



Aalto-yliopisto
Insinöörیتieteiden
korkeakoulu

Juuso Haataja

Tietomallinnuksen vaikutus rakennesuunnittelun virheisiin

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 19.02.2018

Valvoja: Professori Risto Kiviluoma

Ohjaaja: DI Matti-Esko Järvenpää

Tekijä Juuso Haataja

Työn nimi Tietomallinnuksen vaikutus rakennesuunnittelun virheisiin

Koulutusohjelma Rakennustekniikka

Pää-/sivuaine Rakennustekniikka**Koodi** Rak.thes

Työn valvoja Prof. Risto Kiviluoma

Työn ohjaaja(t) DI Matti-Esko Järvenpää

Päivämäärä 19.02.2018**Sivumäärä** 64 + 3**Kieli** Suomi

Tiivistelmä

Viimeisten vuosikymmenten aikana on rakennesuunnittelussa alettu kattavasti hyödyntää tietomallinnusta sekä muita suunnitteluohjelmistoja. Ohjelmistojen käyttö on avannut mahdollisuuden aiempaa monimutkaisempien rakenteiden suunnitteluun ja analysointiin, mutta se on tuonut myös mukanaan uudenlaisia riskejä rakennesuunnitteluvirheiden syntymiseen. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten rakennesuunnittelussa hyödynnettävä tietomallinnus vaikuttaa rakennesuunnitteluvirheisiin ja kuinka tietomallinnusohjelmistoa voidaan hyödyntää rakennesuunnitteluvirheiden vähentämiseksi.

Kirjallisuuskatsauksessa tutkitaan yleisesti rakennesuunnitteluvirheiden syitä ja keinoja virheiden vähentämiseksi sekä esitetään esimerkkejä virheiden seurauksista. Lisäksi selvitetään tietomallinnusta rakennesuunnittelussa ja sen vaikutuksia rakennesuunnitteluvirheisiin. Kirjallisuuskatsauksen pohjalta toteutetaan tapaustutkimus, jossa haastatellaan kohdeyrityksen tämän tutkimuksen case-projektissa työskenteleviä rakennesuunnittelijoita. Haastattelun avulla pyritään tunnistamaan projektissa esiin tulleita riskikohtia ja sen avulla tietomallinnetun rakennesuunnittelun riskit.

Työssä on tehty tapaustutkimus suurehkon talonrakennusprojektin rakennesuunnittelusta. Haastattelututkimuksessa saatiin selville case-projektissa tunnistettuja tietomallipohjaisen rakennesuunnittelun riskejä sekä yksityiskohtaisia esimerkkejä virheistä ja laadunvarmistuskeinoista.

Avainsanat BIM, tietomallinnus, tietomallipohjainen suunnittelu, rakennesuunnittelu, rakennesuunnitteluvirhe, laadunvarmistus

Author Juuso Haataja

Title of thesis Effects of building information modelling on errors in structural engineering

Degree programme Building technology

Major/minor Building technology

Code Rak.thes

Thesis supervisor Prof. Risto Kiviluoma

Thesis advisor(s) M.Sc. Matti-Esko Järvenpää

Date 19.02.2018

Number of pages 64 + 3

Language Finnish

Abstract

During the past decades building information modelling and other design softwares have been extensively used in structural engineering. Software use has enabled more complex structures to be designed and analysed, but it has also brought new types of risks for structural design errors to arise. The aim of this study is to find out how building information modelling in structural engineering effects on structural design errors and how building information modelling software can be used to reduce them.

The literature review studies errors in structural engineering, their causes and how errors can be reduced as well as presents examples of the consequences of errors. Also building information modelling in structural engineering and its effects on errors are studied. Based on the literature review a case study is performed in an engineering company by interviewing structural designers who work on the case project studied in this thesis. Interviews are carried out for determining the risks that arise in the studied case project. Based on the results the risks of building information modelling based structural engineering are evaluated.

The case project examined in this thesis is a fairly large building project. As a result of the case study structural engineering risks are discovered. Also detailed examples of errors and means of quality assurance are identified.

Keywords BIM, building information modelling, BIM based design, structural design error, quality assurance

Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty opinnäytteeksi Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulun Rakennustekniikan laitokselle. Aihe ideoitin yhteistyössä WSP Finland Oy:n sekä Aalto-yliopiston kanssa. Työn valvojana on toiminut professori Risto Kiviluoma ja ohjaajana puolestaan Diplomi-insinööri Matti-Esko Järvenpää. Suuret kiitokset teille neuvoista ja palautteesta projektin aikana. Kiitokset myös diplomityön toimeksiantajalle WSP Finland Oy:lle. Kiitokset kuuluvat myös haastateltaville asiantuntevista vastauksista ja mielenkiintoisista keskusteluista.

Erityisesti haluan kiittää puolisoani sekä perhettäni ja ystäviäni mittaamattoman arvokkaasta tuesta työn aikana!

Espoo 19.02.2018

Juuso Haataja

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Tutkimusongelma	1
1.3	Tavoitteet ja rajaukset	2
2	Rakennesuunnitteluvirheet	3
2.1	Rakenteiden suunnittelu	3
2.2	Rakennesuunnitteluvirheiden syitä	5
2.3	Rakenteiden vaurio- ja toiminnallisuusvirhetapauksia	14
2.3.1	Rakenteiden vaurioitumistapauksia	14
2.3.2	Rakenteiden toiminnallisuusvirheitä	18
2.4	Keinoja rakennesuunnitteluvirheiden vähentämiseksi	21
2.4.1	Dokumentointi	21
2.4.2	Tarkastaminen	22
2.4.3	Tietotekniikan hyödyntäminen	23
2.4.4	Koulutus, tieto ja ammattitaito	23
3	Tietomallinnus rakennesuunnittelussa	25
3.1	Roolit projektiorganisaatiossa	29
3.2	Tietomallinnusohjelmistot	30
3.3	Tietomallinnus ja rakennesuunnitteluvirheet	30
4	Tapaustutkimus	35
4.1	Kohdeyritys	35
4.2	Tutkimuksen kohdeprojekti	35
4.2.1	Tietomallinnus kohteen rakennesuunnittelussa	36
4.3	Haastattelututkimus	37
4.4	Haastatteluaineisto	38
4.4.1	Haastateltavien taustatietoja	38
4.4.2	Roolit projektissa	38

4.4.3	Laadunvarmistus- ja tietomallinnusohjeet	39
4.4.4	Aikataulu ja resurssit	39
4.4.5	Rakennelaskelmat	40
4.4.6	Laadunvarmistusmenetelmiä	40
4.4.7	Tietomalli laadunvarmistuksessa	42
4.4.8	Suunnitteluvaiheessa tunnistettuja riskejä ja virheitä	46
4.4.9	Projektin aikana tunnistettuja kehityskohtia	51
5	Tapaustutkimuksen tulokset	52
5.1	Havainnot	52
5.1.1	Laadunvarmistus projektissa	53
5.2	Aineiston kattavuus ja yleistettävyys	57
6	Yhteenveto ja johtopäätökset	58
	Lähdeluettelo	60
	Liiteluettelo	64
	Liitteet	

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Rakennesuunnittelussa hyödynnetään kattavasti erilaisia tietokoneohjelmistoja, mikä tuo mukanaan mahdollisuuksia sekä haasteita suunnittelua toteuttaville rakennesuunnittelijoille. Tietomallinnus ja laskentaohjelmat muokkaavat suunnittelua ja prosesseja sekä luovat uudenlaisia tapoja toteuttaa rakennesuunnittelua sekä hallita sen laatua. Suunnittelun siirtyessä enemmän ohjelmistopohjaiseksi myös suunnitteluvirheiden riski on edelleen merkittävä, mikäli suunnitteluohjelmien käyttäjät eivät kykene havaitsemaan virheitä ohjelmistojen tuloksista. Rakennesuunnitelmia on edelleen pystyttävä tarkastelemaan kriittisesti tulosten suuruusluokan ja rakenteiden analysoinnin kannalta.

Tietomallinnuksella haetaan hyötyä koko rakennuksen tai kiinteistön elinkaaren ajan aina suunnittelusta ylläpitoon saakka. Tavoitteena on parantaa suunnittelun ja rakentamisen laatua, tehokkuutta, turvallisuutta sekä tukea hankkeen kestävän kehityksen mukaista toteutusta koko elinkaaren ajan. Alkuvaiheessa tietomallista voidaan hakea tukea investointipäätöksiin havainnollistamalla erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja sekä niiden toimivuutta, laajuutta ja kustannuksia. Suunnitteluvaiheessa tietomallin avulla voidaan havainnollistaa suunnitelmia sekä analysoida rakennettavuutta. Pyrkimyksenä on myös, että tietomalliin tallennettu tieto olisi mahdollista antaa huollon ja ylläpidon toimintojen käytettäväksi kiinteistön käytön aikana. Tietomallinnuksen avulla pyritään myös parantamaan tiedonsiirtoa ja laadunvarmistusta sekä tehostamaan suunnitteluprosessia. (RT 10-11076 2012)

1.2 Tutkimusongelma

Tietomallinnus mahdollistaa monimutkaisen geometrian visuaalisen esittämisen, mikä ei kuitenkaan varmista suunnitelmien rakenneteknistä ja rakennusfysikaalista laatua. Rakennesuunnittelua tukevilla ohjelmistoilla on mahdollista tuottaa suunnitelmia ja laskelmia melko vähäiselläkin alan tuntemuksella. Osa aiemmin tyypillisistä virheistä on saattanut jäädä pois tietomallinnukseen siirryttäessä, mutta minkälaisia riskejä suunnitteluvirheiden osalta tietomallinnusohjelmistoilla toteutettu suunnittelu mahdollisesti aiheuttaa ja millä menetelmillä voidaan varmistua rakennesuunnittelun laadusta tietomallipohjaisessa rakennesuunnittelussa.

Työn tutkimuskysymykset ovat:

- Millaisia riskejä tietomallipohjainen suunnittelu aiheuttaa rakennesuunnitteluvirheiden kannalta?
- Miten voidaan varmistua rakennesuunnittelun laadusta tietomallipohjaisessa rakennesuunnittelussa?

1.3 Tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena on selvittää tietomallipohjaiseen rakennesuunnitteluun liittyviä riskejä ja mahdollisuuksia sekä miten rakennesuunnitteluvirheitä voitaisiin vähentää tietomallinnuksen tarjoamin välinein. Työssä selvitetään tietomallinnuksen vaikutuksia rakennesuunnitteluvirheisiin sekä niiden merkittävyyttä. Työ rajataan koskemaan rakennesuunnittelua uudisrakennuksissa ja tietomallinnetuissa talonrakennusprojekteissa.

Työ toteutetaan kaksiosaisena; kirjallisuuskatsauksena sekä tapaustutkimuksena. Kirjallisuuskatsauksessa selvitetään rakennesuunnittelun periaatteita ja lähtökohtia sekä tietomallinnusta rakennesuunnittelussa. Tapaustutkimuksessa pyritään tunnistamaan rakennesuunnittelun ja tietomallinnuksen yhdistämisessä esiin nousevia riskejä. Tapaustutkimus toteutetaan haastattelututkimuksena WSP Finland Oy:ssä. Tutkimuksessa haastatellaan suurehkon rakennesuunnitteluprojektin rakennesuunnittelijoita projektin eri rooleissa sekä erilaisilla tietomallinnus- ja suunnittelukokemuksella. Haastattelun avulla pyritään tunnistamaan projektissa esiin tulleita riskikohtia ja sen avulla tietomallinnetun rakennesuunnittelun riskit.

Rakennesuunnittelua ja siihen liittyviä virheitä sekä niiden syitä ja seurauksia esitetään luvussa 2 kirjallisuusselvityksen sekä esimerkkitapausten avulla. Luvussa 3 käsitellään tietomallinnusta suunnitteluvaiheessa ja miten se mahdollisesti vaikuttaa virheiden syntyyn sekä voiko tietomallinnusprosessi aiheuttaa merkittäviä virheitä. Teoriatiedon pohjalta toteutetaan kohdeyrityksessä tapaustutkimus, jossa selvitetään tietomallinnusprojektin toteutusta sekä pyritään tunnistamaan sen riskit ja keinoja tietomallinnusprojektin suunnittelun laadukkaan toteutuksen varmistamiseksi.

2 Rakennesuunnitteluvirheet

2.1 Rakenteiden suunnittelu

Rakenteiden ja rakennusten turvallisuus sekä toimivuus ovat rakenteiden suunnittelun lähtökohta. Ihmiset luottavat vahvasti rakentamisen ammattilaisiin ja odottavat sekä rakennusten että rakenteiden olevan niiden käyttäjien ja ympäristön kannalta turvallisia sekä toimivan niiden käyttötarkoituksen mukaisesti. Rakennusten sortumista pidetään äärimmäisen harvinaisena. Rakentamisen kaikkien osapuolten, niin suunnittelijoiden, rakentajien kuin huolto- toimia tekevän tahon on huolehdittava, että ihmisiin kohdistuvan vahingon riski olisi mahdollisimman pieni. Täydellistä turvallisuutta on kuitenkin mahdotonta taata, mutta mikäli riskit tunnistetaan ja niiden vaikutukset minimoidaan, voidaan turvallisuusriskin olettaa olevan hyväksyttävän pieni. Turvallisuutta ei voida mitata; rakenne tai rakennus on joko turvallinen tai ei. Yksi tapa pohtia rakenteen turvallisuutta on esittää kysymys ”Ovatko ihmiset vaarassa, mikäli kyseessä oleva tuote, systeemi tai tila ei toimi suunnitellusti tai tietty spesifi tapahtuma toteutuu?”. Jos vastaus kysymykseen on kyllä, on silloin kyse turvallisuusriskistä, mikä vaatii korjaavia toimenpiteitä riittävän turvallisuustason saavuttamiseksi. (Schneider et al. 1997)

Rakenteet suunnitellaan toimimaan niiden aiotussa tarkoituksessa, suunnitellun ajan ja odotettavissa olevissa olosuhteissa. Rakentamismääräyksissä esitetään vähimmäisvaatimukset suunniteltavalle kohteelle, mutta niiden kattavuus ja soveltuvuus kohteeseen on varmistettava. Rakenteita suunniteltaessa tulee rakennesuunnittelijan tapauskohtaisesti arvioida suunniteltavan kohteen vaatimukset ja riskit. Jotkin riskit saatetaan sivuuttaa suunnitteluprosessissa tai ne voidaan hyväksyä oletettavasti pienten vaikutustensa takia. Kuormien määrittäminen tapahtuu käyttötarkoituksen mukaisesti, jolloin suunnitelmassa hyväksytään riski, että äärimmäisissä olosuhteissa kuorma voi ylittyä. Lumen määrä, tuulen voimakkuus tai muut vastaavat luonnonvoimat määritetään niiden todennäköisen esiintyvyyden tai keskiarvojen mukaan. Suunnittelunormeissa käytössä olevat varmuuskertoimet lisäävät osaltaan rakenteiden varmuutta ja niiden avulla voidaan osin hallita suunnitteluun liittyviä riskejä. Taulukossa 1 on esitetty erilaisia syitä rakenteiden vaurioitumiselle hyväksyttävästi suunnittelusta huolimatta. Rakennusta ei ole järkevää suunnitella kestäväksi ylisuuria kuormia, koska silloin rakentamisen kustannukset voivat kasvaa kohtuuttoman isoiksi. Tarvittaessa rakennuksen

kuormia voidaan rajoittaa määrittämällä suurin sallittu kuormitus, mikä ohjaa käyttäjiä rakennuksen turvalliseen käyttöön. (Schneider et al. 1997)

Taulukko 1. Esimerkkejä rakennuksen toimivuudelle tai turvallisuudelle uhan aiheuttavista tekijöistä hyväksyttävästä rakennesuunnittelusta huolimatta (Muokattu kohteesta Fröderberg 2014)

<u>Rajatilat</u>				
Ylikuormitus: pysyvä kuorma tai tuulikuorma jne., ihmisen aiheuttama, hyötykuormat ym.	Alhainen lujuus: rakenteella, materiaalilla, stabiliteetin menetys ym.	Liikkeet rakenteissa: perustusten painuminen, viruminen, kutistuminen ym.	Rakenteiden vaurioituminen: halkeilu, väsyminen, korroosio, eroosio ym.	
<u>Onnettomuudet ja luonnonkatastrofit</u>				
Tulipalo	Ajoneuvon törmäys	Räjähdykset: onnettomuus, terrori	Tulvat	Maanjäristys
<u>Ihmisen aiheuttamat virheet</u>				
Suunnitteluvirhe: erehdys, rakenteen toiminnan väärin ymmärtäminen		Virheellinen tai huono toimintatapa, heikko kommunikaatio		

Suunnittelun apuna käytetään paljon tietokoneohjelmistoja. Ohjelmistot nopeuttavat laskelmien tekoa ja mahdollistavat entistä monimutkaisempien rakenteiden analysoinnin. Rakenteita pystytään optimoimaan entistä tarkemmin, koska laskelmia voidaan suorittaa 3D-rakenteille 2D-rakennemallien sijaan FEM-laskentaohjelmien yleistyessä (Schneider et al. 1997). Myös rakenteiden esittäminen 3D-mallien avulla on jo arkipäivää ja yleisesti puhutaan tietomalleista, jotka sisältävät 3D-geometriatiedon lisäksi tiedot esimerkiksi materiaalista, sijainnista ja pintakäsittelystä (Al Hattab et al. 2013).

Fröderbergin (2014) Ruotsissa tekemässä tutkimuksessa esitetään, että rakenteiden suunnittelutehtävän suorittamiseen ei ole vain yhtä oikeaa tapaa. Tutkimukseen osallistui 17 ruotsalaista rakennesuunnittelijaa, jotka kaikki toteuttivat samat kaksi mitoitustehtävää itse valitsemallaan tavalla. Ensimmäinen mitoitus tehtiin viisikerroksiselle betonirakennukselle ja

toinen urheiluhallin rakenteille. Tehtävän toteutuksessa ja tuloksissa oli havaittavissa vaihtelua, mutta tulokset olivat kuitenkin saman suuntaisia, vaikka suunnittelijat käyttivät toisiinsa verrattuna erilaisia laskentamalleja ja –ohjelmistoja valintansa mukaan. Eroja syntyi esimerkiksi kuormien jakautumisessa eri rakenneosille, mikä johti erilaisiin rakenteiden dimensioihin. Suunnittelutehtävä voidaan toteuttaa monilla erilaisilla tavoilla, joten myös erilaisten virheiden mahdollisuus on tiedostettava. Seuraavassa kappaleessa esitetään joitain rakennesuunnitteluvirheisiin johtavia syitä.

2.2 Rakennesuunnitteluvirheiden syitä

Rakennuksessa voi esiintyä monenlaisia virheitä sen elinkaaren eri vaiheissa ja eri osapuolten vaikutuksesta. On myös huomattu, että usein virheeseen johtaneita syitä on useita tai virheellisiä toimia on tehty useita peräkkäin (Josephson 2001). Suunnitteluvirheiden lisäksi projekteissa esiintyy muun muassa tilaajan virheitä, materiaalivirheitä ja rakennusvirheitä (Josephson 1999). Tilaajan virheitä ovat muun muassa liian tiukaksi määritetty aikataulu tai jatkuvat muutokset suunnitelmiin. Materiaalivirheistä lähiaikoina esillä Suomessa on ollut betonin lujuusongelmat. Ongelmaa ei yksin voida syyttää betonin valmistajan vastuulle vaan myös työmaan toimintaa tulisi kehittää betonin valmistuksen laadunvarmistuksen rinnalla (Punkki 2017).

Suunnitteluvirheisiin vaikuttavia suunnittelun ulkopuolisia tekijöitä ovat tutkimuksen mukaan tilaajan huono projektin hallinta ja hidas päätöksen teko, käyttäjän osallistuminen suunnitteluun liian myöhään, aikataulu- ja kustannuspaineet sekä projektiorganisaation heikko yhteistyö (Josephson 1999). Virheiden syyt voidaan jakaa kolmeen hierarkkiseen tasoon: henkilökohtaiseen, organisatoriseen sekä projektikohtaiseen tasoon (Davis et al. 2010). Näihin eri tasoihin voidaan liittää taulukon 2 mukaisia virheiden syitä.

Taulukko 2. Virheiden syitä eri hierarkian tasoilla (Mukailtu kohteista Davis et al. 2010, Fröderberg 2014)

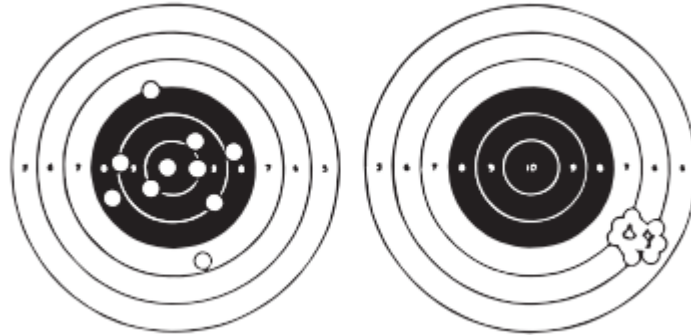
<u>Henkilökohtaiset</u>			
Yksilön tunnetilan järkkäminen: epärealistinen aikataulu johtaa stressiin ja väsymykseen		Yksilön haitallinen käytös: heikko asenne, motivaatio tai itseluottamus	
<u>Organisatoriset</u>			
Puutteellinen koulutus: puutteelliset tiedot, taidot ja kyvyt	Tietotekniikan vääränlainen hyödyntäminen: liiallinen luottaminen tietotekniikkaan	Puutteellinen laadunvarmistus: haluttomuus käyttää riittävästi aikaa laadunvarmistukseen	Palkkion kilpailukyky: liian alhaiset palkkiot verrattuna tilaajan vaatimuksiin
<u>Projektikohtaiset</u>			
Tilaajan ja käyttäjän heikko kommunikointi: tilaajan ymmärryksen ja kommunikaation puute tai väärinymmärrykset tilaajan ja suunnittelijan välillä, jolloin suunnittelijalla ei ole oikeanlaista kuvaa mitä on suunnitelmassa		Tehoton suunnitteluryhmän koordinointi ja yhteistyö: sovitut aikataulut eivät pidä tai tehtävien koordinointi ei ole oikea-aikaista	

Suunnitteluvirheitä voidaan tehdä suunnitteluprosessin eri vaiheissa. Virhe voi tapahtua heti projektin alussa lähtötietoja määritettäessä, toteutussuunnitelmaa dokumentoitaessa tai koska tahansa näiden välissä. Virhe ei kuitenkaan aina ilmene heti suunnitteluprosessissa vaan se voi tulla esiin paljon myöhemmin, kun rakennus on rakennettu ja ollut käytössä. Mitä aiemmassa vaiheessa virhe huomataan, sitä vähemmän se aiheuttaa lisäkustannuksia (Josephson 2001.). Suunnitteluvirheen syntymiseen vaikuttavat erilaiset tekijät, kuten suunnittelijan henkilökohtaiset ominaisuudet; kokemus, ammattitaito, motivaatio, paineensietokyky ja kommunikointitaidot. Suunnittelija voi myös aiheuttaa virheitä tahallisesti ja piittaamattomuuttaan tai tehdä inhimillisiä virheitä (Josephson 1999.). Suunnitteluvirheen riskiä lisää liika luottaminen omiin kykyihin ja ammattitaitoon, mikä voi esiintyä esimerkiksi halukkuutena käyttää ja kehittää uudenlaisia tai monimutkaisempia rakenneratkaisuja yksinkertaisten ja tunnettujen ratkaisujen sijaan (Fröderberg 2014).

Organisaation toimintatavat voivat myös myötävaikuttaa virheen syntymiseen. Johtaminen, resursointi ja projektin hallinta määrittävät pitkälti suunnittelijoiden toimintaa organisaatio-tasolla. Esimerkiksi yhteisten toimintatapojen puute voi johtaa väärinkäsityksiin tai tiedon-kulun katkeamiseen, mitkä johtavat puutteellisiin tietoihin suunnittelutehtävän toteuttami-ssa. Yhteiset toimintatavat ovat tärkeitä työntekijöiden vaihtumisenkin takia, sillä käytössä olevat resurssit voivat muuttua projektin aikana monta kertaa. Myös yrityksen sisäinen kult-tuuri voi altistaa virheelle, mikäli esimerkiksi sovittuja toimintatapoja ei ole tapana noudat-taa tai valvoa. Sääntöjä kierretään helpommin, jos laiminlyönnit eivät johda seuraamuksiin. Toisaalta virheitä voivat aiheuttaa myös ulkopuoliset tekijät, niin virheelliset ohjeet, säännöt ja määräykset kuin virheet materiaali- tai projektikohtaisissa tiedoissa. Projektin eri osapuo-let voivat myös aiheuttaa riskin esimerkiksi asettamalla liian tiukan aikataulun suunnittelu-tehtävään nähden, jolloin suunnittelija ei pysty käyttämään tarvittavaa määrää aikaa laaduk-kaan suunnitelman toteuttamiseksi. Muita riskejä aiheuttavia ulkopuolisia tekijöitä ovat muun muassa paine säästää kustannuksissa sekä jatkuvat suunnitelmien muutostarpeet. (Da-vis et al. 2010)

Rakennesuunnitteluvirhe voi olla systemaattinen tai vaihteleva. Kuva 1 havainnollistaa sys-temaattisen virheen ja vaihtelevan virheen eroa. Vaihteleva virhe on epämääräisempi ja odottamattomampi kuin systemaattinen virhe ja siksi vaikeampi havaita sekä löytää sen lähde. Vaihteleva virhe voi olla esimerkiksi ennalta arvaamaton yksittäinen mitoitusvirhe, kun taas systemaattinen virhe voi johtua virheestä prosessissa, joka johtaa jatkuvasti virheel-lisen tuloksen. Rakennesuunnittelussa hyödynnetään usein samankaltaisia rakenneratkaisuja eri projekteissa, mikäli kohteet ovat hyvin samankaltaisia. Suunnitelmia kopioitaessa koh-teesta toiseen ilman kriittistä tarkastelua, saattaa sama virhe toistua useissa eri kohteissa. Tämä johtaa systemaattiseen rakennesuunnitteluvirheeseen, mikäli todetaan, että käytetty rakenne ei toimikaan suunnitellulla tavalla. Kerran suunniteltu rakennejärjestelmä tai detalji siirretään sellaisenaan uuteen projektiin, jolloin myös virheet siirtyvät (Fröderberg 2014.). Systemaattinen virhe voi johtaa suuriin ongelmiin niissä rakennuksissa, joissa kyseinen rat-kaisu on ollut käytössä. Suomessa on lähivuosina ollut esillä rakennuskannassa ilmenneet home-, kosteus ja sisäilmaongelmat, jotka ovat aiheuttaneet terveyshaittoja sekä lisänneet korjauksiin käytettävän rahan määrää. Ongelmia nykyään aiheuttavat rakenteet ovat olleet oman aikakautensa hyvän rakennustavan sekä voimassa olleiden ohjeiden ja määräysten mu-

kaisesti suunniteltuja. Kuitenkin tämän hetkisen tiedon perusteella voidaan sanoa, että suunnitteluvirheitä on tehty ja tehtyjä virheitä joudutaan korjaamaan paljon. Asiaa on käsitelty esimerkiksi Rakennuslehden artikkelissa: Näin Suomi homehtui – hyvä rakentamistapa sai aikaan pahaa jälkeä (Mölsä 2017.).



Kuva 1. Vaihteleva virhe ja systemaattinen virhe havainnollistettuna maalitauluissa. Vasemmalla ei esiinny systemaattista virhettä vaan virhe vaihtelee. Oikealla puolestaan vaihtelu on pientä, mutta systemaattinen virhe on suuri. (Fröderberg 2014)

Inhimilliset virheet ovat ihmiselle luonteenomainen piirre. Tutkimuksessa, jossa tutkittiin yli 800 rakenteiden vauriotapausta, havaittiin 75 %:n tapauksista johtuvan ihmisen tekemästä virheestä. Tutkituissa tapauksissa 37 % näistä virheistä liittyi suunnitteluun. Suunnittelussa tapahtuneet ihmisen tekemät virheet jakautuivat seuraaviin osa-alueisiin:

- Rakennejärjestelmän valinta 34%
- Rakenteiden analysointi 34%
- Piirustukset ja muut dokumentit 19%
- Työn suunnittelu ja valmistelu 9%
- Muut 4%

Virheeseen johtaneita syitä olivat puolestaan:

- Tietämättömyys, huolimattomuus ja välinpitämättömyys 35%
- Riittämätön osaaminen 25%
- Vaikutusten aliarviointi 13%
- Hajamielisyys, virheet ja erehdykset 9%
- Sokea luottaminen muihin 6%

- Odottamattomat tai tuntemattomat vaikutukset 4%
- Muut syyt 8%

(Schneider et al. 1997)

Tutkimustiedoista nähdään, että suurin osa suunnitteluun liittyvistä ihmisen tekemistä virheistä tehtiin rakenteiden analysoinnissa ja rakennejärjestelmän valinnassa. Suurimmat syyt, jotka johtavat virheisiin olivat puolestaan henkilökohtaiseen tietoon, taitoon sekä osaamiseen liittyviä. Piirustuksissa ja suunnitteludokumenteissa esiintyi myös merkittävästi virheitä. Suunnitteludokumenttien merkitys on suuri, sillä niiden mukaan rakenteet toteutetaan. Suunnitteluvirheenä voidaan pitää epäselvää, puutteellista tai virheellistä rakennesuunnitelmaa, jonka mukaan toteutettuna rakenteesta tulee virheellinen. Suunnitteludokumentin tulee vastata suunniteltua rakennetta. Suomessa käytössä on kaksiosainen ohje rakennesuunnittelun asiakirjojen laatimiseen, jossa ohjeistetaan esimerkkien avulla selkeiden teksti, laskenta ja rakennesuunnitelma-asiakirjojen laatiminen. Ensimmäinen osa on tekstiosa (RIL 229-1-2013 2013) ja toinen sisältää asiakirjamalleja (RIL 229-2-2013 2013). Suunnitelmien ja suunnitteludokumenttien ristiriidattomuus on myös varmistettava.

Muutokset projektin tiedoissa ovat riski suunnitteluvirheiden syntymiselle. Muutoksesta on saatava tieto kaikille projektin osapuolille siten, että he voivat tehdä omaan tehtäväänsä liittyvät muutokset. Suunnittelijan on tehtävä muutokset kaikkiin muutoksen vaikutuspiirissä oleviin suunnitelmiin. Tällöin on riski, että muutokset eivät päivity kaikkiin asiakirjoihin, jolloin suunnitelmiin jää virheitä tai ristiriitoja. Esimerkiksi, jos kuormitukset nousevat ja kantavien rakenteiden mittoja on kasvatettava, on tieto muuttuneista dimensioista päivitettävä jokaiseen näitä rakenteita sisältävään asiakirjaan virheiden välttämiseksi. Tieto muuttuneista mitoista on myös saatava muiden suunnittelijoiden tietoon, että he voisivat todeta muutoksen vaikutukset omiin suunnitelmiin sekä tehdä tarvittavat muutokset. (Davis et al. 2010)

Tietotekniikan käytössä suunnittelun apuvälineenä piilee riskejä. Helposti käytettävät ohjelmat vaativat käyttäjältään entistä vähemmän tietoa rakenteiden suunnittelusta. Sokeasti tuloksiin luottaminen ei ole järkevää, sillä käytetty ohjelma saattaa sisältää virheitä tai käyttäjän ohjelmalle syöttämä tieto voi olla virheellistä. Esimerkiksi ohjelma voi sisältää valmiita

kuormitusyhdistelmiä, mutta mikään ei takaa sitä, että normeihin myöhemmin tulleet muutokset olisi päivitetty myös ohjelmaan. Laskennan tulos voi näyttää hyvinkin oikealta, mutta siitä saattaa puuttua tärkeitä ominaisuuksia oikeanlaisen laskentamallin luomiseksi. Geometria voi näyttää ohjelmiston esittämässä grafiikassa oikealta, mutta materiaalin ominaisuustieto voi olla virheellinen. Graafiset käyttöliittymät, joissa käyttäjä näkee rakenteen mallin, ovat vähentäneet virheitä rakenteen geometrian osalta verrattuna ohjelmiin, joissa ei ole graafista esitystä (Fröderberg 2014).

Tietotekniikan käyttö rakenteiden suunnittelussa ja laskennassa on mahdollistanut monimuotoisempien rakenteiden suunnittelun, mutta suunnitelmien perustuessa laskentaohjelmiin on niiden luotettavuus hankalampi tarkastaa. Suunnittelija saattaa olettaa, että laskentamalliin luotu objekti (esimerkiksi seinä) sisältää automaattisesti rakenteen oman painon oikein eikä tarkasta sen oikeellisuutta. Ohjelmien kehittäjät eivät välttämättä myöskään tunne rakentamisen vaatimuksia niin hyvin kuin pitäisi, mikä saattaa johtaa virheisiin ohjelman toiminnassa (Aagaard et al. 2013). Lisäksi rakenteiden optimointi vähentää rakenteen varmuutta. Yksinkertaisia rakennemalleja käytettäessä rakenteille muodostuu todennäköisemmin lisävarmuutta, mikä lisää rakenteiden kestävyyttä odottamattomien kuormitusten ilmentyessä (Fröderberg 2014).

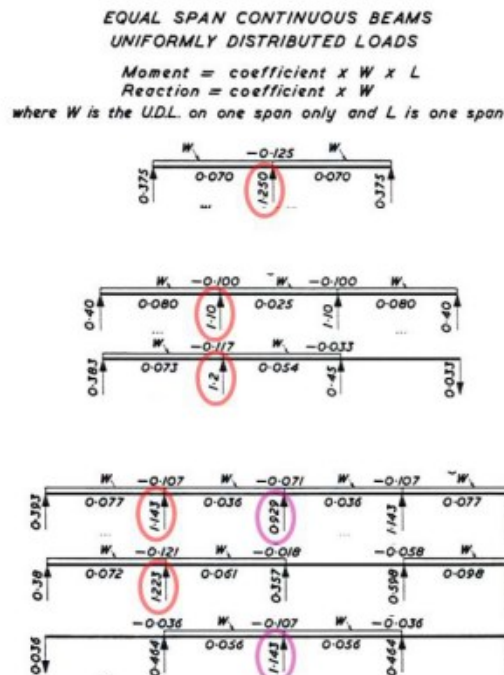
Esimerkki insinööritoimiston huomaamasta virheestä laskentaohjelmassa

Laskentaohjelmassa huomattiin virhe yhteen suuntaan kantavan paikalla valetun palkkilaattarakenteen (Kuva 2) kuormien jakautumisessa tuille. Joissain tapauksissa kuorman arvo tuella voi olla jopa 25% pienempi, kun sitä verrataan esimerkiksi ennen tietokonelaskennan yleistymistä kuormien jakautumisen määrittämisessä käytössä olleisiin voimakertoimiin (Kuva 3). Laskentaohjelma ei huomioi laatan jatkuvuutta tuella, mikä aiheuttaa erilaisen kuorman yksiaukkoiseen laattaan verrattuna. Yksiaukkoisena tuelle ei kentän kuormasta aiheudu tukimomenttia, kun taas jatkuvana laattana tukimomenttia syntyy. Virheelliseen mitoitusmenetelmän valintaan ohjelmiston kehityksessä on todennäköisesti vaikuttanut nykyään paljon käytetty esivalmistettujen elementtien käyttö, jotka suunnitellaan usein yksiaukkoisina rakenteina. Yksiaukkoisissa rakenteissa kuormat jakaantuvat tasan jänteen molemmissa päissä oleville tuille. (Gaddes 2017)



Kuva 2. Palkkilaattarakenne. (Gaddes 2017)

Tämän kaltaisia ohjelmiston sisältämiä virheitä on usein vaikea huomata, mikäli luottaa vain ohjelmiston antamiin tuloksiin ilman tulosten kriittistä tarkastelua ja vertailua. Virhe ohjelmistossa vaikuttaa tehtyihin laskelmiin tekijästä riippumatta. Virhe saattaa aiheuttaa vaurioita rakenteissa, mutta sen vaikutukset voivat jäädä myös näkymättömiin.



Kuva 3. Taulukkolaskennassa käytössä olevia voimakertoimia. Tukireaktion arvo 1,0 vastaa kuorman jakautumista puoleksi tuen molemmilla puolilla. (Gaddes 2017)

Rakentaminen perustuu hyvin paljon normeihin ja sääntöihin. Nämä asiakirjat määrittävät pitkälti käytettävät rakennelaskelmien mallit, kuormat ja varmuuskertoimet sekä kuinka otetaan huomioon erilaiset turvallisuuteen ja erikoistapauksiin liittyvät asiat. Normien seuraaminen palvelee myös taloudellista ja ympäristöystävällistä suunnittelua. Hyvä puoli tässä on, että suunnittelijat eivät voi eikä heidän tarvitse tehdä subjektiivisia päätöksiä suunnitteluun liittyen. Näin ollen suunnittelija voi toimia melko puolueettomasti työssään. Normit ja standardit saattavat kuitenkin poistaa luovuuden suunnittelijan työstä, koska niitä joudutaan seuraamaan tarkasti osin myös oikeudellisesta syystä. Oikeuden edessä yleensä tarkastellaan, mitä normeihin ja standardeihin on asiasta kirjattu (Schneider et al. 1997, Fröderberg 2014).

Tieteen kehittyessä ja tiedon lisääntyessä suunnittelunormit myös muuttuvat. Nykyisiä suunnittelunormeja voidaan pitää melko monimutkaisina ymmärtää ja hallita. Suunnittelijalta vaaditaan paljon omatoimista opiskelua ja ymmärryksen luomista, jotta hän pystyisi toteuttamaan suunnittelua voimassa olevien sääntöjen ja normien mukaan. Kaavat voivat olla vaikeasti ymmärrettäviä, mikä aiheuttaa riskin virheen tekemiseen laskennassa. Kun laskennasta tulee haastavaa, on suunnittelijan laskentaa nopeuttaakseen helppo siirtyä käyttämään laskentaohjelmia, joiden hän olettaa todennäköisesti huomioivan suunnittelunormin vaatimukset. Tämä saattaa kuitenkin tarkoittaa, että suunnittelijalla ei ole täydellistä käsitystä tekemistään laskelmista ja niiden tuloksista. (Schneider et al. 1997, Fröderberg 2014)

Nopeat tietoliikenneyhteydet yhdessä tietotekniikan käytön lisääntymisen kanssa ovat mahdollistaneet suunnitteluyhteistyön ympäri maailman. Riskinä eri maiden suunnittelijoiden yhteistyössä on suunnittelunormien väliset erot. Mikäli suunnittelija ei tunne käytettävää normia, saattaa hän jättää oleellisia asioita huomioimatta suunnittelussa. Esimerkiksi Suomessa ei ole tarpeellista tarkastella maanjäristyksistä aiheutuvia kuormia, mutta Aasiassa nämä kuormat on huomioitava. Normeja on pyritty yhtenäistämään, kuten Euroopan maissa käytössä oleva Eurocode-normisto. Näistäkin löytyy eroja maakohtaisten liitteiden muodossa. Liitteissä tarkennetaan maakohtaisia poikkeuksia yhteiseen normiin verrattuna. Yhteinen normisto ei siis poista kaikkia eroja maakohtaisista suunnittelunormeista. (Schneider et al. 1997)

Ongelmia ja inhimillisiä virheitä saattavat aiheuttaa myös laskelmissa käytettävät eri mittayksiköt. Mitoitus eri mittayksiköillä voi aiheuttaa suuriakin eroja tuloksissa, kun mittayksiköille on eri suuruiset kertoimet standardeissa. Esimerkiksi Yhdysvalloissa käytettävän ACI Coden mukaan voi betonipalkin leikkauslujuuden V_c laskea joko käyttäen US- tai SI-mittayksiköitä.

$$V_c = 2\lambda\sqrt{f_c'}b_wd \quad (\text{lb.in.}) \quad (1)$$

$$V_c = 0.17\lambda\sqrt{f_c'}b_wd \quad (\text{SI}) \quad (2)$$

missä λ on betonilaadusta riippuva muunnoskerroin, f_c' on betonin puristuslujuus. b_w on palkin poikkileikkauksen leveys ja d on palkin tehollinen korkeus. (Hassoun et al. 2015)

Palkin laskennallinen leikkauskapasiteetti on pienempi, mikäli laskennassa käytetään väärää kaavaa. Merkittävä ero kaavoissa on alussa oleva kerroin. Inhimillisiä virheitä voi tapahtua myös tiedon syöttämisessä laskelmiin. Laskentaohjelma antaa tulokset perustuen annettuihin lähtötietoihin, joten syötetty tieto tulee olla virheetöntä ja siinä mittayksikössä, mitä kyseinen laskentaohjelma käyttää.

2.3 Rakenteiden vaurio- ja toiminnallisuusvirhetapauksia

Virheet eivät aina tarkoita sitä, että rakenteet sortuvat. Suunnitteluvirheiden seuraukset ovat erilaisia luonteeltaan sekä vakavuudeltaan. Rakenteet voivat virheiden seurauksena toimia puutteellisesti tai olla sopimattomia käyttötarkoitukseen. Seurauksena voivat kuitenkin pahimmillaan olla mittavat aineelliset ja taloudelliset menetykset tai virheestä voi koitua jopa ihmishenkien menetys. Rakenteiden toimivuuden virheet voidaan usein havaita vaurioina ja niitä pystytään mittaamaan (Josephson 2001, Schneider et al. 1997.). Esimerkiksi katon vedenpoiston toimivuus voidaan todeta helposti visuaalisesti tarkastamalla, pysyykö vesi paikallaan jossain katon osassa sateen jälkeen vai valuuko se pois suunniteltua vedenpoistoreittiä pitkin. Vaurioiden tai toiminnallisuusvirheiden ilmetessä ei aina voida kuitenkaan puhua virheestä suunnittelussa. Edellisen esimerkin mukainen lätäköityminen voi johtua myös esimerkiksi virheestä rakennustyön toteutuksessa. Usein virheen varsinaista alkuperää voi olla vaikea määrittää.

Seuraavissa kappaleissa on esitetty esimerkkejä rakenteiden vaurio- ja toiminnallisuusvirhetapauksista, joissa ainakin osasyynä on ollut rakennesuunnittelussa tehty virhe. On kuitenkin muistettava, että lähes poikkeuksetta virheisiin johtaa useat eri syyt ja esimerkkitalouksissa on tuotu esiin vain rakennesuunnittelun kannalta oleelliset osat.

2.3.1 Rakenteiden vaurioitumistapauksia

Laukaan ratsastusmaneesin sortuma

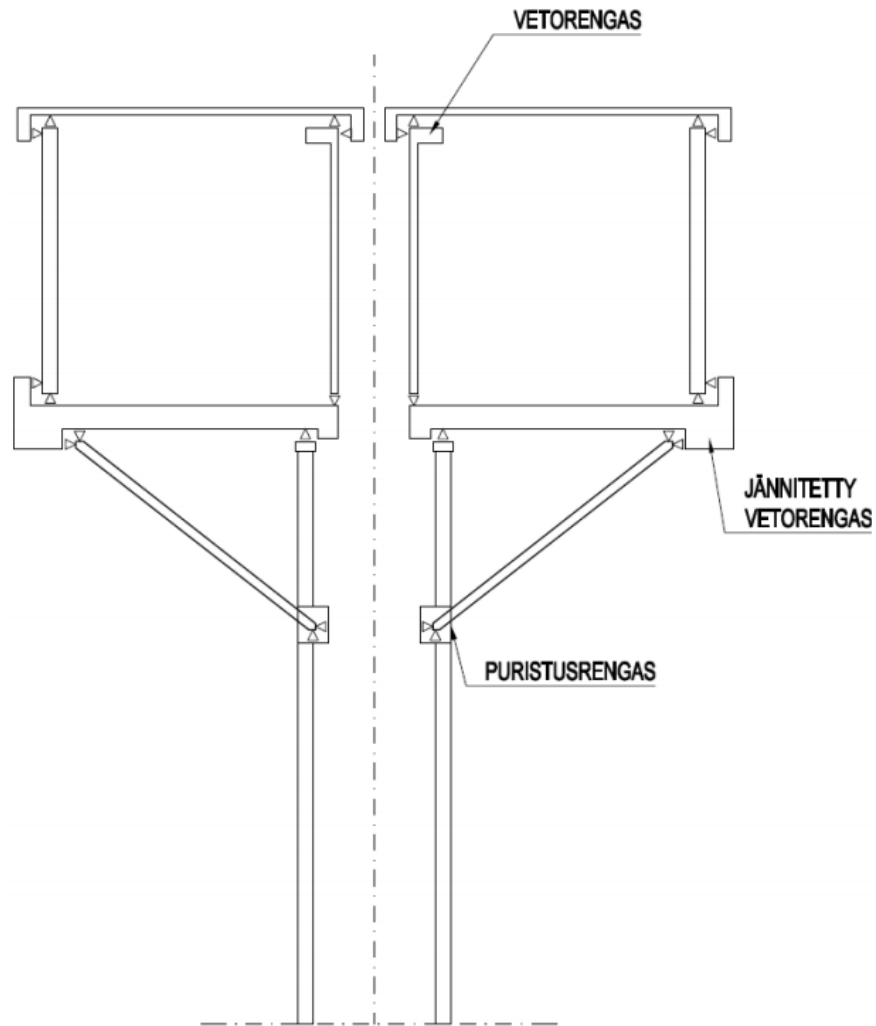
Vuonna 2013 Laukaan kunnassa sortui ratsastusmaneesirakennus (Kuva 4). Rakennus oli sortuman jälkeen käyttökelvoton, minkä lisäksi romahtus aiheutti henkilövahinkoja. Sortuneen rakennuksen kantava runko oli valmistettu seitsemästä teräksisestä kolminivelkehästä. Romahtamiseen johtaneita syitä oli tässä tapauksessa useita. Virheitä oli tehty suunnittelu- ja rakennusvaiheessa sekä teräsosien valmistuksessa. Kohteen rakennesuunnitelmissa oli puutteita, muun muassa valmisosasuunnitelmat ja liitosdetaljit puuttuivat kokonaan. Laskelmista puuttui myös oleellista tietoa, kuten mitoitusmenetelmä ja käytetyt osavarmuusluvut. Rakenteista otettiin tutkinnassa näytteitä ja teräskehille tehtiin laskenta-analyysi. Tutkintaraportissa todettiin, että kehän sauvojen hitsaus oli osittain mahdotonta, koska vierekkäiset sauvat oli suunniteltu liian lähellä toisiaan. Tarkastuslaskennassa todettiin osan sauvoista olleen alimitoitettuja. Myöskään jatkuvaa sortumaa ei oltu huomioitu vaan yhden kehän pettäminen johti ketjureaktioon. (Onnettomuustutkintakeskus 2013)



Kuva 4. Laukaassa sortunut ratsastusmaneesi. Rakennuksen kantavat teräskehät kaatuivat pistekatkoviivalla merkittyä linjaa kohti. (Onnettomuustutkintakeskus 2013)

Vesitornin romahdus Jyväskylässä

Säiliön ulkoreunan teräsbetonipalkin katkeaminen aiheutti tutkintaraportin mukaan Jyväskylässä elementtirakenteisen vesitornin äkillisen sortumisen vuonna 2012. Vuonna 1976 valmistunut vesitorni oli yksi 19:stä kyseisellä elementtimenetelmällä rakennetuista vesitorneista Suomessa. Vesitornin ympärillä kulkeva rengaspalkki (Kuva 5) petti. Palkki oli jälkijännitetty ja siinä käytetyt jänteet olivat valmistustapansa vuoksi alttiita vetymurtumalle. Rakennejärjestelmä oli uudenlainen ja siten rakenneosien pitkäaikaiskestävyydestä ei ollut saatavilla tietoa. Suunnitelmat oli tehty suunnitteluajankohtana hyväksytysti, vaikkakaan käytettyä normia ei oltu selkeästi merkitty suunnitelmiin. Vesitorni ei ollut osoittanut sortumisen merkkejä, mutta edellisten kuntotutkimuksen aikana vuosina 2002 ja 2012 rakenteissa oli todettu vaurioita, jotka edesauttoivat sortumaa. Muun muassa elementtisaumojen huonon kunnan vuoksi sadeveden oli mahdollista päästä rakenteisiin, mikä lisäsi teräksen korroosiota. Korroosio vapauttaa vetyä, joka mahdollisti vetymurtuman jänneteräksissä ja tässä tapauksessa rakenteen sortumisen. (Onnettomuustutkintakeskus 2012)



Kuva 5. Vesitornin rakenteellinen toimintaperiaate. (Onnettomuustutkintakeskus 2012)

Monitoimihallin katon osittainen sortuma Mustasaassa

Vuonna 2003 Vaasan Mustasaassa sortui kesken päivän osa monitoimihallin kattoa (Kuva 6). Hallissa oli tapahtumahetkellä urheilijoita harjoittelemassa, mutta tapahtuneesta selvittiin kuitenkin ilman henkilövahinkoja. 150 neliometriä kattoa sortui, kun jäykistysristikon kiinnityksessä petti korvakkeen hitsiliitos. Tutkintaraportin mukaan kyseisen liitoksen suunnitteluun ei oltu kiinnitetty riittävästi huomiota. Samankaltainen halli oli suunniteltu aiemmin ja sitä käytettiin suunnittelun pohjana. Hallien erona oli uudemman hallin katon korotus katsomon kohdalla, mikä vaikutti sen kohdalla korvakkeen kokoon. Pidemmän korvakkeen suunnittelussa oli mahdollisesti tehty mitoitusvirhe tai isompaa kuormitusta ei oltu huomioitu hallia suunniteltaessa. Raportin mukaan suunnitelma-asiakirjoja ei oletettavasti oltu tarkasteltu kriittisesti rakennusprojektin yhdenkään osapuolen toimesta. Lisäksi suunnitelma-asiakirjoista puuttui tarkastajan merkinnät, mikä viittaa siihen, että suunnitelmia ei ollut

suunnittelijan lisäksi suunnittelutoimistossa kukaan tarkastanut. Tämä on voinut vaikuttaa virheen säilymiseen suunnitelmissa ja sitä kautta siirtymiseen toteutukseen. Raportissa esitetään vähäiselle laadunvarmistukselle ja tarkastukselle mahdolliseksi syyksi suunnittelutoimistojen kovaa kilpailua, joka on johtanut tiukkoihin suunnitteluaikeita, alhaisiin suunnittelupalkkioihin ja sitä kautta suunnitteluun käytettävän ajan minimointiin. (Onnettomuustutkintakeskus 2003)



Kuva 6. Sortunut katto jäykistysristikon molemmilla puolilla. (Kuva: Onnettomuustutkintakeskus 2003)

Ronan Point kerrostalon sortuma

Virheistä voidaan oppia ja niistä seuraakin usein myös parannuksia suunnittelun käytänteisiin. Yksi esimerkki tästä on Englannissa osittain romahtanut Ronan Point kerrostalo. Kerrostaloasunnossa 18. kerroksessa käytössä ollut kaasuliesi oli unohtunut päälle ja asukkaan tulitikut sytytys aiheutti kaasuräjähdyksen. Räjähdyksen voimasta kantava ulkoseinä irtosi paikaltaan, jolloin ylemmältä kerrokselta poistui rakenteellinen tuki. Yläpuolella ollut laatta ei pystynyt kantamaan lisääntyneitä kuormia vaan se romahti ja aiheutti samalla jatkuvan sortuman kyseisessä nurkassa (Kuva 7). Onnettomuuden jälkeen jatkuvaan sortumaan alettiin kiinnittää huomiota ja rakennuksen suunnittelussa on tapauksen jälkeen alettu huomioida onnettomuustilanteessa kuormien uudelleen jakautuminen. (Schneider et al. 1997)

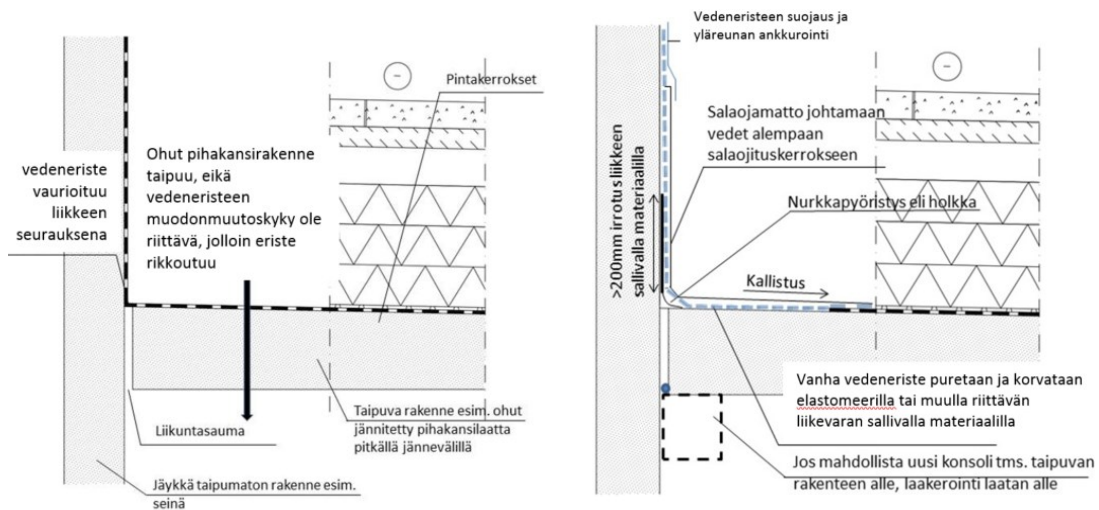


Kuva 7. Jatkuva sortuma Ronan Point kerrostalossa (Kuva:www.designingbuildings.co.uk)

2.3.2 Rakenteiden toiminnallisuusvirheitä

Riski taipuvan laatan liikuntasamaratkaisussa pihakansirakenteessa

Kuvan (Kuva 8) rakenneleikkauksen mukainen taipuva pihakansilaatta liittyy painumattomaan seinärakenteeseen kohdassa, johon on suunniteltu liikuntasäama. Vedeneristeelle ei ole kuitenkaan esitetty liikuntasäaman kohdalla liikettä sallivaa liitosta eikä sen materiaalilla ole riittävää muodonmuutoskykyä. Liikuntasäaman salliessa liikkeen vedeneriste saattaa vaurioitua ja aiheuttaa vesivuodon rakenteisiin. Uusi liitosdetaljivaihtoehto on esitetty kuvassa oikealla. Muutoksen jälkeen liikuntasäama sallii liikkeen ja vedeneristeen voidaan olettaa pysyvän ehjänä liikkeestä huolimatta. (Fise Oy 2016b)

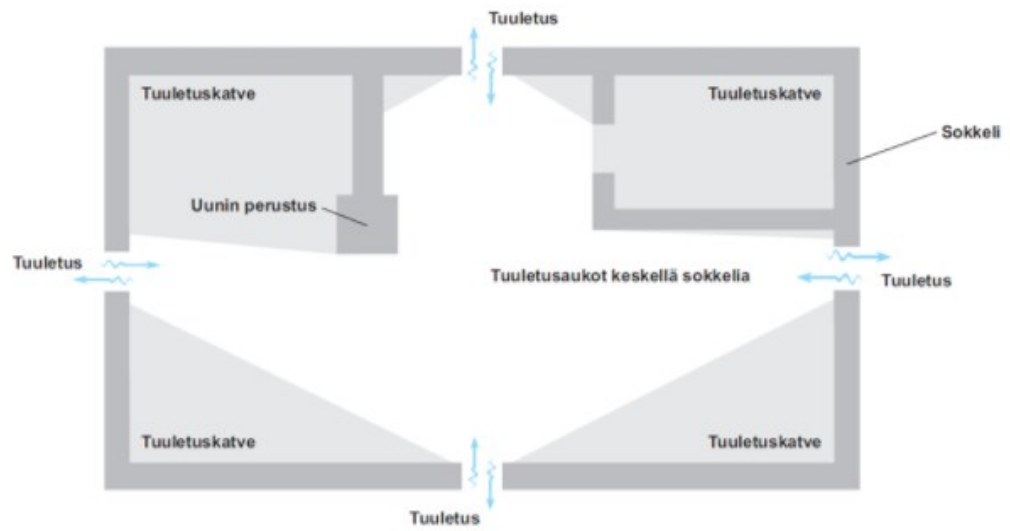


Kuva 8. Esimerkki riskin sisältävästä liitosdetaljista sekä mahdollinen korjaustapa. (Fise Oy 2016b)

Jos puutteellinen liitosdetalji on huomattu jo suunnitteluvaiheessa, seurauksena on vain suunnitelman päivittämisestä johtuvat kustannukset. Mikäli liitos on toteutettu riskialttiin detaljin mukaisesti, voidaan kohteessa joutua tekemään merkittävä korjaus. Vanhaa rakennetta täytyy purkaa sekä mahdollisista vesivuodoista aiheutunutta kosteutta on kuivattava. Kustannukset ovat korkeammat kuin suunnitelman muutoksessa. Lisäksi rakennus voidaan joutua korjauksen ajaksi poistamaan käytöstä kokonaan tai osittain.

Ryömintätilaisen alapohjan tuuletuksen riittämätön toiminta

Tuulettuvaksi suunnitellun ryömintätilallisen alapohjan tuuletus ei ole toimiva koko alapohjan alueella (Kuva 9). Tuuletusaukot sijaitsevat siten, että alapohjaan jää katvealueita, joissa ei ole tuuletusta lainkaan. Tuulettu suunniteltaessa ei ole huomioitu tilaa jakavia rakennosia, jotka estävät ilman liikkumisen tilassa. Tuuletuksella pyritään poistamaan alapohjatilasta ulko- tai sisäilmasta sinne kulkeutuva ylimääräinen kosteus. Huonosti tuulettuvassa alapohjassa kosteusrasitus aiheuttaa rakenteille mahdollisesti kosteus-, home- ja korroosiovaurioita. Vauriot voivat johtaa esimerkiksi rakenteiden kantavuuden heikkenemiseen tai sisäilmaongelmiin. (Fise Oy 2016a)



Kuva 9. Tuuletuskatveet alapohjassa. (Fise Oy 2016a)

2.4 Keinoja rakennesuunnitteluvirheiden vähentämiseksi

Suunnittelutyön laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi itse suunnittelutyöhön on panostettava ja osoitettava riittävät resurssit. Lopputuloksen virheettömyyden ja laadun ei pitäisi riippua vain laadunvarmistus- tai tarkastusmenetelmien toimivuudesta ja kattavuudesta vaan suunnittelijalla täytyy olla riittävä ymmärrys sekä tiedot ja taidot suunnittelutehtävän onnistuneeseen suorittamiseen. Virheiden välttämiseen käytettäviä ohjeita ja tarkastuslistoja voidaan käyttää suunnittelijan muistin tukena sekä inhimillisten virheiden tunnistamisen välineinä. (Fröderberg 2014)

Laadukkaiden ja virheettömien suunnitelmien saavuttamista tukee yrityksissä käytössä oleva toimintajärjestelmä, missä työntekijöitä veloitetaan laaduntarkkailuun. Laadunvarmistusprosessin avulla pyritään vähentämään suunnitelmissa olevia virheitä ennen kuin suunnitelmat toimitetaan eteenpäin projektin muille osapuolille. Laadunvarmistusjärjestelmät sisältävät esimerkiksi erilaisia tarkastusprosesseja. Rakennesuunnitelmien laadunvarmistus on perinteisesti toiminut siten, että kokeneemmat suunnittelijat tarkastavat tehtyjä laskelmia ja piirustuksia sekä tekevät niihin merkintöjä mahdollisista korjausta vaativista kohdista. Suunnitteluohjelmistoja käytettäessä on laadunvarmistusjärjestelmätkin päivitettävä vastaamaan tietokoneavusteisen suunnittelun vaatimuksia. (Aagaard et al. 2013)

Ei ole olemassa vain yhtä keinoa, jolla vähennetään rakennesuunnitteluvirheitä vaan prosessin on oltava jatkuvaa toimintaa koko projektin ajan. Tärkeää on oppia tehdyistä virheistä, minkä avulla voidaan luoda yksilöllisiä, organisaatio kohtaisia ja organisaatioiden välisiä rakennesuunnitteluvirheen ehkäisystrategioita (Davis et al. 2010.). Seuraavissa kappaleissa on esitetty tapoja rakennesuunnitteluvirheiden välttämiseen suunnitteluprosessin aikana.

2.4.1 Dokumentointi

Rakennesuunnitteluprojektiin liittyy paljon erilaisia asiakirjoja, kuten laskelmat, piirustukset sekä erilaiset sopimukset. Projektiin liittyvistä päätöksistä ja valinnoista on tehtävä selkeät dokumentit, mikä helpottaa projektihenkilöstön sisäistä ja eri osapuolten välistä kommunikointia. Dokumentin valmistelu auttaa myös sen tekijää ymmärtämään paremmin asiakirjan sisällön, kun tiedosta laaditaan yhteenveto selkeään muotoon. (Fröderberg 2014)

Rakennelaskelmia on laadittava jokaisesta kohteesta riittävä määrä. Laskelmista on tärkeää tehdä hyvin valmisteltu raportti, jossa esiintyy viittaukset, taulukot, kuvaajat, yhteenveto tai muu vastaava tulosten esittämistapa. Systemaattinen laskelmien läpikäynti sekä tulosten esittäminen yhteenvetona sisältävät todennäköisesti vähemmän virheitä kuin sekava laskelmien joukko. Laskelmien tulosten kokoaminen ja yhteenvedon tuottaminen antavat myös mahdollisuuden tutkia uudelleen omien laskelmien sisältöä ja laatua. Yrityksillä on myös hyvä olla käytössä selkeä ohje laskelmien esittämiseen, että kollegoiden on myös helpompi tulkita ja tarkastaa tehtyjä laskelmia. (Fröderberg 2014)

2.4.2 Tarkastaminen

Virheiden ennaltaehkäisyyn tulee varautua jo ennen suunnittelun aloittamista. Suunnitelmien tarkastamiseen ja läpikäyntiin on varattava riittävästi aikaa sekä resursseja. Liian tiukassa aikataulussa usein tarkastuksiin käytetään vain vähän aikaa. Ruotsissa toteutetun tutkimuksen mukaan keskimäärin 26% rakennusprojektin virheistä johtuvista lisäkustannuksista aiheutuu virheistä suunnittelussa, joista 20 % rakennesuunnittelusta (Josephson 1999). Mikäli suunnitteluvirhe huomataan riittävän aikaisessa vaiheessa, on sen seurauksena vain työtunnit ja niiden kustannus uuden suunnitelman laatimisesta. Tämän vuoksi on tärkeää tehdä suunnitelmien laadunvarmistusta läpi koko projektin. Eräs keino laadunvarmistuksen toteutukseen on erilaiset tarkastuslistat. Tarkastuslista koostuu asioista, joihin tarkastajan on kiinnitettävä huomiota tarkastusta tehdessä. Tarkastuslista toimii eräänlaisena muistilistana asioista, joita kyseisessä tehtävässä tulisi huomioida. Laadunvarmistusmenetelmät eivät kuitenkaan ota kantaa tiedon oikeellisuuteen vaan varmistavat, että tehtävässä on huomioitu oleelliset asiat (Fröderberg 2014).

Maankäyttö- ja rakennuslain 150 c § mukaan voidaan vaativissa hankkeissa vaatia suunnitelmien ulkopuolista tarkastusta. Tällä pyritään varmistamaan, että rakennuksen suunnitelmien mukaan turvallisuus ja terveellisyys ovat kunnossa. Tarkastusta voidaan vaatia myös, mikäli rakenteissa on havaittu vaurio tai epäillään virheen mahdollisuutta. Myös ratkaisuille, joiden toimivuudesta ei ole kokemusta tai varmuutta, voidaan määrätä ulkopuolisen asiantuntijan tarkastus.

2.4.3 Tietotekniikan hyödyntäminen

Suunnittelutyössä hyödynnetään tietotekniikkaa esimerkiksi laskentaohjelmia, laskentapohjia, visualisointiohjelmia, tietomalleja ja sähköisiä kirjastoja. Tietoa on saatavilla runsaasti verkossa ja sitä voidaan hakea nopeasti. Tietoa voidaan jakaa ammattilaisten välillä keskustelufoorumeilla tai yhteisöpalveluissa. Tietotekniikka mahdollistaa reaaliaikaisen viestinnän projektin osapuolien välillä. Viestinnän välineenä projekteissa voidaan käyttää muun muassa sähköpostia, tietomallia tai pikaviestiohjelmia. Mitä nopeammin tieto saavuttaa sen tarvitsijan sen vähemmän projektiin käytettävää aikaa menee hukkaan. Tietoliikenneyhteydet mahdollistavat nopean tiedon vaihdon sekä suunnittelun samanaikaisesti monen suunnittelijan toimesta esimerkiksi samassa tietomallissa (Hietanen 2005). Samaa tietomallia käytettäessä on kuitenkin muistettava rajata vastualueet päällekkäisen työn välttämiseksi. Tietotekniikkaa käytettäessä on tärkeä olla kaikille selkeät toimintaohjeet ja käytännöt, jolloin voidaan varmistaa sujuva yhteistoiminta (Love et al. 2011).

2.4.4 Koulutus, tieto ja ammattitaito

Koulutus antaa perustiedot ammatilliseen osaamiseen ja ymmärrykseen, mutta aloitteleva insinööri ei voi osata kaikkea heti valmistuttuaan. Rakennusprojektin eri osa-alueet vaativat paljon erilaista tietoa sekä ammattitaitoa, joka kertyy vuosien myötä. Nuoria ammattilaisia on ohjattava ja neuvottava uransa alkuvaiheessa, millä varmistetaan heidän kehittyminen ja ymmärryksen lisääntyminen. Fröderbergin (2014) mukaan aloittelevien ammattilaisten tietoja ja ammattitaitoa voidaan yrityksissä kehittää esimerkiksi seuraavilla keinoilla:

- **Valmennus ja valvonta**
 - Kokeneet kollegat ohjaavat nuoria ammattilaisia kehittämään ammattitaitoa
- **Riittävä aika**
 - opiskeluun, pohdintaan ja taitojen kehittämiseen
- **Yksinkertaistettujen menetelmien käyttö laskennan tukena**
 - Tarjoaa välineen laskennan tarkastukseen, luonnossuunnitteluun ja virheiden välttämiseen
- **Kokonaisvaltainen lähestymistapa**
 - Kokonaisuuden hallitseminen on tärkeämpää kuin yhden detaljin

- **Tarkastaminen**

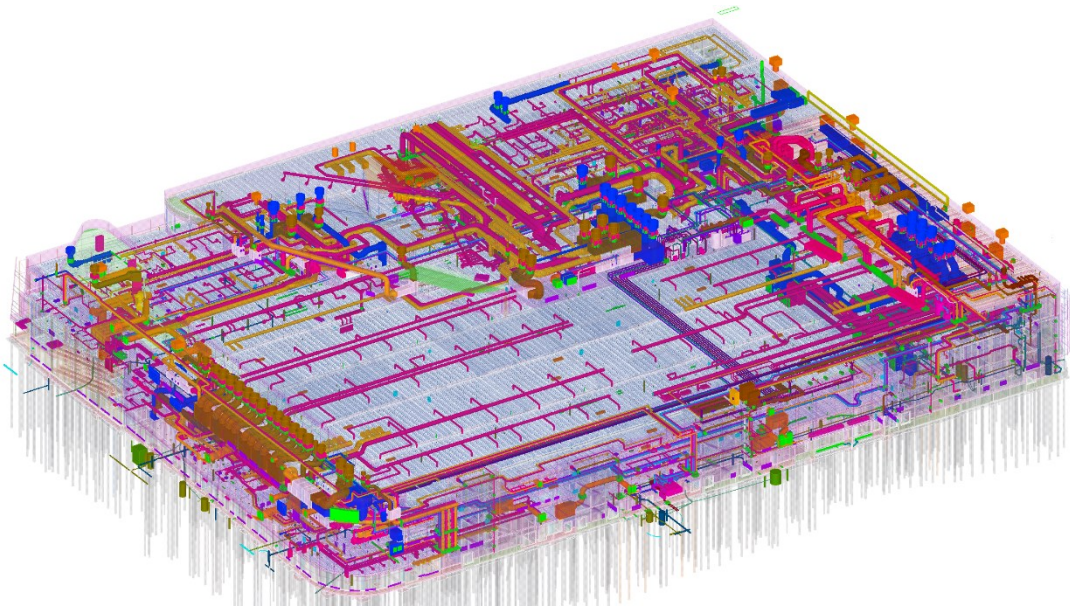
- Antaa ulkopuolisen näkemyksen, yhdenmukaistaa tietoa sekä kehittää näkemystä parhaista toimintatavoista

Oman osaamisen kehittäminen ei ole tarpeellinen vain nuorille suunnittelijoille. Rakentaminen muuttuu ja kehittyy koko ajan ja siinä tahdissa on kaikkien pysyttävä mukana. Uusia normeja ja sääntöjä on opeteltava sitä mukaa kun niitä julkaistaan. Omaan osaamistaan voi kehittää niin yrityksen sisäisten kuin ulkoisten koulutusten avulla. Muun muassa erilaisten laskenta- ja tietomallinnusohjelmistojen käytön hallitseminen on tärkeää, että niitä voidaan käyttää tehokkaasti apuna suunnitteluprosessia (Fröderberg 2014).

Omaa ammattitaitoaan voi todentaa hakemalla suunnitteluun liittyviä pätevyksiä. Suomessa pätevyyteen vaaditaan riittävä koulutus sekä tarvittava määrä työkokemusta. Esimerkiksi betonirakenteiden korkeimman vaatimusluokan, Poikkeuksellisen vaativa, pätevyyden saamiseksi on suunnittelijalla oltava ylempi korkeakoulututkinto sekä vähintään 10 vuoden kokemus kantavien rakenteiden suunnittelutehtävistä. Tarkemmin vaatimukset on esitetty pätevyksiä myöntävän FISE:n verkkosivuilla. (Fise Oy)

3 Tietomallinnus rakennesuunnittelussa

Tässä työssä tietomallina käsitellään tietomallinsohjelmalla tuotettua rakennuksen 3-ulotteista geometriamallia, joka sisältää 3-D -geometriatiedon lisäksi objekteille lisätyn muun tiedon. Tietomallin käyttö rakennesuunnittelussa ei ole sinänsä pakollista, mutta tietomallin käyttö on yleistynyt suunnittelun apuvälineenä. Suunnittelutyö voidaan tilata siten, että tietomallia on hyödynnettävä suunnittelutyössä. Suunnittelutoimisto voi myös halutessaan käyttää tietomallia suunnittelun apuvälineenä, vaikka sitä ei olisi vaadittu. Tietomallien avulla eri suunnittelualojen suunnitelmia pystytään sovittamaan yhteen ja havainnollistamaan visuaalisesti kolmiulotteisena mallina (Kuva 10) sekä jakamaan ajantasaista tietoa suunnitelmien etenemisestä. Hyödyn saaminen edellyttää kaikkien osapuolten laatimaa tietomallia sekä sitoutumista jatkuvaan suunnitelmien ja tietojen jakamiseen, sillä turhan työn välttämiseksi ei tietomallinnusta kannata aloittaa tai jatkaa ilman ajantasaista tietoa (Korpela 2011). Kiiressä tehdyt tai kiireen vuoksi puutteelliseksi jääneet lähtötiedot aiheuttavat riskin suunnitteluvirheisiin, joten suunnitteluun on varattava riittävästi aikaa ja resursseja.



*Kuva 10. Rakenne- ja talotekniikkasuunnittelijan yhdistelmämalli kohteesta Easton Helsinki.
(Kuva: www.tekla.com)*

Rakennuksen tietomalli on rakennesuunnittelijan työväline, jonka avulla suunnittelija pystyy jakamaan tietoa omasta osaamisalueestaan sellaiseen muotoon, että muut hankkeen osapuolet myös ymmärtäisivät sen. On hyvä muistaa, että tietomalli ei itsessään luo suunnitelmia vaan se muuttaa sille annetun tiedon suunnitelmaksi; tietomalliksi tai piirustusdokumentiksi.

Tietomalliin syötetty tieto säilyy sellaisenaan, vaikka se olisi jossain määrin väärää. Tietomallinnus ei korvaa perinteisiä rakennesuunnittelijan tehtäviä, kuten lujuslaskentaa tai rakenneanalyysyjä vaan se antaa alustan tiedon hallintaan sekä kommunikointiin eri osapuolten välillä. Tietomallinnus on vähentänyt joitain tavanomaisia virheistä rakennesuunnittelussa, kuten mitta- ja geometriavirheitä, mutta tuonut mukanaan uudenlaisia riskejä virheiden syntymiseen. Riskikohtien tunnistaminen ja niiden analysointi auttavat tuottamaan laadukkaita suunnitelmia rakenteiden toteuttamiseksi. (Hietanen 2005)

Tietomallinnuksen käyttö rakennusalalla on lisääntynyt, minkä vuoksi on ollut tarve määrittellä yhteiset pelisäännöt ja ohjeet rakennushankkeiden eri vaiheisiin. COBIM-kehityshankkeen tuloksena on julkaistu 14 osainen Yleiset Tietomallivaatimukset 2012 (YTV2012) täydentävine liitteineen, joka sisältää mallinnuksen ja tietomallin tietosisällön vähimmäisvaatimukset. Näiden vähimmäisvaatimusten lisäksi voidaan rakennushankekohtaisesti määrittää lisävaatimuksia, jotka on esitettävä suunnittelusopimuksissa. Tietomallinnushankkeen osapuolten on tutustuttava vähintään oman alansa vaatimuksiin sekä yleiseen ja laadunvarmistus osaan (RT 10-11066 2012). Yleisiä tietomallivaatimuksia ja niiden vaatimuksia rakennesuunnittelussa on käsitelty tarkemmin viime vuosina eri diplomitöissä (Hassinen 2016, Niskakangas 2014, Risulahti 2016).

Tietomallia voidaan hyödyntää projektin eri osapuolten lähtötietona, jolloin sen tietosisältö on oltava käyttötarkoituksen mukainen. Esimerkiksi määrälaskentaa varten on tietomallin oltava riittävän tarkka, että luotettavia määrätietoja voidaan hakea suoraan tietomallista. Tietomallista tehtävät analyysit on määritettävä ennen suunnittelun aloitusta, että kaikki osapuolet voivat tuottaa oikeanlaista tietoa muiden käyttöön. Hankkeen kaikkien osapuolten on tunnettava omat tietomallinnustehtävät sekä hankkeen sisäiset tavoitteet tietomallia koskien. (RT 10-11076 2012)

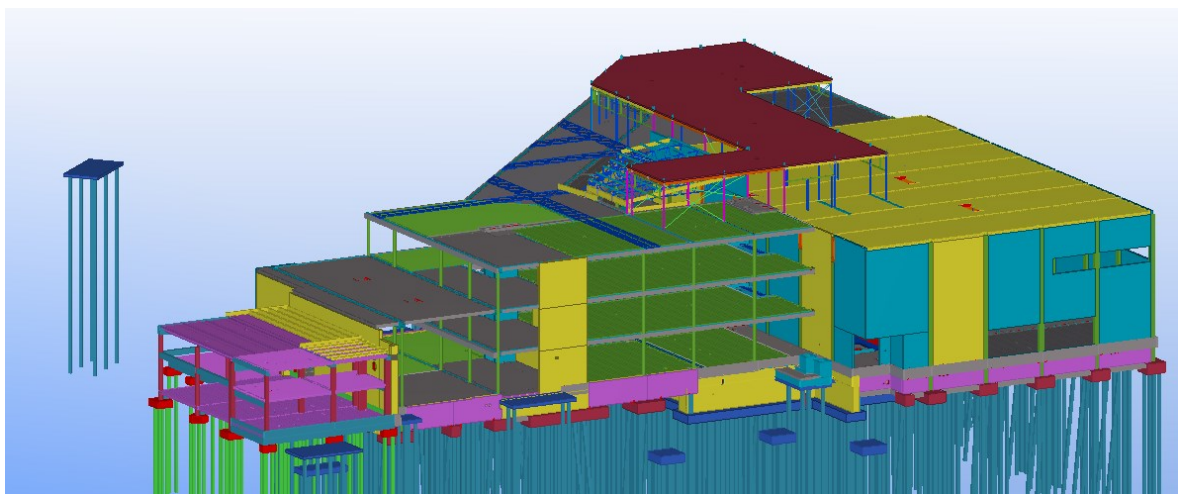
Tietomallinnukselle ja tietomallille määritetään:

- käyttötarkoitukset
- laajuus
- aikataulu
- tiedonvaihtotavat
- laadunvarmistus

- raportointivaatimukset ja
- dokumentointi

(RT 10-11076 2012)

Rakennesuunnittelija tuottaa oman rakennemallinsa (Kuva 11) tilaajalta ja muilta suunnittelijoilta saamiensa lähtötietojen perusteella. Tietomallinnetuissa talonrakennusprojekteissa tavanomaisesti lähtötietona käytetään arkkitehdin laatimaa tietomallia. Mikäli kohteessa ei ole mukana arkkitehtia, mahdollista on myös luoda suoraan rakennemalli, kuten teollisuusrakentamisen kattilalaitoksissa usein toimitaan. Rakennusosat mallinnetaan geometrialtaan oikein niille tarkoitetuilla objekteilla. Objekteihin voidaan lisätä tietoa esimerkiksi materiaalista tai pintakäsittelystä. Rakennukset sisältävät paljon osia, joita ei ole järkevää mallintaa tai niille ei löydy ohjelmistoista sopivaa mallinnusobjektia. Esimerkiksi jokaista naulaa tai lämmöneristettä ei kannata mallintaa, vaikka ne ovat tärkeä osa suunnitelmaa ja ne on esitettävä suunnitelmissa oikean lopputuloksen saavuttamiseksi. Näitä objekteja voidaan lisätä tietomallin 2D-piirustukseen joko tietomallin piirustusosiossa piirtämällä tai tekstitietona. Tarkempia detailjipiirustuksia voidaan edelleen tuottaa 2D CAD-piirustuksina, jolloin niihin viitataan tietomallissa esimerkiksi tekstitietona. (Nissinen et al. 2007)



Kuva 11. Rakennesuunnittelijan tietomalli. (WSP Finland Oy)

Perinteiseen suunnitteluun verrattuna varsinaisten 2D-piirustusten laadinta aloitetaan myöhemmin. Rakennuksen mallintamiseen käytetään alusta asti paljon aikaa, koska piirustukset tuotetaan tietomallin näkyminä (Hietanen 2005). Tämä tekee suunnitteluprojektista etupainotteista, joten aikataulussa suunnitteluun on varattava enemmän aikaa heti projektin alussa.

Tietomalleja jaetaan lähtötietona, mikä mahdollistaa reaaliaikaisemman suunnittelun yhteistyön eri osapuolten välillä (Al Hattab et al. 2013).

Tietomallinnus on nykyään tärkeä osa rakennesuunnittelijan suunnitteluprosessia ja suunnittelija on vastuussa tietomalliin syöttämästään tiedosta ja sen laadusta. Muut suunnittelijat voivat käyttää rakennesuunnittelijan tietomallia lähtötietona omassa työssään, joten sen sisältämä tieto tulee olla tarkoituksen mukaista tai määritettävä tarvittaessa epäluotettavaksi. Tästä johtuen on tärkeää, että tietomallin sisältämän tiedon laadunvarmistusta tehdään koko suunnitteluprosessin ajan eikä vain lopussa valmiiden suunnitteludokumenttien osalta. Rakennesuunnittelijan tietomallissa olevat virheelliset tiedot saattavat vaikuttaa myös muiden osapuolten suunnitelmiin ja tällöin virheen vaikutus kertaantuu. (RT 10-11071 2012)

Tietomallin tietosisältö tulee määrittää projektikohtaisesti siten, että se vastaa projektin tavoitteita ja on hyödynnettävissä mahdollisimman laajasti. Parhaassa tilanteessa tietomallia voivat hyödyntää projektin kaikki osapuolet omassa tarkoituksessaan. Tietomalli voi toimia kustannuslaskennan lähtötietona tai sen avulla voidaan tuottaa tärkeää analyysitietoa, kuten energia-analyyseja. Työmaa voi käyttää tietomallia tuotannon suunnittelussa ja aikataulutuksessa. Rakennesuunnittelija puolestaan voi tehdä rakenneanalyysijä ja siirtää geometriatietoa tietomallin ja laskentaohjelman välillä. (Nissinen et al. 2007)

Tietomallinnuksen uskotaan vähentävän virheitä niin suunnittelussa, rakentamisessa kuin ylläpidossa, mutta se ei kokonaan poista virheitä vaan saattaa siirtää, muuttaa tai jopa piilottaa niitä. Tietomallinnus tuo projektiin uusia ulottuvuuksia ja mahdollisuuksia, mikä lisää projektien kompleksisuutta sekä muuttaa osapuolten odotuksia ja vaatimuksia. Tietomallia käytettäessä vaatimukset saattavat olla tiukemmat kuin ennen, mikä aiheuttaa alan yrityksille uusia haasteita. Haasteena ovat muun muassa

- oletus, että projekti valmistuu nopeammin, mikä pakottaa yrityksiä kehittämään uudenlaisia suunnitteluprosesseja
- lisääntynyt koordinoinnin ja yhteistyön tarve, mikä ajaa kehittämään toimijoiden välille yhdistettyjä sopimuksia ja toimintatapoja
- tietomallinnuksen kehittäminen yrityksen sisällä siten, että sen käyttö olisi mahdollisimman vaivatonta projektien aikana
- henkilöstöltä vaadittavat uudenlaiset taidot

- uudet virheen mahdollisuudet, joita ennen ei ollut olemassa

(Love et al. 2011)

Tutkimuksessa (Korpela 2011) on huomattu tietomallinnusosaamisen olevan puutteellista ja asenteiden negatiivisia tietomallinnusta kohtaan, mikä näkyy haluttomuutena opetella uusia toimintatapoja sekä ohjelmistojen käyttöä. Rajoituksia uusien ohjelmistojen käyttöönotossa saattaa aiheuttaa investointien suuruus. Ohjelmiston käyttö vaatii lisenssin, jota maksetaan niin kauan kuin ohjelmistoa käytetään. Uusien ohjelmistojen käyttöönotto vaatii myös henkilöstön koulutusta, että sen käytöstä saataisiin irti mahdollisimman iso hyöty. Tietomallinnus vaatii myös projektiorganisaatioilta uusien tehtävien hallitsemista, kun yhteistyö eri toimijoiden välillä pyritään toteuttamaan tietomallia hyödyntäen.

3.1 Roolit projektiorganisaatiossa

Tietomallinnus on tuonut projektiorganisaatioon uusia rooleja kuten tietomallikoordinaattorin tehtävän sekä suunnittelualakohtaiset tietomalliasiantuntijat ja –vastaavat. Nämä projektiorganisaation jäsenet ovat yleensä vastuussa vain tietomallin ja mallinnuksen tietoteknisestä oikeellisuudesta ja laadusta, mutta eivät pääsääntöisesti suunnitelmien, esimerkiksi rakenneteknisestä tai arkkitehtonisesta, laadusta. Tietomallikoordinaattori on rakennuttajan valitsema riittävän pätevä henkilö, joka vastaa projektin tietomallinnussuunnitelmasta sekä eri suunnittelualojen välisestä tietomallinnustehtävien koordinoinnista. Hän vastaa usein myös yhdistelmämallin tuottamisesta ja yhteensovittamisesta. Suunnittelualojen tietomalliasiantuntijat puolestaan toimivat oman suunnittelualansa tietomallitehtävien vastuuhenkilöinä. (RT 10-11076 2012)

Siirtyminen 2D-suunnittelusta 3D-suunnitteluun vaatii muutosta yrityksen projektinjohtokulttuuriin. Kokeneilla suunnittelijoilla ja projektien vetäjillä on pitkä kokemus asiakkaan kanssa toimimisesta, suunnittelun kehittämisestä, projektin johtamisesta ja aikataulutuksesta, mikä on tärkeää menestyvälle yritykselle. Haasteena uusien suunnitteluvälineiden käyttöön otossa on oppia monella tavalla uudet toimintatavat vanhoihin verrattuna ja pystyä soveltamaan olemassa olevia taitoja uusien rinnalla. Nuoret suunnittelijat ovat perehtyneet tietomallintamiseen usein paremmin jo opintojensa aikana ja voivat siten jakaa osaamistaan muille. (Eastman et al. 2011)

Rakennesuunnittelijan on todennettava suunniteltavien rakenteiden lujuus ja vakaus sekä rakennusfysikaalinen toimivuus koko suunnitellun käyttöajan ajan. Rakennesuunnittelija voi joko itse siirtää suunnittelutiedon tietomalliin tai antaa sen tehtäväksi mallintajalle. Mallintaja ei välttämättä aina ole kovinkaan kokenut rakennesuunnittelija vaan tätä tehtävää hoitavat hyvin usein nuoret uraansa aloittelevat suunnittelijat (Eastman et al. 2011). Vastaavan suunnittelijan on pystyttävä jollain keinolla tarkastamaan suunnitelmien vastaavuus sekä oikeellisuus suunnitelmavirheiden välttämiseksi. Haasteena on, miten tietomalliin siirretty tieto voidaan tarkastaa, mikäli tarkastusta tekevä suunnittelija ei hallitse tietomallinnusohjelmiston käyttöä riittävästi.

3.2 Tietomallinnusohjelmistot

Yrityksiä, jotka kehittävät tietomallinnusohjelmistoja on markkinoilla useita, esimerkiksi Autodesk, Bentley Systems ja Trimble. Tietomallinnusohjelmistojen ominaisuudet eroavat usein toisistaan; ohjelmiston alustan ominaisuudet voivat olla optimoituja esimerkiksi arkkitehti-, rakenne tai talotekniikkasuunnitteluun. Ohjelmistoista löytyy työkaluja muun muassa mallin luontiin, piirustusten tekoon, törmäystarkasteluun, aikataulutukseen ja visualisointiin, joiden avulla voidaan edelleen tuottaa piirustuksia sekä erilaisia raportteja. Tietomallinnusohjelmistojen käyttöympäristöt ovat muokattavissa käyttäjäyrityksen tarpeiden mukaiseksi. Ympäristön avulla voidaan tuoda tärkeitä ominaisuuksia käyttäjän helposti saataville. Ympäristöt sisältävät myös objekti- ja kokoonpanokirjastoja, joihin voidaan luoda ja täydentää omia objekteja tai kokoonpanoja sekä käyttää niitä uudelleen seuraavissa projekteissa. (Eastman et al. 2011)

3.3 Tietomallinnus ja rakennesuunnitteluvirheet

Johansson et al. (2014) tunnistivat tutkimuksessaan kolme muotoa välttää suunnitteluvirheitä tietomallin avulla. Ensimmäinen keino on törmäystarkastelut, jotka poistavat objektien väliset törmäykset mallissa ja siten vähentää virheitä rakenteiden mitoissa sekä yhteensopiavuudessa. Toinen tunnistettu keino on tiedon jako tietomallin avulla. Ongelmaksi tiedonjakoossa tietomallin avulla voi koitua kuitenkin roolit ja vastuut. Tärkeää on määrittää mitä tietoa tietomalliin syötetään ja kuka on vastuussa tiedon oikeellisuudesta. On myös määritettävä mitä tietoa jaetaan muille osapuolille ja mikä jää omaan käyttöön. Kolmas tunnistettu keino

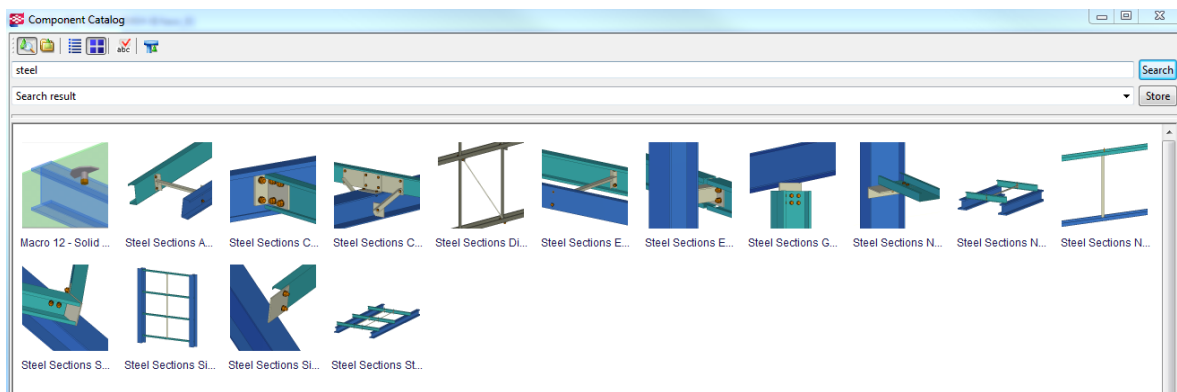
on tietomallin visuaalinen tarkastelu. Kokenut suunnittelija voi rakenteita visuaalisesti tarkastelemalla havaita virheitä, puutteita tai rakennettavuuden ongelmia.

Tietomallinnusohjelmistoja kehittävät yritykset pyrkivät luomaan kuvaa kehittämiensä ohjelmistojen käytön ylivertaisuudesta rakennusprojektin laadukkaampaan läpivientiin. Käytännössä on kuitenkin mahdotonta luoda tietoteknistä ohjelmistoa, joka poistaisi kaikki virheet, koska ohjelmistoja kehittää ja käyttäjinä toimivat ihmiset. Ihminen tekee inhimillisiä virheitä, joita saattaa ilmaantua juurikin ohjelmiston luomisessa ja sen käytössä. Tietomallinnusta ei tule pitää virheettömän suunnittelun avaimena, sillä siihen liittyy aikaisempaan verrattuna erilaisia riskitekijöitä. (Love et al. 2011)

Tietomallinnus mahdollistaa monimutkaisempien rakenteiden visuaalisen esittämisen ja havainnollistamisen, mitä pidetään tietomallinnuksen hyvänä puolena. On kuitenkin syytä muistaa, että monimutkaisemmat rakenteet johtavat usein myös monimutkaisempiin rakennanalyysiin. Rakennesuunnittelijalta vaaditaan yhä laajempaa rakenteiden toiminnan ymmärrystä ja analysoinnin hallintaa. Tietomallinnuksen hallitseminen ei siis riitä virheettömien rakennesuunnitelmien laatimiseen. Objektin geometria ja siihen liittyvät rakenteet voidaan tuottaa ilman kovinkaan laajaa tietämystä rakenteiden suunnittelusta pelkästään tietomallinnusohjelmiston käytön hallitsemisella. Tietomalliin tulisikin mallintaa vain objekteja, jotka todella on suunniteltu (Hietanen 2005). Suunnittelemattomat objektit saattavat jäädä tahattomasti mukaan aina toteutukseen asti, jolloin seuraukset voivat olla vakavat. Myös virheellisesti mallinnetut ja luonnokseksi tarkoitetut rakenteet ovat riski rakennuksen turvallisuudelle. Tietomallia visuaalisesti tarkastellessa rakenteet voivat näyttää oikeilta, mutta todellisuudessa sen rakenteellista lujuutta ei välttämättä ole tarkastettu. Tämän vuoksi tietomalliin on objekteille lisättävä tieto sen valmiusasteesta, että tämän kaltaisilta virheiltä voitaisiin välttyä (RT 10-11071 2012). Tieto tietomallin valmiusasteesta on pystyttävä viestimään suunnitteluryhmän sisällä sekä tietomallia jaettaessa muille projektin osapuolille.

Suunnitteluohjelmistot tarjoavat valmiita liitosdetaljeja (Kuva 12), joita voidaan käyttää rakenteiden mallintamisessa (Eastman et al. 2011). Käyttäjän omien detaljien luominen on myös mahdollista. Valmiiden liitosdetaljien kohdalla riskinä on niiden kestävyuden toteaminen. Liitoksen suunnitellut henkilö on saattanut laskea liitokselle virheellisen kapasiteetin

jolloin käytetyn detaljin kapasiteetti saattaa olla huomattavasti pienempi kuin ilmoitettu kapasiteetti. Tämä johtaa siihen, että detaljia on saatettu käyttää virheellisen arvon vuoksi monessa paikassa väärin. Liitoksen kopiointi tietomallissa on verrattain helppoa, mutta se on myös riski. Sama detalji ei välttämättä sovi seuraavaan kohteeseen tai virhe detaljissa tarkoittaa sata kertaa kopioituna sataa virhettä projektissa. Mikäli samaa detaljia kopioidaan toisiin projekteihin ja jossain vaiheessa huomataan, että detalji on virheellinen, niin se tarkoittaa virhettä kaikissa projekteissa.



Kuva 12. Esimerkki tietomallinnusohjelmiston tarjoamista valmiista liitosdetaljeista. (WSP Finland Oy)

Muutosten hallinta on parempi tietomallissa kuin 2D –suunnitelmia käytettäessä. Tietomallin avulla voidaan luoda ristiriidattomat piirustukset suunnitelmista. Tasopiirustukset ja leikkaukset ovat yhtenäiset, kun ne luodaan yhdestä ja samasta rakennuksen tietomallista. Näin välttyään riskiltä, että tietoa häviää suunnittelun aikana. Tietomallin etuna onkin sen nopeus muutoksia tehtäessä. Kun tieto on kerran mallinnettu, on tiedon muuttaminen nopeaa ja muutos tapahtuu kaikissa sen vaikutuspiirissä olevissa näkymissä. Edun saavuttamiseksi on kaikki tiedot sisällytettävä samaan tietomalliin. Rakennuksen tietomallista otettu näkymä, esimerkiksi tulostettu piirustus, on tietyssä mielessä uusi tietomalli, johon ei tule tehdä muutoksia vaan muutokset on tehtävä alkuperäiseen rakennuksen tietomalliin. (Hietanen 2005)

Rakennusprojektiin liittyy paljon asiakirjoja, joiden tietoa ei pystytä lisäämään tietomalliin. Rakennesuunnittelun kannalta yhtenä haasteena voidaan pitää rakennelaskelmien ja tietomallin tietojen yhdistäminen. Osa tietomallinnus- ja rakenteiden analysointiohjelmista osaa lukea toistensa tuottamaa tietoa, jolloin toisessa ohjelmistossa tehtävä muutos voidaan

siirtää ohjelmasta toiseen. Päivitys ei kuitenkaan tapahdu automaattisesti vaan se vaatii ohjelmiston käyttäjältä toimia. Muutoksen päivittyminen niin tietomalliin kuin laskelmiin on varmistettava ja tarvittavat korjaustoimenpiteet tulee tehdä. (Hietanen 2005)

Tärkeä osa rakennusprojektia on eri suunnittelualojen välinen yhteistyö. Selvityksen mukaan (Al Hattab et al. 2013) tietomallin käytöllä projektissa voidaan merkittävästi tehostaa tiedon kulkua verrattaessa 2D CAD suunnitteluun. Tietomallien avulla pystytään helpommin jakamaan ajantasaista tietoa sekä välttämään informaation puutteesta johtuvaa turhaa odottelua. Kun suunnittelua tehdään kaikilla aloilla rinnakkain, voidaan muutoksiin reagoida nopeammin. Näin vältetään suunnitteluvaiheen lopussa suunnitelmien merkittävilta muutoksilta sekä sen aiheuttamalta kiireeltä.

Tiedon syöttäminen tietomalliin onnistuu melko helposti ja tietomallin sisältämän tiedon etsiminen sekä tarkastaminen ovat ohjelmistojen avulla mahdollista toteuttaa erilaisilla säännöillä. Tietomalliin syötettävä tiedon on kuitenkin perustuttava käytettäviin normeihin ja standardeihin, koska tietomalli ei ainakaan toistaiseksi osaa arvioida sitä itse. Näin ollen tietomallia käytettäessä suunnittelijan vastuu tiedon oikeellisuudesta on merkittävä ja vaatii vahvaa osaamista omasta suunnittelualasta (RT 10-11071 2012).

Rakennesuunnitelmien laadunvarmistus on perinteisesti ollut kokeneen suunnittelijan visuaalinen tarkastus suunnitelma-asiakirjoista esimerkiksi piirustuksesta (Aagaard et al. 2013). Tietomallinnusprojektissa tämä toimii myös, mutta piirustusta tarkastaessa ollaan kiinni jo toimitettavassa asiakirjassa. Tietomallin oikeellisuutta voidaan tarkastella erilaisilla tarkastusohjelmilla esimerkiksi Solibri Model Checker tai ohjelmien sisältämällä tai niihin luoduilla työkaluilla. Näillä välineillä pystytään tarkastamaan mallin tietoteknisen sisällön oikeellisuus, mutta niitä voidaan hyödyntää myös suunnitelmien tarkastuksessa. Tietomallista voidaan ottaa raportteja, jotka sisältävät tietoa suunnitelluista rakenteista (Eastman et al. 2011). Rakenteista voidaan kerätä tietoa esimerkiksi materiaalin, koon tai määrän osalta, mitä voidaan verrata laskelmissa saatuihin arvoihin. Tietomallin avulla voidaan tarkastaa myös rakenteiden törmäyksiä, jolloin varmistetaan rakenteiden yhteensopivuus (Eastman et al. 2011).

Tietomallinnusohjelmistot eivät kykene vielä täydellisesti vastaamaan rakennesuunnittelun tarpeisiin. Kaikille rakennusosille ei löydy omaa mallinnusobjektia. Mikäli objekti halutaan tuoda tietomalliin, se voidaan luoda toisen osan objektilla ja nimetä uudella nimellä. Tämä kuitenkin aiheuttaa riskin, että jossain vaiheessa ohjelma ei osaa ottaa huomioon tietoa ja ohjelman käytöstä saatava hyöty häviää. (Fröderberg 2014)

Tietomallin tietomäärä kasvaa projektin edetessä, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia tietotekniikan kanssa. Laajoissa projekteissa, joissa tietomalliin siirretyn tiedon määrä on suuri, voi ohjelman käyttö hidastua merkittävästi (Eastman et al. 2011). Tämä vaikuttaa käyttäjän kokemukseen. Tietotekniikka on kuitenkin kehittynyt viime vuosina ja tehokkaiden laitteiden hinnat on laskeneet, mikä parantaa mahdollisuutta hyödyntää tietomallinnusta laajasti.

4 Tapaustutkimus

4.1 Kohdeyritys

Tapaustutkimus toteutettiin haastattelututkimuksena WSP Finland Oy:n Rakennetekniikan yksikössä. WSP on kansainvälinen monialainen suunnitteluyritys, jonka toimialoja Suomessa ovat talonrakentamisen rakennesuunnittelun lisäksi muun muassa arkkitehtuuri, inf-rasuunnittelu, korjausrakentaminen sekä sillat ja taitorakenteet. Yrityksessä työskentelee lähes 500 eri alojen ammattilaista ympäri Suomea ja 36 000 ympäri maailmaa.

Suomessa WSP:llä on käytetty tietomallinnusta rakennesuunnittelussa jo pitkään. Ensimmäisiä tietomallinnettuja rakennesuunnitteluprojekteja on tehty jo 1990-luvun alkupuolella, jolloin käytössä oli teräsrakenteiden mallinnukseen sopiva Teklan Xsteel –ohjelmisto. Sen pohjalta kehitetty Tekla Structures tietomallinnusohjelmisto on ollut yrityksen käytössä markkinoille tulostaan, vuodesta 2004 saakka.

WSP:n Rakennetekniikka yksikön erikoisalaa ovat suurien ja vaativien teräs- ja betonirakenteiden rakennesuunnittelu niin kotimaassa kuin ulkomaillakin: julkiset rakennukset, liike-, toimisto- ja asuinrakennukset, teollisuusrakennukset ja -laitokset, sekä vaativat korjausrakennuskohteet.

4.2 Tutkimuksen kohdeprojekti

Tutkimuksen kohteeksi valittiin Metropolia kampus –projekti. Kohteen suunnittelu oli haastatteluhetkellä toteutussuunnitteluvaiheessa, joten mahdollisuuksia ja riskejä oli pystytty jo tunnistamaan. Projekti oli myös rakenteiden kannalta monipuolinen. Kohteen rakenteet ovat betoni-, teräs- sekä liittorakenteita, joten tutkimuksessa voidaan saada tietoa eri tyyppisiin rakenteisiin liittyvistä menetelmistä.

Metropolia kampus on kuusikerroksinen Metropolia -korkeakoulun uusi kampus (Kuva 13), joka rakennetaan Helsingin Myllypuroon. Rakennuttajana toimii Kiinteistö Oy Myllypuron kampus / Helsingin kaupunki. Kohteen arkkitehtisuunnittelusta vastaavat yhteistyössä Arkkitehtitoimisto Lahdelma & Mahlamäki Oy ja Arkkitehtitoimisto Lehto Peltonen Valkama

Oy. Urakoitsijana kohteessa toimii YIT Oyj. Kohteen laajuus on 56 000 brutto m². (Metropolia.fi 2017)

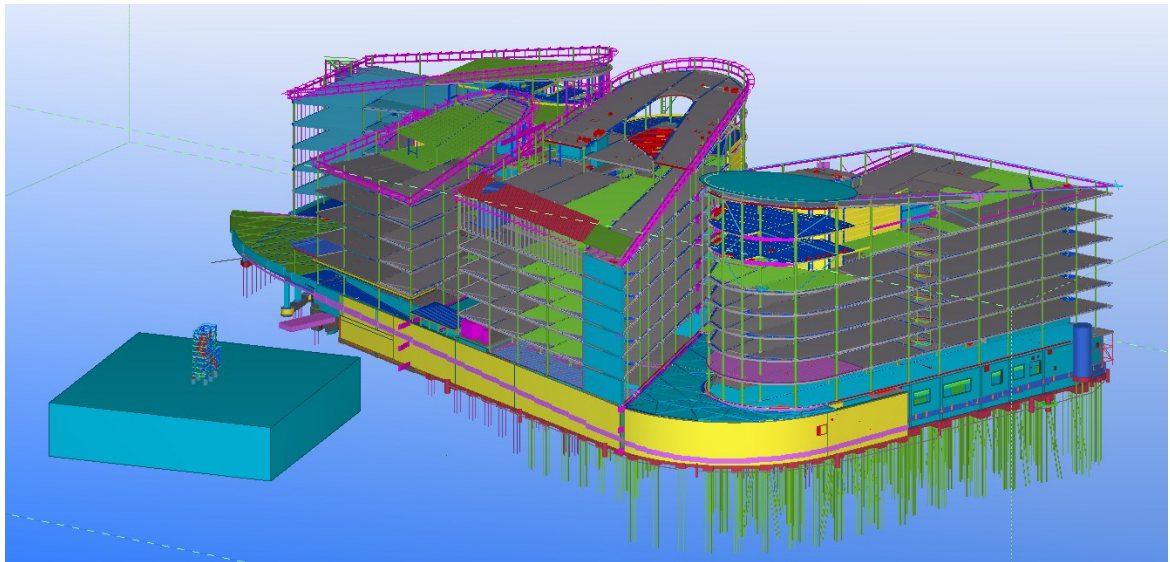


Kuva 13. Suunnitteluvaiheen havainne kuva. (Metropolia.fi 2017)

Kohteen rakennesuunnittelusta vastasi kohdeyritys WSP Finland Oy. Rakennuksen runko on suunniteltu pilari- ja laattaelementeistä. Pilarit ja palkit ovat liittorakenteisia ja tasot ontelolaattaelementtejä. IV-konehuoneen kantavat rakenteet ovat terästä. Kellarikerros toteutetaan pääasiassa paikalla valetusta betonista. Rakennesuunnittelijan tietomalli on luotu arkitehdin tietomallia lähtötietona hyödyntäen. Projektissa kaikki osapuolet hyödyntävät tietomalleja.

4.2.1 Tietomallinnus kohteen rakennesuunnittelussa

Rakennesuunnittelijan kohteessa käyttämä tietomallinnusohjelmisto on Trimblen Tekla Structures (ohjelmistoversio 21.0). Kohteen rakennemalliin (Kuva 14) on mallinnettu kantavat rakenteet. Objekteja tietomallissa on yhteensä yli 80 000 kappaletta ja tietomallissa tuotettuja piirustuksia noin 18 500 kappaletta. Suuri osa, noin 18 000 kappaletta, piirustuksista on teräsrakenteiden kokoonpano- ja osapiirustuksia tai kuori- ja ontelolaattapiirustuksia.



Kuva 14. Metropolia kampus, rakennesuunnittelijan rakennemalli on luotu Tekla Structures tietomallinnusohjelmassa. (WSP Finland Oy)

4.3 Haastattelututkimus

Haastattelututkimus kohdistettiin kohteessa mukana oleville rakennesuunnittelijoille. Haastattelu toteutettiin liitteen 1 (Liite 1) kysymysten avulla siten, että haastateltavat vastasivat kysymyksiin suullisesti ja tutkija teki haastattelusta muistiinpanot. Haastattelut nauhoitettiin tutkijan muistin tueksi haastateltavien luvalla. Haastateltavat saivat haastattelukysymykset nähtäväksi etukäteen ennen haastatteluajankohtaa. Haastatteluun valittiin viisi projektin työntekijää, jotka toimivat projektissa erilaisissa rooleissa. Lisäksi tutkijalla on ollut mahdollisuus tutustua projektin ohjeisiin, asiakirjoihin, tietomalliin, suunnitelmiin ja muihin dokumentteihin.

Haastateltavat olivat kokemuksensa, roolinsa sekä tietomalliosaamisensa osalta vaihteleva joukko. Haastateltavat olivat tutustuneet haastattelukysymyksiin etukäteen, minkä ansiosta haastattelut sujuivat ilman suurempia kysymysten väärin ymmärryksiä. Tutkijan asettamat kysymykset ymmärrettiin yleisesti niin kuin tutkija oli ne tarkoittanutkin. Mikäli kysymyksessä oli epäselvyyttä, haastattelija tarkensi kysymystä. Kaikkiin kysymyksiin saatiin kaikilta haastateltavilta jonkinlainen vastaus.

4.4 Haastatteluaineisto

4.4.1 Haastateltavien taustatietoja

Haastateltujen henkilöiden suunnittelukokemus vaihteli 1,5 ja 23 vuoden välillä (Taulukko 3). Jokainen haastateltava kertoi olleensa mukana tietomallinnusprojekteissa koko suunnittelu-uransa ajan. Epäselväksi jäi, onko projektit olleet tietomallinnettuja ainoastaan 3D-geometrian osalta vai onko projekteissa ollut mukana myös tietoa lisättynä objekteille, jolloin kyseessä olisi tämän tutkimuksen mukainen tietomallinnusprojekti.

Taulukko 3. Haastateltavien suunnittelukokemus vuosina sekä rooli projektissa

	Suunnittelukokemus	Rooli projektissa
Haastateltava 1	23	Projektipäällikkö
Haastateltava 2	18	Teräsrakenteiden vastaava suunnittelija
Haastateltava 3	10	Nuorempi projektipäällikkö
Haastateltava 4	1,5	Avustava suunnittelija
Haastateltava 5	6	Projekti-insinööri

Haastateltavista yksi ei juurikaan käytä tietomallia tutkimuksen kohteena olevassa projektissa. Neljä muuta haastateltua käyttävät projektissa tietomallia päivittäin ja arvioivat, että kykenevät käyttämään tietomallinnusohjelmistoa itsenäisesti sekä tarvittaessa neuvomaan myös muita. He myös haluaisivat edelleen kehittää omaa tietomallinnusosaamistaan sekä oppia hyödyntämään tietomallia ja sen tarjoamia työkaluja paremmin tulevissa projekteissa.

4.4.2 Roolit projektissa

Projektille oli nimetty projektipäällikkö sekä vastaavat suunnittelijat teräsbetoni- ja teräsrakenteille. Lisäksi projektiorganisaatiossa oli mukana muita teräs- ja betonirakenteiden rakennesuunnittelijoita sekä avustavia suunnittelijoita. Suunnittelu ja tietomallinnustehtävät oli jaettu karkeasti betonirakenteisiin ja teräsrakenteisiin. Tietomallikoordinaattorina toimi ulkopuolinen projektille nimetty henkilö. Tietomallikoordinaattori johtaa tietomallinnusta, minkä lisäksi kaikille suunnittelualoille on asetettu tietomallintamisen vastuuhenkilöt. Ra-

kennesuunnittelun osalta on määritetty tietomallivastaava sekä vastuuhenkilöt teräs- ja betonirakenteille, jotka tarkastavat tietomallin tietoteknisen oikeellisuuden. Tietomallivastaava edustaa rakennesuunnitteluyritystä suunnitelmien yhteensovituspalaverissa.

4.4.3 Laadunvarmistus- ja tietomallinnusohjeet

Projektin laadunvarmistusohje on haastateltavien mukaan laadittu projektin alkaessa yleisellä tasolla. Yksi haastateltavista ei ollut tutustunut laadittuun ohjeeseen. Kaikki haastateltavat nostivat selkeästi esiin tärkeänä laadunvarmistuksen ohjeena, että yksikään tuotettu suunnitelma tai piirustus ei lähde eteenpäin yrityksen ulkopuolelle ennen kuin laatija sekä kokeneempi suunnittelija on sen tarkastanut ja tarvittavat korjaukset on tehty. Haastateltavien mukaan tämä on myös toteutunut projektissa. Yhtenäistä tarkastuksen dokumentointitapaa ei oltu määritetty.

Projektille on laadittu projektikohtainen tietomallinnusohje, jota on päivitetty projektin edetessä. Tietomallinnusohje sisältää projektin yleistietoja, perustietoja koordinaatistosta ja referenssien tuomisesta malliin sekä itse tietomallin rakentamiseen liittyviä yleisiä ohjeita, joita ovat muun muassa rakennusosan mallintaminen, numerointi sekä lohko- ja phase-jaot. Lisäksi tekniikka-alakohtaisesti on laadittu projektille tietomallinnusohjeita avuksi kyseisen alan suunnittelijoille. Haastateltavat pitivät ohjeita selkeinä ja tarkoituksen mukaisina varsinkin projektin alkuvaiheessa tai kun projektiin on tullut uusia suunnittelijoita tai tietomallintajia.

4.4.4 Aikataulu ja resurssit

Projektin suunnittelu-aikataulu on haastateltujen mukaan tiukka ja se asettaa haasteita. Laadunvarmistukselle jäävää aikaa ei pääasiassa koeta olevan riittävästi, mutta tärkein laadunvarmistusprosessi on tiukasti käytössä. Piirustusten tarkastusta tehdään sisäisesti aina ennen niiden julkaisua projektipankissa. Haastateltavien mielestä aikaa tulisi olla enemmän laadunvarmistukselle, koska kiireessä virheiden riski kasvaa ja niiden huomaaminen on vaikeampaa. Aikaa tulisi olla enemmän myös tietomallin rakennetekniseen tarkastamiseen visuaalisesti. Tarkastusta tehdäänkin jo suunnittelutyön yhteydessä kaikkien tietomallissa työkentelevien toimesta. Mikäli tietomallissa huomataan poikkeama, siitä raportoidaan eteenpäin. Eräs haastateltava totesikin, että laadunvarmistus toimii parhaiten, kun se on yksinkertainen osa suunnitteluprosessia, jolloin sille ei tarvitse varata erikseen aikaa.

Resursseja koettiin olevan riittävästi projektin laadukkaan toteuttamisen varmistamiseksi. Projektin eri vaiheessa työntekijöille tuleva työkuorma kuitenkin vaihtelee, joten tarvittaessa on pyydetty avuksi muissa projekteissa työskenteleviä henkilöitä. Projektissa on huomattu, että piirustusten luonti ja muokkaus tietomallinnusohjelmistolla on aikaa vievää ja vaatii runsaasti resursseja. Yksi haastateltavista lisäisi projektille yrityksen sisäisen tietomallikoordinaattorin, joka avustaa tietomallinnuksen tietoteknisen oikeellisuuden tarkastuksessa. Näin tietomallivastaavalle jää enemmän aikaa myös tietomallin rakennetekniseen tarkastukseen. Rakennuksen monimutkaisen geometrian vuoksi mallintajia arvioitiin tarvittavan hieman enemmän työkuorman tasaamiseksi. Kokeneita rakennesuunnittelijoita, jotka pystyvät samalla rakentamaan tietomallia, pidettiin erityisen tärkeinä resursseina tämän projektin kaltaisissa suurehkoissa rakennesuunnitteluprojekteissa.

4.4.5 Rakennelaskelmat

Laskelmia on tuotettu monella eri tietokoneavusteisella laskentaohjelmalla sekä käsin paperille. Käytössä on ollut taulukko-, 2D- ja FEM sekä rakennustuotteiden valmistajien tarjoamia laskentaohjelmia. Laskelmat on tallennettu projektikansioon, mistä ne olivat löydettävissä. Rakennelaskelmien riittävästä määrästä oli haastateltujen kesken hieman eroa; kahden mielestä laskelmia on tehty riittävästi, kun taas kaksi vastasi ehkä ja yksi liian vähän. Ehkä vastauksissa esiin nousi suunnitelmien keskeneräisyys: osa rakennuksesta on suunnittelun osalta kesken, joten laskelmia on vielä työn alla. Liian vähän vastannut suunnittelija olisi toivonut laskelmien parempaa hyödynnettävyyttä aiempien projektien kokemusten tapaan. Esimerkiksi kattavamman FEM-laskentamallin luonti sekä sen tulosten hyödyntäminen laajemmin tietomallissa olisivat parantaneet suunnittelukokemusta.

4.4.6 Laadunvarmistusmenetelmiä

Laadunvarmistusta varten oli tehty yleinen ohje projektin alussa, jossa selvitetään laadunvarmistuksen periaatteet. Käytännön rakennesuunnitelmien laadunvarmistusta tehtiin työntekijöiden omien tottumuksien mukaan. Tarpeellisena koetaan, että rakennesuunnitelmien laadunvarmistus on systemaattinen prosessi, missä voidaan hyödyntää ammattimaisia tarkastuslistoja eri suunnitteluvaiheissa muistin tukena. Tietomallia hyödynnetään visuaalisessa havainnollistamisessa ja siitä on luotu myös apupiirustuksia laskennan sekä tarkastusten avuksi. Piirustusten tarkastuksen kanssa saman aikaisesti tarkasteltiin tietomallia visuaalisesti. Yhtä aikaa piirustuksia ja tietomallia tarkasteltaessa suunnittelija voi huomioida

myös mahdollisia piirustuksessa piilossa olevia liittyviä rakenteita. Liittyvien rakenteiden tarkastelu tietomallista koettiin olevan havainnollistavaa.

Teräs- ja betonirakenteiden suunnittelijat ovat ottaneet käyttöön erilaisia laadunvarmistuskeinoja työn edetessä. Yhtä yhtenäistä laadunvarmistuksen dokumentointitapaa ei ole määritetty vaan sitä on toteutettu suunnittelijoiden itse valitsemien ja hyväksi havaittujen menetelmien avulla. Tarkastukset todentavina dokumentteina toimivat esimerkiksi Excel-taulukko tai tarkastettu piirustus. Käytettyjä tarkastusmenetelmiä olivat piirustusten tarkastus tulostetulta paperilta tai näytöltä .pdf –tiedostosta. Piirustuksiin tehtiin merkintöjä ja kommentteja, joita piirustuksen laatija korjasi tarvittaessa tarkastuksen jälkeen. Hyvänä tapana pidettiin, että tarkastettavan tiedoston nimeä muokattiin aina sitä mukaa, missä vaiheessa tarkastus on menossa. Vaiheet olivat:

- Editoitu (Piirustus valmis tarkastettavaksi)
- Tarkastuksessa (Tarkastaja suorittaa tarkastusta)
- Tarkastettu + Ok / Korjattavaa (Tarkastus suoritettu)

Edellä mainittu tapa toimi, mikäli tarkastus suoritetaan sähköisesti esimerkiksi .pdf-tiedostosta tai käsin tarkastetusta piirustuksesta skannattuna. Tiedostoon merkitään myös tarkastuksen kommentit ja korjattavat kohdat.

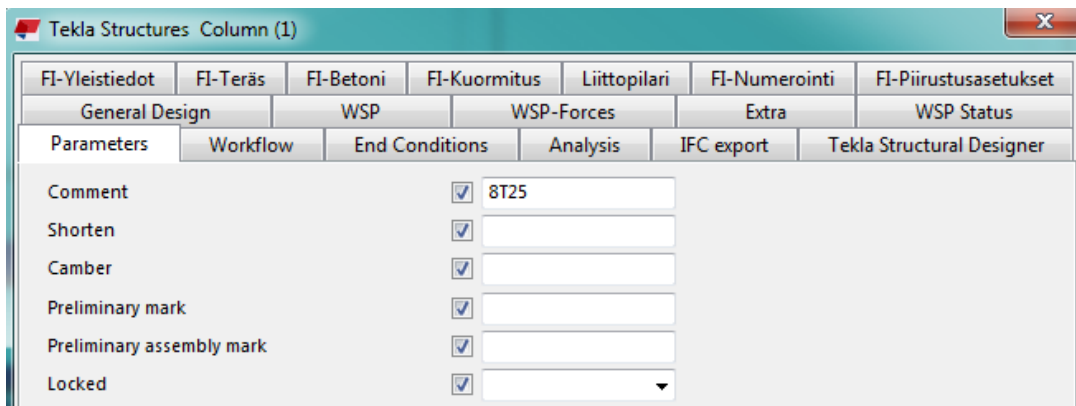
Haastateltavien mielestä paras tapa dokumentoida tehty tarkastus on taulukko tai lista, johon tarkastaja merkitsee tehdyn tarkastuksen sekä päivämäärän. Tietomallia on tarkasteltu visuaalisesti ja mahdollisia riski- tai virhekohtia sekä muutoksia suunnittelussa on esitetty viikkopalaverissa tai suunnittelijoiden välisissä keskusteluissa sähköpostin ja videopuhelun välityksellä. Tietomallista on otettu havainnollistamista varten snapshot –kuvia keskustelun tueksi. Tietomallia on myös tarkasteltu reaaliaikaisesti videopuhelun aikana jakamalla näytön kuvaa.

Projektin sisäiseen rakennesuunnitelmien laadunvarmistukseen on käytetty tietomallipohjaisia tarkastuskeinoja. Näissä tarkastusmenetelmissä on hyödynnetty objektien sisältämää tietoa sekä tietomallinnusohjelmiston tarjoamia erilaisia suodatusmenetelmiä. Seuraavissa kappaleissa kuvataan projektissa käytettyjä tietomallipohjaisia laadunvarmistusmenetelmiä, joissa varmistetaan laskelmien ja tietomallin välinen tiedon yhtenäisyys.

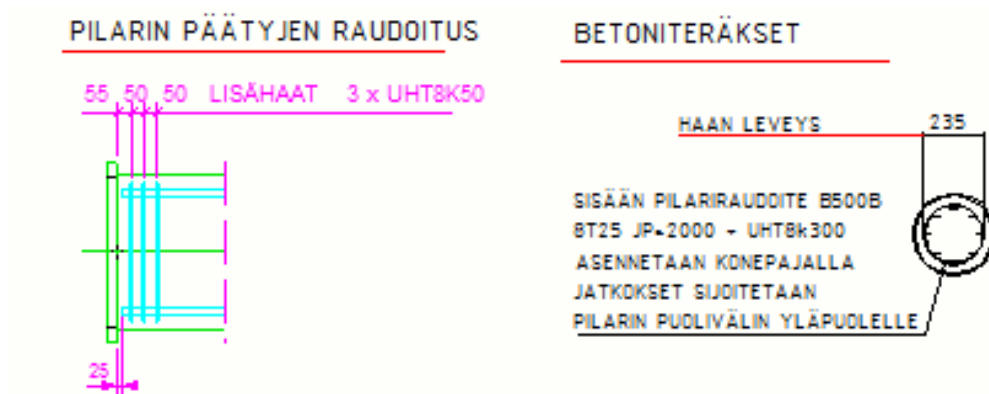
4.4.7 Tietomalli laadunvarmistuksessa

Esimerkki laskentatiedon lisäämisestä tietomalliin mallintajan tueksi

Projektissa ei luotu tietomalliin liittopilarien raudoituksia raudoitusobjekteina. Liittopilarien piirustukset luotiin kuitenkin tietomallin avulla, joten tieto raudoituksesta oli jollain keinolla lisättävä. Liittopilarista tehtyjen laskelmien mukaan liittopilariohjelmitille syötettiin tietomallissa osan kommenttikenttään manuaalisesti tieto kyseiseen pilariprofiiliin liittyvästä raudoituksesta esimerkiksi 8T25 (Kuva 15). Tämän tiedon perusteella ohjelmiston piirustusohjelmiston on tuotu oikea raudoitusdetalji ja luotu kokoonpanokuva (Kuva 16).



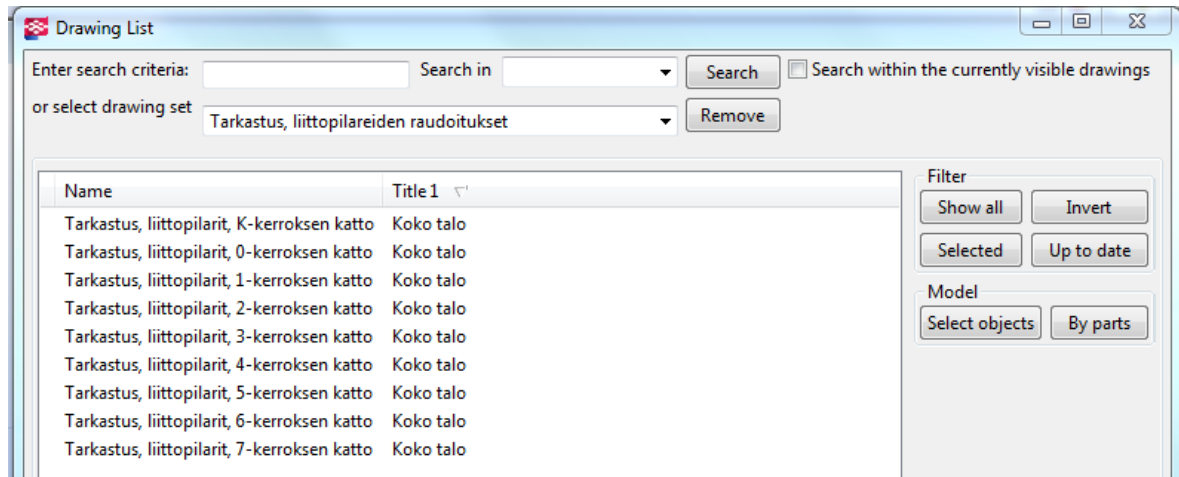
Kuva 15. Raudoitustieto objektin UDA-tietojen kommenttikentässä Tekla Structures -ohjelmistossa. (WSP Finland Oy)



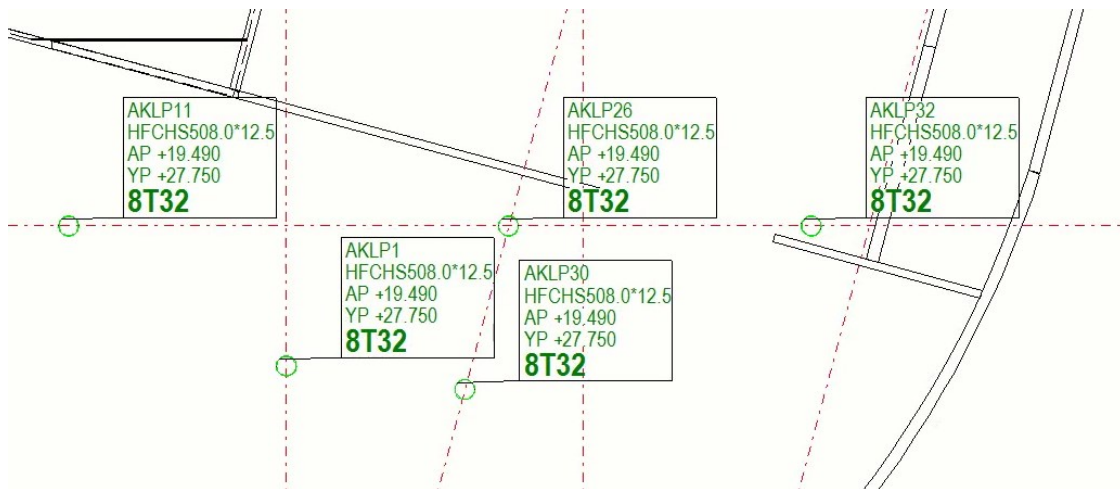
Kuva 16. Esimerkki raudoitusdetaljista liittopilarin kokoonpanopiirustuksessa. (WSP Finland Oy)

Lisäksi profiilin ja raudoituksen vastaavuuden pystyy tarkistamaan siihen tarkoitukseen luodun piirustusohjelmiston avulla kerroksittain (Kuva 17). Jokaisesta kerroksesta on erikseen luotu piirustus tarkastusta varten (Kuva 18). Piirustus luo tasokuvan määritetystä tasosta ja hakee

siihen etukäteen määritetyt objektin tiedot automaattisesti. Näillä keinoilla pystytään varmistamaan, että laskelmissa todettu raudoitus sekä tietomallin ja sitä kautta piirustuksen tiedot ovat samat.



Kuva 17. Tarkastuspiirustuksien lista Tekla Structures ohjelmassa. (WSP Finland Oy)



Kuva 18. Ote liittopilarien raudoituksen tarkastusta varten luodusta piirustuksesta Tekla Structures -ohjelmistossa. (WSP Finland Oy)

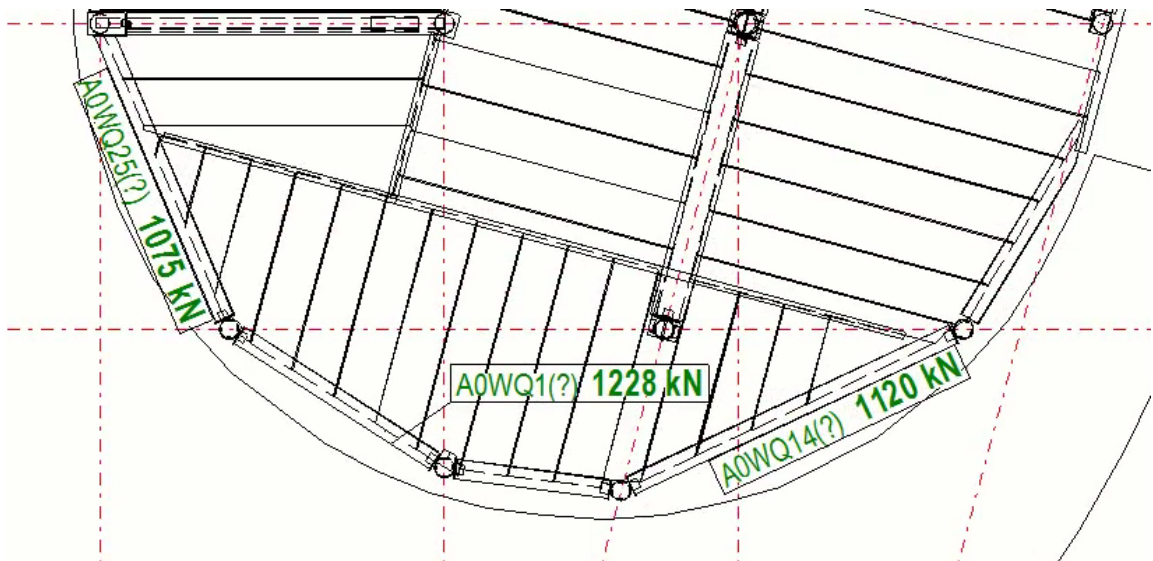
Liittopilarin ja WQ-palkin välisen liitoksen valintaa varten oli tietomalliin tuotu tieto WQ-palkin tukireaktioista. Tukireaktiot on laskettu erillisessä laskentaohjelmassa, mistä saadut tulokset on syötetty tietomallissa objektin comment -kenttään. Tukireaktion mukaan mallintaja pystyy määrittämään oikeanlaisen konsolin liitokseen. Erilaisia konsoleita on kolme, jotka on jaettu palkin tukireaktion mukaan. Konsolin luonnissa hyödynnetään makroa, joka

antaa jokaiselle konsolityypille etukäteen määritetyt asetukset, osat sekä osien materiaalit ja ainevahvuudet.

Konsolin määrittämiseen käytetään seuraavia raja-arvoja:

- Konsoli 1: tukireaktio < 750 kN
- Konsoli 2: $750 \text{ kN} \leq \text{tukireaktio} \leq 1200 \text{ kN}$
- Konsoli 3: $1200 \text{ kN} < \text{tukireaktio}$

Tietomalliin on myös luotu piirustus pohja (Kuva 19), joka luo piirustuksen sisältäen palkkeihin syötetyn kuormatiedon, mikäli se on määritetty. Piiruksesta voi siis tarkastaa onko kaikille palkkeille annettu kuormatieto sekä minkä kuorman mukaan kyseisen palkin konsoli valitaan.

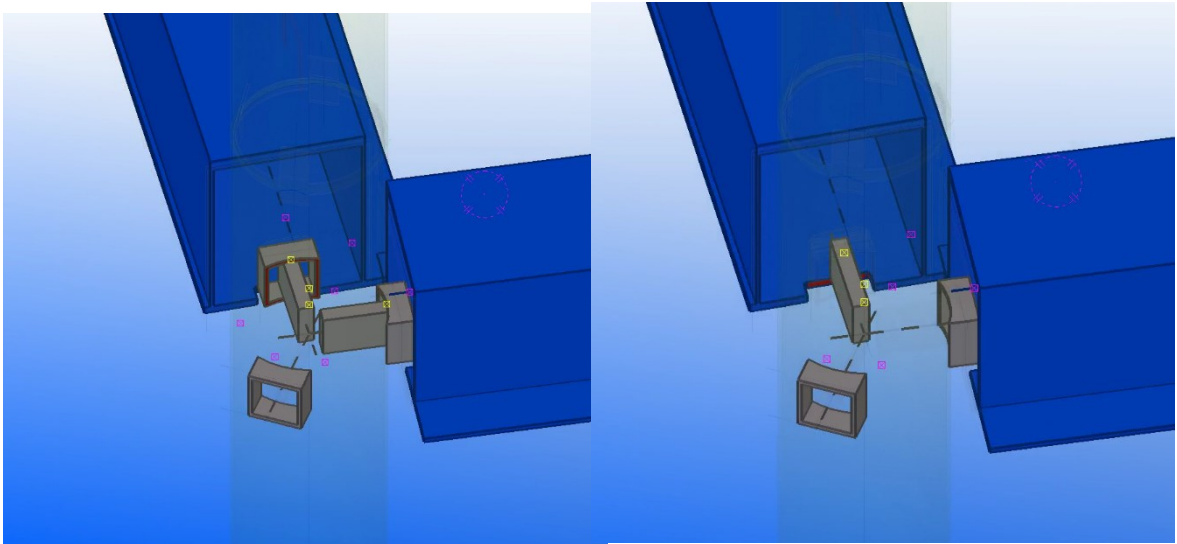


Kuva 19. Tietomallissa luotu piirustus, josta voidaan tarkastaa tukireaktio liitosdetaljin valintaan. (WSP Finland Oy)

Esimerkki valinta- ja näkymäfilttien käytöstä

Liittopilarin ja WQ-palkin välisen liitoksen tarkastukseen tietomallissa on käytetty visuaalista tarkastusta tätä varten luotujen valinta- ja näkymäfilttien avulla. Näkymäfilteri valitaan kohteen lohkojaon mukaan, jolloin tietomallissa näkyviin jää vain kyseisen lohkon rakennusosien objektit. Valintafilterin asetukset on määritetty siten, että valituiksi tulevat

kyseisen näkymän alueella vain ne liitoksen osat, jotka on määritetty pätemään kyseistä filteriä käytettäessä. Mikäli liitoksessa on oikean kokoinen konsolin profiili ja katastrofiteräs verrattuna palkin tukireaktioon, niin ne tulevat valituiksi kyseisestä liitoksesta (Kuva 20). Tällä tarkastuskeinolla voidaan tarkastaa laskennassa määritetyn liitoksen ja mallin liitoksen vastaavuus. Tarkastuksen tekijä ja päiväys kirjataan Excel-tiedostoon.



Kuva 20. Liittopilareiden konsolin visuaalinen tarkastus. Vasemman puoleisessa liitoksessa oikean kokoinen profiili sekä katastrofiteräs. Oikean puoleisessa liitoksessa kaikki liitoksen osat eivät tule valinnassa näkyviin, joten niiden profiilit ovat virheelliset. (WSP Finland Oy)

Kokoonpanolistojen hyödyntäminen

Tietomallista teräskokoonpanon sisältöä ja sisällön tietoja on tarkasteltu luomalla raportti hyödyntämällä ohjelmistoon ohjelmoitua makroa. Raportissa (Kuva 21) listataan muun muassa nimi, profiili ja materiaali. Raportista suunnittelija tai mallintaja voivat tarkastella mahdollisia poikkeamia. Mikäli poikkeamia esiintyy, on selvítettävä, onko kyseinen poikkeama suunnitelman mukainen vai onko mahdollisesti kyseessä virheellinen tieto. Raportin avulla voidaan myös tarkastaa, onko osista luotu jo piirustus.

Assembly	Part pos.	Main part name	Part profile	Material	Amount [pcs.]	Length [mm]	Weight [kg]	Drawing	Drawing Date	Rev	Revision Date
AKLP13(?)	AKL56	LEVY	PL50*100	S355J2+N	2	598	23,5				
AKLP13(?)	AKP22	LIITTOPIILARI	HFCHS508.0*12	S355J2H	1	8220	1255,6				
AKLP13(?)	AKP38	KONSOLI	CFRHS180X180X	S355J2H	2	92	5,6				
AKLP16(?)	Assembly	LIITTOPIILARI	HFCHS508.0*12		2	9400	1705,7	AKLP16(30.6.2016		
AKLP16(?)	AKL1	PÄÄTYLEVY	PL40*508	S355J2+N_Z2	1	508	62,9				
AKLP16(?)	AKL4	LEVY	PL40*600	S355J2+N_Z2	1	600	113,0				
AKLP16(?)	AKL9	KONSOLI	PL5*170	S355J2+N	4	195	1,3				
AKLP16(?)	AKL26	LEVY	PL10*334	S355J2+N	3	498	7,0				
AKLP16(?)	AKL41	LEVY	PL10*100	S355J2+N	6	165	1,2				
AKLP16(?)	AKL54	LEVY	PL50*100	S355J2+N	2	647	25,4				
AKLP16(?)	AKP24	LIITTOPIILARI	HFCHS508.0*12	S355J2H	1	9320	1423,6				
AKLP16(?)	AKP38	KONSOLI	CFRHS180X180X	S355J2H	4	92	5,6				
AKLP17(?)	Assembly	LIITTOPIILARI	HFCHS508.0*12		1	8300	1431,5	AKLP17(30.6.2016		
AKLP17(?)	AKL1	PÄÄTYLEVY	PL40*508	S355J2+N_Z2	1	508	62,9				
AKLP17(?)	AKL4	LEVY	PL40*600	S355J2+N_Z2	1	600	113,0				
AKLP17(?)	AKP67	LIITTOPIILARI	HFCHS508.0*12	S355J2H	1	8220	1255,6				
AKLP18(?)	Assembly	LIITTOPIILARI	HFCHS508.0*12		1	9400	1715,1	AKLP18(30.6.2016		
AKLP18(?)	AKL1	PÄÄTYLEVY	PL40*508	S355J2+N_Z2	1	508	62,9				
AKLP18(?)	AKL4	LEVY	PL40*600	S355J2+N_Z2	1	600	113,0				
AKLP18(?)	AKL9	KONSOLI	PL5*170	S355J2+N	4	195	1,3				
AKLP18(?)	AKL26	LEVY	PL10*334	S355J2+N	4	498	7,0				
AKLP18(?)	AKL41	LEVY	PL10*100	S355J2+N	8	165	1,2				
AKLP18(?)	AKL54	LEVY	PL50*100	S355J2+N	2	647	25,4				
AKLP18(?)	AKP32	LIITTOPIILARI	HFCHS508.0*12	S355J2H	1	9320	1423,6				
AKLP18(?)	AKP38	KONSOLI	CFRHS180X180X	S355J2H	4	92	5,6				
AKLP19(?)	Assembly	LIITTOPIILARI	HFCHS508.0*12		1	8300	1431,5	AKLP19(30.6.2016		
AKLP19(?)	AKL1	PÄÄTYLEVY	PL40*508	S355J2+N_Z2	1	508	62,9				
AKLP19(?)	AKL4	LEVY	PL40*600	S355J2+N_Z2	1	600	113,0				
AKLP19(?)	AKP25	LIITTOPIILARI	HFCHS508.0*12	S355J2H	1	8220	1255,6				
AKLP21(?)	Assembly	LIITTOPIILARI	HFCHS508.0*12		1	7855	1422,9	AKLP21(17.5.2016		
AKLP21(?)	AKL4	LEVY	PL40*600	S355J2+N_Z2	1	600	113,0				

Kuva 21. Raportti tietomallin teräskokoonpanojen sisällöstä. (WSP Finland Oy)

4.4.8 Suunnitteluvaiheessa tunnistettuja riskejä ja virheitä

Liittyvien rakenteiden huomioiminen

Riskinä mainittiin pelkkien piirustusten tarkastuksen kohdalla sen keskittyminen liikaa vain kyseisessä piirustuksessa esiintyviin rakenteisiin. Haastateltavan mukaan hyvä tapa on samanaikaisesti tutkia tietomallista piirustuksessa esiintyviä sekä siihen liittyviä rakenteita. Näin suunnittelija voi saada kokonaisvaltaisemman kuvan suunnitelmien toimivuudesta. Tämä tarkoittaisi myös sitä, että tarkastusta tekevien suunnittelijoiden tulisi pystyä käyttämään tietomallinnusohjelmistoa melko hyvin. Tietomallinnusohjelmassa pystytään poistamaan näkymästä objekteja, jotka mallintaja kokee tarpeettomiksi käyttämässään näkymässä. Tässä kuitenkin piilee riski, että piilottamalla liittyviä rakenteita, suunnittelija saattaa jättää huomiotta liittyvät rakenteet suunnittelussa. Tämän takia olisi syytä välttää liiallista mallin rajaamista.

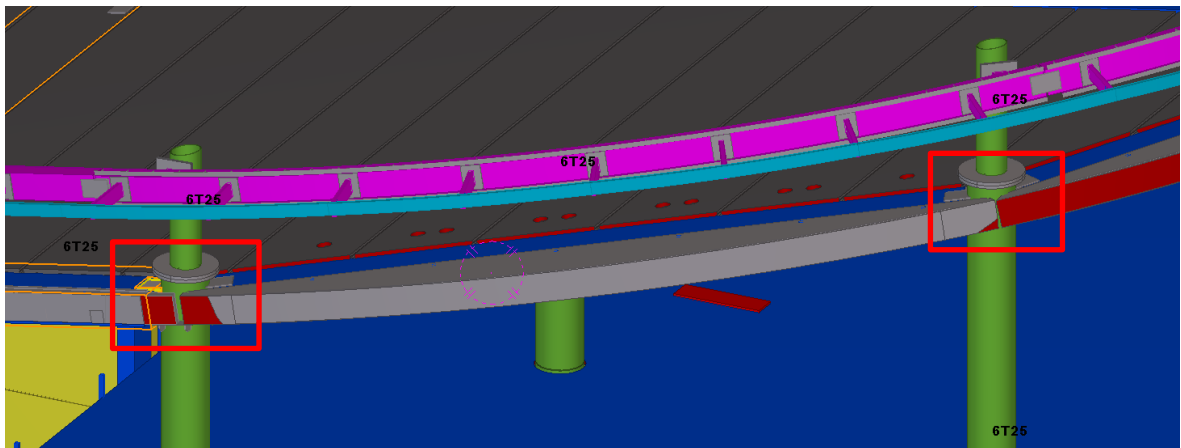
Suunnittelu rajapinnassa

Haastatteluissa nousi esiin riskinä suunnittelu sovittujen alueiden rajoilla. Jos suunnittelu eriytyy liikaa suunnitteluryhmien välillä, on virheen mahdollisuus merkittävä. Kommuni-

kointi ryhmien välillä on tärkeää, että välttyttäisiin ristiriidoilta. Haasteeksi koettiin tällaisessa tilanteessa vastuun asettaminen tai tunnistaminen eri suunnitteluryhmien vastuualueiden rajapinnassa. Erityisenä haasteena todettiin rajapinnassa sijaitsevien liitosten suunnitteluvastuu ja yhteensopivuus.

Rakenteiden asennettavuus

Tietomalliin osien luominen omille paikoilleen onnistuu ongelmitta, mutta todellisuudessa osat asennetaan työmaalla fyysisten rakennusosien mahdollistamalla tavoilla. Esimerkkinä tapaustutkimuksen kohteessa WQ-palkkeja asennettaessa huomattiin, että kyseisiä palkkeja ei pystytä asentamaan (Kuva 22). Pilarien, joiden väliin palkkia oltiin asentamassa, päällä oleva asennuslevy estää asennuksen, koska levyn reuna ulottuu pilarin ulkopuolelle niin paljon, ettei palkilla ole riittävästi tilaa laskeutua kannattimiensa päälle pilarien väliin. Asennettavuuden tarkastelulla tämä olisi voitu huomata. Ongelma olisi voitu havaita esimerkiksi simuloimalla asennustapahtuma siirtämällä palkkia tietomallissa asennuksen mukaisesti ylös ja alas.



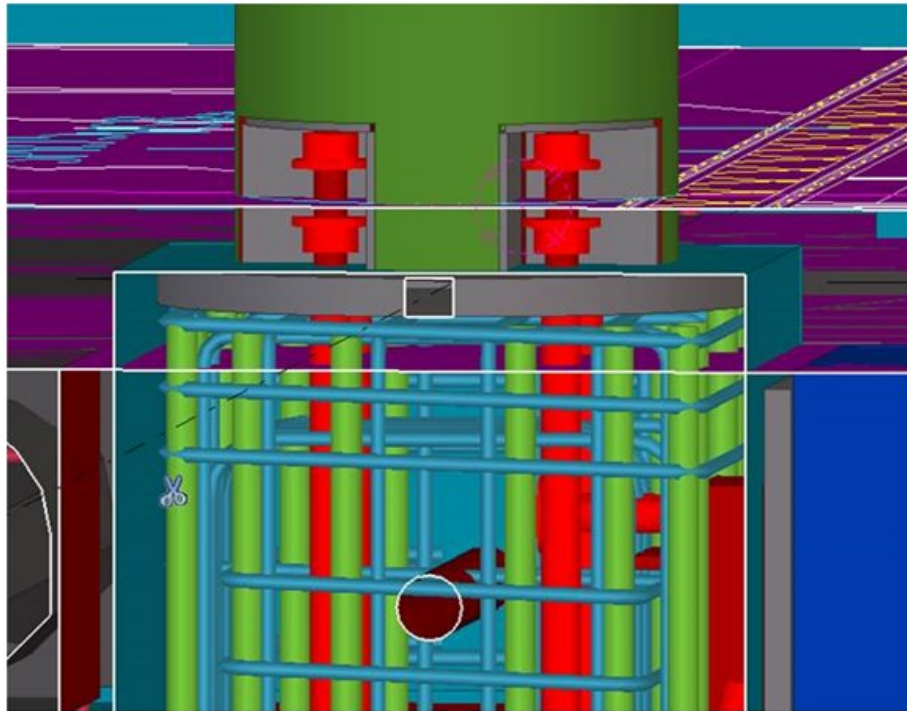
Kuva 22. Palkin asennus ei ollut mahdollista pilarin päällä olevien asennuslevyjen takia. (WSP Finland Oy)

Parametrisesti muuttuvat liitokset

Tietomallinnusohjelmisto sisältää valmiita makroja liitosdetaljointiin. Mallinnuksessa käytetään liitosmakroja, jotka luovat liitoksen kahden rakennusosan välille. Liitosmakron automatiikka toimii yleisesti hyvin, mutta ongelmia saattaa aiheuttaa liitettävät osat, jotka eivät ole esimerkiksi kohtisuorassa toisiinsa nähden. Liitoksen osat voivat muuttua merkittäväällä tavalla, jolloin kapasiteetti tai toimivuus kyseisessä kohdassa saattaa muuttua.

Rakenteiden törmäykset

Tietomallista tarkastelemalla huomattiin, että liittopilari ja alemman kerroksen betonipilari törmäivät toisiinsa (Kuva 23). Törmäyksen aiheuttajaksi epäiltiin, että liittopilaria on epähuomiossa muokattu siten, että sen korkeus on kasvanut. Haastattelussa todettiin, että tämän kaltaiset virheet voidaan huomata ja välttää tekemällä tietomallissa systemaattista törmäystarkastelua.

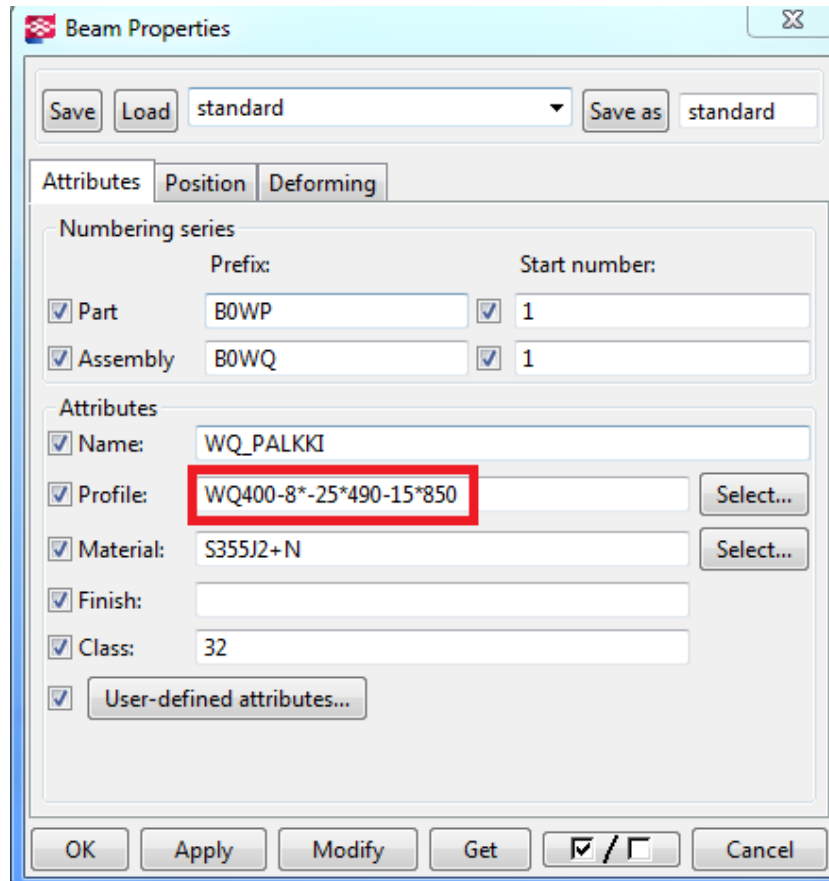


Kuva 23. Liittopilari ja alla oleva betonipilari törmäävät tietomallissa. (WSP Finland Oy)

Näppäilyvirheet ja virhepainalluksesta

Konsoli oli tietomallissa oikeassa korossa, mutta piirustuksen luonnissa oli piilokonsolin korko napautettu manuaalisesti väärästä kohdasta. Korko määrittyy siihen kohtaan, johon piirustuksen editoija on sen painanut. Haastateltava arvioi, että kyseessä on ollut inhimillinen virhe. Virhe olisi ollut hankala huomata edes visuaalisessa tarkastuksessa. Mikäli korko määrytyisi automaattisesti osien pintojen mukaan, olisi siinä riskinä, että ohjelmisto tulkitsee pinnan väärin.

WQ-palkin profiili oli syötetty virheellisesti (Kuva 24). Piirustuksessa eroa palkin muodossa ei juurikaan huomaa, mutta konepajalla palkkia valmistettaessa poikkeama huomattiin, koska profiili poikkesi normaalista standardin mukaisesta profiilista.



Kuva 24. Esimerkki mahdollisesta virhepainalluksesta profiilia määritettäessä. Numeron 8 jälkeen tuleva *-merkki muuttaa profiilia. (WSP Finland Oy)

Rakennusfysikaalinen tarkastelu

Haastateltavat nostivat esiin tietomallipohjaisessa rakennesuunnittelussa riskin siitä, että rakennusfysiikkaa ei huomioida suunnitelmia tehtäessä. Rakennesuunnittelijan tietomalliin ei yleensä mallinneta veden- tai lämmöneristeitä, mikä hankaloittaa rakenteiden rakennusfysikaalisen toiminnan visuaalista tarkastelua. Haastateltavat pitävät 2D-CAD piirustusten (leikkaukset ja detaljit) vertaamista tietomallin sisältöön rakennusfysiikan tarkastelussa tärkeänä. Myös arkkitehdin lähtötietomallia suositeltiin käytettävän referenssinä julkisivumateriaalien ja -rakenteen sekä muun arkkitehtisuunnittelun huomioinnissa.

Tietomallin tietosisältö

Piirustusta pidetään edelleen tärkeimpänä suunnitteludokumenttina. Haastateltavien mielestä siihen, että tietomalliin lisättäisiin kaikki suunnitteluun liittyvä tieto, ei tällä hetkellä ole tarvetta eikä keinoja. Mallin koko kasvaisi suureksi ja vaatisi paljon enemmän tarkastusta kuin aiemmin, koska nyt jo tietomalli sisältää paljon virheellistä tietoa ennen kuin suunnitelmat ovat täysin valmiita. Virheellisen tiedon ei haluta siirtyvän eteenpäin muille projektin osapuolille. Virheellisestä tiedosta mainittiin esimerkiksi betoniobjektien materiaalitieto, joka saattaa olla määritetty objektille oletettuna arvona tai ei ollenkaan. Tieto näkyy vain objektin tiedoissa ja oikea tieto lisätään usein tekstitietona piirustukseen. Tietojen ristiriitaisuus saattaa kuitenkin aiheuttaa ongelmia projektissa, kun tietoa jaetaan sekä tietomallissa että piirustuksissa.

Rakennesuunnittelijan tietomalliin lisätään välillä objekteja ilman, että näitä rakennusosia on ehditty tarkasti analysoida. Tämä on haastateltavien mukaan tyypillistä, sillä tietomallia on rakennettava, että voidaan nähdä, kuinka rakennus on toteutettavissa. Tietomallia käytetään myös muiden suunnittelijoiden lähtötietona, joten sitä on usein tehtävä eteenpäin suunnitelmien yhteensovittamisen helpottamiseksi. Osittaisena etuna tässä on, että tietomalliin luotua geometriatietoa on pystytty hyödyntämään laskelmissa. Riskinä puolestaan on, että tietomalliin luodut objektit tai kriittiset liitokset jäävät laskematta tarkemmin projektin aikana. Erityisesti juuri liitosten mallintamista ennen laskennan suorittamista haastateltujen mukaan tulisi välttää.

Tietotekniset haasteet

Tietoteknisinä haasteina tietomallinnuksessa pidettiin isoissa projekteissa tietomallin koon jatkuvaa kasvamista, joka usein hidastaa ohjelmiston käyttöä sekä heikentää käyttäjäkokemusta. Tapaustutkimuksen kohteessa tietomalli oltaisiin haluttu jakaa kahteen tai useampaan pienempään tietomalliin käytettävyyden parantamiseksi. Suunnittelumallin jakaminen osoittautui kuitenkin hankalaksi, sillä selkeitä rajoja esimerkiksi eri lohkojen välillä ei ollut helposti määritettävissä yhtenäisen kellaritilan takia. Riskinä mallin jakamisessa koettiin, että liikkuminen mallien välillä on hidasta tai suunnittelija joutuisi pitämään useita malleja yhtä aikaa käynnissä, joka saattaisi poistaa mallin jakamisella haetun edun ohjelmiston toiminnassa. Jaetun mallin liittymiskohdat toisiinsa olisivat myös olleet riskialttiita virheille. Tietomallin jakamiselle todettiin vaihtoehdoksi Model Sharing –ominaisuuden käyttöönottoa,

jossa tietomalli ladataan käyttäjän omalle tietokoneelle ja malliin tehdyt muutokset jaetaan sekä haetaan verkosta.

4.4.9 Projektin aikana tunnistettuja kehityskohtia

Haastattelussa haasteltavilta kysyttiin kehitysehdotuksia tuleviin projekteihin. Käytössä olevaa tietomallinnusohjelmistoa tulisi edelleen kehittää vastaamaan rakennesuunnittelun tarpeita vieläkin paremmin. Yhtenä tietomallinnuksen tehokkaamman hyödyntämisen esteenä nähdään se, että kaikki suunnittelijat eivät käytä tietomallia projekteissa. Tietomalliin tulisi myös pystyä lisäämään rakennesuunnittelutietoa, kuten tieto suunnittelun valmiusasteesta tai siitä onko rakenteelle suoritettu laskelmat. Kriittiset rakenteet, kantava runko sekä jäykistävät rakenteet olisi hyvä saada selkeästi näkyviin tai ne olisivat helposti tuotavissa esille tarvittaessa. Näin välttyttäisiin merkittävilta muutoksilta rungon toiminnassa.

Uusien suunnittelu-, mallinnus- tai tarkastustyökalujen käyttöönoton tulee olla haastateltavien mukaan yksinkertaista ja vaivatonta. Mikäli uuden työkalun käyttöönotto ei suju ongelmitta ensimmäisellä kerralla, sen käyttöön on suurempi kynnys palata myöhemmin uudelleen. Laadunvarmistusprosessin ja siihen käytettävien työkalujen tulisi myös olla riittävän yksinkertaisia. Haastateltavat kokevat haasteena uusien ohjelmistoversioiden vaikutuksen kehitystyössä, sillä vanhempaan versioon tehdyt työkalut saattavat olla uudemmissa versioissa käyttökelvottomia.

5 Tapaustutkimuksen tulokset

5.1 Havainnot

Tietomallinnusohjelmisto on rakennesuunnittelijalle apuväline suunnittelu- ja geometriatiedon esittämiseen sekä jakamiseen. Tietomallin etuna on sen visuaalinen havainnollisuus, mikä parantaa mahdollisuuksia tarkastella rakennusta suurempana kokonaisuutena. Tietomallinnettu suunnittelu vaatii hyvää osapuolten välistä kommunikointia niin yritysten sisällä kuin organisaatioiden välillä. Tietomalli sisältää paljon tietoa, jonka luotettavuuteen ei voida kuitenkaan aina täysin luottaa. Joissain tilanteissa tietomalleista saatetaan joutua jättämään mallinnusteknisestä syystä pois suunnittelutietoa ja lisätä tieto vasta piirustukseen. Tällöin tietomalli ja piirustus ovat ristiriidassa toistensa kanssa, mikä aiheuttaa riskin suunnitteluvirheeseen. Piirustukset ovat edelleen tärkein suunnitteludokumentti, joten käytännössä tietomalli voi sisältää virheellistäkin tietoa, kunhan piirustus muokataan vastaamaan suunnitelmia. Tämä ei ole suositeltavaa vaan tietomalliin tulisi sisällyttää vain oikeaa tietoa. Rakennusprojektin eri osapuolten tuottamia tietomalleja yhdistelemällä pystytään hallitsemaan suunnittelualojen suunnitelmien vastaavuutta, jolloin niiden väliset ristiriidat voidaan paremmin tunnistaa. Tietomalleja hyödynnettäessä on tärkeää hallita projekti kokonaisuutena ja pyrkiä jakamaan tietoa osapuolten välillä mahdollisimman paljon. Haasteena keskeneräisen tiedon jakamisessa on sen oikeellisuuden tarkastaminen ja määrittäminen. Suuresta tiedon määrästä voi olla hankalaa ja työlästä löytää yksittäinen virheellinen tieto varsinkin. Tietomalli on tärkeä väline lähtötietojen vaihdossa, minkä takia tietomallia joudutaan pitämään ajan tasalla, vaikka esimerkiksi rakennelaskelmat olisivat vielä kesken. Tästä syystä tietomalliin ja sitä kautta suunnitelmiin saattaa jäädä tietoa, jota ei ole ollut tarkoitus jakaa.

Rakennusten tietomallit sisältävät paljon tietoa, joten tiedon syöttämisessä on mahdollista tehdä virhe useassa kohdassa. Tietomallia rakentaessaan suunnittelija voi tehdä inhimillisiä virheitä, kuten esimerkiksi kopioida virheellistä tietoa objektien välillä, siirtää tai poistaa epähuomiossa oleellisia rakenteita tai rakenteiden osia, suodattaa piirustuksesta oleellista tietoa tai luoda piirustukseen näkymän väärästä suunnasta. Tällaisia virheitä voi tapahtua yhdestäkin väärästä asetuksen muutoksesta tai virhepainalluksesta. Ohjelmiston antamaan esitykseen ei siis pidä suoraan luottaa vaan sitä tulee tarkastella kriittisesti. Tietotekniikkaan luotetaan helposti liiankin suoraviivaisesti, jolloin ymmärrys rakenteiden toiminnasta voi heiketä.

Suuri tiedon määrä sekä sen hallitseminen ovat tietomallipohjaisessa rakennesuunnittelussa erittäin haastavaa. Lisäksi yhdessä projektissa työskentelee useita työntekijöitä erilaisella suunnittelu- ja mallinnustavoilla, jolloin ristiriitoja ja väärin ymmärryksiä todennäköisesti esiintyy projektin aikana. Yhteiset toimintatavat helpottavat päivittäistä toimintaa ja antavat selkeän linjan toiminnalle projekteissa.

Tietomallia hyödynnettiin tapaustutkimuksen kohteessa laadunvarmistuksessa muun muassa tiedon poikkeamien etsimiseen ja vähentämiseen. Tietomallinohjelmistoon luotiin keinoja varmistaa laskelman ja tietomalliin syötetyn tiedon vastaavuus. Myös erilaisia raportteja hyödynnettiin poikkeavan tai puuttuvan tiedon löytämiseksi. Ohjelmiston avulla kyetään esimerkiksi selvittämään, onko kaikista teräsrakenteiden kokoonpanoista ja osista luotu piirustus. Tieto parantaa osaltaan projektinhallintaa.

5.1.1 Laadunvarmistus projektissa

Tapaustutkimuksen kohteena olleessa projektissa laadunvarmistus on toiminut hyvin. Haastateltavat ovat löytäneet laadunvarmistusmenetelmien avulla suunnitelmista virheitä, jolloin niihin on pystytty reagoimaan ja tekemään tarvittavat korjaukset.

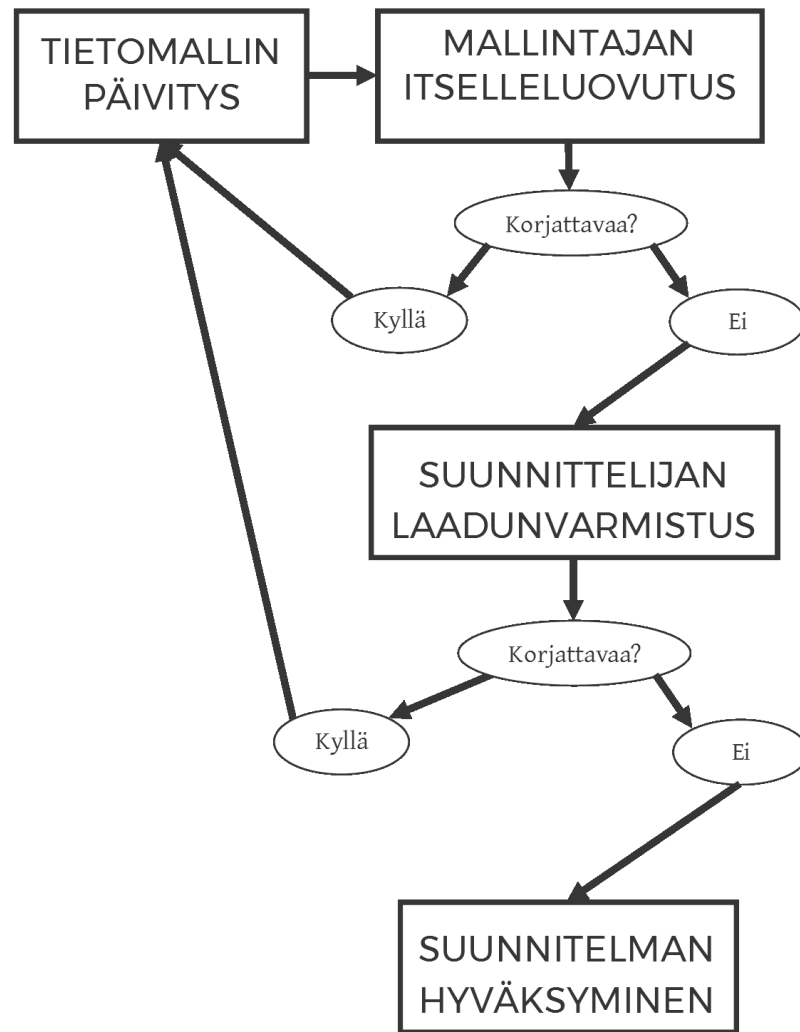
Rakennesuunnitelmien laadunvarmistuksen tulee olla yksinkertainen ja systemaattinen prosessi. Laadunvarmistusta tehdään läpi koko projektin osana jokapäiväistä työskentelyä. Laadunvarmistusta voidaan tehdä henkilö- ja organisaatiokohtaisella tasolla, jolloin vastuuta laadusta jaetaan jokaiselle projektin henkilölle eikä vain yhdelle laadunvarmistajalle. Laatu on yhteinen päämäärä ja se on määritetty osaksi yrityskulttuuria.

Rakennelaskelmien oikeellisuutta ei tietomallin avulla voida tarkastaa. Karkeita mitoitusvirheitä toki voi kokenut suunnittelija huomata tietomallia visuaalisesti tarkastelemalla. Suunnittelija voi myös visuaalisesti tarkastella rakenteiden rakennettavuutta. Tietomallinnetussa rakennesuunnitteluprojektissa tärkeää on rakennelaskelmien tulosten ja niiden perusteella rakennetun tietomallin vastaavuus. Laskelmista on tehtävä riittävän selkeä raportti tai yhteenvedo, jossa tulokset esitetään yksiselitteisesti. Tämä helpottaa mallintajan työtä, kun tietomalliin vietävä tieto on helposti saatavilla eikä ripoteltuna monisivuiseen laskelmaan.

Tieto suoritetusta laskelmasta tulisi sisällyttää tietomallissa objektiin, että voitaisiin varmistua tietomallin tiedon ja laskelman välisestä yhteydestä sekä todentaa suoritettu laskenta. Tietomallia joudutaan rakentamaan usein siten, että laskelmia ei välttämättä olla vielä rakennusosasta tehty. Tästä syystä tietomalliin objekteille on lisättävä tieto siitä, onko rakenteesta tehty laskelma. Myös tietyille työvaiheille, kuten elementtisuunnittelulle on järkevää käyttää valmiusasteen osoittavaa Status Tool –työkalua.

Tietomallinnuksen yhteydessä puhutaan usein tietomallikoordinaattorin tarpeesta. Tietomallikoordinaattori on projekteissa apuna tietomallin tietoteknisen oikeellisuuden varmistamisessa. Tämän lisäksi olisi syytä harkita rakennesuunnittelun ulkopuolisen tietomalliasiantuntijan roolia. Kyseinen henkilö vastaisi vain tietomallin rakenneteknisestä tarkastelusta siten, että hän ei välttämättä olisi mukana muuten kyseisen kohteen suunnittelussa. Tällöin hän voisi kriittisesti tarkastella rakenteita ja suorittaa tarvittaessa tarkastuslaskelmia. Kyseiseltä henkilöltä vaadittaisiin vahvaa kokemusta rakennesuunnittelutehtävistä sekä hyvää tietomallinnusosaamista. WSP TS-komentointityökalu olisi tarkastuksen teossa hyödyllinen apuväline. Työkalun avulla malliin voidaan lisätä eri värisiä ”kommenttitatteja”, jotka ilmaisevat kommentin laadun tekstitiedon lisäksi. Laskelmien ulkopuolista tarkastusta tehdään jo vaativimmissa projekteissa, jolloin tämän tarkastuksen voisi laajentaa koskemaan myös tietomallia vaativissa rakennesuunnittelukohteissa.

Automaattisten tarkastustyökalujen tehokas käyttö vaatii tiukkaa mallinnuskuria sekä systemaattista tiedon lisäämistä tietomalliin. Luodut tarkastussäännöt toimivat vain, mikäli mallinnus on toteutettu laadittujen ohjeiden mukaan. Jotta tietoa voidaan tarkastaa tietomallista, on sinne annettava tarkoituksen mukaista tietoa oikeassa vaiheessa. Tietomallin tietoteknisen oikeellisuuden tarkastaminen tulee olla mallintajan vastuulla ja rakennetekninen suunnittelijan vastuulla. Tarkastusta on tehtävä säännöllisesti esimerkiksi Kuva 25 mukaisen prosessin mukaisesti.



Kuva 25. Tarkastustoiminnan prosessikaavio.

Mallintajan on tehtävä tekemästään mallinnustyöstä tarkastus, jossa hän tarkastaa seuraavien tietojen oikeellisuuden:

- Nimi
- Class
- Phase
- Materiaali
- Cast Unit type (betonirakenteilla)
- Rakenneosa
- IFC Entity

Päivittäisen tarkastuksen lisäksi mallintajan tulee tehdä dokumentoitava tarkastus isommasta mallinnetusta osa-alueesta, kuten kerroksesta tai lohkoista. Tarkastusta on tärkeää suorittaa usein, sillä erilaisten työkalujen käyttö vaatii tietomallin tietoteknisen oikeellisuuden. Tietomalli tarkastetaan kokonaan aina ennen kuin se julkaistaan, vaikka pienempien osioiden tarkastusta oltaisiinkin jo tehty. Myös törmäystarkastelu on syytä tehdä tasaisin väliajoin, vähintään ennen tietomallin julkaisua. Tietomallissa huomattu ja korjattu virhe vie vähemmän aikaa kuin valmiissa piirustuksessa huomattu virhe. Tietoteknisen oikeellisuuden lisäksi on tarkastettava rakenteiden rakennetekninen sekä rakennusfysikaalinen toimivuus. Suunnittelijan tekemässä rakenneteknisessä tarkastuksessa tulisi huomioida seuraavat asiat:

- Rakennusosien liittyminen muihin rakenteisiin
- Rakennusfysiikan huomiointi suunnittelussa
- Rakenneteknisten asioiden huomiointi suunnittelussa
- Rakennettavuuden/asennettavuuden tarkastelu
- Laskelmien ja tietomallin tietojen vastaavuus

Käytössä olevat laadunvarmistusohjeet on kerätty projektissa sisäistä käyttöä varten. Seuraavan projektin alkaessa on suunnittelijoilla mahdollisuus ottaa käyttöön edellisissä projekteissa käytössä olleita ohjeita, mikäli menetelmät sopivat kyseiseen projektiin. Projektin työntekijöitä tulee ottaa mukaan tietomallinnuksen kehittämiseen projektien aikana, jotta heidän ymmärryksensä ja taidot kehittyisivät jatkuvasti. On myös tärkeää pysyä kehityksen mukana, kun ohjelmistot kehittyvät ja uusia ominaisuuksia lisätään uusiin versioihin. Ohjelmiston käyttöön liittyviä ohjeita on päivitettävä vastaamaan uusien ohjelmistoversioiden vaatimuksia. Uusista mahdollisuuksista ohjelmiston hyödyntämisessä on haettava tietoa. Tavoitteena on, että suunnittelijat hallitsevat tietomallia eikä tietomalli suunnittelua. Tämä ei aina kuitenkaan toteudu, sillä ohjelmisto voi asettaa rajoituksia suunnitelmien laadintaan.

Rakennesuunnittelussa käytetään useita eri laskentaohjelmia. Siirtyminen vain yhteen laskentaohjelmaan on käytännössä mahdotonta, sillä erilaisille rakenteille on usein erilaiset ohjelmat parempia. Myös henkilökohtaiset mieltymykset vaikuttavat laskentaohjelmiston valintaan. Yhtenäiset, selkeät ja helppolukuiset laskentareportit helpottavat tarkastustoimintaa, vaikka laskelmat suoritettaisiin eri ohjelmistoilla.

Tietomallinnusprojektissa työskentelevällä henkilöllä tulee olla riittävä tietomallinnusosaaminen. Objektien luonti ja muokkaaminen sekä erilaisten työkalujen käyttö tulisi hallita. Tietomallinnusohjelmiston käyttäjiä on hyvä kannustaa itse ratkaisemaan esiin tulevia ongelmia, jolloin henkilön osaaminen karttuu. Myös niillä, jotka eivät tietomallinnusta päivittäisessä työssään käytä, on oltava ymmärrys tietomallinnusohjelmiston mahdollisuuksista ja rajoituksista. Näin vältetään liian suurilta odotuksilta projekteissa ja toisaalta voidaan määrittää riittävästi aikaa suunnitelmien tekoon. Suunnittelijoiden kokemuksesta riippumatta heidän tulisi ymmärtää, että tietokoneavusteisia suunnitteluohjelmistoja käytettäessä vaaditaan edelleen vahva osaaminen rakenteiden suunnittelusta.

5.2 Aineiston kattavuus ja yleistettävyyys

Haastateltavia oli viisi ja he edustivat projektissa erilaisissa rooleissa toimivia rakennesuunnittelijoita. Haastatteluaineistossa oli havaittavissa samankaltaisia vastauksia, joten aineiston voidaan sanoa olevan tämän tutkimuksen kannalta riittävä. Kohdeyrityksellä on lisäksi pitkä kokemus tietomallinnuksesta rakennesuunnittelussa, minkä voidaan sanoa parantavan aineiston laatua. Haastattelututkimus käsitteli tietomallipohjaista rakennesuunnittelua yhden ohjelmiston kannalta. Kattavamman kuvan muodostamiseksi tietomallinnuksen vaikutuksista rakennesuunnittelun virheisiin, olisi tutkimus toteutettava useissa alan yrityksissä, monissa eri projekteissa sekä eri ohjelmistojen käyttäjille. Myös tilastotietoa rakennesuunnitteluvirheiden todellisesta määrästä tietomallinnetuissa projekteissa olisi kerättävä. Rakennesuunnitteluprosessi sisältää kuitenkin useita vaiheita, joten on melko hankala määrittää tarkasti, milloin virhe aiheutuu pelkästään tietomallinnuksesta, varsinkin kun usein virheiden syntyyn vaikuttavat monet virheelliset toimet peräkkäin.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Rakentamisen prosessit ovat muuttuneet viimeisten vuosikymmenien aikana yhä enemmän ohjelmistopohjaisiksi ja rakennusten tietomallinnus on ollut yksi merkittävimmistä muutoksista. Tietomallinnus on tullut jäädäkseen myös rakennesuunnittelijan työskentelyn välineenä. Tietomallinnetun rakennusprojektin läpivienti on muuttanut suunnitteluprosessia, mikä on huomioitava koko alan toiminnassa. Tietomallinnusohjelmistot antavat tiedon hallitsemiseen hyvän työkalun. Tietomallinnusohjelmistoihin ei kuitenkaan voida toistaiseksi sisällyttää kaikkia projektin tietoja ohjelmistojen tässä mielessä puutteellisten ominaisuuksien takia. Siksi on tärkeää tiedostaa, minkälainen tietomallin tietosisältö on oleellista rakennesuunnittelun laadukkaan lopputuloksen kannalta.

Työn tutkimuskysymykset olivat:

- Millaisia riskejä tietomallipohjainen suunnittelu aiheuttaa rakennesuunnitteluvirheiden kannalta?
- Miten voidaan varmistua rakennesuunnittelun laadusta tietomallipohjaisessa rakennesuunnittelussa?

Tutkimuskysymyksiin haettiin vastauksia kirjallisuudesta sekä tapaustutkimuksella. Kirjallisuustutkimuksessa selvitettiin rakennesuunnitteluvirheiden syitä ja keinoja virheiden välttämiseksi sekä esitetään esimerkkejä virheiden seurauksista. Lisäksi selvitetään tietomallinnusta rakennesuunnittelussa ja sen vaikutuksia rakennesuunnitteluvirheisiin. Tapaustutkimuksessa haastateltiin suurehkon tietomallinnetun talonrakennuskohteen rakennesuunnittelijoita ja selvitettiin projektissa esiin tulleita riskikohtia ja laadunvarmistuskeinoja.

Työn tulosten perusteella riskejä rakennesuunnitteluvirheiden kannalta tietomallipohjaisessa rakennesuunnittelussa aiheuttavat inhimilliset virheet, laskelmien ja tietomallin tiedon vastaavuuden toteaminen sekä suunnittelun kokonaisvaltainen huomioiminen. Inhimillisiä virheitä voidaan vähentää luomalla tietomallipohjaisia tarkastuskeinoja, kuten valinta- ja näkyväfilttereitä. Myös visuaalisella tarkastuksella, rakennettavuuden visuaalisella arvioinnilla sekä törmäystarkastelutyökalulla voidaan havaita inhimillisiä virheitä. Laskennan ja tietomallin vastaavuuden toteamiseksi on laskentatietoa mahdollista syöttää ohjelmaan manuaa-

lisesti. Tämä on kuitenkin melko työlästä, joten tietojen yhdistämiseen tulisi kehittää uudenlaisia menetelmiä. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa on myös muistettava rakennuksen kokonaistoiminta. Esimerkiksi rakennusfysiikan tarkasteluun tietomallissa olisi tarve kehittää menetelmiä.

Tietomalli sisältää paljon objekteja, jolloin työtä helpottaakseen voidaan näkymistä poistaa objekteja. Liiallista rajaamista on kuitenkin vältettävä, että ymmärrys liittyvistä rakenteista säilyy. Myös piirustuksia ja tietomallia voidaan tarkastella samanaikaisesti, jolloin pystytään näkemään laajempi kokonaisuus suunnitellusta kohdasta. Piirustusten visuaalinen tarkastus on edelleen tärkeä laadunvarmistusmenetelmä, sillä tietomallinnusohjelmistosta tuotettuja piirustuksia käytetään työmaalla suunnitelma-asiakirjana. Tulevaisuudessa voi olla mahdollista, että piirustukset jäävät pois ja koko rakennusprosessi viedään läpi tietomallin avulla.

Rakennesuunnitteluvirheiden välttämisen kannalta on tärkeää ymmärtää rakenteiden ja materiaalien toiminta sekä ymmärtää rakennesuunnittelun perusteet. Liiallinen suunnittelun automatisointi vähentää suunnittelijoiden ymmärrystä ja osaamista, koska suunnittelijan ei tarvitse itse aktiivisesti opetella ja luoda tietoa. Tietomallinnus ei poista rakenteiden analysoinnissa tai rakennejärjestelmän valinnassa tehtyjä virheitä, koska laskelmat tehdään edelleen lähes poikkeuksetta erillisessä laskentaohjelmassa tai käsin laskien. Laskennassa saatujen tulosten virheellisyyttä tietomalli ei pysty ainakaan toistaiseksi havaitsemaan. Kokenut suunnittelija voi kuitenkin tietomallia visuaalisesti tarkastelemalla huomata riskikohtia. Samassa tietomallissa työskentelee useita suunnittelijoita, mikä parantaa mahdollisuutta havaita riskikohtia. On myös huomioitava, ettei kaikki suunnittelijat ole tietomallinnuksen osalta kovinkaan päteviä. Suunnitelmien tarkastus ja laadunhallinta tietomallin avulla on siksi oltava riittävän yksinkertaista, että se voidaan toteuttaa vähäisilläkin tietomallinnustaidoilla. Tietomallinnusohjelmiston käytön perusteet on hallittava, että tietomallinnusohjelmiston työkaluja voidaan käyttää tehokkaasti.

Tietomallinnuksen vaikutusta rakennesuunnittelun virheisiin tulisi jatkossa tutkia laajemmin, sillä tutkimustietoa aiheesta on vielä melko vähän.

Lähdeluettelo

Aagaard N-J, Pedersen E. (2013) Failure and documentation of building structures. Teoksessa: Proceedings of the 19th CIB World Building Congress. The International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB). [Viitattu 9.8.2017] Saatavilla: http://www.conference.net.au/cibwbc13/papers/cibwbc2013_submission_399.pdf.

Al Hattab, M. & Hamzeh, F. (2013) Information flow comparison between traditional and bim-based projects in the design phase. Teoksessa: Proceedings IGLC-21. Fortaleza, Brasilia.

Davis, P. & Edwards, D. & Lopez, R. & Love, P. (2010) Design error classification, causation, and prevention in construction engineering. Journal of performance of constructed facilities. [Verkkolehti]. Vol. 24:4. S. 399-408. [Viitattu 15.9.2017]. Saatavissa: <http://ascelibrary.org.libproxy.aalto.fi/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29CF.1943-5509.0000116>. DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000116. ISSN (painettu): 0887-3828 | ISSN (sähköinen): 1943-5509.

Eastman, C. & Teicholz, P. & Sacks, R. & Liston, K. (2011) BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 2. painos. Hoboken, New Jersey. John Wiley & Sons Inc. 626 s. ISBN 978-0-470-54137-1.

Fise Oy. Pätevyyspalvelu. [Viitattu 11.2.2018] Saatavissa: <http://fise.fi/patevyyspalvelu/>

Fise Oy (2016a) Ryömintätillaisen alapohjan kosteuden poisto ei toimi. Virhekortit. [Verkkojulkaisu] [Viitattu 15.11.2017] Saatavissa: <http://fise.fi/virhekortti/ryomintatillaisen-alapohjan-kosteuden-poisto-ei-toimi/>

Fise Oy (2016b) Virheelliset liikuntasumaratkaisut pihakansirakenteissa. Virhekortit. [Verkkojulkaisu] [Viitattu 15.11.2017] Saatavissa: <http://fise.fi/virhekortti/virheelliset-liikuntasumaratkaisut-pihakansirakenteissa/>

Fröderberg, M. (2014) Master's Thesis. The human factor in structural engineering: A source of uncertainty and reduced structural safety. Lund University, Faculty of Engineering, Division of Structural Engineering. Lund. 83 s. ISBN 978-91-979543-9-6. <http://lup.lub.lu.se/record/4814932>

Gaddes, M. (2017) Tekla Structural Designer error in one-way slab design. WSP Technical bulletin July 2017. [Verkköjulkaisu]. Ei saatavilla.

Hassinen, J. (2016) Tietomallintaminen rakennesuunnittelussa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampere. 42 s.

Hassoun, M.N. & Al-Manaseer, A. A. (2015) Structural Concrete: Theory and Design. Hoboken, New Jersey: Wiley. 1039 s. ISBN 978-1-118-76781-8

Hietanen, J. (2005) Tietomallit ja rakennusten suunnittelu – Filosofinen selvitys tieto ja viestintätekniiikan mahdollisuuksista. Helsinki: Rakennustieto Oy. 95 s. ISBN 951-682-783-7

Johansson, P. & Linderöth, H.C.J. & Granth, K. (2014) The role of bim in preventing design errors Teoksessa: Raiden, A.B. and Aboagye-Nimo, E. (Eds) Procs 30th Annual ARCOM Conference, 1-3 September 2014, Portsmouth, UK. Association of Researchers in Construction Management. S. 703-712.

Josephson, P.E., Hammarlund, Y (1999) The causes and costs of defects in construction: a study of seven building projects. Teoksessa: Elsevier, Automation in Construction 8. S. 681-687.

Josephson, P.E. & Larsson, B. (2001) The role of early detection of human errors in building projects. CIB World Building Congress. Wellington, New Zealand. Saatavissa: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB2878.pdf>. [Viitattu 12.8.2017]

Korpela, J. (2011) Tietomallintamisen hyödyt ja haasteet rakennushankkeen eri osapuolten näkökulmasta. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Espoo. 66 s.

Love P.E.D., Edwards D.J. and Han S. (2011) Bad apple theory of human error and building information modelling: A systemic model for BIM implementation. Teoksessa: Proceedings of the 28th ISARC. Seoul, Korea 2011. IAARC, International Association for Automation and Robotics in Construction. S. 349-354.

Metropolia.fi (2017). Myllypuron uusi kampus. [Viitattu 22.11.2017]. Saatavissa: <http://www.metropolia.fi/tietoa-metropoliasta/kampukset/myllypuro/>.

Mölsä, S. (2017) Näin Suomi homehtui – hyvä rakentamistapa sai aikaan pahaa jälkeä. Rakennuslehti. [Verkkoaineisto] [Viitattu 20.10.2017] Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2016/06/nain-suomi-homehtui-hyva-rakentamistapa-sai-aikaan-pahaa-jalkea/>

Niskakangas, V. (2014) Tietomallinnetun rakennushankkeen suunnittelun ohjaus. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampere. 59 s.

Nissinen, S. & Penttilä, H. & Valjus, J. & Varis, M. (2007) Tuotemallintaminen rakennussuunnittelussa. Helsinki: Rakennustieto Oy. 64 s. ISBN 978-951-682-799-8

Onnettomuustutkintakeskus (2003) Monitoimihallin katon vaurioituminen Mustasaassa 17.1.2003. Tutkintaselostus. Saatavissa: http://www.turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/muutonnettomuudet/2003/b12003y_tutkintaselostus/b12003y_tutkintaselostus.pdf. [Viitattu 9.8.2017]

Onnettomuustutkintakeskus (2012) Vesitornin sortuminen Jyväskylässä 3.11.2012. Tutkintaselostus. Saatavissa: http://www.turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/muutonnettomuudet/2012/y2012-02_tutkintaselostus/y2012-02_tutkintaselostus.pdf. [Viitattu 9.8.2017]

Onnettomuustutkintakeskus (2013) Lapsen kuolemaan johtanut ratsastusmaneesin sortuminen Laukaassa 13.2.2013. Tutkintaselostus. Saatavissa: http://www.turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/XR3OvQZwt/Y2013-01_Laukaa.pdf. [Viitattu 9.8.2017]

Punkki, J. (2017) Betonirakenteiden laatu puhuttaa. RALA Rakentamisen laatu blogit. [Blogikirjoitus] [Viitattu 11.2.2018] Saatavissa: <http://www.rala.fi/ajankohtaista/blogit/betonirakenteiden-laatu-puhuttaa/>

RIL 229-1-2013 (2013) Rakennesuunnittelun asiakirjaohje, tekstiosa. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 229-2-2013 (2013) Rakennesuunnittelun asiakirjaohje, mallilaskelmat ja -piirustukset. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Risulahti, J. (2016) Tietomallipohjainen rakennesuunnittelu ja lähtötietojen selvitys korjausrakennuskohteessa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampere. 81 s.

RT 10-11066 (2012) Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 1. Yleinen osuus (Versio 1.0). Rakennustietosäätiö ja COBIM –hankkeen osapuolet. 21 s.

RT 10-11071 (2012) Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 6. Laadunvarmistus (Versio 1.0). Rakennustietosäätiö ja COBIM –hankkeen osapuolet. 26 s.

RT 10-11076 (2012) Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 11. Tietomallipohjaisen projektin johtaminen (Versio 1.0). Rakennustietosäätiö ja COBIM –hankkeen osapuolet. 24 s. + liitt. 3 s.

Schneider, J. & Vrouwenvelder, T. (1997) Introduction to Safety and Reliability of Structures. 3. painos. Zürich: IABSE International Association for Bridge and Structural Engineering. 148 s. ISBN 978-3-85748-151-2

Liiteluettelo

Liite 1. Haastattelukysymykset. 3 sivua.

Haastattelukysymykset:

TAUSTATIETOJA

1. Suunnittelukokemus:
2. Kuinka monessa tietomallinnusprojektissa olet ollut mukana?
3. Arvioi omaa tietomallinnusosaamistasi liittyen ohjelmiston käyttöön ja mallinnusprosesseihin?
4. Rooli projektissa?
5. Käytätkö tietomallia kyseisessä projektissa?

PROJEKTIN OHJEET JA KÄYTÄNNÖT

6. Onko projektin sisäiset roolit selkeät ja tarkoituksen mukaiset? Tulisiko rooleja muuttaa tai selkeyttää seuraavassa projektissa?
7. Onko projektille laadittu laadunvarmistusohjeet? Onko ohjeet selkeät ja tiedätkö mistä ne löytyvät?
8. Onko projektille laadittu tietomallinnusohjeet? Onko ohjeet selkeät ja tiedätkö mistä ne löytyvät?

KOKEMUKSIA PROJEKTISTA

9. Onko projektissa esiintynyt rakennesuunnittelu- tai mallinnusvirheitä? Minkälaisia? Onko jokin suunnitteluprosessi tai -ohjelmisto aiheuttanut erityisesti virheitä?
10. Missä vaiheessa mahdolliset virheet yleensä huomataan? (Tietomallissa, piirustuksessa tms.) Olisiko virhe voitu jollain keinolla huomata jo aiemmin?

11. Minkälaisia rakennesuunnitelmien tarkastusmenetelmiä (muitakin kuin tietomallipohjaisia) olet käyttänyt projektissa ja miten tarkastus on dokumentoitu? (Visuaaliset, TS työkalut, muut ohjelmistot, päiväkirja, taulukot, tarkastuslistat, omat muistiinpanot...)
12. Mikä on mielestäsi paras tapa dokumentoida tehty tarkastus?
13. Onko suunnittelu-aikataulussa varattu aikaa laadunvarmistukselle ja tarkastuksille? Onko aikaa varattu riittävästi?
14. Onko projektilla ollut käytössä riittävästi resursseja? Vaatisiko joku projektin osa-alue enemmän resursseja?
15. Millä ohjelmistoilla tuotat rakennelaskelmia? Entä mikä olisi mielestäsi tietomallinnusprojektin kannalta paras tapa/ohjelmisto?
16. Onko kohteesta tehty riittävä määrä rakennelaskelmia?
17. Miten laskelmien ja tietomallin sisältämän tiedon yhteys on tarkastettu?
18. Miten projektissa on hallittu suunnitteluun tulleita muutoksia?
19. Onko suunnitteluun/mallintamiseen tarvittavat tiedot olleet helposti saatavilla projektissa? (Esim. lähtötiedot, laskelmat jne.)

20. Onko tietomallia käytetty kommunikointiin tai tiedonvaihtoon sisäisesti projektin sisällä? (Esim. onko tietomalliin syötetty tietoa rakenteiden valmiusasteista tms.)

KEHITYSEHDOTUKSIA TULEVIIN PROJEKTEIHIN

21. Miten tietomallia voitaisiin paremmin hyödyntää rakennesuunnitelmien laadunvarmistuksessa?
22. Pitäisikö mielestäsi kaiken tiedon löytyä jollain tapaa tietomallista (esim. linkitettyinä tai manuaalisesti syötettyinä)?
23. Mitkä seikat estävät / mahdollistaisivat tällä hetkellä tietomallin hyödyntämisen rakennesuunnitelmien laadunvarmistuksessa?