Tampereen yliopisto

Olli Kaakinen

TIETOMALLIPOHJAISEN AIKATAULUN-HALLINNAN MENETELMIÄ

Diplomityö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastaja: Professori Arto Saari
Tarkastaja: Väitöskirjatutkija Matti Tauriainen
Syyskuu 2024

TIIVISTELMÄ

Olli Kaakinen: Tietomallipohjaisen aikataulunhallinnan menetelmiä
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Syyskuu 2024

Työssä tutkitaan tietomallien käyttöä rakennushankkeen aikataulun hallinnassa ja ohjauksessa sekä tietomallipohjaisten aikataulunhallintaohjelmistojen käyttöä kohdeyrityksessä. Aluksi tutkitaan tietomalleja ja niihin liittyviä soveltamistapoja ja teknologioita kansainvälisestä kirjallisuudesta. Työn alussa perehdytään tietomalleihin, niihin liittyviin soveltamistapoihin ja teknologioihin kansainvälistä kirjallisuuden avulla. Kirjallisuudesta saatua tietoa hyödynnetään seuraavassa vaiheessa, missä tutkitaan kohdeyrityksen käyttämiä tietomallipohjaisia aikataulunhallintaohjelmistoja ja selvitetään niiden nykykäyttöä ja käyttäjäkokemuksia. Tästä saadun näkemyksen pohjalta tutkitaan kohdeyrityksen käyttämiä tietomallipohjaisia aikataulunhallintaohjelmistoja sekä selvitetään niiden nykykäyttöä ja käyttäjäkokemuksia. Aikataulutusprosessia ja tietomallipohjaisten aikatauluohjelmistojen käyttöä sen tukena selvitetään ryhmätyöpajan avulla, jonka lisäksi tässä pyritään saamaan näkemyksiä aikataulutusprosessin kehittämiseksi. Lisäksi tutkitaan 4D ja 5D ohjelmistoympäristöistä löytyviä merkittäviä aikataulujen tunnuslukuja ja pyritään saamaan näkemyksiä sille, kuinka aikataulutusprosessia voitaisiin kehittää eteenpäin.

Tietomallipohjaisia teknologioita ja sovelluksia on kehitetty paljon viime vuosina ja näistä merkittävimpiä ovat 4D tietomallien käyttö muun muassa 4D simulaatioihin sekä työturvallisuuden, työmaalogistiikan ja toimitusketjujen hallintaan sekä 5D tietomallinuksen käyttö rakennushankkeen rahoituksenhallintaan ja kustannuslaskentaan. Lisäksi on myös kehitetty 6D tietomalleja energia- ja ympäristövaikutusten arviointiin. Tietomallien tehokas käyttö vaatii kuitenkin organisaatiolta järjestelmällistä ja pitkäjänteistä kehitystyötä, jolloin ohjelmistojen ja toimintatapojen käyttöönotto voi olla pitkä ja vaivalloinen prosessi.

Kohdeyrityksessä käytetään aikataulunhallinnassa vielä perinteistä ohjelmistoympäristöä, joka ei tue tietomallien käyttöä. Kuitenkin kustannustenhallinnassa käytetään lähes koko yrityksenlaajuisesti 5D ohjelmistoympäristöä, jonka käyttöönotto on aloitettu 2019 ja tulee valmiiksi vuoden 2024 aikana. Lisäksi kolmella pilottihankkeella on kokeiltu uuden 4D ohjelmistoympäristön käyttöä, ja näitä kyseisiä hankkeita käytettiin case-kohteina tässä diplomityössä. Case-kohteiden henkilöstöltä saatiin haastatteluilla käyttäjäkokemuksia sekä 4D että 5D ohjelmistoympäristöistä ja näissä nousi esille 4D ohjelmistoympäristön osalta positiivisia käyttökokemuksia ohjelmiston tuottamasta avusta rakentamisen hallinnassa sekä haasteita käyttöliittymän ja urakoitsijoiden sitouttamisen kanssa. 5D ohjelmistoympäristön osalta haastatteluissa nousi esille käyttöliittymän opettelun haastavuus ja laajat soveltamismahdollisuudet. Ryhmätyöpajassa muodostettiin kuva aikataulutusprosessin nykykäytännöistä ja saatiin jatkoideoita käytäntöjen kehittämiseen. 4D ja 5D ohjelmistoympäristöistä löydettiin tunnuslukuja, joita voitaisiin hyödyntää yrityksen johdon päätöksenteon tukena.

Avainsanat: tietomallit, 4D-tietomalli, 5D-tietomalli, rakennushankkeen ohjaus, aikataulun ohjaus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

ABSTRACT

Olli Kaakinen: Methods of BIM-based schedule management
Master's Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Civil Engineering
September 2024

The work examines the use of building information models in the management and control of the construction project schedule, as well as the use of building information model-based schedule management software in the target company. At first, building information models and related application methods and technologies from international literature will be studied. At the beginning of the work, we familiarize ourselves with building information models, related application methods and technologies with the help of international literature. Information obtained from the literature will be utilized in the next step, where the ones used by the target company will be examined building information model-based schedule management software and their current use and user experiences. Based on the insight gained from this, the building information model-based schedule management software used by the target company is studied and their current use and user experiences are investigated. The scheduling process and the use of building information model-based scheduling software to support it will be explained with the help of a group workshop, which also aims to gain insights for the development of the scheduling process. In addition, significant schedule key figures found in 4D and 5D software environments are studied and the aim is to gain insights into how the scheduling process could be further developed.

Many building information model-based technologies and applications have been developed in recent years, and the most significant of these are the use of 4D building information models for, among other things, 4D simulations and the management of occupational safety, construction site logistics and supply chains, as well as the use of 5D building information modeling for construction project financial management and cost accounting. In addition, 6D building information models have also been developed for energy and environmental impact assessment. However, the effective use of building information models requires systematic and long-term development work from the organization, in which case the introduction of software and operating methods can be a long and arduous process.

The target company still uses a traditional software environment for schedule management, although it does not support the use of building information models. However, almost the entire company-wide 5D software environment is used for cost management, the implementation of which was started in 2019 and will be completed during 2024. In addition, three pilot projects have tried the use of the new 4D software environment, and these projects were used as case objects in this diploma thesis. Through interviews, user experiences of both 4D and 5D software environments were obtained from the personnel of the case sites, and in these, positive user experiences with regard to the 4D software environment emerged from the help provided by the software in construction management, as well as challenges with the user interface and engaging contractors. Regarding the 5D software environment, the challenges of learning the user interface and the wide application possibilities emerged in the interviews. In the group workshop, a picture of the current practices of the scheduling process was formed and further ideas for the development of practices were obtained. Indicators were found in the 4D and 5D software environments that could be used to support the decision-making of the company's management.

Keywords: building information model, BIM, 4D BIM, 5D BIM, construction project management, project schedule management

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin Originality Check service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Lujatalo oy:n toimeksiannosta kevään ja kesän 2024 aikana. Diplomityön tekeminen on ollut mielenkiintoinen ja opettavainen kokemus. Saaduista opeista ja kokemuksista on varmasti apua minulle myös tulevaisuudessa. Työtä tehdessä pääsin tutustumaan moniin aiheen parissa työskenteleviin osaajiin ja sain paljon näkemyksiä rakennusalalla viime vuosina tapahtuneista muutoksista. Vaikka 5 vuoden opiskeluaikani tuntuukin nyt jälkeenpäin vain hujahdukselta, on alalla silti samana ajanjaksona ehtinyt tapahtumaan monia muutoksia niin toimintatapojen, teknologioiden kuin markkinatilanteenkin suhteen. Kiitokset työn mahdollistamisesta Lujatalolle ja erityisesti Lujatalon digitaalisen rakentamisen johtajalle Matti Tauriaiselle, sekä Tampereen yliopiston professorille Arto Saarelle työn ohjaamisesta. Kiitokset lisäksi kaikille työn edistämistä tukeneille, kuten haastateltaville ja ohjelmistojen käyttöä tukeneille sekä Lujatalon Vaasan toimiston väelle.

Vaasassa, 23.9.2024

Olli Kaakinen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO JA TAVOITTEET ... 1
Johdanto: Tietomallit muuttamassa rakennusalaa ... 1
Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset ... 1
2. TUTKIMUKSEN KULKU JA TUTKIMUSMENETELMÄT ... 2
Tutkimuksen kulku ... 2
Toimintatutkimus ... 2
Haastattelututkimus ... 3
3. RAKENNUSHANKKEEN TIETOMALLIPOHJAINEN AIKATAULUNHALLINTA JA OHJAUS ... 4
Tietomallintaminen rakennusalalla ... 4
Tietomallien käyttö rakennushankkeissa ... 4
Tietomallintamisen hyödyt ... 7
Tietomallien tehokas hyödyntäminen ... 8
Tietomallintamisen käyttöönoton haasteet ... 9
Tietomallintaminen ja tekoäly ... 11
Avoin tietomallinnus ... 13
Tietomallintamisen kypsyystasot ... 14
Tietomallien dimensiot ... 16
Rakennushankkeen 4D-simulointi ... 16
4D tietomallintamisen hyödyt ... 18
4D työmaalogistiikan hallinta ... 19
4D työmaaturvallisuuden suunnittelu ... 20
4D toimitusketjun hallinta ... 21
4D jätteenhallinta ... 22
4D aikataulunhallinta muussa teollisuudessa ... 23
4D työmaan edistymisen seuranta ... 23
5D rakennushankkeen kustannusten seuranta ja hallinta ... 24
5D kustannuslaskenta ... 25
5D työmaan rahoituksen hallinta ... 25
6D-tietomallinnus ... 26
Rakentaminen 4.0 ... 28
4. EMPIIRINEN TUTKIMUSOSA ... 33
Kohdeyrityksen aikataulunhallintaohjelmistot ... 33
Perinteinen ohjelmistoympäristö ... 33
4D ohjelmistoympäristö ... 37
5D ohjelmistoympäristö ... 41
Case-kohde 1 ... 47
Tietomallien käyttö ... 48
4D ohjelmistoympäristön käyttö ... 48
5D ohjelmistoympäristön käyttö ... 50
Case-kohde 2 ... 51
Tietomallien käyttö ... 51
4D ohjelmistoympäristön käyttö ... 51
5D ohjelmistoympäristön käyttö ... 54

Case-kohde 3 ... 54
Tietomallien käyttö ... 54
4D ohjelmistoympäristön käyttö ... 54
5D ohjelmistoympäristön käyttö ... 56
Case-haastatteluiden yhteenveto ... 56
Tietomallien käyttö ... 57
4D ohjelmistoympäristön käyttö ... 57
5D ohjelmistoympäristön käyttö ... 57
Työpaja aikatauluprosessin kehittämiseksi ... 58
Ohjelmistoympäristöjen keskeiset tunnusluvut ... 59
4D ohjelmistoympäristö ... 60
5D ohjelmistoympäristö ... 61
5. POHDINNAT ... 63
Tutkimuskysymys 1: 4D tietomallien käyttö aikataulunhallinnassa ja ohjauksessa ... 63
Tutkimuskysymys 2: Aikataulusuunnitelman ja -toteuman vertailu 4D-ympäristössä ... 64
Tutkimuskysymys 3: Aikatauluohjelmiin luotujen aikataulujen yhteiskäyttö ... 65
Tutkimuskysymys 4: Merkittävät aikataulujen tunnusluvut ... 66
Tutkimuksen kritiikki ... 67
6. JOHTOPÄÄTÖKSET ... 68
LÄHTEET ... 69
LIITE A: HAASTATTELUKYSYMYKSET ... 72
LIITE B: TYÖPAJAN MUISTIO ... 73

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AI	engl. Artificial Intelligence, tekoäly
AR	engl. Augmented Reality, lisätty todellisuus
BIM	engl. Building Information Model, tietomalli
CC	engl. Cloud Computing, pilvipohjainen tietojenkäsittely
CDE	engl. Common Data Enviroment, rakennushankkeen yhteinen tieto-ympäristö
CPI	engl. Cost Performance Index, kustannustehokkuus indeksi
CPS	engl. Cyber-Physical Systems, kyberfyysinen järjestelmä
GIS	engl. Geographic Information Systems, paikkatietojärjestelmä
ICSCL	engl. Integrated Construction Supply Chain Logistics, integroitu rakentamisen toimitusketjun logistiikka
IFC	engl. Industry Foundation Classes, tietomallien objektiluokituksissa käytettävä standardi
IoT	engl. Internet of Things, esineiden internet
JIT	engl. Just In Time, tilausohjautuva tuotanto
MC	engl. Mobile Computing, mobiili tietojenkäsittely
PPC	engl. Percent Planned Complete, tehtävien toteutumisprosentti
SPI	engl. Schedule Performance Index, aikataulutehokkuus indeksi
VR	engl. Virtual Reality, virtuaalitodellisuus

1. JOHDANTO JA TAVOITTEET

Johdanto: Tietomallit muuttamassa rakennusalaa

Tietomallit ovat nykyään mukana lähes jokaisessa rakennushankkeessa. Tietomallien avulla voidaan merkittävästi parantaa rakennushankkeiden onnistumismahdollisuuksia ja tehostaa työntekoa lisääntyneen tiedonvälityksen ansiosta. Tietomalleja voidaan soveltaa moneen eri tarkoitukseen ja niitä voidaan jalostaa yhdistämällä niihin erilaisia ominaisuuksia, kuten aikataulu- tai kustannustietoa. Tietomallien tehokas käyttö vaatii kuitenkin organisaatiolta pitkäjänteistä kehitystyötä ja kykyä muuttaa totuttuja toimintatapojaan.

Työn teoriaosioissa tutkitaan tietomallien soveltamismahdollisuuksia sekä muita tietomalleihin liittyviä nousevia teknologioita. Tämän jälkeen empiirisessä tutkimusosassa selvitetään toimintatutkimuksen avulla kohdeyrityksen käyttämien aikataulunhallintaohjelmistojen ominaisuuksia ja mahdollista yhteiskäyttöä sekä haastattelututkimuksella luodaan kuvaa ohjelmistojen nykykäytöstä ja uusien 4D ja 5D ohjelmistoympäristöjen käyttäjäkokemuksista. Lisäksi selvitetään työpajan avulla kohdeyrityksen henkilöstön näkemyksiä aikataulutusprosessin nykytilasta ja mahdollisuuksista toimintatapojen kehittämiseen.

Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää rakennushankkeen toteutusvaiheeseen liittyen:

1) Miten 4D-tietomalleja käytetään aikataulun hallinnassa ja ohjauksessa?
2) Miten 4D-ympäristössä pystytään vertailemaan aikataulusuunnitelman ja -toteuman välistä tietoa?
3) Miten eri aikatauluohjelmiin luotuja aikatauluja käytetään yhdessä ja miten ne toisaalta täydentävät sisällöllisesti toisiaan?
4) Mitkä ovat merkittäviä aikataulujen käyttöön liittyviä tunnuslukuja ja miten niitä käytetään hankkeiden ajallisessa ohjauksessa?

2. TUTKIMUKSEN KULKU JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimuksen kulku

Tämä diplomityö koostuu kirjallisuustutkimuksesta, haastattelututkimuksesta sekä toimintatutkimuksesta. Kirjallisuustutkimuksessa selvitetään tietomallien käyttöä rakennushankkeiden ohjauksessa ja aikataulunhallinnassa käyttäen kansainvälisiä lähteitä. Tietomallien käyttökohteista saatua kansainvälistä näkemystä hyödynnettiin myöhemmin diplomityön empiirisessä osassa tehtävien haastattelu- ja toimintatutkimusten pohjustuksena. Haastattelututkimuksessa selvitetään kohdeyrityksen pilottihankkeiden henkilökunnan kokemuksia 4D-aikataulunhallintaohjelmien käytöstä. Toimintatutkimuksessa perehdytään kohdeyrityksen käyttämiin aikataulunhallintaohjelmiin ja tutkitaan, miten ne toimivat yhdessä ja täydentävät sisällöllisesti toisiaan.

	Tutkimuskysymys:	**Tutkimustapa:**
1)	Miten 4D tietomalleja käytetään aikataulunhallinnassa ja ohjauksessa?	Kirjallisuustutkimus/ haastattelututkimus
2)	Miten 4D-ympäristössä pystyttäisiin vertailemaan aikataulusuunnitelman ja -toteuman välistä tietoa?	Haastattelututkimus/toimintatutkimus
3)	Miten aikatauluohjelmiin luotuja aikatauluja käytetään yhdessä ja miten ne täydentävät sisällöllisesti toisiaan?	Työpaja
4)	Mitkä ovat merkittäviä aikataulujen tunnuslukuja ja miten niitä käytetään aikataulujen ohjauksessa rakennushankkeen aikana?	Oma selvitys

Toimintatutkimus

Toimintatutkimuksessa tutkija tutustui kohdeyrityksen aikataulunhallintaohjelmistoihin ja vertasi näiden ominaisuuksia ja näistä saatuja tulosteita keskenään. Toimintatutkimuksella haetaan vastauksia tutkimuskysymykseen b).

Toimintatutkimuksessa tutkija keskittyy sekä toimintaan, että tutkimukseen osallistaen samalla muita toimijoita. Siinä tavoitteena on muutoksen mahdollistaminen nykyisiin käytäntöihin tai toimintatapoihin. Toimintatutkimuksessa ei välttämättä saada valmiita

vastauksia ongelmiin, vaan pyritään löytämään tietoa eri menetelmillä, kuten havainnoilla, haastatteluilla, valokuvien analysoinnilla, dokumenteilla sekä ääni- ja videotallenteilla (Latvala 2023; Lopperi 2019).

Haastattelututkimus

Haastattelut on tehty puolistrukturoidun teemahaastattelun menetelmällä. Tässä menetelmässä tutkija on laatinut valmiiksi listan kysymyksiä, mutta kaikkia niistä ei välttämättä käsitellä haastattelun aikana, eikä niiden järjestys ole tarkkaan määritetty, vaan se voi muuttua haastattelun edetessä sen mukaan, mihin suuntaan haastattelua viedään. Tarpeen vaatiessa esitetään lisää tarkentavia kysymyksiä. Kysymykset auttavat ohjaamaan keskustelua haluttuun suuntaan, mutta haastateltaville annetaan mahdollisuus kertoa aihepiiristä laajemminkin. Haastattelut on tehty enimmäkseen ryhmähaastatteluina, jossa saadaan tehokkaammin haastateltua kerralla monia henkilöitä ja nämä osaavat paremmin yhdessä muistella ja kertoa jo pidemmän aikaa sitten tapahtuneista asioista. Ryhmähaastattelun haittapuolena on se, että haastattelutilanne voi vaikuttaa saatuihin vastauksiin, mikäli joukossa on dominoivampi keskustelija tai haastateltavien välillä on valta-asema, kuten toimihenkilö ja tämän esimies (Gray 2004 s. 215–230).

Tässä työssä on käytetty haastattelututkimusta kohdeyrityksen aikataulunhallinnan työkalujen nykykäytön selvittämiseksi. Haastatteluja pidettiin kolmesta case-kohteesta, joista kohde 1 oli haastatteluhetkellä jo valmistunut, kohde 2 sisätyövaiheessa ja kohde 3 perustusvaiheessa. Case-kohteiden haastattelut pidettiin Microsoft Teams-ohjelmiston välityksellä ja niihin osallistui kyseisessä rakennushankkeessa mukana olleita toimihenkilöitä, kuten työmaan vastaava työnjohtaja sekä tuotantoinsinöörejä. Haastatteluihin oli varattu noin tunti aikaa ja ne litteroitiin erillisiin Word-dokumentteihin. Haastattelujen analysoinnin aikana syntyneitä lisäkysymyksiä esitettiin haastateltaville jälkikäteen sähköpostitse. Ryhmähaastatteluiden mahdollinen ryhmädynamiikan vaikuttaminen vastauksiin on pyritty minimoimaan tekemällä haastattelut pienellä ryhmällä ja kysymällä erikseen haastateltavilta heidän mielipidettään erimielisyyttä herättävistä aiheista.

3. RAKENNUSHANKKEEN TIETOMALLIPOHJAINEN AIKATAULUNHALLINTA JA OHJAUS

Tietomallintaminen rakennusalalla

Rakennuksen tietomalli on kolmiulotteinen digitaalinen esitys, joka sisältää tietoja sen rakennuskappaleiden osien ominaisuuksista, sijainnista, geometriasta ja tiedon keskinäisistä riippuvuuksista. Tietomallista saatavia tietoja voidaan soveltaa lukuisiin eri käyttötarkoituksiin mallin tyypin mukaan. Hankkeen eri vaiheisiin luodaan omia tietomallejaan, jotka kuvaavat rakennuksen tiettyjä ominaisuuksia. Näitä malleja voidaan yhdistää, jolloin syntyvästä kokonaisuudesta pystytään tarkastelemaan näiden ominaisuuksien toiminta yhdessä.

Rakennuksen tietomallista käytetään lyhennettä BIM, joka tulee englannin kielen sanoista Building Information Model. BIM lyhenteen esitetään myös joskus juontavan sanoista Building Information Management erityisesti, kun halutaan painottaa tietomallien käyttöä rakennuksen visuaalisen mallin lisäksi koko rakennushankkeen tiedon hallinnan työkaluna. Tietomallinnuksen käsite kuvaakin koko rakennusprosessin elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuutta ja projektin tietojen tehokasta jakamista osapuolten välillä yhteisesti sovitulla tavalla (Jäväjä ja Lehtoviita 2016 s.13–15).

Yhdysvaltojen kansallinen tietomallistandardiprojektikomitea määrittelee tietomallintamisen seuraavasti: ’’Building Information Modeling (BIM) on digitaalinen esitys rakennuksen fyysisistä ja toiminnallisista ominaisuuksista. Tietomalli on jaettu tietolähde rakennuksen tiedoille, joka muodostaa luotettavan perustan päätöksille sen elinkaaren aikana’’ (National BIM standard United States 2024).

Tietomallien käyttö rakennushankkeissa

Tietomalleja käytetään nykyaikana jo rakennushankkeiden alusta asti. Arkkitehti luo ensimmäiset mallit kohteesta jo luonnosvaiheessa, ja suunnittelijat tekevät työnsä suurelta osin tietomallipohjaisilla ohjelmistoilla, koska ne helpottavat ja nopeuttavat suunnitteluprosessia. Lähes kaikki rakennushankkeen osapuolet voivat hyötyä tietomallintamisesta lisääntyneen ja nopeutetun tiedon välityksen ansiosta. Suunnittelijoiden luomilla tietomalleilla voidaan parantaa koko hankkeen laatua ja tuottavuutta soveltamalla näiden käyttöä kattavasti erilaisiin käyttökohteisiin. Talonrakennusalan tietomallintamisessa käytetään yleisesti IFC (Industry Foundation Classes) -standardia, joka määritte-

lee eri tietomalliohjelmistojen tiedostojen yhteentoimivuutta. Tämän avulla eri ohjelmistoissa tuotetut mallit toimivat yhdessä ja näistä voidaan koota yhdistelmämalli, jossa esimerkiksi rakenne- ja talotekniikkamallit sulautuvat yhteen luoden paremman kokonaiskuvan kohteesta ja näiden osien yhteistoiminnasta (Jäväjä ja Lehtoviita 2016 s.8 ja 20–21).

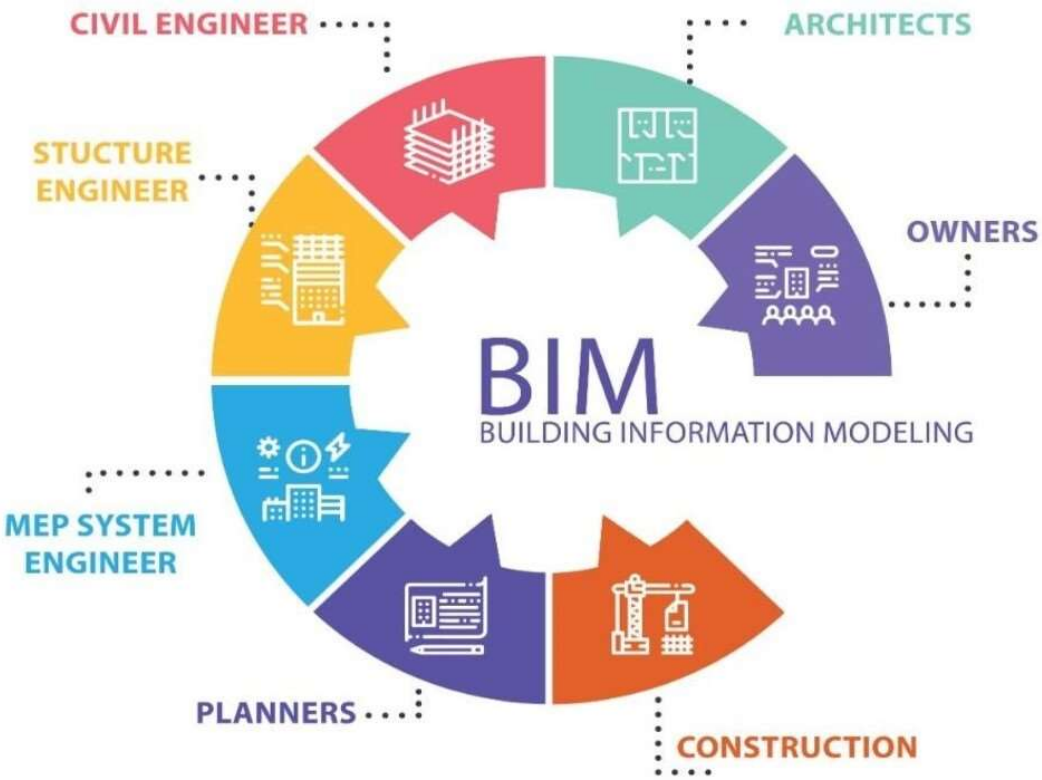
Päivi Jäväjä ja Timo Lehtoviita kertovat kirjassaan Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla (2016) sivulla 8 tapoja, joilla urakoitsija voi käyttää tietomalleja rakennusvaiheessa ja siihen liittyvässä valmistelussa:

- Kohteeseen ja sen suunnitelmiin perehtymisessä ja tiedonhaussa tarjousvaiheessa, hankinnoissa ja työmaatoteutuksessa
- Määrien laskennassa tarjouslaskentavaiheessa sekä rakentamisen aikana
- Yleisessä rakentamisen aikaisessa toimintojen koordinoinnissa ja tiedonvaihdossa
- Tuotannon aikatalutuksessa ja työjärjestysten suunnittelussa sekä toteutumatilanteen havainnollistamisessa
- Eri suunnittelunalojen mallien yhdistämisessä muun muassa talotekniikan asennusjärjestysten ohjaamiseksi ja rakennettavuustarkasteluissa
- Rakenteiden sijaintitiedon siirtämisessä mittalaitteisiin
- Työmaa-alueen käytön suunnittelussa ja turvallisuussuunnittelussa, kuten putoamissuojaussuunnittelussa

Rakennushankkeen hallinnan ohjelmistotyökaluna toimimisen lisäksi tietomallintamisen syvempänä olemuksena on toimia kokonaisvaltaisena virtuaaliympäristönä projektin koko elinkaarelle. Tietomallintaminen toimii siis enemmänkin eri toimijoiden yhteistyötä helpottavana prosessina, kuin pelkkänä ohjelmistona, kuten kuvassa 1 on havainnollistettu. Sosiologiselta näkökannalta sen suurimpana etuna voidaankin siis nähdä sen positiivinen vaikutus sidosryhmien entistä varhaisempaan osallistumiseen ja yhteistoimintaan. Tietomallinnus edustaa virtuaalisen piirtotyökalun lisäksi teknologian käyttöönottoprosessia, jolla kehitetään, jalostetaan, simuloidaan, hallinnoidaan ja kommunikoidaan rakennusten virtuaalisia esityksiä rakentamisen toimitusprosessin optimoimiseksi. Tietomallinnuksen taustalla on siis kolme pääkonseptia, jotka ovat hyvän yhteistyön käytännöt, teknologia digitaalisena jakeluvälineenä sekä projektin tiedon integraatio (Heidari et al. 2023).

Aliakbar Heidari et al. ovat artikkelissaan *A systematic review of the BIM in construction: from smart building management to interoperability of BIM & AI*, (2023) listanneet tapoja, joilla tietomallinnus on enemmän kuin pelkkä ohjelmisto tai teknologia:

1. BIM on prosessi, ei vain tekniikka. Se sisältää yhteistyötä, viestintää ja koordinaatiota eri sidosryhmien välillä rakennuksen koko elinkaaren ajan.
2. BIM mahdollistaa älykkäiden rakennusten luomisen, joita voidaan valvoa ja hallita reaaliajassa, mikä johtaa parempaan toiminnan tehokkuuteen ja kustannussäästöihin.
3. BIM tukee yhteentoimivuutta, mikä tarkoittaa, että eri ohjelmistosovellukset voivat viestiä ja jakaa tietoa saumattomasti. Tämä voi johtaa harvempiin virheisiin, parempaan päätöksentekoon ja tehokkaampiin työnkulkuihin.
4. BIM tukee tekoälyn käyttöä rakentamisessa. Tarjoamalla tarkkoja ja luotettavia tietoja BIM voi auttaa tekoälyalgoritmeja tekemään informatiivisempia päätöksiä.
5. BIM voi helpottaa kestävää suunnittelua ja rakentamista mahdollistamalla energiamallinnuksen, elinkaariarvioinnin ja muut työkalut. Tämä voi johtaa ympäristöystävällisempiin rakennuksiin, joiden hiilijalanjälki on pienempi.



Kuva 1. Tietomallintamisen sidosryhmät (Heidari et al. 2023)

Tietomallintamisen hyödyt

Tietomallintaminen tuo monenlaisia hyötyjä ja mahdollisuuksia rakennushankkeelle ja sen osapuolille. Koko rakennushankkeen prosessin näkökulmasta saatavia tietomallintamisen hyötyjä ovat muun muassa seuraavat (Jäväjä ja Lehtoviita 2016 s.28–31):

- Virtuaalinen rakennus: Tietomallit auttavat hahmottamaan monimutkaisia kokonaisuuksia ja helpottavat lopullisen rakennuksen toimivan kokonaisuuden ymmärtämistä. Tietomalli on tavallaan rakennuksen virtuaalinen prototyyppi, joka sisältää kaiken tiedon suunnittelun eri aloilta. Lisäksi tietomallin sisältämät materiaali- ja rakennetiedot auttavat rakennuksen myöhemmässä ylläpidossa.
- Analyysit: Tietomallilla on mahdollista tehdä monipuolisia simulaatioita ja analyysejä ennen rakentamisen aloitusta. Esimerkiksi rakennuksen energiatehokkuutta tai talotekniikan toimintaa voidaan analysoida tietomallin avulla ja näin löytää optimaalinen ratkaisu kyseiselle rakennuskohteelle. Lisäksi voidaan tehdä paloturvallisuus- ja hiilijalanjälkianalyysejä, jotka auttavat rakennuksen suunnittelussa jo hankkeen alkuvaiheessa.
- Tieto vain yhdessä paikassa: Tietomallin tietokantaominaisuus mahdollistaa tiedon keskittämisen, jolloin tietoja päivittäessä ne päivittyvät samalla kaikille hankkeen osapuolille ja vaikuttaa suoraan tietomallin pohjalta tehtyihin muihin laskelmiin, piirustuksiin ja simulaatioihin. Näin tiedonhallinta helpottuu ja kaikilla hankkeen osapuolilla on hallussaan sama ajantasainen tieto.
- Yhteistyö ja tiedon kulku: Tietomallin käyttö helpottaa tiedon kulkua osapuolten välillä, jolloin suunnitteluprosessi nopeutuu ja virheet vähenevät. Rakentamisen asiakaslähtöisyys paranee yhteistyön ja tiedonkulun kehityksessä.
- Suunnitelmien laadunvarmistus: Suunnitteluvirheet on helppo löytää tietomallien tarkastusohjelmilla ja todellisen geometrian ansiosta virheitä on helpompi havaita tietomallista kuin perinteisistä piirustuksista. Tietomallia on myös mahdollista testata ohjelmallisesti, jolloin tarkistetaan, toteuttavatko suunnitelmat tarvittavia raja-arvoja, kuten esimerkiksi poistumisteiden pituuden tai esteettömyysvaatimukset.

Tietomallien tehokas hyödyntäminen

Tietomallien tehokas hyödyntäminen vaatii hankkeen osapuolilta tietomalliohjelmistojen käyttöosaamisen lisäksi ymmärrystä tietomallinnuksen vaikutuksista koko hankkeen ja sen osapuolten omiin toimintatapoihin. Lisäksi hankkeen osapuolten tulee olla valmiita kehittämään omia toimintatapoja, jotta tietomalleja ja niiden monia ominaisuuksia osataan soveltaa hankkeen eri vaiheisiin ja toimintoihin.

Päivi Jäväjä ja Timo Lehtoviita ovat esittäneet kirjassaan *Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla* (2016) sivuilla 9–10 talonrakennushankkeen tietomallien tehokkaan käytön edellytyksiä seuraavasti:

- Suunnittelijoiden tuottamat tietomallit on tehtävä niin, että niiden tietosisältö vastaa rakennustuotannon tarpeita hankkeen eri vaiheissa.
- Suunnittelijoiden mallien ja niistä koottujen yhdistelmämallien laatu varmistetaan jatkuvasti koko hankkeen ajan.
- Jatkuvasti päivitettävät suunnittelumallit tietomalliselostuksineen ja vaiheilmoituksineen ovat urakoitsijoiden käytettävissä hankkeen eri vaiheissa esimerkiksi projektipankissa.
- Rakennustuotannon toimijat osaavat käyttää tarvittavia ohjelmistoja suunnittelumallien tarkasteluun ja siirtää mallitiedon omiin ohjelmistoihinsa, kuten esimerkiksi kustannuslaskentaohjelmistoihin.
- Rakennustuotannon toimijat osaavat käyttää tarvittavia ohjelmistoja erilaisissa laiteympäristöissä, kuten työasemissa, kannettavissa tietokoneissa ja mobiililaitteissa.
- Työmaan toimistotilat on toteutettu niin, että tietomalleja voidaan tarkastella jatkuvasti tuotannonohjauksen ja johtamisen tukena.
- Työmaa on varustettu tietomallien käytön edellyttämillä laitteilla, kuten tietokoneilla, mobiililaitteilla, näytöillä ja dataprojektoreilla.

Yllä luetellut edellytykset eivät aina kaikilta osin täyty, mutta tietomalleja kannattaa silti hyödyntää jollain tavalla, jotta organisaation tietomalliosaaminen kasvaa ja toimintaedellytykset täyttyisivät paremmin myöhemmillä hankkeilla. Nämä edellytykset vaativat tietomallitietämystä erityisesti tilaajalta ja urakoitsijoilta (Jäväjä ja Lehtoviita 2016 s.8–10).

Tietomallintamisen käyttöönoton haasteet

Tietomallintamisen käyttöä on pyritty edistämään jo noin 20 vuotta, mutta sen käyttöönotossa on edelleen haasteita. Monet organisaatiot käyttävät tietomalleja perinteisten menetelmien ohessa vain luodakseen vaikutelman kehittyneestä toiminnasta, mutta eivät osaa hyödyntää tietomallintamisen syvempää potentiaalia. Vaikka tietomallintamisen hyötyjä on osoitettu lukuisissa tutkimuksissa, ei niitä osata silti arvostaa muun muassa muutostavastarinnan ja korkeiksi koettujen investointikustannusten vuoksi. Siebelink et al. ovat artikkelissaan *Understanding barriers to BIM implementation: Their impact across organizational levels in relation to BIM maturity* (2021) jakaneet tietomallintamisen käyttöönoton suurimmat haasteet seuraavasti:

a) Muutosvastarinta: Työntekijät vastustavat omien totuttujen työtapojensa muuttamista, koska kokevat vanhan työskentelytapansa varmaksi ja toimivaksi, eivätkä näe uusien toimintatapojen opettelua vaivan arvoisena. Ainut tapa muutosvastarintaisiin työntekijöihin vaikuttamiseen on näyttää heille, miten tietomallintaminen hyödyttäisi heitä omassa työssään. Muutosvastarintaa saatetaan jopa tahattomasti vahvistaa, mikäli käyttöönottoa pakotetaan.

b) Tiedon ja osaamisen puute: Työntekijät eivät ole tietoisia tietomallintamisen käyttökohteista ja hyödyistä, eivätkä myöskään osaa käyttää tarvittavia ohjelmistoja. Henkilöstön koulutusta ja tietomallintamisen osaamista rekrytoinneissa ei painoteta tarpeeksi.

c) Aikapaine ja rajallinen sinnikkyys: Projektien aikapaineet eivät jätä tarpeeksi tilaa uusien toimintatapojen opetteluun, jolloin käyttöönotto hidastuu. Tietomallintaminen voi luoda uusia vastuita, jolloin työmäärä lisääntyy. Tietomallintamisen käyttöönotto vaatii siis pitkäjänteistä ja sinnikästä opettelua.

d) Tehoton tiedonsiirto ja skaalaus: Rakennusalan projektipohjainen kulttuuri johtaa prosessin katkonaisuuteen eikä opittu tieto leviä projektiorganisaation ulkopuolelle, jolloin saman yrityksen eri organisaatioilla voi olla hyvin vaihteleva tieto- ja osaamistaso.

e) Ylimmän johdon tuen puute: Ylin johto nimellisesti tukee tietomallintamisen käyttöönottoa, mutta antaa vain vähän konkreettisia tavoitteita ja ohjeita. Ylimmän johdon riskejä välttelevä asenne hidastaa tietomallintamisen käyttöönottoa. Selvillä yrityksen yhteisillä pelisäännöillä ja ohjeistuksilla saataisiin tehostettua tietomallintamisen käyttöönottoa.

f) Vanhemmalla sukupolvella on eniten päätösvaltaa, muuta vähiten innovaatiokykyä: Nuoremmat työntekijät ovat vanhempia innovoivampia, mutta heiltä puuttuu kokemusta innovaatioidensa toteuttamiseen. Johtoasemissa olevat vanhemman sukupolven työntekijät ovat vähemmän tietoisia uusista teknologioista eivätkä ole yhtä halukkaita muuttamaan toimintatapoja.

g) Projektiorganisaatioiden vahva autonomia: Projektipäälliköt ovat vastuussa hankkeidensa menestyksestä ja riskeistä, jolloin heillä on suuri vaikutusvalta projektiensa toteutustapaan. Tämä vastuu johtaa helposti riskien välttämiseen ja pysymiseen vanhoissa toimintatavoissa.

h) Ulkoisen yhteistyön helpottaminen: Tietoturvallisuuden varotoimet hankaloittavat tiedon vaihtamista ulkoisten tahojen kanssa, jolloin tietomallien jakaminen projektin muille osapuolille on haastavaa.

i) Hankkeiden ja suunnittelualojen monimuotoisuus vaikeuttaa standardisointia: Projektien ja osastojen monimuotoisuus hankaloittaa yhtenäisen toimintatavan asettamista. Vain osa hankkeista hyötyy välittömästi tietomallintamisen käyttöönotosta, koska sitä joudutaan soveltamaan eri käyttökohteisiin, mikä on työlästä. Yrityksen tietomallintamisen osasto ei välttämättä ole täysin tietoinen kaikkien osastojen erityisistä olosuhteista, joka hankaloittaa yhteistyötä.

j) Riittämätön toimitusketjun kypsyys: Kaikilla aliurakoitsijoilla ja -hankkijoilla ei ole välttämättä riittävää kokemusta tietomallien käytöstä, jolloin yhteistoiminta heidän kanssaan on työläämpää tietomallipohjaisesti, kuin perinteisillä menetelmillä.

k) Riittämätön asiakkaiden kypsyys: Asiakkaat eivät välttämättä itse käytä tietomalleja tai vaadi niitä käytettäviksi hankkeessa. Asiakkaalla voi myös olla epärealistisia odotuksia tietomallien käytön vaikutuksista, jos heillä ei ole omaa osaamista aiheesta.

l) Huonosti määritellyt tai toteutetut avoimet standardit: Informaation jakamisen standardeja ei ole vakiintunut rakennusalalla. Tiedon jakamisperiaatteet ovat hyvin hajanaisia, mikä hankaloittaa yhteistyötä toimitusketjussa. Tietomallien standardeja valvotaan huonosti, jolloin yhdistelmämallien tuottaminen teknisesti toisistaan eroavista malleista on työlästä.

m) Ohjelmistot ja työkalut ovat soveltumattomia projektin toimintaan ja tavoitteisiin: Käytetyt tietomalliohjelmistot eivät tue riittävän hyvin työmaahenkilöstön tarpeita niiden tehokkaaseen käyttöön. Ohjelmistoja ja käyttölaitteita koetaan myös epäkäyttäjäystävällisiksi.

Tietomallintaminen ja tekoäly

Tekoäly (AI, Artificial Intelligence), kykenee analysoimaan suuria määriä dataa, ymmärtämään ympäristöään ja suorittamaan annettuja tehtäviä loogisesti. Tekoälyä voidaan käyttää esimerkiksi suurten tietomäärien lajitteluun, tulkintaan, analysointiin, visualisointiin ja tiivistämiseen (Heidari et al. 2023).

Rakennushankkeissa kertyy suuria määriä dataa, jonka käsittely on työlästä ja aikaa vievää, minkä vuoksi tämän datan täyden potentiaalin hyödyntäminen jää usein saavuttamatta. Tietomallintaminen on lisännyt merkittävästi rakennushankkeen datan määrää, mutta vain osa tästä datasta hyödynnetään. Tekoälyn yhdistäminen tietomallien käyttöön mahdollistaa datan tehokkaamman hyödyntämisen. Tekoäly kykenee analysoimaan ja muokkaamaan tietomallia löytäen sille annetun tehtävän mukaisen optimaalisen rakenteen ja samalla vähentää suunnitteluvirheiden riskiä (Heidari et al. 2023).

Aliakbar Heidari et al. ovat artikkelissaan *A systematic review of the BIM in construction: from smart building management to interoperability of BIM & AI*, (2023) listanneet tietomallintamisen ja tekoälyn yhteistoiminnan potentiaalisia hyötyjä seuraavasti:

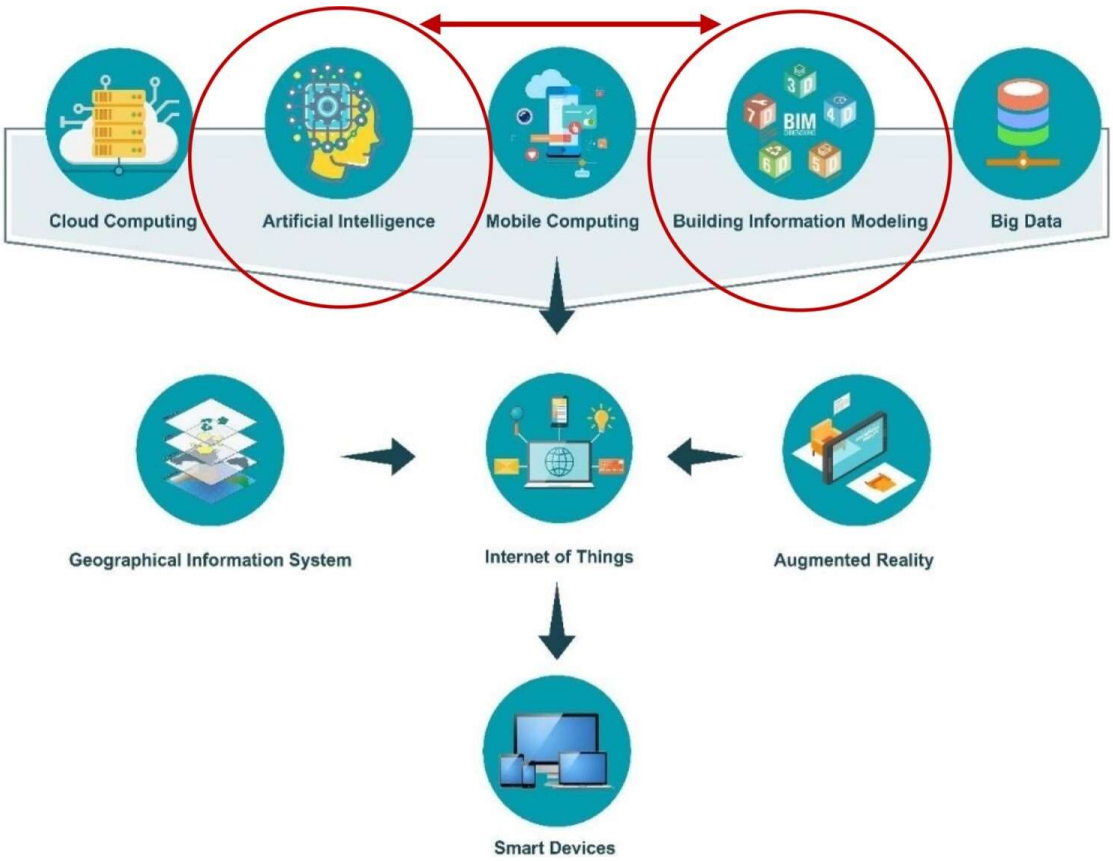
- Turvallisuus ja riskienhallinta: Talonrakentaminen on vaarallinen toimiala, mutta tietomallinnus on parantanut työmaaturvallisuutta ja ottanut käyttöön turvallisuustyökaluja. Tekoälyn avulla BIM voi analysoida kuvia ja tunnistaa riskejä, kuten työntekijöiden putoamisvaaroja.
- Rakennussuunnittelu: Käyttäjä voi luoda tekoälyn avulla projektille kriteerejä tai määräyksiä, joista syntyy vaatimusten mukaisia pysyviä tulosteita. Tätä voidaan soveltaa työmaan analysointiin ja suunnitelmien piirtämiseen vastaavien rakennusosien kanssa, joiden ominaisuudet säätyvät automaattisesti asetettujen kriteerien mukaan.
- Jatkuva päivittäminen: Tekoälylaitteet tukeutuvat kokeelliseen tietoon ja oppimiseen aikaisemmista ja nykyisistä projekteista, mikä tarkoittaa, että tekoälyavusteiset BIM-koneet voivat tarjota hyödyllistä tietoa rakennustyöntekijöille päivitysominaisuuksiensa kautta.
- Tuottavuuden kasvu: Investoinnit rakennusteollisuuteen ovat johtaneet tekoälyavusteisen tietomallintamisen edistymiseen, mikä on johtanut tehokkaampaan rakentamisprosessiin, joka vähentää tehottomuuksia ja nopeuttaa projektien valmistumista.

- Kustannusmuutosten perustelu: AI-BIM-integraatiolla voidaan hallita rakennusprojekteja budjetin ja rakennustehtävien monimutkaisuuden kannalta sekä vähentää budjetin ja aikataulun vaihtelua.

Tietomallintamisen ja tekoälyn integrointi mahdollistaa rakennushankkeen hallintaa ja päätöksentekoa tukevien, kehittyneiden teknologioiden ja toimintamallien käyttöönoton. Kuvassa 2 on havainnollistettu BIM-AI integroinnin mahdollisuuksia. Aliakbar Heidari et al. ovat artikkelissaan *A systematic review of the BIM in construction: from smart building management to interoperability of BIM & AI* (2023) listanneet näitä teknologioita seuraavasti:

- Internet of Things (IoT): IoT on toisiinsa yhdistettyjen laitteiden verkko, joihin on upotettu antureita ja ohjelmistoja, joiden avulla ne voivat kommunikoida ja vaihtaa tietoja keskenään. Rakennusalalla IoT-laitteiden avulla voidaan seurata laitteiden suorituskykyä, seurata materiaaleja ja tuottaa reaaliaikaista tietoa rakennustyömaan olosuhteista.
- Big Data: Big data tarkoittaa suurta määrää dataa, joka syntyy rakennusprojekteista, mukaan lukien dataa materiaaleista, työvoimasta ja laitteista. Yhdistettynä tekoälyyn big data voi auttaa rakennusalan ammattilaisia analysoimaan ja ymmärtämään monimutkaisia tietojoukkoja, tunnistamaan tilastollisia kaavoja ja tekemään tietoisempia päätöksiä.
- Cloud Computing (CC): CC viittaa pilvipohjaisten laskentapalvelujen toimittamiseen Internetin kautta, mukaan lukien ohjelmisto-, tallennus- ja prosessointiteho. CC voi tarjota rakennusalan ammattilaisille pääsyn tehokkaisiin laskentaresursseihin ilman kalliita laitteistoja.
- Mobile Computing (MC): MC viittaa mobiililaitteiden, kuten älypuhelimien ja tablettien, käyttöön rakennusprojektien tietojen käyttämiseen ja jakamiseen. MC voi tarjota rakennusalan ammattilaisille reaaliaikaisen pääsyn projektitietoihin, jolloin he voivat tehdä tietoisempia päätöksiä.
- Geographic Information Systems (GIS): GIS on teknologia, joka käyttää sijaintiin perustuvaa dataa tiedon analysointiin ja visualisointiin. Rakennusalalla GIS:ää voidaan käyttää rakennustyömaiden kartoittamiseen, laitteiden seurantaan ja työmaan olosuhteiden analysointiin.
- Augmented Reality (AR): AR viittaa digitaalitekniikan käyttöön tietokoneella luotujen kuvien heijastamiseksi todellisen maailman päälle. Rakennusalalla AR:tä voidaan käyttää rakennussuunnitelmien visualisointiin tosielämässä,

jolloin rakennusalan ammattilaiset voivat nähdä, miltä suunnitelmat näyttävät ja toimivat ennen rakentamisen aloittamista.



Kuva 2. BIM-AI yhdistämisen mahdollistavat teknologiat (Heidari et al. 2023)

Avoin tietomallinnus

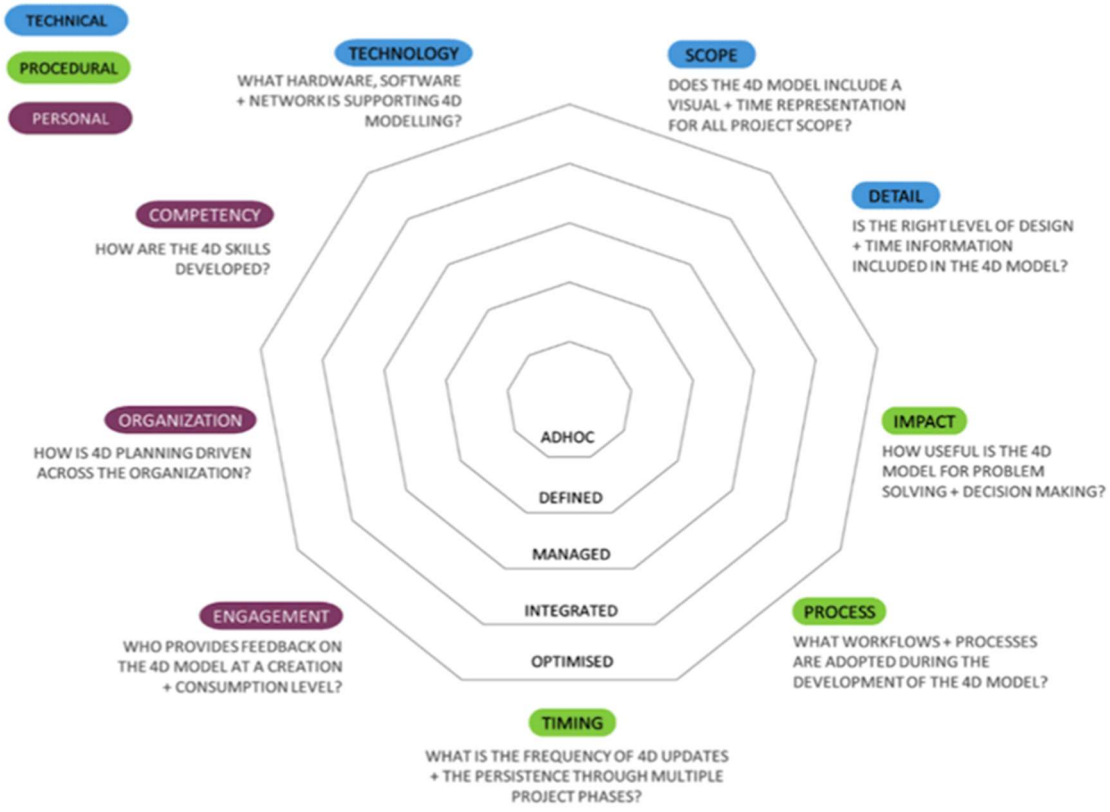
Avoimella tietomallintamisella (englanniksi openBIM), tarkoitetaan yhteisen, valmistajaneutraalin tiedostomuodon käyttöä. Tämä mahdollistaa projekti-informaation saumattoman käytön sidosryhmien välillä, kun kaikkien osapuolten käyttämän ohjelmistot toimivat samalla tiedostomuodolla. Näin vältytään perinteiseltä ongelmalta, jossa hankkeen eri osapuolten, kuten eri suunnittelualojen käyttämät ohjelmistomuodot eivät ole keskenään vaihtokelpoisia. Yhteisen dataympäristön käyttö helpottaa ja kannustaa uusien toimintatapojen sekä sovellusten innovointia (building SMART 2024).

BuildingSMART International kuvaa internetsivullaan ’’what is openBIM’’ avointa tietomallinnusta seuraavasti: ’’openBIM on kaikille osapuolille avoin yhteistyöprosessi, joka edistää yhteentoimivuutta ja hyödyttää projekteja ja omistuksia koko niiden elinkaaren ajan. Se perustuu avoimiin standardeihin ja työnkulkuihin, joiden avulla eri sidosryhmät voivat jakaa tietonsa minkä tahansa BIM-yhteensopivan ohjelmiston kanssa. Tämän buildingSMART Internationalin määrittelemän yhteistyön tavoitteena on parantaa rakennusten ja infrastruktuurihankkeiden ja omaisuuden laatua. Se taistelee suoraan

alan tehottomuutta vastaan edistämällä parempaa ryhmätyötä ja uusia työskentelytapoja. openBIM edistää alan uutta ajattelutapaa digitaalisen muutoksen edut yhdessä ymmärtämiseksi.''

Tietomallintamisen kypsyystasot

Tietomallintamisen arvioimiseksi on kehitetty erilaisia kypsyystason malleja, joilla arvioidaan tietomallien käytön omaksumista organisaatiossa. Organisaatioiden vaihteleva tietomallien käytön osaamistaso hankaloittaa eri sidosryhmien välistä yhteistyötä ja tietomallintamisen täyden potentiaalin hyödyntämistä. Tietomallintamisen kypsyystason mittaaminen auttaa tunnistamaan osaamisen puutteita ja hahmottamaan tarvittavia kehityskohteita. Kypsyystason mittausmallin avulla organisaatio voi laatia pidemmän aikavälin tavoitteita, käyttöönottosuunnitelmia sekä ottaa tietomallintamisen kehittämisen paremmin huomioon omassa strategiassaan (Siebelink et al. 2018). Kuvassa 3 on esitetty Swallow et al. kehittämä kypsyystason matriisi, jolla voidaan mitata 4D-tietomallinnuksen kypsyyttä organisaatiossa.



Kuva 3. 4D-tietomallinnuksen kypsyystason matriisi (Swallow et al. 2021)

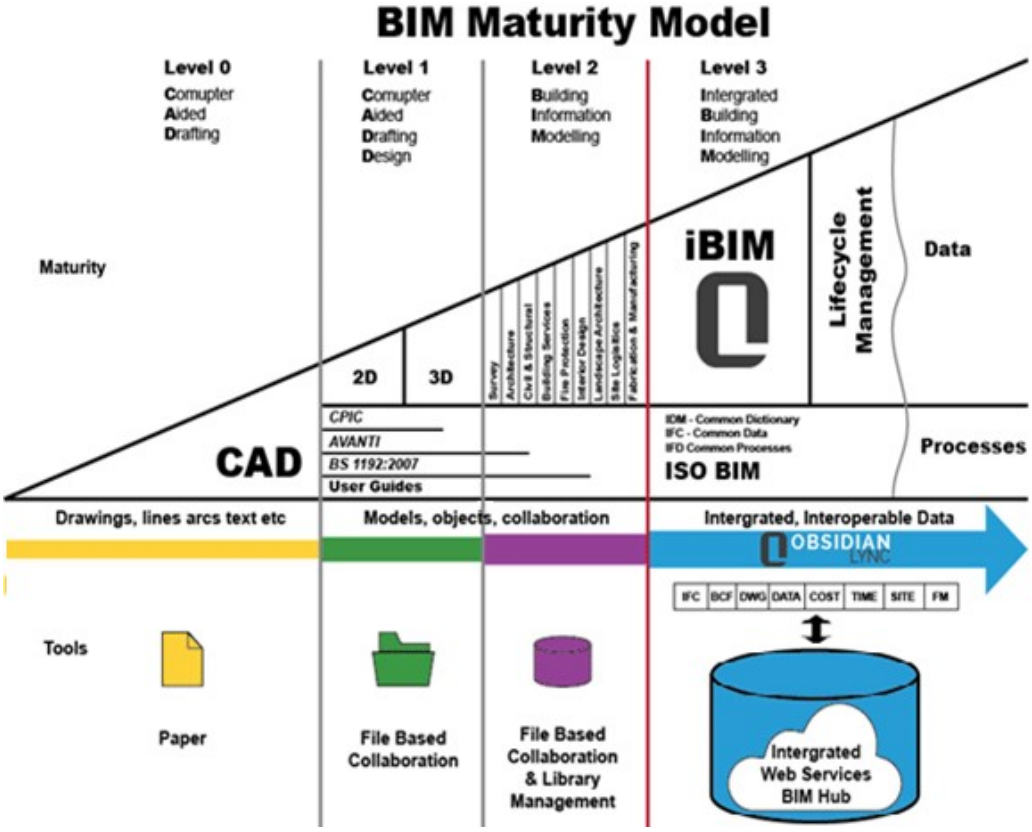
Yhdistynyt kuningaskunta käytti vuonna 2011 julkaistussa valtion rakentamisen strategiassa neliportaista tietomallintamisen kypsyystason määritelmää, joka on määritelty seuraavasti (Gov.UK. 2017) ja myös havainnollistettu kuvassa 4:

Taso 0: Projekteissa käytetään vain 2D-tietokoneavusteista suunnittelua (CAD). Yhteistyötä on todella vähän. Kaikki tiedot, joita vaihdetaan, tapahtuu yleensä paperilla tai painettuna.

Taso 1: Projekteissa käytetään 2D- ja 3D-CAD-piirustusten yhdistelmää. Ne käyttävät yhteistä tietoympäristöä tietojen sähköiseen jakamiseen. Tätä hallinnoi usein pääurakoitsija, ja se voidaan jakaa tiimin jäsenten kesken. Projekteissa voidaan myös käyttää joitain vakiomuotoisia tietorakenteita ja -muotoja.

Taso 2: Projekteissa käytetään älykkäitä, runsaasti dataa sisältäviä objekteja hallitussa 3D BIM-ympäristössä. Kaikki projektissa työskentelevät osapuolet voivat yhdistää tietomalli- ja suunnittelutietonsa tehdäkseen yhteistyötä ja jakaakseen tietoa yhteisen tietoympäristön (CDE) avulla. CDE:n avulla käyttäjät voivat tarkistaa tietojen validointistrategioita varmistaakseen, että he ovat tavoitteessa.

Taso 3: Tämän tason hankkeet ovat täysin yhteistyökykyisiä. Ne käyttävät yhtä, jaettua projektinäkymää tietojen integrointiin, jota kaikki osapuolet voivat käyttää ja muokata sallitulla tavalla prosessi- ja suojausohjauksilla.



Kuva 4. Tietomallintamisen kypsyystasot ennen ISO 19650-standardia (Prušková&Nyvlt 2017)

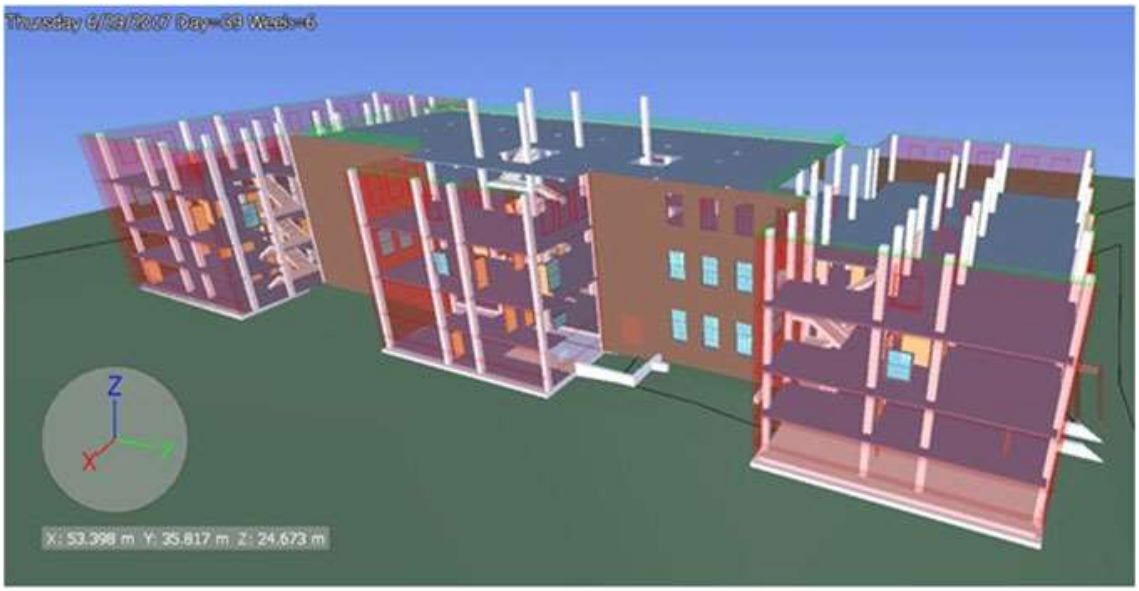
Kyseisen kypsyysmallin käytöstä luovuttiin kuitenkin ISO 19650-standardiin siirryttäessä 2019. Uudemmissa kypsyystason mittareissa keskitytään tietyn toiminnon käytön mittaamiseen, eikä tietomallintamisen osaamista enää jaotella yleisiin tasoihin. (UK BIM Framework).

Tietomallien dimensiot

Tietomallin dimensio, esimerkiksi nimitys 3D, 4D, 5D tai 6D, määräytyy sen sisältämän tiedon ja sitä kautta sen aiotun käyttötarkoituksen mukaan. 4D tietomallissa on linkitettynä visuaaliseen mallin ja materiaalitiedon lisäksi myös aikatietoa, kuten esimerkiksi rakennusosien valmistumisajankohta, käyttöönottoajankohta, komponenttien asennusjärjestystietoa tai tietoa näiden välisistä riippuvuuksista. 5D lisää näihin vielä kustannustiedon dimension. 4D tietomalli yhdistää rakentamissuunnitelman 3D tietomalliin, jolloin voidaan luoda visuaalinen simulaatio rakentamisen kulusta ja kyetään tarkastamaan, miltä työmaan tulisi milläkin ajan hetkellä näyttää suunnitelmien mukaan. Tämä mahdollistaa rakennushankkeen osapuolille paremman tietoisuuden luomisen hankkeen aikataulusta ja mahdollisten suunnitelmien puutteiden tai ristiriitojen havainnointia jo ennen kyseisten vaiheiden toteutusta. 6D tietomallissa yhdistyy edellä mainittujen lisäksi rakennuksen energiatehokkuuteen liittyvät asiat, kuten lämmitys ja valaistussimulaatiot (Nechyporchuk ja Bašková, 2022).

Rakennushankkeen 4D-simulointi

Rakentamisaikataulun avulla 3D-mallista pystytään luomaan rakennusprosessia kuvaava 4D-malli, jonka rakentamisvaiheita voidaan tarkastella simulaatiolla, jossa tietomalli virtuaalisesti rakentuu ajan muutoksen mukaan. Rakennushankkeen 4D-simulaatio on pohjimmiltaan animaatio, joka kuvaa rakennushankkeen muutosta ajan suhteen. Tämä animaatio voidaan pysäyttää millä tahansa hetkellä ja tarkastella suunniteltua rakentamisen vaihetta kyseisenä ajankohtana, kuten kuvassa 5 on esitetty. 4D-simuloinnilla voidaan tarkastella esimerkiksi työmaan eri tehtävien toteutusjärjestystä ja limittymistä. Lisäksi sillä voidaan tarkastella suunnitellun rakennushankkeen aikataulun mukaan, mitkä rakenteet ovat jo asennettuina tai mitkä työvaiheet ovat käynnissä millä tahansa ajan hetkellä (Boton et al. 2023).



Kuva 5. Tilannekuva rakennushankkeen simulaatiosta (Alzarrad et al. 2021):

Yhtenä rakennushankkeen simuloinnin suurimmista eduista pidetään sen kykyä visualisoida koko hankkeen kulkua, mikä auttaa toteutuksen ongelmakohtien havainnointia ja ennakointia. Visualisoinnin roolia korostaa myös se, että monesti rakennushankkeen simuloinnista puhutaan 4D-visualisointina.

Rakennushankkeen simuloinnissa voidaan käyttää myös käyttää apuna VR (Virtual Reality, virtuaalitodellisuus) laitteita, joilla simuloinnista saadaan entistä immersiivisempi käyttäjilleen. Tämä järjestelmä voi tehostaa rakennuksen tulevien käyttäjien osallistumista suunnitteluun sekä työmaan työturvallisuutta esimerkiksi perehdytyksessä käytettävänä työkaluna (Boton et al. 2023).

4D-tietomallin visualisointia voidaan käyttää muun muassa seuraaviin asioihin (Alzarrad et al. 2021):

- Fotorealistiset hahmottamiset
- Virtuaalinen suunnitelmien tarkistus
- Suunnitelma vaihtoehtojen/rakennuksen toimintojen analysointi
- Kustannusten arviointi
- Rakentamisen analysointi
- Rakennusasiakirjojen tuotanto
- Tarjouspakettien valmistelu

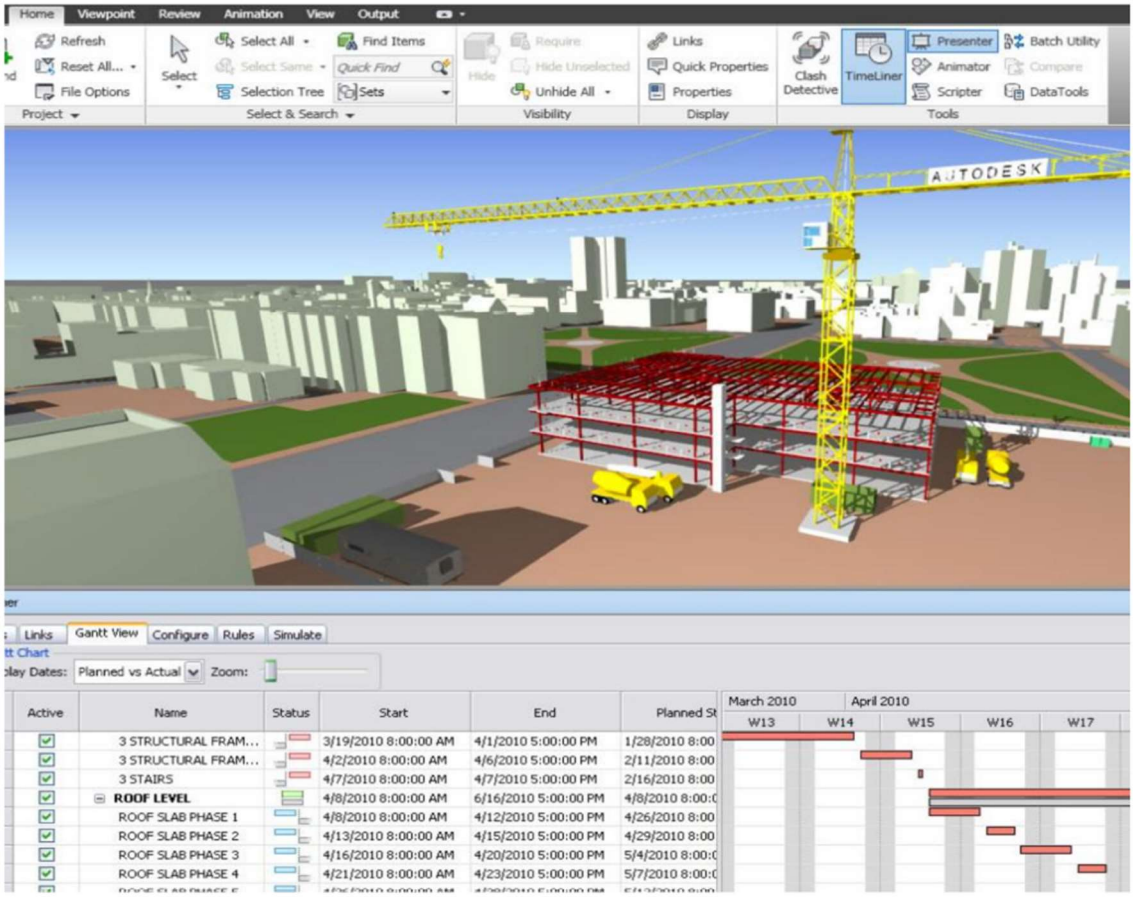
4D tietomallintamisen hyödyt

Yaroslav Nechyporchuk ja Renáta Bašková ovat luetelleet artikkelissaan *Tools of 4D Modeling of Construction Projects* 4D tietomallintamisen hyötyjä seuraavasti:

- Kommunikaation parantaminen: 4D-mallia voidaan käyttää tehokkaana viestintävälineenä projektin eri osapuolten välillä. Visuaalisen mallin avulla suunnittelijat voivat kommunikoida rakennushankkeen suunnitellusta valmistusprosessista kaikkien projektin osapuolten kanssa. 4D-malli sisältää sekä aikataulun hetkelliset, että alueelliset näkökohdat ja tekee viestinnästä perinteistä Gantt-kaaviota tehokkaampaa.
- Tarkka määrälasku: 4D-mallinnuksen avulla aikataulun tekijä voi mitata määriä tarkemmin ja tehokkaammin, mikä mahdollistaa tehokkaamman suunnitteluprosessin. Lisäksi 4D mallin avulla suunnittelija voi määrittää millä tahansa projektin hetkellä tarvittavan materiaalimäärän, mikä lisää suunnittelun tarkkuutta.
- Useiden sidosryhmien osallistuminen: 4D-malleja käytetään usein kokouksissa havainnollistamaan, kuinka hanke voi vaikuttaa liikenteeseen, pääsyyn muihin rakennuksiin tai muihin kriittisiin infrastruktuurin ongelmiin.
- Työmaan logistiikka: 4D-mallinnus vaikuttaa positiivisesti työmaalogistiikkaan. Suunnittelijat voivat hallita varastoalueita ajan myötä, pääsyä rakennustyömaalle ja liikkumista rakennustyömaalla, suuren kaluston sijaintia jne.
- Hankintojen koordinointi: suunnittelijat voivat koordinoida alihankkijoiden toimittaman materiaalin odotettavissa olevaa aika- ja tilavirtaa paikan päällä sekä koordinoida töitä pienissä tiloissa.
- Törmäystarkastelu: 4D-mallilla on mahdollista analysoida koko rakennustyön vaiheiden kulku sekä etsiä suunnitteluratkaisuista mahdollisia ristiriitoja. Lisäksi sen avulla voidaan havaita tila-ajalliset törmäykset, joita voi tapahtua rakentamisen aikana. 4D-mallien käyttö auttaa analysoimaan ja ehkäisemään monia ongelmia etukäteen, jopa ennen rakentamisen aloittamista.
- Aikatauluvertailu ja rakentamisen seuranta: projektipäälliköt ja suunnittelijat voivat helposti vertailla eri aikatauluvaihtoehtoja ja selvittää nopeasti, eteneekö projekti suunnitelmien mukaan tai ei.
- Virtuaalinen toisto: kyky tunnistaa mallien ongelmat prosessin simulointikyvyn avulla ja näyttää, kuinka suunnitelma toimisi "virtuaalimaailmassa".

4D työmaalogistiikan hallinta

3D tietomallin yhdistäminen työmaatehtävien suunnitelmiin mahdollistaa työmaalogistiikan simuloinnin kolmiulotteisessa työmaasuunnitelmassa, jossa päästään entistä paremmin tarkastelemaan eri tehtävien vaatimaa tilaa ja aikaa. Esimerkiksi työmaanostureiden, materiaalivarastojen ja kulkureittien sijoittelua voidaan optimoida ja samalla ottaa rakennusvaiheen simuloinnilla huomioon kaikkien työmaan eri vaiheiden erityisvaatimukset. Tämä helpottaa tehottomien toimintojen ja mahdollisten työmaasuunnitelmien ristiriitojen tunnistamista jo ennen rakentamisen aloitusta, jolloin työmaasuunnittelusta tulee dynaamisempaa ja aluesuunnitelman tilaa saadaan hyödynnettyä tehokkaammin. Kuvassa 6 on esitetty työmaalogistiikan hallintaan käytetty tietomalli.



Kuva 6. Työmaan logistiikan mallinnus (Whitlock et al. 2021)

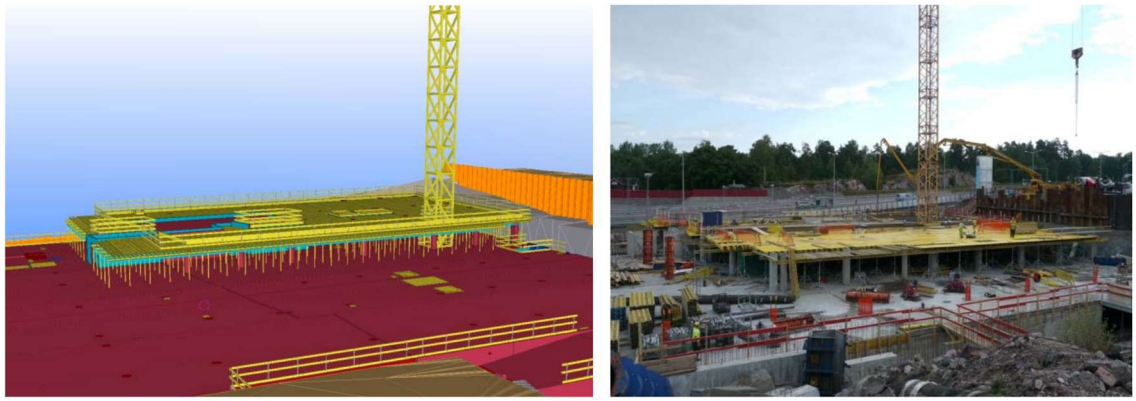
Työmaan tehtävävaiheiden mallintamisella kyetään myös paremmin järjestämään materiaali- ja tarviketilauksia niin, että tarvikkeet saapuvat juuri oikeaan aikaan ja tietomallista saaduilla materiaalimäärillä pystytään kullekin työtehtävälle järjestämään juuri oikea määrä materiaaleja. 4D-tietomallin käyttö voi sekä tehostaa työmaalogistiikan toimivuutta, että vähentää tähän käytettyä aikaa, jolloin työnjohtajat voivat keskittyä muihin tehtäviinsä. 4D-tietomallipohjainen aluesuunnitelma mahdollistaa myös paremman

tiedon kulun sidosryhmien välillä, kun pilvipohjainen tietomalli päivittyy kaikille osapuolille suunnitelmamuutosten myötä, jolloin on pienempi riski suunnitelmien ristiriidoille (Whitlock et al. 2021).

4D työmaaturvallisuuden suunnittelu

4D tietomallintamisella voidaan tehostaa työmaan turvallisuutta luomalla turvallisuussimulaatioita, jotka helpottavat vaarallisten työvaiheiden ja tilanteiden tunnistamista töiden suunnitteluvaiheessa. Turvallisuussimulaatioista voidaan myös tehdä automaattisia analyysejä, jolloin simulointiohjelmisto tuo esille havaitsemansa vaaralliset työt ja ehdottaa niihin turvallisuutta parantavia toimintoja (Nechyporchuk ja Renáta, 2022).

Työmaan 4D tietomalliin voidaan työturvallisuuden analysoinnin tueksi suunnitteluvaiheessa yhdistää aikaan ja paikkaan sidottuina esimerkiksi työmaakaiteet, aukkojen suojaus, työmaan kulkureitit, rakennustelineet, työmaahissit, ajoneuvo- ja torninostureiden nostoalueet, henkilönostimet, väliaikaiset rakenteet ja niiden putoamissuojat, varastointipaikat sekä valumuottirakenteet (Kiviniemi et al. 2011). Kuvassa 7 on vierekkäin tietomalli työmaan valumuottien vaiheesta ja todellisesta kohteesta.



Kuva 7. Työmaan valumuottien malli ja todellinen työmaa (Kiviniemi et al. 2011)

Työmaan vaarojen ennakoivalla tunnistamisella ja poistamisella kyetään tehokkaammin parantamaan työturvallisuutta kuin näiden vaarojen reaktiivisella hallinnalla. Siksi riskien lieventämistoimien ja arvioinnin yhdistäminen jo hankkeen alkuvaiheeseen voi parantaa niiden hallintaa tehokkaasti ja taloudellisesti (Jin et al. 2019).

4D tietomallia voidaan hyödyntää työturvallisuuden parantamiseksi esimerkiksi seuraavilla tavoilla (Kiviniemi et al. 2011):

- Työmaanosturin mahdollisen kaatumisen vaikutusten analysointi
- Purkutöiden visualisointi auttaa eri työmenetelmien vertailua ja helpottaa riskien tunnistusta

- 4D-ohjelma auttaa putoamissuojaussuunnitelman teossa
- Turvallisuudessa erityisesti huomioitavien asioiden visualisointi sidosryhmille
- Rakenneratkaisujen suunnittelu turvallisesti rakennettaviksi
- Rakennusjärjestyksen optimointi mahdollisimman turvalliseksi
- 4D-tietomalli helpottaa työjärjestyksen visualisoinnissa työntekijöille
- Etukäteen tehty kohteen virtuaalinen rakentaminen auttaa tunnistamaan mahdollisia riskejä ja välttämään odottamattomia tilanteita.

4D toimitusketjun hallinta

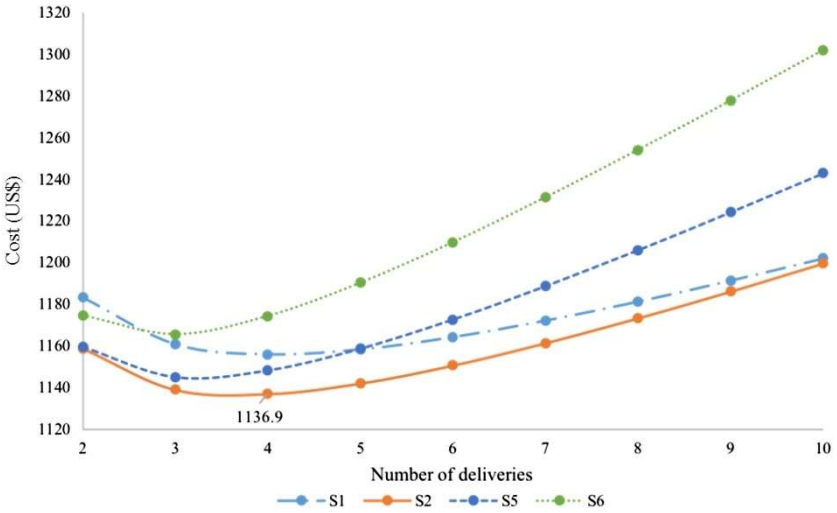
Integroitu rakennusalan toimitusketjulogistiikka (Integrated Construction Supply Chain Logistics, ICSCL) on menetelmä, jossa rakennushankkeen suunnittelijat, työmaan työnjohto sekä rakennusmateriaalien ja -palveluiden toimittajat osallistuvat yhdessä hankintoihin. 4D-tietomallin yhdistämisellä integroituun toimitusketjulogistiikkaan voidaan tämän toimintaa ja erityistarpeita paremmin havainnollistaa kaikille osapuolille. Näin voidaan tehostaa toimitusketjua, välttää virheitä ja optimoida työmaavarastointia. 4D-tietomalli mahdollistaa myös toimitusketjun nopean reagoinnin työmaan aikataulumuutoksiin ja myöhästymisiin.

4D-tietomallin yhdistäminen integroituun toimitusketjulogistiikkaan helpottaa muiden toimintatapojen, kuten JIT (Just In Time) -logistiikkamallin käyttöä, kun 4D-malli mahdollistaa jatkuvan toimitusten ja työn etenemisen seurannan. JIT-logistiikkamallissa tavoitteena on tuoda materiaalit työpisteelle juuri oikeaan aikaan, kun niitä tarvitaan vähentäen näin materiaalien varastointiin ja käsittelyyn kuluvaa aikaa. JIT-logistiikkamalli vaatii tarkkaa suunnittelua, jatkuvaa seurantaa ja välitöntä ongelmiin reagointia. 4D-tietomalli auttaa toimitusketjun osapuolia tämän toteuttamisessa (Magill 2022).

4D-tietomallia ja GIS (geographical information systems) yhteiskäytöllä voidaan tehostaa hankintoja luomalla laskelmia, jotka ottavat eri toimittajien tarjouksissa hintojen lisäksi huomioon toimituskustannukset eri kokoisille toimituserille. Kun 4D-tietomallista nähdään materiaalin tarve työmaalla tiettynä aikana tietyssä paikassa, voidaan sillä ja GIS järjestelmällä yhdessä optimoida materiaalierän tilauskustannusten ja varastointikustannusten suhdetta ja saavuttaa kokonaisvaltaisesti kustannustehokkain ratkaisu (Deng et al. 2019).

Yichuan Deng et al. loivat artikkelissaan: *Integrating 4D BIM and GIS for Construction Supply Chain Management* (2019) kustomoidun ohjelman, joka käytti geotietokantaan

tallennettua tietoa laskeakseen hankintojen kustannuksia. Ohjelmistoa käytettiin laskemaan optimaalista tilauserien määrää jokaista rakennusaktiviteettia kohden ottaen huomioon tilaus- toimitus- ja varastointikustannukset. Laskennan periaatteena käytettiin JIT-mallia, jolloin toimitukset pyrittiin saamaan juuri oikeaan aikaan. Ohjelmistoon yhdistettiin rakennushankkeen 4D-tietomalli, josta otettiin materiaalimäärät ja päivämäärät, milloin niitä tarvitaan. Ohjelmisto laski näillä tiedoilla eri mahdollisten yhdistelmien kokonaiskustannukset, jolloin näistä päästiin valitsemaan työmaalle sopivimmat. Kuvassa 8 on esitetty tutkimuksessa saadut kustannuskäyrät eri toimittajilta.



Kuva 8. Deng et al. analyysi logistiikan kokonaiskustannuksista (2019)

Ohjelmiston laskelmista huomattiin, että kokonaiskustannuksiltaan edullisimmaksi vaihtoehdoksi tulikin toimittaja, jolla ei ollut edullisimpia tuotteiden yksikköhintoja, eikä edullisimpia toimituskustannuksia. Tästä pääteltiin, että toimittajan valinnassa ei saada välttämättä kilpailukykyisintä ratkaisua tarkastelemalla vain yksikkökustannuksia ja toimittajan etäisyyksiä (Deng et al. 2019).

4D jätteenhallinta

Guerra et al. kehittivät artikkelissaan *4D-BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: Case studies on concrete and drywall waste streams* (2020) 4D-tietomallipohjaisen laskentakaavan, jolla arvioitiin työmaalla syntyvän betoni- ja kipsilevyjätteen määriä. Laskentaa varten tarvittavat materiaalimäärät ja niiden asennusajankohdat otettiin 4D-tietomallista. 4D-tietomallin avulla myös visualisoitiin työvaiheita ja hahmotettiin arvioidun yli jäävän materiaalin toissijaisia käyttökohteita, kuten maantäyttöä. Laskentakaavan tarkoituksena oli havainnollistaa työmaan henkilöstölle tulevia jätemääriä etukäteen, jotta tilausmääriä voitaisiin tarkentaa ja materiaalin toissijaisen käytön mahdollisuuksia kartoittaa jo ajoissa ennen kyseistä rakentamisvaihetta. Tarkem-

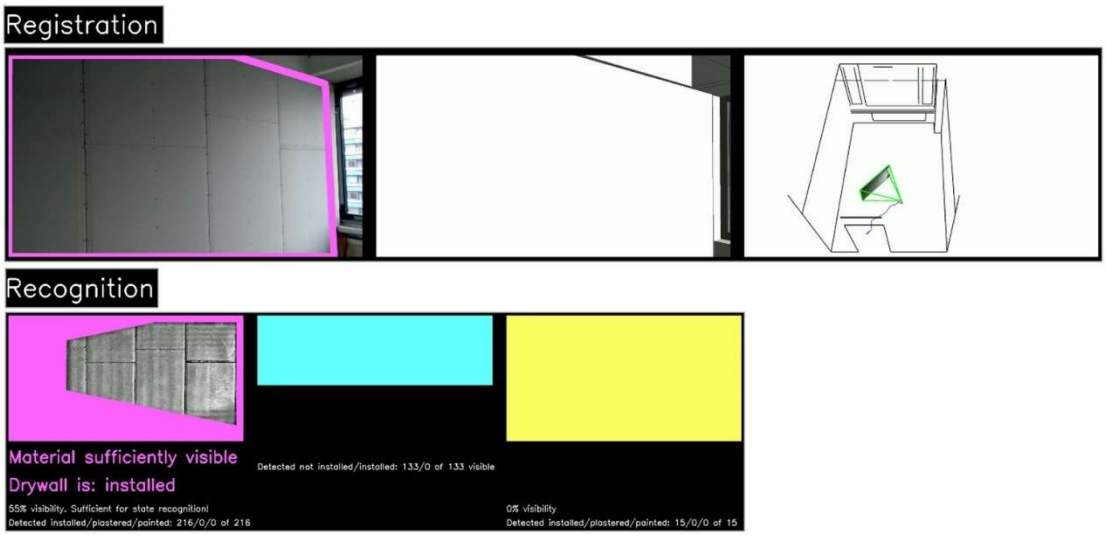
milla tilausmäärillä ja tehokkaammalla kierrätyksellä sekä uusiokäytöllä työmaa kykenisi vähentämään merkittävästi kuluja materiaalin ja jätteen kuljetuksesta, käsittelystä, jätehuollon maksuista ja uuden materiaalin tilauskuluista (Guerra et al. 2020).

4D aikataulunhallinta muussa teollisuudessa

4D-aikataulunhallintasovelluksista on hyötyä laivanrakennusteollisuudessa erityisesti tekniikan asennusten yhteydessä, kun asennettavat laitteet ovat suuria ja asennus tapahtuu hyvin rajoitetussa tilassa. Uudelleen tehtävästä työstä johtuvia viivästyksiä syntyy helposti, kun jo asennettuja laitteistoja joudutaan purkamaan, jotta jokin muu osa mahdutaan asentamaan paikalleen. Tällaisia aikatauluviiveitä voidaan välttää simuloimalla asennusjärjestystä kolmiulotteisena mallina ja näin havainnollistamalla mahdolliset asennushaasteet jo ennen työn aloitusta (Mishra et al. 2015).

4D työmaan edistymisen seuranta

Työmaan edistymisen seuranta on perinteisesti tehty käsin tarkistamalla kohteita osa kerrallaan ja dokumentoimalla tietoa manuaalisesti. Tämä manuaalinen toiminta on työlästä ja sen laiminlyönti voi johtaa hitaaseen reagointiin aikataulupoikkeamien sattuessa. Työmaan edistyksen seurantaa voidaan tehostaa merkittävästi käyttämällä 4D-tietomalliin yhdistettyjä työkaluja, kuten pistepilviä luovia laserskannereita tai kuvauslaitteita, jotka käyttävät kuvan- tai videontunnistussovelluksia. Laserskannerit tuottavat erittäin tarkkoja pistepilviä, mutta niiden käyttö on hitaampaa ja työläämpää kuin kuvauslaitteiden käyttö. Visuaalista matkamittausta käyttävä algoritmi voi muuttaa kuvamateriaalia kolmiulotteiseksi malliksi, jota se vertaa rakennushankkeen 4D-tietomalliin ja tunnistaa näin poikkeamat suunnitellun rakennusaikataulun ja työmaan todellisen tilan välillä. Työmaan edistymisen seurantaan käytettävä kuvauslaite voi olla joko paikallaan oleva, työmaan henkilökunnan kuljettama tai kuvauskopteriin integroitu. Kuvauskopteri sopii hyvin työmaan ulkotöiden seurantaan, kun taas käsin kuljetettava kamera soveltuu paremmin sisätöiden edistymisen seurantaan (Kropp et al. 2018). Kuvassa 9 on esitetty (Kropp et al. 2018) käyttämä kuvan analysointityökalu, joka tunnistaa rakennuksen osan ja sen kuvan ottohetken asennusvaiheen.



Kuva 9. Rakennusvaiheen tunnistuksessa käytetty ohjelmisto (Kropp et al. 2018)

5D rakennushankkeen kustannusten seuranta ja hallinta

Vigneault et al. ovat artikkelissaan *An Innovative Framework of 5D BIM Solutions for Construction Cost Management: A Systematic Review* (2020) esittäneet tapoja 5D-tietomallin käytöstä rakennushankkeen kustannusten hallintaan seuraavasti:

- Kassavirtaennuste: Kim ja Grobler ovat osoittaneet tutkimuksellaan, että 5D-tietomallin avulla on mahdollista tehdä kassavirta-analyysejä, jotka mahdollistavat nopeamman ja tarkemman kassavirran ennustamisen projektin alkuvaiheessa. Lu et al. ovat kehittäneet edelleen viitekehyksen, joka yhdistettynä olemassa olevaan 5D-työkaluun antaa käyttäjille mahdollisuuden mallintaa monimutkaisia maksu- ja sopimusrakenteita parantaakseen näiden ennusteiden tarkkuutta. Kassavirta-analyysejä on sitten helppo muokata, kun malleihin tehdään muutoksia.

- Tämänhetkiset kustannukset verrattuna budjettiin ja odotettuihin lopullisiin kustannuksiin: Mallin ja urakoitsijoiden hintoja koskevien tietojen väliset yhteydet mahdollistavat tähänastisten kustannusten nopean arvioinnin yksinkertaisesti eristämällä valmiit elementit mallista ja jakamalla ne suunnittelunalan mukaan. Näitä tietoja voidaan sitten verrata aiemmin mallinnettuun kassavirtaan, jotta voidaan arvioida todellisten kustannusten ja budjetin välinen ero, tunnistaa kustannuksiin eniten vaikuttavat tekijät ja arvioida projektin todennäköiset lopulliset kustannukset.

- Ostohankinta: 5D BIM-työkalujen ominaisuudet mahdollistavat nyt elementtien ostamisen suoraan mallin mukaan, koska mallinnetut kohteet edustavat ostettavaa tuotetta. Käyttäjät voivat sitten käyttää tuotevalmistajien kehittämiä malleja,

jotka sisältävät kaikki tarvittavat spesifikaatiot materiaalimääriä, -aikatauluja ja kustannusarviota varten.

- Muutostilausten hallinta: Mallin ja kustannustietojen välinen dynaaminen linkki antaa ammattilaisille mahdollisuuden helposti ja nopeasti arvioida muutosten vaikutusta kokonaiskustannuksiin, antaen heille kyvyn luoda tarkkoja simulaatioita useista vaihtoehdoista ennen elementin rakentamisen alkamista. Kehitystaso projektin elinkaaren aikana mahdollistaa myös näiden muutosten tarkemman arvioinnin, mikä joissakin projekteissa pienensi merkittävästi lähetettyjen muutostilausten määrää.
- Maksu työn edistymisen mukaan: Kuten menetelmä, joka mahdollistaa tietyn projektin kulujen laskemisen, 5D BIM antaa käyttäjille mahdollisuuden valita tietyn ajanjakson valmiiden elementtien ja niitä vastaavien kustannusten tarkistamiseksi ja siten urakoitsijan edistymismaksujen vahvistamiseksi.

5D kustannuslaskenta

5D tietomalliin yhdistetyn kustannustietokannan avulla hankkeen kokonaiskustannuksia voidaan arvioida entistä tarkemmin ennen rakentamisen aloitusta. Erilaisten materiaali- ja rakenneratkaisuiden vaikutusta hankkeen kokonaiskustannuksiin voidaan tutkia vaihtamalla 5D-tietomallin kappaleiden ominaisuuksia. Näin tilaajalle hahmottuu paremmin tekemiensä päätösten vaikutus hankkeeseen, jolloin projektinhallinta helpottuu ja voidaan paremmin keskittyä tilaajalle arvoa luoviin ratkaisuihin. Myös hankkeen elinkaarikustannukset voidaan liittää 5D-tietomalliin, jolloin erilaisten rakenne- ja materiaaliratkaisujen rakennuskustannuksia voidaan verrata niistä syntyviin muutoksiin rakennuksen elinkaaren kustannuksissa.

5D-tietomallipohjainen kustannuslaskenta voi myös tehostaa urakoitsijoiden tarjouslaskentaa entistä nopeammaksi ja tarkemmaksi. Tilaajalta saatuun tietomalliin voidaan yhdistää alustava työmaan aikataulu ja urakoitsijan oma kustannustietokanta, jolloin tästä 5D-tietomallista saadaan materiaalien ja työn kustannukset sidottuina aikatauluun (Vigneault et al. 2020).

5D työmaan rahoituksen hallinta

Rakennushankkeen tulojen ja menojen ennakointi on elintärkeää hankkeen onnistumiselle. Suuri osa urakoiden epäonnistumisesta johtuu työmaan rahoituksen huonosta hallinnasta, vaikka itse työt sujuisivatkin suunnitellusti. Ongelmia aiheuttaa erityisesti rakennushankkeen aikataulun ja rahoituksen heikko yhteissuunnittelu. Perinteinen kus-

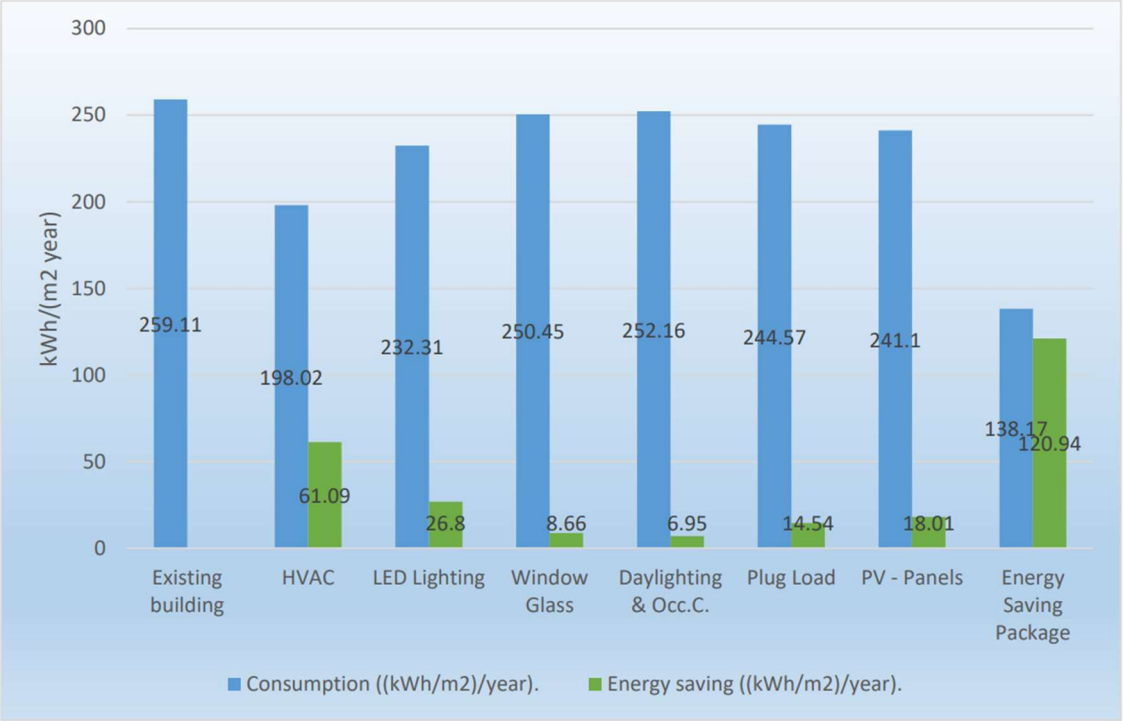
tannusten ennustaminen tehdään laskemalla tarvittavat materiaalimäärät rakennushankkeen aikataulun mukaan tietylle ajanjaksolle ja kertomalla nämä arvioiduilla hankintojen kappalehinnoilla. Tämä prosessi voi olla työläs ja aikaa vievä, jolloin sitä saatetaan laiminlyödä (Lu et al. 2016).

Rakennushankkeen kustannuslaskentaan käytettävää 5D-tietomalli voi tehostaa työmaan rahoituksen hallintaa perinteisiin menetelmiin verrattuna. 5D-tietomallista saadaan haettua materiaali- ja kustannustiedot rakennushankkeen aikatauluun sidottuina, jolloin rahoituserien suunnittelu ja hallinta helpottuu. 5D-tietomalliin voidaan yhdistää myös tilausten toimituksen, laskutuksen ja eräkoon tiedot, jolloin työmaan menoja kyetään suunnittelemaan entistä tarkemmin ennakkoon. Hankkeen sopimusmuodon mukaan myös tulojen hallinta voidaan liittää 5D-tietomalliin, jolloin jo sopimusvaiheessa voidaan vaikuttaa työmaan tulojen aikatauluun suunniteltujen menojen ja muiden tarpeiden mukaan (Vigneault et al. 2020).

6D-tietomallinnus

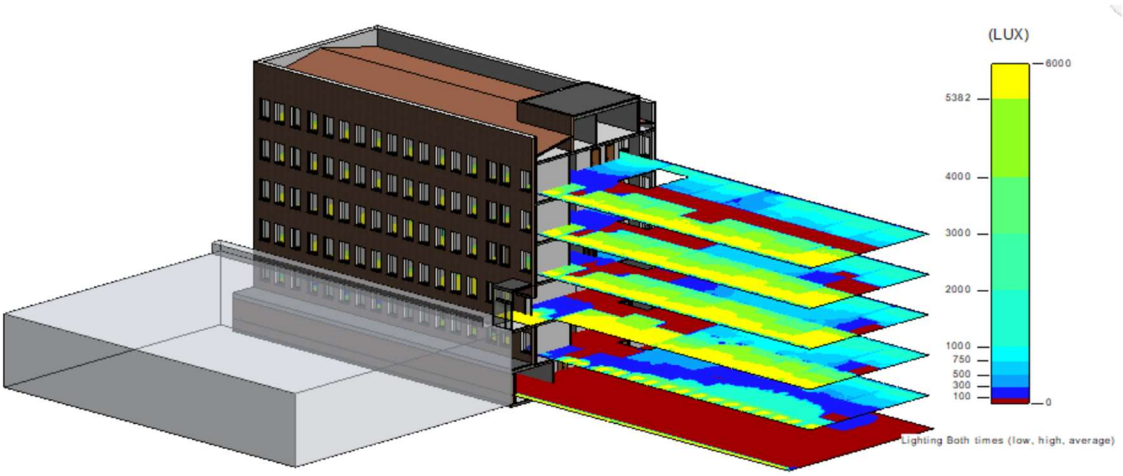
6D-tietomallinnuksessa rakennuksen tietomalliin yhdistetään sen energiankäytön laskentamalli, jolla voidaan simuloida rakennuksen energiankulutuksen ja valaistuksen käyttäytymistä. Tämä helpottaa energiaystävällisten suunnitteluratkaisuiden tekemistä ja auttaa selvittämään tapoja, joilla jo olemassa olevien rakennusten energiatehokkuutta voitaisiin parantaa. 6D-tietomallinnus voi auttaa kestävän kehityksen edistämistä vähentämällä rakennusten energiankulutusta ja parantaa rakennuksen käyttäjien kokemaa mukavuutta lämpötilan- ja valaistuksenhallinnan avulla. 6D-simuloinnilla voidaan huomioida rakennusten sijoittelu niin, että päivänvaloa päästään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti rakennuksen valaistuksen sisäilmaston hallinnan kannalta. Olemassa olevien rakennusten simuloinnilla voidaan arvioida vanhan rakennuksen muutoskustannusten ja energiapäästöjen suhdetta rakennuksen purkamiseen ja uuden rakentamiseen (Montiel-Santiago et al. 2020).

Fancisco Montiel-Santiago et al. artikkelissaan Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings. Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation (2020) tekivät 6D-tietomallin Espanjassa sijaitsevasta sairaalasta ja arvioivat olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksia. Heidän tekemänsä energiasimulaatio otti huomioon rakennuksen rakenteiden, sähkölaitteiden ja käyttöaikojen vaikutukset energialaskelmiin, sekä rakennuksen julkisivujen ja ikkunoiden ilmansuuntien vaikutukset lämmitys- ja jäähdytystarpeeseen. Energiasimulaation avulla he tekivät energiatehokkuuden parantamiseksi muutosehdotuksia, jotka on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Sairaalarakennuksen energiatehokkuuden parannusehdotukset (Montiel-Santiago et al. 2020)

Montiel-Santiago et al tekivät myös valaistussimulaation, jonka avulla tutkittiin päivänvalon vaikutusta sairaalarakennuksen eri huoneisiin. Laskelmien avulla voitiin tutkia ikkunapinnoitteiden vaikutusta huoneiden lämpenemiseen ja optimoida valaistuksen käyttöä. Kuvassa 11 on esitetty rakennuksen sairaalarakennuksen valaistusmalli.



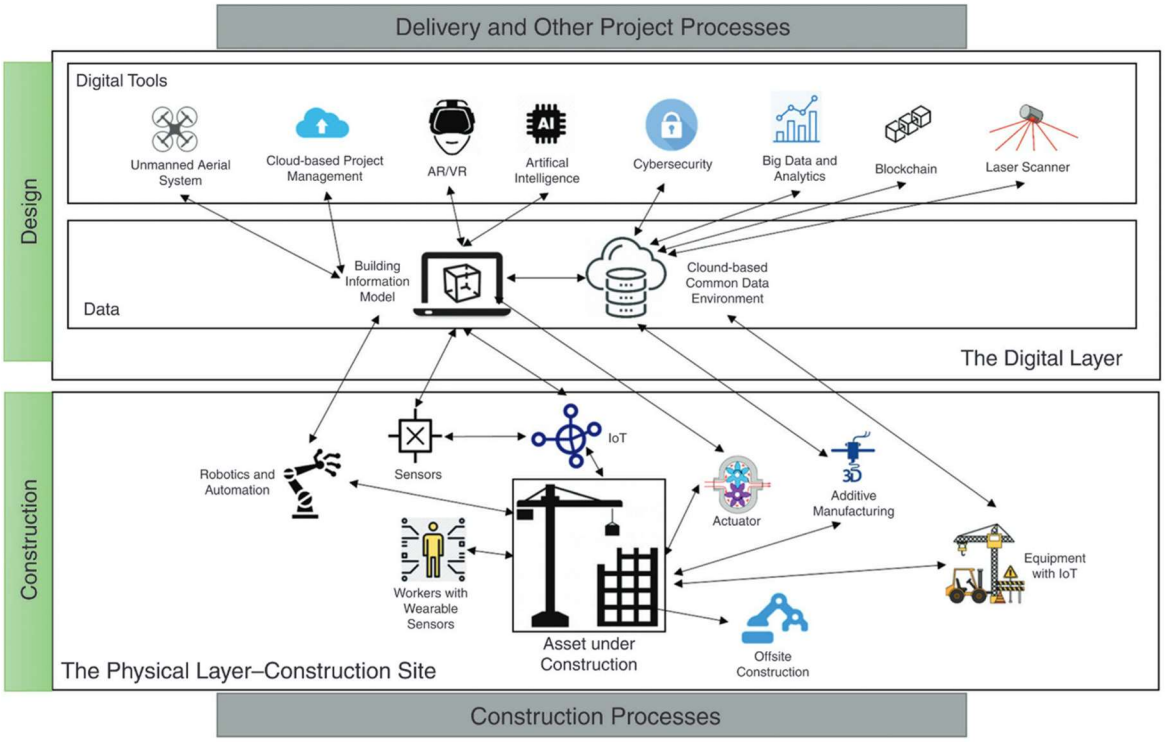
Kuva 11. Sairaalarakennuksen valaistusmalli (Montiel-Santiago et al. 2020)

Rakentaminen 4.0

Neljännen teollisen vallankumouksen myötä on myös rakennusalalle alettu hahmottelemaan samanlaisten menetelmien ja teknologioiden käyttöönottoa. Tästä hahmotellusta kehityssuunnasta on alettu rakennetun ympäristön alalla käyttää nimitystä rakentaminen 4.0. Rakentaminen 4.0:n uskotaan lähitulevaisuudessa tehostavan tuotantoa, liiketoimintamalleja ja arvoketjuja. Neljännen teollisen vallankumouksen perustekijänä on kyberfyysisten järjestelmien (CPS, englanniksi Cyber-physical systems) käyttö. Nämä järjestelmät ovat mahdollistavia teknologioita, jotka yhdistävät virtuaalisen ja fyysisen maailman luoden aidosti verkostoituneen maailman, jossa älykkäät objektit kommunikoivat ja vuorovaikuttavat keskenään. Rakentaminen 4.0-viitekehys koostuu fyysisestä kerroksesta, johon kuuluu uusia teknologioita ja toimintamenetelmiä, kuten antureita ja robotteja, sekä digitaalisesta kerroksesta, johon kuuluu digitaalisia työkaluja ja tiedonhallintamenetelmiä. Kuvassa 12 on havainnollistettu Rakentaminen 4.0:n kerrokset. Sawhney et al. on kirjassaan *Construction 4.0 : an innovation platform for the built environment* (2020) sivulla 13 esittänyt rakentaminen 4.0 viitekehyksen kolme rakennusalaa muokkaavaa trendiä:

1. Teollinen tuotanto ja rakentaminen: käyttämällä esivalmistusta, 3D-tulostusta ja kokoonpanoa, työmaan ulkopuolista valmistusta ja automaatiota työmaalla tehtävien rakennusmenetelmien haasteet ja ongelmat vähenevät merkittävästi. Tämän tyyppinen teollinen prosessi mahdollistaa tuotannon digitaalisen linkittämisen tietomalliin ja yhteiseen tietoympäristöön (CDE, Common Data Enviroment) niin, että ohjeet voidaan toimittaa suoraan fyysistä tuotantoa varten ja mikä tahansa tuotantoon liittyvä informaatio fyysiseltä kerrokselta voidaan syöttää takaisin digitaaliselle kerrokselle.
2. Kyberfyysiset järjestelmät: Rakentaminen 4.0:n aikaisella rakennustyömaalla käytetään robotiikkaa ja automaatiota tuotannossa, kuljetuksessa ja kokoonpanossa, toimilaitteita digitaalisten signaalien muuntamiseen fyysisiksi toimiksi sekä antureita ja esineiden internet (IoT, Internet of Things) havaitsemaan tärkeää informaatiota fyysisistä kohteista (mukaan lukien ihmisistä) fyysiseltä kerrokselta.
3. Digitaaliset teknologiat: digitaalinen muutos perustuu digitaaliseen ekosysteemiin, joka on kehitetty Rakentaminen 4.0 viitekehyksen digitaalisessa kerroksessa. BIM ja CDE tarjoavat puitteet, joiden varaan integroidut digitaaliset työkalut rakennetaan. Video- ja laserskannaustekniikan, tekoälyn (AI) ja pilvilas-

kennan, big datan ja data-analytiikan, todellisuuden kaappauksen, Blockchainin, simulaation ja lisätyn todellisuuden avulla toimitus- ja liiketoimintaprosessia tuetaan Construction 4.0 -kehyksessä. Vaikka digitaaliset ekosysteemit tarjoavat tähän tukeen tarvittavan innovaation, tietostandardeilla ja tiedon yhteentoimivuudella on myös keskeinen rooli tässä yleisessä muutoksessa.



Kuva 12. Rakentaminen 4.0:n kerrokset (Sawhney et al. 2020).

Rakentaminen 4.0 on yleisessä tutkimuskäytössä oleva termi, mutta sille ei ole yhtä tarkkaa määritelmää. Sen vuoksi puhutaankin Rakentaminen 4.0 viitekehyksestä, johon kuuluu monia erilaisia moderneja teknologioita ja toimintatapoja (Sawhney et al. 2020 sivut 10-15). Kuvassa 13 on listattu rakentaminen 4.0 viitekehyksessä vaikuttavia toimintamenetelmiä ja teknologioita.

Emerging Technology or Trend	Construction 4.0 Layer	Construction 4.0 Functions
BIM	Digital	Modeling and simulation
CDE	Digital	Collect, manage and disseminate documentation, the graphical model and non-graphical data for the whole project team
Unmanned Aerial Systems	Digital	Aerial image collection
Cloud-based Project Management	Digital	Digital tools to support delivery and business processes
AR/VR	Digital	Virtual application in all phases and for all team members
Artificial Intelligence	Digital	Classifying, predicting, image processing, mining and problem-solving
Cybersecurity	Digital	Securing the physical-digital-physical loop
Big Data and Analytics	Digital	Trend analysis and business intelligence
Blockchain	Digital	Smart contracts, building trust, and maintaining records
Laser Scanner	Digital	Point-cloud data collection
Robotics and Automation	Physical	Transport, assembly and production
Sensors	Physical	Collect location, temperature, humidity, and movement information
IoT	Physical	Connectivity of things, people and data
Workers with wearable sensors	Physical	Collect location, temperature, humidity, and movement information
Actuators	Physical	Convert digital interactions into physical action
Additive Manufacturing	Physical	Print parts and products using the BIM model
Offsite Construction	Physical	Use manufacturing to produce parts and products
Equipment with Sensors	Physical	Assembly of parts and products in a location aware environment

Kuva 13. Rakentaminen 4.0:n viitekehyksen osat (Sawhney et al. 2020)

Sawhney et al. on kirjassaan *Construction 4.0 : an innovation platform for the built environment* sivulla 15 ja 16 esittänyt rakentaminen 4.0 viitekehyksen hyötyjä seuraavasti:

1. Innovatiivisen ympäristön mahdollistaminen: rakentaminen 4.0:n viitekehys voi tarjota oikean yhdistelmän mahdollistajia, jotta innovatiivisuus voisi juurtua alalle. Fyysisen ja digitaalisen kerroksen integroinnin avulla on todennäköistä, että tämä innovaatio johtaa integroituihin ratkaisuihin, jotka iskevät alaa tällä hetkellä hallitsevan horisontaalisen, vertikaalisen ja pitkittäisen pirstoutumisen ytimeen.

2. Kestävyyden parantaminen: rakentaminen 4.0:n integroidun viitekehyksen avulla rakennusalan on mahdollista omaksua täysin elinkaarikeskeinen lähestymistapa ja varmistaa resurssien järkevä käyttö vähentäen merkittävästi energiankulutusta ja päästöjä.
3. Alan imagon parantaminen: rakennusala kärsii useiden tekijöiden aiheuttamasta imago-ongelmasta. Se on tunnettu rankasta työympäristöstään ja alhaisesta automaatio- ja digitalisaatiotasostaan. Rakentaminen 4.0:n digitaaliset ja fyysiset teknologiat voivat parantaa alan imagoa muuttamalla työtä, työntekijää ja työpaikkaa sekä tehdä siitä houkuttelevamman kykyjen rekrytoinnin ja säilyttämisen kannalta.
4. Kustannussäästöt: digitaalisten teknologioiden, BIM:n ja CDE:n tukeman teollisen rakentamisen käyttö voi auttaa vähentämään tehottomuutta ja hukkaa. Robotiikka ja automaatio voivat vähentää suoria kustannuksia. Reaaliaikainen pääsy fyysiseen kerrokseen runsaalla datalla parantaa päätöksentekoa ja tarjoaa taloudellisia kannustimia projektiryhmille yhteistyöhön ja innovointiin.
5. Ajansäästö: nykyaikaiset rakennusmenetelmät, kuten esivalmistus, materiaalia lisäävä valmistus ja paikan päällä tapahtuva kokoonpano, tulevat nopeuttamaan rakentamista. Reaaliaikaisella pääsyllä työmaatietoihin voidaan välttää mahdolliset viiveet, mikä säästää aikaa.
6. Turvallisuuden parantaminen: Rakentaminen 4.0 tulee parantamaan työmaan turvallisuutta. Lisättyyn todellisuuteen/virtuaalitodellisuuteen (AR/VR) perustuva koulutus, puettavat teknologiat, esineiden, asioiden ja ihmisten IoT-pohjainen liitettävyys sekä kuvan- ja videon prosessointi voivat parantaa turvallisuutta.
7. Parempi ajan ja kustannusten ennustettavuus: reaaliaikaisen valvonnan, automatisoidun työmaan tiedonkeruun, kuvanprosessoinnin, tekoälyn ja analytiikkatyökalujen avulla voidaan parantaa käynnissä olevien projektien ajan ja kustannusten ennustettavuutta. Suuri historiallisen datan ja tiedon saatavuus voi auttaa asettamaan vertailuarvot uusien projektien aika- ja kustannusennusteille, mikä mahdollistaa pitkittäisen integraation.
8. Laadun parantaminen: Rakentaminen 4.0 viitekehyksen käyttöönoton myötä horisontaalinen ja vertikaalinen integraatio mahdollistaa suunnittelu- ja tuotantoprosessien seurannan ja ohjauksen, mikä parantaa rakentamisen laatua.

9. Yhteistyön ja viestinnän parantaminen: pilvipohjaisten projektinhallintatyökalujen, Blockchainin, keskustietovaraston ja reaaliaikaisen tiedonsaannin käyttö lisää luottamusta projektitiimin jäsenten välillä ja parantaa viestintää, koordinaatiota ja yhteistyötä.
10. Asiakas- ja loppukäyttäjäkeskeinen maailmankuva: työläiden ja toistuvien tehtävien vähentyessä projektitiimi keskittyy arvon luomiseen ja asiakkaalle tärkeimpiin asioihin.

4. EMPIIRINEN TUTKIMUSOSA

Kohdeyrityksen aikataulunhallintaohjelmistot

Kohdeyritys on panostanut vahvasti rakennusalan digitalisaation kehitykseen ja ottanut käyttöön lukuisia eri ohjelmistoja, jotka tukevat rakennushankkeiden ohjaamista ja tehostamista. Erityisesti rakennushankkeiden aikataulunhallinnan ja tuotannonohjauksen tehostamiseen tähtääviä työmenetelmiä, ohjelmistoja ja muita teknologioita on testattu viime aikoina aktiivisesti erilaisilla pilottihankkeilla. Pilottihankkeilla on testattu sekä teknologioiden toimivuutta käytännön projekteissa että oman organisaation kykyä omaksua näiden tehokasta käyttöä vaativia toimintatapoja. Työmaita on myös rohkaistu oma-aloitteisesti hankkimaan ja kokeilemaan eri teknologioita ja näistä on saatu hyviä käyttäjäkokemuksia. Teknologioiden testausta on dokumentoitu järjestelmällisesti ja teknologioiden toimivuutta on arvioitu käyttäjien, asiakkaiden sekä tuotteen tarjoajien haastatteluilla ja seuraamalla teknologioiden käytännön vaikutuksia rakennushankkeen onnistumiseen.

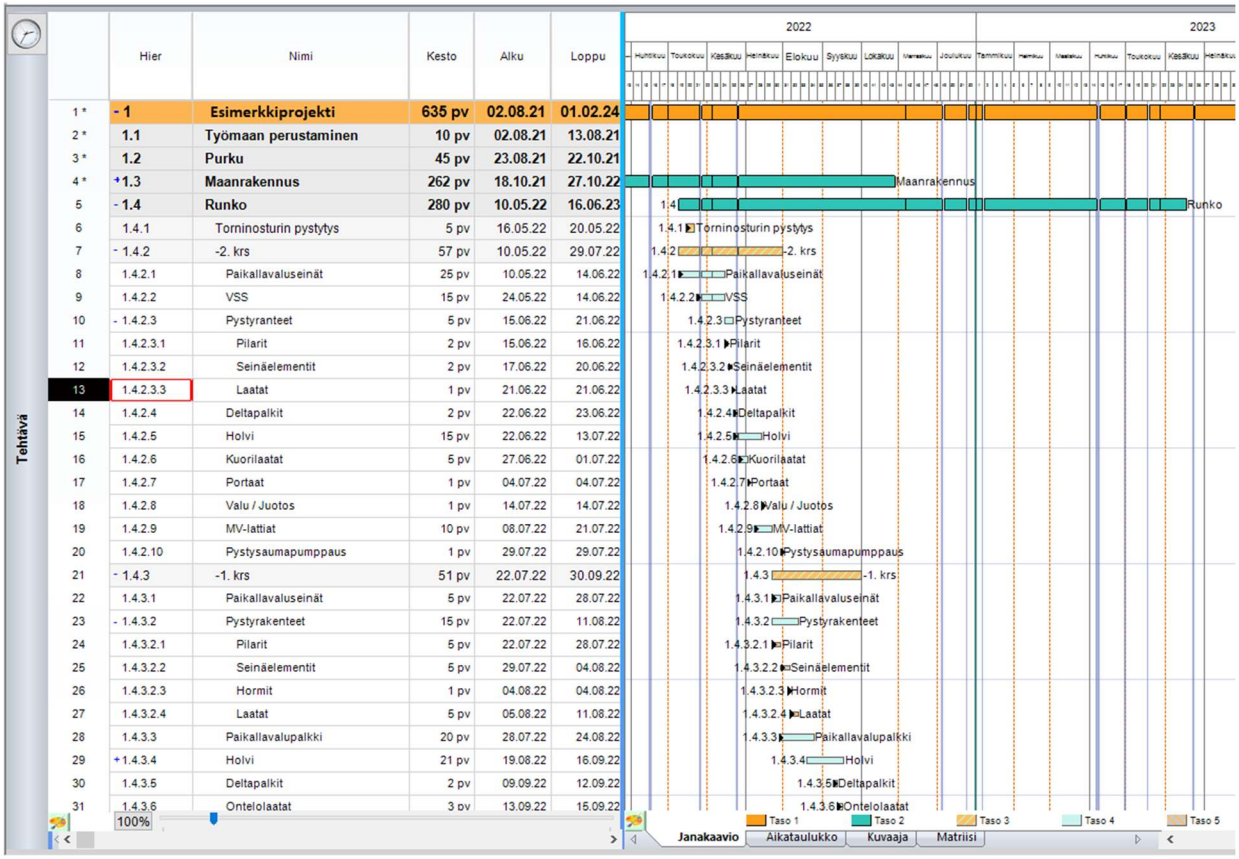
Perinteinen ohjelmistoympäristö

Kohdeyrityksen käyttämä perinteinen ohjelmistoympäristö on laaja aikataulusuunnitteluohjelmisto. Ohjelmistoympäristö otettiin kohdeyrityksessä käyttöön 2015. Sillä voidaan luoda aikatauluja ja seurata aikataulujen toteumaa. Ohjelmistoympäristöä käytetään kohdeyrityksessä erityisesti aikataulusuunnitteluun yleisaikataulutasolta tehtäväaikataulutasoon saakka sekä aikataulunseurannan viikkonäkymien tulostamiseen. Ohjelmistoympäristö toimii työpöytäpohjaisesti, jolloin sen sisällä ei ole mahdollista jakaa tietoa reaaliaikaisesti toisille käyttäjille, vaan valmiit aikataulut täytyy siirtää projektipankkiin manuaalisesti. Ohjelmistoympäristö tukee kuitenkin resurssikirjastoa, jonka avulla saadaan työvaiheiden menekkitiedot aikataulujen luontiin. Ohjelmistoympäristö ei tue tietomallien käyttöä tai automaattista laskentaa, vaan keskittyy täysin aikataulun luontiin ja seurantaan.

Ohjelmiston tärkeimmät ominaisuudet voidaan jakaa seuraavasti:

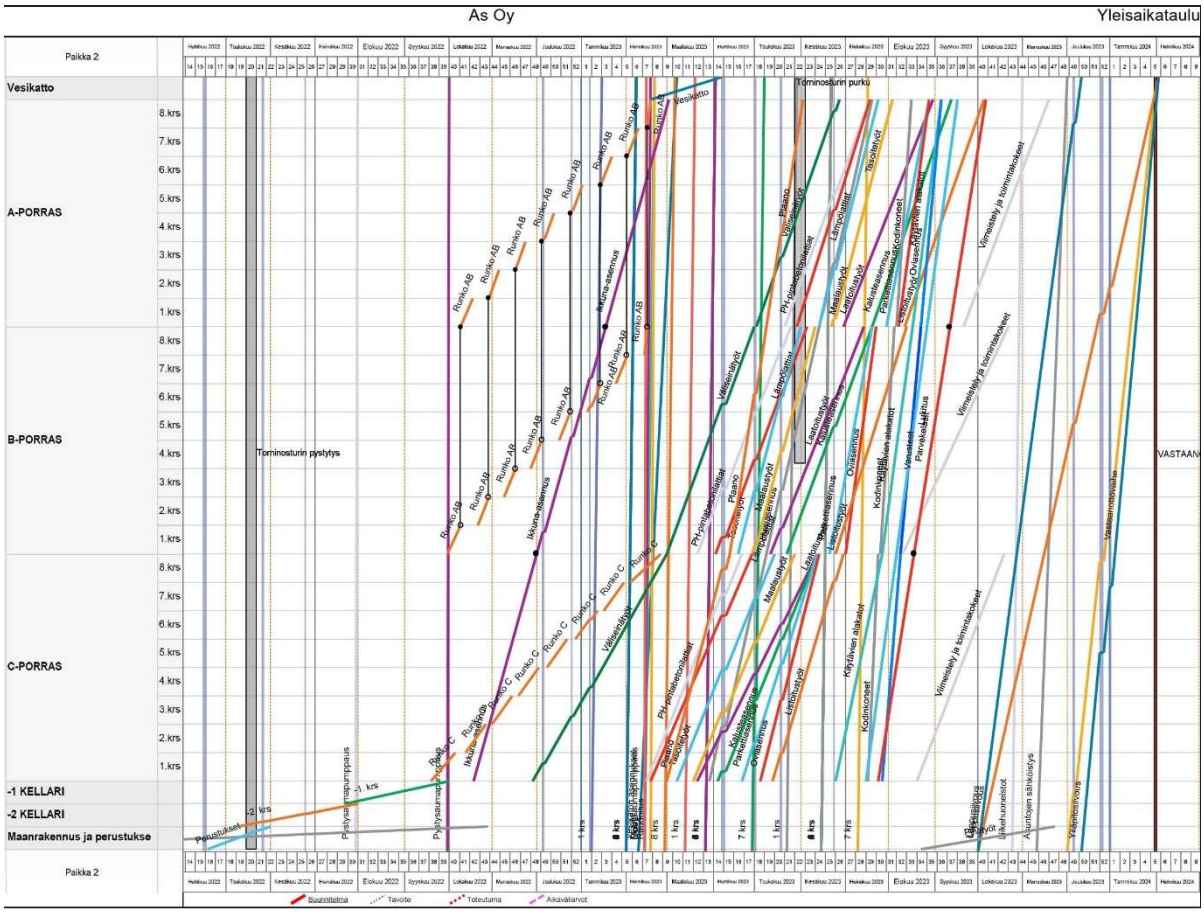
- Aikataulun luonti: Ohjelmistoympäristöön voidaan luoda aikatauluja joko määrälaskennan kautta tehtäväpohjaisesti, manuaalisesti täyttämällä tai tuomalla esimerkiksi Excel-tiedostona ohjelmistoympäristöön. Tehtävien lisäksi aikatauluun voidaan sisällyttää välitavoitteita omana tietonaan. Alla kuvassa 14 on esitetty

ohjelmistoympäristön jana-aikataulun muokkausnäkymä, jossa runkotyön jana on avattuna omiksi alatehtävikseen.



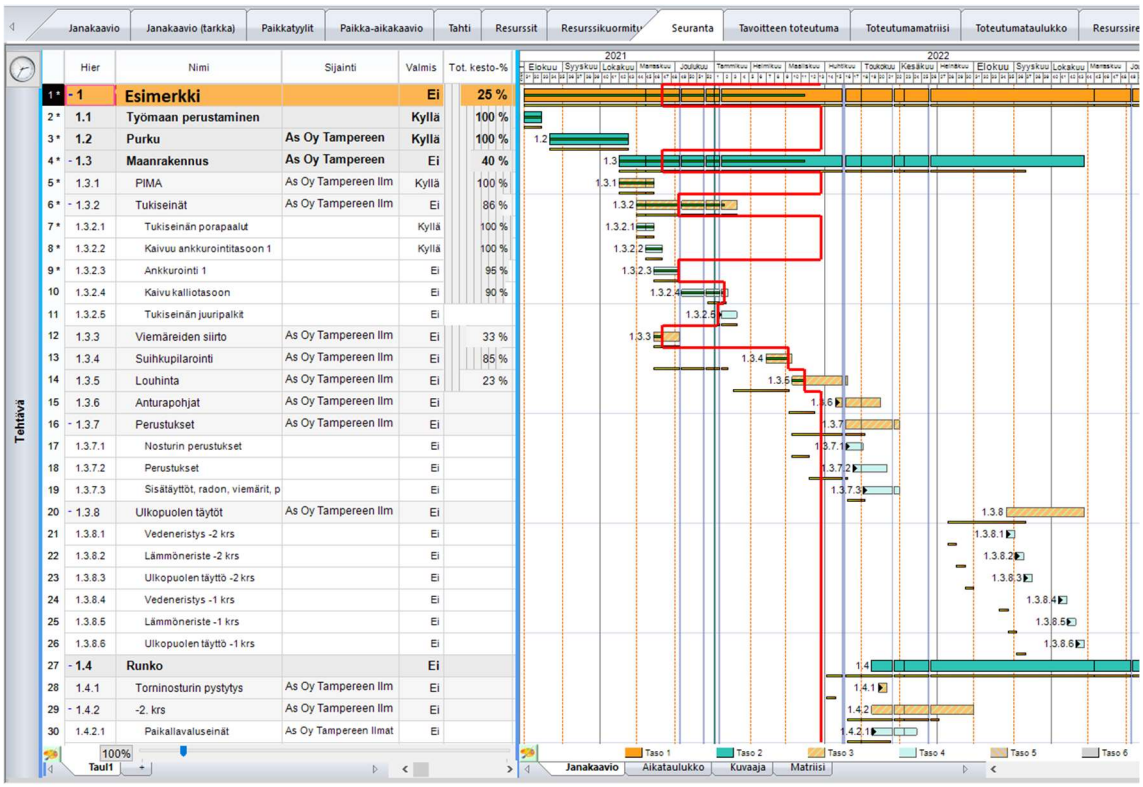
Kuva 14. Perinteisen ohjelmistoympäristön jana-aikataulun muokkausnäkymä

- Aikataulunäkymät: Ohjelmistoympäristössä on käytettävissä monia eri aikataulunäkymiä, joiden sisältö on linkitetty yhteen. Eri aikatauluja muokattaessa muutokset siirtyvät kaikkiin aikataulunäkymiin. Esimerkiksi yleisaikataulun voi tehdä jana-aikatauluna ja samaa aikataulua voi myöhemmin muokata paikka-aikakaaviossa. Alla kuvassa 15 on esitetty ohjelmistoympäristön paikka-aikakaavio näkymä esimerkkikohteen yleisaikataulusta, johon on merkitty myös välitavoitteita ja yhden päivän tehtäviä pystysuorilla viivoilla. Näkymän aikaväliä voidaan muuttaa ja näkyviä tehtäviä rajata, jotta saadaan helpommin luettavia kuvaajia.



Kuva 15. Perinteisen ohjelmistoympäristön paikka-aikakaavion vinoviivanäkymä

- Aikataulun seuranta: Ohjelmistoympäristöön on mahdollista syöttää rakennushankkeen aikataulunseurannan tietoja joko tehtävien valmistumispäivämäärinä, tavoitteiden saavuttamispäivämäärinä tai työn toteuman prosentteina. Aikataulun toteumaa voidaan seurata esimerkiksi tulostamalla tietyin väliajoin seurantanäkymiä, joissa kyseisen ajanhetken työtilanne näkyy jana-aikataulussa punaisena pystyviivana, joka kulkee tehtävien kohdalla niiden työtilanteen mukaan, kuten kuvassa 16 on esitetty.

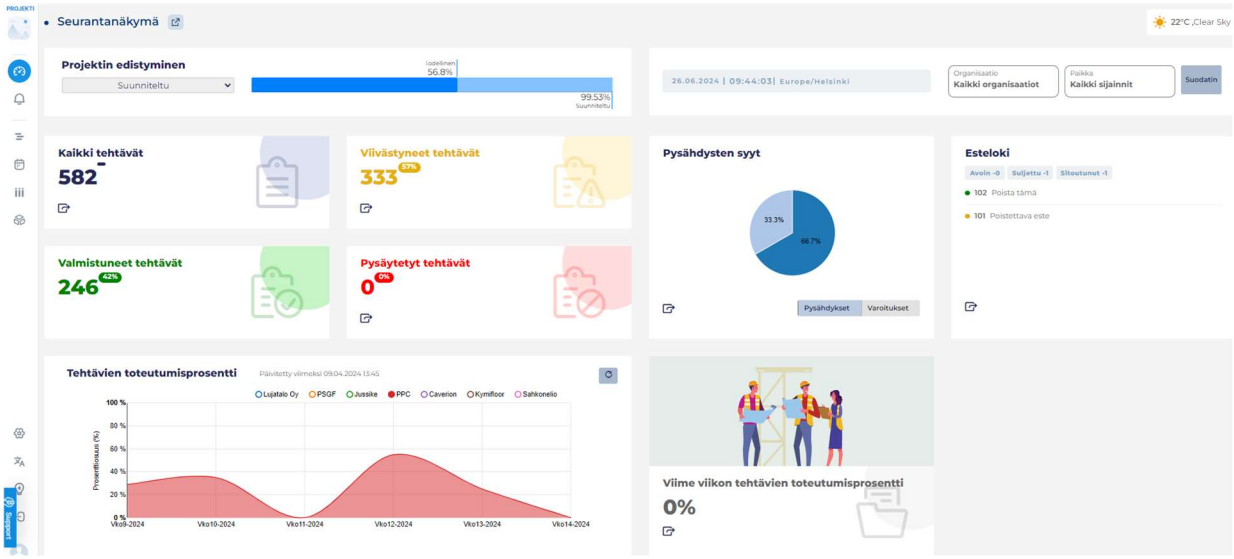


Kuva 16. Perinteisen ohjelmistoympäristön aikataulunseuranta näkymä

- Tiedonsiirto: Ohjelmistoympäristö tukee monia eri tiedostomuotoja, jolloin siihen saadaan lisättyä aikatauluja muista ohjelmistoista ja siinä luotuja aikatauluja voidaan siirtää helposti esimerkiksi kohdeyrityksen 4D- ja 5D ohjelmistoympäristöihin. Ohjelmistoympäristössä voi myös yhdistää eri tiedostomuotoisia aikatauluja yhteen näkymään.

4D ohjelmistoympäristö

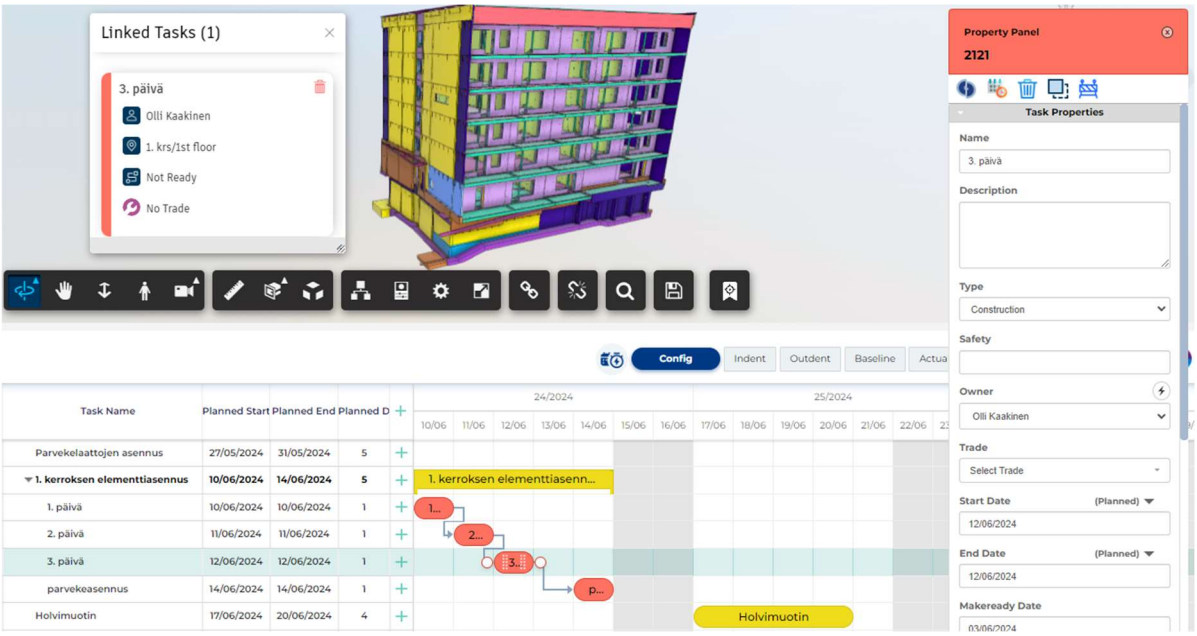
Kohdeyrityksen 4D-ohjelmistoympäristö on pilvipohjainen rakennustuotannon hallintaan tarkoitettu aikatauluohjelmisto. Ohjelmistoympäristö on tarkoitettu pääasiassa työmaan toimihenkilöiden käyttöön ja siitä on sekä selainpohjainen tietokoneversio, että puhelimelle ladattava sovellus. 4D-ohjelmistoympäristö on ollut kohdeyrityksen kokeilukäytössä vuodesta 2021 ja se on tarkoitus ottaa käyttöön koko yrityksen laajuisesti syksyllä 2024. Kuvassa 17 on esitetty 4D ohjelmistoympäristön projektinäkymä.



Kuva 17. 4D ohjelmistoympäristön projektinäkymä

Ohjelmiston tärkeimmät ominaisuudet ovat:

- 4D tietomallinnus: Ohjelmistoympäristö mahdollistaa aikataulun yhdistämisen tietomalliin tehtäväpohjaisesti niin, että kukin käyttäjä näkee selkeästi hänen vastuullaan olevat tehtävät aikataulusta ja tehtävien objektikohtaisen linkityksen avulla käyttäjä voi myös tarkastella näitä tietomallista. Kuvassa 18 on näkymä aikataulun linkityksestä tietomalliin 4D ohjelmistoympäristössä.

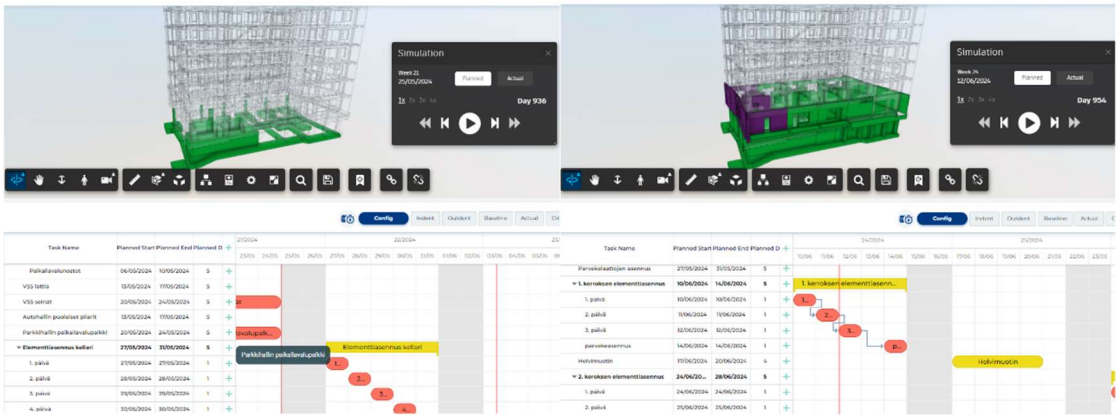


Kuva 18. 4D ohjelmistoympäristön tehtävien linkitys aikatauluun ja tietomalliin

- Suunnitelmien ja todellisuuden vertaus: Työmaan etenemistä on mahdollista seurata ja päivittää ohjelmistoon jatkuvasti, jolloin ohjelmisto näyttää työmaan nykytilan ja suunnitellun välisen eron. Ohjelmistoympäristöön voidaan myös integroida muita analytiikkaohjelmistoja, jotka auttavat havainnollistamaan työmaan edistystä. Kuvassa 19 on näkymä esimerkkiprojektin edistymisen seuranta analytiikasta.

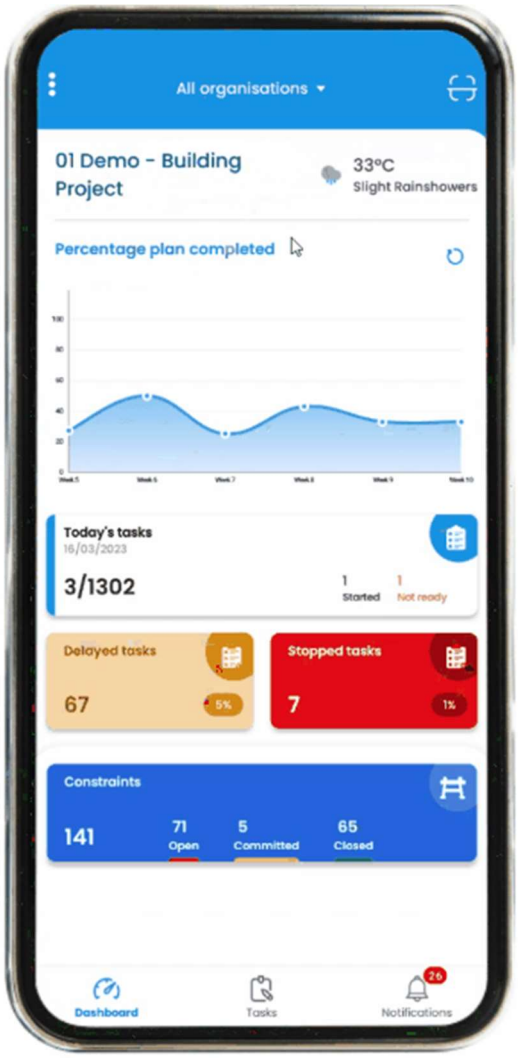
Kuva 19. Esimerkkiprojektin analytiikkaa 4D ohjelmistoympäristössä

- 4D simulaatio: Ohjelmistolla on mahdollista luoda 4D-simulaatioita rakennushankkeesta. Tietomallin objekteihin linkitetty aikataulu voidaan esittää simulaationa, jossa kuvan alaosassa kulkee hankkeen jana-aikataulu ja yläosassa tietomalli rakentuu digitaalisesti aikataulun etenemisen mukaan. 4D-simulaatio auttaa hankkeen osapuolia visualisoimaan rakennustyön edistymistä ja mahdollistaa tarkemman rakennettavuuden arvioinnin. Kuvassa 20 on esitetty esimerkkiprojektin 4D-simulaation eteneminen. Mallissa vihreät objektit ovat valmiiksi asennettuja ja violetit objektit ovat kyseisellä hetkellä asennusvaiheessa.



Kuva 20. Esimerkkiprojektin 4D-simulaation eteneminen

- Tietomalli mobiilisovelluksena: Ohjelmistoympäristö tarjoaa myös mobiilisovelluksen, jolla työmaan henkilöstö kykenee täyttämään ja seuraamaan tehtävien edistymistä kohteella. Työmaan henkilöstö voi myös tarkastella aikataulua, lisätä omia muistiinpanoja sekä kuvia ja katsoa tietomallia mobiilisovelluksen välityksellä. Mobiilisovellus näyttää käyttäjälle määritetyt tehtävät, jolloin käyttäjän tulee itse kuitata tehtävänsä tehdyksi tai merkitä ongelma, jolloin työnjohto pysyy ajan tasalla työn edistymisestä. Alla kuvassa 21 on kuvakaappaus 4D ohjelmistoympäristön mobiilisovelluksen projektinäkymästä.



Kuva 21. 4D ohjelmistoympäristön mobiilisovelluksen projektinäkymä (ohjelmistotuottajan koulutusmateriaali)

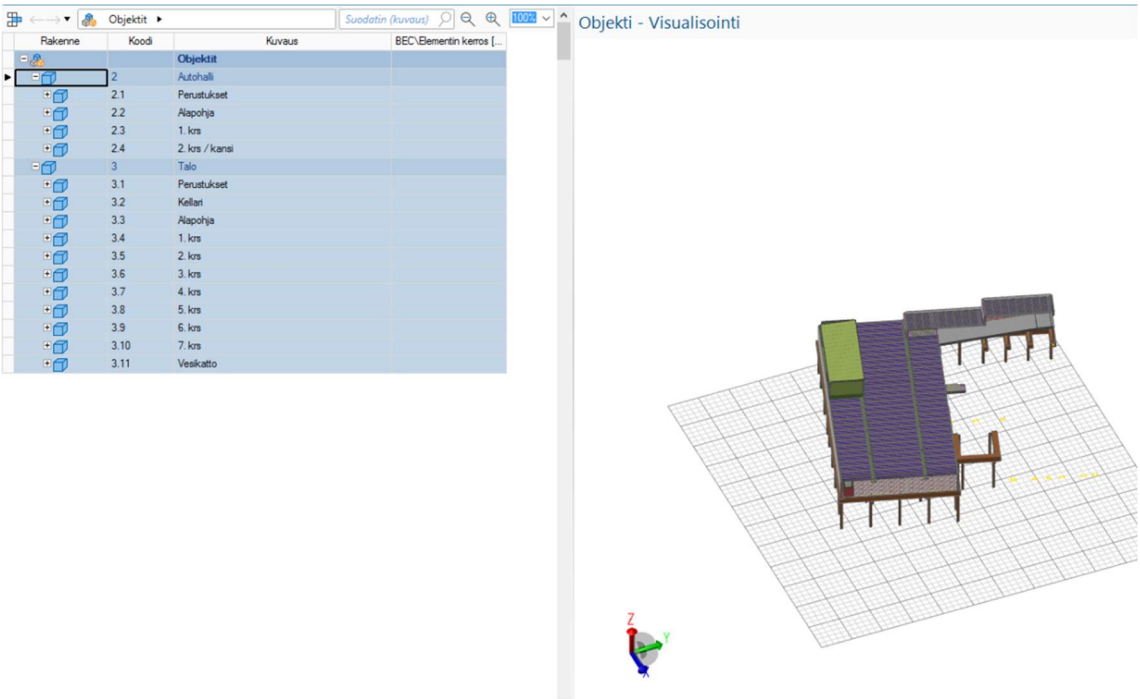
- Pilvipohjaisuus: Ohjelmisto toimii selaimessa, jolloin kaikki projektiympäristössä työskentelevät näkevät muutokset reaaliajassa. Tämä mahdollistaa esimerkiksi sen, että aliurakoitsijatkin voivat käyttää ohjelmistoa ja kuitata tekemänsä työt reaaliajassa. Näin työmaan edistyksen seuranta siirtyy viikkotasoisista urakoitsijapalavereista reaaliaikaisuuteen. Myös tilaajalle voidaan luoda käyttäjä, jolloin työmaan edistyksen raportointi tehostuu.

5D ohjelmistoympäristö

Kohdeyrityksen 5D ohjelmistoympäristö on tietomallipohjainen kokonaisvaltainen projektinhallintajärjestelmä, jota käytetään kaikkiin rakennushankkeen vaiheisiin. Ohjelmisto on integroitu kohdeyrityksessä päätietokoneelta etäkäytettäväksi, jolloin tehdyt muutokset näkyvät kaikille käyttäjille välittömästi. Tämän lisäksi laskentatoimet toteutuvat käyttötietokonetta kuormittamatta. Ohjelmistoympäristö mahdollistaa tiedon järjestelyn niin, että kaikilla projektin osapuolilla on oman työnsä kannalta tarpeellinen ja ajantasainen tieto käytettävissä. Kohdeyritys hankki 5D ohjelmistoympäristön vuoden 2018 lopussa, jolloin toteutettiin ensimmäiset laskennan pilotoinnit ja käyttökoulutukset. Ohjelmistoympäristön kokonaisvaltainen käyttöönotto on tämän jälkeen toteutettu vaiheittain vuosien 2019–2024 aikana.

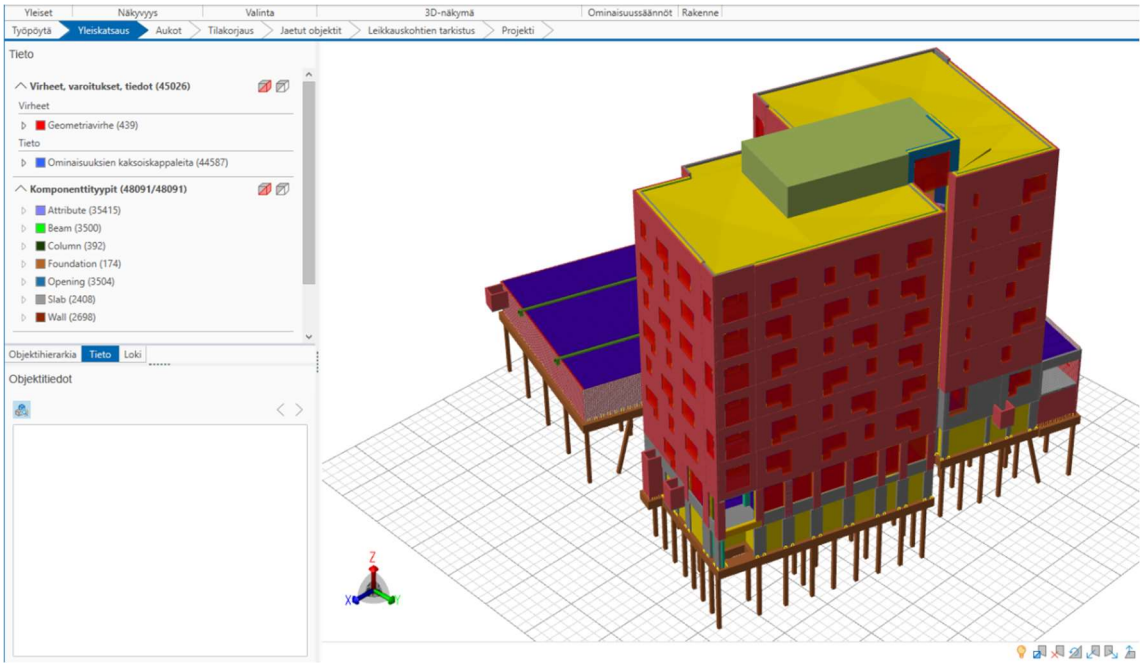
5D ohjelmistoympäristön tärkeimmät ominaisuudet voidaan jakaa seuraavasti:

- Tietomallit: Ohjelmistoympäristössä voidaan tarkastella tietomalleja ja niiden objekteja. Lisäksi se tukee ifc-tiedostomuotoa, jolloin tietomalleista saadaan kaikki suunnitteluohjelmistossa syötetty tieto irti. Ohjelmistoympäristöllä on myös mahdollista muokata tietomallien ominaisuustietoja, kuten kerros- ja lohkojakoa, kuten alla kuvassa 22 on esitetty.



Kuva 22. 5D ohjelmistoympäristön tietomallin objektien sijaintiluokittelun näkymä (kohdeyrityksen koulutusaineisto)

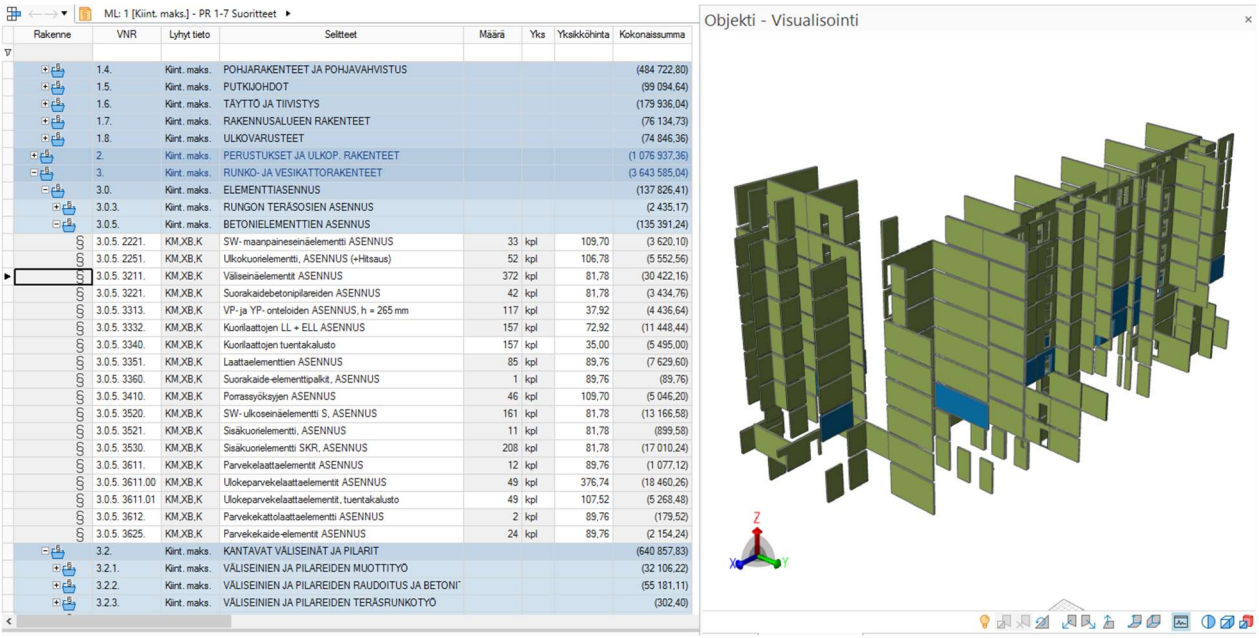
- Määrälaskenta: Ohjelmistoympäristö mahdollistaa kehittyneen ja nopean määrälaskennan tietomallista. Määrälaskentaan pystyy luomaan omia suodattimia ja laskentamalleja, joilla rakennusosat lasketaan juuri halutun määräominaisuuden (jm, m², m³, kpl, kg jne.) mukaan. Ohjelmisto näyttää myös suunnitteluversioiden päivityksessä tapahtuneet muutokset, jolloin suunnitelmien vaikutukset määriin on helposti havaittavissa. Alla kuvassa 23 on näkymä ohjelmistoympäristön tietomallipohjaisesta laskennasta. Valintakoreja ja laskentasääntöjä luomalla voidaan määrittää halutut elementit, jotka ohjelmisto laskee ja samalla haluttu laskettava ominaisuus saadaan myös määritettyä.



Kuva 23. 5D ohjelmistoympäristön tietomallipohjaisen määrälaskennan näkymä (kohdeyrityksen koulutusaineisto)

- Kustannuslaskenta ja hankinta: Ohjelmistoympäristön sisältämät kustannuskirjastot yhdistyvät automaattisesti määrälaskennasta saatuihin määriin, jolloin kustannukset saadaan tulostettua nopeasti suoritelajeittain. Ohjelmistoympäristöön voi luoda omia kustannuskirjastoja tai käyttää yrityksen pääprojektin kirjastoa, johon päivitetään hankintojen vuosisopimusten mukaisia hintoja. Hankinnan aikana saadut tarjoukset voidaan lisätä järjestelmään, jolloin tarjousvertailuosiossa voidaan tarkastella eri tarjousten hintoja ja sisältöä. Hankintapaketit voidaan kohdistaa suoritteille ja uusien sopimusten mukaiset hinnat voidaan päivittää, jolloin ohjelmisto näyttää muutoksen kustannuslaskennan aikaisiin

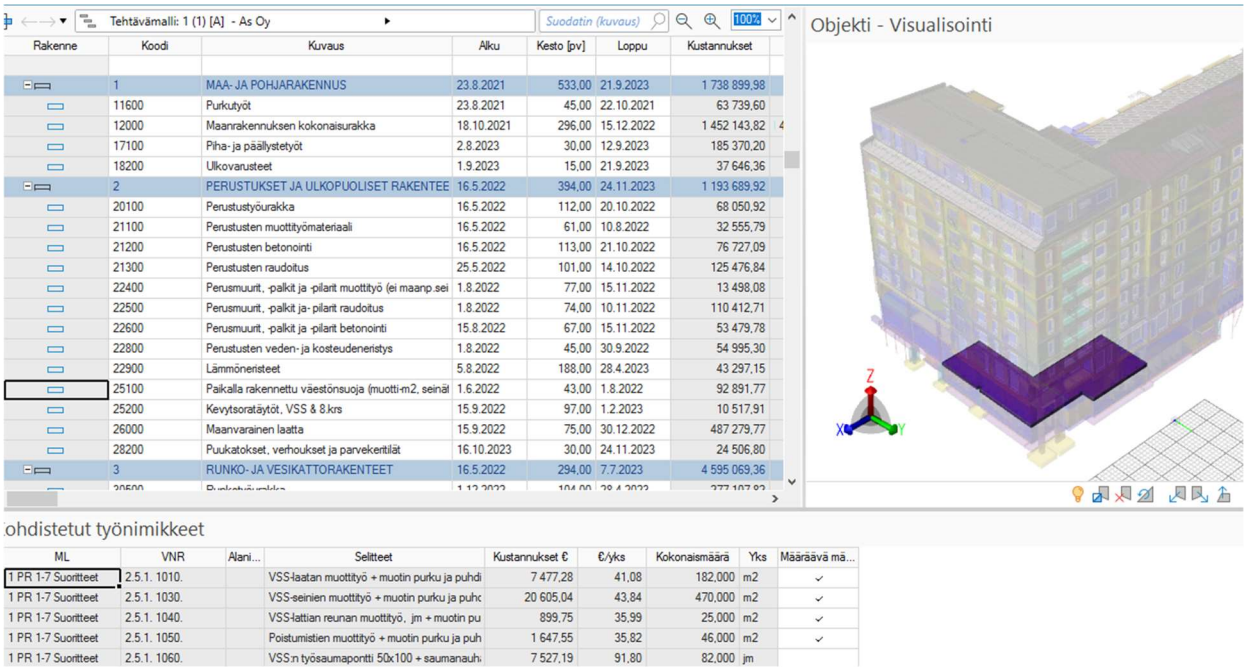
hintoihin. Kuvassa 12 on kaappaus 5D ohjelmistoympäristön kustannuslaskennan näkymästä, jossa vasemmalla on rakennuksen työt litteroitu ja oikealla tietomalli, jossa näkyy valittua litteraa vastaavat objektit.



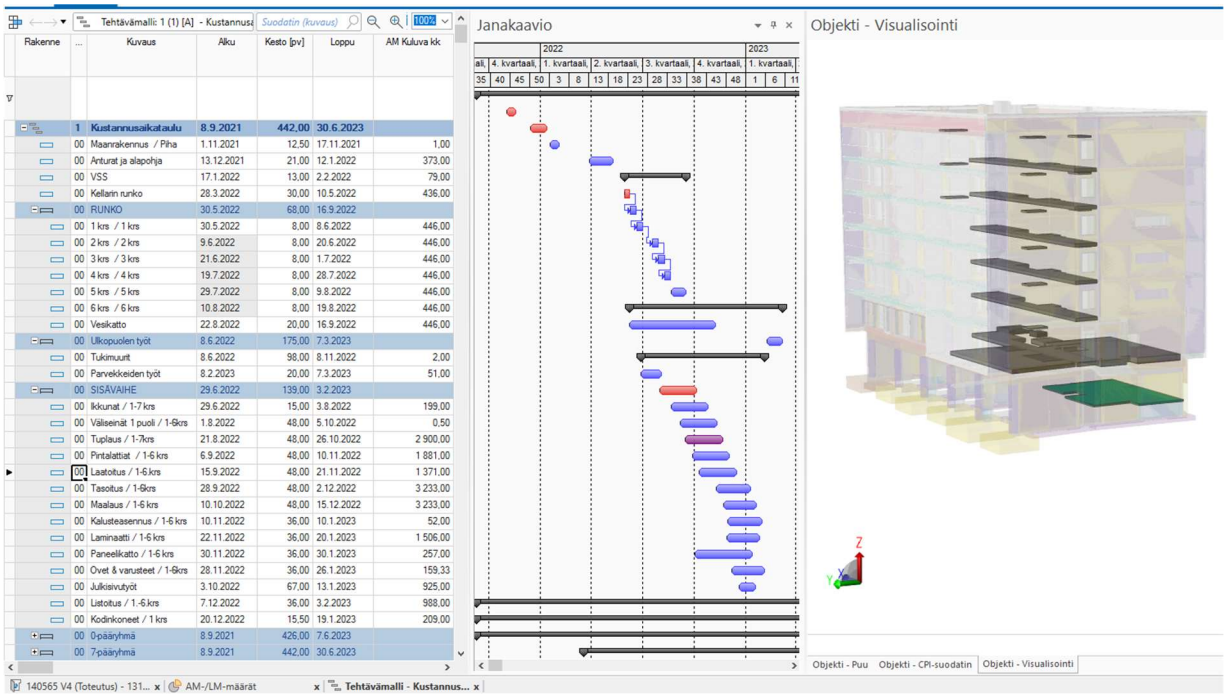
Rakenne	VNR	Lyhyt tieto	Selitteet	Määrä	Yks	Yksikköhinta	Kokonaissumma
	1.4.	Kiint. maks.	POHJARAKENTEET JA POHJAVAHVISTUS				(484 722,80)
	1.5.	Kiint. maks.	PUTKIJOHDOT				(99 094,64)
	1.6.	Kiint. maks.	TÄYTTÖ JA TIIVISTYS				(179 936,04)
	1.7.	Kiint. maks.	RAKENNUSALUEEN RAKENTEET				(76 134,73)
	1.8.	Kiint. maks.	ULKOVARUSTEET				(74 846,36)
	2.	Kiint. maks.	PERUSTUKSET JA ULKOP. RAKENTEET				(1 076 937,36)
	3.	Kiint. maks.	RUNKO- JA VESIKATTORAKENTEET				(3 643 585,04)
	3.0.	Kiint. maks.	ELEMENTTIASENNUS				(137 826,41)
	3.0.3.	Kiint. maks.	RUNGON TERÄSOSIEN ASENNUS				(2 435,17)
	3.0.5.	Kiint. maks.	BETONIELEMENTTIEN ASENNUS				(135 391,24)
§	3.0.5. 2221.	KM,XB,K	SW- maanpaineseinäelementti ASENNUS	33	kpl	109,70	(3 620,10)
§	3.0.5. 2251.	KM,XB,K	Ulkokuorielementti, ASENNUS (+Hitsaus)	52	kpl	106,78	(5 552,56)
§	3.0.5. 3211.	KM,XB,K	Väliseinäelementit ASENNUS	372	kpl	81,78	(30 422,16)
§	3.0.5. 3221.	KM,XB,K	Suorakaidebetonipilareiden ASENNUS	42	kpl	81,78	(3 434,76)
§	3.0.5. 3313.	KM,XB,K	VP- ja YP- onteloiden ASENNUS, h = 265 mm	117	kpl	37,92	(4 436,64)
§	3.0.5. 3332.	KM,XB,K	Kuorilaattojen LL + ELL ASENNUS	157	kpl	72,92	(11 448,44)
§	3.0.5. 3340.	KM,XB,K	Kuorilaattojen tuentakalusto	157	kpl	35,00	(5 495,00)
§	3.0.5. 3351.	KM,XB,K	Laattaelementtien ASENNUS	85	kpl	89,76	(7 629,60)
§	3.0.5. 3360.	KM,XB,K	Suorakaide-elementtipalkit, ASENNUS	1	kpl	89,76	(89,76)
§	3.0.5. 3410.	KM,XB,K	Porrassyöksyjen ASENNUS	46	kpl	109,70	(5 046,20)
§	3.0.5. 3520.	KM,XB,K	SW- ulkoseinäelementti S, ASENNUS	161	kpl	81,78	(13 166,58)
§	3.0.5. 3521.	KM,XB,K	Sisäkuorielementti, ASENNUS	11	kpl	81,78	(899,58)
§	3.0.5. 3530.	KM,XB,K	Sisäkuorielementti SKR, ASENNUS	208	kpl	81,78	(17 010,24)
§	3.0.5. 3611.	KM,XB,K	Parvekelaattaelementit ASENNUS	12	kpl	89,76	(1 077,12)
§	3.0.5. 3611.00	KM,XB,K	Ulkoparvekelaattaelementit ASENNUS	49	kpl	376,74	(18 460,26)
§	3.0.5. 3611.01	KM,XB,K	Ulkoparvekelaattaelementit, tuentakalusto	49	kpl	107,52	(5 268,48)
§	3.0.5. 3612.	KM,XB,K	Parvekekattolaattaelementti ASENNUS	2	kpl	89,76	(179,52)
§	3.0.5. 3625.	KM,XB,K	Parvekekaide-elementit ASENNUS	24	kpl	89,76	(2 154,24)
	3.2.	Kiint. maks.	KANTAVAT VÄLISEINÄT JA PILARIT				(640 857,83)
	3.2.1.	Kiint. maks.	VÄLISEINIEN JA PILAREIDEN MUOTTITYÖ				(32 106,22)
	3.2.2.	Kiint. maks.	VÄLISEINIEN JA PILAREIDEN RAUDOITUS JA BETONI				(55 181,11)
	3.2.3.	Kiint. maks.	VÄLISEINIEN JA PILAREIDEN TERÄSRUNKOTYÖ				(302,40)

Kuva 24. 5D ohjelmistoympäristön kustannuslaskennan näkymä

- Aikataulutus: Ohjelmistoympäristöön voidaan luoda monenlaisia aikatauluja ja niitä voidaan myös tuoda muista ohjelmistoista. Ohjelmistoympäristön pääsääntöinen aikataulumuoto kohdeyrityksessä on kuitenkin litterapohjainen kustannusaikataulu, jossa litteroille muodostuu kustannusten suunnitellut ajankohdat ja tehtävien määräävät määrät seurantaa ja toteumaa varten. Ohjelmistoympäristön tietomallipohjaisessa kustannusaikataulussa työnimikkeet on kohdistettu niille tietomallin objekteille, joita työ koskee, kuten alla kuvassa 25 on esitetty. Kustannusaikataulu generoidaan automaattisesti määräluetteloista saatujen tehtävänkestojen mukaan ja sitä muokataan projektin yleisaikataulun mukaiseksi. Kustannusaikataulua voidaan myös tarkastella jana-aikataulunäkymässä, jossa tehtävät on listattu ja jokaisen tehtävän pituutta vastaava aikataulun jana on myös näkyvissä. Kuvassa 26 on esitetty 5D ohjelmistoympäristön jana-aikataulunäkymä, jossa valittu tehtävänimike korostuu punertavana jananäkymän puolella.



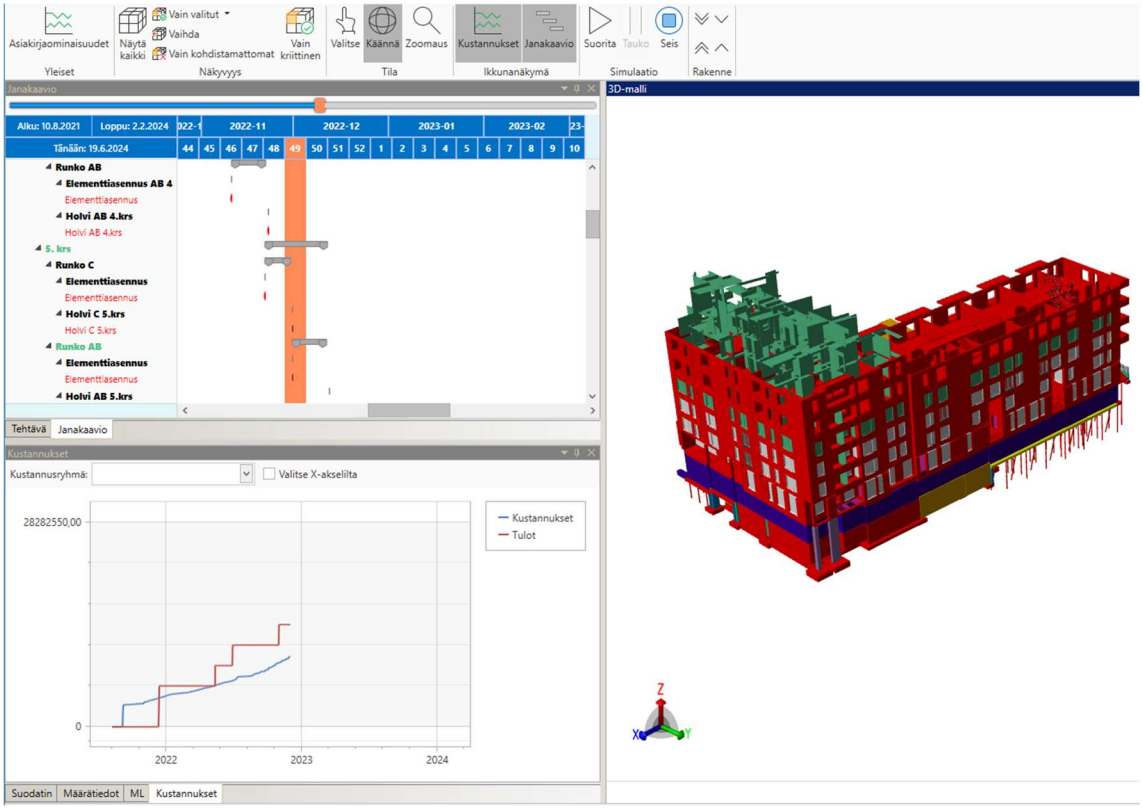
Kuva 25. 5D Ohjelmistoympäristön aikataulun linkitys tietomallin objekteihin

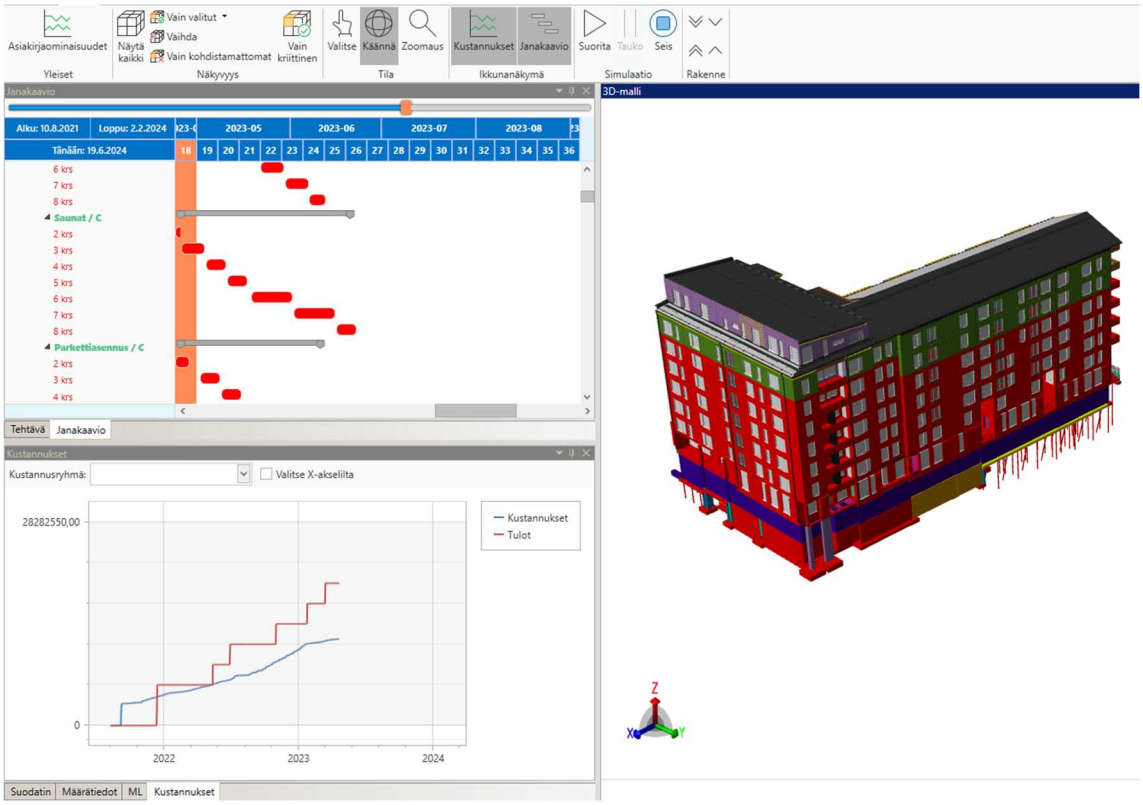


Kuva 26. 5D ohjelmistoympäristön jana-aikataulunäkymä

- Rakennushankkeen 5D-simulaatio: 5D ohjelmistoympäristössä on mahdollista luoda ja tarkastella hankkeen 5D-simulaatiota, jossa rakennuksen tietomalli, aikataulu, kustannukset ja tulot yhdistyvät samaan näkymään. Alla kuvassa 27 on esitetty kaksi kuvakaappausta 5D ohjelmistoympäristön 5D-simulaatiosta, joissa näkyy, kuinka rakennuksen tietomalli rakentuu oikeassa ruudussa, sinisellä

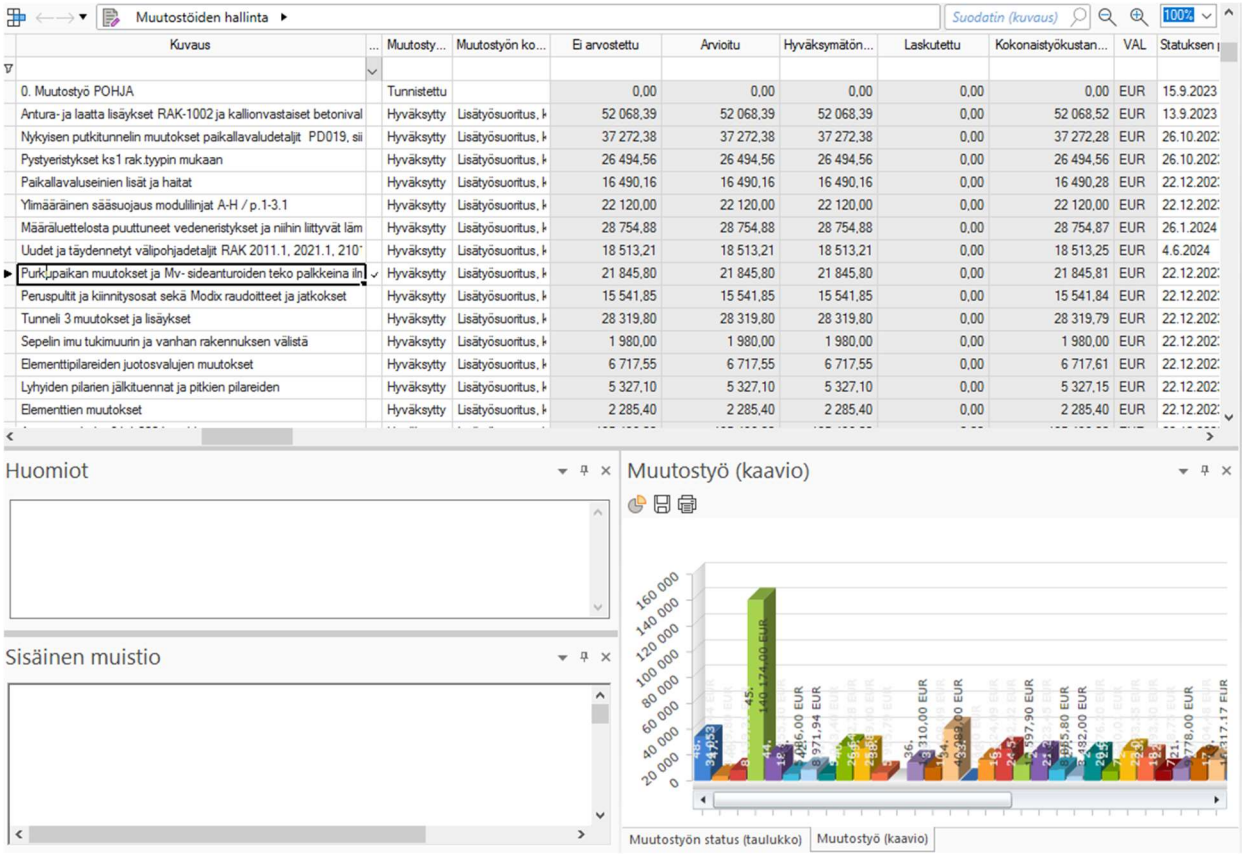
merkityt kustannukset ja oranssilla merkityt tuotot kasvavat vasemmassa alaruudussa samalla kun aikataulu etenee vasemmassa yläruudussa.





Kuva 27. 5D ohjelmistoympäristön 5D-simulaatio

- Rakennusaikainen hallinta: Rakennushankkeen edetessä toteuma kirjataan kustannusaikatauluun määrinä tai valmiusprosentteina. Kustannusten muuttuessa hankkeen ennusteita muutetaan toteutuneiden kustannusten mukaan, jolloin ohjelmisto näyttää eron suunniteltuihin kustannuksiin. Ohjelmistoympäristössä on oma osionsa lisä- ja muutostöille, jossa näitä voidaan kirjata, koota ja näistä voidaan tulostaa tarjoukset tilaajalle hyväksyttäväksi. Lisä- ja muutostyöt voidaan linkittää hankkeen kustannusaikatauluun, jolloin niiden vaikutukset näkyvät hankkeen kokonaiskustannuksissa ja aikataulussa. Alla kuvassa 28 on esitetty 5D ohjelmistoympäristön lisä- ja muutostöiden hallinnan näkymä, jossa näkyy esimerkkikohteen lisä- ja muutostyöt listattuna yläruudussa ja yksittäisten lisä- ja muutostyörivien kustannukset kaaviomuodossa oikeassa alaruudussa.

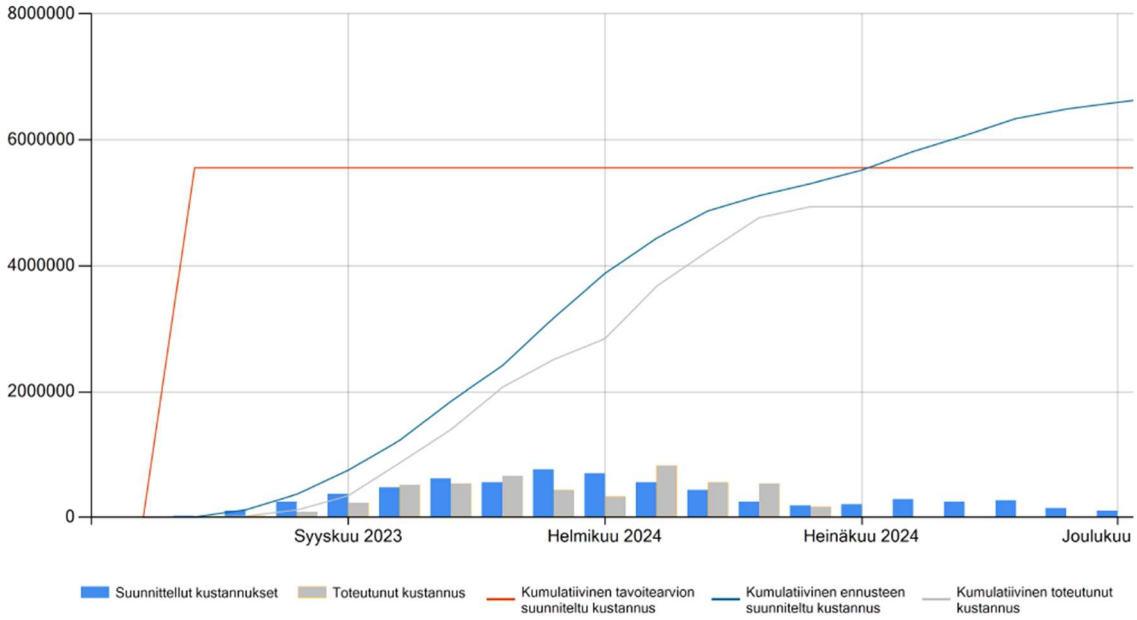


Kuvaus	Muutosty...	Muutostyön ko...	Ei arvostettu	Arvioitu	Hyväksymätön...	Laskutettu	Kokonaistyökustan...	VAL	Statuksen
0. Muutostyö POHJA	Tunnistettu		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	EUR	15.9.2023
Antura- ja laatta lisäykset RAK-1002 ja kallionvastaiset betonival	Hyväksytty	Lisätyösuoritus, k	52 068,39	52 068,39	52 068,39	0,00	52 068,52	EUR	13.9.2023
Nykyisen putkitunnelin muutokset paikallavaludetaljit PD019, sii	Hyväksytty	Lisätyösuoritus, k	37 272,38	37 272,38	37 272,38	0,00	37 272,28	EUR	26.10.202
Pystyeristykset ks1 rak.tyypin mukaan	Hyväksytty	Lisätyösuoritus, k	26 494,56	26 494,56	26 494,56	0,00	26 494,56	EUR	26.10.202
Paikallavaluseinien lisät ja haitat	Hyväksytty	Lisätyösuoritus, k	16 490,16	16 490,16	16 490,16	0,00	16 490,28	EUR	22.12.202
Ylimääräinen säänsuojaus modulilinjat A-H / p.1-3.1	Hyväksytty	Lisätyösuoritus, k	22 120,00	22 120,00	22 120,00	0,00	22 120,00	EUR	22.12.202
Määräluettelosta puuttuneet vedeneristykset ja niihin liittyvät läm	Hyväksytty	Lisätyösuoritus, k	28 754,88	28 754,88	28 754,88	0,00	28 754,87	EUR	26.1.2024
Uudet ja täydennetyt välipohjadetaljit RAK 2011.1, 2021.1, 210"	Hyväksytty	Lisätyösuoritus, k	18 513,21	18 513,21	18 513,21	0,00	18 513,25	EUR	4.6.2024
Purkupaikan muutokset ja Mv- sideanturoiden teko palkkeina iln	Hyväksytty	Lisätyösuoritus, k	21 845,80	21 845,80	21 845,80	0,00	21 845,81	EUR	22.12.202
Peruspultit ja kiinnitysosat sekä Modix raudoitteet ja jatkokset	Hyväksytty	Lisätyösuoritus, k	15 541,85	15 541,85	15 541,85	0,00	15 541,84	EUR	22.12.202
Tunneli 3 muutokset ja lisäykset	Hyväksytty	Lisätyösuoritus, k	28 319,80	28 319,80	28 319,80	0,00	28 319,79	EUR	22.12.202
Sepelin imu tukimuurin ja vanhan rakennuksen välistä	Hyväksytty	Lisätyösuoritus, k	1 980,00	1 980,00	1 980,00	0,00	1 980,00	EUR	22.12.202
Elementtipilareiden juotosvalujen muutokset	Hyväksytty	Lisätyösuoritus, k	6 717,55	6 717,55	6 717,55	0,00	6 717,61	EUR	22.12.202
Lyhyiden pilarien jälkituennat ja pitkien pilareiden	Hyväksytty	Lisätyösuoritus, k	5 327,10	5 327,10	5 327,10	0,00	5 327,15	EUR	22.12.202
Elementtien muutokset	Hyväksytty	Lisätyösuoritus, k	2 285,40	2 285,40	2 285,40	0,00	2 285,40	EUR	22.12.202

Kuva 28. 5D ohjelmistoympäristön lisä- ja muutostöiden hallintanäkymä

- Valvonta ja raportointi: Ohjelmistoympäristöön syötetään tietoa rakennushankkeen etenemisestä ja tästä muodostetaan raportteja kuukausittain. Valvontamoduulissa nähdään hankkeen tavoitearvio, kustannusennuste, ennustemuutokset, lisä- ja muutostyöt, työmaakate, rahoitusennuste- ja seuranta, kassavirtaennuste, tunnusluvut sekä tuloksen arvon ennuste. Näillä hankkeen johto pystyy helpommin hallitsemaan hanketta ja pysymään tietoisina hankkeen taloudellisesta tilanteesta. Ohjelmistoympäristö mahdollistaa myös projektit ylittävän

valvonnan, jolloin kaikki yritystietokantaan linkitetyt projektit ovat vertailtavissa. 5D ohjelmistoympäristön valvontamoduulissa on mahdollista luoda erilaisia havainnollistavia tulosteita, kuten kuvassa 29 esitetyn toteutuneiden ja suunniteltujen kustannusten vertailutaulukon, jossa sinisellä on esitettynä suunnitellut kustannukset ja harmaalla toteutuneet kustannukset.



Kuva 29. 5D ohjelmistoympäristön valvonnan tuloste

- Yritystietokanta: Ohjelmistoympäristöön on liitetty yrityksen oma tietokanta. Tällöin tieto kulkee automaattisesti yrityksen muiden ohjelmistojen ja 5D aikataulunhallintaohjelmiston välillä ja tulostetut raportit siirtyvät suoraan myös johdon nähtäville. Näin yrityksen johto voi vertailla esimerkiksi eri alueyksiköiden taloudellista tilannetta tai erilaisten hankkeiden aiempaa menestystä.

Case-kohde 1

Kohteesta 1 pidettiin yksi noin tunnin pituinen puolistrukturoitu teemahaastattelu, johon osallistui neljä hankkeessa mukana ollutta henkilöä ja itse haastattelija. Haastattelu pidettiin etäyhteydellä Microsoft Teams-ohjelmiston välityksellä. Haastattelun osallistui 3 työmaan aikataulutuksessa mukana ollutta tuotantoinsinööriä sekä työmaan vastaava työnjohtaja.

Kohde 1 on kohdeyrityksen urakoima asuinkerrostalo, joka on osa suurempaa keskustakorttelihanketta. Kohteen rakentamisaika oli 10/2021–06/2023. Rakennuksessa on kuusi asuinkerrosta ja kellarikerros sekä yhteensä 51 asuntoa. Kohde 1 oli kokonaisuu-

dessaan myyty sijoittajalle jo ennen rakentamista. Kohteen 1 työmaatoimihenkilöorganisaatio koostui vastaavasta työnjohtajasta, kahdesta työnjohtajasta sekä tuotantoinsinööristä. Kohde toteutettiin tahtituotantona käyttäen Exceliin tehtyä tahtiaikataulua, joka kattoi työvaiheet elementtiasennuksista loppusiivoukseen. Luovutusvaiheen aikataulu tehtiin Last Planner-menetelmällä työmaatoimiston seinälle. Kohteen aikataulun edistymistä seurattiin myös perinteiseen ohjelmistoympäristöön tehdyllä yleisaikataululla, jota käytettiin erityisesti työmaakokouksissa tilannetiedon havainnollistamiseen.

Tietomallien käyttö

Kohteen 1 rakennussuunnittelu toteutettiin tietomallipohjaisesti osana suurempaa korttelihanketta. Lisäksi 4D ohjelmistoympäristössä kokeiltiin tietomallin liittämistä aikatauluun, mutta tätä ei suuremmin hyödynnetty muuten kuin 4D ohjelmistoympäristön ominaisuuksien testaamiseen. Tietomalleja käytettiin kohteella 1 myös mittaamiseen ja materiaalimäärien laskentaan. Tahtiaikataulun suunnittelussa tietomallia käytettiin tahtialueiden ja tahdin pituuden määrittämiseen siitä saatujen mittojen ja määrien avulla. Työmaan aikana tietomallia käytettiin pääasiassa kokonaisuuksien havainnollistamiseen

4D ohjelmistoympäristön käyttö

Kohde 1 toimi alueyksikön ensimmäisenä tahtituotannon pilottihankkeena ja samalla 4D ohjelmistoympäristö otettiin myös ensimmäistä kertaa kokeilukäyttöön. 4D ohjelmistoympäristön käytöllä pyrittiin tehostamaan työmaan seurantaa, jotta tahtiaikataulun seuranta helpottuisi. 4D ohjelmistoympäristö tuli käyttöön vasta hankkeen sisävalmistusvaiheessa, jolloin sen tietomalliominaisuutta ei ehditty käyttää työn suunnitteluun. Aliurakoitsijoita ei saatu käyttämään 4D ohjelmistoympäristöä, koska tästä ei oltu keskusteltu töistä sovittaessa, kun 4D ohjelmistoympäristön käyttöönotto ei ollut vielä silloin hankkeen henkilöstönkään tiedossa. Lopulta 4D ohjelmistoympäristöä käytti vain työmaan työnjohto, jolloin sen käyttö koettiin työlääksi, kun toteumatiedon täyttämisestä ei ollut heille suoraa hyötyä. Toteumatietoa käytettiin kuitenkin urakoitsijapalavereissa tilannetiedon esittämiseen ja tahtiaikataulun ohjaamiseen. Lisäksi 4D ohjelmistoympäristöä käytettiin visuaalisena tukena, kun sisätyövaiheen tahtiaikataulua jalostettiin Last Planner-menetelmällä urakoitsijapalavereissa.

Kohteen 1 haastatteluissa nousi esille seuraavia 4D ohjelmistoympäristön hyötyjä työmaan näkökulmasta:

- 4D ohjelmistoympäristö sopisi hyvin tahtituotannon seurantaan, kun jokainen työryhmä kuittaisi omat työnsä tehdyksi, ja ilmoittaisi välittömästi esteistä, jolloin ongelmiin reagointi olisi välitöntä.

- 4D ohjelmistoympäristö helpottaa tiedon välittymistä rakennushankkeella ja auttaa visualisoimaan työtehtäviä ja niiden edellytyksiä. Yksi haastateltavista kuvasi asiaa näin: ’’Eli siinähän tosi hienosti löytyy, että siinä on nää mistä ensin katsotaan, että sulla on aloitusedellytykset sen työn aloittamiseen ja ne kuitataan sieltä yksittäin. Voit määrittää, että mitä kaikkea pitää olla tehtynä, että työ alkaa ja sulla on siellä mestan vastaanotot sun muut’’.
- 4D ohjelmistoympäristö helpottaa työnjohdon tehtäviä, mikäli työntekijät saadaan itse täyttämään tietoa työnsä edistymisestä.
- 4D ohjelmistoympäristön käytöllä voidaan siirtyä urakoitsijapalavereilla toteutetusta viikkotasoisesta seurannasta reaaliaikaiseen seurantaan.
- Jatkuvan seurannan avulla aikataulupalaveri ei kulu tilannekuvaa päivitettäessä, vaan tilannekuva on jo tiedossa, jolloin voidaan keskittyä toteuman tarkkailuun ja tulevista töistä sopimiseen.

Kohteen 1 haastatteluissa nousi esille seuraavia 4D ohjelmistoympäristön käyttöön liittyviä haasteita työmaan näkökulmasta:

- Kun urakoitsijoita ei saatu itse täyttämään edistystään, 4D ohjelmistoympäristön käyttö koettiin turhan työllistäväksi siitä saatuihin hyötyihin verrattuna.
- Hankkeessa käytettiin rinnan monia ohjelmistoja, jolloin työnjohto kallistui käyttämään enemmän vanhoja tuttuja järjestelmiä.
- 4D ohjelmistoympäristö tuli käyttöön hankkeen jo ollessa käynnissä, jolloin sen käyttöön ei osattu varautua riittävästi.
- Mobiilisovellus antaa jokaisesta tapahtumasta ilmoituksen, jolloin puhelin hälyttää jatkuvasti. Yksi haastateltavista kuvasi asiaa näin: ’’siinä vaiheessa rupeaa etsimään sitten puhelimesta sitä nappia mistä saa sovelluksen ilmoitukset pois, kun niitä alkaa tulla se 20 ilmoitusta päivässä’’

Kohteen 1 haastatteluissa nousi esille seuraavia parannusehdotuksia 4D ohjelmistoympäristön käyttöön liittyen:

- 4D ohjelmistoympäristö olisi pitänyt ottaa aikaisemmin kohteella käyttöön, jotta se olisi voinut auttaa visualisoimaan runkotyövaiheen suunnittelua.
- Jatkossa täytyy saada urakoitsijat sitoutettua ohjelmiston käyttöön jo sopimusvaiheessa.

- Kerran viikossa voitaisiin järjestää työmaalla keskitetty palaveri, jossa viikon töitä käydään tahtityöryhmien kanssa läpi ja samalla keskustellaan ja 4D ohjelmistoympäristön mobiilisovelluksen käytöstä ja ohjeistetaan tarvittaessa sen käyttöä.
- Ohjelmistoympäristöön haluttaisiin ominaisuus, jolla suunniteltu 4D-aikataulu voitaisiin tulostaa Excel-listana objektipohjaisesti niin, että esimerkiksi elementit saataisiin listattua asennuspäivineen, jolloin tämä tieto voitaisiin välittää suoraan elementtitehtaalle.

5D ohjelmistoympäristön käyttö

5D ohjelmistoympäristöä oli käytetty kohteen 1 kustannuslaskennassa ja siihen oli luotu kustannusaikataulu. Työmaan toimihenkilöt olivat toteuttaneet kohteen 1 viereen saman aluehankkeen aiemman kohteen, jossa 5D ohjelmistoympäristön käyttöä oli harjoiteltu ja se oli toiminut niin sanottuna varjo-ohjelmistona, kun taas oikeaan kustannusten seurantaan käytettiin vielä vanhaa järjestelmää. Kohde 1 oli työmaan toimihenkilöille ensimmäinen, joka toteutettiin täysin 5D ohjelmistoympäristössä.

Kohteella 1 käytettiin 5D ohjelmistoympäristöä työmaan aikana kustannusten seurantaan ja hallintaan kohdistamalla työmaan tavoitearvion mukaisia kustannuksia omille työvaiheilleen litterapohjaisesti. Kustannuksista koottiin kausiraportit, joita käytettiin kuukausittaisissa seurantapalavereissa.

Kohteen 1 haastatteluissa nousi esille seuraavia 5D ohjelmistoympäristön hyötyjä työmaan näkökulmasta:

- 5D ohjelmistoympäristöstä saa näkyviin kattavasti erilaisia tulosteita ja raportteja.
- 5D ohjelmistoympäristössä pystyy helposti vertaamaan kustannusten kehitystä eri kuukausina työmaan edetessä.
- 5D ympäristössä pystyy vertaamaan kustannusten kertymistä suunniteltuun verrattuna ja tekemään myös tarvittavia muutoksia ennusteisiin.
- Suurilla työmailla 5D ohjelmistoympäristön tulovirtojen seurannasta ja ennustamisesta on suuri apu koko tulosyksikön taseen hallintaan.

Kohteen 1 haastatteluissa nousi esille seuraavia 5D ohjelmistoympäristön käyttöön liittyviä haasteita työmaan näkökulmasta:

- 5D ohjelmistoympäristön käyttöliittymä koettiin haastavaksi ja epäintuitiiviseksi käyttäjälle.

- 5D ohjelmistoympäristön tehokas käyttö vaatii rutiininomaista käyttöä ja harjaantuneisuutta, jotta kaikki aika ei kulu oikeita painikkeita etsiessä.
- 5D ohjelmistoympäristön hyödyt aiempiin ohjelmistoihin verrattuna eivät juuri näy työmaalle, sillä suurinta osaa ennusteista ynnä muista projektinhallinnan ominaisuuksista käyttää vain projektien johtohenkilöstö. Yksi haastateltavista kuvasi asiaa näin: ’’Niin se ei sinällään työmaalla välttämättä, varsinkaan just näillä perustyömaalla, se ei välttämättä näy siellä, mutta tavallaan johdon työkaluna sitten toimii paremmin kuin aiempi järjestelmä.’’

Case-kohde 2

Kohteesta 2 pidettiin yksi noin tunnin pituinen puolistrukturoitu teemahaastattelu, johon osallistui kaksi hankkeessa mukana ollutta henkilöä ja itse haastattelija. Haastattelu pidettiin etäyhteydellä Microsoft Teams-ohjelmiston välityksellä. Haastattelun osallistui yksi työmaan aikataulutuksessa mukana ollut tuotantoinsinööri sekä työmaan vastaava työnjohtaja. Haastatteluhetkellä työmaalla oli sisävaihe käynnissä.

Kohde 2 on kohdeyrityksen urakoima oppilaitosrakennus, jonka rakennusaika oli 9/2021–7/2024. Hankkeen urakkamuotona oli tavoitehintainen jaettu urakka. Rakennuksessa on 6 kerrosta ja yhteensä noin 17000 neliömetriä kokonaispinta-alaa. Se on suunniteltu 150 vuoden käyttöiälle ja sen betonirunko on paikalla valettu.

Tietomallien käyttö

Kohteen 2 suunnittelu on tehty tietomallintamalla. Hankkeesta oli suunnitelmissa tehdä 4D aikataulu, mutta työmaan henkilöstön osaaminen ja opetteluun tarvittava aika eivät riittäneet sen tekemiseen. Työmaalla tietomalleja käytetään rakennuksen osien mittaamiseen ja havainnollistamiseen. Kohde 2 on tilaratkaisuiltaan ja ulkomuodoltaan hyvin poikkeuksellinen rakennushanke, joten paperiset suunnitelmat eivät ole riittäneet kokonaiskuvan luomiseen, vaan tietomalleja on tarvittu tavallista enemmän rakenteiden hahmottamiseen. Tietomalleja on myös käytetty eri suunnitelmien törmäystarkasteluun ja määrälaskentaan. Töiden suunnittelussa tietomalleja käytettiin rakentamisjärjestyksen suunnitteluun ja kokonaisuuden havainnollistamiseen.

4D ohjelmistoympäristön käyttö

Kohteella 2 käytettiin 4D ohjelmistoympäristöä sisävaiheen töiden aikatauluttamiseen ja toteuman seurantaan. Yleisaikataulu ja työvaiheiden aikataulut on luotu perinteisellä ohjelmistoympäristöllä. Sisävaiheen aikataulu on myös luotu perinteisellä ohjelmisto-

ympäristöllä, mistä se on siirretty 4D ohjelmistoympäristöön ohjelmistotoimittajan henkilöstön toimesta. Kohteen 2 työmaainsinööri on muokannut aikataulua 4D ohjelmistoympäristössä ja jakanut tehtävien vastuut käyttäjille. 4D ohjelmistoympäristöllä seurataan sisävaiheen töiden edistymistä ja tätä tietoa käytetään viikoittaisissa aikataulupalavereissa, joihin osallistuu myös tilaajan ja sivu-urakoitsijoiden edustajia. 4D ohjelmistoympäristö tuli käyttöön kesken hankkeen, jolloin sen käytössä on ollut paljon totuttelua, mutta erityisesti osa työmaan nuoremmista toimihenkilöistä ovat harjaantuneet sen käytössä. Hankkeen tilaajan edustajille ja valvojalle on myös luotu käyttäjät, mutta nämä eivät ole käyttäneet 4D ohjelmistoympäristöä aktiivisesti.

Kohteen 2 haastatteluissa nousi esille seuraavia 4D ohjelmistoympäristön hyötyjä työmaan näkökulmasta:

- 4D-aikataulu helpottaa töiden etenemisen hahmottamista, jolloin töiden limitysten koordinointi helpottuu.
- 4D ohjelmistoympäristö auttaa töiden aloitusedellytysten suunnittelussa ja seurannassa.
- 4D ohjelmistoympäristö helpottaa häiriöiden ennakointia ja nopeuttaa niihin reagoimista
- 4D ohjelmistoympäristö parantaa tiedon kulkua hankkeen osapuolten välillä. Yksi haastateltavista kuvasi asiaa näin: ’’4D ohjelmistoympäristön käytöllä tiedon kulku paranee, jolloin ei synny aliurakoitsijoilla tilanteita, joissa ei ole mestaa missä tehdä, eikä asiasta ilmoiteta, vaan tullaan sitten siihen aikataulupalaveriin, että 2 viikkoa ollaan odotettu, että päästäisi sitä tekemään’’
- 4D-aikataulun simulaatio helpottaisi kokonaisuuden hahmottamista.
- Tehtävän tekemisen esteiden ilmoittaminen helppoa 4D ohjelmistoympäristön mobiilisovelluksella.

Kohteen 2 haastatteluissa nousi esille seuraavia 4D ohjelmistoympäristön käyttöön liittyviä haasteita työmaan näkökulmasta:

- 4D-aikataulun teko koettiin työlääksi, eikä työmaan henkilöstön aika ja osaaminen riittäneet sen luomiseen.
- 4D ohjelmistoympäristö tuli käyttöön kesken hankkeen, jolloin siihen ei ehditty kunnolla varautua.

- Hankkeen vanhemmalla henkilöstöllä oli haasteita opetella uusien järjestelmien ja toimintatapojen käyttöä, 4D ohjelmistoympäristön käyttö koettiin ikäpolviasiaksi. Yksi haastateltavista kuvasi asiaa näin: ’’Se on pitkälti ikäpolviasia, kun täällä on näitä mestareita, jotka ensimmäisen työmaalla on sinne ruutupaperiin piirtänyt ne viiva-aikataulut ja sitten tietysti on meitä, jotka nyt on noilla perinteisellä ohjelmistoympäristöllä aloitellut niin. Kyllähän se sinänsä on ohjelma muiden joukossa, että samalla tavallahan se toimiin kuin muutkin aikataulu ohjelmat.’’
- Osa 4D ohjelmistoympäristön suomenkielisistä käännöksistä heikkoja.
- 4D ohjelmistoympäristön käyttöä ei koeta kannattavaksi hyvin pienillä kohteilla, kun aliurakoitsijoiden kouluttamiseen kuluu paljon aikaa.
- Hankkeen tehtäväaikataulu olisi pitänyt valmistella paremmin. Nyt tehtävät olivat liian suurina kokonaisuuksina, jolloin esimerkiksi sähkötyöt oli jaettu 4D ohjelmistoympäristöön vain kerroksittain.

Kohteen 2 haastatteluissa nousi esille seuraavia parannusehdotuksia 4D ohjelmistoympäristön käyttöön liittyen:

- 4D ohjelmistoympäristö olisi haluttu käyttöön heti hankkeen alussa, jolloin siihen olisi osattu varautua paremmin erityisesti aliurakoitsijoiden sitouttamisen suhteen.
- 4D ohjelmistoympäristöstä halutaan laadunhallinnan työkalu, johon kerätään dokumentaatiota laatuasioista, kuten esimerkiksi mestojen vastaanotoista ja kuvia asennetuista raudoitteista ennen valua.
- 4D ohjelmistoympäristön käyttö laadunhallinnan työkaluna auttaisi myös luomaan paremmat töiden vastaanoton käytännöt.
- Kaivattaisiin yksi ohjelmistoympäristö, jossa kaikki aikataulunhallinta hoidettaisiin, jotta ei tarvitsisi käyttää montaa ohjelmistoa rinnan.

5D ohjelmistoympäristön käyttö

Kohteella 2 ei käytetty 5D ohjelmistoympäristöä, vaan sen tarjouslaskenta ja kustannushallinta oli tehty vanhaa järjestelmää käyttäen, joka ei tue tietomallien käyttöä.

Case-kohde 3

Kohteesta 3 pidettiin yksi noin tunnin pituinen puolistrukturoitu teemahaastattelu, johon osallistui kaksi hankkeessa mukana ollutta henkilöä ja itse haastattelija. Haastattelu pidettiin etäyhteydellä Microsoft Teams-ohjelmiston välityksellä. Haastattelun osallistui yksi työmaan aikataulutuksessa mukana ollut tuotantoinsinööri sekä työmaan vastaava työnjohtaja. Haastatteluhetkellä työmaalla oli perustusvaihe käynnissä.

Kohde 3 on päiväkotihanke, jonka urakkamuotona on yhteistoiminnallinen kokonaisvastuurakentaminen, jossa kohdeyritys toimii päätoteuttajana. Hankkeessa toteutettavan kaksikerroksisen uudisrakennuksen kokonaispinta-ala on noin 2800 neliömetriä ja siinä valmistuu tilat 10 päiväkotiryhmälle. Rakentamisen ajankohtana on 4/2024-7/2025. Kohteen työmaaorganisaatio koostuu runkovaiheessa yhdestä työnjohtajasta ja vastaavasta työnjohtajasta. Lisäksi alueyksikön tuotantoinsinööri tukee työmaaorganisaatiota suunnittelunohjauksessa ja aikataulunhallinnassa.

Tietomallien käyttö

Kohteen 3 suunnittelu on tehty täysin tietomallipohjaisesti. Työmaalla tietomalleja käytetään suunnitelmien tarkasteluun ja parantamaan kokonaisuuden hahmottamista. Työmaan kirvesmiehet ja muut rakentajat käyttävät Dalux-ohjelmistoa mobiililaitteillaan tietomallin tarkasteluun. Lisäksi tietomallista otetaan erilaisia rakennuksen osien mittoja. Ennen rakentamisen aloitusta tietomalleja käytettiin töiden suunnittelussa kokonaisuuden hahmottamiseen ja tietomalli linkitettiin 4D ohjelmistoympäristöön 4D-aikataulun luomista varten.

4D ohjelmistoympäristön käyttö

Kohteella 3 päätettiin ottaa 4D ohjelmistoympäristö käyttöön, jotta alueyksikkö saisi käytännön kokemusta ympäristön käytöstä ennen kuin sitä käytetään jollakin suuremmalla kohteella. 4D ohjelmistoympäristöön on tuotu perinteisellä ohjelmistoympäristöllä luotu aikataulu, jota on 4D ohjelmistoympäristössä tarkennettu ja linkitetty myös kohteen 3 tietomalliin ja näin luotu runkotyövaiheesta 4D-aikataulu, jota on käytetty työjärjestyksen suunnittelussa visuaalisena apuna. Runkovaiheessa työnjohtaja täyttää itse 4D ohjelmistoympäristöön töiden aloituksia ja seurantaa, mutta tarkoituksena olisi saada sisätyövaiheessa urakoitsijat mukaan täyttämään oman työnsä edistymisen seu-

rantaa. Sisätyövaiheen Last Planner aikataulu on myös luotu 4D ohjelmistoympäristöön. Lisäksi 4D ohjelmistoympäristön aikataulua käytetään urakoitsijapalavereissa seuraavan viikon työtehtävien läpikäyntiin.

Kohteen 3 haastatteluissa nousi esille seuraavia 4D ohjelmistoympäristön hyötyjä työmaan näkökulmasta:

- 4D ohjelmistoympäristö sopii hyvin yhteen Last Planner menetelmän kanssa.
- Isommilla kohteilla on nähtävissä enemmän hyötyä seurannan ja tiedonkulun tehostumisena.
- Työmaan edistyksen seuranta on reaaliaikaista.
- Toteuman päivitys on helppoa, kun töiden vastuut on jaettu selkeästi.
- 4D-aikataulun simuloinnista saadaan hyvää markkinointimateriaalia erityisesti tarjousvaiheeseen.

Kohteen 3 haastatteluissa nousi esille seuraavia 4D ohjelmistoympäristön käyttöön liittyviä haasteita työmaan näkökulmasta:

- Tietomallin yhdistäminen aikataulun tehtäviin koettiin työlääksi, kun jokainen tehtävä täytyy liittää haluttuihin tietomallin objekteihin yksitellen.
- Tehtävät oli aikataulutettu liian tarkkaan, jolloin niiden edistyksen seurannan päivittäminen koettiin työlääksi. Aikatauluun olisi työmaan mielestä riittänyt perustusvaiheessa suuripiirteisemmät tehtävät.
- Aikataulun muuttaminen koettiin työlääksi, kun työvaiheiden järjestystä jouduttiin muuttamaan.
- Aliurakoitsijoiden sitouttaminen 4D ohjelmistoympäristön käyttöön koettiin haastavaksi.
- Kyseinen rakennuskohde koettiin turhan pieneksi 4D ohjelmistoympäristön hyötyjen realisoitumista varten ainakin perustusvaiheessa, kun työmaalla oli vain yksi työnjohtaja.

Kohteen 3 haastatteluissa nousi esille seuraavia parannusehdotuksia 4D ohjelmistoympäristön käyttöön liittyen:

- 4D ohjelmistoympäristön käyttöön kaivattiin lisää kohdeyrityksen sisäistä tietoteknistä tukea.
- 4D ohjelmistoympäristön koettiin tarvitsevan lisää kehitystyötä ominaisuuksien helppokäyttöisyyden lisäämiseksi.

- 4D ohjelmistoympäristöön kaivattaisiin ominaisuutta, jolla aikataulun kokonaiskuva saataisiin paremmin yhdelle näkymälle tarkasteltavaksi.
- 4D ohjelmistoympäristö haluttaisiin käyttöön jollekin suuremmalle työmaalle, jossa se toimisi pääasiallisena aikataulunhallintatyökaluna.

5D ohjelmistoympäristön käyttö

Kohteen 3 tarjouslaskenta on toteutettu 5D ohjelmistoympäristössä. Toteutusvaiheessa 5D ohjelmistoympäristöä käytetään kustannusten ja tulojen seurantaan. Lisäksi 5D ohjelmistoympäristöä käytetään kustannusten ennustamiseen ja raporttien luomiseen. Tilaajalle on myös tehty menoennusteita ja kustannusaikataulu on myös tulostettu tilaajan käyttöön. Tarkoituksena on myös kohdeyrityksen 5D ohjelmistoympäristön tukihenkilön kanssa käydä läpi tarkemmin eri dokumenttien ja raporttien muodostusmahdollisuuksia, jotta saataisiin enemmän informaatiota jaettua tilaajan kanssa. Aikataulu laadittiin 5D ohjelmistoympäristöön luomalla ensin tietomallipohjaisesti määrälaskennasta töiden kustannuspohjaiset menekit, jonka jälkeen työvaiheiden aloitus- ja lopetuspäivät muokattiin perinteisessä ohjelmistoympäristössä luodun yleisaikataulun mukaisiksi. Aikataulua seurataan 5D ohjelmistoympäristössä syöttämällä sinne määritettyjen työvaiheiden toteumaa valmiusprosenttina. Ennustetta päivitetään kuukausittain toteuman perusteella.

Case-haastatteluiden yhteenveto

Kaikki case-kohteet olivat erilaisia rakennushankkeita ja lisäksi ne sijaitsivat kohdeyrityksen eri alueyksiköissä. Vaikka kohteiden 1 ja 2 sekä viimeisimpänä aloitetun kohteen 3 rakentamisen aloituksen välillä on lähes kolme vuotta, käytettiin niillä silti enimmäkseen samoja ohjelmistoja ja toimintatapoja. Kuitenkin 4D ja 5D ohjelmistoympäristöt ovat ehtineet kehittyä merkittävästi tänä aikana ja niiden tehokas käyttö on paremmin juurtunut kohdeyrityksen organisaatioihin. Kohde 1 oli 4D ohjelmistoympäristön ensimmäinen pilottikohde, jolla sen ominaisuuksia vasta kartoitettiin, kun taas kohteilla 2 ja 3 oltiin päästy jo paremmin soveltamaan 4D ohjelmistoympäristöä erilaisiin käyttökohteisiin, kuten työjärjestyksen suunnitteluun. Lisäksi 5D ohjelmistoympäristön käyttö on vakiintunut kohdeyrityksessä, kun kohteella 1 se oli työmaan henkilöstöllä ensimmäistä kertaa käytössä ja taas kohteen 3 tuotantoinsinööri ei ollut muita järjestelmiä käyttänytkään.

Tietomallien käyttö

Kaikki case-kohteet olivat tietomallinnettuja ja niiden suunnittelu oli tehty tietomallipohjaisesti. Tietomalleja hyödynnettiin tuotannossa erityisesti rakenteiden havainnollistamiseen, mittaukseen ja määrätietojen tarkistamiseen. Kohteista 1 ja 3 tehtiin 4D-aikataulu, mutta kohteella 1 tätä ei käytetty muuhun kuin kokeilutarkoituksiin. Kohteella 3 käytettiin 4D-aikataulua töiden suunnittelussa, mutta sekin oli suurimmalta osin 4D ohjelmistoympäristön toimintojen testausta. Kaikilla kohteilla käytettiin kuitenkin tietomallia työjärjestyksen suunnittelussa. Kohde 2 oli poikkeuksellisen muotoinen rakennus, joten sen rakentamisessa tietomallien hyödyt korostuivat, kun lopullista rakennusta oli hankala hahmottaa paperikuvista.

4D ohjelmistoympäristön käyttö

Kaikki kohteet ovat toimineet 4D ohjelmistoympäristön kokeiluhankkeina. 4D ohjelmistoympäristöä hyödynnettiin kaikilla kohteilla sisätyövaiheen ohjaukseen ja seurantaan. Kohteiden 1 ja 3 sisätyövaiheen aikataulu oli luotu Last Planner-menetelmällä ja 4D ohjelmistoympäristö todettiin tähän käyttöön sopivaksi. 4D ohjelmistoympäristöä käytettiin kohteella 3 myös perustus- ja runkotyövaiheessa, mutta tästä ei koettu olevan suurta hyötyä, koska työmaalla oli vain yksi työnjohtaja, joka täytti itselleen tehtäviä ja niiden edistystä. Kohteella 1 oli käytössä tahtiaikataulu, jonka seurantaan käytettiin 4D ohjelmistoympäristöä sisävaiheessa. 4D ohjelmistoympäristö koettiin hyväksi työkaluksi tahtiaikataulun hallintaan, kun tahtiaikataulun hallintaan vaaditaan jatkuvaa seurantaa ja nopeaa reagointia ongelmatilanteissa. Kaikilla kohteilla aikataulu luotiin 4D ohjelmistoympäristöön joko perinteisessä ohjelmistoympäristössä tai Excelissä luodun yleisaikataulun pohjalta.

4D ohjelmistoympäristön käyttökokemukset olivat enimmäkseen positiivisia ja sen koettiin parantavat rakennushankkeen ohjausta ja erityisesti helpottavan potentiaalisten haasteiden ennakointia. 4D ohjelmistoympäristön käytön suurimpina haasteina koettiin tehtävien malliin yhdistämisen työläys sekä aliurakoitsijoiden sitouttaminen 4D ohjelmistoympäristön käyttöön. Yleisellä tasolla 4D ohjelmistoympäristö koettiin hyödylliseksi välineeksi ja se halutaan ottaa käyttöön myös seuraavilla kohteilla.

5D ohjelmistoympäristön käyttö

Kohteiden 1 ja 3 tarjouslaskenta oli tehty 5D ohjelmistoympäristössä. Lisäksi näillä kohteilla käytettiin 5D ohjelmistoympäristöä toteutusvaiheessa kustannusten hallintaan ja rahoitustilanteen ennustamiseen. 5D ohjelmistoympäristöön toteumaa päivitettiin syöttämällä työvaiheiden valmiusprosenttia litterakohtaisesti. Kertyneistä kustannuksista tu-

lostettiin kuukausittain kausiraportti, jota käytiin läpi seurantapalavereissa. 5D ohjelmistoympäristöä on myös käytetty menoennusteiden ja kustannusaikataulun tulostamiseen tilaajalle.

5D ohjelmistoympäristön käytöstä oli enimmäkseen positiivisia kokemuksia, mutta käyttöliittymä koettiin haastavaksi erityisesti harjaantumattomalle käyttäjälle. 5D ohjelmistoympäristön hyötyinä nähtiin sen kyky tuottaa laajasti erilaisia tulosteita sekä raportteja, helppo kustannusten muutosten vertailu ja mahdollisuus ennusteiden luomiseen.

Työpaja aikatauluprosessin kehittämiseksi

Kohdeyrityksen aikatauluprosessin nykytilan selvittämistä ja yhtenäisen toimintamallin kehittämistä varten järjestettiin kahden tunnin mittainen työpaja, johon osallistui kuusi kohdeyrityksen toimihenkilöä. Enemmistö osallistujista toimi kohdeyrityksen aikatauluohjelmistojen pääkäyttäjinä ja osa kuului yrityksen kehitysorganisaatioon. Työpajassa tutkija esitteli valmista työpajan asiasisällön pohjaa, jota käytiin läpi aikataulumuoto kerrallaan ja samalla tutkija kirjasi keskusteluissa esiin nousseita asioita tähän pohjaan.

Työpajassa käsitellyt aikataulut jaettiin seuraavasti:

- Alustava yleisaikataulu: Tarjousvaiheessa alueen työpäällikkö tekee alustavan yleisaikataulun perinteisellä ohjelmistoympäristöllä. Aikataulu luodaan tarjouksen määräluettelosta tai tietomallista saatujen määrien avulla. Tarjousvaiheessa tarkistetaan aikataulun kireys, jonka perusteella päätetään, kannattaako urakkatarjousta jättää. On tärkeää jo alustavaa yleisaikataulua luodessa miettiä tarkkaan työmaalogistiikan ja asennusjärjestyksen vaikutus aikataulutettujen työvaiheiden kestoon. 4D simulaatiosta voisi olla hyötyä työmaalogistiikan ja asennusjärjestyksen suunnittelun havainnollistamisessa. Lisäksi 4D aikataulu toimisi hyvänä mainosmateriaalina tilaajalle tarjouksen liitteenä.
- Yleisaikataulu: Rakennushankkeen vastaava työnjohtaja tekee yleisaikataulun työpäällikön tekemän alustavan yleisaikataulun pohjalta perinteisessä ohjelmistoympäristössä. Vastaava työnjohtaja tarkistaa yhdessä työpäällikön kanssa saatavissa olevat resurssit ja suunnittelee aikataulun alustavaa yleisaikataulua tarkemmin. Myös talotekniikan tehtäväkuvat tarkentuvat, kun talotekniikkaurakoitsija on päätetty. Samalla lisätään aikatauluun välitavoitteet ja loppuvaiheen työt, kuten toimintakokeet ja säädöt.
- Suunnitteluaikataulu: Kohdeyrityksen oman asuntotuotannon puolella suunnitteluaikataulun tekee joko hankekehitysjohtaja tai projektipäällikkö. Kaavavaiheessa käytetään joko perinteistä ohjelmistoympäristöä, tai Excel taulukkoa.

Suunnitteluaikatauluun lisätään myös rakennuslupaan tarvittavien dokumenttien, kuten energiaselvitysten luonnin päivämäärät. ’’Suunnittele ja rakenna’’ -tyyppisissä hankkeissa tilaaja antaa tilaohjelman, jonka pohjalta valitaan suunnittelijat. Näissä hankkeissa työpäällikkö vetää suunnittelunohjausta, mutta laskentapäällikkö on niissä aina mukana, jotta suunnitelmia päästään ohjaamaan kustannustehokkaammiksi tämän tekemien kustannusarvioiden perusteella. Suunnitteluaikataulu tehdään ’’takaperin’’, jolloin lähdetään liikkeelle suunnitelmien tarvittavista valmistumisajankohdista. Erityisesti elementtisuunnittelu täytyy aikatauluttaa riittävän ajoissa, jotta elementtitehdas ehtii toimittamaan ne aikataulun mukaisesti työmaalle. Haastavissa rakenteissa, kuten maanalaisissa rakenteissa, tulee jo hankesuunnitteluvaiheessa olla tarkemmat suunnitelmat, jotta kustannusarviosta saadaan luotettava.

- Rakentamisvaiheaikataulu: Rakentamisvaiheaikataulu luodaan tärkeimmistä rakennusvaiheista, kuten runkovaiheesta ja sisävalmistusvaiheesta. Työpäällikkö luo karkeatasoisen rakentamisvaiheaikataulun yleisaikataulun pohjalta jo tarjousvaiheessa, mutta lopullisen rakentamisvaiheaikataulun luo työmaan vastaava työnjohtaja perinteisessä ohjelmistoympäristössä tarkentamalla yleisaikataulua määrien ja työtehokkuuksien mukaan ottaen myös huomioon valittujen aliurakoitsijoiden kapasiteetti ja toiveet.
- 3-viikkoisaikataulu: Työtä johtava työnjohtaja tekee 3-viikkoisaikataulun rakentamisvaiheaikataulun pohjalta perinteisessä ohjelmistoympäristössä tai kohdeyrityksen tarkoitukseen luodulla Excel-taulukkopohjalla. 3-viikkoisaikataulua luodessa huomioidaan työmaan logistiikka ja tarkennetaan materiaalitoimitukset. Joillain työmailla vastaava työnjohtaja on laatinut 3-viikkoisaikataulut, mutta olisi tärkeää, että työtä johtava työnjohtaja laatii ne itse, jotta tämä sitoutuu töiden suorittamiseen ja tutustuu niihin jo ennakkoon. Lisäksi työtä johtava työnjohtaja tuntee kyseisen työn edellytykset ja vastuualueensa yleisen tilanteen parhaiten. Last Planner menetelmää käytettäessä aikatauluun tehdään viikoittain tarkennuksia, jolloin erillistä 3-viikkoisaikataulua ei tehdä.

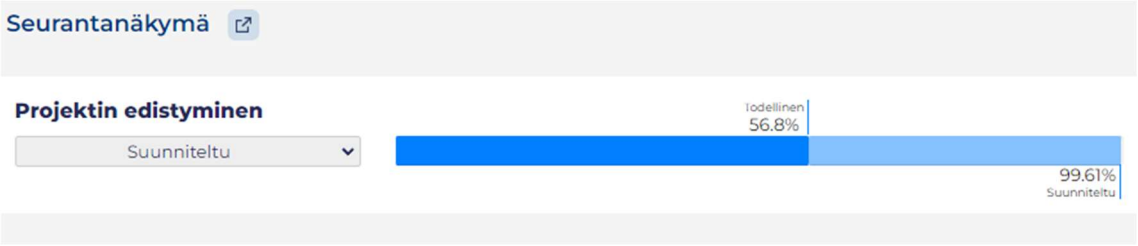
Ohjelmistoympäristöjen keskeiset tunnusluvut

Tässä osiossa tutkitaan kohdeyrityksen 4D ja 5D ohjelmistoympäristöistä löytyviä keskeisiä tunnuslukuja. Tilastokeskus määrittelee tunnusluvun seuraavasti: ’’Tunnuslukujen avulla kuvataan erilaisia empiirisiä jakaumia tiiviisti niiden erilaisten ominaisuuksien perusteella. Keskeisiä tunnuslukuja ovat keski- ja hajontaluvut’’. Ohjelmistoympäristöistä etsitään erityisesti rakennushankkeen aikataulun- ja kustannustenhallinnassa

käytettäviä tunnuslukuja, joita voitaisiin yhdistää myös yrityksen muuhun projektinhallintajärjestelmään.

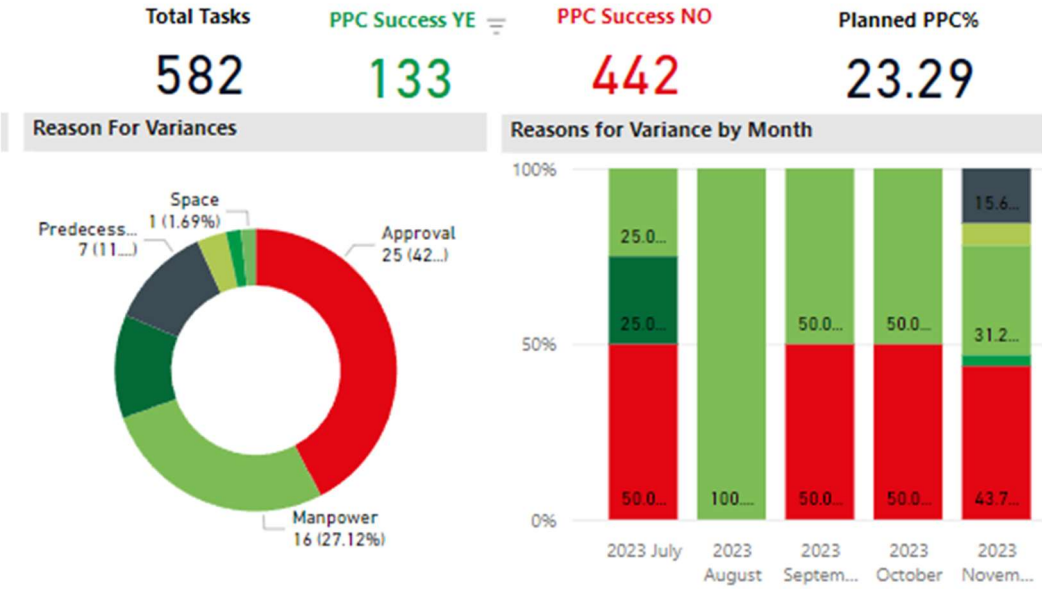
4D ohjelmistoympäristö

4D ohjelmistoympäristöstä löytyvät tunnusluvut kuvaavat rakennushankkeen edistymistä ja mahdollisten ongelmatilanteiden syitä. Kuvassa 30 on esitetty rakennushankkeen aikataulussa pysymistä kuvaava projektin edistymisen prosenttilukema, joka päivittyy valmistuneiksi kuitattujen tehtävien perusteella. Samassa näkymässä on myös suunniteltu valmiusaste, josta on helppo verrata hankkeen nykytilannetta suunniteltuun verrattuna. Suunniteltu valmistumisprosentti kuvaa sitä, montako prosenttia aikataulutetuista tehtävistä tulisi olla valmiina suhteessa kaikkiin aikataulutettuihin tehtäviin. Todellinen valmistumisprosentti taas kuvaa sitä, montako tehtävää on kuitattu valmistuneeksi suhteessa kaikkiin aikataulutettuihin tehtäviin.



Kuva 30. Projektin edistymisen mittari

Tuotannon onnistumista kuvaa tehtävien toteutumisprosentti, 4D ohjelmistoympäristössä nimellä Percent Planned Complete (PPC). Tehtävien toteutumisprosentti lasketaan jakamalla tiettynä ajanjaksona suoritetut tehtävät samalle aikavälille suunnitelluilla tehtävillä. Kuvassa 31 on esitetty 4D ohjelmistoympäristön tehtävien toteuman analytiikkanäkymä, jossa on kuvattuna toteutumisprosentti nimellä ’’Planned PPC%’’. Lisäksi näkyvissä on analytiikkaa epäonnistuneiden tehtävien syistä.



Kuva 31. 4D ohjelmistoympäristön tehtävien toteuman analytiikkanäkymä

5D ohjelmistoympäristö

5D ohjelmistoympäristön merkittävimmät tunnusluvut ovat aikataulun ja kustannusten tehokkuusindeksit SPI ja CPI. SPI (Schedule Performance Index), tarkoittaa suomeksi aikataulun tehokkuusindeksiä. Kuvassa 32 on esitetty 5D ohjelmistoympäristön tehtävämallin näkymä, jossa on sarakkeina SPI ja CPI luvut. CPI (Cost Performance Index) lukua ei saatu päivittymään kyseisellä kohteella.

Kuvaus	Alku	Kesto [P...	Tunnit	Kustannukset	Tulot	Budjetti	SPI	CPI	Loppu
Kustannusaikataulu	**8.9.2021**	**442,00**	**-181 762,433**	**5 700 144,48**	**7 003 544,37**	**5 667 738,49**	**1,30**		**30.6.2023**
Maanrakennus / Piha	1.11.2021	12,50	306,015	357 909,18	0,00	322 923,18	0,50		17.11.2021
Anturat ja alapohja	13.12.2021	21,00	-20 528,846	129 564,33	0,00	122 897,33	0,85		12.1.2022
VSS	17.1.2022	13,00	-2 137,232	63 209,10	0,00	56 301,10	1,00		2.2.2022
Kellarin runko	28.3.2022	30,00	2 339,064	234 422,77	0,00	204 669,76	1,04		10.5.2022
RUNKO	30.5.2022	68,00	-138 222,171	1 649 248,72	0,00	1 321 914,39			16.9.2022
Ulkopuolen työt	8.6.2022	175,00	103,462	266 270,92	0,00	189 012,41			7.3.2023
SISÄVAIHE	29.6.2022	139,00	-48 692,693	1 405 688,33	0,00	1 246 624,53			3.2.2023
0-pääryhmä	8.9.2021	426,00	0,000	-385 756,75	19 742,37	463 127,25	-0,48		7.6.2023
7-pääryhmä	8.9.2021	442,00	-3 160,700	1 026 154,66	0,00	861 619,32	0,00		30.6.2023
8- ja 9-pääryhmä	9.9.2021	441,00	28 230,670	953 433,21	0,00	878 649,21	0,88		30.6.2023
Maksuerätaulukko	18.3.2022	308,00	0,000	0,00	6 983 802,00	0,00			30.6.2023

Kuva 32. 5D ohjelmistoympäristön tehtävämallin näkymä

SPI kuvaa hankkeen aikataulunmukaisuuden onnistumista. Se lasketaan jakamalla suoritetun työn budjetoidut kustannukset aikataulutetun työn budjetoidulla kustannuksilla. Hanke on siis aikataulussa, mikäli SPI luku on 1 ja edellä aikataulua, mikäli SPI

arvo on yli 1. Hanke on taas myöhässä aikataulusta, mikäli SPI luku on alle 1. Kuitenkin työn valmistuttua SPI luku on useimmiten 1, koska aikataulutettu työ on valmis ja vastaa siis suoritettua työtä. SPI luku voi kuitenkin jäädä pienemmäksi tai suuremmaksi kuin 1, mikäli tehtävä ei vaadikaan yhtä paljon työtä, kuin oli aikataulutettu (Defense Acquisition University 2024).

$$SPI = \frac{\text{Suoritetun työn budjetoidut kustannukset}}{\text{Aikataulutetun työn budjetoidut kustannukset}}$$

CPI (Cost Performance Index), tarkoittaa suomeksi kustannustehokkuusindeksiä. CPI kuvaa hankkeen kustannustehokkuutta vertaamalla saavutettua arvoa sen luomisesta syntyneisiin kustannuksiin.

$$CPI = \frac{Työhön\ budjetoidut\ kustannukset}{Työn\ todelliset\ kustannukset}$$

CPI luku kuvaa työn kustannustehokkuutta. CPI luvun ollessa yli 1 on työ tehty suunniteltua tehokkaammin ja taas luvun ollessa alle 1 on työ tehty suunniteltua tehottomammin (Defense Acquisition University 2024).

5. POHDINNAT

Tutkimuskysymys 1: 4D tietomallien käyttö aikataulunhallinnassa ja ohjauksessa

Kirjallisuustutkimuksessa nousi esiin lukuisia erilaisia tietomallintamisen sovellustapoja rakennushankkeen tuotannon ohjaukseen ja aikataulunhallintaan. Erityisesti 4D tietomallintamisen mahdollisista käyttökohteista löytyi paljon tutkimuksia, joissa suurimpina hyötyinä nousi esille 4D tietomallintamisen tuottama parempi rakentamisjärjestyksen ja -tavan visualisointi sekä tämän mahdollistama entistä parempi rakentamisen mahdollisten haasteiden, kuten työmaalogistiikan, työturvallisuuden ja jätteenhallinnan ennakointi. Monissa tutkimuksissa oli kuitenkin vain kokeiltu kertaluontoisesti kyseistä 4D tietomallintamisen soveltamistapaa, jolloin menetelmän käyttöä ei jalkautettu pysyvästi kokeiluun osallistuneen organisaation toimintatavaksi.

4D tietomallintamisen lisäksi on myös kehitetty 5D tietomallintamista, jossa tietomalliin liitetään aikataulun lisäksi myös kustannustietoa. 5D tietomallintamisen hyödyt voivat olla vähemmän työmaalla näkyviä, mutta projektin johdolle taas suuri apu projektin rahoituksen suunnitteluun ja hallintaan. 5D tietomallintamisen lisäksi on vielä suurempien dimensioiden tietomallintamista, kuten 6D tietomallintaminen, jossa tietomalliin yhdistetään energiatehokkuuteen ja päästöihin liittyvää tietoa. 4D ja 5D tietomallintamisen termit ja rajaukset ovat jo alalla vakiintuneet, mutta suurempien dimensioiden määrittäminen ja nimeäminen eivät ole vielä täysin vakiintuneet.

Tietomallintamisella on saavutettavissa merkittäviä hyötyjä rakennushankkeen aikataulunhallintaan ja tuotannon ohjaukseen, mutta alan yrityksillä on lukuisia haasteita tietomallintamisen tehokkaassa soveltamisessa. Suurimmat haasteet liittyvät yrityksen henkilöstön muutosvastarintaan ja tietomallintamisen tehokkaan käyttöönoton vaatimiin suuriin investointeihin, jolloin tietomallipohjaisten toimintatapojen käyttöönotosta saatuja hyötyjä ei välttämättä koeta investointien arvoiseksi.

Case-haastatteluiden perusteella 5D ohjelmistoympäristön käyttö on jo suurella osaa organisaatiota vakiintunutta, jonka lisäksi 4D ohjelmistoympäristön kokeilut ovat saaneet keskimäärin positiivisia käyttäjäkokemuksia ja ainakin osa työmaaorganisaatioista haluaa käyttää 4D ohjelmistoympäristöä myös jatkossa. Haastatteluiden perusteella kokeilussa ollutta 4D ohjelmistoympäristöä käytettiin pääasiassa työmaan edistymisen seurantaan, mutta lisäksi osalla kohteista oli myös luotu 4D simulaatioita rakennetta-

vasta kohteesta ja tätä käytetty sekä mainosmateriaalina että työmaalogistiikan, rakennusjärjestyksen ja työmaaturvallisuuden hallintaan. Kirjallisuustutkimuksessa esiin nousseista 4D tietomallintamisen käyttökohteista oli useimpia ainakin pintapuolisesti kokeiltu, tosin toimitusketjun hallinta ei ainakaan haastatteluissa noussut esille.

Tutkimuskysymys 2: Aikataulusuunnitelman ja -toteuman vertailu 4D-ympäristössä

4D ohjelmistoympäristössä kyetään vertailemaan aikataulusuunnitelman ja toteuman välistä tietoa useassa eri näkymässä. Projektinäkymässä löytyy sekä tehtävien toteumaprosentti, projektin edistymisen näkymä, jossa on esitettynä rakentamisen suunnitelmien mukainen valmiusprosentti ja todellinen valmiusprosentti sekä viivästyneet ja pysäytetyt tehtävät. Erityisesti analytiikkaosiosta on lukuisia välilehtiä, joilta voi tarkastella erilaista projektin kulkuun liittyvää tietoa, kuten myöhästyneiden tehtävien jaon urakoitsijakohtaisesti.

Case-haastatteluissa nousi esille haasteita 4D ohjelmistoympäristön aikataulun seurannan täyttämisessä. Erityisesti urakoitsijoiden sitouttaminen 4D ohjelmistoympäristön käyttöön koettiin haasteelliseksi ja samalla erityisen tärkeäksi aikataulunseurannan onnistumisen kannalta. 4D ohjelmistoympäristöön luodun aikataulun ja tehtäväjaon sopiva resoluutio koettiin myös tärkeäksi, sillä liian yksityiskohtaista aikataulua pidettiin turhan työllistävänä ja taas liian suuripiirteisen aikataulun nähtiin kumoavan 4D ohjelmistoympäristön aikataulunseurannan hyödyt.

4D ohjelmistoympäristön käyttöönoton yhteydessä olisi hyvä kehittää myös toimintamalli, jonka mukaan 4D ohjelmistoympäristöä käyttävää rakennushanketta viedään eteenpäin. Tämä toimintamalli voisi sisältää esimerkiksi urakkaneuvotteluissa huomioon otettavia kohtia, joilla tärkeimmät aliurakoitsijat saataisiin sitoutettua 4D ohjelmistoympäristön käyttöön jo sopimusta laadittaessa. Lisäksi toimintamalli voisi sisältää ohjeita muista 4D ohjelmistoympäristön käyttökohteista rakennushankkeen eri vaiheissa, kuten 4D-simulaation luomisesta tarjousvaiheessa, jolloin tämän tuomaa markkinointietua hyödynnettäisiin järjestelmällisesti. Aliurakoitsijoita varten tulisi myös tehdä mahdollisimman käytännönläheiset ohjeet 4D ohjelmistoympäristön peruskäytöstä, jotta ohjelmistoympäristön käyttöönotto työmaalla sujuisi vaivattomammin. Koulutusmateriaali voisi myös vähentää aliurakoitsijoiden mahdollisia epäilyksiä 4D ohjelmistoympäristön lisäämästä työkuormasta.

Tutkimuskysymys 3: Aikatauluohjelmiin luotujen aikataulujen yhteiskäyttö

Kohdeyrityksessä käytetään monia eri aikataulunohjelmistoja, joista jokaisella on omat vahvuutensa ja käyttökohteensa. Monien ohjelmistojen samanaikainen ylläpito tuo yrityksen organisaatioille joustavuutta toimintatapoihinsa, mutta voi samalla hidastaa uusien kehittyneempien ohjelmistojen käyttöönottoa, kun käyttäjät voivat uuden ohjelmiston opettelun sijaan vielä turvautua vanhaan ohjelmistoon. Kohdeyrityksen käyttämät aikatauluohjelmistot eivät suoraan välitä tietoa keskenään, vaan niiden välillä joudutaan manuaalisesti siirtämään tietoa, jolloin monien ohjelmistojen käyttö saattaa tuntua turhan työllistävältä. Uusien aikatauluohjelmistojen omaksuminen voi tuntua haasteelliselta, jolloin vanhoja ja uusia toimintatapoja käytetään rinnan. Tämä voi johtaa lisääntyneeseen työmäärään ja näin lisähenkilöstön palkkaamiseen, vaikka ohjelmistojen tarkoitus onkin helpottaa aikataulunhallintaa ja tehostaa työskentelyä.

Aikatauluohjelmiin luotujen aikataulujen yhteiskäyttöä voitaisiin helpottaa luomalla koko kohdeyrityksen laajuiset yhtenäiset toimintatavat, joihin olisi myös selkeät ohjeet, joita seurata. Yhtenäiset toimintatavat voisivat helpottaa myös alueyksiköt ylittävää yhteistyötä, jolloin esimerkiksi eri alueyksiköiden tuotantoinsinöörit voisivat helposti auttaa työläiden kohteiden valmistelussa ja aikataulunhallinnassa. Tämä auttaisi tasaamaan työkuormaa ja helpottaisi muun muassa suurten urakkakohteiden tarjousvaiheessa tehtäviä työläitä valmisteluja, kuten 4D simulaatioiden laatimista.

Tämän diplomityön yhteydessä pidettiin työpaja aikatauluprosessin kehittämisestä, jossa kahden tunnin aikana käytiin läpi eri aikataulujen laatimisprosessia, näiden laadinnan erityisiä huomioon otettavia seikkoja sekä laadintaan ja muokkaukseen soveltuvia ohjelmistoja. Työpajassa keskityttiin kuitenkin pitkälti nykyisten toimintatapojen avaamiseen, eikä niinkään uusien mahdollisuuksien pohdintaan. Työpajan aikana nousi kuitenkin esille arvokasta tietoa eri alueyksiköiden aikataulun laadintaprosessin eroavaisuuksista, jolloin päästiin vertailemaan eri menetelmien toimivuutta.

Työpajan ja case-kohteiden haastatteluiden sekä ohjelmistoympäristöjen ominaisuuksien perusteella voidaan ehdottaa seuraavaa toimintajärjestystä:

- Alustava yleisaikataulu: Työpäällikkö tekee tarjousvaiheessa perinteisellä ohjelmistoympäristöllä alustavan yleisaikataulun, jonka lisäksi tämä tai tuotantoinsinööri luo 5D ohjelmistoympäristöön tietomallin määriin pohjautuvan aikataulun, joka muokataan alustavan yleisaikataulun mukaiseksi. Alustavan yleisaikataulun kireyttä voidaan tarkistaa vertaamalla 5D ohjelmistoympäristöön määrien

pohjalta luotua aikataulua perinteisessä ohjelmistoympäristössä luotuun aikatauluun. Työpäällikkö tai tuotantoinsinööri siirtää perinteisessä ohjelmistoympäristöllä luodun yleisaikataulun myös 4D ohjelmistoympäristöön, jossa se yhdistetään tietomalliin ja luodaan 4D simulaatio. Simulaatiota käytetään asennusjärjestyksen ja työmaalogistiikan suunnitteluun sekä tarjouksen liitteenä markkinointimateriaalina.

- Yleisaikataulu: Vastaava työnjohtaja tarkentaa alustavaa yleisaikataulua joko perinteisessä ohjelmistoympäristössä tai 4D ohjelmistoympäristössä. Talotekniikka ja muut urakoitsijat pyritään sitouttamaan 4D ohjelmistoympäristön käyttöön jo urakasta sovittaessa ja näiden resurssien mukaan tehdään aikatauluun tarvittaessa muutoksia.
- Suunnitteluaikataulu: Työpäällikkö luo suunnitteluaikataulun perinteisessä ohjelmistoympäristössä. 4D ohjelmistoympäristöön tehdyn tietomallin objektien aikatauluun linkitysten avulla nähdään kunkin elementin suunniteltu asennuspäivä, jonka perusteella ohjataan elementtisuunnittelun aikataulutusta. 4D ohjelmistoympäristöön tarvittaisiin ominaisuus, jolla elementtien tunnukset ja asennuspäivämäärät saataisiin tulostettua keskitetysti esimerkiksi Excel-taulukkona.
- Rakentamisvaiheaikataulu: Työmaan vastaava työnjohtaja tarkentaa yleisaikataulua 4D ohjelmistoympäristössä yhdessä aliurakoitsijoiden kanssa. Rakentamisvaiheaikataulu voidaan myös siirtää 4D ohjelmistoympäristöstä perinteiseen ohjelmistoympäristöön, mikäli rakentamisvaiheaikataulut halutaan esittää erillisinä vinoviiva-aikatauluina.
- 3-viikkoisaikataulu: Työtä johtava työnjohtaja tarkentaa rakentamisvaiheaikataulua 4D ohjelmistoympäristössä yhdessä aliurakoitsijoiden kanssa ja vastuuttaa tehtävät saatavilla olevien resurssien mukaan.

Tutkimuskysymys 4: Merkittävät aikataulujen tunnusluvut

4D ja 5D ohjelmistoympäristöistä löytyy monia tunnuslukuja, jotka voivat auttaa alueyksikön tai koko yrityksen johtoa seuraamaan hankkeiden etenemistä. 4D ohjelmistoympäristön sisältämä projektin edistymisen prosenttilukema kertoo suoraan rakentamisen valmistumisasteen ja aikataulun mukaisen suunnitellun valmistumisasteen. Näitä vertaamalla voi nopeasti huomata aikataulupoikkeamat. 4D ohjelmistoympäristöstä löytyvä tehtävien toteutumisprosentti kuvastaa osaltaan rakennushankkeen haasteita ja analytiikka-osiosta löytyvät haasteiden syyt voivat auttaa haasteiden juurisyyn löytämisessä.

5D ohjelmistoympäristön puolelta löytyvät aikataulujen tunnusluvut taas kuvaavat hankkeen onnistumista taloudelliselta näkökannalta. Aikataulun tehokkuusluku kuvaa hankkeen aikataulunmukaisuutta tarkasteluhetkellä, kun taas kustannusten tehokkuusluku kuvaa hankkeen kustannustehokkuutta. 5D ohjelmistoympäristössä ei kustannustehokkuuslukua saatu toimimaan, joten tämä vaatisi lisätutkimusta, jotta tätä päästään hyödyntämään. Erityisesti 4D ohjelmistoympäristön puolelta löytyvät projektin edistymisen mittarit voitaisiin yhdistää kohdeyrityksen omaan projektianalytiikkaan, jolloin hankkeiden nykytilannetta päästäisiin tarkkailemaan keskitetysti. Tämä voisi parantaa yrityksen johdon tilannekuvaa ja toimia näin sekä valvonnan työkaluna että päätöstenteon tukena.

Tutkimuksen kritiikki

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää eri tapoja, joilla tietomalleja voidaan hyödyntää rakennushankkeen aikataulun hallinnassa ja ohjauksessa sekä saada tilannekuva tietomallipohjaisten aikataulunhallintaohjelmistojen käytöstä kohdeyrityksessä. Tutkimuksessa on esitetty monia eri tietomallintamisen hyödyntämistapoja sekä näiden mahdollisia vaikutuksia rakennushankkeeseen. Lisäksi haastattelujen pohjalta on saatu tilannekuva kohdeyrityksen nykyisistä aikataulunhallinnan toimintatavoista sekä tietomallipohjaisten aikataulunhallintaohjelmistojen käytöstä. Tutkimuksen avulla kohdeyritys voi kehittää yhtenäisiä toimintamalleja aikatauluohjelmistojen käyttöön ja jakaa 4D ohjelmistoympäristön käyttäjäkokemuksia kootusti koko henkilöstölle.

Tutkimuksessa saadut tulokset perustuvat kirjallisuustutkimuksessa sekä haastattelututkimuksessa saatuihin tietoihin sekä aikataulunhallintaohjelmistojen käytössä selvitettyihin tietoihin. Kirjallisuustutkimus tehtiin järjestelmällisesti ja käyttäen uusimpia saatavilla olevia tutkimuksia aiheita, joten siitä saadut tulokset ovat hyvin yleistettävissä. Haastattelututkimus tehtiin puolistrukturoituna teemahaastatteluna, johon osallistui kerralla 2–5 haastateltavaa. Haastateltavien vastaukset saattavat ryhmädynamiikan vuoksi poiketa siitä, mitä yksilöhaastatteluissa tulisi vastauksiksi. Haastattelututkimuksen avulla saadut vastaukset voivat siis vaihdella haastatteluryhmien kokoonpanon mukaan. Silti toteutetuissa kolmessa haastattelukerrassa saatiin hyvin samansuuntaisia vastauksia, joten haastattelututkimuksenkin vastauksia voisi pitää yleistettävinä. Ohjelmistoympäristöjen käytössä selvitettyjä tietoja voidaan myös pitää yleistettävinä, sillä ominaisuudet ovat selvästi esitettyinä myös ohjelmistojen omissa käyttöoppaissa.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakennusala on ollut nopeassa muutoksessa viime vuosina ja alan yritykset aktiivisesti kokeilevat sekä ottavat käyttöön uusia teknologioita ja toimintatapoja. Nykyinen tiukentunut markkinatilanne voi osaltaan nopeuttaa muutosta, kun yrityksellä on suuri paine tehostaa toimintaansa. Tietomallintaminen onkin jo juurtunut alalle ja uusia tietomallien hyödyntämistapoja kehitetään jatkuvasti lisää. Tietomallintamisen tehokas soveltaminen tuottaa kuitenkin vielä haasteita muun muassa muutosvastarinnan ja suurten investointikustannusten vuoksi. Uusien teknologioiden ja toimintatapojen omaksumisen hitaus voi taas johtaa tilanteeseen, jossa työtä helpottamaan tarkoitettu työkalu aiheuttaakin tarpeen lisähenkilöstön palkkaamiselle, kun vanhat tekijät eivät opettele itse käyttämään tuotetta, mutta sitä kuitenkin joudutaan käyttämään.

Viime vuosina on tehty lukuisia kansainvälisiä tutkimuksia tietomallintamisen käyttömahdollisuuksista esimerkiksi 4D tietomallien käytöstä työmaan turvallisuuden ja työmaalogistiikan suunnitteluun ja hallintaan. Myös 5D ja 6D tietomallintamisesta on tehty tutkimuksia ja luultavasti lähitulevaisuudessa nähdään tutkimuksia myös suurempien dimensioiden tai erilaisten ominaisuuksien yhdistämisestä tietomalliin. Tutkimusten innoittamana tullaan myös todennäköisesti näkemään jatkossa entistä enemmän ohjelmistotarjoajien tuotteita, jotka soveltavat tutkimuksien kokeiluja käytäntöön. Kirjallisuustutkimuksessa esiin noussut ’’rakentaminen 4.0’’ sisältää myös näitä tietomallintamisen teknologioita ja kuvaa osaltaan alan muutosta kokonaisuutena.

Kohdeyrityksessä tietomalleja käytetään nykyään jo laajalti ja 5D ohjelmistoympäristön käyttö alkaa olla jo juurtunutta koko organisaatiossa. Viiden vuoden mittaisesta käyttöönottoprosessista voidaan kuitenkin päätellä, että uusien teknologioiden ja toimintatapojen juurruttaminen suuren rakennusliikkeen henkilöstölle vaatii pitkäjänteistä ja määrätietoista tekemistä. Nyt käyttöönotettava 4D ohjelmistoympäristö saattaa hyvinkin kokea vastaavia haasteita kuin 5D ohjelmistoympäristön käyttöönotto on kokenut. 4D ohjelmistoympäristön edut ovat kuitenkin suoremmin työmaan henkilöstölle näkyviä, joten prosessista voisi olettaa helpompaa kuin aiemmasta 5D ohjelmistoympäristön käyttöönotosta. Uusien järjestelmien tehokkaaseen käyttöön tulisi kehittää menetelmiä, joilla niissä olevaa tietoa voitaisiin välittää tehokkaammin ohjelmistojen välillä. Lisäksi 4D ohjelmistoympäristön käyttökokemuksia ja ominaisuuksien soveltamista voisi tutkia muutaman vuoden kuluttua lisää, kun kohdeyritys on ottanut ohjelmiston kokonaisuudessaan käyttöön ja useampi rakennushanke on viety alusta loppuun 4D ohjelmistoympäristöä käyttäen.

LÄHTEET

Alzarrad, M. Ammar et al. “4D BIM Simulation Guideline for Construction Visualization and Analysis of Renovation Projects: A Case Study.” Frontiers in built environment 7 (2021): n. pag. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_crossref_primary_10_3389_fbuil_2021_617031

Boton, Conrad et al. “4D Simulation Research in Construction: A Systematic Mapping Study.” Archives of computational methods in engineering 30.4 (2023): 2451–2472. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_crossref_primary_10_1007_s11831_022_09873_x

BuildingSMART International. About openBIM. Internet-sivu. haettu 5.4.2024. Saatavilla: https://www.buildingsmart.org/about/openbim/

Defense Acquisition University. ’’Cost Performance Index (CPI).’’ Internet-sivu. Haettu 28.6.2024. Saatavilla: https://www.dau.edu/acquipedia-article/cost-performance-index-cpi

Defense Acquisition University. ’’Schedule Performance Index (SPI).’’ Internet-sivu. Haettu 28.6.2024. Saatavilla: https://www.dau.edu/acquipedia-article/schedule-performance-index-spi

Deng, Yichuan et al. “Integrating 4D BIM and GIS for Construction Supply Chain Management.” Journal of construction engineering and management 145.4 (2019): n. pag. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_crossref_primary_10_1061__ASCE_CO_1943_7862_0001633

Epstein, Erika. Implementing Successful Building Information Modeling. Boston: Artech House, 2012. Print. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9910657737805973

EUBIM Taskgroup. Käsikirja tietomallintamisen käyttöön ottamisesta Euroopan julkisella sektorilla (2017) s.18 Saatavilla: https://eubim.eu/handbook-selection/

Gray, David E. Doing Research in the Real World. London: SAGE, 2004. Print.

Guerra, Beatriz C., Fernanda Leite, and Kasey M. Faust. “4D-BIM to Enhance Construction Waste Reuse and Recycle Planning: Case Studies on Concrete and Drywall Waste Streams.” Waste management (Elmsford) 116 (2020): 79–90. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_elsevier_sciencedirect_doi_10_1016_j_wasman_2020_07_035

Heidari, Aliakbar, Yaghowb Peyvastehgar, and Mohammad Amanzadegan. “A Systematic Review of the BIM in Construction: From Smart Building Management to Interoperability of BIM & AI.” Architectural science review (2023): 1–18. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_webofscience_primary_001041892800001CitationCount

Innovative UK & Infrastructure and Projects Authority. ’’ Creating a Digital Built Britain: what you need to know’’ (2017). Saatavilla: https://www.gov.uk/guidance/creating-a-digital-built-britain-what-you-need-to-know

Jin, Ziyu et al. “Using 4D BIM to Assess Construction Risks during the Design Phase.” Engineering, construction, and architectural management 26.11 (2019): 2637–2654. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_webof-science_primary_000494047700009CitationCount

Jäväjä, Päivi ja Timo Lehtoviita. Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Helsinki: Rakennustieto Oy, 2016. Print.

Kiviniemi, M, Sulankivi, K, Kähkönen, K, Mäkelä, T & Merivirta, “BIM-based Safety Management and Communication for Building Construction. ” VTT Tiedotteita - Research Notes, no. 2597, (2011): VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo. Saatavilla: https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2011/T2597.pdf

Kropp, Christopher, Christian Koch, and Markus König. “Interior Construction State Recognition with 4D BIM Registered Image Sequences.” Automation in construction 86 (2018): 11–32. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_proquest_journals_2012059570

Latvala, Tuomas. Aikataulunhallinta eräissä rakennushankkeissa. N.p., 2023. Print. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9911415293505973

Lopperi, Timo. Organisaation sisäisten vastuiden ja tehtävien määritteleminen 5D-projektinhallintaympäristössä. N.p., 2020. Print. Saatavilla: https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202001261864

Lu, Qiqi, Jongsung Won, and Jack C.P. Cheng. “A Financial Decision Making Framework for Construction Projects Based on 5D Building Information Modeling (BIM).” International journal of project management 34.1 (2016): 3–21. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_crossref_primary_10_1016_j_ijproman_2015_09_004

Magill, Leslie J. et al. “4D BIM Integrated Construction Supply Chain Logistics to Optimise On-Site Production.” International journal of construction management 22.12 (2022): 2325–2334. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_unpaywall_primary_10_1080_15623599_2020_1786623

Mishra, B., Pires, F., Roland, F., Schipperen, I., Andric, J., Li, L., ... & Kim, M. H. ’’MATERIALS AND FABRICATION TECHNOLOGY’’ 19th International shipbuilding and offshore structures congress (2015). Saatavilla: https://scholar-google-com.libproxy.tuni.fi/scholar?as_q=%224D+planning+-+Production-scheduling+optimization+for+hull+outfitting%22&ie=utf8&oe=utf8

Montiel-Santiago, Francisco Javier, Manuel Jesús Hermoso-Orzáez, and Julio Terrados-Cepeda. “Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings. Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation.” Applied sciences 12.14 (2020): 1–29. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_scopus_primary_2_s2_0_85088100784

Nechyporchuk, Yaroslav, and Renáta Bašková. “Tools of 4D Modeling of Construction Projects.” IOP conference series. Materials Science and Engineering 1252.1 (2022): 12078-. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_proquest_journals_2729573805

National BIM standard United States. ''FREQUENTLY ASKED QUESTIONS ABOUT THE NATIONAL BIM STANDARD-UNITED STATES™.'' Internet-sivu. Saatavilla: https://www.nationalbimstandard.org/faqs

Prušková, Kristýna, and Vladimír Nývlt. "Issue of Building Information Modelling Implementation into the Czech Republic's Legislation Using the Level of Development." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 245.8 (2017): 82026-. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_proquest_journals_2564433360

Sawhney, Anil, Mike Riley, and Javier Irizarry, eds. Construction 4.0 : An Innovation Platform for the Built Environment. Abingdon, Oxon ; Routledge, 2020. Print. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/1j3mh4m/alma9911358635005973

Siebelink, Sander, Johannes T Voordijk, and Arjen Adriaanse. "Developing and Testing a Tool to Evaluate BIM Maturity: Sectoral Analysis in the Dutch Construction Industry." Journal of construction engineering and management 144.8 (2018): n. pag. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_openaire_primary_doi_dedup_94ba10bfc1d49e4973c5a20c5a3fbaf7

SIEBELINK, Sander et al. "Understanding Barriers to BIM Implementation: Their Impact across Organizational Levels in Relation to BIM Maturity." Frontiers of Engineering Management 8.2 (2021): 236–257. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_crossref_primary_10_1007_s42524_019_0088_2

Swallow, M., Henkai, K., Bowles, J. (2021). How best to implement 4D planning. BIMPLUS. Saatavilla: www.bimplus.co.uk/explainers/how-best-implement-4d-planning

Tilastokeskus. ''Käsitteet: Tunnusluku.'' Internet-sivu. haettu 10.7.2024. Saatavilla: https://stat.fi/meta/kas/tunnusluku.html

UK BIM Framework. ''Frequently asked questions.'' Internet-sivu. haettu 10.5.2024. Saatavilla: https://www.ukbimframework.org/faq/

Vigneault, Marc-Antoine et al. "An Innovative Framework of 5D BIM Solutions for Construction Cost Management: A Systematic Review." Archives of computational methods in engineering 27.4 (2020): 1013–1030. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_springer_journals_10_1007_s11831_019_09341_z

Whitlock, Kane et al. "4D BIM for Construction Logistics Management." CivilEng 2.2 (2021): 325–348. Web. Saatavilla: https://andor.tuni.fi/permalink/358FIN_TAMPO/176jdvt/cdi_doaj_primary_oai_doaj_org_article_a2ebaa29d1a44e968e62c1c641d48046

LIITE A: HAASTATTELUKYSYMYKSET

1. Pohjustus
    a. Projektin perustietoja (urakkamuoto, rakentamisaika)
    b. Mitkä olivat teidän roolinne kohdeprojektissa?
    c. Mitä aikataulunhallintaohjelmistoja hankkeella käytettiin?
2. Tietomallien käyttö aikataulunhallinnassa
    a. Miten tietomallintamista on käytetty tällä kohteella?
    b. Miten tietomalleja on hyödynnetty aikataulunhallinnassa?
    c. Minkälaisia hyötyjä ja haittoja näkisitte 4D käytöstä aikataulunhallinnassa?
    d. Mikä estää tietomallien käyttöä aikataulunhallinnassa?
    e. Mikä edistäisi tietomallien käyttöä aikataulunhallinnassa?
    f. Mitä tukea tarvitsette, että 4D tietomalleja olisi käytetty kohteella?
3. 5D ohjelmistoympäristön käyttö kohteella
    a. Mihin 5D ohjelmistoympäristöä käytettiin kohteella?
    b. Kuinka aikataulu laadittiin 5D ohjelmistoympäristöön?
    c. Kuinka työmaan aikataulun toteumaa seurattiin?
    d. Kuinka työmaan kustannusten toteumaa seurattiin?
    e. Mitä hyötyä koitte 5D ohjelmistoympäristön käytöstä?
4. 4D ohjelmistoympäristö käyttö kohteella
    a. Mihin 4D ohjelmistoympäristöä käytettiin kohteella?
    b. Kuinka aikataulu laadittiin 4D ohjelmistoympäristöön?
    c. Minkälaisia tuotannon ohjauksen periaatteita käytettiin kohteella?
    d. Miten 4D ohjelmistoympäristöä käytetään aikataulunhallintaan?
    e. Miten käytettiin toteuman seurantaan?
    f. Minkälaisia tuotannon ohjauksen periaatteita käytettiin kohteella?
    g. Käytettiinkö/ Miten 4D ohjelmistoympäristöä käytettiin tuotannon ohjaukseen?
    h. Käyttivätkö aliurakoitsijat 4D ohjelmistoympäristöä?
    i. Mitä hyötyä koitte 4D ohjelmistoympäristön käytöstä?
5. Muiden 4D aikataulunhallinnan ja tuotannonohjauksen ohjelmistojen käyttö kohteella
    a. Mitä muita ohjelmistoja käytettiin aikataulunhallintaan ja tuotannonohjaukseen?
    b. Miten näitä käytettiin?
    c. Miten aikataulutietoa siirretään eri osapuolten välillä?
    d. Miten aikataulutietoa siirretään eri ohjelmistojen välillä?
    e. Miten ja kuinka usein aikataulutoteumaa valvotaan?
    f. Miten aikataulupoikkeamiin reagoidaan?
6. Parannusehdotuksia
    a. Miten tämän kohteen aikataulunhallintaa voisi parantaa?
    b. Miten tämän kohteen tuotannonohjausta voisi parantaa?
    c. Mitä tekisitte aikataulunhallinnassa kohteella toisin?

LIITE B: TYÖPAJAN MUISTIO

Alustava yleisaikataulu

a) Kuka tekee?

-Työpäällikkö

b) Millä ja miten luodaan/muokataan?

-Perinteisellä ohjelmistoympäristöillä

-Perustuu määräluetteloista/mallista satuihin määriin

-Rakennusjärjestys ja logistiikka mietittävä tarkkaan jo tarjousvaiheessa

Yleisaikataulu

a) Kuka tekee?

-Työpäällikkö ja vastaava mestari tekevät

b) Millä ja miten luodaan/muokataan?

-Vastaava tekee työpäällikön laatiman alustavan yleisaikataulun pohjalta

-Vastaava tarkistaa saatavissa olevia resursseja ja suunnittelee aikataulun vielä tarkemmin

-TATE tehtäväkuvaukset tarkentuvat

-Loppuvaiheen työt, kuten toimintakokeet ja säädöt lisätään tässä vaiheessa

Välitavoitteet lisätään

-Perinteisellä ohjelmistoympäristöillä

Suunnitteluaikataulut

a) Omatuotanto/ SR-tyyppiset hankkeet

b) Kuka tekee?

-Asuntopuolella projektipäälliköt tai hankekehitysjohtaja

-Toimitilapuolella työpäällikkö/projektipäällikkö ja laskentapäällikkö

c) Millä ja miten luodaan/muokataan?

-Lähtee hankesuunnitteluvaiheessa

-Kaavavaiheessa excel/Perinteinen ohjelmistoympäristö, päivitellään muutaman kuukauden välillä, voi muuttua merkittävästi

-Aikatauluun lisätään myös esimerkiksi, milloin tehdään energiaselvityksiä yms. rakennuslupaa varten

-Toimitilapuolella tilaaja antaa tilaohjelman, jonka pohjalta valitaan suunnittelijat.

-Työpäällikkö vetää suunnittelunohjausta, mutta laskenta aina mukana

-Suunnitelmista tehdään kustannusarvio, jonka mukaan suunnitelmia muutetaan tarvittaessa, jotta tehokkuus pysyy hyvänä

-Aikataulu tehdään ''takaperin'', joissain kohteissa Last Planner, erityisesti elementtisuunnittelu täytyy aikatauluttaa riittävän ajoissa. Haastavissa rakenteissa, kuten maanalaiset rakenteet vaativat jo hankesuunnitteluvaiheessa tarkemmat suunnitelmat, jotta saadaan luotettava kustannusarvio

-Uusimaa toimitila käyttää smartsheet, ohjelmaa

Rakentamisvaiheaikataulu

a) Kuka tekee?

-Tarjousvaiheessa työpäällikkö

-Toteutusvaiheessa vastaava mestari

b) Millä ja miten luodaan/muokataan?

-Esimerkiksi runkovaiheen aikataulu tehdään elementti kappaleittain logistiikkaa huomioiden

-Perinteisellä ohjelmistoympäristöillä tarkentamalla yleisaikataulusta määrien ja työtehokkuuksien mukaan aliurakoitsijat huomioiden

-Tahtikohteilla sisävaiheessa excel/Mestamaster

-Asuntopuolella sisätyövaiheessa vinjettiä

-Tarjousvaiheessa otettaisiin tahtituotannossa jo tahtivaunut mukaan

3-Viikkoisaikataulu

a) Kuka tekee?

-Työtä johtava työnjohtaja

b) Millä ja miten luodaan/muokataan?

-Perinteisellä ohjelmistoympäristöillä ja Excelillä 3viikkoisaikataulupohjaan

-Logistiikka huomioidaan ja tarkennetaan materiaalitoimitukset

-Tahtipuolella muodostuu jo tahdissa rakentamisvaiheaikatauluun

-Tärkeää, että työtä johtava työnjohtaja tekee, jotta tämä tutustuu jo ennakkoon

-Työtä johtava työnjohtaja tuntee kyseisen työn edellytysten tilanteen parhaiten

-Myös Last Plannerilla käytettäessä tehdään tarkennuksia viikottain