

Tietomallintaminen osana arkkitehdin työnkuvaa ja koulutusta

Rakennusalan digitalisaation vaikutus
arkkitehdin työhön

Sonja Immonen
Diplomityö, Marraskuu 2019
Arkkitehtuurin osasto
Oulun Yliopisto

Sonja Immonen

Tietomallintaminen osana arkkitehdin
työnkuvaa ja koulutusta - Rakennusalan
digitalisaation vaikutus arkkitehdin työhön

Oulun Yliopisto

Arkkitehtuurin osasto

Diplomityö, 89 sivua, 1 liitesivu.

Marraskuu 2019

Ohjaaja: Janne Pihlajaniemi

kiitokset

Haluan kiittää Janne Pihlajaniemeä ohjaajanani
toimimisesta.

Kiitos Arto Kiviniemelle ja Toni Österlunille.
Teidän kanssa keskusteleminen auttoi paljon
aiheen rajaamisen ja lähestymiskulman kanssa.

Kiitos erityisesti Markus Honkaselle, Anna-
Leena Salolle ja kaikille muille toimistolla ja
kotona, jotka ovat jaksaneet kuunnella minun
ei-niin-automatisoitua tiedonjäsentelyäni
ja ääneen miettimistä. Tiedon luonteva ja
sujuva jakaminen ja käsittely oli tämänkin työn
lopputuleman kannalta olennaista.

Tiivistelmä

Tämän diplomityön tavoitteena on tarkastella rakennusalan digitalisaatiota suomalaisesta näkökulmasta ja miten tietomallintamisen yleistymisen vaikuttaa arkkitehdin työnkuvaan ja koulutukseen.

Työssä tehdään ensin katsaus tietomallintamisen historiaan ja nykytilanteeseen. Osio käy läpi mitä tietomallintaminen on ja minkälaisia vaikutuksia ja tulevaisuudenkuvia sillä on rakennushankkeen eri vaiheisiin. Samalla esitellään tietomallintamiseen liittyvät standardit ja yhteiset toimintatavat ja käydään läpi tietomallintamiseen käytettäviä työkaluja.

Arkkitehdin koulutusta tarkastelevaa osiota varten on haastateltu Suomen arkkitehtikoulujen digitalisten työkalujen opetushenkilökuntaa ja kartoitettu opetuksen nykytilaa ja tavoitteita. Tarkoituksena on muodostaa käsitys tietomallintamisen asemasta osana arkkitehtikoulutusta ja millaisia taitoja arkkitehtiopiskelijoilla on opintojen aikana ja valmistuessa.

Tietomallintaminen on Suomessa yleistyvä toimintatapa rakennusalalla. Tämä kasvattaa kysyntää arkkitehtien tietomalliosaamiselle. Oulun ja Tampereen arkkitehtuurin osastot ovat reagoineet alalla tapahtuvaan muutokseen ja sisällyttäneet tietomallintamista opetukseen.

Abstract

The purpose of this diploma thesis is to examine the digitalization of the construction industry from a Finnish point of view and how growing demand for building information modeling (BIM) is affecting the architectural profession.

At first the study takes a look at the history and the current state of BIM. This part explains what BIM is and how it is affecting the construction industry and what to expect from it in the future. It also goes through the standards, workflows and tools related to creating and using BIM.

The computer aided design teachers of all three architecture schools in Finland were interviewed for the portion that discusses the architectural education's current situation and goals for computer aided design. The goal is to form a picture of how BIM is discussed as a part of the architectural studies and what type of skills can be expected from students during studies and after graduation.

BIM is gaining popularity in the Finnish construction industry. This raises the demand for skills to work with BIM for architects. The architecture schools in Tampere and Oulu have reacted to the changes in the industry and have included BIM as a part of architectural studies.

Sisällysluettelo

1. Johdanto	8
2. Mitä on tietomallintaminen	12
2.1 Tietomallintamisen historia	14
2.2 Tietomallintamisen mahdollisuudet	18
3. Miten tietomallinnetaan	28
3.1 Toimintamallien kehitys	30
3.2 Tiedon tuottaminen ja käsittely	40
3.2.1 Miten tietoa tuotetaan	42
3.2.2 Miten tietoa jaetaan	46
4. Arkkitehti ja tietomallit	48
4.1 Arkkitehti tiedon kokoajana ja esittäjänä	50
4.2 Tietomallit arkkitehdin työkaluina	54
4.3 Arkkitehdin koulutus	58
5. JOHTOPÄÄTÖKSET	74
6. Lähteet	82
7. Liitteet	90

1. Johdanto

Elämme jatkuvasti digitalisoituvassa maailmassa ja tietotekniikan hyödyntäminen erilaisissa prosesseissa on yksi maailman megatrendejä. Digitalisaation käsite on laaja ja sillä on monia merkityksiä. Se on samaan aikaan prosessi ja ilmiö. Prosessina se on tietokoneiden hyödyntämistä tiedon tallentamiseen, siirtämiseen ja käsittelyyn. Ilmiönä se viittaa yhteiskunnan ja talouden sektorilla näkyvään muutokseen, joka johtuu tieto- ja viestintätekniikan kehityksestä.¹Tiedon ja toimintojen digisointi, digitaliseen muotoon tallentaminen, ja digitalisten työkalujen hyödyntäminen uusien prosessien luomiseen on avannut niin valtavan määrän uusia liiketoiminnan ja tuotannon mahdollisuuksia, että voidaan puhua neljännestä teollisesta vallankumouksesta, tai kuten joissain lähteissä sitä kutsutaan, teollisuus 4.0². Kuten aiemmatkin teolliset vallankumoukset, digitalisaatio tulee korvaamaan osan vanhoista prosesseista ja luomaan valtavan määrän uusia.³

Digitalisaation vaikutukset näkyvät myös rakennusalalla. Teknologinen kehitys tarjoaa mahdollisuuksia hyödyntää teknologioita, kuten automaatiota ja robotiikkaa rakentamisessa täysin uudessa mittakaavassa. Koneohjatut työkoneet ja 3D tulostaminen mahdollistavat yksilöllisten ratkaisujen toteuttamisen sarjatuotannon kustannuksilla.⁴ Erilaisten mittausvälineiden ja antureiden avulla pystytään

seuraamaan rakennuksen olosuhteita sen koko elinkaaren ajalta, aina rakentamisesta purkuun. Mobiililaitteiden kehitys mahdollistaa suurenkin tietomäärän tarkastelun laitteella, joka mahtuu taskuun, tuoden työmaalle paremman yhteyden suunnitelmiin ja digitalisiin työkaluihin⁵. Kaiken tämän ytimessä on näihin prosesseihin vaadittavan tiedon prosessoiminen ja hallinnointi. Tämän hetkinen ratkaisu tähän on tietomalli.

Tietomalli, tai BIM (building information model), tarjoaa tavan hallita rakennuskohteen suunnittelun, toteutuksen ja käytön aikana tuotettavaa ja käytettävää tietoa. Sen tavoitteisiin kuuluu mahdollistaa uusien teknologioiden hyödyntäminen rakentamisessa ja parantaa rakentamisen ja rakennushankkeen laatua, parantamalla tiedonhallintaa ja -kulkua.⁶

Tämän tutkielman tavoitteena on tarkastella, mitä tietomallintaminen on ja miten se näkyy arkkitehdin työnkuvassa, minkälaisia vaikutuksia sillä on arkkitehdeilta vaadittaviin taitoihin ja miten arkkitehdin koulutus on varautunut tähän muutokseen. Tutkielma keskittyy tietomallintamiseen ja sen osuuteen rakennusalan digitalisaatiossa, sillä tietomallintaminen on koko rakennusala koskevaa digitalisaatiota ja täten näkyy arkkitehtien työkuvan kehityksessä, kun taas digitaalisen suunnittelun osa-alueet, kuten

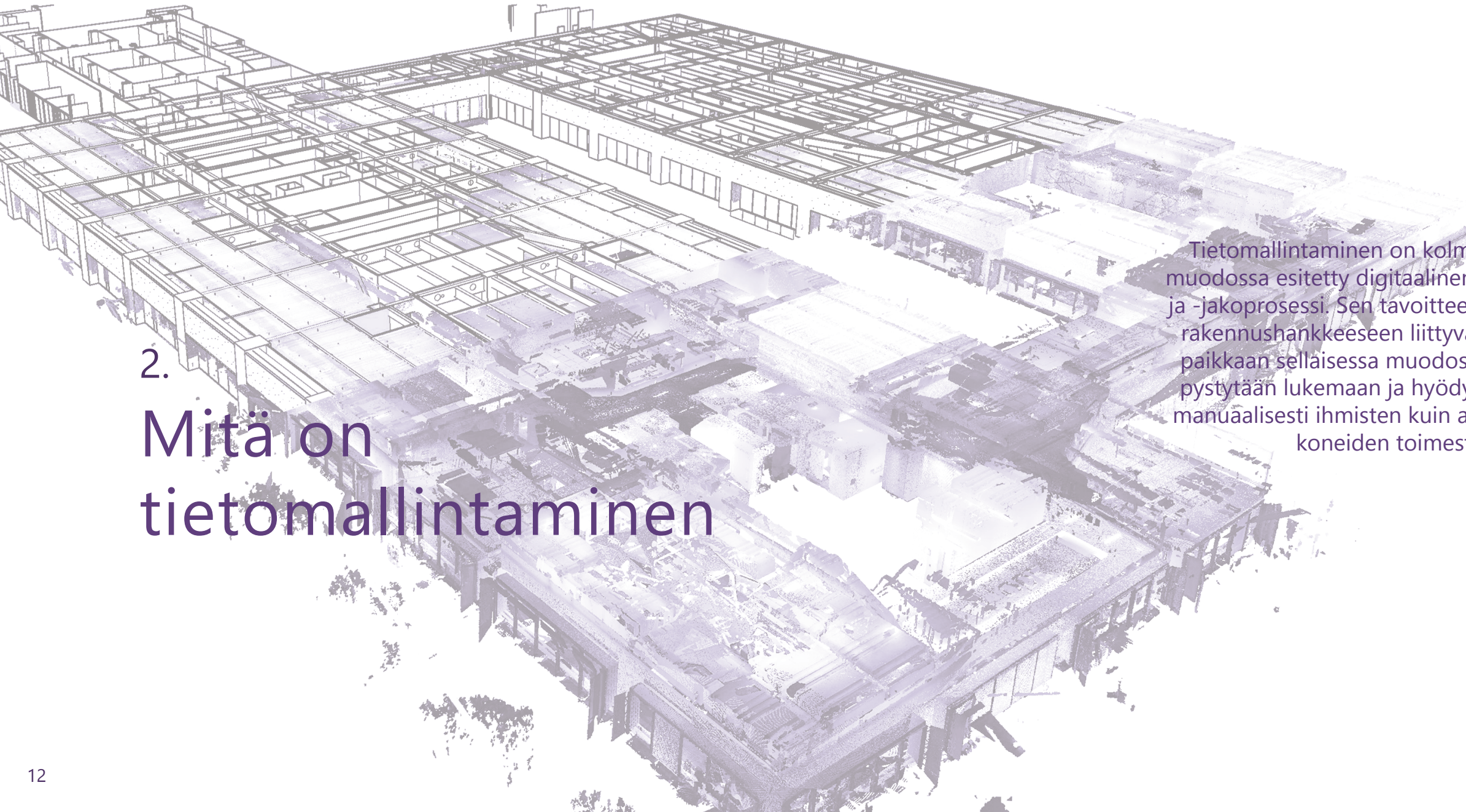
1 Itkonen, 2015
2 i-scoop
3 Schwab, 2016
4 Tanska, Österlund, 2014, s. 66

5 Jäväjä, Lehtoviita, 2016, s. 72-73
6 Eastman, ym. 2011, s.20-26

algoritminen arkkitehtuuri, ovat enemmän arkkitehtuurin kehitystä.

Arkkitehdin koulutusta tarkastelevaa osiota varten on haastateltu Suomen arkkitehtikoulujen digitalisten työkalujen opetuksesta vastaavia henkilöitä. Haastattelut on suoritettu videopuheluin ja kasvotusten. Haastateltavina ovat Aalto yliopiston arkkitehtuurin osaston rakenteiden suunnittelun yliopisto-opettaja Luca Piškorec, Tampereen yliopiston arkkitehtuurin osaston median laboratorion yliopisto-opettaja Martti Lamppu ja Oulun Yliopiston arkkitehtuurin osaston CAD-tuntiopettaja Asko Leinonen. Jokainen heistä on osallistunut opetuksen sisällön suunnitteluun omassa yliopistossaan. Haastatteluita varten käytetty kysymysrunko on liitteenä 1.

Haastattelujen tavoitteena on muodostaa kuva arkkitehtikoulutuksen digitalisten työkalujen opetuksen nykytilasta. Vertailun vuoksi koulutusosiossa tarkastellaan rakennusarkkitehtien kurssisisältöjä digitalisten työkalujen osalta opinto-oppaiden perusteella.



2. Mitä on tietomallintaminen

Tietomallintaminen on kolmiulotteisessa muodossa esitetty digitaalinen tiedonhallinta ja -jakoprosessi. Sen tavoitteena on yhdistää rakennushankkeeseen liittyvä tieto yhteen paikkaan sellaisessa muodossa, että tietoa pystytään lukemaan ja hyödyntämään niin manuaalisesti ihmisten kuin automaattisesti koneiden toimesta.

2.1

Tietomallintamisen historia

Tietomallintaminen juontaa juurensa 70-luvulle, jolloin, jolloin Charles Eastman esitteli idean tutkielmassaan *An Outline of the Building Description System* (1974). Tutkielman pohjana on ajatus, että 2D piirustukset ovat tehon tapa tuottaa tuotantosuunnitelmia. Piirustukset kuvaavat samoja kohtia useaan otteeseen ja kuvien tuottamisen ja kommunikaation hitauden takia käytössä on Eastmanin mukaan aina kuvia, joissa on vanhentunutta tietoa. Piirustuksia jää päivittämättä ja valmistuneesta rakennuksesta ei välttämättä ole ajan tasalla olevia piirustuksia luovutusvaiheessa. Fyysiset piirustukset haurastuvat ajan mukana ja niitä on haastavaa päivittää.⁷

Ratkaisuna esittämäänsä ongelmaan, Eastmanin kuvaili digitaalisen käyttöliittymän, joka...

- Kykenee käsittelemään kaiken muotoisia ja monimutkaisiakin kappaleita
- Antaa käyttäjän muokata ja liikuttaa kappaleita graafisessa ympäristössä
- Kykenee tuottamaan 2D näkymiä halutuista kohdista
- Jäsentelee tietoa attribuuttien perusteella⁸

Konsepti kantoi nimeä *Building Description System* (tästä eteenpäin BDS). BDS on periaatteiltaan pätevä kuvaus nykypäivän tietomallintamiseen käytettävistä ohjelmistoista.

⁷ Eastman, ym. 1974
⁸ Eastman, ym. 1974, s. 20

70-luvulla otettiin ensimmäiset askeleet kohti Eastmanin kuvailemaa käyttöliittymää. RUCAPS nimistä ohjelmaa pidetään tietomallintamisen ensiaskeleena. Ohjelmassa oli 3D-graafinen käyttöliittymä ja mallista pystyttiin ottamaan näkymiä. Muutokset päivittyivät automaattisesti kaikkiin näkymiin. RUCAPS ja sen seuraajat eivät päässeet laajaan käyttöön, sillä suunnittelijat kokivat uuden piirustustentuoottotavan liian haastavaksi ja vieraaksi. Lisäksi ohjelmat ja niiden käyttö olivat kallista. Tietokoneet pääsivät osaksi suunnittelijoiden työtä yksinkertaisempien piirustusohjelmien, kuten AutoCadin kautta, sillä ne eivät muuttaneet työskentelytapoja liikaa.⁹

Ensimmäinen kaupallinen BDS:n periaatteita noudattava ohjelma, oli vuonna 1987 julkaistu Graphisoftin ArchiCad. Ohjelmalla pystyi tuottamaan 2D ja 3D sisältöä ja se jäsenteli mallin BDS:n kuvailemalla tavalla elementteihin, joilla on parametrit, joita käyttäjä voi muuttaa. Toisin kuin RUCAPS ja sen aikaiset, henkilökohtaisille koneille asennettavat ohjelmat olivat helpommin saatavilla ja kehitystä oli ajamassa akatemian lisäksi myös teollisuus.¹⁰ Käyttäjillä oli tähän mennessä enemmän kokemusta tietokoneiden käytöstä ja se teki ohjelmista edellistä sukupolvea lähestyttävämmän. Nykypäivänä ArchiCadin lisäksi tietomallinnukseen käytettäviä ohjelmia ovat muun muassa AutoDeskin

⁹ Eastman, ym. 2011, s. 36-37
¹⁰ Hossain 2018, s. 191

Revit, Tekla Structures, Bentley Architecture ja Structureworks. Suomessa eniten käytettyjä näistä ovat arkkitehtuurin puolella ArchicCad ja Revit ja rakennesuunnittelussa Tekla Structures.

Ohjelmistojen kehittyessä valmistajat kutsuivat tietomallintamista omilla nimillään. Nykyään tietomallinnus tunnetaan kansainvälisesti nimellä BIM, eli "Building Information Model", "Building Information Modeling" tai "Building Information Management." Nimi, muodossa Building Information Model, on peräisin vuonna 1992 julkaistussa tutkielmasta, jossa esitellään RUCAPSin hyödyntämistä London Heathrown Terminaali 3:n suunnittelussa. Termi pääsi alan laajuisesti käyttöön vuonna 2003 käydyn julkisen väittelytilaisuuden myötä, jossa keskustelemassa olivat edustajat AutoDeskilta ja Bentleylta.¹¹ Modeling-päätte viittaa siihen, miten tietomallinnus on prosessi, eikä pelkkä malli, kuten model-päätteestä voi tulkita. Tuorempi Management-päätte viittaa siihen, miten tietomallintaminen on tiedonhallintatyökalu.

Vuonna 1994 perustettiin Industry Alliance for Interoperability (IAI), jonka tavoitteena oli kehittää tietojärjestelmien yhteensopivuutta. Perustamassa oli useita suuria rakennusalan toimijoita, erityisesti ohjelmistokehityksen puolelta. IAI loi ja määritteli avoimen tiedostomuodon,

jonka avulla pystytään siirtämään tietoa eri ohjelmistojen välillä. Tämä tiedostomuoto on nimeltään Industry Foundation Class, eli IFC. Vuonna 2005 IAI muutti nimensä BuildingSMARTiksi.¹² BuildingSMART jatkaa toimintaansa tietomallintamisen edistämisen eteen ja ylläpitää ja kehittää IFC tiedostomuotoa. Sillä on osastoja ympäri maailmaa, mukaan lukien Suomessa.¹³

Kansainvälisesti tietomallintamisen hyödyntäminen on yleistymässä ja tietomallintamisen käytöstä on tehty periaatepäätöksiä useissa maissa. Iso-Britannia asetti vuonna 2011 tavoitteen, jonka mukaan kaikkien valtion projektien toteutettavan BIM tasolla 2 vuodesta 2016 eteenpäin. Vuonna 2017 tehdyn raportin mukaan 60% rakennusalan toimijoista on saavuttanut tavoitteen ja 95% odotetaan saavuttavan sen vuoteen 2020 mennessä.¹⁴ Tanskassa tietomallintaminen on ollut pakollista valtion hankkeissa vuodesta 2007 alkaen ja tämän lisäksi kunnallisissa ja sosiaalisen asumisen kohteissa vuodesta 2013.¹⁵ Vuonna 2014 EU kehotti jäsenmaitaan edistämään rakennusalan digitalisaatiota ja tietomallintamisen hyödyntämistä rakentamisessa¹⁶.

11 Hossain, 2018, s. 191

12 Bazjanac, Crawley, 1997

13 BuildingSMART

14 NBS, 2017

15 Karlshøj, 2014

16 EU BIM taskgroup

2.2

Tietomallintamisen mahdollisuudet

Tietomallintamisen tavoitteena on parantaa suunnittelun ja rakentamisen laatua ja tehokkuutta, ja tukea kestävästä kehityksestä¹⁷. Tietomalli toimii rakennuksen digitaalisena prototyypinä ja hankkeen tiedonhallintatyökaluna. Yksinkertaistettuna se on kolmiulotteinen malli, johon on linkitetty tietoa. Malli koostuu olioista, joiden parametrejä muokkaamalla voidaan määritellä olion aineelliset ja aineettomat ominaisuudet.¹⁸ Kun tieto on jäsennetty malliin tietyllä tavalla, se avaa mahdollisuudet hyödyntää mallin sisältämää tietoa lukuisiin eri käyttötarkoituksiin ja automatisoida osia suunnitteluprosessista ja hankkeen hallinnoinnista. Manuaalisen työn karsiminen tehostaa työvaiheita ja vapauttaa resursseja laadun parantamiselle. Tämä tukee LEAN-mallin mukaista projektinhallintaa.¹⁹

Suurin osa rakennushankkeen hinnasta syntyy työmaalla ja siitä osa on karsittavissa paremmalla suunnittelulla.²⁰ Kun suunnittelusta ja osapuolien välisestä kommunikaatiosta karsitaan turhia päällekkäisyyksiä ja tehottomia välivaiheita, vapautetaan aikaa itse suunnittelulle. Lopputuloksena on parempilaatuiset suunnitelmat, jotka vuorostaan tehostavat työmaan suunnittelua ja parantavat hankkeen kustannustehokkuutta.²¹

Kuten Eastman jo esitti 70-luvulla, rakennushankkeen aikana tuotetaan valtava

määrä informaatiota, josta kuitenkin osa on päällekkäistä ja osa katoaa, kun aineistoa siirretään eri osapuolten välillä. Perinteiset 2D piirustukset kykenevät näyttämään vain osan kokonaisuudesta ja yksityiskohtien esittämiseen voidaan tarvita useita kuvia. Monimutkaisten kohtien ja vapaamuotoisten kappaleiden esittäminen kattavasti 2D muodossa on lähes mahdotonta tai vähintään tehotonta. Tietoa jää täten esittämättä. Kolmiulotteinen malli tarjoaa ratkaisun tähän ongelmaan.

Kun kaikki suunnittelijat tuottavat suunnitelmansa 3D-mallina, voidaan muodostaa kattava kuva koko rakennuksesta ja suunnitelmien välisiä ristiriitoja voidaan havaita helpommin suunnitteluvaiheessa. Tämä on mahdollista tavallisella 3D mallilla, mutta tarkastustyö täytyy tehdä manuaalisesti. Suunnitelmien tuottaminen tietomalleina mahdollistaa ristiriitojen etsimisen koneellisesti. Automatisoitu tarkastus ei korvaa suunnittelijaa, vaan helpottaa ja tehostaa hänen työtään.²²

Tietomalli on samalla tietopankki. Malliin voidaan liittää tiedot materiaaleista, pintojen käsittelyistä, värikoodit, tarkat tuotetiedot ja jopa linkit valmistajan asennusohjeisiin. Kaikki tieto, joka malliin lisätään, kulkee aina matkassa. Tämä tarkoittaa, ettei tietoa tarvitse etsiä useammasta eri lähteestä ja että se on kaikkien saatavilla. Tietoa ei myöskään katoa yhtä

17 YTV2012 - osa 1
18 Eastman, ym. 2011 s. 18
19 Jäväjä, Lehtoviita, 2016, s.28-31
20 Palonen, 2019
21 Jäväjä, Lehtoviita, 2016, s. 61

22 Jäväjä, Lehtoviita, 2016, s.28-31

helpolla, kun siirrytään hankkeessa seuraavaan vaiheeseen.²³

Tiedonhallinnan lisäksi tietomalli on projektinhallinnan työkalu. Markkinoilla on tarjolla projektinhallinnan ohjelmistoja, jotka pystyvät hyödyntämään tietomalleja eri projektinhallinnan prosesseihin, kuten määrä- ja kustannuslaskentaan, aikataulutukseen, tuotannonohjaamiseen, ja laadunvalvontaan.²⁴

23 Jäväjä, Lehtoviita, 2016, s.28-31
24 Jäväjä, Lehtoviita, 2016, s. 47

Suunnittelussa

Rakennushankkeen aikana tuotetaan valtava määrä informaatiota, jota käytetään moniin eri tarkoituksiin. Tietomallien tiedonhallinnan ansiosta tuotettua tietoa voidaan hyödyntää laaja-alaisesti tarkastamiseen, vertailuun ja eri ratkaisuiden kokeilemiseen.

Jokainen suunnittelija luo omasta osuudestaan tietomallin, jotka sitten sovitetaan yhteen muiden suunnittelijoiden mallien kanssa, eli luodaan yhdistelmämalli. Suunnitelmia voidaan vertailla toisiinsa ja tarkastella kokonaisuutena.

Suunnitelmien esittäminen, vertaaminen toisiinsa ja niiden yhteensovittaminen manuaalisesti 2D kuvista on aikaa vievää ja jättää varaa virheille. Asioita voi jäädä huomaamatta tai tietoa on esitetty virheellisesti tai puutteellisesti. Tietomallin avulla suunnitelmat ovat kolmiulotteisia ja täten helpompia hahmottaa. Tämän lisäksi tietomallin sisältämän tiedon ansiosta suunnitelmat voidaan tarkistaa tarkastusohjelmalla.

Tarkastusohjelma tekee törmäystarkastelun, jossa tarkistetaan törmäkö elementit toisiinsa, ja vertaa suunnitelmia annettuun säännöstöön. Säännöstö voi perustua esimerkiksi rakennusmääräyksiin ja sen avulla voidaan tarkistaa, että suunnitelma täyttää rakennusmääräykset. Ohjelma kykenee tarkistamaan suunnitelmat vain niiden määräysten osalta, jotka ovat muunnettavissa

koneluettaviksi säännöiksi. Koneellisen tarkastuksen pystyy tekemään joko yksittäisten suunnittelualojen malleille tai niiden yhdistelmille. Suunnittelijat voivat tarkistaa omat mallinsa ja verrata niitä muilta suunnittelijoilta saamiinsa malleihin. Automatisoitu tarkastus ja vertailu on manuaalista tarkastamista huomattavasti nopeampaa ja vähentää tilanteita, joissa asioita on jäänyt huomaamatta. Tämä vapauttaa aikaa suunnittelulle ja parantaa suunnitelmien laatua.

Rakennuksen toimivuuteen vaikuttaa moni tekijä, joista osia voidaan laskea tai simuloida. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi talotekniikan mitoitus, paloturvallisuus, ihmisten liikkuminen rakennuksessa ja kohteen maantieteellisestä sijainnista riippuen luonnonvoimien ja -katastrofien vaikutus rakennukseen. Simulaatioita on tehty myös ilman tietomallipohjaista suunnitteluprosessia, mutta se tarkoittaa, että simulaatiota tekevän tahon täytyy luoda malli, jota simulaatio pystyy käyttämään. Tässä tilanteessa luodaan uudestaan olemassa olevaa tietoa. Kustannustehokkuuden kannalta ei ole kannattavaa mallintaa kovin tarkasti, jolloin simulaatio tehdään puutteellisilla tiedoilla. Tietomallin avulla simulaatio voidaan tehdä tarkemmalle mallille ja simulaatioita pystytään tekemään useampia projektin aikana, kun jokaista simulaatiota varten ei tarvitse rakentaa uutta mallia.^{25, 26}

25 Eastman, ym., 2018, s.224
26 Koskelainen, 2019

Tekoälyä voidaan simulaatioiden lisäksi hyödyntää myös optimointiin. Perinteisempänä esimerkkinä suunnitelmien optimoinnista on materiaalin käytön optimointi, jolloin tavoitteena voi olla esimerkiksi tuottaa mahdollisimman vähän hukkamateriaalia ja hyödyntää edullisimpia työstötapoja, ilman, että alkuperäisestä muodosta tai ulkonäöstä joudutaan tinkimään²⁷. Tietomalli tarjoaa pohjan ja tietopankin optimoinnin tekemiselle, eikä siihen vaadittavaa dataa tarvitse erikseen tuottaa.

Suunnitelmien laadun kehittämisen lisäksi tietomalli mahdollistaa suunnitelmien taloudellisten vaikutusten seurannan. Tietomalliin voidaan sisällyttää elementtien kustannukset. Kyse voi olla pelkistä tuotteiden hintatiedoista ja kappalemääristä, mutta malliin voidaan liittää myös työn ja siihen vaadittavan laitteiston kustannukset.²⁸ Eri ratkaisuiden kustannuksia on helpompi vertailla.

Rakennuksesta tehdään rakennushankkeen aikana lukuisia laskelmia ja taulukoita, joihin tarvitaan tietoja rakennuksen eri ominaisuuksista, kuten pinta-aloista, tilavuuksista, tilojen määristä ja tyypeistä. Tietomallin avulla tämä tieto voidaan kerätä automaattisesti ja käyttää valmiiksi luotuja taulukkopohjia tiedon jäsentelyyn tarvittavalla tavalla. Tiedot pysyvät täten ajankohtaisina ja muutokset näkyvät heti

taulukoissa, jolloin eri valintojen vaikutukset ovat heti havaittavissa. Tämä vähentää tiedon keräämiseen ja jäsentelyyn käytettyä aikaa ja vapauttaa sitä tiedon hyödyntämiseen.

Tietomallin sisältämän tietomäärän ja sen käytettävyyden ansiosta, suunnitteluvaiheesta voidaan karsia suuri määrä manuaalista työtä ja vapauttaa aikaa suunnittelulle. Muutosten reaaliaikainen vaikutusten seuraaminen mahdollistaa eri ratkaisuiden vapaamman kokeilemisen. Rakennuksesta voidaan tehdä useampia digitaalisia demoversioita ja etsiä parhaita ratkaisuja toteutukselle.

Rakentamisessa

Rakennusala ei ole työtavoiltaan muuttunut yhtä merkittävästi, kuin moni muu teollisuuden ala. Työmaalla on edelleen paljon manuaalista työtä ja mahdollisuudet automatisoida tai koneellistaa työvaiheita ovat rajallisia. Tämä ei kuitenkaan estä digitalisaation lisäämistä rakennustyömaalla.

Digitalisaatio tarjoaa työkaluja projektinhallintaan asioissa kuten viestinnässä, aikatauluttamisessa ja suunnittelussa. Tietyt rakennusalan projektinhallinnan työkalut pystyvät hyödyntämään tietomalleja tiedon lähteinä ja tiedon havainnollistamiseen.

Tietomallia voidaan käyttää työmaan suunnitteluun. Tietomalli asetetaan aikajanelle ja jokaiselle elementille asetetaan työhön käytettävä aika, järjestys, jossa työt tehdään ja mahdolliset työvaiheiden väliset riippuvuussuhteet. Kolmiulotteisen käyttöliittymän ansiosta voidaan myös suunnitella eri työpisteiden, työmaakoneiden ja varastojen sijainnit koko työmaan ajalta etukäteen. Samalla voidaan suunnitella työmaan turvallisuusympäristöä työmaan eri vaiheissa.²⁹ Tämä kaikki on tehtävissä perinteisin menetelmin, mutta projektinhallintaohjelmistojen ja tietomallien hyödyntäminen auttaa reaaliaikaisessa seurannassa. Suunnitelmasta poikkeamiset kirjataan ja suunnitelmat päivittyvät sen

mukaisesti. Hankkeen talouden seuranta helpottuu, jos työmaan suunnitelmiin ja seurantaan on liitetty kustannustiedot.

Käsityö on kallista. Yksi tapa parantaa kustannustehokkuutta rakentamisessa on valmistaa mahdollisimman paljon osia ennakoon tehtaalla ja kasata ne työmaalla. Elementtirakentaminen on jo vuosikymmeniä vanha ratkaisu ja on laajasti käytössä nykyrakentamisessa. Elementtirakentamista kehitetään jatkuvasti ja elementit voivat olla jopa kokonaisia tilakokonaisuuksia pintamateriaaleineen ja talotekniikka-asennuksineen. Tuotantoa varten tarvitaan suunnitelmat.

Tietomallin etuja perinteisiin 2D-piirustuksiin verrattuna ovat niiden kattavuus ja tarkkuus. Näiden lisäksi elementtituotannon kannalta tietomalli on hyödyllinen asiakirja siksi, että tiettyjen prosessien automatisaatio on mahdollista tehdasolosuhteissa. Tietomallia voidaan käyttää pohjana, kun näitä automatisoituja prosesseja ajetaan. Malliin voidaan joutua lisäämään tietoa tuotantoa varten, mutta se on silti tehokkaampaa, kuin kokonaan uusien tuotantomallien tekeminen.

Yksi työmaalla automatisoitava prosessi on työkoneiden etäohjaus. Infrastruktuurirakentamisen ja maan-

27 Chang, 2015
28 YTV2012 - osa 7

29 Jäväjä, Lehtoviita, 2016, s. 59-69

muokkauksen puolella on kehitetty työkoneiden etäohjaamista.³⁰

Kuten tässä tutkielmassa on jo aiemmin todettu, 2D-piirustukset eivät ole paras tapa esittää rakennussuunnitelmia. 3D-mallin avulla suunnitelmia on helpompi hahmottaa. Tietomalli tarjoaa työkalun työpäivän agendan läpikäymiseen, erityisesti silloin, kun malli on asetettu aikajanelle. Tablettitietokoneiden yleistyessä työmailla tietomalli kulkee työmiehillä matkassa.³¹ Mallista voi löytyä kaikki tarvittava tieto mitoista ja detaljeista pintakäsittelyihin ja asennusohjeisiin, jolloin tietoa ei tarvitse etsiä erillisistä selosteista tai useasta eri piirustuksesta. Tietomalli jättää myös vähemmän tilaa suunnitelmien virhetulkinnoille.

30 Lammassaari, 2019

31 Jäväjä, Lehtoviita, 2016, s. 69

Rakennusvalvonnalle

Rakennuslupaprosessi on monivaiheinen kokonaisuus, jonka aikana varmistetaan, että rakennuksen suunnitelmat täyttävät sille asetetut vaatimukset ja suunnittelijoilla on hankkeeseen vaadittavat pätevyudet. Rakentamisen luvanvaraisuus perustuu siihen, että sillä varmistetaan rakentamisen lainmukaisuus ja edistetään yhteistä hyvää rakentamisen näkökulmasta.³² Vuonna 2017 tehdyn tutkimuksen mukaan rakennusvalvonnan työntekijät kokevat rakennusvalvonnan kärsivän resurssipulasta ja tämän myötä syntyvästä epätasa-arvoisuudesta alueiden välillä.³³

Rakennusvalvonnalla kuluu aikaa jätetyn lupahakemuksen käsittelyyn. Useimmilla kunnilla on käytössään sähköinen lupajärjestelmä, joka toimii viestintäalustana viranomaisen ja suunnittelijoiden välillä, mutta sinne ladattava materiaali on tekstiä ja 2D-piirustuksia. Nämä asiakirjat käydään manuaalisesti läpi viranomaisen toimesta. Manuaalinen tarkastaminen vie aikaa ja jättää tilaa inhimilliselle virheelle. Tietomallien hyödyntäminen tuo mahdollisuuksia automatisoida osaa rakennusvalvonnan tehtävistä ja vapauttaa näin aikaa rakennusvalvonnan muihin tehtäviin.³⁴

Tietomallia hyödyntävän rakennuslupaprosessin käyttöönotto ei ole yksinkertaista. Siihen liittyy useita tekijöitä lainsäädännöstä työntekijöiden ja luvanhakijoiden osaamiseen.

32 Korpivaara, Syrjälä, 2015

33 Silius-Miettinen, 2019

34 Silius-Miettinen, 2019

Tällä hetkellä on olemassa teknologia tehdä automatisoituja tarkastuksia, mutta ei ole olemassa tarpeeksi yksiselitteisiä rakennusmääräyksiä, että niistä saisi kunnollisen säännösten rakennusvalvonnan käyttöön. Rakennusmääräyksiä pitäisi määrittellä uudestaan yksiselitteisemmin, jotta tarkastuksia voitaisiin automatisoida.³⁵

Arkistointilaki ei tällä hetkellä tunnista tietomallia. Arkistoinnin kannalta tulee edelleen tuottaa 2D piirustukset lupahakemuksen yhteydessä.³⁶ Useat kaupungit ovat jo ottaneet käyttöön sähköisen lupapalvelun, joka mahdollistaa tietomallin lisäämisen lupahakemukseen.³⁷

Tietomallien käytettävyyttä rakennuslupan hakemisessa rajoittaa myös viranomaisten osaaminen. Rakennusvalvonnan työntekijät ovat eri taustoilta, joten heidän kouluttamisensa vaatii resursseja.³⁸

Tietomalleista on kuitenkin hyötyä rakennusvalvonnalle ilman automatisoituja prosesseja. Kolmiulotteinen malli auttaa hahmottamaan rakennusta paremmin. Kun rakennuksesta saa paremman kuvan suunnitelmien perusteella, se helpottaa viranomaisen työtä. Mallin voi myös sijoittaa mahdolliseen kaupunkimalliin, jossa sen sopimista ympäristöönsä voi arvioida laajemman tietomäärän kanssa.³⁹

35 Silius-Miettinen, 2019

36 Silius-Miettinen, 2019

37 Lupapiste

38 Silius-Miettinen, 2019

39 Silius-Miettinen, 2019

Käyttöön oton jälkeen

Tietomallien hyödyt eivät rajoitu pelkästään suunnittelun ja rakentamisen ajalle. Mallien sisältämä tietomäärä on hyödynnettävissä myös rakennuksen käyttöönoton jälkeen.

Tietomalli on kiinteistönhallinnan kannalta hyödyllinen asiakirja. Tietomalli sisältää kattavat tiedot tiloista, materiaaleista ja laitteistosta. Jos rakennuksen luovutuksen yhteydessä on luovutettu toteutuksen mukainen tietomalli, eli toteumamalli, voidaan tietomallia hyödyntää kiinteistön huollon ja hallinnan tehtävissä.⁴⁰

Tietomalli muodostaa kattavan huoltokirjan, josta löytyy tarkat tiedot rakennuksesta ja tiedot ovat helposti päivitettävissä. Tietomalli voidaan liittää ohjelmiin, jotka seuraavat rakennuksen käyttöä ja ennakoivat tarvittavia huoltotoimenpiteitä osien suositeltujen käyttöikien ja mahdollisten antureiden tuottaman tiedon avulla.^{41, 42} Tarkat tuotetiedot helpottavat huoltotoimenpiteiden suunnittelua ja toteuttamista. Rakennuksen remontoinnin kannalta hyvin päivitetty tietomalli on arvokas asiakirja. Rakennuksesta ei tarvitse tuottaa uusia asiakirjoja suunnittelun pohjaksi ja tarkan mallin avulla suunnittelijoilla on kattavampi kuva rakennuksesta.

Rakennuksen fyysisten ominaisuuksien lisäksi tietomallin sisältämät tilatiedot mahdollistavat tilojen omistus- ja käyttötietojen tehokkaamman hallinnoinnin.⁴³

43 YTV2012 osa 12

Kestävä kehitys

Kestävä kehitys ja ekologisuus ovat keskeisiä puheenaiheita rakennusalalla tällä hetkellä. Kestävän kehityksen tavoitteena on vastata nykypäivä tarpeisiin sellaisella tavalla, että tuleville sukupolville jää resursseja vastata aikanaan omiin tarpeisiinsa.⁴⁴ Tietomallintaminen tarjoaa keinoja vähentää rakennusajan päästöjä ja tuotetun rakennusjätteen määrää ja parantaa rakennuksen ekologisuutta sen koko elinkaaren ajalta.

Tarkemman suunnittelumallin avulla saadaan tarkempia laskelmia ja simulaatioita rakennuksen energiatehokkuudesta. Automaattisesti päivittyvät laskelmat ja tietomallin ansiosta nopeammin tehtävät simulaatiot mahdollistavat eri ratkaisuiden vertailun ja täten rakennuksen energiatehokkuuden optimoinnin. Optimointi voi laskea rakennuksen elinkaaren aikaisia päästöjä ja laskea ylläpitokustannuksia.

Tietomallit mahdollistavat myös tarkemman materiaalinkulutuslaskennan ja -optimoinnin. Tarkemmilla materiaalitarve tiedoilla vähennetään ylimääräisen materiaalin kuljettamista työmaalle ja materiaalin käytön optimoinnilla voidaan vähentää eristä jääviä hukkapaloja, jolloin rakennusjätettä syntyy vähemmän. Parannetuilla työmaansuunnittelun työkaluilla voidaan optimoida työmaan tulevaa,

44 Krygiel, Nies, 2008, s. 10

lähtevää ja sisäistä liikennettä, jolloin saadaan laskettua kuljetuksien aiheuttamia päästöjä.

40 Koskelainen, 2019
41 Koskelainen, 2019
42 YTV2012 osa 12

3. Miten tietomallinnetaan

Tietomallin käytettävyys on riippuvainen yhteensopivasta tiedonjäsentelystä. Jotta tieto voi liikkua vapaasti osapuolien ja prosessien välillä, tulee tietomallintamiselle olla yhteiset toimintatavat.

3.1

Toimintamallien kehitys

Tietomallintaminen tarjoaa tavan hallita suurta määrää tietoa, mutta jotta tietoa voidaan hyödyntää tehokkaasti, tiedon täytyy olla helposti luettavissa. Koska tieto tulee ihmisten lisäksi myös koneiden käyttöön, tiedon tulee olla myös koneluettavaa. Tämä tarkoittaa sitä, että tiedon täytyy olla tietyssä paikassa ja tietyssä muodossa. Kone ei osaa arvioida tiedon paikkansapitävyyttä. Sen vuoksi, on olennaista, että luodaan yhteiset pelisäännöt siitä, mitä tietoa tuotetaan, millä tavalla ja mihin. Yhteiset pelisäännöt varmistavat myös, että suunnittelijat mallintavat vaaditulla tarkkuudella, mutta samalla välttävät liian tarkalta työskentelyltä ja ajan ja resurssien tuhlaukselta.⁴⁵

Kansainvälisesti tietomallintaminen on vasta kehittyvässä vaiheessa ja eri maissa on omat rakennuskulttuurinsa. Tämän vuoksi tietomallintamisen käytännöt ovat kehittyneet maakohtaisesti. Kansainvälisiä standardeja on julkaistu ja tietomallintamisen tarkkuuden ja sisällön määrittämiselle on muodostunut kansainvälisesti yhteneviä asteikkoja. Suomessa ei tällä hetkellä ole käytössä mitään virallista standardia tai ohjeistusta, mutta käytäntöjen yhtenäistämisen vuoksi on luotu yhteinen nimikkeistö Talo2000 ja Yleiset tietomallivaatimukset 2012 (tästä eteenpäin YTV2012). Lisäksi Suomessa toimivat tietomallintamista edistävät tahot puoltavat kansainvälisiin standardeihin sitoutumista.⁴⁶

⁴⁵ Henttinen, 2019

⁴⁶ Henttinen, 2019

Tietomallien standardointi

”Standardisointi on yhteisten toimintatapojen laatimista. Standardit on tarkoitettu helpottamaan viranomaisten, elinkeinoelämän ja kuluttajien elämää. Standardisoinnilla lisätään tuotteiden yhteensopivuutta ja turvallisuutta, suojellaan kuluttajaa ja ympäristöä sekä helpotetaan kotimaista ja kansainväistä kauppaa.”⁴⁷

Vuoden 2018 lopussa kansainvälinen standardoimisjärjestö International Organization of Standardization (tästä eteenpäin ISO) julkaisi ISO-19650-sarjan, joka käsittelee rakennus- ja infrastruktuurialan digitaalista tietojenkäsittelyä. Se perustuu Iso-Britannian aiempaan, hyväksi todettuun BS 1192 standardiin ja sen tarkentavaan PAS 1192-2 asiakirjaan. Otsikoltaan ”Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling” oleva sarja koostuu toistaiseksi kahdesta osasta ja suunnitteilla on osat 3 ja 5. Iso-Britannia on sitoutunut siirtymään omasta standardistaan ISO-19650 standardiin.⁴⁸

Toimintamallien standardointi helpottaa tiedon yhteensovittamista. Kun ohjelmistot tuottavat dataa, jota sitä prosessoiva toinen ohjelmisto kykenee lukemaan ilman ylimääräisiä sovittimia tai manuaalista tiedonsiirtoa, tieto

kulkee jouhevammin ja varmemmin. Avoimet standardit mahdollistavat uusien toimijoiden pääsyn mukaan kehitystyöhön, joka puolestaan parantaa työkalujen ja osaamisen kehitystä ja luo uusia tietomallien käyttömahdollisuuksia.⁴⁹

Nopeasti kehittyvällä alalla standardointi voi olla haastavaa, sillä standardien tulee samaan aikaan olla hyväksi todettuja ratkaisuja ja pysyä ajankohtaisina. Tämän tukemiseksi vaaditaan aktiivista dialogia käyttäjien ja standardoinnin välillä.

49 Henttinen, 2019

IFC

IFC, eli Industry foundation class, on avoin, kansainvälisesti standardoitu tietomallien tiedostoformaatti. Sen on luonut ja sitä ylläpitää BuildingSMART, tavoitteenaan saada yhteinen tiedostomuoto, jota eri ohjelmistot pystyvät tuottamaan ja lukemaan ja täten tietomalleja voitaisiin käyttää. Ensimmäinen versio julkaistiin joulukuussa 1996⁵⁰

IFC kykenee käsittelemään kappaleen tunnistetiedot, geometrian, ominaisuudet, sijainiin ja suhteet muihin kappaleisiin, aineettomat tiedot, siihen liittyvät prosessit ja toimenpiteet, ja omistajuussuhteet. Versiosta 4.0.0 alkaen, IFC on tukenut 5D tietomallintamista,⁵¹ joka tarkoittaa tietomallin asettamista aikajanalle, jotta rakentamisen etenemistä voidaan tarkastella mallin avulla.

Tieto on varastoitu IFC-tiedostossa tekstinä, joka on ainoa universaali digitaalinen tiedostomuoto. Se mahdollistaa tiedonsiirron onnistumisen samalla tavalla kaikkien IFC:tä tukevien ohjelmistojen välillä.⁵² Vapaa tiedonsiirto tarkoittaa sitä, ettei suunnittelijoiden tarvitse mallintaa asioita uudestaan, jotta ne olisivat yhteensopivia heidän käyttämänsä ohjelmiston kanssa.

IFC 4.0 on ISO-standardin 16739-1:2018 mukainen. Standardi julkaistiin vuonna 2018.⁵³

50 BuildingSMART
51 BuildingSMART
52 Solibri
53 BuildingSMART

47 Suomen standardoimisliitto SFS ry
48 British Standards Institution

YTV2012

Yleiset tietomallivaatimukset 2012 on nimensä mukaisesti vuonna 2012 julkaisu ohjeistus tietomallintamiselle. Se koostuu neljästätoista osasta, joissa asetetaan vaatimukset eri suunnittelijoiden malleille, ohjeistavat mallien käyttöä ja luovat ohjenuoran tietomallinnetun projektin ohjaamiselle. Myös rakennuttajalle ja tilaajalle on oma ohjeistuksensa, jotta kaikki osapuolet kykenevät pysymään ajan tasalla projektin asioista ja hyödyntämään mallia. Ohjeistus perustuu Senaattikiinteistöjen omaan, vuonna 2007 julkaistuun, ohjeistukseen. Kehitystyössä oli Senaattikiinteistöjen lisäksi lukuisia eri toimijoita rakennusalalta. YTV2012 on julkaistu myös englanniksi, saksaksi, viroksi ja espanjaksi. (buildingSMART) YTV2012 ei kuitenkaan ole virallinen ohjeistus, vaan sen käytöstä sovitaan projektikohtaisesti.

YTV2012 pyrkii selittämään mitä mallintamisella tavoitellaan, miten mallinnetaan, mitä mallinnetaan missäkin vaiheessa ja miten mallia voidaan hyödyntää. Ohjeistus on pyritty tekemään yhteensopivaksi niin uudis- kuin korjausrakentamisen tarpeisiin ja luomaan pohjan käytön ja ylläpidon aikaiseen tietomallin hyödyntämiseen. Suunnittelijoilta odotetaan omaa alaansa koskevaan osioon tutustumista ja näiden lisäksi yleiseen osuuteen (osa 1) ja laadunvarmistuksen periaatteisiin (osa 6). Projektivastaavalta ja/tai tiedonhallinnasta vastaavalta henkilöltä odotetaan koko tieto-

mallivaatimusten periaatteiden tuntemusta.⁵⁴

Koska kyseessä on Suomen ensimmäinen tietomalliohjeistus ja tietomallintamisen taso kansainvälisesti vielä haki itseään vuonna 2012, YTV2012 jättää paljon paikallisen sopimisen varaan. Ohjeistus tarjoaa minimivaatimustason, johon tietomallien on yllättävä. Tämä bottom-up tyylinen ohjeistus on antanut paljon tilaa kehittää erilaisia tapoja tietomallintaa. Uuden teknologian ja työskentelymallin kanssa on hyödyllistä antaa tilaa tutkia ja tapojen kehittyä luontevaan suuntaan. Toisaalta tämä on hidastanut yhteisen toimintamallin kehittymistä.⁵⁵

54 YTV2012, osa 1
55 Henttinen, 2019

Talo2000

Talo2000 on suomalainen rakennusalan yhteinen nimikkeistö, jonka tarkoituksena on tarjota rakennuslalle yhtenäinen sanasto ja luokittelu, joka auttaa toimijoita kommunikoimaan keskenään. Se on yhteensopiva kansainvälisen ISO 12006-2-standardin kanssa, mahdollista sen käytön kansainvälisissä projekteissa. Nimikkeistöjä käytetään rakennushankkeen laskennan ja hankinnan työkaluina, mutta ne myös tuovat yksiselitteisyyttä sopimiseen ja tarjousasiakirjoihin. Ne auttavat myös ylläpitämään laatua muun muassa vakioimalla suoritusten sisällöt.^{56, 57}

Nimikkeistön kehittäminen aloitettiin vuonna 2000 Talo-ryhmän päätoimikunnan päätöksellä. Alun perin tarkoituksena oli tarkastaa ja päivittää olemassa oleva Talo90-nimikkeistö, mutta kommenttikierroksen myötä päädyttiin yhdistämään Talo-ryhmän ja Haahtela-kehitys Oy:n nimikkeistöt. Tämän lisäksi RaSi ry (Rauta-, rakennus ja sisustustarvikekaupan yhdistys) muokkasi Rakennustuotenimikkeistönsä yhteensopivaksi Talo2000:n kanssa ja se liitettiin osaksi Talo2000 nimikkeistöä. Rinnalle on myös julkaistu sähkö- ja LVI-nimikkeistöt S2010 ja LVI2010, jotka eivät ole Talo-ryhmän ylläpitämiä, mutta yhteensopivia Talo2000 nimikkeistön kanssa.⁵⁸

Talo 2000 kokoa alleen viisi osanimikkeistöä, joiden tarkoituksena on jäsenellä

56 Rakennustieto Oy
57 Ahlroos, 2018
58 Talo-nimikkeistöryhmä

rakennushanke niin suunnittelun, tuotannon kuin käyttäjien näkökulmasta hyödyllisiin osiin⁵⁹. Nämä osanimikkeistöt ovat tilanimikkeistö, hankenimikkeistö, tuotantonimikkeistö, rakennustuotenimikkeistö ja kalustonimikkeistö. Tilanimikkeistö jäsentelee tilat niiden käyttötarkoituksen mukaan. Hankenimikkeistö kuvaa rakennuksen fyysisiä osia ja hanke-, kiinteistö- ja käyttäjätehtäviä. Tuotantonimikkeistö määrittelee rakennus- ja tekniikkaosien suoritukset kokonaisuuksina, jotka sisältävät kaikki valmiiseen suoritukseen vaadittamat työvaiheet. Rakennustuotenimikkeistö luokittelee rakennukseen pysyvästi asennettavat tai tuotannon aikana loppuun käytettävät hyödykkeet. Kalustonimikkeistö listaa rakennushankkeen aikana käytettävät koneet, laitteet ja rakennusvälineet niiden käyttötarkoituksen perusteella.⁶⁰

Talo-2000 on kattavuutensa ansiosta tietomallintamisen kanssa yhteensopiva nimikkeistö. Se jäsentelee rakennushankkeen sellaisiin osiin, joiden avulla voidaan malliin määritellä rakennusosien kustannusten lisäksi rakennustoimenpiteille ja niihin vaadittavalle kalustolle aikataulun ja hinnat. Näiden tietojen avulla voidaan mallintaa rakennushankkeen taloudellinen eteneminen aikajanalla ja seurata erilaisten muutosten vaikutuksia hankkeen aikatauluun ja talouteen.

59 Ahlroos, 2018
60 Talo-nimikkeistöryhmä

BIM Level

BIM level on asteikko, joka kuvaa prosessin kypsyttä, eli miten laajasti tietomallinnusta ja sen periaatteiden mukaista tiedonsiirtoa hyödynnetään projektissa. Asteikko koostuu neljästä tasosta: 0-3.

Taso 0:

Taso 0 on täysin kaksiulotteisessa muodossa tapahtuva dokumentaatio, jonka kommunikaatio tapahtuu joko kasvatusten, puhelimitse tai sähköpostitse. Kuvat ovat paperisina tai sähköisenä tulosteena. Taso 0 ei erottele, onko kuvat käsin vai tietokoneella piirrettyjä.

Taso 1:

Taso 1 hyödyntää 3D mallia 2D piirustusten lisäksi. 3D mallissa muutokset päivittyvät myös muihin kuviin, eikä samaa muutosta tarvitse piirtää jokaiseen kuvaan erikseen. Suunnitelmat tulostetaan sähköisinä 2D piirustuksina. Kommunikaatiossa hyödynnetään projektipankkia, josta kuvat ovat kaikkien saatavilla koko ajan.

Taso 2:

Taso 2 ottaa tietomallin käyttöön. Suunnittelijat luovat omasta osuudestaan tietomallin ja eri mallit yhdistetään yhdeksi yhdistelmämalliksi. Yhdistelmämallia käytetään suunnitelmien yhteensovittamiseen. Tämä vaatii sopimukset mallinnustavasta ja -tarkkuudesta. Suunnittelijoiden tulee myös käyttää ohjelmistoja, jotka pystyvät kääntämään mallin keskenään samaan tiedostomuotoon. Kommunikaatiossa hyödynnetään projektipankkia.

Taso 3:

Taso 3 hakee vielä tarkempaa määritelmäänsä. Sen tavoitteena on luoda tasoa 2 sujuvampaa tiedonsiirtoa käyttämällä vain yhtä mallia, joka sisältää kaikki suunnitelmat ja ajan tasalla olevat kustannus- ja menekkilaskelmat. Kaikki tieto on yhdessä mallissa kaikkien käytävissä.^{61, 62}

61 Mordue, 2019
62 McPartland, 2014

Tietomallin laajuus

Tietomalliin voidaan lisätä paljon informaatiota ja sitä pystytään hyödyntämään fyysisen rakennuksen kuvastamisen lisäksi muun muassa aikataulutuksen, budjetoinnin ja ylläpidon työkaluna ja tietopankkina. Tietomallin tietosisällön laajuutta kuvataan ulottuvuuksilla: 3D, 4D, jne.

3D tietomalli:

3D tietomalli kuvastaa fyysistä rakennusta ja sen attribuutteja. 3D tietomalli ei ole pelkkä 3D malli, vaan olioihin on sisällytetty tietoa, kuten materiaalitietoja, paloluokitus ja rakennetyyppi. 3D tietomalli ajaa samaa asiaa, kuin rakennuspiirustukset. 3D tietomallille voidaan tehdä törmäystarkasteluja, jossa eri suunnittelijoiden osuuksien yhteensopivuus tarkistetaan. Mallin sisältämän tiedon avulla voidaan myös tarkastaa, täyttääkö suunnitelmat koneellisesti luettavissa olevat rakennusmääräykset. 3D tietomallin avulla voidaan tehdä määrälaskelmia.

4D tietomalli:

4D tietomalli asettaa 3D tietomallin aikajanalle ja toimii työmaan ja sen aikataulutuksen suunnittelun ja seurannan työkaluna. Rakennusvaiheiden aikataulutuksen lisäksi itse työmaa koneineen ja turvajärjestelmineen voidaan mallintaa etukäteen ja optimoida.

5D tietomalli:

5D tietomalli sisältää rakennusprojektin hintatiedot. Rakennusmateriaaleille, tuotteille ja työille kirjataan hinnat ja niiden avulla voidaan seurata reaaliaikaisesti hankkeen taloutta. 5D malli vaatii pohjalle 4D mallin, jotta siitä saadaan kattava talouden seurannan työkalu. Mallin avulla voidaan kokeilla eri ratkaisujen vaikutuksia hintaan ennen rakentamisen aloittamista.

6D tietomalli:

6D tietomalli on niin sanottu elinkaarimalli. Se toimii rakennuksen huoltokirjana. 6D tietomalli ei vaadi, että rakennusvaiheessa on hyödynnetty 4D- tai 5D tietomalleja, mutta sen tulee olla mallinnettu kuten se on rakennettu, eli rakennusvaiheessa tapahtuneet muutokset tulee päivittää kaikkien suunnittelijoiden malleihin. Malli sisältää tarkat tuote- ja tilatiedot ja jos rakennukseen on lisätty antureita, niiden keräämät tiedot voidaan linkittää malliin. Antureiden avulla voidaan seurata rakennuksen olosuhteita reaaliajassa.⁶³

63 McPartland, 2017

Tietomallintamisen tulevaisuus Suomessa

Kansainvälisellä tasolla tietomallintamisen kehittyminen ja tuottavuustavoitteiden saavuttaminen on tapahtunut tehokkaimmin, kun kehitystä on johdettu ylhäältä käsin (top-down). Suomessa käytetty bottom-up toimintamalli on antanut yksittäisille toimijoille tilaa kehittää omia tapojaan hyödyntää löysiä raameja, mutta kehitys ei ole tapahtunut toivotulla tahdilla. Jotta Suomi saataisiin mukaan tehokkaampaan, kansainvälisesti yhteensopivaan kehitykseen, tulee muodostaa ylhäältä käsin johdettu toimintamalli.⁶⁴

Suomelle on kannattavaa kehittyä kansainvälisen kehityksen mukana, sillä silloin koko kehitystyötä ei tarvitse tehdä tyhjästä. Lisäksi digitaalisen prosessin tietomallintamisen työkalut, kuten ohjelmistot ja kirjastot, tulevat olemaan yhteensopivia kansainvälisten standardien kanssa. Kansainvälisten standardien ja toimintamallien omaksuminen parantaa Suomen vientimahdollisuuksia ja avaa teitä kansainvälisiin projekteihin.⁶⁵

RASTI-projekti

RASTI on valtakunnallinen hanke, jonka tavoitteena on edistää rakennusalan digitalisaatiota ja erityisesti tiedonhallintaa. Hankkeen taustalla on kiinteistö- ja rakennusalan digitalisaatiota ajava valtion kärkihanke KIRA-digi ja ympäristöministeriö.⁶⁶

Konkreettisenä päämääränä hankkeella on luoda ”strategiaa, jolla kansainväliset standardit saadaan käyttöön.” Hankkeen vastuullisena toteuttajana toimii Geowise Oy ja projektiryhmä koostuu tietomallintamisen avainhenkilöistä rakentamisen eri aloilta ja BuildingSMARTin toimintaan osallistuvista standardisoinnin asiantuntijoista. Hankkeessa on myös ollut mukana valtion, kuntien ja kaupunkien, järjestöjen ja yritysten edustajia.^{67, 68}

Huhtikuussa 2018 alkaneen kolmen kuukauden mittaisen Road Map hankkeen aikana luotiin visio vuodelle 2030 ja strategia sen toteuttamiselle. Visiota muodostaessa pyrittiin ottamaan huomioon laaja-alaisesti kiinteistö- ja rakennusalan toimijoiden tarpeet koko rakennetun ympäristön elinkaaren ajalta. Työpajojen avulla kartoitettiin, millaiselle tiedonkululle on tarvetta ja millaiset prosessit tukevat tehokkaampaa ja tarkoituksenmukaisempaa tiedonkäsittelyä ja -siirtoa.⁶⁹

Vision perusteella luotiin toimenpidekartta, joka käy läpi alakohtaisesti ne toimenpiteet, joita tulee suorittaa Vision 2030 saavuttamiseksi. Alakohtaisten toimenpiteiden ja välitavoitteiden lisäksi loppuraportissa listattiin strategian käynnistämisen kannalta tärkeimmät toimenpiteet, jotka tulisi ottaa välittömästi käyttöön.⁷⁰

Raportin ja strategian julkaisun jälkeen RASTI-projekti on jatkanut työtä viestinnän muodossa. Tavoitteena on saada mahdollisimman laaja otanta kiinteistö- ja rakennusalan toimijoista sitoutumaan strategiaan, jotta vuoden 2030 visio on mahdollista toteuttaa.

RASTI-visio 2030 ja Road Map

RASTI-projektin luoma visio vuodelle 2030 asettaa tavoitteen, että vuoteen 2030 mennessä Suomessa rakennetun ympäristön tiedonhallinta hyödyntää yhteisiä ja avoimia kansainvälisiä standardeja, tuottaa ja käyttää yhteensopivia digitaalisia järjestelmiä ja palveluita ja tieto virtaa vapaasti eri toimijoiden, prosessien ja vaiheiden välillä. Visiossa rakennetun ympäristön toimijat ovat laaja-alaisesti sitoutuneet hyödyntämään tietomallintamista osana työskentelyään ja tiedonhallintaansa. RASTI:n tavoitteiden mukaan vuoteen 2030 mennessä saavutettaisiin 50% säästöt rakentamisessa, resurssitehokkuus rakentamisen tuottavuus kasvavat.⁷¹

Vision toteuttamiselle luotiin Road Map, eli kartta, joka asettaa tavoitteita aikajanelle. Ensimmäisenä tavoitteena on luoda yhteisiä pelisääntöjä ja toimintamalleja, jotta vuoteen 2023 mennessä voidaan tuottaa tietosisällöltään vakioituja, koneluettuja malleja erilaisten prosessien käyttöön. Kun teknologia on saatu toimimaan, panostetaan toimijoiden kouluttamiseen, jotta vuoteen 2025 mennessä voidaan saada lakisääteisiä velvoitteita tietomallintamisen hyödyntämiseen rakennetun ympäristön hankkeissa.⁷²

64 Henttinen, 2019
65 Ympäristöministeriö, 2018

66 Ympäristöministeriö, 2018
67 Ympäristöministeriö, 2018
68 Henttinen, 2019
69 Henttinen, 2019

70 RASTI-projekti, 2019

71 RASTI-projekti, 2019
72 RASTI-projekti, 2019



3.3 Tiedon tuottaminen ja käsittely

Tietomallintamisessa olennaisessa roolissa on tiedon hallinta ja jäsentely. Tämän vuoksi on olennaista, että tietoa voidaan tuottaa sellaiseen muotoon, jota eri ohjelmistot ja käyttäjät kykenevät lukemaan ja hyödyntämään omiin prosesseihinsa.

3.3.1

Miten tietoa tuotetaan

Tiedon tuottaminen on suunnittelijoiden keskeinen tehtävä. Suunnitelmat koostuvat erilaisista osista ja eri osilla on erilaisia ominaisuuksia. Tämän tiedon kokoaminen, esittäminen ja jakaminen on merkittävä osa suunnittelijan työtä.

Tietomallinnus ohjelmat vs tiedon tallentamiseen kykenevät ohjelmat

Ohjelmistot ovat tulkintoja työkaluista, joita niiden käyttäjien oletetaan tarvitsevan. Käytännössä on mahdotonta luoda ohjelmistoa, joka on hyvä kaikessa, joten ohjelmistot profiloituvat tietynlaisiin toimintoihin. Tämän vuoksi yhden valmistajan alle voi muodostua ohjelmistoperheitä, jossa eri ohjelmistoilla on omat vahvuutensa.

Kuten osiossa 2 määriteltiin, tietomalli on graafinen malli, johon on linkitetty ei-graafista tietoa. Kyseessä on siis kappale, jolla on geometria ja joitain attribuutteja. Tietomallintamisen kannalta on siis olennaista, että ohjelmisto kykenee tuottamaan tällaista mallia. Karkeasti arkkitehtisuunnitteluohjelmat voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään: ohjelmat, jotka oletusarvoisesti tuottavat tietomallia, ohjelmat, jotka sallivat tiedon lisäämisen malliin ja tietomallintamiseen kykenemättömät ohjelmat.

Tietomallia tuottavat ohjelmat hyödyntävät erilaisia työkaluja, jotka tuottavat kappaleita, joilla on tietyt parametrit ja oletusluokittelut.⁷³ Esimerkiksi seinätyökalu luo kappaleen, jolla on muun muassa geometria, erikseen määriteltävät rakennetyypit ja se liittyy toisiin seiniin tietyllä tavalla ja laataksi määritellyyn kappaleeseen toisella tavalla. Työkaluja on kannattavaa käyttää niiden tarkoituksen mukaiseen mallintamiseen, jotta tietomallista saadaan luettua tiedot oikein. Tietomallia oletusarvoisesti tuottavia arkkitehtiohjelmaa ovat esimerkiksi Autodeskin Revit ja Graphisoftin ArchiCad. Nämä ohjelmat tuottavat valtavan määrän tietoa lähes automaattisesti ja tietoja voidaan muokata attribuuttien avulla. Molemmat ohjelmat tarjoavat laajat työkalut planssien taittoon ja näkymien ja tietojen automaattiseen päivittämiseen, kun suunnitelmia muutetaan.

Tietomalleja voidaan tuottaa myös manuaalisemmin tietyillä mallinnusohjelmilla. Ohjelmilla voidaan tuottaa geometriaa, jolle voidaan sitten määritellä IFC-ominaisuudet.⁷⁴ Kun malli viedään IFC-muotoon, ominaisuudet tallentuvat mukana ja tietosisältö on hyödynnettävissä. Tiedon lisääminen tehdään käsityönä, jolloin tiedon lisäämiseen kuluu aikaa, eteenkin, jos lisättävää tietoa on paljon. Tällä hetkellä näiden ohjelmien etu on niiden usein vapaampi geometrian luominen. Tällaisia ohjelmia ovat erillisten liittimien ansiosta

⁷³ Eastman, ym. 2011 s. 74-75
⁷⁴ VisualARQ

Kirjastopohjainen mallintaminen

Mallinnusohjelmissa kirjasto on kokoelma erilaisia osia ja ominaisuuksia, joita voidaan tuoda malliin, kuten pintamateriaaleja, objekteja, rakennetyyppejä tai oletusasetuksia työkaluille.⁷⁵ Ne mahdollistavat sen, ettei kaikkea tarvitse mallintaa ja määritellä erikseen. Kirjastoja on käytetty mallintamisessa pitkään, mutta tietomallintamisen myötä niiden rooli korostuu, sillä asioiden erikseen mallintaminen ja manuaalinen tietojen määrittelemine vie aikaa verrattuna valmiiden osien hyödyntämiseen. Kirjastojen hyödyntäminen helpottaa suunnitelmien työstämistä ja tukee mallin yhdenmukaisuutta.

Kirjastojen avulla voidaan kerätä yhteen haluttuja kokonaisuuksia ja lisätä niitä projekteihin. Ohjelmistojen omat oletuskirjastot ovat geneerisiä tulkintoja käyttäjien tarvitsemista ominaisuuksista. Lisättävät kirjastot mahdollistavat todellisten tuotteiden tuomisen malliin, jolloin suunnitelmat ovat todenmukaisempia. Tämä tukee tietomallien hyödyntämistä laskentaan ja simulointiin.

Tiedonhallinnallisesti kirjastot mahdollistavat mallien ja suunnitelmien yhdenmukaistamisen. Toimistot voivat luoda omia kirjastojaan tukemaan toimiston omia työskentelytapoja ja tarpeita, jos kokevat, ettei käytetyn ohjelmiston oletusratkaisut toimi heille. Näin tuetaan yhdenmukaista työskentelytapaa ja

75 Eastman, ym. 2011 s. 75

sitä, että tieto jäsenellään samalla tavalla läpi hankkeen, eikä projektista toiseen siirtyessä tarvitse opetella uusia käytäntöjä. Rakennuttajat ovat myös huomanneet mahdollisuuden antaa suunnittelijoille käyttöön valmiita kirjastoja, joista löytyvät sellaiset tuotteet, joita rakennuttaja on sitoutunut käyttämään hankkeissaan⁷⁶.

76 Pruikkonen, 2019

esimerkiksi Rhino, Blender ja SketchUp.

Ohjelmistot ovat työkaluja siinä missä kynä, tussi tai maalit. Mikään työkalu ei ole absoluuttisesti parempi kuin joku toinen, vaan työkalut valitaan halutun lopputuloksen ja osittain oman osaamisen ja tottumusten perusteella. Työkaluja voidaan myös yhdistellä ja hyödyntää niiden eri vahvuuksia. Standardoinnin ansiosta ohjelmistot osaavat tuottaa ja lukea IFC-tiedostoja, jonka vuoksi projektiin voidaan liittää eri ohjelmalla tuotettu IFC malli ja hyödyntää sen sisältämiä tietoja. Esimerkiksi ArchiCad-projektiin voidaan tuoda Rhinolla tehtyjä kappaleita, joita ei ArchiCadin työkaluilla pysty tai ole järkevää mallintaa. Tässä tilanteessa yhdistetään Rhinon geometrianmuodostusmahdollisuudet ja ArchiCadin tiedonhallintatyökalut.

3.3.2

Miten tietoa jaetaan

Rakentaminen on usean eri osa-alueen summa ja useilla eri tahoilla on omat intressinsä hankkeen suhteen. Tiedon jakaminen ja siirtäminen on olennainen osa rakennushankkeen kulkua. Tietomallintaminen tarjoaa tavan kerätä suuren määrän tietoa yhteen paikkaan. Tätä tietoa kuitenkin pitää pystyä siirtämään ja muuntamaan, jotta eri ohjelmat ja tahot kykenevät hyödyntämään tätä tietosisältöä. Tässä osiossa tarkastellaan, mihin muotoon tietoa tallennetaan ja mitä etuja ja haittoja erilaisilla tiedonhallinta järjestelmillä on.

Avoin ja suljettu järjestelmä

Tietomallintamisessa tiedonjakojärjestelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään: avoimeen ja suljettuun järjestelmään. Avoin järjestelmä hyödyntää avoimiin tiedostomuotoihin kääntämistä, joka mahdollistaa eri ohjelmistojen välisen tiedonsiirron. Suljettu järjestelmä pitää projektin saman tuoteperheen sisällä, sallien ohjelmistoperheen natiiviformaatin käytön.

Avoin järjestelmä mahdollistaa lukuisten eri ohjelmistojen hyödyntämisen sisällön tuottamisessa. Kaikki tahot voivat hyödyntää suosimaansa ohjelmaa, kunhan se on kykenevä kääntämään ja hyödyntämään sovittua tiedostomuotoa. Suunnittelija voi myös halutessaan käyttää useampaa ohjelmistoa, jos

kokee yhden valitsemisen liian rajoittavaksi. Avoimen järjestelmän ongelma tulee tarpeessa kääntää malli toiseen tiedostomuotoon. Natiivimalli sisältää suurimman määrän tietoa ja kääntäessä tietoa voi käännyä väärin tai jäädä pois.^{77, 78}

Suljettu järjestelmä perustuu ohjelmiston tai ohjelmistoperheen oman tiedostomuodon hyödyntämiseen. Siinä kaikki käyttävät samaa ohjelmaa tai samaa ohjelmistoperhettä, jolloin tiedostot keskustelevat paremmin keskenään ja vältetään kääntämiseen liittyviltä ongelmilta. Projektia voidaan myös työstää yhdessä mallissa ryhmätyöskentelytilassa, jolloin eri malleja ei tarvitse yhdistää ja suunnittelijoiden välinen yhteistyö on reaaliaikaista. Tämä asettaa korkean vaatimustason valitun ohjelmiston työkaluille, sillä sen tulee pystyä vastaamaan kaikkien osapuolien tarpeisiin.^{79, 80, 81}

Näistä kahdesta avoin järjestelmä on huomattavasti yleisempi, sillä osapuolilla on vapaus käyttää valitsemiaan ohjelmia. Lisäksi markkinoilla ei ole kovin monia suljettuun järjestelmään kykeneviä ohjelmistoja. Avoin järjestelmä myös tukee tietomallintamisen kehitystä, sillä sen avulla uudet toimijat voivat helpommin tarjota omia ratkaisujaan. Tämä mahdollistaa täysien uusien tietomallien hyödyntämistapojen syntyminen ja kehittymisen.

77 Graphisoft
78 Henttinen. 2019
79 Graphisoft
80 Pruikkonen. 2019
81 Ruokamo, 2019

4. Arkkitehti ja tietomallit

Tietomallien yleistyminen rakennusallalla tuovat tietomallit osaksi arkkitehtien päivittäistä työskentelyä. Uusien työkalujen ja työskentelytapojen omaksuminen tukee alan kehityksen mukana pysymistä ja kehitykseen osallistumista.

4.1

Arkkitehti tiedon kokoajana ja esittäjänä

Nykypäivän arkkitehdit työllistyvät lukuisiin erilaisiin tehtäviin ja koko alan historian ajan arkkitehdilla on ollut suuri kirjo osa-alueita, joita heidän tulee osata. Ammatin historiaa tarkastellessa suunnittelutaidon ja luovan työskentelyn ohella nousee esiin kyky esittää suunnitelmat tarkoituksenmukaisella tavalla. Arkkitehdin tehtävänä on toimia tiedon välittäjänä asiakkaan idean ja toteuttajien välillä. Arkkitehti jalostaa asiakkaan toiveet suunnitelmiksi ja esittää tiedon sellaisessa muodossa, josta suunnitelmat voidaan toteuttaa⁸². Prosessiin kuuluu luovaa työskentelyä ja rakentamiseen liittyvien tekijöiden ymmärtämistä ja niiden huomioimista osana suunnittelua, mutta myös esitystapojen ja -metodien tuntemusta ja osaamista.

Tavat esittää rakennussuunnitelmia ovat kehittyneet historian aikana. Antiikin Kreikan ajoilta on löydetty tarkkoja kuvauksia rakennuksista, joiden olemassaoloa voidaan selittää sillä, että teksti oli piirustusten sijaan sen ajan tapa dokumentoida ja kommunikoida suunnitelmat rakentajille⁸³. Piirustukset ja mallit ovat kuitenkin olleet ja yhä ovat päällimmäinen tapa esittää suunnitelmat muille.

Piirustukset voidaan jakaa karkeasti kolmeen tyyppiin: piirustuksia ja kuvia, joiden tarkoituksena on esittää suunnitelmat asiakkaalle tai rakennuttamisesta päättävälle

82 Kostoff, 1977 s. 3
83 Kostoff, 1977 s. 12

tahoille, piirustuksia, jotka ovat suunnittelijan omaa ideoiden ja tiedon jäsentelyä osana suunnitteluprosessia ja piirustuksia, joiden tarkoituksena oli esittää, miten kohde ja sen osat toteutetaan. Asiakkaalle esitettävien piirustusten avain on helppolukuisuus, esteettisyys ja vain olennaisen tietosisällön esittäminen. Asiakkaasta riippuen, tietynlaiset tekniset tiedot ovat tarpeen, mutta perusidealtaan nämä kuvat ovat suunnitelmien myymistä katsojalle. Arkkitehdin oman luovan prosessin piirustukset voivat olla käytännössä mitä vaan, mikä auttaa arkkitehtia itseään jäsentelemään ja tarkastelemaan ideaansa. Ne voivat olla puhtaasti arkkitehdille itselleen tai esittää suurpiirteisesti idean toiselle arkkitehdille tai suunnittelijalle. Kolmas piirustustyyppi, eli tuotantopiirustukset ovat tarkkoja kuvauksia rakennettavasta kohteesta ja sen yksityiskohdista.⁸⁴ Näissä piirustuksissa on olennaista, että tieto välittyy yksiselitteisesti, jotta suunnittelijan ei itse tarvitse olla valvomassa aivan jokaista vaihetta tuotannosta ja suunnitelmat kuitenkin toteutuvat. Näitä kuvia käytetään myös suunnittelijoiden välillä kommunikoimaan ja vertailemaan niiden yhteensopivuutta.

Piirustusten ohella mallit ovat olleet olennainen osa suunnitelmien tutkimista ja esittämistä. Kolmiulotteinen media on luonteva, kun itse suunnittelun kohde on kolmiulotteinen. Malleihin pätee sama jako, kuin piirustuksiin, eli

84 Kostoff, 1977, s. 87, 143

mitä mallilla halutaan esittää. Malleja käytetään osana suunnitteluprosessia kokeilemaan erilaisia ratkaisuja ja havainnollistamaan suunnitelmia paremmin. Malleja käytetään myös rakentamisen dokumenttina. Historiallisesti työmaille on tuotettu tarkkoja malleja rakennettavasta kohteesta, eteenkin silloin, kun arkkitehti itse ei ole paikalla valvomassa työtä, mutta tarkkojen mallien tekeminen oli aikaa vievää ja kallista. Piirustusten nopeus ja edullisuus vähensi mallien hyödyntämistä työmaille.^{85, 86} Tietokoneet ovat tuoneet mallit vahvasti etualalle niin suunnittelun, kuin suunnitelmien esittämisen työkaluna. Tämä on korostunut, kun tietotekniikan kehityksen myötä suurempia tehoja ja suurempia määriä muistia saadaan koko ajan pienempiin laitteisiin. Tämä tuo suurien ja yksityiskohtaisten mallien tarkasteluun vaadittavan prosessointitehon taskuun mahtuvaan laitteeseen.

Visuaalisen viestinnän lisäksi arkkitehdin työhön kuuluu paljon tiedon kirjallista esittämistä selostusten ja taulukoiden muodossa.

Teknologinen kehitys on tuonut arkkitehdille laajemman kirjon asioita hallittavaksi, kun kohteet laajenevat ja monimutkaistuvat, rakennuksiin tulee lisää teknologiaa ja järjestelmiä ja yhteiskunnan tarpeet ovat kehittyneet. Tästä kehityksestä huolimatta arkkitehdin tehtävän peruspiirteet ovat

säilyneet samana. Arkkitehdin tehtävä on edelleen jalostaa asiakkaan toiveet suunnitelmaksi, joka täyttää sen hetkisen ja mahdollisesti tulevaisuuden yhteiskunnan vaatimukset ja viestiä tämä suunnitelma tarkoituksenmukaisesti eri tahoille, jotta suunnitelmat saadaan toteutettua. Tarkoituksenmukaisuus tarkoittaa tässä sitä, että tieto tuotetaan muodossa, jota eri tahot pystyvät hyödyntämään sitä tarpeisiinsa. Tämä korostuu nykypäivä eteenkin tuotannolle ja muille suunnittelijoille suunnatussa aineistossa, jonka kehityssuuntana ovat tällä hetkellä tietomallit. Piirustusten sijaan tuotetaan malleja, joissa on tietoa ja näitä malleja yhdistämällä luodaan rakennuksen digitaalinen prototyyppi.

Tietomallit ovat osa rakennusalan digitalisaatiota ja ajan hengen mukaista kehitystä. Osa arkkitehdin ammatin kehitystä on pysyä ajan hengen mukana suunnitelmien esittämisen keinoissa. Teknologinen kehitys tuo uusia työkaluja käyttöön ja näiden uusien työkalujen omaksuminen parantaa mahdollisuuksia pysyä mukana kehityksessä ja pysyä olennaisena toimijana alalla.

85 Kostof, 1977 s. 109

86 Kostof, 1977 s. 142-145



4.2

Tietomalli arkkitehdin työkaluna

Tietomallipohjainen työskentely

Arkkitehdin työkalut ovat kehittyneet muutamassa vuosikymmenessä käsin piirtämisestä 2D-CADin kautta älykkäisiin kolmiulotteisiin malleihin. Arkkitehdin rooli rakentamisessa on säilynyt pääpiirteisesti samana muutoksesta huolimatta, mutta työskentelytavat ja työarki on muuttunut valtavasti.

Tietomallintamisen omaksuminen muuttaa työskentelyä, sillä kyse on erilaisesta tavasta tuottaa aineistoa. Muutos 2D-CADista tietomalliin on suuri, sillä sen lisäksi, että siirrytään 2D piirtämisestä 3D mallintamiseen, myös tietoa esitetään eri tavalla. Vaikka olisi kokemusta mallintamisesta tietomallia tekevällä ohjelmalla, tietomallintamisen kanssa tulee kiinnittää huomiota asioihin, joihin ei aiemmin tarvinnut. Tietomallien kanssa tulee huomioida paljon asioita, jotka eivät näy tai ole osa valmista rakennusta, kuten objektien nimiin ja erilaisiin luokitteluihin, jotta koneet kykenevät lukemaan mallia oikein. Tuotettavan tiedon määrä kasvaa ja suunnitelmilta vaaditaan enemmän tarkkuutta, kuin ennen. Laajentunut ja noussut vaatimustaso yhdistettynä uusien asioiden opetteluun voi lisätä työmäärää huomattavasti siirtymävaiheessa. Tämä kannattaa huomioida aikatauluja ja budjetointia suunnitellessa. Kyse on kuitenkin investoinnista, joka vaatii alkuun lisävaivaa, mutta tasoittuu ajan ja kokemuksen myötä. Tietomallintamisen omaksuminen kuitenkin on hyödyllistä pitkässä juoksussa,

sillä rakennusala kehittyä tietomallintamisen suuntaan ja tietomallintaminen on useammissa hankkeissa vaatimuksena.

Tietomallintaminen yhdistetään helposti ohjelmiin, kuten ArchiCad ja Revit, jotka luovat tietomallia jatkuvasti. Niiden geometrianmuodostus voi olla kankeaa ja ohjelmistovalmistajien tulkinta arkkitehtien tarvitsemista työkaluista eivät vastaa kaikkien arkkitehtien tarpeita ja mieltymyksiä. Tämän vuoksi tietomallintaminen voidaan mielikuvissa liittää kankeuteen. Tietomalli on kuitenkin vain muoto, jossa rakennushankkeen tietoa varastoidaan ja esitetään. Sen käytettävyys vaatii, että tieto on varastoitu tietyllä tavalla, jotta sitä hyödyntävät koneet ja ihmiset löytävät oikean tiedon. Tietomallien tekemiseen liittyy standardeja ja yhteisiä pelisääntöjä. Tätä kehitystä on kuitenkin tehty avoimesti ja sen ansiosta arkkitehdeilla on käytössään laaja kirjo ohjelmia, jotka ovat yhteensopivia tietomallintamisen kanssa. Tietomallintamisen hyödyntäminen ei sido tiettyihin ohjelmiin tai edes yhteen ohjelmaan, vaan yleisen ja avoimen tiedostomuodon ansiosta yhtä hanketta voidaan tarvittaessa työstää useamman ohjelman avulla. Säännöistään ja standardeistaan huolimatta tietomallintaminen ei rajoita arkkitehtia tietynlaiseen tapaan mallintaa. Olennaista on vain se, että malli sisältää sovitun tietomäärän ja tieto on oikeassa paikassa.

Tietomallintaminen tarjoaa monenlaisia tiedonhallinnan ja automaation mahdollisuuksia. Sen hyödyntämisen tuomat edut korostuvat laajoissa, monimutkaisissa tai vaativissa kohteissa, mutta kaikenlaisia kohteita voi tehdä tietomallintamalla ja hyödyntää sen tuomia mahdollisuuksia. Tietomallien mahdollisuudet eivät myöskään koske ainoastaan rakentamisen suuria linjoja ja osapuolien välistä kommunikaatiota, vaan tietomallipohjaisesta työskentelystä voi tehdä osan omaa päivittäistä työskentelyä. Tarkastusohjelmalla voi hoitaa omaa sisäistä laaduntarkastusta niin mallin, kuin suunnitelmien yhtenäisyyden osalta, milloin vain. Sisäisen tarkastamisen rutiini auttaa ylläpitämään toimivaa mallia. Muiden suunnittelijoiden mallien tuominen omaan malliin ja suunnitelmien vertailu helpottuu, kun voi nähdä suoraan, miten muiden ratkaisut on suunniteltu. Tämä tuo sen edun verrattuna 2D kuviin, että mallin avulla voidaan paremmin hahmottaa, ovatko muiden suunnittelijoiden ratkaisut myös esteettisesti ja toiminnallisesti yhteensopivia arkkitehdin suunnitelmien kanssa.

Oman työskentelyn laadunvalvonnan lisäksi tietomalleilla tehtävät simulaatiot tuovat mahdollisuuksia arkkitehdille tarkastella omia suunnitelmia uusista näkökulmista. Tekemällä simulaatioita mallille, suunnittelija voi vertailla eri ratkaisuiden vaikutuksia simuloitavaan ominaisuuteen ja näiden vaikutusten vertailu voi toimia suunnittelun apuna. Tämänlaisen

työskentelyn edellytyksenä on kuitenkin, että simulaattoreita on saatavilla ja niiden käytettävyyden on tarpeeksi hyvä, että niitä voi hyödyntää myös henkilöt, jotka eivät välttämättä ole erikoistuneita aiheeseen. Tarkoituksena ei ole korvata muita ammattilaisia koneilla, mutta tuoda työkaluja, joilla voi kehittää suunnitelmia myös itsenäisesti ja pienemmässä mittakaavassa. Näistä on hyötyä esimerkiksi tilanteissa, joissa ei koeta tarpeelliseksi palkata erikoissuunnittelijaa ja ratkaisuiden löytäminen on vähemmän aiheesta tuntevien suunnittelijoiden tehtävänä. Simulaatioiden hyödyntämisen tulevaisuus on vahvasti riippuvainen simulaattoreiden kehityksestä. Liian vaikeiden simulaattoreiden käytön oppimiseen ei välttämättä ole aikaa tai resursseja, ellei siitä saatavat hyödyt ole tarpeeksi suuret pitkällä aikavälillä.

Erikoistuminen

Uusien työkalujen myötä tulee myös uusia urakehitysmahdollisuuksia arkkitehdeille. Tietomallintaminen on laaja kokonaisuus ja sen ääreltä löytyy erilaisia erikoistumisaloja.

Yksi tietomallintamisen myötä uusi rooli rakennusalalla on tietomallikoordinaattori. Tietomallikoordinaattorin tehtävänä on toimia hankkeen ajan tietomallintamisen yhdyshenkilönä, vastata eri mallien yhteensovittamiseen, tehdä laadunvarmistusta malleille ja olla apuna suunnittelijoille tietomallintamiseen liittyvissä ongelmissa. Koordinaattorin tehtäviin voi myös kuulua hankkeelle asetettujen tavoitteiden seuranta ja niitä kohti ohjaaminen.^{87, 88} Tietomallikoordinaattorin rooli on kehittynyt tarpeesta ja työnkuva on muotoutunut tekemällä. Tehtävään on tarjolla koulutus, joka tarjoaa ymmärryksen työnkuvasta ja antaa valmiudet toimia tietomallikoordinaattorina, mutta kyseinen koulutus ei ole vaatimus koordinaattorina toimimiseen⁸⁹. Taustaltaan tietomallikoordinaattorit ovat rakennusalan ammattilaisia, joilla on kokemusta projektinhallinnasta rakennushankkeessa. Tietomallikoordinaattoriksi ryhtyminen on arkkitehdille luonteva askel, sillä työssä vaaditaan samankaltaisia ominaisuuksia, kuin pääsuunnittelijalta. Tietomallikoordinaattoripalveluiden tarjoaminen on tietomallihankkeiden yleistyessä myös

liiketoiminnan kannalta edullinen mahdollisuus.

Arkkitehdit voivat myös erikoistua tietomalleihin matalammalla kynnyksellä, kuin tietomallikoordinaattorin roolissa. Työympäristöihin on kannattavaa kerätä eri osa-alueiden osaajia ja yksi tällainen osa-alue on tietomalliosajat. Kaikkien arkkitehtien ei tarvitse tietää kaikkea tietomallintamisesta, mutta toimiston toiminnan kannalta on hyvä, jos työyhteisöstä löytyy henkilö, joka osaa paljon ja voi toimia muiden apuna. Tietomallintamiseen perehtynyt arkkitehti voi auttaa kehittämään toimiston työskentelytapoja tietomallintamisen kannalta toimivammaksi ja auttaa muita nostamaan tietomallintamisosamistasoaan työn ohella.

Tietomallintamisen parissa arkkitehdeille on uramahdollisuuksia myös suunnittelu-toimistotyön ulkopuolella. Tietomallintaminen on jatkuvasti kehittyvä ala ja jotta se kehitty tavalla, joka huomioi myös arkkitehtien näkökulman, tulee kehitystyössä olla mukana arkkitehteja. Kehitystyön piiriin kuuluu muun muassa kouluttaminen ja tiedon lisääminen rakentamisen eri sektoreilla, lainsäädäntöön vaikuttaminen ja yhteisten toimintatapojen kehittäminen.

87 YTV2012 - osa 11

88 Suomen controlteam, 2019

89 Metropolia

4.3

Arkkitehdin koulutus

Suomessa on kolme arkkitehtikoulua, jotka sijaitsevat Aalto-Yliopistossa, Tampereen yliopistossa (entinen Tampereen teknillinen yliopisto) ja Oulun yliopistossa. Opinnot koostuvat kolmen vuoden kandidaatin tutkinnosta ja kahden vuoden maisterintutkinnosta. Opintoihin kuuluu arkkitehdin työskentelyyn liittyvien digitalisten työkalujen kurseja. Jokainen yliopisto on määritellyt ohjelmisto-opetuksen sisällön ja tyylin itse. Digitalisilla työkaluilla tarkoitetaan tässä osiossa kaikkia erilaisia ohjelmistotyyppisiä, joita arkkitehtien koulutuksessa käytetään, kuten tekstin- ja kuvanmuokkauksen, mallintamisen, visualisoinnin ja taiton ohjelmistoja.

Tätä osiota varten on haastateltu digitalisten työkalujen kurssien opetushenkilökuntaa. Tarkoituksena on kartoittaa digitalisten työkalujen opetuksen tila Suomen arkkitehtikouluissa ja miten koulutus huomioi alan työkalujen kehityksen.

Aalto yliopisto

Aalto Yliopiston arkkitehtuurin osaston digitalisten työkalujen opetuksesta vastaa yliopisto-opettaja Luka Piškorec. Piškorec on koulutukseltaan arkkitehti ja työskentelee arkkitehtuurin osastolla rakenteiden suunnittelun laboratorion laboratorion. Hän on aiemmin toiminut arkkitehtina robotiikan ja digitalisen tuotannon parissa. Hän on luonut arkkitehtuurin osaston tämänhetkisen digitalisten työkalujen opetuksen.

Opetuksen sisältö

Pakollisia kursseja on kolme ja ne suoritetaan itseopiskeluna osana kandidaatin tutkintoa.

Ensimmäinen kurssi käsittelee digitalisia esitystapoja. Kurssilla käsitellään Adoben ohjelmistoja, kuten Photoshop, Illustrator ja InDesign ja tutustutaan 2D piirtämiseen Rhinon avulla.

Toinen kurssi keskittyy arkkitehtuurimallintamiseen, jossa tutustutaan Rhinolla mallintamiseen ja digitalisen valmistamisen työkaluihin, kuten 3D mallintamiseen ja laserleikkaukseen.

Kolmas kurssi käsittelee arkkitehtuurivisuaalisointia, jossa opetellaan renderoimaan kuvia mallista ja jatkojalostamaan ne lopullisiksi kuviksi hyödyntäen kuvanmuokkaus- ja taitto-ohjelmia.

ArchiCad ja Revit ovat osa vapaaehtoisia, maisterivaiheen opiskelijoille suunnattuja kursseja. Piškorec kertoo useiden opiskelijoiden käyvän nämä kurssit, koska kyseisiä ohjelmia käytetään toimistoissa.

Kurssit koostuvat Piškorecin kuratoimista opetusvideosoittolistoista ja mahdollisuudesta käydä ohjauttamassa töitä. Tämä mahdollistaa sen, että opiskelijat voivat opiskella omassa tahdissaan ja aina tarvittaessa palata uudestaan eri kohtiin opetusta.

“There’s nothing better than having a lecture that’s filmed, ... because you can go back and revisit what I’ve said.”⁹⁰

Lisäksi opetus ei tällä tavalla vie suurta määrää henkilöstötunteja, eikä tule sitä ongelmaa, että pitäisi löytää tila, jossa kymmenille opiskelijoille on käytössä oma tietokone opetuksen ajaksi. Itseopiskeluun perustuvan kurssirakenteen vuoksi kurssit eivät ole sidottuna suunnittelukursseihin, mutta tavoitteena on löytää kursseille suunnittelukurssi pari.

Aallossa opetetaan myös koodaamista. Piškorecin näkemyksen mukaan arkkitehtien tulisi osata koodata, sillä koodaamisen avulla voidaan tehostaa työskentelyä.

“Once you know how to script, you can use computers ... to their full potential and you are not limited by software anymore.”⁹¹

90 Piškorec, 2019
91 Piškorec, 2019

Opetuksen tavoitteet

“We are trying to teach the students very powerful, but very general tools. So instead of using ArchiCad, we are trying to push for more general modeling tools, for example Rhino.”⁹²

Piškorec pitää yleisempiä mallinnusohjelmia hyvänä vaihtoehtona, erityisesti opintojen alkuvaiheessa, sillä ohjelma ei ohjaa ajattelemaan suunnitelmia tietyllä tavalla. Hän kuvailee mallinnusohjelmien toimivan hyvin samoilla periaatteilla, jolloin kun osaa yhden, oppii muutkin nopeasti, jonka vuoksi opetuksen ei ole järkevää keskittyä liikaa yksittäisiin ohjelmiin.

Piškorec kokee, ettei työkalujen ja taitojen opetus ole onnistunut tällä hetkellä. Hän kuvailee Aallon opetuskuilttuuria taidekoulumaiseksi, jossa opetus tapahtuu harjoitustöiden kautta ja taitojen ja työkalujen yleisempi opetus jää vähäiseksi.

“Long story short, the students are not required to learn many skills here. Everything is about learning through design. Unfortunately, because of that, their skill level is a bit lower than it should be.”⁹³

92 Piškorec, 2019
93 Piškorec, 2019

Tietomallit opetuksessa

“No, it’s not really discussed.”⁹⁴ Piškorec vastaa, kun kysytään, käsitelläänkö tietomallintamista osana opetusta.

“Our discussions are on two levels and none of them include BIM. The first level is this representation skills. So the discussion is how we teach the students digital representation skills. So this again, does not really involve BIM. And the second discussion we have, and that’s what I’m personally interested in, is how to talk about computational design in the context of architecture in a very broad sense. This includes BIM, but it’s not only limited to BIM.”⁹⁵

“I think BIM is a very specific term and it should be addressed, but it should be viewed as a part of a much, much broader understanding. We can’t really focus on BIM. ... I would like my students to have a very broad understanding what it means to work in the computational realm of architecture. This includes BIM, but it’s not only BIM.”⁹⁶

94 Piškorec, 2019
95 Piškorec, 2019
96 Piškorec, 2019

Tampereen yliopisto

Tampereen yliopiston arkkitehtuurin osaston digitalisten työkalujen opetuksesta vastaa yliopisto-opettaja Martti Lamppu yhdessä kahden muun tuntiopettajan kanssa. Lamppu on koulutukseltaan arkkitehti. Hän on osallistunut osaston digitalisten työkalujen opetukseen omista opintoajoistaan asti. Opetustyön ohella Lamppu pitää omaa arkkitehtitoimistoaan ja on työskennellyt tietomallien parissa työelämänsäkin puolella.

Opetuksen sisältö

Lamppu kertoo Tampereen digitalisten työkalujen opetuksen olevan muutostyön alla tällä hetkellä. Aiemmin opetus on järjestetty perinteisinä luentoina ja ohjauksina.

Ensimmäisenä vuonna esitellään mallintamisen, visualisoinnin ja esittämisen perustyökaluja, kuten SketchUp, Adobe Photoshop, Microsoft PowerPoint ja käydään läpi yleispäteviä tietotekniikan taitoja. Tarkoituksena on tarjota työkaluja kurssien suorittamiseen ja tasata opiskelijoiden lähtötasoeroja. Kurssi on sidottu nykyarkkitehtuurin suunnittelukurssiin.

Toisena vuonna on ArchiCad kurssi, joka on integroituna arkkitehdin ammattikurssiin.

Kolmantena vuonna on Revit kurssi. Kurssia ei ole yhdistettynä mihinkään suunnittelukurssiin, sillä sille ei ole löytynyt luontevaa paria.

Näiden lisäksi tarjotaan visualisoinnin kursseja, joissa ohjelmina ovat muun muassa 3ds Max ja Photoshop ja vapaamuotoisen mallintamisen kurssia, nimeltään Freeform Modeling, jossa ohjelmana on Rhino ja hyödynnetään muun muassa 3D tulostamista ja fyysisen mallin skannaamista digitaliseksi malliksi.

Uudessa opetusmallissa aiemmat kurssit jaetaan pienempiin moduuleihin. Luennot toteutetaan verkkoluentoina ja niiden rinnalle kuratoidaan kolmansien osapuolien tuottamia

Opetuksen tavoitteet

Tavoitteena on tarjota opiskelijoille työkaluja tukemaan opintojen etenemistä.

”Tällä kurssilla, mikä on arkkitehtuurimedian perusteet, pyrittiin nostamaan ja myös tasaamaan sitä eroa [taidoissa] ja niitä valmiuksia. ... Se on semmonen niiku monipuolinen käsikassaroitten* ojentaminen ykköskurssilaisten käteen opiskelua varten, mutta ihan ammattiakin varten.”⁹⁸

Moduulipohjainen opetus pyrkii kokoamaan opetuksen kokonaisuuksiksi, jotka voidaan liittää suunnittelukurssien sisältöihin. Lamppu haluaa myös tarjota opiskelijoille mielekästä sisältöä.

”Ehkä suurin tavoite on näissä moduuleissa se, että opiskelijalle annetaan aika vapaat kädet. Niitä pitää suorittaa 10 opintopistettä pakollisena, mutta ne saa ite valita, että mitä. ... Ihmiset miettii itse omia osaamistavoitteitaan ja sitä, miten niihin päästään. Mitä jo osataan kenties, niin semmosia moduuleja voi sitten jättää pois. Että kukin kasais kunnianhimoisesti semmosen 10 opintopisteen kokonaisuuden, plus ne ihan varmasti tekee sen lisäksi myös muutakin, joka tosiaan palvelee heidän osaamistavoitteitaan.”⁹⁹

Lamppu uskoo tavoitteen toteutuvan, sillä hän kokee arkkitehtiopiskelijoiden asettavan

* käsikassara: ”apulainen toimii kuin työvälineenä”⁹⁰

97 Hänninen, 2015
98 Lamppu, 2019
99 Lamppu, 2019

osaamistavoitteensa korkealle, sen sijaan että ”menis sieltä mistä aita on matalin ja keräis vaan ne pointsit sieltä äkkiä kasaan.”¹⁰⁰

Opetus pyrkii myös antamaan laajempaa ymmärrystä digitalisten työkalujen toiminnasta. ”Aina siinä opetuksen rivien välissä korostetaan sitä, että nää jutut sopii oikeastaan kaikkiin arkkitehtien käyttämiin cad-ohjelmiin. Tietyt asiat on olennaisia ja tärkeitä.”¹⁰¹

Hän kokee tärkeäksi, että työkaluja osataan käyttää oikein ”ja ymmärretään, miksi tehdään oikein.”¹⁰²

100 Lamppu, 2019
101 Lamppu, 2019
102 Lamppu, 2019

Tietomallit opetuksessa

”Siitä [tietomallintamisesta] puhutaan jo ykkösille siinä arkkitehtuurimedian perusteissakin hiukan ja sitten ArchiCad-kurssilla ja sitten Revit-kurssilla.”¹⁰³

Opetus ei kuitenkaan keskity tietomalleihin. ”Koska [ArchiCad-kurssi] on kakkosille, ymmärrät varmaan, että tietomallipohjanen suunnittelu ei kiinnosta vielä.”¹⁰⁴

Lamppu kuitenkin kertoo pitävänsä tietomallintamisen periaatteet mukana opetuksessa.

”Mä oon opettanu sitä ikään, kuin me tehtäs pientä tietomallia.”¹⁰⁵

”Me haluttas, että se tietomallintamisen kokonaisuus ymmärrettäs arkkitehdin työkaluna, mutta myös tietenkkin sen kytkeytyminen siihen koko, niiku tämmöseen rakennuksen elinkaariajatteluun, että se lähtee sieltä arkkitehdin ensimmäisestä luonnoksesta tai esisuunnittelusta ja jatkuu sen rakennuksen purkamiseen ja ehkä katse siitä jo eteenpäinkin.”¹⁰⁶

”Eniten työtä vaatii opiskelijalta ja opettajalta se, miten arkkitehti sitten tätä työkalua käyttää. Että mitkä on ne tietomallivaatimukset ja miks ne on hyvät, että ei ne oo kiusantekoa, ja mikä on niiden merkitys ja mitä niillä saavutetaan.”¹⁰⁷

103 Lamppu, 2019
104 Lamppu, 2019
105 Lamppu, 2019
106 Lamppu, 2019
107 Lamppu, 2019

Lamppu kertoo saaneensa työelämän suunnalta palautetta, jonka mukaan opiskelijoilta kaivataan parempaa tietomalliosaamista. Hän itsekin kokee, että ”tietomallipohjaisen suunnittelun opetus ei ole meillä sillä tasolla, kuin sen pitäisi olla.”¹⁰⁸

”Mä luulen, että se opitaan aika pitkälle töissä ja silloinhan se on onnesta kiinni, minkälaiseen toimistoon on pääsy.”¹⁰⁹

Uuden moduulipohjaisen opetuksen kokoaminen on vielä haastattelun aikana kesken ja keskeisempänä tavoitteena on saada vanhat, pakolliset kurssit muunnettua moduuleiksi. Lamppu kertoo BIM-moduulin olevan näiden jälkeen tehtävälistan kärjessä.¹¹⁰

Tietomallintamisen Lamppu kokee olennaiseksi osaksi arkkitehdin työtä.

”Se on parasta, mitä tälle alalle on tapahtunut, niiku tossa, sanotaan viime vuosikymmenien aikana.”¹¹¹

”Tietomallipohjan suunnittelu ja sitten siihen liittyvät menettelytavat ja työkalut, elikkä CAAD [tietokoneavusteinen arkkitehtuurisuunnittelu] ylipäänsä, sen kokonaisuuden ymmärtäminen ja hallitseminen taas antaa mahtavan teknisen ympäristön tajuta sitä, mitä se arkkitehdin rooli siinä kokonaisuudessa on.”¹¹²

108 Lamppu, 2019
109 Lamppu, 2019
110 Lamppu, 2019
111 Lamppu, 2019
112 Lamppu, 2019

Oulun yliopisto

Oulun yliopiston arkkitehtuurin osaston digitalisten työkalujen opetuksesta vastaa tuntiopettaja Asko Leinonen yhdessä kahden muun tuntiopettajan kanssa. Leinonen on koulutukseltaan arkkitehti ja tekee opetustyön ohella toimistotyötä. Hän opettaa peruskursseja ja Revit-perusteita.

Opetuksen sisältö

Kurssit toteutetaan lähiopetuksena ja ne kestävät koko lukuvuoden ajan.

Ensimmäisen vuoden aikana tutustutaan mallintamiseen SketchUp:in ja piirtämiseen AutoCadin avulla ja opetellaan visualisoinnin ja taiton työkaluja, kuten Adobe Photoshopia ja Adobe InDesignia.

Toisena vuonna vuosikurssi jaetaan kahtia. Syksyn aikana puolet käyvät ArchiCad-kurssin ja puolet Revit kurssin. Opetus on sidottuna rakennusopin perusteet -kurssiin. Keväällä ryhmät vaihtavat ohjelmia keskenään ja opetus on yhdistettynä puurunkoisen pientalon korjaus -kurssiin.

Kolmantena vuonna on vapaaehtoisia syventäviä kursseja ArchiCadista ja Revitistä.

Rhinon tai vapaamuotoisen arkkitehtuurin kursseja ei tällä hetkellä ole. Leinonen kertoo syynä tähän olevan ongelmat löytää opettajia kursseille, tilojen puute ja taloudelliset resurssit.

”Se on aina silloin myös sekini, ei pelkkä taloudellinen tilanne, mutta jos meillä on täällä paljon niitä opetusaineita, se on sitten nämä koneet varattu aina päivisin muuhun käyttöön ja oppilaitten pitäs pystyä käyttämään näitä harjotustöiden tekemiseen. Pitää löytää semmonen sopiva määrä sitä opetusta.”¹¹³

113 Leinonen, 2019

Opetuksen tavoitteet

”Lähtökohta meillä on se, että opiskelijat voisi sujuvasti tehdä harjoitustyönsä tämän opiskelun aikana ja siinä sivutuotteena tulee ammatilliset taidot ja pystyy toimistoihin menemään ja siellä oppimaan lisää.”¹¹⁴

Leinonen mieltää opettajien olevan ohjaajia, joiden tavoitteena on auttaa opiskelijoita suoriutumaan harjoitustöistään nopeasti. ”Että oppilas tuntis sen ohjelman, niillä resursseilla, mitä me pystytään opettaan, niin hyvin ja oppis sen niin hyvin, että kynnyksiä ei syntys sinne varsinaisten muitten laboratorioden harjoitustöiden tekemiseen.”¹¹⁵

Leinonen kertoo opiskelijoiden ilmaisseen halua keskittyä opintojen alussa perustaitojen oppimiseen ja olla keskittymättä liikaa työelämän asioihin.

”Mitä nopeemmin [opiskelijat] oppii ne yksinkertaset työkalut käyttöön, se nopeuttaa sitä heidän kynnyksen ylittämistä siihen hyvään, joustavaan ohjelmankäyttöön.”¹¹⁶

Tietomallit opetuksessa

”Kyllä me kerrotaan. Se kuuluu näiden ArchiCadin ja Revitin luonteeseen se tietomallintaminen. Se kerrotaan ihan alusta lähtien, mitä tietomallintaminen on, koska ne ohjelmathan ei toimi muuten, kuin tietomallintamisen kautta. Mutta mitä se käytännön yhteistyö sitten tietomallilla on, mitä on IFC-objektin tekeminen tai miten niitten hyödyntäminen, miten rakennesuunnittelijan IFC-malli tuodaan meille. Sitä ei kannata lähtä vielä kertomaan yksityiskohtasesti. Pitää vaan kertoa sillai yleisesellä tasolla, että oppilaalla on se käsitys, että okei, me tehdään tällä ohjelmalla koulussa, mutta tällä samalla ohjelmalla me pystytään sitten tekemään työelämässä laajempialaisia suunnitelmia muitten suunnittelijoiden kanssa.”¹¹⁷

Leinonen ei halua mennä opetuksessa liian syvälle tietomallintamiseen, sillä hän kokee, ettei se palvele opetuksen tavoitteita.

”Ei pidä kakkosvuosikurssilaisille puhua liikaa tietomallintamisesta, kun he eivät osaa sitä ohjelmaa vielä.”¹¹⁸

”Ohjelma ensin ja sitten tietomalli mukaan. Ja sitä tietomallia tietysti voi siinä kulettaa mukana ja kertoa siitä tietomallintamisesta ja miten tää työelämässä etenee.”¹¹⁹

Hän kuitenkin näkee mahdollisuuden tuoda syvällisempää tietomalliopetusta maisterivaiheen opintoihin. Esimerkkikurssiksi hän nostaa neljännen vuoden Suuret rakenteet -kurssin.

”[Tietomallintaminen] vois olla siellä, niiku tämmönen laajempialainen, kun siellä ei oo pelkästään arkkitehteja, siellä on myös rakennesuunnittelua mukana. Sitä vois sitä yhteistyötä jo harjotella sillälaila semmosissa paremmin. Koska tietomallintaminen itteasiassa, se on enemmän niiku mikään muu, sitä yhteispeliä muitten suunnittelijoiden ja rakennuttajan välillä.”¹²⁰

”Pitää myös miettiä sitä, että onko arkkitehtiosaston tehtävä valmistaa ihmisiä tämmösiin ammatillisiin valmiuksiin, toimistoihin, vai onks se sitten enemmänkin ammattikorkeakoulun tehtävä.”¹²¹

114 Leinonen, 2019
115 Leinonen, 2019
116 Leinonen, 2019

117 Leinonen, 2019
118 Leinonen, 2019
119 Leinonen, 2019

120 Leinonen, 2019
121 Leinonen, 2019

Rakennusarkkitehtien koulutus

Vertailun vuoksi on aiheellista tarkastella rakennusarkkitehtien koulutuksen suhtautumista tietomallintamiseen. Kyse on alemman korkeakoulututkinnosta, joka antaa ammatilliset valmiudet toimia rakennussuunnittelijana ja laissa määritellyn pätevyyden vaatimaan suunnittelutyöhön. Opinnot kestävät 4 vuotta.¹²² Rakennusarkkitehtien koulutus aloitettiin uudestaan vuonna 2015, Valtioneuvoston annettua opetusluvan neljälle ammattikorkeakoululle.^{123124 125126}

Ammattikorkeakoulussa opetus on yliopistoon verrattuna työelämäläheisempää, sillä tavoitteena on valmistaa ammattiin. Rakennusarkkitehtien nykymuotoinen koulutus on vasta muutaman vuoden vanha ja opintosuunnitelma on luotu kokonaan uudestaan. Tämä on mahdollistanut työelämän tarpeiden tarkastelun ja opetussuunnitelman rakentamisen niiden ympärille.

Metropolia

Metropolian rakennusarkkitehdin opinnot kertovat tietotekniikan ja tietomallintamisen kuuluvan olennaiseksi osaksi perusopintoja. Digitalisten työkalujen opetus käydään erillisinä kursseina.¹²⁷

Ensimmäisenä vuonna käytävällä tietotekniikka 1 kurssilla käydään läpi digitalisten työkalujen perusteita. Kurssilla käytäviä ohjelmistoja ovat Autocad ja ArchiCad. Tavoitteena on opetella tuottamaan rakennuspiirustuksia ohjelmia hyödyntäen.¹²⁸

Toisen vuoden tietotekniikka 2 kurssilla tutustutaan tietomallintamisen perusteisiin. Kurssilla tutustutaan tietomallintamiseen, yleisiin tietomallivaatimuksiin ja opetellaan tekemään rakennuspiirustuksia ja määräluetteloita mallista. Muiden kurssien tiedoissa ei ole mainintaa harjoitustöiden toteutustavoista tai palautettavan aineiston vaatimuksista.¹²⁹

Oulun ammattikorkeakoulu

Oulun ammattikorkeakoulussa rakennusarkkitehtien opintojen yhdeksi keskeiseksi oppimistavoitteeksi asetetaan tietomallintamisen osaaminen. Digitalisten työkalujen opetus on sisällytetty suunnittelukurssien opetukseen ja oppimistavoitteissa on eritelty kurssien tietotekniset taidot. Opetussuunnitelma ei erittele käytettyjä ohjelmistoja.¹³⁰

Ensimmäisen vuoden opinnoissa tutustutaan digitalisen suunnittelun työkaluihin ja opetellaan mallintamista, 2D rakennuspiirustusten tekemistä ja visualisointia.¹³¹

Toisen vuoden aikana opetetaan tietomallintamista. Kurssilla suunnittelutyö toteutetaan tietomallina. Teoriasisältönä tutustutaan yleisiin tietomallivaatimuksiin ja tietomallien tarkkuustasoihin. Kevään harjoitustyössä tietomalliin sisällytetään energiasimulointiin vaadittavat tiedot.¹³²

Kolmannen vuoden opinnoissa opetellaan käyttämään tietomallia, muun muassa energiasimulointiin.¹³³

Neljännän vuoden korjausrakentamisen opinnoissa tutustutaan tietomallien hyödyntämiseen osana korjaussuunnittelua.¹³⁴

Vapaaehtoisista opinnoista löytyy kurssi valmistaloista. Kurssilla tutustutaan valmistalovalmistajien omiin suunnitteluohjelmistoihin.¹³⁵

122 Opintopolku
123 Valtioneuvosto, 2014
124 Valtioneuvosto, 2014
125 Valtioneuvosto, 2014
126 Valtioneuvosto, 2014

127 Metropolia
128 Metropolia
129 Metropolia

130 OAMK
131 OAMK
132 OAMK
133 OAMK
134 OAMK

135 OAMK

Savonia

Savonian rakennusarkkitehtipintojen oppimistavoitteisiin kuuluu yleisten tietomallivaatimusten mukaisen tietomallintamisen osaaminen, tietomallintamisen hyödyntäminen osanasuunnittelutyötä ja tietomallikoordinoinnin osaaminen. Digitalisten työkalujen opinnot käydään erillisinä kursseina ensimmäisen vuoden aikana.¹³⁶

Ensimmäisenä vuonna syksyn opinnoissa tutustutaan digitalisiin työkaluihin ja arkkitehtuuripiirtämiseen ja -mallintamiseen. Kurssilla käydään läpi tietomallipohjaista mallintamista. Kevään opinnoissa tutustutaan tietomallintamiseen syvemmin. Kurssilla käydään läpi yleiset tietomallivaatimukset ja tietomallin tietosisältöä. Kurssi toteutetaan yhdessä Rakennusalan projekti 1 kanssa.¹³⁷

Tietomallintamista vaaditaan muilla suunnittelukursseilla. Kolmannen vuoden Arkkitehtuuri 3 kurssilla tietomallin tulee tietosisällöltään ja laadultaan olla muiden suunnittelijoiden käytettävissä. Energiatehokkaan rakennussuunnittelun kurssilla tutustutaan rakennuslupa-vaadittavien energialaskelmien tuottamiseen tietomallin ja laskentaohjelman avulla. Pääsuunnittelija ja projektinhallinta kurssilla käydään läpi tietomallipohjaisen projektin hallintaan liittyviä taitoja ja järjestelyitä toimistoympäristössä.¹³⁸

Vapaaehtoisissa opinnoissa on tarjolla syventäviä tietomallinuskursseja, joissa käydään läpi Revitin ja Formitin¹³⁹

139 Savonia

136 Savonia
137 Savonia
138 Savonia

Tampereen ammattikorkeakoulu

Tampereen ammattikorkeakoulun rakennusarkkitehtipintojen keskeisinä työkaluina ovat projektimuotoinen työskentely ja tietomallintaminen. Digitalisten työkalujen opetus on järjestetty siten, että perusteet käydään omalla erillisellä kurssillaan ja joillakin suunnittelukursseilla on määrätty ohjelma, jota käytetään osana harjoitustöitä.¹⁴⁰

Ensimmäisen vuoden Tietotekniikan perusteet rakennussuunnittelijalle kurssilla käydään läpi digitalisten työkalujen perusteita. Opetettavina ohjelmina ovat Autocad ja Revit. Kurssilla tutustutaan myös pistepilviin ja tietomallintamisen perusteisiin.¹⁴¹

Tietomallintamista ei mainita osana suunnittelukurssien kurssisisältöjä, mutta joidenkin kurssien kuvauksessa on maininta, että kurssilla käytetään ArchiCadia. Yleisemmässä opetustavoitteiden kuvauksessa kerrotaan, että 3. vuosikurssin jälkeen opiskelija "tuntee rakennusten teknisten järjestelmien ja BIM-mallinnuksen perusteet sekä suunnitelmien yhteensovittamisen periaatteet."¹⁴²

140 TAMK
141 TAMK
142 TAMK



5
JOHTOPÄÄTÖKSET

Tietomallintaminen muuttaa rakennusala

Rakennusalan digitalisaatio on kovassa vauhdissa maailmanlaajuisesti. Tietomallien tuottamiseen liittyvät käytännöt ja mallien käyttötarkoitukset hakevat vielä itseään, mutta rakennusallalla on useita syitä haluta kehittää tietomallintamista. Sen tarjoamat mahdollisuudet ovat taloudellisesti, teknisesti ja arkkitehtonisesti houkuttavia.

Merkittävimpänä ajurina tietomallintamisen hyödyntämiseen on sen taloudelliset vaikutukset. Tietomallintamisen laajalla hyödyntämisellä on potentiaalia tuoda EU-alueella jopa 15-25% säästöt rakentamiseen vuoteen 2025 mennessä¹⁴³. Säästöt tulevat muun muassa parannetusta taloudenseurannasta, tarkemmasta suunnittelusta ja suunnitelmien koneellisesta tarkastamisesta, jonka ansiosta inhimillisten virheiden ja työmaalla tulevien yllätysten määrä vähenee ja mahdollisuudesta optimoida esimerkiksi materiaalikuluja. Luottamus tietomallien mahdollisuuksiin ja niiden toteutumiseen on niin vahva, että valtiot ja suuret toimijat tekevät periaatepäätöksiä tietomallintamisen hyödyntämisestä hankkeissaan.

Toinen merkittävä ajuri on rakentamisen laadun parantaminen. Tietomallipohjainen rakennushanke tuottaa lähtökohtaisesti tarkempia suunnitelmia, kuin 2D-piirustuksia hyödyntävä, sillä kolmiulotteinen malli esittää

koko rakennuksen. Tietoa jää täten vähemmän esitettyjen suunnitelmien ulkopuolelle. Tietomalli on lisäksi tietyllä tavalla rakennettu malli, jonka ansiosta mallia voidaan lukea koneellisesti. Tämä avaa mahdollisuuksia tehdä analyyseja, kuten tarkastuksia, simulaatioita ja optimointeja. Näiden eri prosessien avulla pystytään kehittämään suunnitelmia sellaisiksi, että ne parantavat rakennuksen ja rakennushankkeen laatua.

Suunnitelmien koneellinen tarkastaminen auttaa löytämään suunnitelmissa olevia ongelmia tai epäjatkuvuuskohtia. Tietokone on ihmistä nopeampi ja tarkempi, jolloin inhimillisen virheen ja käytetyn ajan määrä vähenee. Tietokone ei välttämättä pysty tarkastamaan kaikkea, mutta niiltä osin mitä se pystyy, se on tehokkaampi, kuin ihminen. Ongelmakohtien korjaaminen suunnitteluvaiheessa on huomattavasti edullisempaa, kuin työmaalla ja ongelmaan voidaan suunnitella tarkoituksenmukainen ratkaisu.

Simulaatiot ja optimoinnit auttavat kehittämään suunnitelmia haluttuihin suuntiin. Niiden avulla voidaan parantaa rakennuksen turvallisuutta, teknistä toimivuutta, optimoida materiaalikulutusta tai parantaa rakennuksen ympäristöystävällisyyttä sen koko elinkaaren ajalta. Tietomallien ansiosta näitä analyyseja voidaan tehdä hyvin tarkoilla tiedoilla ja koska analyysia varten ei tarvitse aina rakentaa uutta

mallia, analyyseja voidaan tehdä useampia suunnittelun aikana ja vertailla ei ratkaisujen vaikutuksia.

Tietomallit mullistavat myös itse rakentamista ja tuotantoa. Tuotantoprosessit voivat käyttää tietomallien sisältämää tietoa osien valmistamiseen. Tämä tarkoittaa, että voidaan valmistaa yksilöllisiä osia etukäteen tuotantolaitoksessa sarjatuotannon kustannuksilla. Etukäteen kontrolloidussa ympäristössä valmistaminen on myös edullisempaa ja tasalaatuisempaa, kuin työmaalla käsityönä tekeminen. Tämä tarkoittaa, että työmaa muuttuu kokoamispainotteisemmaksi kuin ennen.

Tietomallien hyödyt ja mahdollisuudet eivät rajoitu vain suunnittelun ja toteutuksen ajalle, vaan niistä on hyötyä myös käytön aikana. Jos rakennuksen luovutuksen yhteydessä luovutetaan myös toteumamalli, mallia voidaan käyttää myös erilaisiin kiinteistöhallinnan tehtäviin. Tietomalli sisältää tilatietoja, joita voidaan käyttää tilojen omistus- ja käyttösuhteiden seurantaan. Mallissa voi olla myös hyvinkin tarkkoja tuotetietoja, joista on hyötyä rakennuksen ylläpidon kannalta. Malliin voidaan päivittää myös huoltotoimenpiteitä, jolloin malli toimii huoltokirjana. Koska malli luovutetaan IFC muodossa, sitä pystyy hyödyntämään kaikki IFC-tiedostomuotoa lukevat ohjelmat. Tämä on hyödyllinen

ominaisuus, kun rakennukselle tehdään korjaus- tai muutostöitä, sillä suunnittelijoiden ohjelmat todennäköisesti pystyvät hyödyntämään mallin sisältämää tietoa, ilman, että sitä tarvitsee mallintaa uudestaan.

Prosessina tietomallintaminen sopii luontevasti yhteen valmiiden toimintamallien kehittämisen kanssa, sillä tietomallintamiseen käytetyt ohjelmat hyödyntävät aloituspohjia ja kirjastoja. Toimintamallien kehittämisestä on hyötyä, sillä ne auttavat suunnittelijoita keskittymään suunnittelutyöhön ohjelmien käyttöön liittyvien asioiden ratkomisen sijaan. Toimintamallien kehittämisessä on olemassa riskinsä, jossa liian pitkälle säännellyt toimintamallit rajoittavat suunnittelijoiden työtä liikaa ja lopputulos kärsii sen vuoksi. Tällaisen kehityksen estämiseksi arkkitehtien kannattaa osallistua tietomallintamisen prosessien kehitystyöhön, jotta arkkitehtuurin ja suunnittelijoiden näkökulma huomioidaan. Lisäksi suunnittelijoiden liian ahtaalle pistäminen ei ole kannattavaa liiketoimintaa pitkässä juoksussa.

Tietomallien tuomat uudet prosessit synnyttävät rakennus- ja kiinteistöalalle uusia toimijoita ja liiketoimintamalleja. Ne kasvattavat tarvetta ammattilaisille, jotka osaavat työskennellä tietomallien parissa, joko luomassa niistä tai käyttämässä niiden sisältämiä tietoja.

143 EU-BIM Taskgroup

Arkkitehdin uudet työkalut

Rakennusalan kehityksen vaikutukset näkyvät arkkitehdin työssä. Ala ottaa käyttöönsä uusia työkaluja ja arkkitehtien työskentelyn tulee olla yhteensopivia näiden työkalujen kanssa, jotta he pysyvät kilpailukykyisinä toimijoina. Kuten luvussa 4.1 määriteltiin, arkkitehdin keskeinen tehtävä on jalostaa asiakkaan idea suunnitelmiksi ja jakaa tämä tieto tarkoituksenmukaisella tavalla eri osapuolille. Nykyisen kehityksen perusteella uusi tarkoituksenmukainen tapa on tietomallintaminen.

Arkkitehdin työnkuvalle tämä tarkoittaa työkalujen ja työskentelytapojen muutosta. Muutos tietomallipohjaiseen työskentelyyn on suurempi, kuin aikanaan paperilta 2D CAD-piirtämiseen siirtyminen oli, sillä siirrytään 2D-piirustuksista 3D-malleihin. Siirtymä tulee olemaan helpompi heille, jotka ovat työskennelleet tietomalliohjelmien, kuten ArchiCadin ja Revitin parissa, kuin 2D-CAD ohjelmia käyttäville.

Tietomallintamisen omaksuminen, kuten mikä tahansa muutos, tulee etenemään vaiheittain. Osa toimijoista on jo maksanut tietomallintamisen ja ovat mukana muokkaamassa sen käytäntöjä. Osa tulee omaksumaan sen, kun se tulee vastaan tehtävänäannoissa. Osa tulee vastustamaan muutosta mahdollisimman pitkään.

Kehitys vie aikaa, eikä muutos tapahdu yhdessä yössä. Tietomallintaminen yleistyy jatkuvasti ja kysyntä arkkitehtien tietomalliosaamiselle kasvaa, mutta se ei tarkoita, että tietomallintaminen olisi pakollista. Vaikka useammissa hankkeissa vaaditaan tietomallintamista, tulee rakentamisessa edelleen olemaan hankkeita, joissa sitä ei vaadita. Näiden hankkeiden osuus rakentamisesta tulee laskemaan, mutta ne eivät katoa heti. Tämä tarkoittaa, että arkkitehdeille, jotka eivät omaksu tietomallintamista, on mahdollista työllistyä vielä tulevaisuudessakin, mutta he tulevat rajaamaan itsensä pois tietynlaisista hankkeista ja heidän osuutensa markkinoista kapenevat. Ammattikuntana arkkitehdit tarvitsevat tietomallintamisosaajia. Koko rakennusalaan vaikuttavan uuden työskentelymallin kehitystä ei kannata jättää muiden osapuolien käsiin, sillä muuten arkkitehtien näkökulma jää kehityksen ulkopuolelle.

Tietomallinnusosaamisen kysyntä kasvaa ja erikoisosaamiselle on tarvetta, mutta kaikkien arkkitehtien ei tarvitse tietää kaikkea tietomallintamisesta. Arkkitehtien työnkuva ammattikuntana on niin laaja, että se olisi resurssien hukkaamista odottaa kaikilta syvällistä osaamista yhdestä asiasta. Tietomallintamisen syvälinen osaaminen on erikoistumista siinä, missä mikä tahansa muu arkkitehtien erikoistuminen. Yksittäisen

arkkitehdin ei ole pakko erikoistua mihinkään, mutta ammattikunnan kannalta on hyödyllistä, että on arkkitehteja, jotka erikoistuvat tietomallintamiseen. Tietomallintaminen itsessään on niin laaja käsite, että sen sisällä on monia eri erikoistumismahdollisuuksia mallien rakentamisesta niiden käyttöön.

Tietomallipohjaisissa hankkeissa arkkitehdin työmäärä tulee hetkellisesti kasvamaan, sillä siirtymävaiheessa täysin tietomallipohjaiseen rakennushankkeeseen, tulee arkkitehtien tuottaa tietomallia ja 2D-piirustuksia. Tämä johtuu siitä, että kaikki toiminnot eivät siirry tietomallipohjaisiksi samaan aikaan ja 2D-dokumenteille on yhä kysyntää. Kasvaneesta työmäärästä ja uudesta palvelusta kannattaa laskuttaa.

Uusien työkalujen ja prosessien omaksuminen ei kuitenkaan muuta arkkitehdin roolia suunnittelijana. Tietomallien avulla voidaan hyödyntää eri työkaluja, joiden tarkoitus on tukea suunnittelutyötä, mutta suunnitteluvastuu on edelleen suunnittelijalla, eikä tietokoneella.

Arkkitehdin kehittyvä koulutus

Jokaisella Suomen arkkitehtikoululla on omat periaatteensa sen suhteen, minkälaisia taitoja he haluavat tarjota opiskelijoilleen ja miten näiden taitojen opetus sisällytetään opintoihin. Digitalisten työkalujen opetuksen osalta arkkitehtikoulujen välillä löytyy erilaisia tulkintoja tarvittavista taidoista ja siitä, miten niitä tulisi opettaa.

Yhdistävänä tekijänä kaikki kolme koulua haluavat tarjota opiskelijoilleen joukon perustaitoja arkkitehtien käyttämistä työkaluista liittyen mallintamiseen ja visualisointiin ja näin tukea heidän opintojaan. Mallintamisen periaatteisiin tutustutaan geneerisemmällä mallinnusohjelmilla, kuten SketchUpilla ja Rhinolla. Opiskelijat pääsevät tutustumaan mallintamisen maailmaan ja käyttämään mallintamista omien harjoitustöidensä tukena heti opintojen alusta alkaen.

Perusteiden jälkeen Aallon opetussisältö ja tavoitteet poikkeavat Tampereesta ja Oulusta. Aallon tavoitteena on tarjota työkaluja, jotka rajoittavat mahdollisimman vähän opiskelijoiden kehitystä suunnittelijoina. Tätä tukemassa on koodaamisen opettaminen, jonka avulla digitalisista työkaluista ja ylipäättänsä tietokoneista saadaan mahdollisimman paljon irti. Aallon suhtautuminen digitalisiin työkaluihin kannustaa tarkastelemaan, mitä arkkitehtuuri voi olla ja jättää työelämän toissijaiseksi. Tämä käy ilmi siitä, että toimistoissa käytettävien

ohjelmistojen opetus ei ole osa pakollisia kursseja.

Tampere ja Oulu tuovat toimistoissa käytettävät ohjelmat, kuten ArchiCadin ja Revitin toisena vuonna opintoihin. Tavoitteena on opettaa opiskelijoita käyttämään ohjelmia luontevina työkaluina, jotka tukevat heidän muita harjoitustöitään. Opetus käydään tietyn ohjelman kautta, mutta kurssien tietosisältö pyritään pitämään yleispätevänä, jotta opiskelijoilla on ymmärrys mallintamiseen ja dokumenttien tuottamiseen liittyvistä asioista, jotka pätevät kaikkiin ohjelmiin. Samalla huomioidaan työelämälle hyödyllisiä taitoja, menemättä liian syväälle niihin.

Tietomallintaminen on löytänyt tiensä osaksi arkkitehtikoulutusta Oulussa ja Tampereella. Tietomallintaminen esitellään ilmiönä ja opetuksessa pyritään antamaan ymmärrys tietomallintamiselle hyvistä mallinnustavoista ja miksi ne ovat hyviä tapoja. Opetus ei mene syväälle tietomallintamisen käytäntöihin, kuten IFC-kääntämiseen tai tietomalliselosteisiin, mutta tarjoaa valmiudet omaksua tietomallipohjainen suunnitteluprosessi työelämässä. Aallon työelämästä erillään oleva digitalisten työkalujen opetus ei koe tietomallintamista olennaiseksi osaksi heidän tavoitteitaan. Tietomallintaminen on vain yksi osa suurempaa kokonaisuutta ja opetus haluaa keskittyä tämän suuremman kokonaisuuden tarkasteluun.

Opetuksen sisällön perusteella Tampereella ja Oulussa tarjotaan opiskelijoille paremmat valmiudet omaksua tietomallin pohjaisen suunnitteluprosessin työelämän puolella, kuin Aallossa. Heidän tietomalliymmärryksensä ei ole kuitenkaan syvällistä ja opinnot jättävät paljon tietomallien käytännön puolen opittavaa työelämän puolelle. Tämä tukee Leinosen esittämää ajatusta siitä, että ei välttämättä ole yliopiston tehtävä valmistaa suoraan työhön, vaan tarjota laaja-alaista osaamista suunnittelijana.

Ammattikorkeakoulujen puolella opetus menee syvemmälle käytännön tietomallintamiseen. Opiskelijat ovat omaksuneet tietomallin pohjaisen työskentelyn ja tietomallin käyttämisen tietopankkina ja yhteistyön välineenä opintojensa aikana. Ammattikoulun tavoitteisiin kuuluu antaa opiskelijoille valmiudet ammattiin ja rakennusarkkitehtien koulutus on lähtökohtaisesti työelämäläheisempää, kuin arkkitehtien.

Lamppu kertoo saaneensa palautetta, jonka mukaan työelämän puolella kaivattaisiin opiskelijoilta parempaa tietomallin osaamista ja Lamppu myöntää itsekin, ettei opetus ole saavuttanut heidän itsensä asettamaa tasoa. Kehitettävää siis löytyy, mutta on syytä tarkistella, miten syvällisesti työelämän taitoja tulee yliopistossa opettaa. Missä menee osaamistason raja, jota on realistista odottaa

Maailma muuttuu ja me sen mukana

arkkitehtiopiskelijoilta ja vastavalmistuneilta? Syvällisempi, käytäntöihin menevä tietomalliopetus löytyy ammattikorkeakoulun puolelta osana rakennusarkkitehtien koulutusta. Tämän perusteella rakennussuunnittelun puolella pitäisi olla tarjontaa opiskelijoista ja vastavalmistuneista suunnittelijoista, joilla on opinnoista saatua osaamista tietomallintamisen käytännöistä. Kuten tätä tutkielmassa on aiemmin todettu, kaikkien ei tarvitse tietää kaikkea tietomallintamisesta. On hyvä, että arkkitehtikoulutus ottaa huomioon tietomallintamisen ja tarjoaa opiskelijoille ymmärryksen aiheesta, mutta liian syvällinen opetus vie pois arkkitehtikoulutuksen muilta tavoitteilta.

Kehitys tuo mukanaan muutosta, joka pääosin mielletään positiiviseksi, mutta aina löytyy negatiivisia ilmiöitä. Rakennusalan digitalisaatio, ja sitä kautta tietomallintaminen, ovat osa suurempaa trendiä, joka muuttaa maailmaamme. Tietomallintaminen on tullut rakennusalalle jäädäkseen ja arkkitehtien kannattaa pysyä kehityksessä mukana. Tietomallintamisen omaksuminen osaksi työskentelyä auttaa pysymään olennaisena toimijana alalla ja tarjoaa mahdollisuuksia hyödyntää uusia teknologioita ja toteuttaa uudenlaista arkkitehtuuria.

Lähteet

1. Itkonen, J. (2010). Blogi: Kiihdyttääkö digitalisaatio talouskasvua? Haettu osoitteesta: <https://www.eurojatalous.fi/fi/blogit/2015-2/kiihdyttaako-digitalisaatio-talouskasvua/>
2. i-Scoop. Industry 4.0: The fourth industrial revolution - guide to industrie 4.0. Haettu osoitteesta: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>
3. Schwab, K. (2016). The fourth industrial revolution (First edition ed.). New York: Crown Business. Haettu osoitteesta: <http://www.econis.eu/PPNSET?PPN=848495179>
4. Tanska, T., & Österlund, T. (2014). Algoritmit puurakenteissa - menetelmät, mahdollisuudet ja tuotanto (1st ed.). Oulu, Suomi: DigiWoodLab.
5. Jäväjä, P., & Lehtoviita, T. (2016). Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Pieksämäki, Suomi: Rakennustieto Oy. s. 72-73
6. Eastman, C, ym.. (2011). BIM handbook (2nd ed. ed.). US: Wiley. s. 20-26
7. Eastman, C., ym.. (1974). An outline of the building description system
8. Eastman, C., ym.. (1974). An outline of the building description system s.20
9. Eastman, Chuck, ym.. (2011). BIM handbook (2nd ed. ed.). US: Wiley. s. 36-37
10. Hossain, F. (2018). Sustainable design and build. San Diego: Elsevier Science & Technology. s. 191
11. Hossain, F. (2018). Sustainable design and build. San Diego: Elsevier Science & Technology. s. 191
12. Bazjanac, V., & Crawley, D. B. (1997). The implementation of industry foundation classes in simulation tools for the building industry. Haettu osoitteesta: <https://escholarship.org/uc/item/76c6z6g4>
13. BuildingSMART. About buildingSMART. Haettu osoitteesta: <https://www.buildingsmart.org/about/>
14. NBS. National BIM report 2017. (2017).RIBA Enterprises Ltd. Haettu osoitteesta: <https://www.thenbs.com/knowledge/nbs-national-bim-report-2017>
15. Karlshøj, J. OpenBIM FM solution and projects in Denmark. Medlemsmøte/Nordic Seminar, Lysaker, Norja 2014. Haettu osoitteesta: https://buildingsmart.no/sites/buildingsmart.no/files/01_bsnm_fm-in-denmark.pdf
16. EUBIM Taskgroup. Handbook for the introduction of building information modelling by the European public sector. Haettu osoitteesta: http://www.eubim.eu/downloads/EU_BIM_Task_Group_Handbook_FINAL.PDF
17. Yleiset Tietomallivaatimukset 2012, Osa 1 - Yleinen Osuus., 2012.
18. Eastman, Chuck, ym.. (2011). BIM handbook (2nd ed. ed.). US: Wiley. s. 18
19. Jäväjä, P., & Lehtoviita, T. (2016). Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Pieksämäki, Suomi: Rakennustieto Oy. s. 28-31
20. Palonen, M. BIM:n hyödyntäminen YIT:N talonrakentamisessa Oulun Yliopiston BIM-Seminaari, Oulu, Suomi, 2019
21. Jäväjä, P., & Lehtoviita, T. (2016). Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Pieksämäki, Suomi: Rakennustieto Oy. s. 61
22. Jäväjä, P., & Lehtoviita, T. (2016). Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Pieksämäki, Suomi: Rakennustieto Oy. s. 28-31
23. Jäväjä, P., & Lehtoviita, T. (2016). Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Pieksämäki, Suomi: Rakennustieto Oy. s. 28-31
24. Jäväjä, P., & Lehtoviita, T. (2016). Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Pieksämäki, Suomi: Rakennustieto Oy. s. 47
25. Eastman, Chuck, ym.. (2011). BIM handbook (2nd ed. ed.). US: Wiley. s. 224
26. Koskelainen, J. Tietomallintaminen rakennushankkeissa nyt ja tulevaisuudessa. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
27. Chang, L. (2015). The software behind Frank Gehry's geometrically complex architecture. Haettu osoitteesta: <http://priceconomics.com/the-software-behind-frank-gehrys-geometrically/>
28. Yleiset Tietomallivaatimukset 2012, Osa 7 - Määrälaskenta., 2012.
29. Jäväjä, P., & Lehtoviita, T. (2016). Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Pieksämäki, Suomi: Rakennustieto Oy. s. 59-69
30. Lammassaari, P. BIM ja automaatio infraurakoitsijan käytössä. Oulun Yliopiston BIM-Seminaari, Oulu, Suomi, 2019
31. Jäväjä, P., & Lehtoviita, T. (2016). Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Pieksämäki, Suomi: Rakennustieto Oy. s. 69
32. Korpivaara, A., & Syrjäla, S. (2015). Uusimuotoinen rakennusvalvontatoimi - selvitys rakennusvalvontatoimen kehittämisen vaihtoehtoista. Ympäristöministeriö. Haettu osoitteesta: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/155607/YMr9_2015.pdf?sequence=1
33. Silius-Miettinen, P. Rakennusvalvonta digitaalisen muutoksen pyörteessä. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
34. Silius-Miettinen, P. Rakennusvalvonta digitaalisen muutoksen pyörteessä. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
35. Silius-Miettinen, P. Rakennusvalvonta digitaalisen muutoksen pyörteessä. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
36. Silius-Miettinen, P. Rakennusvalvonta digitaalisen muutoksen pyörteessä. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
37. Lupapiste. Kunnat palvelussa. Haettu osoitteesta: <https://www.lupapiste.fi/kunnat-palvelussa>
38. Silius-Miettinen, P. Rakennusvalvonta digitaalisen muutoksen pyörteessä. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
39. Silius-Miettinen, P. Rakennusvalvonta digitaalisen muutoksen pyörteessä. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
40. Koskelainen, J. Tietomallintaminen rakennushankkeissa nyt ja tulevaisuudessa. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
41. Koskelainen, J. Tietomallintaminen rakennushankkeissa nyt ja tulevaisuudessa. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
42. Yleiset Tietomallivaatimukset 2012, Osa 12 - Tietomallien hyödyntäminen rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana., 2012.
43. Yleiset Tietomallivaatimukset 2012, Osa 12 - Tietomallien hyödyntäminen rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana., 2012.
44. Krygiel, E., & Nies, B. (2008). Green BIM: Successful sustainable design with building information modeling. Indianapolis, Ind: Wiley.
45. Henttinen, T. YTV2020 –Yleistietomallivaatimusten jatkokehitys. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
46. Henttinen, T. YTV2020 –Yleistietomallivaatimusten jatkokehitys. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019

47. Suomen Standardisointiliitto. Mitä standardisointi on? Haettu osoitteesta: https://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on
48. The British Standards Institution. BIM - building information modelling - ISO 19650. Haettu osoitteesta: <https://www.bsigroup.com/en-GB/Building-Information-Modelling-BIM/bim-design-and-construction/iso-19650-BIM/>
49. Henttinen, T. YTV2020 –Yleistietomallivaatimusten jatkokehitys. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
50. BuildingSMART. Industry foundation classes (IFC). Haettu osoitteesta: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>
51. BuildingSMART. IFC release notes. Haettu osoitteesta: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/ifc-release-notes/>
52. Solibri. About BIM and IFC. Haettu osoitteesta: <https://www.solibri.com/bim-ifc>
53. BuildingSMART. Industry foundation classes (IFC). Haettu osoitteesta: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>
54. Yleiset Tietomallivaatimukset 2012, Osa 1 - Yleinen Osuus., 2012.
55. Yleiset Tietomallivaatimukset 2012, Osa 1 - Yleinen Osuus., 2012.
56. Rakennustieto. The Finnish Construction 2000 Classification System.
57. Alhroos, H. (2018). Rakennushankkeen tarjouslaskenta - tarjouslaskentaprosessin ongelmat ja riskien hallinta
58. Talo-nimikkeistöryhmä. Talo 2000 -nimikkeistö - yleisseloste Haahtela-kehitys Oy, Rakennustietosäätiö RTS.
59. Alhroos, H. (2018). Rakennushankkeen tarjouslaskenta - tarjouslaskentaprosessin ongelmat ja riskien hallinta
60. Talo-nimikkeistöryhmä. Talo 2000 -nimikkeistö - yleisseloste Haahtela-kehitys Oy, Rakennustietosäätiö RTS.
61. Mordue, S. (2019). Explaining the levels of BIM. Haettu osoitteesta: <http://www.bimplus.co.uk/analysis/explaining-levels-bim/>
62. McPartland, R. (2014). BIM levels explained. Haettu osoitteesta: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>
63. McPartland, R. (2017). BIM dimensions - 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained. Haettu osoitteesta: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained>
64. Henttinen, T. YTV2020 –Yleistietomallivaatimusten jatkokehitys. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
65. Ympäristöministeriö. (2018). Tiedote: Kiinteistö- ja rakentamisalan halutaan noudattavan tiedonhallinnan kansainvälisiä standardeja – toisi vuosittain 300 miljoonan euron säästöt. Haettu osoitteesta: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Kiinteisto_ja_rakentamisalan_halutaan_no.
66. Ympäristöministeriö. (2018). Tiedote: Kiinteistö- ja rakentamisalan halutaan noudattavan tiedonhallinnan kansainvälisiä standardeja – toisi vuosittain 300 miljoonan euron säästöt. Haettu osoitteesta: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Kiinteisto_ja_rakentamisalan_halutaan_no
67. Ympäristöministeriö. (2018). Tiedote: Kiinteistö- ja rakentamisalan halutaan noudattavan tiedonhallinnan kansainvälisiä standardeja – toisi vuosittain 300 miljoonan euron säästöt. Haettu osoitteesta: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Kiinteisto_ja_rakentamisalan_halutaan_no
68. Henttinen, T. YTV2020 –Yleistietomallivaatimusten jatkokehitys. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
69. Henttinen, T. YTV2020 –Yleistietomallivaatimusten jatkokehitys. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
70. Rasti-projekti. Rakennetun ympäristön tiedonhallinnan standardisointi - nykytilan kartoitus ja ehdotustoimenpiteistä. (2019). Haettu osoitteesta: <https://rastiprojekti.com/wp-content/uploads/2019/02/RASTI-strategia-v1.pdf>
71. Rasti-projekti. Rakennetun ympäristön tiedonhallinnan standardisointi - nykytilan kartoitus ja ehdotustoimenpiteistä. (2019). Haettu osoitteesta: <https://rastiprojekti.com/wp-content/uploads/2019/02/RASTI-strategia-v1.pdf>
72. Rasti-projekti. Rakennetun ympäristön tiedonhallinnan standardisointi - nykytilan kartoitus ja ehdotustoimenpiteistä. (2019). Haettu osoitteesta: <https://rastiprojekti.com/wp-content/uploads/2019/02/RASTI-strategia-v1.pdf>
73. Eastman, C., ym.. (2011). BIM handbook (2nd ed. ed.). US: Wiley. s. 74-75
74. Visual ARQ. Ifc. Haettu osoitteesta: <https://www.visualarq.com/features/collaboration/ifc/>
75. Eastman, C., ym.. (2011). BIM handbook (2nd ed. ed.). US: Wiley. s. 75
76. Pruikkonen, M. Bonava VDC - virtual design and construction. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
77. Graphosoft. Open bim. Haettu osoitteesta: https://www.graphisoft.com/archicad/open_bim/open_bim_program/
78. Henttinen, T. YTV2020 –Yleistietomallivaatimusten jatkokehitys. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
79. Graphosoft. Open bim. Haettu osoitteesta: https://www.graphisoft.com/archicad/open_bim/open_bim_program/
80. Pruikkonen, M. Bonava VDC - virtual design and construction. Tilannekatsaus Rakentamisen Tietomalleihin, Oulu, Suomi, 2019
81. Ruokamo, S. Konversiovapaa tiedonsiirto. Oulun Yliopiston BIM-Seminaari, Oulu, Suomi, 2019
82. Kostof, S. (1977). The architect - chapters in the history of the profession. New York: Oxford Univ. Press. s. 3
83. Kostof, S. (1977). The architect - chapters in the history of the profession. New York: Oxford Univ. Press. s. 12
84. Kostof, S. (1977). The architect - chapters in the history of the profession. New York: Oxford Univ. Press. s. 87, 143
85. Kostof, S. (1977). The architect - chapters in the history of the profession. New York: Oxford Univ. Press. s. 109
86. Kostof, S. (1977). The architect - chapters in the history of the profession. New York: Oxford Univ. Press. s. 142-145
87. Yleiset Tietomallivaatimukset 2012, Osa 11 - Tietomallipohjaisen projektin johtaminen., 2012.
88. Suomen Controlteam. Mitä hyötyä tietomallikoordinaattori tuo hankkeelle? (2019). Haettu osoitteesta: <https://www.suomenct.fi/mita-hyotya-tietomallikoordinaattori-tuo-hankkeelle/>
89. Metropolia. Tietomallikoordinaattori, 15 op. Haettu osoitteesta: <https://www.metropolia.fi/koulutukset/taydennyskoulutus/tekniikka/tietomallikoordinaattori-koulutus/>
90. Piškorec, L. Haastattelu. 5.6.2019.
91. Piškorec, L. Haastattelu. 5.6.2019.
92. Piškorec, L. Haastattelu. 5.6.2019.
93. Piškorec, L. Haastattelu. 5.6.2019.
94. Piškorec, L. Haastattelu. 5.6.2019.
95. Piškorec, L. Haastattelu. 5.6.2019.
96. Piškorec, L. Haastattelu. 5.6.2019.
97. Hänninen, A. (2015). Käsikassara ja työrukkonen. Haettu osoitteesta: https://www.kotus.fi/nyt/kolumnit_artikkelit_ja_esitelmat/tiesitko_taman_%282004_2014%29/kasikassara_ja_tyorukkanen
98. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.
99. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.
100. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.

101. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.
102. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.
103. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.
104. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.
105. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.
106. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.
107. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.
108. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.
109. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.
110. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.
111. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.
112. Lamppu, M. Haastattelu. 30.9.2019.
113. Leinonen, A. Haastattelu. 13.9.2019
114. Leinonen, A. Haastattelu. 13.9.2019
115. Leinonen, A. Haastattelu. 13.9.2019
116. Leinonen, A. Haastattelu. 13.9.2019
117. Leinonen, A. Haastattelu. 13.9.2019
118. Leinonen, A. Haastattelu. 13.9.2019
119. Leinonen, A. Haastattelu. 13.9.2019
120. Leinonen, A. Haastattelu. 13.9.2019
121. Leinonen, A. Haastattelu. 13.9.2019
122. Opintopolku. Rakennusarkkitehti (AMK). Saatavilla: <https://opintopolku.fi/app/#!/korkeakoulu/1.2.246.562.17.88703875141>
123. Valtioneuvosto. PÄÄTÖS: ammattikorkeakoulun toimiluvasta, Oulun seudun ammattikorkeakoulu, (2014).
124. Valtioneuvosto. PÄÄTÖS: ammattikorkeakoulun toimiluvasta, Metropolia Ammattikorkeakoulu, (2014).
125. Valtioneuvosto. PÄÄTÖS: ammattikorkeakoulun toimiluvasta, avonia-Ammattikorkeakoulu, (2014).
126. Valtioneuvosto. PÄÄTÖS: ammattikorkeakoulun toimiluvasta, Tampereen Ammattikorkeakoulu, (2014).
127. Metropolia. Tutkinto-ohjelma tekniikan ammattikorkeakoulututkinto, 240 op. Haettu osoitteesta: <http://opinto-opas.metropolia.fi/index.php/fi/88094/fi/78334>
128. Metropolia. Tutkinto-ohjelma tekniikan ammattikorkeakoulututkinto, 240 op. Haettu osoitteesta <http://opinto-opas.metropolia.fi/index.php/fi/88094/fi/78334>
129. Metropolia. Tutkinto-ohjelma tekniikan ammattikorkeakoulututkinto, 240 op. Haettu osoitteesta: <http://opinto-opas.metropolia.fi/index.php/fi/88094/fi/78334>
130. OAMK. Opetussuunnitelmat 2019–2020 - rakennusarkkitehti (240op). Haettu osoitteesta: <https://www.oamk.fi/opinto-opas/opintojen-sisalto/opetussuunnitelmat?koulutus=rya2019s&lk=s2019>
131. OAMK. Opetussuunnitelmat 2019–2020 - rakennusarkkitehti (240op). Haettu osoitteesta: <https://www.oamk.fi/opinto-opas/opintojen-sisalto/opetussuunnitelmat?koulutus=rya2019s&lk=s2019>
132. OAMK. Opetussuunnitelmat 2019–2020 - rakennusarkkitehti (240op). Haettu osoitteesta: <https://www.oamk.fi/opinto-opas/opintojen-sisalto/opetussuunnitelmat?koulutus=rya2019s&lk=s2019>
133. OAMK. Opetussuunnitelmat 2019–2020 - rakennusarkkitehti (240op). Haettu osoitteesta: <https://www.oamk.fi/opinto-opas/opintojen-sisalto/opetussuunnitelmat?koulutus=rya2019s&lk=s2019>
134. OAMK. Opetussuunnitelmat 2019–2020 - rakennusarkkitehti (240op). Haettu osoitteesta: <https://www.oamk.fi/opinto-opas/opintojen-sisalto/opetussuunnitelmat?koulutus=rya2019s&lk=s2019>
135. OAMK. Opetussuunnitelmat 2019–2020 - rakennusarkkitehti (240op). Haettu osoitteesta: <https://www.oamk.fi/opinto-opas/opintojen-sisalto/opetussuunnitelmat?koulutus=rya2019s&lk=s2019>
136. Savonia. EA19SP rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma. Haettu osoitteesta: <https://portal.savonia.fi/amk/fi/opiskelijalle/opetussuunnitelmat?yks=KT&krtid=1215&tab=6>
137. Savonia. EA19SP rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma. Haettu osoitteesta: <https://portal.savonia.fi/amk/fi/opiskelijalle/opetussuunnitelmat?yks=KT&krtid=1215&tab=6>
138. Savonia. EA19SP rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma. Haettu osoitteesta: <https://portal.savonia.fi/amk/fi/opiskelijalle/opetussuunnitelmat?yks=KT&krtid=1215&tab=6>
139. Savonia. EA19SP rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma. Haettu osoitteesta: <https://portal.savonia.fi/amk/fi/opiskelijalle/opetussuunnitelmat?yks=KT&krtid=1215&tab=6>
140. TAMK. Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma, rakennusarkkitehti (AMK): 240 op tekniikan ammattikorkeakoulututkinto. Haettu osoitteesta: <http://opinto-opas-ops.tamk.fi/index.php/fi/167/fi/49585>
141. TAMK. Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma, rakennusarkkitehti (AMK): 240 op tekniikan ammattikorkeakoulututkinto. Haettu osoitteesta: <http://opinto-opas-ops.tamk.fi/index.php/fi/167/fi/49585>
142. TAMK. Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma, rakennusarkkitehti (AMK): 240 op tekniikan ammattikorkeakoulututkinto. Haettu osoitteesta: <http://opinto-opas-ops.tamk.fi/index.php/fi/167/fi/49585>
143. EUBIM Taskgroup. Handbook for the Introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector. Haettu osoitteesta: http://www.eubim.eu/downloads/EU_BIM_Task_Group_Handbook_FINAL.PDF

kuvalähteet

- Kannet Lindforth, P. Network technology digital. Pixabay. Haettu osoitteesta: <https://pixabay.com/illustrations/network-technology-digital-4556932/>
- s. 2-3 Immonen, Sonja, kotialbumi, 2019
- s. 6-7 Akulich, S. Copper, metal, modern, design. Pixabay. Haettu osoitteesta: <https://pixabay.com/photos/copper-metal-modern-design-1081825/>
- s. 8 Architecture, perspective, modern, Pixabay. Haettu osoitteesta: <https://pixabay.com/photos/architecture-perspective-modern-828596/>
- s.11 Salo, Anna-Leena, kotialbumi, 2019
- s. 12-13 Quynhphamhat. Scan to BIM ava. Wikimedia commons. Haettu osoitteesta: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4b/Scan-to-BIM-ava.jpg>
- s. 14 Background, circuit, grey, digital. Pixabay. Haettu osoitteesta: <https://pixabay.com/illustrations/background-circuit-grey-digital-2426328/>
- s. 18 Architecture, skyscraper, urban city, Pixabay. saatavilla: <https://pixabay.com/photos/architecture-skyscraper-urban-city-768432/>
- s. 28-29 Altman, G. Ball, http, www, crash, administrator. Pixabay. Haettu osoitteesta: <https://pixabay.com/illustrations/ball-http-www-crash-administrator-63527/>
- s. 30 Altman, G. Network, social, abstract. Pixabay. Haettu osoitteesta: <https://pixabay.com/illustrations/network-social-abstract-3139214/>
- s. 40-41 Altman, G. Arrows, direction, production, planning. Pixabay. Haettu osoitteesta: <https://pixabay.com/illustrations/arrows-direction-production-planning-1577983/>
- s. 42 Steel construction. Staircase, stairs, stairwell. Pixabay. Haettu osoitteesta: <https://pixabay.com/illustrations/staircase-stairs-stairwell-1491119/>
- s. 46 Altman, G. Augumented reality, smartphone. Pixabay. Haettu osoitteesta: <https://pixabay.com/illustrations/augmented-reality-smartphone-4507522/>
- s. 48-49 PIRO4D. Blue, cube, design, modern, cube shape. Pixabay. Haettu osoitteesta: <https://pixabay.com/illustrations/blue-cube-design-modern-cube-shape-2137334/>
- s. 50 Engg317. Outsourcing bim integration construction. Wikimedia Commons. Haettu osoitteesta: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/20/Outsourcing-bim-integration-construction.jpg>
- s. 54 PIRO4D. Design, architecture, villa, night. Pixabay. Haettu osoitteesta: <https://pixabay.com/illustrations/design-architecture-villa-night-1574773/>
- s. 58 Socha, A. Maze, labyrinth, solution, lost. Pixabay. Haettu osoitteesta: <https://pixabay.com/illustrations/maze-labyrinth-solution-lost-1804496/>
- s. 66-67 Caliskan, O. Abstract, background, abstract, minimal. Pixabay. Haettu osoitteesta: <https://pixabay.com/illustrations/abstract-background-abstract-minimal-1061121/>

Haastattelut

Piškorec, Luka. Aalto yliopiston arkkitehtuurin osaston rakenteiden suunnittelun yliopisto-opettaja, Haastattelu, Oulu ja Helsinki, Suomi. 5.6.2019.

Lamppu, Martti. Tampereen yliopiston arkkitehtuurin osaston median laboratorion yliopisto-opettaja Videohaastattelu, Oulu ja Tampere, Suomi. 30.9.2019.

Leinonen, Asko. Oulun Yliopiston arkkitehtuurin osaston CAD-tuntiopettaja. Haastattelu, Oulu, Suomi. 13.9.2019

Liitteet

Liite 1.

Haastattelukysymykset:

1. Esittele itsesi ja taustasi
2. Mitä CAD-opetukseenne kuuluu?
3. Mitkä ovat CAD-opetuksen tavoitteet?
4. Miten tietomallintamista käsitellään vai käsitelläänkö ollenkaan kursseilla?
5. Kuuluuko tietomallintaminen arkkitehtien työhön ja koulutukseen?

