



työmaakerros.avi



Tietomalli ja työmaan turvallisuus

Kirjoittajat:

Kristiina Sulankivi, Tarja Mäkelä, Markku Kiviniemi

Maaliskuu 2009

Raportin nimi Tietomalli ja työmaan turvallisuus		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot		Asiakkaan viite
Projektin nimi Tietomalli työmaaprosessien turvallisuuden edistäjänä		Projektin numero/lyhytnimi TURVABIM
Raportin laatija(t) Kristiina Sulankivi, Tarja Mäkelä, Markku Kiviniemi		Sivujen/liitesivujen lukumäärä 2/4
Avainsanat Tietomalli, BIM, objekti, visualisointi, 4D, työturvallisuus, turvallisuuden hallinta, riskien hallinta, tuotannon suunnittelu, työmaaprosessit, aluesuunnitelma, työmaasuunnitelma		Raportin numero VTT-R-01003-09 ISBN 978-951-38-7143-7
<p>Tiivistelmä</p> <p>TurvaBIM-tutkimushankkeen (Tietomalli työmaaprosessien turvallisuuden edistäjänä) päätavoitteena oli edistää ja kehittää tietomallitekniikan hyödyntämistä rakennusprojektien tuotannosuunnittelussa ja -ohjauksessa työturvallisuusnäkökulmasta. Keskeisiä kysymyksiä, joihin haettiin hankkeen aikana vastauksia, olivat tietomallinnuksen mahdollisuudet edistää rakennusalan työturvallisuutta, työmaan tietomallipohjaisen aluesuunnitelman (BIM-aluesuunnitelman) käyttömahdollisuudet ja työturvallisuuteen liittyvien tehtävien käsittelymahdollisuudet osana rakentamisen 4D-mallintamista.</p> <p>Tietomallipohjaisen turvallisuuden suunnittelun ja hallinnan tarpeita, ideoita ja mahdollisuuksia kartoitettiin kirjallisuudesta ja työpajoissa yhdessä teollisuuden edustajien kanssa. Hankkeessa tehtiin työmaan tietomallipohjaisen aluesuunnittelun testaus, jolla selvitettiin, kehitettiin ja demonstroitiin työmaatoteutukseen liittyvien tehtävien ja asioiden uusia esitystapoja, havainnollistamista ja mallinnusvälineiden käyttömahdollisuuksia. Tässä yhteydessä koottiin työmaaobjektikirjasto, joka sisältää työmaan mallintamiseen tarvittavia väliaikaisia työmaavarusteita GDL-objekteina. Kirjastoa käytettiin myös tietomallipohjaisen aluesuunnittelun pilottihankkeessa.</p> <p>Tietomallin käyttö liittyy turvallisuuden suunnittelun aiempaa tiiviimmin rakennushankkeen tuotannosuunnitteluun, tarjoaa perinteistä havainnollisempia työmaa-alueen käytön suunnitelmat sekä tukee kommunikointia ja viestintää, sekä siten edistää turvallisuutta. Turvallisuuden suunnittelun ja hallinnan tehtävät tulee kytkeä sekä 3D-mallintamiseen, että osaksi rakennuksen 4D-tuotannosuunnittelua. 4D on murros rakentamisen tuotannonohjauksessa ja samalla mahdollisuus sisällyttää turvallisuuden hallinta paremmin tuotantoprosessiin ja mahdollistaa turvallisuusjärjestelyjen visualisoinnin rakennushankkeessa eri ajan hetkinä. Keskeisiä jatkokehitystarpeita näyttäisivät olevan turvallisuussuunnittelun saaminen kattavammin mukaan tietomallipohjaiseen suunnittelu-rakentamisprosessiin, sekä mallinnusvälineiden kehittäminen paremmin turvallisuusnäkökulmaa palveleviksi.</p>		
Luottamuksellisuus	julkinen	
Tampere 12.3.2009 Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Markku Kiviniemi erikoistutkija	Hannu Koski, erikoistutkija	Heikki Kukko teknologiapäällikkö
VTT:n yhteystiedot VTT Tutkimus ja kehitys, Liiketoiminta- ja tuotantoprosessit, Tekniikankatu 1, Tampere		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) VTT arkisto, http://www.vtt.fi/proj/turvabim/ , http://www.vtt.fi/publications/index.jsp		
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>		

Tiivistelmä

TurvaBIM-tutkimushankkeen (Tietomalli työmaaprosessien turvallisuuden edistäjänä) päätavoitteena oli edistää ja kehittää tietomallitekniikan hyödyntämistä rakennusprojektien tuotannosuunnittelussa ja -ohjauksessa työturvallisuusnäkökulmasta. Keskeisiä kysymyksiä, joihin haettiin hankkeen aikana vastauksia, olivat tietomallinnuksen mahdollisuudet edistää rakennusalan työturvallisuutta, työmaan tietomallipohjaisen aluesuunnitelman käyttömahdollisuudet ja työturvallisuuteen liittyvien tehtävien käsittelymahdollisuudet osana rakentamisen 4D-mallintamista.

Tietomallipohjaisen turvallisuuden suunnittelun ja hallinnan tarpeita, ideoita ja mahdollisuuksia kartoitettiin kirjallisuudesta ja työpajoissa, joissa oli edustettuna aktiivinen joukko rakennusalan, tietomallinnuksen ja turvallisuuden asiantuntijoita. Turvallisuuden hallinnan keskeisiä haasteita rakennusalalla ovat putoamissuojaus, yleinen järjestys ja siisteys sekä riskinotto. Tietomallintamisen uskotaan tukevan erityisesti turvallisuussuunnittelua, yhteistyötä turvallisuusasioissa, perehdyttämistä ja tiedonvälitystä. Tietomallin käyttö liittyy turvallisuuden suunnittelun aiempaa tiiviimmin rakennushankkeen tuotannosuunnitteluun, tarjoaa perinteistä havainnollisemmat työmaa-alueen käytön suunnitelmat, tukee kommunikointia ja viestintää, sekä siten edistää rakennustyömaiden työturvallisuutta.

Hankkeessa tehtiin työmaan tietomallipohjaisen aluesuunnittelun testaus esimerkkikohteen arkkitehtimallia ja 2D-aluesuunnitelmaa käyttäen. Tutkimushankkeessa mallinnettiin työmaa-alue sekä kohteen lähiympäristöä. Testauksella selvitettiin, kehitettiin ja demonstroitiin työmaatoteutukseen liittyvien tehtävien ja asioiden uusia esitystapoja, havainnollistamista ja mallinnusvälineiden käyttömahdollisuuksia. Tässä yhteydessä koottiin 3D-töymaaobjektikirjasto, joka sisältää työmaan mallintamiseen tarvittavia väliaikaisia työmaavarusteita GDL-objekteina. Kirjastoa käytettiin Case-testauksen jälkeen myös rakentamisvaiheessa olleen pilottikohteen tietomallipohjaiseen aluesuunnitteluun. BIM-aluesuunnitelmaa voidaan käyttää esimerkiksi halutunlaisien 3D-näkymien tuottamiseen työmaasuunnitelmasta, kulkuteiden ja vaara-alueiden sekä väliaikaisten työmaajärjestelyjen visualisointeihin, työmaahan tutustumista tukevien animaatioiden tuottamiseen sekä perinteisten piirustusten ja määrätietojen tuottamiseen.

Tutkimusryhmä vakuuttui hankkeen aikana siitä, että turvallisuuden suunnitteluun ja hallintaan liittyvät tehtävät tulee kytkeä sekä 3D-mallintamiseen että osaksi rakennuksen 4D-tuotannosuunnittelua, jonka käyttöä ollaan nyt aloittamassa. 4D-tuotannosuunnittelu on murros rakentamisen tuotannonohjauksessa ja samalla mahdollisuus sisällyttää turvallisuuden hallinta paremmin tuotantoprosessiin. Turvallisuuden hallinnan näkökulmasta 4D mahdollistaa turvallisuusjärjestelyjen visualisoinnin rakennushankkeessa eri ajan hetkinä. Tätä puolestaan voidaan hyödyntää työmaapalavereissa, katselmuksissa, tuotannon suunnittelupalavereissa ja työmaahan perehdyttämisessä sekä päivittäisessä turvallisuusviestinnässä ja muuttuvien tilanteiden hallinnassa. Keskeisiä jatkokehitystarpeita näyttäisivät olevan turvallisuussuunnittelun saaminen kattavammin mukaan tietomallipohjaiseen suunnittelu-rakentamisprosessiin sekä mallinnusvälineiden kehittäminen siten, että ne paremmin palvelisivat myös turvallisuustarpeita.

Lisää tietoa hankkeesta <http://www.vtt.fi/proj/turvabim/>

Abstract

The main objective of the TurvaBIM research project (Building Information Model (BIM) promoting safety in the construction site process) has been to encourage and develop utilization of BIM technology in construction planning and management - from the viewpoint of occupational safety. The key questions have been the potential of BIM technology to promote occupational safety in construction sector, possibilities of an BIM based site layout plan, and possibilities of 4D modelling in safety related activities planning and management.

Needs, ideas and opportunities of BIM based safety planning and management were collected from literature and in workshops, where construction, BIM and safety experts were represented. Major challenges related to occupational safety in the construction industry are falling protection, a general order at site and risk management. Building information modelling is believed to support especially the safety planning, cooperation in safety, orientation of the staff and communication. Building information modelling links safety planning more closely to the production planning and enables more illustrative site plans which supports communication in construction project and promotes occupational safety at site.

A site layout modelling test was carried out using the architectural model and the traditional 2D site plan of a case project. The site and immediate surroundings were modelled in the modelling test. As a result, new ways of representing and visualizing construction site operations were developed and potential of modelling tools demonstrated. The 3D site object library was created including temporary structures and equipments needed in site operations, as GDL-objects. The library was tested in an ongoing BIM based site planning pilot project also. A BIM based site plan can be used e.g. to produce various 3D site views, virtual site routes, visualizing dangerous areas or temporary site structures and arrangements. Also a 2D site plan and bill of quantities concerning temporary site facilities can be produced from a BIM based site plan.

The research team became convinced that the tasks related to safety design and management are to be connected to the building information modelling process and to a part of the 4D production planning, which utilization is now being started. 4D production planning is changing remarkable the construction production management and is an opportunity to integrate safety management more intensively in the construction process. From the viewpoint of occupational safety, 4D production model enables visualization of safety arrangements in construction project in different time moments. This can be used for communication in the production planning meetings, in auditing site status and plans, in site orientation as well as day-to-day safety communications and controlling changing situations. The further development is needed related to modelling tools and to broaden the use of BIM based safety planning in the design-build process.

For more information <http://www.vtt.fi/proj/turvabim/>

Alkusanat

TurvaBIM–tutkimushanke (Tietomalli työmaaprosessien turvallisuuden edistäjänä) käynnistettiin päätavoitteena kehittää tietomallitekniikan hyödyntämistä rakennusprojektien tuotannosuunnittelussa ja -ohjauksessa työturvallisuuskokemuksista. Tietomallin käytöstä ja mahdollisuuksista turvallisuuden hallinnan edistämiseen on vielä niukasti aiempaa tutkimusta ja kokemusta. Sen sijaan tietomallintamisen hyödyistä rakennuksen suunnittelu- ja tuotannosuunnitteluprosessissa on saatu runsaasti hyviä kokemuksia.

Hankkeen tutkimusryhmään ovat kuuluneet tutkija Tarja Mäkelä ja tutkija Kristiina Sulankivi sekä erikoistutkija Markku Kiviniemi VTT Tampereelta. Hanke on toteutettu 10/07-2/09 välisenä aikana ja projektipäällikkönä ovat toimineet Tarja Mäkelä (10/08–11/09) sekä Markku Kiviniemi (11/08–2/09).

Hankkeen ovat rahoittaneet Työsuojelurahasto (TSR), VTT ja Skanska. Hanketta on ohjannut ohjausryhmä, johon ovat kuuluneet Skanska Oy:stä turvallisuuspäällikkö Antti Leino (puheenjohtaja), Työsuojelurahastosta tutkimusasiamies Ilkka Tahvanainen, Rakennusteollisuus RT ry:stä asiamies Reijo S. Lehtinen sekä VTT:ltä tutkimusprofessori Arto Kiviniemi ja tutkimusprofessori Veikko Rouhiainen. Tutkimustyö on tehty VTT:llä. Tutkimushankkeessa on tehty aktiivista yhteistyötä yritysedustajien kanssa ohjausryhmätyöskentelyn lisäksi myös mallinnustestauksissa ja ideointi-työpajoissa.

Lämpimät kiitokset ohjausryhmän jäsenille ja kaikille työpajoissa mukana olleille eri alojen asiantuntijoille aktiivisesta osallistumisesta hankkeeseemme!

Tampereella maaliskuussa 2009

Tekijät

Käytetyt käsitteet

Aluesuunnittelu: Tuotannosuunnittelun tehtävä, jossa työmaatoiminnot ja niiden vaatimat järjestelyt suunnitellaan mahdollisimman sujuviksi rakentamisen eri vaiheissa /28/.

Aluesuunnitelma, työmaasuunnitelma, työmaan järjestelypiirros: Kirjallinen esitys siitä, miten työmaatoiminnot sijoitetaan rakennuspaikalla. Aluesuunnitelmaa ylläpidetään hankkeen edetessä ja siitä tulostetaan yksityiskohtaiset suunnitelmat rakentamisen eri vaiheita ja tehtäviä varten /28/. (Vrt. Tietomallipohjainen aluesuunnitelma, BIM-aluesuunnitelma)

BIM (Building Information Model, suom. rakennuksen tietomalli): Rakennuksen ja rakennusprosessin elinkaaren aikaisten tuotetietojen kokonaisuus /15/. Käytännössä tietomallilla tarkoitetaan tyypillisesti kolmiulotteista kuvausta suunnitellusta rakennuksesta, sen sisältämistä rakennusosista ja ominaisuuksista. Tietomalli voi sisältää rakennusosien geometrian ja sijaintitiedon lisäksi paljon erilaista ominaisuustietoa, ja rakennuksien lisäksi myös tontin ja muuta ympäristöä. Lisäksi mallin osiin voidaan liittää esim. rakentamisjärjestys ja aikataulutieto, jolloin puhutaan 4D-tietomallista (vrt. 4D).

IFC (Industry Foundation Classes): Tuotetietojen siirron kansainvälinen spesifikaatio ("standardi"), jonka sovellusalue on rakentaminen ja kiinteistönpito. Tiedonsiirron spesifikaationa IFC määrittelee yksittäisistä sovelluksista riippumattoman muodon tuotetiedoille, jossa muodossa tiedot siirretään sovellusten kesken. /15/

Parametrinen objekti tai komponentti: Objektit ja komponentit ovat mallinnusohjelmassa käytettäviä ja mallintamista helpottavia valmiita kuvauksia tai aihioita rakennusosista. Tyypillisiä esimerkkejä parametrisista objekteista ja komponenteista ovat ikkunat, ovet, kalusteet ja rakennesuunnitelmien liitoskomponentit, mutta kyse voi olla myös isommista suunnitelmakokonaisuuksista. Parametrisuus tarkoittaa, että objekti on ominaisuuksiltaan konfiguroitavissa eli muunneltavissa eri käyttötarkoituksiin esim. materiaalien, mitoituksen ja lisävarusteiden tai muiden ominaisuuksien suhteen. Parametrisuuden ansiosta samaa objektiä voidaan käyttää eri suunnitelmissa ja esim. hyvin erilaisia ikkunoita voidaan mallintaa säätämällä yksittäistä ikkunaobjektia.

Putoamissuojaussuunnitelma: Pää toteuttajan rakennustyömaalle laatima suunnitelma, joka sisältää periaateratkaisut keinoista putoamisvaarojen torjumiseksi.

Renderointi: Tietomallista tuotettuja näkymiä voidaan visualisoida esitystarkoituksiin mallinnusohjelman renderointitoiminnoilla tai erillisellä visualisointiohjelmalla. Renderointi voidaan ajatella "älykkääksi väritykseksi", jolla suunnitelmasta tuotettu näkymä pyritään värittämään mahdollisimman todellisen näköiseksi esim. pintamateriaalien ja valaistuksen suhteen. Suunnitelmaan voidaan myös liittää taustakuva. Lopputulos on tyypillisesti fotorealistinen kuva, eli mahdollisimman todennäköinen kuva suunnitellusta lopputuloksesta esim. arkkitehdin ja tilaajan välisiin keskusteluihin. Myös luonnospiirustusta jäljittelevä renderointi on mahdollista. Tyylistä riippumatta lopputulos on erillinen kuvatiedosto.

Riskinarviointi: Laaja-alaista ja järjestelmällistä vaarojen tunnistamista ja niiden merkityksen (haitan vakavuus ja todennäköisyys) arvioimista.

Simulointi: Simulointi on todellisuutta vastaavan mallin rakentamista ja kokeiden tekemistä tällä mallilla. Kokeiden tarkoituksena on ymmärtää joko mallia itseään tai mallin toimintaa tiettyjen parametrien mukaan. /12/

Tietomallinnus: Tietomallintaminen on kokonaisvaltainen tapa hallita rakennushankkeen tietoja digitaalisessa muodossa. Tietomallin avulla suunnittelussa, toteuttamisessa, käytössä sekä ylläpidossa tarvittava tieto on hallittavissa paremmin kuin perinteisiä piirustuksia käytettäessä. Piirustukset on tarkoitettu ihmisten luettavaksi, tulkittaviksi ja ymmärrettäviksi. Tietomallimuotoinen tieto on tarkoitettu ihmisten lisäksi tietokoneohjelmien ja tietojärjestelmien luettavaksi ja tulkittavaksi /46/. Tietomallinnusprosessin tuloksena saadaan rakennuksen tietomalli (BIM), joka sisältää geometria-, sijainti- ja maantieteellistä tietoa sekä määrä- ja ominaisuustietoa /48/.

Tietomallipohjainen aluesuunnitelma (BIM-aluesuunnitelma): Tietomallipohjainen aluesuunnitelma on mallintamalla tuotettu työmaan aluesuunnitelma, josta käytetään raportissa myös lyhennettä BIM-aluesuunnitelma. Tietomallitekniikan käyttö tuo työmaasuunnitteluun vastaavat muutokset ja mahdollisuudet kuin rakennuksenkin mallintavaan suunnitteluun, muuttaen suunnitelmien geometriatiedon kolmiulotteiseksi ja mahdollistaen suunnitelmien tietosisällön kehittämisen sekä rutiinien koneellisen käsittelyn ja automatisoinnin.

Turvallisuussuunnitelma (työturvallisuussuunnitelma): Pää toteuttajan laatima kirjallinen työturvallisuutta koskeva suunnitelma ennen rakennustöiden aloittamista, jossa on mm. huomioitu rakennuttajan antaman turvallisuusasiakirjan tiedot ja turvallisuussäännöt (VNp 629/1994, VNa 702/2006 7 §). Turvallisuussuunnitelman avulla varmistetaan eri töiden ja työvaiheiden tekeminen ja ajoitus niin, että ne voidaan tehdä aiheuttamatta vaaraa työmaalla työskenteleville tai työn vaikutuspiirissä oleville. Turvallisuussuunnitelma voi olla osa muita suunnitteluasiakirjoja. Turvallisuussuunnitelma perustuu vaara- ja haittatekijöiden tunnistamiseen. Turvallisuussuunnitelmia ovat myös muut työmaan turvallisuuteen liittyvät erityiset suunnitelmat, kuten pölyntorjuntasuunnitelma, putoamissuojaussuunnitelma, työmaan liikennejärjestelysuunnitelma tai toimintasuunnitelmat onnettomuuksien varalta.

Turvallisuussuunnittelu: Turvallisuussuunnitteluun kuuluvat mm. työmaa-alueen käytön suunnittelu (VNp 629/1994 8 §), vaarallisten töiden ja työvaiheiden suunnittelu (VNp 629/1994, liite 2), ennen rakennustyön alkua tapahtuva turvallisuuden varmistamiseksi tehty suunnittelu (mm. VNp 629/1994 7 §, 16-23 §) ja mahdollinen vaara- ja haittatekijöiden arviointi sekä niiden poistamiseen liittyvien suunnitelmien ja muiden toimenpiteiden laatiminen.

Turvallisuuden hallinta: Toiminnan organisointia, suunnittelua ja toimeenpanoa sekä toteutuksen seuranta turvallisuujohtamisen keinoin.

Turvallisuusjohtaminen: Kokonaisvaltainen turvallisuuden hallinta, joka luo edellytykset terveelliselle ja turvalliselle työlle, ja jossa yhdistyy sekä menetelmien ja toimintatapojen että ihmisten johtaminen.

4D: $4D = 3D + \text{aika}$, eli aika-ulottuvuuden linkittämistä 3D-mallin rakennusosa- ja tilaoloihin. Aika-ulottuvuus voi kuvata esim. rakennusosien asennuksen ajankohtaa, jolloin 4D-simuloinnilla voidaan visualisoida rakentamisen etenemistä ajassa. /15/

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	2
Abstract	3
Alkusanat.....	4
Käytetyt käsitteet	5
Sisällysluettelo.....	8
1 Johdanto.....	9
1.1 Lähtökohta ja tausta.....	9
1.2 Tutkimuksen tavoitteet	10
1.3 Tutkimusmenetelmät.....	10
2 Työturvallisuuden hallinta rakennusprosessissa.....	12
2.1 Työturvallisuuden haasteet rakennusalalla	12
2.2 Turvallisuuden suunnittelu	15
2.3 Esimerkkejä tietojärjestelmien käytöstä turvallisuuden hallinnassa	21
3 Tietomallinnus	25
3.1 Yleistä tietomallinnuksesta.....	25
3.2 Tietomallintamisen nykytilanne	25
3.3 Mallinnusvälineet	27
4 Työmaan tietomallipohjainen aluesuunnittelu	30
4.1 Työmaan aluesuunnitelman laatiminen yleisesti.....	30
4.2 Työmaasuunnittelun 3D-komponentit	33
4.3 BIM-aluesuunnittelun demonstraatio, Case Ankkahovi.....	37
4.3.1 BIM-aluesuunnitelman laatiminen esimerkkikohteeseen	37
4.3.2 Tietomallipohjaisen aluesuunnitelman käyttömahdollisuuksia	40
4.4 Kokemuksia tietomallipohjaisesta aluesuunnittelusta	44
5 Tietomallin muita käyttömahdollisuuksia turvallisuuden hallinnassa.....	49
5.1 4D ja turvallisuus.....	49
5.2 Projektin aikana ideoituja tietomallintamisen käytötapoja	54
6 Tulosten arviointi	62
6.1 Tietomallintamisen hyödyt turvallisuuden suunnittelussa ja hallinnassa	62
6.2 Jatkokehityshaasteita ja mahdollisuuksia	65
7 Johtopäätökset	68
Lähdeluettelo	72

1 Johdanto

1.1 Lähtökohta ja tausta

Suomi on maailman kärkimaita rakentamisen tietomallitekniologian kehittämisessä ja käyttöönotossa. Viimeisen kymmenen vuoden kuluessa tietomallipohjainen suunnittelu on muuttunut yksittäisistä kokeiluista ja pilottiprojekteista käytännön toiminnaksi rakentamisen eri suunnittelualoilla. Siirtyminen 2D-suunnitelmadokumenteista 3D-tietomalleihin ei ole vielä täysin kattavasti toteutunut, mutta se tulee toteutumaan lähivuosina kaikissa merkittävässä ammattimaisesti toteutetuissa rakennushankkeissa. 2D-piirustuksia tarvitaan jatkossakin, mutta niiden pohjana on tietomallisuunnitelma.

Suunnittelun muuttuminen tietomallipohjaiseksi luo suuria mahdollisuuksia kehittää ja parantaa myös muita rakennustuotannon prosesseja. Kolmiulotteinen suunnitelma havainnollistaa sisällön paremmin kuin perinteiset piirustukset ja erilaiset visualisoinnit ovat olleet ensimmäinen näkyvä osa tietomallintamista. Toinen tärkeä kehitysmahdollisuus sisältyy tietomallin informaatioon, jota voidaan tulkita monin osin automaattisesti esim. määrälaskennassa, hankinnoissa ja tuotannosuunnittelussa.

Myös työturvallisuuden suunnittelu- ja hallintamenetelmiä voidaan parantaa tietomallipohjaisten suunnitelmien avulla. Samalla uuden teknologian käyttöönotto on aina myös mahdollisuus muuttaa rakentamisen totuttuja toimintaprosesseja ja turvallisuusnäkökulma tulee pyrkiä sisällyttämään entistä kiinteämmäksi osaksi muuta tuotannonhallintaa. Perinteinen rakennustyön turvallisuuden ohjaus on perustunut monin osin viranomaisvaatimuksiin, mikä on johtanut myös niiden mukaisiin erillisiin suunnittelunäkökulmiin ja toimintatapoihin. Asenteet ovat kuitenkin alalla muuttumassa, kun yritysten johto vaatii parantamaan turvallisuustasoa ja se johtanee myös lisäpanostuksiin turvallisuuden hallinnassa.

Rakennusalan työturvallisuuskehitys on isojen yritysten osalta edistynyt viime vuosina positiivisesti. Rakennusosalalle on syntynyt esimerkillisiä toimintatapoja ja menettelyjä, mutta rakennusalan yleinen työturvallisuustilanne ei ole kehittynyt edistyksellisten yritysten tahtiin, vaan yleiset tapaturmatilastojen luvut ovat edelleen erittäin korkeat. Suuret yritykset toimivat kuitenkin esimerkkeinä kehityksessä.

Rakennusyrietykset ovat olleet keskeisiä toimijoita tietomallitekniologian käyttöönotossa ja pilotoinnissa. Suunnittelun lisäksi ne ovat testanneet teknologiaa tuotannosuunnittelussa ja seuraava tietomallitekniikan kehitysaskel tulee koskemaan tietomallien laajaa hyödyntämistä tuotannon eri tarpeisiin. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että teknologian soveltaminen turvallisuuden ohjauksessa jäisi vain rakennusliikkeiden tehtäväksi vaan tietomalli on nähtävä osaltaan mahdollisuutena parantaa rakennushankkeen kaikkien osapuolten osallistumista turvallisen tuotannon aikaansaamiseksi.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimushankkeen päätavoitteena oli kehittää tietomallitekniologian hyödyntämistä rakennusprojektien tuotannosuunnittelussa ja -ohjauksessa työturvallisuusnäkökulmasta.

Osatavoitteita olivat:

1. Selvittää, kuinka tietomallipohjaisessa rakennussuunnittelussa ja rakentamisen tuotannosuunnittelussa otetaan huomioon työturvallisuuteen liittyvät tekijät tällä hetkellä, sekä arvioida mitä uusia tietomallitekniologian mahdollisuuksia työturvallisuuden edistämiseen olisi käytettävissä lyhyellä ja pidemmällä aikavälillä.
2. Demonstroida rakennuksen tietomalliin perustuvaa työturvallisuusasioiden suunnittelua, testaamalla todellisen Case-kohteen aineistolla työmaan kolmiulotteisen aluesuunnitelman käyttömahdollisuuksia sekä työturvallisuuteen liittyvien tehtävien käsittelyä osana rakentamisen 4D-mallintamista.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimushankkeessa käytettyjä tutkimusmenetelmiä ovat olleet kirjallisuustutkimus, asiantuntijahaastattelut, käytännön tietomallinnus ja työpajoina toteutettu ryhmätyöskentely.

Tutkimushankkeen alkuvaiheessa selvitettiin tietomallien käyttöä ja tutkimusta turvallisuuden suunnittelussa ja hallinnassa, sekä tähän tarkoitukseen tarjolla olevia tietomallipohjaisia ohjelmia, palveluja ja komponenttikirjastoja. Tutkimusmenetelminä käytettiin **kirjallisuustutkimusta ja asiantuntijahaastatteluja**. Käytännössä tietoa ja aineistoja etsittiin pääasiassa Internetistä ja henkilöhaastatteluilla. Haastatteluissa ja keskusteluissa on ollut mukana ohjelmistotalojen ja urakoitsijoiden edustajia, suunnittelijoita sekä tutkijoita.

Kirjallisuustutkimusta käytettiin myös rakennusalan työturvallisuuteen liittyvien tuotannosuunnittelua ja -ohjausta tukevien tietomallitekniologian käyttömahdollisuuksien alustavaan kartoitukseen ja ideointiin. Mahdollisuuksia ja ideoita selvitettiin tämän jälkeen perusteellisemmin asiantuntijoille suunnatulla työpaja-työskentelyllä.

Tietotekniikan ja sen käytön kartoituksen jälkeen tutkimushankkeessa kehitettiin rakennustyömaan tietomallipohjaista aluesuunnittelua toteuttamalla **käytännön mallinnustestauksia ja demonstraatioita sekä kehittämällä tietomallipohjaisen aluesuunnittelun komponenttikirjastoa**. Testauksessa käytettiin todellisissa rakennushankkeissakin käytössä olevaa mallinnusohjelmaa ja laadittiin yksinkertaistetut 3D-komponentit, jotka kuvaavat esim. rakennustyössä tarvittavia välineitä, kalustoa ja väliavarastointia. Tutkimushankkeessa luotujen, kerättyjen ja muokattujen työmaaobjektien sekä urakoitsijalta saadun päättyneen rakennuskohteen datan avulla tehtiin työmaan BIM-aluesuunnittelun esimerkkimallinnus.

Käytännön mallinnusta tehtiin myös työturvallisuustehtävien 4D-mallinnus- ja visualisointitestauksen yhteydessä, sekä lisäksi tutkimushankkeen resursseilla osittain valmistellun rakennustyömaan tietomallipohjaisen aluesuunnittelun pilottihankkeessa. Pilotointi toteutettiin tämän tutkimuksen rinnalla erillisbudjetilla ja pilotoinnista vastasi urakoitsija, mutta tämän tutkimushankkeen tutkijat ovat osallistuneet pilotissa tehtyyn tietomallintamiseen ja pilottihankkeen seurantaan. Käynnissä olevassa rakennushankkeessa testattiin tietomallipohjaista aluesuunnittelua sekä työmaan uusia esitystapoja ja visualisointimahdollisuuksia. Lisäksi tutkimushankkeessa laadittua objektikirjastoa testattiin ja täydennettiin.

Hankkeessa järjestettiin kaksi työpajaa, joissa rakennusalan eri tehtävissä toimivat asiantuntijat yhdessä pohtivat tietomallitekniikan mahdollisuuksia rakennushankkeiden työturvallisuuden edistämässä. Ensimmäinen työpaja järjestettiin tammikuussa 2008, päätavoitteena muodostaa yhteinen näkemys siitä, miten tietomallinnus voisi edistää rakennushankkeen turvallisuutta. Tietomallin hyödyntämismahdollisuuksia ideoitiin riskienhallintaan, turvallisuussuunnitteluun, koulutukseen ja perehdyttämiseen sekä valvontaan ja tarkastuksiin liittyvien tehtävien tukena. Työpajaan osallistui yhteensä 21 henkilöä ja mukana oli tutkijoiden lisäksi urakoitsijoiden ja ohjelmistotalojen edustajia sekä joitain suunnittelijoita ja mallintajia.

Toinen työpaja järjestettiin marraskuussa 2008 ja sen tavoitteena oli kehittää BIM-aluesuunnittelua TurvaBIM-hankkeessa saatujen tulosten jälkeen eteenpäin ja ideoida rakennustyömaan tietomallipohjaista tuotannonsuunnittelua turvallisuusnäkökulmasta. Käsiteltyjä aiheita olivat tietomallipohjaisen aluesuunnittelun työvälineet, työmaasuunnittelun komponenttikirjaston sisältö, kone- ja kalustopalvelut, osaaminen ja sen organisointi sekä turvallisuuden liittäminen 4D-suunnitteluun. Tilaisuuteen osallistui yhteensä 23 henkilöä, jotka edustivat pääasiassa rakennusliikkeitä, mutta mukaan saatiin edustajat myös rakennesuunnittelusta, konevuokrauksesta ja suojalaittevalmistuksesta. Urakoitsijoiden osalta molemmissa työpajoissa oli sekä tuotantotietämystä että rakennusalan työturvallisuuden hallintaa edustavia henkilöitä. Työpajojen keskeiset tulokset kuvataan kohdassa 5.2.

2 Työturvallisuuden hallinta rakennusprosessissa

2.1 Työturvallisuuden haasteet rakennusalalla

Työturvallisuuden haasteena rakennusalalla on edelleen korkea tapaturmataajuus. Tapaturma vaikuttaa aina työmaan toimintaan ja aiheuttaa sekä välittömiä että välillisiä kustannuksia. Tapaturmien torjunnassa haasteina ovat työmaan hyvä järjestys, työmaan ja töiden suunnittelu, tiedonvälitys sekä asenteisiin vaikuttaminen. /44/, /32/, /43/

Turvallisuutta hallitaan turvallisuusjohtamisen keinoin. Turvallisuusjohtaminen kohdistuu sekä asioiden johtamiseen (management) että ihmisten johtamiseen (leadership). Rakennusalalla turvallisuusjohtamisen keskeisiä asioita ovat turvallisuusasenne ja riskinottoon puuttuminen, yhteistyö, turvallisuuden seuranta, yhteiset pelisäännöt ja turvallisuusohjeet sekä riskinarviointi ja turvallisuussuunnittelu.

Turvallisuusasenne

Turvallisuusasenteella on keskeinen vaikutus siihen, miten jokainen yksilö todellisuudessa toimii työtilanteissa ja millaisia valintoja tekee. Hyvää turvallisuusasennetta tulee vahvistaa ja huonoa turvallisuusasennetta tulee pyrkiä parantamaan motivoimalla turvallisista suorituksista palautteella. Hyvän palautteen tunnusmerkkejä ovat positiivisuus, varmuus, nopeus ja omakohtaisuus. Palautekäytännön toimivuuden edellytyksenä on, että palautteen saaja kokee omien toimiansa yhteyden palautteeseen. Palaute negatiivisestakin asiasta on toimiva keino, kun tiedostetaan selkeä syy-yhteys.

Hyviä motivointikeinoja:

- rakennustyömaan keskeisiä työympäristökijöitä sekä työskentelytapoja seurataan säännöllisesti ja toiminnasta annetaan näkyvä palaute kaikille (TR/MVR-indeksi)
- viikkotarkastuspöytäkirjaan kirjataan myös positiivisia havaintoja työpisteistä ja turvallisuudesta
- kokouspöytäkirjoihin kirjataan työturvallisuusnäkökulmasta esimerkillisesti hoidettuja asioita
- työmaalla sattuneista työtapaturmista annetaan nopeasti asiallista tietoa
- työmaalla seurataan yhtäjaksoista tapaturmattomien päivien lukumäärää
- työnjohto antaa välitöntä palautetta hyvistä turvallisuussuorituksista (esim. oikeiden työtapojen noudattaminen, henkilönsuojainten ja suojalaitteiden käyttäminen)
- työmaalla palkitaan säännöllisesti esimerkillisistä turvallisuusasioissa toimineet henkilöt ja yritykset
- tilaajan, projektijohdon ja yritysjohtajan edustajat tekevät säännöllisiä työmaakierroksia, joilla he keskustelevat työmaahenkilöstön kanssa myös turvallisuusasioista

- jokainen työmaalla liikkuva tilaajan, projektin tai yritysten edustaja käyttää asianmukaisia henkilösuojaimia ja huomioliiviä (pelisäännöt)
- työmaan turvallisuutta seurataan jatkuvasti ja seuranta on näkyvää
- turvallisuusrikkomuksiin puututaan välittömästi ja puutteet korjataan mahdollisimman pikaisesti
- turvallisuussäännöt ja niihin liittyvät rangaistusmenettelyt käsitellään kaikkien kanssa työmaan perehdyttämistilaisuudessa. /22/

Riskinottoon puuttuminen

Riskinotto voi olla tietoisista tai tiedostamatonta turvallisuuden vaarantamista. Riskinotto liittyy työmaalla tilanteisiin, joissa on mahdollista käyttää vaihtoehtoisia ratkaisuja. Tiedostetun riskinotolla haetaan jotain hyötyä ja perusteluina on usein tiukka aikataulu, kiire, lyhytkestoinen työ jne. Tiedostamattoman riskinoton taustalla on puutteet osaamisessa, tiedoissa ja taidoissa, perehdyttämisessä, koulutuksessa ja tiedonvälityksessä.

Riskinottotilanteisiin tulee aina puuttua tiukasti, mutta asiallisesti ja selvittää keskusteluissa syyt riskinottoon. Näkyvä puuttuminen kaikkeen riskinottoon osoittaa, että turvallisten työtapojen noudattamista pidetään ehdottomana käytäntönä. Työmaan turvallisen toiminnan pelisäännöt tulee olla sellaiset, että niiden mukaan voidaan työmaalla toimia käytännössäkkin. Oleellista on, että pelisäännöt ovat kaikkien tiedossa, sillä ne luovat perustan puuttua riskinottoon. Pelisäännöissä tulee myös määritellä toimintatavat rangaistuskäytäntöihin, jotka otetaan käyttöön, kun joku toistuvasti rikkoo pelisääntöjä. /22/

Työnjohto tekee päivittäistä seuranta työmaalla ja osoittaa omalla jokapäiväisellä toiminnallaan ja omalla esimerkillään, ettei riskinotto ole sallittua ja puuttuu välittömästi havaitsemiinsa puutteisiin. Työnjohdon jatkuva vuorovaikutus alaistensa kanssa sekä positiivisen palautteen antaminen turvallisista toimintatavoista ennaltaehkäisee riskinottoa.

Yhteistyö

Rakennusprojekteissa kaikki toiminta perustuu yhteistyölle. Rakennuttaja on keskeinen yhteistyön koordinoija ja tiedonvälittäjä. Yhteistyö edellyttää selkeitä tehtäviä ja toimintatapoja, vastuiden määrittelyä ja yhtenäistä vastuuketjua sekä aktiivista tiedon välittämistä. Toimiva yhteistyö takaa myös toimivan toteutusprosessin ja lopputuloksen. /30/

Rakennustyömaalla päätoteuttajan vastuulla on töiden ja työvaiheiden yhtensovittaminen sekä tiedonvälitys. Toimivat yhteistyökäytännöt tukevat kaikkia työmaatoimintoja ja luovat työmaalle hyvän ilmapiirin. Turvallisuuden kannalta kriittisistä ja yhtensovittamista vaativista asioista sovitaan yhteisesti riittävän ajoissa. Yhteisellä työmaalla on monia toimintoja, joiden yhtensovittamisesta on hyvä sopia päätoteuttajan johdolla, kuten töiden aikataulut, asennus- ja työjärjestelyt, vastuut ja vastuiden rajautuminen, yhteiset toimintatavat (esim. vaaroista ilmoittaminen, ilmoitukset aikataulumuutoksista), yhteisten laitteiden ja välineiden käyttö (esim. telineet, nostolaitteet, valaistus, sähköt) ja muille vaaraa aiheuttavat toiminnot /22/.

Työmaan turvallisuuden varmistaminen vaatii aina hyvää yhteistyötä sekä yritys- että henkilötasolla. Päätoittajalla on tässä suurin vastuu, mutta yhteistoimintavelvoite koskee kaikkia osapuolia. Yhteistoimintavelvoite kattaa niin ohjeiden ja sääntöjen noudattamisen kuin monisuuntaisen tiedonvälityksenkin. Työmaan turvallisuustavoitteet ja vaatimukset sekä menettelyohjeet luovat turvallisuudelle perustan. Tärkeää on luoda turvallisuudesta yhteinen käsitys, johon kaikki osapuolet sitoutuvat.

Turvallisuusohjeet

Valmisteilla olevassa rakennustyön turvallisuutta koskevassa Valtioneuvoston asetuksessa lisätään mm. rakennuttajan velvoitteita. Rakennuttajan on laadittava rakennustyön toteutusta varten kirjalliset turvallisuussäännöt ja menettelyohjeet. Turvallisuussäännöissä määritellään turvallisuushallinnan tavoitteet ja toimenpiteet sekä ohjeita mm. turvallisuusseurantaan, tarkastuksiin ja turvallisuussuunnitelmien käsittelyyn. Päätoittaja noudattaa ohjeita ja sisällyttää niiden vaatimukset työmaakohtaisiin turvallisuussuunnitelmiin ja turvallisuusohjeisiin, välittää tiedot työntekijöille sekä valvoo osaltaan niiden noudattamista.

Turvallisuusohjeiden sisältöaiheita:

- yhteisen työpaikan järjestys, työmaaliikenne ja yleinen liikenne
- tupakointi ja tulitöiden tekeminen
- työmaasähkö ja sen käyttö
- työmaan suojelu- ja turvallisuussuunnitelmat sekä onnettomuustilanteiden toimintaohjeet
- vaaroista ja puutteista ilmoittaminen
- työjärjestys, ajoitus sekä muutokset
- yhteistyön ja -toiminnan yleiset menettelytavat ja säännöt
- työmaahan perehdyttäminen
- tiedonkulun ja töiden yhteensovittaminen
- tarkastustoiminta. /22/

Työmaan turvallisuusohjeet sisältävät yksityiskohtaisempia erityisiä ohjeita eri töistä ja vaaratekijöistä, joilla on vaikutus turvallisuuteen. Turvallisuusohjeisiin voidaan liittää muiden tahojen antamia turvallisuusohjeita, joilla on erityistä merkitystä rakennustyömaan turvallisuuden varmistamisessa. Työtehtäväkohtaisia turvallisuusohjeita sisältävät mm. Raturva-ohjeet /21/.

Turvallisuusseuranta

Turvallisuusseuranta ovat työmaalla tehtävät turvallisuuteen liittyvät tarkastukset, kuten työmaan viikoittaiset kunnossapitotarkastukset, kaluston vastaanottotarkastukset, telineiden ja nostokaluston käyttöönottotarkastukset. Päätoittajan vastuhenkilö vastaa tarkastustoiminnan organisoinnista työmaalla. Turvallisuusseurantaan liittyy työmaan turvallisuusvalvonta.

Peruseriaatteena on, että turvallisuus suunnitellaan etukäteen osana työvaiheiden ja töiden suunnittelua, toteutetaan ja tuloksia seurataan. Mikäli toimintaa halutaan ohjata, tulee sitä ensin seurata. Seurantatietoja käytetään sekä toiminnan ohjaukseen, henkilöstön motivointiin että tilastointiin. Toiminnan systemaattinen seuraaminen viestittää kaikille, että turvallisuus on tärkeä asia. /22/, /1/, /29/

Toiminnan tuloksellisuutta ja turvallisuuden tasoa voidaan seurantakeinojen avulla arvioida lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Turvallisuusseurantaa varten määritellään tavoitetaso, joka on kaikkien tiedossa. Seurannan apuna voidaan käyttää erilaisia seurantamittareita tai toistettavia menettelytapoja. Seuranta on sekä päivittäistä, jatkuvaa havainnointia että systemaattisia tarkastuksia, joissa käytetään lomakkeita ja tulokset dokumentoidaan. Tarkastuksilla on myös lakisääteinen perusta eli ne ovat pakollisia. Tällaisia tarkastuksia ovat mm. viikkotarkastukset, vastaanotto-, käyttöönotto- ja määräaikaistarkastukset. Keskeistä on, että havaitut puutteet korjataan mahdollisimman nopeasti. /47/, /33/, /23/ Tärkeää on myös tietää, mitä koneita ja laitteita työmaalla on käytössä. Tähän liittyy ali- ja sivu-urakoitsijoille kohdennettu velvoite ilmoittaa työmaalle tuomastaan koneesta tai laitteesta toimittamalla sen käyttöönottotarkastuspöytäkirja tiedoksi päätoteuttajalle /47/.

Turvallisuustason muutoksia ja turvallisuustoiminnan tuloksia voidaan seurata pidemmällä aikavälillä tilastoimalla mm. vahinkomääriä, tapaturmia, poissaoloja, kustannuksia jne. Tapaturmia vertaillaan käyttämällä tapaturmataajuutta, eli suhteuttamalla tapaturmamäärät tehdyn työn määrään. Sovituilla menettelyillä kerätään tietoa myös muista vahinko- tai läheltä piti -tilanteista. Tapahtuneet tapaturmat ilmoitetaan välittömästi työmaan johdolle ja kaikki tapaturmat myös tutkitaan. Näitä tietoja voidaan käyttää vastaavan kaltaisten tapaturmien ja vahinkotilanteiden ennaltaehkäisyyn sekä korjaustoimenpiteiden suunnitteluun.

2.2 Turvallisuuden suunnittelu

Turvallisuuden suunnittelu koskee rakennushankkeen kaikkia osapuolia. Turvallisuuden suunnitteluun osallistuvat sekä rakennuttaja, suunnittelijat, päätoteuttaja että urakoitsijat omalta osaltaan. Turvallisuussuunnittelun tuloksena on sekä erillisiä suunnitelmia että työvaihe- ja tehtäväsuunnitelmia, joiden sisällä on otettu huomioon töiden turvallinen toteutus ja muut turvallisuusnäkökulmat.

Hankkeen turvallisen toteutuksen suunnittelu alkaa kattavien lähtötietojen hankinnalla. Turvallisuusasiakirja on keskeinen turvallisuustietoja välittävä dokumentti, jota päivitetään koko rakennusprojektin ajan. Töiden turvallinen toteuttaminen tulee ottaa huomioon niin rakennus- kuin rakennesuunnittelussakin. Rakennustyön turvallisuus otetaan huomioon suunnittelun lähtötiedoissa, suunnittelijoiden valinnassa, suunnittelusopimusten sisällöissä, suunnitteluvaatimuksissa, suunnittelun koordinoinnissa ja ohjauksessa sekä suunnitelmien tarkastamisessa. Suunnittelijoiden tehtävissä tulee olla mukana selkeät turvallisuusvelvoitteet,

käytännön turvallisuustehtävät ja aikavaraus osallistumiselle riskien arviointiin. Suunnitteluratkaisujen tulee tukea turvallisten työmenetelmien valintaa työmaalla. Hyvä käytäntö on, että suunnittelijat tekevät yhteistyötä rakentajien kanssa turvallisen toteutuksen varmistamiseksi. /30/

Hyvä käytäntö on edellyttää suunnittelijaa tekemään laatimilleen suunnitelmille turvallisuustarkasteluja, vaarojen tunnistamista ja arviointeja tai muita turvallisuusselvityksiä. Hyvä tapa on myös vaatia suunnittelijoilta vaativista kohteista ja vaarallisista töistä (VNp 629/1994 liitteen 2 mukaiset työt) tarkempia työsuunnitelmia tai -ohjeita, esimerkiksi purettavista kantavista rakenteista purkus suunnitelmaa tai purkutyöselostusta. /33/

Turvallisuuden varmistaminen suunnitteluvaiheessa on rakennuttajan tehtävä. Rakennuttaja tarkastaa suunnitelmat ja varmistaa, että suunnittelija on tehnyt turvallisuuteen liittyvät toimeksiannon mukaiset tehtävät. Erityisesti tavallisuudesta poikkeavat ratkaisut ja rakenteet edellyttävät usein erityisosaamista, jota löytyy suunnittelijoilta. Työ-maalla ei välttämättä riitä osaaminen kaikkien suunnitteluratkaisujen turvallisen toteuttamisen varmistamiseksi tavanomaisen rakentamiskokemuksen tai hyvän rakentamiskäytännön pohjalta. /47/, /33/, /22/, /30/

Riskienarviointi ja turvallisuusasiakirja

Rakennushankkeessa rakennuttaja vastaa turvallisuusasiakirjan laadinnasta rakennustyön suunnittelua ja valmistelua varten. Turvallisuusasiakirjassa selvitetään ja esitetään rakennushankkeen ominaisuuksista, olosuhteista ja luonteesta aiheutuvat erityiset vaara- ja haittatekijät sekä rakennushankkeen toteuttamiseen liittyvät työturvallisuutta ja työterveyttä koskevat tiedot. Jokaisessa rakennushankkeessa selvitetään ja esitetään myös ne vaara- ja haittatekijät, jotka koskevat työturvallisuusmääräyksissä määriteltyjä vaarallisia töitä (VNp 629/1994 liite 2). /47/, /33/, /30/

Rakennuttaja pitää turvallisuusasiakirjan tiedot ajan tasalla koko rakennusprojektin ajan. Turvallisuusasiakirja liitetään hankkeen tarjouspyyntöasiakirjoihin jo suunnitteluvaiheessa. Rakennuttaja esittää turvallisuusasiakirjassa kyseisen kohteen tavanomaisesta poikkeavat vaarat, joiden poistamiseksi urakoitsijat suunnittelevat turvalliset työmenetelmät. /22/

Riskinarviointi luo pohjan kaikelle turvallisuussuunnittelulle. Riskinarvioinnin lähtökohtana ovat tarpeelliset tiedot kohteen ominaisuuksista, olosuhteista ja erityisesti rakentamisen aikaisista riskitekijöistä. Riskinarvioinnissa tunnistetaan systemaattisesti vaaratekijöitä, arvioidaan niiden riskitasot, suunnitellaan toimenpiteet vaaratekijöiden poistamiseksi tai niistä aiheutuvien riskien pienentämiseksi. Riskinarviointi tehdään yhteistyössä ryhmässä, osallistuvien henkilöiden määrä ja osaamistarve riippuvat työmaan vaativuudesta ja suuruudesta.

Riskinarviointi aloitetaan jo rakennushankkeen valmisteluvaiheessa (esim. HAVAT-menetelmällä) /33/. Riskinarviointi toistetaan rakennushankkeessa useita kertoja suunnitelmien täydentyessä ja muutostilanteissa. Tällöin suunnitelmat, muuttuneet työmenetelmät ja arvioinnit otetaan uudelleen tarkasteluun. /22/

Päätoteuttaja aloittaa riskinarvioinnin tuotannon yleissuunnitteluvaiheessa tunnistamalla työmaan vaaroja ja ottamalla ne huomioon, kun tehdään työmenetelmä- ja kalustopäätökset. Yleissuunnitteluvaiheessa laaditaan yleisaikataulun, työmaan aluesuunnitelman sekä valitsee päätyömenetelmät ja keskeisen käytettävän kaluston. Riskinarviointi voidaan toteuttaa esimerkiksi oppaan 'Työturvallisuusriskien arviointi rakennusyhtiössä' /45/ avulla. Mikäli vaaratekijää ei pystytä poistamaan suunnittelulla tai riskiä pienentämään hyväksyttävälle tasolle, siirretään kyseinen vaaratekijä tarkasteltavaksi tehtäväkohtaiseen arviointiin.

Yleissuunnitteluvaiheen riskinarvioinnissa:

- tarkastellaan rakennushankkeen yleisaikataulutehtäviä ja tunnistetaan niihin liittyvät vaarat,
- tunnistetaan kohteeseen liittyvät erityistä vaaraa sisältävät työt ja listataan ne tehtäväkohtaista arviointia vaativiin tehtäviin,
- tunnistetaan kohteen ympäristöstä johtuvat sekä työmaan yleiset vaarat,
- suunnitellaan toimenpiteet rakennuttajan turvallisuusasiakirjassa esitettyjen sekä itse tunnistettujen vaarojen poistamiseksi/pienentämiseksi,
- määritellään, miten ja/tai missä suunnitelmissa vaara otetaan huomioon. /30/, /22/, /33/

Turvallisuussuunnittelun periaatteet työmaalla

Työmaalla turvallisuusasiat ovat mukana kaikissa suunnitteluvaiheissa, yleissuunnittelusta työvaihesuunnitteluun erityisesti suunniteltaessa töiden ja työvaiheiden ajoitusta, kestoa ja niiden yhteensovittamista. Turvallisuussuunnittelu on yksi osa tuotannosuunnittelua, jolla varmistetaan, että työt ja työvaiheet voidaan tehdä turvallisesti ja aiheuttamatta vaaraa työmaalla työskenteleville tai muille työn vaikutuspiirissä oleville. Työmaan turvallisuussuunnittelun perustana ovat rakennuttajan turvallisuusasiakirjassa esittämät kohteen erityiset vaaratekijät sekä päätoteuttajan järjestelmällinen yleissuunnitteluvaiheen vaarojen tunnistaminen. Turvallisuussuunnitelmat otetaan huomioon myös aikataulusuunnittelussa, taloudellisissa suunnitelmissa, hankinnoissa, aliurakoitsijoiden ohjauksessa sekä työntekijöiden perehdyttämisessä /22/.

Päätoteuttaja vastaa työmaan turvallisuussuunnittelun toteuttamisesta. Päätoteuttaja tunnistaa ja arvioi erityisvaarojen lisäksi työtehtävistä, työolosuhteista ja työympäristöstä aiheutuvat rakennustyön yleiset vaara- ja haittatekijät. Päätoteuttaja tekee kirjallisesti työturvallisuutta koskevat suunnitelmat tarvittavassa laajuudessa sekä esittää työturvallisuutta koskevat suunnitelmat rakennuttajalle ennen rakennustyön aloittamista. Näitä ovat työturvallisuuden yleissuunnitelma, työmaa-alueen käytön suunnitelma sekä aloittavien töiden tarkat suunnitelmat. Hyvä käytäntö on, että päätoteuttajan tekee turvallisuussuunnittelua

yhteistyössä suunnittelijoiden, erikoisurakoitsijoiden, rakennuttajan, asiantuntijoiden, viranomaisten sekä muiden toimijoiden kanssa. Tietyt turvallisuussuunnitelmat tulee erikseen tarkastuttaa ja hyväksyttää (esim. rakennesuunnittelija tarkastaa purkutyö- ja elementtiasennussuunnitelman). /47/, /22/

Yleissuunnitteluvaiheen vaarojen tunnistuksen tuloksena laaditaan työturvallisuuden yleissuunnitelma eli kokonaiskuva tarkemman turvallisuussuunnittelun tarpeesta ja niistä tehtävistä joista laaditaan kirjalliset turvallisen toteutuksen sisältävät tehtäväsuunnitelmat. Työmaan turvallisuussuunnittelu sisältää työmaa-alueen käytön suunnitelman sekä turvallisuuteen liittyvät erityissuunnitelmat. Turvallisuusnäkökulma sisältyy myös kaikkeen tehtäväsuunnitteluun. Turvallisuustoimenpiteiden suunnittelu tarkentuu jatkuvan suunnittelun periaatteiden mukaisesti ja suunnitelmat tarkistetaan olosuhteiden muuttuessa. /22/

Turvallisuussuunnittelun sisältöön vaikuttavat sekä rakennettavan kohteen, tontin, lähiympäristön että rakennustyön ominaisuudet.

Työympäristöön liittyviä asioita:

- vaaraa aiheuttavat putkistot, kaapelit ja johtolinjat
- hyvän järjestyksen ylläpito työpisteissä ja materiaalin käsittelyssä eri rakennusvaiheissa
- maapohjan kantavuus ja kaivantojen tuenta
- rakennustyön aikainen sähköistys ja valaistus
- työmaaliikenne ja kulkutiet sekä yleinen liikenne.

Toteutukseen liittyviä yleisiä asioita:

- eri töiden ja työvaiheiden ajoitus ja kesto sekä niiden yhteensovittamisen järjestäminen rakennustyön edistyessä
- eri töiden ja työvaiheiden yhteensovittaminen rakennustyömaalla tai rakennustyön vaikutuspiirissä toteutettavan teollisen toiminnan, muiden vastaavien työtoimintojen ja yleisen liikenteen kanssa
- henkilönsuojainten käyttötarpeet ja käyttöajankohdat
- toiminta tapaturma- ja onnettomuustilanteissa.

Töihin ja työvaiheisiin liittyviä asioita:

- räjäytys-, louhinta- ja kaivutyöt
- työmenetelmät
- koneiden ja laitteiden käyttö
- nostot ja siirrot
- putoamissuojauksen toteuttaminen
- työ- ja tukitelinetyöt
- elementtien, muottien ja muiden suurten rakenteiden asennus
- purkutyöt.

Turvallisuussuunnittelun käytännöt

Peruseriaatteena on, että kaikessa työmaan suunnittelussa ja toteutuksessa otetaan huomioon toteutuksen turvallisuus. Turvallisuuksuunnittelu tehdään aina ennen töiden aloittamista kirjallisessa muodossa ja pidetään ajan tasalla tekemällä tarvittavat muutokset olosuhteiden muuttuessa. Turvallisuuksuunnitelmia tarkennetaan toteutussuunnitelmien täsmentyessä. Tavoitteena on tunnistaa tulevat tarpeet ja havaita muutostilanteet.

Työmaan turvallisuuden erillissuunnitelmat ovat luonteeltaan koko työmaata, useita työvaiheita ja eri toimijoita koskevia suunnitelmia. Tällaisia voivat olla esim. putoamissuojaus-, pölyntorjunta-, teline-, logistiikka- ja pelastussuunnitelma sekä liikennejärjestelyt /22/.

Työmaan tehtäväsuunnitteluun liittyy aina töiden turvallisen toteutuksen suunnittelu. Kirjalliset tehtäväsuunnitelmat laaditaan ainakin kaikista niistä töistä ja työvaiheista, joihin sisältyy erityisiä turvallisuus- ja terveysvaaroja. Tällaisia ovat VNp 629/1994 liitteen 2 mukaiset työt sekä hankkeen yleissuunnitteluvaiheen riskinarvioinnissa esille tulleet muut vaaralliset työvaiheet. Työmaan tehtäväsuunnitelmissa noudatetaan koko työmaata koskevia erillissuunnitelmia niiltä osin, kun ne koskevat kyseisiä tehtäväsuunnitelmia, eri suunnitelmien turvallisuustoimenpiteet eivät saa olla ristiriidassa keskenään.

Rakennustyöt, joihin liittyy erityisiä vaaroja työntekijöiden turvallisuudelle tai terveydelle (VNp 629/1994, liite 2):

- Työt, joissa työntekijöihin kohdistuu maansortuman alle hautautumisen, maahan vajoamisen tai korkealta putoamisen vaara, joka on erityisen suuri työn luonteen tai käytettyjen työmenetelmien taikka työskentelypaikan tai työmaan olosuhteiden vuoksi.
- Työt, joissa työntekijät altistuvat kemiallisille tai biologisille aineille, jotka muodostavat erityisen vaaran työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle tai joihin liittyy määräaikainen terveyden seuranta.
- Työt, joissa käytetään sellaista ionisoivaa säteilyä, joka edellyttää määrättyjen tai valvottujen alueiden merkitsemistä erikseen määrättyllä tavalla.
- Suurjännitejohtojen läheisyydessä tehtävät työt.
- Työt, joihin liittyy työntekijöiden hukkumisvaara.
- Työt kuiluissa, maanalaisissa rakennuskohteissa ja tunneleissa.
- Työt, joissa käytetään sukellusvälineitä.
- Paineammiossa tehtävät työt.
- Työt, joissa käytetään räjähdysaineita.

- Työt, joihin liittyy raskaiden esivalmisteisten osien kokoamista tai purkamista.
- Rakenteiden, rakenneosien tai materiaalien purkutyö.
- Työt tie- ja katualueella.

Työmaa-alueen käytön suunnittelusta löytyy selkeät määritelmät ja vaatimukset myös lainsäädännöstä (VNp 629/1994). Työmaan aluesuunnitelmalla (käytetään myös nimityksiä työmaasuunnitelma, järjestelypiirros) osoitetaan kaikille osapuolille, miten työmaan toiminnot on suunniteltu tapahtuvaksi rakentamisen eri vaiheissa. Pää toteuttaja laatii työmaan aluesuunnitelman ja sijoittaa sen kaikkien työmaalla työskentelevien nähtäville, esimerkiksi henkilöstötiloihin. Suunnitelmat on tarkistettava olosuhteiden muuttuessa, ja ne on muutenkin pidettävä ajan tasalla. Työmaan aluesuunnitelman keskeiset osat on esitettävä kirjallisesti, tarvittaessa rakennus- ja työvaiheittain. /47/, /1/

Työmaan aluesuunnitelma onkin työmaan turvallisuussuunnittelun perusta. Työmaasuunnitelma itsessään on keskeinen tiedottamisen väline. Suunnitelmaa hyödynnetään myös perehdytettäessä työmaan henkilöstöä, työmaavaiheiden suunnittelussa ja toteutuksessa sekä hätätilanteissa ulkopuolisten opastamisessa.

Rakennustyömaa-alueen käytön suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota tapaturmavaaran ja terveyden haitan poistamiseen ja vähentämiseen. Rakennustyömaa-alueen käytön suunnittelussa otetaan huomioon riskinarvioinnissa tunnistetut työmaa-alueen järjestelyyn, toteutukseen ja käyttöön liittyvät vaara- ja haittatekijät. Vaaratekijät voivat liittyä esim. maapohjan kantavuuteen, kaapeleihin, johtolinjoihin, pohjavesialueisiin, lähiympäristön toimintoihin (esim. teollisuus ja koulut). Vaara- ja haittatekijät on pyrittävä poistamaan asianmukaisesti, mutta ellei niitä voida poistaa, on arvioitava niiden merkitys työmaalla työskentelevien ja muille työn vaikutuspiirissä olevien turvallisuudelle ja terveydelle /47/, /22/.

Hyvä lopputulos muodostuu, kun jokainen työnantaja ja itsenäinen työsuorittaja noudattavat omassa työssään työmaan turvallisuussuunnittelun periaatteita ja huolehtii omien toimintojensa suunnittelusta. Pää toteuttajan laatima työmaa-alueen käytön suunnitelma toimii lähtötietona ja reunaehtona työmaan muiden osapuolten toiminnalle.

Putoamissuojaussuunnittelu

Rakennustyömaalla putoamiset aiheuttavat merkittävän osan kaikista työtapaturmista ja noin joka kolmas kuolemaan johtanut työtapaturma talonrakennusalalla on ollut putoamistapaturma. Putoamissuojaussuunnitelma on luonteeltaan työmaan turvallisuuden erillissuunnitelma, joka koskee koko työmaata, useita työvaiheita ja eri toimijoita. Pää toteuttajan tehtävänä on laatia työmaalle putoamissuojaussuunnitelma, jossa esitetään pääperiaatteet, ratkaisut ja keinot putoamisturvallisuuden varmistamiseksi ja otetaan huomioon kohteen erikoispiirteet ja rakennusvaiheet. /24/

Putoamissuojaussuunnittelun lähtökohtana ovat työmaan putoamisvaarat ja tavoitteena on ehkäistä sekä henkilöiden että esineiden putoaminen. Yleisimmät putoamisvaarat liittyvät työtasoihin, teline- ja kattotyöskentelyyn sekä muihin korkealla tehtäviin töihin, kulkuteiden avoimiin reunoihin, erilaisiin aukkoihin. Putoamissuojaus tehdään työmaalla suunnitelman mukaisesti ja suojausta ylläpidetään koko työmaan ajan tai niin kauan ko. kohteessa on putoamisvaaraa. Peruseriaatteena on ensisijaisesti poistaa putoamisvaara kokonaan (esim. suunnittelu, työmenetelmävalinnat, työjärjestys) tai käyttää teknisiä ratkaisuja (esim. suojakaiteet ja -rakenteet). Työn luonteeseen liittyvissä tietyissä tilanteissa on mahdollista käyttää putoamissuojauksena henkilökohtaisia putoamissuojaimia, eli valjaita ja erilaisia turvaköysiratkaisuja tuomaan lisäturvaa tai erityistilanteissa korvaavana putoamissuojauksena. Henkilökohtaisen putoamissuojauksen käyttäminen vaatii aina asiantuntemusta ja käyttökoulutusta. /1/, /24/

Putoamisturvallisuuden varmistaminen alkaa jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa, koska suunnitteluvaiheessa tehdyillä ratkaisuilla vaikutetaan kohteen putoamisvaaroihin ja putoamisturvallisuuden toteuttamiseen. Putoamissuojauksen toteuttamisnäkökulma tulisi olla mukana suunnitteluvaiheessa jo mietittäessä tilasuunnittelua sekä detaljeja. Elementtisuunnittelijan on helppoa suunnitella jokaiseen elementtiin valmiiksi suojakaiteen kiinnityskohta, mikä helpottaa putoamissuojauksen työmaatoteutusta merkittävästi. Putoamisturvallisuuden parantamiseksi tarvittaisiin sekä innovatiivisia, kehittyneitä tuotteita että testattuja toimintatapoja.

Käytännössä putoamissuojaussuunnittelu aloitetaan usein vasta työmaan valmisteluvaiheessa, jolloin mietitään perusratkaisut ennen työmaan käynnistämistä. Putoamissuojaussuunnitelmaa tarkennetaan ja täydennetään tuotannosuunnitteluvaiheessa aika- ja työkohdekohtaisesti. Putoamissuojaussuunnitelman sisältö tulee olla kaikkien urakoitsijoiden käytettävissä. Putoamissuojauksen suunnittelu ja toteutus edellyttävät eri osapuolten välistä toimivaa yhteistyötä ja aktiivista osallistumista sekä tiedonvälitystä.

2.3 Esimerkkejä tietojärjestelmien käytöstä turvallisuuden hallinnassa

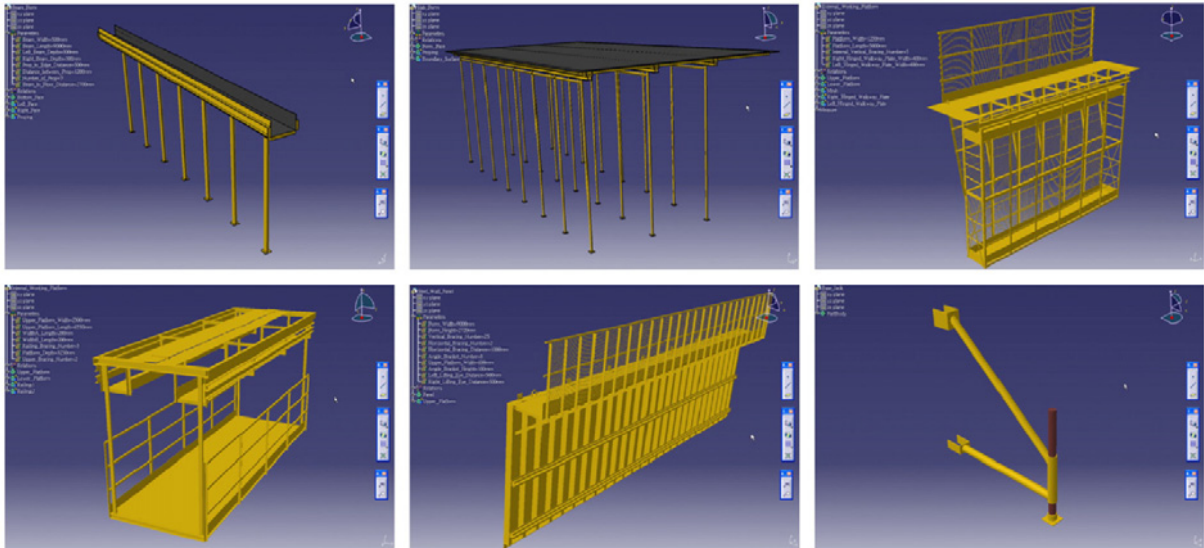
Tietojärjestelmien käytöstä turvallisuuden hallinnassa löytyy vain vähän tutkimustuloksia. Seuraavassa on esitetty kolme erilaista tapaa hyödyntää tietojärjestelmiä turvallisuuden hallinnassa.

Tutkimushankkeessa /13/ testattiin tietotekniikan sovellusohjelmien käyttöä aluesuunnitelman laadinnassa. Työmaan aluesuunnitelman laadinta on tärkeä tehtävä rakennusprojektissa, koska toimiva työmaasuunnitelma vahvistaa rakennustyön tehokkuutta ja suorituskykyä. Työmaapalveluiden ja -tilojen järjestämistä hankaloittavat monet rajoitteet, kuten rajallinen tila, olemassa olevat rakennukset, sijainti ja kulkuväylät. Rakentamisen monimutkainen ja dynaaminen luonne vielä lisää työmaan aluesuunnitelman laadinnan vaikeutta.

Monimutkaisuus lisääntyy eksponentiaalisesti työmaapalveluiden ja -välineiden määrään lisääntyessä. Teollisuudessa tehtyjen tutkimusten mukaan materiaalien käsittelykustannuksia pystytään vähentämään 20-60 %, jos käytössä on toimiva, optimaalinen tilajärjestely. Työmaan aluesuunnitelman laadintaprosessi seuraa yleistä ACO algoritmin (Ant Colony Optimization) periaatteita. Aluesuunnitelmaan sijoitetaan ensiksi keskeiset välineet/alueet, jotka vaikuttavat rakennusmenetelmiin ja -järjestykseen. Jäljelle jääneeseen tilaan asetetaan jäljelle jääneet toiminnot yksi kerrallaan. Soveltamalla sumeaa logiikkaa ja kaaosteoriaa tutkimus laskee matemaattisesti työmaavälineiden välisiä läheisyysyhteyksiä, missä optimaaliseen työmaa-alueeseen vaikutetaan työmaavälineiden keskinäisen vuorovaikutuksen kautta. Tietokonelaskentaa varten työmaavälineille määriteltiin lähtötietoja tavoitetoiminnot, eli läheisyys-yhteys sekä sijainti-välimatka painoarvot. Näin luotiin neljä erilaista aluesuunnitelmaa, joiden analyysin mukaan optimaalisin aluesuunnitelma vähensi kustannuksia 10,8 % . /13/

Lähteessä /25/ kehitettiin atk-pohjaisia keinoja putoamisvaarojen tunnistukseen ja hallintaan. Rakennusprojekteissa korkealta putoaminen aiheuttaa eniten tapaturmia, joiden seurauksena on loukkaantuminen tai kuolema. Rakennusalan ammattilaiset eivät kuitenkaan panosta tapaturmien ehkäisyyn yhtä paljon aikaa ja voimavaroja kuin rakentamisen päätoimintoihin. Tutkimuksen tavoitteena oli automatisoida menettelytapoja, joilla ennaltaehkäistään putoamistapaturmia. Tutkimuksessa kehitettiin automaattinen tietokonemalli, joka tunnistaa projektiaikataulusta vaarallisia toimintoja, määrittelee rakennuksen vaarallisia alueita, ehdottaa torjuntatoimenpiteitä ja integroi ne aikatauluun. Malli tuottaa kirjallisia ja graafisia raportteja sekä varoituksia, kun suojakaiteet puuttuvat, ovat vialliset tai osittain poistettu. Mallia testattiin koekohteissa ja siitä saatiin hyviä asiantuntijakokemuksia. Malli käyttää dataa, jonka lähteenä on projektin tietokanta. Malli käyttää datana mm. lainsäädäntöä, projektin tietokantoja sekä riskeihin liittyviä erilaisia aineistoja.

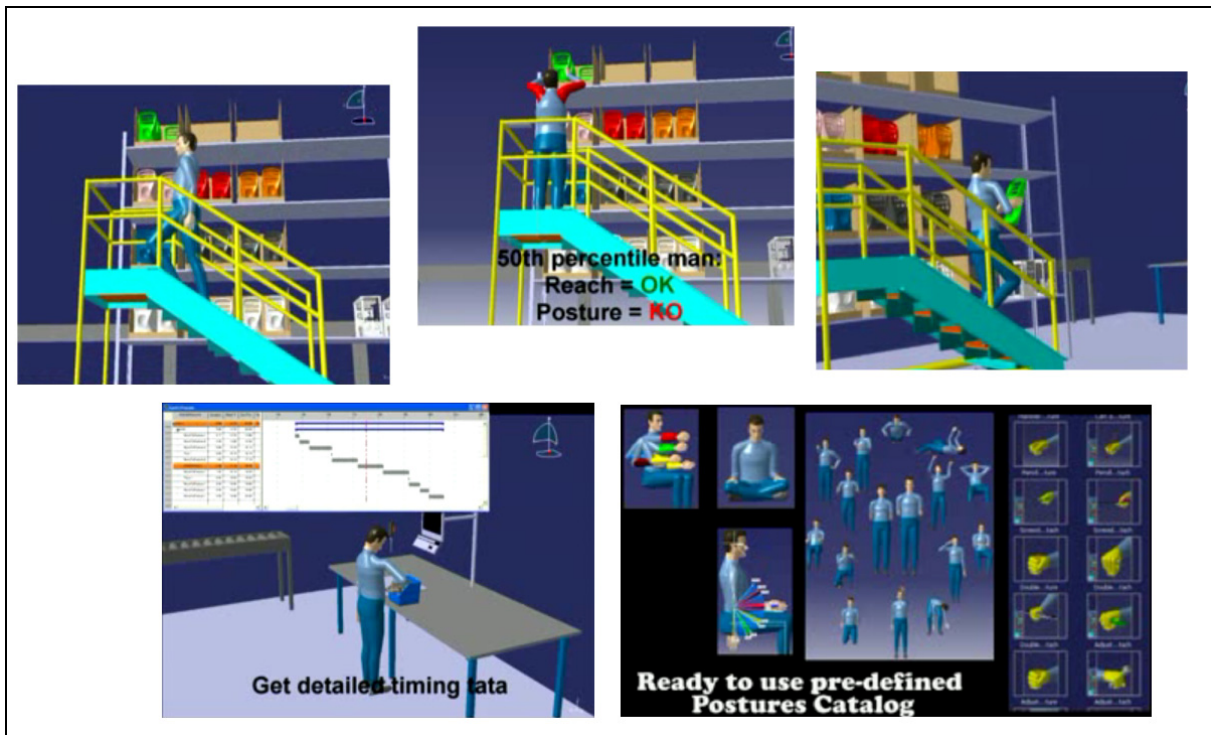
Lähteessä /10/ kuvataan rakennushankkeen työmaatoteutuksen simulointiin kehitettyä järjestelmää (Virtual prototyping system for simulating construction processes), jota on testattu 70-kerroksisessa toimistorakennushankkeessa Hong Kongissa. Kehitystyössä ei ole erikseen tarkasteltu työturvallisuutta, mutta työssä on rakennuksen varsinaisen 3D-tietomallin lisäksi mallinnettu rakennustyössä tarvittavaa kalustoa kuten torninosturi tai esim. muottikalustoa (Kuva 1).



Kuva 1 Esimerkkejä mallinnetusta työmaakalustosta /10/.

Simuloinnissa tuotantotapahtumista muodostetaan simulointimalli, jossa työmaatehtävillä on keskinäiset riippuvuudet ja tehtävien kestot määräytyvät käytössä olevien työvoima- ja kalustoresurssien ominaisuuksien perusteella. Työvaiheille tai tarkemmin niiden osavaiheille määritellään työmenekit ja tarvittavat työryhmät sekä esimerkiksi torninosturille määritellään nostokapasiteetti, liikeradat ja siirtonopeudet. Perusmallia ja lähtötietoja muuttamalla tutkitaan erilaisia tuotantojärjestyksiä tai resurssivaihtoehtoja. Vastaavaa simulointia on yksinkertaisemmassa muodossa kokeiltu myös Suomessa /26/.

Työergonomian arviointiin on tarjolla ICT-sovelluksia, joihin sisältyy myös työtapahtuman visualisointi (Kuva 2). Sovelluksella tarkastellaan henkilötyön työvaiheita ja siihen liittyvää rationalisointia ja samalla voidaan arvioida työergonomiaa. Periaatteessa tarkimmalla tasolla myös työmaatehtäviä voitaisiin mallintaa vastaavalla tarkkuudella.



Kuva 2 Esimerkki henkilötyön ergonomian ja työvaiheiden tutkimisesta tietokoneavusteisesti (Lähde: Delmia PLM Express, Dassault Systemes).

3 Tietomallinnus

3.1 Yleistä tietomallinnuksesta

Rakennuksen tietomalli (engl. Building Information Model, BIM) on rakennuksen ja rakennusprosessin koko elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuus. Tiedoista muodostetaan kolmiulotteinen digitaalinen malli itse rakennuksesta, rakentamiseen käytetyistä tuotteista ja tuotteiden ominaisuuksista. /48/ Tietomallin sisältämiä tuote- ja ominaisuustietoja voivat olla esimerkiksi valmistaja, tuotetunnisteet, mitat, materiaalit, pintakäsittelyt, ennakoitu käyttöikä, lujuusluokka, lisävarusteet sekä fysikaaliset tuotevaatimukset kuten laatu-, palonkesto-, ääneneristävyys- ja lämmöneristävyysvaatimukset.

Rakennushankkeen tietomallipohjainen tiedonhallinta liittyy yhteen suunnittelussa, tuotevalmistuksessa, rakentamisessa ja rakennusten käytössä ja ylläpidossa tarvittavat tiedot. Tietomallintaminen muuttaa rakennuksen suunnittelun perinteisestä viivapiirtämisestä 3D-suunnitteluksi. Kun aikataulut kytketään tietomallin rakennusosiin, on kysymys 4D-suunnittelusta. /40/

Tietomallisuunnittelun keskeinen idea on hyödyntää suunnitelmatiedostoon sisältyvää geometriatietoa ja muuta tietosisältöä sähköisesti eri käyttötarkoituksiin sekä suunnittelussa että tuotannossa /18/. Käytännön rakennushankkeissa havaitut tietomallintamisen hyödyt ovat liittyneet suunnittelu-rakentamisprosessissa erityisesti 3D-suunnitelmien havainnollisuuteen, geometriatiedon parempaan hallintaan ja mittavirheiden vähentymiseen, kuvatuotannon helpottumiseen sekä tietomallin hyödynnettävyyteen määrä- ja kustannuslaskennassa, energia-, valaistus- ja palosimuloinneissa sekä markkinointimateriaalien tuottamisessa. Havainnollisuutta on voitu hyödyntää oman suunnittelutyön tukena, mallien yhdistämisen jälkeen eri suunnittelualojen suunnitelmien yhteensopivuustarkasteluissa, työmaalla esim. rakennesuunnitelmien 3D-havainnollistuksina sekä visualisointien jälkeen markkinointikuvina. /37/, /38/, /16/ 4D-teknologiaan puolestaan liittyy suuria odotuksia erityisesti ongelmien tehokkaaseen ennalta ehkäisyyn liittyen /27/.

3.2 Tietomallintamisen nykytilanne

Suomi on maailman kärkimaita rakentamisen tietomallitekniikan kehittämisessä ja käyttöönotossa. Tietomallien käyttö alkoi arkkitehtisuunnittelusta ja on viime vuosina alkanut yleistyä myös rakenne- ja LVI – suunnittelussa. Hyödyntäminen painottuu nykyisin vielä rakennuksen suunnitteluvaiheeseen ja käyttö tuotannosuunnittelussa on vasta alkuvaiheessa. Tuoreen kansainvälisen selvityksen mukaan arkkitehdit käyttävät tietomallinnusta käytännössä noin 20 %:ssa hankkeistaan, ja insinöörit ja urakoitsijat noin 10 %:ssa /17/.

Tietomallien hyödyntäminen rakentamisen tuotannosuunnitteluun on Suomessa keskittynyt näihin päiviin asti käytännössä pitkälle urakoitsijan tarvitsemien määrätietojen tuottamiseen suunnittelijoiden tietomalleista. Tietomallien hyödyntämisen kehittäminen on kuitenkin jo levinnyt varsinaiseen työmaatoteutuksen suunnitteluun ja painottuu tällä hetkellä elementtien asennusaikataulun 4D-simulointiin. Tietomallin sisältämiä rakennuksen geometria- ja määrätietoja voitaisiin hyödyntää myös muihin rakentamisen tuotannosuunnittelutarkoituksiin. Sellaisia ovat esimerkiksi rakentamisen menetelmäsuunnittelu, vaihtoehtoisten työjärjestysten suunnittelu ja simulointi, työmaa-alueen käytön sekä henkilö- ja materiaalivirtojen suunnittelu sekä työturvallisuuteen liittyvä suunnittelu. Myös näihin liittyviä kehityshankkeita ja tietämystä on jo olemassa ja kehitysnäkymät ovat laajat (esim. /20/, /6/, /4/, /34/).

Esimerkiksi USA:ssa puolestaan tietomallien hyödyntäminen on alkanut tuotannosuunnittelusta ja ollut perinteisesti vahvimmin esillä 4D-mallintamisen muodossa. Erilaisia kehityshankkeita on toteutettu paitsi aikatauluihin, myös mm. kustannuslaskentaan ja hankintoihin liittyen. Myös tietomallipohjaisia kustannuslaskentasovelluksia on jo tarjolla ja aikataulun sekä tietomallin yhdistäviä ns. 4D-toteutuksia on raportoitu useita (esim. /19/, /35/, /36/, /14/, /7/, /5/). Myös Suomessa on esitelty 4D-pilotteja sekä toimitusten ohjaukseen ja tuotannon menetelmäsuunnitteluun liittyviä kokeiluja /37/, /38/, /39/. Tietotekniikan hyödyntäminen turvallisuuden suunnitteluun tarkoittaa tänä päivänä kuitenkin käytännössä vain työmaan 2D-aluesuunnittelua sekä erillisten sähköisten piirustus- ja tekstidokumenttien hallintaa.

Tietomalli on yleistermi eri suunnittelualojen ja tuotannonkin malleista. Mallintavassa suunnitteluprosessissa arkkitehti, rakennesuunnittelija ja talotekniikkasuunnittelijat tekevät kuitenkin oman tietomallinsa. Lisäksi suunnittelussa voidaan tehdä suunnittelun edetessä tarkkuustasoltaan erilaisia malleja. Näitä ovat esimerkiksi massamalli, tilamalli, tilavarausmalli, alustava rakennusosamalli, rakennusosamalli ja toteumamalli (as built malli). Rakennesuunnittelija voi käyttää arkkitehtimallin geometriaa hyödykseen referenssietona, mutta mallintaa kuitenkin rakennusosat uudelleen. Rakennemalli ei tästä syystä sisällä myöskään arkkitehtimallin detaljeja vaan vastaa rakennesuunnittelun tulosta, sisältäen puolestaan mm. elementoinnin, liitokset ja rakennedetaljit, joita arkkitehtimallissa ei ole. Talotekniikkasuunnitelma voidaan tehdä vastaavasti mallintaen ja eri suunnittelijoiden mallit voidaan yhdistää useilla eri ohjelmilla. Yhdistettyä mallia voidaan käyttää suunnitelmien törmäystarkasteluihin ja muuhun yhteensovittamiseen. Nk. tuotantomallina käytetään tyypillisesti rakennusosien asennusaikataululla varustettua rakennesuunnittelijan mallia.

Arkkitehdit mallintavat nykyisin jo monissa kohteissa rakennuksen lisäksi myös tontin pintamallin kohteen piha-alueen suunniteltua lopputilannetta vastaavasti, jolloin tietomallissa esitetään perinteisen asemapiirustuksen sisältö kolmiulotteisesti. Tontti ja lähiympäristö voi kuitenkin liittyä arkkitehtimalliin vaikka mallintamisen alusta lähtien, eli jo nk. massamalliin, jos massoittelua suunnitellaan mallintamalla. Rakennemalliin perustuvista 4D-tuotantomalleista ympäristö puuttuu tyypillisesti kokonaan. Tonttia ei käytännössä mallinneta

rakennusaikaista tilannetta vastaavasti eikä työmaa-alue yleensä ole ollut mukana rakentamisjärjestyksen 4D-simuloinneissa. Poikkeuksiakin kuitenkin on. Esimerkiksi Yhdysvalloissa CIFE (Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, California) on tehnyt Walt Disney Imagineeringille maaston sisältäviä 4D-malleja ja aiheesta on myös väitöskirja (lähde /2/). Myös Suomessa yksittäiset toimijat ovat kokeilleet työmaa-alueen karkeaa mallinnusta. Arkkitehtimallinnusohjelmalla tehdyt mallinnukset ovat olleet staattisia työmaasuunnitelmia, sisältäen esim. materiaalien varastoinnille varattuja alueita 3D-kuutioina mallinnettuna. Saman kohteen rakennuksen tietomallille on saatettu tehdä myös rakennussimulointi, mutta työmaan aluesuunnitelma on jätetty tästä pois. Varsinaisella 4D-ohjelmalla tehdyt kokeilut puolestaan ovat olleet karkeita tontin ja lähiympäristön mallinnuksia, joissa on ollut mukana vain joitain logistiikkatarkastelujen kannalta tärkeitä työmaavarusteita.

Eri suunnittelijoiden mallien soveltuvuudesta turvallisuuden hallintaan ei ole vielä juurikaan kokemusta. Arkkitehdin malli on havainnollinen ja rakennusosamalli-tasoisena sisältää kaikki keskeiset rakennusosat kuten seinät ja laatat rakennetyypeinä, mutta ei tavallisesti esim. elementtijakoa, kuten rakennemalli, joka muutenkin vastaa työmaatoteutuksen kokoonpanoja. Eri suunnittelualojen yhdistetty malli voi talotekniikan sisältäessään olla turvallisuuden hallinnan kannalta tärkeä, koska esim. putkiasennuksia tehdään vaikeisiin paikkoihin, ja nämä työt voivat sisältää merkittäviä turvallisuusriskejä, esimerkkinä kuiluasennukset.

3.3 Mallinnusvälineet

Eri suunnittelualoille on tarjolla omat mallinnusohjelmat, joiden kaikkien tavoitteena on mahdollisimman hyvin palvella tietyn suunnittelualan suunnittelijoita. Lisäksi arkkitehti- ja rakennesuunnitteluun on tarjolla useita mallinnusohjelmia. Useiden suunnittelualakohtaisien ohjelmien käytön merkittävimpiä käytännön ongelmia ovat yhteensopivuusongelmat, jotka ilmenevät rakennushankkeissa esim. vaikeutena jatkohyödyntää suunnitelmien sisältämää tietoa oman työn pohjana tai vaikeutena yhdistää eri suunnittelijoiden tietoa. Yhteensopivuutta tukee yhden tuoteperheen ohjelmien käyttö hankkeen eri osasuunnitelmien mallinnuksessa, jolloin samaan teknologiapohjaan ja tiedostomuotoon perustuen tiedonsiirto eri suunnittelijoiden välillä helpottuu, sekä IFC-muotoinen tiedonsiirto. IFC on yksittäisistä sovelluksista riippumattoman neutraali tiedonsiirtomuoto eri sovellusten kesken tapahtuvaan tiedonsiirtoon. Ohjelmien valmiudet lukea ja kirjoittaa ulos IFC-muotoista tietoa vaihtelevat kuitenkin vielä paljon. Jonkinlaisen kuvan IFC-tiedonsiirtovalmiuksista antaa IAI-järjestön (International Alliance for Interoperability) myöntämä IFC-sertifikaatti, mutta sertifioituihin ohjelmiin eivät käänne IFC-muotoon kaikkea natiivimuotoisen tietomallin sisältämiä tietoja. Itse IFC-standardia pidetään korkealaatuisena ja se on otettu laajasti käyttöön ohjelmistoissa. Sertifiointiprosessi sallii kuitenkin huonolaatuistenkin ohjelmatoteutusten läpimenon ja suo periaatteessa sertifioitujen, mutta IFC-tiedonsiirron suhteen käyttökelvottomien ohjelmien esiintymisen /17/. Tähän on kuitenkin lähivuosina odotettavissa parannusta uuden, tammikuussa 2009 esitellyn sertifiointiprosessin myötä /11/.

Objektien käyttö on oleellinen osa arkkitehtimallinnusta. Suunnittelussa käytetään ohjelman sisältämiä yleisiä objektikirjastoja sekä valmistajakohtaisia tuotekirjastoja, jotka ovat tietomallipohjaisia kuvauksia tietyn valmistajan tietyistä rakennustuotteista kuten ikkunat, ovet ja kalusteet. Rakennemalliin rakenteet voidaan puolestaan mallintaa arkkitehtimallia tarkemmin liitoksineen ja detaljeineen, jolloin siitä saadaan tarkan geometrian lisäksi tuotetietoa esim. ulkoseinistä arkkitehtimallin kokonaisen seinän sijaan yksittäisen elementin tarkkuudella ja edelleen elementin sisältämistä rakennekerroksista ja osista. Rakennemallinnusohjelmien komponenttikirjastot ovat luonteeltaan samantyyppisiä kuin arkkitehtimallinnusohjelman objektikirjastot, mutta esim. Tekla Structures ohjelmassa lopullinen rakennusosa määräytyy siihen liitettyjen osien ja detaljien mukaan eikä komponenttikirjastossa juurikaan ole lopullisia rakennusosia vaan niiden aihioita. Komponentteja ovat esim. parametriset liitokset ja muut mallintamista helpottavat, mallinnusautomaattikkaa sisältävät makrot. /18/

Eri mallinnusohjelmien objekti- ja komponenttikirjastojen tavoitteena on tarjota suunnittelua helpottavia ja nopeuttavia valmiita 3D-kuvauksia tai aihiota pysyviksi osiksi asennettavista rakennusosista. Tämän lisäksi objektit ja komponentit tukevat tuotetiedon hallintaa ja tuotteiden markkinointia. Kirjastot ovat ohjelmakohtaisia niin, että esim. ArchiCAD-ohjelman GDL-kieliset kirjastot eivät ole suoraan käytettävissä muissa mallinnusohjelmassa. Nk. GDL Adapterin avulla niitä voidaan kuitenkin jossain määrin hyödyntää muissa arkkitehtimallinnusohjelmissa, esim. Autodeskin AutoCAD 2007/2008 ohjelmissa /9/. GDL Adapter on esim. AutoCAD:issä toimiva GDL-tulkki, jonka avulla voidaan valita normaali GDL-kirjasto ja käyttää siinä sijaitsevia objekteja AutoCAD-ympäristössä normaali GDL:n parametrisuus ja kolmiulotteisuus säilyttäen /8/.

Esimerkkeinä rakentamisen aikataulutietoa käsittelevistä 4D-ohjelmista mainittakoon lyhyen aikavälin tuotannosuunnitteluun ja simulointiin soveltuva Enterprixe sekä rakennemallinnusohjelma Tekla Structures, josta on tarjolla myös mallinnustyökaluista riisuttu kevyempi ohjelmaversio rakennusliikkeiden käyttöön. Enterprixen erityisominaisuus on, että rakennusosien asennusaikoja voidaan määritellä minuutin tarkkuudella. Suunnittelijat eivät kuitenkaan mallinna tällä ohjelmalla, vaan palvelun tarjoaja toimii mallintajana tai geometria tuodaan toisesta ohjelmasta. Teklassa puolestaan voidaan hyödyntää suoraan rakennesuunnittelijan samalla ohjelmalla tekemää suunnitelmaa, mutta pienin ohjelman käsittelemä aikayksikkö on yksi kalenteripäivä. Arkkitehtimallinnusohjelmista ArchiCADiin on saatavilla simulointi-laajennus, jolla arkkitehtimallille voidaan tehdä rakennussimulointi kytkemällä rakennusosiin tehtäviä ja niiden suoritusajoja. Tuotannon kannalta rakennemallin sisältämä osajako on kuitenkin tärkeä, joten arkkitehtimallinnusohjelman käyttö simulointiin edellyttää elementtikohteissa rakennesuunnittelijoiden elementeiksi pilkkomaa tietomallia, jossa esim. arkkitehdin yhtenäiset seinät on elementoitu ElementtiApi-laajennuksella.

Muita markkinoilta löytyviä 4D-ohjelmia ovat esimerkiksi Graphisoft Virtual Construction, Ceco4D, CommonPoint Project4D ja Navisworks JetStream. Näistä kolme jälkimmäistä

poikkeaa muista 4D-sovelluksista mm. siinä, että niillä ei voi mallintaa vaan geometria tuodaan toisesta ohjelmasta. Näissä sovelluksissa on kiinnitetty puolestaan enemmän huomiota suunnitelmien yhdistämistä, esittämistä ja tarkastelua sekä projektiryhmän yhteistyötä tukeviin ominaisuuksiin. /27/

4 Työmaan tietomallipohjainen aluesuunnittelu

4.1 Työmaan aluesuunnitelman laatiminen yleisesti

Työmaan aluesuunnitelma on päätoteuttajan laatima perussuunnitelma, jonka tavoitteena on suunnitella työmaatoiminnot ja niiden vaatimat järjestelyt mahdollisimman sujuviksi rakentamisen eri vaiheissa. Aluesuunnitelmaa käytetään myös tiedonvälityksessä. Sen avulla välitetään tieto työmaan sisäisistä ja ulkoisista logistiikkajärjestelyistä sekä työ- ja turvallisuusjärjestelyistä hankkeen kaikille osapuolille. Aluesuunnittelu on koko hankkeen toteutuksen ajan jatkuva tehtävä, alkaen jo hankesuunnittelu- ja urakkatarjousvaiheista, jolloin kiinnitetään erityistä huomiota järjestelyihin, jotka palvelevat työmaata koko rakentamisen ajan ja joista syntyy hankkeeseen aika- ja suoritesidonnaisia kustannuksia. Aluesuunnitelmaa täydennetään, muutetaan ja laajennetaan rakentamisvaiheittain rakentamisen edetessä työmaalla. Aluesuunnitelma laaditaan yleensä maarakennus-, perustus-, runko- ja sisätyövaiheisiin. /28/

Myös lainsäädäntö edellyttää, että työmaa-alueen käyttö suunnitellaan jokaisella työmaalla, ja lisäksi aluesuunnitelma on tehtävä kirjallisena. Käytännössä aluesuunnitelma voidaan toteuttaa eri tavoin, ja työmailla on käytössä aluesuunnitelmia, jotka on toteutettu asemapiirroksen CAD-ohjelmalla, käsin tai tarralappuina. Seuraavassa kuvassa on esimerkki perinteisestä 2D-aluesuunnitelmapiirustuksesta (Kuva 3).



Kuva 3 Esimerkki perinteisestä 2D-aluesuunnitelmasta.

Työmaan aluesuunnitelmassa esitetään alueen käyttäminen eri toimintoihin sekä työmaatoimintaa palvelevien toimintojen sijainti. Työmaa-alueen suunnittelussa otetaan huomioon myös rakennushankkeen tyyppi, koko, käytettävät menetelmät, vuodenaajat jne. Oleellista on, että mietitään kunkin työmaan keskeiset toiminnot ja niiden vaatimat järjestelyt,

kuten esim. laitteiden sijoitukset ja varojärjestelyt. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 1) on esitetty työmaan aluesuunnittelun keskeinen sisältö. Käytännössä osa näistä tiedoista esitetään varsinaisen aluesuunnitelma-dokumentin rinnalla laadittavissa erillissuunnitelmissa, joita ovat tyypillisesti esim. sähköistys- ja valaistussuunnitelma sekä pelastussuunnitelma. Työmaan aluesuunnitelman laadintaan rakennushankkeen eri vaiheisiin löytyy yksityiskohtaisia käytännön ohjeita ja apuvälineitä mm. Ratu-kortistosta (Rakennustyömaan aluesuunnittelu, Ratu C2-0299).

Taulukko 1 Työmaan aluesuunnittelun keskeinen sisältö /28/, /47/, /22/, /41/.

Työmaa-alueen rajausta ja erottaminen
<ul style="list-style-type: none"> - Työmaa-alueen ja mahdollisen lisäalueen aitaaminen - Portit ja kulunvalvontajärjestelmät - Työmaataulu
Työmaan liikennejärjestelyt
<ul style="list-style-type: none"> - Ajoneuvo- ja jalankulkuliikenteen käyttämät väylät työmaalla - Työmaaliikenteen ja yleisen liikenteen liittymiskohdat, erottaminen ja suojaaminen (esim. jalankulkukatokset) - Kääntöpaikat ja paikoitusalueet - Pelastustiet ja hätäpoistuminen - Opasteet
Tontin rajoitteet, vaarat ja suojaukset
<ul style="list-style-type: none"> - Tontilla olevat maanalaiset putket ja kaapelit sekä ilmajohtot - Kaivannot ja jyrkänteet, sijainti, tuenta, suojaus - Rakennusten ja kasvillisuuden suojaus, esim. suojattavat puut - Ympäristön vaaratekijät
Työmaatilojen määrä ja sijoituspaikat
<ul style="list-style-type: none"> - Toimisto- ja henkilöstötilojen määrä ja sijainti - Varastotilojen määrä ja sijainti, esim. työväline- ja pienkonevarastot - Ensiapupaikat
Työtilat ja -alueet
<ul style="list-style-type: none"> - Osatyökohteiden ja näihin liittyvien koneiden ja laitteiden sijoitus. Esim. kaivualue, raudoitus, betonin valmistus, rakennussahan sijainti - Työhallit ja kevytsuojat - Tulityöalueet
Työnaikainen sähköistys ja valaistus
<ul style="list-style-type: none"> - Sähköpääkeskukset, sähkölinjat - Valaisinmastot
Nostojärjestelyt ja siirrot
<ul style="list-style-type: none"> - Torninosturit nostosäteineen - Nostopaikat ajoneuvonostureille - Henkilönostolaitteet - Muiden nostoihin ja siirtoihin käytettävien koneiden ja laitteiden sijoitus, esim. rakennushissi, telineet

Materiaalien välivarastointijärjestelyt ja logistiikkaratkaisut
<ul style="list-style-type: none"> - Rakennustarvikkeiden ja -aineiden välivarastointipaikat - Lastaus- ja purkupaikat - Kevytsuojat ja varastohallit - Jätehuoltojärjestelyt, esim. keräilyalueet, jätelavat, jätekuilut, jäteastiat - Turvallisuudelle ja terveydelle vaaraa tai haittaa aiheuttavien materiaalien kerääminen, säilyttäminen, poistaminen ja hävittäminen. Esim. kaasut, palavat nesteet, räjähdysaineet, ongelmajätteet - Kaivu- ja täyttömassojen sijoitus
Palontorjunta ja muiden erityisriskien torjunta
<ul style="list-style-type: none"> - Varastointialueiden rajaaminen ja järjestäminen kun käsitellään turvallisuudelle ja terveydelle vaaraa tai haittaa aiheuttavia materiaaleja tai aineita, esim. palavien nesteiden varastot - Sammutusvälineet (alkusammutuskalusto, vesipostit) - Vakituinen tulityöpaikka - Öljy- ja kemikaalivuotojen torjuntakalusto

Työmaan tietomallipohjaista aluesuunnittelua koskee pitkälle samat vaatimukset ja hyvän suunnittelun periaatteet kuin nykyistä kaksiuolotteisestikin toteutettua suunnittelua. Tietomallintaminen tuo kuitenkin myös aivan uusia mahdollisuuksia työmaan suunnitteluun ja suunnitelmien esittämiseen välitettäessä tietoa eteenpäin. Esimerkiksi työmaa-alueen epätasaisuuksia tai muita vastaavia vaaratekijöitä ei ole voitu luontevasti esittää 2D-suunnitelmassa, mutta voidaan esittää kolmiulotteisessa mallissa. Lisäksi BIM-aluesuunnitelman sisältämää dataa voi tulevaisuudessa pystyä hyödyntämään myös esim. tietomallipohjaisen putoamissuojasuunnitelman, telinesuunnitelman ja elementtiasennussuunnitelman tekemiseen.

Työmaan aluesuunnitelman tekemistä tietokoneavusteisesti on tutkittu ja useita työmaan tilankäytön optimointiin pyrkiviä ja esim. tietokantoja hyödyntäviä ohjelmistoratkaisuja on kehitetty ja raportoitu (esimerkkejä luvussa 2.3). Toistaiseksi ei ole kuitenkaan pystytty kehittämään aluesuunnittelun työkalua, joka olisi saanut laajan hyväksynnän rakennusteollisuudessa. /34/

Mallintavaan aluesuunnitteluun on käytettävissä rakennuksen suunnittelussa ja tuotannonsuunnittelussakin käytettävät tietomallipohjaiset 3D- ja 4D-ohjelmat sekä näihin liittyvä objektiteknologia. Vielä ei kuitenkaan tiedetä, millä välineillä työmaan mallinnusta ja simulointia tullaan tulevaisuudessa tekemään. Nykyisin tarjolla oleviin eri ohjelmiin liittyy aluesuunnitelman laatimisen kannalta kuhunkin omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Yhdessä ohjelmassa ei ole kaikkia hyviä ominaisuuksia. Lisäksi nykyiset tietomallipohjaiset ohjelmat eivät myöskään tue palaute- ja muun kokemukseräisen tiedon käyttöä tietokantoina suunnittelussa.

Tutkimushankkeessa tehtiin tietomallipohjaisen aluesuunnittelun demonstraatio ja testaus käyttäen lähtökohtana arkkitehdin mallintamia rakennuksia ja aluesuunnitelma mallinnettiin arkkitehtimallinnusohjelmalla. Tietomallipohjaisessa aluesuunnittelussa voidaan kuitenkin

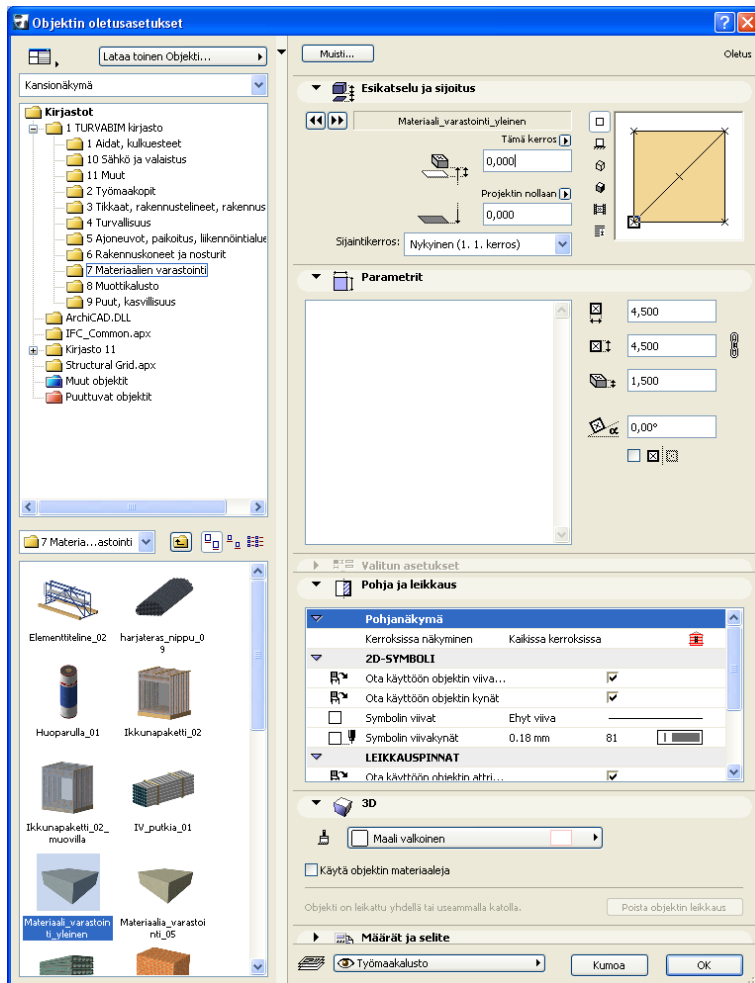
lähteä liikkeelle periaatteessa myös rakenne- tai nk. tuotantomallista. Lisäksi BIM- aluesuunnitelma voi olla yhdistetty malli, jos eri ohjelmilla mallinnetut rakennukset ja työmaa-alue pystytään yhdistämään tarkoituksenmukaisella tavalla yhdeksi tietomalliksi IFC-tiedonsiirron tai mallien yhdistämiseen tarkoitettun ohjelman avulla.

4.2 Työmaasuunnittelun 3D-komponentit

Hankkeen yksi päätavoite oli selvittää tietomallipohjaisen aluesuunnitelman käyttömahdollisuuksia turvallisuuden hallinnan näkökulmasta. Tätä varten tarvittiin 3D-esitykset aluesuunnitelmissa esiintyville työmaavarusteille. Työmaavarusteet kuten esimerkiksi elementtiasennusvaiheessa tarvittavat tilat, koneet ja välineet sekä materiaalien varastointi työmaa-alueella ovat väliaikaisia välineitä ja tilanteita, joihin mallinnusohjelmien peruskirjastoissa ei ole valmiita kuvauksia. Testauksessakin käytetyn mallinnusohjelman (ArchiCAD 11) sisältämistä kirjastoista löytyi vain yksittäisiä työmaavaiheen mallinnusta palvelevia 3D-objekteja. Sen sijaan arkkitehtisuunnittelua palvelevia pysyviksi osiksi asennettavia pieniäkin detaljeja on mallinnettu valmiiksi jopa saippua-annostelijoihin, sisustusesineisiin ja astioihin asti.

Koska myös tuotannossa tapahtuvan tietomallipohjaisen aluesuunnittelun yksi keskeinen edellytys olisi, että mallintajalla on käytössään suunnittelua helpottavat ja nopeuttavat valmiit 3D-kuvaukset tai aihiot toistuvasti työmaasuunnitelmissa esiintyville varusteille, hankkeessa päätettiin koota työmaasuunnittelun 3D-komponenttikirjasto mallinnustestausta varten. Niin kutsuttu TurvaBIM-kirjasto luotiin etsimällä valmiita objekteja, muokkaamalla osaa valmiina löytyneistä paremmin työmaasuunnittelutarkoitukseen sopivaksi sekä mallintamalla uusia, testauksessa tarvittavia objekteja. Tutkimuskäyttöön syntyi näin GDL-muotoinen työmaan 3D-komponenttikirjasto, joka on kokoelma muiden mallintamia, muokattuja ja TurvaBIM-hankkeessa VTT:llä mallinnettuja GDL-objekteja (Kuva 4). Kirjasto luotiin ilman liiketoimintatavoitetta ja objekteja on annettu myös kentälle käyttöön.

Päätavoitteena oli luoda kolmiulotteiset, tunnistettavissa olevat työmaaobjektit. Parametrisuuteen, eli objektien muunneltavuuteen materiaalien, mitoituksen tai muiden ominaisuuksien suhteen ei vielä tässä tutkimushankkeessa päästy keskittymään. Pääosa 3D-objekteista onkin todellisen näköisiä ja tunnistettavia kuten esimerkiksi työmaasirkkeli, roskalava, teräsniippu, ikkunapaketti ja polystyreeni-paali. Harvemmin esiintyvien materiaalien varastointialueiden esittämiseksi luotiin myös yleinen varastoitua materiaalia esittävä 3D-objekti, jota käytettäessä 3D-esitystä voidaan parantaa tapaukseen soveltuvalla pintamateriaalilla (esim. harmaa väritys tai betonia esittävä tekstuuri, jos kyseessä on betonituotteiden varastointialue). Kuva 5 näkyy TurvaBIM-hankkeessa luotuja tai muokattuja työmaaobjekteja ArchiCAD-mallista renderoidussa kuvassa.



Kuva 4 TurvaBIM-kirjasto ArchiCAD – ohjelmassa.



Kuva 5 TurvaBIM-kirjaston työmaaobjekteja.

Kokoelmassa on TurvaBIM-hankkeen päättymishetkellä yhteensä noin 70 objekti. Täydellinen listaus TurvaBIM-kirjaston objekteista ja niiden alkuperästä löytyy raportin liitteenä (Liite 2). Lisäksi Excel-muotoiseen objektiluetteloon on dokumentoitu tietoa työmaan mallinnuksessa hyödyllisistä ohjelmakirjaston objekteista.

TurvaBIM kirjaston kansiorakenne on seuraavanlainen:

- 1 Aidat, kulkuesteet
- 2 Työmaakopit
- 3 Tikkaat, rakennustelineet, rakennushissit
- 4 Turvallisuus
- 5 Ajoneuvot, paikoitus, liikennöintialueet
- 6 Rakennuskoneet ja nosturit
- 7 Materiaalien varastointi
- 8 Muottikalusto
- 9 Puut, kasvillisuus
- 10 Sähkö ja valaistus
- 11 Muut

Seuraavassa kuvassa kulkutunneli esimerkkinä turvallisuuden hallintaan liittyvästä työmaasuunnittelun objektista (Kuva 6).



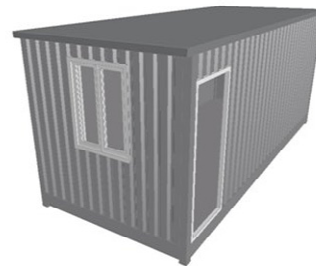
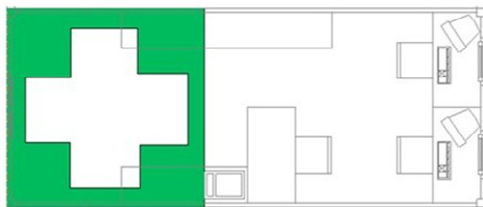
Kuva 6 TurvaBIM-kulkutunneli.

Kirjastoon löytyi valmiita käyttökelpoisia objekteja pääasiassa Construction Equipments -kirjastosta, Graphisoftin Object Depository –sivuilta /3/, jossa ohjelman käyttäjät voivat jakaa mallintamiaan objekteja keskenään. Myös mallinnusohjelman sisältämistä kirjastoista löytyi yksittäisiä hyödyllisiä objekteja kuten kuorma-auto (Kuva 7).



Kuva 7 Esimerkkejä löydetystä käyttökelpoisista GDL-työmaaobjekteista.

Esimerkki TurvaBIM-hankkeessa muokatusta 3D-objektista on työmaakoppi ensiapusymbolilla. Tarkoituksena on saada tietomallista tuotettuihin 2D-piirustuksiin Ratu – ohjeen mukainen ensiapu-symboli (Kuva 8). Samalla periaatteella on muokattu myös esimerkiksi valmiiksi mallinnettuna löytynyt työmaahissi.



Alkuperäisen objektin tekijä:
Tibor Szolnoki, Graphisoft
<http://archicad-talk.graphisoft.com>

Kuva 8 Esimerkki TurvaBIM-hankkeessa muokatusta 3D-objektista: Ratu – ohjeen mukainen ensiapu-symboli lisätty 2D-kuvausta varten.

TurvaBIM-kirjastoa on käytetty esimerkkikohteen tietomallipohjaisen aluesuunnitelman laatimiseen (kuvattu luvussa 4.3). Lisäksi objektikirjastoa on käytetty ja kehitetty myöhemmin toteutetun BIM-aluesuunnittelupilotin työmaamallinnuksen yhteydessä. Mahdollinen jatkokehitys koskee parametrisuuden rakentamista ja objektien hyödyntämismahdollisuuksien kehittämistä muissa mallinnusohjelmissa. GDL-muotoiset työmaaobjektit ovat suoraan hyödynnettävissä vain ArchiCAD-ohjelmassa, mutta niiden geometria voidaan siirtää ArchiCAD:istä esimerkiksi Teklaan IFC-muotoisen työmaasuunnitelman välityksellä.

4.3 BIM-aluesuunnittelun demonstraatio, Case Ankkahovi

4.3.1 BIM-aluesuunnitelman laatiminen esimerkkikohteeseen

Tutkimushankkeessa tehtiin työmaan tietomallipohjaisen aluesuunnittelun testaus käyttäen päätyneen asuinrakennuskohteen, Skanskan As Oy Vantaan Ankkahovin materiaalia. Tavoitteena oli demonstroida työmaan uusia tietomallintamiseen perustuvia esitystapoja, havainnollistamista ja mallinnusvälineiden käyttömahdollisuuksia.

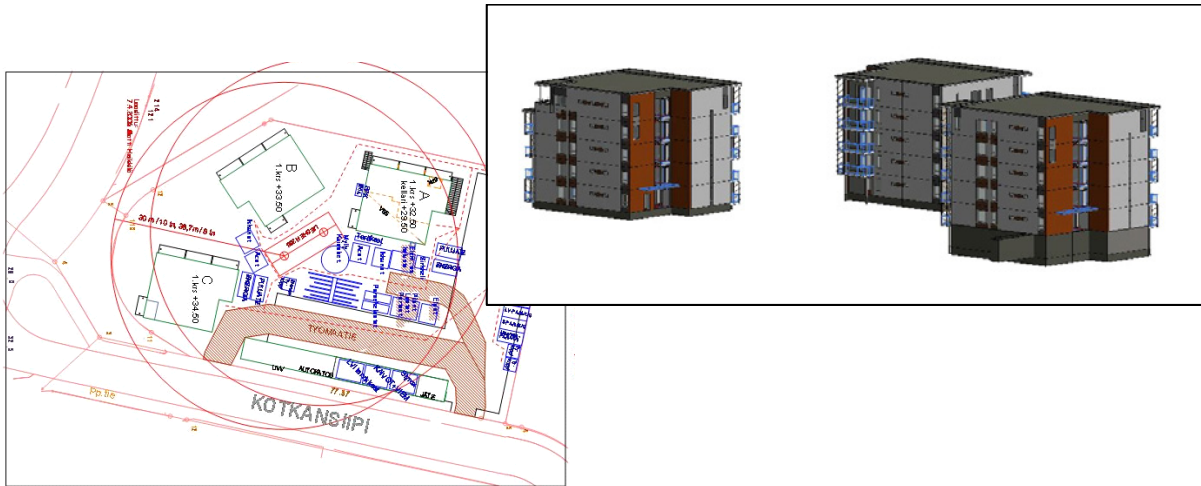
Esimerkkikohteesta oli olemassa arkkitehdin tietomalli ja rakennesuunnittelijan elementtijaon sisältävä ElementtiApi-malli sekä työmaan perinteinen 2D-aluesuunnitelma (dwg-muotoinen). Tutkimushankkeessa mallinnettiin työmaa-alue elementtiasennusvaiheeseen laaditun aluesuunnitelman mukaan sekä kohteen lähiympäristöä katuineen ja rakennuksineen karkeasti. Ensimmäisessä vaiheessa käytettiin lähtöaineistona arkkitehdin mallintamia rakennuksia ja rakennusosiin ei kytketty vielä aikataulutietoa. Elementtiasennusvaiheen tietomallipohjaisen putoamissuojaussuunnittelun demonstroitua varten aluesuunnitelmaan liitettiin myöhemmin rakennesuunnittelijan elementtijaon sisältävä ArchiCAD-malli, johon elementointi oli tehty nk. ElementtiApi-laajennuksella.

Kohteen arkkitehtisuunnittelun ja rakennusten mallinnuksen on tehnyt Arkkitehtitoimisto L-N Oy ja rakennesuunnittelun sekä mallin pilkkomisen elementeiksi Finnmap Consulting Oy. Työmaasuunnitelman mallinnus on tehty VTT:llä.

Työmaan aluesuunnitelman mallinnus eteni seuraavasti:

1. LÄHTÖKOHTA JA MALLINNUKSEN ALOITUS

Mallinnuksessa lähdettiin liikkeelle arkkitehdin ArchiCAD 9:llä mallinnetusta rakennusten tietomallista ja työmaan aluesuunnitelman mallinnuksessa käytettiin ArchiCAD 11 mallinnusohjelmaa. Arkkitehti ei ollut mallintanut maanpintaa, mutta malli sisälsi 2D-tonttikartan ja asemapiirustuksen, joita voitiin hyödyntää lähtötietoina. Lisäksi urakoitsijan tekemä valmis 2D dwg-muotoinen elementtiasennusvaiheen aluesuunnitelma liitettiin referenssikuvaksi samaan mallitiedostoon. Ennen työmaan mallinnusta tietomalliin luotiin myös lisää kuvatasoja työmaavaiheen varusteille ja visualisointeihin liittyville mallinnuksille.

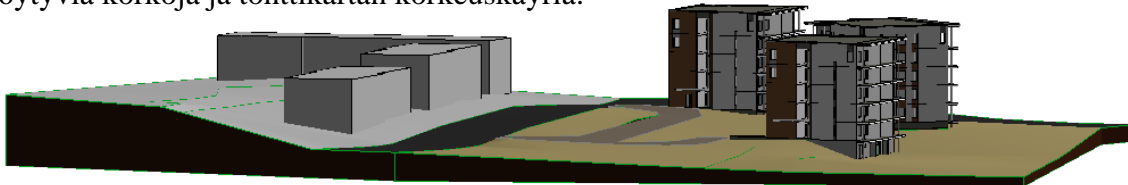


Kuva 9 Case -hankkeen alkuperäinen 2D-alue suunnitelma ja arkkitehdin tietomalli.

2. TONTIN MALLINNUS

Tutkimushankkeessa mallinnettiin työmaa-alueen pinta sisältäen työmaatie sekä liittyvät kadut ja vastapäinen kortteli sekä korttelissa sijaitsevat rakennukset massoina karkeasti (Kuva 10). Tontin pinta on mallinnettu likimääräisesti ja vastaa mieluummin valmista maanpintaa kuin työmaan todellisia korkoja elementtiasennusvaiheessa.

Tontin ja lähiympäristön 3D-pinta mallinnettiin mallinnusohjelman pintatyökalulla. Korkomaailman tutkimiseen ja korkeusasemien määritykseen käytettiin asemakuvasta löytyviä korkoja ja tonttikartan korkeuskäyriä.



Kuva 10 Työmaan ja siihen liittyvien katujen ja lähiympäristön mallinnus.

3. TYÖMAASUUNNITELMAN MALLINNUS ELEMENTTIASENNUSVAIHEESEEN

Esimerkkihankkeen tietomallipohjainen alue suunnitelma sisältää rakennuksien, tontin ja lähiympäristön lisäksi työmaan elementtiasennusvaiheen väliaikaiset varusteet ja tilannekuvaukset kuten työmaatilat ja aitaukset, materiaalien varastointialueet ja liikennöintiväylät, koneet ja sähköpääkeskukset sekä visualisointeihin liittyviä mallinnuksia. Lisäksi työmaa-alueelle on testausmielessä sijoitettu myös esim. autopaikkoja, jotka eivät kuulu Case -hankkeen todelliseen työmaan alue suunnitelmaan. Mallin keskeinen sisältö on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 2).

Taulukko 2 Aluesuunnittelun demonstraatiomallin sisältö.

Rakennukset:
– Arkkitehdin mallintamat kolme kerrostaloa
Tontti ja lähiympäristö
– Työmaa-alue ja työmaatie (pintoja) – Liittyvät kadut (pintana) ja kadunnimi (3D-objektina) – Vastapäinen kortteli (pinta) ja rakennukset (massoina karkeasti mallinettuina) – Lisäksi testausmielessä työmaa-alueelle sijoitettu myös autopaikkoja, jotka eivät kuulu Case -hankkeen todelliseen työmaan aluesuunnitelmaan (objekteja)
Työmaatilat ja aitaukset
– Työmaa- ja varastokopit (objekteja) – Työmaa-aitaus (aitaobjekteilla mallinnettuna)
Työmaan koneet
– Nosturi (objekti) – Työmaasirkkeli (objekti) – Betonimylly (objekti)
Sähkö ja valaistus:
– Sähköpääkeskus (objekti)
Materiaalien ja välineiden varastointi (mallinnus objekteilla):
– Materiaalinippuja: polystyreeni, terästankoniput, ikkunat, LVI-putkia – Elementtiasennuskalustolle ja elpoille sekä pilari-, laatta- ja porraselementeille varatut alueet kuvattuina yleisellä materiaali-objektilla, jota voidaan käyttää minkä tahansa materiaalin ja aluevarauksen esittämiseen, ja esim. betonielementtien osalta objektien 3D-värikyksenä harmaa – Roskalavat (objekteina), ja niiden selitykset (puujäte, energia) pohjalle sijoitettuina 3D-teksteinä – Elementtiteline ("elementtifakki")
Visualisoinnit:
– Nosturiulottuvuus (objekti) – Kulkutiet (mallinnettu perustyökaluilla) – Ajoneuvoja kulkuteillä ja paikoitusalueella (objekteja)

Työmaasuunnitelman mallinnuksessa käytettiin ja kehitettiin nk. TurvaBIM-kirjastoa, joka sisältää työmaasuunnittelun 3D-komponentteja kuten kuvauksia työmaavarusteille ja esimerkiksi materiaalien varastointiin liittyviä objekteja (enemmän objektikirjastosta luvussa 4.2). Työmaaobjektien sijoittamiseksi tontin pinnalle oikeaan paikkaan ja korkeuteen, mallinnuksessa hyödynnettiin referenssikuvana alkuperäistä 2D-aluesuunnitelmaa ja mallinnusohjelman painovoima -ominaisuutta. Näin sijoitus tapahtuu mahdollisimman helposti, osoittamalla aluesuunnitelmakuvan avulla objektin sijoituspistettä vastaava paikka

mallissa ja ohjelma ottaa korkeusaseman pintamallista sijoituspisteen kohdalta. Seuraavassa kuvassa on yleisnäkymiä aluesuunnittelumalliin (Kuva 11).



Kuva 11 Näkymiä TurvaBIM-hankkeessa mallinnettuun työmaan tietomallipohjaiseen aluesuunnitelmaan.

4.3.2 Tietomallipohjaisen aluesuunnitelman käyttömahdollisuuksia

Tietomallipohjaisesta työmaan aluesuunnitelmasta voidaan tuottaa monenlaista kuvamateriaalia sekä staattisina kuvanäkyminä että animaatioina. Lisäksi tietomallia voidaan käyttää erilaisten havainnollistuksien tekemiseen esimerkiksi työmaan muuttuvista tai vaaroja aiheuttavista tilanteista. Seuraavassa on esitelty konkreettisten esimerkkien avulla näitä tietomallintamiseen liittyviä uusia esitystapoja, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi:

- perehdyttämisessä
- turvallisuussuunnittelun ja työmaa-alueen käytön suunnittelun tukena
- riskien arvioinnissa
- vaaroista tiedottamisessa sekä
- kommunikoinnin ja tiedonvälityksen tukena erilaisissa kokouksissa ja hankkeen tilaajan kanssa käytävissä keskusteluissa.

Uudenlaisen 3D-havainnollistusmateriaalin rinnalla tietomallista on tarkoituksena tuottaa edelleen myös piirustuksia kuten esimerkiksi perinteinen tekstiselitykset sisältävä 2D-aluesuunnitelma, jota voidaan käyttää rinnakkain kolmiulotteisen BIM-aluesuunnitelman kanssa. Lisäksi mallista saadaan esimerkiksi työmaavarusteita koskevaa määrä- ja tuotetietoa.

STAATTISET KUVANÄKYMÄT

Työmaan kolmiulotteisesta aluesuunnittelumallista voidaan tuottaa halutuista kohdista ja näkökulmista erilaisia havainnollisia näkymiä työmaasuunnitelmaan. Staattiset näkymät voivat olla yleisnäkymiä tai detaljeja kuvaavia näkymiä. Haastavat kohdat tai ratkaisut voidaan näyttää myös korostettuina. Lisäinformaatiota voidaan tuoda suunnitelmanäkymään väreillä ja 3D-teksteillä, esim. lisäämällä roskalavojen kylkeen tai pohjalle 3D-tekstiselityksenä ”puujäte”, ”metalli” jne. Esimerkiksi työmaan yleisnäkymiä voidaan tuottaa myös renderoituina kuvina (Kuva 12).



Kuva 12 Renderoimalla visualisoitu havainnekuva työmaasta.

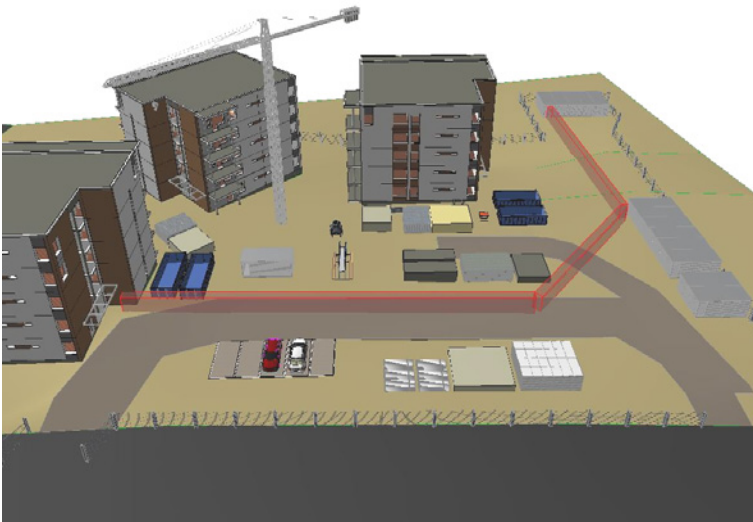
TYÖMAAN VÄLIAIKAISTEN JÄRJESTELYJEN JA VAARA-ALUEIDEN VISUALISOINTI

Turvallisuuden hallintaan liittyviä tietomallintamiseen perustuvia visualisointimahdollisuuksia ovat esimerkiksi:

- **Väliaikaisten aluevarausten visualisointi:** Väliaikainen aluevaraus voi tarkoittaa käytännössä esimerkiksi tilan varaamista tilapäisesti tiettyjen materiaalien varastoinnille tai tietyn työvaiheen tehokkaaseen ja turvalliseen suorittamiseen.
- **Kulkureittien visualisointi:** Työmaa-aikaisten kulkuteiden havainnollistuksella voidaan viestiä työmaalla työskenteleville kulloinkin turvallisimmat kulkuväylät (vrt. Kuva 13).
- **Nostoihin liittyvien vaara-alueiden visualisointi:** Esimerkiksi nosturin ulottuvuusalueen 3D-visualisointi vastaa kysymykseen, mitä jäisi alle jos taakka pääsisi putoamaan, tai mihin nosturin puomin on mahdollista osua. Tutkimushankkeessa nosturiulottuvuuden havainnollistus toteutettiin tekemällä 3D-ulottuvuuslieriö objektiksi, jota käytettiin

yhdessä nosturiobjektin kanssa (vrt. Kuva 15). Tämänkaltaisen tarkastelun merkitys kasvaa, jos työmaan ympärillä on niukasti tilaa ja mahdollisuus törmäyksiin.

- **Muiden varoalueiden esittämiseen ja vaaroista varoittamiseen:** Erityisesti suurella työmaalla esim. kaivannoista varoittaminen tai erityisen liukkaiden kulkuteiden tai muiden vaaratekijöiden sijainnin osoittaminen 3D-näkymän avulla voi helpottaa viestin perille saamista. Tietomallin ja sen avulla tehtyjen visualisointien hyödyntäminen vaaroista tiedottamiseen voisi koskea käytännössä myös esimerkiksi johdoista, kaapeleista ja putkilinjoista sekä niiden suoja-alueista varoittamista, tai pilaantuneen maa-aineksen, tai muiden terveydelle vaarallisten aineiden kuten asbestin ja mikrobien vaikutusalueen osoittamista.



*Kuva 13 Kulkuteiden
havainnollistus tietomallissa.*



*Kuva 15 Nosturiulottuvuuden
havainnollistus tietomallissa.*

Ajankohtaisista erityisvaaroista viestiminen voi tapahtua työmaalla tällä hetkellä käytännössä esimerkiksi paperitulosteiden avulla, ja tulevaisuudessa esim. 3D-kuvien tai animaatioiden ja suurikokoisen näyttöpäätteen avulla.

LIIKKUVA KUVA

Samasta tietomallista voidaan tuottaa myös liikkuvaa kuvaa eli animaatioita. Tutkimushankkeessa luotua aluesuunnittelumallia käytettiin virtuaalisen työmaakierroksen tekemiseen, josta seuraavassa staattisia kuvanäkymiä (Kuva 16). Liikkuvan kuvan avulla työmaasta voidaan antaa nopeasti yleiskuva esim. työmaan esittelyssä tai perehdyttämisessä.



Kuva 16 Kuvanäkymiä työmaakierros –videosta.

Demonstraatioiden tuottamiseksi tutkimushankkeessa ”mallinnettiin suunnitelma”, eli perinteisenä viivapiirustuksena laadittu työmaan 2D-aluesuunnitelma. Käytännössä tavoitteena on kuitenkin ”suunnitella mallintamalla”, jolloin kolmiulotteisuus tukee itse suunnittelutyötä, eikä pelkästään suunnitelman jälkiarviointia ja kommunikointia muille osapuolille.

4.4 Kokemuksia tietomallipohjaisesta aluesuunnittelusta

Raportoidut kokemukset tietomallipohjaisesta aluesuunnittelusta perustuvat VTT:llä tehtyyn Case-mallinnukseen (As Oy Vantaan Ankkahovi), työmaan uusien esitystapojen kehittelyyn ja tietomallinnukseen BIM-aluesuunnittelun pilotissa, sekä Skanskan Porin yksikön pilotissa ja tämän jälkeen muissa rakennuskohteissa saamiin kokemuksiin. Tietomallipohjaisen aluesuunnittelun pilottikohde oli Teollisuuden Voiman rakennuttama täydennysrakennuskohde, jossa Skanska talonrakennus oli pääurakoitsijana. Työmaa ja pilotointi käynnistyivät toukokuussa 2008. Tavoitteena oli viedä työmaan aluesuunnittelua tietomallinnuksen piiriin ja hankkia käytännön kokemuksia tietomallin hyödyistä työmaasuunnittelussa. Kohteesta oli arkkitehtimalli, joka sisälsi laajennusosan lisäksi tontin ja olemassa olevat rakennukset. Työmaa mallinnettiin VTT:llä arkkitehtimallia hyödyntäen (Kuva 18).

Kaiken kaikkiaan kokemukset tietomallipohjaisesta aluesuunnittelusta ovat olleet lupaavia sekä työmaan ohjauksen kannalta että tutkimus- ja kehitystyön näkökulmasta. Seuraavassa on kuvattu tarkemmin mallinnustestaus- ja pilottikokemuksia mallinnusvälineisiin ja -käytäntöihin sekä tietomallin hyödynnettävyyteen liittyen.

Ohjelmat ja välineet 3D/4D-aluesuunnitelman laatimisessa:

- Arkkitehtimallinnusohjelmassa (ArchiCAD) on pinta-työkalu, jolla tontti ja ympäröiviä alueita voidaan mallintaa. Muutenkin arkkitehtimallinnusohjelma palvelee melko hyvin staattisen aluesuunnitelman mallinnusta mm. siksi, että mallinnetuille osille voidaan määrittellä todellisen näköiset 3D-materiaalit. Lisäksi yksinkertaisia työmaaobjekteja voidaan tehdä suhteellisen helposti. Ohjelmaan saadaan käyttöön alkeelliset 4D-toiminnot simulointilaajennuksella. Simuloinnin heikkous kuitenkin on kaikkien työmaaobjektien näkyminen väliaikaisina rakenteina samanvärisinä ja läpikuultavina tiettyä kalenteripäivää edustavassa tilannenäkymässä.
- Kehittyneemmät 4D-ominaisuudet löytyvät esimerkiksi Tekla Structures-ohjelmasta. Tällaisia ovat sekä suunniteltujen että toteutuneiden aikataulutietojen kytkeminen yksittäisille osille tai tietyllä kriteerillä valitulle joukolle, sekä kalenteripäiviä vastaavien tilannenäkymien saaminen aikataulutetusta mallista käyttäjän itse määrittelemillä värityssäännöillä varustettuna. Lisäksi vasta rakennesuunnittelijan malli vastaa rakennusosiltaan ja elementoinniltaan työmaatoteutuksen aikataulutustarpeita. Elementoinnin suunnitteluun ArchiCADiin löytyy ElementtiApi-laajennus, mutta se on käytössä vain harvalukuisella suunnittelijajoukolla. Työmaa-alueen tontin ja esim. ympäröivien alueiden pinnan mallinnukseen rakennemallinnusohjelmassa puolestaan ei ole työkalua. Tasainen tontti voidaan kuitenkin mallintaa esim. ”tasaisena laattana”. Tekla Structures-ohjelmiston 4D-ominaisuuksien avulla ohjelmalla voisi tehdä paikallavalu-kohteisiin myös muottikiertosuunnitelmia, jos muottikalustosta olisi valmiit 3D-komponentit mallintamiseen.

BIM-aluesuunnitelman tietosisältö ja mallinnuskäytännöt:

- Työmaa-alueen pinnan mallinnustavasta on päätettävä työmaan mallintamisen alkaessa. Mallinnus voi tapahtua tasaisena, karkeasti tai tarkasti. Jos tontti on melko tasainen ja tavanomainen, mallinnus tasaisena pintana voi palvella työmaasuunnittelua. Näin se on helppo mallintaa ja työmaa-objektien sijoitus on yksinkertaisesta. Jos taas on tarpeen mallintaa useampi eri korkeusasemassa oleva rakennus, on pinnan mallinnus tehtävä ainakin karkeasti korkoineen, muuten osa rakennuksista leijuisi mallissa ilmassa. Maaston muotojen mallinnus voi tapahtua yksinkertaistaen esim. määrittelemällä korot suunnitellun rakennuksen nurkkapisteissä ja tontin kulmissa tai reunoilla ja mallintamalla pinta tälle välille tasaisesti nousten/laskien. Pinnan mallinnuksen jälkeen työmaaobjektit lisätään painovoima-ominaisuuden avulla tontin pinnalle. Toimintoa voi käyttää vain elementtejä luotaessa ja objekteja sijoitettaessa. Aiemmin sijoitettuihin osiin painovoima-ominaisuutta ei voi jälkikäteen hyödyntää.
- Arkkitehti on voinut mallintaa tontin pinnan pihasuunnitelman mukaisen lopputilanteen mukaisesti. Työmaan tietomallipohjaisen aluesuunnitelman monikäyttöisyyttä ja todenmukaisuutta kuitenkin lisää se, että työmaa-alueen pintamalli perustuu rakennusaikaisiin korkoihin, eikä pelkästään arkkitehdin pihasuunnitelmaa edustavaan tarkkaan lopputilanteeseen. Tontin voi mallintaa lähtötilanteessa tarkasti tonttikartan korkeuskäyrien avulla, mutta jos tietomallia ei pyritä hyödyntämään esim. maanrakennusvaiheen massojen laskentaan, lisätyöstä ei välttämättä ole hyötyä, vaan karkea mallinnus riittää. Todellisuudessa pintamaat joka tapauksessa poistetaan maanrakennustöiden alkaessa ja maastoa tasoitetaan. Täydennysrakennus- ja laajennuskohteessa arkkitehdin mallintama tontti vastaa työmaan alkutilannetta ja palvelee siksi suoraan myös työmaan mallintamista.
- Perinteisessä 2D-piirustuksessa suuri määrä informaatiosta on tekstimuodossa. Eri asioiden erottumista voidaan ajatella säädeltävän tekstin koolla ja tähän liittyvä 2D-piirros osoittaa täsmällisesti komponentin paikan. 3D on havainnollinen, mutta koska mallinnus tapahtuu oikeilla mitoilla, pienet komponentit kuten sähköpääkeskus voi hukkaa suurelle työmaalle, kun mallia tarkastellaan kuitenkin pääasiassa etäämmältä yleisnäkyminä. Myös karkeasti mallinnetut komponentit voi olla vaikea tunnistaa täsmällisesti 3D:ssä. Keinoja suunnitelman sisällön tulkinnan helpottamiseksi 3D:ssä on lisätä informaatiota myös kolmiulotteiseen näkymään tekstinä tai tunnuskuvalla. Pilotin mallinnuksen yhteydessä sähköpääkeskuksen havaitsemista parannettiin sähkö-huomiokuvalla. (vrt. Kuva 17)



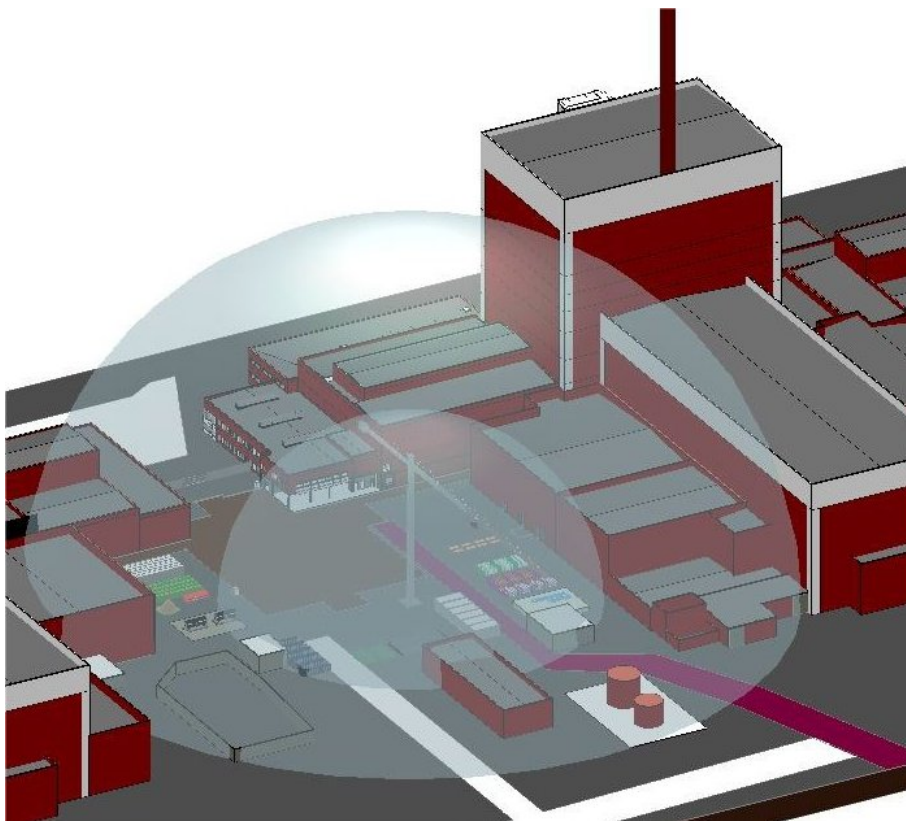
Kuva 17 Kolmiulotteisen BIM-aluesuunnitelman tulkintaa voidaan helpottaa teksti-informaatiolla tai kuvallisella viestinnällä.

- Urakoitsijalta saadun palautteen mukaan aluesuunnitelman pitäisi olla niin havainnollinen, että henkilö, joka ei ole työmaalla koskaan käynyt, hahmottaisi siitä työmaatoiminnot heti ja selkeästi. Toisaalta, koska tietomallipohjainen aluesuunnitelma on visuaalisesti havainnollinen, sen oikeellisuus ja virheettömyys on tärkeämpää kuin perinteisellä tavalla tehdyssä aluesuunnitelmassa. Esimerkiksi objektien 3D-esitystapa pitäisi olla havainnollinen (tunnistettavissa), mutta ei kuitenkaan harhaanjohtava. Mikäli on epävarmaa, mitä esim. tietyllä varastointialueella täsmälleen ottaen tulee olemaan tai hyvä 3D-kuvaus tietomalliin puuttuu, voi olla parempi käyttää nk. yleistä objektia eli 3D-kuutiota. Esim. Case-hankkeessa elementtiasennuskalustolle sekä elementtipilareille, laatoille ja portaille varatut välivarastointialueet mallinnettiin yleisenä 3D-työmaaobjektina tapaukseen soveltuvalla värityksellä. Ohjelmallisesti tällaisen yleisobjektin käyttöä ja tunnistamista tukisi mahdollisuus määritellä objektille esim. selitysteksti, joka ponnahtaisi näkyviin, kun objektia osoittaa 3D-näkymässä.
- Aluesuunnitelmaan tulisi mallintaa myös työmaalle saapuvien kuormien purkupaikat. Lisäksi ajoväyliä voitaisiin havainnollistaa näkyvästi eri väreillä. Pilotissa paloauton ajoväylä havainnollistettiin punaisella korostevärillä ja varustettiin 3D-tekstiselityksellä.
- BIM-aluesuunnitelmapohjasta on tarkoitus tuottaa työmaasuunnitelma myös perinteisenä piirustuksena. Tästä syystä joidenkin valmiina löytyneiden työmaaobjektien 2D-esitystä muokattiin tutkimushankkeessa Ratu-ohjeen (C2-0299 Rakennustyömaan aluesuunnittelu) suosituksen mukaiseksi. Tietomallipohjainen suunnittelu tuo kuitenkin mukanaan uusia esitystapoja ja mahdollisuuksia. Perinteisen 2D-viivapiiroksen suositellut esitystavat eivät välttämättä ole enää käytännössä paras tapa esittää asioita myöskään piirustuksien tuottamiseen käytettävässä 2D-näkymässä. 2D-esitystapojen kehittäminen tietomallista tuotetuissa piirustuksissa edellyttäisi kuitenkin enemmän käytännön kokemuksia. Esimerkiksi katsottaessa 2D-suunnitelmaa näytöltä tai väritulosteissa, tontin sisältämien eri alueiden erottamista toisistaan voidaan parantaa mallinnettujen pintojen 2D-täytteillä ja soveltuvia värityksiä käyttäen. Lisäksi 3D-ikkunassa voidaan suunnitelmaa katsoa suoraan ylhäältäkin päin, jolloin pintamateriaalien väritys ja tekstuurit ovat hyödynnettävissä suunnitelman tulkintaan. Tätä voidaan hyödyntää mm. työmaalla tapahtuvassa suunnittelussa, kommunikoinnissa ja työn ohjauksessa, jos tietomallipohjaista suunnitelmaa voidaan katsoa suoraan mallinnus- tai katseluohjelmalla tietokoneen näytöltä, eikä ainoastaan mallista tuotettujen näkymien tai piirustuksien kautta.

Pilottikokemuksia tietomallipohjaisen aluesuunnitelman hyödynnettävyydestä:

Pilottityömaalla ja sen jälkeen mallinnetulla nk. Eurooppa-korttelin työmaalla on saatu hyviä kokemuksia työmaan mallintamisesta ja kiinnostus mallintamiseen on herännyt työpäällikkötasolla asti. Hyviin kokemuksiin perustuen urakoitsijan Porin yksikkö on päättänyt pyrkiä mallintamaan jatkossa kaikki työmaansa. Pilotissa tietomallia hyödynnettiin turvallisuuden hallintaan erityisesti paloauton ajoväylän havainnollistuksessa ja torninosturin kaatumiseen liittyvien riskien analysoinnissa. Kaiken kaikkiaan tietomallipohjaista aluesuunnitelmaa hyödynnettiin pilottihankkeessa seuraavilla tavoilla:

- Tietomallipohjaisesta aluesuunnitelmasta tuotettuja kuvia ja työmaakierros-animaatiota (video) käytettiin perehdyttämiseen liittyvässä työmaan esittelyssä sekä työmaajärjestelyjen esittelyssä tilaajalle.
- Paloauton ajoväylä havainnollistettiin staattisessa 3D-näkymässä punaisella korostevärillä ja 3D-tekstillä. Lisäksi paloauton reitti työmaan läpi havainnollistettiin liikkuvalla kuvalla (video).
- Työmaalle tehtiin turvallisuusanalyysi siitä, mitä tapahtuu, jos työmaalle valittu torninosturi kaatuu. Käytännössä mallintamalla selvitettiin, mihin nosturi voi kaatuessaan osua. Kaksi erilaista kaatumistapausta visualisoitiin tietomalliin 3D-pyörähdykappaleena. Visualisointi tehtiin mallintamalla nk. murska-alue ja uloin kaatumisalue (Kuva 18). Nk. murska-alue syntyy nosturin kaatuessa takapaino edellä ja uloin kaatumisalue nosturin kaatuessa puomi edellä. Tässä hyödynnettiin kokemuksepäistä tietoa nosturin käyttäytymisestä kaatumistilanteessa, jonka mukaan puomi tyypillisesti taittuu suhteessa jalkaan ja ulottuu kauemmas kuin koossa pysyessään. Tietomallin keskeinen hyöty perinteiseen 2D-piirustukseen nähden tässä tarkastelussa on, että kolmiulotteista vaara-alueita voidaan tarkastella mistä tahansa suunnasta mallia kääntelemällä ja myös kohtisuorina näkyminä suhteessa ympäristöön. Esimerkiksi suoraan ylhäältä tai sivusta, jolloin myös korkeussuunnassa nähdään täsmällisesti mihin nosturin kaatumisalue ulottuu.



Kuva 18 Nosturin nk. murska-alueen ja uloimman kaatumisalueen visualisointi pilottihankkeessa.

Nk. Eurooppakorttelin pysäköintihalli-hankkeessa urakoitsija mallinsi myös työmaan vaiheistusta. Mallinnuksen avulla havaittiin, että ensin suunniteltu vaiheistus ei ollut käytännössä mahdollinen toteuttaa alueella jo olevien torninostureiden sijoittelun ja maapohjan kantavuuteen liittyvien rajoitteiden vuoksi. Myös kohteen kaivantosuunnitelmaa toteutettiin mallintamalla, käyttäen tähän ArchiCADin pintatyökalua. Lisäksi kyseisessä kohteessa yritettiin mallintaa myös muottisuunnitelmia. Saatujen kokemusten perusteella mallintavaan muottisuunnitteluun tarvittaisiin 4D-työkaluja ja tarkoitukseen hyvin soveltuvat valmiit objektit.

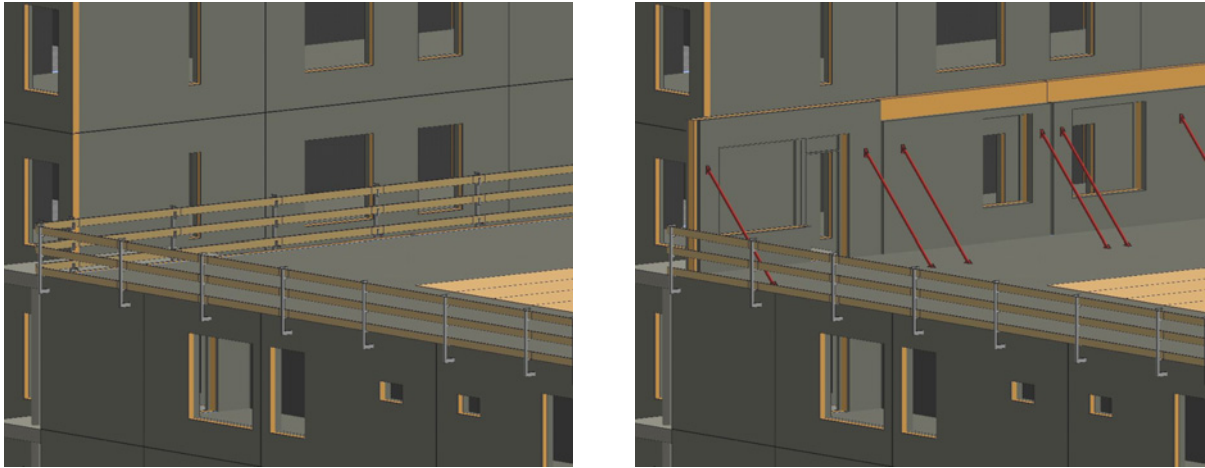
5 Tietomallin muita käyttömahdollisuuksia turvallisuuden hallinnassa

5.1 4D ja turvallisuus

Kolmiulotteisista tietomalleista päästään 4D:hen, kun tietomallin rakennusosiin kytketään aika, jolloin rakentamisen suunniteltua tai toteutunutta tilannetta voidaan tarkastella tietyllä ajan hetkellä. 4D:n hyödyntäminen kasvaa talonrakentamisen tuotannosuunnittelussa koko ajan. Käytännön kokemuksia 4D:n hyödyntämisestä on erityisesti elementtiasennusaikataulun suunnittelussa ja simuloinnissa sekä työmaatoteuman seurannassa. Esim. Tekla-tuotantomalleissa rakennusosille talletetut status tiedot ovat olleet suunniteltuja suunnittelu-, valmistus- ja asennuspäiviä sekä näiden toteumatietoja. Näiden tietojen avulla on voitu esimerkiksi välittää tieto suunnitellusta rakentamisjärjestyksestä tai toteutuneesta työmaatilanteesta hankkeen eri osapuolille kolmiulotteisena näkymänä pelkän Internet-selaimen välityksellä. 4D mahdollistaa myös tarpeenmukaisien havainnollistusten tekemisen erilaisilla käyttäjän määriteltävissä olevilla värityssäännöillä. Käytännössä 4D:ssä voidaan visualisoida esimerkiksi seuraavana päivänä asennettavat osat punaisella korostevärillä.

Rakennemalliin perustuva tuotantomalli on työmaatoteutuksessa tärkeä, sillä 4D-aikataulutus tehdään työmaatoteutusta vastaaville kokoonpanoille. Tulevaisuudessa tuotantomalli vaatii myös aluesuunnitelman ympärilleen, jotta työmaa-alueen turvallisuutta ja esim. logistiikkaan liittyviä tarkasteluja voidaan tehdä tietomallitekniikkaa hyödyntäen. Teknisesti rakentamisjärjestyksen 4D-simuloinnin lähtökohtana voikin olla tietomalli, joka sisältää rakennuksen ja työmaan sekä kaikki mallinnetut turvallisuuden hallintaan tai työmaalogistiikkaan liittyvät komponentit.

Aluesuunnittelussa tarvittavat työmaavarusteet, samoin kuin turvallisuuden hallinnassa käytettävät suojaukset ja varusteet, ovat tietomallintamisen ja 4D-simuloinnin kannalta tyypiltään väliaikaisia rakenteita, jotka eivät ole olleet rakennuksen suunnittelun kannalta tarpeellisia, ja tästä syystä niitä ei ole ollut myöskään suunnittelijoiden mallinnusohjelmien kirjastoissa. Turvallisuussyistä myös jotkut työmaan väliaikaiset tilanteet ja järjestelyt olisi kuitenkin hyödyllistä mallintaa, esimerkkeinä putoamissuojaus ja kaivannot. Tulevaisuudessa myös turvallisuuden hallintaan liittyvät järjestelyt tulisivatkin näkyä 4D-tuotantomallissa niin, että rakennuksen osien rakentamisen ohella mallissa näkyy kuhunkin työvaiheeseen liittyvät turvallisuusjärjestelyt. Seuraavissa kuvissa on demonstroitu turvallisuustehtävien liittämistä 4D-tuotannosuunnitteluun esimerkkinä elementtiasennuksen putoamissuojaus (Kuva 19), joka on turvallisuuden hallinnan näkökulmasta ensimmäinen suuri askel kohti tietomallipohjaista turvallisuuden hallintaa. Putoamissuojaussuunnittelun saaminen osaksi 4D-tuotannosuunnittelua edistäisi putoamissuojausten suunnittelua myös siksi, että käytännössä konkreettinen putoamissuojaussuunnitelma nähdään nyt työmaalla vain harvoin.



Kuva 19 Mallinnus elementtiasennuksen putoamissuojauksen suunnittelussa.

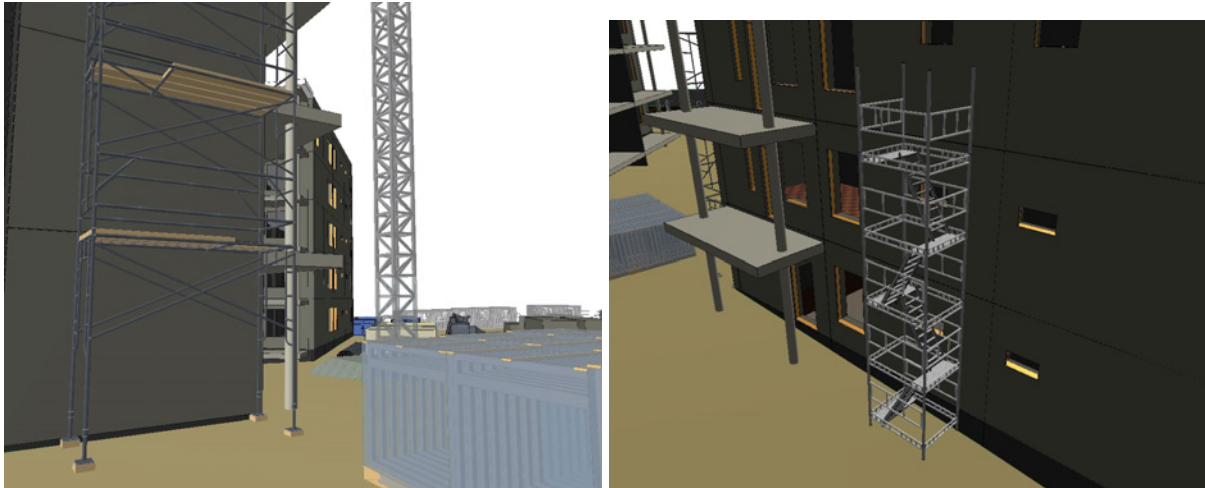
Kun rakennesuunnittelija on miettinyt elementtien asennusjärjestystä, pitäisi suunnitelma esittää 4D-simulaationa tuotannon suunnittelijoille, jotka voisivat kertoa miten putoamissuojaukset toteutetaan. Rakennesuunnittelijat saisivat näin palautteen, jonka perusteella rakennettavuus ja turvallisuus otetaan huomioon ja tehdään tarvittava suunnittelu näihin liittyen. Kuvissa näkyvien kaiteiden ja aukkosuojauksen lisäksi putoamissuojaukseen liittyviä oleellisia mallinnettavia osia olisivat turvaverkot ja valjaiden kiinnityspisteet. Seuraavassa taulukossa on esitetty lisää 4D-tuotannosuunnitteluun liitettävissä olevia turvallisuuden hallinnan erityissuunnitelmia, sekä vastaavia mallinnettavia turvallisuusvälineitä (Taulukko 3).

Turvallisuuden hallintaan liittyvien rakenteiden ja välineiden informaatiota voidaan lisätä liittämällä niihin havainnollisen geometrian lisäksi 3D-selitystekstejä. Huomion herättämiseksi 3D-näkymissä voidaan käyttää myös esim. huomiovärejä ja 4D:ssä värityssääntöjä ajankohtaisien ja erityishuomiota vaativien rakenteiden ja varusteiden korostamiseksi.

Taulukko 3 Turvallisuuden hallintaan liittyviä tehtäviä ja erillissuunnitelmia ja näiden vaikutus tietomallintamiseen.

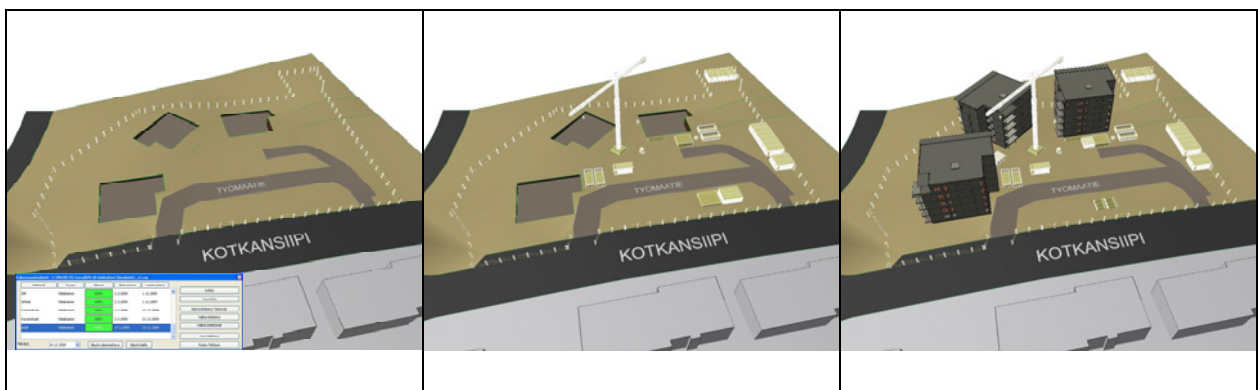
Turvallisuustehtäviä	Mallinnusmahdollisuuksia
Putoamissuojaussuunnitelma	<ul style="list-style-type: none"> - Suojakaiteet ja niiden kiinnityselimet - Suojakatokset ja niiden kiinnitykset - Ankkurointipisteet, esim. turvavaljaat - Aukkosuojaus esim. holveilla
Telinesuunnitelma	<ul style="list-style-type: none"> - Telineet - Tarkastuksien statustieto kuten suunniteltu ja toteutunut pystytyspäiväkin (esim. "Checked by" ja "Date Checked" kuten Teklassa betonielementeille)
Pelastussuunnitelma, palontorjuntasuunnitelma	<ul style="list-style-type: none"> - Ajoväylät, hyökkäystiet, erityisesti hälytysajoneuvoille - Poistumistiet - Sammutuskaluston sijainti ja laatu
Nosto- ja siirtotyösuunnitelma sekä tarkastukset	<ul style="list-style-type: none"> - Nostokalusto kuten torninosturit jalustoineen tai ratoineen sekä ulottuma ja nostokapasiteettitiedolla varustettuna - Ajoneuvonosturit ulottuma ja nostokapasiteettitiedolla varustettuna sekä nostopaikat - Rakennushissi nostokapasiteettitietoineen - Kurottajat, trukit ja muut nostokoneet vaara-alueineen - Tarkastuksien statustieto kuten suunniteltu ja toteutunut pystytyspäiväkin (esim. "Checked by" ja "Date Checked" kuten Teklassa betonielementeille)
Tulitöiden suunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> - Alkusammutuskalusto ja sen sijainti - Tulityön suoja-alue, jolla ei saa olla syttyviä materiaaleja, esim. 3D-kappaleella kuten nosturiulottuvuus - Poistumisteiden havainnollistus tulityöalueelta

Seuraavassa kuvassa on esitetty rakennustelineitä viitteellisesti Case-hankkeen tietomallissa (Kuva 20).



Kuva 20 Telinesuunnitelman demonstrointia löytyneellä telineobjektilla ja viitteellisesti mallinnetulla Haki-porrastornilla.

Tutkimushankkeessa 4D-mahdollisuuksia testattiin pienimuotoisesti myös perinteistä dynaamisemman ja tietomallipohjaisesti ajan tasalla pidettävän BIM-alue suunnitelman tekemiseksi. Testaus toteutettiin ArchiCAD 11 ohjelmalla ja siihen saatavilla olevalla simulointilaajennuksella, käyttäen yhdistettyä tietomallia, jossa on arkkitehdin rakennusten sijaan rakennesuunnittelijan elementtijaon sisältävä ElementtiApi-malli ja työmaan aluesuunnitelma. Simulaatio luotiin määrittämällä tehtävät ja niiden tyyppi (purettava/rakennettava/väliaikainen), kytkemällä näihin vastaavat 3D-mallin rakennusosat, sekä aikatauluttamalla asennus määrittelemällä asennuksen aloitus- ja lopetuspäivä. Väliaikaisina rakenteina työmaavarusteille kerrottiin käytännössä milloin ne tulevat ja milloin poistuvat paikaltaan. Aikataulutuksen jälkeen päästään näkemään suunnitelmaa vastaava työmaatilanne 3D:ssä tietynä, valittuna kalenteripäivänä. Staattisten päivänäkymien lisäksi aikataulutiedon sisältävän simulaatitietokannan avulla voidaan tuottaa myös animaatio, joka näyttää liikkuvan kuvan avulla, kuinka työmaa rakentuu. Seuraavassa kuvassa on esimerkkejä simulaation avulla tuotetuista päivänäkymistä työmaasuunnitelmaan tiettyinä kalenteripäivinä työmaan alkuvaiheessa, ennen elementtiasennuksen alkua ja sen päätyttyä (Kuva 21).



Kuva 21 Päivänäkymiä TurvaBIM-alue suunnitelman 4D-simulointiin.

Turvallisuusjärjestelyjen mallinnuksessa 4D:n yksi keskeinen hyöty staattiseen BIM-aluesuunnitelmaan nähden on, että samassa tietomallissa voi olla kaikki rakennuksen kiinteäksi osaksi asennettavat rakennusosat ja eri työvaiheisiin liittyvät väliaikaiset turvallisuusjärjestelyt. Rakentamisjärjestyksen määrittämisen ja aikataulutuksen jälkeen suunniteltu tilanne työmaalla nähdään päivänäkymienä niin, että esim. suojakaiteet ja seinäelementit eivät näy päällekkäin mallissa. Staattisessa tietomallissa osien näkymistä vastaavalla tavalla voidaan kontrolloida periaatteessa kuvatasojen avulla, mutta tämä on huomattavasti työläämpää. Esim. ArchiCAD-arkkitehtimallinnusohjelman simulointilaaajennusta käytettäessä ohjelma hyödyntää tasoja, mutta tässä ratkaisussa ohjelma tekee tiedon syöttämiseen ja päivittämiseen liittyvät raskaat rutiinit. Tämän tutkimushankkeessa testatun simulointilaaajennuksen 4D-työkalujen heikkoudeksi havaittiin kaikkien väliaikaisien rakenteiden (työmaavarusteiden) näkyminen 4D-tietokantaa käytettäessä samanvärisinä. 3D:ssä samat komponentit näkyvät 3D-materiaalien (pintaväri ja tekstuuri) ansiosta todellisen näköisinä, mutta kaikki yhtä aikaa. 4D-mallin perustana on kuitenkin aina 3D-malli, ja aikataulutietojen kytkemisen jälkeenkin 3D-mallin osien valinta ja filterointimahdollisuudet ovat edelleen käytettävissä niin, että kulloinkin halutut rakennusosat ja turvallisuusvälineet voidaan valita kolmiulotteiseen näkymään.

4D-mallia ja siitä tuotettuja työmaan tilannenäkymiä ja animaatioita voidaan hyödyntää turvallisuuden hallinnan näkökulmasta erityisesti seuraaviin tarkoituksiin:

- **Turvallisuuden suunnittelu ja vaarojen tunnistaminen:** 4D tukee riskien arviointia ja erityisvaarojen tunnistamista samalla kun rakentamisjärjestystä ja tiettyihin työvaiheisiin liittyviä turvallisuusjärjestelyjä suunnitellaan ja analysoidaan. Tässä yhteydessä voidaan tarkastella myös esim. töiden yhteensovittamista ja työskentelytilan riittävyttä turvalliseen työsuoritukseen.
- **Työnopastus:** Töiden ja työvaiheiden opastus tietomallin avulla.
- **Ajankohtaisista töistä, vaaroista ja turvallisuusjärjestelyistä tiedottaminen:** Ajan tasalla olevaa 4D-tietomallia voidaan hyödyntää tulevien töiden ja hankkeen etenemisen käsittelyssä ja tiedottamisessa. Tietomallista tuotettu materiaali palvelee esim. ajankohtaisista töistä ja niihin liittyvistä turvallisuusjärjestelyistä viestittäessä. Lisäksi esim. tavanomaisesta poikkeavat ja haastavat tai muusta syystä erityishuomiota vaativat rakenneratkaisut voidaan korostaa suunnitelmista havainnollisesti.
- **Tarkastusten todentaminen:** Vastaanotto-, käyttöönotto- ja viikkotarkastuksien tilannetiedot voivat olla 4D-mallin statustietoja niin, että suunniteltujen ja toteutuneiden asennuspäivien lisäksi komponentin statustietoihin rekisteröidään esim. tarkastaja ja tarkastuspäivä.

5.2 Projektin aikana ideoituja tietomallintamisen käyttötapoja

Kehitysprojektin aikana järjestettiin kaksi työpajatilaisuutta, joissa ideoitiin tietomallin hyödyntämismahdollisuuksia rakentamisen turvallisuuden hallinnassa. Kumpaankin tilaisuuteen osallistui noin 20 henkilöä ja osallistujina oli tutkijoiden lisäksi rakennusyritysten, suunnittelutoimistojen, ohjelmistoyritysten sekä kalustovuokrausyritysten ja suojalaitetoimittajan edustajia. Yhteensä 33 eri henkilöä yli kymmenestä eri yrityksestä osallistui näihin työpajoihin (osallistujalista sivulla 2). Tilaisuuksien tavoitteena oli ideoida tietomallintamisen käyttö- ja soveltamismahdollisuuksia laajasti ja seuraavassa esitetään yhteenvedotulokset ideoinnista ja keskusteluista /41/, /42/.

Työpaja 1 Tietomallin hyödyntämismahdollisuudet turvallisuuden hallinnassa

Työpajassa käsiteltiin hyödyntämismahdollisuuksia neljästä näkökulmasta, jotka olivat riskien hallinta, turvallisuussuunnittelu, koulutus ja perehdyttäminen sekä valvonta ja tarkastukset.

Riskien hallinta

- Tietomallin avulla parannetaan yhteistyötä riskien arvioinnissa. Havainnollisuuden avulla osapuolet ymmärtävät suunnitteluratkaisuja paremmin ja heidät saadaan aidosti osallistumaan riskien hallintaan. Parempi kommunikointi tietomallin avulla liittyy myös muihin turvallisuuskäsitelmiin.
- Riskiarviointi tehostuu, kun arviointia tehdään eri suunnittelualojen yhdistetyn tietomallin avulla, jossa ovat näkyvissä myös talotekniikkajärjestelmät.
- Peruskorjauskohteessa inventointimalli helpottaa riskipaikkojen tunnistamista ja purkusuunnitteluun liittyvää riskitarkastelua.
- Urakoitsija voi 4D-suunnittelun avulla ennakoida tuotannon riskitekijöitä ja -paikkoja. 4D-suunnittelun avulla laaditaan parempia ja toteutuskelpoisia suunnitelmia, jolloin muutosriskit vähenevät.
- Työmaavaiheessa riskien arvioinnissa tarvitaan ajantasaista tietoa työmaan tilanteesta, jotta olosuhteet ja muutosten vaikutuksia voidaan ottaa huomioon. Tämän vuoksi tarvitaan 4D-suunnittelun lisäksi myös ajantasaista toteutumatieta 4D-tilanteesta.
- Tietomalleja käytetään suunnitteluvaiheessa erilaisiin analyyseihin koskien esim. energiankulutusta tai sisäolosuhteita. Vastaavasti mallin avulla voitaisiin tarkastella työmaavaiheen esim. palontorjuntaa, kemikaaliriskejä, valaistusta tai lämpötila- ja tuuliolosuhteita, mutta tämä edellyttää sopivia näiden ilmiöiden mallinnus- ja analysointiohjelmia.

Turvallisuussuunnittelu

- Työmaan tietomallipohjaisen aluesuunnitelman tärkein suunnittelunäkökulma on alueen käytön ja aluevarausten suunnittelu sekä erityisesti eri toimintojen yhteensovittaminen niin, että turvallisuusriskit ja samalla häiriöt minimoidaan.
- Työmaan aluesuunnitelma, mm. kulkureitit ja niiden vaaranpaikat, visualisoidaan havainnekuvilla.
- Aluesuunnitelman tulee olla ajantasainen, mikä edellyttää suunnitelman päivittämistä tai uusimista rakentamisvaiheen mukaisesti.
- Elementtiasennussuunnitteluun osallistuu useita hankeosapuolia kuten esim. asennusaliurakoitsija, pääurakoitsijan työnjohtaja/vastaava työnjohtaja, rakennesuunnittelija ja pääsuunnittelija sekä elementtitoimittajat. Tietomallin havainnollisuutta tulee hyödyntää yhteisissä suunnittelutilanteissa.
- Elementtien painot tulee olla valmiina mallin elementeissä, jotta voidaan tarkistaa, ettei aiotun nosturin nostokapasiteettia ylitetä.
- Keskeisten rakenteiden asennussuunnittelun yhteydessä tulee mallin avulla tehdä myös maatumis- ja turvallisuustarkastelut mm. haalustehtävien osalta.
- Putoamissuojaussuunnittelussa on määriteltävä turvavaljaiden ym. putoamissuojaimien kiinnityspaikat tietomalliin. Putoamissuojaussuunnittelu on tehtävä yhdessä elementtiasennussuunnittelun kanssa, jolloin tarkistetaan esimerkiksi elementin ja kaidetyypin yhteensopivuus. Toisaalta tämä tulisi tehdä niin aikaisessa vaiheessa, että työmaatuotannon mahdolliset vaatimukset ehdittäisiin ottaa elementtisuunnittelussa ja valmistuksessa huomioon. Vastaavasti tietomallisuunnitelmissa pitää määritellä elementtitukien kiinnikkeet, erityiset kaidekiinnitykset, kattopollarit jne.
- Mallin avulla voidaan suunnitella nosto- ja siirtoreitit sekä varastointipaikat työmaa-alueella ja rakennuksen sisällä. työmaalla. Samalla tarkistetaan esim. holvien kantavuus varastoinnista aiheutuvien pistekuormien varalta. Suunnittelussa on otettava huomioon materiaali-, kalusto- ja jätesierrojen lisäksi henkilöliikenne. Kehittyneemmässä suunnittelussa voitaisiin tarkastella myös siirtokaluston käyttöä ja tarkemmin maatumisasiota.
- Työturvallisuussuunnittelua varten tarvitaan koneiden ja kaluston 3D-objekteja, jotka sisältävät dynaamista tietoa esim. ulottuvuuksista ja kapasiteetista sekä tarvittavista kulkureiteistä
- Telinesuunnittelu voidaan tehdä tietomallipohjaisena suunnitteluna vastaavasti, kuten suunnittelu tehdään nyt 2D-suunnitteluna. Telinemallista saadaan samalla eriteltyt osaluettelot.
- Purkutyösuunnitelman mukaista purkujärjestystä ja logistiikkaa voidaan havainnollistaa mallin avulla.
- Rikosvalvontaan liittyen esim. kameroiden sijoittelu voidaan suunnitella tietomallin avulla niin, ettei jää katvealueita.

- Palo- ja pelastautumissuunnitelma liittyy aluesuunnitelman laadintaan ja on esitettävä viranomaiselle. Työmaa-aikaiset poistumistiet ja hälytysajoneuvojen kulkureitit esitetään pysyvinä tilavarauksina mallissa eikä suunnitella esimerkiksi väliavarastointia näille alueille.
- Esittämällä eri suunnittelunäkökulmat samassa tietomallissa, voidaan päällekkäisyydet havaita. Hallitsemalla tietomallissa eri tietoja esim. tasojen tms. avulla, voidaan tarvittaessa tulostaa tarpeellisia 2D-erikoissuunnitelmia esim. viranomaisille.
- Lähes kaikkien turvallisuussuunnittelun osa-alueiden lopputuloksena on jokin suunnitelma. Tämän suunnittelun suoritusvastuita sekä eri suunnitelmien yhteensovittamista esim. tietomallin avulla on tarkennettava samalla, kun nämä suunnittelukäytännöt yleistyvät.
- Rakennuksen ja sen järjestelmien suunnittelussa tulee varmistaa myös kiinteistöhuollon työturvallisuus ja työedellytykset, jotka tulee kerätä muun muassa viranomaisvaatimusten mukaan (VNp 629/94) käyttö- ja huoltoturvallisuutta käsittelevänä osana huoltokirjaan. Koneteollisuudessa tutkitaan huoltotöiden suoritusmahdollisuuksia ja työturvallisuutta myös tietomallien avulla.

Koulutus ja perehdyttäminen

- Tietomallin visuaalisuutta voidaan hyödyntää kaikessa rakennushankkeen perehdytyksessä ja koulutuksen konkretisoinnissa.
- Tietomallin avulla voidaan tehdä työmaan virtuaalikierrros ennen todellista työmaan kävelykierrrosta. Virtuaalikierrroksella saadaan kokonaiskuva ja voidaan osoittaa mm. keskeiset vaarat.
- Tietomallin avulla voidaan ottaa huomioon erilaiset perehdyttämistarpeet ja toteuttaa erilaiset perehdyttämispolut. Tällaisia erityistarpeita ovat mm. kielikysymykset (mallissa kielivalinnat ja selitykset), kokemus (eri kohtia voi painottaa kokeneilla ja kokemattomilla), kulttuuritaustat (toimintatapojen painottaminen jne.), yritystausta (oman yrityksen työntekijä / toisen yrityksen työntekijä, taustalla yritysten erilaiset toimintatavat ja totutut pelisäännöt)
- Tietomallia voidaan käyttää työnopastuksessa, jossa työmaan eri vaiheet ja työtehtävän kesto voidaan ottaa paremmin huomioon. Rakennushankkeen eteneminen näkyy 4D-mallissa tietynä ajanhetkenä. Näkymä voi olla rakennusvaiheiden mukainen, simuloitu tai kokonaiskuva kohteen etenemisestä, rakentamisjärjestyksestä ja vaiheiden liittymisestä toisiinsa.
- Koulutuksessa tietomalleja voidaan käyttää mm luomalla koulutusaineistoja, jotka hyödyntävät tietomallien visuaalisuutta. Koulutusaiheina voivat olla esim. turvallisuusosaamisen testaus, yleisimmät tapaturmatyypit, tapaturmien tutkinta, läheltä piti -tilanteet (missä ja mitä, selostukset/tarinat), hätäpoistuminen sekä hätätilanteet ja pelastustoimet.
- Tietomalli on myös yleisinfotaulu jokapäiväisen perehdyttämisen/ ajantasaisen informaation pohjana.

Valvonta ja tarkastukset

- Kiinnittämällä viikkotarkastusten havaintopaikat tai TR-mittauksen poikkeamat tietomallin geometriaan syntyy havainnollinen kuva tilanteesta sekä syntyy helpommin suuremmalle ryhmälle käsitys ongelmapaikoista, kun tietoja kertyy pidemmältä ajalta. Visualisointia voidaan hyödyntää myös poikkeamien korjausten seurannassa. Tieto ongelmapaikoista ja muistakin riskipaikoissa on samalla palautetietoa suunnittelijoille ja muille hankeosapuolille.
- Jos aluesuunnitelmaan liitetään aikatiedot (4D-aluesuunnitelma), voidaan säännöllisessä havainnoinnissa helposti seurata aluesuunnitelman toteutumista, mm. alueiden käyttöä, koska
- Työmaan toteutumista tulee verrata 4D-tuotantosuunnitelmaan ja tunnistaa mahdollisia poikkeamiin liittyviä vaaroja ja riskejä.
- Ajoneuvonostureiden nostopaikkojen sijoitusta tulee valvoa tietomallipohjaisen elementtiasennussuunnitelman avulla. Samalla tulee valvoa tarvittavia suojaetäisyyksiä.
- Telineiden käyttöönottotarkastuksessa telineen 3D-kuvien avulla voidaan tarkastaa esim. vinositeiden ja sidontapisteiden oikeellisuus.
- Pidemmän aikavälin kehitysvisiona voisi olla: työmaalla olevien henkilöiden sijaintia seurataan dynaamisesti paikkatietojärjestelmän avulla ja henkilölle tiedotetaan henkilökohtaisella viestintäjärjestelmällä työmaan tietomallissa ylläpidettävistä vaaranpaikoista, jotka vaikuttavat henkilön työympäristössä. Tarvittavat teknologiat ovat periaatteessa olemassa, mutta paikkatiedon hallinta jouduttaisiin toteuttamaan työmaakohtaisilla järjestelmillä, koska gps-paikannus ei toimi kunnolla sisätiloissa. Myös viestintään käytettävän julkisen tietoverkon kuuluvuudessa voi olla ongelmia esim. suljetuissa kellaritiloissa.

Työpaja 2 Tietomallin hyödyntämismahdollisuudet – syventävät aiheet

Kehitysprojektin toisessa työpajassa työryhmiä pyydettiin esittämään ideoita ja näkemyksiä seuraavista tutkijoiden valitsemista syventävistä aihealueista

- Millä työvälineillä tietomallipohjainen aluesuunnitelma pitäisi tehdä?
- Työmaasuunnittelun komponenttikirjaston sisältö
- Kone- ja kalustopalvelut
- Osaaminen ja organisointi
- Miten turvallisuus liitetään 4D-suunnitteluun?

Millä työvälineillä tietomallipohjainen aluesuunnitelma pitäisi tehdä?

- Nykytilanteessa tietomallipohjainen aluesuunnitelma voidaan tehdä parhaiten arkkitehtimallin pohjalta ja arkkitehtien mallinnusohjelmilla. Arkkitehtimalli on projekteissa aikaisemmin käytettävissä kuin rakennesuunnittelijan malli, ja arkkitehtien

mallinnusohjelmista löytyy BIM-alue suunnitteluun hyvin soveltuvat mallinnusvälineet, esim. pintatyökalu tontin pinnan mallinnukseen.

- Muuhun tuotannon ja turvallisuuden suunnitteluun soveltuu paremmin rakennemallinnusohjelmat.
- Työmaalla ei voi olla monia CAD – ohjelmia käytössä. Työmaalla pitäisi olla yksi tuotantomalli ja yksi ohjelma, joka tarjoaa tarvittavat ominaisuudet mallin katseluun ja käsittelyyn työmaatarpeita vastaavasti. Tuotantomalli tulisi olla eri suunnittelijoiden malleista yhdistetty malli.
- Eri ohjelmien edut ja haitat sekä erot liittyvät toiminnallisuuserojen lisäksi ainakin käytettävyyteen (helppo/vaikea) ja hinnoitteluun sekä ohjelmatoimittajien antamaan tukeen Suomessa.
- Merkittävin tietotekninen kehittämistarve on mallien yhteensopivuus ja tiedonsiirto niiden välillä. Mallin tietoja voidaan siirtää ohjelmien välillä, mutta se edellyttää kokemusta ohjelmista joiden välillä tietoja siirretään. Myös mallien sisältämien objektien ja niiden tietojen tulisi siirtyä ohjelmien välillä, jotta samat objektit toimisivat eri mallinnusohjelmissa. Esim. eri mallinnusohjelmien kyky lukea tai kirjoittaa IFC:tä vaihtelee. Mahdollisuus yhdistää eri ohjelmilla mallinnettuja kokonaisuuksia paranee yhteensopivuusongelmien vähentyessä.

Työmaasuunnittelun komponenttikirjaston sisältö

Työryhmä keskusteli mitä työmaan kalustoa, koneita tai tilapäisiä rakenteita kuvaavia 3D-objekteja tarvittaisiin tietomallipohjaisessa alue- ja turvallisuussuunnittelussa. Lähtökohtana olivat projektissa kootut ja laaditut 3D-objektit ja seuraavassa luetellaan ryhmän ehdotukset:

1. Koneet: ajoneuvonosturi, kurottaja, betonipumppu puomilla, mastolava, työmaahissi, kuorma-auto, täysperävaunurekka, paalukone, ponttijärjestelmä ja kaivinkone
2. Henkilönsuojaimet: valjaiden käyttötilanteet, ankkurointipisteet ja ulottuvuudet, kaiteet (kaikki tyypit ja valmistajat), ihmishahmo suojaimilla
3. Työmaakopit: oikeanlaiset työmaakopit (ikkunoiden ja ovien sijainti), kulkutiet, kulkusillat, portaat ja rampit
4. Jäte: pahvi- / muovipuristin, erilaiset keräysastiat
5. Telineet ym.: alumiini, Haki, Vepe-askelmat, kulkusilta
6. Materiaalit ym.: portaat, kipsilevynippu, nestekaasusäiliö, lämmityskalusto, holvikontti
7. Muottikalusto: suurmuotit, pöytämuotit, järjestelmämuotit, tasot, kaiteet

Muuta kehitettävää:

- Parametroidut objektit (parametreja muuttamalla voidaan esittää useita variaatioita objektista)
- Nosturi: nosturin ulottuvuushunnun parametrit, puomin kääntösäde, huntun painot / tasot

- Tietyissä tilanteissa objektien esittäminen symboleilla ja väreillä saattaa olla havainnollisempi tapa esittää niitä esim. aluesuunnitelmassa kuin objektien autenttinen visuaalisuus.

Kone- ja kalustopalvelut

Lähtötilanne

- Tiedossa ei ole kaluston tai koneiden valmistajien tekemiä 3D-objekteja. Niistä löytyy kuitenkin melko kattavat 2D-esitykset ja voidaan arvioida, että valmistajat pystyvät tuottamaan 3D-objektit, kun asiakkaat alkavat niitä kysymään. Ryhmän yritysedustajat lupasivat selvittää tärkeimmiltä päämiehiltä onko 3D-objekteja kehitteillä ja tulossa käyttöön.
- Tällä hetkellä esim. muottisuunnitelmat tehdään 2D-CAD:lla. AutoCAD:n 3D-ominaisuuksia on kokeiltu, mutta ne eivät ole olleet tyydyttäviä vaan ko. ohjelman esitystapa on koettu sekavaksi.
- Teollisuudessa on käytössä 3D-reittikuvia huolto- ja kunnossapitotehtäviä varten.

Muottisuunnittelu

- Muottisuunnittelu nähtiin tärkeänä tietomallintamisen soveltamisalueena.
- 3D-käsittelytapa ja 3D-visualisointi sopivat muottisuunnitteluun, koska rakenteet ovat suurelta osalta myös muita kuin tasomaisia.
- Muottisuunnittelulla on vaikutus työmaaturvallisuuteen, kun suunnittelussa määritellään esim. muottien rakenteellinen lujuus ja ohjeet muottien oikeaa kokoamista varten.

Telinesuunnittelu

- Telinesuunnittelussa 3D-suunnittelusta olisi erityisesti hyötyä tilamaisten telineiden suunnittelussa.

Muuta

- Tietomalli tukee jo sinänsä kalustoon liittyvää suunnittelua, koska 3D-esitystapa havainnollistaa hyvin lähtötilanteen. Vaikka suunnittelijat ovat tottuneet lukemaan 2D-piirustuksia, on rakenteiden kolmiulotteisuuden ja eri korkeusasemien ymmärtäminen helpompaa 3D-kuvan avulla.
- Työturvallisuuteen liittyvässä mallintavassa suunnittelussa tarvitaan eri tarkkuustasoja: mm. havainnollisuuteen pyrkivä yleissuunnitteluja ja toisaalta mm rakenteelliset turvallisuuteen liittyvät yksityiskohdat sisältävä tarkka suunnittelu.
- Kalustoon liittyvät suunnitelmat tehdään monesti liian myöhäisessä vaiheessa hankeprosessissa ja kiire haittaa työtä sekä oikeiden valintojen tekemistä. Kalustosuunnittelu jätetään toteutusvaiheeseen ja urakoitsijan vastuulle, kun sen merkitystä ja vaikutusta turvallisuuteen ei riittävästi ymmärretä. Yleisenä trendinä on turvallisuuteen liittyvien suojalaitteiden vaatimusten kiristyminen. Tämä tulee

edellyttämään turvallisen toteutuksen suunnittelua sekä erilaisten varausten tai teknisten ratkaisujen valintaa nykyistä varhaisemmassa vaiheessa rakennusprojektissa.

- Kalustosuunnittelun lähtötietojen saannissa on myös usein vaikeuksia ja tämä aiheuttaa myös turvallisuusriskejä.
- Työmaan turvallisuusratkaisut ovat osa työmaan logistiikan hallintaa ja myös hankintoja, jotta osataan ostaa oikeita palveluja ja ratkaisuja turvallisuuden parantamiseksi.
- Ryhmässä pohdittiin ja esitettiin selvitettäväksi miten esim. telakalla hyödynnetään 3D-ratkaisuja tuotannosuunnittelussa ja turvallisuuden hallinnassa.

Osaaminen ja organisointi

Kenen pitäisi tehdä aluesuunnitelma

- Aluesuunnitelmasta juridisesti vastuussa oleva päätoteuttaja, eli tavallisesti työmaapäällikkö, jota projekti-insinööri avustaa

Ovatko käytettävissä tarvittavat ohjelmat? Riittääkö osaaminen?

- Tulee pyrkiä työmaan optimaaliseen ohjelmistokokonaisuuteen.
- Koko turvallisuussuunnittelun prosessi ja eri toimijoiden velvoitteet tulee huomioida, kun kehitetään tietomallintamisen käyttöä turvallisuussuunnittelussa. Siihen vaikuttaa rakennuttajan, rakennesuunnittelun sekä työmaan velvoitteet.
- Maaston mallinnustarkkuuden vaatimus on suuri, minkä vuoksi arkkitehti- ja rakennesuunnittelun mallinnusohjelmat eivät välttämättä ole parhaita. Mallinnuksessa tulee esittää mm. kaltevuudet ja kaivannot. Maastomallinnuksella on liittymä mittaukseen.
- Tietomallintamisen visioissa yhtä suurempi määrä hankkeen tietoja hallitaan tietomallin avulla, mikä asettaa vaatimuksia paitsi tietomallisovelluksille niin myös niiden integroinnille muihin tietojärjestelmiin.

Sähköisen BIM-aluesuunnittelun hyödyntäminen työmaalla

- perehdyttäminen
- havainnollistaminen ja 3D-hahmotus
- logistinen hallinta ja kalustosuunnittelu
- massat, mitoitus
- tilannetietoja työntekijöille: esim. esitetään päivän tai jopa tarkempi työmaatilanne isolla näytöllä työmaatiloissa
- työmaanaikainen pelastussuunnitelma: tieto mallina pelastuslaitokselle

Koulutustarve ja työmaahenkilöstön osaaminen

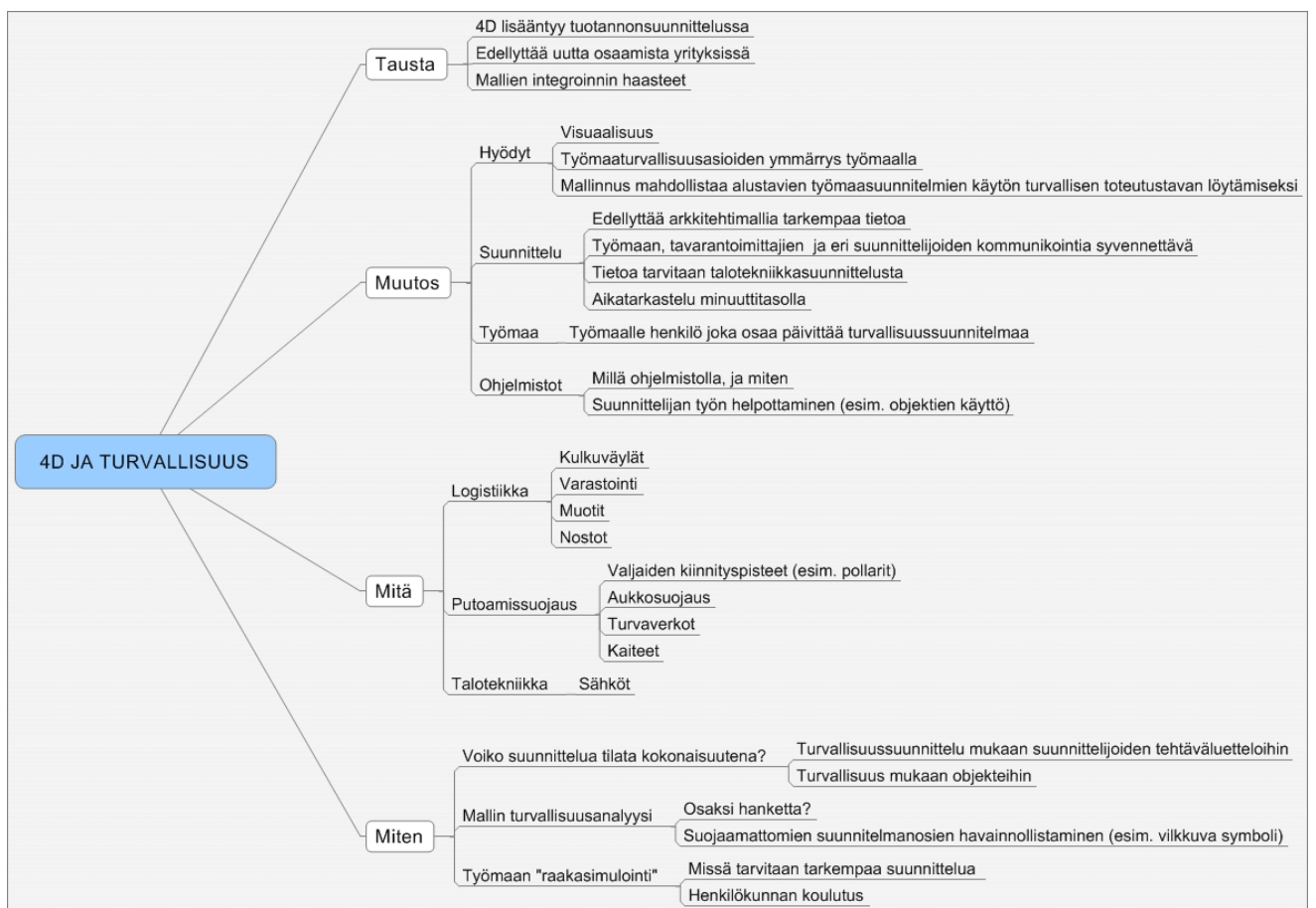
- Tarvitaan monenlaista koulutusta: keskijohdon kouluttaminen (projektipäälliköt, rakentamispäälliköt), 3D- ja 4D- koulutus, myös asenne kuntoon
- Viranomaiset mukaan tukemaan muutosta. Myös, kun tilaaja asettaa vaatimuksia, syntyy ainakin sopimusvelvoitteita asioiden toteuttamiselle.

- Toimialalta toivotaan yhteistä standardointia mm. objektikirjaston tekeminen.
- Vuosiseminaari voisi toimia yhteisenä tiedotusfoorumina

Miten käyttöönotto organisoidaan yrityksissä?

- Resursseja ja tukihenkilöitä koulutusvaiheeseen
- Yritysjohdon tuki ja tilaajan vaatimukset
- Turvallinen työmaa voisi olla alan vientituote
- Jatkokehittäminen RYM-SHOK:iin!

Turvallisuuden liittäminen 4D-suunnitteluun



6 Tulosten arviointi

6.1 Tietomallintamisen hyödyt turvallisuuden suunnittelussa ja hallinnassa

Tietomallia voidaan hyödyntää turvallisuuden suunnittelussa ja hallinnassa erityisesti kolmiulotteisen BIM-aluesuunnitelman muodossa sekä liitettäessä turvallisuuden hallinta osaksi 4D-tuotannosuunnittelua. BIM-aluesuunnitelman havainnollisuus ja sen mukanaan tuomat hyödyntämismahdollisuudet perinteisiin 2D-aluesuunnitelmiin nähden ovat nousseet tutkimushankkeessa voimakkaasti esiin. Turvallisuustehtävien liittäminen 4D-tietomalliin puolestaan avaa täysin uusia mahdollisuuksia tarkastella turvallisuutta osana tuotantoa, lisätä yhteistyötä turvallisuusasioissa ja tehostaa turvallisuusviestintää. Lisäksi malliin voidaan tallentaa sellaista tietoa, joka aiemmin on ollut pelkästään tekstimuodossa erillisissä turvallisuuden hallinnan dokumenteissa. Näiden mahdollisuuksien täysimääräinen hyödyntäminen tosin edellyttää vielä ohjelmien ja toimintatapojen kehittämistä.

Turvallisuuskulmasta tietomallin merkittävimmät hyödyt liittyvät kolmiulotteisen suunnitelman havainnollisuuteen, sekä tietomallin mahdollisuuksiin turvallisuuden suunnittelussa ja analysoinnissa, turvallisuustiedon hallinnassa, viestintävälineenä sekä henkilöstön motivoinnissa. Lisäksi 4D liittyy turvallisuuden hallinnan kiinteämmin tuotantoprosessiin ja mahdollistaa turvallisuussuunnitelmien ajan tasalla pitämisen. Tietomallintamisen merkittävimmät tunnistetut hyödyt turvallisuuskulmasta ovat:

Havainnollisuus ja visuaalisuus:

Rakennushankkeessa on monia toimijoita, joilla jokaisella on tiettyjä työturvallisuuteen liittyviä tehtäviä. Useat turvallisuustehtävät ovat myös sellaisia, jotka vaativat yhteistyötä sekä tehtävien suunnittelussa, toteutuksessa että seurannassa. Vastuu tehtävästä on aina tietyllä toimijalla, mutta rakennustyömaalla kaikilla toimijoilla on laaja yhteistoiminta- ja tiedonvälitysvelvoite. Tietomallin havainnollisuuteen liittyvät mahdollisuudet yhteisen keskustelun välineenä sekä kommunikoinnin ja tiedonvälityksen tukena ovat siksi suuret.

Visuaalisuus ja havainnollisuus tukevat työmaa-alueen käytön suunnittelua sekä suunnitelman kommunikointia, tiedonvälitystä ja yhteistyötä erilaisissa tilanteissa. Tietomallista saadaan työmaan ja turvallisuusjärjestelyjen havainnollinen esitys perehdyttämiseen, vaaratekijöistä tiedottamiseen, erilaisiin kokouksiin ja palavereihin, työn ohjaukseen sekä hankkeen tilaajan kanssa käytäviin keskusteluihin. Tilaajalle voidaan esitellä konkreettisella ja aidonnäköisellä esittelymateriaalilla esim. työmaajärjestelyjä, aituksia ja väliaikaisia kulkutiejärjestelyjä. Työmaan turvallisuussuunnitelmien tietoja voidaan yhdistää tietomallipohjaiseen aluesuunnitelmaan, jolloin voidaan tarkastella suunnitelmien yhteensopivuutta ja työmaaturvallisuuden kokonaistilannetta. Lisäksi BIM-aluesuunnitelmaan voidaan liittää uutta sisältöä ja lisätietoja perinteiseen aluesuunnitteluun nähden, esimerkiksi varoituksia ja

ohjeita liittyen nostopaikkoihin ja nostokoneiden vaara-alueisiin. Myös tavanomaisesta poikkeavat, haastavat tai muusta syystä erityishuomiota vaativat kohteet tai ratkaisut voidaan korostaa suunnitelmissa havainnolliseksi.

3D-analyysit työmaa-alueella:

Työmaa-alueen käytön vaihtoehtojen ja vaikutusalueiden tutkiminen helpottuu tietomallin avulla. 3D-tarkastelussa ongelmakohtat sekä vaara- ja haittatekijät on helpompi tunnistaa kuin perinteisiä 2D-aluesuunnitelmia tarkastelemalla. Kolmannen ulottuvuuden ansiosta myös esim. nosturin sijoittamiseen liittyvät törmäystarkastelut ja kaatumistilanteeseen liittyvien riskien arviointi tulevat mahdollisiksi. Samoin pystytään tekemään maatumistarkasteluja ahtaissa työmaaolosuhteissa, koskien esim. haalausreittejä iv-koneille sisään tai purkujätteille ulos sekä maan alaisien rakennustöiden kalustovalintoja koskien. Tietomallipohjainen turvallisuussuunnittelu mahdollistaa myös koneellisesti tapahtuvien tarkistusten ja analysointien kehittämisen manuaalisen analysoinnin rinnalle.

BIM-aluesuunnitelma on tietomalli:

Tietomallipohjainen aluesuunnitelma voi sisältää rakennusosista ja työmaavarusteista mm. geometria-, sijainti-, määrä- ja ominaisuustietoa. Yhdestä mallista saadaan tarpeen mukaan erilaisia näkymiä samaan suunnitelmaan 2D- tai 3D-näkyminä sekä liikkuvana kuvana. Tietosisältöä voidaan hyödyntää esimerkiksi määrälaskennassa ja tarkan tuotetiedon listaamisessa. Tietomallista voidaan tarkistaa mitä työmaavarusteita ja turvallisuusvälineitä suunnitelmaan sisältyy, niiden tarvemäärät sekä tilaamiseen tai valintaan tarvittavaa tuotetietoa.

Kolmiulotteinen BIM-aluesuunnitelma on välivaihe siirryttäessä kattavaan 4D-tuotannonsuunnitteluun. 4D voidaan nähdä menetelmänä ”työmaatilaa” dynaamiseen hallintaan ja sen yhteydessä on luontevaa käsitellä myös turvallisuuteen liittyvät asiat. Aluesuunnitelma sisältää laajasti ymmärrettynä rakennustyömaan koko tuotantoympäristön. Kehitettäessä tätä ”tuotantolaitosmallia” voitaisiin toteuttaa vastaavia tuotantosimulaatioita, kuin muussa teollisuudessa on tehty jo pitkään. Tähän liittyy mahdollisuus merkittäviin tulevaisuuden innovaatioihin.

Motivointi uuden tekniikan avulla:

Tietomallitekniikan käyttö edistää rakennushankkeen turvallisuutta lisäämällä motivaatiota turvallisuussuunnitteluun. Turvallisuussuunnittelu on mielekkäämpää, kun tekstidokumenttien ja 2D-viivapiirrosten rutiininomaisesta tuottamisesta ja dokumenttien hallinnasta siirrytään kolmiulotteiseen havainnolliseen ja dokumenttituotantoa helpottavaan työskentelytapaan. Lisäksi kiinnostus tekniikkaan lisää panostusta myös itse asiaan eli turvallisuuden suunnitteluun. Esimerkiksi putoamissuojasuunnitelma jää käytännössä usein karkeaksi yleissuunnitelmaksi, mutta 4D-tuotannonsuunnittelussa se tehdään dokumentoidusti osana normaalia tuotannonsuunnittelua. Turvallisuusviestintä uudenlaisen ja havainnollisemman materiaalin avulla kannustaa myös vastaanottajaa tutustumaan viestiin ja nopeuttaa sen ymmärtämistä.

Mallinnuksen käyttö painottuu vielä rakennusten suunnitteluun, mutta selvästi on havaittavissa, että tuotanto-organisaatioissa etsitään erilaisia mahdollisuuksia hyödyntää suunnittelun tuottamia tietomalleja, mikä lisää kiinnostusta myös esim. työmaan tietomallipohjaiseen aluesuunnitteluun. Tavoitteena on saada rakennushankkeisiin käyttöön ajantasainen 4D-tietomalli, joka mahdollistaa työmaasuunnitelman tarkastelun eri ajanhetkien mukaisina tilannenäkyminä sekä työmaatoteutuksen simuloinnin. Turvallisuuden hallinnan näkökulmasta 4D mahdollistaa turvallisuusjärjestelyjen visualisoinnin rakennushankkeessa eri ajan hetkinä. 4D-tietomallin ja siitä tuotettujen materiaalien merkittävimmät lisähyödyt kolmiulotteiseen BIM-aluesuunnitelmaan nähden liittyvät erityisesti mahdollisuuteen liittää turvallisuuden hallinta paremmin osaksi muuta tuotannosuunnittelua, sekä ajantasaisen tietomallin käyttömahdollisuuksiin. Seuraavassa tarkemmin tunnistetut lisähyödyt, jotka voidaan saavuttaa liitettäessä turvallisuus 4D-tuotannosuunnitteluun.

4D liittää turvallisuuden hallinnan kiinteämmin tuotantoprosessiin:

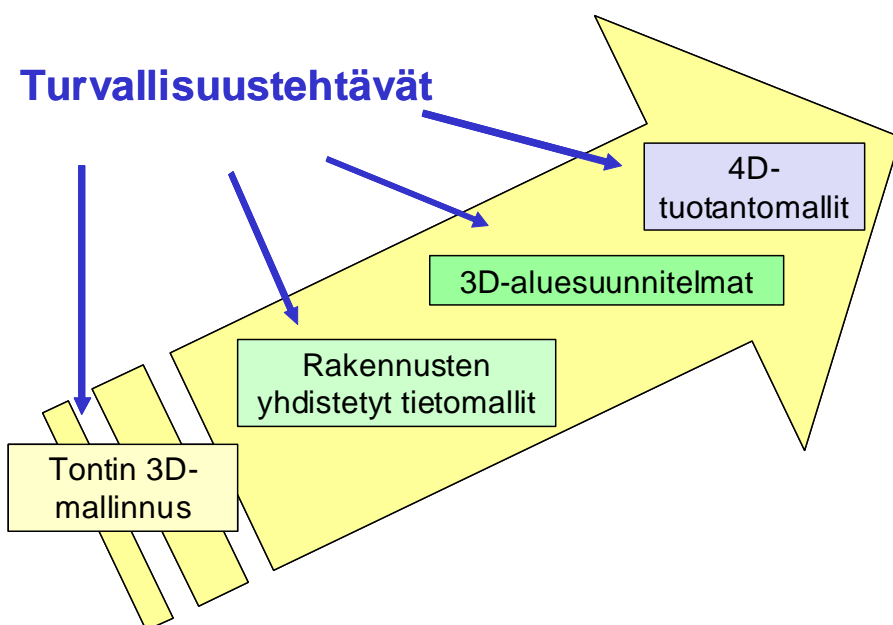
Turvallisuustehtäviä on perinteisesti hoidettu muun tuotannosuunnittelun rinnalla jossain määrin erillisenä asiana. Aluesuunnitelmaan on pystytty liittämään vain tiettyjä osia muista turvallisuussuunnitelmista. Käytännössä turvallisuussuunnitelmat ovat olleet erillisiä dokumentteja, joiden yhteensopivuutta, ristiriitoja tai kokonaisuutta ei ole pystytty kunnolla arvioimaan ja esittämään. Sama ongelma koskee myös tuotannosuunnittelun ja turvallisuussuunnitelmien yhteensovittamista. 4D mahdollistaa turvallisuustehtävien liittämisen kiinteämmin normaaliin tuotannosuunnitteluun. Ennen rakennustöiden toteutusta tapahtuvalla toteutusprosessin simuloinnilla voidaan arvioida esim. kohteen rakennettavuutta ja toteutukseen liittyviä riskejä. Rakentamisjärjestyksen ja eri työvaiheisiin liittyvien turvallisuusjärjestelyjen yhtäaikainen suunnittelu ja analysointi parantavat paitsi kohteen rakennettavuutta, myös eri työvaiheisiin liittyvien riskien ja vaaratekijöiden tunnistamista ja turvallisuuden suunnittelua. Tunnistetut vaaratekijät ja niihin liittyvät riskit sekä valitut torjuntatoimenpiteet ja suoja-alueet voidaan visualisoida 4D:ssä helposti ymmärrettävällä tavalla. Tässä yhteydessä voidaan tarkastella myös esim. töiden yhteensovittamista ja työskentelytilan riittävyttä turvalliseen työsuoritukseen. Lisäksi 4D-tietomallista tuotettuja näkymiä tai simulaatiota voidaan hyödyntää työnopastuksessa työvaiheiden läpikäyntiin havainnollisella tavalla.

Suunnitelmien ja toteumatiedon ajantasaisuus:

4D-työkalujen avulla voidaan pitää ajan tasalla BIM-aluesuunnitelmaa ja eri työvaiheisiin liittyvien turvallisuusjärjestelyjen suunnitelmia sekä näiden toteumatietoja. Ajantasaista tietomallia ja siitä tuotettuja materiaaleja, kuten tiettyjä päiviä kuvaavia tilannenäkymiä sekä simulointeja tietyltä aikaväliltä voidaan hyödyntää esim. tuotannon suunnittelupalaverissa, muuttuvien tilanteiden hallinnassa ja päivittäisessä turvallisuusviestinnässä. 4D:hen tukeutuva turvallisuusviestintä voi olla esim. työmaan ajankohtaisista töistä, vaaroista ja turvallisuusjärjestelyistä tiedottamista ja valittujen torjuntatoimenpiteiden visualisointia. Lisäksi viestintään voidaan lisätä informaatiota työmaatilanteesta väreillä, esittämällä esim. seuraavana päivänä asennettavat osat punaisella.

6.2 Jatkokehityshaasteita ja mahdollisuuksia

Tietomallinnusta on mahdollista hyödyntää koko rakennusprosessissa, vaikka tällä hetkellä hyödyntäminen painottuu kuitenkin vielä rakennuksen suunnitteluvaiheeseen. Tietomallien käyttö tuotannonohjauksessa kehittyä vaiheittain ja siinä tullaan ottamaan myös turvallisuusnäkökulma huomioon (Kuva 22). Tämä edellyttää vielä merkittävää jatkokehitystä, jossa on oleellista myös se, että kaikkiin rakennushankkeen vaiheisiin liittyy tiettyjä turvallisuustehtäviä. Tarvitaan myös lisää käytännön kokemuksia mallintavasta turvallisuussuunnittelusta sekä lisää mallinnusmenetelmien ja ohjelmien käytön osaamista rakennushankkeisiin.



Kuva 22 Rakennushankkeen turvallisuustehtävät liittyvät koko rakennushankkeeseen. Tietomallien avulla turvallisuustietoa voidaan käyttää ja välittää eri toimijoiden ja rakennusvaiheiden välillä.

Seuraavassa on esitetty lisää tutkimushankkeessa tunnistettuja jatkokehitystarpeita. Nämä liittyvät toimintatapoihin sekä mallinnusohjelmien ja kirjastojen kehittämiseen niin, että ne paremmin palvelisivat myös turvallisuustarpeita.

Tietomallintamisen käyttöön ja toimintatapoihin liittyviä kehittämistarpeita:

- Aluesuunnitelman laadinta on osa työmaan turvallisuussuunnittelua, joka tulee tehdä ennen työmaan käynnistymistä. BIM-aluesuunnitelma tulisi luoda vähintään maanrakennus-, perustus-, runko- ja sisätyövaiheisiin. Tietomallipohjaisen aluesuunnittelun yhteydessä tontin pintamalli pitäisi tuottaa ensin rakennustöiden lähtötilannetta vastaten ja tämän jälkeen kunkin mallinnettavan työmaavaiheen korkeusasemia vastaten. Yksi tietomallipohjaisen aluesuunnittelun haaste on jatkossa myös työmaa-alueen kaivantojen mallinnus.

- Tietomallinnusta voitaisiin hyödyntää turvallisuuden hallintaan jo hankkeen alkuvaiheessa, kun mietitään tontin käyttöä ja rakennusmassoja. Tontin mallintaminen toimisi pohjana hankkeen alkuvaiheen riskien arvioinnille ja sitä seuraavalle arkkitehtisuunnittelulle. Käytännössä työmaa-alue ja sen lähiympäristö mallinnetaan rakennustöiden alkutilannetta vastaavasti tarpeellisessa laajuudessa ja tarkkuudella, mahdollisesti jopa tontin alkuperäistilannetta vastaten. Jo tässä vaiheessa tietomalliin voidaan liittää paljon sellaista rakennushankkeen lähtötietoa, jota voidaan hyödyntää koko rakennusprojektin ajan ja jolla voidaan vaikuttaa rakennushankkeen turvallisuuteen. Tällaisia mallinnettavia asioita ovat mm. tontilla olevat maanalaiset putki- ja johtolinjat, kanaalit, ilmajohdot, sähkölinjat, olemassa olevat rakenteet, suojellut rakenteet ja kasvillisuus, maaperän erityistiedot ja saastuneet maa-alueet. Turvallisuussuunnittelua palvelevia lähtötietoja ovat myös lähialueen olemassa olevat liikennejärjestelyt ja toiminnat, jotka vaikuttavat työmaan turvallisuuteen tai joihin rakennushanke vaikuttaa.
- Eri suunnittelualojen yhdistetyn tietomallin mahdollisuuksia turvallisuussuunnittelussa tulisi selvittää ja testata. Koska talotekniikka-asennuksiin liittyy merkittäviä työturvallisuusriskejä, talotekniikkasuunnittelun sisältävä yhdistetty malli voi palvella työmaaturvallisuusriskien tunnistusta ja esim. putoamissuojauksen suunnittelua sekä työvaiheiden turvallisen toteutuksen ohjaamista paremmin kuin pelkkä rakenne- tai arkkitehtimalli.
- Tietomallin käyttömahdollisuuksia tulisi selvittää myös esim. työmaan valaistustarkasteluihin. Tässä yhteydessä kiinnostavaa olisi paitsi luonnonvalon ja keinovalon riittävyys, myös esim. valot-varjot -analyysi työmaalle.
- Turvallisuusnäkökulma tulee liittää mallintavaan rakennesuunnitteluun ja 4D-tuotannonsuunnitteluun. Esimerkiksi elementtiasennuksien suunnittelussa ja simuloinnissa tulee suunnitella myös näihin liittyvä työturvallisuus, ja tämän seurauksena rakennedetaljien suunnittelussa mallintaa myös esim. kaidekiinnitykset ja valjaiden kiinnityskohdat. Paikallavalurakenteiden kohdalla tietomallinnuksen kehittämispotentiaalia uskotaan puolestaan olevan esim. muottisuunnittelussa sekä muottityöhön liittyvien riskien arvioinnissa ja turvallisuuden suunnittelussa.
- Merkittävää tulevaisuuden kehittämis- ja hyötypotentiaalia liittyy myös konevuokrauksen tuotteiden ja suunnittelupalvelujen kytkemiseen tietomallipohjaiseen työmaasuunnitteluun, sekä tietomallin hyödyntämiseen lyhyen aikavälin tuotannonohjauksessa ja siihen liittyvässä turvallisuuden hallinnassa. Lyhyen aikavälin tietomallipohjainen turvallisuuden hallinta voi tarkoittaa käytännössä esim. ajankohtaisista vaaroista ja rajoituksista tiedottamista uudella tavalla, mutta tietomallien käyttöön turvallisuusjohtamisessa ja turvallisuusviestinnässä liittyy paljon laajemmatkin kehitysnäkymät.
- Tietomallin käyttöönotto turvallisuuden hallintaan läpi koko rakennusprosessin tuo toimijoille myös erilaisia, osin uusiakin tehtäviä, jolloin rakennushankkeen turvallisuustehtävien toteutustapoja ja tehtäväjakoja voidaan joutua muuttamaan.

Mallinnusvälineisiin liittyviä kehittämistarpeita ja mahdollisuuksia:

- Työmaasuunnittelun objekteja tarvittaisiin lisää, olemassa olevia pitäisi jatkokehittää ja ylläpito vaatisi organisointia. Lisäksi työmaasuunnittelun kirjastojen hyödynnettävyyttä eri mallinnohjelmissa tulisi mahdollisuuksien rajoissa kehittää. Mallinnohjelmien sisältämissä kirjastoissa esim. työmaan tietomallipohjaisessa aluesuunnittelussa tarvittavat työmaavarusteet ja turvallisuuteen liittyvät välineet ovat väliaikaisina varusteina jääneet vielä vähälle huomiolle. Osaan mallinnohjelmissa työmaakomponentteja ei ole ollenkaan, ja osaan niitä on tehty käyttäjien toimesta niin, että ne eivät kuulu ohjelman mukana tuleviin kirjastoihin eikä ohjelmatoimittaja vastaa niiden toimivuudesta ja ylläpidosta. Kirjastot ovat lisäksi ohjelmakohtaisia niin, että samat eivät ole käytettävissä eri ohjelmissa. TurvaBIM-hankkeessa syntyneenkin tietomallipohjaisen työmaasuunnittelun komponenttikirjaston ensimmäisen version objektit ovat käytettävissä suoraan vain ArchiCAD-ohjelmassa. Lisäksi näiden komponenttien tietosisältöä ja muokattavuutta tulisi kehittää. Komponentteja tarvittaisiin tuotannossa tapahtuvaa mallintamista varten myös lisää esimerkiksi telineistä, koneista ja laitteista. Valmistajakohtaisina objekteina näistä pystyttäisiin tekemään geometrialtaan ja ominaisuuksiltaan paremmin todellisuutta vastaavia kuvauksia. Esimerkiksi urakoitsijat voivat tarvita myös yritysکوhtaisia objekteja ja komponentteja vain heidän käytössään olevista välineistä.
- Ohjelmistoissa pitäisi kehittää työmaan ja turvallisuuden 3D- ja 4D-suunnittelua tukevia ominaisuuksia sekä käyttäjäystävällisyyttä. Turvallisuussuunnittelua tehdään liittyen sekä koko työmaahan että yksittäisiin tehtäviin. Nyt näihin tarvitaan useampia sovelluksia, koska kaikkia tarvittavia ominaisuuksia ei löydy yhdestä ohjelmasta. Puutteet liittyvät erityisesti työmaa-alueen pinnan mallinnukseen, aikatiedon hallintaan ja kykyyn tarkastella riittävän lyhyitä ajan jaksoja. Lisäksi työmaan kannalta oleellisten suunnitelmanäkymien tuottaminen ja hallinta pitäisi olla helppoa ja nopeaa. Tietomallien myötä tulee mahdolliseksi myös analysointiohjelmien kehittäminen riskien tunnistamiseen ja turvallisuuden automatisoituun analysointiin.
- Työmaan julkisen ympäristön kuten katualueiden sekä naapuritonttien rakennusten 3D-perustietoja voitaisiin jatkossa saada myös kunnan viranomaisten tietokannoista mikä tehostaisi mallintamista ja parantaisi lähtötietojen tarkkuutta. Vastaavasti myös viranomaisten ja laitosten johtokarttojen tiedot tulisi olla 3D-muodossa ja hyödynnettävissä rakennushankkeissa, koska niillä on liittymä rakentamisen ja ympäristön turvallisuuteen. Tietomallipohjaisen tiedonhallinnan yleistyessä rajapinnat julkiseen tietoon kehittyvät joka tapauksessa.
- Paikkatiedon yhdistäminen tietomalliin toisi aivan uusia mahdollisuuksia turvallisuuden hallintaan ja erityisesti turvallisuusviestintään. Esim. paikkasidonnoista vaaroista voitaisiin varoittaa henkilötasolla, jos työntekijöiden sijainti työmaalla voitaisiin paikantaa. Toimiva järjestelmä edellyttäisi kuitenkin myös esim. soveltuvan vastaanottimen sekä linkityksen ajantasaiseen tietoon työmaatilanteesta.

7 Johtopäätökset

Tutkimushankkeessa on menty uudelle alueelle edistämällä tietomallien käyttöä rakentamisen työturvallisuuden suunnittelussa ja hallinnassa. Kolmiulotteisen BIM-aluesuunnittelun mahdollisuudet ovat nousseet voimakkaimmin esiin, mutta tietomallin mahdollisuuksia on selvitetty turvallisuuden hallinnan näkökulmasta laajemminkin. Tietomallipohjaisen aluesuunnittelun testaus tehtiin käyttäen päättyneen asuinrakennuskohteen dataa. Tässä yhteydessä selvitettiin tietomalliin perustuvia työmaan uusia esitystapoja ja visualisointimahdollisuuksia sekä kerättiin ja luotiin 3D-työmaaobjekteja. Lisäksi luotua työmaan objektikirjastoa on testattu ja jatkokehitetty käynnissä olevan BIM-aluesuunnittelun pilottityömaan mallinnuksessa. Tuloksena on syntynyt tietomallipohjaisen työmaasuunnittelun komponenttikirjaston ensimmäinen versio, joka soveltuu myös tuotantokäyttöön. Tarpeita, ideoita ja mahdollisuuksia on selvitetty yhdessä teollisuuden edustajien kanssa kokoamalla tietomallintamisen ja turvallisuuden asiantuntijoita yhteisiin työpajoihin. Ideoinnin ohella on vaihdettu tietoa ja herätelty kiinnostusta viedä tietomallipohjaista turvallisuuden ohjausta yhteistyössä eteenpäin.

Mallintavan työmaasuunnittelun näkökulmasta nykyiset objekti- ja komponenttikirjastot ovat puutteellisia. Mallinnusohjelmien sisältämissä kirjastoissa esim. työmaan aluesuunnittelussa tarvittavat työmaavarusteet ja turvallisuuteen liittyvät välineet ovat väliaikaisina varusteina jääneet vielä vähälle huomiolle. Osaan mallinnusohjelmista työmaakomponentteja ei ole ollenkaan, ja osaan niitä on tehty käyttäjien toimesta niin, että ne eivät kuulu ohjelman mukana tuleviin kirjastoihin eikä ohjelmatoimittaja vastaa niiden toimivuudesta ja ylläpidosta. TurvaBIM-hankkeessa työmaasuunnittelun kirjasto luotiin demonstraatioita varten ilman liiketoimintatavoitetta, eikä esim. niiden parametrisuuteen päästy vielä tässä hankkeessa keskittymään. Objektit on kuitenkin annettu yritystenkin käyttöön, mutta ne ovat suoraan käytettävissä vain ArchiCAD-mallinnusohjelmassa. Tuotannossa tapahtuva tietomallipohjainen 3D- tai 4D-työmaasuunnittelu edellyttäisi käyttökelpoisessa formaatissa olevaa kirjastoa, jonka ylläpidosta joku taho myös vastaisi.

BIM-aluesuunnitelman keskeistä sisältöä ovat: 1) työmaa-alue ja liittyvät kadut, sekä muu lähiympäristö, johon työmaa voi vaikuttaa 2) työmaan väliaikaiset rakenteet ja varusteet, esimerkiksi kopit, aitaukset, kulkusillat ja koneet 3) työmaan väliaikaiset tilanteet, esimerkiksi kaivannot ja aluevaraukset materiaalien varastoinnille.

Tietomallipohjaista aluesuunnitelmaa sekä siitä tuotettua tietoa ja kuvamateriaalia voidaan hyödyntää työmaa-alueen ja turvallisuuden suunnittelussa, riskien arvioinnissa, vaaroista tiedottamisessa ja muussa viestinnässä sekä asiakkaan kanssa keskusteltaessa. Tietomallista voidaan tuottaa staattisia kuvanäkymiä halutuista kohdista ja näkökulmista, valokuvamaisia (renderoituja) kuvanäkymiä, liikkuvaa kuvaa (ns. kamera-ajo), 2D-piirustuksia sekä tuote- ja määrätietoa.

Turvallisuussuunnitelmia, joissa voitaisiin hyödyntää pitkälle samaa lähtöaineistoa ja tietomallia kuin työmaan aluesuunnittelussa ovat työmaan sähköistys- ja valaistussuunnitelma, pelastussuunnitelma, putoamissuojaussuunnitelma ja nostosuunnitelma.

Tietomallipohjaisen aluesuunnittelun perusmenetelmänä voidaan käytännössä nykyisin pitää staattisen aluesuunnitelmamallin tuottamista, jolloin tarvittaviin vaiheisiin tehdään työmaan tietomallipohjainen aluesuunnitelma. Tästä työmaan BIM-aluesuunnitelmasta saadaan tuotettua tarpeen mukaan halutunlaisia kolmiulotteisia näkymiä ja tilannekuvauksia. Tämä tapahtuu esimerkiksi hyödyntämällä kuvatasojärjestelmää tai valitsemalla halutut elementit 3D-näkymään filterointitoiminnoilla. Tietomallista voidaan tarvittaessa tulostaa myös perinteinen 2D-aluesuunnitelma, johon saadaan näkyviin myös tavanomaiset piirrosmerkinnät.

Tavoitteena on, että tulevaisuudessa rakennushankkeen turvallisuustehtävien suunnittelu ja päivitykset voidaan tehdä 4D-tietomallin avulla, mikä on nykyistä, staattista 3D-mallintamista dynaamisempi toimintatapa ja tuo aivan uusia käyttömahdollisuuksia turvallisuuden hallintaan.

4D tarkoittaa ajan kytkemistä 3D-mallin osille. 4D:n käyttö on lisääntymässä rakennushankkeiden tuotannon suunnittelussa ja hallinnassa. Tavoitteena on saada käyttöön ajantasainen tietomalli, joka mahdollistaa aluesuunnitelman tarkastelun eri ajan hetkiä edustavina tilannenäkyminä sekä työmaatoteutuksen simuloinnin liikkuvana kuvana eli animaationa. Ennen rakennustöiden toteutusta tapahtuvalla toteutusprosessin simuloinnilla voidaan arvioida esim. kohteen rakennettavuutta ja toteutukseen liittyviä riskejä. Pääosassa ohjelmia työmaatilannetta on mahdollista simuloida päivän tarkkuudella, mutta joissain ratkaisuisissa on mahdollisuus päästä vaikka minuuttitarkkuuteen.

Työmaan aluesuunnitelma perustuu samaan dataan kuin muu tuotannosuunnittelu ja aluesuunnitelman kannalta 4D tarkoittaa, että rakennuksen osien lisäksi työmaan väliaikaisille komponenteille annetaan ajoitustieto. Työmaavarusteet ovat kuitenkin tyypiltään väliaikaisia rakenteita, eli niille määritellään asennusajan lisäksi ajankohta, jolloin niiden on tarkoitus poistua paikaltaan.

4D-tuotannosuunnittelu on murros rakentamisen tuotannonohjauksessa ja samalla mahdollisuus sisällyttää turvallisuuden hallinta paremmin tuotantoprosessiin. 4D:n käyttö keskittyy tuotannosuunnittelussa nyt elementtiasennusten aikataulutukseen ja tilanneseurantaan. Tulevaisuudessa myös tiettyyn työvaiheeseen liittyvät turvallisuusjärjestelyt tulee näkyä 4D-mallissa. Alkuvaiheessa keskeisimpiä 4D-mallinnettavia työturvallisuusjärjestelyjä ovat putoamissuojaus, kuten suojakaiteet ja holvien aukkosuojaukset sekä turvavaljaiden kiinnityskohdat.

Arkkitehdit mallintavat nykyisin jo monissa kohteissa rakennuksen lisäksi myös tontin pintamallin kohteen piha-alueen suunniteltua lopputilannetta vastaavasti. Tämä voi palvella

myös työmaan tietomallipohjaista aluesuunnittelua, mutta rakentamisen alkutilanteessa tontin korkeusasemat voivat poiketa tästä huomattavasti, minkä vuoksi myös työmaavaihetta vastaavat tilanteet voivat olla tarpeen mallintaa.

4D-tuotantomallin lähtökohtana käytetään tällä hetkellä pääasiassa rakennesuunnittelijan tietomallia, jonka rakennusosiin on kytketty urakoitsijan asennusaikataulun aikatiedot. Turvallisuussuunnittelun näkökulmasta myös tässä mallissa pitäisi olla työmaa-alue mallinnettuna. Rakennemallinnusohjelmista on kuitenkin puuttunut mallinnustyökalu tontin mallinnukseen, ja arkkitehdin pintamallin käyttöä osana tuotantomallia voi rajoittaa käytännössä paitsi sen puuttuminen, myös ongelmat eri mallinnusohjelmien välisissä tiedonsiirroissa.

Muita havaittuja ICT-haasteita tuotannon ja turvallisuuden ohjaamisen näkökulmasta ovat nykyisin mm. se, millä välineillä mallinnus ja simuloinnit käytännössä toteutetaan. Arkkitehdin ns. rakennusosamalli on kattavien esitys kohteesta, mutta ei sisällä rakennesuunnittelijan mallin elementtijakoa ja rakennedetaljeja eikä talotekniikan verkostoja. Turvallisuuden hallinnassa ja yleensä tuotannosuunnittelussa on tarve käyttää näistä yhdistettyjä malleja ja niiden teknisiä ominaisuuksia sekä käyttötapoja tulee jatkokehittää.

Mallintamisen keskeiset hyödyt turvallisuuden suunnittelussa ja hallinnassa ovat:

- visuaalisuus ja turvallisuuden havainnollistaminen
- turvallisuussuunnittelun laadun paraneminen, kun suunnittelussa käsitellään aidosti kolmiulotteista tilaa
- turvallisuusnäkökulman liittäminen osaksi muuta tuotannon suunnittelua ja toteutusta
- tietomallin käyttö vaarojen tunnistuksessa ja riskien arvioinnissa
- turvallisuuden simulointi ja vaihtoehtojen testaus
- turvallisuuteen liittyvän kaluston ja välineiden tiedonhallinta ja määrätiedot tietomallissa
- uusi menetelmä ja väline, jotka motivoivat henkilöstöä suunnittelemaan toteutusta ja aikataulua tarkemmin ja helpottaa yhteistyötä.
- tiedonvälitys tehostuu visuaalisuuden avulla ja sitä voidaan hyödyntää perehdyttämisessä, työnopastuksessa, palavereissa jne.
- tietomallipohjainen turvallisuuden hallinta tuottaa lisäarvoa hankkeen tilaajalle ja rakennuttajalle, koska työturvallisuusvelvoitteiden täyttyminen voidaan paremmin osoittaa
- ulkoisen tiedonvälityksen ja sidosryhmäyhteistyön laatu paranee tietomallin avulla

Tietomallintamisesta ja erityisesti työmaan BIM-aluesuunnittelusta on saatu hyviä kokemuksia mallinnustestauksessa ja tietomallipohjaisen aluesuunnittelun pilotoinnissa. 3D:n havainnollisuus ja potentiaali yhteisen keskustelun välineenä ovat nousseet voimakkaasti esiin. Pilotissa ja sitä seuranneessa mallinnetussa kohteessa saatuihin hyviin kokemuksiin perustuen urakoitsija on päättänyt jatkaa työmaan suunnittelua mallintamalla.

Projektissa järjestettyihin työpajatilaisuuksiin osallistuneet rakennusyritysten, ohjelmistoyritysten ja asiantuntijatahojen edustajat olivat aidosti kiinnostuneita tietomallinnuksen tuomista hyödyistä ja mahdollisuuksista turvallisuuden hallinnassa. Turvallisuus ja tietomallinnus koetaan sellaiseksi yhteisen tekemisen alueeksi, jonka kehittäminen on rakennusalan yhteinen etu eikä yhteistyötä koeta kilpailuetuja rajoittavaksi.

Toteutetussa projektissa aloitettiin kehitystyö uudella tutkimusalueella, jossa tarvitaan vielä merkittävää jatkokehittämistä. Toteutunut kehitystyö painottui tietomallipohjaiseen aluesuunnitelmaan. Jatkossa tulee kehittää myös muiden turvallisuuteen liittyvien suunnittelunäkökulmien toteutusta tietomallin avulla ja tämä suunnittelu tulee liittää osaksi rakennushankkeen muuta 4D-tuotannosuunnittelua. Turvallisuustietojen tekninen liittäminen samaan malliin integroi samalla myös turvallisuusnäkökulman entistä tiiviimmäksi osaksi tuotannonohjausta, mikä lisää turvallisuussuunnittelun vaikuttavuutta. Merkittävä kehitysalue on myös työmaan toteutumatilanteen tiedonhallinta 4D-mallien avulla. Tähän liittyy mahdollisuuksia tunnistaa myös työnaikaisista muutoksista ja häiriöistä aiheutuvia turvallisuusriskejä.

Tietomallipohjaista aluesuunnittelua tulee seuraavaksi testata käytännön hankkeissa. Kehitysprojektin aikana saadun palautteen perusteella testausta tulee tapahtumaan useissa yrityksissä. Projektin aikana pidetyissä työpajoissa ehdotettiin järjestettävän myös vuosittaisia seminaareja, joissa tämän testauksen ja aihepiirin muun kehitystyön tuloksia esiteltäisiin. Tietomallipohjaisen aluesuunnittelun testauksien kokemukset tulee koota yhteen noin kahden vuoden testausjakson jälkeen ja päivittää niiden perusteella alalla käytössä olevat aluesuunnittelun yleiset ohjeet sekä koota uudistettu 3D-komponenttikirjasto.

Lähdeluettelo

- 1 Aitomaa K., Luoto T., Marjamäki M., Niskanen T., Peltonen R.: *Rakennustöiden turvallisuusmääräykset selityksineen. Rakennusalan kustantajat RAK. Helsinki 2004.*
- 2 Akbas, Ragip. *Geometry-based Modeling and Simulation of Construction Processes. February 2004. Saatavilla: <http://cife.stanford.edu/online.publications/TR151.pdf>*
- 3 *ArchiCAD-käyttäjien sivusto, <http://archicad-talk.graphisoft.com>*
- 4 *ENR Engineering News-Recors. Maturing Visulation Tools Make Ideas Look Real. July 11, 2005. Pp. 28-33.*
- 5 *ENR Engineering News-Recors. Team Member Seek Ways Out of the Building Modeling Haze. June 5, 2006. Pp. 28-32.*
- 6 *Fischer, M., Kim, J., Generating Temporary Structures with 4d Feature-Based Models<http://www.stanford.edu/%7Ejonghoon/Temporary%20Structure%20Planning/index.htm>, 2004. CIFE, Stanford University.*
- 7 *Fischer, M., Kunz, J., The Scope and Role of Information Technology in Construction. February 2004. CIFE, Stanford University. 19 p.*
- 8 *GDL Adapter, M.A.D Oy, <http://www.mad.fi/mad/gdladapter.html>*
- 9 *GDL Downloads. Graphisoft R&D zrt., http://www.graphisoft.com/products/archicad/object_technology/downloads/*
- 10 *Huang, T., Kong, C.W., Guo, H.L., Baldwin, A. Li, H., A virtual prototyping system for simulating construction processes. Automation in Construction, Vol. 16, No. 5. 576–585 pp. 2007.*
- 11 *Improved Quality Control and Certification Plan by Karl-Heinz Häfele, Thomas Liebich and Rasso Steinmann. Presented in the buildingSMART ITM meeting in San Francisco, January 22nd-23rd, 2009.*
- 12 *Julkunen, J. Tietämysjärjestelmät ja simulointi tuotantoyrityksen ohjausjärjestelmän tukena. http://users.utu.fi/japeju/Luk/luk.html#_Toc533209598/*
- 13 *Ka-Chi LAM, Xin Ning and Thomas Ng. The application of ant colony optimization algorithm to the construction site layout planning problem. 2007. Construction Management and Economics (April-June 2007) 25, pp. 359-374.*

- 14 Kam, C., Fischer, M., *Product Model & 4D CAD - Final Report (HUT-600 Project)*. October 2002. CIFE, Stanford University. 51 p.
- 15 Karstila, K. (toim.) *Rakennusten tuotemallintamisen sanasto. Rakennusteollisuus RT ry:n ProIT-hanke, Syyskuu 2004. 44 s. Saatavilla: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/>*
- 16 Kiviniemi, A. *Integrated Product Models in Life-Cycle Evaluation and Management of the Built Environment. International Workshop on Lifetime Engineering of Civil Infrastructure, Yamaguchi University, Ube, Japan, October 2005.*
- 17 Kiviniemi, A., Tarandi, V., Karlshoj, J., Hovard, B., Karud, O.J. *Review of the Development and Implementation of IFC compatible BIM. Executive summary. Erabuild 2008. 2s.*
- 18 Kiviniemi, M., Sulankivi, K., Tikkanen, A., VTT, *Talonrakentamisen toimitusketjun tehostaminen tietotekniikan avulla. Rakennusteollisuus RT ry:n KETJU-ohjelma 2008. <http://www.rakennusteollisuus.fi/download.aspx?intFileID=1077&intLinkedFromObjectID=11392> Ketju ICT –raportti*
- 19 Koo, B., Fischer, M., *Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol 126, No. 4. 251-260 pp. 2000.*
- 20 Koo, B., Fischer, M., *Formalizing Construction Sequencing Constraints for Rapid Generation of Schedule Alternatives. January 2003. CIFE, Stanford University. 28 p.*
- 21 Koski, H., Mäkelä, T. *Rakennustöiden turvallisuusohjeet. Raturva 2.(2006). Rakennustieto Oy. Ratu KI-6012. Helsinki.*
- 22 Lappalainen, J., Sauni, S., Piispanen, P., Rantanen, E., Mäkelä, T., 2009. *Rakennustyömaan hyvä turvallisuusjohtaminen. Toimintaopas. Työsuojelujulkaisuja 88. STM. 32 s.*
- 23 Markkanen, J. *Rakennustyömaan turvallisuussuunnittelu. Rakennusyrityksen ja rakennusprojektin lakisääteiset ja sopimukseen perustuvat työsuojelutehtävät ja -toimenpiteet. Vahinkovakuutusosakeyhtiö Pohjola. Helsinki, 2004.*
- 24 Mäkelä T. ja Kauranen H. *Putoamisturvallisuus pientalorakentamisessa. 2007. VTT, tutkimusraportti VTT-R-05842-07. Tampere. Saatavilla: <http://www.vtt.fi/liitetiedostot/muut/pipukeopas.pdf>.*
- 25 Navon, R., Kolton, O., *Model for Automated Monitoring of Fall Hazards in Building Construction. 2006. Journal of Construction Engineering and Management @ASCE, July 2006, pp.733-740.*
- 26 Paju, V., Delfoi Oy; Kiviniemi, M., VTT, *Rakennusprojektin logistiikan simulointi. Rakennusteollisuus RT KETJU-ohjelma 2007.*

- 27 Porkka, J., Kähkönen, K. *Software development approaches and challenges of 4D product models*. VTT, 2007. Saatavilla: <http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2007-013-096-Porkka.pdf>
- 28 *Rakennustyömaan aluesuunnittelu, Ratu C2-0299*. Helmikuu 2007, Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS.
- 29 *Rakennustöiden työturvallisuusriskien arviointi*. Ratu 1217-S. Rakennustieto Oy, 2007.
- 30 *Rakennuttajan työturvallisuusveloitteet rakennushankkeessa*. RT 10-10898, 6/2007. Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry ja Rakennustietosäätiö RTS 2007.
- 31 *Rakentamisen turvallisuuden hallinta -aineisto*. Työsuojelupiirit. Saatavilla: <http://www.tyosuojelu.fi/fi/rakentamisenhallinta>
- 32 Rantanen E., Lappalainen J., Mäkelä T., Piispanen P., Sauni S.: *Yhteisten työpaikkojen työturvallisuus. TOT-raporttien analyysi. Tutkimusraportti*. Nro VTT-R-02095-07. 7.3.2007.
- 33 Rantanen E., Mäkelä T, Sauni S. *Rakennuttajan tehtävät ja hyvät käytännöt rakennushankkeen turvallisuuden varmistamisessa*. Tutkimusraportti. Nro VTT-R-10714-06. 15.11.2006. [<http://www.vtt.fi/proj/rakennuttaja/>]
- 34 Sadeghpour, F., Moselhi, O., Alkass, S.T., *Computer-Aided Site Layout Planning*. 2006. *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol 130, No. 2. Pp. 143-151.
- 35 Staub-French, S. and Fischer M., *Generating and Maintaining Activity-based Cost Estimates with Feature-Based Product Models*. 19th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Washington D.C., USA, September 23-25. 2002.
- 36 Staub-French, S., Fischer, M., Kunz, J., Paulson Jr., B., Ishii, K., *A Formal Process to Create Resource-loaded and Cost-loaded Activities Related to Feature-based Product Models*. July 2002. CIFE, Stanford University. 41 p.
- 37 Sulankivi, K., *Kokemuksia tuotemallin ja 4D:n hyödyntämisestä pilottihankkeissa*. Rakennusteollisuus RT ry:n ProIT-hanke, Syyskuu 2004. 54 s. Saatavilla: http://virtual.vtt.fi/proit/julkiset_tulokset/proit_pilottiraportti.pdf
- 38 Sulankivi, K. *Pro IT Tuotemallipilotit 2005 –raportti*. Rakennusteollisuus RT ry:n ProIT-hanke, Marraskuu 2005. 74 s. + liitt. Saatavilla: http://virtual.vtt.fi/proit/julkiset_tulokset/proit_pilottiraportti_051115_vtt.pdf
- 39 Särkilähti, T., Skanska Oy. *Tiedonhallinta rakennusteollisuudessa -tuotemallintaminen ja tilaajan tarpeet*. Rakennusalan ICT -ratkaisut, seminaari 4.5.2006. Tekes.

http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Sara/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Seminaarit/ICT_Seminaarit_2006/Tuoteosien_tietovirrat_ja_logistiikka_-_2006-05-04.pdf

- 40 Tuotemallipohjainen tiedonhallinta. Rakennusteollisuus RT ry:n ProIT-hanke, <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/>
- 41 TurvaBIM-työpaja 1, 23.1.2008, VTT Otaniemi.
- 42 TurvaBIM-työpaja 2, 20.11.2008, VTT Otaniemi.
- 43 Työtapaturmat ja ammattitaudit. Tilastovuodet 1996-2006. Tapaturmavakuutuslaitosten liitto. ISSN 1239-081X. Helsinki 2008. 52 s.
- 44 Työturvallisuus rakennusteollisuudessa. Rakennusteollisuus RT ry:n kannanotto. <http://www.rakennusteollisuus.fi/edunvalvonta/tyoturvallisuus/ttk.pdf>
- 45 Työturvallisuusriskien arviointi rakennusyrittäksessä. Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy, Helsinki 2005. K&T 81.
- 46 Valjus, J., Varis, M., Penttilä, H., Nissinen, S. Tuotemallintaminen rakennesuunnittelussa. Pro IT Rak. Rakennusteollisuus RT ry, Rakennustietosäätiö RTS, 2007. Rakennusteollisuus RT ry:n ProIT-hankkeen tuloksia. 64 s.
- 47 Valtioneuvoston päätös rakennustyön turvallisuudesta (VNp 629/1994). Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1994/19940629>
- 48 Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Building_Information_Modeling

Haastattelut ja keskustelut:

Lauri Melvasalo, Laurimark Oy

Annikki Karppinen ja Artur Virit, Lemcon

Arto Kiviniemi, Janne Porkka, Jun Kojima, VTT

Jari Törnqvist, Jouni Muukkonen, Jouni Laukkarinen, Paula Kärjä, Skanska

Mirja Pahkala, Ramirent

Tapani Ristimäki, Ari Ikonen, Enterprixe

Thomas Grönholm, Jukka Suomi ja Heikki Haikonen, Tekla

Ahti Rantonen, Juha Valjus, Finnmap Consulting

TurvaBIM-työpajoihin osallistuneet:

Achrén, Olli	Rakennusmestari, Suojalaite Oy
Aho, Mika	Työmaainsinööri, Rak.tsto Palmberg
Belloni, Kaisa	Tutkija, VTT
Hämäläinen, Paula	Työmaainsinööri, Skanska Oy
Karppinen, Annikki	Kehityspäällikkö, Lemcon Oy
Kiviniemi, Arto	Tutkimusprofessori, VTT
Kiviniemi, Markku	Erikoistutkija, VTT
Koivunoro, Matti	Diplomityöntekijä, NCC
Koppinen, Tiina	Tutkija, VTT
Korhonen, Hannu	Suunnittelupäällikkö, SRV
Korpisaari, Jari	Turvallisuuspäällikkö, SRV
Koskinen, Juha	Työmaainsinööri, NCC Rakennus Oy
Kulmala, Hannu	Tekn. päällikkö, Ramirent Finland Oy
Kuukkanen, Marko	Turvallisuusasiantuntija, Skanska
Kärjä, Paula	Työnjohtoharjoittelija, Skanska
Lahti, Pertti	Turvallisuuspäällikkö, Rak.tsto Palmberg
Lakka, Antti	Kehityspäällikkö, Rak.tsto Palmberg
Leino, Antti	Kehityspäällikkö, Skanska
Lemmetyinen, Mikko	Työsuojelupäällikkö, NCC
Martin, Harri	Kehityspäällikkö, SRV
Muukkonen, Jouni	Projektipäällikkö, Skanska
Mäkelä, Tarja	Tutkija, VTT
Mäkeläinen, Tarja	Tutkija, Tiiminvetäjä, VTT
Nupponen, Tuomas	Suunnittelupäällikkö, SRV
Oksama, Sampo	Kehitysinsinööri, NCC Rakennus Oy
Porkka, Janne	Tutkija, VTT
Rantonen, Ahti	Laatujohtaja, Finnmap Consulting Oy
Ristimäki, Tapio	Toimitusjohtaja, Enterprixe
Sulankivi, Kristiina	Tutkija, VTT
Suomi, Jukka	Tuotepäällikkö, Tekla
Törnqvist, Jari	Laskentainsinööri, Skanska Talonrakennus Oy
Valtonen, Marjut	Laatupäällikkö, Lemminkäinen Talo Oy
Virit, Artur	Kehitysinsinööri, Lemcon

Liite 1. Rakennushankkeen osapuolten keskeiset turvallisuustehtävät prosessin eri vaiheissa

Hankkeen johtamistehtävät	Rakennuksen suunnittelu	Rakentaminen, toteutusvaihe
Rakennuttaja	ARK, RAK, TATE, GEO	Päätoteuttaja
Suunnittelun valmistelu	Hankesuunnittelu	
<ul style="list-style-type: none"> - Vaarojen tunnistus (aineet, kohde, ympäristö) - Turvallisuustiedot ja -tehtävät suunnitteluun - Turvallisuusasiakirjan valmistelu - Tietojen kerääminen käyttö- ja huolto-ohjeeseen 		
Suunnittelun käynnistäminen	Ehdotussuunnittelu Yleissuunnittelu	
–	– Suunnittelijan turvallisuustehtävät osana suunnittelua	
Rakentamisen valmistelu	Toteutussuunnittelu Tuote- ja järjestelmä-osasuunnittelu	Rakentamisen valmistelu
<ul style="list-style-type: none"> - Vaarojen tunnistus - Turvallisuusasiakirjan laatiminen - Tietojen kerääminen käyttö- ja huolto-ohjeeseen - Menettelyohjeiden laatiminen - Turvallisuussäännöt erillishankintoihin - Turvallisuussuunnitelmien varmistaminen - Yhteistyö suunnittelijoiden ja toteuttajien kanssa 	<ul style="list-style-type: none"> - Rakennettavuuden varmistaminen (yhteistyössä rakennuttajan ja toteuttajan kanssa) - Rakenteellinen turvallisuus rakennusaikana (mm. kantavuus, jäykkyys) - Putoamissuojauksen suunnittelu (mm. ankkurointipisteet, suojakaiteiden asennusdetaljit, yhteistyötä toteuttajan kanssa) - Suunnitelmien ergonominen tarkastelu (mm. valittujen rakennusmateriaalien mitat, esim. kipsilevyt), - Suunnitelmien toteutukseen liittyvien riskien arviointi yhteistyössä (erityisen painavat/isot kappaleet, käytettävät materiaalit jne.) - Turvallisuussuunnittelu (mm. purkutyösuunnitelma) ja suunnitelmien asiantuntijatarkastukset 	<ul style="list-style-type: none"> - Vaarojen tunnistus ja riskien arviointi - Turvallisuussuunnittelu (yleissuunnitelma, aluesuunnitelma, erityissuunnitelmat) - Töiden ja työvaiheiden yhteensovittaminen - Yhteistyö rakennuttajan, suunnittelijoiden ja muiden toteuttajien kanssa
Rakentamisen ohjaus		Rakentaminen
<ul style="list-style-type: none"> - Päätoteuttajan nimeäminen - Turvallisuusasiakirja ja menettelyohjeet päätoteuttajalle, niiden päivittäminen - Aloituspalaveri - Turvallisuusasiakirjan ja menettelyohjeiden käsittely päätoteuttajan kanssa - Turvallisuussuunnitelmien varmistaminen - Perehdytetään urakoitsijat kohteeseen - Turvallisuussuunnitelmien käsittely yhdessä toteuttajien kanssa - Valvonta 	<ul style="list-style-type: none"> - Turvallisuussuunnitelmien asiantuntijatarkistus muutostilanteessa - Osallistuminen työmaapalaveriin 	<ul style="list-style-type: none"> - Vaarojen tunnistus ja riskien arviointi - Turvallisuussuunnitelmien laadinta ja päivittäminen - Tehtäväsuunnittelu (turvallisuus) - Elementtirakentamisen työturvallisuusvaatimukset - Räjähdytystöiden suunnittelu (peittämisen tarve ja tehokkuus) - Perehdyttäminen ja työnopastus - Tarkastukset ja valvonta - Yhteistyö turvallisuusasioissa eri osapuolten kanssa - Ilmoituksen, työsuojeluyhteistyö
Vastaanotto		Luovutus
<ul style="list-style-type: none"> - Kohteen työturvallisuus- ja työterveystiedot käyttäjälle käyttö- ja huolto-ohjeena 		

GDL-objekteja työmaasuunnitteluun

Päivitetty viimeksi 23.12.2008, KS

TurvaBIM - kokoelmassa

ArchiCAD - ohjelman kirjastossa

* CE = Construction Equipments-kirjasto /
Graphisoft Object Depository

Objekti (tiedostonimi)	Selitys	Objektin alkuperä
# 1 AIDAT, KULKUESTEET		
Steel_Fabric_Fence	Työmaa-aita, teräsverkko, yleinen	Graphisoft Object Depository, CE
Fence_with_Gate_CEL	Työmaa-aita portilla, teräsverkko, yleinen	Graphisoft Object Depository, CE
Betonieste PK11	Betoniporsas	ArchiCAD Peruskirjasto11
Mobil_Fence_CEL	Siirreltävä aitaelementti, teräs	Graphisoft Object Depository, CE
Vepe_aitapaino_01	Käytetään aita-objektin kanssa tuentana. (Karkeasti mallinnettu, mitat ei välttämättä täsmälleen oikein.)	Mallinnus VTT, KS
Skanska-Rakennusaita_ilman_tuentaa_01	Mallinnettu Skanska-pilotissa ja jatkossa käytetään sellaisenaan vain Skanskassa.	Mallinnus VTT, KS
Skanska-Rakennusaita_ilman_tuentaa_02	Verkko mallinnettu todellista harvempana. Testataan toimiiko kaukaa katsottaessa paremmin kuin täysin oikeilla mitoilla mallinnettuna. Mallinnettu Skanska-pilotissa ja jatkossa käytetään sellaisenaan vain Skanskassa.	Mallinnus VTT, KS
# 2 TYÖMAAKOPIT		
Office_Container_CEL	Työmaatoimisto, yleinen	Graphisoft Object Depository, CE
Dressing_Container_CEL	Pukukoppi, yleinen	Graphisoft Object Depository, CE
Storage_Container_CEL	Varastokoppi, yleinen	Graphisoft Object Depository, CE
Saniter_Container_CEL	Työmaa-WC-koppi	Graphisoft Object Depository, CE
Työmaatsto+ENSIAPU_02	Työmaatoimisto ensiapusymbolilla, kopin 2D-pohjassa sininen väriyty	Muokattu, alkuperäinen CE (2D-kuvaus muutettu)
Työmaatsto+ENSIAPU_04	Työmaatoimisto ensiapusymbolilla, kopin 2D-pohjassa ei väriytyä	Muokattu, alkuperäinen CE (2D-kuvaus muutettu)
Taso ja tikkaat 11	Porras 2.kerroksen työmaakoppiin	ArchiCAD Kirjasto11/Yleiskirjasto11
# 3 TIKKAAT, RAKENNUSTELINEET, RAKENNUSHISSIT		
Ladder_CEL	Tikkaat, perus	Graphisoft Object Depository, CE
Tabular_Scaffold_CEL	Rakennustelineet	Graphisoft Object Depository, CE
Elevator_CEL	Rakennushissi	Graphisoft Object Depository, CE
Rakennushissi_01	Edellinen muokattuna: 2D-symbolina Ratu-ohjeen suosittelama esitystapa	Muokattu, alkuperäinen CE
# 4 TURVALLISUUS		
Railing_1_CEL	Nouseva suojakaide	Graphisoft Object Depository, CE
Balustrade_CEL	Suojakaide	Graphisoft Object Depository, CE
Sammutin 11	Nestekaasusammutin	ArchiCAD Kirjasto11/ Yleiskirjasto11/ Talotekniikka/ Sammutuslaitteet
elementtituki_alakiinnike3	Elementtituen alakiinnityskomponentti, käytetään yhdessä vinona pilarina mallinnetun tönäriputken kanssa.	Mallinnus VTT, KS
elementtituki_yläkiinnike	Elementtituen yläkiinnityskomponentti, käytetään yhdessä vinona pilarina mallinnetun tönäriputken kanssa.	Mallinnus VTT, KS

	Elementtituki kokonaisuudessaan (alakiinnike, yläkiinnike ja putki vinona pilarina mallinnettuna, korkeussijainti "pilarikorkeuden" mukaan)	Mallinnus VTT, KS
elementtituki_01		Mallinnus VTT, KS
	Pituus & leveys n. 1,5m x 1,5m. Seinälevyt harmaat. Pitempi tunneli kopioidulla/yhdistelemällä osia 1,2 ja 3.	Mallinnus VTT, KS
Kulkutunneli_osa1_hh03		Mallinnus VTT, KS
	Pituus & leveys n. 1,5m x 1,5m. Seinälevyt punainen ja ruskea. Pitempi tunneli kopioidulla/yhdistelemällä osia 1,2 ja 3.	Mallinnus VTT, KS
Kulkutunneli_osa2_pr03		Mallinnus VTT, KS
	Pituus & leveys n. 1,5m x 1,5m. Seinälevyt punainen ja harmaa. Pitempi tunneli kopioidulla/yhdistelemällä osia 1,2 ja 3.	Mallinnus VTT, KS
Kulkutunneli_osa3_ph02		Mallinnus VTT, KS
# 5 AJONEUVOT, PAIKOITUS, LIIKENNÖINTIALUEET		
Wheel Loader_CEL	Kauhakuormaaja	Graphisoft Object Depository, CE
Puomiauto 11		ArchiCAD/ Kirjasto11/Visuaalisointi/ Ihmiset ja ajoneuvot/Ajoneuvot
Kuorma-auto 11		ArchiCAD/ Kirjasto11/Visuaalisointi/ Ihmiset ja ajoneuvot/Ajoneuvot
Pakettiauto 11		ArchiCAD/ Kirjasto11/Visuaalisointi/ Ihmiset ja ajoneuvot/Ajoneuvot
Auto 05 11	Henkilöauto valkoinen. Kirjastossa 6 erilaista henkilöautoa	ArchiCAD/ Kirjasto11/Visuaalisointi/ Ihmiset ja ajoneuvot/Ajoneuvot
Autopaikka_02	Autopaikka 2,5m x 5,0m	Mallinnus VTT, KS
# 6 RAKENNUSKONEET JA NOSTURIT		
Concrete_Mixer_CEL	Betonimylly, yleinen	Graphisoft Object Depository, CE
Työmaasirkkeli_07	Työmaasirkkeli (mallina Esko RS 400/450), teräsuoja lisätty versioon 06	Mallinnus VTT, KS
Saddle_Jib_Crane_CEL	Torninosturi (vaakapuomi, kiinteä jalusta)	Graphisoft Object Depository, CE
Swing_Jib_Crane_CEL	Torninosturi (kääntöpuomi, rata)	Graphisoft Object Depository, CE
Nosturin_Ulottuvuus	2D: ulottuvuusympyrä ja -säde 3D:sylinteri (korkeus 30m, säde 30m)	Mallinnus VTT, KS
Nosturiulottuvuus_60m	2D: ulottuvuusympyrä ja -säde 3D:sylinteri (korkeus 27m, säde 60m)	Mallinnus VTT, KS
Ankka_nosturiulottuvuus_30m	2D: ulottuvuusympyrä 3D: sylinteri (korkeus 30m, säde 30m)	Mallinnus VTT, KS
Ankka_nosturiulottuvuus_36.7m	2D: ulottuvuusympyrä 3D: sylinteri (korkeus 30m, säde 36.7m)	Mallinnus VTT, KS
Ulottuvuussylinteri_2Desitys	Pelkkä 2D esitys, säteen/halkaisijan voi säätää halutunlaiseksi	Mallinnus VTT, KS
Nosturin_murska-alue_r41m	Takapainon kaatumissäde 41m (sijoitettaessa nosturin korkeus 35m, puomi 60m)	Mallinnus VTT, KS
Nosturin_ulompi_kaatumisalue_r83m	Kaatumissäde 83m (sijoitettaessa nosturin korkeus 35m, puomi 60m)	Mallinnus VTT, KS
# 7 MATERIAALIEN VARASTOINTI		
Roskalava_02	Kuormalava (2,56 x 6,46, kork. 1,7)	Mallinnus VTT, KS
Sand_Deposit_CEL	Hiekkakasa	Graphisoft Object Depository, CE
Steel_Bar_Deposit_CEL	Teräsverkkopino	Graphisoft Object Depository, CE
Timber_Deposit_CEL	Puutavarapino	Graphisoft Object Depository, CE

Pallet_CEL	Tiiliä kuormalavallinen	Graphisoft Object Depository, CE
Styrox_paali_02	Styrox-paali, oletusmitat 1,2 x 1,0 x 1,0 (esittää kahta 0,5m korkeaa paalia päällekkäin), mittoja voi säätää	Mallinnus VTT, KS
Styrox_noppa_01	Styrox-noppa 2,0 m x 2,4 m, korkeus 3,0m (mallinnettu käyttäen paaleja Styrox_paali_02)	Mallinnus VTT, KS
Harjateräsnippu_09	Oletuspituus 6 m, voi säätää	Mallinnus VTT, KS
Materiaali_varastointi_yleinen	Materiaalinippu määrittelemätön Oletusmitat 4,5 x 4,5 x 1,5 -voi säätää sijoitettaessa	Mallinnus VTT, KS
Ikkunapaketti_02	Ikkunapaketti, yleinen	Mallinnus VTT, KS
Ikkunapaketti_02_muovilla	Edellinen muovikääreellä	Mallinnus VTT, KS
Viemariputkinippu_02	Viemäriputkia, halk. 100mm	Mallinnus VTT, KS
Viemariputkinippu_01	Kuten edellä, halk. 200mm	Mallinnus VTT, KS
OL_pino_01	Ontelolaattoja pinossa: 6 x OL 027, L=6m	Mallinnus VTT, KS
Elementtiteline_02	Elementtifakki, elementtejä voi lisätä kylkeen kohdekohtaisesti oikean kokoisena	Mallinnus VTT, KS
Huoparulla_01	Huoparulla	Mallinnus VTT, KS
Puulevyypino_01	Oletusmitat 2,44 x 1,22, korkeus n. 30cm	Mallinnus VTT, KS
IV_putkia_01	IV-putkinippu	Mallinnus VTT, KS
# 8 MUOTTIKALUSTO		
Vertical_Formwork_Panel_CEL	Seinämuotti	Graphisoft Object Depository, CE
Positive_Corner_CEL	Kulmatuki seinämuoteille	Graphisoft Object Depository, CE
Negative_Corner_CEL	Kulmatuki seinämuoteille	Graphisoft Object Depository, CE
Horiz_Formwork_Panel_CEL	Holvimuotti	Graphisoft Object Depository, CE
Tube_CEL	Muottituki	Graphisoft Object Depository, CE
Sheet_Wall_Piling_CEL	Teräspontti maanpaineeseen	Graphisoft Object Depository, CE
# 9 PUUT (JA MUU KASVILLISUUS)		
Satunnainen puu PK11	Puu	ArchiCAD Peruskirjasto11
Lehtipuu 06 11	Puu. Lisää erilaisia ArchiCAD - kirjastossa	Kirjasto11/ Visualisointi/ Istutukset ja ulkovarusteet/ Puutarha
# 10 SÄHKÖ JA VALAISTUS		
Spk_A250_04	Sähköpääkeskus 250A, selitteen "SPK 250A" voi lisätä sijoitettaessa	Mallinnus VTT, KS
Spk_A250_09	SPK 250 A, Sähkö-huomiokuva etu ja takaseinässä	Mallinnus VTT, KS
Spk_A400_03	Sähköpääkeskus A400	Mallinnus VTT, KS
Spk_A400_05	SPK A400, Sähkö-huomiokuva etu ja takaseinässä	Mallinnus VTT, KS
# 11 MUUT		
Dump_Container_CEL	Roskasäiliö Kiinteät mitat 3,070m x 1,767m x 1,000m	Graphisoft Object Depository, CE
3D-teksti	3D:ssä lappeellaan näkyvä teksti	AC Objektkirjasto 9/ Yleiskirjasto
3D-teksti GS	3D:ssä pystyssä näkyvä teksti	AC Objektkirjasto