnollistaa työvaiheen valmistumista yhdessä lohkoissa, vaikka työvaihe jatkuukin vielä kohteen seuraavassa osassa. Kun edellinen työvaihe on valmistunut, voidaan seuraava aloittaa. [10, s.71–75.]



Kuva 3. Vinoviiva-aikataulun pystyakselilla on hankkeen lohkojako ja vaaka-akselilla esitettyä ajan kulku.

### 3.1.2 Aikataulutehtävien muodostaminen ja mitoitus

Rakennushanke tulee jakaa aikataulutehtäviin siten, että niiden pohjalta voidaan valvoa työmaan pysymistä aikataulutavoitteissa. Aikataulutehtäviä muodostaessa niistä pyritään tekemään sekä ajallisesti, että taloudellisesti hallittavia kokonaisuuksia. Saman työryhmän suorittamia pienempiä tehtäviä voidaan yhdistää yhdeksi aikataulutehtäväksi selkeämmän yleiskuvan säilyttämiseksi. Lisäksi työt, joilla ei ole tarkkaa ajoitusta voidaan huomioida aikataulussa kokoamalla ne omaksi ”muut tehtävä” aikataulutehtäväksi. [10, s.76–77.]

Tehtävä on työkaupan, aliurakan tai muu yleensä yhden työryhmän toteuttama työkokonaisuus, joka voi muodostua yhdestä työlajista, kuten tiilikaton ladonta, tai useammasta työlajista tai niiden osista, kuten kylpyhuoneen vedeneristys- ja laatoituskorjaus. (RATU R6021 Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus)

Rakennettavan kohteen määrätietojen selvittäminen on tärkeässä osassa työryhmien suunnittelussa ja työvaiheiden kestojen arvioinnissa. Hankkeen suunnitelmat sisältävät tiedon minkälaisia rakenteita ja materiaaleja rakennuksessa käytetään. Kun suunnitelmat tarkentuvat, tarkentuvat myös materiaalien määrätiedot. Tarjousvaiheessa tehtyä määrälaskentaa voidaan käyttää suuntaan antavana tietona, tarkastusten tekeminen on silti usein tarpeellista ajantasaisista suunnitelmista. Mikäli rakennushankkeessa on käytössä määrälaskentaan soveltuva tietomalli, voidaan sen avulla selvittää helposti määrätietoja. Määrätietojen laskennassa tulee huomioida määrien yksikkö, joka mitoittaa työn keston. Esimerkiksi anturoiden muottien rakentamiseen kuluva aika riippuu muottineliöistä, betonoinnin kesto puolestaan betonikuutioista. [10, s.76–77.]

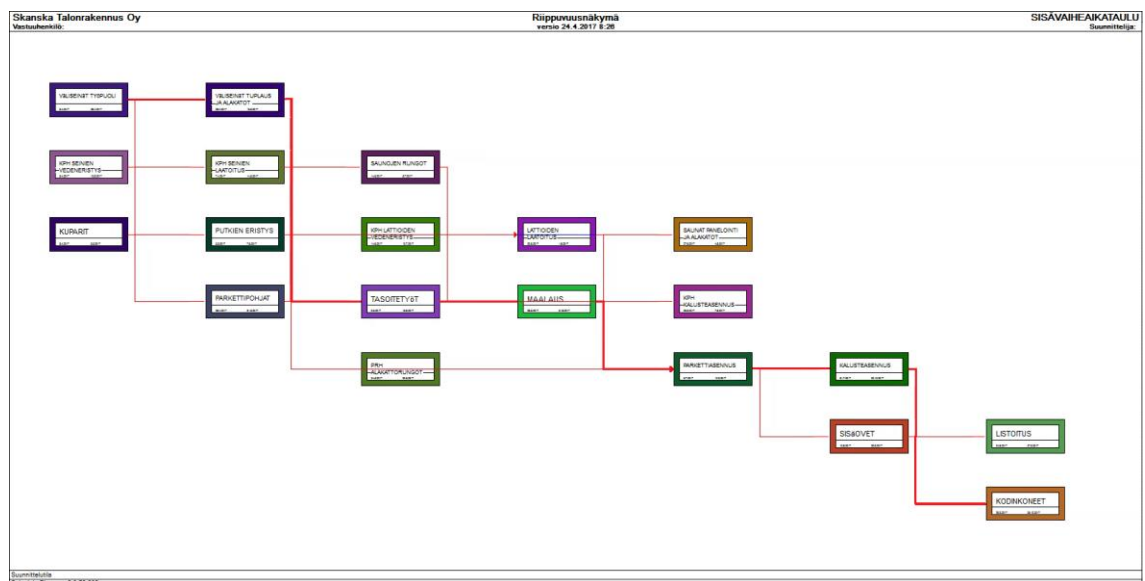
Työmenekki on aika, jonka työntekijä, työryhmä tai kone tarvitsee yhden suoriteyksikön aikaansaamiseen, esimerkiksi tth/m<sup>2</sup> tai kone-h/m<sup>3</sup>. Työmenekin yksikkö on tth/yksikkö. Työryhmän työmenekki saadaan laskemalla työryhmään kuuluvien työntekijöiden työmenekkien summa. (RATU R6021 Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus)

Aikataulujen toteutuskelpoisuuden varmistamiseksi on tärkeää, että niiden suunnittelu perustuu kohteen erityispiirteet huomioivaan työmenekkilaskentaan ja resurssisuunnitteluun. Aikataulutehtävien kestoja voidaan arvioida käyttämällä kokemukseen, tai yleiseen tietoon perustuvia työmenekkejä. Kun tehtäviin valitut työryhmät tai aliurakoitsijat tarkentuvat, voidaan yhteistyössä heidän kanssaan tarkentaa arvioituja kestoja. Hankkeen suunnitelmista saadaan määrätiedot, jotka yhdistämällä arvioituihin työmenekkeihin antavat aikataulutehtävälle kokonaiskeston. [10, s.76–77.]

### 3.1.3 Työjärjestys ja tehtävien tahdittaminen

Keskeinen osa aikataulusuunnittelua on töiden toteutusjärjestyksen suunnittelu. Järjestyksen suunnittelun tärkeimpänä osana on määrittää minkä tehtävien välillä on riippuvuuksia. Tehtävien välisellä riippuvuudella tarkoitetaan, että tehtävien töiden ajoitukset ovat jollain tapaa toisistaan kiinni. Rakennushankkeelle tyypillisin riippuvuustyyppi on ns. *loppu-alkuriippuvuus*, seuraava tehtävä ei voi alkaa, ennen kun edellinen on saatu päätökseen. Esimerkiksi anturoiden betonointia ei voida suorittaa, ennen kun muotitus- ja raudoitustyöt on tehty. Muita riippuvuustyyppiä on *alku-alkuriippuvuus*, missä tehtävä voidaan aloittaa vasta kun toinenkin tehtävä on aloitettu, *loppu-loppuriippuvuus*, missä tehtävää ei voida suorittaa loppuun, ennen kun toinen tehtävä on saatu päätökseen, sekä *alku-loppuriippuvuus*, missä tehtävä ei voi loppua, ennen kun toinen on aloitettu. [11.]

Tehtävien väliset riippuvuudet muodostuvat rajoituksista, jotka johtuvat usein pakottavasta työjärjestyksestä. Seiniä ei voida esimerkiksi maalata ennen niiden tasoittamista. Rajoituksia voi kuitenkin muodostua myös resursseista, joihin voidaan vaikuttaa työryhmien ja työvälineiden suunnittelulla. Jos sama työryhmä rakentaa väestösuojan paikallavalettavien seinien muotit ja asentaa sokkelielementit, voidaan nämä tehtävät suorittaa yksi kerrallaan ja niiden välille muodostuu resurssiriippuvuus. Kun riippuvuudet on selvitetty, nähdään kriittiset tehtävät, joiden kestot määräävät koko rakennushankkeen keston (Kuva 4). [11.]



Kuva 4. Aikataulun kannalta kriittiset tehtävät selviävät määrittelemällä riippuvuussuhteet.

Tehtävien tahdistaminen voidaan tehdä, kun kaikkien tehtävien etenemisnopeudet ja niiden väliset riippuvuudet on selvitetty. Tahdistamisessa tärkein tavoite on se, että työt voivat edetä ilman ylimääräisiä keskeytyksiä. Keskeytykset voidaan välttää, kun aikataulussa huomioidaan työryhmien eroavat työtahdit. Ikkuna- ja ulko-oviasentaja työskentelee yhdessä kerroksessa huomattavasti muuta runkoryhmää vähemmän aikaa, joten asennusta ei kannata aloittaa heti ensimmäisen kerroksen valmistuttua. Useiden työryhmien yhtäaikaista työskentelyä samoissa osissa työmaata pyritään välttämään työrauhan takaamiseksi. Töiden sujuva eteneminen on erityisen tärkeää kun käytetään urakkamuotoista työskentelyä, missä palkka maksetaan työsuorituksen perusteella. [11.]

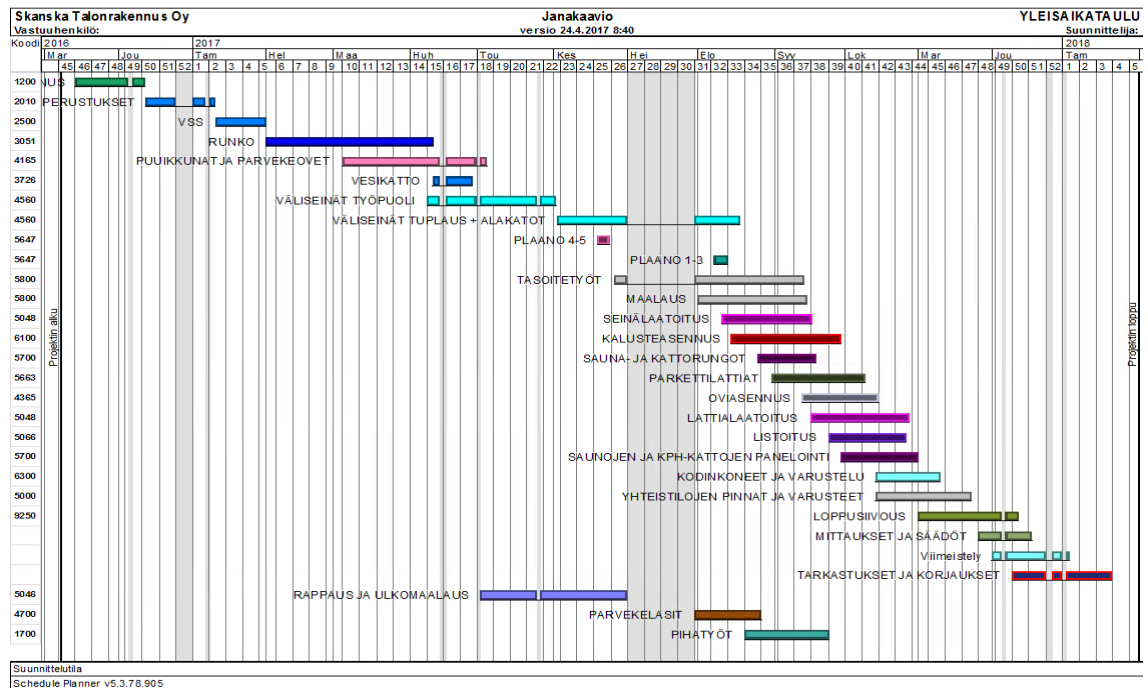
## 3.2 Tuotannon aikataulut

### 3.2.1 Työaikataulu

Rakennushankkeen yleisaikataulu voidaan jakaa ajankohdaltaan, sisällön tarkkuustasoltaan, sekä käyttötarkoituskeltaan kolmeen eri muotoon: alustava yleisaikataulu, sopimusyleisaikataulu ja työaikataulu. Rakennustyömaille työaikataulusta puhuttaessa käytetään yleisempää nimitystä yleisaikataulu, jonka tarkoituksena on esittää koko toteuttamisprosessin tärkeimmät työvaiheet ja niiden ajoitus. [10.]

Työmaan aikataulussa tulee esittää työvaiheiden ja niiden edellyttämien hankintojen keskinäinen suoritusjärjestys ja eteneminen siten, että kaikki urakoitsijat ja asiantuntijat voivat tahdistaa tehtävänsä sen mukaisesti. (Rakennusurakan yleiset sopimusehdot, YSE 1998 (RT 16-10660) Työaikataulu (4 §, 5 §))

Yleisaikataulun yleisin esitysmuoto on informatiivisuutensa takia jana-aikataulu (Kuva 5), missä tehtävien kestot on esitetty aikataulussa janoina. Jokaiselle aikataulutehtävälle arvioidaan alkamispäivämäärä ja kesto. Kestojen arviointiin käytetään yleisimmin joko kokemukseen perustuvaa, tai laskennallisesti määritettyä työmenekkitietoa. [10.]



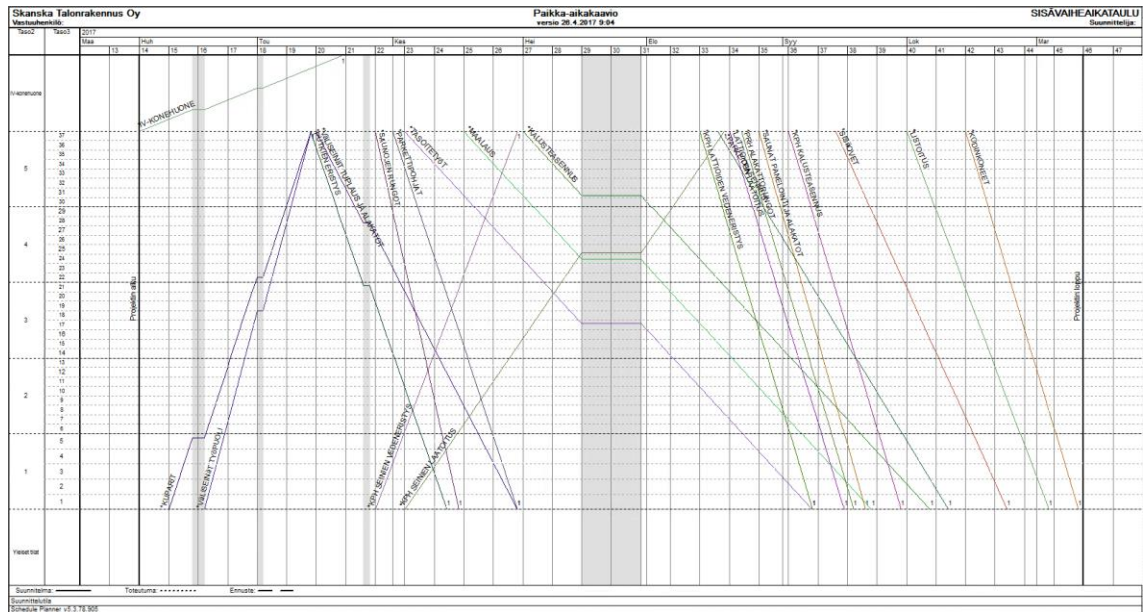
Kuva 5. Työmaan yleisaikataulu esitettynä jana-aikataulun muodossa.

Työaikataulu toimii lähtökohtana työmaan muille aikatauluille, joten se pyritään laatimaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Työaikataulu muodostuu aikataulutehtävistä, jotka voivat olla työvaiheita tai tehtäväkokonaisuuksia. Kunkin aikataulutehtävän kesto mitoitetaan käyttäen tehollisia työvuoroaikoja, eli tavoitteellisia työmenekkejä. Työmenekit eivät sisällä pidempiä häiriöitä tai keskeytyksiä, joten ne on huomioitava aikataulussa erikseen jättämällä tehtävien väliin tyhjää. [10.]

### 3.2.2 Rakentamisvaiheaikataulu

Rakennushankkeen edetessä tietoa saadaan lisää ja sen avulla voidaan tarkentaa työaikataulua rakentamisaikatauluiksi (Kuva 6). Työaikataulussa asetettujen tavoitteiden puitteissa tehdyt rakentamisaikataulut voidaan laatia joko muutaman kuukauden ajanjaksoille, tai rakentamisvaiheille. Tavallisimpia rakennusvaiheita, joihin talonrakennustyömaa jaetaan, ovat maarakennus- ja perustusvaihe, runko- ja vesikattovaihe, sisävalmistusvaihe, sekä viimeistely- ja luovutusvaihe. Tarkennetuilla vaiheaikataululla on tarkoitus varmistaa siihen kuuluvien aikataulutehtävien valmistuminen ja seuraavan työvaiheen aloituksen mahdollistaminen suunnitelmien mukaisesti. [10.]





Kuva 6. Vinoviiva-aikataulun muodossa esitetty työmaan sisävalmistusvaiheenaikataulu.

Rakentamisvaiheenaikataulut laaditaan yleensä työmaalla siinä vaiheessa, kun työryhmät ja urakoitsijat ovat jo tiedossa. Aikataulutehtävien aloituspalavereissa varmistetaan, että suunniteltu aikataulu on urakoitsijan tai työryhmän näkökulmasta siihen varatuilla resursseilla toteutuskelpoinen ja siinä asetettuihin tavoitteisiin voidaan sitoutua. [10.]

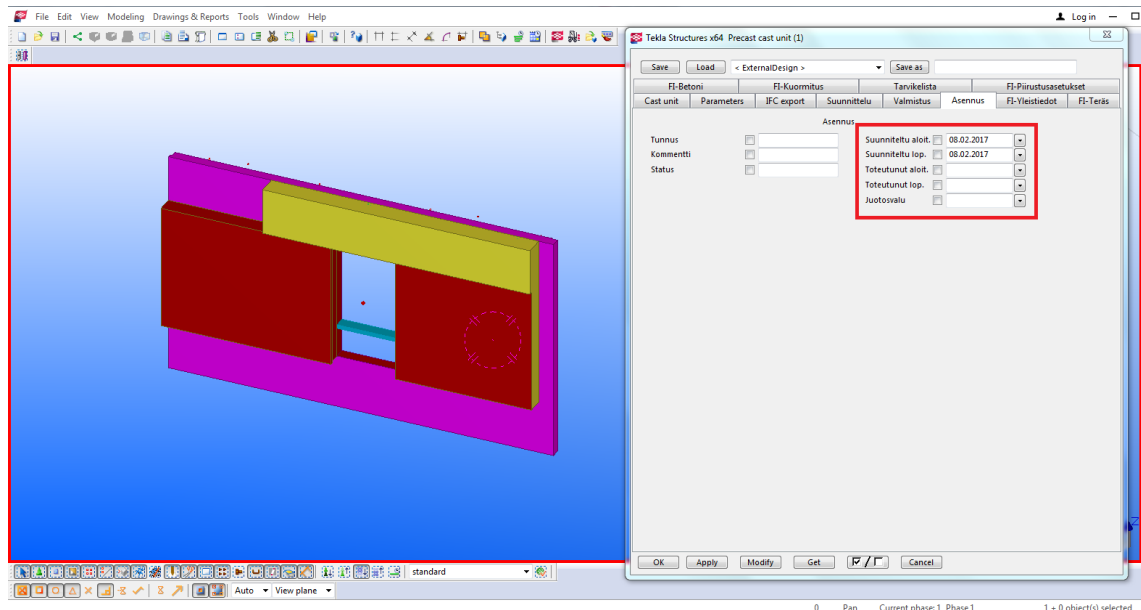
### 3.2.3 Viikkoaikataulu

Työmaalla työnjohtajat tekevät viikoittain tarkempia aikatauluja vastuullaan olevista työkohteista. Viikkoaikataulut kattavat yleensä muutaman viikon, joista tulevan viikon suunnitelma on tarkin. Näiden suunnitelmien tarkoituksena on varmistaa, että tulevat työt on suunniteltu päivätasolla ja resursseja käytetään tehokkaasti. Mitä aikaisemmassa vaiheessa huomataan puutteet töiden valmisteluissa ja pienet ristiriidat, sitä helpompi niihin on puuttua. Edellisten viikkojen tavoitteiden toteutumista seurataan samalla ja niiden avulla voidaan tarkentaa työryhmien työsaavutuksia. [10.]

Viikkoaikataulua esitetään yleisimmin yksinkertaisilla ja helposti tulkittavilla jana-aikatauluilla. Riveille nimetään työtehtävät, sekä sen tekijä tai työryhmä. Vaadittava työsaavutus tavoitteiden saavuttamiseksi voidaan myös esittää. Ajan kulkua kuvataan vähintään päivän tarkkuudella, tarvittaessa tarkemmalla tasolla. Työmaan viikkopalavereiden aikana työnjohtajat käyvät työntekijöiden kanssa läpi viikkosuunnitelmansa. [10.]



osiin. Suunnitellun aikataulun mukaisesti tietomallin objekteille lisätään tietoa siitä, milloin ne asennetaan paikalleen, tai puretaan pois (Kuva 8).



Kuva 8. Objektin tiedoissa näkyy sille syötetyt asennustiedot.

Kun aikataulutietoja on lisätty tietomallin osille, voidaan rakennusta tarkastella rakentamisen eri vaiheissa niin, että pelkästään tarkasteluvaiheeseen mennessä rakennetut osat ovat näkyvillä. Suunnitellun aikataulun eteneminen pystytään näin visualisoimaan ennen sen toteuttamista käytännössä ja erilaisten aikataulumuutosten vaikutus nähdä konkreettisesti.

Aikataulutietoja voidaan yhdistää tietomalleihin suunnitteluohjelmien lisäksi erilaisten tuotannonohjausohjelmien avulla. Niissä on keskenään erilaisia työkaluja, joiden avulla aikataulutiedot liitetään tietomallin objekteihin. Usein ohjelmat toimivat yhdessä muutamien aikatauluohjelmien kanssa, jotta aikataulun yhdistäminen tietomallin kanssa helpottuu.

## 4.2 Erilaisten aikataulujen 4D-mallintaminen

Rakennushankkeen aikana tehdään useita aikatauluja, joita voidaan visualisoida 4D-mallintamisen avulla. Ennen mallintamisen aloittamista on hyvä selvittää, minkälaisella tarkkuudella töiden etenemistä halutaan suunnitella ja seurata. Pienemmässäkin projek-

tissa aikataulutietojen syöttäminen jokaiselle yksittäiselle mallin osalle on erittäin työlästä. Normaalin kerrostalon tietomalli voi koostua yli tuhannesta osasta, jolloin tähän vaadittava työmäärä ei ole järkevä. Aikataulutietojen lisääminen kannattaa rajata niihin osiin ja tehdä sellaisella tarkkuudella joka on aikataulun etenemisen kannalta olennaista. Tietojen lisäämisen yksinkertaistamiseksi objekteista voidaan muodostaa sopivia ryhmiä, joille annetaan aikahaarukka, minkä aikana ne asennetaan. Näin aikataulutieto voidaan antaa kerralla suuremmalle määrälle objekteja yksittäisten sijaan. Esimerkiksi kerrostalon jokaiselle betonielementtiseinille voidaan syöttää tarkka asennusaika, tai vaihtoehtoisesti ryhmälle elementtiseiniä määrittää aikahaarukka, missä ne tullaan asentamaan (Taulukko 2).

Taulukko 2. Objektien asennustietoja voidaan syöttää eri tarkkuuksilla.

Elementti tunnus	Asennuksen alku	Asennuksen loppu
RX-108	01/02/2017 07:00	01/02/2017 07:30
RX-107	01/02/2017 08:00	01/02/2017 08:30
S-106	01/02/2017 09:00	01/02/2017 09:30
S-105	01/02/2017 10:00	01/02/2017 10:30
RX-106	01/02/2017 11:00	01/02/2017 11:30
S-104	01/02/2017 12:00	01/02/2017 12:30
S-103	01/02/2017 13:00	01/02/2017 13:30
RX-105	01/02/2017 14:00	01/02/2017 14:30
V-1003	01/02/2017 15:00	01/02/2017 15:30

Elementti tunnus	Asennuksen alku	Asennuksen loppu
RX-108	01/02/2017 07:00	01/02/2017 15:30
RX-107	01/02/2017 07:00	01/02/2017 15:30
S-106	01/02/2017 07:00	01/02/2017 15:30
S-105	01/02/2017 07:00	01/02/2017 15:30
RX-106	01/02/2017 07:00	01/02/2017 15:30
S-104	01/02/2017 07:00	01/02/2017 15:30
S-103	01/02/2017 07:00	01/02/2017 15:30
RX-105	01/02/2017 07:00	01/02/2017 15:30
V-1003	01/02/2017 07:00	01/02/2017 15:30

Aikataulutiedon tarkkuus vaikuttaa visuaaliseen esitykseen, osat tulevat näkyviin niille annettujen tietojen mukaisesti. Jos ryhmälle osia on annettu asennukselle aikahaarukka, ilmestyvät ne kerralla asennuksen loputtua. Usein olennaisen tarkkuuden saavuttamiseksi riittää lohkojako, johon rakennettavat osat on jaettu aikataulussa. Tarkempia aikatauluja voidaan tehdä erikseen pienemmistä osista jotka vaativat erityistä suunnittelua. Esimerkiksi elementtien asennusjärjestyksen suunnitteluun riittää usein yhden kerroksen visualisointi, jos järjestys toistuu kaikissa kerroksissa.

### 4.3 4D-mallintamisen edut tuotantovaiheessa

#### 4.3.1 Aikataulusuunnittelun työkalu

Tietomallit tekevät suunnittelijoiden suunnitelmista havainnollisia ja helposti tulkittavia kokonaisuuksia, 4D-mallintaminen mahdollistaa saman aikataulusuunnitelmille. Aikataulujen suunnitteleminen perustuu tilanteiden hahmottamiseen, jotta mahdolliset konfliktit

voidaan huomioida etukäteen. Hahmottamiskyky vaihtelee ihmisten välillä ja siihen vaikuttaa huomattavasti aikaisemmin kerätty kokemus. Laajoissa, monimutkaisissa ja uudellisissa hankkeissa kokeneellekin tekijälle kaikkien yksityiskohtien huomioiminen puhtaasti mielikuvituksen varassa on haastavaa. 4D-mallin avulla aikataulun suunnittelija näkee konkreettisemmin, miltä suunnitelma näyttää ja pystyy helposti vertailemaan erilaisten ratkaisujen vaikutusta koko tuotantovaiheeseen.

Kesken tuotantoprosessin voi eteen tulla yllättäviä tilanteita, jotka vaativat aikataulun uudelleen suunnittelemisen. Tällaisia tilanteita voi tulla esimerkiksi myöhästyneiden tavaroimitusten, tai väärässä järjestyksessä toimitettujen tilausten takia. 4D-mallintaminen tukee aikataulun uudelleen suunnittelua, kun muutoksen vaikutus rakennusprosessiin hahmottuu selkeästi, voidaan siitä aiheutuvat vaikutukset minimoida.

#### 4.3.2 Kustannustehokkuutta parantava työkalu

Monet rakennusalan johtavat tahot näkevät 4D-mallintamisen teknologian kasvattavan huomattavasti rakennushankkeiden tuottavuutta parantamalla työmaiden tehokkuutta ja pienentämällä syntyvää hukkaa ja riskejä. Aikataulusimulaation avulla aikataulua voidaan jo aikaisemmassa vaiheessa suunnitella yksityiskohtaisemmalla tasolla. Ilman 4D-mallintamista yksityiskohdista syntyvät ristiriidat käyvät usein ilmi vasta lähellä työvaiheen alkua ja lyhyellä varoitusajalla niihin reagoiminen on huomattavasti haastavampaa ja siitä aiheutuu suurempia lisäkustannuksia. [12.]

Karkeissa aikatauluissa epätarkkuus täytyy ottaa huomioon esimerkiksi työvaiheiden kestojen, tai niissä käytettävien resurssien ylivoittamisella. Yksityiskohtaisen aikataulusuunnittelun myötä suunnitelmien luotettavuus paranee, mikä puolestaan mahdollistaa tehtävien tiukemman aikatauluttamisen. Simulaatio aikataulusta kasvattaa luottamusta siihen, että töiden eteneminen tapahtuu tehokkaasti ja toteuttaminen on mahdollista ilman päällekkäisyyksiä. [12.]

#### 4.3.3 Aikataulun havainnollistaminen kaikille hankkeen osapuolille

Rakennushankkeen aikataulusuunnittelun tarkoitus on luoda mahdollisimman realistisia ja luotettavia aikatauluja olemassa olevan tiedon perusteella. Tietojen tarkentuessa myös suunnitelmien tarkastaminen ja uudelleen suunnittelu on välttämätöntä. Aikatau-

luja tehdessä varsinkin töitä toteuttavien urakoitsijoiden ja työryhmien näkökulmat tehokkuuteen ja toteutuskelpoisuuteen ovat arvokkaita. Perinteisen jana- tai vinoviiva-aikataulun tulkitseminen ja niistä kriittisten pisteiden löytäminen vaatii kokemusta. Simulaation avulla voidaan varmistua paremmin siitä, että kaikki hahmottavat aikataulun ja kykenevät kommentoimaan sitä. Kun työryhmä ymmärtää suunnitelman ja pitää sitä realistisena, ollaan siihen myös halukkaampia sitoutumaan. Työryhmät voivat myös simulaatioiden avulla valmistautua uusien ja haastavien työvaiheiden suorittamiseen. [12.]

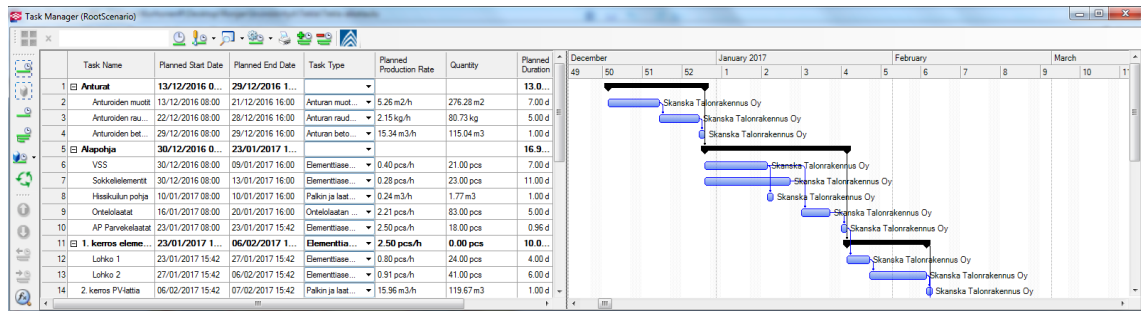
## 5 Tekla Structures 21.0

Alun perin suomalaisen ohjelmistoyrityksen kehittämät Tekla-ohjelmat ovat nykyään yhdysvaltalaisesta Trimble Inc -yrityksen omistuksessa. Monialaisen ohjelmistoyrityksen Trimblen tarjoama tuotevalikoima koostuu pääosin paikkatietopohjaista teknologiaa hyödyntävistä ohjelmista. Tekla-tuoteperhe koostuu Tekla Structures, Tekla BIMsight, Tekla Field3D ja Tekla Civil -ohjelmista. [13.]

Tekla Structures on rakennesuunnitteluohjelmisto, joka soveltuu monimutkaistenkin projektien mallintamiseen. Ohjelmalla voidaan suunnitella kaikilla eri materiaaleilla toteutettavia rakenteita ja se voidaan liittää IFC-tiedostomuodon avulla myös muihin suunnitteluohjelmistoihin. Tekla Structures ohjelmassa on suunnittelutyökalujen lisäksi myös projektinhallintatyökaluja, jotka toimivat yhdessä Vico-projektinhallintaohjelmistojen kanssa. Näin Tietomalliin voidaan liittää kustannus- ja aikataulusuunnittelulle olennaista tietoa ja mallia käyttää suunnitelmien visualisoimiseen. Ohjelman käytettävyyttä parantaa se, että useat osapuolet voivat työstiä projektin samaa tiedostoa yhtäaikaaisesti. [13; 15.]

### 5.1 Aikataulutietojen yhdistäminen tietomalliin

Tekla Structures -ohjelmassa aikataulutehtävien rakennetta hallitaan Task Manager -ikkunassa. Ikkuna on jaettu kahteen osaan, vasemmalla ovat aikataulutehtävät ja niiden tiedot taulukkomuodossa ja oikealla näkyy niistä muodostuva jana-aikataulu (Kuva 9). Vain osa aikataulutehtävälle määriteltävistä tiedoista näkyy Task Managerin sarakkeissa, tarkempia asetuksia voidaan tarkastella avaamalla kunkin tehtävän Task Information -ikkuna. Aikataulutehtäviä voidaan luoda Task Manager -ikkunassa tai ne voidaan tuoda Teklan tukemista aikatauluohjelmista.

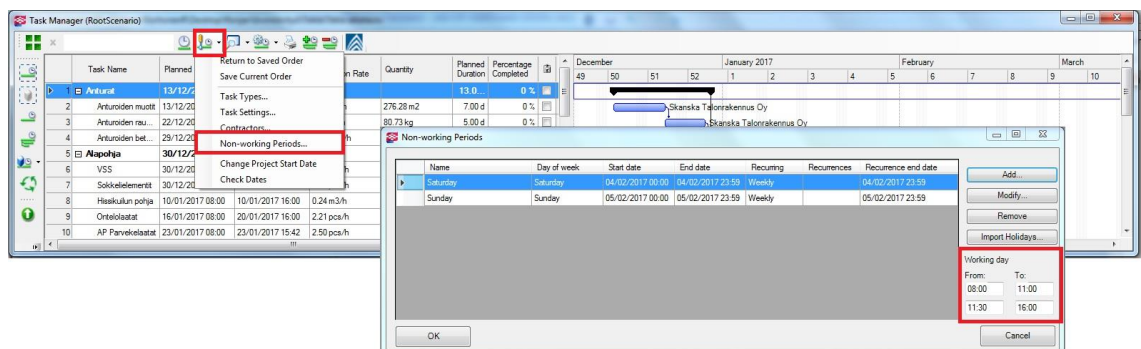


Kuva 9. Tekla Structures ohjelman Task Manager -ikkuna.

Tehtäville yhdistetään tietomallista niihin kuuluvat osat. Kun linkki aikataulutehtävän ja objektin välille on tehty, siirtyy tehtävältä aikataulutieto objektin ominaisuustietoihin. Kun aikataulutietoa on lisätty objekteille, voidaan Project Status Visualization -työkalulla tarkastella näkymiä eri tuotantovaiheissa. Sen avulla voidaan selkeästi korostaa mallista esimerkiksi ne osat, joiden asennus on myöhästynyt suunnitellusta aikataulusta.

### 5.1.1 Aikataulutehtävien luominen ja mitoitus

Tekla Structures -ohjelmalla voidaan suunnitella aikatauluja käyttämällä tietomallin sisältämää määrätietoa. Ennen aikataulutehtävien luomista on tärkeää käydä määrittämässä käytössä oleva työaika ja rajaamalla pois vapaapäivät Non-working Periods -ikkunassa (Kuva 10). Kalentereita voidaan ohjelmassa määrittellä vain yksi yhteinen kaikille työryhmille.



Kuva 10. Työpäivien ja -aikojen määrittäminen rakennushankkeelle.

Kun aikataulu halutaan luoda käyttämällä tietomallin määrätietoja, täytyy kullekin tehtävälle syöttää tieto tehtävän tyypistä. Tehtävän tyyppi sisältää tiedon, minkä yksikön avulla tehtävää mitataan, sekä työsaavutus annetulla aikavälillä. Uusia tehtävätyyppejä

voidaan luoda ja vanhoja hallita Task Type -ikkunassa (Kuva 11). Ohjelma yhdistää aikataulutehtävälle lisättyjen objektien määrätiedot ja tehtävätyypille syötetyn työsaavutuksen ja laskee automaattisesti työvaiheen keston. Kun työvaiheiden kestoja halutaan määrittää määrätietojen ja tehtävätyyppien perusteella, on rakennusosien eri rakennusvaiheille hyvä tehdä omat alatehtävät. Tällöin eri vaiheiden työsaavutusten määrittäminen tarkentuu. Esimerkiksi työvaihe anturat voidaan jakaa edelleen muotitus-, raudoitus- ja valutyöhön ja jokaisella vaiheella syöttää omat työsaavutustiedot. Tehtävien kestojen mitoittamisen jälkeen niiden väliset riippuvuudet määritellään ja sen perusteella muodostuu aikataulun rakenne.

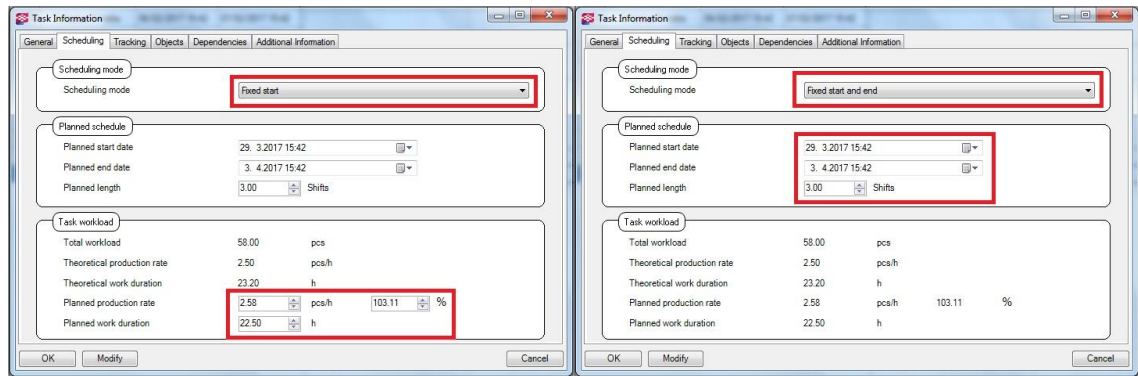
Task type	Unit	Quantity	Time	Production rate	Planned Start Date	Planned End Date	Actual Start Date	Actual End Date
Uusi tehtävä tyyppi			1 h					
Paalutus (TB-paalu 0-10m)	LENGTH	190 m	8 h	23.75 m/h	PLANNED_START_E	PLANNED_END_E	ACTUAL_START_E	ACTUAL_END_E
Paalutus (TB-paalu 10m)	LENGTH	242 m	8 h	30.25 m/h	PLANNED_START_E	PLANNED_END_E	ACTUAL_START_E	ACTUAL_END_E
Paalutus (Teräspaalu)	LENGTH	199 m	8 h	24.875 m/h	PLANNED_START_E	PLANNED_END_E	ACTUAL_START_E	ACTUAL_END_E
Anturan muotitus	FORMWOR	42 m2	8 h	5.25 m2/h	PLANNED_START...	PLANNED_END_F...	ACTUAL_START_F...	ACTUAL_END_FO...
Perusmuurin muotitus	FORMWOR	58 m2	8 h	7.25 m2/h	PLANNED_START...	PLANNED_END_F...	ACTUAL_START_F...	ACTUAL_END_FO...
Anturan raudotus (16mm)	REBAR GRO	4000 kg	8 h	500 kg/h	PLANNED_START...	PLANNED_END_R...	ACTUAL_START_R...	ACTUAL_END_RE...
Anturan betonointi	VOLUME	87 m3	8 h	10.875 m3/h	PLANNED_START...	PLANNED_END_P...	ACTUAL_START_P...	ACTUAL_END_PO...

Kuva 11. Tehtävätyypille määritetään nimi (1.), yksikkö (2.) jonka avulla tehtävää mitataan, määrä (3.) ja siihen kuuluva aika (4.). Näiden tietojen avulla Ohjelma laskee tehtävälle työsaavutuksen (5.).

### 5.1.2 Valmiin aikataulun yhdistäminen tietomalliin

Jos hankkeen aikataulu on tehty toisella projektinhallintaohjelmalla, tehtävien mitoittaminen Teklalla ei ole enää tarpeellista. Task Information -ikkunan Scheduling-välilehdellä pitää tällöin aikatauluttamisen tavaksi valita "Fixed start and end", jolloin ohjelma ei laske kestoja määrätiedon ja työsaavutuksen kautta (Kuva 12). Kun tämä valinta on aktiivinen, voidaan aikataulutehtäville syöttää suunnitellut aloitus- ja lopetus päivämäärät, eikä tehtävä tyyppien ja riippuvuuksien määrittäminen ole enää tärkeässä asemassa.



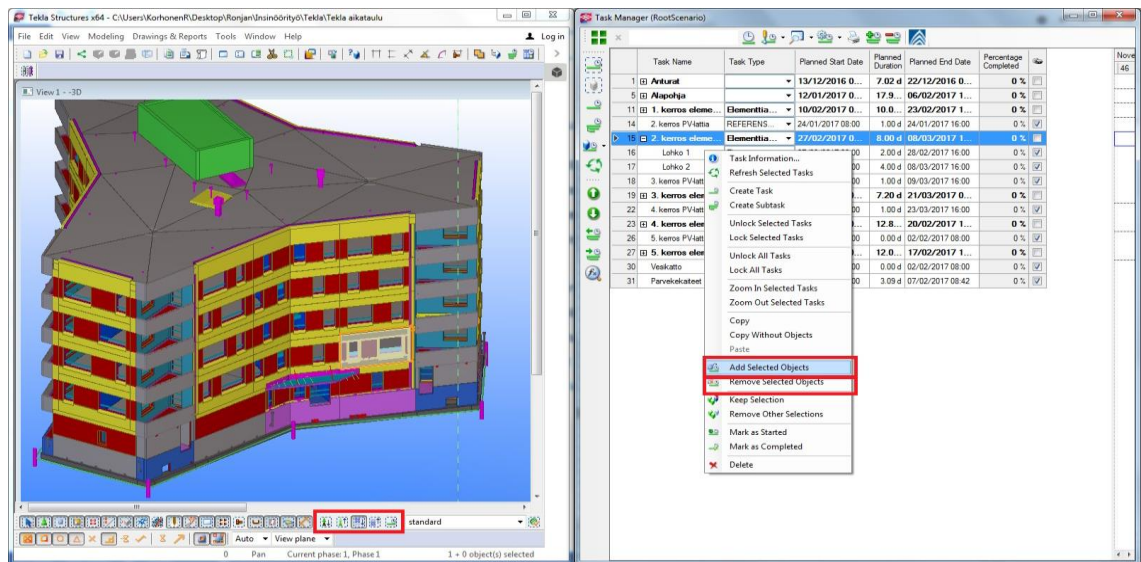


Kuva 12. "Fixed start" ja "Fixed start and end" valintojen vaikutus asennusaikojen syötettävään tietoon.

Tekla Structures -ohjelman aikatauluominaisuuksia voidaan halutessa hallita yhdessä Vico Schedule Planner -tuotannosuunnitteluohjelman kanssa. Ohjelmien välistä tiedonsiirtoa varten tarvitaan "Vico Import – Export" -plugin, joka on ladattavissa ilmaiseksi Teklan Warehousesta. Jos työmaan aikataulu on tehty käyttäen Vico Schedule Planner -ohjelmaa, voidaan rakennushankkeen aikataulun tehtävä rakenne tuoda lisäosan avulla Teklan Task Manageriin ja mikäli Teklaan päivitetään toteumatietoa, voidaan se vastavasti siirtää Schedule Plannerin aikatauluun.

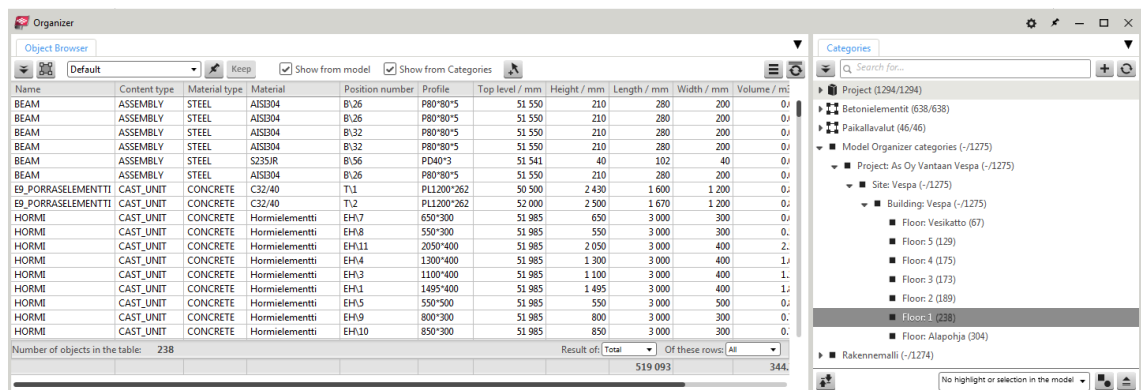
### 5.1.3 Objektien liittäminen aikataulutehtäville

Osien liittäminen aikataulutehtäville tapahtuu valitsemalla objektit tietomallissa aktiiviseksi ja sen jälkeen yhdistämällä ne toivotulle aikataulutehtävälle "Add Selected Objects" -toiminnolla. Vaihtoehtoisesti yksittäisiä osia voidaan myös poistaa tehtäviltä. Valintojen tekemistä helpottavat erilaiset valintatyökalut, joiden avulla voidaan valita kokonaisuuksia tai yksittäisiä kokoonpanojen osia (Kuva 13).



Kuva 13. Tietomallissa aktiiviseksi valittu osa voidaan lisätä, tai poistaa aikataulut tehtäviltä. Ohjelmaikkunan alarivillä on erilaisia valintatyökaluja.

Valintojen tekemisessä voidaan käyttää hyväksi Organizer -työkalua, jolla mallin osista voidaan muodostaa ryhmiä (Kuva 14). Ryhmiin voidaan hakea osia määrittelemällä hakukriteerejä. Esimerkiksi väliseinäelementit voidaan hakea yhdestä kerroksesta. Ryhmän kaikki osat voidaan valita kerralla aktiivisiksi mallissa ja siten lisätä aikataulut tehtäville.

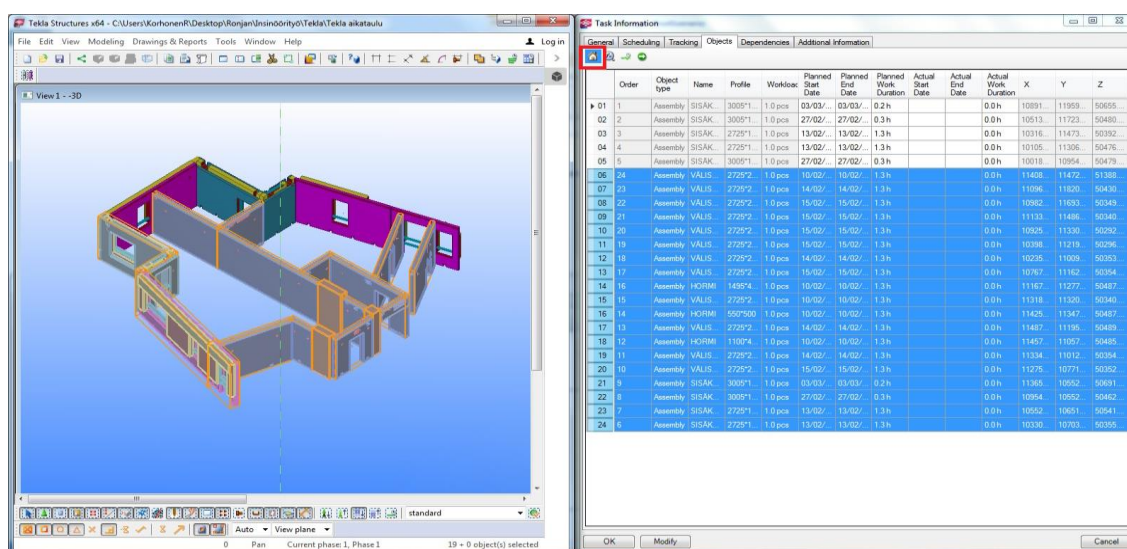


Kuva 14. Organizer työkalun avulla voidaan muodostaa tietomallin objekteista ryhmiä.

Aikataulut tehtävälle linkitettyjä objekteja voidaan tarkastella Task Information -ikkunan Objects-välilehdellä. Täällä voidaan varmistaa, että kaikki oikeat objektit on lisätty tehtävälle ja tarvittaessa poistaa ylimääräisiä. Objects-välilehdellä näkyy myös tarkempi asennusjärjestys ja yksittäisten objektien tarkat asennuksen aloitus- ja lopetuspäivämäärät.

### 5.1.4 Asennusjärjestyksen tarkentaminen

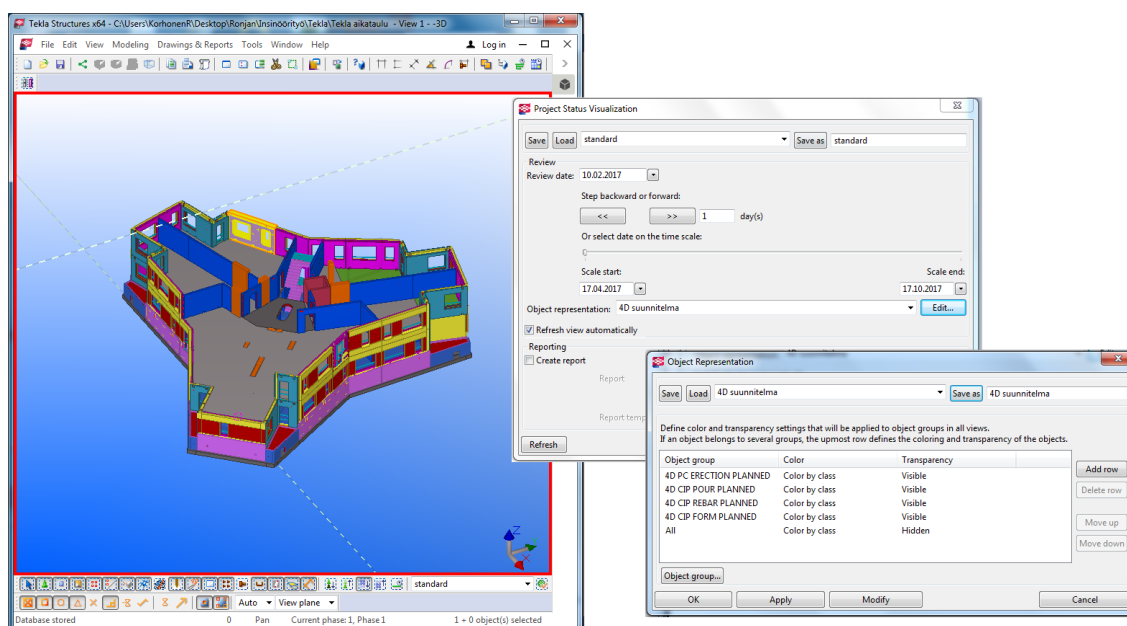
Useimmissa tapauksissa yhdelle aikataulutehtävälle liitetään useita objekteja mallista. Oletuksena ohjelma järjestää objektit nimien perusteella ja jakaa tehtävän keston niiden välillä. Asennusjärjestys voidaan muuttaa Task Information -ikkunan Objects-välilehdellä. Järjestyksen valinta aktivoidaan talo-painikkeesta, minkä jälkeen asennusjärjestys valitaan objekteja klikkaamalla (Kuva 15). Kun asennusjärjestys on valittu, voidaan funktio painikkeen avulla jakaa tehtävän kesto tasaisesti objekteille. Mikäli asennusajankoh-tia halutaan tarkentaa, voidaan objekteille syöttää myös tarkat asennuksen aloitus- ja lopetuspäivämääriä.



Kuva 15. Aikataulutehtävän sisäinen asennusjärjestys voidaan tarkentaa Objects välilehdellä.

### 5.1.5 Aikataulun visualisointi

Tekla Structures -ohjelman Project Status Visualization -työkalun avulla voidaan tarkastella ajankohtaista esitystä rakennuksesta projektin eri vaiheissa (Kuva 16). Ohjelmassa on valmiita pohjia erilaisia visualisointeja varten ja niitä voidaan luoda uusia. Asetuksissa määritetään, miten objektien aikataulutiedot halutaan esittää. Esimerkiksi kaikki objektit, joita ei ole tarkasteluhetken mennessä asennettu voidaan piilottaa tai käyttää erilaisia värikoodeja statuksen havainnollistamiseen.



Kuva 16. Project Status Visualization -työkalun avulla voidaan visualisoida objektien aikataulu-tietoja.

Aikataulun etenemistä voidaan tarkimmillaan esittää päiväkohtaisesti, päivän sisäistä tarkempaa asennusjärjestystä ei voida tarkastella. Aikatauluesitystä ei saada omaksi tiedostoksi ulos ohjelmasta. Mikäli sitä halutaan jakaa tai tarkastella ilman Tekla Structures -ohjelmaa tarvitaan erillinen ohjelma, jonka avulla voidaan kuvata videoita tai kuvia tietokoneen näytöstä.

## 5.2 Aikataulun päivittäminen

Aikataulutehtävien asennusaikoja voidaan päivittää ja toteumatietoja lisätä Task Managerissa. Myös tehtävien sisäisiä asennusjärjestyksiä voidaan muokata. Myös jos objekteja siirretään aikataulutehtävien välillä, pitää tehtävän sisäinen asennusjärjestys käydä tarkistamassa.

Aikataulun päivittäminen helpottuu, jos tehtävien väliset riippuvuudet on määritelty. Varsinaisten riippuvuussuhteiden lisäksi tehtäville määritellään miten edeltävän tehtävän päivitetty asennusaika vaikuttaa sen seuraajiin. Joskus seuraavan tehtävän aloitus ei aikaistu automaattisesti edeltävän aikaistuessa. Riippuvuuden takia aikaisemman tehtävän myöhästyminen siirtää seuraavan tehtävän aloitusta.

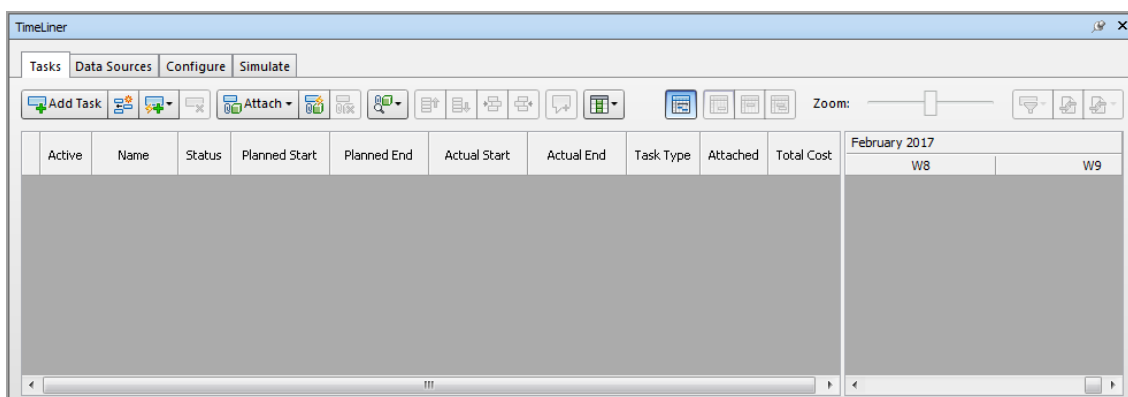
Välillä rakennushankkeen tietomallia joudutaan päivittämään vielä tuotantovaiheessa. Jos päivitetty tieto on olennaista aikataululle, pitää aikataulu siirtää uuteen tietomalliin. Aikataulun rakenne voidaan viedä erilliseksi tiedostoksi, joka voidaan tuoda uuteen malliin. Jotta objektien ja tehtävien välistä linkittämistä ei tarvitse tehdä uudestaan, voidaan käyttää ilmaista Task Relations Sync -lisäosaa. Lisäosan avulla aikaisempaan versioon tehdyt linkit voidaan tuoda uuteen malliin ja ainoastaan uudet objektit pitää yhdistää aikataulutehtäville.

## 6 Navisworks Simulate 2016

Navisworks Simulate osa on Autodeskin Navisworks -tuoteperhettä, joka koostuu kolmesta tuotteesta: Autodesk® Navisworks® Manage, Autodesk® Navisworks® Simulate ja Autodesk® Navisworks® Freedom. Manage ja Simulate ovat ohjelmia, joiden avulla voidaan hakea tietoa tietomallista, liittää aikataulu- sekä kustannusseurantaa tietomalliin, sekä luoda eri suunnittelijoiden malleista yhdistelmämalleja. Merkittävä ero näiden ohjelmien välillä on se, että vain Manage-ohjelmalla voidaan tehdä törmäystarkasteluita yhdistelmämalleille joiden avulla voidaan helposti selvittää päällekkäisyyksiä ja ristiriitoja. Freedom on puolestaan ilmaisohjelma joka on tarkoitettu muilla ohjelmilla luotujen mallien tarkasteluun. [16.] [17.]

### 6.1 Aikataulutietojen yhdistäminen tietomalliin

Navisworks Simulate -ohjelmassa aikatauluun liittyviä toimintoja hallitaan Timeliner-ikkunan avulla (Kuva 17). Aikataulutietojen lisääminen perustuu siihen, että Tasks-välilehdelle luodaan aikataulutehtävät, joille syötetään aikataulutietoja ja 3D-mallin objektit yhdistetään tämän jälkeen toivotuille aikataulutehtäville. Aikataulutehtävien välille ei voida Navisworks-ohjelmassa luoda riippuvuuksia, vaan yksittäisille aikataulutehtäville voidaan määrittää yksi suunniteltu asennuksen aloitus- ja lopetuspäivämäärä, toteutunut asennuksen aloitus- ja lopetuspäivämäärä ja linkittää siihen kuuluvat objektit mallista. Simulaatiossa aikataulutehtävään linkitettyt objektit ilmestyvät samanaikaisesti, vaiheita esitystapaa aikataulutehtävän sisällä ei tällä ohjelmalla voida määrittää. Tästä johtuen tulee jo tässä vaiheessa suunnitella, millä tarkkuudella töiden etenemistä halutaan seurata, tai simulaatiossa esittää.

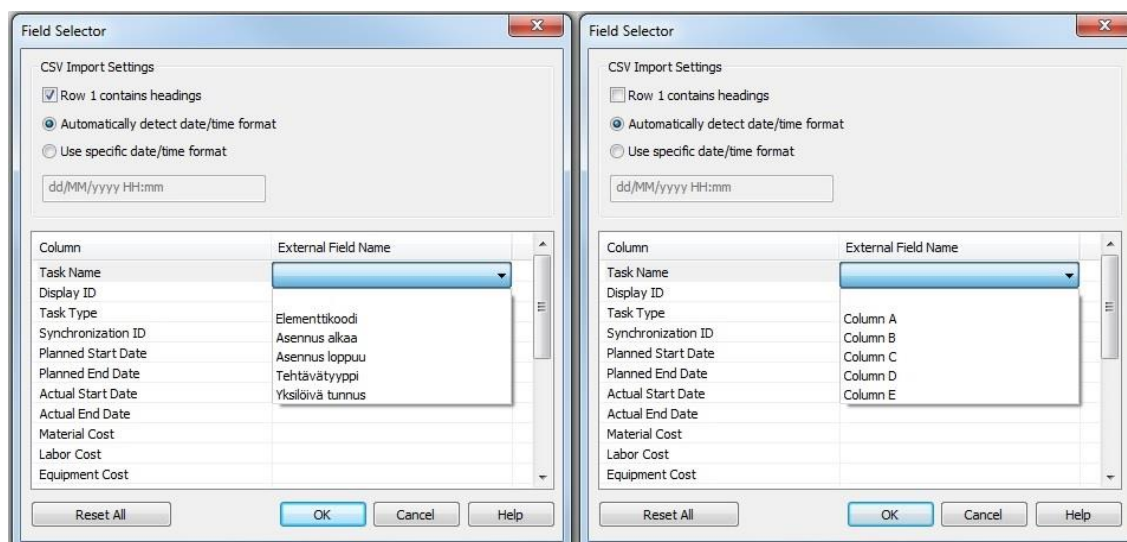


Kuva 17. Navisworks Simulate ohjelman TimeLiner ikkuna.

### 6.1.1 Aikataulutehtävien luominen

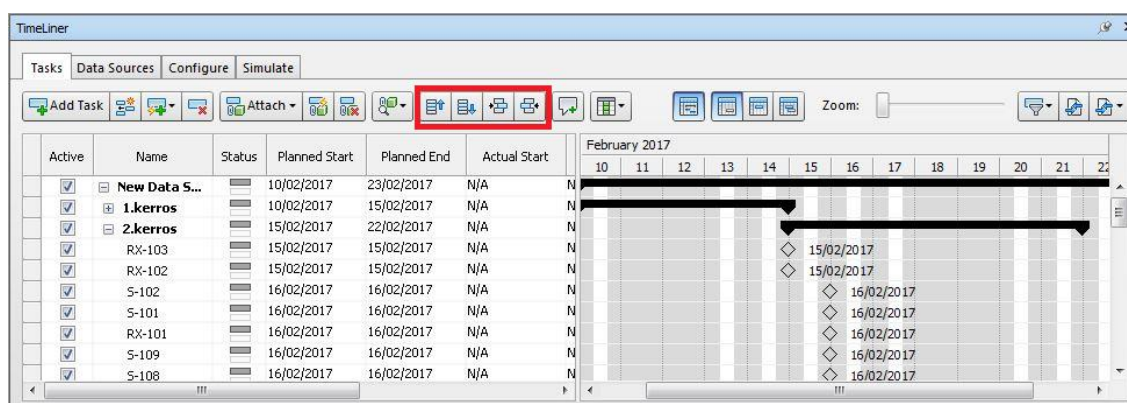
Aikataulutehtäviä voidaan lisätä ohjelman sisällä TimeLiner-ikkunassa, tai vaihtoehtoisesti niitä voidaan tuoda ulkoisista lähteistä. Navisworks Simulate -ohjelmaan voidaan tuoda suoraan Microsoft Project, tai Primavera -ohjelmilla luotu aikataulurakenne. Kyseiset projektihallintaohjelmat eivät ole Suomen Skanskalla yleisessä käytössä, minkä takia ohjelmien yhteiskäyttö on rajattu pois tämän Insinööriyön sisällöstä. Näiden projektihallinta ohjelmien lisäksi aikataulutehtäviä voidaan tuoda myös taulukkomuodossa, jota voidaan työstää Microsoft Excelin -ohjelman avulla.

Excel-ohjelman avulla voidaan luoda aikataulutehtäviä ja ne voidaan tuoda Navisworksiin. Tämä ominaisuus helpottaa aikataulun luomista ja päivittämistä huomattavasti, varsinkin jos aikataulutehtäviä on paljon. Kun Excel-tiedostoa ladataan ohjelmaan, määritellään kunkin sarakkeen sisältämä tieto vastaamaan oikeaa saraketta Navisworksin TimeLiner -ikkunassa. Tuotavan tiedoston ylimmälle riville voidaan halutessa nimetä sarakkeet, mikä helpottaa yhdistämistä tuontivaiheessa. Vaihtoehtoisesti yhdistely voidaan toteuttaa Excelin sarakkeiden kirjaintunnusten perusteella (Kuva 18).



Kuva 18. Csv tiedoston sarakkeiden linkittäminen otsikoiden (vas.) tai kirjaintunnusten (oik.) mukaan.

Ohjelma luo ulkoisesta lähteestä tuodut aikataulutehtävät automaattisesti saman yläot-sikon alle. Tehtävien järjestystä ja hierarkiaa voidaan muokata TimeLiner-ikkunassa olevilla painikkeilla (Kuva 19).

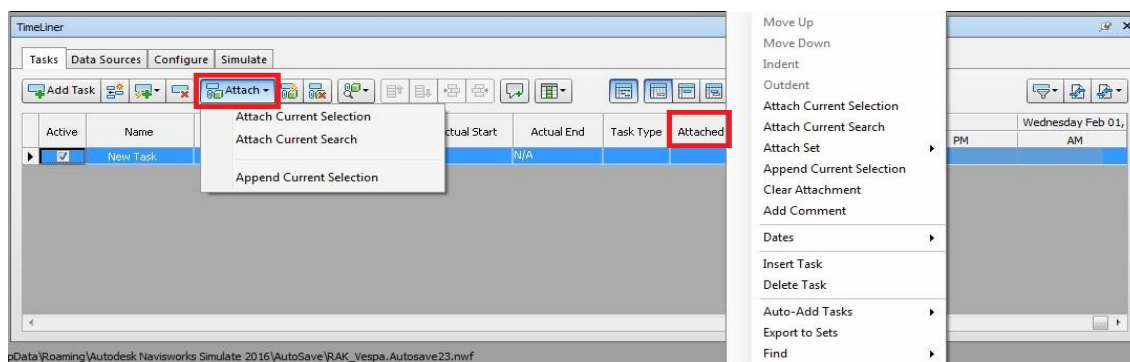


Kuva 19. Hierarkiatasojen ja järjestyksen hallitsemisen painikkeet.

Aikataulutehtäville on valmiina kolme erilaista tehtävätyyppiä: Construct, Demolish, tai Temporary (rakenna, pura, tai väliaikainen). Tarvittaessa uusia voidaan luoda Configure-välilehdellä. Tehtävätyypin määrittäminen on simulaatiota varten välttämätöntä, sillä tieto määrittää, miten objekti esitetään. Oletuksena rakennettavat osat tulevat simulaatiossa näkyviin tehtävän valmistuessa, purettavat, sekä väliaikaiset rakenteet puolestaan katoavat näkyvistä. Jokaiselle tehtävätyypille on omat näkymäasetukset, joita voidaan muuttaa Timelinerin "configure"-välilehdellä.

### 6.1.2 Objektien liittäminen aikataulutehtäville

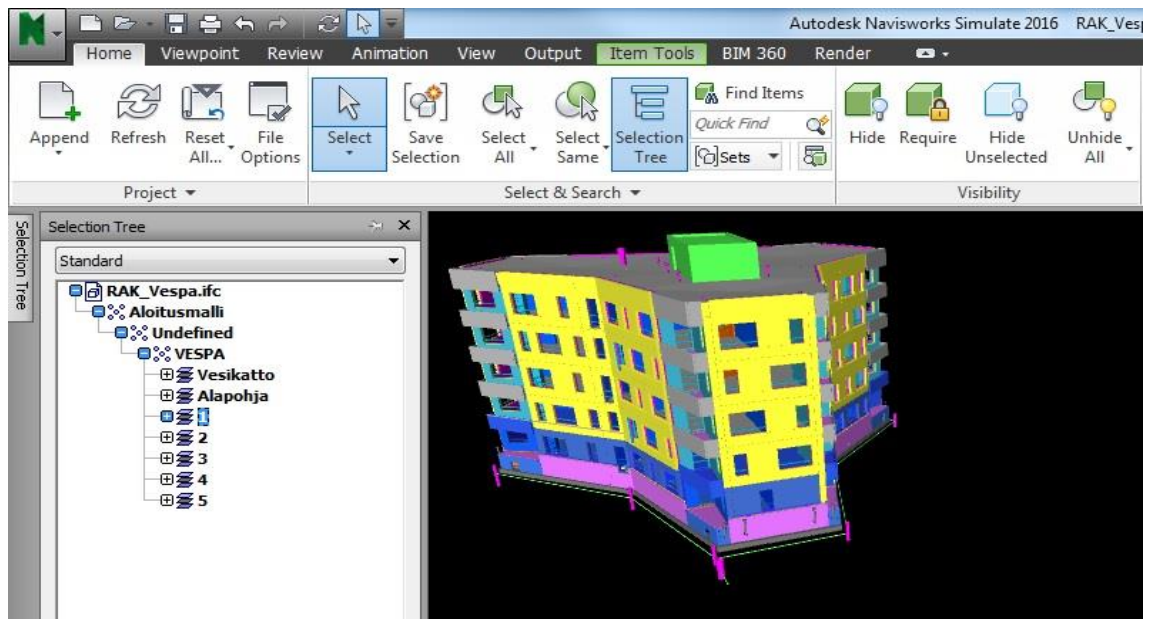
Simulaation luomiseksi tulee 3D-mallin objekteja liittää aikataulutehtäville. 3D-mallista valitaan ne osat aktiivisiksi, mitkä tulevat asennetuksi, tai puretuksi kyseisen aikataulutehtävän aikana. Timeliner-ikkunan Tasks-välilehden taulukon sarakkeeseen ”Attached” täydentyy tieto valituista objekteista. Objektien valita voidaan tehdä aikataulutehtäville erilaisin keinoin riippuen valinnan laajuudesta ja sisällöstä (Kuva 20).



Kuva 20. Objektien linkittäminen aikataulutehtäville.

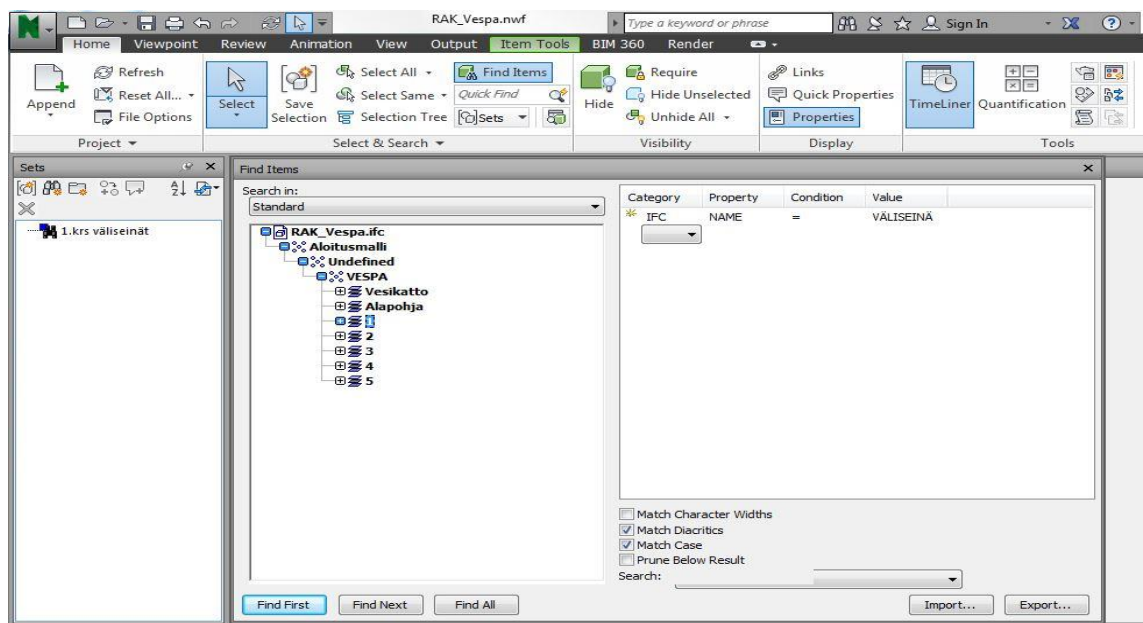
Yksittäisiä objekteja voidaan lisätä tehtäville valitsemalla ne aktiivisiksi mallista ja lisäämällä TimeLiner-ikkunassa aikataulutehtävälle. Kun useita objekteja halutaan lisätä samalle aikataulutehtävälle, tarjoaa ohjelma vaihtoehtoisia tapoja valintojen tekemiseen. Selection Tree -valikko tarjoaa mahdollisuuden valita tietomalliin tehdyn jaottelun, esimerkiksi kerroskohtaisen jaottelun mukaan (Kuva 21). Selection Tree -ikkunan pudotusvalikon ”Properties” kohdasta löytyy myös otsikot objekteille syötetyistä tiedoista. Näiden otsikoiden alta voidaan hakea esimerkiksi kaikki 3D-mallissa olevat objektit, joille on annettu nimi ”Antura”. Mikäli sopivia jaotteluita ei ole valmiiksi olemassa, voidaan itse luoda ryhmiä, eli ”settejä”, joita hallitaan Sets-ikkunassa. Ryhmien tekeminen onnistuu joko valitsemalla aktiiviseksi osia, tai Find Items -hakutyökalun avulla ja muodostamalla niistä ryhmiä.





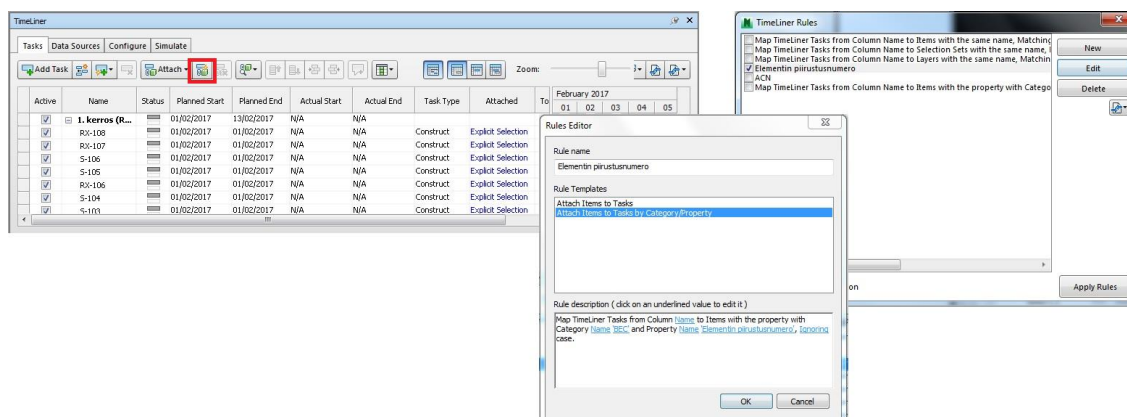
Kuva 21. Tietomallin osat Selection Tree -ikkunassa.

Find Items -hakutyökalun avulla saadaan aktiivisiksi osat, jotka vastaavat haussa määritettyjä ehtoja. Kun haku on suoritettu, voidaan hakutuloksena löytyneistä objekteista luoda ryhmiä. Esimerkiksi hakukriteereiksi voidaan määritellä ensimmäisessä kerroksessa sijaitsevat väliseinät (Kuva 22).



Kuva 22. "Find Items" Objektien hakutyökalu.

Objekteja voidaan yhdistää aikataulutehtäville myös käyttämällä Auto-Attaching Rules-toimintoa. Automaattinen yhdistäminen toimii silloin, kun aikataulutehtävällä ja objektilla on täysin identtistä tietoa. Objektit ja aikataulutehtävät voidaan yhdistää esimerkiksi nimien perusteella.

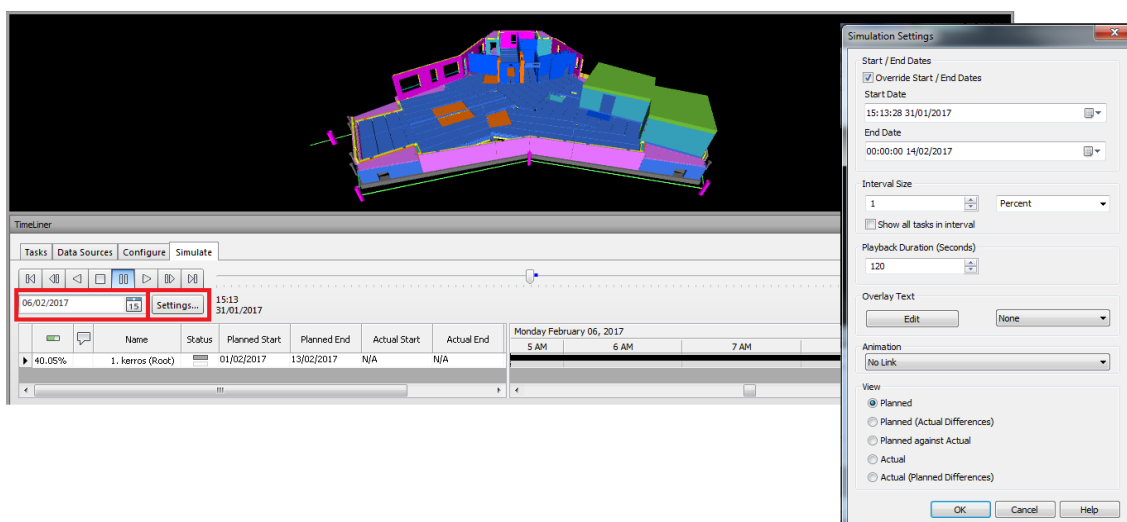


Kuva 23. Aikataulutehtäviä ja objekteja voidaan yhdistää automaattisesti Auto-Attaching Rules-toiminnon avulla.

Yhdistämisen onnistumiseksi tiedon objektin pitää olla täysin identtistä aikataulutehtävän tiedon kanssa. Toimintoa testatessa kävi ilmi, että ohjelma ei pystynyt yhdistämään elementtien yksilöiviä ACN-tunnuksia (Assembly Control Number) aikataulutehtävien kanssa, vaikka elementtitunnuksien yhdistäminen onnistui. Nämä tiedot syötetty natiivimallissa eri paikkoihin, mikä voi aiheuttaa ongelman.

## 6.2 Aikataulun visualisoiminen

TimeLiner-ikkunan Configure-välilehdellä määritellään miten erilaiset tehtävätyypit esitetään simulaatiossa. Simulate-välilehden asetuksista määritellään mitä aikaväliä halutaan tarkastella ja esitetäänkö suunniteltua aikataulua, vai toteutuneita asennusaikoja. Simulaatiossa ajan kulkua esitetään kellonajan tarkkuudella, joten eri kellonaikoihin aikataulutetut elementit ilmestyvät yksitellen. Simulaatio voidaan viedä ulos ohjelmasta videon muodossa ja sitä voidaan katsoa tiedostomuotoa tukevilla mediasoittimilla.



Kuva 24. Aikataulun visualisointi simulaation avulla.

Koska ohjelmassa ei määritellä työaikaa, näkyy visualisoinnissa myös ne ajat kun rakennustyöt eivät etene. Jos kesken projektin on pidempiä töiden keskeytyksiä esimerkiksi lomien takia, kannattaa aikataulusta tehdä useampia erillisiä simulaatioita. Tällöin yksi simulaatio voitaisiin luoda tuotantovaiheesta ennen keskeytystä ja toinen sen jälkeen.

### 6.3 Aikataulun päivittäminen

Aikataulutehtävien olemassa olevaa tietoa voidaan muokata tai uutta lisätä TimeLiner-ikkunassa. Esimerkiksi toteumatietoa voidaan päivittää täyttämällä asennusten todellisia alkamis- ja lopetusajankohtia Actual Start ja Actual End -sarakkeisiin. Jos tehtävät on tuotu csv-tiedostosta, voidaan muutokset tehdä alkuperäiseen tiedostoon ja muutettu, tai lisätty tieto päivittää synkronoimalla tiedosto DataSource-välilehdellä. Mikäli uusille sarakkeille on syötetty tietoa, tulee myös niille määrittää, mihin sarakkeisiin niiden sisältämä tieto tuodaan. Tietojen päivittämisen onnistumiseksi on huomioitava, että csv-tiedoston sijaintia ei voida muuttaa. Jos tiedosto siirretään, antaa ohjelma virheilmoituksen ja tietojen päivitys onnistuu vasta kun tiedosto on palautettu alkuperäiseen sijaintiin. Päivittämistä varten pitää jokaiselle aikataulutehtävälle antaa myös yksilöivä tunnus Synchronization ID, esimerkiksi juokseva numerointi tai elementtien ACNtunnukset. Tiedot, jotka aikataulutehtäville tulee vähintään antaa aikataulusimulaation luomiseksi ja päivittämiseksi:

- Tehtävän nimi

- Asennuksen aloitus- ja lopetuspäivämäärä
- Tehtävätyyppi
- Yksilöivä tunnus.

Jos rakennushankkeen tietomalliin tulee aikataululle merkittäviä päivityksiä, pitää aikataulu siirtää uuteen malliin. Koko prosessia ei tällöin tarvitse aloittaa kokonaan alusta, koska aikataulun rakenne ja tiedot voidaan tuoda vanhasta projektista uuteen malliin. Aikataulutehtävien ja objektien väliset linkit katoavat kuitenkin siirron aikana. Objektien uudelleenyhdistäminen aikataulutehtäville nopeutuu, jos edellisessä projektissa objekteista on luotu ryhmiä, jotka on muodostettu hakukriteereillä. Edellisen projektin hakukriteerit voidaan siirtää uuteen malliin, jolloin tätä työvaihetta ei tarvitse toistaa.

## 7 Synchro Pro 2016.2

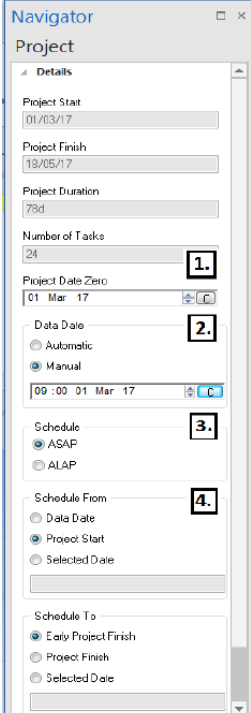
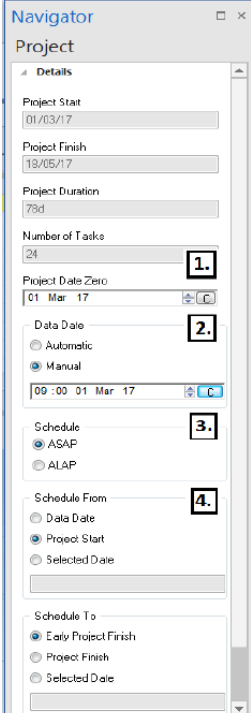
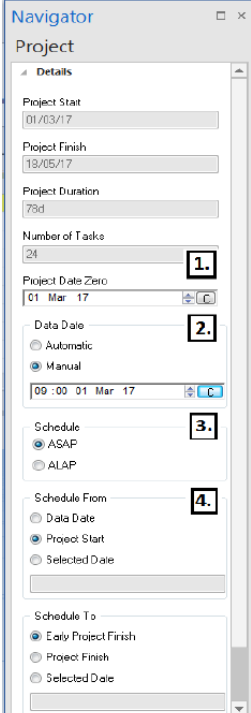
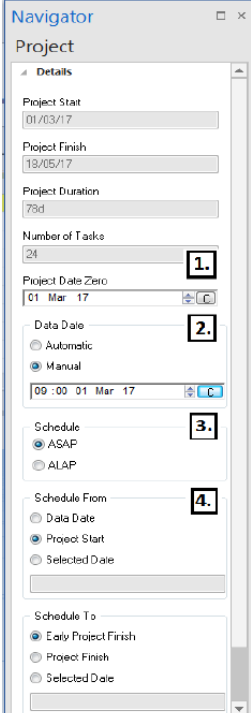
Synchro Software yhtiön tietomallipohjainen tuotannonohjausohjelma Synchro Pro. Ohjelman kehityksen lähtökohtana on toiminut digitaalisen teknologian hyödyntäminen rakennushankkeiden suunnitteluprosessin ja tuotannon työtapojen hallitsemisessa.

### 7.1 Aikataulutietojen liittäminen tietomalliin

#### 7.1.1 Aikatauluun liittyvät projektiasetukset

Synchro pyrkii optimoimaan aikataulua automaattisesti, minkä takia on tärkeää määrittää raamit, joissa aikataulu halutaan toteuttaa. Nämä asetukset on hyvä käydä asettamassa ennen aikataulutehtävien luomista (Taulukko 3). Tärkeimpiä ohjelmalle syötettäviä tietoja ovat projektin aloituksen päivämäärä, logiikka jolla tehtävät aikataulutetaan ja aika-väli jossa projekti toteutetaan. Asetuksista voidaan valita kaksi erilaista logiikkaa tehtävien aikataulutukselle, ASAP (As Soon as Possible) tai ALAP (As Late as Possible). ASAP-logiikalla aikataululle annetaan aloituspäivämäärä, jonka mukaan tehtävien aloitus ajoitetaan aikaisimpaan mahdolliseen hetkeen. ALAP-logiikalla projektilla on päättymispäivämäärä, johon mennessä tehtävät tulee suorittaa. Aikataulutehtävät ajoitetaan niin, että projekti valmistuu toivottuna ajankohtana.

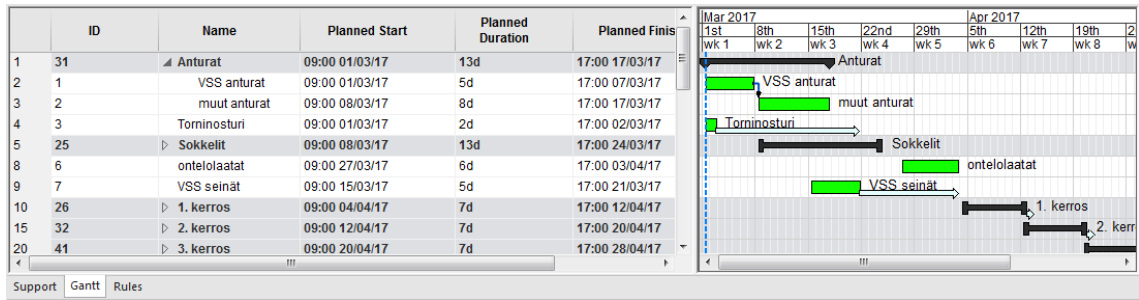
Taulukko 3. Projektille määritettäviä aikatauluasetuksia.

1	<b>Project Date Zero</b>	Rakennusprosessin alkamispäivä. Kun töiden etenemistä seurataan, määrittää tämä päivämäärä raportoinnin aloitusajankohdan.	
2	<b>Data Date</b>	Raportointipäivämäärä. Esimerkiksi asetettuna päivänä töiden valmiusprosentit. <b>Automaattinen</b> - päivämäärä kun ohjelma avataan, <b>manuaalinen</b> - käyttäjä voi asettaa itse päivämäärään.	
3	<b>Schedule</b>	<b>ASAP</b> (As Soon as Possible), ohjelma sijoittaa aikataulutehtävät alkamaan mahdollisimman aikaisin. <b>ALAP</b> (As Late as Possible), tehtävien lopetus myöhäisimpänä mahdollisena ajankohtana.	
4	<b>Schedule From/To</b>	Aikaväli, johon ohjelma ajoittaa aikataulun.	

Tärkeä asetus aikataulun luomisessa on käytettävät kalenterit. Projektin kalenterit määrittävät viikossa olevat työpäivät ja työpäivien aloituksen, sekä lopetuksen ja niiden aikana käytössä olevat työtunnit. Näitä kalentereita voi projektissa olla useampia eri tehtävissä työskenteleville työryhmille. Esimerkiksi runkovaiheessa kerroksen elementtien asennukseen voi työskentelevälle asennusporukalle riittää tavallinen 40-tuntinen työviikko. Välipohjat toteutetaan paikallavalettuna ja muotin rakentamisessa käytössä oleva työryhmä tarvitsee ylimääräisen työpäivän viikossa pysyäkseen muun runkoporukan tahdissa. Tieto eriävistä työskentelyajoista annetaan ohjelmalle määrittämällä aikataulutehtäville omat kalenterit.

### 7.1.2 Aikataulutehtävien luominen ja hallitseminen

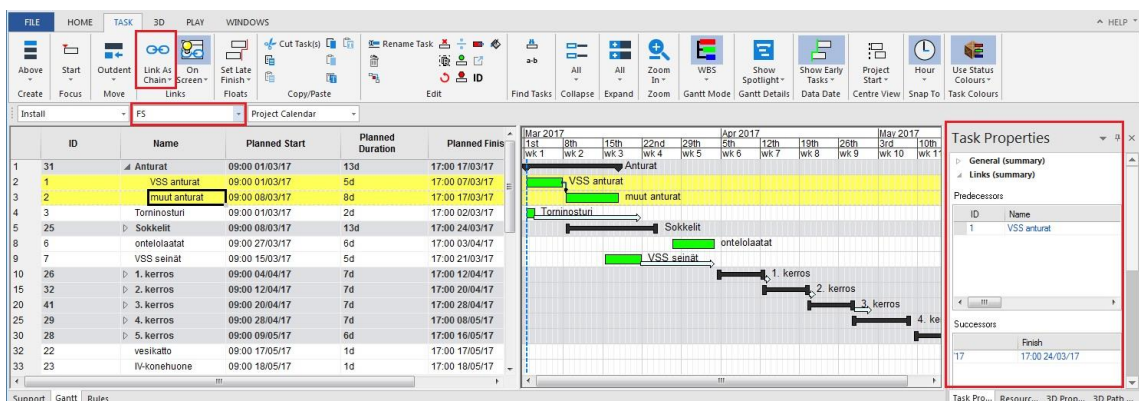
Projektin aikataulutehtäviä hallitaan Synchro Pro -ohjelmassa Gantt-ikkunassa (Kuva 25). Ikkunan vasemmalla puolella on taulukko tehtävistä ja niille syötetyistä tiedoista. Näkyvillä olevia sarakkeita voidaan muokata niin, että vain olennainen tieto on esillä. Oikealla puolella syötetyt aikataulutiedot ovat jana-aikataulun muodossa. Aktiiviseksi valitun tehtävän tarkempia tietoja voidaan tarkastella Task Properties -ikkunassa.



Kuva 25. Synchro ohjelmassa aikataulutehtävät ovat Gantt-ikkunassa.

Uusia aikataulutehtäviä voidaan luoda Gantt-ikkunassa, tai niitä voidaan tuoda ulkoisista lähteistä. Synchro Pro tukee Navisworks Simulate -ohjelman tavoin Primavera ja Microsoft Project -aikatauluohjelmia, joista aikataulurakenteita voidaan tuoda suoraan. Näiden lisäksi Synchro Software on kehittänyt oman ilmaisen aikatauluohjelman Synchro Scheduler, jota voidaan käyttää yhdessä Synchro Pro:n kanssa.

Aikataulutehtäville ei tässä ohjelmassa ole järkevää syöttää aloitus ja lopetuspäivämääriä, koska ohjelma pyrkii siirtämään tehtävän ajoituksen mahdollisimman optimaaliseksi. Tärkeintä on suunnitella tehtäville kestot ja niiden riippuvuudet muihin tehtäviin. Tehtävien kestot voidaan syöttää suoraan sarakkeeseen, jossa ne esitetään päivinä tai tunteina. Tehtävien väliset riippuvuudet on yksinkertaisin määrittää valitsemalla toivotut tehtävät aktiiviseksi ja valitsemalla yläpalkin Task-välilehdellä "Link As Chain" (Kuva 26). Muodostuvien riippuvuussuhteiden tyyliä voidaan vaihtaa yläpalkin alla olevasta alasveivalikosta. Ohjelmassa voidaan muodostaa alku-loppu-, alku-alku-, loppu-alku ja loppu-loppuriippuvuuksia. Kun kestot ja riippuvuussuhteet määritetty ja aikataulu päivitetty, nähdään jana-aikataulusta tehtävien optimoidut ajoitukset.

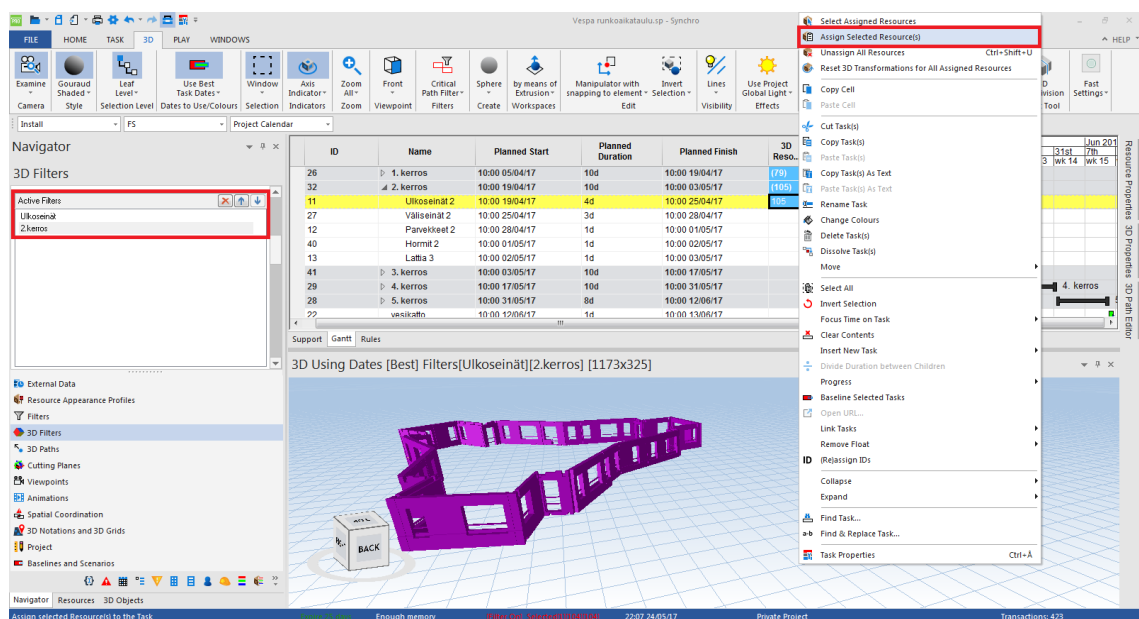


Kuva 26. Tehtävien välisen riippuvuuden määrittäminen.

Rakennushankkeen tehtävillä voi olla rajoituksia niiden aloitus- tai lopetusajankohdan suhteen. Tällainen tilanne voi tulla, jos esimerkiksi työryhmä vapautuu edelliseltä työmaalta vasta sovittuun päivämäärän jälkeen. Automaattisen optimoinnin takia aikataulu-tehtävän aloitus- tai lopetuspäivämäärän muuttaminen ei toimi, vaan rajoitus pitää käydä lisäämässä tehtävän Task Properties -ikkunassa.

### 7.1.3 Objektien liittäminen aikataulutehtäville

Kun tietomallin objekteja liitetään aikataulutehtäville, voidaan apuna käyttää 3D-näkymän suodattimia (Kuva 27). Suodattimien avulla mallista haetaan tai piilotetaan kriteerien mukaiset osat. Useampia suodattimia voidaan myös yhdistää, mistä on huomattavasti apua esimerkiksi kerrostaloprojektissa. Kerrostalossa osia halutaan usein valita kerroksittain aikataulutehtäville ja tällöin jokaiselle kerrokselle kannattaa tehdä oma suodatin. Kun kerroskohtaisten suodattimien lisäksi luodaan suodatin esimerkiksi väliseinille, saadaan helposti valittua yhden kerroksen väliseinät.



Kuva 27. 3D-näkymän suodattaminen ja objektien liittäminen aikataulutehtäville.

Objekteja voidaan yhdistää aikataulutehtäville myös käyttämällä Auto-Matching Rule -toimintoa, jolla ohjelma yhdistää automaattisesti tehtäville objektit, joissa on identtinen tieto. Yhdistävä tieto määritellään asetuksista. Tätä toimintoa käytettäessä on huomioitava että ohjelma ei osaa lukea tietoa kokoonpanoilta, vaan tieto on siirrettävä ensin kokoonpanon jokaiselle osalle.

Tietomallin yhtenäisenä objekteja voidaan tarvittaessa jakaa 3D Subdivision -työkalulla pienempiin osiin. Tämän on erityisen hyödyllistä, jos aikataulun kannalta on tärkeä esittää lohkoja, missä paikallavalettavat betonirakenteet toteutetaan.

## 7.2 Aikataulun visualisoiminen

Ohjelmassa sekä 3D-näkymille, että aikataulutehtäville voidaan tehdä suodattimia. Kun aikataulua halutaan tarkastella, käytetään 3D-näkymälle suodatinta, joka näyttää objektit aikataulutehtävien perusteella. Ohjelmassa on tätä varten valmiiksi Same as Task Filter -suodatin, joka suodattaa näkymää aikataulutehtävien perusteella. Aikataulutehtävistä muodostuvassa jana-aikataulussa on näkyvissä punainen katkoviiva, joka osoittaa millä hetkellä aikataulua visualisoidaan (Kuva 28).

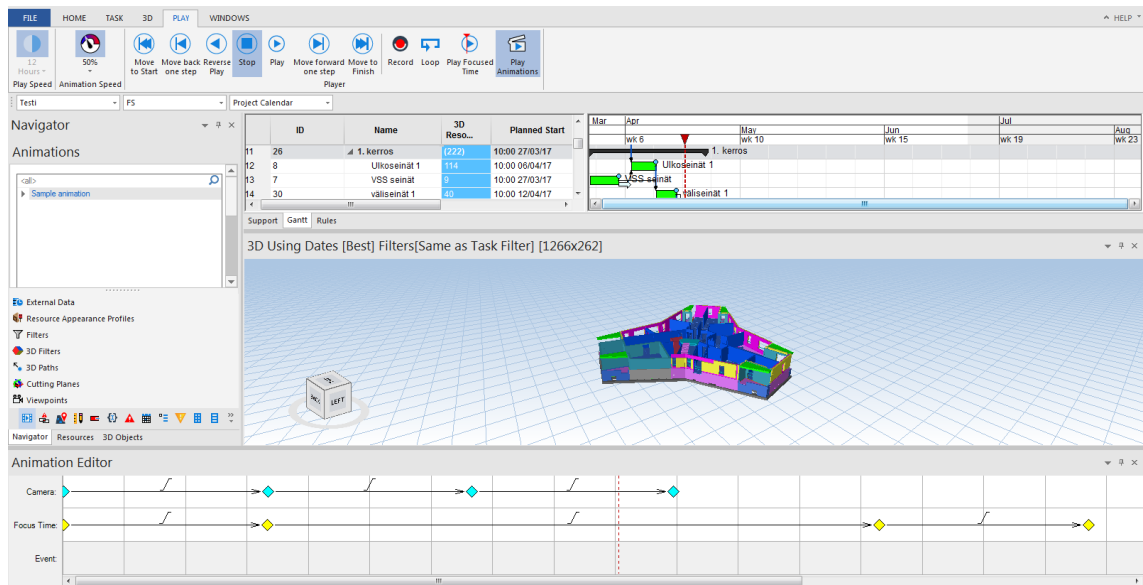
Jos tietomallissa on objekteja, joita ei ole yhdistetty millekään tehtäville, jäävät nämä oletusasetuksilla näkyviin. Kun tarkasteluhetki asetetaan ennen projektin alkua, nähdään pelkästään osat joita ei ole vielä yhdistetty. Jos joitain osia ei haluta ollenkaan mukaan aikataulusimulaatioon, voidaan ne piilottaa muuttamalla suodattimen asetuksia.

The screenshot displays a software interface for project management. At the top, there is a menu bar with 'FILE', 'HOME', 'TASK', '3D', 'PLAY', and 'WINDOWS'. Below the menu is a toolbar with various icons for navigation and playback. A red box highlights the 'Play Speed' control, which is set to '12 Hours'. Another red box highlights a red dashed line in the Gantt chart, indicating the current time point. The Gantt chart shows a timeline from April to June 2017 with tasks like 'ontelolaatat', 'Parvekkeet', '1. kerros', 'Ulkoseinät 1', 'VSS seinät', 'väliseinät 1', 'Hissikuilu', and 'Portaat 1'. Below the Gantt chart is a 3D model of a building with various colored sections. The 3D model is a multi-story building with various colored sections. The Gantt chart shows a timeline from April to June 2017 with tasks like 'ontelolaatat', 'Parvekkeet', '1. kerros', 'Ulkoseinät 1', 'VSS seinät', 'väliseinät 1', 'Hissikuilu', and 'Portaat 1'. Below the Gantt chart is a 3D model of a building with various colored sections.

Kuva 28. Punainen katkoviiva osoittaa esitettävän ajankohdan.



Aikataulusta voidaan myös tehdä animaatioita ja viedä ne ohjelmasta erilliseksi videoksi tai kuvasarjoiksi. Animation Editor -ikkunassa animaatiota voidaan työstää tuomaan esille tärkeimmät kohdat (Kuva 29). Ajan kulun nopeutta voidaan muuttaa eri vaiheissa, jotta tarkempaa tarkastelua vaativissa kohdissa aika etenee hitaammin kun suoraviivaisissa ja selkeissä työvaiheissa. Näkymän kulmia pystytään myös vaihtelevaan ja kamera kohdistaa työn alla oleviin kohtiin.



Kuva 29. Animation Editor -ikkuna.

Videon pystytään liittämään useita animaatioita rinnakkain, jotta erilaisista versioista aikataulusta voidaan vertailla. Animaatioiden lisäksi videoihin voidaan lisätä esimerkiksi aikataulutehtävien näkymä, jana-aikataulu, selitykset objektien värikoodeille tai tekstiä.

### 7.3 Aikataulun päivittäminen

Synchrossa aikataulutehtävien välille voidaan määritellä erilaisia riippuvuussuhteita, mikä helpottaa aikataulutietojen päivittämistä. Jos projektin aloitus viivästyy, voidaan yhtä päivämäärää muuttamalla siirtää koko aikataulua eteenpäin. Jos tehtävillä on yksittäisiä rajoituksia esimerkiksi aikaisimman mahdollisen aloituksen suhteen, pitää näihin tulleet muutokset käydä tekemässä erikseen.

Koska ohjelmaan voidaan ladata useitakin tietomalleja, voidaan mallin päivittyessä uusi versio tuoda vanhaan tiedostoon ja edellinen versio poistaa. Tällöin mitään aikataulutietoja ei häviä ja objektien hakua varten tehdyt 3D-suodattimia voidaan hyödyntää päivitetyn tietomallin osien yhdistämisessä tehtäville. Jos Auto-Matching Rules toimintoa on käytetty, voidaan yhdistäminen suorittaa uudestaan uuden mallin osien yhdistämiseksi.

## 8 Ohjelmien vertailu

### 8.1 Helppokäyttöisyys

Logiikka, millä aikataulutietoja yhdistetään tietomalliin Tekla Structures 21.0 -ohjelmalla on hyvin selkeä. Objektien yhdistämistä aikataulutehtäville helpottaa valinta-asetus, jolla valitaan kokonaisia kokoonpanoja, eikä yksittäin niiden sisältämiä osia. Käytettävyyttä parantaa mahdollisuus tuoda Vico Schedule Plannerilla suunniteltu aikataulurakenne, joka on Skanskalla yleisesti käytössä oleva projektihallintaohjelma. Vicosta tuodun aikataulurakenteen mukana ei kuitenkaan siirry tehtävien väliset riippuvuudet, joten ne pitää luoda uudestaan Teklassa. Aikataulun työstämistä hidastaa, että tehtävien asetuksia ei voida kopioida, vaan ne pitää muuttaa jokaiseen yksitellen. Esimerkiksi jos ohjelmaan tuodaan Vicosta valmis aikataulu, pitää jokaisen tehtävän asetuksiin käydä muuttamassa erikseen "Fixed start and end".

Navisworks Simulate 2016 -ohjelman ulkoasu on Autodeskin tuotteena monille käyttäjille tuttu. Simulaation luominen on yksinkertaista, kun aikataulutehtäville vaadittavat tiedot on syötetty oikein. Käytettävyyttä parantaa mahdollisuus työstää aikataulun rakennetta Excel-ohjelmassa, missä tietoa voidaan kopioida helposti ja juoksevia numeroita jatkaa automaattisesti. Ohjelman testauksessa kävi ilmi, että tietokoneen käytössä oleva päivämäärien ja aikojen muotoilu voi vaikuttaa tietojen tuomiseen Navisworksista Excelliin. Ongelma korjaantui, kun muotoiluksi valittiin päivämäärille pp/kk/vvvv ja kellonajoille HH:mm:ss.

Ohjelmista Synchro Pro 2016.2 vaatii kaikkein eniten perehtymistä, mikä johtuu ohjelman tarjoamien säätöjen ja asetusten monipuolisuudesta. Ohjelma auttaa käyttäjää löytämään aikataululla parhaan mahdollisen ratkaisun, mutta raamien asettaminen optimoinnille vaatii käyttäjän perehtymistä. Oikeiden asetusten löytämiseen menee aikaa,

mutta kun tutustumiseen ottaa tarpeeksi aikaa, voidaan ohjelmalla toteuttaa hyvinkin monimutkaisia aikatauluja.

Objektien yhdistämiseen käytettävät työkalut eivät eroa suuresti ohjelmien välillä. Synchronossa ja Navisworksissa on kuitenkin objektien ja tehtävien automaattisen yhdistämisen mahdollistavat toiminnot, jotka ovat erityisen käytännöllisiä tarkan elementtikohtaisen aikataulun tekemisessä. Tällöin yhdistettävillä osilla pitää olla yksilöivää tietoa, esimerkiksi elementeillä elementti- tai ACN-tunnus. Jos yhdistettävä tieto täsmää useampaan objektiin, yhdistetään ne kaikki tehtävälle.

## 8.2 Tietojen päivittäminen

### 8.2.1 Aikataulun päivittäminen

Aikataulut joissa tehtävien välille on määritetty riippuvuuksia, on helpompi päivittää yksittäistä tehtävää koskevia muutoksia, koska siihen vaikuttavat tehtävät siirtyvät automaattisesti. Navisworks Simulate -ohjelmassa tehtävien välille ei voida luoda riippuvuuksia, jolloin yhden tehtävän muutoksen vaikutus pitää päivittää erikseen myös siihen liittyviin tehtäviin. Sama pätee myös Tekla Structures -ohjelmaa silloin, kun tehtävien aseuksiin on valittu "Fixed start and end".

Tehtävien järjestyksen muuttaminen tehdään Synchronossa ja Teklassa riippuvuus-suhteiden muutoksilla. Tämän lisäksi Teklassa aikataulutehtävän sisäisten objektien asennusjärjestys pitää tehdä kerralla alusta loppuun ja muutoksia tehdessä valinta aloitetaan kokonaan alusta. Navisworksissa muutokset tehdään muuttamalla syötettyjä aikataulutietoja.

### 8.2.2 Tietomallin päivittäminen

Synchronossa ohjelmaan voidaan ladata useita erillisiä tietomalleja, toisin kun Teklassa ja Navisworksissa. Jos tietomalliin tulee muutoksia ja se aikataulutiedot halutaan siirtää uuteen malliin, voidaan Synchronossa poistaa vanha malli ja ladata uusi. Näin kaikki 3D-ikkunan suodattimet säilyvät ja niitä käyttämällä uuden mallin osat voidaan hakea yhdistää aikatauluun. Navisworksissa aikataulurakenne ja suodattimet voidaan viedä eril-

liseksi tiedostoksi, jotka voidaan ladata uuteen malliin. Objektien monimutkaisemmat valinnat, joita ei voida rajata helposti suodattimilla, täytyy molemmissa ohjelmissa tehdä alusta.

Teklalla on erillisiä lisäosia, joiden avulla objektien linkkejä ja aikataulurakenteita voidaan siirtää tietomallien välillä. Jos käytössä oleva natiivimalli on tehty Teklalla voi suunnittelija tehdä muutokset yhteiseen malliin. Tällöin mikään aikataulutiedosta ei häviä ja päivityksen jälkeen täytyy ainoastaan uudet objektit linkittää tehtäville.

Automaattisen yhdistämisen toiminnot Synchronassa ja Navisworksissa ovat käytännöllisiä mallin päivittyessä, haut voidaan ajaa uudestaan uudessa mallissa. Jos yhdistettävään tietoon objekteissa on tullut muutoksia, pitää yhdistämisen onnistumiseksi tieto päivittää myös aikataulutehtäviin. Tällaisia muutoksia voi tulla esimerkiksi elementtitunnuksiin, jotka tarkentuvat suunnitelmien tarkentuessa.

### 8.3 Valmiin aikataulun visualisointi, vai työkalu aikataulun optimointiin

Mikäli valmiiksi tehdyille aikataululle etsitään puhtaasti visualisointiin soveltuvaa ohjelmaa, on Navisworks Simulate -ohjelma helppokäyttöisyytensä takia hyvä valinta. Synchro Pro ohjelmassa asetuksia pitää muuttaa paljon, jotta automaattinen optimointi voidaan estää ja aikataulu esittää etukäteen määrätyillä aikataulutuksilla. Toisaalta jos aikataulu on tarkoitus hienosäätää ja erilaisten muutosten vaikutusta rakennusprosessiin tarkastella on Synchronassa huomattavia etuja. Esimerkiksi erilaisten työjärjestysten vaikutus koko aikatauluun nähdään pienemmällä työllä.

Synchronassa töiden etenemistä voidaan esittää Navisworksia tarkemmin, mikä voi olla hyvinkin oleellista joissakin projekteissa. Synchronassa simulaation visuaalisuutta voidaan lisätä käyttämällä erilaisia objektien esiintymisen tyyliä, esimerkiksi paalut asennetaan yksi kerralla tai maankaivuutyöt etenevät yhdestä suunnasta toiseen. Tietomallin objekteja voidaan myös jakaa pienempiin osiin, mikä voi olla olennaista esimerkiksi rakennuksessa, missä paikallavalettu laatta toteutetaan useammassa valulohkossa. Navisworksissa yhtenäisenä mallinnettuja objekteja ei voida jakaa osiin ja aikataulutehtävän objektit ilmestyvät simulaatiossa aina samanaikaisesti. Lohkojen aikatauluttamiseksi rakennussuunnittelijan kanssa pitäisi sopia, että laatat mallinnetaan valmiiksi osissa.

Tekla Structures -ohjelman suurin puute on heikot työkalut aikataulun visualiseen esittämiseen. Ohjelma sopii pääasiallisesti siihen, että aikataulua visualisoidaan vain muutamina määrättyinä päivinä, eikä koko aikataulun etenemistä tarvitse simuloida. 4D-mallintamisen kautta saavutettavat edut aikataulun tehostamiseen kärsivät paljon, kun aikataulun etenemistä ei pystytä sujuvasti seuraamaan. Toinen heikkous ohjelmassa on se, että aikataulutehtävälle liitetyille objekteille täytyy käydä määrittämässä tarkka asennusjärjestys. Jos asennusjärjestystä ei tarkenneta jakaa ohjelma automaattisesti tehtävän keston objektien välillä ja ne ilmestyvät satunnaisessa järjestyksessä tehtävän aikana. Aikataulua voidaan visualisoida tarkimmillaan yhden päivän tarkkuudella, joten hyöty tarkasti määritetystä järjestyksestä pienenee huomattavasti.

## 9 Yhteenveto

Opinnäytetyön aikana käytiin läpi tuotantovaiheen aikataulusuunnittelua ja miten sitä voidaan tehostaa 4D-mallintamisen avulla. Keskeisimpänä osana pyrittiin selvittämään Skanska Oy:n Suomen kehityksen ja tuottavuuden yksikön käytössä olevien ohjelmien eroja rakennushankkeen tuotantovaiheen 4D-mallintamisessa. Tärkeänä näkökulmana pidettiin ohjelmien helppokäyttöisyyttä.

Vertailussa kävi ilmi, että mukana olleista ohjelmista Synchro Pro 2016.2 on kaikkein monipuolisin työkalu 4D-mallintamiseen, mutta vaatii toisaalta myös eniten perehtymistä. Ohjelma toimii hyvin aikataulun suunnittelun työkaluna ja tuo parhaiten esiin 4D-mallintamisen hyödyt tehokkuutta parantavana työkaluna. Navisworks Simulate -ohjelman etuihin kuuluu sen helppokäyttöisyys varsinkin valmiiden aikataulujen visualisointiin. Eri ratkaisuiden vertailu ja aikataulutietojen päivittäminen on työläämpää, kun riippuvuussuhteita ei voida luoda. Tekla Structures 2016 -ohjelmassa aikataulun visualisointi ei ole sujuvaa, minkä takia soveltuu lähinnä jos mallia halutaan tarkastella muutamina tarkemmin määriteltynä päivinä.

Työn aikana tehtyä selvitystä voidaan tulevaisuudessa käyttää apuna projektin 4D-mallintamiseen parhaiten sopivan ohjelman valitsemiseen. Kolmen ohjelman tärkeimmät ominaisuudet on esitelty lyhyesti ja niiden vaikutukset aikataulusimulaatioon.

## Lähteet

- 1 Hietanen, Jiri. 2005. Tietomallit ja rakennusten suunnittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 2 Jäväjä, Päivi & Lehtoviita, Timo. 2016. Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 3 Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset osa 13.
- 4 Kinnari, Jaakko. 2013. Suunnitelmien yhteensovittaminen ja tiedonvaihdon tarpeet tietomallinnetussa rakennushankkeessa. Diplomityö
- 5 Tuotemallintaminen rakennushankkeessa yleiset periaatteet. 2006. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 6 What is clash detection? How does BIM help? Verkkodokumentti. <<http://www.thebimcenter.com/2016/03/what-is-clash-detection-how-does-bim-help.html>>. Luettu 2.3.2017
- 7 BIM for Quantity Surveying. <<http://bimsg.org/resources/other-software-resources/bim-for-qs/>>. Luettu 2.3.2017
- 8 Rakennushankkeen vaiheet ja osapuolet. <[http://arkit.tkk.fi/kurssit/A91181/rakennushankkeen\\_vaiheet.htm](http://arkit.tkk.fi/kurssit/A91181/rakennushankkeen_vaiheet.htm)>. Luettu 4.3.2017
- 9 RATU Aikataulukirja. 2016. Helsinki: Rakennustieto
- 10 RATU Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. 2013. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 11 Rakennusurakan yleiset sopimusehdot YSE 1998
- 12 Sawyer, Tom. 2016. Seeing is believing. Engineering News-Record May 30/June 6, 2016
- 13 Tekla Structures. Verkkojulkaisu. <<https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>>. Luettu 16.3.2017
- 15 Vico Ohjelmistot. Verkkojulkaisu. <<https://www.tekla.com/fi/tuotteet/vico-ohjelmistot>>. Luettu 16.3.2017
- 16 Autodesk® Navisworks® ohjelmisto projektienhallintaan. Verkkojulkaisu. <<http://www.profox.com/navisworks>>. Luettu 19.3.2017

- 17 Navisworks compare releases Verkkojulkaisu <<http://www.autodesk.com.au/products/navisworks/compare>>. Luettu 19.3.2017
- 18 Synchro Pro. Verkkojulkaisu. <<https://www.synchro ltd.com/>>. Luettu 20.3.2017