



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Sini Kallio

Rakentamisen määrätietojen hallinta tietomallihankkeessa



Julkaisu 1497 • Publication 1497

Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaisu 1497

Tampere University of Technology. Publication 1497

Sini Kallio

Rakentamisen määrätietojen hallinta tietomallihankkeessa

Tekniikan tohtorin arvon saavuttamiseksi tehty väitöskirja, joka julkaistavaksi hyväksytynä esitetään julkisesti tarkastettavaksi Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustalon salissa RG202 lokakuun 27 päivänä 2017 kello 12.

Tampereen teknillinen yliopisto - Tampere University of Technology

Tampere 2017

Väittelijä:

TkL, Sini Kallio

Valvoja:

Professori, Ph.D. Kalle Kähkönen
Rakennustekniikka
Tampereen teknillinen yliopisto

Ohjaajat:

Emeritusprofessori, Dr. (Tech.) Jarmo Laitinen
Rakennustekniikka
Tampereen teknillinen yliopisto

Dosentti, TKT Mauri Laasonen
Sweco Rakennetekniikka Oy

Esitarkastajat:

Professori, TKT Rauno Heikkilä
Digitaalinen rakentaminen ja kaivostoiminta
Oulun yliopisto

TKT, Jyrki Keinänen
A-Insinöörit Oy

Vastaväittäjät:

Professori, TKT Rauno Heikkilä
Digitaalinen rakentaminen ja kaivostoiminta
Oulun yliopisto

TKT, Tapio Koivu
Heureka, suomalainen tiedekeskus

Taitto ja paino:

Suomen Yliopistopaino Oy Juvenes Print Tampere 2017

ISBN 978-952-15-4008-0 (nid.)

ISBN 978-952-15-4030-1 (PDF)

ISSN 1459-2045

Tiivistelmä

Avainsanat: Määrätiedon tuottaminen, Rakentamisen määrälaskenta, Tietomalli, Tietomallintaminen

Jo useampien vuosikymmenten ajan tietomallintamista ja tietomalleja on tutkittu ja kehitetty rakennusalan eri tutkimushankkeissa. Tämä tutkimus syventyy tarkastelemaan tietomallin hyödyntämistä määrätiedon tuottamisessa. Aikaisemmat tutkimustulokset selittävät tätä suhteellisen yleisellä tasolla eikä meillä täten ole tutkimusperusteista yksityiskohtaista tietoa tietomallien hyödyntämisestä määrätietojen tuottamiseen. Tämän tutkimuksen tavoitteena on tuottaa kvantitatiivista dataa ja ymmärrystä määrälaskennan toteutuksesta eri toimintatavoilla, jossa päämielenkiinnon kohteena on tietomallien hyödyntäminen.

Rakentamisen tietotekniikka on tämän tutkimuksen pääasiallinen teoreettinen viitekehys. Tutkimuksen motiivina on useiden vuosien aikana käytännön kohteista tehdyt havainnot, joissa määrätietoja tuotettiin monta kertaa uudestaan rakentamisprosessin aikana. Tutkimuksessa tarkastellaan kahta hypoteesia: tietomallin avulla voidaan vähentää päällekkäistä työtä määrätiedon tuottamisessa sekä vakioidut toimintatavat voivat palvella käytännön tarpeita todennetulla tavalla niin että päällekkäinen työ vähenee.

Tutkimus on tyypiltään case-tutkimus ja se on luonteeltaan selittävää ja kuvailevaa. Tutkimuksen teoreettisia lähtökohtia tarkastellaan kirjallisuuden, tutkimusten ja tietomalli- sekä määrälaskentaohjeistuksien kautta. Empiirisessä osassa case-kohteina käytettiin asuinkerrostalohankkeita. Tutkimuksen empiirisessä osuudessa on kolme näkökulmaa: määrälaskennan ratkaisut, määrälaskennan toimintatavat ja rakennustuotantoa palvelevan hankintamäärätiedon tuottaminen. Määrälaskennan empiirisessä osassa aineistona käytettiin 20 case-hanketta ja rakennustuotantoa palvelevassa hankintamäärätiedon osassa caseina oli kolme hanketta. Tietomallia käsitellään tässä tutkimuksessa työkaluna. Tutkimuksessa ei raportoida ohjelmistoteknisiä yksityiskohtia. Tutkimuskohteena käytetään yhtä rakennusosaa, joka on kevyt metallirankainen levyväliseinä.

Tutkimuksen empiirisessä osassa havaittiin, että työtehtävien välillä tehtävää päällekkäistä työtä on noin 30 - 80 % prosenttia. Työmäärä on säästettävissä hyödyntämällä tietomallia määrätiedon tuottamisessa sekä sillä, että tuotannon materiaalihankintavaiheessa ei tarvitse enää tehdä määrämittaustyötä. Lisäksi tuloksissa esitetään, että määrälaskennan kokonaisai-ka yhdessä rakennushankkeessa vähentyisi noin 20 %.

Tutkimuksessa esitetään toimintamalli, läpinäkyvä määrätiedonhallinta (LMH), joka yhdistää määrätiedon tuottamisen tiedolliset tarpeet sekä tietomallin työkaluna toisiaan tukevaksi kokonaisuudeksi. LMH:n tarkoituksena on parantaa tietomallista tuotetun määrätiedon hyödyntämistä osana reaali maailman määrälaskentaprosessia sekä tuotetun määrätiedon suoraa jatkohyödyntämistä rakentamisen eri prosesseissa.

Lisätutkimusta tarvitaan siitä, miten tuotannon hankintavaiheen materiaalmäärät saadaan tietoteknisesti integroitua tietomallista saatavaan määrätietoon. Lisäksi tulisi tutkia ja kehittää tietomalleissa olevan määrätiedon siirtymistä automatisoidummin koneluettavasti eri ohjelmistojen välillä.

Abstract

Keywords: Building information model, Building information modeling, Quantity surveying, Quantity take-off

For several decades the construction industry has been developing building information models in various research projects. This research concentrates on examining the utilization of the building information modeling in quantity take-off. Previous studies have covered this at relatively general level and there is no detailed scientific knowledge about utilization of the building information modeling in quantity take-off. The goal of this study is to record the quantitative data from the quantity take-off implementation, which the results are based on.

The construction information technology works as a main theoretical framework for this study. The motivation for this study is based on several years of observations made in building projects, where quantity information was produced repetitively during the construction process. The study examines two hypotheses: the building information modeling techniques can be used to reduce overlapping work in quantity take-off and standardized practices can serve the practical needs in a verified manner so that the duplicate work is reduced.

This research uses a case-study method to approach real world problems. A case study is descriptive and explanatory in nature. The theoretical starting points are examined through literature, research, data models and quantity take-off instructions. In the empirical part residential building projects are used as case subjects. The empirical part has three point of views: quantity take-off solutions, quantity take-off processes and the procurement quantity take-off. In quantity take-off part the data was collected from 20 construction projects and procurement quantity take-off part had three case projects. In this research the building information models are considered to be a tool to produce quantity information to different stakeholders in the construction project. Software specific technical details are not included to the themes for the research. A specific building object (drywall) was used as an example object of the quantity take-off process.

In the empirical part was observed that the quantity estimation work was reduced over 50% when using the building information model tools compared to an approach without any building model tools. This result is achieved for the example object and for the whole building the quantity take-off time can be reduced 20%.

The study presents an operating model: transparent quantity take-off management (LMH), which connects the cognitive needs of the quantity takeoff and data modeling tools to a mutually supportive entity. The purpose of the LMH is to improve the utilization of the data model quantity information in quantity take-off process and also in other construction processes.

Further studies are needed to investigate how throughout procurement phase the actual bill of materials can be integrated to the quantity data present in the data models. Additionally better integration mechanisms should be developed to transfer the quantity data of digital building models between different software packages.

Esipuhe

Nuorempana minulta kysyttiin usein, että miten olen rakennusalalle päätynyt? Kuulun siihen ns. tietokoneajan sukupolveen. Olin alle kymmenenvuotias, kun kotiimme tuli ensimmäinen tietokone (Commodore 64). Lapsen uteliaisuudella ja tietokonepelien kautta tietokoneet tulivat osaksi elämääni. Rakentamista olen seurannut heti ensi askeleista lähtien, kun juuri kävelyn oppineena pyörin jo omakotitalomme laajennustyömaalla. Pelkäksi työmaalla pyörimiseksi se ei kuitenkaan jäänyt, kun vähän myöhemmin minulla oli jo oma vasara, timpurinkynä ja tietenkin farkkuhaalarit, joissa vasaralenkki. Ehkä näistä alkuvuosista jäi pinnan alle kytemään innostus rakentamiseen, kun sitten 9. luokalla tuli aika valita mihin jatkaa. Yleensä siinä vaiheessa nuorilla ei vielä ole oikein kuvaa mitä tekisi ”isona”, mutta minulle asia oli selvä.

Löysinkin itseni ammattikoulun teknisen piirtäjän linjalta. Näin jälkikäteen ajatellen tämä oli loistava valinta, koska vuonna 1996 tutustuin ensimmäisen kerran tietomallimaailmaan. Se on jäänyt lähtemättömästi mieleen, koska koulullemme oli hankittu silloin uusi ohjelmisto nimeltään Archicad. Osaamista ei ohjelmiston käytöstä juuri ollut, joten oppiminen tuli suoritettua monisatasivuosen manuaalin ja ns. kantapään kautta. Ammattikoulun jälkeen edessä olivat rakennusinsinööriopinnot Tampereella. Kesäharjoittelun tein rakennustyömaalla työnjohtoharjoittelijana. Näiden oppien saattelemana aloitin vuonna 2001 työt rakennusliikkeessä.

Uusien asioiden oivaltaminen ja oman osaamisen haastaminen on ollut minulle tärkeää, joten hain jatko-opintopaikkaa Tampereen teknillisessä yliopistossa. Otin töistä opintovapaata ja aloitin DI-opinnot vuonna 2005. Joulukuussa 2007 oli aika noutaa todistus. Lähipiirissä jo ”ikuisiksi opiskelijaksi” leimattuna, jatkoin töiden ohella akateemisia opintoportaita pitkin ylöspäin ja Tekniikan lisensiaatin tutkinnon sain päätökseen kesällä 2011. Tämän urakan jälkeen pidin opiskelusta ”välivuoden” ja katselin tietomallien kehitystä tarkemmin työelämän näkökulmasta.

Sokrates on todennut että ”tiedän vain sen, etten tiedä”. Totesin siinä olevan perää ja päätin kokeilla jatkaa opiskeluharrastustani töiden ohella. Harrastus sai statuksen väitöskirja ja tässä sitä nyt sitten ollaan.

Näihin ajanjaksoihin on pitänyt panostaa paljon; on ollut hyviä hetkiä ja vähemmän hyviä. Yksin en olisi tähän pystynyt, joten taustalla on paljon ihmisiä, joita haluaisin kiittää tuesta ja kannustuksesta. Valitettavasti tila ei riitä siihen, että kiittäisin heitä kaikkia nimillä. Tästä syystä haluan siis kiittää heitä kaikkia yhteisesti näiden vuosien varrella saamastani tuesta.

Tämän väitöskirjan osalta haluaisin esittää kiitokset vastaväittäjilleni professori Rauno Heikkilää ja TKT Tapio Koivua heidän tekemistä väitöskirjaa koskevista huomautuksista ja arvioinnista. Kiitän myös TKT Jyrki Keinästä ja professori Rauno Heikkilää väitöskirjan käsikirjoituksen esitarkastusvaiheessa tekemistään huomautuksista ja antamistaan ohjeistuksista tutkimukseni kehittämiseksi. Kiitokset tutkimuksen valvojille professori Kalle Kähköselle ja emeritusprofessori Jarmo Laitiselle tutkimuksen ohjauksesta sekä dosentti Mauri Laasoselle ja dosentti Suvi Nenoselle akateemisen näkökulman luomisesta.

Työnantajaani Skanska Talonrakennus Oy:tä haluan kiittää mahdollisuudesta yhdistää joustavasti työtehtävät ja jatko-opinnot toisiinsa.

Läheisiäni ja perhettä haluan kiittää näiden monien vuosien tuesta opiskelijani kohtaan.

*”Onko akateeminen tutkimus vain kirjahyllyn täytettä,
vai onko siitä hyötyä myös arkipäivän työssä?”*

Sini Kallio

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO	15
1.1 Tutkimuksen taustaa	15
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja hypoteesit	16
1.3 Tutkimuksen rajaukset	17
1.4 Tutkimusmenetelmät	19
1.5 Väitöskirjan rakenne	21
2 TUTKIMUKSEN TAUSTA	23
2.1 Määrälaskenta ja määrätiedon tuottaminen rakennusyrityksessä	24
2.1.1 Projektiliiketoiminta rakennusyrityksessä	24
2.1.2 Perinteinen määrälaskenta ja määrämittaus	24
2.1.3 Tietomallipohjainen määrälaskenta.....	27
2.1.4 Materiaalihankinnan määrätiedot.....	33
2.2 Rakentamisen tietotekniikka ja digitalisaatio	37
2.2.1 Tietotekniikan ja digitalisaation merkitys rakennusalalle	37
2.2.2 Rakentamisen tietotekniikka tieteenalana	38
2.3 Rakennuksen tietomallintaminen ja tietomallit	38
2.3.1 Tietomallintamisen ja tietomallien historiaa	38
2.3.2 Tietomallinnus ja tietomalli -termin käyttö.....	39
2.3.3 Tietomallin käyttö.....	39
2.3.4 Tietomallintamisen kehitys	40
2.3.5 Tietomallinnusstandardit ja -ohjeet	43
2.4 Tuottavuus- ja Lean-ajattelun mahdollisuudet määrälaskennan kehittämisessä	45
2.4.1 Tuottavuus ja sen merkitys rakennusyrityksessä.....	45
2.4.2 Lean-ajattelu ja rakentaminen	48
2.4.3 Lean-tuotanto ja tietomallit	50
3 TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	52
3.1 Tutkimusprosessi ja tutkimuksen menetelmät	52
3.2 Tutkimusasetelma	54
3.2.1 Empiirisen tutkimuksen rajaukset	56
3.3 Tutkimusasetelma määrälaskennan ratkaisujen näkökulmasta	57
3.4 Tutkimusasetelma määrälaskentatyön näkökulmasta	58
3.4.1 Tutkimusaineisto.....	60
3.4.2 Testausjärjestelyt, määrälaskentatyö	63
3.5 Tutkimusasetelma rakennusosan hankintamäärätiedon tuottamisen näkökulmasta	64
3.5.1 Vakioidun määrädokumentin kehittäminen.....	64
3.5.2 Vakioidun määrädokumentin kehittämisen ongelmakohtia.....	66

3.5.3 Tutkimusaineisto, rakennusosan hankintamäärätiedon tuottaminen	68
3.5.4 Testausjärjestelyt, rakennusosan hankintamäärätiedon tuottaminen	69
3.5.5 Testauksen kulku	71
3.5.6 Testaukseen vaikuttavat tekijät	71
4 TULOKSET	73
4.1 Määrälaskennan ratkaisut	73
4.1.1 Läpinäkyvä määrätiedon hallinta (LMH –malli)	73
4.1.2 Vakioitu määrädokumentti	74
4.2 Määrälaskennan toimintatavat	76
4.2.1 Määrälaskenta, kustannusarviovaihe	81
4.3 Rakennusosan hankintamäärätiedon tuottaminen	82
4.3.1 Ajallinen havainnointi	84
4.3.2 Kevyt metallirankainen seinä	85
4.4 Tulosten analyysi	87
4.4.1 Määrälaskennan työmäärä	87
4.4.2 Määrätiedon luotettavuus	87
4.5 Tulosten yhteenveto	94
5 TUTKIMUKSEN LUOTETTAVUUDEN TARKASTELU	96
5.1 Tutkimuksen ja sen tulosten arviointikriteerit	96
5.2 Tutkimuksen validiteetti	96
5.3 Tutkimuksen reliabiliteetti	97
5.4 Tulosten vertailu aikaisempiin tutkimuksiin	98
5.5 Tutkimuksen tieteelliset ja teolliset kontribuutiot	99
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	102
6.1 Määrälaskenta tutkimuskohteena	102
6.2 Tutkimuksen ja sen tulosten arviointi	104
6.3 Tulosten hyödyntäminen ja jatkotutkimusehdotukset	106
LÄHDELUETTELO	108
LIITE 1: EMPIRIA OSUUDEN CASE-KOHTAISEN YKSITYISKOHTAISEN TULOKSET	117
LIITE 2: EHDOTUS ARKKITEHDIN TIETOMALLIIN YLEISESTI NIMETTÄVISTÄ TIETOSISÄLLÖISTÄ (ASUNTOTUOTANNOSSA)	122

Lyhenteet ja määritelmät

BEC-kehityshanke	BEC on kansallinen kehityshanke, jonka tavoitteena on kehittää betonielementtien mallinnusta ja tiedonsiirtoa. BEC-kehityshankkeessa on eri toimijoiden yhteistyössä tuotettu mallinnusohje rakennesuunnitteluun. Lisäksi rakennesuunnittelun mallinnusohjelmaan on kehitetty tarjousvaiheen määräluettelopohjat sekä päivitetty elementtien määrälaskentaohjeita.
BIM	BIM on lyhenne englannin kielisistä sanoista Building Information model/modeling, suomeksi rakennuksen tietomalli/tietomallintaminen
BuildingSMART	BuildingSMART Finland on Suomessa toimiva yhteistyöfoorumi, jonka tarkoituksena on lisätä tietämystä tietomalleista ja auttaa tietomallien käyttöönotossa. BuildingSMART Finland on yksi useista maaorganisaatioista, jotka kuuluvat kansainväliseen BuildingSMART International:n.
IFC	IFC (Industry Foundation Classes) on kansainvälinen tiedonsiirtostandardi rakentamisen ja kiinteistönpidon tuotetietojen tiedonsiirtoon ja yhteiskäyttöön. IFC määrittelee kyseisten tietokonesovellusten tiedonsiirron yhteensopivuuden perustan.
ICT	ICT on lyhenne englannin kielisistä sanoista Information and Communication Technologies suomeksi tieto- ja viestintäteknologia. Käsittää tietokoneisiin ja tietoliikenteeseen liittyvän toiminnan.
Ideaalitalanne	Ideaalitalanne sisältää tietomallista tuotettavalle määrätiedolle määritellyt yleiset tiedolliset tarpeet sekä lisäksi eri rakennusprosessin toimijoille tehdyt omat määritykset.
Koneluettava tieto	Koneluettava tieto on ohjelmistoteknisesti mahdollista poimia tietomallin tietosisällöstä. Tietoa voidaan hyödyntää suoraan eri ohjelmistojen välillä.
Lean	Lean-ajattelulla pyritään 1) minimoimaan hukkaa, jota esiintyy tuotannossa, ja 2) jatkuvaan toiminnan parantamiseen.

LMH	Läpinäkyvä määrätiedonhallinta (LMH) on toimintamalli, joka yhdistää määrätiedon tuottamisen tiedolliset tarpeet sekä tietomallin työkaluna toisiaan tukevaksi kokonaisuudeksi.
Määrädokumentti	Määrädokumentilla tarkoitetaan tietomallista listattua määrätietotaulukkoa, jossa esitetään rakennusosien tunnistetieto-, määrä- ja sijaintitieto.
Määrälaskenta	Määrälaskentatoiminto käsittää kohteeseen tutustumisen, lähdeaineiston kokoamisen ja määrätiedon tuottamisen tehtävät. Toiminnolla selvitetään rakennukseen liittyvät kustannuslaskentanimikkeiden määrätiedot.
Määräluettelo	Määräluettelo on nimikkeistöjen avulla laadittu kokonaisuus, joka sisältää rakennuksen fyysisten rakennusosien lisäksi suunnitteluun ja tuotantotekniikkaan liittyviä hinnoiteltavia kustannustekijöitä.
Määrämittaus	Määrämittauksessa mitattava määrätieto voidaan tuottaa suunnitelmista suoraan mittalukuna tai laskutoimitusten avulla mittalukujen perusteella. Rakennusosien matemaattisen tiedon (esim. pituus, kappalemäärä, pinta-ala tai tilavuus) avulla voidaan laskea esimerkiksi rakennuksen rakentamiskustannuksia.
Määrätiedon tuottaminen	Määrätietoa voidaan tuottaa piirustuksista ja 2D-suunnitelmista mittaamalla sekä louhimalla tietomallissa valmiina olevaa määrätietoa.
Natiivimalli	Natiivimalli on tietomallien suunnitteluohjelmiston omalla tiedostoformaattilla tallennettu tiedosto.
Objekti	Objekti, tässä tutkimuksissa käytetään määrittämistä tietomalleihin mallinnetuista rakennusosista ja komponenteista.
Rakennuttaja	Rakennuttaja on luonnollinen tai juridinen henkilö, jonka lukuun rakennustyö tehdään ja joka viime kädessä vastaanottaa työn tuloksen.
Tiedonsiirron käyttötapa	Tiedonsiirron käyttötapa on käytännön tiedonsiirron arve, joka on tunnistettu ja sen tietotarpeet ja tiedonsiirron toteutus on määritelty ja dokumentoitu toteutusta ja käyttöä varten.

Tietomaalli	Tietomalli on rakennuksen ja rakennusprosessin koko elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuus digitaalisessa muodossa. Tietomalliin liittyy myös rakennuksen geometrian määrittäminen ja esittäminen kolmiulotteisesti havainnollisuuden ja erilaisten simulointitarpeiden vuoksi. Rakennuksen tietomalleilla tarkoitetaan eri suunnittelualojen (mm. arkkitehti-, rakenne-, talotekniikkasuunnittelijoiden (LVISA)) tuottamia tietoa sisältäviä kolmiulotteisia malleja.
Tietomallihanke	Tietomallihankkeessa (tietomallinnettu hanke) eri suunnittelualojen tietomalleja voidaan hyödyntää rakennusprosessin eri vaiheissa suunnittelusta rakennuksen ylläpitoon. Lisäksi tietomallihankkeella voidaan lisätä vuorovaikutusta suunnitelmien osalta esimerkiksi ristiriidattomuuden tarkastelun ja erilaisin analyysien (kustannus, rakennettavuus, olosuhde) avulla.
Tietomallinnus	Tietomallinnus on oliopohjainen tietokoneavusteinen suunnittelun työskentelytapa, jonka tuotos on tietomalli.
Tietomalli-koordinaattori	Tietomallikoordinaattori huolehtii projektikohtaisen alustavan tietomallinnussuunnitelman laadinnasta ja eri suunnittelualojen tietomallinnustehtävien koordinoinnista, yhteistyössä pääsuunnittelijan kanssa. Tietomallikoordinaattorin tehtäviin voi sisältyä yhdistelmämallien tuottaminen ja tietoteknisen yhteensovittamisen varmistaminen.
Urakka	Urakka on urakoitsijan toimenpiteet urakkasopimuksen mukaisten velvollisuuksien täyttämiseksi.
Vakioitu määrädokumentti	Vakioidulla määrädokumentilla tarkoitetaan tietomallista listattua määrätietotaulukkoa, jossa esitetty tietosisältö on sama rakennusosien tunniste-, määrä- ja sijaintitiedon osalta rakennushankkeesta tai suunnitteluohjelmistosta riippumatta.
YSE1998	YSE1998 määrittelee rakennusurakan yleiset sopimusehdot, jotka on tarkoitettu elinkeinonharjoittajien välisiin rakennusurakkasopimuksiin. Nämä sopimusehdot eivät ota huomioon kuluttajansuojasäännöksiä. Sopimusehdot soveltuvat muutoksitta myös sivu- ja aliurakoihin.

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen taustaa

Tietomallinnus on keskeinen muutoksen ajuri kiinteistö- ja rakennusalalla. Tietomallinnuksella tarkoitetaan prosesseja ja työkaluja, joilla tuotetaan tietomalleja. Rakennuksen tietomalleilla tarkoitetaan taas eri suunnittelualojen (mm. arkkitehtuuri, rakenne-, talotekniikka) tuottamia tietoa sisältäviä digitaalisia kolmiulotteisia malleja. Kiinteistö- ja rakennusalalla on keskusteltu tietomallinnuksen mahdollisuuksista muuttamaan rakennusprosessia ennakkovammaksi ja rakentamista laadukkaammaksi. Laitinen [2012] on todennut, että tietomallit luovat rakennusalalle vallankumouksen. Love et.al [2011] toteaa kuitenkin, että tietomallien osalta ei pidä sokeasti luottaa sen kykyyn poistaa virheitä. Nykyisen ymmärryksen mukaan ongelmat voivat siirtyä, muuttua muotoon, tulla uusiksi ennen tunnistamattomia tai jotkut ongelmat voivat jopa jäädä huomaamatta.

Tietomallintamisen tutkimus- ja kehitystyön painopiste on siirtynyt käsittelemään tietomallintamisen hyödyntämisen problematiikkaa. Näistä ovat esimerkkejä tutkimushankkeet "Vera-tietoverkottunut rakennusprosessi", "ProIt-tuotemallitieto rakennusprosessissa", "COBIM", "CoBie" ja "National BIM Standard", joista saadut kokemukset ovat vieneet tietomallikehitystä eteenpäin [Fischer, 2002; Aurora2, 2005; YTV2012; ICMS, 2015]. Vera-ohjelma avasi rakennusalan näkemystä tietomalliajatteluun, jossa tiedonhallinta perustuu kokonaisvaltaiseen tietomallipohjaiseen dokumenttien hallintaan. COBIM-hankkeessa luotiin Suomeen ensimmäiset kansalliset tietomalliohjeet: YTV 2012.

Rakennetun ympäristön digitalisaatio-hankkeessa KIRA-DIGI:ssä on kirjattu numeerisiksi tavoitteiksi 25 % parempi tuottavuus, 25 % toimialan kasvu, 50 % vähemmän hukkaa ja 75 % vähemmän rakennusvirheitä [Henttinen et.al, 2016]. Tietomallien käytön lisääntyessä kiinnostus tietomallien hyödyistä on kasvanut myös rakennusurakoitsijoiden keskuudessa. Miksi tietomallit eivät kuitenkaan ole vielä arkipäivää rakentamisprosessissa? Tähän kokonaisuuteen ja siihen liittyviä haasteita käsitellään seuraavaksi.

Erityisesti rakennusurakoitsijoiden osalta on havaittu, että määrätiedot lasketaan uudestaan jopa kuuteen kertaan rakennusprosessin eri vaiheissa [Laitinen, 1998]. Tällöin rakennusprosessin muut toiminnot joutuivat tuottamaan itse tarvitsemansa määrätiedot uudestaan. Olemassa olevan tiedon uudelleen tuottaminen ei ole tehokas tapa työskennellä. Lean-ajattelun mukaan tämä voidaan luokitella prosessissa esiintyvänä hukaksi [Koskela, 1993; Womack et.al, 2003]. Tässä tutkimuksessa hukkaa on prosessissa tapahtuva päällekkäinen työ. Vähentämällä esiintyvää hukkaa saadaan aikaan tuottavampia prosesseja. Liiketoiminnassa hyvä tuottavuus on yksi askel hyvään kannattavuuteen.

Tietomallien hyödyntämisen onnistuminen vaatii rakentamisen osaamisen lisäksi tietotekniikan ja viestintätaitojen osaamista. Tietomallin hyödyntämisen edistymisestä on esimerkkinä viimeisin BEC-kehityshanke. Kehitystyöllä on parannettu betonielementtien määrätiedon tuotettavuutta ja hyödynnettävyyttä, joka palvelee määrätiedon eri käyttötarkoituksia esimerkiksi määrälaskentaa, tuotannonsuunnittelua ja elementtituoteteollisuutta. Tämä on edellyttänyt, että betonielementtien tietomallin mallinnukselle on luotu ohjeet, ohjelmistoja varten on tuotettu tietosisältömääritykset sekä vakiomuotoiset määräraportit. [BEC 2012; Salmela, 2013; Sironen, 2014] Lisäksi YTV 2012 ohjeistuksiin LVI-tietomalleille on tehty täydentävä liite talotekniikan määrälaskentaohjeistuksista [YTV, 2012]. Arkkitehdin tietomallien määrätiedon tuotettavuudelle ja hyödynnettävyydelle ei ole vielä ollut näin kattavaa kehityshanketta.

Aikaisemmat tutkimukset ovat lähestyneet tutkimusaiheita pääosin tietomallien hyödyntämistä määrä- ja kustannuslaskennan näkökulmasta. Tämä tutkimus jatkaa lisensiaattitutkimuksessa Kallio [2011] tehtyä työtä tietomallien hyödyntämisessä määrälaskennassa. Tässä tutkimuksessa näkökulmaa laajennetaan määrälaskentavaiheen hyödyntämisessä huomioimaan myös rakentamisvaiheen määrätietotarpeita.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja hypoteesit

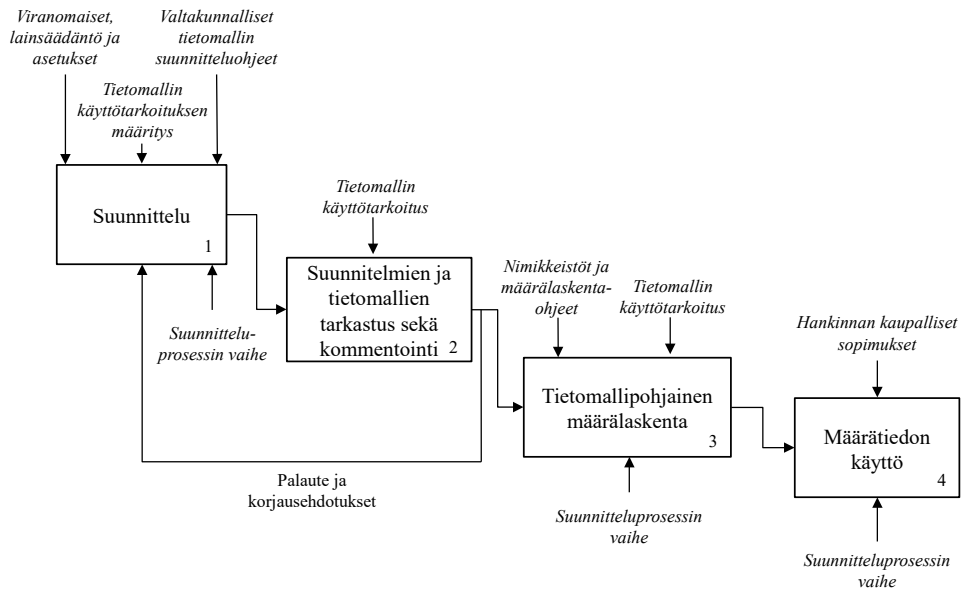
Tällä tutkimuksella on selkeä erityisesti rakennusurakoitsijoita palveleva teollinen päämäärä. Teollinen päämäärä on mahdollista saavuttaa perustuen uusiin tiedollisiin löydöksiin, joita koskevat tämän tutkimuksen primääriset tiedolliset tavoitteet. Näihin liittyen tavoitellaan tutkimustietoon perustuvia todennuksia vähentää päällekkäistä työtä rakentamisen määrätiedon tuottamisessa rakennussuunnittelu ja rakentamisvaiheessa. Tiedolliset tavoitteet on siten esitetty hypoteesien muodossa. Tutkimus keskittyy näiden hypoteesien väittämien kelpoisuuden selvittämiseen.

Tutkimuksen hypoteesit:

1. Tietomallin avulla voidaan vähentää päällekkäistä työtä määrätiedon tuottamisessa.
2. Vakioidut toimintatavat voivat palvella käytännön tarpeita todennetulla tavalla niin, että päällekkäinen työ vähenee.

Tutkimuksen päämielenkiinnon kohteena ovat määrätiedon tuottamisen prosessit, joissa tietomalleja hyödynnetään. Kuvassa 1 on esitetty prosessimalli tietomallien hyödyntämisestä määrätiedon tuottamisessa. Tämä looginen kokonaisuus on hyvä ymmärtää, jolloin voidaan välttyä osaoptimoimilta. Osaprosessissa 1 suunnittelua ohjaavat lainsäädäntö ja asetukset sekä tietomallinnuksen osalta ohjeistukset. Näiden asioiden jälkeen tulee miettiä osaprosessissa 4 määrätiedon käyttö; mitä määrätietoja tarvitaan ja onko niille määrätiedoille jotain ohjaavia määrityksiä, esim. hankinnan kaupallisia sopimuksia. Lisäksi tulee miettiä, missä muodossa määrätieto

tulee esittää, jotta sitä voidaan hyödyntää ”automaattisesti” prosessin muissa toiminnoissa, kuten esimerkiksi määrätietoja hyödyntävät eri ohjelmistot (mm. kustannuslaskenta-, tuotannonohjaus- tai rakennuksen ylläpitojärjestelmät). Tämän jälkeen on mietittävä; mikä on suunnitteluprosessin vaihe, missä määrätietoa tarvitaan, onko halutulle määrätiedolle olemassa jo tiedonsiirron käyttötapausmääritys sekä mitä määrälaskentaohjeet määrittelevät asiasta. Lisäksi on hyvä varmistua siitä, että tietomallin tarkastuksen ja kommentoinnin osalta on riittävät valmiudet huomioida määrätietotarpeen oikeellisuus.



KUVA 1 Prosessimalli tietomallien hyödyntämisestä määrätiedon tuottamisessa.

1.3 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimuksen päämielenkiinnon kohteena on ollut määrälaskijan työ suunnitellun rakennuksen määrätiedon tuottamisen osalta. Tämän vuoksi tutkimus on keskittynyt niihin pääapuvälineisiin, joita määrälaskija työssään hyödyntää. Siten tietomallia tarkastellaan tietovarastona (yhtenä työkaluna), jonka avulla voidaan tuottaa määrätietoa. Kokonaisuuteen liittyy myös muita apuvälineitä (ohjelmistoja). Tästä asetelmasta johtuen tietyt näkökulmat, kuten oikeellisuuden vastuukysymykset (puutteelliset tai virheelliset määrätiedot), kustannusarvion hinnoittelutoiminto tai ohjelmistotekniset yksityiskohdat eivät ole tutkimuksessa päämielenkiinnon kohteena, joskin niihinkin liittyviä havaintoja voidaan tehdä.

Tutkimuksen empiirinen osuus tehtiin Skanska Talonrakennus Oy Etelä-Suomen asuntorakentamisen laskentaorganisaatiossa. Kyseistä kohdeorganisaatiosta käytetään tässä tutkimuksessa nimitystä yritys.

Tutkimuksen case-kohteina käytetään yrityksen omaperustaisia asuinrakennuskohteita. Case-kohteiden rajauksessa päädyttiin asuinrakennuskohteisiin, koska niissä esiintyy rakentamiselle tyypillistä toistuvuutta eri rakennusosien suhteen. Toistuvuudella saavutetaan tutkimuksessa etua tuloksien vertailtavuuden parantumisena.

Tutkimuksen empiirisessä osassa tarkastellaan lähtökohtaisesti arkkitehdin tietomallia. Tämä siksi, että arkkitehdin tietomallin määrätiedon tuotettavuudelle ja hyödynnettävyydelle ei ole vielä ollut BECin kaltaista kattavaa kehityshanketta ja siten arkkitehdin tietomallin hyödyntämisessä voidaan nähdä realisoimattomia mahdollisuuksia rakennusprojektien päätoteuttajien näkökulmasta.

Ohjelmistojen osalta asuinrakennuksien suunnitteluohjelmisto voi olla Archicad tai Revit. Suunnitteluohjelmistolla aikaan saadusta natiivimallista (= ohjelmiston omalla tiedostoformaattilla tallennettu tiedosto) tuotetaan IFC-formaatilla oleva tietomalli. IFC-tietomallista määrätiedot tuotetaan Solibri Model Checker-ohjelmistolla. Ohjelmistoteknisesti vakioitu määrädokumentti vastaa Solibri Model Checker-ohjelmistoon (SMC) luodun BEC2012-määräluettelotyökalun toimintaperiaatteita. Näin ollen vakioidusta määrädokumentista raportoidaan tietosisältö vain otsikkotasolla. BEC2012-määräluettelosta poiketen tässä tutkimuksessa SMC-ohjelmiston työkalun määrälistaukselle on vielä lisäksi tehty Microsoft Excel-taulukko, joka toimii tutkimuksessa määrätiedon ulkoisena tietokantana. Elbeltagi et.al [2014] ja Shen et.al. [2010] käyttivät myös testauksessa määrätiedolle ulkoisena tietokantana MS Excel-ohjelmistoa. Tässä tutkimuksessa ei raportoida ohjelmistoteknisiin asioihin liittyviä yksityiskohtia.

Materiaalihankinnan määrätietotarkastelu tehdään tutkimuksellisesti kohdistuen rakennusosaan. Tutkimuksessa käytetty esimerkkirakennusosa on valittu seuraavien kriteerien pohjalta:

- Edustavuus tyypillisessä määrälaskentatehtävässä.
- Samanmuotoinen esiintyminen eri rakennusprojekteissa.
- Merkittävyys määrällisesti ja/tai määrälaskentatyönä.

Esimerkin luonteisena rakennusosana käytetään väliseinää, jossa tarkastelu rajattiin kevyihin metallirankaisiin levyväliseiniin. Määrätietoa tuotetaan tähän perustuen kustannusarviovaiheessa sekä rakentamisvaiheen materiaalihankintaa varten. Tutkittavien muuttujien määrä säilyy näin rajallisenä mutta valittua esimerkkiä voidaan pitää kuitenkin edustavana. Kevyttä metallirankaista väliseinää käytetään tutkimuskohteena myös siksi, että jatkotutkimusten kannalta on mahdollisuus tutkia esimerkiksi määrätietoon perustuvaa materiaalihukan vähentämistä osana ympäristötehokasta rakentamista tai materiaalmäärien vaikutusta työmaan logistiikkaan ja materiaalivarastointiin.

1.4 Tutkimusmenetelmät

Tutkimus on luonteeltaan kvalitatiivinen eli laadullinen, jossa käytetään useampia menetelmiä. Tutkimuskokonaisuuden empiirisesä osuudessa on apuna käytetty kvantitatiivista eli määrällistä tutkimusta. Laadullisessa tutkimuksessa on pyritty tutkittavan ilmiön eli määrälaskennan luonteenpiirteiden mahdollisimman syvälliseen ymmärtämiseen. Määrällinen tutkimus voidaan ymmärtää kvalitatiivista osuutta seuraavana vaiheena, jossa tutkimuksessa ilmiö tulee ensin tuntea riittävän hyvin ennen sen tarkkaa yksityiskohtaista tutkimusta. Tässä tutkimuksessa monimenetelmällisellä tutkimusotteella pyritään yksittäisen tutkimustuloksen yleistämiseen, jossa määrällisen datan avulla luodaan varmuutta tutkimustuloksen toimivuudesta. Tieteen filosofisessa maailmankuvassa tutkimus edustaa pragmatismia, jossa painotetaan käytännön merkitystä [Kilpinen et.al, 2008; Juti, 2013].

Monimenetelmäinen tutkimusote on tyypillistä tapaus-, kehittämis- tai toimintatutkimuksella. Kehittämistutkimuksessa päämääränä on saada aikaiseksi muutos, esimerkiksi kehittämällä tuotetta, menetelmää tai organisaatiota. Toimintatutkimuksella pyritään saamaan aikaiseksi muutos, jossa kohteena on ihmisten toiminta. Toimintatutkimus eroaa kehitystutkimuksesta siinä, että toimintatutkimuksessa tutkija on yleensä mukana muutosprosessissa. Tapaustutkimus puolestaan on sellaista empiiristä tutkimusta, joka käyttäen monipuolista ja monilla eri tavoilla hankittua tietoa tutkii tiettyä nykyistä tapahtumaa tai toimintaa tietyssä rajatussa ympäristössä.

Esiymmärrystä tutkimukseen luotiin hypoteesien määrittämisvaiheessa tapaustutkimuksen ja toimintatutkimuksen yhdistelmällä, jossa toiminta- ja kenttätutkimus vuorottelevat [Laitinen, 1998]. Näin varmistettiin, että tutkimuksen hypoteesit ja määrätiedon tuottamisen toimintatavat muotoutuivat tutkimuksen kannalta ideaalisiksi. Varsinainen tutkimus on tapaustutkimus. Tapaustutkimus on lähestymistapa, joka tavoittelee tutkittavan ilmiön kokonaisvaltaista ymmärrystä. Tapaustutkimus mahdollistaa tutkimuksen nykyhetken tiedolla. Tapaustutkimus voidaan jakaa kahteen pääryhmään yksittäisten tapausten (single case) tai monitapausten (multiple case) tutkimiseen. Näitä voidaan analysoida kokonaisvaltaisesti (holistic) tai eri osioiden avulla (embedded). [Kananen, 2015; Yin, 2009; Aaltola et.al, 2007; Laine et.al, 2007; Metsämuuronen, 2006; Hirsjärvi et.al, 2004; Eisenhardt, 1989] Tässä tutkimuksessa on kyse yksittäisestä tapauksesta, joka on tietomallihankkeen määrätiedonhallinnassa laskentatoimen tuottamien tietojen käyttöä materiaalihankinnassa (esimerkki rakennusosan osalta). Tapaustutkimus on varsin yleisesti käytetty lähestymistapa rakentamista koskevissa tutkimuskokonaisuuksissa [Collier et.al, 1995; Laitinen, 1998; Sylvester, 2010; Shen, 2010]. Ding et.al [2014] ovat todenneet, että tapaustutkimukset ovat luoneet lähtökohdat BIM:n hyödyntämiseen. Rakentamista koskevissa tutkimuksissa tapaus voi tarkoittaa esimerkiksi edustavia rakennusprojekteja, yrityksiä tai toistensa kanssa vertailukelpoisia tehtäväkokonaisuuksia kuten osaprojektit. Tapaustutkimusta käytetään tässä tutkimuksessa

lähestymistapana reaali maailman ongelmaan. Tapaustutkimuksesta käytetään jatkossa nimitystä case-tutkimus ja myös tapauksista käytetään nimitystä case.

Laadullisen aineiston analyysissä voi päättelyn logiikka olla induktiivinen eli aineistolähtöinen, deduktiivinen eli teorialähtöinen tai abduktiivinen eli teoriaohjaava. Aineistolähtöisen analyysin pääkohdat ovat aineiston yhdenmukaistaminen, luokittelu ja tiivistäminen. Teorialähtöinen analyysi perustuu aiemmin luotuihin viitekehyksiin ja teorioihin. Analyysirungossa sisältö luokitellaan luokittelujen ja kategorioiden mukaan. Teoriaohjaava analyysi on keskeisessä roolissa laadullisessa tutkimuksessa. Siinä yhdistyvät aineistolähtöinen ja teorialähtöinen analyysi. Analyysissä kytkeydytään teorioihin, jotka toimivat taustana analysoinnille. Analyysi ei varsinaisesti testaa teoriaa, vaan pikemmin on uutta tuottavaa. [Tuomi et.al, 2009] Tässä tutkimuksessa on käytetty abduktiivista päättelyä. Määrätiedon tuottamisen päällekkäisen työn vähentämistä tietomallin avulla lähestytään BIM:n, lean- ja tuottavuus-ajattelun näkökulmasta. Ne toimivat osaltaan täydentävinä tutkimuksen teoreettisina lähtökohtina ja empiirinen aineisto luo yhteyden reaali maailmaan.

Laadullisen tutkimuksen aineistona on sekä sekundääriaineistoa, että primääriaineistoa. Sekundääriaineiston olemassa olevaa tietoa luokitellaan dokumentaatioissa.

Tämän tutkimuksen sekundääriaineistona toimii kirjallisuus, tutkimukset ja tietomalli- sekä määrälaskentaohjeistukset, joiden kautta tarkastellaan tutkimuksen teoreettisia lähtökohtia. Aluksi tarkastellaan tietomalliin liittyviä asioita, kuten historiaa, tietomallitermin käyttöä ja tietomalliohjeistuksia. Tämän jälkeen tutustutaan määrälaskentaan toimintona. Teoriaosuuden loppuksi tarkastellaan Lean-ajattelun näkökulmaa ja sen vaikutuksia rakentamisessa.

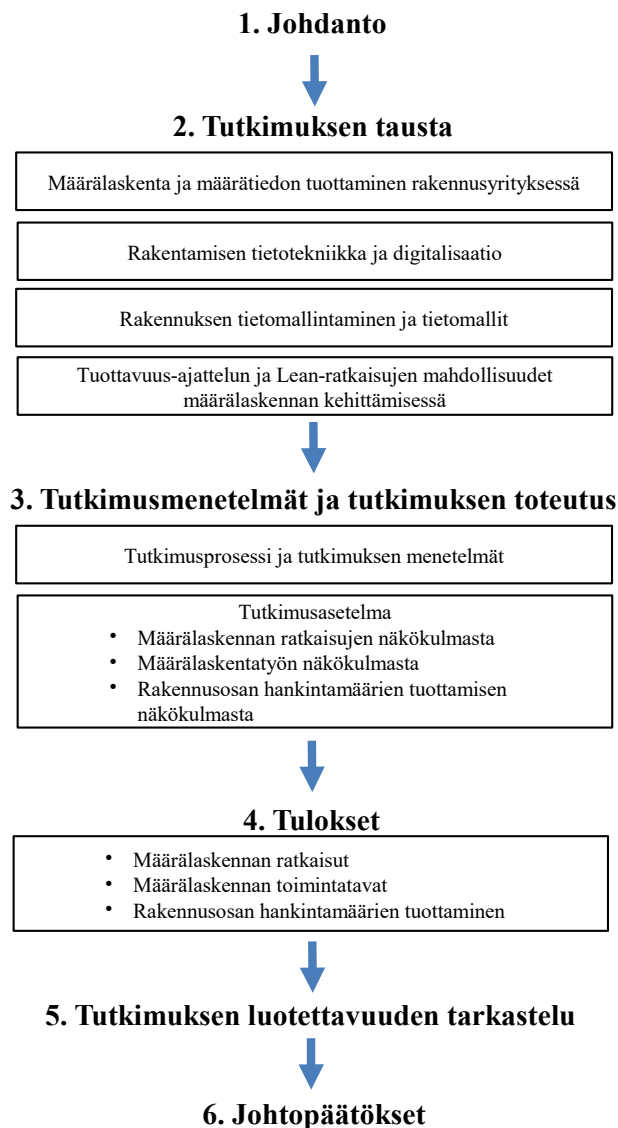
Primääriaineistona tutkimuksessa on empiirisessä osuudessa tapaus-tutkimuksella tuotettu aineisto. Empiirinen osuus on kaksiosainen. Ensin kartoitetaan tietomallikohteita, joita on käytetty määrätiedon tuottamiseen. Tämän jälkeen näistä hankkeista valitaan samankaltaiset hankkeet. Hankkeista tutkitaan rakennusosan osalta määrämittaustyötä. Hankkeista tehdyt havainnot ja niissä määrälaskennassa mukana olleiden henkilöiden näkemykset antavat käytännön rajapintaa tiedolliseen tutkimukseen toimintatapojen määrityksessä.

Toisessa vaiheessa tutkimuksessa käsitellään kolmea case-kohdetta, joiden avulla empiriaosuudessa esitetään tietomallien mahdollisuuksia parantaa määrätiedon hyödyntämistä rakennusprosessissa. Tutkimuksessa määritellyn työkalun avulla tuotetaan analyysi siitä, miten sen tuottama määrätieto vastaa luotettavuudeltaan vertailussa käytettäviä kahdella muulla tavalla tuotettua vastaavaa määrätietoa.

1.5 Väitöskirjan rakenne

Väitöskirja jakautuu kuuteen lukuun (kuva 2). Ensimmäisessä luvussa käsitellään tutkimuksen taustaa, rajauksia sekä tutkimusmenetelmää. Luvussa esitellään myös tutkimuksen hypoteesi ja tavoitteet. Luvussa kaksi esitellään tutkimuksen taustaa ja siihen liittyvä keskeinen termistö.

Luvussa kolme käsitellään empiirisen tutkimuksen lähtötilannetta ja kuvaataan tutkimusasetelma. Tutkimuksen empiirisessä osuudessa on kolme näkökulmaa: määrälaskennan ratkaisut, määrälaskennan toimintatavat ja rakennustuotantoa palvelevan hankintamäärätiedon tuottaminen. Luvussa neljä esitetään empiirisessä tutkimuksessa saadut tulokset.

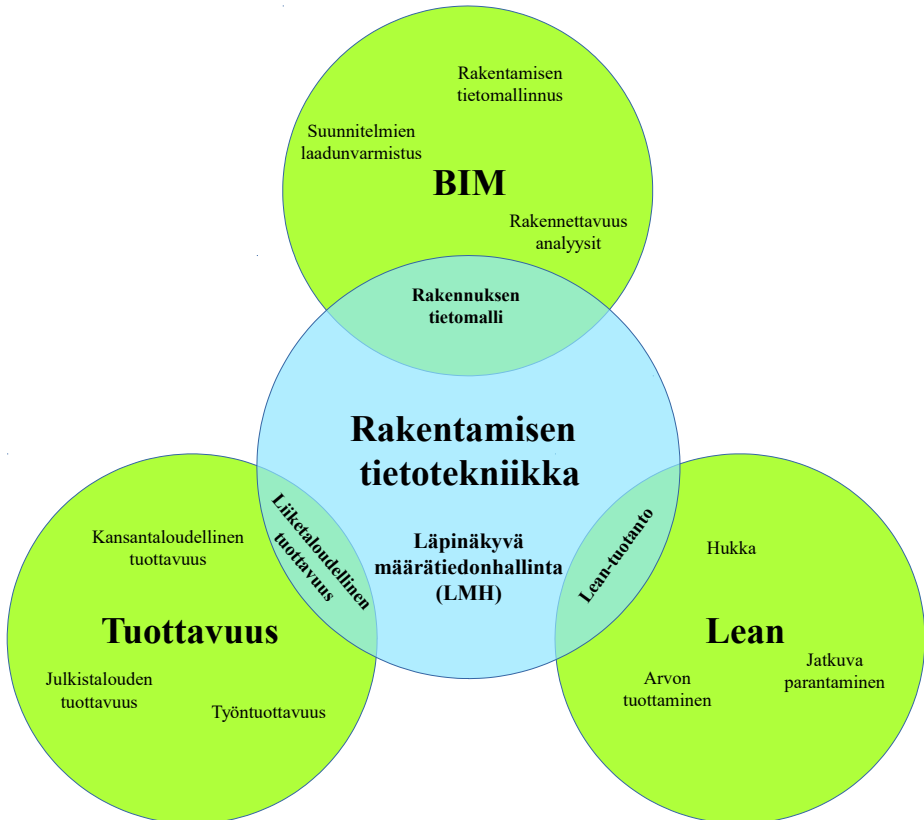


KUVA 2 Väitöskirjan rakenne.

Luvussa viisi arvioidaan tutkimuksen tuloksia, validiteettia ja reliabiliteettia, vertaillaan tutkimusta muihin tutkimuksiin sekä esitetään arvio tutkimuksen tieteellisestä uutuusarvosta. Luvussa kuusi esitetään johtopäätökset ja jatkokehitysehdotuksia.

2 Tutkimuksen tausta

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen lähtökohdat perustuen aikaisempiin tutkimustuloksiin sekä teollisuudesta havaittavissa oleviin käytäntöihin ja niistä saatuihin oppeihin. Tämä määrätiedon tuottamista ja hallintaa koskeva tutkimus liittyy rakentamisen tietotekniikan tieteenalaan ja tarkentavina näkökulmina ovat rakentamisen tietomallit (BIM) ja Lean-ajattelu (kuva 3). Lisäksi tuottavuus toimii tutkimuksen ohjaavana näkökulmana.



KUVA 3 Tutkimus koskee primäärisesti rakentamisen tietotekniikan tieteenalaan ja tarkentavina näkökulmina ovat rakentamisen tietomallit (BIM), Lean-ajattelu ja tuottavuus.

Ensin käsitellään määrälaskennan sisältöä ja logiikkaa, jossa syvennytään myös tietomalliperustaiseen määrälaskentaan. Tämän jälkeen siirrytään käsittelemään tietomallintamisen taustoja ja nykytilaa. Tutkimuksen teoreettisen näkökulman ymmärtämiseksi luvun lopussa esitetään tuottavuuteen ja Lean-ajatteluun liittyviä periaatteita ja tavoitteita. Näitä hyödynnetään tutkimuksessa, kun mielenkiinnon kohteena ovat mahdollisimman edistykselliset ja informatiiviset määrälaskentaprosessit.

2.1 Määrälaskenta ja määrätiedon tuottaminen rakennusyrityksessä

2.1.1 Projektiliiketoiminta rakennusyrityksessä

Rakennusalalla liiketoiminta perustuu pääsääntöisesti projektiliiketoimintaan. Artto et.al [2008] määrittelee projektin, että se on ennalta määritettyyn päämäärään tähtäävä, monimutkaisten ja toisiinsa liittyvien tehtävien muodostama ajallisesti, kustannuksiltaan ja laajuudeltaan rajattu ainutkertainen kokonaisuus. Rakennushanke täyttää nämä edellytykset. Rakennussuunnitelmilla määritellään hankkeen päämäärä. Hankkeelle luodaan aikataulu, jossa määritellään ajallinen tavoite miten suunnitelmista tuotetaan rakennus. Laajuudeltaan rakennushanke voi olla pienestä piharakennuksesta aina isoihin aluerakentamiskohteisiin. Ainutkertaisen rakennushankkeesta tekee se, että hankkeen toimijat (käyttäjä, tilaaja, rakennuttaja, eri suunnittelijat ja urakoitsijat sekä materiaalityöntekijät) muuttuvat hankkeesta toiseen. Kustannuksien ja tuottojen hallinta ovat yksi pääedellytys, että yritystoiminta kannattaa. Rakennushankkeen tarjouslaskelma tuotetaan pohjautuen kustannusarvioon, laskentamuistioon ja yritysstrategioihin. Kustannusarvio muodostetaan määrälueuttelon ja hinnoittelutietojen pohjalta. [Artto et.al, 2008; Enkovaara et.al, 1998; Vuorela et.al, 1998]

2.1.2 Perinteinen määrälaskenta ja määrämittaus

”Määrälaskijalla on velvollisuus mitata ja kuvata rakennussuorituksen sisältö siten, että kustannukset voidaan sen perusteella asianmukaisesti arvioida”. [Talo80 –määrälaskentaohje, 1982]

Määrälaskenta tuottaa edellisessä aluvussa määritellyn kustannusarvion pohjaksi tarvittavan määrälueuttelon. Määrälaskentatoiminto käsittää kohteeseen tutustumisen, lähdeaineiston kokoamisen ja määrätiedon tuottamisen tehtävät. Perinteisesti määrätietoa on tuotettu piirustuksista tai 2D-suunnitelmista mittaamalla. Määrämittausta voidaan tehdä esimerkiksi piirustuksista mittasuhdeviivaimella tai ohjelmistopohjaisella digitointijärjestelmällä. 2D-suunnitelmista mittaustietoa voidaan tuottaa suunnitelman tiedostomuotoa tukevan ohjelmiston mittaustyökaluilla. Mitattava määrätieto voidaan tuottaa suunnitelmista suoraan mittalukuna tai laskutoimitusten avulla mittalukujen perusteella. Rakennusosien matemaattisen tiedon (esim. pituus, kappalemäärä, pinta-ala tai tilavuus) avulla voidaan tuottaa esimerkiksi rakennuksen rakentamiskustannuksia, aikatauluja tai tehdä materiaalihankintoja. [Enkovaara et.al, 1998]

”Määrälaskijalta ei tule edellyttää rakennus- tai rakennesuunnittelua, eikä rakennusosien tai työläjien laadun tai vaatimustason valintaa”. [Talo 90, 1994a]

Määrälaskennan tarkkuuteen vaikuttaa käytettävissä olevien suunnitelma-asiakirjojen taso. Mittaustyökalun tarkkuus vaikuttaa myös mittaus-tulokseen esimerkiksi 2D-ohjelmiston mittatyökalu tuottaa tarkempia

mittaustuloksia kuin mittasuhteiviivaimella mitattaessa. Lisäksi piirustusten ja 2D-suunnitelmien mittakaavan oikeellisuus aiheuttaa riskin määrämittaukseen. Määrälaskennan voi suorittaa rakennusyrityksen palkkaama määrälaskija tai määrälaskentapalveluja tarjoava yritys. [Talo 90, 1994a; Enkovaara et.al, 1998]

Suomessa on yleisesti käytössä rakennusurakan yleiset sopimusehdot, josta käytetään lyhennettä YSE1998. Se jaottelee urakkasopimusasiakirjat kaupallisiin ja teknisiin asiakirjoihin. Sopimuspiirustukset kuuluvat teknisiin asiakirjoihin ja näistä asiakirjoista tehdään määrämittaukset. Tietomallia ei erikseen mainittu urakkasopimusasiakirjana YSE1998. YSE1998:n mukaan rakennuttajan urakkapyyntöasiakirjojen mukana toimittama määrä- tai mittaluettelo kuuluu kaupallisiin asiakirjoihin.

Määräluettelo jäsenetään loogiseksi kokonaisuudeksi, johon voidaan käyttää yleisiä tai yrityskohtaista jäsenysperiaatteita. Määräluetteloä käytetään muodostamaan rakennushankkeen kustannuksia. Suomessa rakennushankkeen määräluettelon sisältö jäsenetään yleisesti nimikkeistöjen avulla. Suomessa julkaistut nimikkeistöt ovat Talo 70-, Talo 80-, Talo 90- ja Talo 2000-nimikkeistöt. Julkaisuihin on myös määritelty ohjeita rakennusosien määrämittaukseen. Nimikkeistöt on tuotettu yhteistyöryhmällä, joka on koostunut urakoitsijoiden, rakennuttajien, suunnittelijoiden ja rakennusalan järjestöjen henkilöistä. [Talo70, 1977; Talo 80, 1984; Talo 90,1994c; Talo 2000, 2008; Enkovaara et.al, 1998]. Talotekniikkaa koskien on julkaistu omat tarkentavat LVI2010- ja S2010-nimikkeistöt, joita voidaan käyttää rinnan Talo-nimikkeistön kanssa. [LVI 00-10473; S2010]

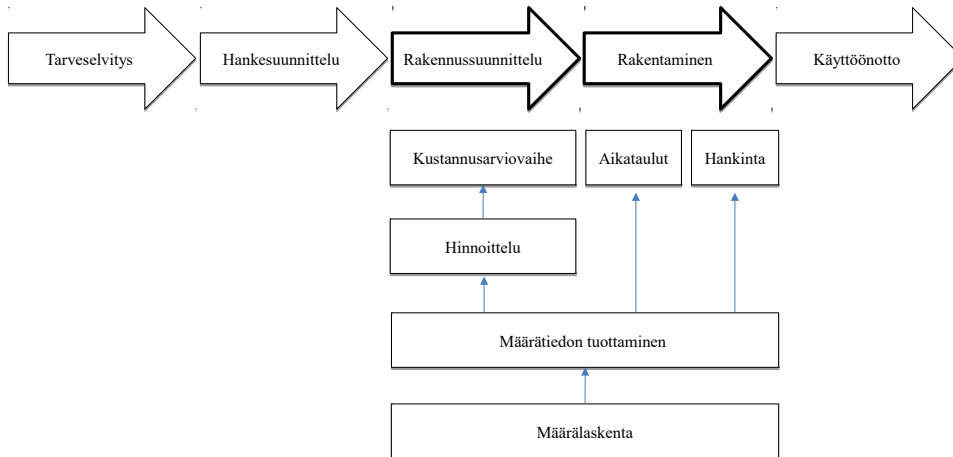
Nimikkeistöt sisältävät rakennuksen fyysisten rakennusosien lisäksi suunnitteluun ja tuotantotekniikkaan liittyviä kustannustekijöitä. Rakennuttajan laadittamaan määräluetteloon ei tarvitse sisällyttää työmaateknisten töiden määrää. Nimikkeistöä on kehitetty vuosien varrella ottamaan huomioon myös rakentamisen tietotekniikan näkökulmat. [Talo80, 1984; Talo 90, 1998; Talo 2000, 2008]

Tolonen [2003] toteaa tutkimuksessaan, että tutkimukseen osallistuneet rakennusyritykset käyttivät raportoinnissa Talo 80-nimikkeistöä, vaikka käytössä olisi ollut uudempi Talo 90-nimikkeistö. Laitinen [1998] käytti tutkimuksessaan Talo 90-nimikkeistöä.

Määrätietoa voidaan määräluettelossa esittää sijaintieriteltynä. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi määräluettelon määrätiedon yhteissumma voi koostua kerroskohtaisista osamääristä. Sijaintieritellyistä määrätiedoista Rakennusteollisuus RT ry on julkaissut vuonna 2006 määrälaskentaohjeen. Sijaintieriteltä määrätietoa käytetään esimerkiksi tuotannosuunnittelussa ja -valvonnassa [Talo 90, 1994b].

Rakennusprosessin aikana voidaan kustannuksia arvioida eri tavoilla riippuen siitä, mikä on rakentamisprosessin vaihe ja siihen liittyvien suunnitelmien kattavuus. Näitä eri vaiheita on esimerkiksi tilapohjainen laskenta,

rakennusosa- ja kustannusarviolaskenta [Enkovaara et.al, 1998; Laitinen, 1998]. YTV2012 osassa 7 on edellä mainittujen vaiheiden lisäksi listattu tunnuslukujen laskenta ja alustava rakennusosalaskenta. Kuvassa 4 on esitetty määrätiedon tuottamisen tarpeita osana rakennusprosessia: kustannusarviovaihe, tuotannon aikataulusuunnittelu ja hankintatoimi. Näihin toimintoihin tarvitaan määrätietoa. Tässä kustannusarviovaihe koostuu kahdesta osatoiminnosta: määrälaskenta ja hinnoittelu. Tässä tutkimuksessa ei käsitellä hinnoittelutoimintoa.



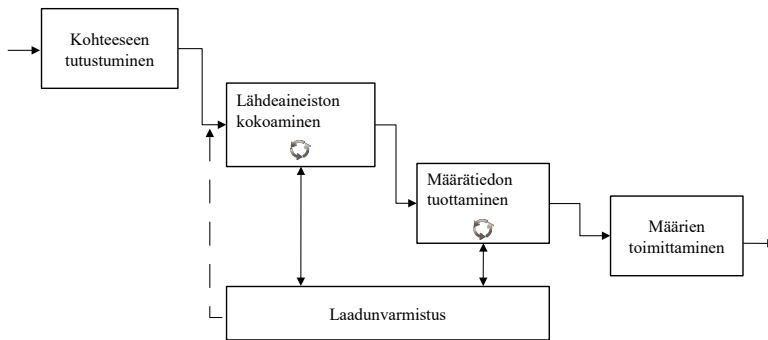
KUVA 4 Määrätiedon tuottamisen tarpeita osana rakennusprosessia.

Laitinen [1998] toteaa, että rakennusurakoitsijoilla yksi aikaa vievin osa on määrätiedon tuottaminen kustannusarviovaiheessa. Lisäksi käytännössä on todettu, että samaa määrätietoa tuotetaan jopa kuuteen kertaan rakennusprosessin aikana. Näitä ovat urakoiden kilpailuttaminen, aikataulusuunnittelu, tehtäväsuunnittelu, hankintojen kilpailuttaminen, logistiikka ja toteutuneiden määrätietojen laskeminen. Syynä uudelleentuottamiseen on, että määrälaskennassa tuotettuja määrätietoja ei voitu suoraan hyödyntää tuotannossa, hankinnassa. Lisäksi hankekohtaiset tiedot eivät siirtyneet prosessissa eteenpäin tai laskentaorganisaatiolla ei ollut tietoa rakennusprosessin muiden toimintojen määrätietotarpeista. [Laitinen, 1998; Kallio, 2011; YTV2012] Tässä tutkimuksessa määrätiedon uudelleentuottamista kutsutaan päällekkäiseksi työksi.

2.1.3 Tietomallipohjainen määrälaskenta

Perinteiseen määrätiedon tuottamiseen verrattuna tietomallipohjaisessa määrälaskennassa määrätietoa ei varsinaisesti ”mitata”, kuten perinteisesti on tehty piirustuksia käyttäen. Määrätieto on periaatteessa jo olemassa tietomallissa (esimerkiksi arkkitehti-, rakenne- ja talotekniikkamalleissa sekä näiden yhdistelmämallissa), koska tietomallin tietosisältö sisältää valmiiksi objektien/ komponenttien geometria-/ mittatietoja. Tehtäväksi täten muodostuu relevantin määrätiedon saaminen tietomallista. Tätä luonnehtii hyvin myös termi tiedonlouhinta (data mining). Tietotekniikan hyödyntäminen määrälaskennassa sekä automatisoitu määrätiedon tuottaminen eivät ole uusi ajatus, kuten esimerkiksi Eastman [1975], Skitmore [1990], Geiger, T.S., et.al. [1996], Laitinen [1998], Myllymäki [1998], Wijayakumar et.al [2013] ovat tuoneet esiin teksteissään. Kaikkia hankkeessa tarvittavia määrätietoja ei voida suoraan tuottaa tietomallista. Tällöin tietomallissa olevia määrätietoja voidaan hyödyntää esimerkiksi tuoterakenteiden kautta tai johtamalla määrätieto matemaattisesti esimerkiksi anturan raudoituksen laskennassa (kg/m^3) voida hyödyntää tietomallista saatavaa anturan tilavuutta. [YTV2012, osa 7]

Kuvassa 5 on esitetty prosessikuvaus tietomallipohjaiselle määrälaskennalle. Laskentakohteeseen tutustuminen tehdään tietomallien avulla. Kohteen visuaalinen havainnointi auttaa laskijaa paremmin hahmottamaan kohteen yksityiskohdat, kuten esimerkiksi eri korkeustasoissa olevat kerrokset. Lähdeaineiston kokoamisen yhteydessä tehdään tietomalleille laadunvarmistustoimenpiteitä, joilla varmistetaan tietomallin määrälaskentakelpoisuus. Tällöin selvitetään mitä tietomalleja on käytettävissä laskennassa, missä tiedostomuodossa (natiivi/ IFC) tietomallit on toimitettu laskentaan ja mikä on mallien tarkkuustaso. Lisäksi selvitetään mitkä nimikkeet lasketaan mallista ja ovatko niiden tiedot yhdenmukaiset muiden suunnitelma-asiakirjojen kanssa esimerkiksi rakennetyyppitiedot. Tietomallien laadunvarmistuksessa mahdollisesti esiin tulleet poikkeamat raportoidaan esimerkiksi suunnittelijoille lähtötiedon korjaamiseksi. Määrälaskennan aikana tehdään myös laadunvarmistusta tietomallista tuotetulle määrätiedolle. Ongelmia määrätietoihin tietomalleissa voi aiheuttaa suunnitteluohjelmistoissa olevat mallintamiseen tarkoitettut erikoistyykalut (esimerkiksi katot, portaat ja erikoisseinät) ja myös geometrisesti haastavat erikoismuodot (esimerkiksi kaarevat, kaltevat tai matemaattisia kaavoja noudattelevat muodot). Tietomallista tuotetun määrätiedon luotettavuutta voidaan varmistaa visualisoimalla tuotettua määrätietoa ja vertaamalla sitä 2D-suunnitelmiin tai vertailemalla määrätietoa nimikekohtaisella tunnusluvulla vastaavanlaiseseen referenssi-kohteeseen tai tarvittaessa tekemällä vertailulaskelman 2D-suunnitelmista. [YTV2012, osa 7]



KUVA 5 Prosessikuvaus tietomallipohjaiselle määrälaskennalle. [mukailten YTV2012, osa 7]

Määrälaskennassa tietomalleja voidaan hyödyntää esimerkiksi päivittämällä määrätiedot automaattisesti uutta laskelmaa varten [Azhar, 2011; Pučko et.al, 2014]. Tietomallipohjainen määrälaskenta luo kuitenkin toimintaedellytyksille haasteita. Haasteena on, etteivät tietomallien suunnitteluohjelmistot tai tietomalleja hyödyntävät ohjelmistot tuota niissä olevaa määrätietoa samalla tavalla [Wijayakumar et.al, 2013]. Lisäksi käyttäjät käyttävät erilaisia määriä, kuten esimerkiksi nimiä samasta materiaalista tai rakennusosasta [Lan, 2014]. Tällöin esimerkiksi kustannustietokantaan on vaikeaa linkittää automaattisesti määrätietoja. Määrätiedon tuottamisen automatisointia mahdollisimman varhaisessa vaiheessa auttaa se, että jokainen komponentti on luokiteltu ja määriteltä sekä on luotu standardointia [Lan, 2014; Zhiliang, et.al, 2013]. Käyttäjät huolettaakin tietomallien laatu ja vastuu mallissa olevien puutteellisten tai virheellisten tietojen käytöstä [Smith, 2014].

Tietomallissa olevasta objektista/komponentista tarvitaan siis tietoa, jonka avulla se voidaan tunnistaa (tunnistetieto). Lisäksi määrälaskentaa varten tarvitaan määrätieto (esim. geometriatieto, lukumäärä) sekä sijainti (esim. kerros, lohko) tietoa [IAI, 2009]. Yleisellä tasolla tämän kaltaisia vaatimuksia on esitetty esimerkiksi YTV2012 ohjeistuksissa. Yleisellä tasolla olevalla ohjeistuksella ei vielä välttämättä pystytä täyttämään tietotarvetta, joka tietomallissa olevan objektin/komponentin yksilöimiseen tarvitaan.

Ohjeistuksiin tarvitaan täydentäviä osia, kuten esimerkiksi rakennetietomallin betonielementeille tehty BEC2012-luettelo-ohjeen liitteenä oleva lista. Tässä listassa elementtitunnukset on yksilöity niin, että esimerkiksi merkintä CL tarkoittaa parvekelaattaa. Yksilöityä tunnistetietoa on hyödynnetty betonielementeille luoduissa tietomallista tuotettavien BEC-määräraporttien yhtenä ohjelmistoteknisenä tunnistetietona. Tällöin tästä ohjelmistoteknisesti tietomallista tuotettavasta tiedosta voidaan käyttää termiä koneluettava tieto. Elementtitunnuksen kaltaisia yksilöiviä tunnistetietoja ei löydy arkkitehtien tietomallien ohjeistuksista. ProIT-kehityshankkeessa luotiin kuitenkin rakennusosamallia varten yksilöllinen rakennetyyppikirjasto.

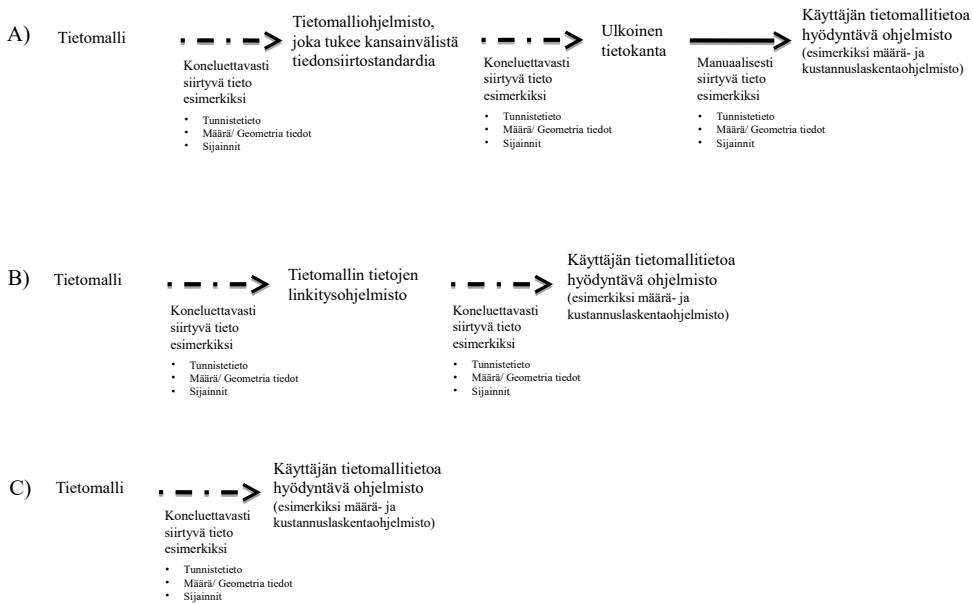
Kirjasto sisältää erilaisia rakennetyyppejä, joissa rakennusosalle on määritetty tunnistetiedon lisäksi yksilöityä materiaalitietoa sekä teknisiä tietoja, kuten U-arvoja ja paloluokka. [ProIT rakennetyyppikirjasto, 2004]. 2D-suunnitteluun on kuitenkin tehty erilaisia ohjeistuksia rakennetyypeistä sekä esimerkiksi piirustuksissa esitettävistä asuntotilojen lyhenteistä [RT-kortit, esim. RT 82-10903 -väliseinärakenteita, Elementtisuunnittelu.fi tyyppirakenteet, RT-15-10635, 1997]. Tietomallissa olevista huonetiloista käytetyt tilatunnisteita ja niihin kohdistuvia tilakohtaisia laajuustietoja voidaan hyödyntää myös rakentamisen jälkeen esimerkiksi rakennusten ylläpidossa [Gravicon, 2016].

Tietomallista automaattisesti tuotetuissa määrätiedoissa esiintyvät laatuongelmat voivat johtua esimerkiksi henkilön kokemattomuudesta tuottaa määrätietoa ja/tai vähäisestä perehtyneisyydestä määrätieto-ohjelmistoihin. Lisäksi kokemattomalla henkilöllä menee enemmän aikaa siinä, että hän määrittää, mitä puuttuu automatisoidusta tiedosta [Olatunji et.al, 2015]. Vaatiikin kokemusta ja asiantuntemusta pystyä tunnistamaan mahdolliset ongelmat tietomallista tuotetuissa määrätiedoissa [Smith, 2014]. Silloin kun tietomallista tuotetuilla määrätiedoilla on tarkoitus hinnoitella kohde tai esimerkiksi tilataan tavaraa työmaalle, tulee määrätiedon tuottajan ottaa vastuu tuottamastaan tiedosta. Tämä vaatiikin henkilöltä ammattitaidon lisäksi kohteeseen perehtymistä. Lisäksi tietomallia määrätiedon tuottamiseen käyttävän henkilön tulee tunnistaa, mitä määrätietoa eri suunnitteluvaiheiden eri suunnitteluvaiheiden tietomalleista voidaan saada. [Eastman et.al, 2011, Laasonen et.al 2007, YTV2012]. Tietomalli yhdessä 2D-suunnitelmien ja teknisten dokumenttien avulla vähentää kuitenkin määrälaskennan epävarmuustekijöitä ja parantaa luotettavuutta [Nadeem et.al, 2015].

Toimenpiteitä, joilla parannetaan tietomallipohjaisen määrälaskennan edellytyksiä esitetään seuraavassa listassa [Azhar, 2011; Zhiliang, et.al, 2013; Wijayakumar et.al, 2013; Smith, 2014; Lan, 2014; Pučko et.al, 2014; Nadeem et.al, 2015; Olatunji et.al, 2015; YTV 2012, osa 7].

- Johdonmukaisuus; malli tulee mallintaa projektikohtaisten ohjeiden mukaisesti ja mallinnustapa on dokumentoitava tietomalliselosteeseen.
- Mallin tarkkuustaso; mallintavan suunnittelun tilausvaiheessa määritellään mallinnuksen tarkkuustaso.
- Mallinnustyökalujen käyttö; mallinnuksessa tulee käyttää sellaisia työkaluja, joilla määrälaskennassa saadaan tarvittavat määrätiedot.
- Rakennusosien tunnistaminen; rakennusosat tulee mallintaa niin, että ne tunnistetaan yksilöllisesti.
- Laadunvarmistus; malli tulee tarkastaa ennen määrälaskentaa ja tarkastusraportti tulee liittää tietomalliselosteeseen.
- Nimikkeistö; projektissa käytettävästä nimikkeistöstä on sovittu.

Lisäksi sopimukseen liittyvät kysymykset tulee lisäksi ratkaista BIM-hankkeissa, jonka jälkeen tietomallien hyödyntämismahdollisuudet parantuvat [Smith, 2014]



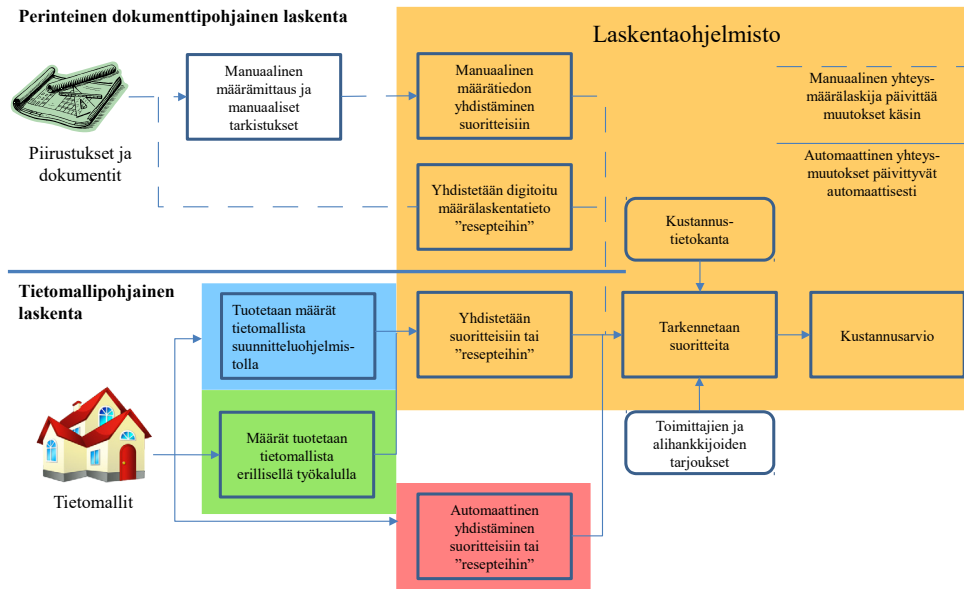
KUVA 6 Kolme mahdollista tapaa, joilla tietomallissa olevaa tietoa voidaan siirtää ohjelmistosta toiseen.

Kuvassa 6 on yleisellä tasolla esitetty kolme mahdollista tapaa, joilla tietomallissa olevaa tietoa voidaan siirtää ohjelmistosta toiseen. Määrätiedon tuottamisen näkökulmasta asiaa on avattu seuraavassa listassa.

- Viedään määrät tietomallista, tietomalliohjelman omia määrälaskentaominaisuuksia hyödyntäen tai erillistä tietomallien määrätiedon tuottamista tukevalla ohjelmistolla, ulkoisen tietokannan kautta laskentaohjelmistolle.
- Käytetään tietomallin määrätiedon viemisessä laskentaohjelmistolle erillistä tietomallia tukevaa linkitysohjelmistoa.
- Linkitetään tietomalli suoraan laskentaohjelmistoon.

Kuvassa 6 esitetystä C-vaihtoehdosta ohjelmistovalmistajat käyttävät myös termiä 5D [Vico, 2016; RIB, 2016]. Näin ollen tietomallin visuaalinen näkymä on linkitetty määrälaskenta- ja kustannustietoon ohjelmiston avulla. Käytettäessä 5D-termiä osana nD-termistöä, niin silloin sovelluksessa on 3D-malliin tuotu lisäksi aikaulottuvuus (4D) ja kustannus-ulottuvuus. Tällöin voidaan ajatella myös niin, että kustannustieto sijaitsee tietomallissa [Mitchell, et.al, 2012].

Eastman et.al. [2011] esittää perinteisen dokumenttipohjaisen ja tietomallipohjaisen laskennan eroavaisuudet prosessissa (kuva 7). Kuvassa 7 oranssilla pohjalla olevat toiminnot kuvastavat laskentaohjelmistoa. Sinisellä pohjalla oleva toiminto kuvastaa kuvassa 6 esitettyä A-vaihtoehtoa. Vihreällä pohjalla oleva toiminto kuvastaa kuvassa 6 esitettyä B-vaihtoehtoa ja punaisella pohjalla oleva toiminto kuvastaa kuvassa 6 esitettyä C-vaihtoehtoa.



KUVA 7 Perinteisen dokumentti- ja tietomallipohjaisen määrälaskennan prosessien eroavaisuuksia. [mukaillen Eastman et.al, 2011]

Shen et.al. [2010] ovat esittäneet, että tutkimuksessa määrätietoa tuotettiin perinteisesti piirustuksista sekä taulukkolaskentaohjelmistolla, IFC-tiedostoa tukevalla ohjelmistolla ja IFC-tiedoston siirtoa tukevalla ohjelmistolla, joka mahdollisti kyselyn tulosten laskemisen suoraan ohjelmistosta MS Excel-taulukkoon.

IAI [2009] on esittänyt tietomallin määrätiedon määrittämiselle kolme eri tasoja tietoteknisille sovelluksille. Kuvassa 6 esitetty koneluettavasti siirtyvä tieto poikkeaa taulukon 1 tasosta 1 siinä, että mallista siirtyy myös objektin määrätiedot. Kuvassa 6 ei ole otettu huomioon miten, käyttäjän tietomallia hyödyntävä ohjelmisto mahdollisesti jalostaa mallista tuotettua määrätietoa. Tutkimuksen empiirisessä osuudessa esitetyn vakioidun määrädokumentin tietoteknisen sovelluksen tulisi tukea seuraavanlaista määrittämistä määrätiedon tuottamiselle. Tämä määrittäminen on sekoitus taulukossa 1 esitetyistä tasoista: se sisältää BIM objektit, geometrian ja objektien perusmäärittäykset ja perusmäärätiedot, joita voidaan käyttää kansainvälisesti. Vastaanotettava sovellus pystyy hyödyntämään objektin määrittämiä sekä geometriaa

määrätiedon tuottamisessa. Lisäksi vastaanottava sovellus sisältää kansallisia tai paikallisia laskentasääntöjä. Tässä tutkimuksessa vastaanottavana sovelluksena vakioidulle määrätietodokumentille käytettiin ulkoista tietokantaa.

TAULUKKO 1 IAI [2009] kolme tasoa tietomallin määrätiedon määrittämislle tietoteknisille sovelluksille.

Taso	Objektitieto	Vastaanottava sovellus	Laskentasäännöt
Taso 1	Sisältää BIM objektit, geometrian ja objektien perusmääritykset, mutta ei valmista määrätietoa.	Vastaanottava sovellus pystyy hyödyntämään objektin määrittämiä sekä geometriaa määrätiedon tuottamisessa.	
Taso 2	Sisältää BIM objektit ja perusmäärätiedon, jota voidaan käyttää kansainvälisesti.	Vastaanottava sovellus ei käytä geometriatietoja määrälaskentaan.	Eivät sisällä kansallisia tai paikallisia laskentasääntöjä. Tuotettuja määrätietoja voidaan käyttää pohjana kansallisten laskentasääntöjen mukaisille määrätiedoille.
Taso 3	Sisältää BIM objektit ja määrätiedot.	Vastaanottava sovellus ei käytä geometriatietoja määrälaskentaan.	Kansallisten ja paikallisten laskentasäännöt.

Taulukkoon 2 on koottu esimerkkejä erilaisista hankkeista ja niiden tuloksista, joissa on testattu määrä-/kustannustiedon hyödyntämistä tietomalleista. Lähteissä ei ole tarkemmin mainittu, miten tuloksissa mainitut prosenttiluvut on laskettu. Aurora2 [2005], Eastman et.al [2011], Laitinen [1998], Staub-French et.al. [2002] ovat lähestyneet aihetta kustannuslaskennan näkökulmasta, kun taas Monteiro, A. et.al. [2013], Staub-French et.al [2001], Sulankivi [2004], Sulankivi et.al [2005], Zhigang et.al. [2010] ovat lähestyneet aihetta määrälaskennan näkökulmasta. Tässä tutkimuksessa näkökulmaa laajennetaan määrälaskentavaiheen hyödyntämisessä huomioimaan myös tuotantovaiheen määrätietotarpeet. Gao et.al [2008] esittää, että kustannuslaskennan tutkimustuloksia on vaikea vertailla keskenään. Tämä perustuu siihen, että he olivat laskeneet tutkimustuloksille kustannuslaskennan nopeutumiseksi 12,5 % prosentin yhdenmukaisuuden. Mittaustavoiksi he ilmoittavat kvantitatiivisen sekä objektiivisen mittaustavan, jotka perustuvat jalkautuksen faktoihin ja numeroihin.

TAULUKKO 2 Esimerkkejä tietomallin eri hyödyntämismahdollisuuksista määrärajoitusten kustannuslaskennassa.

Nro	Lähde	Tyyppi	Tutkimuksen kohde	Tulos
1	Aurora2 [2005]	Tapaustutkimus	Rakennushanke	Kustannusarvion tarkkuus parani
2	Eastman et.al [2011]	Tapaustutkimus	Rakennushanke	Tavoitekustannuksista 53 % tuotettiin manuaalisesti, mallista 25% ja konseptuaalisesti 22%
3	Eastman et.al [2011]	Tapaustutkimus	Rakennushanke	Aikaisen vaiheen laskentaan meni BIM avulla 92% vähemmän aikaa
4	Laitinen [1998]	Tapaustutkimus	Rakennushanke	Kustannusarvion laatimisessa aikaa säästettiin 80%
5	Monteiro, A. et.al. [2013]	Tapaustutkimus	Ohjelmisto	Määrälaskenta määritykset pitää päivittää ottamaan huomioon BIM ominaisuudet.
6	Staub-French et.al [2001]	Tapaustutkimus	Rakennushanke	Määrien automaattinen laskenta ja vieni kustannusarvioon vähensi laskenta-aikaa 25%
7	Sulankivi [2004]	Tapaustutkimus	Rakennushanke	Määrälaskenta-ajan lyhentymisen: rakennusosarviossa n. 50% ja suoritepohjaisen kustannusarvion määräluettelon tuottamisessa n. 30%
8	Sulankivi et.al [2005]	Tapaustutkimus	Rakennushanke	Rakennusosa-arvion määrälaskenta-aika nopeutui 70-80%
9	Shen et.al. [2010]	Tapaustutkimus, teoreettinen	Yksittäiset rakennusosat	Testitulokset osoittivat, että tietomallin visuaalinen tarkastelu riitti tuottamaan parannuksia tehokkuudessa ja tarkkuudessa
10	Staub-French et.al. [2002]	Tapaustutkimus	Yksittäiset rakennusosat	Tulokset osoittivat, että käyttämällä tutkijoiden määrittämällä ACE:lla voitaisiin laskea rakentamiskustannukset 17 % nopeammin, kuin perinteisellä menetelmällä
11	Gao et.al [2008]	Tapaustutkimus	Rakennushanke, 32 kappaletta	Tutkimuksessa kustannuslaskennan nopeutumisesta tutkittavista kohteista yhdenmukaisuusprosentiksi on laskettu 12,5%. Tämä tarkoittaa, että tutkimustuloksia on vaikea vertailla keskenään.

2.1.4 Materiaalihankinnan määrätiedot

Materiaalihankintaa varten määrätietoihin lasketaan mukaan materiaalihukat. Ratu-kortissa (rakentamisen tuotantotietokortti) 54-0263 on määritelty kokonaishukan muodostuvan menetelmä-, työvaihe- sekä työmaalisästä. Ratu-kortteihin on kerätty myös tietoa työmenetelmistä sekä työn ajallisesta mitoituksesta.

Määräluetteloon rakennusosan määrätiedot lasketaan teoreettisina, eli siihen ei lisätä materiaalimenekin laskentaan käytettävää materiaalihukkaa mukaan. Työmaalle hankitaan rakennusmateriaaleja, joista tuotetaan määräluettelossa esitetty rakennusosa. Esimerkiksi kevytrakenteinen

metallirankainen kipsilevyseinä koostuu levy- ja ranka-materiaalista. Suomessa materiaalimenekkitietoja on kerätty Ratu-kortteihin. Ratu-korttien tiedot perustuvat kerättyyn tietoon tekemällä lyhyt- ja pidempiaikaista seuranta. Esimerkiksi vuonna 2003 päivitettyyn Ratu-korttiin 54-0263 tiedonkeruun taustalla on ollut lomakekysely. Vastaajina on ollut työmaan työnjohtajia, työmaainsinöörejä, rakennusmestareita tai aliurakoitsijan edustajia. Mukana olleita kohteita on ollut 21 kpl ja työkokonaisuuksien koot ovat vaihdelleet muutamista kymmenistä seinäneliöistä noin 7000 seinäneliöön. Lomakkeessa on kysytty suoritemääriä, tilattuja materiaalmääriä ja -hukkaa. Lomakkeen määrätiedot on varmistettu ja tarkennettu kyselyn jälkeen puhelimitse tai henkilökohtaisesti. [Kivimäki, 2014]

Taulukkoon 3 on koottu Ratu-kortti 1193-S ja Ratu-kortti 54-0263 määritellyt väliseinien teoreettiset materiaalimenekit. Näissä Ratu-korteissa käytetty suure ”seinä-m²” tarkoittaa seinän bruttoalaa [Kivimäki, 2014].

TAULUKKO 3 Ratu-korteissa määritelty teoreettinen materiaalimenekki väliseinä-materiaalille.

Teoreettinen menekki	
Runkomateriaali	jm/seinä-m ²
k 300	4,13
k 400	3,3
k 600	2,47
Levytys	m ² /seinä-m ²
1-puoleinen	1
1 levy/puoli	2
2 levyä/puoli	4

Kevyiden metallirankaisten levyseinien määrittäminen ja materiaalihankinnan perusteet

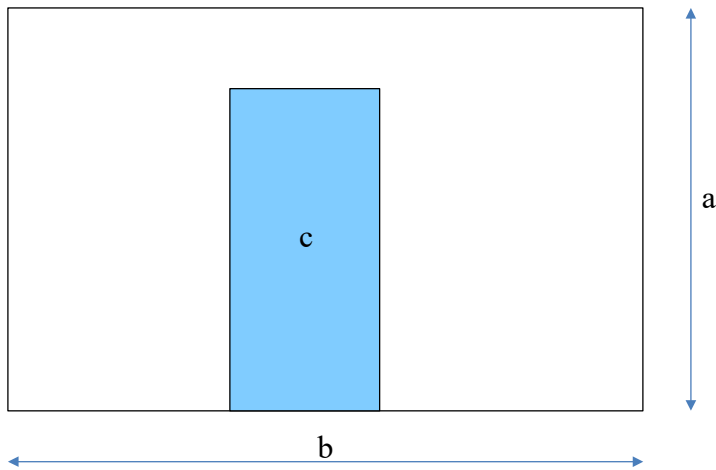
Empiirisessä osuudessa käsitellään rakennusosana kevyitä metallirankaisia väliseiniä. Seuraavaksi tarkastellaan niihin liittyviä määrälaskentaa ja -mittaukseen sekä materiaalihankintaan liittyviä ohjeistuksia.

Taulukkoon 4 on koottu eri nimikkeistöjen määrälaskentaohjeet kevyille väliseinille.

TAULUKKO 4 Eri nimikkeistöjen määrälaskentaohjeet kevyille väliseinille.

	Talo80-nimikkeistö	Talo90-nimikkeistö	Talo2000-nimikkeistö tuotantomäärien mitta	YTV2012, osa 3 arkkitehtisuunnittelu	YTV2012, osa 7 määrälaskenta
Mittausperuste	Mitataan neliömetreinä seinän liittymismittojen mukaan vähentämättä alle 1 m ² suuruisia aukkoja ja rakenteita	Mitataan neliömetreinä seinän liittymismitoin alle 1 m ² suuruisia aukkoja ja rakenteita vähentämättä	Mitataan muotoa noudattaen rakennemittoin neliömetreinä	YTV:n osan 3. mallintamisen tarkkuustasot; taso 2. määrittely, että sijainti ja geometriatieto on mallinnettu vaatimusten mukaan. Rakennusosat on mallinnettu niin, että kappalemäärät ja muu oleellinen määritieto saadaan rakennusosittain mallista.	Keskeisiä mittatietoja: - kpl - pituus - piiri - korkeus - nettopinta-ala - bruttopinta-ala - nettotilavuus - bruttotilavuus - nettopaino - bruttopaino
Aukotukset	vähentämättä alle 1 m ² suuruisia aukkoja ja rakenteita	vähentämättä alle 1 m ² suuruisia aukkoja ja rakenteita	yli 1 m ² aukot vähennetään ja ilmoitetaan aukkomittoin neliömetreinä ja kappaleina		
Erittely	Määrät eritellään seinärakenteen, materiaalin ja korkeusluokan mukaan	Määrät eritellään seinärakenteen, materiaalin ja korkeusluokan mukaan	Määrät eritellään rakennusosan, rakennetyypin, rakenteen korkeuden, ainevahvuuden ja pintarakenteen mukaan. Samoin eritellään kaarevat rakenteet ja normaalia huonekorkeutta korkeammalla olevat vaakarakenteet.	Rakennetyypit on mallinnettu määrittelyjen mukaan ja nimetty oikein.	Määrät jäsennetään sijainneittain

Kuvassa 8 on havainnollistettu nimikkeistöjen mukainen määrittäustapa koskien seinärakennetta. Tässä kuvassa c on aukko kuten ovi ja mitat a ja b esittävät tarkastelun alla olevan seinän dimensioita.



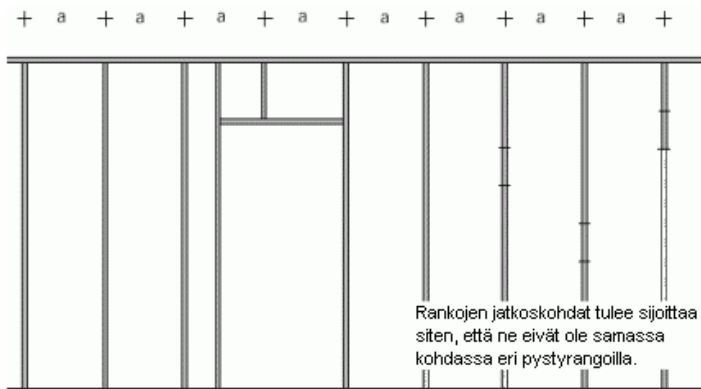
Ala on: $a \cdot b - c$, jos $c > 1 \text{ m}^2$

KUVA 8 Nimikkeistöjen mukainen ohje seinän määrittäustapaperusteeksi.

Materiaalivalmistajien ohjeet

Väliseinämateriaalitoimittajat ovat tehneet omia ohjeita, miten heidän tuotteitaan tulee käyttää. Materiaalivalmistajilta löytyy myös laskureita, joilla voidaan arvioida tarvittavia materiaalmääriä. [Gyproc, 2013; Knauf, 2013]

Kuvassa 9 on esitetty, miten rankajako toteutetaan seinässä käytettäessä 1200 mm leveää kipsilevyä. Kuvan a-mitta on rankajako. Materiaalitoimittajan ohjeen mukaan rankojako on 600 millimetriä mitattuna rangan keskeltä keskelle eli k600.



KUVA 9 Materiaalitoimittajan ohje rankajaosta k600 seinässä. [Knauf, 2013]

Taulukossa 5 on esitetty materiaalivalmistajien ohjeistuksia väliseinän rangan ja levytyksen toteutukseen.

TAULUKKO 5 Materiaalivalmistajien ohjeistuksia väliseinän toteutukseen.

	Knauf	Gyproc
Pystyrangan korkeus	Suosittelavaa on käyttää täysmittaisia rangoja ja rangan tulee olla 10 mm lyhyempi kuin tuleva huonekorkeus.	Pystyrangan katkaisupituus on vapaa väli -20 mm.
Keyyen oven runko-rakenne	Ovien pielet vahvistetaan pielipuulla tai vahvisterangalla. Ovien korkeuksia mitattaessa tulee huomioida tulevan lattiämateriaalin paksuus sekä aukon ja karmin väliin jäävä 10 mm:n tilkevara. Lattiakiskosta taitetaan 100 mm:n pituinen osa ylös liitoskohtaa tukemaan.	Asenna rangan sisälle seinän korkeinen puulista, johon ovikarmi kiinnittyy. Taita lattiakiskosta 150 mm:n pituinen osa ylöspäin tukemaan liitoskohtaa.
Seinän levytytys	Rangat tulee sijoittaa siten, että levyjen saumat eivät osu kohdakkain seinän eri puolilla eikä päällekkäisissä levykerroksissa.	Älä sijoita eri puolen saumoja samalle rangalle.
Aukon levytytys	Asenna levyt täysmittaisina aukkojen kohdalla. Ovi- ja muut aukot lovetaan asennuksen jälkeen. Levysaumoja ei suositella asennettavaksi samaan linjaan oviaukkojen kanssa.	Levytä aina täysillä levyillä. Tee aukot loveamalla.

2.2 Rakentamisen tietotekniikka ja digitalisaatio

2.2.1 Tietotekniikan ja digitalisaation merkitys rakennusalalle

”Paperiton toimisto” on varsin tuttu ilmaisu. Tietotekniikan avulla on pyritty luomaan kautta aikojen uusia mahdollisuuksia tehdä työtä ns. paperittomassa ympäristössä. Rakentamisessakin tietotekniikkaa on hyödynnetty, esimerkiksi suunnittelussa piirustuslaudon käytöstä on siirrytty 2D cad-piirtämisen kautta tietomallinnukseen. [Hietanen, 2005]

Digitalisaatio määritellään Etlan [2015] mukaan digitaaliteknologian integroinnilla arkipäivän elämään, jossa se muuttaa ja luo uusia tapoja liiketoimintaan, innovointiin ja mahdollisuuksien hyödyntämiseen. Lisäksi digitalisaatio tuottaa lisäarvoa yritykselle tuotteiden ja palveluiden muodostamien kustannussäästöjen, uusien ominaisuuksien sekä yleisen tehostumisen ja hyötysuhteen parantumisen osalta. Digitalisaatio on kirjattu syyskuussa 2015 julkaistun hallituksen strategisen ohjelmaan yhdeksi kärkihankkeiksi. Rakennus- ja kiinteistöala on mukana tässä ”Rakennetun ympäristön ja rakentamisen digitalisaatio” (KIRA-digi) hankkeella. Siinä on kolme osa-aluetta; tiedonhallinnan harmonisointi, julkisen hallinnon säädös- ja muutostyöt sekä kokeiluhankkeita ja pilotteja. Tiedonhallinnan harmonisoinnissa tavoitteena on avata julkisiin viranomais tietoihin ja -rekistereihin uusia rajapintoja. Lisäksi vakioinnilla mahdollistetaan tiedon koneluettaavuus, jolloin on mahdollisuus laaja-alaisempaan prosessien automatisointiin.

Tiedonhallinnan kehitystyöhön liittyy myös KIRA-alan nimikkeistön ja sanaston kehittäminen. [Valtioneuvosto, 2016; KIRA, 2016]

2.2.2 Rakentamisen tietotekniikka tieteenalana

Tieteenalana rakentamisen tietotekniikka toimii tutkimuksen teoreettisena pääasiallisena viitekehyksenä. Tässä tutkimuksessa käsiteltävät tietomallit kuuluvat kiinteänä osana rakentamisen tietotekniikkaan (luku 2, kuva 3). Rakennusalalla on tutkittu ja kehitetty eri tutkimushankkeissa tietomalleja (luku 2.3.4, taulukko 6). Tämä tutkimus syventyy tarkastelemaan tietomallin hyödyntämistä määrätiedon tuottamisessa.

Aiemmissä tutkimuksissa (luku 2.1.3 taulukko 2) on tuloksina kirjattu, että tietomallit vähentävät määrälaskenta-aikaa ja nopeuttavat kustannusarviovaiheen laskentaa sekä parantavat määrätiedon luotettavuutta. Aikaisemmissä tutkimuksissa ei ole kirjattu esille, miten reaali maailmaan kohdistuneisiin kvantitatiivisiin lopputuloksiin on päästy. Tämän tutkimuksen tavoitteena on kirjata näkyväksi kvantitatiivinen data määrälaskennan toteutuksesta, johon tulokset perustuvat.

Aiemmissä tutkimuksissa on esitetty mahdollisuuksia hyödyntää tietomalleja määrätiedon tuottamisessa esimerkiksi ohjelmistojen ja niiden yhteensopivuuteen liittyvien standardien kehittämisen osalta. Tässä tutkimuksessa tavoitellaan uudenlaista toimintamallia määrälaskennan määrätiedon tuottamiseen tietomallien avulla (ks. luku 3.3).

2.3 Rakennuksen tietomallintaminen ja tietomallit

2.3.1 Tietomallintamisen ja tietomallien historiaa

Tietomallinnukseen johtaneita ajatuksia on esitetty jo 1970-luvulta asti. Eastman et al. [1974] esittivät, että piirustukset eivät ole paras tapa kommunikoida rakennusprosessissa. He esittivät ratkaisuksi tietokoneohjelmistoa, jossa rakennus muodostuu rakennusosista kuten oikeat rakennukset. Ajatuksena oli jo tuolloin, että 3D-mallista tuotetaan rakennuspiirustukset. Tällöin suunnitelmiin tulevat muutokset olisi helpompi päivittää piirustuksiin, kun se tapahtuisi automaattisesti. Lisäksi tietomallia voisi hyödyntää tuottamalla siitä määrätietoraportteja, jolloin tulevaisuudessa urakoitsijat voisivat käyttää tietomallia esimerkiksi projektien aikataulutukseen ja rakennusmateriaalin tilaukseen. Carnegie Mellon Universityllä oli käytössä jo vuonna 1975 Building Description System (BDS) järjestelmä. Tässä järjestelmässä toimi jo osa 3D-mallin ajatuksista. Building Description System (BDS) järjestelmä oli silloin vain visio siitä, mitä tulevaisuudessa ohjelmistovalmistajat voisivat tuottaa. Vuonna 1984 tuli markkinoille arkkitehdeille suunnattu tietomallinnusohjelmisto. [Eastman, 1975; Graphisoft, 2013]

2.3.2 Tietomallinnus ja tietomalli -termin käyttö

Tietomallinnuksesta ja tietomalleista on käytetty erilaisia termejä. Vuonna 1999 Charles Eastman kirjoitti tietomalleista kirjan *Building Product Models* [CRC Press, 2013]. Proit-kehityshankkeessa julkaistiin vuonna 2004 sanasto, jossa esiintyi termi ”tuotemalli” [ProIT, 2013]. Määritelmäksi termille on kirjattu: ”Rakennuksen ja rakennusprosessin elinkaaren aikaisten tuotetietojen kokonaisuus”. Sanastossa oli maininta, että tuotemallille on myös käytössä englanninkielinen termi *Building Information Model (BIM)*. Sanakirjasta [Jokinieniemi, et.al., 2012] löytyy termi tuotemallinnus (*product modelling*), jonka määritelmäksi on kirjattu ”tietokoneavusteista suunnittelua, jossa kaikki rakennusprosessissa tarvittava tieto kootaan yhteen kolmiulotteiseen malliin sitä tarvitsevien ulottuville ja täydennettäväksi”.

Nykyisin rakentamisen tietomalleista käytetään englanninkielistä termiä *Building Information Modeling* ja termistä käytetään yleisesti lyhennettä *BIM* [Eastman et.al, 2011; Hardin, 2009]. Eastman et.al [2011] mukaan *BIM* kuvaa toimintaa, johon kuuluvat mallinnustyökalut ja -toimintatavat sekä prosessit, jotka kattavat koko rakennuksen elinkaaren hankekehityksestä suunnitteluun, rakentamiseen, rakennuksen käyttöön ja rakennuksen purkuun. Eastman et.al [2011] käyttää termejä *Building Model* tai *Building Object Model*, tarkoittaessaan rakennuksesta suunniteltua geometrisia ja parametrisia tietoja sisältävää mallia. Näitä malleja voidaan heidän mukaansa pitää tulevaisuudessa rakennuspiirustuksina. Hardin [2009] toteaa, että *BIM* ei ole pelkkä ohjelmisto, vaan yhdistelmä prosessista ja mallinnusohjelmistoista. Suomessa rakennusalalla käytetään termiä tietomalli, jolla tarkoitetaan eri suunnittelualojen tuottamia tietoa sisältäviä kolmiulotteisia malleja.

Tässä tutkimuksessa käytetään termiä tietomalli, kun tarkoitetaan rakennuksesta suunniteltua kolmiulotteista (3D), parametrisia tietoja sisältävää mallia. Tietomallia käsitellään tässä tutkimuksessa työkaluna, jolla tuotetaan informaatiota rakennusprojektin eri osapuolille.

2.3.3 Tietomallin käyttö

Tietomallit voidaan jakaa suunnittelualakohtaisesti esimerkiksi arkkitehti-, rakenne- tai talotekniikka-tietomalleihin. Tietomalleja voidaan hyödyntää rakennuksen suunnittelusta ylläpitoon, esimerkiksi olosuhdeanalyysiin, määrä- ja kustannushallintaan, suunnitelmien tarkastamiseen, rakentamisanalyysiin sekä rakentamisen aikaisen työturvallisuuden ja logistiikan suunnitteluun.

Tietomallien laatua voidaan tarkastella suunnitteluohjelmistoista riippumattomien erillisten laadunvarmistusohjelmistojen avulla visuaalisesti ja säännösten avulla. Laadunvarmistusohjelmistoihin suunnitteluohjelmistojen alkuperäinen tiedostomuoto eli natiivimalli viedään yleisesti IFC-tiedostona. Säännösten avulla voidaan analysoida esimerkiksi malleissa mahdollisesti

olevia objektien törmäyksiä tai päällekkäisyyksiä. Laadunvarmistusohjelmistoihin voidaan tuoda myös päällekkäin eri suunnittelualojen malleja.

Huhtikuussa 2013 tehtiin Finnish BIM Survey [2013] kysely, jonka toteuttivat Rakennustietosäätiö RTS ja Suomen buildingSMART yhteistyössä RIBA Enterprises Ltd:n kanssa. Kysely lähetettiin Rakennustietosäätiö RT-S:n 11500 henkilölle, jotka edustivat seuraavia toimialoja: rakentaminen, ohjelmistot, julkinen hallinto, arkkitehti- ja insinööripalvelut sekä rakennustiedon toimikunnat ja päätoimikunnat [Finnen, 2014]. Tämän lisäksi buildingSMART, Safa, ATL, SKOL ja RYM Oy tiedottivat omia jäseniään kyselystä. Kyselystä tiedotettiin sähköpostin lisäksi Rakennustietosäätiön verkkosivuilla, jossa oli mahdollista vastata kyselyyn.

Kyselyyn vastasi 402 henkilöä. Tulosten mukaan 45 % vastaajista käyttää BIM:iä päivittäisessä työssä ja 18 % ei ole kuullut koko asiasta. Vastaajista 92 % vastasi olettavansa käyttävänsä BIM:iä viiden vuoden kuluttua työsäään.

Vastaavanlainen BIM-kysely on toteutettu Englannissa loppuvuodesta 2012 alkuvuoteen 2013. Kyselyyn vastasi 1350 henkilöä. Tulosten mukaan 39 % vastaajista tuntee BIM:n sekä käyttää sitä. Kuusi prosenttia ei ole kuullut koko asiasta. Vastaajista 93 % vastasi olettavansa käyttävänsä BIM:iä viiden vuoden kuluttua työssään. [NBS-NationlBIMReport, 2013]

Edellisten kyselyiden ongelmana on se, miten ne edustavat todellisuutta eli kuinka hyvin kyselyyn vastanneet henkilöt edustavat koko rakennusalaa. Verkkokyselyissä myönteisemmin suhtautuvat ja eniten tietomalleja käyttävät voivat olla innokkaampia vastaajia.

2.3.4 Tietomallintamisen kehitys

Tietomallintamista koskien on jo 1980-luvulta alkaen ollut Suomessa useita eri tutkimus- ja kehityshankkeita. Tietomallintaminen tulee ymmärtää laajana kokonaisuutena sisältäen varsinaisten tietomallien tekniset ratkaisut, tietomallintamisen työkalut (etenkin ohjelmistot) ja standardoinnin sekä edelleen tietomallintamisen operationaaliset prosessit, niiden käyttöönoton ja kokeilut. Taulukkoon 6 on kerätty esimerkkejä kehityshankkeista, joissa tietomallikehitystä on tehty.

TAULUKKO 6 Esimerkkejä tutkimus- ja kehityshankkeista, joissa on tehty tietomallikehitystä.

Vuosi	Tutkimushanke
1985 - 1995	RATAS
1997 - 2002	Vera - Tietoverkottunut rakennusprosessi
2003 - 2007	Sara- Suuntana arverkottunut rakentaminen
2003 - 2005	ProIT - Tuotemallitieto rakennusprosessissa
2008 - 2012	Digitaalinen tuoteprosessi
2010 - 2013	PRE- Built Environment Process Re-engineering
2011 - 2012	COBIM

Ratas-tutkimushankkeen aikana tunnistettiin tietomallin mahdollisuudet rakennusalaalla ja tutkimushanke toimi tulevaisuuden visiona tietomalleihin liittyvien standardien kehittämisessä. Vera-ohjelman myötävaikutuksesta Suomeen syntyi yleisesti hyväksytty näkemys tietotekniikan ja erityisesti tietomallitekniikan merkityksestä kiinteistö- ja rakennusalan kehittämisessä. Vera-ohjelman myötävaikutuksesta rakennusala tunnistetti tietomallinnusajattelun, jossa tiedonhallinta perustuu kokonaisvaltaiseen tietomallipohjaiseen dokumenttien hallintaan. Tämä tiedonhallinnan ajattelu erosi huomattavasti perinteisestä, joka pohjautui erillisiin asiakirjoihin. Vera-ohjelmassa tunnistettiin myös IFC:n käytön mahdollisuudet ja Suomen mahdollisuudet olla mukana kehittämässä sitä. [Björk, 2009; Vera, 2016]

ProIT-kehityshankkeessa tunnistettiin erilaisia tiedonsiirron käyttötapauksia. Kehityshankkeessa luotiin myös tuoterakennekirjasto, jossa sisältö, nimikkeistö, luokitus ja terminologia oli harmonisoitu [ProIT, 2013]. Sara-ohjelmassa lähestyttiin rakentamista arverkottumisen kautta. Perinteisen lineaarisen rakentamisen arvoketjun sijaan rakennusalaalle tuotiin uudenlainen toimintamalli, jossa pyrittiin maksimoimaan käyttäjälle tarjottava lisäarvo. Lisäksi tietomallien jatkokehityksen osalta havaittiin tarvetta lisäresursseille kehitystyöhön ja vuorovaikutuksen lisäämiseen yliopistojen, tutkimuslaitosten, yritysten ja loppukäyttäjien välillä. Rakennetun ympäristön strategisen huippuosaamisen keskittymän (SHOK) perustamismahdollisuuden selvittäminen kirjattiin Sara-ohjelman loppuraporttiin [Tekes, 2008]. RYM-Shok toiminta käynnistyi syksyllä 2009 ja päättyi keväällä 2016. Tänä aikana ehdittiin tehdä kolme tutkimushanketta [RYM OY, 2016 a]. Yksi niistä oli PRE-ohjelma, joka sisälsi Model Nova, NewWow, BIMCON, DRUM, Infra FINBIM ja BIMCity-työpaketiit. BIMCON-työpaketissa tutkittiin tuotetiedon hallintaa, joka perustuu tietomallin hyödyntämiseen toimitusketjussa. Esimerkki kehitetyistä tuloksista on materiaalivalmistajan tuotteiden objekti kirjasto arkkitehtisuunnitteluohjelmistoa varten. Näin tietomalliin sisältyi materiaalivalmistajan tuotetiedot, joiden perusteella saadaan tarvittaessa tuotteiden todelliset materiaalmäärätiedot. Samankaltaisia objekti kirjastoja ja työkaluja löytyy myös muiltakin tuotevalmistajilta [Paroc, 2016; MAD, 2016; Rakennustieto, 2016]. DRUM-työpaketissa lähestyttiin tietomallin tiedonjakamista IFC-ajattelusta poiketen niin, että suunnitteluohjelmistojen

natiivimuotoisia tietoja voitaisiin jakaa web-pohjaisissa palveluissa hajauttuna eri ohjelmistoille. [RYM OY, 2014]. DRUM-työpaketti pohjalta on syntynyt Pre-ohjelman jälkeen Drumbeat-hanke. Sen tavoitteena on tiedon käytettävyyteen ja saavutettavuuteen liittyvä jatkokehitys [RYM OY, 2016 b].

Tutkimus- ja kehityshankkeiden avulla pyritään soveltamaan tutkittua tietoa käytännön hankkeisiin. Näiden toimenpiteiden lisäksi on luotava yhteisiä standardeja, ohjeita ja toimintatapoja. Suomessa toimiva BuildingSMART Finland on yhteistyöfoorumi, jonka tarkoituksena on lisätä tietämystä tietomalleista ja auttaa tietomallien käyttöönotossa. BuildingSMART Finland on yksi useista maaorganisaatioista, jotka kuuluvat kansainväliseen BuildingSMART International:n. Se on voittoa tavoittelematon organisaatio, jonka tavoitteena on viedä eteenpäin maailmanlaajuisia avointa tietomallipohjaista rakentamista. Tähän liittyy avointen kansainvälisten standardien kehittäminen ja toimintojen toteutumisen tukeminen. Lisäksi luodaan tiedonvaihtoa kokoamalla yhteen eri maiden tietomalliasiantuntijat. BuildingSMARTilla on lisäksi yhteyksiä muun muassa valtion virastoihin, tutkimuslaitoksiin ja yliopistoihin. [BuildingSMART Finland (a), 2013]

Kirjallisuusselvityksessä perehdyttiin tutkimusperustaisiin näyttöihin tietomallintamisen hyödyistä (taulukko 7). Yhteenvetona voidaan todeta, että tietomalleja voidaan hyödyntää eri tavoin rakennushankkeessa. Tietomallintamisen hyödyntämiselle kirjatusta haasteista huolimatta kirjallisuusselvityksen tuloksien pohjalta voidaan arvioida rakentamisen hyötyvän tietomallien käytöstä.

TAULUKKO 7 Tutkimustuloksia tietomallintamisen hyödyistä.

Nro	Lähde	Tyyppi	Tutkimuksen kohde	Tulos
1	Bryde, D. et.al. [2012]	Kirjallisuustutkimus	Rakennushankkeita, 35 kappaletta	Listaus positiivisista ja negatiivisista hyödyistä tietomallista, yhdeksässä määritetyssä osa-alueessa
2	Collier et.al [1995]	Tapaustutkimus	Rakennushanke	4D mallin hyöty on niin suuri, että urakoitsijan kannattaa tuottaa se vaikka suunnittelu olisi jo valmis.
3	Kaner et.al. [2008]	Tapaustutkimus	Rakennushanke	Laskelman lähtökohtana oli ajallinen; mitä prosseja olisi viennyt yrityksen 2D-järjestelmillä. Kokonaistuottavuudeksi arvioitiin 38 %
4	Khanzode, A. et.al. [2008]	Tapaustutkimus	Rakennushanke	Talotekniikan koordinoitua haasteita projekteissa
5	Lu et.al [2014]	Tapaustutkimus	Rakennushanke	45,93% lisäys suunnittelu kustannuksiin. 8,61% kustannusvähennys m ² kohden rakentamisvaiheessa. Kokonaisvaikutus kustannuksiin 6,92% vähennys.
6	Sulankivi et.al [2009]	Tapaustutkimus	Rakennushanke	Työmaaobjektikirjasto, joka sisältää työmaan mallintamiseen tarvittavia väliaikaisia työmaavarusteita GDL-objekteina.
7	Sylvester, K. et.al. [2010]	Tapaustutkimus	Rakennushanke	Tietomallipohjainen laskenta tuotti n. 7% vähemmän kustannuksia, kuin hankkeen todelliset kustannukset.
8	Ding, Lieyun. et.al. [2014]	Kirjallisuustutkimus	Kirjallisuus lähteitä, 135 kappaletta	Rakentamisen aikaisessa turvallisuuden valvonnassa voitaisiin hyödyntää RFID integroimalla se BIMin.

2.3.5 Tietomallinnusstandardit ja -ohjeet

”Rakennushankkeen kaikissa vaiheissa osapuolilla on tarve määrittellä entistä täsmällisemmin, mitä ja miten mallinnetaan.” [YTV, 2012]

Tietomallistandardit (taulukko 8) ja -ohjeet (taulukko 9) luovat perusedellytykset tietomallien hyödyntämiselle. Ne asettavat tietomalleille vaatimuksia, joiden avulla tietomallissa olevaa tietoa voidaan yksiselitteisesti tulkita. Lisäksi ne auttavat myös eri osapuolia ymmärtämään mallinnustarpeita ja mallinnettua tietosisältöä samalla tavalla. Ohjeistukset voivat olla yleisellä tasolla tai niitä on voitu tarkentaa suunnitteluohjelmistokohtaisilla määräyksillä. Tietomalliohjeissa voidaan kuvata myös mallien tarkkuustasoja rakennusprojektin eri vaiheissa [YTV, 2012].

TAULUKKO 8 Tietomallistandardeja, joiden kehittämisessä ja jalkautuksessa BuildingSMART on ollut mukana.

Standardi	Standardin yleiskuvaus
IFC - Industry Foundation Classes	IFC on avoin tiedostomuotostandardi rakentamiseen liittyvien tietomallien kuvaamiseen. IFC:n ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 1997. Tällä hetkellä on käytössä versio IFC 2x3 -tiedostoformaatti. IFC 4 (2x4) on julkistettu maaliskuussa 2013. [ISO 16739, 2013]
bSDD - buildingSMART Data Dictionary	BSDD ohjaa ohjelmistoriippumattomien tietomallikomponenttien tekemiseen. Kansainvälinen nimikkeistö auttaa tuote- ja avoimien tarvikekirjastojen monikielisyys määrittelyssä. Nimikkeistö tunnettiin aikaisemmin nimellä IFD Library. BSDD perustuu ideoihin, jotka on kehitetty ISO 12006-3: 2007 -standardissa (Building construction: Organization of information about construction works, Part 3: Framework for object-oriented information).
IDM - Information Delivery Manual	Prosessikuvaus siitä, mitä tietoa tietomalleilla siirretään eri toimijoiden välillä eri käyttötilanteissa [ISO 29481-1, 2010; ISO 29481-2, 2012]
MVD - Model View Definition	Tekninen kuvaus siitä, mitä IFC -muotoista tietoa eri toimijoiden välillä tietomalleilla siirretään eri käyttötilanteissa. [BuildingSMART.fi, WWW]
BCF - Building Collaboration Format	BCF on tiedostonvälitysmuoto älykkäiden viestien siirtämiseksi eri tietomalliohjelmistojen välillä. Se on Suomalaisten buildingSMART jäsenten, Teklan ja Solibrin kehittämä. "Viesti sisältää sijainti- ja objektitiedot kommentoitavista mallikomponenteista, jolloin vastaanottava ohjelma löytää lähettäjän valitseman näkymän ja korostaa halutut komponentit." XML-pohjainen tiedosto on kooltaan pieni, koska tiedon siirtämiseen ei tarvita koko IFC -mallin lähettämistä. [BuildingSMART.fi, WWW]

Suomessa Senaatti-kiinteistöt julkaisivat vuonna 2007 ensimmäiset suomalaiset ohjeet tietomalleille. Näiden ohjeiden laajentamista ja päivittämistä varten Rakennustietosäätiö RTS käynnisti vuonna 2011 COBIM kehityshankkeen. Kehityshankkeen tuloksena julkaistiin vuonna 2012 Suomen ensimmäiset kansalliset ohjeet tietomallintamiseen eli yleiset tietomallivaatimukset. Ohjeista käytetään myös lyhennettä YTV2012 [YTV2012]. Finnish BIM Survey [2013] kyselyn mukaan 48 % vastaajista ei tuntenut YTV2012:-ta.

TAULUKKO 9 Tunnettuja tietomalliohjeistuksia Suomesta ja kansainvälisesti.

Ohje	Maa	Vuosi
BIPS 3D Working Method	Tanska	2007
National Guidelines for Digital Modelling	Australia	2009
Georgia Tech BIM Requirements and Guidelines	Yhdysvallat	2011
Ohio State BIM Protocol - 2011	Yhdysvallat	2011
Statsbygg BIM Manual 1.2	Norja	2011
AEC(UK) BIM Protocol v2.0	Britannia	2012
AIA Digital Practice Documents	Yhdysvallat	2012
Australia and New Zealand Revit Standards (ANZRS)	Australia	2012
BEC2012	Suomi	2012
COBIM Common BIM Requirements (YTV2012)	Suomi	2012
Indiana University BIM Guidelines and Standards	Yhdysvallat	2012
National BIM Standards v2.0	Yhdysvallat	2012
New York City Department of Design and Construction BIM Guidelines	Yhdysvallat	2012
Penn State BIM Planning Guide for Facility Owners	Yhdysvallat	2012
Singapore BIM Guide	Singapore	2012
University of Southern California BIM Guidelines	Yhdysvallat	2012
BIMForum Level of Development Specification	Yhdysvallat	2013
First Steps to BIM Competence	Britannia	2013
GSFIC BIM Guide	Yhdysvallat	2013
BuildingSmart, tilaajaohjeet ARK- ja RAK-osiot (lausunnolle julkaistu versio 20.7.2015)	Suomi	2015
COBie, Huoltokirja	Britannia, Standardi	2016

2.4 Tuottavuus- ja Lean-ajattelun mahdollisuudet määrälaskennan kehittämisessä

2.4.1 Tuottavuus ja sen merkitys rakennusyrityksessä

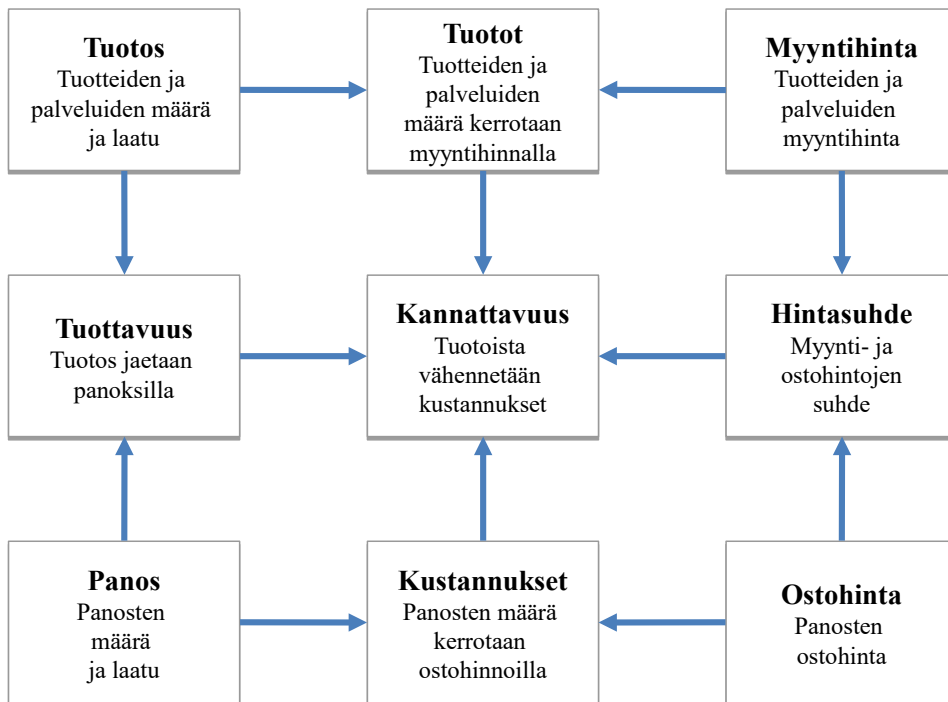
Tuottavuudella (productivity) tarkoitetaan, kuinka tehokkaasti käyttäjien tarvitsemien tuotteiden ja palvelujen tuotanto toimii. Tuottavuuden suureena käytetään usein tuottavuuden tuotosten ja siihen käytetyn panosten välistä suhdetta.

$$\text{tuottavuus} = \text{tuotos} / \text{panos}$$

Yksikköinä tuottavuutta voidaan ilmaista fyysisinä (työtunteja, henkilöitä, kappaleita tai tilavuuksia) tai taloudellisina (raha) suureina. Tarkastelua voidaan tehdä usealla tasolla kansantalouden, yrityksen tai yrityksen tuotantolaitoksen tai yksikön tasolla, työryhmän, prosessin tai yksittäisen työvaiheen tasolla.

Tuottavuus-käsitteen lisäksi teknistaloudellisessa lähestymistavassa käytetään myös termejä tehokkuus ja kannattavuus. Tehokkuus-suurella kuvataan tehtävän tai suorituksen suorittamiseen käytettyä energiaa tai ponnistelua. Kannattavuus on kuvaus yrityksen rahaprosessista, kun taas tuottavuus liittyy yrityksen tuotantoprosessiin (reaaliprosessi). Tuottavuutta voidaan tarkastella kokonaistuottavuuden tai osatuottavuuksien kautta. Kokonaistuottavuus sisältää informaatiota raha- ja reaali prosessista, kun taas osatuottavuuden tarkastelua voidaan tehdä reaali prosessin yksittäiselle syötteelle tai tuotokselle.

Kannattavuus ja tuottavuus liittyvät toisiinsa (kuva 10), jossa tuottavuus on kannattavuuden osatekijä. Yrityksissä mitataan yleensä kannattavuutta tuottavuutta enemmän. Hyvä kannattavuus ei kuitenkaan kerro tuottavuuden tasoa. Kannattavuuteen vaikuttaa markkinatilanne, johon yritys itse ei voi useinkaan vaikuttaa. Tuottavuuden parantamiseen voidaan kuitenkin vaikuttaa omalla toiminnalla. [Koskenvesa, 2011; Brax, 2007; EANPC, 2006; EANPC, 1999]

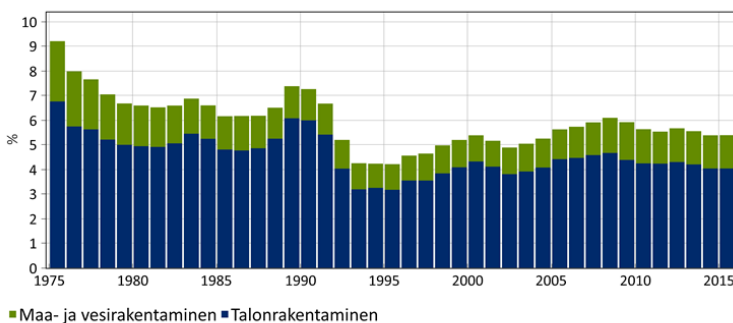


KUVA 10 Tuottavuuden ja kannattavuuden välinen yhteys. [EANPC, 2006]

Tuottavuus kansantaloudessa

”Kansantaloudessa tuottavuuden mittarina käytetään usein työn volyymin suhteessa tuotokseen eli bruttokansantuotteeseen (BKT).”
[EANPC, 2006]

Bruttokansantuote (BKT) on tunnusluku, jolla kuvataan yhteiskunnan kokonaistuotannon kehitystä. Suomen bruttokansantuote oli 2015 hieman yli 200 miljardia euroa. Rakentamisen arvonlisäyksen osuus bruttokansantuotteesta on viime vuosina ollut noin 5,5 prosenttia (kuva 11) [Rakennusteollisuus, 2016].



KUVA 11 Rakentamisen osuus bruttokansantuotteesta. [Rakennusteollisuus, 2016]

Tilastokeskuksen tuottavuuskatsauksen 2007 mukaan rakentamisen toimialan työn tuottavuuden kasvu on ollut vähäisempää muuhun teollisuuteen verrattuna.

Euroopan tuottavuuskeskusten liiton [EANPC, 2006] raportissa todetaan, että tuottavuus on ollut ja on yhä talouskasvun päätekijä. Talouskasvua saavutetaan, kun tavaroiden ja palveluiden tuotanto kasvaa. EANPC [2006] raportin mukaan, kokemus on osoittanut talouskasvulla olevan myönteinen vaikutus yhteiskunnan kehitykselle. Tuottavuutta voidaan parantaa korvaamalla työ pääomalla, jolloin jalostustyötä tehdään ilman työpanosta. Teollistuminen on vähentänyt työvaltaisten menetelmien käyttöä ja on siirrytty pääomavaltaisiin menetelmiin. Tällöin koneet ja laitteet ovat korvanneet työvaltaiset menetelmät. Toisaalta taas vaikka uudet menetelmät vähentäisivät työvoiman määrää tuotannossa, EANPC [2006] raportissa todetaan, että niiden synnyttämä varallisuus loisi kysyntää uusille palveluille ja tavaroille. Talouskasvun ja tuottavuuden hidastuminen vaikuttavat myös kielteisesti työllisyyteen, jolloin käytössä oleva työvoima ei ole tehokkaassa käytössä.

Tuottavuus yrityksessä

”Työelämän muutosta ohjaava pohjavirta on teknistaloudellinen muutos, joka perustuu erityisesti tieto- ja viestintäteknologioiden (ICT) ennennäkemättömään käyttöönnottoon.” [Ihalainen et.al, 2012]

Liiketoiminnassa hyvä tuottavuus on yksi askel hyvään kannattavuuteen. Yrityksen tulee peilata tuottavuutta sen muihin tavoitteisiin. EANPC [2006] listaa raportissaan organisaation menestyksen taustalla oleviksi keskeisiksi tekijöiksi organisaation toiminnot (mitä tehdään), tavaroiden ja palveluiden osto- ja myyntihinnat (mistä hinnasta tehdään) ja millä tuottavuudella panokset muutetaan tuotoksiksi (miten tehdään). Erilaisilla muutosprosesseilla voidaan kehittää tuottavuutta, kuten esimerkiksi Lean, oppivat organisaatiot, oikea-aikaisuus-ajattelu, liiketoiminnan perusteellinen uudelleen suunnittelu ja laatujohtaminen.

Teknologian ja työkalujen hyödyntäminen on muuttanut työn tuottavuutta. Työn tuottavuus on kasvanut 14-kertaiseksi 100 vuoden aikana. Tuottavuuden kasvuvauhti oli vielä 1960- ja 1970-luvuilla viisi prosenttia ja nyt se on puolittunut siitä. [Jalava et.al, 2004]. [Ihalainen, 2012] on listannut uuden teknologian hyödyntämiselle kolme tasoa:

1. Hyvä perustaso: Seurataan teknologian kehitystä/hyödynnetään uutta teknologiaa
2. Kehittäjät: Hyödynnetään nykyaikaisen teknologian mahdollisuuksia monipuolisesti
3. Edelläkävijät: Uuden teknologian mahdollisuuksia osataan käyttää uusien ratkaisujen ja palvelujen tuottamiseksi ja kehittämiseksi

2.4.2 Lean-ajattelu ja rakentaminen

Autoteollisuus on historiansa aikana kehittänyt erilaisia tuotantomenetelmiä parantamaan tuottavuutta. Ford kehitti massatuotannon ja Toyota jalosti siitä oman tuotantomenetelmän Toyota Production System (TPS). Tätä Toyotan menetelmää Womack et.al [1991, 2003] kutsuvat lean-tuotannoksi. Sen ajatuksena on *”more and more with less and less”*. Womack et.al [2003] toteaa, että hukkaa (japaniksi *muda*) on joka puolella tuotantoa ja lean-ajattelulla sitä voidaan vähentää. Hukalla on kahdeksan erilaista muotoa; liikatuotanto, odottaminen, tarpeeton kuljettaminen tai siirtely, virheellinen prosessi, ylisuuret varastot, tarpeeton liikkuminen, virheet sekä työntekijöiden luovuuden vähäinen hyödyntäminen [Liker, 2004]. Hines et.al [2004] jakavat Leanin kahdeksi tasoksi: operatiiviseksi ja strategiseksi. Lean-ajattelun ja asiakaskeskeisyyden he luokittelevat strategiselle tasolle. Toyota Production System -menetelmä työkaluineen on taas operatiivista Leaniä.

Womack et.al [1991, 2003] mukaan Lean-tuotannon viisi periaatetta ovat arvo, arvoketju, virtaus, imuohjaus ja täydellisyys. Koskela [2000] esitti Lean-ajatteluun pohjautuvan rakentamiseen sovelletun teorian, josta hän käyttää lyhennettä TFV-teoria. Tämä teoria koostuu kolmesta osasta; transformaatio (muutos), virtaus ja arvo. Jylhä [2013] on tutkinut kiinteistöliiketoiminnan palveluita arvontuotannon näkökulmasta. Siponen et.al [2010] tutkimus kohdistui rakennetun yhdyskunnan kehittämispotentiaalin mahdollisuuksiin arvoketjuanalyysin avulla. Haapasalo et.al [2009] jakaa Lean-tuotannon kolmeen osa-alueeseen, jotka ovat; prosessien kehittäminen, ihmisten kehittäminen sekä työkalut ja teknologia. Nykyisin Toyotan TPS-järjestelmä perustuu kahteen osa-alueeseen; Jidoka -inhimillinen automatiikka ja Just-In-Time [Toyota, 2013]. Lean-tuotantajärjestelmän toimivuuden takaamiseksi osa-alueille on luotu joukko työkaluja ja menetelmiä (taulukko 10).

TAULUKKO 10 Haapasalo et.al [2009] eri kirjallisuuslähteistä koostama Lean-tuotannon osa-alueet, menetelmät ja työkalut.

Prosessi	Ihmiset	Työkalut ja teknologia
Hukka	Kaize –jatkuva parantaminen	Arvoketjuanalyysi- Value Stream Mapping-VSM
Jatkuva virtaus		Tiimityö
Tuotannon tasapainottaminen		Tuotannon tasapainottaminen
Pienet eräkoot		Standardointi
		Six-sigma
		Just-in-time
		Kanban
		Poka-Yoka
		Nopea sarjanvaihto
		5S
		Visuaalinen ohjaus
		TPM-Tuottava ylläpito
		Andon
		5xWhy
	Last Planner System	
	Last Planner System	
	Integroidut projektiimit	

Koskela [1992, 1993] esittää, että systemaattista mittausta ei ole tehty Lean-tuotannon mukaisen hukan vaikutuksesta rakentamiskustannuksiin. Koskela [1992, 1993] on kuitenkin esittänyt taulukossa 11 suuruusluokka-arvion eri lähteistään keräämien tietojen pohjalta mahdollisista hukan aiheuttamista kustannuksista.

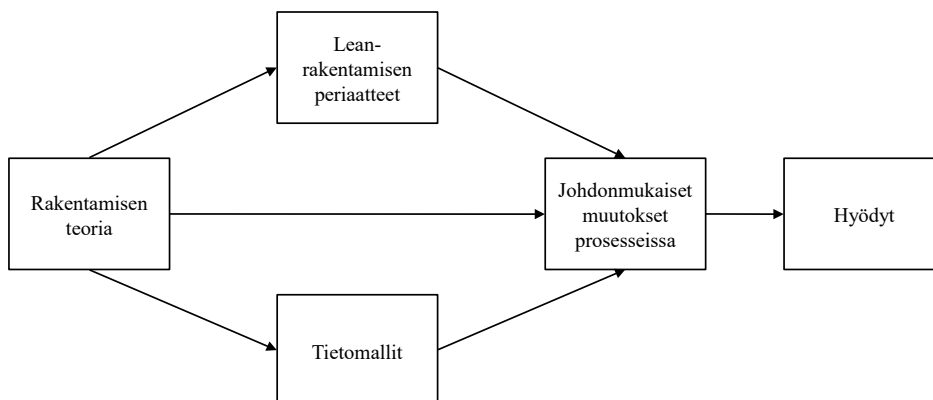
TAULUKKO 11 Arvioita hukan aiheuttamista ylimääräisistä kustannuksista.
[Koskela, 1993]

Hukka	Kustannus	Maa
Laatukustannukset (poikkeamaraportin)	12% projektin kokonaiskustannuksista	USA
Ulkoiset laatukustannukset (käytön aikaiset)	4% projektin kokonaiskustannuksista	Ruotsi
Puutteet rakennettavuudessa	6-10% projektin kokonaiskustannuksista	USA
Heikko materiaalihallinta	10-12% työkustannuksista	USA
Materiaalihukka	10% keskiarvo	Ruotsi
Työajan hukka	noin 2/3 kokonaisajasta	USA
Työtaturmat	6% projektin kokonaiskustannuksista	USA

Koskela [1992] esittää, että rakentamisessa tulisi ottaa käyttöön uusi tuotantofilosofia. Haapasalo [2011] toteaa, että Lean-ajattelu ei ole valmis toimintatapa, vaan se on kokoelma työkaluja ja toimintamalleja, joista jokaisen organisaation tulee itse tunnistaa toimintaansa parhaiten sopivat työkalut ja kehittää toimintaansa niiden avulla eteenpäin. Suomalaisessa rakentamisessa on mukana useita eri toimijoita. Tällöin kehitystä tehdään useasta eri näkökulmasta. Tuottavuuden kehitykseen voidaan vaikuttaa esimerkiksi hankinnoilla ja niiden toteuttamisella. Rakentamisen projektiluonteisuus luo mahdollisuuden osaoptimointiin, jolloin Lean-ajattelun mukaista kokonaisvaltaista kehitystä ei tapahdu. [Haapasalo et.al, 2009 ja 2011]

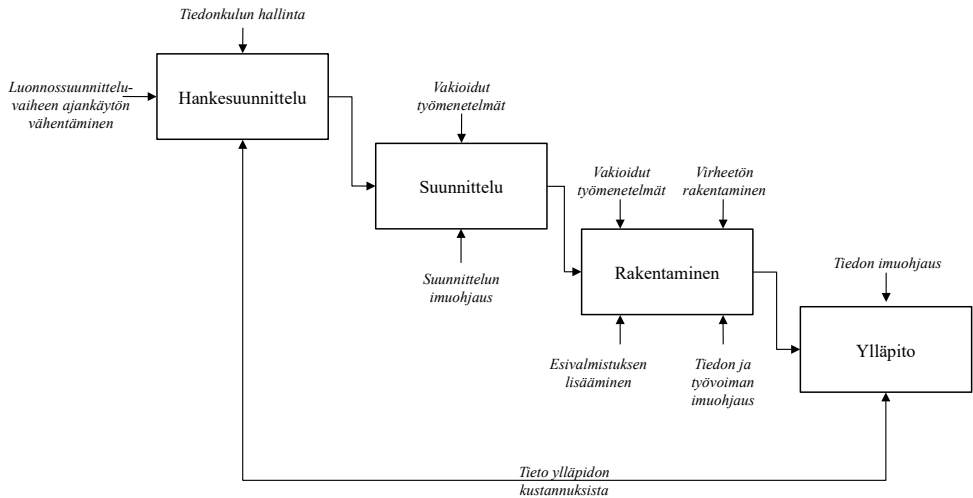
2.4.3 Lean-tuotanto ja tietomallit

Lean-tuotannon ja tietomallien lähtökohdat ovat erilaiset, mutta molemmilla voidaan vaikuttaa. Näiden välisellä yhteisvaikutuksella on kuitenkin mahdollista saada aikaan hyötyjä, kun tietomalleja käytetään tukemaan Lean-tuotannon tavoitteita (kuva 12). [Sacks et.al, 2010]



KUVA 12 Prosessimuutoksen hyötyjen riippuvuus Lean-tuotannon, tietomallien ja rakentamisen teorian välillä. [Sacks et.al, 2010]

Hyvänä käytäntönä on, että määritellään ensin tarkasti, mitä hyötyjä halutaan saavuttaa. Tämän jälkeen kehitetään toimintaa suunnitelmallisesti ja jatkuvasti. Tässä viedään käytäntöön Lean-tuotantoon perustuvia ratkaisuja sekä tietomallintamista omina kokonaisuuksinaan ja integroimalla muutokset pienin askelin (kuva 13). [Sacks et.al, 2010]



KUVA 13 Tietomallintamisen ja Lean-tuotannon vaikutuksia rakennusprosessiin. [Sacks, 2011]

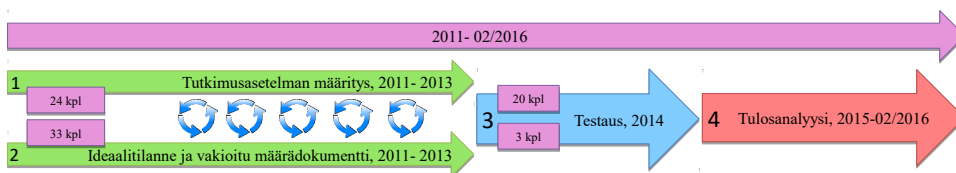
Gerber et.al [2010] sekä Estman et.al [2011] esittelevät case-tapauksia, joissa on hyödynnetty tietomallia sekä Lean-ajattelua. Case-tapauksilla on osoitettu asiakkaalle tuotettavan lisäarvoa vähentämällä hukkaa ajassa, materiaalissa sekä kustannuksissa. Yhdistämällä tietomalli ja Lean-ajattelua ohjelmistoon on mahdollista parantaa työn tuottavuutta sekä vähentää hukkaa havainnollistamalla visuaalisesti työprosessin ja materiaalivirtojen kulkua. [Gerber et.al, 2010; Sacks et. al., 2010a]

3 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen toteutus

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen empiirinen osuus. Ensiksi tarkastellaan kokonaisuutta määrälaskennan näkökulmasta. Lopuksi käsitellään määrätiedon luotettavuutta rakennustuotannon hankintamäärätiedon tuottamiselle kehitetyn ratkaisun (Läpinäkyvä määrätiedonhallinta, LMH) osalta.

3.1 Tutkimusprosessi ja tutkimuksen menetelmät

Tutkimus on toteutettu vuosien 2011 - 2016 aikana (kuva 14). Tutkimuksen toteutus koostuu neljästä vaiheesta. Tutkimusaineistona on käytetty vuosina 2008 - 2014 laskentavaiheessa olleita rakennushankkeita.



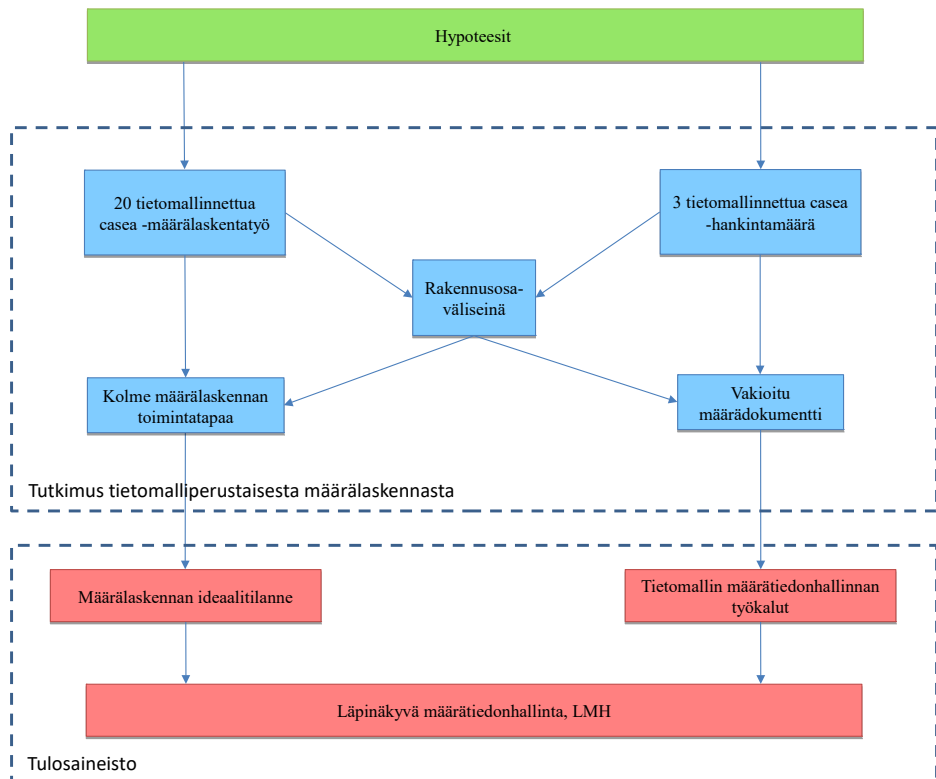
KUVA 14 Tutkimusprosessin kuvaus ajallisena jatkumona.

Vaiheissa 1 ja 2 (kuvassa 14 vihreät nuolet) vuosien 2011 - 2013 aikana tehtiin tutkimusasetelman määrittäminen sekä määriteltiin ideaalitalannetta ja kehitettiin vakioitua määrädokumenttia. Aineistona käytettiin 24 ei-tietomallinnettua ja 33 tietomallinnettua kohdetta. Vaiheiden 1 ja 2 tuloksena saatiin määrittäminen tutkimuksen hypoteeseista ja viidestä eri määrälaskennan toimintatavasta.

Vaiheessa 3 (kuvassa 14 sininen nuoli) tehtiin vakioitun määrädokumentin osalta empiirinen testaus sekä tuotettiin kvantitatiivista aineistoa määrätiedon tuottamisen kulusta ja tuotoksista. Kvantitatiivisen aineiston tuottamiseen valittiin vaiheessa 1 olleista 33 tietomallinnetusta hankkeesta (taulukko 13) 20 samankaltaista hanketta. Tutkittaviksi toimintatavoiksi määriteltiin kolme toimintatapaa, jotka valittiin vaiheessa 1 viidestä määritellystä toimintatavasta (luku 3.2 kuva 17 ja luku 3.4.2 kuva 18). Vakioitun määrädokumentin empiirisellä testauksella selvitetiin, kuinka luotettavaa määrätieto työkalu tuottaa; vertailtavina arvoina käytettiin tuotannon materiaalihan- kintamäärä laskelmia sekä materiaalilausmääriä. Lisäksi vertailuarvona käytettiin kirjallisuudessa määriteltä ohjeistusta rakennusosan materiaalihan- kintamäärätiedoista.

Vaiheessa 4 tulosanalyysi tehtiin (kuvassa 14 punainen nuoli) vuoden 2015 tammikuu - 2016 helmikuun aikana. Kuvassa 15 esitetään tutkimusprosessin kuvaus sen sisällöllisten pääkokonaisuuksien kautta. Ideaalutilanne määriteltiin hyödyntäen kirjallisuutta ja aikaisempia tutkimuksia sekä vaiheessa 3 tehdyn määrätiedon tuottamisen testauksen avulla.

Vakioidun määrädokumentin empiirisen testauksen vaiheessa 3 saatujen tulosten pohjalta arvioitiin työkalun mahdollinen toimivuus. Yhdistämällä ideaalutilanne ja tietomallin määrätiedonhallinnan työkalut, johon sisältyy vakioitu määrädokumentti-ratkaisu, muodostuu tuloksena toimintamalli: läpinäkyvä määrätiedonhallinta (LMH).



KUVA 15 Tutkimusprosessin kuvaus sen sisällöllisten pääkokonaisuuksien kautta.

Case-tutkimus eli tapaustutkimus on luonteeltaan selittävää ja kuvailevaa [Yin, 2009]. Kvantitatiivisen aineiston avulla selitetään tutkittavista tapauksista saadut tulokset. Näiden tulosten avulla kuvaillaan tuloksena esitetty LMH. Case-tutkimus ottaa huomioon organisaatioiden yksilölliset tilanteet. Organisaatiolla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa rakennusyrityksiä. Lähestymistapa on sekä systeemi- että kontingenssiteoreettinen. Systemiteoreettisella lähestymistavalla tarkoitetaan kokonaisjärjestelmän ja sen

osien selittämistä. Kontingenssiteorian mukaisesti tässä tavoitellaan tasa-painoista ratkaisua, jossa ympäristön ja organisaatioiden tilannekohtainen vuorovaikutus on otettu huomioon.

Systeemiteoria koostuu kokonaisjärjestelmäorganisaation ja sen osajärjestelmien suhteista. Tässä tutkimuksessa osajärjestelmä on rakennusyri-tyksen sisäiset toiminnot: määrälaskenta ja tuotanto. Ulkoisina toimintoina osajärjestelmää ohjaa tässä tutkimuksessa tietomallinnus-/ tietomalliohjeet, määrälaskentaohjeet sekä hankintasopimukset. Tällöin tutkimusaineisto muodostaa kokonaisuuden, jonka osat koostuvat taustateoriasta ja empii-risestä osuudesta. Lisäksi empiirisen tutkimuksen tulosten osalta päästään ongelman taustalla vaikuttaviin asioihin. [Laitinen, H, 1998; Aaltola et.al, 2007]

Tapaustutkimuksen lisäksi tietoa on saatu havainnoimalla määrälaskenta-prosessia (luku 3.4) ja kahta eri ohjelmistoa, joista voidaan tuottaa tietomal-leista määrätietoa. Ohjelmistojen osalta havainnointia on tehty seuraamalla tutkimuksen aikana ohjelmistoversioiden toimivuutta määrälaskentaproses-sissa ja osallistumalla ohjelmistojen testaukseen.

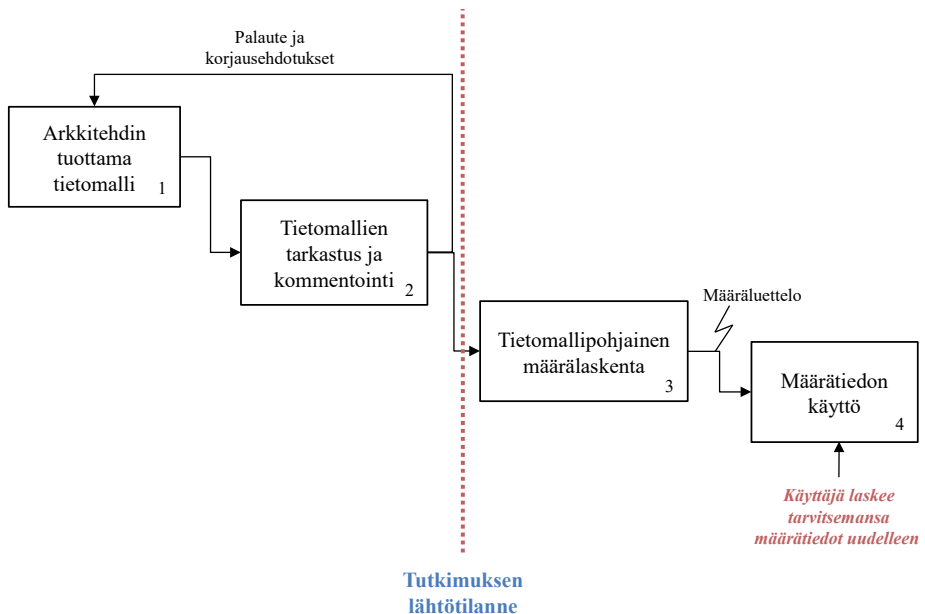
3.2 Tutkimusasetelma

Tutkimuksen empiirisessä osuudessa on kolme näkökulmaa: määrälasken-nan ratkaisut, määrälaskennan toimintatavat ja rakennustuotantoa palvele-vien hankintamäärätietojen tuottaminen. Rakennustuotannolla tarkoitetaan rakennusyhtiön operatiivista rakentamisvaihetta. Luvussa 2.1.2 esitet-tiin, että määrätietoa tuotetaan tavalla, johon sisältyy päällekkäistä työtä.

Rakennushankkeessa rakennusosakohtaiset määrätiedot lasketaan ker-taalleen jo tarjousvaiheessa. Tämän vaiheen jälkeen voidaan havaita mää-rätietojen uudelleen laskentaa tavalla, jota kutsutaan tässä tutkimuksessa päällekkäiseksi työksi. Kyseinen päällekkäinen työ on keskeinen osa tä-män tutkimuksen empiiriselle osuudelle. Empiirisessä osassa tarkastellaan määrätietojen tuottamista rakennustuotannon valmistelua koskevaa tai sen aikaista materiaalihankintaa varten.

Aikaisempiin tutkimuksiin ja kirjallisuuteen pohjautuen (luku 2) havaittiin, että päällekkäistä työtä on kahta eri tyyppiä. Nämä ovat työtehtävän sisäi-nen päällekkäinen työ ja eri työtehtävien välillä tehty päällekkäinen työ.

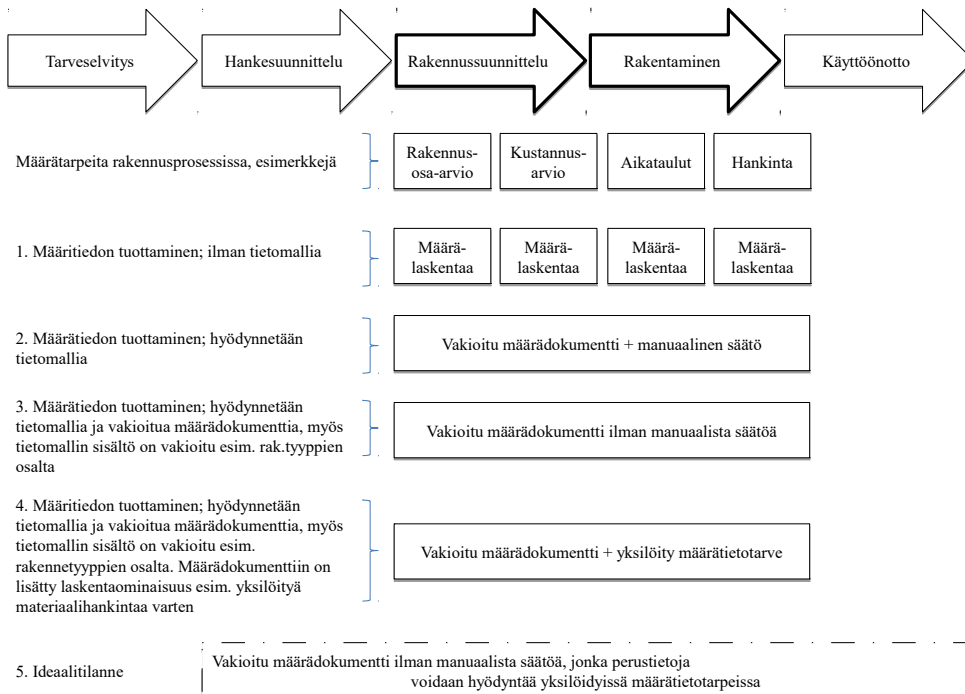
Tässä tutkimuksessa päällekkäinen työ luokitellaan Lean-ajattelun mukaan prosessissa esiintyväksi hukaksi ja empiirisessä osassa prosessissa ole-vaa hukkaa lähdetään poistamaan arkkitehdin tietomallin avulla.



KUVA 16 Tutkimuksen lähtötilanteena on hankevaihe, jossa määrälaskennan tarpeisiin voidaan lähteä hyödyntämään julkaistua ja tarkistettua tietomallia.

Kuvassa 16 on esitetty tutkimuksen lähtötilanne. Tutkimus kohdistuu tilanteeseen, jossa tietomalli on olemassa ja sitä lähdetään hyödyntämään määrälaskennassa. Rakennussuunnittelun alussa tulee määritellä, että tietomallia tullaan hyödyntämään määrälaskennassa (kuva 16, osaprosessi 1). Tämä luo edellytykset sille, että tietomalli sisältää määrälaskentaan tarvittavat tietosisällöt. Lisäksi mallien laadunvarmistuksessa osataan kiinnittää huomiota näiden määriteltyjen tietosisältöjen oikeellisuuteen (kuva 16, osaprosessi 2). Tutkimuksen empiirisessä osassa tarkastellaan tutkimusnäkökulmia kuvan 16 osaprosessi 3 ja 4.

Kuvassa 17 on esitetty tutkimuksessa tunnistetut määrätiedon tuottamisen toimintatavat kytkettynä rakennusprosessiin. Kuvan toimintatavat 1 ja 2 kuvaavat nykyisiä käytäntöjä. Toimintatavat 3 ja 4 edustavat tutkimuksessa toimintamallin havainnoinnissa määriteltyä määrätiedon tuottamista- ja hyödyntämistapoja. Havainnoinnissa suoritettiin toimintatapoja kuvan 17 mukaisesti, jotta voitiin varmistua tutkimuksen varsinaisen suorittamisen läpivienti ongelmitta. Tutkimuksen empiirisessä osassa ei ole käytetty toimintatapoja 3 ja 4. Kuvassa esitetty ideaalitalanne on tutkimuksessa määritelty tavoitetilä, jolloin tietomalleista saatava määrätiedon hyödynnettävyys palvelisi rakennusprosessin eri toimintoja. Tutkimuksen osalta määritettiin, että ideaalitalanteessa materiaalihankintoja varten voidaan hyödyntää määrälaskennan tuottamia määrätietoja.



KUVA 17 Tutkimuksen toimintamallin kokonaiskuva kytkettynä rakennusprosessiin.

Laskentaprosessin näkökulmasta tutkimuskohteeksi määriteltiin kolme määrälaskentapistettä (luku 2.1.2), joissa määriä tuotetaan. Ensimmäinen vaihe on rakennusosa-arvio (kuva 17), josta käytetään lyhennettä ROA. Tätä laskentaa käytetään yrityksessä ennen rakennuslupaa. Seuraava vaihe on kustannusarviovaihe, josta käytetään lyhennettä KUA. Kolmas vaihe on materiaalihankinta.

3.2.1 Empiirisen tutkimuksen rajaukset

Luvussa 2.1.4 taulukossa 4 tehty vertailu eri nimikkeistöjen osalta osoitti, että laskentaperusteiden määrittelyssä ei ole ristiriitoja. Tämä tarkoitti tutkimuksen kannalta, että määrätiedon mittaukseen käytettävällä nimikkeistöllä ei ole merkitystä.

Arkkitehtimallille asetetut vaatimukset

Arkkitehdin tietomallin ohjeistukset pohjautuvat YTV2012 ja BuildingSmart Finland:n tilaajaohjeisiin. Rakennusosien sijaintitietojen osalta on määritely, että kaikki tilat tulee nimetä. Lisäksi asuintilojen tilat tulee numeroida huoneistonumerolla ja yleisten tilojen osalta numerointi tehdään porraskirjaimen mukaan. [Skanska, 2015; BuildingSmart Finland (b), 2015]

3.3 Tutkimusasetelma määrälaskennan ratkaisujen näkökulmasta

Määrälaskennan nykyiset ratkaisut ovat kehittyneet erilaisiin paikallisiin tarpeisiin, kuten tarjouslaskenta ja hankintatoimi. Nämä rakennusprojektien eri vaiheiden ja eri tehtävien tarpeet ovat luonnollisesti toisistaan poikkeavia minkä vuoksi niiden edes osittainen integraatio ei ole helppo tehtävä. Käytännössä tilanne on johtanut määrälaskentatyön useaan kertaan toistuvaan päällekkäiseen määrätiedon laskemiseen (ks. luku 1.1) ja sen mukaiseen lokaaliin optimointiin. Tutkimuksellinen mielenkiinto on siten kohdistunut määrälaskennan kokonaisratkaisuun, jota voidaan mahdollisimman monipuolisesti hyödyntää rakennusprojekteissa sen erilaisiin määrälaskennan tarpeisiin. Lupaavia ratkaisumalleja toivottuun suuntaan ovat

1. Läpinäkyvät prosessit (transparency, transparent processes). Läpinäkyvä prosessi pyrkii mahdollisimman avoimella tavalla selittämään itseensä liittyvät ja kyseistä palvelua koskevat toiminnan ja syy-seuraus suhteet. Rakennusprosessissa tämä tarkoittaisi, että tarkoituksena ei ole tuottaa vain fyysinen rakennus, vaan myös tiedollista ja havainnollistavaa lisäarvoa prosessin eri sidosryhmien työskentelyyn. Tutkimuksessa määritellään määrätiedon tuottaminen uudella toimintamallilla, jossa lähtökohtana ovat tuotettavan tiedon yleiset määrittäykset sekä visuaalisen havainnollisuuden hyödyntäminen. [Koskela, 1992; Lamming, et.al, 2001; Sacks, et. al, 2009; Tezel, et.al, 2013]
2. Määrälaskennan prosessi eli ideaalitalanne tietomallihankkeessa. Yksi päämielenkiinnon kohteita on ”määrälaskennan ideaaliprosessi”. Mitä se voi olla ja voidaanko esittää näyttöjä sen mahdollista hyödyistä?
3. Rakentamisen määrätiedon tietosisällön analyysit. Tässä tavoitellaan uutta tietoa koskien rakentamisen määrätiedon jäsentämistä niin, että se voi palvella uudella kehittyneellä tavalla määrälaskennan tarpeita.

Tavoitteena olevaa ratkaisumallia voidaan luonnehtia prosessi- ja työkaluratkaisuksi. Kehittäminen on luonteeltaan konstruktivistista. Konstruktivistinen tutkimusote on innovatiivisia konstruktioita tuottava metodologia, jolla pyritään ratkaisemaan reaali maailman ongelmia ja tällä tavoin tuottamaan konstruktioita sille tieteenalalle, jossa sitä sovelletaan. [Kasanen et. al., 1991]. Tämän tutkimusotteen ydinkäsite, (uusi) konstruktio, on abstrakti käsite, jolla on suuri, itse asiassa loputon määrä mahdollisia toteutumia. Kehittämällä konstruktion, joka poikkeaa kaikesta jo olemassa olevasta, luodaan jotain aivan uutta: uudenlaiset konstruktioit itsessään kehittävät uutta todellisuutta, tässä tutkimuksessa se on tietomallihankkeen määrätiedon hallintaa läpinäkyvän määrätiedonhallinta (LMH) toimintamallin mukaisesti.

3.4 Tutkimusasetelma määrälaskentatyön näkökulmasta

Määrälaskentatyössä on havaittavissa lähtökohtaisia eroja siirryttäessä perinteisistä toimintatavoista tietomallien hyödyntämiseen. Nykykäytännössä toimintatapa tietomallien määrätiedon tuottamisessa on vielä kuitenkin sekoitus perinteistä määrämittausta ja tietomallin määrätiedon hyödyntämistä. Taulukossa 12 on esitetty esimerkki kevyen väliseinän määrälaskentatyön toimintatapa, kun tuotetaan määrätietoa ilman tietomallia ja nykykäytännön mukaisesti tietomallilla.

TAULUKKO 12 Väliseinän määrälaskentatyön toimintatapa tuotettaessa määrät ilman tietomallia ja nykykäytännön mukaisesti tietomallilla.

	Toimintatapa ilman mallia	Toimintatapa tietomallin kanssa nykykäytännön mukaisesti
Dokumentit		
2D-suunnitelmat, piirustukset	•	•
Rakennesuunnittelijan rakennetyyppi dokumentti	•	•
Arkkitehdin tietomalli		•
Määrälaskentatapa		
Mittaus 2D-suunnitelmat, piirustukset	•	•
Määrien listaus arkkitehdin tietomallista		•
Arkkitehdin tietomallin linkitys kustannuslaskentaohjelmistoon		•
Määrälaskentatyön valmistelu		
Tarkastellaan rakennetyyppi-dokumentista miten seinä on tyypitetty	•	•
Tutkitaan 2D-suunnitelmista missä ko. seinätyyppi esiintyy asunnoissa	•	•
Tietomallin tarkastus		Tarkastetaan säännöstellä mahdolliset tuplakappaleet ja visuaalisesti rakennetyyppien tyypitykset sekä sijainti

Laskennan lähtötilanne

Määrälaskentatyön lähtötilanne on, että rakennussuunnitelmat sekä tietomallit ovat laadittu oikein ja ohjeiden mukaan. Nykyinen tilanne on tietomallien kohdalla kuitenkin vielä se, että laskijan on itse varmistuttava tietomallista tulevien määrätietojen luotettavuus. Arkkitehdin tietomalli tarkastetaan säännöstpohjaisesti, jotta esimerkiksi mahdolliset objektiokopiot löydetään malleista. Tämän jälkeen laskettavana olevaa rakennusosaa tarkastellaan visuaalisesti laskennan edetessä. Esimerkiksi väliseinien osalta tarkastellaan rakennetyyppien nimeämistä eli kuinka se vastaa

rakennesuunnittelijan rakennetyyppidokumenttia. Lisäksi tarkastetaan, että kyseisellä rakennetyypillä on mallinnettu vain siihen tyyppiin kuuluvat seinät. Seinien osalta tulee myös varmistua, että niiden mallinuskorkeus on oikein. 2D-suunnitelmista laskettaessa tulee tarkastella rakennesuunnittelijan laatimaa rakennetyyppidokumenttia ja verrata sitä tietoa pohjapiirrokseen.

Määrätiedon tuottamisen toimintatapa yrityksessä

Tietomallia hyödynnettäessä nykytilanteessa on määrätiedon tuottamiselle kaksi vaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa tuotetaan määrätiedot tietomallista ulkoiseen tietokantaan ja syötetään sen jälkeen manuaalisesti kustannusarvion laskentaohjelmistoon. Toinen vaihtoehto on, että linkitetään määrätiedot suoraan tietomallista kustannusarvion laskentaohjelmistoon. Näissä kummassakin vaihtoehdossa määrätiedot tulee tarkistaa pistokokein määramittaamalla osa määrätiedoista vielä uudelleen 2D-suunnitelmista. Nykyisen toimintatavan mukaan tietomallista suoraan linkitetyt tiedot esimerkiksi väliseinien määrätiedot kohdistetaan rakennetyypeittäin kustannuslaskentaohjelmistoon manuaalisesti.

Tulevaisuuden toimintatapa olisi tuottaa määrätietoa tietomallista vakioidulla tietosisällöllä, esimerkiksi kansallisesti vakioiduilla rakennetyypeillä. Tällöin näiden määrätietojen määramittauksen työksi jäisi enää mahdollinen pistokoeluonteinen tarkistusmittaus tarvittaessa. Näin ollen määrälaskentavaiheessa määrät voisi viedä suoraan tietomallista kustannusarvionlaskentaohjelmistoon käyttämällä valmiiksi tehtyjä säännöstöjä. Määrätietojen linkitykseen käytettävää valmiiksi luotua säännöstöä ei käyttäjän tarvitse manuaalisesti säätää. Tällöin määrätietojen tuottamisesta jäisi pois manuaalisen työvaiheen aiheuttama työ. Lisäksi tietomallin vakioitu tietosisältö mahdollistaisi määrätiedon tuottamisen vakioitujen määrädokumenttien avulla esim. tuotannon käyttöön.

Tarjouksen hinnoitteluvaiheessa laskentaorganisaatio tekee tiivistä yhteistyötä tuotannon ja hankinnan kanssa. Tällöin määrälaskenta on yleensä jo valmis. Määräluettelo ja siihen pohjautuva kustannusarvio on dokumentti, joka välittyy muille projektin osapuolille. Kustannuslaskentaohjelmistoon määräluettelon määrätiedot on pääsääntöisesti sijaintieritelty rakennus-, porras- ja kerrostarkkuudella. Tämä sijaintieritelty tieto ei välittynyt yrityksen tuotannonseurantajärjestelmään [Kallio, 2011]. Yrityksessä on ollut kuitenkin käynnissä kehityshanke sijaintieriteltyjen määrätiedon saamisesta kustannuslaskentaohjelmistosta tuotannonseurantajärjestelmään. Kehityshankkeen tuloksena järjestelmään saatiin 2014 vuoden lopulla vietyä määrätieto sijaintieriteltyinä.

Määräluettelon tuottamiseen käytetään laskennan sisäisiä laskentadokumentteja ja työkaluja, joissa määrätiedot ovat mahdollisesti eritelty määräluettelon sijaintierittelyä tarkemmalla tasolla esimerkiksi asuntokohtaisesti. Lisäksi ne sisältävät määräluettelon hinnoiteltavan määrän tuottamiseen tarvittavia matemaattisia geometriatietoja.

3.4.1 Tutkimusaineisto

Taulukko 13 sisältää 33 case-kohdetta, jotka ovat luoneet tälle tutkimukselle taustan tietomallien näkökulmasta. Näiden tietomallihankkeiden lisäksi tutkimuksessa on käytetty 24 case-kohdetta, joissa tietomalleja ei hyödynnetty. Nämä mallintamattomat kohteet luovat vertailuaineiston tutkimuksen taustaksi. Aineistona tutkimuksessa käytettiin 20 case-kohdetta listatuista 33 case-kohteista. Näiksi case-kohteiksi valittiin samankaltaiset rakennusprojektit: arkkitehti oli tehnyt mallinnustyön, rakennusprojektit olivat kerrostalohankkeita sekä tietomallit olivat laatutasoltaan mahdollisimman vertailukelpoisia. Aineistona käytettävillä samankaltaisilla projekteilla saavutetaan tutkimuksessa etua tuloksien vertailtavuuden parantumisena.

TAULUKKO 13 Tutkimusaineistona käytetyt case-kohteet.

Case	Vuosi	Rakennus	Paikkakunta	Asunto- ja, kpl	Huoneisto- ala m ²	Brutto- ala, m ²	Mallin- taja	Laskennas- sa käytetty formaatti
1	2008	Kerrostalo	Kirkkonummi	49	3056	4922	Arkkitehti	Natiivimalli
2	2008	Kerrostalo	Helsinki	66	3970	6308	Arkkitehti	Natiivimalli
3	2008	Kerrostalo	Helsinki	54	2545	4124	Arkkitehti	Natiivimalli
4	2008	Kerrostalo	Helsinki	27	2054	3104	Arkkitehti	Natiivimalli
5	2008	Rivitalo	Helsinki	20	1936	2453	Laskija	Natiivimalli
6	2009	Kerrostalo	Järvenpää	35	1316	2143	Laskija	Natiivimalli
7	2009	Kerrostalo	Espoo	44	2780	4812	Arkkitehti	Natiivimalli
8	2009	Rivitalo	Espoo	20	1909	2395	Arkkitehti	Natiivimalli
9	2009	Kerrostalo	Espoo	113	5289	8932	Arkkitehti	Natiivimalli
10	2009	Kerrostalo	Espoo	105	5674	10576	Arkkitehti	Natiivimalli
11	2009	Kerrostalo	Järvenpää	31	1749	2570	Arkkitehti	Natiivimalli
12	2010	Kerrostalo	Espoo	79	4841	9078	Arkkitehti	Natiivimalli
13	2010	Kerrostalo	Vantaa	47	3081	4318	Arkkitehti	Natiivimalli
14	2010	Parkkihalli	Vantaa	-	-	-	Arkkitehti	Natiivimalli
15	2010	Kerrostalo	Espoo	45	2885	4174	Arkkitehti	Natiivimalli
16	2010	Kerrostalo	Helsinki	45	2571	3966	Arkkitehti	Natiivimalli
17	2010	Erillistaloja	Sipoo	10	1052	1254	Laskija	Natiivimalli
18	2010	Kerrostalo	Sipoo	51	3755	8099	Arkkitehti	Natiivimalli
19	2010	Kerrostalo	Espoo	34	2801	5009	Arkkitehti	Natiivimalli
20	2010	Erillistaloja	Sipoo	6	1074	1464	Arkkitehti	Natiivimalli
21	2010	Kerrostalo	Vantaa	47	3318	4969	Arkkitehti	Natiivimalli
22	2011	Kerrostalo	Helsinki	49	3442	4922	Arkkitehti	Natiivimalli
23	2011	Kerrostalo	Kerava	44	3161	4787	Arkkitehti	Natiivimalli
24	2011	Kerrostalo	Kauniainen	33	2815	5365	Arkkitehti	Natiivimalli
25	2012	Kerrostalo	Espoo	64	4823	8209	Arkkitehti	Natiivimalli
26	2012	Kerrostalo	Espoo	57	2932	4729	Arkkitehti	Natiivimalli + IFC
27	2012	Kerrostalo	Espoo	36	2388	3796	Arkkitehti	Natiivimalli + IFC
28	2012	Kerrostalo	Järvenpää	133	8312	13758	Arkkitehti	Natiivimalli
29	2013	Kerrostalo	Espoo	42	2145	3002	Arkkitehti	Natiivimalli + IFC
30	2013	Kerrostalo	Espoo	42	2145	3002	Arkkitehti	Natiivimalli + IFC
31	2013	Kerrostalo	Sipoo	30	1732	3414	Arkkitehti	Natiivimalli
32	2013	Kerrostalo	Helsinki	83	4306	6753	Arkkitehti	Natiivimalli
33	2014	Kerrostalo	Helsinki	43	2545	4901	Arkkitehti	IFC

Vertailtavuuden parantamiseksi aikaisempiin tutkimustuloksiin nähden, on tämän tutkimuksen tuloksissa luvussa 4.2.1 lisäksi esitetty kokonaisvaikutus määrälaskennan kustannusarviovaiheessa tekemään työhön, kun tietomallia hyödynnetään määrätiedon tuottamisessa. Taulukon 14 aineistoa on käytetty arvioimaan tätä tutkimustuloksen kokonaisvaikutusta määrälaskentatyöhön. Taulukossa on esitetty kahden kohteen osalta suoritepohjaisen kustannusarvion määräluettelon suoriterivien rakennetta. Kohteissa on käytetty arkkitehdin tietomallia määräluettelon tuottamiseen.

Perinteiseen määrälaskentaan käytetty aika tutkittiin yhden laskijan työaika-kirjanpidon pohjalta (luku 4.2.1 taulukko 24). Alkuperäinen työaika-kirjanpito oli tuotettu hänen henkilökohtaista ajankäytön seurantaan varten. Henkilöllä on noin kahdenkymmenen vuoden kokemus määrälaskentatyöstä. Työaika-kirjanpito koostuu näin ollen useiden vuosien mittaan kertyneistä kohteista. Tähän tutkimukseen aineistoksi valittiin 12 kohdetta, jotka edustavat asuinkerrostalokohteita. Nämä kohteet ovat olleet laskennassa viimeisen 7 vuoden aikana.

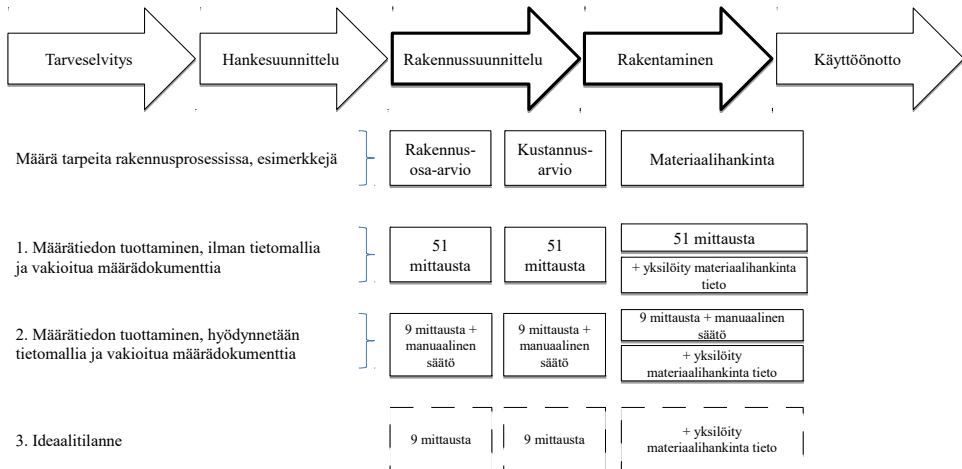
TAULUKKO 14 Esimerkki kahdesta kohteesta, joissa arkkitehdin tietomallia on käytetty suoritepohjaisen kustannusarvion määräluettelon tuottamiseen. [Skanska, 2015a]

	Kustannusarvio kohde 1	Kustannusarvio kohde 2
Valmiin määräluettelon rakenne		
- otsikkorivi	163 kpl	144 kpl
- lisätieto/ inforivi	103 kpl	55 kpl
- 1 erä -rivi	49 kpl	43 kpl
- laajuustietorivit	88 kpl	64 kpl
- maanrakennusrivit	123 kpl	33 kpl
- betonielementtirivit	124 kpl	63 kpl
Rakennuksen määrärivit	625 kpl	473 kpl
Kustannusarviorivejä yhteensä	1275 kpl	875 kpl
- Kustannusarviorivejä, joita ei mahdollista saada arkkitehtimallista	342 kpl	241 kpl
- Kustannusarviorivit, jotka on mahdollista saada arkkitehtimallista	283 kpl	232 kpl
Arkkitehtimallista mahdollisesti saatavat rivit	22 % kokonaisrivimäärästä	13 % kokonaisrivimäärästä
Kohteesta tietomallista tuotetut määrärivit		
- linkitetty tietomallista suoraan määrälaskentaohjelmistoon	71 kpl	80 kpl
- tietomallista listattu määrätieto ja manuaalisesti laskentaohjelmistoon syötetty tieto	69 kpl	36 kpl
Arkkitehdin tietomallista saadut rivit yhteensä	140 kpl	116 kpl

3.4.2 Testausjärjestelyt, määrälaskentatyö

Luvussa 2.1.3 taulukossa 2 esitetyissä lähteistä ei ole tarkemmin mainittu tuloksissa mainittuja prosenttilukujen laskentatapaa. Tästä johtuen kuvassa 18 esitetyjä toimintatapoja havainnollistettiin ensin yhdellä kohteella. Tarkoituksena oli tutkia esitetyn toimintamallin toimivuus ennen varsinaista laajemman tutkimusaineiston analyysiä. Kohteeksi valittiin tutkimuksessa tuotannon hankintamäärätiedoissa käytetty case 1 (taulukko 17). Kuvassa 18 on esitetty testauksessa saatu tulos määrälaskentatyöstä yhden seinätyypin osalta case 1. Määrätiedon mittaus ilman mallia teettää työtä seuraavasti: 51 mittausta, 51 mittaustuloksen syöttämistä taulukkolaskentaohjelmistoon ja 51 mittauksen jaottelamista 12 eri sijaintitiedolle kustannusarvionlaskentaohjelmistoon.

Tutkimuksen toteutusta varten suunniteltiin, että tarkastuskappaleet otetaan kolmesta asuntotyypistä. Tällöin mittauksia tulee yhdeksän kappaletta. Tuotettaessa määrät ulkoiseen tietokantaan case 1-kohteen osalta tulokset viedä vielä manuaalisesti kustannusarvion laskentaohjelmistoon jaoteltuna 12 eri sijaintitiedolle.



KUVA 18 Toimintatapojen havainnollistamisen tulokset -tuotannon hankintamäärissä käytetty case 1 osalta.

Toimintamallien tarkastelu osoitti, että kuvassa 18 esitetyt toimintamallit toimivat. Määrätiedon tuottaminen tietomallin avulla vähentää laskentatyötä verrattuna siihen, että määrät tuotettaisiin ilman mallia. Empiirisen tutkimuksen osalta määritettiin, että ideaalitilanteessa materiaalihankintoja varten voidaan hyödyntää suoraan laskennan tuottamia määrätietoja.

Tutkimuksessa käytetyissä kohteista analysoitiin kuinka monta asunon sisäistä kuivantilan metallirankaista kipsilevyseinää kohteesta löytyy.

Mitattavaksi kappaleeksi laskettiin tietomalliin mallinnetut objektit. Mitattaviin kappaleisiin ei laskettu samanlaisissa asuntotyypeissä olevia seiniä. Tämä siksi, että määrälaskennassa samanlaisten asuntotyyppien määrätiedot voidaan tuottaa yhdellä mittauksella ja tuottaa kokonaismäärä kertomalla yhden mittauksen tulos asuntotyyppien määrällä (kt. luku 2.1.3). Asuntotyyppien valintaan ei käytetty mitään tilastollista menetelmää. Kolmeen asuntotyyppiin päädyttiin, koska kahta pidettiin liian pienenä määränä tuottaa tarkasteltavaa vertailuaineistoa. Tutkimuksessa otettiin huomioon vain mittaustyö. Mittaustyöksi tässä tutkimuksessa määriteltiin valittavan mittauskohteen mittaaminen ja mittaustuloksen kirjaamisen. Mittaustyö työtapana on sama prosessin eri vaiheissa.

3.5 Tutkimusasetelma rakennusosan hankintamäärätiedon tuottamisen näkökulmasta

Kevyt metallirankainen seinä toimii tutkimuksessa esimerkin luonteisena rakennusosana (luku 2.1.4). Tutkimus kohdistuu tähän rakennusosaan, joka edustaa tyypillistä määrälaskennan tehtävää. Case-kohteessa esimerkkinä olevan rakennusosan materiaalit toimitetaan rakennustyömaan runkovaiheen edetessä. Tällöin määrätiedon erittelyssä tulee huomioida esim. materiaalogistiikan suunnittelussa tarvittavat tiedot. Lisäksi materiaalihankintoja palvelevan määrätiedon tuottamisessa tulee huomioida, että teoreettiseen määrätietoon tulee lisätä materiaalihukka.

Tutkittavan rakennusosan määrätiedot tuotetaan tutkimuksessa kahdella tavalla, perinteisesti laskemalla ja mittaamalla 2D-suunnitelmista sekä IFC-formaatissa olevasta tietomallista. Tutkimuskohteena käytetään asuntorakentamishankkeita.

3.5.1 Vakiodun määrädokumentin kehittäminen

Tässä tutkimuksessa käytetään tietomallipohjaisena laskentatapana luvussa 2.1.3 kuvassa 6 esitettyä tapaa A, jossa tietomallista viedään määrät ulkoiseen tietokantaan. Tässä tutkimuksessa määrätiedot tuotetaan case-kohteista arkkitehdin tietomallista ja ulkoisena tietokantana toimii taulukkolaskentaohjelmisto. Määrätiedot tuotetaan erillisestä IFC-formaattia tukevasta tietomalliohjelmistosta, josta voidaan listata tietoa taulukkolaskentaohjelmistoon.

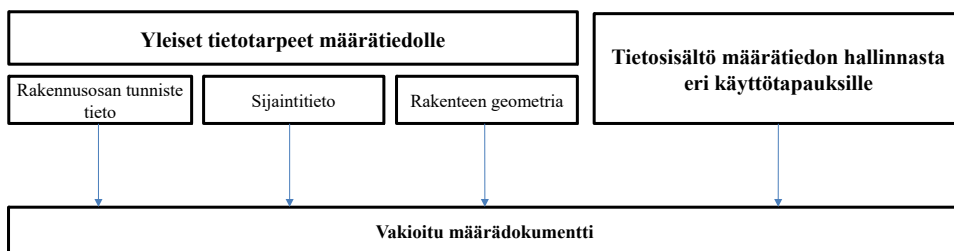
Case-kohteissa käytetyn vakiodun tietomallipohjaisen määrädokumentin kehittämisessä lähdettiin empiirisestä vaiheesta, jossa lähtötilanne arvioitiin havainnoimalla yrityksen tutkimuskohteena olleen laskentaorganisaation tuottamia erilaisia listauksia määrätiedoista. Laskentainsinööreillä oli yrityksessä käytössä taulukkolaskentapohjainen taulukko, jossa yhtenä osa-alueena olivat kevyet väliseinät. Tämän käytössä olevan taulukon tiedot muodostivat vakiodun määrädokumentin perusrakenteen.

Toisessa vaiheessa tehtiin vakioidun tietomallipohjaisen määrädokumentin kehittäminen. Perustietojen pohjalta luotiin taulukkolaskentaohjelmistoon otsikkotasot niin, että sarakkeisiin saatiin suoraan linkitettyä tietoa tietomallista. Tämän vaiheen jälkeen määrädokumenttia testattiin useaan otteeseen muutamilla tietomallikohteilla, jotta voitiin varmistua määrädokumentin matemaattinen luotettavuus. Luotettavuutta lisättiin luomalla dokumenttiin tarkastusominaisuus. Tämä ominaisuus vertaa tietomallista tulevia määrätietoja mallin geometriatiedoista tuotettuihin matemaattisiin määrätietoihin.

Kolmannessa vaiheessa taulukkoon lisättiin tietoja materiaalihankintoja palvelevista tiedoista. Tämän jälkeen taulukkoa testattiin muutamien asuntokohteiden tietomalleilla. Testauksella pyrittiin poistamaan taulukossa esiintyneet mahdolliset matemaattisista kaavoista johtuvat virheet. Taulukosta saatavien materiaalimenekkien määrätietojen testaus on osa tämän tutkimuksen case-hankkeiden tuloksia.

Vakioidun määrädokumentin tietosisältö

Vakioidulla määrädokumentilla tarkoitetaan tietomallista listattua määrätietotaulukkoa, jossa esitetty tietosisältö on sama rakennusosien tunnistetieto, määrä- ja sijaintitiedon osalta rakennushankkeesta tai suunnitteluohjelmistosta riippumatta. Tietosisältö koostuu yleisten määrätietojen osalta jo tunnettuihin ohjeistuksiin määrittämisestä (ks. luku 2.1.4, taulukko 4) sekä eri käyttötapauksille määritellyistä tietosisällöistä (kuva 19).



KUVA 19 Vakioidun määrädokumentin tietosisältö.

Tässä alaluvussa käsitellään materiaalihankintoja pääsääntöisesti määrätiedon näkökulmasta.

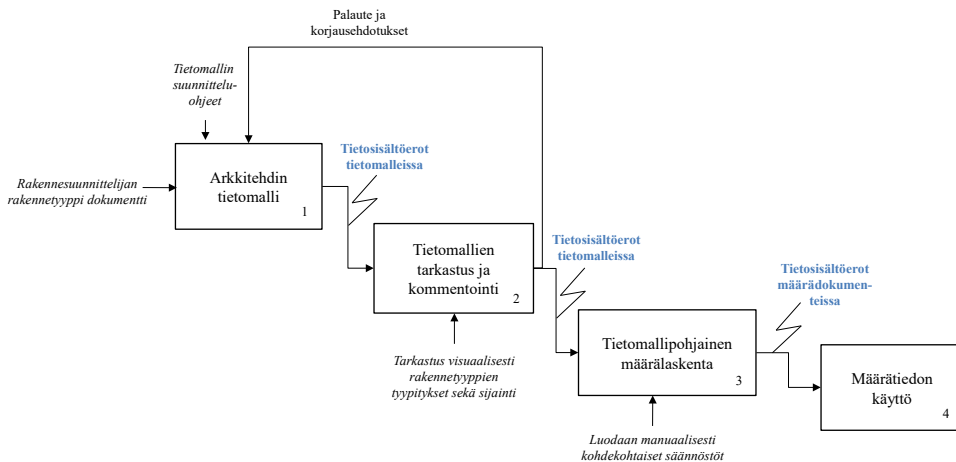
Materiaalitoimittajat tuottavat omista materiaaleistaan esitteitä kuluttajille, joissa kerrotaan materiaalien eri dimensioista, käyttötarkoituksista ja materiaalimenekeistä. Yritysten kanssa materiaalitoimittajat tekevät kaupallisia sopimuksia. Näihin sopimuksiin valitaan yleensä yrityksen yleisimmin tarvitsemat materiaalit. Sopimusten liitteenä on kuluttajatietojen lisäksi myös materiaalin toimituseräkoot. Materiaalihinnastoon voidaan kirjata perittävä lisäkustannus, jos toimituserä koko poikkeaa sopimuksesta. Kustannustehokkuuden kannalta tämä tarkoittaa, että ennen materiaalin tilausvaihetta on tehtävä suunnitelma materiaalin toimituksesta.

Laskennallisten määrätietojen lisäksi tietoa tarvitaan myös rakennusosan sijainnista. Sijaintitieto on tärkeä osa työmaan materiaalilogistiikan kannalta, jotta materiaalivirtaa voidaan työmaalla hallita oikeaan aikaan. Talvitiien [2006] tutkimus osoitti, että suurissa ahtaalle tontille sijoitetuissa rakennushankkeissa on tärkeää saada materiaalivirrat työmaalle kulkemaan joustavasti.

Kestävän kehityksen myötä ympäristöasiat ovat myös tärkeitä asioita rakentamisessa. Materiaalihukkaa voidaan vähentää esim. tunnistamalla hankintavaiheessa tuotteiden mahdollinen vakiomitoitus. Tällöin materiaalihankinnassa voidaan pyrkiä tilaamaan tuotteet suoraan oikean mittaisina.

3.5.2 Vakioidun määrädokumentin kehittämisen ongelmakohtia

Tämä tutkimuksen aineisto perustuu kahteen suunnitteluohjelmistoon, joiden natiivimalleista on tuotettu IFC-formaatissa oleva tietomalli. Vakioidun määrädokumentin kehittämisen yhteydessä tuli ilmi eroja näiden suunnitteluohjelmistoista tuotetun IFC-mallin tietosisällössä (kuva 20). Tietosisältöerot jakautuvat kahteen osa-alueeseen, IFC-formaatin tietosisällön ohjelmistoteknisiin määrittäisiin, sekä mallinnuksen yhteydessä rakennusosille määritelyihin tietosisältöihin.



KUVA 20 Vakioidun määrädokumentin kehittämisessä havaittiin eri suunnitteluohjelmistoilla tuotetun IFC-mallin välillä tietosisältöeroja.

Tietomallisuunnitteluohjelmistosta yleisesti tuotetun IFC-formaatin ohjelmistoteknisiin tietosisältöihin voi käyttäjän olla hankalaa vaikuttaa. Tutkimuksessa käytetyssä IFC-formaatia tukevassa ohjelmistossa tämä näkyi käyttäjälle esimerkiksi rakennusosan kohdalla niin, että ”nimi”-tieto on toisessa suunnitteluohjelmistossa manuaalisesti syötettävä tieto ja toisessa tieto tulee automaattisesti ohjelmistosta. Tutkimuksessa luodun vakioidun

määrädokumentin toiminnot toteutettiin niin, että se toimii molemmilla tutkimuksessa käytetyllä suunnitteluohjelmiston IFC-formaatin tietomallilla.

Tietosisältöerojen toinen osa-alue on mallinnuksen yhteydessä rakennusosille määritellyt tietosisällöt. Näihin käyttäjällä on mahdollisuus vaikuttaa. Tämä johtaa siihen, että tietomalleissa sama asia on määritelty yleensä käyttäjäkohtaisella tavalla. Käyttäjäkohtaisilla määrityksillä ei ole tällä hetkellä mitään kansallista vakioitua ohjeistusta/vaativuutta tietosisällön osalta, jolloin jokainen tietomalli on oma yksilö.

Taulukkoon 15 on kerätty esimerkkinä 25 kappaletta yrityksen laskennassa hyödynnettyjä kohteita vuosilta 2008–2014. Näistä tietomalleista listattiin yhden kevyen metallirankaisen seinän rakennetyypin määrittäminen. Tuloksena oli, että näistä 25 kohteesta esiintyi 20 eri tavalla nimettyä samaa rakennetyypin nimeä.

TAULUKKO 15 Yhden väliseinän rakennetyypin tietomallissa esitetty rakennetyypin nimeäminen.

Kohde nro	Kohde	Kevyen väliseinän nimeäminen ark-mallissa
1	Asuinrakennuskohde	VS4 teräsrunkoseinä 92
2	Asuinrakennuskohde	VS334 Teräsrunkoseinä 92
3	Asuinrakennuskohde	VS3 Teräsrunkoseinä 92
4	Asuinrakennuskohde	_VS03_Väliseinä_Kohteen nimi
5	Asuinrakennuskohde	VS334 Teräsrunkoseinä 92
6	Asuinrakennuskohde	443 VS-PR3
7	Asuinrakennuskohde	VS334 Teräsrunkoseinä 92
8	Asuinrakennuskohde	Teräsrunko, ei-kantava, kipsilevyverho
9	Asuinrakennuskohde	VS3 levyseinä 92mm
10	Asuinrakennuskohde	VS03 Teräsrunkoseinä, ei kantava 66mm
11	Asuinrakennuskohde	VS2 levyseinä 92mm
12	Asuinrakennuskohde	VS03 Teräsrunkoseinä, ei kantava 66mm
13	Asuinrakennuskohde	065_VS03 yhtenäinen täyte
14	Asuinrakennuskohde	VS03_SXC_PW370-F_Teräsrunkoseinä, ei kantava 66mm
15	Asuinrakennuskohde	Levy 100
16	Asuinrakennuskohde	VS03 Teräsrunkoseinä, ei kantava 66mm
17	Asuinrakennuskohde	VS Luonnos 100 mm
18	Asuinrakennuskohde	VS3 teräsrunkoseinä
19	Asuinrakennuskohde	-VS3
20	Asuinrakennuskohde	Basic Wall:VS3 Teräsrunkoseinä, ei kantava, 66mm (rankajako 600)
21	Asuinrakennuskohde	_VS03 Teräsrunkoseinä, ei kantava 66mm
22	Asuinrakennuskohde	VS334 Teräsrunkoseinä 92
23	Asuinrakennuskohde	VS-02 Teräsrunkoseinä (92)
24	Asuinrakennuskohde	VS03 - Teräsrunkoseinä, ei kantava, 66mm
25	Asuinrakennuskohde	VS03

3.5.3 Tutkimusaineisto, rakennusosan hankintamäärätiedon tuottaminen

Kevyt metallirankainen väliseinä

Esimerkin luonteista metallirankaista väliseinää hyödyntäen tutkittiin materiaalmääriä, joita verrattiin materiaalivalmistajan ja Ratu-kortin -ohjeeseen, sekä tietomallista tuotetun vakioidun määrädokumentin määriin. Tämän rakennusosaesimerkin tarkoituksena on antaa vertailupohjan eri tavoilla tuotetuille materiaalmäärätiedoille. Tämä siksi, että tällöin tuloksiin ei kohdistu todellisessa kohteissa esiintyviä mahdollisia erikoistilanteita. Lisäksi tuloksista voidaan pienessä mittakaavassa arvioida tuloksien lukuarvojen erojen mahdollisia syitä.

TAULUKKO 16 Esimerkkirakennusosa, jota hyödyntäen tutkittiin materiaalmääriä ja niiden laskentaa.

	Dimensiot
Seinän pituus	3,5/ 0,9/ 0,6 m
Seinän korkeus	2,6 m
Seinän rankajako	k600/ k300
Pystyrangan korkeus	2,6 m
Levyn leveys	1,2 m
Oviaukon koko	0,9 x 2,1 m

Esimerkin luonteisena rakennusosana toimii metallirankainen väliseinä (taulukko 16), jonka pituus on 3,5 metriä ja pystyrankojen korkeus 2,6 metriä. Seinä mallinnettiin sekä ilman oviaukkoa, että oviaukolla. Oviaukon koko leveys 0,9 metriä ja korkeus 2,1 metriä. Lisäksi yksittäisen seinän kohdalta testattiin lyhyitä seinänpätkiä, jotka olivat pituudeltaan 0,6 ja 0,9 metriä.

Case kohteet

Tutkimuksessa oli mukana kolme asuntokohdetta. Kaikki case-kohteet ovat kerrostalohankkeita. Taulukossa 17 on esitetty case-kohteiden materiaalin lähtökohdat.

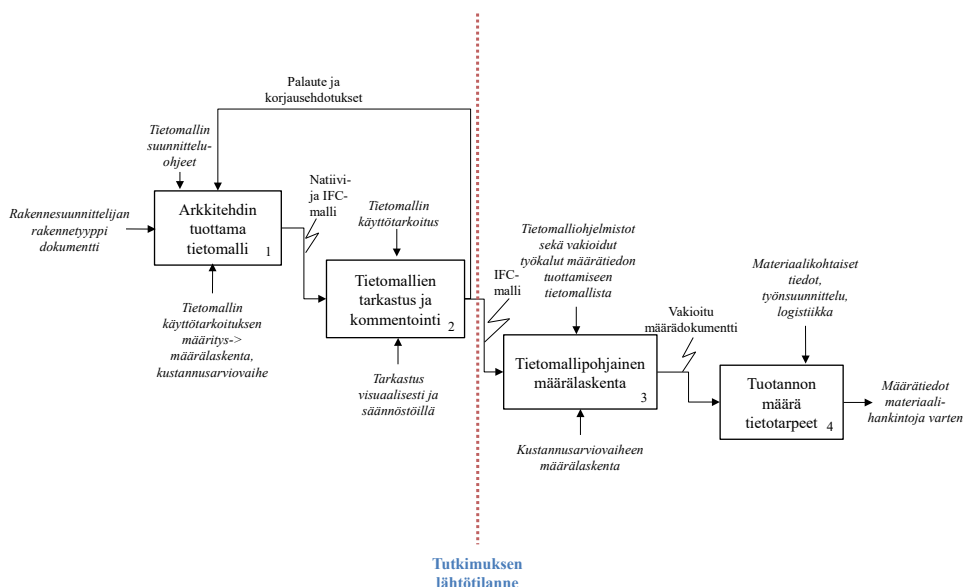
TAULUKKO 17 Case-kohteiden materiaalin lähtökohdat.

	Case 1	Case 2	Case 3
Kerroksia	4	7	4
Asuntoja	33	42	46
Työmaan määrälaskennan suoritti	Työmaan nuorempi työnjohtaja	Työmaan vanhempi työnjohtaja	Työmaan vastaava työnjohtaja
Tietomalli	Arkkitehti tuotti IFC-formaatin natiivimallista	Arkkitehti tuotti IFC-formaatin natiivimallista	Testiaineiston mallin mallinsi tutkija käyttämällä referanssinä CAD-piirustuksia mallinnuksen sekä rakennesuunnittelijan rakennetyyppi dokumentti. Natiivimallista tuotettiin IFC-formaatti.

Vakioidun määrädokumentin tuottaman hankintamäärätiedon tulosten vertailevuuden parantamiseksi työmailta pyydettiin vielä heidän tilausvaiheessa käyttämät määrätiedot.

3.5.4 Testausjärjestelyt, rakennusosan hankintamäärätiedon tuottaminen

Testausvaiheessa käytettiin luvussa 3.4.2 kuvassa 18 määriteltyä toimintatapaa 2, jossa määrätietojen tuottamiseen käytetään tietomallia ja vakioitua määrädokumenttia. Tutkimuksen testiaineiston tiedonkulku ja sen tuottaminen on kuvattu kuvassa 21. Testauksen näkökulmasta tutkimuksen lähtötilanne alkaa prosessin kohdan 2 jälkeen.



KUVA 21 Tutkimuksen testiaineiston tuottaminen ja tiedonkulun prosessi.

Prosessin kohdassa 1 tietomallikoordinaattori pitää arkkitehdin kanssa mallinnuksen aloituspalaverin. Tietomallikoordinaattori on tässä tutkimuksessa yrityksessä työskentelevä henkilö, joka koordinoi tietomallien laatua yhteistyössä suunnittelijoiden kanssa. Aloituspäivästä käytiin läpi yrityksen tietomallinnusohjeet ja tietosisältövaatimukset. Case 1- ja case 2 -kohteen osalta tietomallin tuottaminen alkoi prosessin kohdassa 1.

Prosessin kohdassa 2 tietomallikoordinaattori tarkastaa arkkitehdin tietomallin ja yhteen sovittaa sen muiden suunnittelualojen mallien kanssa. Tietomallista löytyneet puutteet/virheet raportoidaan arkkitehdille korjattavaksi.

Prosessin kohdassa 3 case 1- ja case 2 -kohteiden testauksessa käytetyt määrätiedot tuotettiin kustannusarvion laskentavaiheessa arkkitehdin tuot-

tamasta IFC-tietomallista. Laskentainsinööri tarkasti ensin tietomallin mahdollisten geometrinen virheiden osalta tuplakappaleet eli objektikopiot. Tämän jälkeen laskentainsinööri teki vielä visuaalista tarkastelua laskettavan rakennusosan osalta, jonka jälkeen hän vasta listasi tarvitsemansa määrätiedot. Listatut määrätiedot tarkistetaan vielä pienellä otannalla 2D-suunnitelmista mittaamalla. Jos tietomallista tuotetussa listauksessa esiintyy virheitä netto- tai bruttoalassa, ne korjattiin manuaalisesti vakoiutuun määrädokumenttiin.

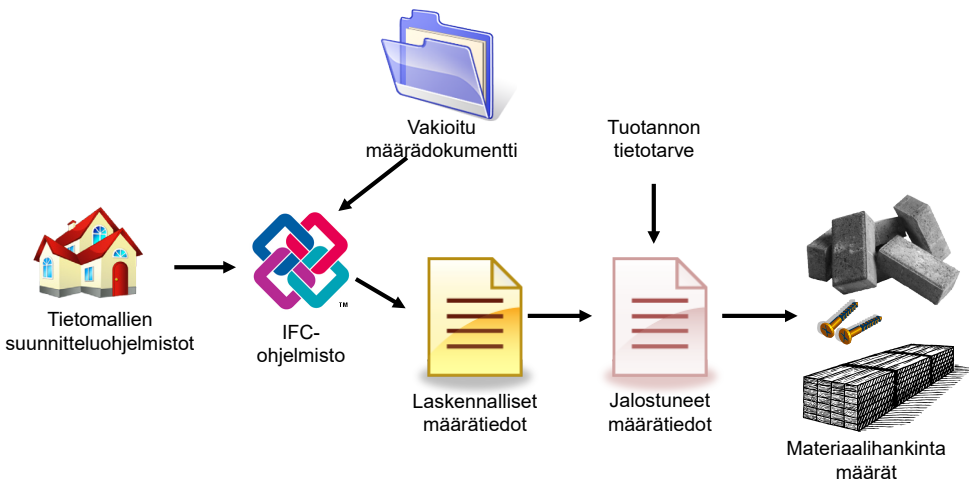
Case 3-kohteen osalta tietomalli mallinnettiin prosessin kohdassa 3. Case 3-kohteen osalta testausta varten luotiin tietomalli, johon mallinnettiin vain väliseinät. Malli luotiin kohteen 2D-suunnitelman ja rakennetyyppimääritysten pohjalta. Tässä tutkimuksessa mallinnettiin case 3-kohteen tietomalli.

Prosessin kohdassa 4 mallista tuotettuun vakoiutuun määrädokumenttiin lisättiin kappaleessa 4.1.2 esitetyt tiedot materiaalihankinnan käyttötapauksesta. Case 1- ja case 2-kohteen osalta määritykset tekivät tuotanto-organisaation henkilöt. Case 3-kohteen osalta määritykset on tutkimuksessa suoritettu tuotanto-organisaatiolta saatujen tietojen pohjalta.

Tutkimuksessa käytettävät tuotanto-organisaation itse laskemat määrätiedot tuotettiin ennen tietomallin hyödyntämistä. Tuotannon laskeman teoreettisen materiaalmäärätiedon lisäksi he ilmoittivat materiaalin tilausvaiheessa tilatut materiaalmäärät.

Materiaalitoimittajille lähetettiin sähköpostilla laskentamateriaali. Se sisälsi arkkitehdin tuottaman peruserroksen 2D-pohjapiirroksen sekä tietomallista tuotetun 2D-pohjapiirroksen, johon oli eri väreillä merkitty seinien rakennetyypit. Tämän lisäksi oli dokumentti, jossa oli selostettu väreillä merkittyjen rakennetyyppien yksilöidyt tiedot.

Tässä tutkimuksessa ei huomioitu ohjelmistoteknisiä yksityiskohtia. Yleisellä tasolla tutkimus etenee tietoteknisesti kuvan 22 mukaisesti.



KUVA 22 Case-testauksen tietotekninen kulku.

3.5.5 Testauksen kulku

Testaus jaettiin kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa case-kohteen työmaahenkilö laski kohteen kevyet levyseinät perinteisesti 2D-suunnitelmista. Työn ajallista suoritusta mitattiin työmaahenkilön pitämän laskentapäiväkirjan avulla. Toisessa vaiheessa henkilö on sama, kuin ensimmäisessä vaiheessa. Hän sai valmiin tietomallista tuotetun vakioidun määrälaskentadokumentin kevyistä väliseinistä. Tähän vakioituun määrädokumenttiin hän teki hankintamäärätietoihin vaikuttavat määritykset, kuten esimerkiksi työmaan käyttämän levyn leveyden.

Testaukseen osallistuvat henkilöt saavat ennen toista vaihetta noin tunnin mittaisen koulutuksen vakioidun määrädokumentin käyttöön.

Laskentapäiväkirjaan merkitään päivämäärä ja määrälaskentaan käytetty aika 15 minuutin tarkkuudella. Ajallisessa mittauksessa ei eritellä kohteeseen tutustumista ja määrälaskentaa, vaan ne raportoidaan yhtenä kokonaisuutena.

Tutkimuksessa mitataan henkilön käyttämää ajallista suorittamista ensimmäisen ja toisen vaiheen osalta. Laskentaan käytettyä aikaa verrataan ensimmäisen ja toisen vaiheen kesken.

Lisäksi ensimmäisen vaiheen laskennan määrätiedon tuloksia verrataan toisen vaiheen tietomallista vakioidun määrädokumentilla tuotettuihin määrätietoihin. Määrätietojen tarkkuutta verrataan myös Ratu-korttien ohjeisiin materiaalimenekeistä.

3.5.6 Testaukseen vaikuttavat tekijät

Shen et.al. [2010] tutkimuksessa oli päädytty jakamaan testajaat satunnaisesti kolmeen ryhmään. Vaihtoehtona olisi testauksessa ollut, että jokainen opiskelija olisi laskenut case-kohdetta kaikilla eri laskentamenetelmillä. Tätä vaihtoehtoa ei kuitenkaan testauksessa haluttu käyttää, koska tuloksista haluttiin rajata pois toiston mukanaan tuoma oppimisvaikutus.

Tässä tutkimuksessa päädyttiin, että sama henkilö suorittaa testauksen ensimmäisen ja toisen vaiheen. Toisin, kuin Shen et.al. [2010] tutkimuksessa, tässä tutkimuksessa on tarkoitus luoda toiston kautta mahdollisuus huomata uuden työkalun tuomat mahdolliset hyödyt omassa työssään.

Testaukseen osallistuvat kohteet ovat oikeita rakenteilla olevia rakennushankkeita, joten saman henkilön käyttöä testauksen molemmissa vaiheissa puolsi seuraavat asiat:

- Käytettävät resurssit; Työmaat ovat pääsääntöisesti pieniä, jossa henkilöstöä ei ole laajasti käytettävissä.
- Testaukseen osallistuvat henkilöt käyttävät kaikki ensimmäistä kertaa vakioitua määrätaulukkoa, joten lähtötilanne on kaikissa testikohteissa sama.
- Motivaatio; Jos laskettava kohde on testaajan oma projekti, niin se motivoi paremmin osallistumaan testaukseen.
- Aikataulu; Lyhyessä aikataulussa suoritettavassa testauksessa on se etu, että testattavaan asiaan säilyy riittävä mielenkiinto.
- Oppiminen ja osaamisen jalkauttaminen; on helpompaa saada ihminen huomaamaan uuden teknologian mahdollisuudet, kun hän on ensin itse tehnyt asian vanhalla tavalla ja sitten toistaa sen uudella tavalla.
- Testauksen luotettavuus ”ruohonjuuritasolla”; Jos testauksen suorittaa työmaan arkipäivässä mukana olevat henkilöt todellisilla rakennuskohteilla, niin testaukseen saadaan luotettavuutta myös käytännön hyödyn näkökulmasta.

Ajallisten tulosten raportoinnissa saattaa tuloksia vääristää se, että toisessa vaiheessa ovat testaajalle kohde sekä testattavat perusasiat jo ennakoita tuttuja.

Seuraavat asiat puolsivat kokonaisajallista mittausta:

- Jos testaus suoritetaan työmaaolosuhteissa, niin voidaanko luotettavasti erotella ajallinen osuus kohteeseen tutustumisesta ja tehtävästä määrätiedon laskennasta? Arkipäivän töiden yhteydessä tehtävä testaus saattaa keskeytyä useampaan kertaan.
- Kohteeseen tutustuminen ei todennäköisesti ole suoraviivaista, vaan kohteeseen tutustuminen tapahtuu samalla kuin määriä lasketaan.
- Työskenneltäessä yksittäiset työtehtävien osat sekoittuvat prosessiin, jolloin on luotettavampaa kellottaa koko prosessi, kuin sen yksittäisiä osia.

Ajallisen tuloksen yhtenäisen raportoinnin vääristymän vaikutus oletettiin tasoittuvan testausvaiheiden osalta seuraavasti: ensimmäisessä vaiheessa tuloksissa on mukana kohteeseen tutustuminen. Toisessa vaiheessa kohteeseen tutustuminen korvautuu vakioitun määrädokumentin ominaisuuksien tutustumiseen. Vaikka testattava on saanut vakioitua määrädokumenttiin koulutuksen, niin testausta ei todennäköisesti suoriteta heti koulutuksen jälkeen. Tällöin testaajan on testaushetkellä uudelleen tutustuttava vakioitun määrädokumentin sisällön määrittäisiin.

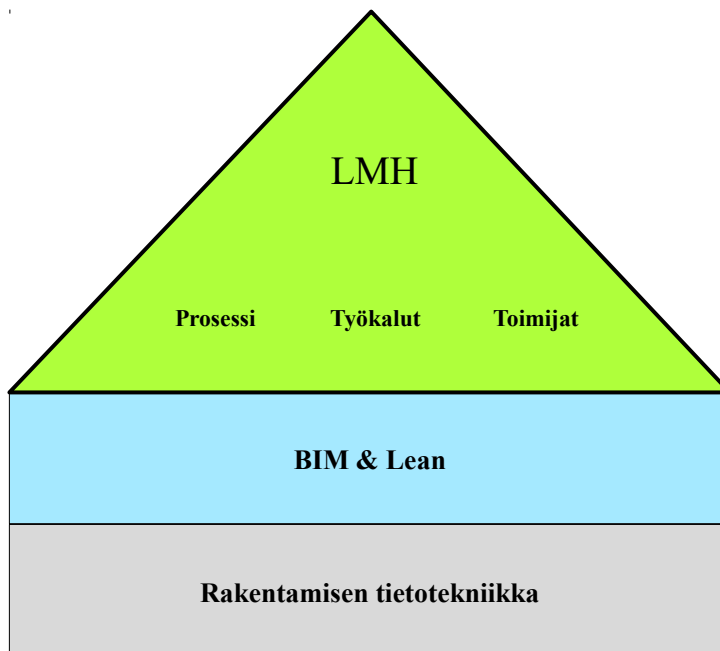
4 Tulokset

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen empiirisen osuuden tulokset. Tuloksiin liittyvät tarkemmat tutkimusasetelmat ja määritykset on esitetty luvussa 3. Ensiksi käsitellään tuloksina saatuja määrälaskennan ratkaisuja, jotka esittävät systeemisen kokonaisuuden määrälaskennan toteuttamisella. Toiseksi esitellään empiirisiä havaintoaineistoa koskien määrälaskentatyötä eri toimintatavoilla: määrälaskentatyötä toimintatavalla 1 (ilman tietomallia), toimintatavalla 2 (vakioidulla määrädokumentilla tietomallista) sekä tutkimuksessa luvussa 3. 2 määritellyssä ideaalitulanteessa. Edelleen tarkastellaan, miten toimintatapa 2 vähentää määrälaskennan kokonaistyötä kustannusarviovaiheessa verrattuna toimintatapaan 1 Neljänneksi käsitellään määrätiedon luotettavuutta kolmessa case-kohteessa, kun on hyödynnetty tutkimuksessa kehitettyä työkalua tuotannon hankintamäärätiedon tuottamiseen.

4.1 Määrälaskennan ratkaisut

4.1.1 Läpinäkyvä määrätiedon hallinta (LMH –malli)

Läpinäkyvä määrätiedonhallinta (LMH) on toimintamalli, joka yhdistää määrätiedon tuottamisen tiedolliset tarpeet sekä tietomallin työkaluna toisiaan tukevaksi kokonaisuudeksi.



KUVA 23 Tutkimuksen tuloksiin perustuva LMH-toimintamalli.

LMH –toimintamalli (kuva 23) koostuu seuraavista osakokonaisuuksista

1. Prosessi.
2. Työkalut.
3. Toimijat.

Prosessi. Yleisen määrälaskentaprosessin määramittaus on tässä tutkimuksessa korvattu ideaalitalanteella niissä tapauksissa, jossa määrätietoa voidaan tuottaa tietomalleista. Ideaalitalanteessa on muodostettu määrittäykset tiedollisille tarpeille määrätiedon tuottamiselle, esimerkiksi tietomallista tuotetun määrätiedon määramittautapa on vakioitu. Lisäksi tietomallien rakennusosien tunnisteet on vakioitu kansallisella tasolla. Liitteessä 2 on esitetty ehdotukset tietosisällön vakioiduista tunnisteista asuntokohteiden rakennetyypin nimeämisestä ja huonetilojen lyhenteistä arkkitehdin tietomalliin. Taulukossa on esitetty myös lähde, jos vastaavan kaltainen asia on määritelty jossakin dokumentissa tai ohjeistuksessa.

Työkalut. Tietomalli ja vakioitu määrädokumentti ovat tutkimuksessa määriteltä työkaluiksi. Automatisoitu määrätiedon tuottaminen on tunnistettu aikaisemmissa tutkimuksissa yhdeksi tavaksi tuottaa työkalulla määrätietoa tietomallista. Tässä tutkimuksessa tietomallista tuotettua määrätietoa täydennettiin manuaalisilla määrittäyksillä. Näillä määrittäyksillä saadaan toimijoille eri käyttötapauksille kohdennettuja määrätietoja. Automatisoitua määrätiedon tuottamista ja siihen liittyviä tietoteknisiä mahdollisuuksia ei ole tässä tutkimuksessa tarkemmin tutkittu.

Toimijat. Kokonaisuuden kannalta prosessia ja työkaluja käyttämään tarvitaan myös toimijoita. Toimijoiden tulee olla tietoisia, minkälaisia määramittausohjeistuksia käytetään tietomallista tuotettuihin määrätietoihin. Lisäksi heille on tärkeää, että tietomallien avulla on visuaalisesti mahdollisuus havainnoida mihin rakennusosiin tuotetut määrätiedot on sidottu. Toimijoilta saadaan myös määrittäyksiä tietotarpeista heidän eri käyttötapauksille. Näitä määrittäyksiä voidaan yhdistää yleisiin määrätiedon tuottamisen määrittäyksiin, jolloin tuotetun määrätiedon hyödyntäminen on nykyistä käytäntöä joustavampaa. Toimijoiden merkitystä LMH:ssa ei ole laajemmin tutkittu tässä tutkimuksessa.

Näiden kolmen osakokonaisuuden yhdistelmästä syntyy tilanne, jossa rakennusprosessin eri osapuolet tietävät mahdollisimman yksiselitteisesti, miten määrätieto on tuotettu rakennushankkeesta ja suunnitteluohjelmistosta riippumatta.

4.1.2 Vakioitu määrädokumentti

Luvussa 3.5.1 on esitetty vakioidun määrädokumentin tietosisältö yleisellä tasolla. Kuvassa 24 on esitetty empiirisen osuudessa käytetyn vakioidun määrädokumentin sisältö. Tässä esitetään vakioidun määrädokumentin käyttöä, kun kohteena on väliseinärakenteen materiaalihankinnan

käyttötapaus. Määritykset on tehty empiirisessä osuudessa mukana olleiden toimijoiden asiantuntemuksen ja materiaalihankintasopimusten pohjalta.

Kevyt metallirankainen väliseinä, vakioitu määrädokumentti			
Rakennusosan tunnistetieto	Sijaintitieto	Rakenteen geometria	Väliseinärakenteen materiaalihankinnan käyttötapaus
VS 3	1. Kerros	<ul style="list-style-type: none"> • rakenteen paksuus • pituus, • korkeus, • netto- ja brutto-ala, • aukkojen pinta-ala 	<ul style="list-style-type: none"> • kipsi- ja märkätilalevyn leveys (tutkimuksessa käytetyt levyleveydet 900 mm tai 1200 mm) • rakenteessa käytettävä perusrankajako • vaakakiskon hankintapituus • perusrankajaosta poikkeava tiheämpi jako • kohteessa käytettyjen väliovien keskikoko neliömetreinä • kipsi- ja märkätilalevyn jakautuminen rakennetyypissä • seinälevyn hankintakorkeus • tutkimuksessa käytetyt rankakoot • 66 mm ja 95 mm • kertopuutolat oviaukkojen ympärille • materiaalihukka (levyt ja rangat)

KUVA 24 Esimerkki vakioidusta määrädokumentista koskien kevyttä metallirankaista väliseinää.

Otsikkotasolla vakioitu määrädokumentti sisältää seuraavat asiat rakennusosasta (kuva 24):

Perustiedot:

- sijaintitieto
- rakennetyyppi
- rakenteen geometria (rakenteen paksuus, pituus, korkeus, netto- ja bruttoala)
- aukkojen pinta-ala

Materiaalihankintaa varten määritellyt tiedot:

- kipsi- ja märkätilalevyn leveys (tutkimuksessa käytetyt levyleveydet 900 mm tai 1200 mm)
- rakenteessa käytettävä perusrankajako
- vaakakiskon hankintapituus
- perusrankajaosta poikkeava tiheämpi jako
- kohteessa käytettyjen väliovien keskikoko neliömetreinä
- kipsi- ja märkätilalevyn jakautuminen rakennetyypissä

- seinälevyn hankintakorkeus
- tutkimuksessa käytetyt rankakoot 66 mm ja 95 mm
- kertopuutolpat oviaukkojen ympärille
- materiaalihukka (levyt ja rangat)

4.2 Määrälaskennan toimintatavat

Tarkastelu tehdään yhdistämällä tutkimuksen määrälaskennan ja tuotantoa palvelevan hankintamäärätiedon näkökulmat prosessiksi (luku 3.4.2 kuva 18). Lähtötilanne määrämitattavista väliseinäkappaleista on esitetty taulukossa 18. Taulukoissa ilmoitettu mittausten yhteismäärä ilmaisee kuinka monta kertaa määrä mitataan tutkimuksessa esitetyn prosessin aikana. Tämä siksi, että empiirisessä osuudessa määrälaskenta tekee vielä tarkastusmittauksia esim. 2D-suunnitelmista (ks. luku 3.4 ja 3.4.2).

TAULUKKO 18 Mitattavien seinien lukumäärät kohteittain.

Case	Asuntotyyppiä	Väliseiniä kohteessa, kpl	Mitattava määrä väliseiniä, kpl
1	15	244	69
2	18	264	84
3	12	311	76
4	15	165	81
7	14	307	100
10	25	259	78
11	9	85	33
12	12	521	76
13	7	205	28
16	11	319	79
19	8	213	51
21	11	245	62
22	22	244	98
23	8	268	47
24	14	222	96
26	18	363	104
27	10	174	28
28	9	190	48
30	9	159	37
33	10	213	54

Taulukossa 19 on esitetty mittauskertojen määrä toimintatavalla 1, määrät tuotetaan ilman tietomallia.

TAULUKKO 19 Toimintatavalla 1 tuotetut väliseinien mittamäärät kohteittain.

Toimintatapa 1					
Case	Asuntotyyppiä	ROA	KUA	Materiaalihankinta	Mittauksia yhteensä, kpl
1	15	69	69	69	207
2	18	84	84	84	252
3	12	76	76	76	228
4	15	81	81	81	243
7	14	100	100	100	300
10	25	78	78	78	234
11	9	33	33	33	99
12	12	76	76	76	228
13	7	28	28	28	84
16	11	79	79	79	237
19	8	51	51	51	153
21	11	62	62	62	186
22	22	98	98	98	294
23	8	47	47	47	141
24	14	96	96	96	288
26	18	104	104	104	312
27	10	28	28	28	84
28	9	48	48	48	144
30	9	37	37	37	111
33	10	54	54	54	162

Taulukossa 20 on esitetty mittauskertojen määrä toimintatavalla 2, kun kohde on mallinnettu ja käytetään vakioitua määrädokumenttia. Tällöin toimintatavalla 2 määrälaskenta tekee vielä tarkastusmittauksia esim. 2D-suunnitelmista (mitattava väliseinä määrä tarkistus, kpl-sarake).

TAULUKKO 20 Mitattavien seinien lukumäärät kohteittain toimintatavalla 2.

Toimintatapa 2						
Case	Asunto- tyyppejä	Mitattava väliseinä määrä (tarkistus, kpl)	ROA	KUA	Materiaali- hankinta	Mittauksia yhteensä, kpl
1	15	21	21	21	21	63
2	18	18	18	18	18	54
3	12	21	21	21	21	63
4	15	21	21	21	21	63
7	14	24	24	24	24	72
10	25	11	11	11	11	33
11	9	13	13	13	13	39
12	12	19	19	19	19	57
13	7	15	15	15	15	45
16	11	31	31	31	31	93
19	8	22	22	22	22	66
21	11	22	22	22	22	66
22	22	18	18	18	18	54
23	8	20	20	20	20	60
24	14	18	18	18	18	54
26	18	21	21	21	21	63
27	10	6	6	6	6	18
28	9	18	18	18	18	54
30	9	18	18	18	18	54
33	10	21	21	21	21	63

Taulukossa 21 on esitetty mittauskertojen määrä ideaalitulanteessa. Ideaalitulanteessa materiaalihankinnassa voitaisiin käyttää aiemmin prosessissa tuotettuja määrätietoja. Tällöin hankintavaiheessa ei olisi enää tarvetta suorittaa määrämittausta tai mittauksien tarkistusta. Materiaalihankintaa varten tuotanto voi myös itse tuottaa määrät tietomallista, koska laadunvarmistus on ideaalitulanteessa tehty aiemmassa prosessivaiheessa.

TAULUKKO 21 Mitattavien seinien lukumäärät kohteittain ideaalitulanteessa.

Ideaalitulanne						
Case	Asunto- tyyppiä	Mitattava väliseinä määrä (tarkistus, kpl)	ROA	KUA	Materiaali- hankinta	Mittauksia yhteensä, kpl
1	15	21	21	21	0	42
2	18	18	18	18	0	36
3	12	21	21	21	0	42
4	15	21	21	21	0	42
7	14	24	24	24	0	48
10	25	11	11	11	0	22
11	9	13	13	13	0	26
12	12	19	19	19	0	38
13	7	15	15	15	0	30
16	11	31	31	31	0	62
19	8	22	22	22	0	44
21	11	22	22	22	0	44
22	22	18	18	18	0	36
23	8	20	20	20	0	40
24	14	18	18	18	0	36
26	18	21	21	21	0	42
27	10	6	6	6	0	12
28	9	18	18	18	0	36
30	9	18	18	18	0	36
33	10	21	21	21	0	42

Taulukossa 22 on esitetty vertailu taulukoiden 19 - 21 tulosten pohjalta. Tulokset on esitetty prosentteina, kuinka paljon mittaukseen vähenee mittauksien yhteismäärän osalta eri toimintatapojen välillä.

TAULUKKO 22 Toimintatavan 1 tuloksien vertailu toimintatapaan 2 ja ideaalitalanteeseen sekä toimintatavan 2 vertailu ideaalitalanteeseen.

Case	Asunto- tyyppiä	Toimintatapa 1 vrt toimintatapa 2, %	Toimintatapa 1 vrt ideaalitalanne, %	Toimintatapa 2 vrt ideaalitalanne, %
1	15	70	80	33
2	18	79	86	33
3	12	72	82	33
4	15	74	83	33
7	14	76	84	33
10	25	86	91	33
11	9	61	74	33
12	12	75	83	33
13	7	46	64	33
16	11	61	74	33
19	8	57	71	33
21	11	65	76	33
22	22	82	88	33
23	8	57	72	33
24	14	81	88	33
26	18	80	87	33
27	10	79	86	33
28	9	63	75	33
30	9	51	68	33
33	10	61	74	33

Taulukosta 22 nähdään, että toimintatavalla 1 verrattuna toimintatapaan 2 määrämittaukseen vähenee 46 - 86 %. Näiden tulosten keskiarvoksi tulee 69 %. Toimintatapa 1 verrattuna ideaalitalanteeseen mittaukseen vähenee 64 - 91 %. Toimintatapa 2 verrattuna ideaalitalanteeseen mittaukseen vähenee 33 %.

4.2.1 Määrälaskenta, kustannusarviovaihe

Taulukossa 23 on esitetty määrämittaustyön määrätiedon vertailu toimintatavan 1 ja toimintatavan 2 välillä kustannusarviovaiheessa. Tuloksena saatiin, että toimintatavalla 1 verrattuna toimintatapaan 2 määrämittaustyö väheni 46 - 86 %. Lisäksi suunnitelmien muuttuessa on määrälaskennan näkökulmasta päällekkäistä työtä tuottaa määrätietoa uudelleen toimintatavalla 1. Tällöin toimintatavalla 2 tietomallia hyödyntäen voidaan olettaa, että määrälaskennasta jää mittaustyö tältä osin kokonaan pois. Työtehtäväksi jää tässä tilanteessa ainoastaan päivittää tietomallista uudet määrätiedot.

TAULUKKO 23 Määrälaskennan määrämittaustyön vertailu toimintatapojen 1 ja toimintatavalla 2 välillä kustannusarviovaiheessa.

		Toimintatapa 1	Toimintatapa 2	
Case	Asuntotyyppiä	KUA	KUA	Toimintatapa 1 vrt toimintatapa 2, %
1	15	69	21	70
2	18	84	18	79
3	12	76	21	72
4	15	81	21	74
7	14	100	24	76
10	25	78	11	86
11	9	33	13	61
12	12	76	19	75
13	7	28	15	46
16	11	79	31	61
19	8	51	22	57
21	11	62	22	65
22	22	98	18	82
23	8	47	20	57
24	14	96	18	81
26	18	104	21	80
27	10	28	6	79
28	9	48	18	63
30	9	37	18	51
33	10	54	21	61

Seuraavaksi esitetään taulukon 23 tuloksien pohjalta kokonaisvaikutus kustannusarviovaiheen määrälaskentaan. Taulukossa 24 on esitetty yrityksen laskijan työaikaseurannasta poimittujen 12 kohteen kustannusarviovaiheen määrälaskenta-aika. Määrätiedon tuottamisessa on käytetty toimintatapaa 1. Määrälaskentatyön keskiarvoksi kohteen yksin laskevalle henkilölle laskettiin viisi viikkoa, kun työaika on 7,5 tuntia päivässä.

TAULUKKO 24 Määrälaskentatyö yksin kohteen laskevalle henkilölle.

Laskentakohde	Tunnit	Työpäiviä	vko
1	210,5	28	6
2	231,5	31	6
3	120	16	3
4	195	26	5
5	291	39	8
6	142,5	19	4
7	273	36	7
8	187,5	25	5
9	243,5	32	6
10	217,5	29	6
11	180	24	5
12	165	22	4
keskiarvo	205	27	5

Luvussa 3.4.1 esitetyssä taulukossa 14 on kahden kohteen suoritepohjaisen kustannusarvion määräluettelon rakenne. Suoriterivien kokonaismäärät kohteilla ovat 1275 kpl ja 875 kpl. Arkkitehtimallista saatavia suoriterivejä kohteilla on 283 ja 232 kappaletta. Jos oletetaan, että tutkimuksessa saatu tulos toimintatapaa 1 verrattaessa toimintatapaan 2, mittausmäärien 69 % keskiarvon mukainen vähennys saavutettaisiin kaikissa arkkitehtimallista saatavilla suoriteriveillä. Kokonaisvaikutuksen voitaisiin olettaa näin ollen olevan määrälaskennan viiden viikon (taulukko 24) keskimääräisellä työskentelyajalla kohteelle 1 noin 4 päivän ja kohteelle 2 noin 4,5 päivän vähennystä määrälaskenta-aikaan. Tämä tarkoittaisi prosentteina kohteille 15 % ja 18,5 % kokonaisajan vähennystä.

4.3 Rakennusosan hankintamäärätiedon tuottaminen

Tutkimus on sisältänyt esimerkkirakennusosaa koskevat määrälaskenta-tehtävät (luku 3.5.3) viidessä asuinkerrostalokohteessa. Näistä kerrostalohankkeista kaksi jouduttiin hylkäämään, koska tutkimuksen raportointia varten tarvittava dokumentointi oli puutteellista tai tutkimukseen osallistunut henkilö ei kuulunut vakituisesti tuotanto-organisaatioon (ongelmaksi olisi silloin tullut tulosten vertailukelpoisuus). Lisäksi materiaalivalmistajan ohjeistuksen mukaisia määrätietoja esitetään vain koskien esimerkkirakennusosan pystyrankoja ja levyjä. Tähän syynä on se, että tutkimuksen case-kohteiden osalta materiaalivalmistajilta ei saatu tutkimusta varten pyydettyä määrätietoaineistoa.

Määrät tuotettiin case-kohteiden yhdestä peruserroksesta. Tämä siksi, että pyrittiin saamaan tarkemmin selville määrätiedoissa olevat mahdolliset epätarkkuudet. Esimerkki rakennusosalla on tarkoitus näyttää, miten eri laskentatavat eroavat toisistaan.

Tietomallista tuotettu määrädokumentti ei huomioi oviaukkojen ympärille metallirankoja, jotka materiaalitoimitajat ohjeistuksessaan mainitsevat. Case-kohteiden osalta tutkimuksessa on päätetty, että oviaukko tehdään puutolpista. Näiden puutolppien materiaalmäärää ei tässä tutkimuksessa esitetä. Lisäksi määrädokumentissa ei lasketa tutkimuksessa mitään materiaalihukaksi, vaan kyseessä on puhtaasti teoreettinen määrä. Materiaalin matemaattiset lukuarvot on tuloksissa pyöristetty kokonaisluvuksi.

Ratu-kortin pystyrankojen laskentakaava:

$$\text{pystyranka kpl} = \text{seinän brm}^2 * \text{ratu kerroin} / \text{pystyrangan pituus}$$

Ratu-kortin levymäärän laskentakaava:

$$\text{levy kpl} = \text{seinän brm}^2 * \text{ratu kerroin} / (\text{levy leveys} * \text{levy korkeus})$$

Taulukossa 25 on esitetty case-kohteiden yhden kerroksen yleisiä määrätietoja sekä testauksen kannalta oleellisia määrityksiä.

TAULUKKO 25 Testauksen määrittämiä case-kohteiden yhden kerroksen määrätietojen osalta.

	Case 1	Case 2	Case 3
Asuntojen määrä peruserroksessa	9	7	12
Seinien pituus yht., jm			
k600			
- 66 mm rankakoko	45,67	39,08	71,23
- 95 mm rankakoko	4,49	5,67	-
k400	-	-	86,37
k300			
- 66 mm rankakoko	63,18	46,75	-
- 95 mm rankakoko	5,7	-	-
Seinien korkeus, m	2,7	2,7	2,6
Pystyrangan laskenta korkeus, m	2,68	2,68	2,6
Seinän brutto-ala yht., m²			
k600			
- 66 mm rankakoko	122,63	105,52	185,21
- 95 mm rankakoko	12,12	15,3	-
k400	-	-	224,63
k300			
- 66 mm rankakoko	170,11	126,19	-
- 95 mm rankakoko	15,24	-	-
Levyn korkeus, m	2,7	2,7	2,6
Levyn leveys, m			
Kipsilevy	1,2	1,2	1,2
Märkätilan levy	0,9	0,9	-
Levytys brutto-ala yht., m²			
Kipsilevy			
- 1-puoleinen	172,72	106,07	11,19
- 1 levy/puoli	147,38	140,94	346,54
Märkätilalevy			
- 1-puoleinen	142,01	106,07	-

4.3.1 Ajallinen havainnointi

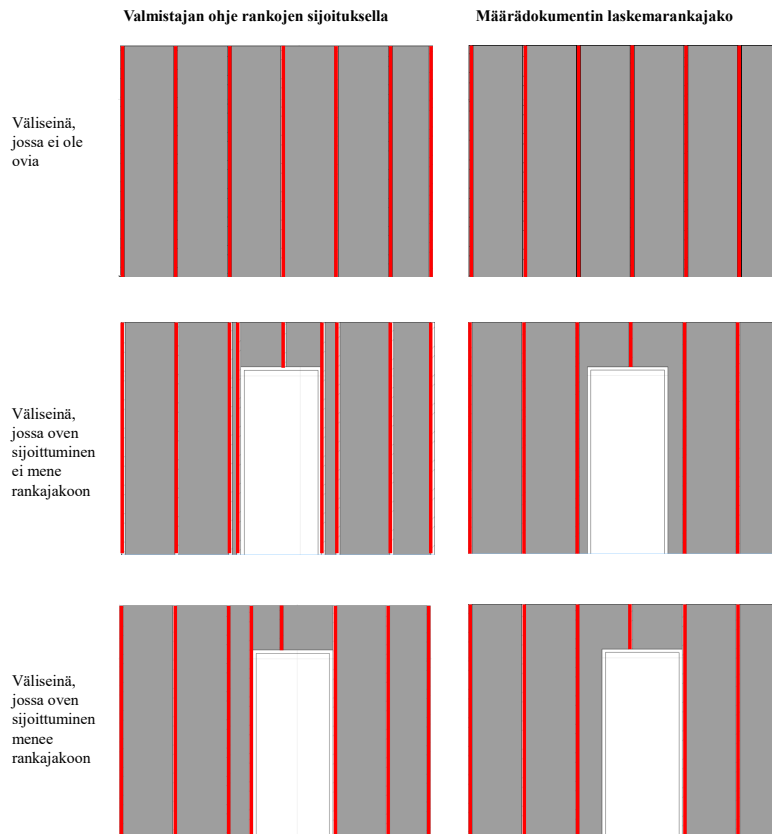
Ajallinen havainnointi suoritettiin case 1 ja case 2 -kohteiden osalta. Ajallinen tarkkuus mittauspäiväkirjassa oli +/- 15 min. Joten näin pienen otannan ja suuren ajallisen epätarkkuuden johdosta tarkkoja tuloksia ei esitetä. Tuloksista voidaan kuitenkin todeta, että vakioidun määrädokumentin käyttäminen tuotannon materiaalihankinnan lähtötietona ei hidastanut toimintaa nykyiseen toimintatapaan verrattuna.

4.3.2 Kevyt metallirankainen seinä

Tässä aluvuossa esitetään esimerkkirakennusosaa koskevat empiiriset tulokset. Vaakakiskojen osalta esimerkki rakennusosan tuloksia ei raportoida, koska Ratu-korteissa eikä materiaalivalmistajilla ollut materiaalimenekkiä koskevia ohjeita.

Pystyrangat

Kuvassa 25 ja taulukossa 26 esitetään tulokset pystyrankojen määrästä esimerkkirakennusosan osalta. Seinän pituus 3,5 metriä. Rankajako tulosten osalta on k600.



KUVA 25 Pystyrankojen sijoittuminen esimerkkirakennusosalla, rankajako k600.

TAULUKKO 26 Pystyrankojen määrät esimerkkirakennusosaa koskien, rankajako k 600.

	Valmistajan määrätieto	Tietomallin määrätieto	Ratu-kortin määrätieto
Seinä ilman oviaukkoa	7 kpl	6 kpl	9 kpl
Väliseinä, jossa oven sijoittuminen ei mene rankajakoon	9 kpl	6 kpl	9 kpl
Väliseinä, jossa oven sijoittuminen menee rankajakoon	8 kpl	6 kpl	9 kpl

Taulukossa 27 esitetään tulokset pystyrankojen määrästä esimerkkirakennusosan osalta. Seinän pituus 3,5 metriä. Rankajako tulosten osalta on k300.

TAULUKKO 27 Pystyrankojen tulokset esimerkkirakennusosaa koskien, rankajako k 300.

	Valmistajan määrätieto	Tietomallin määrätieto	Ratu-kortin määrätieto
Seinä ilman oviaukkoa	13 kpl	12 kpl	15 kpl
Väliseinä, jossa oven sijoittuminen ei mene rankajakoon	15 kpl	12 kpl	15 kpl
Väliseinä, jossa oven sijoittuminen menee rankajakoon	14 kpl	12 kpl	15 kpl

Taulukossa 28 esitetään tulokset pystyrankojen määrästä esimerkkirakennusosan osalta. Seinän pituus on 900 ja 600 mm.

TAULUKKO 28 Pystyrankojen tulokset esimerkkirakennusosaa koskien, seinän pituus 900 ja 600 mm.

	seinän leveys 900 mm			seinän leveys 600 mm		
	Valmistajan määrätieto	Tietomallin määrätieto	Ratu-kortin määrätieto	Valmistajan määrätieto	Tietomallin määrätieto	Ratu-kortin määrätieto
k 600	3 kpl	2 kpl	2 kpl	2 kpl	1 kpl	2 kpl
k 300	4 kpl	3 kpl	4 kpl	3 kpl	2 kpl	3 kpl

Levymäärä

Taulukossa 29 esitetään tulokset levymäärästä esimerkkirakennusosan osalta.

TAULUKKO 29 Levymäärän tulokset esimerkkirakennusosaa koskien, rankajako k 600.

k 600	Valmistajan määrätieto	Tietomallin määrätieto	Ratu-kortin määrätieto
Seinän pituus 3,5 m	6 kpl	6 kpl	6 kpl
Seinän pituus 0,9 m	2 kpl	2 kpl	2 kpl
Seinän pituus 0,6 m	1 kpl	1 kpl	1 kpl

4.4 Tulosten analyysi

4.4.1 Määrälaskennan työ määrä

Tutkimuksen empiirisessä osassa havaittiin, että työtehtävien välillä tehtävää päällekkäistä työtä on noin 30 - 80 % prosenttia (taulukko 22). Työmäärä on säästettävissä hyödyntämällä tietomallia määrätiedon tuottamisessa sekä sillä, että tuotannon materiaalihankintavaiheessa ei tarvitse enää tehdä määrämittaustyötä. Lisäksi tulosten perusteella voidaan esittää, että määrälaskennan kokonaisaika rakennushankkeessa voi vähentyä noin 20 % (luku 4.2.1).

4.4.2 Määrätiedon luotettavuus

Tässä aluvuossa käsitellään yhteenveto vakioidun määrädokumentin määrätiedon luotettavuudesta case-kohteissa. Tuloksien taulukoissa ”tietomallinen määrätieto”-sarake tarkoittaa tietomallista vakioidulla määrädokumentilla tuotettua määrätietoa. Liitteessä 1 taulukoissa on esitetty yksityiskohtaisemmin tulokset.

Yleisellä tasolla sekä rankojen että levyjen määrissä oli eroavaisuutta (taulukko 30). Tämä johtuu siitä, että arkkitehtien tietomallinnusohjelmistot perustuvat parametriin objekteihin. Tällöin ne eivät pidä sisällä esim. työmenetelmäkohtaisia detaljeja liitoksista. [Alwisy et.al, 2012; Shen et.al, 2010; Monteiro, 2012 ja 2013; Lee et.al, 2014; Knauf ja Gyproc]. Ratu-korttien menekkitiedot ovat taas matemaattinen kooste useista kohteista, jolloin yksittäisen kohteen mahdolliset erikoispiirteet jäävät määrätietojen osalta huomioimatta. Työmaahenkilöstön osalta laskentaan vaikuttaa henkilön kokemus työmenetelmästä ja toteutustavoista. Lisäksi väliseinätyöhön käytettävien henkilöresurssien kokemus ja työtavat vaikuttavat materiaalin menekkiin. Mittaustapa perinteisen ja tietomallin välillä aiheuttaa myös pientä eroa. Tietomallista esimerkiksi seinän pituus saadaan paremmalla tarkkuudella, kun piirustuksista mitattaessa.

TAULUKKO 30 Yhteenveto case-kohteiden tuloksista.

Case 1	Pystyrangat	Vaakakiskot	Levyt
Tietomallin määrätieto	372	78	206
Ratu-kortin määrätieto	410	-	202
Työmaalaskelma	343	87	197
Työmaatilauus	368	104	249
Case 2	Pystyrangat	Vaakakiskot	Levyt
Tietomallin määrätieto	273	62	169
Ratu-kortin määrätieto	306	-	163
Työmaalaskelma	292	66	167
Työmaatilauus	288	72	167
Case 3	Pystyrangat	Vaakakiskot	Levyt
Tietomallin määrätieto	414	107	268
Ratu-kortin määrätieto	447	-	259
Työmaalaskelma	359	91	252
Työmaatilauus	411	124	264

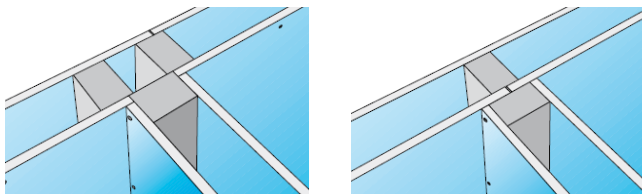
4.4.2.1 Pystyrangat

Taulukossa 31 on esitetty yhteenveto pystyrangoista. Taulukossa on myös vertailtu tuloksia työmaan laskemia teoreettisia pystyrangan kappalemääriä. Työmaan teoreettisen laskelman erotus vaikuttaa tietomalliin ja Ratu-kortin määriin aika suurilta.

TAULUKKO 31 Yhteenveto case-kohteiden pystyrankojen tuloksista.

	Case 1	Case 2	Case 3
Tietomallin määrätieto	372	273	414
Ratu-kortin määrätieto	410	306	447
Työmaa laskelma	343	292	359
Työmaa tilaus	368	288	411

Tuloksiin vaikuttava asia on detaljitason määritykset rankojen osalta. Kuvassa 26 on esitetty esimerkiksi kaksi eri tapaa miten poikittainen seinä voidaan liittää toisiinsa.



KUVA 26 Poikittaisseinän liittymä: liittyvän seinän tolppa kiinnitetään erikseen asennettuun lisäkarmiin tai suoraan levyyn. [Knauf http://www.knauf.fi/sites/default/files/esite_manual_valiseinat_140808.pdf]

Tietomalli käsittelee seinä määrätiedon osalta yksittäisinä kappaleina mallinnetun objektin mukaisesti. Tällöin huomioimatta jäävät erilaiset seinäliitokset toisiin seiniin. Näin ollen kohteen mahdolliset erikoisominaisuudet jäävät huomioimatta. Työmaalla seinien rakennusvaiheessa tarkentuu, miten ja missä järjestyksessä väliseiniä lähdetään toteuttamaan. Esimerkiksi oviaukkojen sijoittelu voi vaikuttaa toteutusjärjestykseen ja sitä kautta materiaalimenekkiin.

Materiaalin kokonaishukan osalta Ratu-kortti 54-0263 määrittelee rangoilla 1,5 - 4 % hukan. Taulukossa 32 esitetään case-kohteiden laskelmiin pohjautuvat hukkaprocentit, joka on työmaan teoreettisen laskelman suhde tilattuun määrään.

TAULUKKO 32 Yhteenveto case-kohteiden tilattujen pystyrankojen hukasta.

	Työmaan laskelman hukka %
Case 1	
- 66 mm ranka	5
- 95 mm ranka	20
Case 2	
- 66 mm ranka	-1
- 95 mm ranka	-6
Case 3	
- 66 mm ranka	13

Taulukossa 33 on vertailtu tuloksia työmaan materiaalitilauksen pystyrankojen osalta vakioidun määrädokumentin ja Ratu-kortin arvoilla laskettuihin määriin.

TAULUKKO 33 Yhteenveto case-kohteiden tilattujen pystyrankojen määräeroista yhden tutkimuksessa määritellyn kerroksen osalta.

	Työmaan tilaus vrt. Tietomallin määrätieto			Työmaan tilaus vrt. Ratu-kortin määrätieto		
	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto
Case 1						
- 66 mm ranka	-24	-8	-3	-63	-20	-7
- 95 mm ranka	+20	+ 36	+ 2	+ 21	+ 38	+ 2
Case 2						
- 66 mm ranka	+15	+ 6	+ 2	-20	-7	-3
- 95 mm ranka	0	0	0	+ 2	+ 13	+ 0,3
Case 3						
- 66 mm ranka	-3	-1	-0,3	-36	-9	-3

Case-kohteiden kokonaisuuden osalta materiaalmääräerot suhteutettuna asuntojen kokonaismäärään on esitetty taulukossa 34. Jos tilaus olisi esimerkiksi Case 1 kohdalla tehty suoraan tietomalliin perustuvan määrädokumentin mukaan, niin 66 mm pystyrankaa olisi tullut 88 kappaletta liikaa kohteeseen. Toisaalta Case 2 kohdalla 66 mm pystyrankoja olisi määrädokumentilla tilattaessa tullut 90 kappaletta liian vähän. Tuloksien erot suhteutettaessa peruskerrosten asuntojen määrään saadaan lukuarvo, jonka pohjalta voidaan pohtia detaljien vaikutusta teoreettisten määrätietojen tuottamiseen.

TAULUKKO 34 Yhteenveto case-kohteiden tilattujen pystyrankojen kokonaismääräero suhteutettuna kohteen kokonaisasuntomäärään.

	Työmaan tilaus vrt. Tietomallin määrätieto	Työmaan tilaus vrt. Ratu-kortin määrätieto
Case 1	kpl	kpl
- 66 mm ranka	-88	-231
- 95 mm ranka	+ 73	+ 77
Case 2	kpl	kpl
- 66 mm ranka	+ 90	-120
- 95 mm ranka	0	+ 12
Case 3	kpl	kpl
- 66 mm ranka	-12	-138

4.4.2.2 Vaakakiskot

Vaakakiskojen osalta erot (taulukko 35) tietomallista tuotetun määrädokumentin ja työmaan laskelman osalta johtuu mahdollisesti siitä, että vakioitu määrädokumentti huomioi seinän piteuden useamman desimaalin tarkkuudella. Tämä tarkoittaa sitä, että taulukko ei pyöristä tulosta kokonaislukuun. Työmaa laskee materiaalimenekin vaakakiskon kokonaishankintapiteuden mukaan.

TAULUKKO 35 Yhteenveto case-kohteiden vaakakiskojen tuloksista.

	Case 1	Case 2	Case 3
Tietomallin määrätieto	78	62	107
Työmaa laskelma	87	66	91
Työmaa tilaus	104	72	124

Taulukossa 36 on esitetty esimerkkinä case 1-kohteen 95mm vaakakiskojen osalta miten ero tässä tapauksessa tarkoitetaan työmaan toimintatavan ja tietomallista tuotetun määrädokumentin välillä. Tapauksen osalta oletetaan, että lattiassa ja katossa käytetään samaa vaakakiskotyyppiä. Esimerkki tapauksessa vaakakiskon hankintapiteus on 3 metriä.

TAULUKKO 36 Taulukko 95 mm vaakakiskoista kohteesta case 1.

Seinän mitta, jm	Vaakakiskojen menekki yhteensä	Vaakakiskon hankinta pituudesta jäävä hukka matemaattisesti	Tilattava kisko määrä, kpl	Tilattava kisko määrä, m	Vaakakiskon hankinta pituudesta jäävä hukka todellisuudessa
0,65	1,3	1,7	1	3	1,7 ⁽¹⁾
0,7	1,4 ⁽¹⁾	1,6	1	3	1,6
1	2 ⁽²⁾	1	1	3	1
0,65	1,3 ⁽³⁾	1,7	1	3	1,7
1,9	3,8	-0,8	2	6	2,2 ⁽²⁾
1,9	3,8	-0,8	2	6	2,2 ⁽³⁾
1,9	3,8	-0,8	2	6	2,2 ⁽⁴⁾
0,65	1,3 ⁽⁴⁾	1,7	1	3	1,7
0,65	1,3 ⁽³⁺⁴⁾	1,7	1	3	1,7
		Kiskoja yht.	12		
		Kiskoja yht. optimoinnin jälkeen	7		
Seinän mitta, jm	Vaakakiskojen menekki yhteensä	Vaakakiskon hankinta pituudesta jäävä hukka, kun hukkapätkät on hyödynnetty	Tilattava kisko määrä, kpl	Tilattava kisko määrä, m	Vaakakiskon hankinta pituudesta jäävä hukka todellisuudessa
0,65	1,3		1	3	1,7 ⁽¹⁾
0,7	1,4 ⁽¹⁾	0,3	1	3	1,6
1	2 ⁽²⁾	0,2	1	3	1
0,65	1,3 ⁽³⁾	(0,9)	1	3	1,7
1,9	3,8		2	6	2,2 ⁽²⁾
1,9	3,8		2	6	2,2 ⁽³⁾
1,9	3,8		2	6	2,2 ⁽⁴⁾
0,65	1,3 ⁽⁴⁾	(0,9)	1	3	1,7
0,65	1,3 ⁽³⁺⁴⁾	0,5	1	3	1,7
	Materiaali hukka, jm	1			7,7

Taulukossa 36 on merkitty viimeisessä sarakkeessa oranssilla sellaiset seinät, joiden hukkapätkät voidaan hyötykäyttää. Toiseen sarakkeeseen on merkitty vihreällä ne seinät, joihin voidaan käyttää oranssilla merkittyjen hukkapätkät. Taulukossa yläindeksillä on kohdistettu hukkapätkä hyödynnettävään seinään.

Vaakakiskojen osalta ei myöskään ole erilaisia detaljeja työteknisestä toteutuksesta, joten matemaattinen arvo on pystyrankoja yksinkertaisempaa luoda. Taulukossa 37 on tuloksia vertailtu työmaan materiaalitilausta vaakakiskojen osalta tietomallin määriin.

TAULUKKO 37 Yhteenveto case-kohteiden tilattujen vaakakiskojen määräeroista yhden tutkimuksessa määritellyn kerroksen osalta.

	Työmaan tilaus vrt. Tietomallin määrätieto		
Case 1	kpl	%	ka. kpl/asunto
- 66 mm kisko	17	19	2
- 95 mm kisko	9	56	1
Case 2	kpl	%	ka. kpl/asunto
- 66 mm kisko	6	9	0,9
- 95 mm kisko	4	50	0,6
Case 3	kpl	%	ka. kpl/asunto
- 66 mm kisko	17	14	1

Case-kohteiden kokonaisuuden osalta materiaalmääräerot suhteutettuna asuntojen lukumäärään on esitetty taulukossa 38. Jos tilaus olisi esimerkiksi Case 1 kohdalla tehty suoraan tietomalliin perustuvan määrädokumentin mukaan, niin 66 mm vaakakiskoja olisi tullut 62 kappaletta vähemmän kohteeseen. Toisaalta Case 2 kohdalla 66 mm vaakakiskoja olisi määrädokumentilla tilattaessa tullut vain 36 kappaletta vähemmän kohteeseen.

TAULUKKO 38 Yhteenveto case-kohteiden tilattujen vaakakiskojen kokonaismääräero suhteutettuna kohteen kokonaisasuntomäärään.

	Työmaan tilaus vrt. Tietomallin määrätieto
Case 1	kpl
- 66 mm kisko	+ 62
- 95 mm kisko	+ 33
Case 2	kpl
- 66 mm kisko	+ 36
- 95 mm kisko	+ 24
Case 3	kpl
- 66 mm kisko	+ 66

4.4.2.3 Levymäärä

Levymäärän osalta erot (taulukko 39) olivat pienempiä, kuin pystyrangoilla. Tähän syynä on, että levytykseen ei ole työt teknisesti erilaisia detaljeja. Tällöin määriä on helpompi yleistää matemaattisesti.

TAULUKKO 39 Yhteenveto case-kohteiden levy määrän tuloksista.

	Case 1	Case 2	Case 3
Tietomallin määrätieto	206	169	268
Ratu-kortin määrätieto	202	163	259
Työmaa laskelma	197	167	252
Työmaa tilaus	249	167	264

Case 1 -kohteen työmaa kommentoi tilattavien levyjen määräeroa työmaan laskemaan määrätietoon sillä, että tilaus tehtiin ns. täysinä nippuina. Tämä tarkoittaa sitä, että tilatun kerroksen levymäärässä on mukana muihin kerroksiin käytettäviä seinälevyjä. Tilattaessa levyt täysinä nippuina vältytään vajaista nipuista laskutettavalta lisäkustannukselta. Tosin kyseessä voi olla myös raportointivirhe, jos tilatusta materiaalmäärästä ei ole vähennetty alakattoa varten tilattua materiaalin osuutta. Tämä johtuu siitä, että samaa seinälevymateriaalia käytetään myös alakatoissa.

Case2 -kohteen työmaa kommentoi, että märkätilalevyjen määrä optimoitiin. Määräeroksi tuli n. yksi levy per/asunto. Märkätilalevyjen optimoinnin syyksi työmaa kertoi märkätilalevyn materiaalikustannukset.

Levymateriaalin osalta Ratu-kortti 54-0263 määrittelee levyille 8 - 15 % kokonaishukan. Taulukossa 40 esitetään yhteenveto case-kohteiden tilattujen levyjen hukasta verrattuna työmaan teoreettiseen materiaalmäärälaskentaan.

TAULUKKO 40 Yhteenveto case-kohteiden tilattujen levyjen hukasta verrattuna työmaan teoreettiseen materiaalmäärälaskentaan.

	Työmaan laskelman hukka %
Case 1	
- kipsilevy	23
- märkätilalevy	15
Case 2	
- kipsilevy	0
- märkätilalevy	0
Case 3	
- kipsilevy	5

Taulukossa 41 on tuloksia vertailtu työmaan materiaalityömaan tilausta levyjen osalta tietomallista sekä Ratu-kortin määriin.

TAULUKKO 41 Yhteenveto case-kohteiden tilattujen levyjen määräeroista yhden tutkimuksessa määritellyn kerroksen osalta.

	Työmaan tilaus vrt. Tietomallin määrätieto			Työmaan tilaus vrt. Ratu-kortin määrätieto		
	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto
Case 1						
- kipsilevy	+ 43	+ 23	+ 5	+ 45	+ 24	+ 5
- märkätilalevy	0	0	0,0	+ 2	+ 3	+ 0,2
Case 2						
- kipsilevy	+ 2	+ 2	+ 0,3	+ 7	+ 6	1
- märkätilalevy	-4	-10	-0,6	-3	-7	-0,4
Case 3						
- kipsilevy	-4	-2	-0,3	+ 5	+ 2	+ 0,4

TAULUKKO 42 Yhteenveto case-kohteiden tilattujen levyjen kokonaismääräero suhteutettuna kohteen kokonaisasuntomäärään.

	Työmaan tilaus vrt. Tietomallin määrätieto	Työmaan tilaus vrt. Ratu-kortin määrätieto
Case 1	kpl	kpl
- kipsilevy	+ 158	+165
- märkätilevy	0	+ 7
Case 2	kpl	kpl
- kipsilevy	+ 12	+ 42
- märkätilevy	-24	-18
Case 3	kpl	kpl
- kipsilevy	-15	+ 19

Case-kohteiden kokonaisuuden osalta materiaalmääräerot suhteutettuna asuntojen lukumäärään on esitetty taulukossa 42. Jos tilaus olisi esimerkiksi Case 2 kohdalla tehty suoraan tietomalliin perustuvan vakioidun määrädokumentin mukaan, niin kipsilevyjä olisi tullut 12 kappaletta vähemmän kohteeseen. Toisaalta Case 3 kohdalla kipsilevyjä olisi vakioidulla määrädokumentilla tilattaessa tullut 15 kappaletta enemmän kohteeseen.

4.5 Tulosten yhteenveto

Tutkimuksessa asetettiin kaksi hypoteesia. Ensimmäinen hypoteesi; tietomallin avulla voidaan vähentää päällekkäistä työtä määrätiedon tuottamisessa. Tutkimuksessa havaittiin, että päällekkäisen työn vähentämistä voidaan ajatella olevan kahta eri tyyppiä. Ensimmäiseksi työtehtävän sisällä tehtävä päällekkäinen työ ja toinen on eri työtehtävien välillä tehtävä päällekkäinen työ. Tietomallia hyödyntämällä voidaan poistaa työtehtävien välisiä päällekkäisyyksiä, esimerkiksi ideaalitulanteessa rakentamisen aikaisessa materiaalihankinnassa työmaalla voidaan käyttää hyödyksi prosessissa aikaisemmin tuotettua määrätietoa. Tämä tarkoittaa tutkimuksen osalta, että materiaalihankintavaiheessa ei tarvittaisi tehdä määrämittaustyötä. Lisäksi tutkimus osoitti, että tietomallia hyödyntämällä määrälaskennan määrämittaustyö vähenee (ks. luku 4.2). Esitetyt tutkimukselliset todennukset osaltaan osoittavat, että hypoteesi ”tietomallin avulla voidaan vähentää päällekkäistä työtä määrätiedon tuottamisessa” on paikkansa pitävä. Tämä edellyttää kuitenkin tutkimuksessa hyödynnettyjen lähestymistapojen ja prosessien käyttöä. Määrälaskennan sisäisen päällekkäisen työn vähentäminen on esitetty tämän tutkimuksen osalta jatkotutkimusehdotuksessa.

Toiseksi hypoteesiksi tutkimuksessa asetettiin, että vakioidut toimintatavat voivat palvella käytännön tarpeita todennetulla tavalla niin, että päällekkäinen työ vähenee. Tässä tutkimuksessa määriteltiin ja luotiin määrätiedon tuottamiseksi vakioituinen määrädokumentti arkkitehdin tuottamalle tietomallille. Tietomallista tuotettavalle tarkalle materiaalmäärätiedolle oli vaikea luoda yleispätevää sääntöä. Arkkitehdin tietomallin objekteihin liittyvä matematiikkaperustuusuoraanseinänsamaantapaan, kuin testatulla yksittäisellä

esimerkkirakennusosalla. Näin ollen liittymät muihin rakenteisiin jäi tutkimuksessa luodussa vakioidussa määrädokumentissa huomioimatta. Vakioidun määrädokumenttiratkaisun hyödyntämisestä saatiin tutkimuksessa lupaavia tuloksia. Esitetyt tutkimukselliset todennukset osaltaan osoittavat, että hypoteesi ” vakioidut toimintatavat voivat palvella käytännön tarpeita todennetulla tavalla niin, että päällekkäinen työ vähenee” on paikkansa pitävä.

Rakentamisen tietotekniikkaan, BIM:n, Leaniin ja tuottavuuteen liittyy merkittäväällä tavalla tutkimusperinteitä ja tuloksia, mitkä osaltaan muodostavat työn tutkimuksellisen viitekehyksen. Tähän tutkimukselliseen viitekehykseen ja saatuihin tutkimuksellisiin näyttöihin pohjautuen voidaan todeta, että tuottamalla määrätieto LMH-toimintamallilla on potentiaalia parantaa rakentamisen määrätiedonhallintaa (ks. luku 4.1.1, kuva 23).

5 Tutkimuksen luotettavuuden tarkastelu

5.1 Tutkimuksen ja sen tulosten arviointikriteerit

Tutkimuksen toteutusta arvioidaan yleisesti validiteetin ja reliabiliteetin kannalta, koska tutkimuksissa pyritään mahdollisimman objektiivisiin tuloksiin. Tapaustutkimusta arvioidaan lisäksi kolmella tavalla rakennevaliditeetin (construct validity), sisäisen validiteetin (internal validity) sekä ulkoisen validiteetin (external validity) avulla. Rakennevaliditeetilla tarkoitetaan, että vastaavatko käytetyt mittarit tutkittavaa kohdetta riittävästi. Sisäisellä validiteetilla tarkoitetaan, että vaikuttaako empiirisen tutkimuksen koetilanteista saatuihin tuloksiin ne muuttujien väliset erot niistä tekijöistä, joita niihin ajateltiin vaikuttavan. Ulkoinen validiteetti tarkoittaa, että toistettaessa empiirinen osa uudelleen samoilla rajauksilla päädytään samaan lopputulokseen. [Yin, 2009; Aaltola et.al, 2007].

Tutkimustuloksien arviointi kytkeytyy tutkimuksen toteutukselliseen arviointiin. Tutkimustulosten kelpoisuutta voidaan myös selittää niihin liittyvän reliabiliteetin ja validiteetin kautta. Lisäksi olennaista on tulosten uutuusarvo, jota käsitellään tässä luvussa.

5.2 Tutkimuksen validiteetti

Validiteettia laadullisessa tutkimuksessa arvioidaan tutkimusprosessin luotettavuudella. Tutkimusprosessin näkyväksi tekeminen tutkimusraportissa parantaa luotettavuuden arviointia, koska silloin lukijalle selviää miten johdopäätöksiin on tutkimuksessa päädytty. [Aaltola et.al, 2007]

Aikaisemmat tutkimukset ja havainnoinnit empiirisessä ympäristössä hahmottivat tutkimuksen lopputuloksen suuntaa. Tutkimuksen rajaaminen koskemaan määrätiedon tuottamista on tarkoituksen mukaista, koska tietomallit ovat tähän tarkoitukseen hyviä työkaluja. Toisaalta määrälaskenta toiminto sisältää muitakin tehtäviä, kuin määrätiedon tuottamisen. Näin ollen tutkimuksessa on pystytty huomioimaan vain toiminnon sisällä oleva yhden tehtävän mahdollisuus poistaa päällekkäistä työtä. Laajempi tietomallien toimintatapojen hyödyntäminen olisi tuottanut todennäköisesti paremman lopputuloksen. Toisaalta tällöin teollinen näkökulma määrättyökalujen tuottamisesta olisi ollut liian laaja-alainen tutkimuksen käytössä olevaan rajalliseen empiiriseen aineistoon nähden. Tutkimuksen lopputulos on kuitenkin odotusten mukainen ja tuotti teolliseen näkökulmaan varteenotettavan työkalun.

Tutkimusraportin luvussa 3.4.2 määriteltiin, että määrämittauksen tarkastuskappaleet otetaan kolmesta asuntotyypistä. Tämä määritelmä johtuu siitä, että laskijoille luodaan varmistamalla mahdollisuus oppia luottamaan tietomallista tulevaan määrätietoon (vrt. luku 2.1.3). Osaamisen karttuessa

tietomalleista voidaan tarkistusmäärää vähentää tai jopa jättää kokonaan pois. Tällöin työtehtävän sisäinen päällekkäinen mittaustyö vähenee lisää, jolloin voidaan saavuttaa esitettyä arvoja suurempikin hyöty. Arkkitehdin tietomallista saatavien määrätietorivien mittaustyö voi olla joissakin tapauksissa esimerkkiväliseinä yksikertaisempiakin mitattavia rakennusosia. Tällöin saavutettu hyöty voi näiden määrätietorivien osalta olla esitettyä pienempikin.

Tutkimuksen määrätiedon tuottamisen lähtökohtana oli, että rakennussuunnitelmat ja tietomalli ovat mahdollisimman virheettömiä ja laadittu sopimusten mukaisesti. Todellinen nykytilanne on, että tietomallikoordinaattori on tietomallien kohdalla tehnyt useamman tarkastuksen ennen mallin hyödyntämistä. Tämä vaatii aikaa ja resursseja.

Tutkimuksessa empiirisenä ympäristönä oli yhden yrityksen toimintaympäristö. Tämä luo tutkimukselle suhteellisen rajallisen näkökulman, koska yrityksen oman määrälaskennan tuottama tieto on vain pieni osa koko yrityksen tarvitsemasta määrälaskentatarpeesta. Toisaalta tutkimuksen ongelma - päällekkäisen työn vähentäminen tietomallin avulla - ei ole rajattu siihen, onko määrät tuotettu yhden rakennusyhtiön omassa organisaatiossa vai sen ulkopuolella. Luvussa 2.1.4 taulukossa 4 on esitetty määrälaskentaan käytettävien nimikkeistöjen määrälaskentaohjeet, jotka olivat esimerkiksi tutkittavalla rakennusosalla samat eri nimikkeistöillä. Tällöin määrätietoa tuottavien henkilöiden perustietotarpeet ovat lähtökohtaisesti samat.

Tutkimusraportin luvussa 3 on esitetty empiirisen osan aineisto ja tutkimusasetelma. Näin ollen empiirinen osa on kirjoitettu näkyväksi tutkimusraportissa. Tämä johtaa siihen, että tutkimusraportista nähdään empiirisen aineiston laajuus, johon tulokset perustuvat. Lisäksi tutkimusraportista löytyy näkyväksi kirjattuna empiirisen aineiston osalta tehdyt määritykset ja tulkinnat.

5.3 Tutkimuksen reliabiliteetti

Tutkimuksen reliabiliteetti eli tutkimuksen toistettavuus on toinen keskeinen kriteeri arvioida tutkimusta [Aaltola et.al, 2007].

Tutkimuksen toistettavuuden varmistaminen pohjautuu seuraavaksi esitettyihin asioihin. Tutkimusprosessi on kirjattu näkyväksi tutkimusraportissa. Empiirisen osuuden määramittaukset on tehty määrälaskentanimikkeistöjen laskentasääntöjen mukaan. Tutkimuksen empiirisessä osuudessa käytetyt työkalut on määriteltä ja rajattu tutkimusraportissa. Vakioituneen määrädokumentin laskentatuloksia on vertailtu muutamien henkilöiden tuottamien tietojen lisäksi yleisen ohjeistuksen antamiin tietoihin. Tutkimuksessa esitettyä päällekkäistä työtä esiintyy tällä hetkellä useissa nykyhetken rakennusprojekteissa. Lisäksi tutkimuksen rajauksena käytetyissä asuinkeuhkaloissa rakennusosissa on toistuvuutta hankkeesta toiseen.

Tutkimuksen toistettavuutta heikentää seuraavat asiat. Tutkimuksen empiirissä osuudessa käytettyä vakioitua määrädokumenttia ei tutkimusraportissa määritelty näkyväksi. Empiiriseen osuuteen osallistuneilla henkilöillä tehty opastus tutkimuksen tavoitteista ei välttämättä ollut riittävä. Tutkimusympäristönä aidossa rakennusprosessin tehtäväympäristössä olevat tilannetekijät saattavat vaikuttaa empiirisen osuuden vastauksina saatuihin tuloksiin (kt. luku 3.5.2 ja 3.5.6). Empiirisen osuuden tutkimuksessa käytetyt työkalut kuten, esimerkiksi tutkimushetkellä ollut tilanne ohjelmistojen versioissa ja niihin liittyvät ominaisuudet.

Tutkijan aktiivinen toiminta empiirisen osuuden tutkimusympäristössä ja sen mahdolliset vaikutukset tuloksiin voivat kyseenalaistaa tutkimuksen objektiivisuuden. Tapaustutkimuksessa tutkijan rooli tuo mukana tutkimukseen hänen taustaansa ja ammatilliseen pätevyyteen perustuvaa persoonallista ulottuvuutta. Tämä ei heikennä tutkimuksen tieteellistä tai eettistä periaatetta, vaan edesauttaa tieteellisen raportoinnin jälkeisessä tulosten jalkautamisessa, joka voidaan suorittaa tutkimuksen jälkeen omana prosessina.

5.4 Tulosten vertailu aikaisempiin tutkimuksiin

Aikaisemmat tutkimukset antoivat tutkimukselle jo viitteitä siitä, että tietomallia hyödyntämällä saadaan vähennettyä määrä- ja kustannuslaskentaan tarvittavaa aikaa. Tämän tutkimuksen tulokset ovat siten lähtökohtaisesti olleet aikaisempien tutkimustuloksiin nähden samansuuntaiset.

Aikaisempiin tutkimuksiin, jotka ovat lähestyneet aihetta kustannuslaskennan näkökulmasta, ei voi suoraan verrata tämän tutkimuksen tuloksia. Kustannuslaskenta toimintona pitää sisällään määrätiedon tuottamisen lisäksi muitakin tehtäviä. Tietomallista saatavat hyödyt näissä muissa kustannusarviovaiheen tehtävissä ei ole yleisesti ottaen tutkimuksissa eritelty.

Aikaisemmissa tutkimuksissa, jotka ovat lähestyneet aihetta määrälaskennan näkökulmasta, tulokset on raportoitu yleisesti ottaen toteutuneista rakennusprojekteista. Empiirisenä tutkimusympäristönä nämä tutkimukset ovat vastanneet tämän tutkimuksen empiiristä osaa. Aiemmissa tutkimuksissa ei kuitenkaan ole tutkimusraporteissa kirjattu lukijalle näkyväksi tutkimusprosessia, joilla tuloksissa esitetyt lukuarvot on tuotettu. Tässä tutkimusraportissa on esitetty tuloksiin johtanut tutkimusprosessi ja siihen liittyvät lukuarvot on kirjattu näkyväksi.

Aikaisemmissa tutkimuksissa on saatu tulokseksi, että määrälaskenta-aika tai kustannusarviovaiheen aika vähentyisi 25 – 92 % [Eastman et. a., 2011; Laitinen, 1998; Staub-French, 2001; Sulankivi, 2004 ja 2005]. Tämän tutkimuksen mukaan yhden väliseinän rakennetyypin määramittauksen kaltainen parannus määrätiedon tuottamiseen tietomallilla lyhentäisi määrälaskenta-aikaa 15–18,5 %. Valittua rakennusosaa voidaan pitää suhteellisen edustavana tyypillisenä määrälaskentakohteena ja siten saavutetuilla tuloksilla voidaan varovasti arvioiden olevan yleisempää merkitystä.

Tuloksissa esitetty ideaalutilanne vähensi kohteesta riippuen yhden väliseinän aiheuttamaa mittaustyötä verrattuna toimintatapaan ilman tietomallia 64 - 91 %. Lisäksi toimintatapaan määrätiedon tuottamista vakioidulla määrädokumentilla tietomallista verrattuna ideaalutilanteeseen vähennys olisi 33 %.

Empiirisessä osuudessa tuli tutkimuksen edetessä esiin seuraavia asioita, joita oli huomioitu myös muissa aikaisemmissa tutkimuksissa. Seuraavassa listassa on esitetty näitä asioita:

- BIM-ohjelmistot eivät tuota tietomalleissa olevaa määrätietoa samalla tavalla.
- Eri käyttäjät määrittelevät samanlaisia asioita eri tavalla tietomalleihin
- Arkkitehdin tietomallille ei ole luotu vakioituja luokitteluja tai standardeja
- Käyttäjiä arveluttaa käyttää tietomalleja hyödyksi niissä olevien mahdollisten puutteiden ja virheiden vuoksi. Lisäksi käyttäjät miettivät tietomallin hyödyntämisen vastuita ja sopimusteknisiä kysymyksiä.
- Tietomallin pelkkä visuaalinen tarkastelu paransi laskennan tehokkuutta ja tarkkuutta.
- Parannuksia tehokkuuteen ja tarkkuuteen saatiin viemällä tietomallista tuleva määrätieto koneluettavasti ulkoiseen tietokantaan tai määrätietoa hyödyntäviin ohjelmistoihin.

5.5 Tutkimuksen tieteelliset ja teolliset kontribuutiot

Tieteellinen kontribuutio

Tutkimuksen tieteelliset pääkontribuutiot koskevat neljää kokonaisuutta: 1) Tieteellinen diskurssio liittyen tietomallien käyttöä määrätietojen hallintaan, 2) LMH toimintamallina määrälaskennalle tietomallihankkeissa, 3) Vakioitu määrädokumentti konseptina ja ratkaisuna käytännön tarpeisiin, ja 4) Tutkimusperustainen näyttö liittyen tietomallipohjaisen määrälaskennan tuottavuusettuun. Seuraavana käsitellään yksityiskohtaisemmin kutakin kokonaisuutta.

1. Tieteellinen diskurssio. Tehdyn tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että aikaisemmat tutkimustulokset koskien tietomallien käyttöä määrätietojen hallinnassa ovat vain suuntaa antavia. Näiden tutkimusten pohjalta ei voi tehdä tarkempia johtopäätöksiä tai ennakoita ja liittyen esimerkiksi rakennusliikkeiden tarpeista. Tutkimuksessa on mahdollisimman selkeästi ensinnäkin pyritty syventymään määrätietojen tuottamiseen ja vasta toiseksi tämän jälkeen keskityttiin erilaisiin tarpeisiin tuotettujen määrätietojen hyödyntämiseen rakennusyrityksissä.

2. LMH on toimintamalli, joka koostuu kolmesta osa-alueesta prosessi, työkalut ja toimijat (ks. luku 4.1.1). Nämä osa-alueet ovat toiminta-ajatukseltaan siirrettävissä myös muiden suunnittelualojen määrätiedon tuottamiseen. LMH käyttökelpoisuutta testattu arkkitehtimalleja käyttäen, mutta sillä voidaan todeta olevan myös laajempia käyttömahdollisuuksia.
3. Tutkimuksessa esitetty vakioitu määrädokumentti pohjautui yleisten määritietojen osalta jo tunnettuihin ohjeistuksiin määramittauksesta (ks. luku 2.1.4, taulukko 4). Toiminta-ajatuksen mukaisesti tutkimuksessa LMH:n kannalta vakioituun määrädokumenttiin lisättiin tutkimuksen empiirisessä osuudessa esiin tulleet toimijoiden (tuotannon) tietotarpeita, joiden lähtökohtana oli materiaalihankinnan näkökulma (ks. luku 4.1.2). Tutkimukseen valittu näkökulma on vain yksi rakennusprosessin eri käytötapauksista.
4. Tutkimuksen yhteydessä määritettyjä ja kehitettyjä ratkaisuja (LMH sisältäen ideaalitulanteen ja vakioitun määrädokumentin) kokeiltiin esimerkkitulanteissa ja näitä tuloksia verrattiin vaihtoehtoihin tapoihin tehdä määrälaskentaan. Näin saatiin tutkimusperustaista näyttöä saavutettavasta tuottavuudesta.

Teolliset kontribuutiot

Tutkimuksen ensimmäisessä osassa selvitettiin määramittaustyön vähentämistä tietomallin avulla. Tuloksena oli, että arkkitehdin tietomallille luotu vakioitu määrädokumentti poisti ideaalitulanteesta tuotantovaiheen tarpeen määramittaukselle rakennusosalla. Määrälaskenta toiminnon kannalta tämä tarkoittaa, että työskentely tehostuu, kun aikaisemmin saman asian useampaan kertaan tehty mittaustyö jää pois. Rakennusosalle tulokseksi saatu mittaustyön tehostumisen lisäksi voidaan olettaa, että määrätiedon tuottaminen muuttuu läpinäkyvämmäksi, kun määrätietoa tuotetaan tietomallista samalla tavalla kohteesta riippumatta. Samalla tavalla rakennusosasta tuotettu määrätieto lisää myös suunnitelmien vertailtavuutta ja helpottaa vertailulaskelmien tuottamista.

Tutkimuksen toisessa osassa selvitettiin rakennusosalle tuotetun vakioitun määrädokumentin määrätiedon luotettavuutta tuotannon materiaalihankinnan näkökulmasta. Tulokset osoittivat, että tietomallista tuotetut materiaalmäärätiedot olivat suuruusluokaltaan oikean suuntaiset. Tarkkuudeltaan vakioitu määrädokumentti otti huomioon hiukan paremmin kohdekohtaiset ominaisuudet verrattuna esimerkiksi Ratu-kortin yleisiin laskentasääntöihin. Tutkimuksessa käytetty taulukkomuotoinen vakioitu määrädokumentti vaati käyttäjältä manuaalisia määrittelyjä ja oli tästä johtuen käytettävyydeltä vielä vähän kankea. Tämä aiheutui osittain siitä, että case-kohteissa ei tutkimuksessa toteutunut ideaalitulanteen määritelmä rakennusosien vakioidusta tunnistamisesta kuten esimerkiksi rakennetyyppien

nimeäminen. Liitteessä 2 esitetyt mahdollisuudet vakioitujen tunnisteiden käytöstä laajentaa tutkimuksen empiirisen osuuden tuloksien peilaamisen yhdestä rakennusosasta laaja-alaisemmaksi. Tutkimuksen tuloksien osalta voidaan olettaa, että vakiointitarve on mahdollisesti myös arkkitehtimallien osalta asuntokohteiden lisäksi myös muissakin hankekokonaisuuksissa, kuten esimerkiksi julkisissa rakennuksissa (koulut, päiväkodit, palvelutalot, sairaalat, toimistot).

Tutkimuksen johtopäätöksenä suositellaan, että arkkitehdin tietomallien pohjalta tehtävää määrälaskentaa varten tulisi kehittää vakioidun määrädokumentin kaltaisia työkaluja, jossa huomioidaan myös tuotannon hankintamäärän tietotarve. Lisäksi luvussa 2.1.3 kuvassa 5 esitettiin vaihtoehtoiset toimintatavat hyödyntää ohjelmistoja koneluettavien tietosisältöjen avulla. Tämä toimintaperiaate on mahdollista yleistää muihinkin tietomalleja hyödyntäviin ohjelmistoihin. Tosin tällöin tarvittavat koneluettavat tietosisällöt voivat olla erilaisia. Työkalut, jotka tukevat vakioituja koneluettavia tietosisältöjä auttavat rakennusprosessin alusta alkaen palvelemaan rakentamisen eri sidosryhmiä yhtenäisen tiedon tuottamisessa, poistamalla samalla päällekkäistä työtä.

Määrätiedon tuottaminen rakennusprosessissa samalla tavalla eri rakennushankkeissa auttaa vähentämään määrätietoihin liittyvää riskiä. Tämä siksi, että tällöin eri määrätiedon tuottajilla on tiedossa minkälaiset yleiset säännöt ovat määrätietojen taustaustalla. Samalla myös määriin perustuva suunnitelmavaihtoehtojen vertaileminen paranee.

Ideaalitalanteeseen pääseminen edellyttää lisätutkimuksia, tuottaisiko tietomallin tietosisällön yhtenäistäminen lisää tehokuutta työskentelyyn ja miten tietosisällön yhtenäistäminen tulisi toteuttaa. Lisäksi määrälaskenta toiminnossa sisäisen päällekkäisen työn poistamista tulee tutkia ja kehittää paremmin hyödyntämään tietomalleissa olevan määrätiedon siirtymistä automatisoidummin koneluettavasti eri ohjelmistojen välillä.

6 Johtopäätökset

6.1 Määrälaskenta tutkimuskohteena

Tietomallien hyötyjä kuvaavissa lähdeaineistoissa on vakiintunut yleisesti käytetyksi tutkimustavaksi case-tutkimus, jossa tutkimuskohteina on käytetty oikeita rakennusprojekteja. Tällöin on mahdollista, että tutkimuksessa mukana ollut rakennushankkeen toteuttaja ei ole halunnut julkaista yksityiskohtaisia tutkimukseen liittyviä asioita. Toisaalta jos tutkimusta tehdään osana rakennushankkeen prosessia, on tutkimushankkeen tällöin sopeutettava hankkeen prosessiin eikä tällöin ole mahdollista toimia rajoitetussa tutkimusympäristössä. Lisäksi on mahdollista, että käytännön olosuhteista johtuen kaikissa tutkimuksissa tuotettua aineistoa ei ole dokumentoitu tieteellisesti toistettavissa olevalla tavalla. Tämä ei kuitenkaan välttämättä vähennä tutkimusten arvoa, koska käytännön prosessissa tehty tutkimus voi tuoda esiin uusia näkökulmia mitä ei ”laboratorio”-olosuhteissa ole mahdollisesti osattu huomioida.

Ongelmaksi muodostuu eri tutkimustulosten vertailtavuus. Eri tutkimustulosten vertailtavuutta vaikeuttaa se, että joissakin tuloksien hyötyjä verrataan kustannuslaskennan nopeutumiseen ja toisissa taas hyötyjä tutkitaan määrälaskennan näkökulmasta. Kustannuslaskentaprosessi muodostuu määrälaskennasta ja määrätietojen hinnoittelusta. Tässä tutkimuksessa tietomallin hyötyjä tutkittiin pelkästään määrätiedon näkökulmasta, koska tietomalleista hyödynnettävä tietosisältö on pääsääntöisesti mallissa olevien objektien ja komponenttien tunnistetieto- ja geometriatietoa. Hintatietoa ei varsinaisesti tietomallissa ole, vaan kustannukset tuotetaan esimerkiksi linkittämällä tietomallissa tuleva määrätieto kustannuslaskentaohjelmistossa olevaan kustannustietoon.

Tämä tutkimus on primäärisesti kohdistunut määrätiedon tuottamiseen. Nykyiset määrälaskentaohjeet ovat määrämittaus orientoituneita, mutta siinäkin kuvaavat kyllä hyviä periaatteita koskien määrätiedon vaadittavaa laadukkuutta. Tulevaisuudessa tulisi ohjeistuksia ajatella toteutettavaksi enemmän digitalisaatiota ja koneluettavaa ajattelua tukevaksi. Tällöin määrämittaus ei ole ohjeistuksessa korostuva tekijä, koska tietomalleissa määrätieto on jo valmiina. Määrälaskennassa tehtäväksi nousee määrän tuottaminen tietomallista. Koneluettavuus-ohjeistuksessa korostuu tietomallien tietosisällön merkitys sekä miten tietomallissa olevaa määrätietoa voidaan jalostaa kansallisesti eri käyttötarkoituksiin.

Nykyisin tietomallista tuotettuja määrätietoja ja laskentatuloksia voidaan ensin esimerkiksi kirjata paperille tai syöttää taulukkolaskentaohjelmaan ja lopuksi vasta lopulliseen suoriteriviin määrälaskentaohjelmistoon. Luvussa 3.4.1 taulukossa 14 on esitetty kahden kohteen suoritepohjaisen kustannusarvion sisältämät rivikokonaisuudet. Molemmissa kohteissa on käytetty arkkitehdin tietomallia määrätietojen tuottamiseen.

Taulukosta 14 nähdään, että kohteiden osalta 69 ja 36 suoriterivin osalta määrätietoa saatiin mallista, mutta se oli kuitenkin kirjattu kustannuslaskentaohjelmistoon manuaalisesti. Kyseisten kohteiden osalta optimaaliseen tulokseen oli päästy linkittämällä tietomallista suoraan määrätietoa kustannuslaskentaohjelmistoon 71 ja 80 suoriterivin osalta. Tämä tarkoittaa, että määrätietojen tuottamisessa voidaan hyödyntää paremmin tietomallin mahdollisuuksia ja samalla saadaan poistettua työtehtävän sisällä tapahtuvaa päällekkäistä työtä esimerkiksi määrätiedon kirjausta ohjelmasta/järjestelmästä toiseen. Määrälaskennan näkökulmasta voitaisiin kuitenkin saavuttaa lisähyötyjä tutkimalla tietomallista koneluottavasti tuotettujen määrätietojen hyötyjä läpi koko rakennusprosessin.

Tutkimuksen rakennusosaksi valittiin kevyet väliseinät, koska suunnitelmissa on yleensä useampia erilaisia rakennetyyppejä. Nämä eri rakennetyypit on jokainen määrämitattava suunnitelmista erikseen. Lisäksi rakennusosaan käytettävät materiaalit toimitetaan työmaalle jo rakennuksen runkovaiheessa. Tällöin materiaalmäärä vaikuttaa työmaan logistiikkaan ja materiaalivarastointiin. Tutkimuskohteena kevyet metallirankaiset väliseinät rakennusosana puolsi myös jatkotutkimusten kannalta mahdollisuutena tarkastella tietomalleista saatavan määrätiedon hyödyntämistä esimerkiksi materiaalihukan vähentämistä osana ympäristötehokasta rakentamista. Työmaalla materiaalihankintamääriin vaikuttaa vielä asioita, joita ei tässä tutkimuksessa otettu huomioon. Esimerkiksi väliseinämateriaalit pyritään tilaamaan täysin materiaalinippuina, jolloin peruskerrostenkin osalta voi tilausmäärä olla eri. Tämä johtuu siitä, että materiaalia voidaan siirtää tarvittaessa kerroksesta toiseen. Toinen asia mikä tutkimuksen edetessä tuli case-kohteissa esiin oli, että väliseinämateriaalia voidaan käyttää myös alakatoissa. Eli alakattojen materiaalit tilataan samassa erässä kuin väliseinien. Näin ollen optimaalisen materiaalmäärän laskemista varten väliseinien lisäksi tulisi laskea myös alakatoissa käytettävä materiaalmäärä. Tässä tutkimuksessa asiaa ei huomioitu, koska ohjelmistoteknisesti ei olisi pystytty saavuttamaan sopivaa lähtötilannetta ideaalitulannetta ajatellen.

Materiaalien osalta keskiarvo asuntokohtaisesta erosta työmaan tilaaman materiaalin ja tietomallin osalta ei yhden kerroksen osalta ollut suuri. Koko kohteen määräero kuitenkin muodostuvat esimerkiksi pystyrakojen osalta suhteellisen suureksi, jos keskiarvoero kerrotaan kohteiden kokonaisasuntomäärällä. Tutkimuksen vakioidun määrädokumentin tarkoituksena oli tuottaa materiaalmäärätietoja työntoteuttajaosapuolen tarkastelua varten. Näin ollen vakioitu määrädokumentti tuotti tutkimuksen rajauksen huomioiden suuruusluokkatarkasteluja varten tarvittavat tiedot. Määrätietojen vertailussa tulee huomioida, että perinteisesti tuotetuissa määrätiedoissa voi olla myös epätasaisuutta. Näin ollen määrätiedon oikeellisuuteen voi vaikuttaa esimerkiksi inhimilliset tekijät.

Tuloksissa esimerkiksi luvussa 4.4.2.2 on esitetty, että vaakakiskojen osalta erot johtuvat lukujen pyöristyksistä. Tietomallista tuotetun määrädokumentin materiaalin menekki oli näin ollen tuotannon materiaalityylästä pienempi.

Tämä tulkinta on teoreettinen, koska tässä tutkimuksessa ei tutkittu työmaalla tehtäviä työtekniiseen toteutukseen vaikuttavia tekijöitä. Näin ollen tuloksista ei voida tehdä johtopäätöstä, kumpi on kokonaistaloudellisesti edullisempi vaihtoehto, tietomallista tuotetun määrädokumentin materiaalineneksi vai työmaan toimintatapa.

Ohjelmistojen IFC-määrittelyjen kehitystä ja versiointia ei tutkimuksessa ole käsitelty. Tähän päädyttiin siksi, että tutkittavan rakennusosan seinän geometriatiedon IFC-parametrit oletettiin pysyneen tutkimuksessa käytetyn aineiston aikana samanlaisena.

6.2 Tutkimuksen ja sen tulosten arviointi

BIM-termiin yhdistetään mallinnusohjelmistot sekä prosessit. Tietomallia käsitellään tässä tutkimuksessa työkaluna. Tätä tietomallityökalua prosessin eri toiminnot voivat hyödyntää eri tarkoituksiin. Toteutettu tutkimus tuotti kuvauksen nykytilaa edistyneemmästä määrälaskentaprosessista. Sen taustateorianä toimii Lean-ajattelu, päämääränä vähentää hukkaa eli päällekkäistä työtä prosessissa. Määrälaskentaprosessissa esiintynyt hukan määrittely päällekkäiseksi työksi tehtiin aikaisempien tutkimuksien lisäksi reaali maailman kokemusten perusteella. Tutkimuksessa on vahva pragmatismien ote. Toisenlaisella taustateorialla ja tutkimusmenetelmällä olisi saatu toisenlaista tietoa. Näin ollen tutkimuksessa kehitetty LMH-toimintamalli on vasta alustavan analyysin tulos. Tutkimustuloksissa esiintyneitä asioita voidaan myöhemmin hyödyntää muissa tutkimuksissa sovellettavilta osin erilaisiin lähestymistapoihin, kuten esimerkiksi arvon tuottamiseen, tuottavuuden laskentaan ja tekniseen kehitykseen.

Tutkimuksessa kehitettyyn vakioituun määrädokumenttiin saatiin tuotettua seinän perusgeometria ja sijaintitiedot sekä rakennetyyppi automaattisesti tietomallin informaatiosta. Suurimmaksi ongelmaksi osoittautui tuotannon tarvitsemien lisämäärittelyjen tekeminen eri seinätyypeille. Materiaalivalmistajat ovat tuottaneet omista materiaaleistaan objektkirjastoja, joista saadaan suunnitteluohjelmistoista tuotettua valmiita materiaalmäärätietoja (luku 2.3.4). Materiaalivalmistajien objektkirjastojen kaltaiset työkalut voisivat parantaa esimerkiksi luvussa 4.4.2.1 mainittua pystyrunkojen määrätiedon tuottamista seinäliitosten osalta. Toisaalta näiden objektkirjastojen osalta on rajoitetusti käytettävissä tutkimustietoa. Näin ollen materiaalivalmistajien objektkirjastojen hyödyntämisen käytettävyyden vaikutuksia (esimerkiksi suunnittelutyössä, ohjelmistoversiohallinnassa tai ohjelmistojen välisessä tiedonsiirrossa) ei voida arvioida tämän tutkimuksen puitteissa.

Vakioitujen määrädokumenttien käyttö vaatii testauksessa vielä käyttäjän manuaalisia määrittelyjä. Yleispäteviä säännöstöjä eri seinätyypeille ei voinut määrädokumenttiin luoda, koska tietomalleissa oli käytetty seinille erilaisia rakennetyyppejä kuvaavia tietosisältömäärittelyjä. Jos käytettäisiin esimerkiksi vakioituja tietosisältöjä rakennetyyppien (liite 2) osalta, voitaisiin tietomallista tuotettuihin määrädokumentteihin tehdä enemmän

tietokonepohjaisia säännöstöjä. Tutkimuksessa käytetty vakioitu määrädokumentti ei ole tutkimuksen määrittämisellä käytettävyydeltään paras mahdollinen muoto. Tarvitaan lisätutkimuksia, jotta voidaan varmistua miten vakioitu määrädokumentti-ratkaisu saadaan mahdollisimman käyttäjäystävällinen.

Tutkimustulosten yleistämismahdollisuudet ovat rajalliset mutta niitä voidaan pitää vähintään suuntaa antavina. Rakennushankkeiden määrätietoa luokitellaan yleisesti nimikkeistöjen avulla ja eri rakennusosista tuotetaan tunnistetietojen avulla erilaisia määrätietoja. LMH-toimintamallia voidaan luonnehtia periaatteelliseksi ratkaisuksi sisältäen prosessin, ylätasoin työkulut ja toimijoiden määritykset. Lisäksi LMH-toimintamallin yleistettävyydellä eri suunnittelualojen tietomallien tai näiden yhdistelmätietomallien osalta voidaan olettaa olevan yhteneviä piirteitä arkkitehdin tietomallin kanssa (kt. luku 2.1 ja 4.1.1). Tavoitteena tietomallien käytössä on yleisesti, että siellä olevaa tietoa pystytään hyödyntämään mahdollisimman täsmällisesti ja laaja-alaisesti. LMH-toimintamallin avulla voidaan tarkastella määrätiedon tarvetta rakennushankkeen eri osaprosesseissa (tutkimuksen empiirisessä osassa tarkastelussa oli hankintavaiheen osaprosessi) peilautuen tietomallissa jo olemassa olevan tiedon hyödyntämiseen. Lisäksi LMH-toimintamalliin tukeutuen voidaan näin ollen tehdä eri osaprosessin vaatimuksia vastaavat yksityiskohtaisemmat määritykset ja ohjeistukset tietomallin tietosisällön vaadittavasta tarkkuustasosta määrätiedonhallinnalle sekä siihen käytettävät tietotekniset asetukset ja työkulut. LMH-toimintamallia käytettäessä eri osaprosessien määrätiedonhallinnan kehitykseen voidaan kehitystyön osaoptimointiriskiä (luku 2.4.2) pienentää sillä, että kehitystyö on kansallisella tasolla tarpeeksi laaja-alainen.

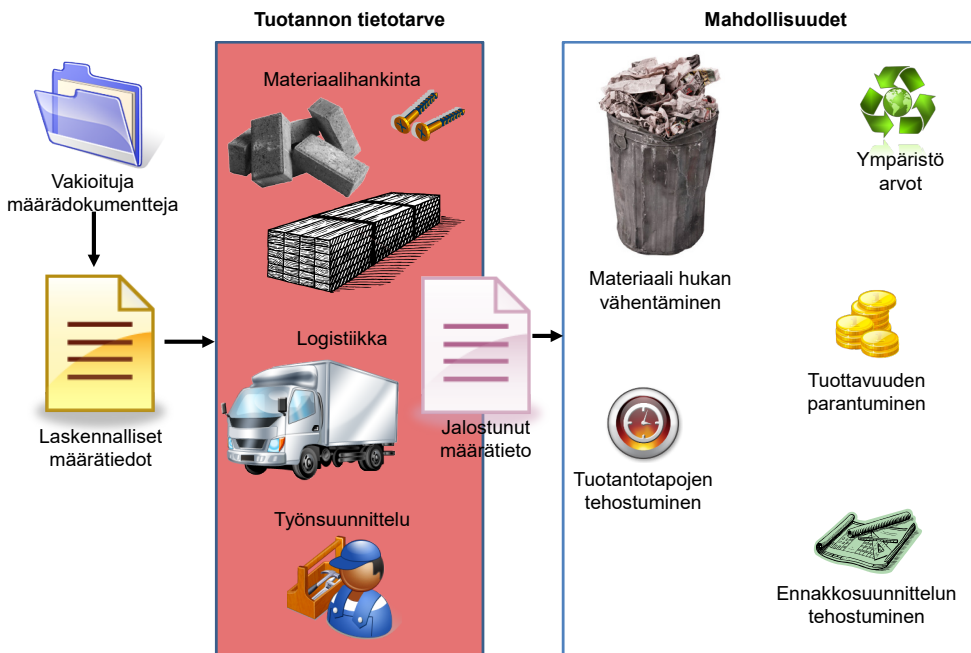
Tapaustutkimuksen kannalta case-aineiston laatu on määrää oleellisempi asia. Tutkimuksen case-kohteita voitiin tukea valmiiksi tuotetulla sijaintieriteltyllä määrätiedolla. Näin ollen työmaiden ei tarvinnut itse luoda näistä tiedoista laskentataulukkoa ja laskea teoreettisia määriä itse uudelleen. Case-kohteiden tuloksien vertailukelpoisuuteen toisiinsa tai yleistettävyyteen vaikuttaa esimerkiksi määrätiedon matemaattisen lukuarvojen pyöristysten tarkkuus.

Tietomallilla on ilmeisiä uusia mahdollisuuksia tuotannon materiaalmäärätiedon tuottamisen työkaluna. Tietomallista saatavan tiedon jäsentäminen tarpeeksi yksityiskohtaiseen sijaintitietoon voi auttaa esimerkiksi materiaalihankinnan logistiikassa. Tällöin tarpeeksi aikaisessa vaiheessa saatu sijaintieritelty määrätieto yhdistettynä visuaaliseen malliin voi olla työkalu kehittyneeseen tuotannonsuunnittelun tukemiseen.

6.3 Tulosten hyödyntäminen ja jatkotutkimusehdotukset

Tutkimus on osoittanut, että tietomalli voi toimia määrälaskentatyön päällekkäisyyden vähentämisen ja määrälaskennan tehostamisen lähtökohtana. Edellyttäen että määrälaskenta toteutetaan tutkimuksessa määritellyn ideaalitalanteen mukaisesti ja hyödyntäen vakioitua määrädokumentti-ratkaisua. Tulevaisuudessa on edellytykset tehostaa määrätiedon tuottamista ja hyödyntämistä arkkitehdin tietomalleista. Kokonaisuutena kehitetty LMH-toimintamalli voisi olla yksi mahdollisista tavoista saavuttaa KIRA-DIGI-hankkeen 25 % tuottavuuden tavoitetta [Henttinen et.al, 2016].

Materiaalien menekkitietojen integroinnilla tietomallityökaluihin lisää esimerkiksi tuotannon mahdollisuuksia laajentaa arkkitehdin tietomallien käyttöä (kuva 27). Tulevaisuudessa yleispätevä vakioitu määrädokumentti toisi hyvän vaihtoehdon tuottaa tietomallista saatavaa materiaalmäärätietoa. Tämä mahdollistaa paremman toimintatavan kuin tuottaa määrätietoa uudelleen. Lisäksi työkaluna vakioitu määrädokumentti voisi olla yksi mahdollinen tapa saavuttaa KIRA-DIGI-hankkeen 50 % materiaalihukan vähentämisen tavoitetta lisäämällä materiaalihankinnan tehokkuutta rakentamisessa [Henttinen et.al, 2016].



KUVA 27 Arkkitehdin tietomallin hyödyntämismahdollisuudet ja niiden lisäämisen mahdolliset vaikutukset rakennustuotannon näkökulmasta.

Kun tietomallin sisältämään informaatioon voidaan luottaa, laskentatoimi ei välttämättä tarvitse tulevaisuudessa olla se, joka tuottaa prosessin erilaisiin tarpeisiin niiden tarvitsemia määrätietoja. Tällöin prosessin eri toimijoille voidaan tarpeen mukaan tehdä omia vakioituja määrädokumentteja, joilla he voivat tuottaa itse määrätietoja. Edelleen laskennan käyttämiin pohjiin voidaan viedä tarvittavia tietoja, jotka prosessin muut toimijat sitten itse täydentävät perusmäärätietojen tuottamisen jälkeen. Tulevaisuudessa tulee mahdollisesti vastaan myös kysymys; voidaanko hyödyntää suoraan suunnittelijoiden tietomallista tuottamia määräluetteloita? Ja kenellä on näissä tilanteissa vastuu määrätietojen oikeellisuudesta?

Havaittuja lisätutkimuksen tarpeita voidaan selventää seuraavien vastauksia vailla olevien kysymyksiä kautta:

- Miten tietomallin objektin tunnistetietojen vakiointi esimerkiksi rakennetyyppien nimeäminen vähentää määrälaskennan sisäisen työtehtävän päällekkäisyyttä?
- Millaisia mahdollisuuksia tietomalleille luotaviin automatisoituihin säännöstöihin määrätiedon tuottamiseksi voi liittyä?
- Mikä automatisoitujen säännöstöjen vaikutus voi olla määrälaskennan työn tuottavuuteen?
- Minkälaisia uusia haasteita tulee tietomallin laadulliseen varmistukseen, esimerkiksi määrätietojen linkittämiseen suoraan kustannusarvio-ohjelmistoihin (5D-ratkaisut)?

Lähdeluettelo

- Aaltola, J ja Valli, R.** 2007. Ikkunoita tutkimusmetodeihin I. 2. painos. Juva, WS Bookwell Oy. s. 243. ISBN 978-952-451-164-3
- Alwisy, A., Al-Hussein, M. and Al-Jobouri S.H.** 2012. BIM Approach for Automated Drafting and Design for Modular Construction Manufacturing. Computing in Civil Engineering, ASCE. pp. 232-239
- Arto, K., Martinsuo, M., ja Kujala, J.** 2008. Projektiliiketoiminta. 2. painos. WSOY. Helsinki. s. 417. ISBN 978-952-92-8534-1
- Aurora2.** 2005. Aurora 2 Project in Joensuu, Finland. [Viitattu 28.8.2013]. Saatavissa: http://cic.vtt.fi/projects/vbe-net/data/2006_CIFE_Case%20Report_Aurora_II_Project.pdf
- Azhar, S.** 2011. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. Leadership Manage. Eng. 11. pp. 241-252.
- Barlish, K. and Sullivan, K.** 2012. How to measure the benefits of BIM -A case study approach. Automation in Construction 24. pp. 149-159.
- BEC 2012.** 2012. Elementtisuunnittelun mallinnusohje. versio 1.01 Betoniteollisuus ry. s. 38.
- BEC2012 luettelo-ohje.** versio 1.0. Betoniteollisuus ry. s. 5. [Viitattu 28.8.2013] Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/suunnitteluprosessi/mallintava-suunnittelu>
- BuildingSMART International.** [Viitattu 28.8.2013]. Saatavissa: <http://www.buildingsmart.org/organization/>
- BuildingSMART Finland (a).** [Viitattu 28.8.2013]. Saatavissa: <http://www.buildingsmart.fi/>
- BuildingSMART Finland (b).** Tilaajaohjeet ARK- ja RAK-osioiden julkaistu lausuntoa varten 20.7.2015. [Viitattu 27.8.2015] Saatavissa: <http://www.buildingsmart.fi/uutiset.html?31>
- Björk, B. and Penttilä, H.** 1989. A scenario for the development and implementation of a building product model standard. Reprinted from Advances in Engineering Software, vol. 11, no. 4 1989. pp. 176-187.
- Björk, B.** 2009. Ratas, a longitudinal case study of an early construction it roadmap project. ITcon Vol. 14 (2009). Journal of Information Technology in Construction. pp. 385-399. ISSN 1874-4753.
- Bryde, D., Broquetas, M. and Volm, J. M.** 2012. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). International Journal of Project Management 31 (2013). pp. 971-980.
- Clayton, M., Kunz, J. and Fischer, M.** 1998. Charrette Test Method, CIFE Technical report #120. Stanford University. pp. 27.
- Collier, E. and Fischer, M.** 1995. Four-Dimensional Modeling in Design and Construction. CIFE Technical Report #101. Stanford University. pp. 76.

Cox, R.F., Issa, R. R. A. and Ahrens, D. 2003. Management's perception of key performance indicators for construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. pp.142–151.

CRC Press. [Viitattu 7.8.2013]. Saatavissa: <http://www.crcpress.com/product/isbn/9780849302596>

Ding, L., Zhou, Y. and Akinci, B. 2014. Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. *Automation in Construction* 46. pp. **82–93**.

EANPC, Euroopan kansallisten tuottavuuskeskusten liitto. 1999. Tuottavuus, innovatiivisuus, työelämän laatu ja työllisyys. Muistio. Työsuojelurahasto. Erweko. s. 20. ISBN 951-810-122-1.

EANPC, Euroopan kansallisten tuottavuuskeskusten liitto. 2006. Tuottavuus tie vaurauteen. Muistio. Työsuojelurahasto. Yliopistopaino, Helsinki. s. 32. ISBN-13: 978-952-9711-07-9 (Painettu), ISBN-13: 978-952-9711-08-6 (PDF), ISBN-10: 952-9711-07-7 (Painettu), ISBN-10: 952-9711-08-5 (PDF).

Eastman, C., Fisher, D., Lafue, G., Lividini, J. Stoker, D. and Yessios, C. 1974. An Outline of the Building Description System. Research Report No. 50. Pittsburgh, PA.: Inst. of Physical Planning. Carnegie-Mellon Univ. pp. 22. [Viitattu 27.8.2015] Saatavissa: <http://eric.ed.gov/?id=ED113833>

Eastman, C. M. 1975. The use of computers instead of drawings in building design. *AIA Journal*, March, Volume 63, Number 3. pp 46-50.

Eastman, C., Teicholz, P, Sacks, R. and Liston, K. 2011. BIM Handbook, A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. 2011. 2. painos. John Wiley & Sons, Inc. pp. 650.

Eisenhardt, K.M. 1989. Building theories from case study research, *Academy of Management Review*, Vol. 14, No. 4. pp. 532-550.

Elbeltagi, E., Hosny, O., Dawood, M. and Elhakeem, A. 2014. BIM-Based Cost Estimation/ Monitoring For Building Construction. *Int. Journal of Engineering Research and Applications*. Vol. 4, Issue 7(Version 4), July 2014. pp. 56-66. ISSN : 2248-9622.

Enkovaara, E., Haveri, H. ja Jeskanen, P. 1998. Rakennushankkeen kustannushallinta. 3. muuttumaton painos. Gummerus Kirjapaino Oy, Saarijärvi. s. 266. ISBN: 951-682-308-4.

Finnish BIM Survey 2013 tulokset. [Viitattu 27.8.2015] Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/tutkimus-_ja_kehittamistoimita/6JKJM353s/BIM_Survey_Finland_Tulokset.pdf

Fischer, M. and Kam, C. 2002. PM4D Final report. CIFE Technical Report 143, october 2002. Stanford University. pp. 50.

Gao, J. and Fischer, M. 2008. Framework & Case Studies Comparing Implementations & Impacts of 3D/4D Modeling Across Projects, CIFE Technical Report TR172, march 2008. Stanford University. pp. 98

Gerber, D. J., Becerik-Garber, B and Kunz, A. 2010. Building information modeling and Lean construction: technology: Methodology and advances from Practice. 18th Annual Conference, International Group for Lean Construction, Haifa, Israel, July14-16. pp. 11.

Graphisoft. [Viitattu 23.8.2013]. Saatavissa: http://www.graphisoft.com/info/about_graphisoft/

Gravicon. Modelspace, FM. [Viitattu 10.10.2016]. Saatavissa: <http://www.gravicon.fi/modelspace/facility-management>

Geiger, T.S. and Dilts, D. 1996. Automated design-to-cost: integrating costing into the design decision, *Computer-Aided Design*, 28 (6-7). pp. 423-438.

GSA. U.S. General Services Administration. [Viitattu 7.8.2013]. Saatavissa: http://www.gsa.gov/portal/content/105075?utm_source=PBS&utm_medium=print-radio&utm_term=bim&utm_campaign=shortcuts

Gyproc. [Viitattu 7.8.2013] Saatavissa: <http://www.gyproc.fi/>

Haapasalo, H. ja Merikallio, L. 2009. Projektituotantojärjestelmän strategiset kehittämiskohteet kiinteistö- ja rakennusalalla. Yhteisraportti Rakennusteollisuus ja LCI-Finland. s. 43.

Haapasalo, H. 2011. Lean-filosofian ja menetelmien soveltaminen Suomessa. Rakentajain kalenteri 2011. Rakennustieto Oy. s. 178-183.

Hardin, B. 2009. BIM and Construction management. Wiley Publishing, Inc., Indianapolis. Indiana. pp. 340. ISBN 978-0-470-40235-1.

Henttinen, T., Hänninen, R., Laine, T., Liukas, J., Soininvaara, M., Törönen, A., Ahonen, A., Salonen, A. ja Kiviniemi, A. 2016. KIRA-DIGI Rakennetun ympäristön digitalisaatio-hanke. Versio 1.1, 13.1.2016. [Viitattu 02.02.2016]. Saatavissa: <http://www.buildingsmart.fi/uutiset.html?38286>.

Hietanen, Jiri. 2005. Tietomallit ja rakennusten suunnittelu, Filosofinen selitys tieto- ja viestintäteknikan mahdollisuuksista. Tampere, Tammer-Paino Oy. s. 95. ISBN: 978-9-516-82783-7.

Hines, P., Holweg, M., and Rich, N. 2004. Learning to evolve, A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*:24:10. pp. 994-1011.

Hirsjärvi, S., Remes, P. ja Sajavaara, P. 2004. Tutki ja kirjoita. 10. painos. Jyväskylä, Gummerus Kirjapaino Oy. s. 436. ISBN 951-26-5113-0

IAI. 2009. Concept Design to QTO/ Cost Estimating. [Viitattu 16.01.2016] Saatavissa: <http://blis-project.org/IAI-MVD/>

ICMS. International Construction Measurement Standards Dec 2015. [Viitattu 16.01.2016] Saatavissa: <http://www.ciqs.org/english/icms>

Ihalainen, L. 2012. Työelämän kehittämisstrategia vuoteen 2020. [Viitattu 02.10.2016] Saatavissa: http://www.tyoelama2020.fi/files/35/tyoelaman_kehittamisstrategia_final.pdf

ISO 16739. 2013. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. pp. 23.

ISO 29481-1. 2010 Building information modelling -Information delivery manual -Part 1: Methodology and format. pp. 34.

ISO 29481-2. 2012. Building information models -Information delivery manual -Part 2: Interaction framework. pp. 74.

- Jokiniemi, E ja Davies, N.** 2012. Kuvitettu rakennussanakirja Suomi-Englanti-Suomi. Rakennustieto Oy. s. 1004. ISBN 978-951-682-890-2
- Juti, R.** 2013. Tiedon filosofia, antiikista nykyaikaan. Gaudeamus Oy Helsinki University Press. s. 447. ISBN 978-952-495-287-3.
- Jylhä, T.** 2013. Creating Value or Waste? - Evaluating the Production of Real Estate Services with Lean Thinking. Aalto University publication series DOCTORAL DISSERTATIONS, 148/2013. pp. 104. ISBN: 978-952-60-5345-5 (electronic), 978-952-60-5344-8 (printed).
- Kallio, S.** 2007. Tietomallin hyödyntäminen rakennusliikkeen tuotannossa. Diplomityö, Tampereen Teknillinen Yliopisto.
- Kallio, S.** 2011. Tietomalli osana rakennusprosessin määrätiedon hallintaa rakennustuotannon sidosryhmien välillä. Licensiaattityö, Tampereen Teknillinen Yliopisto.
- Kaner, I., Sacks, R. Kassian, W. and Quitt, T.** 2008. Case studies of bim adoption for precast concrete design by mid-sized structural engineering firms. ITcon Vol. 13 (2008). pp. 303-323.
- Kananen, J.** 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Suomen yliopistopaino Oy, Juvenes Print. s.135. ISBN 978-951-830-405-3 (Painettu), ISBN 978-951-830-406-0 (PDF).
- Kasanen, E., Lukka, K. ja Siitonen, A.** 1991. Konstruktiivinen tutkimusote liiketaloustieteessä. Liiketaloudellinen aikakauskirja, Volume 40, No 3, s. 301–327.
- Khanzode, A., Fischer, M. and Reed, D.** 2008. Benefits and lessons learned of implementing building virtual design and construction (vdc) technologies for coordination of mechanical, electrical, and plumbing (mep) systems on a large healthcare project. ITcon Vol. 13. pp. 324-342.
- Kilpinen, E., Kivinen, O. ja Pihlström, S.** 2008. Pragmatismi filosofiassa ja yhteiskuntatieteissä. Yliopistopaino Helsinki. s. 295. ISBN 978-952-495-006-0.
- KIRA-digi.** KIRA-digin tavoitteet. [Viitattu 28.10.2016] Saatavissa: <http://www.kiradigi.fi/kira-digi-tavoitteet.html>
- Kivimäki, C.** 2014. Ratu-kortti tutkimus. Mittaviiva Oy. Sähköpostikeskustelu 20.5.2014.
- Knauf.** [Viitattu 23.8.2013]. Saatavissa: [<http://www.knauf.fi/sis%C3%A4verhouslevyt/taivutetut-rakenteet/rangat>]
- Koskela, L.** 1992. Application of the New Production Philosophy to Construction. Technical Report No. 72. Center for Integrated Facility Engineering. Department of Civil Engineering. Stanford University. pp. 75.
- Koskela, Lauri.** 1993. Lean production in construction. Presented on the 1st workshop on lean construction, Espoo. pp. 10.
- Koskela, L.** 2000. An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction. VTT Publications 408, Espoo. pp. 298. ISBN 951-38-5566-X.

- Koskenvesa, Anssi.** 2011. Rakennustyön tuottavuus 1975-2010. Rakentajan kalenteri 2011. Rakennustietosäätiö RTS. s. 138-146
- Laine, M. Bamberg, J. ja Jokinen, P.** 2007. Tapaustutkimuksen taito. Gaudamus Oy Helsinki University Press. s.299. ISBN 978-952-495-032-9.
- Laitinen, H.** 1998. Tapaustutkimuksen perusteet. Kuopion yliopiston julkaisu E. Yhteiskuntatieteet 55. Kuopion yliopiston paino. s. 92. ISBN 951-781-634-0.
- Laitinen, J.** 1998. Model Based Construction Process Management. Väitöskirja. Stockholm. s. 136. ISBN 91-7170-301-2.
- Laitinen, J.** 2012. Conference BIM Finland. 20.09.2012. School of Architecture in Aarhus, Nørreport 20, 8000 Aarhus C, Denmark.
- Lan, L.** 2014. BIM-based cost management of large engineering projects. 2nd International Conference on Education Technology and Information System (ICETIS 2014). Published by Atlantis Press. pp. 442-445.
- Lamming, R. C., Caldwell, N. D, Harrison, D. A and Phillips W.** 2001. Transparency in Supply Relationships: Concept and Practice. The Journal of Supply Chain Management, Fall 2001. pp. 4-10.
- Lee, S-K., Kim, K-R. and Yu, J-H.** 2014. BIM and ontology-based approach for building cost estimation. Automation in Construction 41. pp. 96-105.
- Liker, J. K.** 2004. The Toyota way : 14 management principles from the world's greatest manufacturer. New York, McGraw-Hill, cop. pp. 330. ISBN 978-0-07-139231-0.
- Love, P., Edwards, D. J. and Han, S.** 2011. Bad Apple Theory Of Human Error And Building Information Modelling: A Systemic Model For BIM Implementation. Paper presented at the 28 th ISARC, Seoul, Korea. pp. 349-354.
- Lu, W. Fung, A, Peng, Y., Liang, C. and Rowlinson, S.** 2014. Cost-benefit analysis of Building Information Modeling implementation in building projects through demystification of time-effort distribution curves. Building and Environment 82 (2014). pp. 317-327.
- LVI 00-10473.** 2011. LVI2010-nimikkeistö. julkaistu 22.03.201. Rakennustieto Oy. s. 7
- MAD.** [Viitattu 10.10.2016] Saatavissa: <http://www.mad.fi/palvelut/gdl/gdl-kirjastot>
- Metsämuuronen, J.** 2006. Laadullisen tutkimuksen käsikirja. 1.painos. Jyväskylä, Gummerus Kirjapaino Oy. s. 750. ISBN 952-5372-19-7
- Mitchell, D. and Brandtman, M.** 2012. 5D – Creating Cost Certainty and Better Build-ings, in. eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2012, CRC Press, The Netherlands, pp. 253-258.
- Monteiro, A. and Martins, J. P.** 2012. BIM Modeling for contractors- Improving model takeoffs. Proceedings of the CIB W78 2012: 29 th International Conference- Beirut. pp. 10.

Monteiro, A. and Martins, J. P. 2013. A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based desing. *Automation in Construction* 35. pp. 238-253.

Myllymäki, R. 1998. The cost estimating as the integrator between design and production. *Construction Informatics Digital Library*. pp. 12. [Viitattu 30.12.2015.] Saatavissa: <http://itc.scix.net/paper/w78-1998-30.content>

Nadeem, A., Wong, A. K. D. and Wong, F. K. W. 2015. Bill of quantities with 3d views using building information modeling. Research article - civil engineering. *Arab J Sci Eng* (2015) DOI 10.1007/s13369-015-1657-240. pp. 2465–2477.

Navisworks. [Viitattu 28.8.2013]. Saatavissa: <http://www.autodesk.fi/products/autodesk-navisworks-family/overview>

NBS-Nationl BIM Report 2013-single. [Viitattu 28.8.2013]. Saatavissa: <http://www.thenbs.com/topics/BIM/reports/>.

Olatunji O.A. and Sher, W. 2014. 'Perspectives on modelling BIM-enabled estimating practices', *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 14 (4). pp 32-53.

Olatunji O.A. and Sher, W. 2015. Estimating in geometric 3D CAD. *Journal of Financial Management of Property and Construction* Vol.20 No.1, 2015. pp. 24-49.

Paroc. [Viitattu 10.10.2016] Saatavissa: <http://www.paroc.fi/paroc-yritykse-na/uutiset-ja-media/uutisarkisto/2015/paroc%C2%AE-panel-design-sovel-lus-revit-mallinnukseen>

ProIT. Kehityshanke. [Viitattu 20.7.2013]. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/>

Pučko, Z., Šuman, N. and Klanšek, U. 2014. Building Information Modeling Based Time And Cost Planning In Construction Projects. *Organization, Technology & Management in Construction, An International Journal*, 6 (1). pp 958-71.

Rakennustieto. [Viitattu 10.10.2016] Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/fi/index/kirjastot.html.stx>

Ratu-tietokortti 15-10635. Esitystapaohjeet. Rakennuspiirustukset. Julkaistu 01.08.1997. Rakennustieto Oy

Ratu-tietokortti 54-0263. Väliseinätyö. Lokakuu 2003. Rakennustieto Oy

Ratu-tietokortti 1193-S. Väliseinät ja alakatot. Maaliskuu 2001. Rakennustieto Oy

Rakennusteollisuus. 2006. Ohje määrien laskentaan sijainneittain. [Viitattu 7.6.2013]. Saatavissa: <http://www.rakennusteollisuus.fi/Talonrakennus/Rakentamisen+kehitys/P%c3%a4%c3%a4ttyneet+hankkeet/Ohje+m%c3%a4%c3%a4rien+laskentaan/>

RYM Oy. 2014. PRE Results Report, Built Environment Process Re-Engineering. [Viitattu 27.8.2015] Saatavissa: <http://rymreport.com/pre/wp-content/uploads/2014/09/PRE-Results-Report.pdf>

RYM OY. 2016 a. [Viitattu 10.10.2016] Saatavissa: <http://rym.fi/fi/ari-ahonen-rym-oy-muutti-rakentamisen-toimialaa/>

RYM OY. 2016 b. [Viitattu 10.10.2016] Saatavissa: <http://rym.fi/fi/drumbeat-vie-tietomallinnusta-yha-laajempaan-kayttoon/>

Sacks, R., Treckmann, M. and Rozenfeld, O. 2009. Visualization of Work Flow to Support Lean Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 135, No. 12, December 1, 2009. pp. 1307-1315

S2010. Suppea ja laaja S2010- nimikkeistö. ST 70.12. Sähkötieto ry. [Viitattu 28.6.2017] Saatavissa: <http://www.sahkotieto.fi/uutiset.php?aid=16161>

Sacks, R., Radosavljevic, M. and Barak, R. 2010a. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in Construction* 19. pp. 641–655

Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A. and Owen, R. 2010. Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of construction engineering and management* / september 2010. pp. 968-980.

Sacks, R. 2011. Building Information Modeling Support for Production Control On Site. Seminaari esitys. Secovi Advanced BIM Seminar São Paulo, 26th July 2011. [Viitattu 18.9.2014]. Saatavissa: http://site.abece.com.br/download/pdf/Palestra_RafaelSacks.pdf

Senaatti Kiinteistöt. [Viitattu 28.8.2013]. Saatavissa: <http://www.senaatti.fi/document.asp?siteID=1&docID=1073>

Shen, Z. and Issa, R. R. A. 2010. Quantitative evaluation of the bim-assisted construction detailed cost estimates. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Vol. 15. pp. 234-257.

Salmela, P. 2013. BEC-luettelot tietomallista. *Betoni-lehti*. 1/2013. Suomen betonitieto Oy. s. 74-75. ISSN 1235-2136 (painettu). ISSN 2323-1262 (verkojulkaisu).

Sironen, A. 2014. Rakennesuunnittelijan tuottaman tietomallin BEC-määräluetteloiden luotettavuus betonielementtirakennuksen tarjousvaiheen määrälaskennassa. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Siponen, T., Malvalehto, J., Herrala, M ja Haapasalo, H. 2010. Kiinteistöjen arvoketjuanalyysi. Oulun Yliopisto, Tuotantotalouden osaston tutkimusraportteja 1 / 2010. s. 108. ISBN 978-951-42-9341-2.

Skanska. 2015. Arkkitehtimallin tietosisältö ja mallinnusohje. Ei julkaistu

Skanska. 2015a. Kohteiden kustannusarvioiden suoriterivien analyysi. Ei julkaistu.

Skitmore, M. 1990. Which estimating technique?. Paper presented at the The 11th International Cost Engineering Congress and 6th Association Francais des Ingenieurs et Techniciens D'estimation de Planification de Projets Annual Meeting, Paris, France. pp. 9.

Smith, P. 2014. BIM the 5D Project Cost Manager. 27th IPMA World Congress. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 119. pp. 475 – 484.

Staub-French, S. and Fischer, M. 2001. Industrial Case Study of Electronic Design, Cost, & Schedule Integration. CIFE Technical Report #122. Stanford University.

Staub-French, S., Fischer, M., Kunz, J., Paulson, B. and Ishii, K. 2002. An Ontology for Relating Features of Building Product Models with Construction Activities to Support Cost Estimating, CIFE Working Paper #70. Stanford University. pp. 125.

Solibri. [Viitattu 28.8.2013]. Saatavilla: <http://www.solibri.com/>

Sulankivi, K. 2004. Kokemuksia tuotemallin ja 4D:n hyödyntämisestä pilot-tihankkeissa. Proit pilottiraportti. Vtt rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. s.56.

Sulankivi, K. and Romo, I. 2005. Tuotemallipilotit 2005. Proit pilottiraportti. Vtt rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. s. 84.

Sulankivi, K., Mäkelä, T. ja Kiviniemi, M. 2009. Tietomalli ja työmaan turvallisuus. Tutkimusraportti, VTT. VTT-R-01003-09. s. 76. ISBN 978-951-38-7143-7.

Sylvester, K. E. and Dietrich, C. 2010. Evaluation of Building Information Modeling (BIM) Estimating Methods in Construction Education. East Carolina University Greenville, North Carolina. pp. 8. [Viitattu 29.4.2014] Saatavissa: <http://ascpro.ascweb.org/chair/paper/CEUE221002010.pdf>

Talo 80-ryhmä. 1982. Määrälaskentaohje Talo80 nimikkeistöjärjestelmän mukaan. Jyväskylä. K.J.Gummerus Oy. s. 148. ISBN 951-676-199-2.

Talo 80-ryhmä. 1984. Yleisseloste. 3. painos. Länsi-Savon kirjapaino. s. 120. ISBN 951-676-313-8.

Talo 70. 1977. Yleisseloste. Jyväskylä. K.J.Gummerus Oy. s. 82. ISBN 951-676-185-2.

Talo 90 -ryhmä. 1998. Tiedonsiirto hankesuunnittelussa. Gummerus Kirjapaino Oy. s. 55+liitteet. ISBN 951-682-490-0.

Talo 90 -ryhmä. 1994a. Määrälaskenta rakennustekniset työt. Tammer-Paino Oy. s. 88. ISBN 951-682-301-7.

Talo 90 -ryhmä. 1994b. Rakennuskustannusten laskentaohje rakennustekniset työt. Tammer-Paino Oy. s. 102. ISBN 951-682-302-5.

Talo 90 -ryhmä. 1994c. Yleisseloste. 2.painos. Tammer-Paino Oy. s. 48 + liitteet. ISBN 951-682-267-3.

Talo 2000. 2008. Yleisseloste. Tammer-Paino Oy. s. 127. ISBN 978-951-682-850-6.

Talvitie, U. 2006. Työmaan materiaalitoimitusten lyhyen aikavälin ohjausmenettely. Lisensiaattityö. Teknillinen Korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto.

Tekes. 2008. Sara Suuntana arvoverkottunut rakentaminen 2003–2007, Loppuraportti. Teknologiaohjelmaraportti 1/2008. Libris Oy. s. 45. ISBN 978-952-457-392-4.

Tezel, A., Koskela, L. and Tzortzopoulos, P. 2013. Visual management in industrial construction: a case study. Proceedings IGLC-21, July 2013, Fortaleza, Brazil. pp. 471-480

Tolonen, T. 2003. Rakennushankkeen riskien arviointi kustannusarviolaskennassa. Tampereen teknillinen yliopisto, Julkaisuja 419. ISBN 952-15-1007-2.

Toyota. [Viitattu 28.8.2013]. Saatavissa: http://www.toyota-global.com/company/vision_philosophy/toyota_production_system/

Valtioneuvosto. Hallitusohjelman toimeenpano. [Viitattu 28.10.2016] Saatavissa: <http://valtioneuvosto.fi/hallitusohjelman-toteutus/karkihankkeiden-toimintasuunnitelma>

Vera-tietoverkottunut rakennusprosessi ohjelman. 1997–2002. Tekes. [Viitattu 10.10.2016]. Saatavissa: <http://cic.vtt.fi/vera/suomi.htm>

Vuorela, K., Urpola, J. ja Kankainen, J. 1998. Johdatus rakentamistalouteen. Libella Painopalvelu Oy. s. 154. ISBN 952-91-0120-1.

Yin, R. K. 2009. Case Study Research. Design and Methods. Fourth Edition. Series: Applied Social Research Methods. Volume 5. SAGE Publications, London. pp. 217.

Yleiset tietomalli vaatimukset (YTV2012). 2012. RT-ohjekortit. Rakennustieto Oy

YSE, 1998. Rakennusurakan yleiset sopimusehdot. RT-10660. s. 19. Rakennustieto Oy

Wijayakumar, M. and Jayasena, H. S. 2013. Automation of bim quantity take-off to suit qs's Requirements . The Second World Construction Symposium 2013: Socio-Economic Sustainability in Construction 14 – 15 June 2013, Colombo, Sri Lanka. pp. 70-80.

Womack, J. P., Jones, D. T. and Roos, D. 1991. The machine that changed the world. Rawson Associates, New York. p. 323. ISBN 978-00-609-7417-6.

Womack, James P. and Jones, D. T. 2003. Lean Thinking. Simons & Schuster, Inc. pp. 397. ISBN 0-7432-4927-5.

Zhiliang, M., Wei, Z. and Zhang, X. 2013. Semi-automatic and specification compliant cost estimation for tendering of building projects based on IFC data of design model. Automation in Construction 30. pp. 126–135.

Liite 1: Empiria osuuden case-kohteiden yksityiskohtaiset tulokset

Seuraavissa taulukoissa esitetään määrätiedon tulokset tuotettuna tietomallilla, Ratu-kortin materiaalimäärä määrityksillä ja työmaan laskelman sekä tilauksen osalta. Taulukoissa esitettyjen lukuarvojen suure on kappale, jos suuretta ei ole mainittu.

Tulokset, pystyrangat

Seuraavissa taulukoissa esitetään määrätiedon tulokset pystyrankojen koon mukaan.

Case -kohde 1

	Tietomallin määrätieto	Ratu-kortin määrätieto	Työmaan laskelma	Työmaan tilaus
66 mm	336	375	298	312
95 mm	36	35	45	56

Case -kohde 2

	Tietomallin määrätieto	Ratu-kortin määrätieto	Työmaan laskelma	Työmaan tilaus
66 mm	257	292	275	272
95 mm	16	14	17	16

Case -kohde 3

	Tietomallin määrätieto	Ratu-kortin määrätieto	Työmaan laskelma	Työmaan tilaus
66 mm	414	447	359	411

Seuraavissa taulukoissa esitetään määrävertailua pystyrankojen osalta ja suhteutettuna ne kerroksessa olevien asuntojen määrään

Case -kohde 1

	Työmaan laskelma vrt. Tietomallin määrätieto			Työmaan laskelma vrt. Ratu-kortin määrätieto			Tietomallin määrätieto vrt. Ratu-kortin määrätieto		
	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto
- 66 mm ranka	-38	-13	-4	-77	-26	-9	-39	-12	-4
- 95 mm ranka	+ 9	+ 20	+ 1	+ 10	+ 22	+ 1	+ 1	+ 2	+ 0,1

Case -kohde 2

	Työmaan laskelma vrt. Tietomallin määrätieto			Työmaan laskelma vrt. Ratu-kortin määrätieto			Tietomallin määrätieto vrt. Ratu-kortin määrätieto		
	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto
- 66 mm ranka	+ 18	+ 7	+ 3	-17	-6	-2	-35	-14	-5
- 95 mm ranka	+ 1	+ 6	+ 0,1	+ 3	+ 18	+ 0,4	+ 2	+ 10	+ 0,3

Case -kohde 3

	Työmaan laskelma vrt. Tietomallin määrätieto			Työmaan laskelma vrt. Ratu-kortin määrätieto			Tietomallin määrätieto vrt. Ratu-kortin määrätieto		
	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto
- 66 mm ranka	-55	-15	-5	-88	-25	-7	-33	-8	-3

Tulokset, vaakarangat

Seuraavissa taulukoissa esitetään määrätiedon tulokset vaakakiskon koon mukaan.

Case -kohde 1

	Tietomallin määrätieto	Työmaan laskelma	Työmaan tilaus
66 mm	71	75	88
95 mm	7	12	16

Case -kohde 2

	Tietomallin määrätieto	Työmaan laskelma	Työmaan tilaus
66 mm	58	60	64
95 mm	4	6	8

Case -kohde 3

	Tietomallin määrätieto	Työmaan laskelma	Työmaan tilaus
66 mm	107	91	124

Seuraavissa taulukoissa esitetään määrävertailua vaakakiskojen osalta ja suhteutettuna ne kerroksessa olevien asuntojen määrään

Case -kohde 1

	Työmaan laskelma vrt. Tietomallin määrätieto			Työmaan tilaus vrt. Tietomallin määrätieto		
	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto
- 66 mm kisko	+ 4	+ 5	+ 0,4	+ 17	+ 19	+ 2
- 95 mm kisko	+ 5	+ 42	+ 0,6	+ 9	+ 56	+ 1

Case -kohde 2

	Työmaan laskelma vrt. Tietomallin määrätieto			Työmaan tilaus vrt. Tietomallin määrätieto		
	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto
- 66 mm kisko	+ 2	+ 3	+ 0,3	+ 6	+ 9	+ 0,9
- 95 mm kisko	+ 2	+ 33	+ 0,3	+ 4	+ 50	+ 0,6

Case -kohde 3

	Työmaan laskelma vrt. Tietomallin määrätieto			Työmaan tilaus vrt. Tietomallin määrätieto		
	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto
- 66 mm kisko	-16	-18	-1	+ 17	+ 14	+ 1

Tulokset, levymateriaalit

Seuraavissa taulukoissa esitetään määrätiedon tulokset kipsi- ja märkätilalevyjen määristä.

Case -kohde 1

	Tietomallin määrätieto	Ratu-kortin määrätieto	Työmaan laskelma	Työmaan tilaus
Kipsilevy	146	144	146	189
Märkätilalevy	60	58	51	60

Case -kohde 2

	Tietomallin määrätieto	Ratu-kortin määrätieto	Työmaan laskelma	Työmaan tilaus
Kipsilevy	124	119	126	126
Märkätilalevy	45	44	41	41

Case -kohde 3

	Tietomallin määrätieto	Ratu-kortin määrätieto	Työmaan laskelma	Työmaan tilaus
Kipsilevy	268	259	252	264

Seuraavissa taulukoissa esitetään määrävertailua levyjen osalta ja suhteutettuna ne kerroksessa olevien asuntojen määrään

Case -kohde 1

	Työmaan laskelma vrt. Tietomallin määrätieto			Työmaan laskelma vrt. Ratu-kortin määrätieto			Tietomallin määrätieto vrt. Ratu-kortin määrätieto		
	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto
- kipsilevy	0	0	0	+ 2	+ 2	+ 0,2	+ 2	+ 2	+ 0,2
- märkätilalevy	-9	-18	-1	-7	-14	-0,8	+ 2	+ 3	+ 0,2

Case -kohde 2

	Työmaan laskelma vrt. Tietomallin määrätieto			Työmaan laskelma vrt. Ratu-kortin määrätieto			Tietomallin määrätieto vrt. Ratu-kortin määrätieto		
	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto
- kipsilevy	+ 2	+ 2	+ 0,3	+ 7	+ 6	+ 1	+ 5	+ 4	+ 0,7
- märkätilalevy	-4	-10	-0,6	-3	-7	-0,4	+ 1	+ 1	+ 0,1

Case -kohde 3

	Työmaan laskelma vrt. Tietomallin määrätieto			Työmaan laskelma vrt. Ratu-kortin määrätieto			Tietomallin määrätieto vrt. Ratu-kortin määrätieto		
	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto	kpl	%	ka. kpl/asunto
- kipsilevy	-16	-6	-1	-7	-3	-0,6	+ 9	+ 3	+ 0,8

Liite 2: Ehdotus arkkitehdin tietomalliin yleisesti nimettävistä tietosisällöistä (asuntotuotannossa)

Liitteessä on esitetty ehdotukset tietosisällön vakioiduista tunnisteista asuntokohteiden rakennetyypin nimeämisestä ja huonetilojen lyhenteistä arkkitehdin tietomalliin. Taulukossa on esitetty myös lähde, jos vastaavan kaltainen asia on määritelty jossakin dokumentissa tai ohjeistuksessa.

Rakennetyypit

Ehdotus tietosisällön vakiodusta tunnisteesta: rakennetyyppi	Lähteessä esitetty rakennetyypin tunniste	Lähde	Rakennetyyppi	Huom!
Alapohjat				
AP01	RT AP 415	RT 83-11009	Maanvarainen laatta	
AP02	RT AP 402	RT 83-11009	Tuulettuva ontelolaatta	
	AP1	Elementtisuunnittelu	Tuulettuva ontelolaatta	
	RT 83-11009	RT 83-11009	Tuulettuva ontelolaatta, pinalattiolla	
	AP4	Elementtisuunnittelu	Tuulettuva ontelolaatta, pinalattiolla	
AP03			Autohallin lattia	
AP04	AP211	Pro it-hanke	VSS:n alapohja	
Välipohja				
VP01	RT VP 409	RT 83-10902	Paikallavalettu välipohja	
VP02	RT VP 402	RT 83-10902	Ontelolaatta välipohja	
VP03	VP212	Pro it-hanke	S1 luokan VSS:n yp-laatta	
Yläpohja				
YP1	RT YP 404	RT 83-10902	Tasakatto	
	YP258	Pro it-hanke	Tasakatto, ontelolaatta	
	YP1/ YP3	Elementtisuunnittelu	Tasakatto, ontelolaatta	
YP2	RT YP 405	RT 83-10902	Vinokaton eristerakenteet	

Ehdotus tietosisällön vakiodusta tunnistuksesta: rakennetyyppi	Lähteessä esitetty rakennetyypin tunnistus	Lähde	Rakennetyyppi	Huom!
Väliseinät				
VS01	RT VS 401	RT 82-10903	Kantava betoni-seinä	
VS01b			Hissikuilun kanta-va betoniseinä	Kun tiedetään jo suunnitteluvaiheessa, että toteutetaan hissikuilu-elementtinä
VS02			Betoninen liikun-tasauma seinä	
VS03			S1 luokan VSS:n seinä sisätilaa vasten	
VS04	RT VS 503	RT 82-10903	Muurattu tiiliseinä	
	VS432	Pro it-hanke	Muurattu tiiliseinä	
VS05	RT VS 509	RT 82-10903	Harkkoseinä, märkätila	
	VS438	Pro it-hanke	Harkkoseinä, märkätila	
VS06	RT VS 603	RT 82-10903	Teräsrankasei-nä, ei-kantava, asuintila	kuivantilan perus-seinät
	VS334	Pro it-hanke	Teräsrankasei-nä, ei-kantava, asuintila	
VS06_K			Teräsrankasei-nä, ei-kantava, asuintila	Keittiön kiintoka-lusteiden takana oleva seinä, jossa kalustevälinlaa-toitus
VS07	RT VS 602	RT 82-10903	Huoneistojen sisäinen seinä, pesuhuone/ asuinhuone	
VS08	RT VS 707	RT 82-10903	Huoneistojen sisäinen seinä, pesuhuone/ sauna	
VS08_b			Huoneistojen sisäinen seinä, wc/ sauna	
VS09			Huoneistojen sisäinen seinä, sauna/asuin-huone	
VS10			Huoneistojen sisäinen seinä, erillisswc-tila/ asuintila	
VS11			Huoneistojen sisäinen seinä, kahden kosteanti-lan välinen seinä	
VS12			KH-tilaelementin lisälevytys	

Ehdotus tietosisällön vakiodusta tunnistusta: rakennetyyppi	Lähteessä esitetty rakennetyypin tunnistus	Lähde	Rakennetyyppi	Huom!
Väliseinät				
VS13	RT VS 605	RT 82-10903	Huoneistojen välinen tupla runko seinä	
VS14			Ryhmäkeskus, kuivatilan seinä	
VS15			Ryhmäkeskus, märkätilan seinä	
L	L	BEC2012 listauksissa käytettävä elementtitunnus; http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/elementtitunnukset	porrashuoneen laatat	
lepotaso			portaaseen liittyvä lepotoso-laatta, jos mallinnuksessa käytetään erillistä laattaa-objektia	
Alakatot				
AK01	SKR512	Pro it-hanke	Saunan katto, asuintilat	
AK02	SKR511	Pro it-hanke	Saunan katto, yhteistilat	
AK03			Kh-katto, asuintilat	
AK04			Kh-katto, yhteistilat	
AK05			Kipsilevyraakenainen katto, asuintila	
Parvekkeet				
M	M	BEC2012 listauksissa käytettävä elementtitunnus; http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/elementtitunnukset	Parvekepieli, betoni	
CL	CL	BEC2012 listauksissa käytettävä elementtitunnus; http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/elementtitunnukset	Parvekelaatta	

Ehdotus tietosisällön vakiodusta tunnistuksesta: rakennetyyppi	Lähteessä esitetty rakennustyyppin tunnistus	Lähde	Rakennustyyppi	Huom!
Parvekkeet				
CX	CX	BEC2012 listauksissa käytettävä elementtitunnus; http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/ runkorakenteet/elementtitunnukset	Parvekkeen kattolaatta	
CP	CP	BEC2012 listauksissa käytettävä elementtitunnus	Parvekepilari	
H	H	BEC2012 listauksissa käytettävä elementtitunnus; http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/ runkorakenteet/elementtitunnukset	Talotekniikka hormi, elementti rakenteinen	

Tilat

Ehdotus tietosisällön vakiodusta tunnistuksesta: Tilan lyhenne	Tilan nimi	Lähde	Huom!
ALK	alkovi		
AS	asunto		
AULA	aula		
AUTOH.	autohalli		
AUTOK.	autokatos		
AP	autopaiska		
AUTOT.	autotalli		
ET	eteinen	RT-15-10635	
HISSI	hissi		
IV-KH	ilmanvaihtokonehuone		
INVA-WC	inva-wc		
IRT.VAR	irtaimistovarasto		
JÄTE	jätehuone tai -katos		
K	keittiö	RT-15-10635	
KT	keittotila	RT-15-10635	
KERHOH.	kerhoahuone		
KHH	kodinhuone	RT-15-10635	
KUI	kuivaushuone	RT-15-10635	
KH	kylpyhuone	RT-15-10635	

Ehdotus tietosisällön vakiodusta tunnistetaan: Tilan lyhenne	Tilan nimi	Lähde	Huom!
LVV	lastenvaunuvarasto		
LIKETILA	liiketila		
LJH	lämmänjakohuone		
MH	makuuhuone	RT-15-10635	
OH	olohuone	RT-15-10635	
PARV.	parveke		
LASITETTU PARV.	parveke, lasitettu		
PESULA	pesula		
PORRAS	porrashuone		
RT	ruokailutila tai -huone	RT-15-10635	
S	sauna	RT-15-10635	Asuntosaanat
SÄH	sähkölaitetila		
SPK	sähköpääkeskus		
TAKKAH.	takkahuone		
TALOV	talovarasto		
TEKN.	tekniikkakomero tai tekninen tila		
TELE	telelaitetila		
TER.	terassi		
LASITETTU TER.	terassi, lasitettu		
T	tila alle 7 m ²		
TK	tuulikaappi	RT-15-10635	
UVV	ulkoiluvälinevarasto		
VH	vaatehuone		
AUKKO	valoaukko		
VAR	varasto	RT-15-10635	
VSS	väestönsuoja		
WC	wc		
LÖ	löylyhuone	RT-15-10635	Yhteistilan sauna
PU	pukuhuone	RT-15-10635	
PE	pesuhuone	RT-15-10635	Yhteistilan pesuhuone

Tampereen teknillinen yliopisto
PL 527
33101 Tampere

Tampere University of Technology
P.O.B. 527
FI-33101 Tampere, Finland

ISBN 978-952-15-4008-0
ISSN 1459-2045