



# Tietomallipohjaisen laskentaprosessin luominen

Taneli Saali

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2021

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma  
Kiinteistönpitoteknikka ja korjausrakentaminen

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma  
Kiinteistönpitotekniikka ja korjausrakentaminen

SAALI, TANELI:

Tietomallipohjaisen laskentaprosessin luominen

Opinnäytetyö 55 sivua

Toukokuu 2021

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda uusi, tietomalleihin perustuva, laskentaprosessi Pohjola Rakennus Oy Suomen käyttöön. Työ on osa suurempaa kokonaisuutta, jossa yritys siirtyy kohti tietomallipohjaista laskentaa.

Työssä esitellään laajasti tietomallien ja laskennan toimintaa ja niihin liittyvää tutkimusta. Siinä käydään läpi yrityksen nykyistä laskentaprosessia ja verrataan sitä tutkimuksissa esitettyihin malleihin laskennasta. Lopputuloksena on prosessikuvaus siitä, mitä tietomalleihin pohjautuva, suurelta osin automatisoitu, laskentaprosessi pitää sisällään.

Tärkeäksi tekijäksi tehokkaassa ja onnistuneessa tietomalleihin pohjaavassa laskennassa löydettiin työntekijöiden syvälinen ymmärrys sekä laskennasta että tietomalleista.

Johdonmukainen suunnittelun toteuttaminen tietomallivaatimusten mukaisesti osoittautui laskennan perusedellytyksenä. Tämän lisäksi tietomallien virheettömyyden löydettiin auttavan automatisoidun määrälaskennan toteuttamista.

Vakiosisältöisten rakenteiden ja tuotteiden käytön todettiin mahdollistavan automaattisen hinnoittelun rakennekirjastojen avulla.

Lopuksi esitettiin vielä tarve uudentylaiselle tarkastusprosessille määrälaskennan osalta. Tämä prosessi pohjautuu jatkuvasti päivitettävään referenssikirjastoon.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Construction Engineering  
Facility Engineering and Renovation

SAALI, TANELI:  
Creating Building Information Model Based Estimation Process

Bachelor's thesis 55 pages  
May 2021

---

In this thesis, a new process was created for Pohjola Rakennus Oy Suomi for estimating building costs. This process was created using the building information models (BIM) as a foundation. The work is part of a larger development project aiming on adapting the building information models in the company's estimation work.

In this thesis, an extensive review is given on the literature on BIM and estimation work in general. The current estimation process is presented and compared to the process models presented in the literature. As the final result, a process flowchart on the contents of the BIM-based, highly automatized estimation process is presented.

The most important factors in efficient and successful estimation process using BIM is based on the employees' in-depth know-how on both BIM and estimation work, consistency in architecture design based on BIM requirements, automatized quantity take offs (QTO) from accurate building information models, use of standardized products on those parts that are not presented in the model, using standardized structures and estimating prices based on the standardized structure library, and inspecting quantity take offs based on the database build using proper reference projects.

---

Key words: building information model, BIM, estimation, construction estimation, construction estimation processes, QTO

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
1.1	Tutkimuksen tausta .....	7
1.2	Tutkimuksen tavoitteet .....	7
1.3	Tutkimuksen rajaukset .....	7
1.4	Tutkimuksen metodit ja eteneminen.....	8
2	TIETOMALLIT LASKENNASSA .....	9
2.1	Laskenta .....	9
2.1.1	Asiakirjoihin perehtyminen.....	10
2.1.2	Laskentamenetelmän valinta.....	11
2.1.3	Laskentatyön organisointi.....	11
2.1.4	Määrälaskenta.....	12
2.1.5	Hintatiedustelut.....	13
2.1.6	Hinnoittelu .....	13
2.1.7	Laskentavirheet ja riskit.....	15
2.1.8	Jälkilaskenta.....	16
2.2	Tietomallit.....	17
2.2.1	Tietomallien historia.....	17
2.2.2	Tietomallien hyödyt ja haasteet .....	19
2.2.3	Yleiset tietomallivaatimukset (YTV) .....	21
2.3	Tietomallit laskennassa .....	22
3	NYKYISEN LASKENTAPROSESSIN KUVAUS .....	26
3.1	Nykyinen laskentaprosessi.....	26
3.1.1	Suunnittelun ohjaus ja laskennan kehitys.....	26
3.1.2	Alustavat hinta-arviot.....	27
3.1.3	Laskennan aloitusvaihe .....	27
3.1.4	Määrälaskenta, kustannusarviot ja tarjouspyynnöt.....	28
3.1.5	Laskennan lopetusvaihe.....	28
3.1.6	Jälkilaskenta.....	29
3.1.7	Yleisesti laskentaprosessin vaiheista .....	29
3.2	Mihin kohtiin tietomalleilla voidaan vaikuttaa?.....	29
4	TIETOMALLEIHIN POHJAUTUVAN LASKENTAPROSESIN LUOMINEN .....	31
4.1	Uuden laskentaprosessin suunnittelu.....	31
4.1.1	Suunnittelun ohjaus optimaalisessa tilanteessa .....	32
4.1.2	Määrälaskenta optimaalisessa tilanteessa .....	33
4.1.3	Hinnoittelu optimaalisessa tilanteessa.....	34

4.1.4	Laadunvarmistus .....	35
4.1.5	Tarkastuspisteet laskennan aikana .....	36
4.2	Uuden prosessin suunnittelu tarkemmalla tasolla .....	37
4.2.1	Määrien laskenta tietomallista .....	37
4.2.2	Määrien automaattinen laskenta.....	39
4.2.3	Sisäinen vai ulkoinen prosessi?.....	41
4.2.4	Suunnittelun ohjauksen rooli .....	42
4.2.5	Uuden prosessin jalkauttaminen käytäntöön .....	43
4.2.6	Prosessin jalkauttamisen analysointi .....	44
5	TIETOMALLEIHIN POHJAUTUVA LASKENTAPROSESSI .....	45
5.1.1	Suunnittelusta tietomalli laskennan käyttöön.....	45
5.1.2	Tietomallin tarkastaminen ja korjaus .....	46
5.1.3	Valittujen määrien automatisoitu laskenta tietomallista .....	46
5.1.4	Jäljelle jäävien määrien laskenta vakioratkaisuiden avulla .....	46
5.1.5	Määrien tarkastusprosessi referenssikohteista.....	47
5.1.6	Automattinen hinnoittelu käyttäen rakennekirjastoa .....	47
5.1.7	Tarjouskyselyt ja hintavertailut.....	48
5.1.8	Laskennan ja suunnittelun jatkuva kehittäminen .....	48
6	POHDINTA .....	50
7	YHTEENVETO .....	53
	LÄHTEET.....	54

**LYHENTEET JA TERMIT**

2D	Kaksiulotteinen.
3D	Kolmiulotteinen.
4D	Tietomallien käyttämiseen tehty kolmiulotteinen malli, johon on lisätty aikakomponentti.
5D	Tietomallien käyttämiseen tehty kolmiulotteinen malli, johon on lisätty aika ja kustannustiet komponentit.
BIM	Rakennuksen tietomalli (Building Information Model). 3D-malli rakennuksesta, joka sisältää piirustuksien lisäksi informaatiota esitettyjen rakenteiden ja objektien tarkemmasta sisällöstä.
IFC	Standardoitu tietomuoto tietomalleille (Industry Foundation Classes).
Lean	Japanissa kehitetty tuotannon järjestelytapa, jossa pyritään pienentämään hukkaa ja jatkuvasti kehittämään prosesseja.
Littera	Tarkkailunimike. Katteoria johon rakentamisen sisältö on jaoteltuna Talo 80, 90 ja 2000 nimikkeistöissä.
Natiivimalli	Suunnitteluohjelman omaan tietomuotoon tallennettu tietomalli.
Tietomalli	Rakennelman digitaalisessa muodossa oleva kolmiulotteinen esittäminen ominaistietoineen.
Tietomallikoordinaattori	Henkilö, joka valvoo ja ohjaa tietomallien suunnittelua ja eri suunnittelualojen mallien yhteensovittamista.
Toteutusmalli	Lopullinen tietomalli, joka vastaa toteutettavaa rakennusta.
Yhdistelmämalli	Eri suunnittelualojen kokoomamalli, josta voidaan tarkastella suunnitelmien yhteensopivuutta.
YTV 2012	Yleiset tietomallivaatimukset 2012.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa Pohjola Rakennus Oy Suomelle uusi tietomalleihin pohjautuva laskentaprosessi. Työ on osa Pohjola Rakennus Oy Suomen laskennan kolmatta kehitysohjelmaa, joka painottuu tietomallien laajempaan käyttöönottoon. Ohjelmaan kuuluu tämän työn lisäksi ohjelmistojen hankintaa ja laajaa käyttäjien koulutusta ohjelmistojen käyttöön ja tietomalleihin yleisesti.

Kehityshankkeen aikana ilmeni tarve tarkastella koko laskennan prosessia uudestaan tietomallien tarjoamien mahdollisuuksien kautta.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen päätavoitteena on luoda optimaalinen tietomalleihin pohjaava laskentaprosessi Pohjola Rakennus Oy Suomen tarpeisiin. Pohjimmaisena tavoitteena on tehostaa laskennan nopeutta, parantaa laskennan tarkkuutta, sekä pysyä teknisessä kehityksessä mukana.

Tutkimus pyrkii saavuttamaan halutut tavoitteet antamalla päämäärän mitä kohti lähteä etenemään (optimaalinen laskentaprosessi), sekä askelmerkit sinne pääsemiseen pahimmat sudenkuopat välttäen.

## 1.3 Tutkimuksen rajaukset

Tutkittava aihe rajataan koskemaan pelkästään yrityksen tärkeintä liiketoimintaa: omaa kerrostalotuotantoa. Työ ei käsittele autohalleja, pientalokohteita tai toimistorakennuksia.

Tavoitteena on luoda laskentaprosessi sellaiseen tuotantoon, jossa yritys itse hallitsee suunnittelunohjausta. Tällä on suuri merkitys suunnitelmien laadun ja yhtenäisyyden kannalta, eikä samaa laskentaprosessia voida suoraan soveltaa kilpailu-urakointiin, jossa suunnitelmien tietosisällöissä on suuria eroja.

Tutkimuksessa on käsitelty pelkästään rakennusteknisten mallien ja työvaiheiden tarkastelu. Työ ei perehdy tarkemmin talotekniikan töihin tai niiden tietomalleihin, eikä ota tarkemmin kantaa siihen prosessiin, joka liittyy näiden tekemiseen tai näistä malleista laskemiseen.

#### **1.4 Tutkimuksen metodit ja eteneminen**

Tutkimusmetodina käytetään case- eli tapaustutkimusta. Tarkoituksena on tutkia aihetta monelta eri kannalta ja muodostaa laajasti hankitusta tiedosta tiivistetty ratkaisu työn pääkysymykseen optimaalisesta tietomalleihin pohjaavasta laskentaprosessista.

Pääasiallinen tutkimustapa on lähdekirjallisuuteen paneutuminen. Tätä tuetaan testaamalla tietomallipohjaista laskentaa käytännössä. Tämän lisäksi analysoidaan nykyinen käytössä oleva laskentaprosessi ja tutkitaan mihin kohtiin siinä tietomalleilla voitaisiin vaikuttaa.

Loppututkimus etenee seuraavasti. Kappale kaksi esittelee laskentaan ja tietomalleihin liittyvää kirjallisuutta ja rakentaa teoreettisen pohjan, jolla työtä lähdetään lähestymään. Kappale kolme esittelee yrityksen nykyisen laskentaprosessin karkealla tasolla ja esittää pääkohdat, joihin tietomallipohjaisella laskennalla voidaan vaikuttaa. Kappale neljä käsittelee uuden laskentaprosessin kehittämistä yksityiskohtaisella tasolla. Kappale viisi esittää uuden laskentaprosessin tiivistetysti. Kappaleessa kuusi otetaan kantaa työn aikana tullessiin yksityiskohtiin ja pohditaan työn jalkauttamista käytäntöön. Viimeisenä, kappale seitsemän vetää tiiviisti yhteen koko työn.



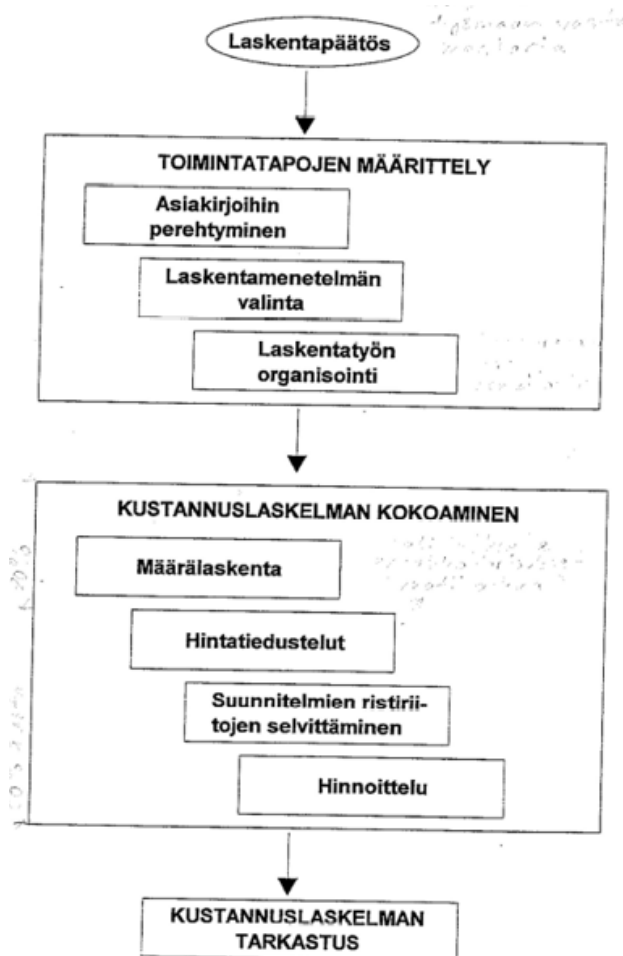
## 2 TIETOMALLIT LASKENNASSA

Tämä kappale esittelee lyhyesti mitä tarkoitetaan kustannuslaskennalla, tietomalleilla, ja minkälainen rooli tietomalleilla on laskentaprosessissa.

### 2.1 Laskenta

Laskenta on rakennusliikkeen prosessi, joka aloitetaan, kun ilmenee tarve saada avio jonkin tulevan rakennushankkeen kustannuksista. Tarve voi ilmetä saadun tarjouspyynnön pohjalta tai sisäisesti oman tuotannon käynnistämisen pohjalta. (Enkovaara, Haveri & Jeskanen 1998, 37.) Tässä työssä käsittelyssä on pelkästään jälkimmäinen tapaus eli oman tuotannon käynnistäminen.

Alla oleva taulukko kuvaa teoreettisella tasolla sitä, mitä normaali laskentaprosessi pitää sisällään.



KUVIO 1. Kustannuslaskennan vaiheet (Enkovaara, Haveri & Jeskanen, 1998, 38)

Laskentatyö lähtee liikkeelle laskentapäätöksestä. Tässä työssä ei oteta tarkemmin kantaa siihen, millä kriteereillä laskentapäätös tehdään vaan työ aloittaa tarkastelunsa positiivisen laskentapäätöksen saamisesta.

### **2.1.1 Asiakirjoihin perehtyminen**

Toimintatapojen määrittely alkaa asiakirjoihin perehtymisellä. Tämän osa-alueen tarkoituksena on saada kokonaiskuva hankkeesta. Perehtyminen aineistoon huolellisesti antaa jo tässä vaiheessa kuvan suunnitelmien valmiudesta, sekä niistä asioista, jotka vaativat lisäselvityksiä. (Enkovaara, Haveri & Jeskanen 1998, 37.)

Perinteisellä tavalla 2D-kuvista suoritettavassa laskennassa yksi toimivaksi havaittu prosessi asiakirjoihin tutustumiseen on esitetty alla:

1. Tutustutaan mahdolliseen tarjouspyyntöön ja urakkaohjelmaan.
2. Urakkaohjelma luetaan läpi tehden muistiinpanoja asioista, jotka voivat olla kustannuslaskennan kannalta tärkeitä ja tarvitsevat mahdollisia lisäselvityksiä.
3. Kaikki piirustukset käydään läpi ja leimataan ”laskentapiirustuksiksi” ja verrataan tätä piirustusluetteloon. Suositeltava piirustusten läpikäymisjärjestys on: rakennuspiirustukset, rakennepiirustukset, erikoispiirustukset.
4. Rakennusselitykset ja työselitykset käydään läpi, jotta kohteen laatutaso selviää merkiten ylös hankalat, kalliit ja poikkeukselliset työtä.

(Enkovaara, Haveri & Jeskanen 1998, 37.)

Asiakirjoihin perehtyminen on yksi niistä asioista, joihin tietomalleihin pohjautuvalla laskentaprosessilla voidaan vaikuttaa merkittävästi. Toisin kuin korjausrakentamisessa, uudistuotannossa kohteeseen ei pystytä etukäteen tutustua. Tietomallit tarjoavat tähän kuitenkin uudenlaisen mahdollisuuden, kun kohdetta voidaan tarkastella 3D-maailmassa.

### **2.1.2 Laskentamenetelmän valinta**

Toisena kohtana toimintatapojen määrittely pitää sisällään laskentamenetelmän valinnan. Yleisimmin käytettyjä kustannuslaskentamenetelmiä ovat suoritelaskenta, rakenneosalaskenta, tuoteosalaskelma ja tilalaskelma.

Suoritelaskennassa kohde jaotellaan nimensä mukaisesti suoritteiksi. Näitä voivat olla mm. väliseinien teko, julkisivumuuraukset, laatoitustyöt jne. Nämä suoritukset jaetaan työn ja materiaalihankintojen mukaan. Kaikista näistä suoritteista lasketaan määrät ja niistä muodostetaan määräluettelo. Hinnoittelu tapahtuu tämän jälkeen panosten (työ, materiaalit, alihankinta yms.) hinnoittelun mukaan. Suoritelaskenta soveltuu käytettäväksi yleensä kohteisiin, joissa suunnitelmat ovat valmiusasteeltaan korkeat. (Enkovaara, Haveri & Jeskanen 1998, 52-61.)

Rakennusosalaskennassa määrät ovat eriteltynä rakennusosina. Rakennusosio voivat olla ulkoseinät, välipohjat, yläpohjat yms. Rakennusosalaskentaa käytetään usein enemmän luonnosvaiheisessa suunnittelutilanteessa olevien kohteiden arviointiin. (Enkovaara, Haveri & Jeskanen 1998, 37.)

Tuoteosalaskentaa ja tilalaskentaa käytetään usein suunnitteluvaiheessa. Näitä ei tarkemmin käsitellä tässä työssä, sillä työ ei ota syvällisemmin kantaa suunnitteluohjaukseen. Tutkimus tulee painottumaan nykyisin yrityksellä käytössä olevan suoriteosalaskennan ja työn aikana esitetyn tietomalleihin pohjaavan rakennusosalaskennan yhdistämiseen.

### **2.1.3 Laskentatyön organisointi**

Kolmantena osiona toimintatapojen määrittelyn alla on laskentatyön organisointi. Työn organisointi hoituu yleensä laskentakokouksessa. Kokoukseen osallistuu henkilöstöä laajasti yrityksen eri osa-alueilta, laskennasta, hankinnasta ja työmailta. Kokouksessa on tarkoituksena jakaa vastuu mm. määrälaskennasta, hinnoitteluista, hintakyselyistä, työnsuunnittelusta jne. (Enkovaara,

Haveri & Jeskanen 1998, 37-39.)

Tärkeimmät tehtävät ovat

1. Hintatiedustelupakettien tekeminen
2. Kohteen mahdolliset jaot osakohteisiin
3. Määrälaskennan organisoiminen
4. Alustava työsuunnittelu
5. Hinnoittelu
6. Panosten mitoitukset
7. Suunnitelmien ristiriitaisuuksien ja puutteellisuuksien selvittäminen
8. Laskelman tarkastus

(Enkovaara, Haveri & Jeskanen 1998, 37-39.)

Tietomallit voivat vaikuttaa tässä osiossa useampaankin kohtaan. Ensimmäiseksi, tietomalleja voidaan käyttää laskentakokouksessa kohteen esittelemiseen ja tutkimiseen. Toiseksi, tietomalleja voidaan käyttää apuna alustavassa työsuunnittelussa. Kolmanneksi, tietomallit voivat merkittävästi vaikuttaa siihen, miten määrälaskenta kannattaisi organisoida. Neljänneksi, tietomallit voivat mahdollistaa parannuksia kohteen hinnoitteluun.

Tässä työssä tullaan erityisesti keskittymään tietomallien hyötyyn laskennan kahden pääprosessin osalta: määrälaskennan ja hinnoittelun.

#### **2.1.4 Määrälaskenta**

Määrälaskennan lopputuotteena on määräluettelo. Määrälaskenta voidaan jakaa laskenta-asiakirjoihin tutustumiseen, tämän sisällön erittely määräluetteloksi käyttäen mittaussääntöjä ja toimivia mittausrutiineja, ja lopuksi määrien laskenta mittauksien perusteella. (Enkovaara, Haveri & Jeskanen 1998, 39-40; Lehtonen 2017, 9–10.)

Perinteisesti mittaukset on tehty laskentakuvista, joko paperisten tai sähköisten kuvien pohjalta. Tässä työssä tarkastellaan erityisesti määrälaskennan muutoksia siirryttäessä tietomallipohjaiseen laskentaan. Tällöin määrätietoja voidaan saada kuvista mittaamisen lisäksi myöskin suoraan tietomallista.

Määrälaskennassa on erityisen tärkeää, että laskenta on tarkkaa ja johdonmukaista. Kaikki asiat tulevat huomioita tasan yhden kerran ilman unohduksia tai päällekkäisyyksiä. Määrälaskennan nimikkeet ja erittelyt on oltava yksiselitteisiä ja selkeitä. Erityisesti silloin, kun määrälaskennan ja hinnoittelun hoitaa eri henkilö. (Enkovaara, Haveri & Jeskanen 1998, 39-40.)

Määrälaskenta voidaan suorittaa joko sisäisenä prosessina tai ostaa se ulkopuolisilta määrälaskentatoimistoilta. Pohjola Rakennuksen nykyinen toimintatapa on ostaa määrälaskenta pääsääntöisesti ulkopuolelta ja tämä otetaan työssä huomioon tarkasteltaessa määrälaskentaa osana optimaalista laskentaprosessia.

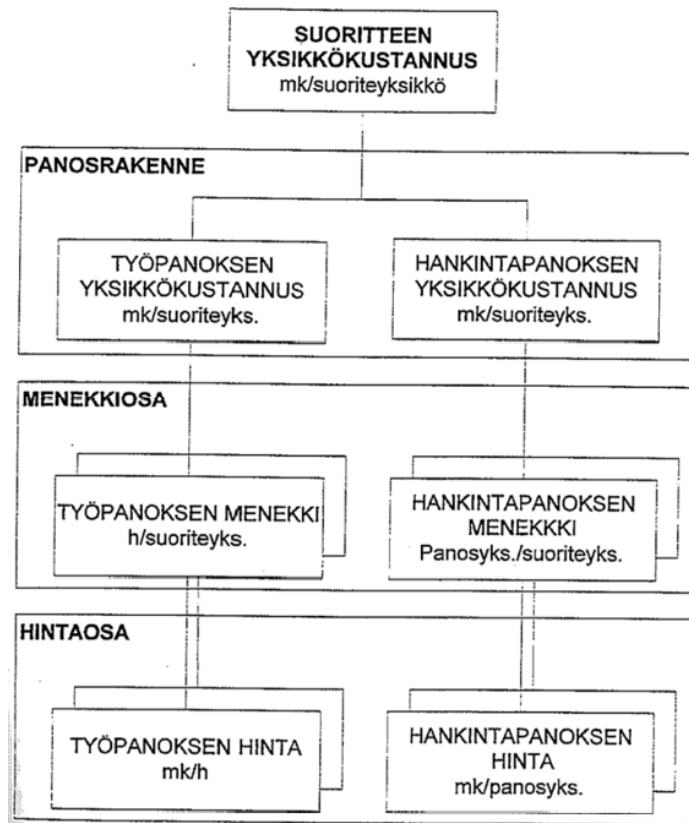
Määrälaskennassa laskenta suoritetaan ja raportoidaan määräluetteloon teoreettisena M2-menekkinä, jossa ei ole huomioitu hukkia (Enkovaara, Haveri & Jeskanen 1998, 39-40). Tämä määrä korjataan vastaamaan todellista toteutuvaa määrää myöhemmin hinnoitteluosiossa.

### **2.1.5 Hintatiedustelut**

Tarjouspalaverissa päätetään miltä osin projektista lähdetään suorittamaan hintatiedusteluja jo laskentavaiheessa. Samassa yhteydessä tulee selvittää urakkarajat, joiden mukaan tarjouksia lähdetään pyytämään. (Enkovaara, Haveri & Jeskanen 1998, 39-40.)

### **2.1.6 Hinnoittelu**

Hinnoittelussa pyritään muodostamaan koko kohteelle arvio sen omakustannustoteutushinnasta. Jokaisen suoritteen hinnoittelussa pyritään määrittämään sen työn, materiaalin ja alihankinnan kustannukset alla olevan taulukon mukaisesti (taulukossa ilmoitettu markka on nykyisin korvaantunut eurolla):



KUVIO 2. Suoritteiden hinnoitteluperuste (Enkovaara, Haveri & Jeskanen. 1998, 61)

Hinnoittelussa tärkeää on tuntee käytetyt työmenetelmät jokaiselle rakennusosalle, jotta kaikki työvaiheet osataan ottaa oikealla tavalla huomioon. Hinnat voivat perustua sisäiseen tietoon edellisistä projekteista, vuosihinnastoista, julkisista materiaaleista tai hintakyselyiden perusteella saaduista hintatiedoista. (Lindholm 2009, 26–28.)

Työmenekkejä arvioitaessa, tulee hinnoittelussa käyttää T4-aikoja alla olevan taulukon mukaisesti:

Perusaika T1	Menetelmän lisäaika TL1	Työvuoron lisäaika TL2 Alle 1,0 tunnin keskeytykset	Pelivarat TL3-aika
Menetelmäaika T2			
Tehollinen aika (työvuoroaika) T3		Pienet erilliset työvaiheet (T3p) ja työehtosopi- muksen mu- kaiset taudit	
Kokonaisaika (työnvaihe-aika) T4			

KUVIO 3. Työmenekit. Kivimäki, ym. 2019

Työaikaan tulee siis sisällyttää kaikki tauot ja niitä pidemmätkin viivästykset, jotta saadaan selville koko työn alusta loppuun saattamiseen tarvittava kokonaisaika.

Materiaalien osalta hintatietoja voidaan saada vuosisopimuksista, hintapyyntöjen mukaisista tarjouksista, sisäisistä tietolähteistä perustuen edellisiin kohteisiin tai kokemusperäisestä arvioinnista. Materiaalien osalta hinnoittelussa tulee käyttää M5-menekkiä alla olevan kuvan mukaisesti. (Lindholm 2009, 26–28.)

Teoreettinen menekki M2	Menetelmällisiä ML2	Työnvaihelisiä ML3	Työmaalisia ML4
Menetelmämenekki M3			
Työnvaihemenekki M4			
Työmaamenekki M5			

KUVIO 4. Materiaalien menekit. Kivimäki, ym. 2019

Materiaaleista hinnoittelussa käytetty määrä tulee siis sisältää kaikki hukat, joita rakentamisen eri vaiheissa esiintyy.

### 2.1.7 Laskentavirheet ja riskit

Kun laskennan muut vaiheet ovat suoritettuja on ennen tarjouksen jättämistä tai laskennan siirtämistä tavoitearvioksi otettava kantaa laskennan tarkkuuteen ja urakkaan liittyviin riskeihin. Pohjola Rakennuksella tämä hoituu osana laskentaprosessia olevassa tarjouspalaverissa.

Kustannuslaskelmat saattavat sisältää laskentavirheitä tai urakka sellaisia riskejä, joita ei laskennassa ole osattu huomioida ja hinnoitella. Nämä saattavat johtaa odottamattomiin lisäkustannuksiin, jolloin hankkeen kate kärsii. Tätä pyritään korjaamaan erilaisilla riskivaroituksilla. Näitä riskejä voi esiintyä niin teknisissä, hallinnollisissa, sopimusteknisissä, kuin erilaisissa epätarkkuusriskeissä. (Enkovaara, Haveri & Jeskanen 1998, 48-49.)

Yleisimpiä laskentavirheitä ja riskejä ovat:

1. Virheelliset määrät.
2. Kokonaan puuttuvat kustannuserät.
3. Suunnitelmien väärät tulkinnat.

4. Puutteelliset asiakirjat.
5. Virheet yksikkökustannuksissa.
6. Vaikeat työvaiheet, joista ei ole aikaisempaa kokemusta.
7. Puutteellinen ammattitaito avainhenkilöillä.
8. Rakennuttajan ja suunnittelijan toimintatavat.
9. Erikoiset rakenneratkaisut ja työmenetelmät.
10. Kustannus- ja korkotason muutokset.

(Enkovaara, Haveri & Jeskanen 1998, 48-49.)

Laskentavirheiden vähentäminen on yksi laskennan kehittämisen kulmakiviä. Tämä on yksi niistä kohdista, johon tietomallipohjaisella laskentaprosessilla toivottaisiin voivan vaikuttaa.

### **2.1.8 Jälkilaskenta**

Jälkilaskennan tarkoituksena on kohteen toteutuksen jälkeen tarkistaa sen taloudellinen onnistuminen, sekä määrien ja hinnoittelun paikkaansa pitävyys vertailemalla laskentavaiheen kustannusarviota toteutuneeseen kustannukseen (Lindholm 2009, 45-46). Täten, se ei ole itsessään osa minkään yksittäisen urakan laskentaa vielä laskentavaiheessa, mutta kuitenkin oleellinen osa laskennan prosessia kokonaisuudessaan.

Jälkilaskennassa vertaillaan kustannusylityksiä litteratasolla, jolloin saadaan selville urakan eri osa-alueiden onnistumiset. Täytyy kuitenkin huomioida, että kustannusten alitukset, pitämiset tai ylitykset eivät vielä suoraan kerro, että ne olisivat oikeita tai kuvastaisivat varmuudella nykyistä hintatasoa. Esimerkiksi työvirheet saattavat aiheuttaa sellaisia lisäkustannuksia, joita ei kannata hinnoitella työn oletettuun kustannuksiin seuraavissa projekteissa. Tämä pitää aina arvioida erikseen. (Lindholm 2009, 45-47.)

Jälkilaskennan toteutus voidaan jakaa kolmeen osaan:

1. Kustannustietojen keräys hankkeen aikana.
2. Jälkilaskentakokous.
3. Viitekansion kerääminen.

Lindholm 2009, 45-48.)



Työmaan aikana pyritään jatkuvasti pitämään ennusteet ajantasaisina ja suorittaa jälkilaskentaa aina eri työvaiheiden valmistuttua (Lindholm 2009, 45-48). Tämä on järkevää, jotta poikkeamiin voidaan reagoida mahdollisimman nopeasti.

Jälkilaskentakokoukseen osallistuvat yleensä laskennan lisäksi myöskin työmaan suorituksesta vastuussa ollut ja sen suunnittelua hoitanut työnjohto. Kokouksessa käydään läpi ja kirjataan ylös ne syyt, jotka aiheuttivat eroavaisuuksia tavoitekustannusten ja toteutuneiden kustannusten välillä. Erityinen huomio käytetään niihin litteroihin, joissa kustannuksissa on huomattavia ylityksiä. (Lindholm 2009, 45-48.)

Viitekansioon kerätään niitä kohteita, joissa urakka on sujunut hyvin ja jotka ovat täten käytettävissä tulevia laskentojen hinnoittelua varten (Lindholm 2009, 45-48).

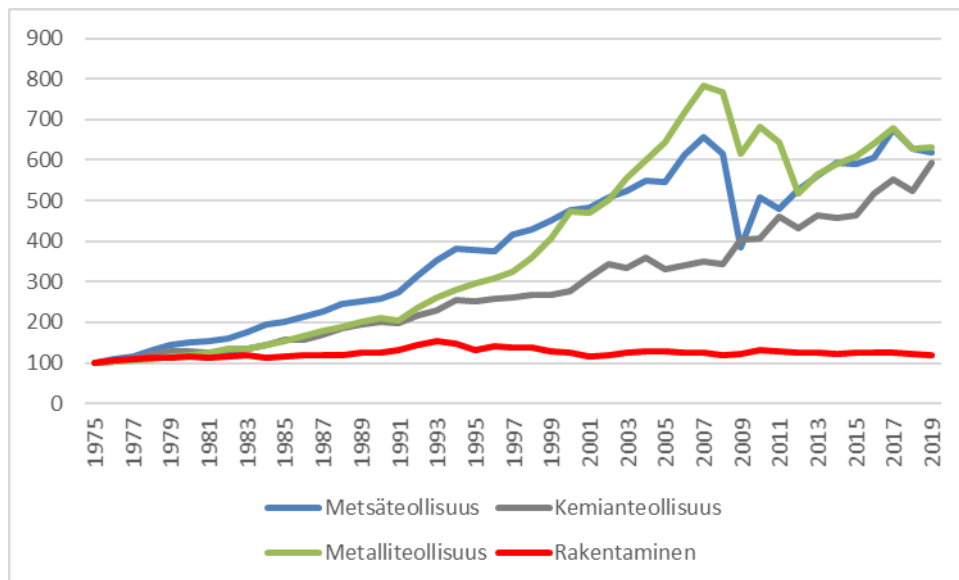
## **2.2 Tietomallit**

Tietomalli on kolmiulotteinen malli rakennuksesta, joka mahdollistaa objekteihin tallennettua tietoa rakennusosista. Tämä tiedon tallentamisen ominaisuus tekee siitä paljon käyttökelpoisemmän, kuin mitä pelkkä 3D-malli olisi. Tämä kappale esittelee tietomallien historiaa ja tärkeimpiä ominaisuuksia.

### **2.2.1 Tietomallien historia**

Tietomallien tarve tuotiin esille jo 70-luvulla Yhdysvalloissa (Eastman ym. 1974) ja ensimmäiset arkkitehdeille suunnatut tietomallinnusohjelmistot tulivat myyntiin vuosikymmen sen jälkeen vuonna 1984.

Kuten alla olevasta kuvaajasta 5 näkyy, rakennusalan tuottavuus on laahannut työn tuottavuuden kehittämisessä muiden alojen perässä.



KUVIO 5. Eri toimialojen tuottavuuden kehitys vuosina 1975-2019 (Tilastokeskus, 2020)

Digitalisaation ja Lean ajatteluun pohjautuvien tuotantosysteemien on jo pitkään toivottu tuovan tähän ratkaisua. Tietomallit ovat yksi työkalu tässä virheiden vähentämisessä, työn tehostamisessa ja kustannussäästöissä. (Jäväjä & Lehtoviita 2016, 28). Tietomallien on väitetty jopa luovan rakennusalalle vallankumouksen (Laitinen 2012).

CAD-piirtäminen tehosti aikoinaan huomattavasti suunnittelua, kun voitiin siirtyä käsin piirtämisestä koneelliseen piirtämiseen. Tämä siirtymä oli tosin pelkästään työtavan tehostamista, eikä tarjonnut muutosta itse suunnitteluprosessiin. Piirustukset ovat samat piirrettiinpä ne käsin tai CAD-ohjelmistojä hyödyntäen.

Tietomallien kanssa tilanne on toinen. Tietomalliin voidaan geometrian lisäksi tallentaa tietosisältöä. Perinteiset piirustukset voidaan tulostaa automaattisesti tietomalleista ja mikäli tietomalliin tehdään muutokset, päivittyvät ne automaattisesti kaikkiin uudestaan tulostettaviin kuviin. Tietomalliin tallennetusta tietosisällöstä saadaan myöskin huomattavasti enemmän tietoa irti automaattisesti.

Tietomallien hyödyntäminen rakennushankkeissa kasvaa jatkuvasti. Tähän ovat vaikuttaneet mm. teknologian halventuneet hinnat, monien valtiollisten toimijoiden panostukset, sekä yhä kasvava tietoisuus tietomallien hyödyistä.

Hidastavina tekijöinä on haluttomuus investoida malleihin, sillä niiden rahallista hyötyä ei nähdä, sekä erityisesti ikääntyneiden työntekijöiden haluttomuus opetella uusia teknologioita. Näistä huolimatta nykyään kaikki suuret rakennushankkeet toteutetaan tietomallipohjaisesti. (Jäväjä, Lehtoviita 2016, 78-81.)

Yksi tietomallien yleistymisen kulmakiviä on ollut standardoitu IFC-tiedostomuoto. Tämän avulla eri suunnitteluohjelmilla tehty tieto voidaan muuttaa standardimuotoiseksi ja tämä standardimuotoinen tieto sitten taas jatkokäytettäväksi laajasti useilla eri ohjelmistoilla. Tällä tavalla tietomalleja hyödyntävät tahot eivät joudu sitoutumaan käyttämään vain tiettyjä ohjelmistoperheitä työssään.

## 2.2.2 Tietomallien hyödyt ja haasteet

Tietomallien käytössä on paljon hyötyjä rakentamisen eri vaiheissa. Seuraavat kohdat ovat esitetty tietomallien selviksi hyödyiksi rakennusprosessin eri vaiheissa.

1. **Visuaalisuus:** Jo suunnitteluvaiheessa pystytään havainnollistamaan miltä valmis tila tulisi näyttämään ja pystytään vaikuttamaan jo tässä vaiheessa helpommin rakennuksen toiminnallisuuteen (Pirttinen 2020).
2. **Tietosisältö:** Tietomallista kyetään tulostamaan pienellä vaivalla kohteen määrätietoja hyödynnettäväksi esimerkiksi hankinnan tarpeisiin (Pirttinen 2020).
3. **Törmäystarkastelut:** Erilaiset päällekkäisyydet eri suunnitelmien välillä (arkkitehti, rakenne, LVIS yms.) voidaan havaita jo suunnittelu vaiheessa, jolloin niiden korjaaminen on huomattavasti tehokkaampaa (Pirttinen 2020).
4. **Tiedon säilyminen:** Usein rakennushankkeissa tietoa tuotetaan ja sitä häviää hankkeen aikana monessa eri vaiheessa. Tietomalleilla toimiessa mallia rikastetaan koko hankkeen ajan ja kaikki tieto säilyy. (Helander, Singh 2016.)

5. **Määrälaskennan nopeutuminen:** Tietomallit mahdollistavat määrälaskennan automatisointia ja nopeuttamista (Kallio 2017).
6. **Määrälaskennan tarkkuuden parantuminen:** Tietomalleista tehtävä määrälaskenta mahdollistaa parhaimmillaan inhimillisten virheiden vähentymisen ja määrälaskennan johdonmukaisuuden ja tarkkuuden parantumisen (Kallio 2017).

Tietomallit tuovat myöskin tullessaan uudenlaisia haasteita. Näistä esimerkkeinä voidaan nostaa esille seuraavat kolme kohtaa.

1. **Tiedostokoko:** Tietomallipohjaisten suunnitelmien tiedostokoot kasvavat monesti erittäin suuriksi. Tämä tuo omat tietotekniset haasteet tietomallien käyttöön. (Pirttinen 2020.)
2. **Virheet mallissa:** Yksi suurimmista tietomallien käytön haasteista määrälaskennan osalta on tällä hetkellä mallien virheellisyys ja riittämättömyys (Jäväjä, Lehtoviita 2016, 61-63).
3. **Lisääntynyt työmäärä:** Tietomalleihin pohjautuva suunnittelu vie enemmän aikaa ja resursseja. Tämän takia on erittäin tärkeää, että kaikilla osapuolilla on selvä käsitys siitä, mikä tietomallien tietosisällön tulisi olla. (Pirttinen 2020.)
4. **Työn siirtyminen projektien alkuvaiheeseen:** Tietomallipohjainen suunnittelu myöskin siirtää suunnittelutyön painopistettä projektin alku vaiheeseen (Niemenoja ym., 2016, 9).
5. **Vaatimustason epämääräisyys:** Hankkeeseen ryhtyvä ei usein ymmärrä mitä suunnittelijoilta tulisi vaatia tietomallin sisällön suhteen (Jäväjä, Lehtoviita 2016).
6. **Ohjelmistojen väliset erot:** Ongelmaksi saattaa muodostua se, että kaikki suunnitteluohjelmistot ja tietomalleja hyödyntävät ohjelmistot eivät tuota määrätietoa samalla tavalla (Kallio 2017).
7. **Erilaiset määrittelyt:** Suunnittelijat nimeävät ja määrittelevät samoja rakenneosia eri lailla. Tästä aiheutuu ongelmia, mikäli kustannustietokantaan halutaan linkittää määriä automaattisesti. (Kallio 2017.)
8. **Korkeat osaamisvaatimukset:** Tietomallipohjaisen hankkeen onnistuminen on riippuvainen sille asetetuista tavoitteista ja määrittelyistä.

Tämä lisää tilaajan osaamisvaatimuksia tietomallipohjaisissa hankkeissa. (Jäväjä, Lehtoviita 2016, 25.)

### **2.2.3 Yleiset tietomallivaatimukset (YTV)**

Yleiset tietomallivaatimukset pohjaavat Senaatti-kiinteistöjen vuonna 2007 luomiin ohjeistuksiin tietomallien käytöstä. Tämä jalostettiin lopulliseksi tietomallivaatimuksiksi vuosien 2011-2012 aikana COBIM-hankkeen yhteydessä.

YTV: osa 7 käsittelee määrälaskentaa tietomalleista. Se erittelee seuraavat kohdat, jotka tulisi päättää ja ottaa huomioon ennen laskennan aloittamista tietomallipohjaisesti:

1. Käytetäänkö laskennassa yhden vai useamman suunnittelualan malleja?
2. Jakautuvatko mallit osamalleihin?
3. Mikä on käytettävän mallin määrätietojen kattavuus?
4. Onko malli ja rakennusselostukset yhteneväisiä?
5. Mitä muutoksia malleissa ja rakennusselostuksissa on tehty edellisen laskennan jälkeen?

Kaikki puutteet mallissa ja muissa materiaaleissa tulee kirjata mallin tarkastusraporttiin, joka tulee olla määrälaskennassa käytössä (YTV 2012 Osa 7, 14-15).

Määrälaskennan suorittamisen jälkeen tulee arvioida saadut tulokset kattavuuden, tarkkuuden ja luotettavuuden osalta. Kattavuuden osalta tarkistetaan, että määrälaskennassa mukana olevat nimikkeet on laskettu. Tarkkuutta arvioidessa tarkastetaan, että saadut määrät vastaavat tunnuslukuvertailussa sopivaa referenssikohdetta. Voidaan myöskin suorittaa vertailulaskenta toisessa tiedostoformaattissa olevasta mallista tai suoraan piirustuksista. Luotettavuutta arvioidaan lähtötietojen, käytettyjen laskentamenetelmien, sekä tehtyjen oletusten ja täydennysten perusteella. (YTV 2012 Osa 7, 16-17.)

YTV on hyvä pohja, josta lähteä liikkeelle, mutta se ei yksistään riitä, koska se jättää monia hankkeiden asioita määrittelemättä (Tohmo, 2016).

### 2.3 Tietomallit laskennassa

Tietomallit ovat pitkään olleet pääasiallisesti suunnittelun työkaluja. Niiden hyödyt rakentamisen muille osa-alueille ovat edenneet hitaammin. Tämä kappale esittelee tietomalleja laskennan kannalta.

Laskennassa erityisiksi hyödyiksi tietomallien käytöstä nousee määrälaskenta, josta YTV:ssä on kokonaan oma osionsa. Tietomalleista tehtävä määrälaskenta on nopeampaa ja tarkempaa, sillä edellytyksellä, että mallinnus on tehty oikein ja tarkasti. Kaikkia määriä ei kuitenkaan saada laskettua malleista vaan osa laskennasta tulee suorittaa muilla menetelmillä (YTV 2012 Osa 1, 18-19).

Tietomallien käytöllä määrälaskennassa on suuri potentiaali päällekkäisen työn vähentämisessä, sillä määrätiedot lasketaan rakennushankkeen aikana jopa kuuteen kertaan (Laitinen 1998). Ja vaikka määriä ei laskettaisi edes tietomallista vaan se pelkästään tukisi kohteeseen tutustumista, sen on löydetty parantavan laskennan luotettavuutta (Kallio 2017).

Useat tutkimukset ovat selvittäneet tietomallien hyötyjä määrälaskennassa. Laitinen (1998) löysi aikasäästön kustannusarvion tekemisessä olevan 80% käyttämällä tietomalleja laskennassa. Eastman ym. (2011) tutki aikaisen vaiheen laskentaa ja löysi BIM-pohjaisen laskennan nopeuttavan laskentaa jopa 92%:a. Sulankokivi (2004) totesi suoritepohjaisen kustannusarvion määräluettelon tuottamisen nopeutuvan noin 30% tietomallipohjaisella määrälaskennalla. Näistä tuloksista näkee selvästi tietomallipohjaisen määrälaskennan mahdollisia hyötyjä.

Alla oleva taulukko 6 vertaa tietomallipohjasta laskentaa ja perinteistä mittaviivainlaskentaa ja esittää niiden välisiä tehokkuuseroja.

	Mittaviivainlaskenta	Tietomallipohjainen laskenta
Kohteen layout uusiksi	10 tpv	1 tpv
Toistuva tarjous	20 tpv	5 tpv
KVR-vaihtoehtoratkaisu	5 tpv	1tpv
Suhtautuminen suunnitelmamuutoksiin	Laskija vastustaa muutoksien tekemistä	Laskija etsii parempaa ratkaisua asiakkaalle
Yhteistyö	Suunnittelija ja laskija eivät tee yhteistyötä	Laskija ja suunnittelija muodostavat tiimin

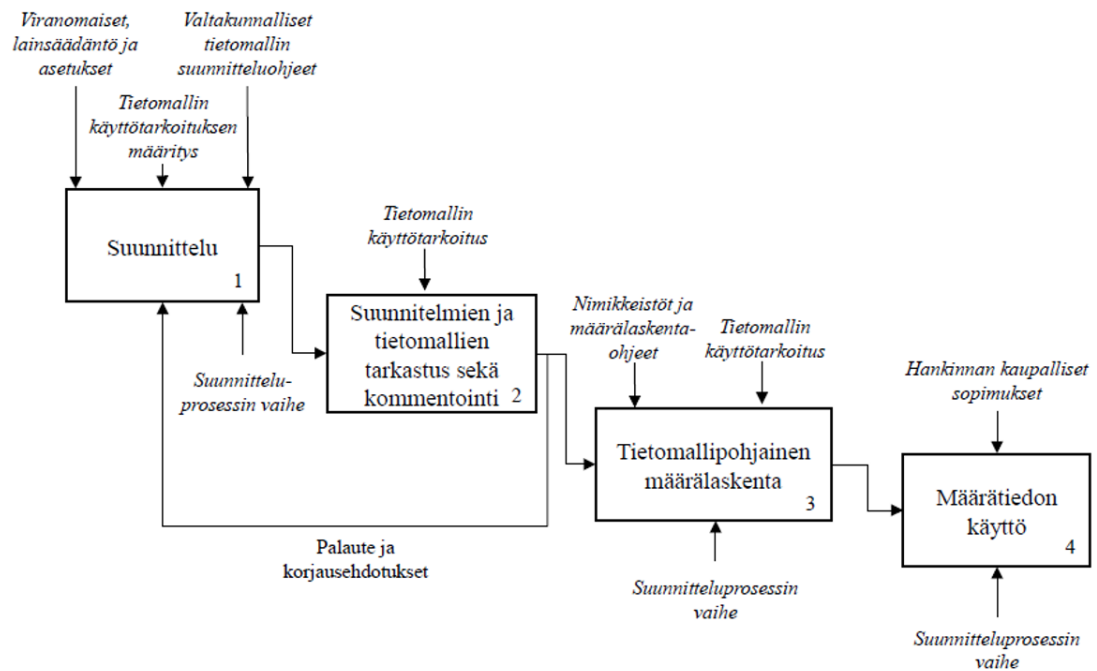
KUVIO 6, Tehokkuuseroja tietomallipohjaisen laskennan ja perinteisen laskennan välillä (Alhava 2012)

Kuten taulukosta 6 hyvin näkee, tietomallipohjainen laskenta tarjoaa paljon tehokkuuspotentiaalia useissa eri skenaarioissa.

Määrälaskennan kannalta tietomallien tärkein ominaisuus on johdonmukaisuus. Kaikki rakennuksen osat mallinnetaan projektikohtaisten ohjeiden mukaan ja käytetty mallinnustapa on dokumentoitu tietomalliselostukseen. Mallin tarkkuustaso tulee myöskin olla suunnittelun tilauksen yhteydessä määritelty. (YTV 2016 osa 7, 6.)

Tärkeää on myöskin määritellä ja vaatia, että kukin rakenneosa mallinnetaan oikealla työkalulla. Esimerkiksi seinät mallinnetaan seinätyökalulla (YTV 2016 osa 7, 7.)

Mallit tulee tarkistaa ennen niiden luovutusta määrälaskentaan. Niissä ei saa olla puutteita tai päällekkäisyyksiä. Mallin tarkastusraportti tulee liittää osaksi tietomalliselostusta. (YTV 2016 osa 7, 12.)



KUVIO 7, Tietomallipohjainen laskentaprosessi (Kallio, 2017)

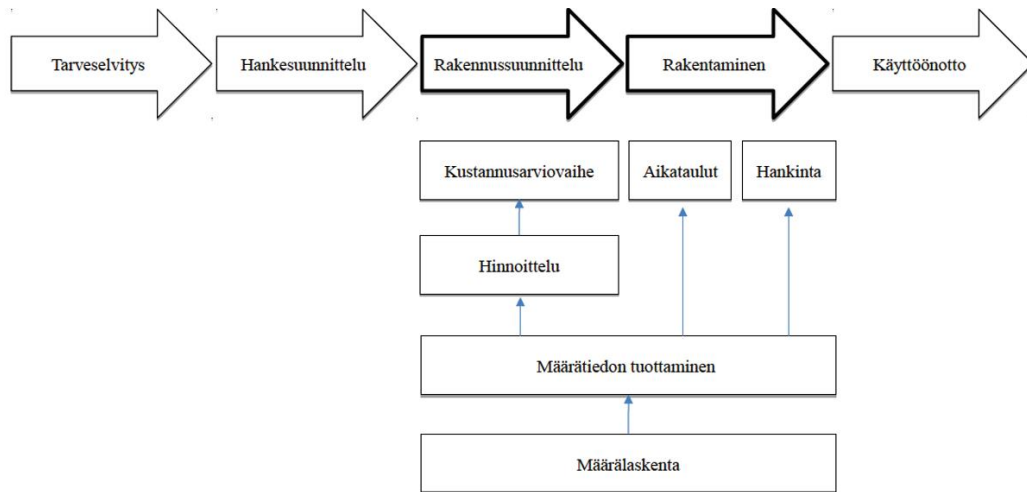
Yllä olevan mallin kohdassa 2 tietomallikoordinaattori tarkistaa arkkitehdin mallin ja yhteensovittaa sen muiden suunnittelualojen mallien kanssa. Löytyneet virheet ja puutteet raportoidaan arkkitehdille. Arkkitehti korjaa mallin, jotta se on laskentaan siirtyessään mahdollisimman virheetön.

Hyvänä puolena tästä voidaan nähdä se, että mallit tulevat laskentaan parempilaatusena. Huonona puolena on se, että tässä menee aikaa. Suunnittelijat vaativat usein jopa viikkoja muutosten korjaamiseen. Tämä hidastaa prosessia pahimmassa tapauksessa huomattavasti. Tämä on yksi kohta prosessissa, jonka tehokkaaseen toimintaan kannattaa panostaa.

Tässä vaiheessa tulisi tarkistaa myös mallin geometriatietojen ja tietosisällön oikeasisältöisyys. Tämän osan tarkastuksesta voi hoitaa myös laskentainsinööri, jolla on luultavasti tietomallikoordinaattoria syvällisempi tieto siitä, mitä tietoa ja missä muodossa laskennassa tarvitaan.

Kohdassa 4 laskettuja määriä voidaan käyttää määrälaskennassa. Tämän lisäksi määriin voidaan lisätä tarvittavia tietoja hankinnan käyttöön.





KUVIO 8, Määrätiedon tuottamisen tarpeita osana rakennusprosessia (Kallio 2017)

Kohteeseen tutustuminen tehdään ennen ensimmäistä laskentaa. Malli helpottaa tätä tutustumista. Ennen laskentaa on koottava kaikki laskenta-aineisto ja varmistuttava, että niistä on oikeat versiot käytössä. Samalla tarkistetaan mitä määriä lasketaan mistäkin malleista. (YTV 2012 Osa 7, 14.)

Tämän jälkeen on selvitettävä mallien kattavuus eli se, mitkä nimikkeet ovat laskettavissa malleista. Mallista on myöskin tarkistettava, että koko malli on mallinnettu samalla tarkkuustasolla. On myöskin selvitettävä, lasketaanko kaikki mallissa olevat tiedot kohteelle vai lasketaanko määrät vain osasta mallia. (YTV 2012 Osa 7, 14.)

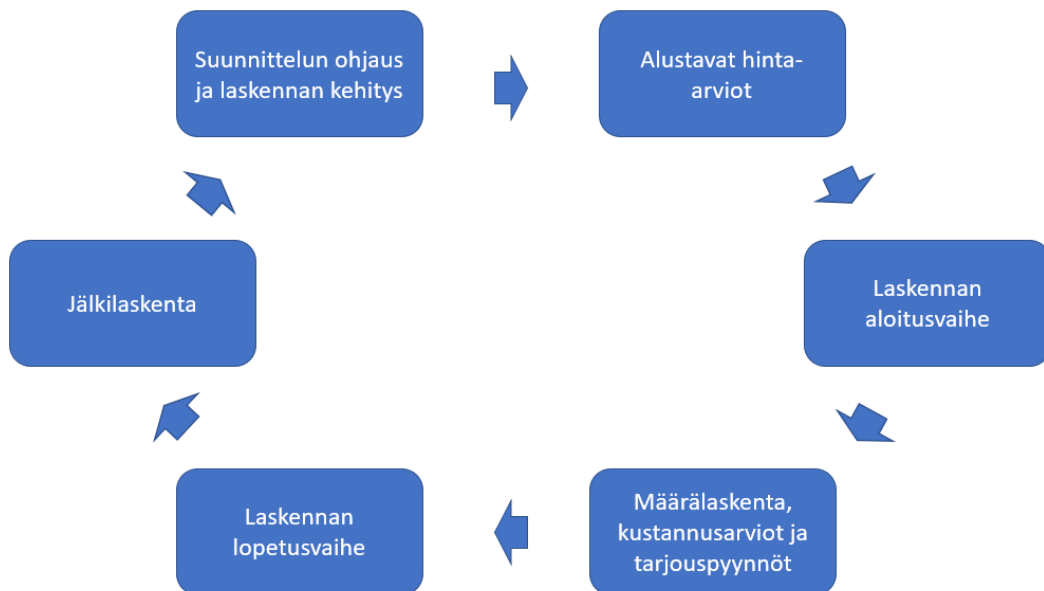
Rakennusselostuksen vastaavuus mallin kanssa tulee selvittää esimerkiksi rakennetyyppien vastaavuuden osalta (YTV 2012 Osa 7, 14).

Tietomalleista määriä ei varsinaisesti mitata, sillä tieto on jo olemassa mallissa. Mittaamisen sijaan tehtäväksi tulee saada käyttökelpoisen määrätiedon ulos saaminen mallista. (Kallio 2017.)

### 3 NYKYISEN LASKENTAPROSESSIN KUVAUS

Tämä kappale kuvailee yrityksen nykyisen laskentaprosessin karkealla tasolla. Kuvailussa otetaan esille vain tärkeimmät yksityiskohdat. Laskentaprosessia vertaillaan työn alkuvaiheessa esitettyyn malliin laskennasta. Lopuksi tutkitaan niitä kohtia, joihin tietomalleilla voidaan suoraan vaikuttaa nykyisessä laskentaprosessissa.

#### 3.1 Nykyinen laskentaprosessi



KUVIO 9. Nykyinen laskentaprosessi tiivistetysti

Yllä oleva kuvio 9 esittää yrityksen nykyistä laskentaprosessia karkealla tasolla. Laskennassa on kuusi päävaihetta, jotka toistuvat laskennasta toiseen.

##### 3.1.1 Suunnittelun ohjaus ja laskennan kehitys

Tämä vaihe prosessista pitää sisällään kaiken sen työn, mikä tulee tehdä ennen laskentaa ja eri laskentakohteiden välillä. Tämän kaksi pääasiallista komponenttia ovat suunnittelun ohjaus ja laskennan kehittäminen jälkilaskennan avulla.

Suunnittelun ohjauksessa projektipäälliköt tekevät tiivistä yhteistyötä suunnittelutoimistojen kanssa laatiakseen kohteista oikeanlaiset suunnitelmat. Omassa tuotannossamme pyrkimys on kehittää jatkuvasti suunnittelua toimivampien ratkaisuiden suuntaan.

Laskennan kehitys nojaa pitkälti jälkilaskentaan ja jälkilaskentatietojen analysointiin. Tarkoituksena on vertailla toteutuneita kustannuksia laskentavaiheen arvioituihin kustannuksiin ja etsi parannuskohtia niin tulevia laskentoja, kuin tulevien työmaiden toimintaakin silmällä pitäen.

Näiden työvaiheiden haluttu lopputulos on suunnittelun ja laskennan jatkuva parantaminen.

### **3.1.2 Alustavat hinta-arviot**

Tässä vaiheessa laskenta ja hankekehitys tekevät tiivistä yhteistyötä hioen suunnitelmista optimaalista kokonaisuutta. Alustavia hinta-arvioita käytetään niin tonttien hankinnassa, kuin hankittujen tonttien lopullisten suunnitelmien tekemisessä.

Yrityksellä on tähän kehitetty erillinen toimintatapa ja työkalu, jota ei lähdetä tämän työn tiimoilta tarkemmin avaamaan. Voidaan kuitenkin mainita, että tällä hetkellä se ei ole tietomallipohjainen, joten senkin kehitys tietomalleja käyttäväksi olisi ehdottomasti tarkastelun arvoista.

### **3.1.3 Laskennan aloitusvaihe**

Jokaisesta uudesta laskennasta pidetään laskentapalaveri siinä vaiheessa, kun suunnitelmat ovat riittävän valmiina. Tämä palaveri voidaan katsoa laskennan aloittamisen kulmakiveksi.

Ennen tätä palaveria kohteeseen on tutustuttu suunnitelmien pohjalta, on tehty alustavaa työnjakoa laskennan etenemiselle ja suunniteltu aikataulua. Palaverissa päävastuullinen laskija esittelee kohteen ja suunnitellun työnjaon.

Palaverissa päätetään loppulaskennan eteneminen ja keskustellaan esille tulleista asioista.

Kohteeseen tutustutaan laskennan aloitusvaiheessa piirustuksia ja selostuksia lukien tai tietomalleihin tutustumalla, mikäli sellainen on kohteesta tehtynä.

Tämän työvaiheen haluttu lopputulos on selvä suunnitelma laskennan etenemisestä, kohteen erikoispiirteistä, sekä työnjaosta laskennan aikana.

### **3.1.4 Määrälaskenta, kustannusarviot ja tarjouspyynnöt**

Tämä on laskennan päätyövaihe. Työ alkaa määrälaskennalla, joka yrityksessä on tällä hetkellä pääasiallisesti ostettu ulkoisena palveluna määrälaskentatoimistoilta. Työn seuraavassa osassa saatu suoritepohjainen määrälaskenta hinnoitellaan sisäisen kustannustiedon pohjalta. Samalla lähetetään tarjouspyyntöjä laskentapalaverissa sovituista hankintakokonaisuuksista jo laskennan aikana.

Kaikkien näiden kolmen työvaiheen jälkeen koostetaan vertailutaulukko, jonka avulla vertaillaan saatuja tarjouksia haluttuihin hankintakokonaisuuksiin.

Tämän työvaiheen haluttu lopputulema on mahdollisimman tarkka laskelma määristä ja arvio kustannuksista.

### **3.1.5 Laskennan lopetusvaihe**

Siinä vaiheessa, kun laskenta on muilta osin valmis, pidetään tarjouspalaveri. Tähän palaveriin kulminoituu laskennan lopetus. Palaverissa käydään läpi kohteen laskenta ja saadut tarjoukset. Näitä vertaillaan ja analysoidaan kohtia, joissa voitaisiin olettaa saatavan kustannussäästöjä tai jotka sisältäisivät riskejä kustannusten noususta.

Laskennan lopetusvaiheen lopputulos on tarkennettu laskenta ja mahdollisimman tarkka laskelma kohteen kustannuksista.

### **3.1.6 Jälkilaskenta**

Jälkilaskentavaiheessa kohteen toteutuneita kustannuksia vertaillaan alustaviin laskentoihin, sekä varsinaiseen kustannuslaskentaan. Eroavaisuudet laskennan ja toteutuneen välillä selvitetään ja niiden juurisyyt pyritään selvittämään. Tämä on laskennan jatkuvan kehittämisen kannalta oleellinen vaihe ja siihen on panostettu yrityksessä tuntuvasti.

Tämän vaiheen haluttu lopputulos on kustannustietoisuuden parantaminen ja parempien toimintatapojen löytäminen tulevia projekteja varten.

### **3.1.7 Yleisesti laskentaprosessin vaiheista**

Kukin edellä mainittu laskennan osa-alue pitää sisällään vielä suuren määrän yksityiskohtaisia prosessin osia. Prosessi sisältää useassa kohtaan tarkastuspisteitä, jossa työn sisältöä ja laatua arvioidaan laajemmalla kokoonpanolla. Useat kohdat sisältävät myöskin raportointia laskennan etenemisestä johdolle. Näiden osalta prosessia ei lähdetä tässä vaiheessa avaamaan tarkemmin, mutta seuraava kappale ottaa kantaa, missä kohdin tietomallipohjaisessa laskentaprosessissa tulisi olla näitä tarkastuspisteitä.

Yleisellä tasolla voidaan sanoa, että yrityksen laskentaprosessi noudattaa tällä hetkellä erittäin tarkasti kappaleessa kaksi esitettyä laskennan teoreettista prosessia.

## **3.2 Mihin kohtiin tietomalleilla voidaan vaikuttaa?**

Kappaleessa kaksi on esitettyinä laajasti niitä kohtia, jotka ovat kriittisiä tietomallipohjaisen laskennan onnistumisessa. Näistä kohdista tärkeimmiksi nousivat esille:

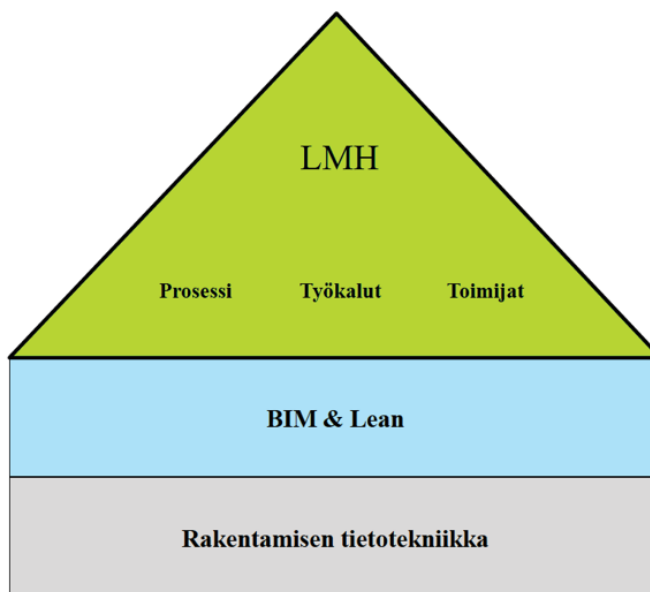
1. Suunnittelun ohjaus: Tietomallipohjaisen automatisoidun laskennan kulmakivenä on oikeassa muodossa olevat, oikein tehdyt suunnitelmat.
2. Määrälaskenta: Useat kappaleessa kaksi esitetyt tutkimukset löysivät suuria tehokkuushyötyjä tietomallipohjaisesta määrälaskennasta.
3. Hinnoittelu: Tietomallipohjainen laskenta mahdollistaa hinnoittelun automatisoimisen.

Seuraava kappale paneutuu näihin kolmeen pääasialliseen kohtaan, sekä luo niiden ympärille uuden tietomalleihin pohjautuvat laskentaprosessin.

## 4 TIETOMALLEIHIN POHJAUTUVAN LASKENTAPROSESSIN LUOMINEN

Tämä kappale jatkaa edellisen kappaleen laskentaprosessin tarkastelua tarkemmalla tasolla. Aluksi tarkastellaan laskentaprosessia ylätasolla ja analysoidaan uuden, optimaalisen, laskentaprosessin elementtejä. Lopuksi paneudutaan tähän prosessiin syvällisemmin ja tutkitaan prosessin osia työvaiheiden tasolla.

### 4.1 Uuden laskentaprosessin suunnittelu



KUVIO 10. LMH-toimintamalli (Kallio 2017)

Hyvän pohjan tietomalleihin perustuvan laskentaprosessin luomiselle antaa yllä esitetty LMH-toimintamalli. Mallissa tietomalleihin pohjautuva laskennan perustana on rakentamisen tietotekniikka, BIM ja Lean-toimintamalli. Näiden päälle on rakennettu optimaalinen laskentatapa kolmesta osasta: prosessi, työkalut ja toimijat. (Kallio, 2017.)

Tässä työssä otetaan kantaa kaikkiin kolmeen prosessin osa-alueeseen. Pääpaino on prosessin kehittämisessä, mutta myöskin työkalujen käyttöön ja laatuun, sekä toimijoiden osaamiseen ja toimintatapoihin otetaan kantaa työn aikana.

#### 4.1.1 Suunnittelun ohjaus optimaalisessa tilanteessa

Mallit tulisi luoda mahdollisimman varhaisessa vaiheessa projektia, tämä tarkoittaa sitä, ettei malli voi aluksi sisältää kaikkea tietoa aluksi. On siis tärkeää pystyä työskentelemään tietosisällöltään keskeneräisen mallin kanssa, mitä voidaan tarkentaa myöhemmässä vaiheessa (Helander, Singh, 2016.)

Tietomallipohjaisissa projekteissa on välttämätöntä pitää mallinnuksen aloituskokous. Kokouksessa tulisi olla läsnä suunnittelijoiden lisäksi tietomallikoordinaattori, sekä rakennuttajan edustajia. Tämän lisäksi tulisi pitää tarvittaessa projektin aikaisia tietomallikokouksia suunnittelun sujumisen varmistamiseksi (Jäväjä, Lehtoviita 2016, 26.)

Lista toimista, jotka parantavat tietomallipohjaisen määrälaskentaa:

1. **Johdonmukaisuus:** malli on mallinnettu ohjeiden mukaisesti ja mallinnustapa on dokumentoitu tietomalliselostukseen.
2. **Tarkkuustaso:** Mallin tarkkuustaso on määritelty suunnitelmien tilausvaiheessa.
3. **Mallinnustyökalu:** Käytetään sellaisia mallinnustyökaluja, joilla määrälaskenta saadaan suoritettua.
4. **Rakennusosien tunnistaminen:** Rakennusosat tulee mallintaa niin, että ne voidaan tunnistaa yksilöllisesti.
5. **Laadunvarmistus:** Malli tulee olla tarkastettu ennen määrälaskentaa ja tietomalliselostukseen tulee liittää tarkastusraportti.
6. **Nimikkeet:** Käytetyt nimikkeet on sovittu etukäteen.

(Kallio 2017.)

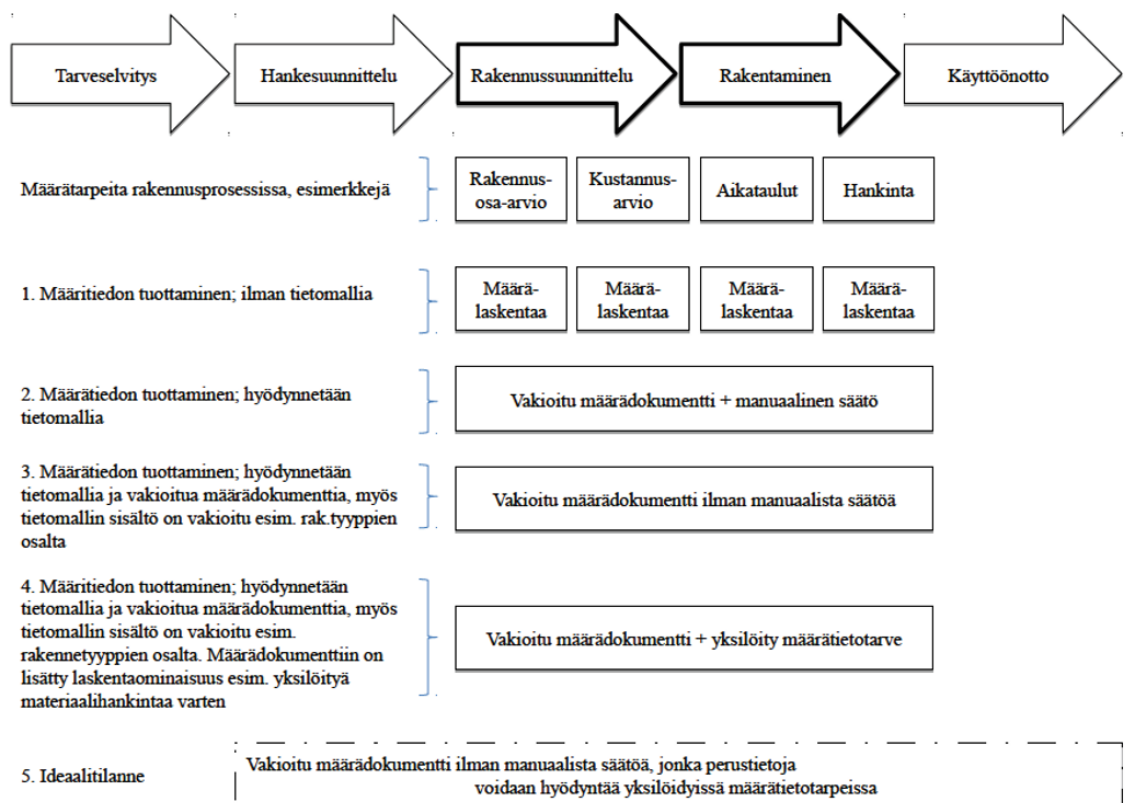
Yllä oleva listaus tulee olla suunnittelun ohjauksen perustana optimaalisessa prosessissa. Nämä kuusi askelta luovat pohjan optimaaliselle määrälaskennalle ja hinnoittelulle tietomalleista.



#### 4.1.2 Määrälaskenta optimaalisessa tilanteessa

Paras tapa hyödyntää mallia määrälaskentaan on tunnistaa ja ryhmitellä rakennusosat ja tietosisältö ohjelmallisesti. (YTV 2012 Osa 7, 16). Tätä laskentatapaa edesauttaa se, että jokainen mallin komponentti on luokiteltu ja määritetty standardoidulla tavalla (Kallio 2017). Edellisen kappaleen suunnittelun ohjauksen onnistuminen on siis lähtöedellytyksenä määrälaskennan onnistumiselle.

Alla oleva taulukko näyttää erilaisia määrälaskennan toteutustapoja. Optimaalinen tapa on kuvattu kohdassa viisi.



KUVIO 11. Määrälaskennan erilaisia toimintatapoja (Kallio 2017)

Tietomalleihin ei yleensä ole tarkoituksenmukaista piirtää kaikkia yksityiskohtia suunnitelmien tekemiseen kuluvan ajan vuoksi. Tästä johtuen pieni osa määrästä puuttuu aina tietomalleista, eikä niitä voida sieltä saada lasketuksi. Näiltä osin optimaalinen määrälaskenta pitäisi sisältää vakiosisältöisen

suunnittelun, jossa puuttuvat määrät saataisiin aina automaattisesti erilaisten vakioratkaisuiden avulla. Hyvänä esimerkkinä tästä olisi, vaikka keittiö- tai wc-varusteet. Näiden määrätieto voitaisiin saada johdettua aina keittiöiden ja wc-tilojen kappalemäärästä, mikäli kyseiset varusteet olisivat aina vakiosisältöisiä.

Tämän lisäksi osa rakennuksen tiedoista ei ole suoraan mallinnettu tietomalliin, mutta ne voidaan johtaa mallissa olevista tiedoista. Esimerkiksi anturoiden pituuden laskeminen alimman kerrosten kantavien seinien avulla. (YTV 2012 Osa 7, 16). Tämän on yksi niistä kohdista, joihin tulee laatia selvät työohjeet kaikista tällä tavalla laskettavista kohdista. Yksiselitteiset askeleet siihen, miten kaikki tarvittava tieto saadaan mallista johdonmukaisesti ulos ja laskenta automatisoitua mahdollisimman pitkälle.

#### **4.1.3 Hinnoittelu optimaalisessa tilanteessa**

Mikäli yritys onnistuu luomaan vakioitun sisällön oman tuotantonsa suunnitteluun, sekä ohjaamaan suunnittelua ja laskemaan määrätiedon edellä esitetyllä tavalla, aukeaa myös hinnoittelun puolella automatisointimahdollisuuksia.

Automatisoitu hinnoittelu vaatii siis vakioituon määräluettelon, jossa nimikkeet ja sisällöt ovat aina samat. Tämän lisäksi, yritykselle tulisi luoda rakennekirjasto kustannuslaskelman puolelle, josta vakioituon määrille löytyisi suoraan vakioituon rakenteet, ja hinnat. Tällöin automaattinen määräluettelon luonti loisi samalla automaattisen hinnoittelun kaikille niille rakenteille, jotka ovat etukäteen luotuina rakennekirjastoon.

Kaikkea ei välttämättä saisi vakioitua loppuun asti. Tässä esteenä on esimerkiksi kaavamääräyksien monimuotoisuus. Jokainen kohde tulisi siis luultavasti sisältämään pienen määrän juuri tälle kohteelle yksilöllisiä rakenteita tai ratkaisuita. Tämän vuoksi, suunnittelun ohjauksessa tulisi jo ottaa kantaa kaikkiin näihin rakenteisiin ja ne tulisi huolellisesti dokumentoida laskennan käyttöön.

#### 4.1.4 Laadunvarmistus

Useissa esitetyissä lähteissä on korostettu tietomallin johdonmukaisuuden ja virheettömyyden suurta tarvetta. Tämä osa pyrkii luomaan yleiskuvan niistä toimista, joita tarvitaan tietomallien laadunvarmistukseen.

Perinteisessä dokumenttipohjaisessa suunnittelussa laadunvarmistus on ollut työlästä ja vaatinut suurta huolellisuutta erityisesti suunnitelmien muutostilanteessa. Usein ongelmia ja puutteita on loppujen lopuksi ratkottu vasta työmaalla. Näistä seuraa usein lisäkustannuksia ja aikatauluongelmia. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa yksi keskeisistä tavoitteista on havaita ongelmakohdat aikaisemmin ja korjata puutteet ennen kuin ne muodostuvat ongelmiksi. (YTV 2012 Osa 6, 4.)

Yksi tämän saavuttamiseen pääsemiseksi tehty toimi on suunnittelukokousten pitäminen. Kokouksissa olisi tarkoitus tarkastella yhdistelmämalli IFC-muotoisesti ja huomioida mahdolliset ongelmakohdat jo tässä vaiheessa. Jos suunnitelmat tarkastetaan vasta niiden valmistuttua törmäystarkastuksessa, tämä johtaa helposti tilanteeseen, jossa ongelmien ratkaisu lykätään jonkun muun ratkaistavaksi. (YTV 2012 Osa 6, 5-7.)

Huonosti tehdyistä suunnitelmista kustannukset koituvat yleensä tilaajan maksettaviksi pois lukien selvät suunnitteluvirheet. Tämän vuoksi onkin järkevää varmistaa suunnitelmien oikeellisuus myöskin tilaajan puolelta. (YTV 2012 Osa 6, 8-10). Vaikka määrälaskentatyön lähtötilanteeksi oletetaan se, että mallit ovat laadittu ohjeiden mukaisesti ja oikein, niin käytännössä se, että laskijan on itse varmistettava tietomallista tulevien määrätietojen luotettavuus (Kallio 2017).

Tarkastaminen voi tapahtua monella eri tavalla. Ensiksi, kohteen tietoja voidaan verrata referenssikohteeseen. Tämä ei yleensä vielä kerro missä virhe on, mutta auttaa nostamaan suunnitelmien puutteellisuuden tai virheellisyyden tarkempaan tarkasteluun. Toiseksi, kohdetta voidaan tarkastella visuaalisesti tietomallista vertailemalla suunnitelmaa siihen, mikä tarkastajan mielestä kuuluisi olla oikein. Tämä on usein tehokas tapa virheiden löytämiseen, mutta altis inhimillisille virheille. (YTV 2012 Osa 6, 11-12.)

On erittäin tärkeää, että rakennusosat pystytään luetettavasti tunnistamaan. Mikäli on tehtävä rakenteita, joita ei voida tuottaa oikealla työkalulla, on tästä sovittava ja raportoitava selvästi. (YTV 2012 Osa 6, 14.)

Tilojen tulee olla suunniteltu niin, että ne ovat rajautuneina toisiin tilakomponentteihin. Tilojen välillä ei saa olla tyhjää, eivätkä tilat saa mennä päällekkäin. Seinät ja laatat, sekä niiden väliset päällekkäisyydet aiheuttavat usein ongelmia. (YTV 2012 Osa 6, 15-16.)

#### **4.1.5 Tarkastuspisteet laskennan aikana**

Yksi oleellinen tapa laskentaprosessin laadun varmistamiselle on riittävä ja oikea-aikainen tietomallin tarkistus. Tietomallipohjaisessa automatisoidussa laskennassa tietomallin oikeellisuus nousee erittäin tärkeään asemaan. Mikäli mallissa on virhe, vaikuttaa se kohteen määrätietoihin ja sitä kautta kustannusarvioon.

Tarkastuskohdat voivat sijaita työvaiheiden sisällä tai eri työvaiheiden rajapinnassa. Luonnollinen kohta tarkastuspisteille on niissä kohdissa, kun prosessissa siirrytään työvaiheesta toiseen. Tarkastuspisteitä voisi sijaita esimerkiksi: ennen rakennuslupahakemuksen jättämistä, ennen kuin otetaan uusi suunnitteluala mukaan suunnitteluprosessissa, ennen kuin tietomalli siirtyy suunnittelusta laskentaan ja ennen kuin tietomalli siirtyy laskentamallista tuotannon puolelle toteutusmalliksi.

Tietomallia voidaan rikastaa useassa eri vaiheessa prosessia. Rikastamisella tarkoitetaan tietosisällön lisäämistä ja parantamista. Tämä pitää kuitenkin olla hallittua ja suunnitelmallista, jotta tietomallien sisältö saadaan yhdenmukaisesti. Tämän johdosta, tulisi tehdä selvä suunnitelma siitä, millä tietosisällöllä mallin tulee missäkin vaiheessa prosessia olla ja kuka vastaa tämän tarkastamisesta.

Yleensä tietomalliprojekteissa on mukana erillinen tietomallikoordinaattori. Hänen työtehtäviinsä kuuluu tietomallin tietosisällön oikeellisuuden varmistaminen. Tavoitteena on, että tietomalli olisi tarkastettu ennen laskentaan

tulemista. Tässä on kuitenkin sellainen huono puoli, että tietomallikoordinaattorilla ei välttämättä ole kokemusta laskennasta, eikä hänen välttämättä tiedosta mitä kaikkea mallista pitäisi tarkistaa laskentaa varten. Tämän takia, on tärkeää luoda selvät ohjeistukset siitä mitä kaikkea mallista pitää missäkin vaiheessa prosessia tarkistaa. On myöskin mahdollista, että osa mallin tarkastamista olisi järkevää jättää laskijoiden tarkastettavaksi. Tätäkin toimintatapaa kannattaisi kokeilla osana prosessin käyttöönottoa.

## **4.2 Uuden prosessin suunnittelu tarkemmalla tasolla**

Tämä kappale perehtyy prosessin yksityiskohtiin. Tarkoituksena luoda tarkempi selvitys siitä, mitä ongelmia prosessin käyttöönotossa ja käytössä voi ilmetä, ja miten luovia niiden ohi.

Muutoksia tehdessä on hyvänä käytäntönä todettu ensin määritellä tarkasti, mitä halutaan saavuttaa. Tämän jälkeen integroimalla muutoksia pienin askelin käytäntöön. (Sacks ym. 2010). Tämä on juuri se, mitä tämä kappale pyrkii saavuttamaan.

### **4.2.1 Määrien laskenta tietomallista**

Tyypillisiä ongelmakohtia tietomallipohjaisessa määrälaskennassa ovat tilapinnat, katot, portaat, verhoseinät, parametriset malliosat, geometriset erikoistapaukset, sekä laskennan suorittaminen useista eri suunnittelualojen malleista. (YTV 2012 Osa 7, 18.)

Laskettaessa määriä useiden eri suunnittelualojen malleista saattaa malleissa ilmetä päällekkäisyyksiä. Esimerkiksi arkkitehdin mallista löytyvät samat kantavat rakenteet, kuin mitä rakennemalleissa. Virheellinen laskennan tulos voidaan tässä tapauksessa välttää päättämällä etukäteen, mistä mallista mitäkin määriä lasketaan. (YTV 2012 osa 7, 18-19.)

Ennen laskentaa on myöskin varmistettava, että kaikkien rakenneosien komponentit siirtyvät mukaan laskentaan. Ongelmia saattaa esiintyä, mikäli suunnittelijat ovat keskittyneet liikaa komponenttien geometriaan, eivätkä tietosisältöön. (YTV 2012 osa 7, 18-19.)

Erityisiä ongelmia voivat aiheuttaa myöskin erikoiset muodot ja ratkaisut. Näitä ovat esimerkiksi kaarevat ja kaltevat muodot tai erikokoiset poistot tai lisäykset rakenteissa. Näiden osalta laskentaan saadut määrätiedot voivat olla puutteellisia tai virheellisiä (YTV 2012 osa 7, 18-19.)

Määrälaskennan kannalta mallilta odotetaan erityisesti johdonmukaisuutta. Tällä tarkoitetaan kunkin rakenneosan mallintamista tietomallivaatimusten mukaisesti ja tämä toimintatapa tulee olla dokumentoitu. (YTV 2012 osa 7, 6.)

Tietomallin tarkkuustaso määrittää sen, millä tarkkuudella tietomallista voidaan laskea määriä. Laskennan kannalta on tärkeää, että tämä tarkkuustaso on määritelty ja se on johdonmukaisesti käytetty kaikissa malleissa. (YTV 2012 osa 7, 6-9.)

Suosittelavaa olisi suorittaa määrälaskenta natiivimallista. Mikäli määrälaskenta kuitenkin suoritetaan IFC-mallista on laskijan varmistettava mitkä osat ovat luettu mukaan natiivitiedostosta. (YTV 2012 osa 7, 8.)

Rakennemallia voidaan hyödyntää määrälaskennan apuna useissa eri kohdin. Esimerkiksi paikallaanvalurakenteiden ja elementtien osalta. Määrälaskenta onnistuu tietomallista huomattavasti nopeammin kuin perinteisellä manuaalisella tavalla laskettuna. Perinteisellä tavalla tulokset riippuvat aina laskijan tarkkuudesta ja aikaa kuluu moninkertaisesti. Mallien tulee kuitenkin olla virheettömiä. (Jäväjä, Lehtoviita 2016, 61-63.)

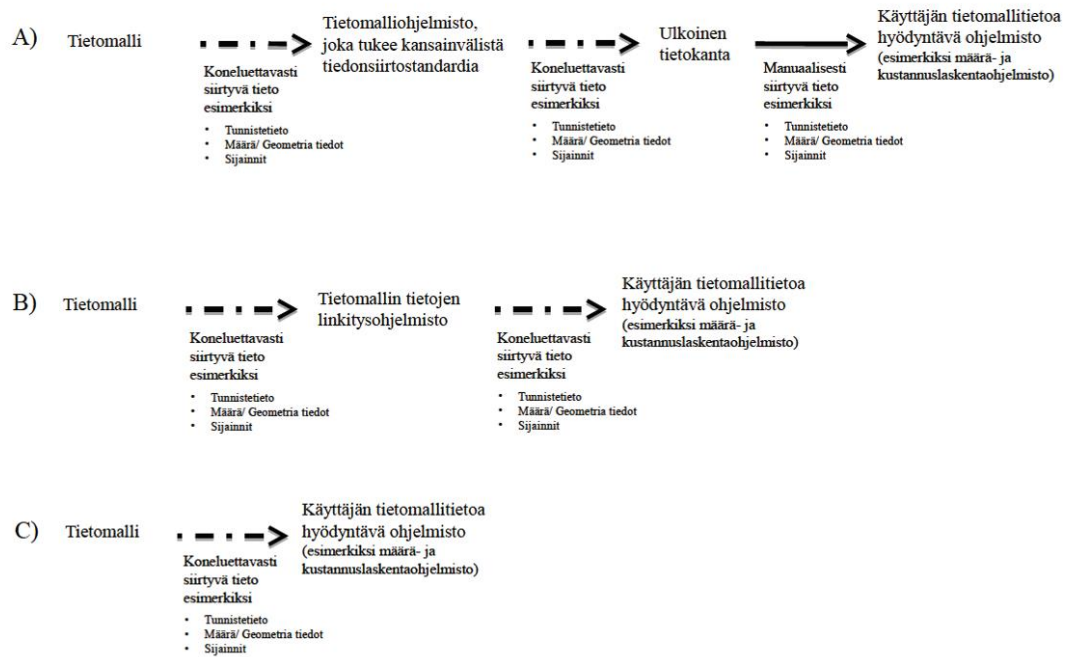
Erityisiksi ongelmakohtiksi on esitetty seuraavia kohtia:

- 1. Useista malleista laskeminen:** Täytyy tehdä lista mitä mistäkin mallista lasketaan päällekkäisyyksien ja puutteiden välttämiseksi
- 2. Tilojen pinnat:** Eri pintamateriaalit saattavat olla mallinnettu samalla tavalla. Myöskin erot eri suunnitteluohjelmistojen tavasta tulkita tiloja rajaavia rakenteita saattavat aiheuttaa poikkeamia määrissä.
- 3. Katot:** Mikäli monimuotoisia kattoja on mallinnettu yhtenä kokonaisuutena ei tästä saada määrälaskentaan määriä oikealla tavalla.
- 4. Portaat:** Portaiden komponenttien (kaiteet, tasanteet yms.) osalta saattaa ilmetä ongelmia määrämittauksessa.
- 5. Verhoseinät:** Verhoseinien mallintaminen isompina kokonaisuuksina estää hyödynnettävän määrätiedon saamisen niistä. Ne tulisi sopia mallinnettavaksi esimerkiksi seinä-, ikkuna- tai ovityökalulla.
- 6. Parametriset malliosat:** Määrälaskennan kannalta ongelmallisia ovat suuria kokonaisuuksia sisältävät parametriosat. Esimerkiksi parveketornia mallintavasta parametriosasta voi olla mahdotonta laskea määriä.
- 7. Geometriset erikoistapaukset:** Erikoiset muodot ja ratkaisut ovat usein ongelmallisia määrälaskennan kannalta. Ohjelmistoilla on usein vaikeuksia tuottaa näistä luotettavasti määrätietoa.

(YTV 2012 Osa 7, 18-19.)

#### 4.2.2 Määrien automaattinen laskenta

Määrien laskenta koneluettavasti voi tapahtua useammalla eri tavalla. Alla oleva taulukko näyttää kolme pääasiallista tapaa suorittaa tämä työvaihe.



KUVIO 12. Tietomallissa olevan tiedon siirtämisen vaihtoehtoiset toimintatavat (Kallio 2017)

Yllä oleva taulukko näyttää kolme tapaa, jolla tietomallista olevaa tietoa voidaan siirtää ohjelmistojen välillä. A-kohdassa määrät viedään tietomallista erillisen ohjelman avulla ulkoisen tietokannan kautta laskentaohjelmistoon. B-kohdassa viedään määrätiedot laskentaohjelmistoon sitä tukevan linkitysohjelmiston avulla. C-kohdassa linkitetään tietomalli suoraan laskentaohjelmistoon. (Kallio 2017.)

Näistä vaihtoehtoista viimeinen kohta (C-vaihtoehto) on selvästi tehokkain tapa hoitaa määrien vienti laskentaohjelmaan. Tästä tavasta viedä tietoa käytetään termiä 5D. Tällä tarkoitetaan, että mallilla on 3D-ominaisuuksien lisäksi aikaulottuvuus (4D) ja kustannusulottuvuus (5D). (Kallio 2017.)

Prosessin osalta tärkeäksi tekijäksi muodostui vakioidut toimintatavat. Tämän huomattiin tuovan lisähyötyä määrälaskentaan ja vähentää päällekkäistä työtä prosessin monessa vaiheessa. (Kallio, 2017.)



### 4.2.3 Sisäinen vai ulkoinen prosessi?

Yhtenä alakysymyksenä työssä tarkastellaan sitä, mikä osa prosessista kannattaisi hoitaa sisäisesti ja mitkä osat hankkia ulkopuolisena palveluna. Tarkastelussa on kaksi prosessin tärkeää tehtävää: tietomallikoordinaattorin työ ja määrälaskentatyö.

Automaattisen määrälaskennan kannalta määrätietoja tuottavan henkilön kokemus määrätietojen tuottamisesta ja määrätieto-ohjelmistoista on erittäin tärkeää. Kokemattomuus aiheuttaa laatuongelmia, sekä lisää työaikaa määrittäessä, mitä tietoja puuttuu automaattisesta tiedostosta (Kallio 2017). Tämä on vahva argumentti sen puolesta, että koulutettaisiin sisäisesti pieni joukko syvällisen osaamistason henkilöitä määrälaskentatyöhön. Tämä olisi paras tapa hallita laatua.

Ulkopuolisessa määrälaskennassa on havaittu kroonisia laatuongelmia nykyisellä yrityksen toimintatavalla. Eri määrälaskentatoimistojen toimintatavat vaihtelevat ja puutteita laskelmissa on jatkuvasti. Tämä saattaisi aiheuttaa suuria ongelmia tietomallipohjaisessa laskennassa, jossa automatisoinnin rooli on iso ja syvällinen osaaminen mallien tarkistamisessa näyttelee suurta osaa.

Ulkopuolisen määrälaskennan hyvänä puolena olisi se, että yritys ei olisi niin riippuvainen pienestä joukosta korkean osaamisen työntekijöitä. Tämä toisi tietynlaista joustoa ja turvaa työntekijöiden vaihtuvuudesta mahdollisesti aiheutuviin ongelmiin. Ongelmaksi saattaa kuitenkin muodostua se, että tällä toimintatavalla yritys ei itse hallitsisi tätä prosessia kokonaisuudessa. Tästä saattaisi aiheuta suuri määrä laatuongelmia myöskin jatkossa.

Kustannusnäkökulmasta sisäinen prosessi olisi luultavasti myöskin huomattavasti edullisempi toimintatapa. Määrälaskennan kustannukset ulkopuoliselta toimistolta ostettuna ovat ainakin tällä hetkellä merkittävän kalliita.

Tietomallikoordinaattorin osalta tilanne on tällä hetkellä kuitenkin toinen. Toisin kuin määrälaskennasta, tietomallikoordinaattorina toimimisesta ei yrityksen työntekijöillä ole tällä hetkellä osaamista. Tästä syystä, tietomallikoordinaattori

kannattaa ainakin aluksi ostaa ulkoisena palveluna. Huomioitavaa kuitenkin on, että esimerkiksi Skanskalla tämä rooli on sisäisesti hoidettu (Kallio 2017). Tämän vuoksi suositeltavaa olisi alkaa kasvattamaan tai etsimään osaamista tähänkin prosessin osaan sisäisesti.

#### **4.2.4 Suunnittelun ohjauksen rooli**

Hyvin toteutetusta tietomallista voidaan ajaa määrätietoja esimerkiksi Excel-muotoon eri osakohteiden määristä. Tämä mahdollistaa esimerkiksi huone ja kerroskohtaisten määrätietojen saamisen, jolloin materiaalein jako asuntoihin nopeutuu (Jäväjä & Lehtoviita 2016, 62). Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tietomallin objekteihin on tallennettuna tarkennettua tietoa rakenteiden sijainnista.

Yksi tapa varmistaa piirustusten ja tietomallien yhteneväisyys on vaatia, että piirustukset tulostetaan tietomallista (Jäväjä & Lehtoviita 2016, 57). Tämä on tärkeä vaatimus, sillä mikäli määrät lasketaan tietomallista, ei piirustuksiin tehty korjaus korjaa tässä tapauksessa määräluettelon virhettä.

Erityisen herkkä paikka virheille on suunnitelmamuutoksien kohdat. Suunnitelmamuutosten tekeminen pitää olla koko rakennusprosessin ajan suunnitelmallista ja johdonmukaista. Muutokset tulee dokumentoida ja tiedottaa kaikille prosessin osapuolille. (Simpainen, 2018.)

Jo suunnitteluvaiheessa tulee tietomallien sisältöön luoda edellytykset sille, että niitä voidaan käyttää laskennassa ja myöskin tuotannossa. Hankintatehtävien lisäksi, myöskin esimerkiksi riskienhallintatehtäviä voidaan tehostaa tietomallien avulla. Törmäystarkastelulla parannetaan fyysisten konfliktien havaitsemista. 4D-rakennusaikataulu parantaa rakentamisen hallinnan tasoa ja 5D-kustannusarvio auttaa kohteen budjetin valvonnassa. (Kiviniemi ym. 2016.)

Yksi tärkeimmistä suunnittelun ohjauksen työkaluista on vakioitu tietomallivaatimusdokumentti. Tämän tulisi sisältää listaukset rakennusosien tietosisällölle tunnistet-, määrä- ja sijaintitiedoille, joka olisi rakennushankkeesta

ja suunnitteluohjelmistoista riippumaton. Tunnistetietojen avulla pystyttäisiin identifioimaan tarkasti, millaisesta rakennusosasta on kysymys.

Geometriatietojen avulla tälle identifioidulle osalle saataisiin määrätiedot selville.

Sijaintitietojen merkitys olisi laskennan aikana yleensä vähäinen, mutta olisi merkittävänä apuna kohteen siirtyessä tuotannon puolelle ja hankinnan käyttäessä määrätietoja hyödykseen.

#### **4.2.5 Uuden prosessin jalkauttaminen käytäntöön**

Tietomallien käyttöönotto ja tietomalleihin perustuvan laskentaprosessin jalkauttaminen käytännön työhön on pitkä ja monimutkainen prosessi. Siinä tarvitaan ammattitaitoista ja pitkäjänteistä otetta. Osaamista tulee olla monella tasolla organisaatiossa. Sitä tarvitaan henkilötasolla, tiimitasolla, sekä johdon tasolla (Jäväjä & Lehtoviita 2016, 89-90.)

Henkilötasolla tarvitaan sekä yleistä osaamista tietomalleista, sekä oman työtehtävän mukaista osaamista. Tietomallin käytön osaamistaso tulee olla korkealla tasolla ja sitä tulee osata käyttää tukemassa työtehtäviä. (Jäväjä & Lehtoviita 2016, 89.)

Tiimitasolla henkilökohtaiset osaamiset yhdistyvät tiimin kunkin jäsenen osaamisen yhteisvaikutukseen. Kaikkien tulisi osata käyttää mallien tarkasteluohjelmia ja niiden viestintätyökaluja. Yhteiset menetelmät ja tietokannan jakamistaidot viat välttämättömiä tietomallipohjaisessa yhteistyössä. (Jäväjä & Lehtoviita 2016, 90.)

Johdon tasolla sitoutuminen uuden toimintatavan kehittämiseen ja käyttöönottoon on onnistuneen projektin edellytyksenä. Ymmärrystä ja osaamista täytyy olla niin työkalujen hankinnassa, standardoitujen työtapojen kehittämisessä, henkilöstön motivoimisessa, kuin teknisen koulutuksen hallinnassa. Johtamistaidoissa korostuvat erityisesti päätöksentekotaidot, pitkän tähtäimen strateginen ajattelu ja ihmisten johtamisen taidot (Jäväjä & Lehtoviita 2016, 87.)

Uusien toimintatapojen jalkauttaminen aiheuttaa yleensä vatsavoimia. Näillä saattaa olla kehitystä hidastavia tai jopa estäviä vaikutuksia (Pahkin & Vesala 2013, 4). Tästä syystä voisi olla kohdillaan jalkauttaa organisaatiomuutos pienemmillä askeleilla ja aluksi pienemmän ydinjoukon osalta. Tällöin koko organisaation nykyinen toimintatapa ei joutuisi niin suuren paineen alle.

Tietomallien jalkauttamisessa on kolme keskeistä tekijää. Ensimmäisenä, tehdyt muutokset ja niiden hyväksyminen työntekijöiden piirissä. Toisena, muutosvastarintaan puuttuminen koulutuksen ja tietoisuuden lisääntymisen avulla. Kolmantena, on prosessin parantaminen rinnakkain koulutuksen rinnalla. (Kallio 2017). Yrityksessä on tällä hetkellä käynnissä tietomallien laajamittainen koulutusohjelma. On tärkeää, että edellä mainittu prosessin pikkuhiljainen integraatio aloitetaan jo tämän koulutusprojektin aikana muutosvastarinnan vähentämiseksi.

#### **4.2.6 Prosessin jalkauttamisen analysointi**

On ensiarvoisen tärkeää, että uuden prosessin jalkauttamisen onnistumista analysoidaan tarkasti. Tämän avulla projektin mielekkyys kyetään myymään organisaation kaikilla tasoilla.

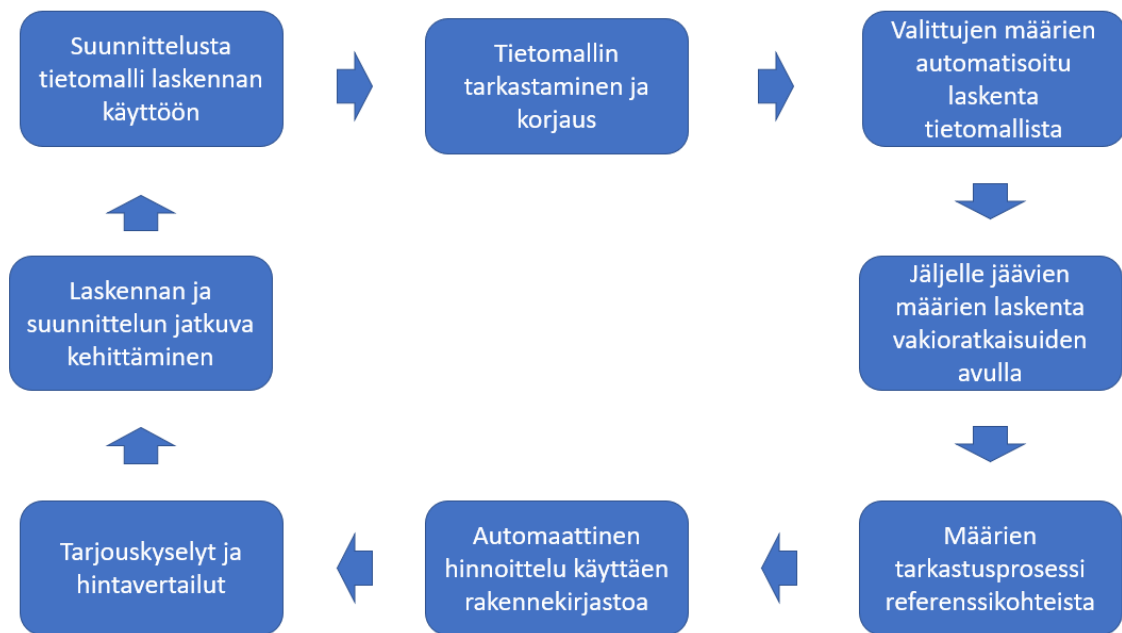
Vertailuja ja analyysyjä voi tehdä monella eri tavalla ja tasolla. Kustannusten analysointi auttaa myymään projektia johdolle ja yrityksen hallitukselle. Työmäärän väheneminen tai työnteon mielekkyyden parantuminen auttaa vähentämään työntekijöiden vastarintaa. Yleinen tarkkuuden parantuminen tuo parannuksia kaikkien työtehtäviin, kun virheitä ei jouduta paikkailemaan.

Nämä, ja monet muut tavat analysoida asiaa, ovat omiaan estämään sen, että projektia ei saataisi vietyä loppuun asti tarvittavan hyväksynnän puutteen vuoksi.

## 5 TIETOMALLEIHIN POHJAUTUVA LASKENTAPROSESSI

Tämä kappale esittelee edellisissä kappaleissa muodostetun uuden tietomalleihin pohjautuvan laskentaprosessin.

Alla oleva kuvaaja 13 esittää optimaalista tietomallipohjaista laskentaprosessia.



KUVIO 13. Optimaalinen tietomalleihin pohjautuva laskentaprosessi

Yllä oleva toimintatavan avulla kohteen määrälaskenta ja hinnoittelu saataisiin hoidettua automatisoidusti vakioratkaisuiden avulla. Tämä tekisi laskennasta nopeaa ja johdonmukaista. Automatisoitu määrien laskenta vähentäisi myös huomattavasti inhimillisistä syistä tapahtuvaa määrätietojen eroavaisuuksia.

### 5.1.1 Suunnittelusta tietomalli laskennan käyttöön

Prosessi lähtee liikkeelle siitä, kun suunnittelu tuottaa tietomallin laskennan käyttöön. Tietomallin tietosisällön pitää perustua tietomallivaatimukseemme, joka pohjaa vakioratkaisuihimme ja rakennekirjastoon, joka luodaan tätä prosessia varten.

Suunnittelulta pitää vaatia tiukkaa pysymistä tietomallivaatimuksissamme, vakioitujen rakenteidemme käytössä, sekä johdonmukaisessa objektien

nimeämisessä ja mallintamisessa. Tämä on ehdoton edellytys nopealle ja tarkalle laskennalle tietomalleista.

Tämän vaiheen haluttu lopputulos on virheetön ja oikeamuotoinen tietomalli.

### **5.1.2 Tietomallin tarkastaminen ja korjaus**

Tietomallissa on oletettavasti vielä tässä vaiheessa puutteita ja virheitä. Nämä tulee tarkistaa ja korjata tietomallikoordinaattorin ja laskennan yhteispelinä. Virheiden korjaaminen onnistuu melko luonnollisesti samalla, kun laskija perehtyy malliin ja tutustuu kohteeseen.

Tämä on uusi työvaihe ja tätä varten tulee luoda uudet toimintamallit, ohjeistukset, sekä kouluttaa laskijoita oikeiden toimintatapojen omaksumisessa.

Tämän vaiheen haluttu lopputulos on mallin viimeistenkin virheiden korjaaminen ja automatisoituun määrälaskentaan tarvittavan tietomallin aikaansaaminen.

### **5.1.3 Valittujen määrien automatisoitu laskenta tietomallista**

Kun tietomalli on saatu oikeamuotoiseksi ja virheetömäksi siitä voidaan automatisoidusti laskea halutut määrätiedot. Tätä varten tulee luoda lista kaikista niistä rakenneosista, jotka halutaan laskea tietomalleista.

Automatisoiminen mahdollistuu, mikäli olemme luoneet linkityssäännöt tietomalliohjelmistoomme ja rakennekirjaston laskentaohjelmistoomme.

Tämän vaiheen haluttu lopputulos olisi määräluettelo niiden rakenneosien osalta, jotka haluamme laskea tietomallipohjaisesti.

### **5.1.4 Jäljelle jäävien määrien laskenta vakioratkaisuiden avulla**

Jäljelle jäävien määrien laskenta onnistuisi tehokkaimmin käyttäen vakioratkaisuita. Tämä on jo melko pitkälle vietyä omien kohteidemme suunnittelussa. Tämän osan aikaansaaminen vaatii rakennekirjaston päivittämisen niin, että siellä on tarvittavat vakioratkaisut listattuna valmiina, sekä tietomallivaatimuksissa esitettynä, mitä tietoa mallista täytyy saada näiden laskemista varten.

Tämän vaiheen haluttu lopputulos on loppujen määrien tuottaminen ja täydellisen määrälaskennan aikaansaaminen.

### **5.1.5 Määrien tarkastusprosessi referenssikohteista**

Laskennan nopeutuessa ja automatisoituessa vähenee se työaika, joka määrien parissa vietetään. Tämän takia on ehdottoman tärkeää luoda uusi tarkastusprosessi määrätietojen tarkistamiseen.

Tätä varten tulisi kehittää referenssikohteiden avulla luotu automaattinen tarkastuslista siitä, minkä verran mitäkin rakenneosia kohteessa tulisi olla. Tähän voisi luoda vaihteluvälit, joiden sisällä määrätiedon pitäisi olla suhteessa kohteen kokoluokkaan. Määrien ylittäessä tai alittaessa ennustetut määrätiedot tulisi tutkia määriä tarkemmin ja etsiä mistä eroavaisuudet johtuvat. Samalla tulisi myöskin kaikki suurimmat erät tarkistaa vähintään pistokoetarkastuksena.

Tämän työvaiheen haluttu lopputulos on määrien oikeasisältöisyyden varmistaminen.

### **5.1.6 Automattinen hinnoittelu käyttäen rakennekirjastoa**

Tämä vaihe pyrkii automatisoimaan määrien laskennan lisäksi myöskin hinnoittelun. Mikäli suunnittelu on hoidettu käyttäen tietomallivaatimuksia ja yrityksellä on käytössä rakennekirjasto, johon ajantasaiset hintatiedot ovat tallennettuna, onnistuisi hinnoittelu automaattisesti.

Edellytykset tämän vaiheen onnistumiseksi on vakioratkaisuiden käyttö, ajantasainen rakennekirjasto ja johdonmukainen rakenteiden ja suoritteiden nimeäminen ja litterointi.

Tämän vaiheen haluttu lopputulos olisi hinnoiteltu määräluettelo.

### **5.1.7 Tarjouskyselyt ja hintavertailut**

Tähän vaiheeseen laskentaa ei tietomalleilla pystytä vaikuttamaan välttämättä kovinkaan paljoa. Voimme toimittaa tarjouspyyntöjen yhteydessä tietomallimme, mutta alihankkijat päättävät itse, miten sitä hyödyntävät.

Tämä vaihe prosessia toimisi kuten ennenkin ja sen tavoiteltuna lopputuloksena olisi hinnoittelun tarkastaminen tarjouspyyntöjen avulla.

### **5.1.8 Laskennan ja suunnittelun jatkuva kehittäminen**

Tähän työvaiheeseen tulisi suuri muutoksia uuden laskentaprosessin mukana.

Ensimmäiseksi, tähän vaiheeseen tulee laatia vakioratkaisumme ja vakiorakenteemme.

Toiseksi, näiden pohjalta tulee laatia tietomallivaatimus ja ylläpitää sitä.

Kolmanneksi, tässä vaiheessa tulee luoda ja ylläpitää rakennekirjastoa hinnoittelua varten.

Neljänneksi, tässä vaiheessa tulee laatia ja ylläpitää tarkistus pohjaa referenssikohteiden perusteella, jonka avulla saamme tarkistettua tietomallipohjaisen määrälaskentamme tehokkaammin.

Viidenneksi, tässä vaiheessa tulee rutinoida suunnittelu johdonmukaiseksi kokonaisuudeksi, joka kykenee tuottamaan tasalaatuisia suunnitelmia ilman merkittäviä virheitä tai poikkeamia tietomallivaatimuksesta.



Kuudenneksi, tulee luoda ne tarkastuspisteet ja tarkastustoimenpiteet, jotka tarvitaan prosessin sujumiseen, sekä luoda toimintatavat tilanteille, jossa tulee poikkeamia yleisestä toimintatavasta.

Tämä on se työvaihe, joka sisältää suurimmat panostukset uuden prosessin onnistumisen takaamiseksi.

Tämän työvaiheen haluttu lopputulos on jatkuvasti parantuva prosessi.

## 6 POHDINTA

Työn tekemisen yhteydessä suoritettiin myöskin tietomallikoulutusta ja tietomallien käyttöä käytännön työtehtävissä. Näiden aikana prosessin käytännönaskelista tuli paljon yksityiskohtaista tietoa, jota ei ole tässä työssä esiteltyä tarkemmin. Tämä osio nostaa näistä kuitenkin yleisellä tasolla esille tärkeimpiä havaintoja.

Työn aikana tuli useassa kohdassa esille, miten tietomallien käyttö määrälaskennassa usein vaikeutuu mallien virheellisyyden vuoksi. Tämän lisäksi ohjelmistojen käytössä tuli esille, että myöskin niissä esiintyy puutteita ja niiden käyttö oli usein monimutkaista. Molemmat nämä tekijät yhdessä aiheuttivat käytännön kokeilussa sen, että työskentely oli ajoittain vaikeaa. Tämä on omiaan aiheuttamaan muutosvastarintaa uuden prosessin käyttöönotossa.

Tietomallien kanssa työskentely vaatii uudenlaisia taitoja ohjelmistojen käyttämisessä. Mikäli tietomallit halutaan ottaa saumattomasti käyttöön suunnittelusta, laskennan kautta aina työmaille asti, tulee jokaisella portaalla olla riittävää tietomalliosaamista. On epärealistista olettaa, että kaikki työntekijät ottaisivat tietomallien kanssa työskentelyn avosylin vastaan. Voisi olla suositeltavampaa kouluttaa osa tietomallien syvällisempään käyttöön ja lopuille tyytyä kouluttamaan vain perusasiat tietomalleista.

Määrälaskennan siirtäminen sisäiseksi prosessiksi nykyisestä, pääosin ulkoistetusta, prosessista vaatii myöskin erityishuomiota. Tämä toimintatapa kannattaa jalkauttaa pienin askelein ja vanha toimintamalli pitää rinnalla toiminnassa, kunnes uusi prosessi toimii riittävällä varmuudella. Tässä vaiheessa on myöskin syytä huomioida, että riittävä määrä työntekijöitä koulutetaan uuden prosessin käyttäjiksi. Mikäli koulutettava joukko on liian pieni, nousee riski työntekijöiden vaihtuvuudesta suureksi. Tässä tulee löytää sopiva tasapaino tehokkuuden ja riskienhallinnan väliltä.

Tietomalleista on havaittu hyötyjä tuotannon puolella, erityisesti hankinnan parissa. Onkin erittäin suositeltavaa, että hankintapuolen työntekijät otetaan

mukaan tietomallivaatimusten kehittämiseen. Laskentapuoli ei pelkästään pysty laatimaan sellaisia vaatimuksia, jotka toimisivat optimaalisesti myöskin työmaiden käytössä.

Johdonmukaisuus ja standardoitu toistettavuus on tietomallien käytössä ensiarvoisen tärkeää. Tämän vuoksi onkin vahvasti suositeltavaa, että yrityksessä käynnistettäisiin myöskin järjestelmällinen ohjeistusten rakentaminen tietomallipohjaisen laskentatyön jalkauttamisen yhteydessä. Tietomallipohjainen työskentely sisältää niin paljon yksityiskohtia, että vakiolaatuisen toiminnan takaamiseksi selkeät ohjeistukset helpottaisivat työskentelyä huomattavasti.

Koulutuksen aikana tuli selville, että suurimmat Suomessa toimivat LVIS-suunnittelua tekevät yritykset ovat käynnistäneet omien tietomallivaatimustensa päivittämisen. Tämän johdosta ei ole suositeltavaa esittää muutoksia näiden taloteknisten tietomallien sisällöstä, ennen kuin tämä kehitysprosessi on saatu maaliin. Mikäli kaikki suuret toimistot siirtyvät johonkin vakioituun toimintamalliin, tätä kannattaa ehdottomasti lähteä seuraamaan myöskin omassa suunnittelun ohjauksessamme.

Koska uusi toimintamalli tuo mukanaan suuria muutoksia useisiin osa-alueisiin, olisi suositeltavaa jalkauttaa toimintaa osissa. Olisi suotavaa suunnitella pieniä palasia integroitavaksi osaksi nykyistä prosessia ja vakiinnuttaa se käytäntöön ennen uuden osan integraation aloittamista. Tällä tavalla muutos tapahtuisi hallitummin ja mikäli jokaisen muutoksen osan aikana pystyttäisiin osoittamaan sen hyöty käytännön työhön, myöskin muutosvastarinta vähenisi.

Yksi tärkeistä kohdista tietomallipohjaisessa suunnittelussa on mallinnustarkkuuden vaatimukset. Sellaisia asioita, joita ei mallista tarvita saada irti, ei malliin kannata mallintaa. Tämän takia myöskin mallin tarkkuustason analysointi täytyy ottaa osaksi tietomallivaatimusta laadittaessa.

Perinteisesti suunnittelijat ovat tuottaneet erilliset laskentakuvat ja tuotantokuvat. Omassa tuotannosta tästä voisi päästä parhaimmassa tapauksessa eroon ja tuottaa valmiita suunnitelmia, joiden pohjalta laskenta

voisi toteutua. Tämä voisi tuoda tehokkuutta suunnitteluun ja tarkkuutta laskentaan.

Tietomallipohjaisessa laskennassa tulee esille selvästi vakioratkaisuiden hyödyt. Näiden avulla kyetään nostamaan automatisaation astetta ja vähentämään virheiden mahdollisuutta laskennassa. Tämä on ehdottomasti suositeltava kehityskohde yritykselle jatkoa ajatellen.

Tietomallien suunnittelussa saattaisi olla vaiheita, joissa allianssihankeista käytetyt työskentelytavat saattaisivat olla toimivia ratkaisuja. Tässä olisi ehdottomasti jatkotutkimuksen ja testauksen paikka, sillä suunnittelijoiden ja suunnittelun ohjaajan tiiviillä yhteistyöllä suunnittelun kriittisissä vaiheissa voisi potentiaalisesti tuoda tehokkuushyötyjä. Suunnittelunohjaukseen saattaisi olla mahdollista muodostaa tietynlainen miniallianssi projektin kehittämistä varten.

Työn aika on tullut selvästi esille, miten tietomalleista voi olla hyötyä laskennan useissa eri osa-alueissa oman tuotannon lisäksi myös kilpailu-urakoiden puolelle. Vaikka tämä työ on pääasiallisesti tarkastellut laskentaa omien kohteiden näkökulmasta, myös kilpailukohteiden ja tonttiosojen yhteydessä suoritettavaan laskentaan tulisi jatkossa kiinnittää huomiota tietomalliperspektiiviltä.

## 7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tukea Pohjola Rakennus Oy Suomen siirtymistä tietomallipohjaiseen laskentaan. Tämä tehtiin tutkimalla ja luomalla uusi tietomalleihin perustuva laskentaprosessi.

Uusi prosessi on esitetty tiivistetysti kappaleessa viisi. Optimaalisessa tietomallipohjaisessa laskentaprosessissa suunnittelun ohjauksessa toteutetaan johdonmukaisia suunnitelmia, jotka tehdään laskentaa varten kehitetyn tietomallivaatimusten mukaisesti. Tarkastettujen mallien pohjalta lasketaan määrätiedot suurimmasta osasta rakennushanketta automatisoidusti. Tätä määrätietoa täydennetään vakioratkaisuiden avulla niille rakennuksen osille, jota ei ole mallinnettu tietomalleissa. Tämä määräluettelo tehdään vakiomuotoisena, jonka avulla hinnoittelu pystytään toteuttamaan myöskin pääasiallisesti automatisoidusti etukäteen muodostetun rakennekirjaston avulla.

Prosessin jälkeen vertaillaan saatuja määrä- ja hintatietoja referenssikohteisiin, sekä tarkastetaan suurimmat ja tärkeimmät erät tarvittaessa manuaalisesti. Näiden toimien jälkeen prosessi jatkuu normaalilla tavalla tarjouspyyntöjen ja hintavertailuiden kautta tarjouspalavariin. Jälkilaskentaan tulee uusina elementteinä tietomallivaatimusten, rakennekirjastojen ja referenssimallien jatkuva ylläpito ja päivittäminen.

Työ sisältää myöskin tutkimusta siitä, miten tämä uusi laskentaprosessi saataisiin integroitua osaksi yrityksen toimintaa. Vaikka tietomallien selvät hyödyt laskennan tehostamisessa ja laadun parantamisessa ovat ilmeisiä, on näinkin laaja vakiintuneiden toimintatapojen muuttaminen aina haastavaa. Työn lopputuloksena onkin tämän vuoksi optimaalisen laskentaprosessin kuvauksen lisäksi myöskin askelmerkit sille, miten tämä saadaan osaksi yrityksen käytännön toimintaa.

## LÄHTEET

Alhava, O., Case: Build Virtually First, Fira Oy, 2012. Verkkojulkaisu, <http://docplayer.fi/25257991-Build-virtually-first-otto-alhava.html>. Viitattu 23.3.2021.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R & Liston, K., 2011. BIM handbook a guide to building information modelling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. 2. painos. John Wiley & Sons Inc.

Enkovaara, E., Haveri, H. & Jeskanen, P. 1998. Rakennushankkeen kustannushallinta. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Helander, D., Singh, V. 2016. BIM in building renovation projects: what is the useful minimum information requirement? International Journal Product Lifecycle Management, Vol. 9, No. 1, s. 65-86.

Jävälä, P., Lehtoviita, T., 2016. Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Pieksämäki: Pieksänprint.

Kallio, S. 2017. Rakentamisen määrätietojen hallinta tietomallihankkeessa. Tampereen teknillinen yliopisto, julkaisu, vuosikerta 1497. Tampereen teknillinen yliopisto.

Kiviniemi, A., Stephen, J.W & Zou, Y., 2016. A review of risk management through BIM and BIM-related technologies, Safety Science, Vol. 97. s.88-89.

Kivimäki, C., Hoitinen, H., Lahtinen, M. & Koskenvesa, A., 2019 Rakennustöiden menekit 2020, Rakennustieto Oy.

Laitinen, H. 1998. Tapaustutkimuksen perusteet. Kuopion yliopiston julkaisuja E. Yhteiskuntatieteet 55. Kuopion yliopiston paino.

Laitinen, J. 2012. Conference BIM Finland. 20.09.2012. School of Architecture in Aarhus, Nørreport 20, 8000 Aarhus C, Tanska.

Lindholm, M. 2009. Kustannushallinta rakennushankkeessa. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Pahkin, K., Vesanto, P., 2013 Organisaatiomuutos työntekijän näkökulmasta. Työterveyslaitos-julkaisu.

Pirttinen, V., 2020, Tietomallit tuovat digitaalisuutta rakentamiseen. Lumen 02/2020 Teema-Artikkeli.

Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A. & Owen, R., 2010. Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. Journal of construction engineering and management, September 2010. s. 968-980.

Simppainen, J., 2018. Rakennuksen tietomallin hyödyntäminen ja käytön kehittäminen rakennustuotannossa, diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.

Sulankokivi, K. 2004. Kokemuksia tuotemallin ja 4D:n hyödyntämisestä pilottihankkeissa. Poit pilottiraportti. VTT rakennus- ja yhteiskuntatekniikka.

Tilastokeskus, 2020, Tuottavuustutkimus. Tuottavuustutkimukset [verkkajulkaisu]. ISSN=2343-4317. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 9.4.2021]. Saantitapa: <http://www.stat.fi/til/ttut/tau.html>

Tohmo, S., 2016. Yksi tietomalli, kiitos – mutta millä mausteilla? Verkkodokumentti. Rakennuslehti. <<http://www.rakennuslehti.fi/blogit/yksi-tietomalli-kiitos-mutta-milla-mausteilla/>>. Luettu 14.03.2021