

Kalle Tuokko

# RAKENNUSTEN PALOTURVALLISUUDEN VARMISTAMINEN JA HALLINTA TIETOMALLIEN AVULLA

Diplomityö  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Tarkastaja: Mikko Malaska  
Tarkastaja: Kalle Kähkönen  
Tammikuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Kalle Tuokko: Rakennusten paloturvallisuuden varmistaminen ja hallinta tietomallien avulla  
Diplomityö  
Tampereen yliopisto  
Rakennustekniikka  
Tammikuu 2022

---

Tämän työn tarkoituksena oli muodostaa kuvaus paloturvallisuuden esiintymisestä tietomallipohjaisissa rakennushankkeissa. Tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden hahmottamiselle oli ennen tätä työtä selkeä tarve vastaavaa aihepiiriä käsittelevien tutkimuksien harvakuisuuden vuoksi. Nykyhetken kuvauksen ohella pyrittiin selvittämään tietomallinnuksen tarjoamia tulevaisuuden mahdollisuuksia rakennusten paloturvallisuuden laadun varmistamiseksi ja hallinnaksi. Lisäksi työn yhtenä tavoitteena oli kartoittaa ja koota yhteen selvitys, kuinka tietomallipohjainen paloturvallisuuskokonaisuus muodostetaan, kuinka se palvelee eri toimijoita rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa sekä kuinka sitä voidaan hyödyntää suunnittelu- ja rakentamisvaiheen lisäksi myös rakennuksen käytön ajan tarpeisiin.

Tutkimus toteutettiin laadullisena tutkimuksena. Aineistoa kerättiin laajalla kirjallisuuskatsauksella sekä erilaisiin verkkomateriaaleihin tutustumalla. Lisäksi työn aikana järjestettiin useita vapaamuotoisia keskustelutilaisuuksia, joihin kutsuttiin rakennusalan eri tahojen ja toimijoiden edustajia tuomaan näkökulmaa ja syvyyttä työn aiheen parempaa ymmärtämistä ja kokonaiskuvan muodostamista varten.

Työn tuloksena saatiin laadittua kattava selvitys siitä, kuinka paloturvallisuuteen liittyvää sisältöä esitetään tai voitaisiin esittää tietomalleissa, kuinka paloturvallisuus ja tietomallinnus ovat yhteydessä toisiinsa rakennushankkeen ja sen elinkaaren eri vaiheissa, kuinka paloturvallisuuteen liittyvää tietomallisisältöä on mahdollista hyödyntää sekä miten tietomallipohjainen paloturvallisuuskokonaisuus saadaan muodostettua. Tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden rakenteen selvittämisen lisäksi löydettiin jatkotutkimus- ja kehitystarpeita muun muassa totuttuihin rakennusalan toimintamalleihin liittyen sekä etenkin paloturvallisuussisällön tietomallintamisen teknisiin toteutuksiin ja haasteisiin liittyen. Yhtenä työn tuloksena päädyttiin esittämään vaihtoehtoisia ja kevyempiä ratkaisuja totutun kaltaisille suunnitteluun ja asiantuntijakäyttöön kehitetyille tietomalleille.

Tutkimuksen on rahoittanut Tampereen teknillisen yliopiston tukisäätiö sekä Palosuojelun edistämissäätiö.

Avainsanat: paloturvallisuus, tietomalli, tietomallinnus, BIM, IFC, olosuhdemalli, ylläpitomalli, rakennuksen elinkaari, toteumamalli, as-built, tietosisältö, ominaisuus, property

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Kalle Tuokko: Ensuring and managing fire safety of buildings with building information models  
Master's Thesis  
Tampere University  
Civil Engineering  
January 2022

---

The purpose of this work was to form a description of the occurrence of fire safety in building information model (BIM) -based construction projects. Prior to this work, there was a clear need to perceive a BIM-based fire safety package due to the small number of studies on a similar topic. In addition to the current description, the aim was to find out the future possibilities offered by BIM for ensuring and managing the quality of fire safety in buildings. In addition, one of the aims of the work was also to map and compile a study of how an BIM-based fire safety entity is formed, how it serves different actors at different stages of a building's life cycle and how it can be utilized not only during the design and construction phase.

The study was conducted as a qualitative study. The material was collected through an extensive literature review and by reviewing various online materials. In addition, a number of free-form discussions were held during the work, inviting representatives of various parties and actors in the construction industry to bring perspective and depth to a better understanding of the topic of the work and to form an overall picture.

As a result of the work, a comprehensive study was prepared on how fire safety-related content is or could be presented in BIM, how fire safety and BIM are related at different stages of a construction project and its life cycle, how fire safety-related BIM content can be utilized and how BIM-based fire safety entity is formed. In addition to elucidating the structure of the BIM-based fire safety entity, further research and development needs were found in connection with, among other things, the operating models of the construction industry and especially the technical implementations and challenges of BIM related fire safety content. As a result of the work, alternative and lighter solutions for BIM was presented.

The study has been funded by the Tampere University of Technology Support Foundation and Fire Protection Promotion Foundation.

Keywords: fire safety, building information model, building information modelling, BIM, IFC, conditions model, maintenance model, building life cycle, as-built model, property

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# ALKUSANAT

Työn kirjoittaminen on ollut kokonaisvaltainen ja mukaansatempaava prosessi. Paloturvallisuuteen ja tietomalleihin liittyvä tietämys opiskelujalta ennen diplomityön toteutusta oli melko pintapuoleista ja yleisten periaatteiden ymmärryksen tasolla. Työn aikana aihepiiri avautui kirjoittajalle mielenkiintoisena ja laajempuna kuin mitä ennakkoon oli odotettu. Helmikuussa 2021 alkanut yhteistyö ohjaajina toimineiden Tampereen Yliopiston professori Mikko Malaskan sekä Suomen pelastusalan keskusjärjestön turvallisuusasiantuntijan Lauri Lehdon kanssa on ollut erittäin sujuvaa. Prosessin aikana käydyt lukuisat palaverit ohjaajien kanssa antoivat työn toteutukseen tarvitun tuen, rohkaisivat, kannustivat, neuvoivat ja opastivat työn toteutusta, saattaen sen lopulliseen muotoonsa. Ohjaajille suuri kiitos. Lisäksi kiitän työn aikana pidettyihin sidosryhmäkeskusteluihin osallistuneita rakennusalan toimijoita heidän antamistaan arvokkaista näkemyksistä ja mielipiteistä. Lopuksi kiitän vielä työn toteutukseen taloudellisen tuen tarjonneita Tampereen Teknillisen Yliopiston tukisäätiötä sekä Palosuojelun Edistämissäätiötä.

Turussa, 22.10.2021

Kalle Tuokko

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Tutkimuksen tausta .....	1
1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset .....	3
1.3 Tutkimusmenetelmät .....	4
2. TIETO JA SEN SIJOITTELU .....	5
2.1 Digitaalinen kaksonen .....	6
2.2 Tietomallit ja tietomallinnus .....	9
2.3 Tietomallin tarkkuustasot .....	11
2.4 Suunnittelun ja rakentamisen aikainen tietomalli .....	13
2.5 Ylläpitomalli .....	21
2.5.1 Ylläpitomallin tietosisältö .....	22
2.5.2 Ylläpitomalli turvallisuuden näkökulmasta .....	24
2.6 Olosuhdemalli .....	26
2.6.1 Olosuhdemallin tietosisältö .....	27
2.6.2 Olosuhdemalli turvallisuuden näkökulmasta .....	28
2.7 Tietomallin rooli rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa .....	29
2.7.1 Tarveselvitys ja hankesuunnittelu .....	30
2.7.2 Ehdotussuunnittelu .....	31
2.7.3 Yleissuunnittelu .....	32
2.7.4 Toteutussuunnittelu ja rakentaminen .....	32
2.7.5 Rakennuksen käyttöönotto ja käytön aika .....	33
2.7.6 Purku / Käyttötavan muutos .....	34
2.8 IFC .....	35
2.9 Eriteltyjen tasojen tarve ja tietomallin organisointi .....	38
2.9.1 Suunnittelualakohtainen jako .....	39
2.9.2 Rakennuksen kerroksiin, tiloihin ja lohkoihin perustuva jako .....	39
3. PALOTURVALLISUUS TIETOMALLISSA .....	41
3.1 Kansainvälinen tutkimus .....	41
3.2 Sidosryhmäkeskustelujen avulla kerätyt tiedot nykytilanteesta ja tulevaisuuden tarpeista .....	43
3.3 Paloturvallisuus IFC standardissa .....	45
3.3.1 Kokonaisuuksiin liittyvät pelastuslaitoksen tunnistamat sisältötarpeet .....	46
3.3.2 Rakennuksen sisäpuoliset pelastuslaitoksen tunnistamat sisältötarpeet .....	48
3.3.3 Rakennuksen ulkopuoliset pelastuslaitoksen tunnistamat sisältötarpeet .....	50
3.3.4 Pelastuslaitoksen tunnistamat talotekniikan sisältötarpeet .....	51
3.3.5 Rakennuksen sisäpuoliset tilaajaosapuolen tunnistamat sisältötarpeet .....	54
3.3.6 Rakennuksen ulkopuoliset tilaajaosapuolen tunnistamat sisältötarpeet .....	55

3.3.7	Tilaaajaosapuolen tunnistamat talotekniikan sisältötarpeet .....	56
3.4	Tulevaisuuden kehitys IFC standardissa .....	57
4.	TIEDON ESITTÄMINEN & KÄYTTÖ .....	59
4.1	Valokuva- ja laserkeilausmallit .....	60
4.2	IFC-tiedoston esittäminen ja tarkastelu .....	63
4.3	Kevyt mallinnus.....	66
4.4	Virtuaalisuutta ja reaalimaailmaa yhdistelevät tiedon esittämisen tavat 71	
4.5	Palotilanteen mallintaminen .....	72
5.	TIETOMALLIIN LIITTYVÄT SOPIMUKSELLISET JA OIKEUDELLISET NÄKÖKULMAT.....	76
5.1	Tietomallin omistus- ja käyttöoikeudet.....	76
5.2	Tietomalliin liitettävä kiinteistöstä kerättävä tieto ja henkilötiedot.....	77
6.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	80
6.1	Tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden muodostuminen .	81
6.1.1	Arkkitehtimalli.....	82
6.1.2	Rakennemalli .....	85
6.1.3	Talotekniikan tietomallit.....	86
6.2	Tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden hyödyntäminen ..	87
6.3	Tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden prosessi ja sen hallinta	89
7.	YHTEENVETO.....	92
7.1	Tutkimus ja tulokset .....	92
7.2	Jatkotutkimus- ja kehitystarpeet .....	94
	LÄHTEET.....	95

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

ARK	arkkitehti, arkkitehtisuunnittelu
RAK	rakenne, rakennesuunnittelu
LVIA	lämpö, vesi, ilma, automaatio
SÄH	sähkö
TATE	talotekniikka, talotekninen suunnittelu
2d	kaksiulotteinen
3d	kolmiulotteinen
IFC	industry foundation classes
BIM	building information model, -modelling, -management
LOD	level of design, level of development
IoT	internet of things
YTV	yleiset tietomallivaatimukset

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennushanke vaatii toteutuakseen usean eri alan osaamista ja toimijoiden välistä sujuvaa yhteistyötä. Rakennushanke sitoo eri osapuolia sekä toimijoita koko elinkaarensa ajan heti hankkeen aloituksesta lähtien, suunnittelun ja rakentamisvaiheen kautta käytön aikaan ja käyttöikänsä loppuun asti. Tietomallinnus on rakennusalalla jatkuvasti yleistyvä työskentelymenetelmä, jota hyödynnetään jo melko kattavasti etenkin suurissa hankkeissa. Tietomallinnus työskentelymenetelmänä tuo suunnitteluvaiheeseen ja työmaan toteutusvaiheeseen useita merkittäviä hyötyjä. Tietomallinnuksella ja sen tuloksena syntyvillä tietomalleilla on tunnistettu olevan myös merkittäviä hyödyntämismahdollisuuksia rakennuksen käytön aikaan ja ylläpitoon liittyen. Tavanomaisten 2d-dokumenttien ja suunnitelmien sijaan tietomallinnuksessa työkaluina käytetään tyypillisesti piirustus- ja mitoitusmenetelmiä, joiden avulla rakennuksesta muodostetaan virtuaalinen 3d-tietomalli. Tietomalliin voidaan sisällyttää geometrian lisäksi hyvin laaja-alaisesti erilaisia tietosisältöjä liittyen suunnitteluratkaisuissa käytettyihin rakennusmateriaaleihin, -tuotteisiin sekä esimerkiksi mitoitusperusteisiin, -määräyksiin ja -vaatimuksiin. Tietomallinnuksen tuloksena syntyneitä 3d-tietomalleja käytetään suunnitteluratkaisujen arviointiin ja havainnollistamiseen, erilaisten simulointien ja analyysien lähtötietona sekä tuotantoa tukevien piirustusten ja kuvien tuottamiseen.

Paloturvallisuus on osa-alue, jonka vaatimat suunnitteluratkaisut liittyvät olennaisesti myös rakentamisen muihin suunnittelualoihin. Näitä ovat muun muassa arkkitehtisuunnittelu, rakennesuunnittelu ja talotekninen suunnittelu. Toisaalta vastavuoroisesti muut suunnittelualat saattavat ratkaisullaan luoda tilanteita, joihin paloturvallisuussuunnittelun on reagoitava ja taattava rakennuksen määräysten mukainen paloturvallisuuden toteutuminen omilla ratkaisullaan. Suomessa rakennuksen paloturvallisuutta ja siihen liittyviä suunnitteluratkaisuja ohjailee *848/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta*. Paloturvallisuuteen liittyvät olennaiset tekniset vaatimukset täytetään, kun suunnittelussa ja rakentamisessa noudatetaan asetuksessa esitettyjä luokkia ja lukuarvoja (Ympäristöministeriö 2017). Vaatimusten toteutuminen esitetään tyypillisesti pääpiirustuksissa rakennuslupaa haettaessa. Toisinaan hankkeen laajuudesta ja vaativuudesta riippuen saattaa rakennusluvan ehtona olla myös erillisten paloturvalli-



suussuunnitelmien sekä paloteknisten suunnitelmien esittäminen. Rakentamisvaiheessa suunnitellut paloturvallisuusratkaisut toteuttamalla, luodaan edellytykset käytön aikaiselle paloturvallisuuden toteutumiselle. Paloturvallisuuden suunniteltu taso säilytetään käytön aikana huoltamalla ja ylläpitämällä rakennusta ja sen sisältämiä palontorjuntatekniikoita. Myös tietoisuus rakennuksen paloteknisistä ratkaisuista ja tiedon säilyminen esimerkiksi omistajan vaihtuessa tai käyttötarkoituksen muuttuessa ovat avainasemassa paloturvallisuuden tason säilymisen kannalta. Lisäksi rakennuksen käyttäjillä sekä valvonta- ja pelastusviranomaisilla on oltava riittävä tietämys rakennuksen paloturvallisuudesta ja toiminnasta onnettomuustilanteessa.

Tämän työn taustalla on tarve selvittää tietomallinnuksen käyttöä ja nykytilaa rakennusten paloturvallisuuden laadun varmistamisessa sekä hallinnassa. Rakennushankkeissa voimakkaasti yleistyvä tietomallinnus auttaa niin ARK, RAK kuin myös TATE- aloja suunnittelun sekä tuotannon laadun varmistamisessa ja hallinnassa. Työssä pyritään selvittämään, voiko tietomallinnus edistää yhtä tehokkaasti myös paloturvallisuusalan kehitystä muiden rakennushankkeeseen liittyvien toimialojen tapaan. Tietomallinnuksen tuloksena syntyvän tietomallin tarjoamat hyödyt eivät rajoitu suunnitteluun ja tuotantovaiheeseen. Paloturvallisuutta silmällä pitäen tietomalleista hyötyvät mahdollisuuksien mukaan monet eri osapuolet suunnittelijoiden lisäksi omistajista sekä käyttäjistä lähtien, päätyen aina pelastusviranomaiseen saakka.

Tietomallien hyödyntämismahdollisuuksia rakennusten turvallisuuden varmistamisessa on aiemmin tutkittu vuonna 2018 Saimaan ammattikorkeakoulun, Etelä-Karjalan pelastuslaitoksen ja Lappeenrannan Toimitilat Oy:n suorittamassa kokeiluhankkeessa, joka toteutettiin osana hallituksen KIRA-digi kärkihanketta. Tietomallit rakennusten turvallisuuden varmistamisessa -hankkeen keskeisinä tavoitteina olivat tietomallien saaminen pelastusviranomaisen käyttöön sekä hankkeen tulosten saaminen mukaan *Yleiset tietomallivaatimukset 2012* -julkaisusarjan kehitystyöhön niin, että tietomallien ominaisuustietojen määrittelyssä myös turvallisuusnäkökulma tulisi huomioiduksi. Hankkeen konkreettisina tuloksina tuotettiin muun muassa tietomallien sisältövaatimustaulukoiden päivitys turvallisuuden näkökulmasta sekä pelastuslaitoksen vaatimat turvallisuusnäkökohdat huomioon ottava tietomallipohjainen kohdekorttimalli. Hanke osoitti myös, että tietomallien käyttäminen esimerkiksi onnettomuustilanteissa pelastustoiminnan tukena on mahdollista, mutta vaatii teknisten järjestelmien, sovellusten ja virtuaaliympäristöjen kehitystyötä. (Lehtoviita et al. 2019)

Tutkimustarve tietomallien hyödyntämismahdollisuuksista paloturvallisuuden tarpeisiin esitetään myös diplomityössä *Integroituva paloturvallisuus rakennuksissa* (Mäkelä

2020). Mäkelä toteaa, että esimerkiksi tietomallinnuksen avaamia kehittämismahdollisuuksia paloturvallisuuden kokonaisuuden- ja laadunhallintaan aina suunnittelusta ylläpitoon tulisi tulevaisuudessa tarkastella. Ylläpidon aikaisiin hyödyntämismahdollisuuksiin puolestaan syvenyy Halmetojan (2016) selvitys *Tietomallit ylläpidossa*. Selvityksessä perehdytään tietomallien rakentamisvaiheen jälkeisiin hyödyntämismahdollisuuksiin, tosin turvallisuusnäkökulmaa erikseen painottamatta. Selvityksen keskeisenä havaintona todetaan, etteivät nykyiset tietomallien laatimiskäytännöt tue riittävästi ylläpidon aikaisia tarpeita. Selvityksen tuloksena löydettiin tietomallien sisältämälle tiedolle useita eri käyttömahdollisuuksia, joiden joukossa on myös joitain turvallisuuteen ja erityisesti paloturvallisuuteen liittyviä asioita. Selvitys esittää kuitenkin tietomallien sisältämän tiedon hyödyntämiselle joukon muun muassa tietosisällön identifiointiin ja teknologiaan liittyviä esteitä ja haasteita. (Halmetoja 2016)

## 1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Diplomityötutkimuksen tavoitteiksi asetettiin selvittää tietomallien ja digitaalisten kaksosten käyttöä sekä mahdollisuuksia rakennusten paloturvallisuuskokonaisuuksien laadunvarmistamisessa sekä -hallinnassa. Työllä tavoiteltiin muodostettavaksi myös kartoitusta tietomallien käyttöön ja digitaalisten kaksosten käyttöönottoon liittyvistä eri toimijoiden sekä rakennuksen eri elinkaaren vaiheiden asettamista tarpeista. Tutkimuskysymyksiä aseteltiin vastaamaan työn edetessä muodostuneita havaintoja ja osa-alueita tietomalleihin sekä paloturvallisuuteen liittyen. Keskeisimpiä tutkimuskysymyksiä olivat:

- Mitä paloturvallisuuteen liittyvää sisältöä tietomalleissa esitetään nykyhetkellä ja miten?
- Mitä paloturvallisuuteen liittyvää sisältöä tietomalleissa voitaisiin esittää nykyhetkellä sekä tulevaisuudessa?
- Kuinka tietomallinnus palvelee paloturvallisuutta rakennushankkeen elinkaaren eri vaiheissa?
- Mitkä ovat tietomallien paloturvallisuussisällön esittämiseen ja hyödyntämiseen käytetyt menetelmät ja teknologiat?
- Kuinka muodostetaan paloturvallisuuteen liittyvä koko elinkaarta palveleva tietomallipohjainen kokonaisuus?

Tutkimuksen tavoitteita sekä painopistettä siirrettiin melko aikaisessa vaiheessa käsittelemään enimmäkseen tietomalleja digitaalisten kaksosten jäädessä vähemmälle huomiolle.

### 1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa pyrittiin muodostamaan kokonaiskuva tietomallien ja paloturvallisuuden välisistä suhteista ja nykytilasta. Tietomallien ja paloturvallisuuden väliset yhteydet ja tietomallien hyödyntäminen paloturvallisuuden tarpeisiin nykyhetkellä haluttiin selvittää kaikkien rakennushankkeeseen liittyvien osapuolien näkökulmasta jokaisessa rakennushankkeen elinkaaren eri vaiheessa. Työssä etsittiin tietomallien tarjoamia mahdollisuuksia paloturvallisuuskokonaisuuksien laadunvarmistamiseen- ja hallintaan. Työn tavoitteista johtuen sovellettavaksi tutkimusmenetelmäksi valittiin kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. Laadullisella tutkimuksella pyrittiin saamaan kokonaisvaltainen ymmärrys tutkimuksen kohteena olevista aihekokonaisuuksista.

Aineistoa kerättiin laajalla kirjallisuuskatsauksella, jossa materiaaleina käytettiin aiempia aiheeseen liittyviä tutkimusraportteja, erilaisten kokeiluhankkeiden dokumentointeja sekä eri organisaatioiden verkkomateriaaleja, kuten tuote- ja palveluesitteitä, uutisointeja ja sovellusten käyttöoppaita. Tutkimusmateriaalia sekä kuvia kerättiin, käsiteltiin ja luotiin myös hyödyntämällä eräitä tietomallinnusohjelmistoja ja tietomallien tarkasteluohjelmistoja. Lisäksi aineiston keräämiseksi, käytiin työn aikana vapaamuotoisia keskusteluja harkinnanvaraisesti valittujen tahojen kanssa. Keskustelujen tahot valittiin edustamaan mahdollisimman monipuolisesti rakennusalan eri toimijoita, jotka toimenkuvassaan ovat tekemisissä tämän tutkimuksen aihepiirin kanssa. Keskustelut pyrittiin pitämään rakenteeltaan vapaamuotoisina, jotta saataisiin kerättyä mahdollisimman kattavasti alan eri toimijoiden ajatuksia tietomallien hyödyntämismahdollisuuksista paloturvallisuuteen liittyen. Keskustelut toteutettiin internetin välityksellä kestoiltaan 1–2 tunnin mittaisina videopuheluin seuraavien tahojen edustajien kanssa:

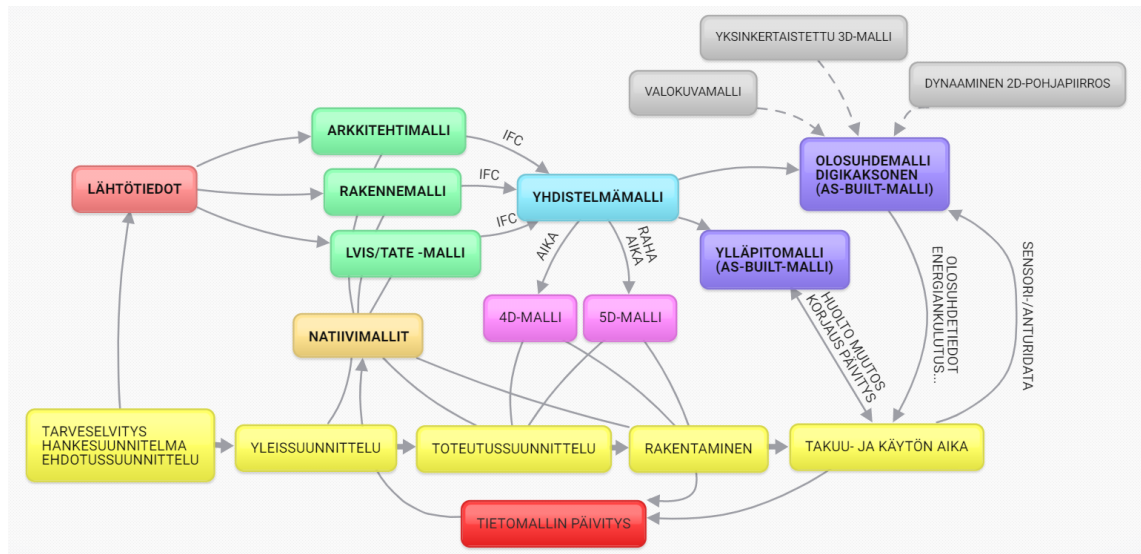
- Rakennusautomaatiotoimittaja – Siemens
- Suunnittelu- ja konsulttitoimisto – Granlund Oy
- Suunnittelu- ja konsulttitoimisto – AX-Suunnittelu
- Asiantuntijataho – Ekokumppanit Oy
- Paloturvallisuussuunnittelu ja -konsultointi – L2 Paloturvallisuus Oy
- Rakennusliike – NCC
- Pelastusviranomainen – Etelä-Karjalan Pelastuslaitos

## 2. TIETO JA SEN SIJOITTELU

Rakennushanke vaatii toteutuakseen valtavan määrän tietoa. Jo varhaisessa vaiheessa rakennushankkeen alkaessa on oltava tiedossa hankkeelle asetetut tarpeet ja vaatimukset. Hanketta aloitettaessa on tiedettävä alustavat suuntaviivat ja periaatteet, joilla suunnittelu ohjataan aluilleen. Suunnittelun aikana eri suunnittelualojen ammattilaiset luovat uutta tietoa omaa ammattitaitoaan hyödyntäen ja säilövät sen eri tavoin dokumentoitaviin suunnitelmiin. Rakentamisvaiheessa tarvitaan kaikki suunnitteluvaiheen aikana muodostettu tieto sekä tuotantoon ja sujuvaan rakentamiseen liittyvät tiedot. Rakennushankkeen valmistuttua kaikkea sen aikana muodostunutta tietoa tarvitaan edelleen, jotta ylläpitotoimet, huollot, korjaukset sekä muutostyöt saadaan toteutettua onnistuneesti. Oleellisten tietojen avulla ylläpidetään lisäksi tietoisuutta rakennuksen turvallisuuteen liittyvistä asioista. Sekä rakennuksen käyttäjien suunniteltu käyttäytyminen palotilanteessa, että myös rakennuksen itsensä toiminta ja talotekniikan toiminta palotilanteessa on oltava rakennuksen kanssa tekemisissä olevien tahojen tietoisuudessa.

Tietoja ja suunnitelmia dokumentoidaan eri tavoin, joista yleisimpiä ovat tekstimuotoiset dokumentit, 2d-piirustukset sekä nykyään myös tietomallit. Joissain tapauksissa tiedon käsittelyssä, dokumentoinnissa ja esittämisessä saatetaan käyttää virtuaalista työkalua, jota kutsutaan digitaalseksi kaksoseksi. Digitaalisen kaksosen käyttäminen on kuitenkin rakennusalalla vielä jokseenkin harvinaista tietomallien käyttöön verrattuna. Tietomalli puolestaan on viime vuosina voimakkaasti yleistynyt suunnittelun työkalu. Tietomalli on tietokoneohjelmistojen avulla luotava kolmiulotteinen dokumentaatio, johon voidaan sisällyttää lähes mitä tahansa tietoa. Tietomalli on yksinkertaistetusti ilmaistuna virtuaalinen versio suunnitellusta rakennuksesta tai rakennushankkeesta. Tietomalli muodostuu eri suunnittelualojen, kuten esimerkiksi taloteknisen suunnittelun tai rakennesuunnittelun työn tuloksena. Rakennushankkeen virtuaalinen mallintaminen jakautuu moneen eri tavoin tietomallia kuvaavaan osa-alueeseen. Tietomallinnuksen sisältö, tietomallin muodostamistapa, käyttötarkoitus, rakenne tai tiettyyn rakennushankkeen vaiheeseen yksilöiminen määrittävät kulloinkin käsitteen, jota tietomallista käytetään. Kuvassa 1. esitetään tietomallinnukseen liittyvää käsitteistöä rakennushankkeen eri vaiheisiin sidottuna. Kuva on yksinkertaistus moniulotteisesta kokonaisuudesta. Käsitteet kuten natiivimalli, yhdistelmämalli, olosuhdemalli ja ylläpitomalli ovat kaikki tietomallin alakäsitteitä, joita kutakin käsitellään tarkemmin tämän työn tulevissa osissa. Paloturvallisuus näkyy tietomalleissa tyypillisesti eri suunnittelualojen mallinnusten osana ja onkin harvinaista, että palotekninen suunnitelma toteutetaan omana kokonaisuutenaan tietomallipohjaisesti.

Usein palotekninen suunnitelma on tekstimuotoon dokumentoitu asiakirja, jota saatetaan täydentää liitepiirustuksilla. (Korventausta 2019, s.9-10)



*Kuva 1. Tietomallikäsitteitä rakennushankkeen vaiheisiin sidottuna.*

## 2.1 Digitaalinen kaksonen

Digitaalisen kaksonen (digital twin) voidaan katsoa olevan peräisin tuotantotaloudesta, jossa sillä tarkoitetaan esimerkiksi koneesta tai tuotantolinjasta luotua virtuaalista mallia. (Etteplan 2021) Digitaalinen kaksonen on yhteydessä fyysisen maailman vastinpariinsa. Mikäli esimerkiksi tuotantolinjasta on luotu digitaalinen kaksonen, se yhdistetään erilaisien mittauslaitteiden, antureiden ja tiedonsiirtoprotokollien avulla fyysiseen tuotantolinjastoon. Tällöin saadaan merkittäviä hyötyjä, kun tuotantolinjaa voidaan tarkkailla ja hallita päätelaitteen käyttöliittymän kautta. Esimerkiksi koneistojen tehonkulutusta, lämpötilaa tai kuluvien osien rasituksia voidaan seurata digitaalisen kaksonen avulla. Käyttöliittymään luodaan visualisointeja, joista yhdellä silmäyksellä saadaan kuva esimerkiksi tuotantolinjan tilasta. (LUT-yliopisto 2020) Tiettyä hankintaa tai investointia voidaan myös simuloida virtuaalisesti siitä luodun digitaalisen kaksonen avulla ennen päätöksen tekoa, jolloin päätöksen tekemiseen saadaan merkittävää taustatietoa ja lisähyötyä simuloinnin tuloksista.

Rakennusteollisuudessa digitaalinen kaksonen on ainakin terminä jokseenkin harvainen ja vielä toistaiseksi kehitysasteella. Viime vuosien kehitys digitaalisten kaksosten yleistymisessä on ollut hidasta (Rakennuslehti 2020). Tämän työn aikana järjestetyissä sidosryhmäkeskusteluissa ilmeni esimerkiksi virtuaaliseen suunnitteluun ja rakentamiseen keskittyviltä tahoilta sekä laite- ja järjestelmätoimittajilta ajatuksia, joiden mukaan

digitaalinen kaksonen ymmärretään alalla hyvin korkealentoisena ja vaikeahkosti lähestyttävänä käsitteenä. Puhuttaessa rakennuksen digitaalisesta kaksosesta, saadaan usein asiantuntijoiden, suunnittelijoiden ja laitetoimittajien taholta aiheeseen melko varauksellinen vastaanotto. Ennen sujuvaa digitaalisen kaksosen kehittämistä on ensin hallittava tietomallit ja niihin liittyvä mahdollisuus esimerkiksi reaaliaikaisen anturidatan yhdistämisestä malleihin. Rakennuksen tietomalli sekä digitaalinen kaksonen nivoutuvat myös joissain määrin yhteen, sillä usein digitaalisen kaksosen pohjana toimii kolmiulotteinen tietomallin kaltainen malli. Tietomallinnuksen tuotteena voidaan muodostaa myös rakennuksen olosuhdemalleja tai ylläpitomalleja, jotka vastaavat luonteeltaan jo melko paljon digitaalisen kaksosen käsitettä. Näitä malleja käsitellään raportin myöhemmissä osissa. Paloturvallisuuteen vaikuttaminen rakennuksen digitaalisen kaksosen avulla perustuu reaaliaikaisten olosuhteiden ja mittausdatan tarkkailuun sekä simulointien suorittamiseen. Esimerkiksi tuotantolaitoksissa koneen ylikuumenemisen johdosta aiheutuvaa paloturvallisuusriskiä voidaan pienentää, mikäli digitaalinen kaksonen toimii saumattomasti ja automatisoidusti yhteistyössä toimintaa valvovan tahon kanssa. Digitaalisen kaksosen avulla voitaisiin mahdollisesti myös simuloida erilaisia onnettomuusskenaarioita vaihtelevilla olosuhteilla, jolloin paloturvallisuuden toteutumiseen vaikuttavia tekijöitä voitaisiin tarkastella ennakoitavasti. Paloturvallisuuden näkökulmasta juuri ennakointi on ensiarvoisen tärkeää, jolloin tiedon hyödyntäminen liittyy riskien arviointiin ja turvallisuusnäkökohtien aikaiseen havainnointiin. Tiedon riittävän aikaisella analysoinnilla ja hyödyntämisellä pystytään reagoimaan ja välttämään riskitekijöiden aiheuttamia vaaratilanteita sekä taloudellisia menetyksiä.

Kiinteistö- ja rakennusalan asiantuntijakonserni Granlund aloitti huhtikuussa 2020 toteuttamaan laajaa tutkimusta Digitaalisten kaksosten käytöstä ja tilanteesta Suomessa. Tutkimuksessa haastateltiin 16 eri tahoa kiinteistö- ja rakennusosalta. Tutkimus toteutettiin yhteistyössä LUT-yliopiston tutkija José Camposanon kanssa. Granlundilla tutkimuksesta vastanneen teknologiajohtajan, Aalto-yliopistossa tutkijatohtorina toimivan Ken Dooleyn mukaan lähtökohtana digitaalisia kaksosia koskevaan keskusteluun on ollut tietomallien monipuolinen sisältö ja tarve hyödyntää tietomalleja rakennusvaiheen jälkeen. Dooley toteaa, että digitaalisia kaksosia koskevassa kehityksessä on menty helposti teknologia edellä, sillä tietomallin ollessa jo olemassa, sitä hyödynnetään myös digitaalisen kaksosen käsitteen alla tapahtuvaan toimintaan. Tämä näkökulma tukee huomioita, joiden mukaan digitaalisen kaksosen käsite on rakennusosalalla hieman häilyvä ja sekoittuu helposti ominaisuuksien ja luonteensa puolesta tietomalleihin ja edelleen ylläpitomalleihin tai olosuhdemalleihin. Granlundin tutkimuksessa digitaalista kaksosta lähestyttiin

vastakkaisesta näkökulmasta, ja selvitettiin eri sidosryhmien nimeämiä tarpeita ja haasteita, joihin digitaalisella kaksosella voitaisiin vastata. Tutkimuksen yhtenä tuloksena saatiin selville, että erilaisiin kiinteistön tai rakennuksen parissa toimivien sidosryhmien tarpeisiin voidaan vastata hyvin eritasoisilla teknologisilla ratkaisuilla. Tutkimuksen tulosten perusteella eriteltiin neljä toteutuksen vaativuudeltaan hyvin eritasoisista ratkaisumallia, joista kaksi vaativinta koostuvat tietomallien tapaan rakennusosista, elementeistä ja järjestelmiä kuvaavista mallinnoista tietosisältöineen. Kaksi vähemmän vaativampaa ratkaisumallia puolestaan koostuvat esimerkiksi vuorovaikutteisista 2d-pohjapiirustuksista, joita täydennetään sekä muuttumattomalla datalla, että dynaamisella datalla ja olosuhteita reaaliajassa kuvaavalla tiedolla. (Granlund 2021a)

Digitaalisen kaksosen nykytilannetta rakennusalalla kuvastaa melko hyvin vuoden 2020 lopulla päättyneen Energiaviisaat kaupungit -hankkeen aikana toteutettu kokeilu yhteistyössä Turun kaupungin, kestävän kehityksen asiantuntijaorganisaatio Valonian sekä MeshWorks Wireless Oy:n kanssa. Kokeilussa tavoiteltiin kiinteistöjen sisäilmasto-olosuhteiden todentamista sekä hyvän sisäilmaston varmistamista rakennusten käyttäjille samalla energiatehokkuuteen tähdäten. Kokeilun tavoitteena oli kehittää ratkaisuja, joilla visualisoidaan rakennuksen energiatehokkuuteen ja sisäilmanlaatuun liittyviä tietoja digitaalisen kaksosen tarjoamin keinoin. Kokeilun kohteeksi valikoitui Turussa sijaitseva Yli-Maarian monitoimitalo, josta oli jo ennalta olemassa IFC-tietomalli. (Energiaviisaat kaupungit 2020a) Yksinkertaistettuna IFC tarkoittaa yleistä tallennuksen ja tiedonsiirron muotoa, jota tukevat suurin osa tietomallinnukseen käytettävistä ohjelmistoista. Kohteen valikoituminen puoltaa Granlundin tutkimuksessa esitettyä havaintoa, jonka mukaan digitaalisesta kaksosesta keskusteltaessa on menty usein yksinkertaisinta reittiä ja hyödynnetty jo olemassa olevia tietomalleja. Näiden havaintojen valossa onkin huomionarvoista pohtia, onko digitaalinen kaksonen lopulta liian moderni ja ominaisuuksiinsa nähden kenties tarpeeton käsite, kun puhutaan rakennusten ja kiinteistöjen virtuaalisista kopeista. Sekaannusten ja ennakoasenteiden aiheuttaman kehitykseen kohdistuvan kielteisen vaikutuksen vuoksi saattaisi olla järkevämpää kohdistaa kehitystä ja puhua digitaalisten kaksosten sijaan esimerkiksi rakennuksen ylläpitomallista tai olosuhtemallista, joita käsitellään myöhemmin luvuissa 2.5 ja 2.6. Tämä sen vuoksi, että kuten on jo ilmennyt, käytetään digitaalisen kaksosen pohjana usein rakennuksen suunnitteluprosessin aikana luotua tietomallia. Digitaalisen kaksosen käsitteen ympärillä lisää epävarmuutta aiheuttaa näkemykset digitaalisen kaksosen muodostumisesta ja määrittelystä. Riittääkö digitaalisen kaksosen muodostumiseen, että suurpiirteiseen karkean geometrian omaavaan 3d-malliin liitetään dynaamista dataa, vai täytyykö 3d-mallin olla tarkka kopio rakennuksesta niin rakenneosien kuin laitteiden ja järjestelmäasennustenkin

osalta tuote- ja materiaalitietoineen? Määritelmiä käsiteltäessä törmätään jälleen tietomallinnuksen maailmaan, jossa esimerkiksi eräänlainen tietomallin muoto on niin kutsuttu as-built -malli, eli toteutunutta vastaavan mukainen tietomalli. Kyseinen tietomallin määritelmä kytkee ja sulauttaa yhä edelleen digitaalisen kaksosen käsitettä osaksi suurempaa rakennuksesta muodostetun virtuaalisen tiedon ja sisällön kokonaisuutta.

## 2.2 Tietomallit ja tietomallinnus

Rakennuksen tietomalli on eri ohjelmistojen ja tietokoneavusteisen piirtämisen avulla muodostettu kokonaisuus, joka sisältää tapauskohtaisesti vaihdellen rakennukselle ja rakennushankkeelle ominaisia aineellisia ja toiminnallisia tietoja digitaalisessa muodossa. Tietomalli sisältää lähes poikkeuksetta graafisesti esitettävää tietoa, kuten esimerkiksi geometrioita tai eri värien avulla kuvattavia tietoja. Tietomalli saattaa sisältää myös paljon tietoa, jota ei esitetä graafisesti. Tällaiset tiedot voivat olla esimerkiksi tietyn rakennusosan tai -tarvikkeen palonkestoajoja tai muita vastaavia tietoja, jopa linkityksiä ulkoisiin tietokantoihin. Tietomallinnukseen käytettävät ohjelmistot sisältävät tietokenttiä, joihin mallinnusta tekevä suunnittelija lisää sisältöä eli määrittelemiään tietoja. Tietokenttää kutsutaan useissa yhteyksissä myös englannin kielen sanalla *property*. Tietosisältö puolestaan esiintyy tietomallinnuksen yhteydessä usein terminä *property value*. (Järvinen & Järvenpää, 2021) Tietosisältö voi olla muodoltaan ja mittayksiköltään hyvin monipuolista, kuten esimerkiksi yksikötön totuusarvo, tekstimuotoinen tieto, lukuarvo tai esimerkiksi [www-linkki](#) ulkoiseen tuotetietojen sisältävään tietokantaan. Tietomalliin lisättävien elementtien ja objektien väliset keskinäiset riippuvuudet ja vuorovaikutussuhteet ovat myös olennainen osa tietomallien tietosisältöä. (Lehtoviita et al. 2019a, s.13)

Tietomallinnus on rakennus- ja kiinteistöalalla voimakkaasti laajeneva sekä yleistyvä suunnittelun ja dokumentoinnin digitaalinen toteutustapa. Tietomallinnusta ja tietomallien rakennetta ohjailee Suomessa muun muassa julkaisusarja *Yleiset tietomallivaatimukset YTV2012*. Suunnittelualoilla on käytössä useita eri ohjelmistotalojen tarjoamia työkaluja, joilla tietomallinnusta tehdään. Tietomallinnuksen päämääränä saatetaan usein ajatella olevan suunnitteluprosessin lopputuloksena syntyvä rakennuksen tietomalli, mutta kyseistä ajattelutapaa on kuitenkin syytä laajentaa. Tietomallinnus tuo läpinäkyvyyttä rakennushankkeen suunnitteluvaiheeseen, parantaa suunnitelmien tarkkuutta, antaa mahdollisuuksia lukuisten eri suunnitteluohjelmistojen sekä -työkalujen käytölle ja mahdollistaa suunnitelmien helpon muunneltavuuden kaikissa rakennushankkeen eri vaiheissa. Ennen kaikkea tietomallinnus auttaa suunnittelijoita saavuttamaan hankkeelle asetetut tavoitteet sekä mahdollistaa entistä paremmin tavoiteltujen suunnitteluratkaisujen onnistumisen (Halmetoja 2016, s.10).



Tietomallinnukseen ja tietomalleihin viitataan usein kirjainyhdistelmällä BIM, joka juontaa juurensa englanninkielisistä käsitteistä ”Building Information Model” sekä ”Building Information Modeling”. BIM-lyhenteellä voidaan siis tarkoittaa joko konkreettista tietomallia tai sitten koko rakennushankkeen tai sen tietyn vaiheen tietomallinnusta digitaalisena työskentelymuotona. Nykyään lyhenne BIM voidaan myös ymmärtää rakennushankkeen tiedonhallintana ”Building Information Management” (Lehtoviita et al. 2019, s.13). BIM-lyhenteen käsittäminen rakennushankkeen tiedonhallintaa tarkoittavana terminä alleviivaa, ettei tietomallinnustyön lopputuloksena syntyvä tietomalli suinkaan ole ainoa eikä pääasiallinen tietomallinnuksen tavoite. Tietomalli voi mahdollisuuksien mukaan toimia tiedonhallinnassa hyödynnettävänä työkaluna ja alustana, joka mahdollistaa rakennuksen elinkaaren aikaisen tiedonkäsittelyn, -hallinnan ja arkistoinnin. Tietomallin käyttäminen elinkaaren aikana tiedon tallentamisen, käsittelyn ja hallinnan alustana ei ole kuitenkaan aivan yksiselitteinen prosessi. Tarvitaan tutkimusta ja kehitystyötä, jotta voidaan päästä lopputulokseen, jossa elinkaaren aikaiselle tiedonhallinnalle löydetään optimaalinen alusta. Tietomalli antaa tähän ongelmaan potentiaalisen vaihtoehdon mutta ei ole nykyisellään vielä riittävän kehittynyt kyseiseen tehtävään. On kuitenkin selvitettävä tietomallin soveltuvuus tiedonhallinnan alustaksi. Soveltuvuuteen vaikuttavat muun muassa tietomallin usein melko suuri tiedostokoko, tietomallin luomiseen käytetyt ohjelmistot ja niiden yhteensopivuus eri tallennusformaattien kanssa, tietomallin tarkkuustaso sekä esimerkiksi tietomallin käyttö- ja lukuoikeudet ja tätä kautta myös oleellisena osana käyttäjärajapinnat. Tulevaisuudessa tietomalli tulee mitä todennäköisimmin näyttämään jonkinlaisesta roolia tiedonhallinnan ja ylläpidon alustana, mutta se saattaa olla muokattu, pelkistetty tai rikastettu versio suunnittelijoiden pöydiltä tutuksi tulleeseen tietomalliin verrattuna.

Vallitsevien käytäntöjen mukaan tietomallinnus on laajalti keskittynyt 3d-tietojen tuottamiseen ja geometrioihin, pohjautuen julkaisusarjaan *YTV2012*. Tapauskohtaisesti tietomallinnusta on myös laajennettu 4d- ja 5d-mallinnukseen. Edellä mainituista 4d liittyy mallinnustyöhön mukaan hankkeen aikataulutuksen kuvaamisen tietomallin avulla ja 5d sisältää puolestaan lisäulottuvuutena rakennushankkeen taloudellisen mallinnuksen (Halmetoja 2016, s.10). Alalla on yleistymässä mielipide, jonka mukaan *YTV2012* kaipaa päivitystä, jotta sen mukaisesti tuotetuilla tietomalleilla olisi mahdollista vastata entistä paremmin nykyhetken tarpeisiin. Tietomallivaatimusten päivittämiseen liittyen tämän työn kirjoitushetkellä on käynnissä valtakunnallinen *YTV2020* työnimellä kulkeva hanke, jonka päämääränä on tietomallivaatimusten kokonaisvaltainen uudistaminen. *YTV2012* -julkaisusarjan päivittämisellä tullaan ottamaan kantaa tietomallien käyttämättömiin potentiaaleihin ja huomiota siirretään geometrioiden ja graafisten asioiden mallinnuksesta

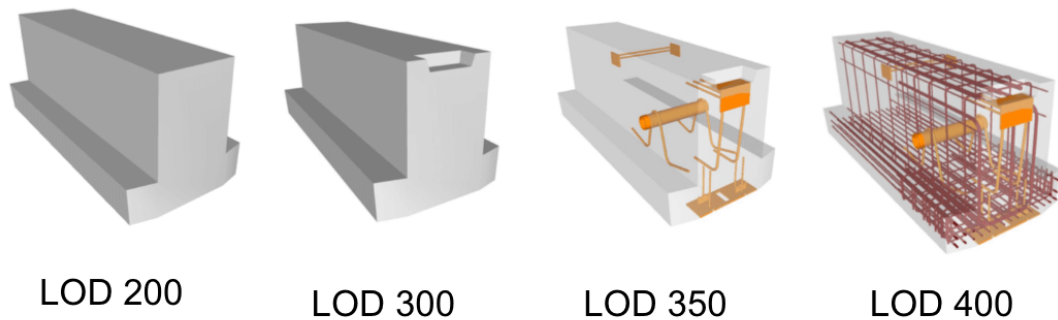
yhä enemmän tietomallin tietosisältöön. Tietosisällön tarkastelu ja muun kuin graafisen tiedon roolin kasvattaminen tukevat tietomallien kehittymistä rakennuksen elinkaaren aikaisiin tarpeisiin. Rakentamishankkeiden tietomallinnuksen tuottamaa tietokantaa pyritään rekisteröimään, vakioimaan sekä valjastamaan hyötykäyttöön elinkaarinäkökulman kasvattaessa enenevissä määrin merkitystään. Työn kirjoitushetkellä vuoden 2021 keuhalla *YTV2020* -hanke on vaiheessa, jossa eri rakennusalan yrityksillä on koekäytössä talotekniikan ja rakennesuunnittelun yhtenäistetyt ja päivitettyt mallinnusnimikkeistöt.

Tietomallinnuksella saavutetaan lukuisia kiistattomia hyötyjä, joista selkeimmin osoitettavissa lienevät rakennushankkeen ja suunnitelmien visualisointi, dokumenttien ja piirustusten tuottaminen tietomalleista, sekä tietomallin käyttäminen eri suunnittelu- ja analyysiohjelmistojen lähtötietona. Tulevaisuudessa tietomallille pyritään löytämään hyötyjä muun muassa koko rakennuksen elinkaaren aikaisena tiedonhallinnan, -käsittelyn ja varastoinnin alustana. Paloturvallisuuden kannalta tietomallinnuksen tunnistetut hyödyt parantavat ja varmistavat suunnittelun, toteutuksen ja ylläpidon laatua samoin kuin muiden suunnittelualojen kohdalla. Tietomallien hyödyt rakentamisvaiheen jälkeen on koostettu kattavasti yhteen Halmetojan esityksessä -Tietomallit teknisten huoltojen ja kiinteistön käytön tukena (Halmetoja 2019). Rakentamisvaiheen jälkeiset hyödyt auttavat paloturvallisuuskokonaisuuden laadun hallinnassa ja turvallisuuskokonaisuuksien ylläpidossa.

### 2.3 Tietomallin tarkkuustasot

Tietomallinnuksen tuloksena syntyvä tietomalli voidaan jaotella eri tarkkuustasoihin sen kehittyneisyyden ja yksityiskohtaisuuden perusteella esimerkiksi kuvan 2 mukaisesti. Alla esitellyt tietomallien tarkkuustasomääritykset perustuvat BIMForum -organisaation julkaisuun *LOD Specifications 2019*, jonka mukaista määrittelyä mukaillaan rakennus- ja kiinteistöalalla kansainvälisesti suunnittelualasta riippumatta.

Tyypillinen tapa kuvata tietomallin tarkkuustasoa on käyttää kirjainyhdistelmää LOD, jonka perään lisätään kutakin yleisesti sovittua ja käytössä olevan määrittelyn mukaista tarkkuustasoa kuvaava luku. LOD kirjainyhdistelmä johdetaan englannin kielen sanoista ”Level of Detail” tai ”Level of Development”. Ensimmäinen määritelty tarkkuustaso on LOD 100. Tällä tasolla tietomalli ei yleensä sisällä lainkaan geometrista informaatiota. Voi kuitenkin olla tilanne, jossa suunnittelutyön pohjalla on jonkin muun suunnittelualan geometrioita sisältävä tietomalli. Tällöin LOD 100 -tasolla mallinnettavat elementit tai objektit voidaan esittää symboleina ja merkintöinä. Elementin tarkkaa sijaintia, geometriaa sekä parametrissa tietosisältöä ei vielä määritellä. LOD 100 -tason tietomalli on lähinnä alustava ja sen sisältämiin tietoihin tulee suhtautua ainoastaan karkeina arvioina. (BIMForum 2019)



**Kuva 2.** Tietomallin tarkkuustasot. (Grani 2016)

Seuraava tietomallin tarkkuustaso on LOD 200. Tietomallin sisältämät elementit, objektit ja kokoonpanot kuvataan graafisesti joko karkeina tilavarauksina tai tarkemmin jo tunnistettavan muodon omaavalla geometrialla. Määrätiedot, koko, muoto, sijainti sekä asento ja asemointi esitetään jo tietomallissa mutta edelleen siten, että tietoihin tulee suhtautua varauksellisesti. Mallinnetuille elementeille voidaan jo antaa myös muitakin kuin vain graafisia tietoja. (BIMForum 2019)

Rakennushankkeen suunnitteluprosessin kannalta kenties näkyvin tietomallin tarkkuustaso on edellisen jälkeen määritelty LOD 300. Suunnitteluprosessissa suuri työpanos ja ajankäyttö kohdistuvat LOD 300 -tason tietomallin kanssa työskentelyyn. Nyt tietomalliin luodut elementit, objektit ja geometriat ovat tarkentuneet edellä määriteltyjen ominaisuuksiensa osalta siten, että tiedot ovat jo luotettavia ja pysyväksi tarkoitettuja, pois lukiin muutostyöt ja suunnitelmanmuutokset. Sijaintitiedot, muoto, koko, määrät ja asemointi ovat LOD 300 -tasolla tarkkuudeltaan siten määritettyjä, että voidaan tehdä mitauksia sekä esimerkiksi kustannus- ja määrälaskentoja suoraan tietomallista ilman tarvetta viitata aiempiin suunnitteluprosessin muistiinpanoihin ja dokumentteihin. Tietomallinnettavan rakennushankkeen koordinaatisto on yhteisesti sovittu eri suunnittelualojen kesken, joten kaikki mallinnustyö ja mallinnetut elementit vastaavat sijainniltaan ja asemoinniltaan tavoiteltuja suunnitteluratkaisuja. Tietomallin sitominen ja lukitseminen koordinaatistoon mahdollistaa eri suunnittelualojen tuottamien tietomallien sisältöjen yhdistämisen. Parametristen ja muiden kuin graafisten tietojen syöttäminen elementeille on ominaista LOD 300 -tason tietomallintamiselle. (BIMForum 2019)

LOD 350 -taso on määritelty eri dokumentoinneissa tasoksi, jossa mallinnusten tiedot ja ominaisuudet on tarkennettuina siten, että yhteistyö ja suunnitelmien yhdistäminen sekä eri suunnittelualojen väliset rajapinnat ovat yhteensopivia. Tällöin esimerkiksi rakennussuunnittelun tuottama tietomalli on jo riittävän tarkka, jotta se voidaan yhdistää esimer-

kiksi talotekniikan tietomallin kanssa. Yhdistelyn ansiosta muun muassa törmäystarkastelut ovat mahdollisia. Automaattiset törmäystarkastelut auttavat suunnitelmien laadunvarmistamisessa ja ehkäisevät epäkohtien huomaamisesta syntyviä viivästyksiä rakennushankkeen myöhemmissä vaiheissa. (BIMForum 2019)

Seuraavana on vuorossa LOD 400 -tarkkuustaso. Tällä tasolla suunnitelmat ovat sisällöltään ja laadultaan tuotantovaihetta tukevia. Rakennushankkeen tuotantovaiheeseen siirryttäessä LOD 400 -tasoon työstetystä tietomallista pystytään tuottamaan suoraan rakentamisvaiheessa tarvittavia tulosteita ja dokumentointeja, kuten erilaisia piirustuksia sekä tuotantokuvia. Esimerkiksi koneistamalla tuotettavia rakennustarvikkeita ja -osia, kuten erilaisia teräsosia pystytään tuottamaan tietomallista saatujen tuotantokuvien perusteella. LOD 400 -tason tietomallipohjaiset suunnitelmat pystytään jakamaan esimerkiksi urakoitsijan toimesta osiin, jolloin aliurakointisopimuksien laadinta helpottuu ja suunnitelmien laatu säilyy. (BIMForum 2019)

Viimeinen määritellyistä tasoista, LOD 500 on vielä toistaiseksi harvinainen käytännön rakennushankkeissa. Tällä tasolla tietomalli on toteumaa vastaava, eli *as-built* -malli rakennushankkeesta niin geometriatietojensa, tuotetietojen, kuin myös muun informaation sisältönsä puolesta. LOD 500 -tason tietomalliin tulee tulevaisuudessa kiinnittymään runsaasti huomiota, sillä *as-built* -luonteensa ansiosta tietomallilla on edellytykset toimia rakennushankkeen valmistumisen jälkeenkin palvelemalla muun muassa kiinteistön ylläpitoa, huoltoa ja hallintaa koko elinkaaren ajan. Tietomallien saattaminen LOD 500 -tasolle vaatii nykyisten työskentelymuotojen ja alan käytäntöjen kehittymistä sekä uusien työskentelytapojen vakiintumista. Suunnittelu- ja tuotantotahojen väliset tiedonkulun haasteet sekä ristiriitaisuudet suunnitellun ja toteutuneen välillä muodostavat haasteen tietomallin LOD 500 -tason saavuttamiselle. Tietomallin päivittäminen *as-built* -malliksi voidaan kokea haastavana tai tahtotaho päivittämiselle voi olla matala, sillä usein päivitys määräytyy tehtäväksi vasta rakentamisvaiheen lopulla, kun jokin toteutus onkin tehty eri tuotteita käyttäen tai alkuperäisistä suunnitelmista poikkeavin rakennusratkaisuin. (BIMForum 2019)

## 2.4 Suunnittelun ja rakentamisen aikainen tietomalli

Tietomallipohjainen rakennushanke voi pitää sisällään joko yhden tietyn suunnittelualan mallinnustyön tai vastavuoroisesti kaikkien suunnittelualojen tai niiden yhdistelmien mallinnustyöt. Tyypillisessä tietomallipohjaisessa rakennushankkeessa omat tietomallinsa luovat LVIA-, ARK-, RAK- ja SÄH-suunnittelualat. *Yleisten tietomallivaatimusten 2012* mukainen jaottelu pitää sisällään ARK-, RAK- sekä TATE-suunnittelualojen tietomallit.

Talotekniikan tietomalleihin kuuluu LVI-järjestelmien sekä sähkösuunnittelun tuottamat tietomallit. Kuvassa 3 esitetään LVI-suunnittelun tietomalli ja kuvassa 4 puolestaan sähkösuunnittelun tuottama tietomalli. Talotekniikan tietomallinnusta ohjeistava julkaisu *Yleiset tietomallivaatimukset osa 4* määrittelee joitain paloturvallisuuteen liittyviä käytäntöjä, vaatimuksia sekä ohjeita. Eristeiden mallinnukseen ohje ottaa kantaa esittämällä vaatimuksen, jonka mukaan mallinnettujen eristeiden ominaisuustietoihin on sisällytettävä tieto eristeen käyttötarkoituksesta, paksuudesta ja materiaalista. Tietojen perusteella mallista pystytään tunnistamaan esimerkiksi paloeristykset. Lisäksi törmäystarkastelujen suorittaminen ja materiaalilistojen laatiminen mahdollistuvat eristeitä koskevia ohjeita noudattamalla. (YTV2012 osa 4. s.22)

Kuvaan 5 on valikoitu automaattisen vesisammutuslaitteiston tietomalli, joka tosin on eri esimerkkikohteesta kuin tämän kappaleen muiden kuvien esittämät tietomallit. Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan *A2 Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat* mukaan automaattisen vesisammutuslaitteiston suunnittelu on erityissuunnittelua. Erityissuunnittelu edellyttää, että automaattisen vesisammutuslaitteiston suunnitelman toteuttavan erityissuunnittelijan tulee olla joko LVI-tekniikan diplomi-insinöörin tutkinnon teknisessä korkeakoulussa tai yliopistossa suorittanut tai LVI-insinöörin tutkinnon ammattikorkeakoulussa tai vastaavan aiemman ammatillisen korkea-asteen lvi-insinöörin tutkinnon suorittanut henkilö. Tutkintovaatimusten lisäksi automaattisen vesisammutuslaitteiston suunnittelusta vastaavalla tulee olla riittävä kokemus sprinklerilaitteiston suunnittelusta. (RT 63-10990, Sprinklerilaitteistot) Sprinklerilaitteistosta mallinnetaan järjestelmäkohtainen tietomalli, johon kuuluu omina osajärjestelminään yhden asennusventtiilin sekä siihen liittyvien putkistojen, sprinklereiden ja muiden laitteiden muodostamat kokonaisuudet. Talotekniikan pääjärjestelmät tulee mallintaa toimivina, eli siten että suunnitteluohjelmistojen tarjoamia laskenta- ja analyysisovelluksia on mahdollista käyttää tietomallista saatavien lähtötietojen perusteella. (YTV2012 osa 4. s.21) Toimivuuden mallintamisen vaatimusta kuitenkin sovelletaan automaattisen vesisammutuslaitteiston kohdalla siten, että sammutuslaitteistosuunnittelija voi käyttää myös erillisiä ohjelmistoja paine- ja virtauslaskentojen suorittamiseen. Muita talotekniikan tietomalleissa esiintyviä paloturvallisuuteen liittyviä järjestelmiä ovat esimerkiksi savunpoistojärjestelmät, jotka YTV2012 kuitenkin luokittelee erikoisjärjestelmiksi. Erikoisjärjestelmiä koskevat mallinnusvaatimukset kohdistuvat lähinnä laitteiden ja asennusten tilantarpeen mallintamiseen muiden suunnittelualojen sekä törmäystarkastelujen hyödyksi. Erikoisjärjestelmien nykyistä tarkempi mallinnus saattaisi avata mahdollisuuden vaikuttaa paloturvallisuussuunnittelun laadun varmistamiseen ja suunnittelun onnistumisen varmistamiseen. 848/2017

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta esittää määräyksiä, esimerkiksi savunpoistoon liittyen. Asetusta täydentää Yli-insinööri Jorma Jantusen laatima perustelumuuuistio, jossa esitetään esimerkiksi vaatimuksia savunpoiston vapaiden aukkojen pinta-alojen prosenttimitoitukselle (Jantunen, 2017). Tilan palokuormaryhmästä sekä suojaustasosta eli sammutuslaitteistosta riippuen savunpoiston prosenttimitoitutus on taulukon 1. mukainen.

**Taulukko 1.** Tarvittavan savunpoiston määrääminen prosenttimitoituksella.

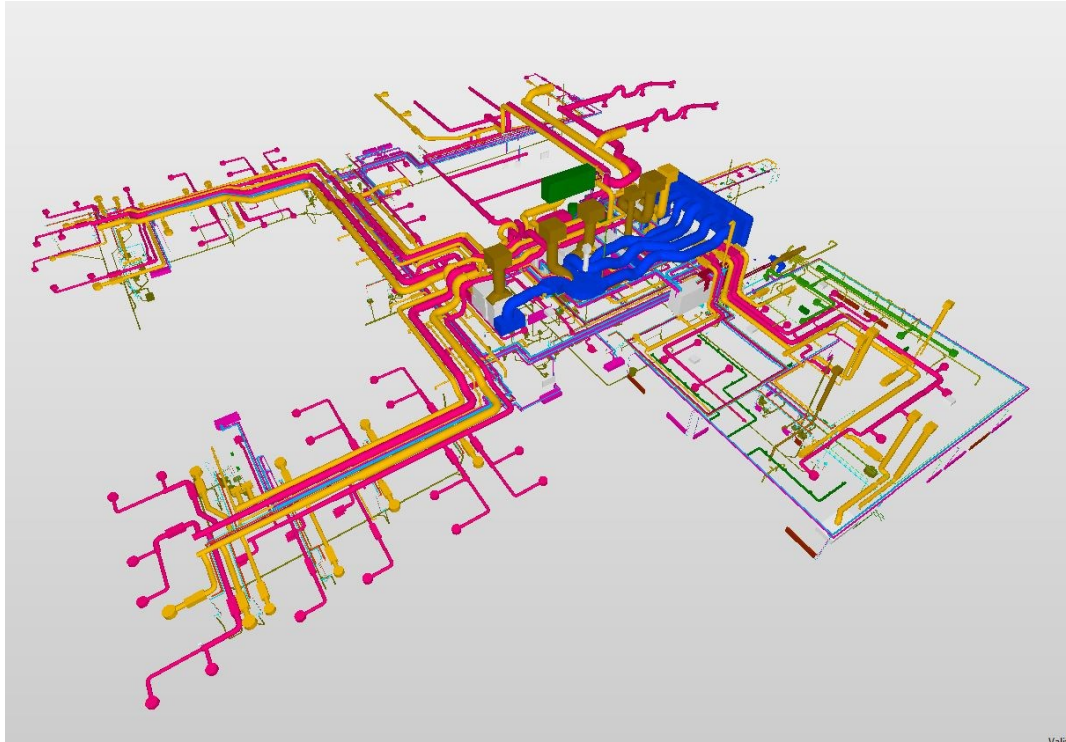
Käyttötarkoituksen mukainen palokuormaryhmä	Rakennusta ei ole varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla <sup>1)</sup>	Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla <sup>1)</sup>
Alle 600 MJ/m <sup>2</sup>	1,0 %	0,5 %
600 – 1200 MJ/m <sup>2</sup>	1,5 %	0,5 %
Yli 1200 MJ/m <sup>2</sup>	2,0 % <sup>2)</sup>	0,5 %
<sup>1)</sup> Painovoimaisessa savunpoistossa savunpoistoon käytettävien aukkojen geometrinen vapaa aukkopinta-ala saadaan taulukossa esitetyn prosenttiluvun ja huoneistoalan tulona. Koneellisessa savunpoistossa mitoitusvirtaama saadaan taulukossa esitetyn prosenttiluvun, huoneistoalan ja kertoimen 1 m/s tulona. <sup>2)</sup> Voi olla korkeampi perustuen esimerkiksi varastoitavan tavaran suureen savuntuottoon ja palotehoon.		

Konkreettinen hyöty paloturvallisuussuunnitteluun saataisiin, mikäli taulukon 2 mukaiset tiedot huomioiden kehitettäisiin suunnittelijoiden työkaluihin ja mallinnusohjelmistoihin toiminnallisuus, joka suorittaisi automaattisen tarkastuksen savunpoiston mitoituksen riittävyydelle.

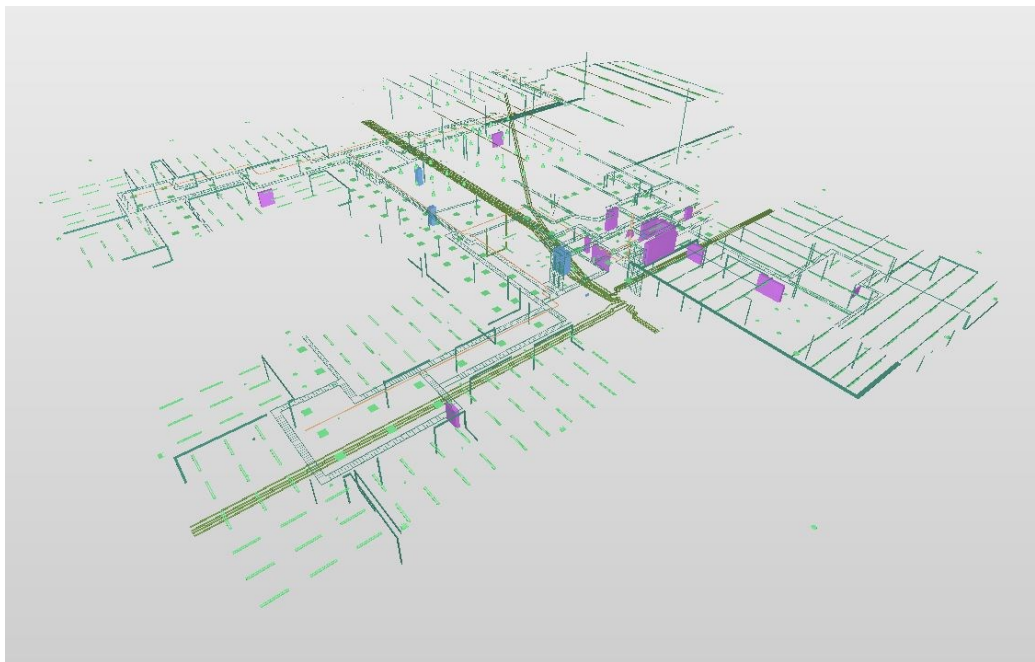
**Taulukko 2.** Esimerkki savunpoiston prosenttimitoituksesta. (VAHANEN 2021)

Tilan käyttötarkoitus	pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Savunpoisto %	Savunpoistoon käytettävän vapaan aukon geometrinen pinta-alavaatimus
Irtainvarasto	50	1,5 %	0,75 m <sup>2</sup>
Varasto yli 50 m <sup>2</sup>	200	2 %	4 m <sup>2</sup>
Autosuoja	400	1%	4 m <sup>2</sup>
Väestönsuoja, joka on irtainvarasto käytössä	130	1,5	2 m <sup>2</sup> -> Väestönsuojan rakentamisvaatimukset määrittää savunpoistoluukun koon, jolloin koko voi poiketa.

Tilan tai rakennuksen käyttötarkoitus tulisi mallintaa projektin yleistietoihin joko tekstimuotoisena, tai alan kesken yhtenäistetyksi sovituin nimikkeistöin. Palokuormaryhmien määrittelyjen mukaiset tilojen käyttötarkoitukset voitaisiin mallintaa myös esimerkiksi arkkitehtimallin tilaobjekteille, sillä usein erityisesti suurissa kohteissa on tarvetta määritellä eri käyttötarkoituksia sisäisesti rakennuksen tilojen kesken. Pinta-alatieto saattaa joissain tapauksissa löytyä tietyistä mallinuksista, kuten esimerkiksi laatta- tai taso-objektin tiedoista. Pinta-alatietoon liittyy kuitenkin ongelmallisuuksia ja haasteita, esimerkiksi seinäobjektien viemän pinta-alaosuuden määrittämisen suhteen. Savunpoiston mitoitusprosentti tulisi löytyä toiminnallisuudesta itsestään ja tieto automaattisen sammutusjärjestelmän löytymisestä tulisi olla mallinnettuna esimerkiksi kyllä/ei -tyyppisenä totuusarvona joko projektin yleistietoihin tai arkkitehdin tilaobjektin tietoihin. Lopuksi savunpoistomitoituksen mukainen pinta-ala tulee löytyä tietomallista. Savunpoiston pinta-ala voidaan mallintaa esimerkiksi reikäobjektina, tilavarausobjektina tai tuoteobjektina. Olenaisista on, että savunpoistoon käytettävän vapaan aukon geometria on löydettävissä omana tietokenttäänään, jotta toiminnallisuus pystyy suorittamaan tarkistuksen ja tarvittaessa varoittamaan esimerkiksi savunpoiston riittämättömyydestä.

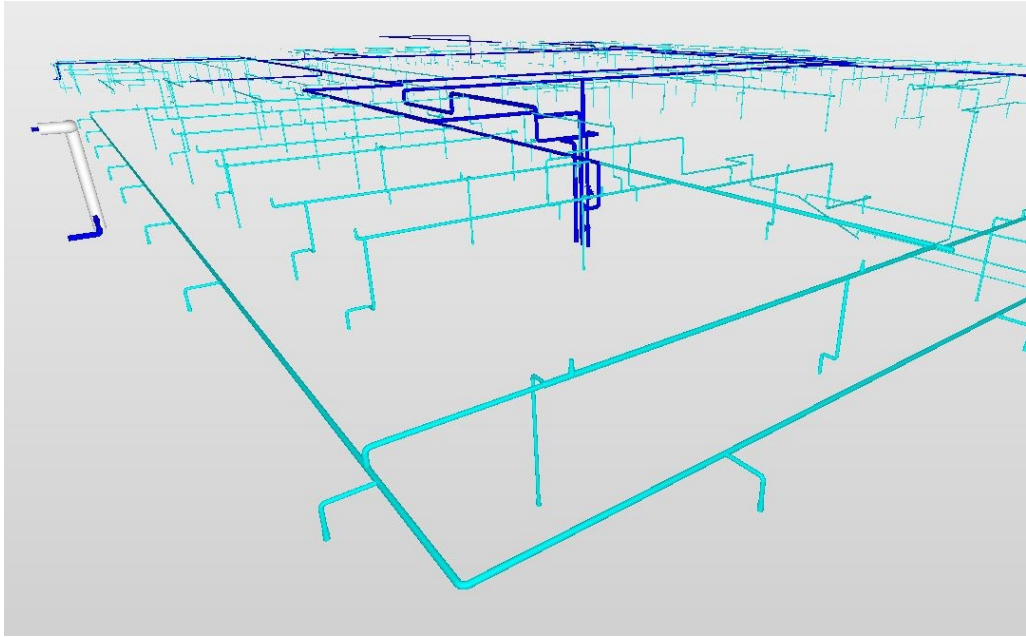


**Kuva 3.** LVIA suunnittelun tuottama tietomalli. (NCC 2021)



**Kuva 4.** Sähkösuunnittelun tuottama tietomalli. (NCC 2021)

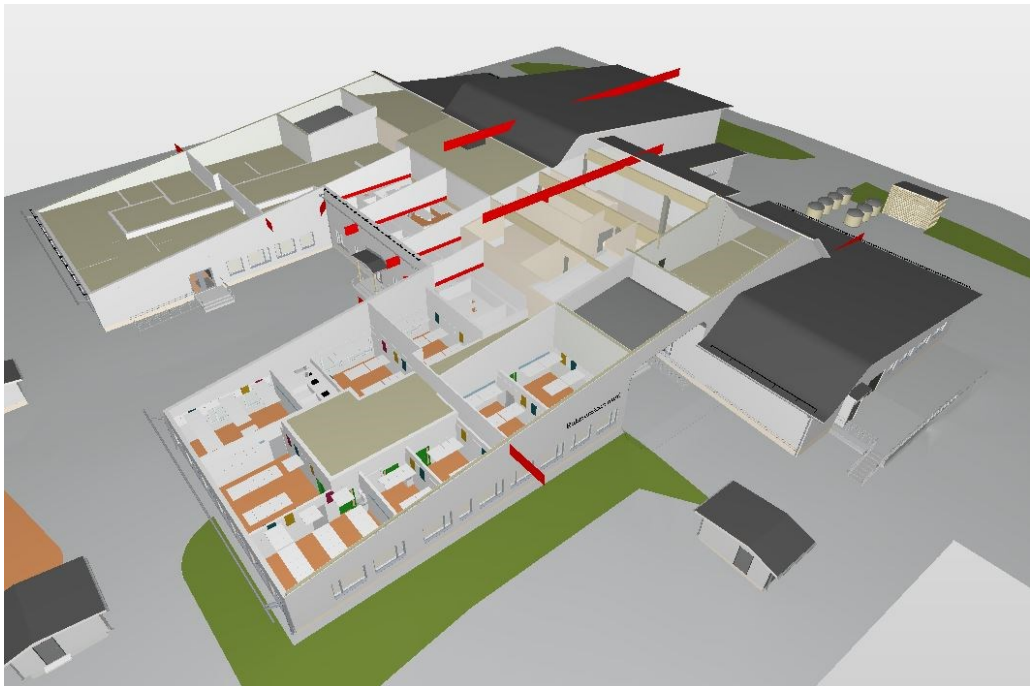




**Kuva 5.** Vesisammutuslaitteistosuunnittelun tuottama tietomalli. (NCC 2021)

Kuvassa 6 on esitetty rakennuskohteesta luotu arkkitehtimalli. Kuva on otettu ruutukaappauksena tietomallien tarkastelua varten kehitetystä ilmaisesta jakelussa olevasta *So-libri Anywhere* -ohjelmistosta, kuten tämän kappaleen muutkin eri suunnittelualojen tietomalleja esittelevät kuvat. Kuvassa arkkitehtimallin näkymästä on poistettu havainnollisuuden parantamiseksi piilotustyökalun avulla osa rakennuksen yläpohja- ja vesikattorakenteista. Punaiset palkkimaiset kattorakenteessa sijaitsevat objektit kuvaavat palo-osaston rajoja eivätkä täten ole todellisia rakenteita. Vastaavasti voitaisiin haluttaessa esittää esimerkiksi pelastuslaitoksen hyökkäysreittien sijainteja tai vaikkapa poistumisreittejä kuvitteellisten 3d -objektien avulla. Paloturvallisuussisällön, kuten esimerkiksi paloilmioittimien käyttölaitteiden, keskusasennusten ja järjestelmien hallintalaitteiden havainnollistamiseen riittäisi yksinkertaisimmillaan esimerkiksi erottuvan värinen kuvitteellinen objekti oikein sijoiteltuna ja identifioivalla tiedolla varustettuna. Objektin geometrian ja sijoittamisen lisäksi sen käyttöpoteentiaalia lisää huomattavasti, mikäli se on mallinnettu tietylle kuvatasolle tai sille on mallinnettu tietosisältöä sekä ominaisuuksia, joiden perusteella se voidaan helposti ja nopeasti suodattaa näkyviin. *Yleiset tietomallivaatimukset 2012* -julkaisusarjan osa 3 *Arkkitehtisuunnittelu*, antaa joitain ohjeita paloturvallisuuteen liittyvistä mallinnoista. Ehdotussuunnitteluvaiheessa muodostettavaan tilamalliin liittyvän ohjeistuksen mukaan arkkitehti mallintaa tila-, alue- tai vyöhyketyökalun avulla hankkeen tilat ja alueet, jotka jaotellaan palo-osastoihin ja huoneistoihin tai osastoihin. Ohjeen mukaan arkkitehti ei kuitenkaan mallinna esimerkiksi talotekniikkasuunnittelun tarvitsemia vyöhykkeitä, kuten esimerkiksi ilmastoinnin vyöhykkeitä. (YTV2012 osa 3. s.13) Erikseen saatetaan hanke- ja tilaajakohtaisesti määritellä ehdotussuunnittelun aikana

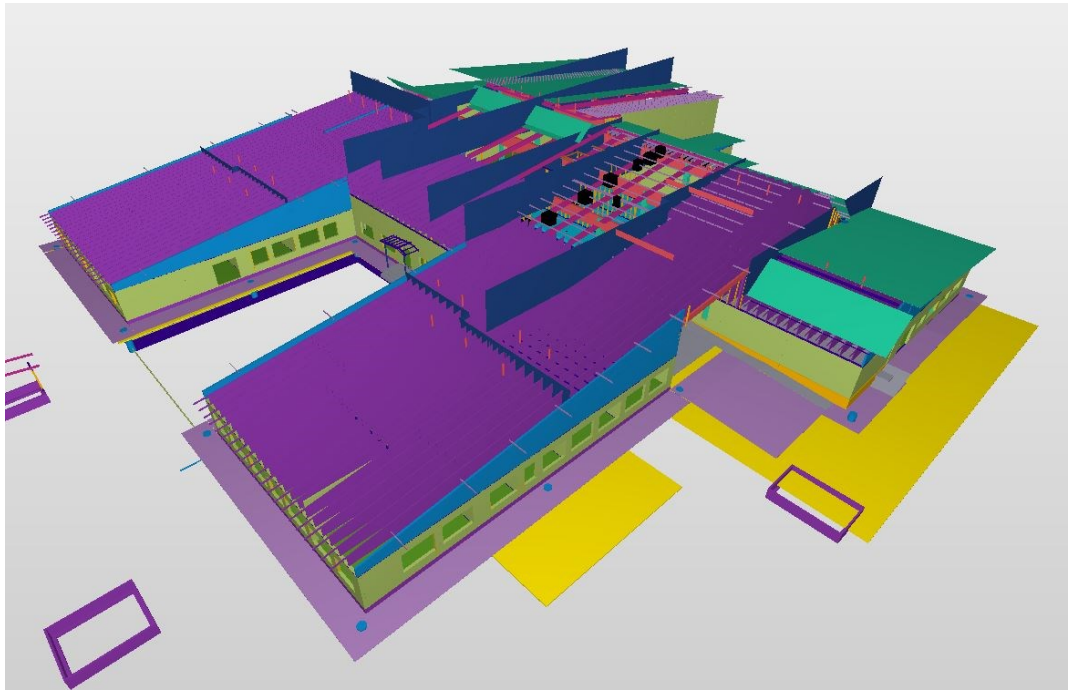
mallinnettavaksi myös pinta-aloja, kuten palo-osastojen aloja (YTV2012 osa 3. s.15). Pinta-alojen mallintaminen eroaa tilojen mallintamisesta ja osittelusta siten, että mallinnetun pinta-alan ominaisuustiedoista pystytään pinta-ala tunnistamaan ja lukemaan tietokoneavusteisesti, jota voidaan edelleen käyttää erilaisiin listauksiin, laskelmiin ja simulaatioihin. Arkkitehtisuunnittelua käsittelevä *YTV2012 osa 3* antaa lisäksi yleissuunnitteluvaihetta koskevan ohjeistuksen, jonka mukaan toiminnallisesti erilaiset ikkunat ja ovet tulee olla vaatimuksineen tunnistettavissa tietomallista (YTV2012 osa 3. s.17). Ohjetta noudattaen mallinnetussa tietomallissa esimerkiksi palo-ovet ovat ominaisuuksiensa perusteella tunnistettavissa muiden ovien joukosta sekä niiden näkyvyyden suodattaminen on mahdollista. Arkkitehtimallin oikeellisuus ja tekninen toteutus ovat ensiarvoisen tärkeitä tietomallipohjaisen hankkeen sujuvan etenemisen kannalta, sillä arkkitehtimalli toimii lähtötietona sekä mallinnuksen pohjana kaikkien muiden suunnittelualueiden mallinnustyölle. Suunnittelun lähtötietona toimimisen lisäksi arkkitehtimalli luo rakennuskohteesta pääpiirteisen geometrian, jota hyödynnetään erilaisissa simuloinneissa sekä analyysissä. (YTV2012 osa 3. s.7)



**Kuva 6.** Arkkitehtisuunnittelun tuottama tietomalli. (NCC 2021)

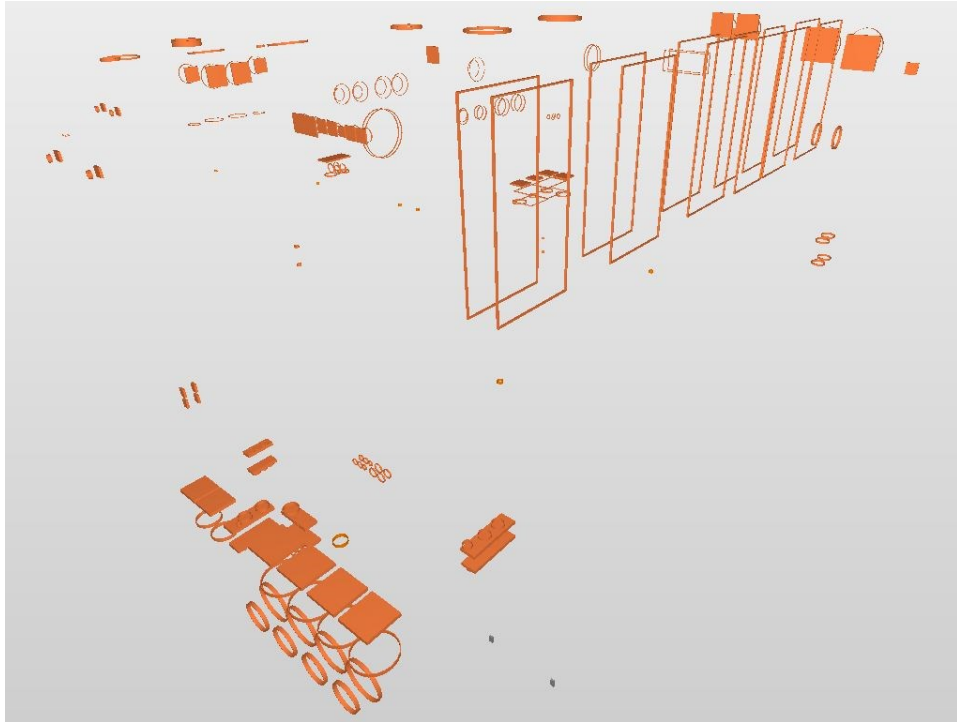
Kuva 7 havainnollistaa rakennesuunnittelun tuottamaa tietomallia samasta kohteesta, kuin edellisen kuvan arkkitehtimallin kohde. Kuvasta on arkkitehtimallia esittävän kuvan tavoin piilotettu yläpohja- sekä vesikattorakenteita havainnollistamisen parantamiseksi. Rakennesuunnittelun tuottamaa mallia kutsutaan myös rakennemalliksi. Rakennemallia hyödynnetään työmaatoimintojen sekä tuotannon lisäksi esimerkiksi lujuus- ja stabiilius-

analyseissä. Julkaisusarja *YTV2012* määrittää mallinnettaviksi rakenteiksi kaikki kantavat rakenteet sekä ei-kantavat betonirakenteet. Lisäksi rakennemalliin vaaditaan mallinnettavaksi sellaiset tilaa vievät rakennustuotteet ja -osat, joiden koolla ja sijainnilla on merkitystä muiden suunnittelualojen ja suunnittelijoiden työn kannalta. Esimerkkinä paloturvallisuuteen liittyvistä mallinnettavista rakennustuotteista *YTV2012* mainitsee palon-  
suojalevyt, jotta tietyn rakenteen paksuus, koko tai korkoasema käy tietomallista ilmi muille suunnittelijoille. (*YTV2012* osa 5. s.6)



**Kuva 7.** Rakennesuunnittelun tuottama tietomalli. (NCC 2021)

Kuvassa 8 näkyy rakennuskohteen LVI-palokatkosuunnitelman tietomalli. LVI-palokatkosuunnitelman lisäksi erillisissä tietomalleissa ovat palokatkosuunnitelmaan kuuluvat sähköläpiviennit sekä palo-osastojen rajat. Palokatkosuunnitelmia mallinnetaan yhteistyössä rakennesuunnittelun ja talotekniikan suunnittelun kesken reikämallinnusten ja -tarkastelujen ohella. *Yleiset tietomallivaatimukset 2012* -julkaisusarja ei esitä ohjeistuksia ja vaatimuksia palokatkojen mallintamiselle.

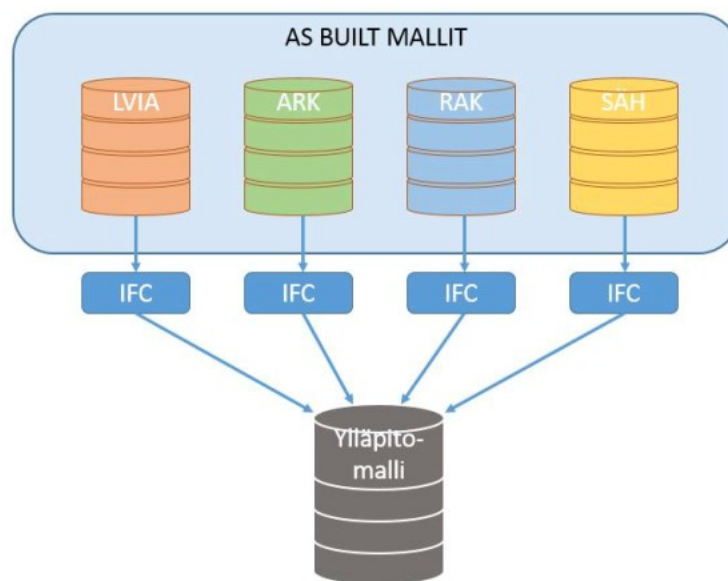


**Kuva 8.** Palokatkosuunnittelun tuottama tietomalli. (NCC 2021)

## 2.5 Ylläpitomalli

Ylläpitomalli saatetaan muodostaa eri suunnittelualojen tuottamista tietomalleista muodostamalla yhdistelmämalli kuvan 9 mukaisesti. Ylläpitomallin muodostaville suunnittelualakohtaisille malleille on ensiarvoisen tärkeää, että ne ovat *as built* -malleja eli todellisuutta vastaavia ja toteutuneita rakennusratkaisuja kuvaavia tietomalleja (Mäläskä 2011, s.44). Maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistuksen yhtenä tavoitteena on muodostaa ajantasainen ja digitaalinen rakennetun ympäristön rekisteri. Lisäksi uudistuksella tavoitellaan tilannetta, jossa tulevaisuudessa rakennusten ylläpito pohjautuisi *as-built* malleihin. (Marjamäki 2020) Maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksessa alan digitalisointia pyritään tukemaan lisäksi lupamenettelyn keinoin. Uudistuksen myötä tavoitteena on, että sekä suunnittelun aikainen tietomalli kuin myös toteumamalli tallennettaisiin kansalliseen tietojärjestelmään. Lausuntokierroksella olevassa lakiuudistuksessa tunnustetaan käsite *as-built* -malli, joka todetaan vastaavaksi toteumamallin käsitteen kanssa. Jotta uudistuksen mukaisiin tavoitteisiin voidaan päästä, on lausuntokierroksella olevan lakimateriaalin mukaan tarpeen dokumentoida rakennuskohde täsmälleen siinä muodossa, missä se on toteutettu. (MRL Uudistus 2020) Mikäli ylläpitomalli on luonteeltaan toteumamallin kaltainen ja laadittu sovittujen mallinnusohjeiden mukaisesti, saadaan siitä hyötyä muun muassa rakennukseen kohdistettaviin huoltotoimenpiteisiin, korjauksiin, muutostöihin sekä ylläpidollisiin tarpeisiin tiedon ollessa täsmällistä ja paikkansäpi-

tävää. Ylläpitomalli soveltuu myös rakennuksen käytön ja käyttäjien tarpeiden sekä käyttöön liittyvien palveluiden kehittämiseen. Ylläpitomallin voidaan ajatella olevan eräänlainen kehittynyt versio rakennuksen ja sen sisältämien laitteistojen ja järjestelmien sähköisestä huoltokirjasta. Ylläpitomalli ei välttämättä ole täysi kopio eri suunnittelualojen tietomalleista. Tiedostokokojen hallitsemiseksi ja käyttöjärjestelmien ja ohjelmistojen sujuvan toiminnan kannalta voi olla tarpeellista, että eri suunnittelualojen malleista kootaan ylläpitomalliin ainoastaan tulevaisuuden ylläpitotarpeiden kannalta asianmukaisia tietoja. Rajan vetäminen suunnittelun ja rakentamisen aikaisen tietomallin ja ylläpitomallin tietosisällön välille on kuitenkin haastavaa, sillä huoltojen, korjausten, muutostöiden sekä muiden ylläpidollisten tarpeiden ennakoiminen on usein vaikeaa.



*Kuva 9. Ylläpitomallin periaatteellinen muodostuminen. (Halmetoja 2016)*

### 2.5.1 Ylläpitomallin tietosisältö

Ylläpitomallin tietosisältö koostuu pääosin passiivisesta tiedosta ja sisältää vain ylläpidon kannalta oleellimmat tiedot rakennuksen geometriasta, rakenteista, järjestelmistä ja laitteistoista. Jotta ylläpitomalli palvelisi esimerkiksi kiinteistön huollon tarpeita, tulisi sen Halmetojan mukaan sisältää vähintään paikannuspiirustuksissa esitettävät tiedot sekä yksilölliset tunnistet, joilla laitetiedot voitaisiin yhdistää sähköiseen huoltokirjaan. Maankäyttö- ja rakennuslaissa määrätään rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeen laatimisesta. Lain mukaan käyttö- ja huolto-ohje on laadittava uudisrakennukselle, jota käytetään pysyvään asumiseen tai työskentelyyn sekä silloin kun rakennuksessa toteutetaan raken-

nuslupaa edellyttävä käyttötarkoituksen muutos, korjaus- tai muutostyö. Sähköisen huoltokirjan on mahdollista hyödyntää monia ylläpitomallin sisältämiä tietoja. Rakennuksen huolto-ohjeen on sisällettävä vähintään seuraavat tiedot: (Ympäristöministeriö 2021)

- kiinteistön omistus, laajuus, tilat käyttötarkoituksineen ja päärakenteet
- kiinteistön rakentamiseen osallistuneiden yhteisöjen ja henkilöiden yhteystiedot
- rakenteiden ja laitteiden hoidon, huollon ja kunnossapidon tehtävät
- keskeisten huoltokohteiden ja tilojen paikantamistiedot
- tavoitteelliset sisäolosuhteet, hoidon laatutason ja järjestelmien käyttöarvot
- sisä- ja ulkopuolisten rakenteiden pintamateriaalit
- käyttöikätaavoitteet kustannuksiltaan merkittävillä rakenteilla ja rakennusosilla
- kustannuksiltaan merkittävien kunnossapitokohteiden kunnossapitajaksot ja -tehtävät
- korjauspäiväkirjan ylläpito ja vuosikustannusten seuranta
- toimintaohjeet poikkeus- ja häiriötilanteissa

Huoltokirjan alustana voisi tulevaisuudessa toimia itse ylläpitomalli, tai sitten ylläpitomallin objekteihin linkitetty ulkoinen tietokanta. Ulkoisen tietokannan toimimista sähköisen huoltokirjan alustana puoltaa muun muassa se, että aktiivisimmin käytetyn tiedon tulisi sijaita paikassa, jossa sen päivitettävyyden on tehty mahdollisimman helpoksi (Mäläskä 2011, s.49).

Paloturvallisuutta edistääkseen ylläpitomalliin kohdistuu runsaasti kehitystarpeita. Ensinnäkin mallinnustyössä ja suunnittelussa on tapahduttava läpimurto uusien mallinnustapojen ja käytäntöjen vakiintumisen suhteen, jotta tietomallit sisältäisivät paloturvallisuuden kannalta oleellisia tietoja. Muutos vaatii tietomalleihin sisällytettävän tietosisällön vakiointia, jotta ylläpitomallit saadaan toimimaan kaikilla alustoilla ja käyttäjille suunnatuilla sovelluksilla, tietomallinnustyön suorittaneesta suunnittelutahosta ja -ohjelmistosta riippumatta. Toisekseen ylläpitomallia hyödyntävät käyttäjärajapinnat ja sovellukset vaativat kehitystä. Ylläpitomallin tietosisällön tarpeeseen vaikuttaa olennaisesti taho, joka sitä pyrkii toiminnassaan hyödyntämään. Viranomaisen, huolto- ja ylläpitotoimijan sekä kiinteistön käyttäjän näkökulmasta ylläpitomallia hyödyntävän sovelluksen on mahdollisesti oltava jokaiselle taholle hyvinkin erilainen ja täten sisältää kutakin tahoja parhaiten palvelevaa tietoa. Järjestelmien toimivuus digitalisaation ajaman kehityksen johdosta ei ole taattua koko rakennuksen elinkaaren ajan. Ylläpitomallin oikeudelliset ja vastuiden jakoon liittyvät seikat on myös tutkittava ja määriteltävä tarkoin. Sopimuksien laadinnassa on kiinnitettävä erityistä huomiota muutostöiden, korjausten, laitepäivitysten, huol-

tojen ja ylläpidollisten tapahtumien päivitykseen liittyen. Ylläpitomallin käyttöönottohetkellä on oltava sitovasti sovittuna, kenen vastuulle kuuluu ylläpitomallin päivittäminen minkäkin työn tai muutoksen johdosta. Ylläpitomallin tietosisältöön liittyy oleellisesti myös tilaajan rooli. Tietomallinnustyötä tilattaessa ei tilaajaosapuoli välttämättä osaa ilman ulkopuolista konsultointia vaatia tietomallilta ominaisuuksia, jotka saattavat olla ylläpitomallin hyödynnettävyyden kannalta elintärkeitä. Mallinnustyössä on etukäteen tiedettävä, mitä mallinnetaan, millä tarkkuudella ja minkälaisia ominaisuuksia, linkityksiä ja toiminnallisuuksia objekteille syötetään, jotta ne voidaan ottaa käyttöön ylläpitomallissa ja yhdistäminen esimerkiksi sähköiseen huoltokirjaan ja ulkoiseen tietokantaan onnistuu. Esimerkiksi tapauskohtaisesti rakenteiden sisällä piilossa olevien osien ja laitteiden, kuten palopeltien tai sprinkleriventtiilien paikantaminen ylläpitomallin avulla ei onnistu, mikäli niitä kuvaaville objekteille ei ole mallinnusvaiheessa syötetty ylläpitomallin käyttösovelluksen toiminnan kannalta välttämättömiä identiteetti- ja tunnistetietoja tai ne on mallinnettu väärälle kuvatasolle, jota ei ole luettu mukaan ylläpitomallin tietorakenteeseen.

## 2.5.2 Ylläpitomalli turvallisuuden näkökulmasta

Ylläpitomallin hyödyntämispotentiaali paloturvallisuuden laadun hallinnan ja varmistamisen näkökulmasta perustuu pitkälti sen toimimiseen tietopankkina, huoltokirjana ja lähtötietona. Muutostyön, korjauksen, huollon tai käyttötavan muutoksen yhteydessä onnistuneesti ylläpidetty ja ajantasainen ylläpitomalli tarjoaa kattavat lähtötiedot suoritettaville toimenpiteille. Rooli sähköisenä huoltokirjana auttaa puolestaan turvallisuuden laadunhallinnassa pitämällä huolen määrätyin aikavälein vaadittujen tarkastusten ja huoltotoimenpiteiden organisoinnista ja toteutuksesta. Määräaikaishuoltoja ja veloitettuja tarkastuksia voidaan kontrolloidusti suorittaa ja niiden toteutumista pystytään valvomaan huoltokirjaan pohjautuen. Sovelluksiin kehitettävien toiminnallisuuksien, kuten huoltokirjamerkintöjen perusteella tulevista tarkastuksista ja määräaikaishuolloista lähtevien ilmoitusten avulla laadunhallintaa saadaan parannettua sekä turvallisuuteen liittyvien laitteistojen huollot ja tarkistukset tulevat tehdyksi oikea-aikaisesti ja vaatimusten mukaan. Kiinteistöjen sähköisiä huoltokirjapalveluita on tarjolla useiden eri kaupallisten toimijoiden puolesta. Huoltokirjapalvelut, jotka hyödyntävät alustanaan rakennuksen tietomallia tai ylläpitomallia, ovat kuitenkin vielä harvinaisia. Kiinteistöjen managerointipalvelut ja erilaiset tuotteet joiden avulla rakennusten tilaa, ominaisuuksia ja olosuhteita tarkkaillaan, pohjautuvat useimmiten palveluntuottajien omiin järjestelmäratkaisuihin suunnittelutyön aikana muodostetun tietomallin sijasta. Palveluiden pohjalla saattaa kuitenkin olla tietomallia muistuttava 3d-malli, jossa kiinteistö on kuvattu esimerkiksi kerroksittain pääpiir-

teisen geometrian avulla. Geometrioita voidaan lukea suunnitteluvaiheen tuottamista tietomalleista, tai niitä voidaan raakamallintaa erikseen tai muodostaa laserkeilaustekniikan sekä esimerkiksi 360°-valokuvaustekniikan avulla.

Ylläpitomallin hyödyntämiseen liittyy haasteellisuuksia ja selvittämättömiä ongelmakohtia esimerkiksi malliin tehtävien päivitysten suhteen. Ylläpitomalli on eri suunnittelualojen *as-built* -mallien IFC-tiedostoista muodostuva yhdistelmämalli. IFC-tiedonsiirtoa käsitellään tarkemmin luvussa 2.6. IFC-tiedostolle on tyypillistä, ettei siihen joko pysty tai ole tarkoitusta tehdä muutoksia. Ylläpitomallit ovat siis tietomallinnusohjelmistoilla tuotettujen IFC-tiedostojen visualisointeja. Ylläpitotahon tai palveluntarjoajan käyttämä sovellus tai ohjelmisto lukee koneellisesti IFC-tiedoston ja esittää sen käyttöliittymässä ennalta määritetyllä tavalla. Koska käyttäjälle näkyvä ylläpitomalli pohjautuu IFC-tiedostoon, kohdistuu ylläpitotoimenpiteiden aikaansaama tietomallin päivitystarve alkuperäismalleihin eli eri suunnittelualojen tuottamiin tietomalleihin, joita kutsutaan myös natiivimalleiksi. Suunnittelutöiden vaativuusluokittelun mukaan suunnittelutyön tekijältä vaaditaan tiettyjä pätevyys- ja taitoja. Täten ylläpitopäivityksen tekijä ei voine olla epäpätevämpi kuin alkuperäisen suunnitelman tekijä (Tuuhea 2010, s.31). Paras tietotaito ja tuntemus ylläpitopäivityksen kohteena olevalle rakennuksen suunnitelman osalle on luonnollisesti alkuperäisellä suunnittelijalla. Loogisesti tästä seuraa, että ulkopuolisten tahojen ja täysin rakennuksen suunnitelmiin ja tietomalliin tutustumattomien henkilöiden tai tahojen voi olla haastavaa tai jopa mahdotonta tehdä tarvittavia mallipäivityksiä. (Tuuhea 2010, s.31) Alkuperäisten suunnittelijoiden käyttämien tietomallien päivitys ja ylläpitotoimenpiteiden suunnitelmien laatiminen on toki tilaajalle mahdollista, mutta ei aina itsestään selvää, mikäli rakennushankkeen valmistumisesta on esimerkiksi kulunut jo verrattain pitkän aikaa. Maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksessa ehdotetaan ratkaisuja tietomalleihin kohdistuvien muutosten ja päivitysten toteuttamiselle. Materiaalissa esitetään muun muassa huolehtimisveloitteen säätämisestä päävastuulliselle toteuttajalle. Päävastuullinen toteuttaja esitetään melko laveasti tulkittavaksi, joko pääasiallisen työn konkreettisenä toteuttajana tai esimerkiksi vastaavana työnjohtajana. Päävastuullisen toteuttajan velvollisuutena olisi lakiuudistuksen materiaalin mukaan ilmoittaa esimerkiksi työmaalla toteutuneet alkuperäisistä suunnitelmista poikkeavat ratkaisut suunnittelijoille ja erityisalojen suunnittelijoille, jolloin alkuperäinen tietomalli päivitettäisiin suunnittelijoiden toimesta toteumamalliksi. Rakennuskohteen elinkaarta tarkasteltaessa on myös selvitetävää toteumamalliin liittyvät ylläpitovastuut erilaisten korjaus- ja muutostöiden aiheuttamien päivitystarpeiden osalta. Uudistuksen materiaali ehdottaa ylläpitovastuuta säädettäväksi rakennuskohteen omistajalle, jolla on oletetusti suuri intressi omaisuutensa kunnon ja arvonsäilymisen huolehtimisesta. (MRL Uudistus 2020) Haasteina ylläpitovastuun

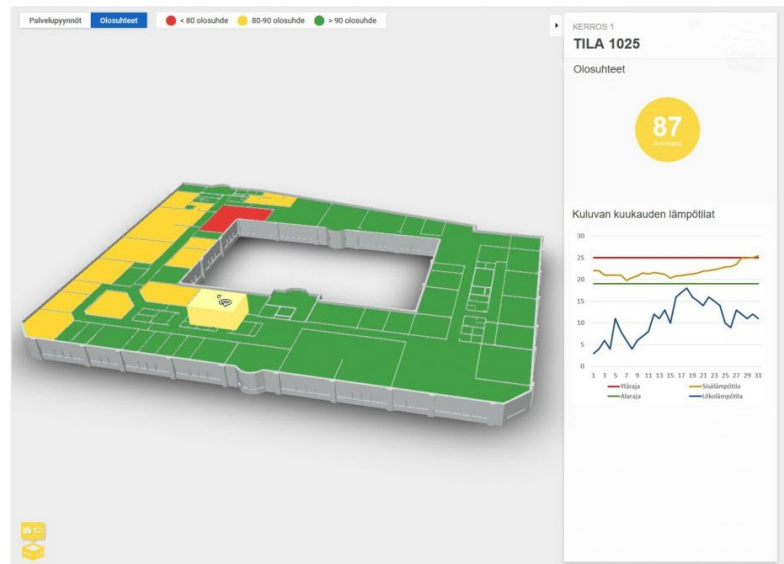


toteutumiselle voidaan osoittaa muun muassa teknologioiden ja toteumamallin yhteensopivuuden epävarmuus ajan kuluessa sekä toteumamallin päivityksiin tarvittavan ammattitaidon tai palvelun löytäminen.

## 2.6 Olosuhdemalli

Rakennuksen tai kiinteistön olosuhdemalli on eräänlainen tietomalli, joka poikkeaa perinteisestä ja totutusta tietomallin käsitteestä. Olosuhdemalli voi olla luotu joko suunnittelun ja rakentamisen aikaisen tietomallin pohjalta, tai se voi olla mallinnettu kokonaan uudestaan itsenäiseksi tietomalliksi. Mikäli olosuhdemalli luodaan suunnittelun ja rakentamisen aikaisen tietomallin pohjalta, on tyypillistä, että tietomallia yksinkertaistetaan ja karsitaan. Olosuhdemallin kannalta tarpeettomat tiedot suodatetaan pois, jotta tiedostot ja käyttöjärjestelmät pysyvät mahdollisimman kevyinä ja toimivina. Esimerkiksi rakennesuunnittelun tarvitsemia tietoja, kuten materiaalien lujuusominaisuuksia ei ole tarpeenmukaista sisällyttää olosuhdemalliin. Olosuhdemallin tarpeisiin poimitaan suunnittelun ja rakentamisen aikaisesta tietomallista tyypillisesti rakennuksen geometria sekä ennalta määritellyt rakennus- ja talotekniset osat (Hellman 2019). Lisäksi olosuhdemallin keskeisin mallinnuskomponentti on tilaobjekti, jonka luominen on usein arkkitehdin vastuulla. Tilaobjektien mallinnuksesta ja malliin sisällytettävien tilatietojen vaatimisesta ja toteuttamisesta antaa ohjeita muun muassa YTV2012 -julkaisusarjan arkkitehtisuunnittelua koskeva osa 3 sekä sitä täydentävä tilaajaosapuolen avuksi laadittu liite.

Olosuhdemalli esittää ja visualisoi nimensä mukaisesti rakennuksen olosuhteita käyttäjälle, ylläpidolle sekä muille rakennuksen kanssa tekemisissä oleville tahoille. Rakennukseen asennetut mittarit ja sensorit tuottavat reaaliaikaista mittausdataa ennalta määritellyillä mittaustiheydellä ja -tarkkuudella. Mittausdata linkitetään sille ennalta määritettyyn tietokantaan, joka puolestaan on kytköksissä rakennuksen olosuhdemalliin eli sovellukseen tai ohjelmistoon, joka käyttäjärajapintoinen muuntaa tietokannan sisältämän datan 3d-mallin avulla esitettävään dynaamiseen muotoon. Olosuhdemallissa esimerkiksi tilaobjektit ja eri laitteistoja sekä järjestelmiä kuvaavat objektit visualisoivat datan perusteella reaaliaikaisia olosuhteita. Olosuhde- ja mittaustietojen visualisointiin käytetään tyypillisesti eri värejä indikoimaan esimerkiksi huonetilan olosuhteiden kelvollisuutta kuvan 10 mukaisesti. Visualisoinnin keinoja voivat olla myös erilaiset symbolit ja animaatiot sovelluksessa, jonka kautta olosuhdemallia käytetään. Olosuhdemallin käyttö tapahtuu pilotointikohteiden sekä nykypäivän kehityksen mukaan internetin välityksellä toimivien sovellusten kautta. Olosuhdemallin käytön voidaan ajatella alkavan vasta rakennuksen valmistuttua samanaikaisesti rakennuksen käytön alkaessa. (Hamara 2018, s.29)



**Kuva 10.** Rakennuksen olosuhdemalli käyttöliittymän näkyvässä. (Granlund 2018)

### 2.6.1 Olosuhdemallin tietosisältö

Mikäli olosuhdemalli luodaan suunnittelun ja rakentamisen aikaisen tietomallin pohjalta, täytyy mallinustyössä kiinnittää huomiota tiettyihin asioihin ja yhteisesti sovittuun mallinnuskäytäntöön. Toimivan olosuhdemallin edellytyksenä on, että jo suunnitteluvaiheessa olosuhdemalliin päätyville komponenteille ja objekteille luodaan paikkatiedot ja identiteetti, jotka pystytään lukemaan ulkopuoliseen tietokantaan (Halmetoja 2016). Kun rakennusautomaation, antureiden ja mittalaitteiden tuottama data saadaan ohjattua halutuille olosuhdemallin komponenteille, pystytään luomaan virtuaalinen kuvaus rakennuksen reaaliaikaisista olosuhdetiedoista. Olosuhdemalliin voidaan sisällyttää hyvin monipuolista tietosisältöä palvelemaan kaikkia rakennuksen kanssa tekemisissä olevia tahoja. Halmetoja listaa raportissaan oleellisimpia olosuhdemallin sisältämiä aktiivisia tietoja: lämpötila ja sisäilman laatu, rakennuksen painesuhteet, rakennekosteudet, valaistuksen käyttötiedot, energiankulutus, erilaiset hälytykset, teknisten järjestelmien käyttötilatiedot, tilojen käyttöaste sekä kokoustilojen varaustilanne. Olosuhdemalliin tallentuvan tiedon tulee sisältää paikkatietojen ja objektin identiteetin lisäksi aikaleiman, jotta tiedot ovat hyödyntämiskelpoisia esimerkiksi kiinteistön omistajan suorittamiin energia- tehokkuusanalyysihin. Myös huollon tarpeisiin ja häiriötilanteiden analysointiin tarvitaan aikatietoja, jotta ilmenneiden ongelmien aiheuttajia pystytään löytämään ja ongelmien ennaltaehkäisy tulevaisuudessa onnistuu.

Olosuhdemallin käyttöön rakennuksesta itsestään tuotettavien tietojen lisäksi voidaan tietokantaan linkittää ulkopuolisia tietoja, kuten esimerkiksi ilmastoon ja säähän liittyviä olosuhdetietoja. Tällöin olosuhdemalli voidaan valjastaa kiinteistönpidon käyttöön siten,

että esimerkiksi äärimmäisistä hellejaksoista tai kylmistä talviolosuhteista huolimatta rakennuksen sisällä olosuhteet pysyvät muuttumattomina ja ilmanlaatua sekä lämmitystarvetta pystytään säätelemään ennakoidusti. Lisäksi tietosisältöä olosuhdemalliin voivat tuottaa rakennuksen käyttäjät. Olosuhdemallin pilotointikohteissa on esimerkiksi kehitetty ratkaisuja, joissa käyttäjän huomatessa epäkohtia, voi hän lähettää palvelu- tai huoltopyyntönsä omalla mobiililaitteellaan skannaamalla QR-koodin tilasta, jossa epäkohta ilmenee. Tila- tai laitekohtaisen QR-koodin skannaus avaa mobiililaitteeseen internet-pohjaisen käyttäjärajapinnan, jossa epäkohta kuvaillaan. Järjestelmä huolehtii käyttäjän tekemän ilmoituksen tallentumisesta tietokantaan oikeilla laite- ja tilakohtaisilla tiedoilla sekä aikaleimalla varustettuna. (Granlund 2021b) Käyttäjien tekemillä palvelupyynnöillä voidaan edistää paloturvallisuutta esimerkiksi tilanteissa, joissa havaitaan puutteita tai toimimattomuutta paloturvallisuustekniikassa. Myös esimerkiksi tilanne, jossa hätäpoistumistie on syystä tai toisesta käyttökelvoton, on esimerkki, jolla paloturvallisuutta voidaan parantaa käyttäjän tekemän palvelupyynnön avulla.

## 2.6.2 Olosuhdemalli turvallisuuden näkökulmasta

Olosuhdemallin käyttäminen turvallisuuden tarpeisiin perustuu muiden käyttömahdollisuuksien tapaan reaaliaikaisten olosuhteiden visualisointiin. Olosuhdemallia voidaan käyttää turvallisuuden edistämiseksi niin rakennuksen käyttäjien, kuin myös esimerkiksi pelastuslaitoksen tarpeisiin. Olosuhdemallin avulla voisi olla mahdollista tuottaa esimerkiksi suurten kiinteistöjen opastustauluille ja näytöille näkymiä ja animointeja turvallisista poistumisreiteistä palotilanteen aikana.

Pelastuslaitoksen kannalta olosuhdemallin hyödyntämispotentiaali on vertaansa vailla. Olosuhdemallilla voidaan havainnoida paloturvallisuuden edistämisen kannalta esimerkiksi evakuointi- ja poistumisreittejä, palo- tai pelastustoiminta-alueita, paloryhmiä, tilojen käyttöasteita ja henkilömääriä, ovien ja ikkunoiden asentotietoja, paloturvallisuuden kannalta kriittisten laitteistokokonaisuuksien toimintaa, valaistusolosuhteita, lämpötilankehitystä, savunleviämistä ja muodostumista, palontorjuntatekniikan kuten sprinkleriasennusten toimintaa, palon ja savun leviämistä rajoittavien ja ohjailevien luukkujen tilaa, tai jopa tilojen äänitasoja joiden avulla voidaan muodostaa käsitystä palotilanteen vakavuudesta ja ihmisten käyttäytymisestä. Nykyaikaiset sensorit, mittalaitteet ja kamerat voidaan valjastaa hyvin monipuolisesti erilaisen datan tuottamiseen. Tässä työssä toteutettujen sidosryhmäkeskustelujen aikana muun muassa laitetoimittajatahoilta sekä rakennusautomaatiota ja kiinteistön ylläpitopalveluja tuottavilta tahoilta tuli esiin kommentteja, joiden mukaan tulevaisuudessa olisi hyödyllistä löytää yhä enemmän uusia tarpeita ja

tehtäviä, esimerkiksi rakennuksista löytyville paloilmaisimille. Nykypäivänä uudet kiinteistöt varustetaan moderneilla laitteistoilla ja järjestelmillä, jotka pystyvät tallentamaan hyvin monimuotoisia olosuhde- ja mittaustietoja. Paloturvallisuuden toimialan kehitystä saataisiin kenties edistettyä, mikäli innovointi ja tuotekehitys keskittyisivät valjastamaan jo vakiona rakennuksista löytyviä laitteistoja ja järjestelmiä turvallisuutta edistäviin tehtäviin. Erään laitetoimittajan mukaan esimerkiksi myös videokuvaa ja ääntä taltioivat laitteet, kuten kamerat ja mikrofonit olisi mahdollista ottaa entistä tehokkaammin käyttöön palvelemaan muun muassa rakennuksen paloturvallisuutta. Edellisen kaltaisilla ratkaisuilla ja käyttötarkoitukseen kehitetyillä käyttäjärajapinnoilla pystyttäisiin saamaan esimerkiksi laadukasta tilannetietoa tavanomaisten paloilmaisimilta tulleiden hälytystietojen tueksi. Olosuhdetiedon ja sähköisen huoltokirjan yhdistäminen avaisi mahdollisuuden huoltotarpeiden arvioinnille ja ennakkoinnille, jolloin laadunhallintaa saataisiin parannettua.

Olosuhdemallin käyttö edellä mainitun kaltaisiin tarpeisiin ja tilanteisiin on kuitenkin varsin teknologiariippuvaista. Toimiakseen halutulla tavalla, on ensinnäkin olosuhdetietoa tuottavien laitteistojen pysyttävä palotilanteessa toimintakuntoisina riittävän pitkään. Yhteys mittalaitteistojen ja antureiden, tietokannan sekä olosuhdemallin välillä on oltava katkeamaton, jotta hyödyntäminen onnettomuustilanteessa onnistuu. Käyttäjäraja- ja sovellukset on oltava riittävän yksinkertaisia ja helppokäyttöisiä, jotta niiden hyödyntäminen kentällä on mahdollista. Olosuhdemallin tietosisältö ja rakenne eivät välttämättä palvele kaikkia käyttäjäryhmiä ja tahoja yhtäläisesti, joten myös olosuhdemallin kannalta on tärkeää, että tietomalli on mallinnettu oikeita ja sovittuja tasoja käyttäen. Tasojen tai muiden rajausten ja kategorisointien avulla tarvittava tieto saadaan näkyviin sitä kulloinkin tarvitsevalle taholle eikä tarpeeton tieto häiritse ja heikennä toimintaa. (Hellman 2019, s.5)

## **2.7 Tietomallin rooli rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa**

Rakennusteollisuudessa elinkaariajattelu ja elinkaaren vaiheet sisältävät tapauskohtaisesti hieman toisistaan poikkeavia määritelmiä ja jaotteluita. Elinkaaren eri vaiheisiin käsitetään usein kuuluvan itse aineellisen rakennuksen elinkaaren vaiheet kenties sen vuoksi, että valmistumisen jälkeinen aika kattaa valtaosan rakennuksen elinkaaresta. Jaotteluun on kuitenkin olennaista sisällyttää mukaan myös rakennushankkeen eri vaiheet. Rakennushankkeen käynnistyttyä rakennuttajan, kiinteistökehittäjän tai -sijoittajan toimesta alkaa rakennushankkeen vaiheiden sarja, johon kuuluu: tarveselvitys, hankesuunnittelu, ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu, toteutussuunnittelu, rakentaminen, käyttöönotto ja takuu-aika (RT 10-11224 Talonrakennushankkeen kulku 2016). Edellä

mainittuja elinkaaren vaiheita voidaan jakaa edelleen osiin ja listaukseen voidaan myös tehdä lisäyksiä. Elinkaaren vaiheita kuvataan myös seuraavan jaottelun mukaisesti: tuotevaihe, rakentaminen, käyttövaihe sekä purkuvaihe. Tuotevaihe koostuu raaka-aineen hankinnasta, kuljetuksesta valmistukseen sekä tuotteen valmistuksesta. Rakentamisvaihe sisältää kuljetukset työmaalle sekä työmaatoiminnot. Käyttövaiheeseen kuuluu tuotteen käyttö rakennuksessa, kunnossapito, korjaus, osien vaihto, laajamittaiset korjaukset, energian käyttö ja veden käyttö. Purkuvaihe puolestaan pitää sisällään purkamisen, kuljetukset, purkujätteen käsittelyn sekä purkujätteen loppusijoituksen. (Bionova Oy 2017) Edellä mainittujen vaiheiden lisäksi käyttövaiheeseen voi sisältyä tilojen ja kiinteistön käyttötarkoituksen muutoksia. Käyttötarkoituksen muutos aiheuttaa rakennukselle usein muutos-, päivitys- tai purkutoimenpiteitä, jolloin samat toimenpiteet kohdistuvat myös rakennuksen tietomalliin.

### **2.7.1 Tarveselvitys ja hankesuunnittelu**

Tarveselvitys- ja hankesuunnitteluvaiheen aikana tuotetaan suunnitteluprosessin lähtötiedot. Tarveselvityksessä kartoitetaan kiinteistön omistajan ja tulevan käyttäjän tarpeet ja vaatimukset, joiden avulla hankesuunnitteluprosessi etenee. Hankesuunnittelun tuloksena saadaan tietoja hankkeen budjetti- ja aikataulutavoitteista, pinta-aloista, tilavuuksista, rakennusmassoista sekä erilaisten käyttötapojen ja toimintojen asettamista vaatimuksista. Tarveselvitys- ja hankesuunnitteluvaiheiden tuloksena muodostuu toistaiseksi harvoin geometrisen muodon omaava tietomalli, mutta mikäli tällainen tietomalli kuitenkin laaditaan, kutsutaan sitä vaatimusmalliksi. Vaatimusmalli toimii hankkeeseen liittyvän päätöksenteon tukena ja luo pohjan tulevien vaiheiden tietomalleille. (YTV2012, osa 1) YTV2012 esittää vaatimusmallin minimivaatimukseksi taulukkomuotoisen tilaohjelman, jonka tulee sisältää tila- tai tilaryhmäkohtaiset pinta-ala- ja erityisvaatimukset. Minimivaatimus ei täten rajaa pois mahdollisuutta, että vaatimusmalli esitettäisiin taulukkomuodon sijaan geometrian omaavana mallina.

Paloturvallisuuden kannalta tilaohjelmassa voidaan esittää useita esimerkiksi osastointiin ja palotilanteessa toimimiseen liittyviä tietoja. Tiedot voivat olla esimerkiksi pinta-alaan, tilan käyttötapaan ja käyttäjäryhmiin, tilan turvallisuustasoon, valaistukseen, LVI-järjestelmiin, sähköjärjestelmiin, kalustukseen, varusteisiin, laitteistoihin sekä sisäpuoliin pintarakenteisiin liittyviä tietoja. Jo tässä suunnittelun vaiheessa on siis mahdollista esittää paloturvallisuuteen voimakkaasti kytköksissä olevia tietoja. Mikäli vaatimusmalli omaa jo tässä vaiheessa rakennuskohteen pääpiirteittäisen geometrian ja tilaohjelman mukaisesti tietoihin on sisällytetty esimerkiksi materiaalien palo-ominaisuuksia kuvaavia

tietoja, on mallin avulla mahdollista suorittaa alustavia palosimulaatioita esimerkiksi FDS-sovelluksen (Fire Dynamics Simulator) avulla.

## 2.7.2 Ehdotussuunnittelu

Alustavat mallit luodaan hankkeen ehdotussuunnitteluvaiheessa, jossa käydään läpi erilaisia vaihtoehtoisia ratkaisuja hankkeen vaatimusten ja tavoitteiden saavuttamiseksi. Ehdotussuunnitteluvaiheessa tietomalliprosessiin sisältyy arkkitehdin, rakennesuunnittelijan sekä taloteknisten järjestelmien suunnittelijoiden mallinnustyövaiheita. Arkkitehti mallintaa tässä vaiheessa omaa malliansa päätöksenteon kannalta riittävällä tasolla. Arkkitehdillä on äärimmäisen tärkeä rooli tietomalliprosessin onnistumisen kannalta, sillä ehdotussuunnitteluvaiheessa mukaan astuvat muut suunnittelualat käyttävät melko usein arkkitehtimallia tai arkkitehdin luomia pohjakuvia oman suunnittelutyönsä lähtötietoina. Rakennesuunnittelija laatii alustavan rakennusosamallin koko rakennuksen laajuudelta. Talotekniikan suunnittelijat puolestaan laativat alustavat järjestelmämallinsa, joissa esitetään muun muassa järjestelmien pääreitit ja linjat sekä tilaa vievät kanavistot ja laitteistot. (YTV2012 osa 1)

Ehdotussuunnittelussa eri suunnittelualojen tuottamat alustavat tietomallit yhdistetään jo varhaisessa vaiheessa, jolloin varmistutaan kunkin tahon käyttävän mallinnuksessaan oikeaa koordinaatistoa sekä korkoasemia. Ehdotussuunnitteluvaiheessa muodostetaan siis jo ensimmäisen kerran yhdistelmämalli, jossa ovat päällekkäin arkkitehdin, rakennesuunnittelijan sekä talotekniikkasuunnittelijan mallit. Paloturvallisuussuunnittelun ottaminen mukaan ehdotussuunnitteluvaiheeseen loisi mahdollisuudet entistä sujuvammalle palosuunnittelulle. Arkkitehdillä olisi hyödyllistä olla riittävä ymmärrys paloturvallisuuden perusteista sekä rakenteellisten ratkaisujen vaikutuksista esimerkiksi sammutuslaitteistovaatimukseen, jotta paloturvallisuuden kannalta riittävän tason saavuttamiseksi vaadittavien sammutuslaitteistojen tai pintamateriaalien vaikutukset hankkeen onnistumisen kannalta pysyisivät hallinnassa. Näin varhaisessa vaiheessa ei välttämättä ole vielä tarvetta esimerkiksi palontorjuntatekniikan mallintamiselle, mutta paloalan aikainen mukaan tuleminen voisi esimerkiksi ehkäistä myöhemmin kelpaamattomiksi todettavien suunnitteluratkaisujen syntymisen. Myös paloteknisten järjestelmien suunnittelulle olisi paremmat lähtökohdat, kun palosuunnittelija tuntisi rakennushankkeen vaatimukset ja erityispiirteet jo suunnittelun varhaisista vaiheista alkaen. Rakennuksen geometrian, tilatietojen ja esimerkiksi talotekniikan järjestelmien vaatimien tilavarausten aikainen hahmottaminen voisi osaltaan ehkäistä ristiriitojen muodostumista ja vähentäisi näin ollen suunnitteluun kuluva aikaa sekä kustannuksia. Mikäli paloalan mukanaoloa ei tässä

elinkaaren vaiheessa nähdä muutoin hyödylliseksi, on se sitä kuitenkin ainakin alustavien kustannustietojen arvioinnin osalta. Paloalan suunnitelmien yhteensovittaminen myöhemmässä vaiheessa vaatii enemmän työtä ja on haasteellisempaa yhteensovitettavien tekijöiden määrän kasvaessa hankkeen edetessä, jonka vuoksi mahdollisimman aikainen yhteensovittaminen on perusteltua.

### 2.7.3 Yleissuunnittelu

Yleissuunnitteluvaiheessa tietomallia aletaan jalostamaan suunnittelualoittain päätettyjen ratkaisujen perusteella kohti lopullisempia ratkaisuja. Arkkitehtimallin tarkkuuden tulee olla riittävällä tasolla siten, että mallin perusteella voidaan tulostaa rakennuslupan hakemiseen tarvittavia piirustuksia. Arkkitehtimalli sisältää yleissuunnitteluvaiheessa muun geometrian ohella muun muassa kantavat rakenteet ja esimerkiksi ikkuna- ja oviobjektit. Rakennesuunnittelijan tietomallin tulee toimia yleissuunnitteluvaiheessa suunnittelualat yhteensovittavana mallina, joten ristiriidat on oltava ratkaistuina sekä törmäystarkastelut tehtynä. Rakennesuunnittelija varmistaa yleissuunnitteluvaiheessa rakennjärjestelmän mitoituksen esimerkiksi kantavien rakenteiden ja rakennuksen jäykistyksen osalta. Talotekniikan puolella LVI-suunnittelijan sekä sähkösuunnittelijan on luotava mallinsa yhteensovitettaviksi ja mallinnettava suunnittelualojensa mukaisten toteutusten ja järjestelmien tilavaraukset. Yleiset tietomallivaatimukset eivät erikseen mainitse palosuunnittelualaa tässäkin vaiheessa. Paloturvallisuusalan osallistuminen ja rooli tietomalliprosessissa olisi luontevaa määritellä vastaavalla tavalla kuin talotekniikan suunnittelun, jotta paloturvallisuussuunnittelu etenisi muun suunnittelun rinnalla ja kriteerit turvallisuustason täyttymiseksi tulisivat esitetyiksi suunnitteluperusteisiin. Erityissuunnittelijan on oltava riittävän aikaisessa vaiheessa mukana paloturvallisuuskokonaisuuksien suunnittelussa ja suunnitteluperusteet, yleiset laitteistovaatimukset ja vaatimukset yhteensovittamiselle ja tilakohtaisille vaatimuksille sekä mitoitustiedoille on tässä kohtaa oltava hallussa. Vaikka suunnitteluperusteiden on oltava rakennuslupavaiheessa tietyllä tasolla, on erityissuunnittelijan aikainen osallistuminen prosessiin tärkeää, jotta voidaan välttää puutteellisesta erityissuunnittelijan työstä aiheutuvia muutos-, yhteensovittamis- ja päivitystarpeita rakentamisvaiheessa. (YTV2012, osa 1)

### 2.7.4 Toteutussuunnittelu ja rakentaminen

Toteutussuunnitteluvaiheessa tietomalliprosessissa tuotettavan tiedon tarkkuustaso kasvaa. Eri suunnittelualojen mallit tarkentuvat urakkatarjouspyyntöjen edellyttämään tarkkuustasoon. Toteutussuunnittelussa ja rakentamisen aikana yhdistelmämallin, eli eri suunnittelualojen mallien kokonaisuuden, on oltava laadultaan ja tarkkuustasoltaan

muun muassa kustannuslaskennan ja määrälaskennan tarpeita palvelevalla tasolla. Mallin on oltava mittatarkka ja sen on sisällettävä objektiiviset tiedot määritettyinä siten, että malli kuvastaa toteutetuksi tarkoitettua ratkaisua mahdollisimman tarkasti. Tietomallilla on koko hankkeen elinkaaren aikana suuri rooli projektin havainnollistajana. Toteutuksen ja rakentamisen aikana tietomallin roolia havainnollistajana tulisi myös täydentää siten, että mallin mukainen ratkaisu olisi myös ehdoton vaatimus lopulliselle toteutukselle. Tutkimustyön aikana käydyissä sidosryhmäkeskusteluissa on nostettu esille tapauksia, joissa erikoissuunnittelualat ovat hyödyntäneet tietomallia omien ratkaisujensa suunnittelussa sekä yhteensovittamisessa. Ratkaisujen toteutus on ollut kuitenkin hankkeen valmistuttua jotain suunnitelmista poikkeavaa. Toteutuksen ja suunnitelmien välisen yhdenmukaisuuden varmistamiseen tulisi löytää keinoja esimerkiksi sopimusmenettelyn avulla. Toteutussuunnittelu- ja rakentamisvaihe ovat kytköksissä tuleviin rakennuksen elinkaaren aikaisiin tietomallin käyttömahdollisuuksiin. Mikäli toteutusvaiheen tietomallia ylläpidetään säännöllisesti, tarkasti ja riittävän tiheällä aikavälillä yhteistyössä suunnittelualojen ja urakoitsijoiden sekä tuotannon kanssa, muodostuu yhteistyön onnistuessa automaattisesti toteumamalli eli niin kutsuttu *as-built* malli. Toteumamallin merkitys tietomalliprosessista saatavan hyödyn ilmentymänä on erittäin suuri nimenomaan tietomallin elinkaaren aikaisen käytettävyyden kannalta. Tarkka ja yhteisten sopimusten mukaan laadittu toteumamalli on edellytys tietomallin tehokkaalle hyödyntämiselle rakennuksen valmistuttua. Rakentamisen elinkaaresta on valmistumiseen ja käyttöönottoon mennessä kulunut ajallisesti vasta melko pieni osa. Tietomallin kannalta aika ennen rakennuksen käyttöönottoa on kuitenkin erittäin tärkeää tulevaisuuden hyödyntämispotentiaalin kannalta. (YTV2012, osa 3)

### **2.7.5 Rakennuksen käyttöönotto ja käytön aika**

Toteutussuunnittelu- ja rakentamisvaihe ovat avainasemassa tuleviin rakennuksen elinkaaren aikaisiin tietomallin käyttömahdollisuuksiin nähden. Mikäli toteutusvaiheen tietomallia ylläpidetään säännöllisesti, tarkasti ja riittävän tiheällä aikavälillä yhteistyössä suunnittelualojen ja urakoitsijoiden sekä tuotannon kanssa, muodostuu yhteistyön tuloksena toteumamalli. Rakentamisen elinkaaresta on valmistumiseen ja käyttöönottoon mennessä kulunut ajallisesti mitattuna vain murto-osa. Tietomalliprosessissa puolestaan on käyttöönottovaiheeseen mennessä tehtynä suurin osa työstä. Käyttöönottovaiheessa tietomalleja luovutetaan arkistointiin soveltuvissa formaateissa ja tiedostomuodoissa suunnitteluosapuolelta rakennuksen omistuosapuolelle. Iso osa tietomalliprosessin tuottamista hyödyistä jää toteutumatta, mikäli malleissa on puutteita, eivätkä ne ole todellisen lopputuloksen mukaisia *as-built* -toteumamalleja.



Kun malli vastaa toteutettuja ratkaisuja ja sisältää sovitut rakennuksen ylläpitoon liittyvät tietosisällöt, voidaan tietomalliprosessin tuottamat hyödyt saada käyttöön koko rakennuksen käyttöänsä ajaksi. Tietomallin rooli rakennuksen käytön aikana muodostuu kiinteistön ylläpidon, huollon, korjausten, muutostöiden sekä turvallisuustoiminnan ympärille. Tässä työssä tietomallin roolia rakennuksen käytön aikana tarkastellaan paloturvallisuuden näkökulmasta, mutta on tunnistettava, että esimerkiksi ylläpidon, huollon, korjausten ja muutostöiden asettamat edellytykset tietomallille voivat olla hyvin saman kaltaisia käsiteltäessä esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmää verrattuna automaattiseen vesisammutuslaitteistoon. Mikäli kiinteistönpidon käytössä on todellisuutta vastaava tietomalli, on todennäköistä, että kaikki tiedot rakennuksen sisältämistä laitteisto- ja järjestelmäkokonaisuuksista saadaan pidettyä ajan tasalla ja kokonaisuus on hallittavissa. Turvallisuustoiminnan näkökulmasta tietomalli tarjoaa rajattomat mahdollisuudet esimerkiksi käytönaikaiselle turvallisuuskoulutukselle sekä pelastuslaitoksen toiminnan tarpeisiin. Tietomallin kyky toimia havainnollistajana on avainasemassa pelastus- ja turvallisuustoimintaan saatavissa hyödyissä. Nykyaikaiset virtuaalisen todellisuuden (VR) ja lisätyn todellisuuden (AR) ratkaisut, sekä tietomallin yhdistäminen pelimoottoreihin saattavat luoda jopa ennestään tunnistamattomia mahdollisuuksia tietomallien hyödyntämiselle. Hyötyjä voivat olla esimerkiksi pelastushenkilökunnan harjoittelu päivittäisen työnsä ohella, ylläpitohenkilökunnan perehdytys tai jopa huoltotoimenpiteisiin annettava tuki ja ohjeistus etäyhteyksin. Uusista teknologioista ja virtuaalisen todellisuuden ratkaisuista kerrotaan kattavammin luvussa 4.3. Suunnittelualojen yhdistelmämalli saattaa kuitenkin olla turhan yksityiskohtainen, raskas ja vaikeasti havainnoitava erilaisiin käytön ajan sovelluksiin. Tässä työssä pyritään löytämään ratkaisuja ja vaihtoehtoja tietomallin yksinkertaistamiseen, sen sisältämän tiedon lajitteluun ja karsimiseen sekä tietomallista löytyvän tiedon tarpeenmukaiseen poimintaan kulloisenkin käyttötapauksen mukaan. Yksinkertaistettuna kyse on siis tietomallin käsitteen pohtimisesta. Käytönaikaiset sovellukset eivät todennäköisesti tarvitse koko tietomallia kaikkine eri suunnittelualojen tietoi-neen ja mallinnuksineen. (YTV2012, osa 12)

## **2.7.6 Purku / Käyttötavan muutos**

Tietomallilla on oma roolinsa myös rakennuksen käyttötavan muuttuessa tai sen elinkaaren kohdatessa loppunsa. Tietomallin hyödyntäminen purkuprosesseissa on vielä koh-talaisen vieras ajatus, sillä tietomallikohteet ovat tämän työn toteuttamisen hetkellä vielä suurimmaksi osin niin uusia, ettei niiden purkuprosesseja tietomallia apuna käyttäen ole toistaiseksi toteutettu tai ainakaan dokumentoitu. Rakennuksen purku on kuitenkin prosessi, johon tietomallia voidaan ajatella hyödynnettäväksi monillakin eri tavoilla. Koko

purkuprosessin suunnittelu, aikataulutus ja kustannusarviot voivat tukeutua tietomalliin. Tietomallista voisi myös saada tärkeitä tietoja käytetyistä materiaaleista, vaarallisista aineista sekä materiaalien uusio- ja kierrätysmahdollisuuksista. Myös tiedot talotekniikan laitteistoista sekä muista uudelleen hyödynnettävistä järjestelmistä ja laitteista voitaisiin saada purkuprosessin käyttöön. Kyseisillä tiedoilla pystyttäisiin tukemaan nykypäivänä yhä merkittävämmiksi koettavien kiertotalouden ratkaisujen ja prosessien toteutumista.

Rakennuksen käyttötavan muutos on tilanne, jossa on erittäin edullista, mikäli muutos-hankkeen käyttöön saadaan tarkat ja paikkansapitävät vanhat suunnitelmat. As-built mallin avulla kaikki fyysiset muutokset rakennuksessa pystytään suunnittelemaan uutta vastaavin menetelmin. Käyttötavan muutoksessa on tarpeellista tietää muutoksen piirissä oleva talotekniikka ja palontorjuntatekniikka, rakenteelliset ominaisuudet ja rakentamismääräyksistä johtuvat erityispiirteet ja vaatimukset. Paloturvallisuuden laadun varmistamiselle ja parantamiselle voidaan nähdä käyttötavan muutoksessakin useita tietomallin mahdollistamia hyötyjä. Tietomallista voisi olla mahdollista saada esimerkiksi automaatti-ilmoituksia, mikäli palo-osaston suurin sallittu koko ylittyy muutostöiden takia. Palontorjuntatekniikan ja esimerkiksi alkusammutustarvikkeiden soveltuvuus uuteen käyttötapaan saataisiin varmistettua rakennuksen todellista tilaa vastaavasta tietomallista. Myös rakenteellisten muutosten vaikutusta sammutuslaitteistojen suojaukseen ja paloilmoittimien valvonnan kattavuuteen voitaisiin arvioida tietomallin avulla. Mikäli tietomallin ohella voidaan osoittaa, että mallia on myös ylläpidetty käytön aikana, voitaisiin sen sisältämiin mallinnuksiin ja tietoihin luottaa. Tarpeettomat työmaavierailut sekä verrattain hidas ja muutoksiin heikosti soveltuva 2d-suunnittelu esimerkiksi pdf-muotoon tallennettujen piirustusten kanssa vähenisi tietomallinnuksen ansiosta.

## 2.8 IFC

IFC-kirjainyhdistelmä on lyhenne sanoista *Industry Foundation Classes*. Usein kuullaan puhuttavan IFC:stä formaattina, jota se ei kuitenkaan tarkemmin määriteltynä ole. IFC on standardoitu (ISO-16739-1:2018) oliopohjaisen tiedon esittämiseen ja loogiseen järjestelyyn kehitetty skeema eli eräänlainen kaavio, järjestelmä tai tietorakenne. IFC-skeeman avulla pystytään karkeasti jaoteltuna kuvaamaan tietoja objektista, tuotteesta, materiaalista, prosessista, tuotannosta tai esimerkiksi tietystä toimijasta. IFC-skeeman avulla käsitellään tietoja identiteetistä, merkityksestä, ominaisuuksista, suhteista, konkreettisista objekteista, abstraktioista, prosesseista ja ajankohdista sekä toimijoista tai tahoista.

IFC-skeeman mukaisesti järjestelty tieto pystytään puolestaan tallentamaan useassa eri tiedostoformaattissa. IFC-skeeman aktiivisesti tuetut tiedostoformaatit ovat STEP Physical File (SPF), Extensible Markup Language (XML), ZIP, Terse RDF Triple Language (Turtle) sekä Resource Description Framework (RDF/XML). Lisäksi IFC-skeeman mukaan järjesteltyä tietoa voidaan tallentaa väliaikaisesti ja kokeellisesti formaateissa JavaScript Object Notation (JSON), Hierarchical Data Format (HDF) sekä SQLite. (buildingSMART International 2021a)

Edellä mainituista tiedostoformaateista eniten käytetyin on STEP Physical File (SPF). Kyseisen tiedostomuodon tunnistaa tiedoston nimen päätteestä .ifc. SPF pohjautuu standardiin ISO 10303, joka on kehitetty kolmiulotteisten tuotetietojen sekä objektien tietokoneavusteiseen esittämiseen ja tiedonsiirtoon eri ohjelmistojen välillä. STEP-kirjainyhdistelmä tulee sanoista Standard for The Exchange of Product model data. IFC-skeeman mukainen rakennuksen tietomallin tiedot sisältävä SPF-tiedosto on puolestaan standardin ISO 10303-21 mukaan formatoitu ASCII-rakenteinen tiedosto. Kuvitteellinen ASCII-rakenteinen esimerkki.ifc tiedosto on ihmisluettavaa tekstiä sisältävä tiedosto, joka sisältää rakennuksen tietomallin tiedot IFC-skeeman mukaisesti riveittäin luettuna. Tiedoston rivejä lukemalla on siis mahdollista ymmärtää esimerkiksi mallinnetun seinän ominaisuuksia jopa ilman, että tarvitsisi tutustua ohjelmoinnin perusteisiin. Kuvassa 10 on esitettyä otos SPF-tiedostosta, jossa määritellään esimerkkiobjektina toimivan seinän ominaisuuksia. Kuvan 10 sisältö on osa buildingSMART organisaation julkaiseman IFC-standardin version 4.0.2.1 esimerkkimäärittelyä. SPF-formaatti on koneluettavuudeltaan ja suhteellisen kokonsa puolesta edullinen tiedostoformaatti käytettäväksi eri mallinnus- ja suunnitteluohjelmistojen välillä. Erityisesti laajojen ja suurten tietomallien siirtoon sekä tallentamiseen suositellaan käytettäväksi SPF-formaattia. Paloturvallisuuden liittyen kuvasta 11 voidaan lukea esimerkiksi ominaisuudet FireRating, Combustible, SurfaceSpreadOfFlame sekä Compartmentation. Luvussa 3.3 tutustutaan tarkemmin IFC-skeemasta löytyviin ominaisuusmääritelmiin sekä niille annettaviin tietoihin. Ilman syvällisempää tietämystä voidaan kuitenkin päätellä, että seinä ei osallistu epäedullisesti palonkehitykseen, sillä sen ominaisuudelle Combustible (palava, syttyvä) on annettu totuusarvo F eli False (epätosi). Lisäksi seinä ei toimi paloa osastoivana rakenteena, sillä ominaisuudelle Compartmentation on annettu vastaavasti totuusarvo F eli False. Ominaisuuksille FireRating ja SurfaceSpreadOfFlame ei ole määritelty sisältöä. Mahdolliset syötteet olisivat kyseisten ominaisuuksien tapauksessa tekstimuotoisia tietoja esimerkiksi seinän paloluokasta sekä pintaluokasta.

```

/* properties for the wall, standard property set from PSet collection ----- */
#49 = IFCPROPERTYSET('3nMqHlyZHAegWs5Yyxh1ry', #2, 'Pset_WallCommon', $, (#50, #51, #52, #53, #54, #55, #56, #57, #58, #59));
#50 = IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Reference', 'Reference', IFCIDENTIFIER(''), $);
#51 = IFCPROPERTYSINGLEVALUE('AcousticRating', 'AcousticRating', IFCLABEL(''), $);
#52 = IFCPROPERTYSINGLEVALUE('FireRating', 'FireRating', IFCLABEL(''), $);
#53 = IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Combustible', 'Combustible', IFCBOOLEAN(.F.), $);
#54 = IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SurfaceSpreadOfFlame', 'SurfaceSpreadOfFlame', IFCLABEL(''), $);
#55 = IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ThermalTransmittance', 'ThermalTransmittance', IFC THERMALTRANSMITTANCEMEASURE(2.4E-1), $);
#56 = IFCPROPERTYSINGLEVALUE('IsExternal', 'IsExternal', IFCBOOLEAN(.T.), $);
#57 = IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ExtendToStructure', 'ExtendToStructure', IFCBOOLEAN(.F.), $);
#58 = IFCPROPERTYSINGLEVALUE('LoadBearing', 'LoadBearing', IFCBOOLEAN(.F.), $);
#59 = IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Compartmentation', 'Compartmentation', IFCBOOLEAN(.F.), $);
/* connection of properties to the wall ----- */
#60 = IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('297B4VSyEHx7go0x$VxZ2', #2, $, $, (#45), #49);

```

**Kuva 11.** IFC-SPF -tiedoston osa, joka kuvaa seinän ominaisuuksia. (buildingSMART International 2021b)

Toinen ajoittain käytetty tiedostformaatti IFC-skeeman mukaisen tietorakenteen tallentamiseen ja siirtoon, on tiedostopäätteestä .ifcXML tunnistettava XML. XML-tiedoston koko on suurempi kuin SPF-tiedoston, jolloin sen käyttö varsinkin suurempien tietomallien kanssa toimittaessa on vähemmän suositeltavaa. Tietotekniikassa laajalti ympäri maailman käytetty XML-tiedostformaatti on hyödyllinen verkossa ja verkon yli tapahtuvaan tiedonsiirtoon, esittämiseen ja käsittelyyn (W3C 2021). XML-mahdollistaa myös muita operaatioita ja käsittelyjä sekä on laajalti luettavissa eri ohjelmistojen ja ohjelmointikielten avulla. Kuvassa 12 on esitettyä saman IFC-standardin version 4.0.2.1 mukaisesti määritellyt esimerkkitapauksena toimivan seinän ominaisuudet kuin kuvassa 10. Sekä SPF-, että XML-tiedostot voidaan pakata ZIP-tiedostoiksi pienentäen tehokkaasti tiedostokokoa. SPF- tai XML-tiedoston pakattu ZIP-versio on kooltaan noin viidesosa verrattuna pakkaamattomaan vastaavaan tiedostoon.

```

▼<IsDefinedBy>
  ▼<IfcRelDefinesByProperties GlobalId="293B4VSyHEhx7go0x$VxZ2">
    <OwnerHistory xsi:nil="true" href="i2"/>
    ▼<RelatingPropertyDefinition>
      ▼<IfcPropertySet GlobalId="3nMqHLyZHAegWs5Yyxh1ry" Name="Pset_WallCommon">
        <OwnerHistory xsi:nil="true" href="i2"/>
        ▼<HasProperties>
          ▼<IfcPropertySingleValue Name="Reference" Description="Reference">
            ▼<NominalValue>
              <IfcIdentifier-wrapper/>
            </NominalValue>
          </IfcPropertySingleValue>
          ▼<IfcPropertySingleValue Name="AcousticRating" Description="AcousticRating">
            ▼<NominalValue>
              <IfcLabel-wrapper/>
            </NominalValue>
          </IfcPropertySingleValue>
          ▼<IfcPropertySingleValue Name="FireRating" Description="FireRating">
            ▼<NominalValue>
              <IfcLabel-wrapper/>
            </NominalValue>
          </IfcPropertySingleValue>
          ▼<IfcPropertySingleValue Name="Combustible" Description="Combustible">
            ▼<NominalValue>
              <IfcBoolean-wrapper>false</IfcBoolean-wrapper>
            </NominalValue>
          </IfcPropertySingleValue>
          ▼<IfcPropertySingleValue Name="SurfaceSpreadOfFlame" Description="SurfaceSpreadOfFlame">
            ▼<NominalValue>
              <IfcLabel-wrapper/>
            </NominalValue>
          </IfcPropertySingleValue>
          ▼<IfcPropertySingleValue Name="ThermalTransmittance" Description="ThermalTransmittance">
            ▼<NominalValue>
              <IfcThermalTransmittanceMeasure-wrapper>0,24</IfcThermalTransmittanceMeasure-wrapper>
            </NominalValue>
          </IfcPropertySingleValue>
          ▼<IfcPropertySingleValue Name="IsExternal" Description="IsExternal">
            ▼<NominalValue>
              <IfcBoolean-wrapper>true</IfcBoolean-wrapper>
            </NominalValue>
          </IfcPropertySingleValue>
          ▼<IfcPropertySingleValue Name="ExtendToStructure" Description="ExtendToStructure">
            ▼<NominalValue>
              <IfcBoolean-wrapper>false</IfcBoolean-wrapper>
            </NominalValue>
          </IfcPropertySingleValue>
          ▼<IfcPropertySingleValue Name="LoadBearing" Description="LoadBearing">
            ▼<NominalValue>
              <IfcBoolean-wrapper>false</IfcBoolean-wrapper>
            </NominalValue>
          </IfcPropertySingleValue>
          ▼<IfcPropertySingleValue Name="Compartmentation" Description="Compartmentation">
            ▼<NominalValue>
              <IfcBoolean-wrapper>false</IfcBoolean-wrapper>
            </NominalValue>
          </IfcPropertySingleValue>
        </HasProperties>
      </IfcPropertySet>
    </RelatingPropertyDefinition>
  </IfcRelDefinesByProperties>
</IsDefinedBy>

```

**Kuva 12.** IFC-XML -tiedoston osa, joka kuvaa seinän ominaisuuksia. (buildingSMART International 2021b)

## 2.9 Eriteltyjen tasojen tarve ja tietomallin organisointi

Tietomallinnuksessa on kyse rakentamishankkeen kannalta merkityksellisen tiedon mallintamisesta ja suunnittelusta virtuaalisessa muodossa mahdollisimman tarkasti toteutuvaa ratkaisua vastaavaksi digitaaliseksi versioksi. Tietomallinnuksen tuloksena syntyy usein geometrian omaava komponentti tai objekti, mutta mallintamisen voidaan yhtä

lailla katsoa olevan työtä, jossa määritetään ja syötetään tietomallinnusohjelmistoon rakennushankkeelle tärkeitä ominaisuustietoja ja kaikenlaisia muita mahdollisia tiedon ilmentymiä, kuten esimerkiksi linkityksiä ulkoisiin tietokantoihin. Eriteltyjen tasojen tarve muodostuu, kun tietomallinnusta suoritetaan yhteistyössä useamman kuin yhden tahon kanssa. Tarve eritellyille tasoille on suuri myös silloin, kun tietomallia käytetään johonkin muuhun, kuin tavanomaiseen hankkeen alkuvaiheen suunnittelutyöhön. Kun tietomallin sisältö on loogisesti organisoitu ja jaoteltu, voidaan tehdä suodatuksia käsittelyn alla ja näkyvissä olevan mallinnetun tietosisällön visualisoinnin ja hallinnan helpottamiseksi. Yksinkertaisimmillaan tämä voi tarkoittaa, että esimerkiksi tarkastusten tai ylläpidon tarpeisiin suodatetaan näkymä, jossa on esillä ainoastaan tarkastuksen kohteena oleva laite, rakennusosa tai järjestelmä. Monimutkaisempi esimerkki taas on vaikkapa tilanne, jossa yhdistelmämallin kanssa työskentelevä palosuunnittelija suodattaa LVIA- ja SÄH-malleista näkyville vain tietyn halkaisijan omaavat reiät, joihin kohdistaa sitten omaa työtänsä palokatkosuunnittelun muodossa.

### **2.9.1 Suunnittelualakohtainen jako**

Rakennuksen tietomalli voidaan jakaa tasoihin, lohkoihin tai osiin monella eri tavalla. Ylimpänä jaottelevana tekijänä voidaan pitää eri suunnittelualojen mukaista jakoa, joka syntyy mallinnusvaiheessa lähtökohtaisesti automaationa. Mikäli on olemassa yhdistelmämalli, jossa yhteiseen koordinaatistoon sovitettut suunnittelualakohtaiset tietomallit ovat päällekkäin, voidaan tästä tietomallista tuottaa tasoittain näkymiä siten, että näkyvillä on esimerkiksi vain rakennesuunnittelun tai vaikkapa sähkösuunnittelun tuottama tietomalli.

### **2.9.2 Rakennuksen kerroksiin, tiloihin ja lohkoihin perustuva jako**

Yleisvaatimus tietomallinnukselle on, että kaikki suunnittelualat tuottavat tietomallinsa kerroksittain (YTV2012 osa 1. s.9). Kerroksittaisen mallinnuksen vaatimus perustuu tietomallin avulla suoritettaviin analyysiin ja simulaatioihin sekä siihen, että eri osapuolet käyttäjästä, tilaajasta ja työmaasta alkaen hyödyntävät tietomallipohjaisia suunnitelmia kerroksittain. Laajoissa ja monisteisissa rakennuksissa esimerkiksi verrattain raskaat, paljon laskentatehoa vaativat FDS-sovelluksella suoritettavat palosimulaatiot voidaan suorittaa toistuvuutta sisältävissä kohteissa vain yhdelle kerrokselle tai tilaryhmälle. Yleisiin tietomallivaatimukseen perustuvan kerroksiin jaon lisäksi rakennus voidaan jakaa lohkoihin tai tilakohtaisesti. Tilakohtainen jako voi hyödyttää esimerkiksi tilakohtaisten pa-

lontorjuntatekniikan, vaikutusalue tarkastelujen ja muiden suunnitelmien tarkastustoiminnassa. Mikäli tulevaisuuden kehityksen myötä tietomallinnuksen pariin saadaan käytettäväksi sovelluksia, jotka tarkastavat automaattisesti paloturvallisuusmääräysten täyttymisen ja suunnitelmien määräysten mukaisuuden haluttujen tilojen tietojen perusteella, hyödytään tällöin entistä enemmän tilakohtaisesta jaottelusta.

### 3. PALOTURVALLISUUS TIETOMALLISSA

Tietomallinnuksen voidaan ajatella olevan eräänlaisessa murrosvaiheessa. Rakentamisen tietomallintaminen on saanut pysyvän roolin varsinkin suuremmissa rakennushankkeissa. Mallinnus on tähän mennessä keskittynyt pääasiassa geometriaan. Geometrian mallinnus on omiaan vauhdittamaan rakennushankkeiden kulkua, ja geometrioiden mallinnuksesta hyötyvät kaikki suunnittelualat. Suunnitelmien laatimiseen kuluva aika lyhenee, rakennushankkeiden ominaisuuksien havainnollistamiskyky paranee, kaksiulotteisten piirustusten laatiminen nopeutuu huomattavasti ja monet suunnittelu- ja laskentaohjelmistot pystyvät hyödyntämään tietomallissa olevaa geometriaa. Tietomallinnuksen murroksessa onkin kyse mallintamisen sisällön muutoksesta sekä tietomallien tietosisällön rikastumisesta. Mallinnusohjelmistojen avulla voidaan jo nykyään sisällyttää tietomalleihin runsaasti muutakin informaatiota kuin vain kolmiulotteisia geometrioita. Ohjelmistokehittäjien avulla tietomallinnusohjelmistoihin saadaan luotua uusia käyttäjärajapintoja sekä työkaluja kaikenlaisen informaation syöttämiseen, käsittelemiseen, säilömiseen ja hyödyntämiseen tietomallipohjaisesti.

#### 3.1 Kansainvälinen tutkimus

Ruotsin rakennusteollisuuden kehittämisrahasto SBUF on teettänyt vuosien 2016–2018 aikana kattavan projektin, johon osallistui monia rakennusalan eri toimijoita ja tahoja suunnittelutoimijoista rakennuttajiin ja tutkijoihin. Projektista laaditussa julkaisussa Norén et al. (2018) käsittelevät muun muassa paloturvallisuussuunnittelun roolia rakennushankkeessa, paloturvallisuussuunnittelun prosesseja BIM-ympäristössä, tietomallinnuksen jo kokeiltuja sekä mahdollisia tulevaisuudessa kokeiltavia hyötyjä, muutamia case -kohteita sekä avaintekijöitä ja tulevaisuuden kehitystarpeita. Paloturvallisuuden suunnitteluala voi hyötyä tietomallista hankkeen jokaisessa vaiheessa yhtäläisesti muihin rakennushankkeeseen sidoksissa oleviin aloihin nähden. Norén et al. osoittavat julkaisussaan eräitä rakennushankkeen pääpiirteittäisiä kokonaisuuksia, joihin paloturvallisuussuunnittelu voidaan integroida. (Norén et al. 2018)

Norén et al. (2018) mukaan tyypillisesti palontorjuntapiirustuksissa esitettyä informaatiota voidaan lisätä tietomalliin. Norén et al. mainitsee tietomalliin integroitaviksi asioiksi muun muassa palo-osastojen rajat, evakuointireitit, hätätilan valaistuksen, tilojen käyttäjämäärät ja sammutuslaitteistot sekä -tarvikkeet. Myös yksittäisten paloilmaisimien ja esimerkiksi automaattisten vesisammutuslaitteistojen mallintamisella nähdään olevan



suoria hyötyjä paloturvallisuussuunnitteluun. Raportissa esitetään paloturvallisuusinformaatioiden mallintamisen hyödyn muodostuvan muun muassa mahdollisuudesta tehdä muulle talotekniikalle normaaleja törmäystarkasteluja myös palontorjuntatekniikalle. Tietomalliin voidaan lisäksi kehittää analyyttisiä työkaluja esimerkiksi evakuoinnin ja savun leviämisen mallintamiseen. Paloturvallisuuteen liittyviä mallinnuksia voidaan käyttää analyysimallien geometrian lähtötietona, mikäli vain ohjelmistot ja työkalut saadaan keskenään yhteensopiviksi. Vastaavasti kuin esimerkiksi rakennesuunnittelussa ja talotekniikan suunnittelussa, myös paloturvallisuussuunnittelussa materiaalien ja osien automatisoitu määrälaskenta lisäävät toiminnan tehokkuutta. (Norén et al. 2018)

Norén et al. (2018) esittävät työssään myös rakennusteollisuuden tarpeita ja odotuksia, jotka on kerätty samankaltaisilla keskusteluilla ja haastatteluilla, kuin mitä on käytetty tämän työn toteutuksessa. Tarpeet ja odotukset kohdistavat pääasiallisen huomion siihen, että kaikki paloturvallisuuteen liittyvä tieto tulisi jatkossa olla dynaamista, helposti löydettävää ja kaikkien saatavilla. Paloturvallisuustietojen sisällyttämisellä tietomallinnukseen halutaan myös edistää työskentelytapaa, jossa vältetään staattisten 2d-suunnitelmien käyttöä. 2d-suunnitelmien todetaan olevan usein vaikeammin havainnoitavia, vaikeammin päivitettävissä sekä nopeammin hankalan muokattavuutensa vuoksi vanhentuvia kuin tietomallinnukseen perustuvat suunnitelmat. Tietomallinnuksen avulla nostetaan esille mahdollisuuksia paloturvallisuuden laadun edistämiseen, kuten suunnitteluvaiheessa VR-teknologiaa hyödyntämällä tehtävät tarkastukset. VR-teknologian keinoin esimerkiksi hätäpoistumisreittejä osoittavat hätävalaistukset ja niiden riittävyys sekä oikeellinen sijainti voidaan käydä tarkastamassa virtuaalisella työmaakäynnillä. Älykkään tietosisällön integroimisella tietomalliin voitaisiin myös saada suunnittelun apuvälineeksi samanlaisia hyötyjä kuin tavanomaisesta geometrioihin perustuvasta törmäystarkastelusta saadaan. Siinä missä törmäystarkastelu käy läpi, ettei tietomallissa ole esimerkiksi LVI-järjestelmien törmäyksiä ja päällekkäisiä komponentteja, voisi tietomalliin kehitetty työkalu tarkastaa myös esimerkiksi, ettei huoneen tai tilan suurin sallittu henkilömäärä tai palo-osaston koko ylitä kulloisessakin kohteessa noudatettavia rakennusmääräyksiä. Hankkeen aikana toteutuvien muutosten ja eri vaihtoehtojen kustannusten ennakoiminen ja arvioiminen nähdään myös yhdeksi tietomallinnuksen aikaansaamaksi hyödyksi. Tarkastuksien ja katselmusten tekoon tietomalli tarjoaa hyödyn, jonka ansiosta kaikki suunnitelmat ovat keskitetysti saatavilla, eikä näin ollen aikaa vievää erillisten dokumenttien etsiskelyä tarvita.

Kuten yleisessä keskustelussa ja tämän diplomityön aikana käydyissä keskusteluissakin on havaittu, nykyinen kehitys ei usein ole vielä siinä vaiheessa, että paloturvallisuusalan suunnittelua edistettäisiin huomattavasti nykyistä enemmän tietomallien avulla. Teknistä

ja integroitua palontorjuntaa ei yleensä sisällytetä tietomalliin läheskään yhtä kattavasti kuin esimerkiksi talotekniikan, sähköalan ja LVI-alojen suunnitelmia. Norén et. al. (2018) mukaan kehitys on kuitenkin alkanut kulkea suuntaan, jossa palontorjuntatekniikka nähdään yhtä tärkeänä asennuksena kuin talotekniikan ja LVI-alan muut asennukset.

Eräs kehityksen haaste on, että paloturvallisuusalan suunnitelmien integroiminen rakennuksen tietomalliin saattaa mahdollistaa asioita ja hyötyjä, joita ei ennalta osata esittää tai vaatia. Mahdollisuudet paloturvallisuuteen liittyvän informaation sisällyttämisestä tietomalliin antavat vähintäänkin harkitsemisen arvoisia hyötyjä rakennushankkeen eri vaiheille. Norén et. al. (2018) raportin mukaan esimerkiksi tilan suurimman sallitun henkilömäärän sisältävän tiedon syöttäminen tietomalliin mahdollistaisi selkeän hyödyn laatua ja vaatimustenmukaisuutta silmällä pitäen. Tietomallisovellukseen voitaisiin kehittää toiminnallisuus, joka osaa määrittää vaadittavien uloskäyntien määrän kulloisessakin tapauksessa tilan ja koko hankkeen ominaisuudet huomioon ottaen. Mikäli tällöin hankkeen eri suunnitteluvaiheissa tilan ominaisuuksia muokataan tai esimerkiksi tilalle syötetty käyttäjämääräominaisuus muutetaan, osaa toiminnallisuus antaa varoituksen, jos poistumisreittien määrä, sijoittelu ja laatu eivät täytä hanketta ohjaavia rakennusmääräyksiä ja vaatimuksia. Kansainvälisestikin todetaan ja esitetään siis samoja ideoita ja mahdollisuuksia, joita paloturvallisuuden hyödyksi voitaisiin tietomallinnuksen keinoin toteuttaa.

### **3.2 Sidosryhmäkeskustelujen avulla kerätyt tiedot nykytilanteesta ja tulevaisuuden tarpeista**

Rakennusalan toimijoiden keskuudessa oletetaan usein vallitsevan melko vanhakantainen ja hitaasti uusiin innovaatioihin sopeutuva ilmapiiri. Työtapojen kerrotaan noudatettavan vanhoja hyväksi havaittuja käytäntöjä sen sijaan, että suosittaisiin uusia ideoita ja työskentelymalleja. Aivan näin mustavalkoinen asia ei kuitenkaan ole. Alan kehitysmuutteisyyttä ja innovatiivisuutta puoltaa varsinkin uusien teknologioiden käyttöönotto. Eri asia on, kuinka tehokkaasti uusien teknologioiden tarjoamia mahdollisuuksia lopulta hyödynnetään. Vanhakantaisuus ja pysytteleminen samoissa työskentelytavoissa vuosi toisensa perään näkyy työn aikana käydyistä keskusteluista saadun käsityksen perusteella esimerkiksi edelleen suurina pdf- ja 2d-dokumenttien määrinä. Suurissa hankkeissa käytetään mielellään perinteisiä toimintatapoja uusiin menetelmiin liittyvien epävarmuuksien ja riskien vuoksi. Kehitys ja uusien innovaatioiden hioutuminen käyttökelpoisiksi ja tehokkaiksi ratkaisuuksi vaatii tulevaisuudessa alalta yhteistä panosta ja motivaatiota. Tällainen kehitys ja toiminta on havaittavissa esimerkiksi YTV2020 -työnimellä kulkevassa

hankkeessa, jossa tietomallinnuksen vaatimuksia ja yhteisiä suuntaviivoja kehitetään tietomallin entistä tehokkaampaa hyödyntämistä silmällä pitäen.

Tämän tutkimuksen aikana käydyissä keskusteluissa tuote- ja materiaalitoimittajien, suunnittelutoimistojen, palokonsulttien ja kiinteistön managerointipalveluja tarjoavien tahojen kanssa, esiintyi edelleen näkemys, että on olemassa tietyt käyttöön vakiintuneet menetelmät ja tavat, joilla rakennusten paloturvallisuutta toteutetaan ja suunnitellaan. Kiinteistön automaatiojärjestelmiä ja laitteistoja valmistavien tahojen näkökulmasta käytännöstä saatujen kokemusten ja havaintojen mukaan tietomalleille kohdistettavia paloturvallisuuteen liittyviä vaatimuksia on jokseenkin vaikea löytää. Tämä sen vuoksi, että nykypäivän teknologialla ja laitteistoilla on jo lähes rajattomat mahdollisuudet esimerkiksi integroinnin ja reaaliaikaisen anturidatan hyödyntämisen suhteen. Ensin on pystyttävä kuitenkin osoittamaan selkeä tarve, johon sitten vastataan erilaisten tuotejärjestelmien ja teknologioiden avulla. Tuote- ja laitteistotoimittajien kohdalla tietomallin tarkastelu on enemmänkin heidän toimiaan tukevaa ja työskentelyä osittain helpottavaa. Vasta silloin kun tietomalli otetaan käyttöön kiinteistön huollossa ja manageroinnissa rakennuksen valmistuttua, alkavat ne näytellä suurempaa roolia tuotetoimittajienkin liiketoiminnassa. Tällöin tuotteiden ja laitteistojen huolto-ohjelmia, laitetietoja sekä laitteiden keräämää ja tuottamaa dataa voidaan alkaa säilömään ja jatkojalostamaan tietomallipohjaisesti.

Suunnittelu- ja palokonsulttitahojen työssä tietomallit ovat näkyvämmässä roolissa. Keskustelujen mukaan melko yleinen käytäntö esimerkiksi palo-osastojen, palokatkojen ja muun paloturvallisuuteen liittyvän suunnittelun toteuttamisessa on kuitenkin edelleen 2d-dokumentteihin pohjautuvaa. Muiden suunnittelualojen toteuttaessa tietomallipohjaista suunnittelua, ei paloturvallisuussuunnittelu juurikaan liity tai sitä ei liitetä aktiivisesti mukaan tietomallinnusprosessiin. Muiden suunnittelualojen mallinnoista tuotetaan 2d-dokumentteja, joihin paloturvallisuussuunnitelmat piirretään ja kirjoitetaan päälle. Tietomallien näkymissä voidaan liikkua ja mallinnoista voidaan tutkia sekä niiden avulla voidaan tehdä mittauksia. Tällöin säästetään aikaa ja kustannuksia työmaavierailujen jäädessä pois. Osittain käytäntöjä ohjaa pysymään ennallaan myös säädösten asettama vaatimus, jonka mukaan kaikki turvallisuuteen liittyvä informaatio tulee löytyä rakennuksen lupamenettelyissäkin käytettävistä pääpiirustuksista (YM 7§ 2015). Asetus vaatii palo-osastojen esittämistä tasopiirustuksissa sekä leikkauksissa. Toki paloala voisi tuottaa ja sisällyttää oman informaatiossa ja työpanoksensa tietomallipohjaisen hankkeen aikana suoraan ja välittömästi tietomalleihin, mutta tällöin törmätään taas siihen, että muutokset ja uusien työskentelytapojen omaksuminen vaatii runsaasti aikaa ja kehitystä. Suunnittelijoiden ja konsulttien käyttämiä lähtötietoja ovat esimerkiksi rakennuksen ominaisuudet, käyttäjäryhmät ja -määrät sekä osastoinnit. Rakennuksen ominaisuuksiin kuuluvat

koko, tilavuus, käytetyt materiaalit, pintaluokat, palokuormat sekä kantavat rakenteet. Osa edellä mainituista ominaisuuksista mallinnetaan tietomalleihin automaationa geometrian mallintamisen sekä arkkitehti- ja rakennesuunnittelun toimesta. Tarvitaan vielä kehitystyötä, joka määrittelee mitä ominaisuuksia paloturvallisuuteen liittyen tulee mallintaa, miten ja millä tarkkuudella nämä ominaisuudet mallinnetaan ja mihin mallinnettu tietosisältö tallennetaan.

Paloalan käytössä on ohjelmistoja palotilanteiden simulointiin. Paloalan sovelluksilla simuloidaan esimerkiksi palon kehittymistä ja henkilöiden evakuointia rakennuksesta palotilanteessa. Paloalan käyttämät sovellukset vaativat usein toimiakseen IFC-skeeman mukaisen tiedoston, josta ne poimivat tarvitsemansa tiedot simulaatioiden suorittamiseksi. Useimmiten palosimulaatioissa hyödynnetään geometrioita. Sidosryhmäkeskusteluissa nousi esiin yleinen käytäntö, jonka mukaan esimerkiksi materiaalien pintaluokat ja materiaalit itsessään mallineetaan käyttäen karkeita yksinkertaistuksia. Rakennuksen oletettuna materiaalina saatetaan käyttää esimerkiksi ainoastaan betonia, jolloin simulaation lopputulokseen vaikuttavat parametrit määräytyvät betonin materiaaliominaisuuksien mukaan. Paloturvallisuussuunnittelun laatua saataisiin parannettua, tai ainakin tarkkuutta nostettua, mikäli IFC-tiedoston tarjoamat mahdollisuudet otettaisiin kattavammin käyttöön palosimulaatioita suorittavien ohjelmistojen lähtötietojen määrittämisessä.

### 3.3 Paloturvallisuus IFC standardissa

IAI allianssin (International Alliance for Interoperability), tunnetummin buildingSMART International -järjestön kehittämän ja ylläpitämän IFC-skeeman dokumentoinnista löytyy jonkin verran paloturvallisuuteen liittyviä huomioita. IFC:n rakenteeseen kuuluvissa propertyseteissä eli ominaisuusjoukoissa on määriteltynä useita yksittäisiä propertyja eli ominaisuuksia, joita hyödyntämällä pystytään tietomalliin syöttämään ja tallentamaan paloturvallisuuteen vaikuttavia tietoja. BuildingSMART:n verkkosivustolla ylläpidetään tietokantaa, josta on vapaasti hyödynnettävissä ja ladattavissa kaikki IFC-skeeman määrittelyt koko formaatin olemassaolon alusta alkaen nykyhetken kehitysversioihin saakka. Sivustolla kerrotaan myös reaaliaikainen tieto eri IFC-versioiden ylläpidosta ja virallisesta asemasta. Statustiedolla ”Official” on tämän työn tekohetkellä vuoden 2021 kesällä kaksi IFC-skeeman dokumentaatiota. Vanhempi ja pidempään käytössä ollut IFC2x3 sekä uudempi IFC4, virallisilta nimiltään IFC2x3 TC1 sekä IFC4 ADD2 TC1. IFC2x3:n käytössä oleva versio on 2.3.0.1 ja IFC4 on versioltaan 4.0.2.1. (buildingSMART International 2021a)

Osana hallituksen vuonna 2019 päättynyttä KIRA-digi hanketta toteutettiin *Tietomallit rakennusten turvallisuuden varmistamisessa* -hanke. Vuoden 2018 aikana toteutetun hankkeen osapuolina olivat Saimaan ammattikorkeakoulu, Etelä-Karjalan pelastuslaitos sekä Lappeenrannan kaupunki/Lappeenrannan Toimitilat Oy. Hankkeen tavoitteet ja aihepiiri ovat luonteeltaan hyvin samankaltaisia tämän työn tavoitteiden kanssa. Keskeisenä tavoitteena oli tietomallien saaminen pelastusviranomaisten jokapäiväiseen käyttöön. Hankkeesta saatuja tuloksia toivottiin myös hyödynnettäväksi YTV-2012 -julkaisusarjan päivistytyössä siten, että turvallisuusnäkökulmat huomioitaisiin entistä kattavammin tietomallien tietosisällön ja ominaisuustietojen määrittelyssä. (Lehtoviita & Rautiainen 2019)

Seuraavassa osiossa esitellään Lappeenrannan kaupungin tietomallikoordinaattorina toimivan projekti-insinööri Jani Paappasen yhteistyössä pelastuslaitoksen palotarkastusinsinöörin Tuomas Pylkkäsen kanssa laatimaa taulukkoa, joka on julkaistu osana *Tietomallit rakennusten turvallisuuden varmistamisessa* -hankkeen raportointia (Lehtoviita et al. 2019) Paappanen ja Pylkkänen listasivat tarkastuslistaan asioita, joita pelastuslaitokselle toimitettavasta tietomallista tulisi löytyä. Tietomallihankkeen raportissa listauksen sisältämiä asioita vertaillaan kattavasti YTV-2012 -julkaisusarjan vaatimuksiin, ja tarkastellaan minkälaisia mainintoja tarkastuslistan asioista, on julkaisusarjasta löydettävissä. Tietomallihankkeen raportin taulukointia verrataan tässä työssä IFC4-skeemaan. Vertailussa käydään läpi IFC4-skeeman 4.0.2.1 version kaikki valmiit propertysetit eli ominaisuusjoukot, joista pyritään löytämään esille yhtäläisyyksiä ja suoria vastaavuuksia Paappasen & Pylkkäsen tarkastuslistan määrittelemiin asioihin. Ensiksi esitetään Paappasen & Pylkkäsen taulukoimia ominaisuuksia, jonka jälkeen esitetään niille IFC-skeemasta löydetyt vastaavuudet. Yhden kategorisoidun taulukon ja löydettyjen IFC-vastaavuuksien jälkeen esitetään jälleen seuraava Paappasen & Pylkkäsen taulukko IFC-vastaavuuksineen. Seuraavaksi esitetyissä taulukoissa ja listauksissa on esitetty pelastuslaitoksen ja tilaajan turvallisuusnäkökulmaa koskevia tietomallien sisältötarpeita. Paappasen & Pylkkäsen määrittelemät asiat on esitetty taulukoissa 3–9. Näiden yhteydessä on esitetty ne IFC4-skeeman mukaiset määritelmät, jotka vastaavat taulukossa esitettyjä ominaisuuksia.

### **3.3.1 Kokonaisuuksiin liittyvät pelastuslaitoksen tunnistamat sisältötarpeet**

Ensimmäisessä taulukon 3 esittämässä otteessa Paappasen & Pylkkäsen taulukosta on koottuna kokonaisuudeksi määriteltäviä paloturvallisuuteen liittyviä asioita ja ominaisuuksia.

sia, joiden löytyminen tietomallista olisi edullista pelastuslaitoksen toiminnan ja työn kannalta. buildingSMART Internationalin verkossa ylläpitämästä IFC4-dokumentaatiosta on haettu vastaavuuksia taulukon 3 esittämiin sisältötarpeisiin (buildingSMART International 2021b). Taulukon jälkeen esitettävät numerotunnisteiset englanninkieliset poiminat ovat siis IFC4-skeeman dokumentaation ominaisuusjoukkomäärittelyjä, ja ne on mahdollista löytää IFC-dokumentaatiosta kyseisin numerotunnistein. Käsittelyyn otetaan taulukon 3 kohdat, joihin on löydettävissä IFC4-skeemasta riittävän suoraan yhteneviä ja mahdollisimman vähän tulkinnanvaraisuutta vaativia valmiiksi määriteltyjä propertyja. Paappasen & Pylkkäsen esittämät sisältötarpeet, joihin IFC-skeemasta ei löydy riittävän yhteneväistä vastaavuutta, jätetään luonnollisesti käsittelyn ulkopuolelle IFC-vastaavuuksien puuttumisen vuoksi. Esittelyyn nostettuja ominaisuuksia saattaa löytyä useista muistakin ominaisuusjoukoista. Tällöin päällekkäisyydet ja toistuvuudet jätetään käsittelemättä, sillä oleellista on yksittäisen ominaisuuden esiintyminen IFC-määrittelyssä sen sijaan, että etsittäisiin kaikki eri tapaukset, ominaisuusjoukot ja kyseisen ominaisuuden ilmenemispaidat.

**Taulukko 3.** Kokonaisuuksiin liittyvät tietomallin sisältötarpeet pelastuslaitoksen näkökulmasta. (Lehtoviita & Rautiainen 2019)

Rakennuksen paloluokka
Oletettuun palonkehittymiseen perustuvan suunnittelun suunnitelmat
Rakenteiden kantavuus
Palovaarallisuusluokka (vain tuotanto- ja varistorakennukset)
Suojaustaso (I, II, III)

### Rakennuksen paloluokka

6.1.4.1 Pset\_BuildingCommon ominaisuusjoukossa ominaisuus FireProtectionClass. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcLabel. Tietoon sisällytetään viittaus kunkin maan kansallisten rakennusmääräysten mukainen rakennuksen paloluokka.

### Rakenteiden kantavuus

6.1.4.1 Pset\_BeamCommon ominaisuusjoukossa ominaisuus LoadBearing. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcBoolean. Tietoon sisällytetään kyllä / ei tyyppinen merkintä siitä, kantaako rakenne kuormia vai ei.

### Palovaarallisuusluokka

5.4.4.17 Pset\_SpaceFireSafetyRequirements ominaisuusjoukossa ominaisuus FireRiskFactor. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcLabel. Tietoon voidaan sisällyttää tekstimuotoinen tieto tai maininta palovaarallisuusluokasta tai muusta palovaarallisuuden luokittelusta.

### 3.3.2 Rakennuksen sisäpuoliset pelastuslaitoksen tunnistamat sisältötarpeet

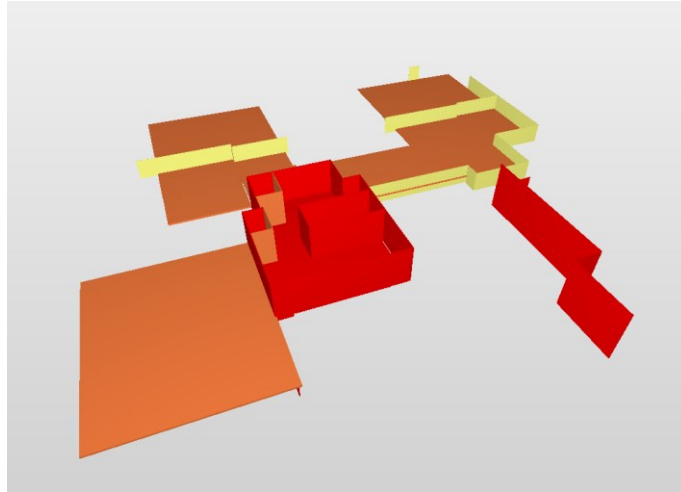
Taulukon 4 esittämässä otteessa Paappasen & Pylkkäsen taulukosta on koottuna rakennuksen sisäpuolisia paloturvallisuuteen liittyviä asioita ja ominaisuuksia, joiden löytyminen tietomallista olisi edullista pelastuslaitoksen toiminnan ja työn kannalta. Sisältötarpeiden vertaaminen IFC4-skeemaan on toteutettu samalla logiikalla kuin edeltävän taulukon 3 kohdalla.

**Taulukko 4.** Rakennuksen sisäpuoliset tietomallin sisältötarpeet pelastuslaitoksen näkökulmasta. (Lehtoviita & Rautiainen 2019)

Tilojen käyttötavat ja niiden palokuormaryhmät
Palo-osastoiden rajat ja osastointivaatimukset
Palomuurit
Osiin jaot(sisätilat ja ullakko)
Palo-osastojen pitna-alat
Palo-osastoivat ovet, luukut ja ikkunat
Palokatkot
Alkusammutuskalusto ja sijainti (käsisammuttimet, sammutuspeitteet ja pikapalopostit)
Uloskäytävät ja varatiet sekä niille johtavat poistumisreitit (määrä, leveys, pituus ja muut vaatimukset)
Sisäpintojen pintaluokkavaatimukset
Tilojen henkilömäärät (arviot)
Hissit (palomieshissi)
Paloilmoitinkeskuksen sijainti
Muuntamotilat
Sprinklerikeskuksen sijainti
Väestönsuojaan liittyvät asiat
Lämmitysjärjestelmään liittyvät paloturvallisuusvaatimukset (kattilahuone, öljysäiliöt)
Tulisijoihin ja hormoneihin liittyvät paloturvallisuusvaatimukset

#### Palo-osastoiden rajat ja osastointivaatimukset

6.1.4.23 Pset\_WallCommon ominaisuusjoukossa ominaisuus Compartmentation. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcBoolean. Tietoon sisällytetään kyllä / ei tyyppinen merkintä siitä, onko kyseessä osastoiva rakennusosa. Palo-osastot voidaan visualisoida tietomallin tarkasteluohjelmassa esimerkiksi kuvan 13 tavoin.



**Kuva 13.** Tietomallista suodatettu näkymä palo-osastojen rajoista. (NCC 2021)

### Palo-osastojen pinta-alat

5.4.4.15 Pset\_SpaceCommon ominaisuusjoukossa ominaisuudet GrossPlannedArea sekä NetPlannedArea. Ominaisuuksien tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcAreaMeasure. Tietoon sisällytetään halutun alueen pinta-ala määrittetyssä mittayksikössä. Suoraan tässä kohdassa esitetyt IFC-ominaisuudet eivät edusta juuri palo-osaston pinta-aloja, joten näkymien tuottamisessa ja tietomallin sisällön suodattamisessa on kiinnitettävä huomiota ominaisuuksien näkyvyyteen.

### Palo-osastoivat ovet, luukut ja ikkunat

6.1.4.11 Pset\_DoorCommon ominaisuusjoukossa ominaisuus FireRating. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcLabel. Tietoon sisällytetään tyypiltään tekstimuotoinen merkintä esimerkiksi palonkestoajasta. Kuvassa 14 on tietomallin tarkasteluohjelman näkymä, josta nähdään esimerkiksi oven paloluokitus EI30.

Ominaisuus	Arvo
G-ARVO	
HELOITUSTUNNUS	
HUOM	
KULUNVALVONTA	
LASITUS	4+4 turvalasi
LITTERA	TPLOSLp
PALOLUOKITUS	EI 30
U-ARVO	
ÄÄNENERISTÄVYYS	

**Kuva 14.** Palo-ovi valittuna tietojen tarkastelua varten. (NCC 2021)



### **Uloskäytävät ja varatiet sekä niille johtuvat poistumisreitit**

5.4.4.13 Pset\_OpeningElementCommon ominaisuusjoukossa ominaisuus FireExit. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcBoolean. Tietoon sisällytetään kyllä / ei tyyppinen merkintä siitä, toimiiko aukko palotilanteessa poistumisreitinä.

### **Sisäpintojen pintaluokkavaatimukset**

6.1.4.8 Pset\_CoveringCommon ominaisuusjoukossa ominaisuus SurfaceSpreadOfFlame. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcLabel. Tietoon sisällytetään tyypiltään tekstimuotoinen merkintä siitä käytetyn materiaalin palo-ominaisuuksista.

### **Hissit**

5.4.4.24 Pset\_TransportElementElevator ominaisuusjoukossa ominaisuus FireFightingLift. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcBoolean. Tietoon sisällytetään kyllä / ei tyyppinen merkintä siitä, onko hissien tarkoitus toimia palotilanteessa pelastustoimen käytössä sammutus- ja evakuointitoimenpiteissä.

### **Tulisijoihin ja hormeihin liittyvät paloturvallisuusvaatimukset**

6.1.4.5 Pset\_ChimneyCommon ominaisuusjoukossa ominaisuus FireRating. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcLabel. Tietoon sisällytetään tyypiltään tekstimuotoinen merkintä savupiipun tai hormin paloturvallisuusvaatimuksista.

## **3.3.3 Rakennuksen ulkopuoliset pelastuslaitoksen tunnistamat sisältötarpeet**

Taulukon 5 esittämässä otteessa Paappasen & Pylkkäsen taulukosta on koottuna rakennuksen ulkopuolisia paloturvallisuuteen liittyviä asioita ja ominaisuuksia, joiden löytyminen tietomallista olisi edullista pelastuslaitoksen toiminnan ja työn kannalta. Sisältötarpeiden vertaaminen IFC4-skeemaan on toteutettu samalla logiikalla kuin edeltävien taulukoiden 3 ja 4 kohdalla.

**Taulukko 5. Rakennuksen ulkopuoliset tietomallin sisältötarpeet pelastuslaitoksen näkökulmasta. (Lehtoviita & Rautiainen 2019)**

Rakennuksien välinen etäisyys
Rakennuksen etäisyys tontin rajoihin
Pelastustiet ja nostopaikkojen sijoittuminen rakennuksen ulkopuolella
Katolle kulku
Pääsy ullakolle tai yläpohjaonteloihin
Pelastuslaitoksen avainsäiliön sijainti
Ulkopuolisten pintojen luokkavaatimukset
Hyökkäysreitit (kerrokset/kellari)
Rakennuksen korkeus
Savupiipun sijoitus

Paappasen & Pylkkäsen rakennuksen ulkopuoliseksi määriteltyjä asioita ei löydy riittävän selkeästi IFC4-skeeman ominaisuuslistauksesta eli propertyjen joukosta. Taulukon 5 listaamat asiat esitetään tietomalleissa osittain automaattisesti, kun esimerkiksi katolle kulku voidaan esittää tikkaita kuvaavilla objekteilla tai savupiipun sijoitus esitetään mallinnetun savupiipun avulla. Rakennuksien välinen etäisyys käy myös ilmi tietomallista, mikäli esimerkiksi kiinteistö piharakennuksineen on samassa mallissa. Etäisyyden esitystapa vaatii kuitenkin kehitystyötä. Etäisyyksiä voidaan esittää piirtämällä mittoja mallinnohjelmistojen mittaviivatyökalujen avulla, mutta malliin piirretyt mitat eivät kuitenkaan ole tarkoitettu pysyviksi mallinnussisällöiksi tietomallien tarkasteluohjelmilla luotaviin näkymiin. Lisäksi taulukossa 5 käsiteltäviä asioita, kuten esimerkiksi pelastuslaitoksen avainsäiliön sijaintia ei välttämättä ole luontevaa sisällyttää tietomalliin propertyjen avulla. Sen sijaan tietomallista tuotettavien näkymien avulla pystytään osoittamaan havainnollistavasti haluttujen elementtien sijainteja. Näkymien tuottamisen ja suodattamisen onnistumiseksi on toki näytettäväksi tarkoitetut asiat pystyttävä erittelemään tunnistettavasti muusta mallinnetusta sisällöstä. Erittely tehdään tällöin joko propertyjen tai kuvatasojen avulla.

### **3.3.4 Pelastuslaitoksen tunnistamat talotekniikan sisältötarpeet**

Taulukon 5 esittämässä otteessa Paappasen & Pylkkäsen taulukosta on koottuna talotekniikan paloturvallisuuteen liittyviä asioita ja ominaisuuksia, joiden löytyminen tietomallista olisi edullista pelastuslaitoksen toiminnan ja työn kannalta. Sisältötarpeiden vertaaminen IFC4-skeemaan on toteutettu samalla logiikalla kuin edeltävien taulukoiden 3-5 kohdalla.

**Taulukko 6. Talotekniikkaan liittyvät tietomallin sisältötarpeet pelastuslaitoksen näkökulmasta. (Lehtoviita & Rautiainen 2019)**

Paloilmoitinlaitteiston suunnitelmat (komponenttien sijainnit, paloryhmät, alakeskukset)
Sprinklerilaitteiston suunnitelmat (mitoituserusteet, sprinklerisuuttimet, järjestelmän tiedot)
Savunpoiston toteutus (mitoitus, laukaisukeskus, luukkujen/ikkunoiden/puhaltimien sijainti)
Poistumisvalaistusjärjestelmän suunnitelmat (opas- ja turvavalaisimien sijainti, turvavalokeskus)
Ilmanvaihdon paloturvallisuusvaatimukset
Ilmanvaihdon hätä-seis
Veden pääsulku
Sähköpääkeksuksen sijainti

### **Paloilmoitinlaitteiston suunnitelmat**

7.2.4.26 Pset\_SensorTypeFireSensor ominaisuusjoukossa esimekiksi ominaisuus FireSensorSetPoint. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcThermodynamicTemperatureMeasure. Tietoon sisällytetään ennalta määritetyn mittayksikön mukainen lämpötilalukema, jonka ilmetessä paloilmaisin rekisteröi palon alkaneeksi. Tämä property on jokseenkin yksinkertaistettu, mutta se esitellään tässä kuitenkin, jotta erilaisten sensorien läsnäolo IFC-skeemassa tulee huomatuksi.

### **Automaattisen vesisammutuslaitteiston suunnitelmat**

5.4.4.4 Pset\_BuildingCommon ominaisuusjoukossa esimerkiksi ominaisuudet SprinklerProtection ja SprinklerProtectionAutomatic. Ominaisuuksien tietotyypit ovat P\_SINGLEVALUE / ifcBoolean. Tietoon sisällytetään kyllä / ei tyyppinen merkintä siitä, onko rakennuksessa käytössä automaattinen vesisammutuslaitteisto, kuten sprinklerilaitteisto. Esiin nostetut ifc propertyt ovat jälleen melko suppeita kuvaamaan Paappasen & Pylkkäsen listaamia asioita, mutta esimerkiksi mitoituserusteiden tietomallipohjainen esittäminen ei liene tarkoituksenmukaista. Myös yksittäiset suuttimet sisällytetään tietomalliin, mutta valmiita propertyjä ei sprinklerisuuttimille ole IFC4-skeemassa määritelty.

### **Savunpoiston toteutus**

7.5.4.50 Pset\_FanOccurence ominaisuusjoukossa ominaisuus ApplicationOffFan. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_ENUMERATED / ifcLabel. Tietoon sisällytetään tyypiltään tekstimuotoinen merkintä puhaltimen käyttötarkoituksesta tai sovelluksesta. Savunpoistolaitteistoiden tapauksessa vastaavanlainen property saattaisi olla toimiva ratkaisu pääpiirteittäisen mallinnuksen kohdalla, jolloin esimerkiksi savunpoiston puhaltimet olisivat mallinnettuna ainoastaan tilavarausobjekteina. Tällöin tunnistamaton geometrinen kapale saisi tietosisällön, joka kertoisi, että kyseessä on savunpoiston puhallin.

7.5.4.34 Pset\_DamperTypeFireSmokeDamper ominaisuusjoukossa esimerkiksi ominaisuus ControlType. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcLabel. Tietoon

sisällytetään tyypiltään tekstimuotoinen merkintä savunpoistossa käytettävän palopellin ohjausperiaatteista.

6.1.4.11 Pset\_DoorCommon ominaisuusjoukossa ominaisuus SmokeStop. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcBoolean. Tietoon sisällytetään kyllä / ei tyyppinen merkintä oven toiminnasta savun leviämisen rajoittajana palotilanteessa.

### **Poistumisvalaistusjärjestelmän suunnitelmat**

7.4.4.41 Pset\_LightFixtureTypeSecurityLighting ominaisuusjoukossa ominaisuudet SecurityLightingType, FixtureHeight, SelfTestFunction, BackupSupplySystem, PictogramEscapeDirection ja Addressability. Ominaisuuksien tietotyyppinä ovat P\_SINGLEVALUE / ifcPositiveLengthMeasure sekä P\_ENUMERATEDVALUE / ifcLabel. Tietoihin sisällytetään merkintöjä valaistusjärjestelmään liittyvistä asioista.

Edellä esitellyt asiat oli määritelty Paappasen & Pylkkäsen (2018) työssä yhteistyössä pelastuslaitoksen kanssa. Seuraava esiteltävä listaus on Paappasen & Pylkkäsen samojen yhteistyötahojensa kanssa kokoama listaus tilaajan asettamista tietomallien sisältövaatimuksista. Kiinteistön omistajan, ylläpitotahon, huollon ja pelastussuunnitelman laatijan kannalta olennaisia asioita listatessa huomataan, että tarkasteltavat asiat luonnollisestikin ovat jokseenkin yhteneviä pelastuslaitoksen sisältövaatimuslistauksen kanssa. Seuraavaksi esiteltävissä tilaajaosapuolen listauksissa on myös paljon sisältöjä, joiden mallintaminen on toistaiseksi vierasta, eikä valmiita käytäntöjä ole laajemmin käytössä. Useimpien asioiden mallintaminen onnistuu, mutta tietosisällön asettaminen saattaa olla tiettyjen sisältötarpeiden kohdalla kyseenalaista.

Kun tietomalliin mallinnetaan esimerkiksi joitain paloturvallisuuteen liittyviä laitteistoja, laitteita tai osia kuten esimerkiksi alkusammuttimia, hätäpainikkeita tai automaattisia vesisammutuslaitteistoja, saadaan niiden halutut tietosisällöt syötettyä vaivattomasti. On kuitenkin tarkasteltava, tuottaako esimerkiksi ilmanvaihdon hätä-seis-katkaisijan sijainnin kertominen tietosisällönä haluttua lopputulosta. Huollon, ylläpidon ja kiireettömien toimenpiteiden kohdalla hakemistosta valitun hätä-seis-katkaisijan tietoja ja sijainti voidaan lukea tekstimuodossa. Palotilanteessa nopeammin hahmotettavan ratkaisun löytyminen olisi kuitenkin toivottavampaa kuin tekstimuotoisten ominaisuuksien luku. Tietomallin yhtenä kiistattomana vahvuutena pidetään sen kykyä havainnollistaa suunnitelmia ja rakenteita. Jotkin asiat kuten esimerkiksi määritettyjen laitteiden, objektien, tilojen tai minkä tahansa geometrian tai tilan omaavien mallinnettujen sisältöjen sijainnin osoittaminen tietomallissa saadaan toteutettua käyttämällä erilaisia suodattimia ja tasoja. Joissain sovelluksissa on myös jo valmiiksi olemassa olevia työkaluja erilaisten näkymien

luomiseen. Näkymien luonnissa on lukemattomia mahdollisuuksia, joilla tietyn mallinnuksen sijainti voidaan tietomallista esittää. Näkymiä voidaan luoda käyttämällä leikkauksia, läpinäkyviä kuvantamistyyliä, värikorostuksia tai esimerkiksi kevyitä animaatioita, joilla haluttu asia löydetään tietomallista.

### 3.3.5 Rakennuksen sisäpuoliset tilaajaosapuolen tunnistamat sisältötarpeet

Taulukon 7 esittämässä otteessa Paappasen & Pykkäsen taulukosta on koottuna rakennuksen sisäpuolisia paloturvallisuuteen liittyviä asioita ja ominaisuuksia, joiden löytyminen tietomallista olisi edullista tilaajaosapuolen toiminnan ja työn kannalta. Sisältötarpeiden vertaaminen IFC4-skeemaan on toteutettu samalla logiikalla kuin edeltävien taulukoiden 3–6 kohdalla.

**Taulukko 7.** *Rakennuksen sisäpuoliset tietomallin sisältötarpeet tilaajaosapuolen näkökulmasta. (Lehtoviita & Rautiainen 2019)*

Ilmanvaihdon toiminta-alueet
Väestönsuojaan liittyvät asiat
Hissit
Kaiteet
Portaat
Turvalasit
Hätäpoistumisreitit
Laitteistojen huollettavuus
Palo-osastot ja osastoivat rakenteet
Kulunvalvonta
Uloskäytävät ja varatiet sekä niille johtavat poistumisreitit (määrä, leveys, pituus ja muut vaatimukset)
Alkusammutuskaluston sijainnit (käsiammuttimet, sammutuspeitteet ja pikapaloposti)
Porrashuoneiden sijainnit
Nostinlaitteet
Kokoontumisen mahdollistavat tilat >20 henkilöä
Palopainike
Vaarallisten aineiden varastointipaikat
Suojelualueiden jakautuminen rakennuksessa, käyttäjä määrittelee
Ensiapupiste, käyttäjä määrittelee
Silmähuuhdepiste, käyttäjä määrittelee

Yllä olevan listauksen sisällöstä löytyy useita päällekkäisyyksiä pelastuslaitoksen kannalta oleellisten tietomallin sisältötarpeiden listauksiin verrattuna. Päällekkäisyyksiä ei käsitellä tässä osiossa uudestaan.

#### Portaat

6.1.4.21 Pset\_StairCommon ominaisuusjoukossa ominaisuus FireExit. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcBoolean. Tietoon sisällytetään kyllä / ei tyyppinen merkintä siitä, onko portaat määritelty yhdeksi rakennuksen hätäpoistumisreiteistä.

## Vaarallisten aineiden varastointipaikat

5.4.4.17 Pset\_SpaceFireSafetyRequirements ominaisuusjoukossa ominaisuus FlammableStorage. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcBoolean. Tietoon sisällytetään kyllä / ei tyyppinen merkintä siitä onko tilan tarkoitus palvella helposti syttyvän materiaalin varastointipaikkana.

### 3.3.6 Rakennuksen ulkopuoliset tilaajaosapuolen tunnistamat sisältötarpeet

Taulukon 8 esittämässä otteessa Paappasen & Pylkkäsen taulukosta on koottuna rakennuksen ulkopuolisia paloturvallisuuteen liittyviä asioita ja ominaisuuksia, joiden löytymisen tietomallista olisi edullista tilaajaosapuolen toiminnan ja työn kannalta. Sisältötarpeiden vertaaminen IFC4-skeemaan on toteutettu samalla logiikalla kuin edeltävien taulukoiden 3–7 kohdalla.

**Taulukko 8.** Rakennuksen ulkopuoliset tietomallin sisältötarpeet tilaajaosapuolen näkökulmasta. (Lehtoviita & Rautiainen 2019)

Kaiteet
Luiskat
Korkeusasemat
Kattoturvaluotteet
Yläpohjan tarkastusluukut
Putkilukkojen sijainnit
Kattoläpivientien sijainnit
Aurinkokennot ja akustojen sijainnit
Kokoontumispaikka, käyttäjä määrittelee

Paappasen & Pylkkäsen tilaajaosapuolen sisältötarvelistauksen rakennuksen ulkopuolelle määritellyistä asioista löytyy joitain lisäyksiä IFC4-skeemasta valmiina löytyvien ominaisuuksien esittelyyn. Monet asiat voidaan esittää sellaisenaan mallissa ilman, että niille on tarvetta syöttää tarkemmin määriteltyjä tietosisältöjä.

#### Luiskat

6.1.4.16 PsetRampCommon ominaisuusjoukossa ominaisuus FireExit. Ominaisuuden tietotyyppi on P\_SINGLEVALUE / ifcBoolean. Tietoon sisällytetään kyllä / ei tyyppinen merkintä siitä, onko luiska tai ramppi määritelty yhdeksi rakennuksen hätäpoistumisreiteistä.

### 3.3.7 Tilaajaosapuolen tunnistamat talotekniikan sisältötarpeet

Taulukon 9 esittämässä otteessa Paappasen & Pylkkäsen taulukosta on koottuna rakennuksen ulkopuolisia paloturvallisuuteen liittyviä asioita ja ominaisuuksia, joiden löytyminen tietomallista olisi edullista tilaajaosapuolen toiminnan ja työn kannalta. Sisältötarpeiden vertaaminen IFC4-skeemaan on toteutettu samalla logiikalla kuin edeltävien taulukoiden 3–8 kohdalla.

**Taulukko 9.** Talotekniikkaan liittyvät tietomallin sisältötarpeet tilaajaosapuolen näkökulmasta. (Lehtoviita & Rautiainen 2019)

TALOTEKNIikka
Paloilmoitinlaitteiston sijainti
Lämmönjakokeskuksen sijainti
Sprinklerilaitteiston sijainti
Savunpoiston toteutus
Poistumisvalaistus
Ilmanvaihdon hätäseis
Veden pääsulku
Sähköpääkeskuksen sijainti
Muuntamotilat
Maakaasun sulkuventtiilin sijainti
Paloilmoitinpainikkeet

Talotekniikkaa koskeva tietomallien sisältötarvelistaus tilaajaosapuolen näkökulmasta ei tuo esiin uusia ominaisuuksia joita ei olisi esitetty pelastuslaitoksen sisältötarpeissa, tai joita olisi valmiina löydettävissä IFC4-skeeman ominaisuusjoukoista.

Valmiita avoimien tietomallistandardien, kuten IFC4-skeeman tarjoamia ominaisuusjoukkoja ja määrittelyjä tarkasteltaessa on muistettava, että valmiin tiedonsiirtostandardin määrittelyn mukainen ominaisuus on vain pieni osa koneluettavan tiedon mallintamisen mahdollisuuksien muodostamaa kokonaisuutta. Avoin IFC-skeema tarjoaa kaikille toimialoille yhtenäisen rungon ja säännöt, joilla kolmiulotteista tuotetietoa säilötään ja siirrelään eri toimijoiden ja ohjelmistojen välillä. Kun yhteiset säännöt ja peruserätykset ovat selvät, voidaan vakaalle perustalle alkaa luomaan uusia määrittelyjä ja tiedon järjestelymalleja sitä mukaa kun tarpeita ilmestyy. Useat BIM-ohjelmistot tarjoavat mahdollisuuden uniikkien ja käyttäjän itsensä määrittämien ominaisuuksien luontiin. Mallinnustyötä tekevän suunnittelijan itse määrittelemästä ominaisuudesta käytetään tyypillisesti kirjainlyhennettä UDA, joka juontuu englanninkielisistä sanoista ”user defined attributes”. Ominaisuuksia voidaan luoda objekteille eri sääntöjen mukaan ja niitä voidaan yhdistellä osaksi jo valmiita ominaisuusjoukkoja. Luotujen ominaisuuksien avulla voidaan saada haluttu lopputulos esimerkiksi silloin kun halutaan suodattaa johonkin tiettyyn näkymään ominaisuuksiltaan toisistaan hyvin poikkeavia objekteja.

Käyttäjälähtöisten ominaisuuksien määrittely on toimiva ratkaisu yksittäisen projektin kohdalla suunnittelijan ja laajimmillaan tietyn yrityksen tai toimijan tasolla. Esimerkiksi suunnittelutoimistot saattavat käyttää yrityskohtaisia ominaisuusmäärittelyjä työtä ja tuotantoa nopeuttaakseen ja helpottaakseen. Käyttäjälähtöisten ominaisuuksien määrittely ei kuitenkaan palvele kiinteistö- ja rakennusalan yleistä digitalisaation ajamaa kehitystä. Mikäli mallintamisen painopistettä halutaan tulevaisuudessa siirtää geometrioiden esittämisestä kohti tietosisällön mallintamista, on mallintamisen kehitystyön oltava avointa. Geometrioiden mallinnuksessa säännöt ovat alalla selvät, mutta mitä enemmän tietomalleilta vaaditaan graafisesti esittämätöntä tietosisältöä, sen monimutkaisemmaksi kasvaa koko tietomalliprojektin luonne. Eri suunnittelualojen välisen yhteistyön onnistumiseksi on oltava tiedossa kaikille pätevät samat nimikkeistöt ominaisuuksineen ja määrittelyineen, jotta tietomallien tarjoama potentiaali pystytään hyödyntämään rakennushankkeen eduksi. Alalle on jatkuvasti kehittymässä uusia innovaatioita ja teknisiä ratkaisuja, joita ei aina pystytä ennalta näkemään. Näin ollen tietomallintamiseenkin kohdistuu jatkuvia kehityspaineita. Tietomallien hyödyntäminen rakennuksen ylläpidossa ja huollossa on esimerkkinä omiaan kuvaamaan oikean tietomallin rakenteen tärkeyttä. Yhteisten sääntöjen ja toimivan avoimen standardin mukaisesti luotu tietomalli on todennäköisemmin edelleen toimiva kiinteistön elinkaaren loppupuolella, kuin tietomalli, joka on luotu eriävin ominaisuuksin määriteltynä ja poiketen alan yhteisesti sovitusta säännöistä. Teknologia ja digitalisaatio aiheuttavat ajoittain ongelmia ohjelmistojen, tiedonsiirron ja arkistoinnin saralla. Ohjelmistojen versiot päivittyvät jatkuvasti ja tietyn tallennusformaatin toimivuutta ja järjestelmätukea esimerkiksi kymmenen vuoden kuluttua ei voida taata.

### **3.4 Tulevaisuuden kehitys IFC standardissa**

Tietomallintamisen huomion keskittyessä enimmäkseen rakenne-, LVIA- ja arkkitehtisuunnittelun tarpeisiin on alettu ajamaan kehitystä suuntaan, jossa kaikkien eri suunnittelualojen tietomallit olisivat aiempaa yhteensopivampia sekä tietosisällöltään vakioidumpia. Esimerkkinä käynnissä olevasta kehityksestä nostetaan esille Suomen buildingSMART:n Talotekniikka-toimialaryhmän ajama prosessi talotekniikkamallien tietosisällön vakioinnista. Talotekniikan tietosisällön vakiointiprosessissa pyritään luomaan yhteiset nimikkeet, ominaisuudet, attribuutit ja käyttötapausesimerkit, joiden avulla talotekniikkamallista voidaan tunnistaa objektit ja laitteet vakioidusti, koneellisesti ja skaalautuvasti. Toimialaryhmän työn myötä tietomalleista pyritään tekemään sisällöllisesti entistä älykkäämpiä, jotta niitä olisi mahdollista hyödyntää nykyistä monipuolisemmin rakenta-



misen ja ylläpidon eri vaiheissa. Myös hankkeen alkuvaiheen sopimusmenettelyihin pyritään tuomaan selkeyttä ja läpinäkyvyyttä käyttötapaustaulukoilla, jotka helpottavat muun muassa tilaajaosapuolta näkemään tarpeet ja tilaamaan niihin vastaavaa mallinnustyötä. Talotekniikan toimialaryhmä on laatimassa IFC-tiedonsiirtoon täydentävää kuvausta, jolla pyritään palvelemaan hankkeen aikaista suunnittelua, rakentamista sekä lopulta toimintatapojen vakiinnuttua myös kiinteistön ylläpitoa.

Kehitystyö laajenee osittain myös IFC-skeeman ulkopuolelle. Talotekniikan toimialaryhmän mukaan IFC-tiedostot ovat hyviä tapoja tietomallien siirtelyyn, mutta eivät välttämättä niinkään kaiken tiedon säilömiseen. Kaikkea tietoa ei kannata kuljettaa IFC-mallin mukana, vaan tietomallin on sisällettävä avaimia toisiin järjestelmiin, esimerkiksi tuote-tietokantoihin. Vastaavanlainen kehitys olisi mahdollista laajentaa koskemaan myös paloturvallisuusalaa. Palontorjuntatekniikan tietomallintaminen ei juurikaan eroa talotekniikan järjestelmien mallintamisesta. Luomalla yhteiset ja IFC-skeemaa täydentävät kuvaukset paloturvallisuuden liittyvistä tietomallin sisältötarpeista, saataisiin myös paloturvallisuusala mukaan kehitykseen. Liittyminen on aina sitä vaikeampaa, mitä myöhemässä vaiheessa yleistä kehitystä se tapahtuu. Käyttötapaustaulukoiden tehtävänä on sulkea pois tarpeeton mallinnustyö ja tietosisältöjen kasvaminen hallitsemattoman suuriksi silloin, kun sille ei ole mitään konkreettista tarkoitusta tai siitä ei ole hyötyä. Käyttötapaustaulukot auttava rakennuttajaa sekä tilaajaosapuolta tilaamaan oikeat mallinnukset tarpeellisilla ja oikeilla tietosisällöillä. Kun tilaajaosapuolella ja rakennuttajalla on selvillä, mitä tietomallilta halutaan ja mitä sen tulee sisältää, säästytään epärelevantin tiedon toimittamiselta sekä turhalta suunnittelun ajankäytöltä. (buildingSMART Finland 2021)

## 4. TIEDON ESITTÄMINEN & KÄYTTÖ

Tietomallia voidaan tarkastella lukuisilla eri organisaatioiden ja yritysten tarjoamilla ohjelmistoilla ja sovelluksilla. Tietomallin sisältämää tietoa voidaan esittää käytössä olevasta ohjelmistosta riippuen eri tavoin. Tiedon esittäminen selkeästi, tarkoituksenmukaisesti ja tehokkaasti tiettyyn tarpeeseen tai tilanteeseen perustuen on tärkeää tiedon hyödyntämispotentiaalin kannalta. Tiedon esittäminen oikealla tarkkuudella ja oikeissa määrissä on kytköksissä suoraan sovittuihin mallinnuskäytäntöihin ja mallinnustyöhön. Käyttämällä eri kategorian tai suunnittelualan mallinnoille omia tasoja, pystytään suodattamaan tarpeelliset mallinnukset näkyviin ja toisaalta tarpeettomat voidaan piilottaa. Tietomallia tarkastelevan käyttäjän työskentely helpottuu ja nopeutuu, kun tarvittava tieto on helposti näkyvillä, eikä se sekoitu muuhun sen hetkiseen tarpeeseen liittymättömään tietoon. Kuvatasojen lisäksi tietomallin näkymää voidaan suodattaa myös mallinnusten sisältämien ominaisuuksien perusteella. Tällöin IFC-tiedostoon tallentunut ominaisuus esimerkiksi materiaalin palo-ominaisuuksista tai rakenteen osastoivuudesta toimii parametrina, jonka mukaisesti tarkasteluun käytettävä ohjelmisto näyttää tietomallista sisältöä käyttäjälle.

Tiedon esittämisen kannalta kehitys on edennyt melko pitkälle eri suunnittelualojen käyttämissä mallinnusohjelmistoissa. Suunnittelutyötä tehostaa selkeä tietomallien rakenne ja helposti omaksuttaviksi luodut mallinnussovellukset, jolloin myös työn laatu säilyy lähtökohtaisesti laadukkaana. Eri suunnitteluohjelmistoissa on laajoja mahdollisuuksia määrittää käyttäjä- sekä yrityskohtaisesti tiedon esittämisen periaatteita. Ohjelmistoilla pystytään luomaan juuri halutun kaltaisia työskentelynäkymiä. Suunnittelutyötä tekevien tahojen tarve tietomallin esitystapaan poikkeaa kuitenkin paljon esimerkiksi pelastuslaitoksen tarpeista. Tietomallinnusta suunnittelutyön välineenä hyödyntävät tahot tekevät jatkuvasti muutoksia tietomalliin ja luovat sinne uutta sisältöä. Esimerkkinä toimiva pelastuslaitos puolestaan vain tarkastelee tietomallia ja asettaa yhdeksi tiedon esittämisen kriteeriksi, ettei tärkeän tiedon poistaminen tietomallista erehdyksen johdosta ole edes mahdollista (Lehtoviita et. al. 2019). Tietyissä suunnittelutyön vaiheissa voi olla rakennesuunnittelun kannalta tärkeää, että pystytään esittämään esimerkiksi palontorjuntatekniikan vaatimat tilavaraukset. Rakennuksen käytön aikana voi olla tarpeen puolestaan esittää automaattisen vesisammutuslaitteiston vaikutusalueita tai piilossa verhoilujen takana sijaitsevia palopelotteja. Tiedon esittämisen vaatimukset vaihtelevat näin ollen täysin sen mukaan, mikä taho kulloinkin tietomallia käyttää, mihin tarkoitukseen, missä elinkaaren vaiheessa ja millä tarkkuudella. Tietomalli on kaikki suunnittelualat käsittäessään niin

paljon informaatiota sisältävä, monimutkainen ja suurikokoinen, että sen esittämiseen on välttämätöntä kehittää eri tarpeita palvelevia sovelluksia ja järjestelmiä.

## 4.1 Valokuva- ja laserkeilausmallit

Rakennushankkeen onnistumisen kannalta tarpeellista tietoa voidaan esittää käyttämällä alustana valokuvattua aineistoa tai laserkeilauksen tuloksena luotua 3d-mallia. Rakennuksesta voidaan luoda virtuaalinen malli fotogrammetriaksi kutsuttavalla menetelmällä, jossa 3d-malli saadaan muodostettua kuvaamalla kohteesta riittävän kattava digitaalinen kuva-aineisto. Kun kohdetta on valokuvattu riittävän kattavasti siten, että jokainen piste on löydettävissä vähintään kahdesta eri kuvasta, syötetään kuvamateriaali tietokoneen kuvankäsittelyohjelmistolle. Tietokoneavusteisen kuvankäsittelyn sekä tarkkuusmitattujen referenssipisteiden avulla tietokone muodostaa kuvatuille kohteille koordinaattien ja mittasuhteiden avulla pistepilven. Pistepilvestä puolestaan muodostetaan valokuva-aineiston värejä hyödyntämällä 3d-malli, joka on lopputulokseltaan melko realistinen kuvaus kohteen geometriasta. (3d Talo 2021a) Yhdistämällä fotogrammetrian avulla luotu 3d-malli esimerkiksi pelimoottoriin, on tarkasteluovellusten avulla mahdollista luoda näkymiä ja animaatioita esimerkiksi kohteen hätäpoistumisreiteistä. Fotogrammetrian käyttö rakennusteollisuudessa ja eritoten paloturvallisuuden laadun hallinnassa ja varmistamisessa on varsin vähäistä, jos käytössä ollenkaan. Fotogrammetriaa hyödynnetään jonkin verran maanmittauksen ja infra-alan tarpeisiin.

Toinen vaihtoehto, jossa 3d-malli luodaan pistepilven pohjalta, on laserkeilaustekniikka. Laserkeilauksessa lasersäteiden takaisinheijastumisten perusteella muodostetaan koordinaatistoon sidottu pistepilvi. Tietokoneavusteisten kuvankäsittelyohjelmistojen ja renderöinnin avulla pistepilvestä saadaan muodostettua 3d-malli. Rakennusalalla keilausta hyödynnetään jossain määrin. Paloturvallisuussuunnitteluun liittyen tutkimuksen aikana pidetyissä sidosryhmäkeskusteluissa mainittiin keilauksen käytöstä, esimerkiksi suunnittelun apuvälineenä vanhoihin kohteisiin tehtävissä muutostöissä ja saneerauksissa. Keilauksen avulla ennestään mallintamattomasta rakennuksesta saatiin luotua 3d-malleja, joita hyödynnettiin esimerkiksi automaattisen vesisammutuslaitteiston suunnittelussa. (3d Talo 2021b)

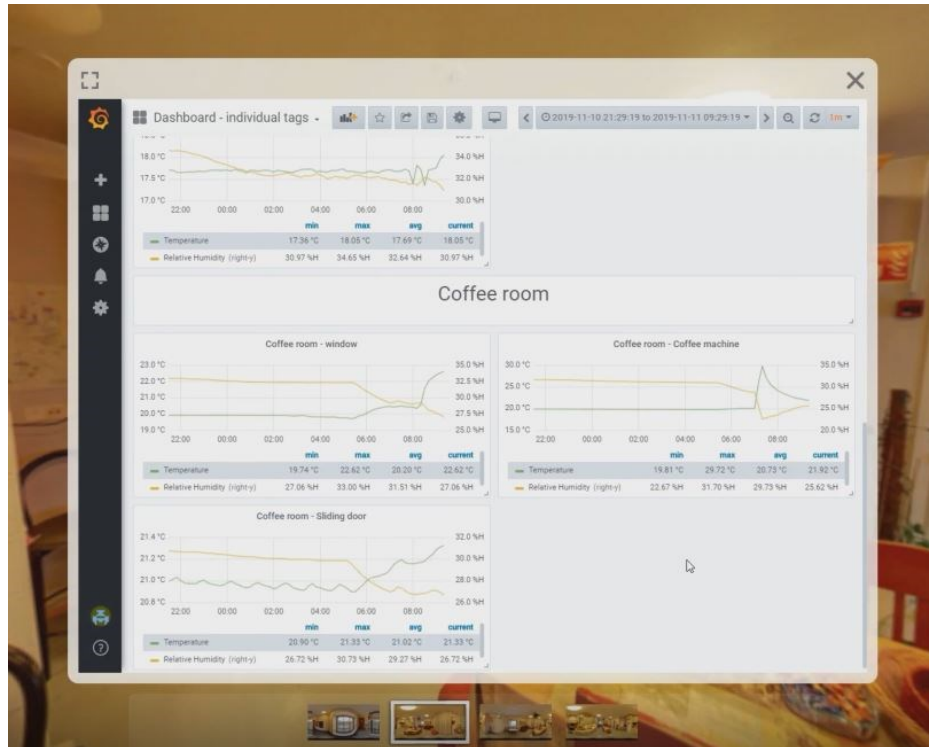
Eräs vaihtoehto valokuvaukseen perustuvan mallin luomiseen on 360-valokuvaustekniikan hyödyntäminen. 360-valokuvauksella luotu malli poikkeaa tyypillisestä rakennuksen tietomallin periaatteesta valokuvaluonteensa lisäksi siten, että se keskittyy enemmän kuvaamaan rakennuksen sisätiloja ja muodostamaan virtuaalisia ympäristöjä tiloista, kulkureiteistä ja alueista, joissa kiinteistön käyttäjät tarpeidensa mukaan liikkuvat. Kun 360-

valokuvamalli on luotu, voidaan mobiililaitteessa tai tietokoneella olevan sovelluksen avulla liikkua rakennuksen sisällä virtuaalisesti.



**Kuva 15.** Näkymä 360 valokuvaustekniikalla luodusta kiinteistönhuollon ja ylläpidon mallista. (Ekokumppanit 2020)

Diplomityön alkuvaiheessa käydyissä sidosryhmäkeskusteluissa nostettiin esille eräs kaupallisen toimijan, silloisen Empowerin ja yrityskaupan johdosta nykyisen Enersensen pilottikohteeseen toteutettiin osana 6Aika-ohjelmaan kuuluvaa Energiaviisaat kaupungit -hanketta. Pilottikohteeseen toteutetun projektin tavoitteina oli muun muassa muodostaa erittäin nopeasti ja kevyesti rakennuksen digitaalinen kaksonen, säilyttää visuaalinen ratkaisu mahdollisimman yksinkertaisena ja erittäin ymmärrettävänä, muodostaa valokuvamallista pohja datalle ja kaikelle tarvittavalle tiedolle sekä toiminnallisuuksien toteuttaminen siten, että valokuvaan voidaan liittää mitä tahansa tietoa. Toiminnallisuuksien tuli koko valokuvamallin tavoin olla käytettävissä mobiililaitteen tai tietokoneen ja internet-yhteyden välityksellä kevyesti ja helposti, esimerkiksi huoltotahojen arkipäiväisessä työssä. Pilottikohteessa Ekokumppanit Oy:n toimitilat kuvattiin ja kuvista muodostettiin kuvassa 15 nähtävä 3d-malli. 3d-malliin yhdistettiin sensoridataa sekä muuta tietoa ja dokumentointeja kiinteistöstä. Lopputuloksena saatiin erittäin helposti ja nopeasti omaksuttava intuitiivinen käyttöliittymä kiinteistön huollon ja ylläpidon tarpeisiin. Esimerkiksi lämpötiloja, ilmankosteuksia ja läsnäolotietoja koskevaa mittaustietoa kerättiin Empowerin SmartTag -sensoreilla. Kerätty data siirrettiin pilveen, josta se visualisoitiin valokuvamallin toiminnallisuuksiin algoritmien käsiteltä tiedon haluttuun muotoon kuvan 16 mukaisesti. (Energiaviisaat kaupungit 2020b)



**Kuva 16.** Kiinteistöön asennettujen antureiden mittausdataa käyttöliittymässä esitettynä. (Ekokumppanit 2020)

Valokuvaukseen ja laserkeilaukseen pohjautuvien digitaalisten kaksosten ja 3d-mallien kohdalla tietomallista puhuminen on kenties harhaanjohtavaa. Edellä esiteltyjen 3d-mallien etuihin lukeutuu etupäässä, että niiden avulla pystytään muodostamaan erittäin nopeasti ja tiedostojen sekä käyttöjärjestelmien kannalta kevyesti melko kattavia malleja kohteista, joita ei aiemmin ole mallinnettu tai esimerkiksi vanhoista rakennuksista, joista on saatavilla niukasti tietoa sekä vanhoja suunnitelmia. Valokuva- ja laserkeilausmallien vahvuutena on myös niiden erittäin nopeasti omaksuttava ja käyttäjälle luonteva tapa visualisoida rakennusta valokuvatyyliin. Esitellyn kaltaisten mallien käyttö tulee kyseeseen vasta, kun konkreettinen rakennus tai sen osa on jo olemassa, joten valokuvamalleista ei ole merkittävää hyötyä suunnittelutyön toteutukseen. Sen sijaan kiinteistön ylläpidon ja huoltotoimenpiteiden tarpeisiin esimerkiksi esitellyn pilottikohteen kaltainen malli soveltuu hankkeesta saatujen kokemusten perusteella melko hyvin.

Rakennuksen käyttäjälle valokuvamalli tarjoaa vartenotettavan vaihtoehdon apuvälineeksi turvallisuustoimintaan. Virtuaalisen ympäristön avulla rakennuksen käyttäjät pystyvät perehdyttämään kohteen turvallisuussuunnitelmaan. Paloturvallisuuden kannalta tärkeitä asioita, kuten alkusammuttimien sijainteja tai hätäpoistumisreitit pystytään havainnollistamaan, ja näin ollen on mahdollista muun muassa madaltaa käyttäjille tarjotavan paloturvallisuusperehdytyksen kynnyksiä.

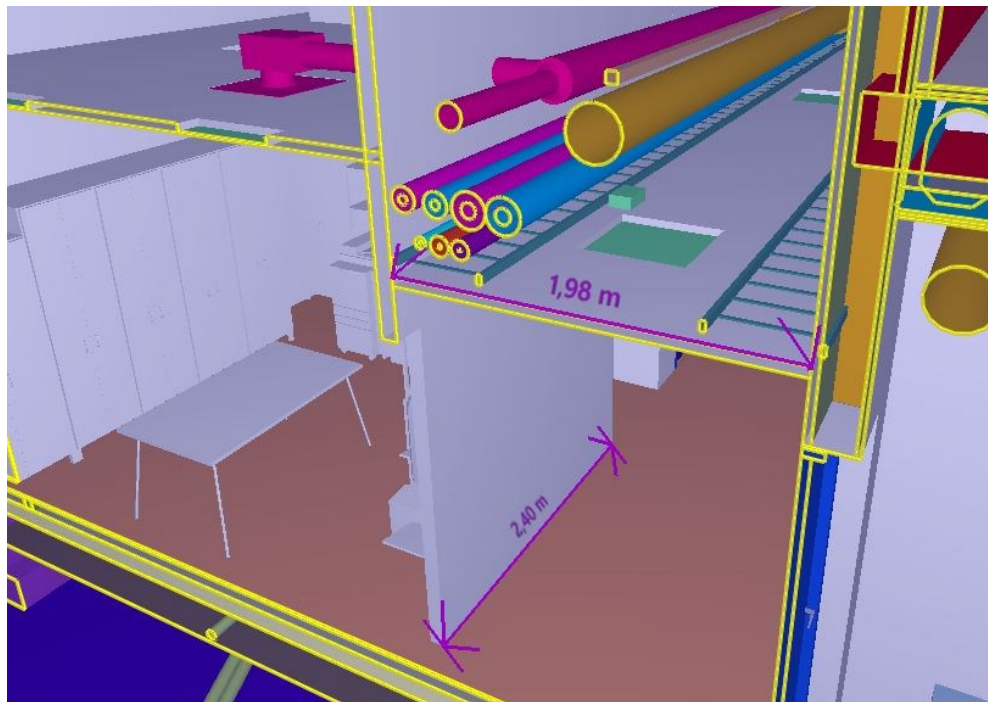
Rakennuksen käyttäjän sekä ylläpito- ja huoltotahon lisäksi valokuvamallista voisi olla merkittävää hyötyä myös pelastuslaitokselle. Valokuvamalli sellaisenaan ilman rikastavaa sensoridataa tai toiminnallisuuksia tarjoaa pelastuslaitokselle mahdollisuuden tutustua rakennuksen sisätiloihin nopeasti ja perinteisiä 2d-kohdekortteja monipuolisemmin. Varsinkin suurissa ja monimutkaisissa rakennuksissa virtuaalisessa mallissa liikkuminen voisi tuoda hyödyllistä tietoa pelastuslaitokselle tilojen ja rakennuksen sisäisten kulkureittien hahmottamiseksi. Kun valokuvamalli rikastetaan esimerkiksi tilojen käyttäjämääristä, lämpötilankehityksestä ja savunmuodostuksesta kertovalla reaaliaikaisella sensoridatalla, on palokunnalle muodostuva tilannekuva jo melko kattava. Valokuvamallien käyttäjärajapintojen helppokäyttöisyys puoltaa valokuvamallien soveltuvuutta pelastuslaitoksen kiireelliseen ja hektiseen toimenkuvaan. Jatkossa tutkimusta ja kokeiluja valokuvamallien hyödyntämiseksi pelastuslaitoksen tarpeisiin on syytä suorittaa entistä enemmän, sillä ne tarjoavat potentiaalisen vaihtoehdon perinteisen tietomallin käytön rinnalle.

## **4.2 IFC-tiedoston esittäminen ja tarkastelu**

Tietomallien IFC-muotoon tallennettua sisältöä voidaan esittää ja visualisointeja toteuttaa monilla eri alustoilla, sovelluksilla ja ohjelmistoilla. Tiedon esittäminen tietomallinnukseen käytetyn ohjelmiston kanssa palvelee tietomallinnustyön aikaisia tarpeita ja suunnittelun vaatimuksia. Tietomallinnussovelluksen kanssa ei ole kuitenkaan tarkoituksenmukaista esittää tietomallin sisältöä, mikäli tarkoituksena ei ole tietosisällön muokkaaminen tai uuden mallinnuksen tekeminen. Tietomallinnussovelluksen tuottama natiivimalli on myös usein turhan raskas kevyisiin tarkasteluihin, visualisointeihin sekä esimerkiksi mittauksiin, joita tietomallissa voidaan haluta toteuttaa. Mikäli muut kuin suunnittelutyötä tekevät tahot tarkastelevat tietomallia mallinnussovelluksen avulla, on myös mahdollista saada huomaamatta ja vahingossa aikaan epätoivottuja muutoksia, kuten objektien geometrian tai sijainnin muutoksia tai esimerkiksi ominaisuustietojen muutoksia tai katoamista. Mallinnussovellusten käyttö tietomallien visualisointiin ja tarkasteluun muiden kuin suunnittelijoiden toimesta ei ole perusteltua myöskään sen vuoksi, että usein mallinnussovellukset ovat lisensoituja ja melko arvokkaita sekä vaativat säännöllistä päivitystä pysyäkseen toimintakuntoisina ja yhteensopivina muiden ohjelmistojen ja sovellusten kanssa.

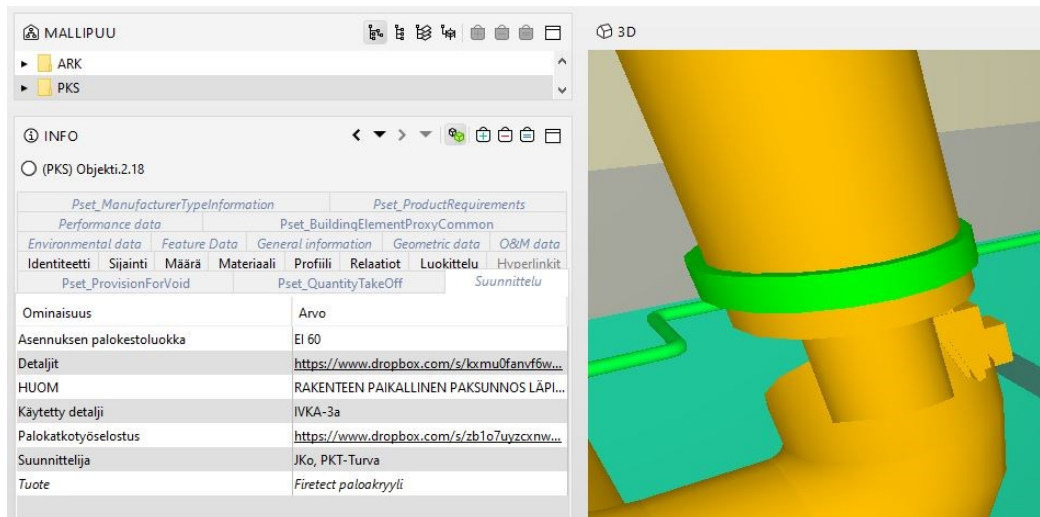
IFC-tiedoston esittäminen tarkoittaa siis suunnitteluohjelmistoista IFC-skeeman mukaiseksi tiedostoksi tallennetun natiivimallin sisältämien tietojen esittämistä. IFC-tiedoston esittämiseksi on tarjolla niin avoimen lähdekoodin ilmaisia ohjelmistoja, kuin myös

useita kaupallisten toimijoiden tarjoamia tuotteita. Tämän työn laatimishetkellä buildingSMART -organisaation ylläpitämän ohjelmistototeutuksia sisältävän listauksen mukaan saatavilla on 47 tuotetta, jotka on luokiteltu kategoriaan *Model Viewer* (buildingSMART 2021c). *Model Viewer* -sovellus tarkoittaa tietomallin tarkasteluun käytettävää sovellusta, jolla muutosten tekeminen tietomalliin on lähes poikkeuksetta estetty. Tietomallin tarkasteluun käytettävät sovellukset sisältävät muokkausominaisuuksien sijasta tuotekohtaisesti erilaisia toiminnallisuuksia, joilla mallia voidaan hyödyntää tarkastelua suorittavan tahon tarpeisiin. Tarkasteluohjelmilla rakennuksen mallista voidaan luoda erilaisia näkymiä muun muassa suodattamalla sisältöä räätälöityjen kriteerien perusteella, piilottamalla tiettyjä objekteja, korostamalla halutun sisällön värejä, muodostamalla leikkauksia kuvan 17 tapaan tai jopa luomalla animaatioita. Tarkasteluohjelmat mahdollistavat usein myös kuvaan 17 havainnollistetun kaltaisten mallinäkymissä suoritettavien mittausten tekemisen.



**Kuva 17.** Tarkasteluohjelmiston leikattu näkymä yhdistelmämallista sekä mittaustyökalulla tehtyt mittaukset. (NCC 2021)

Tarkasteluohjelmien kenties suurin potentiaali ja kehitystarve kohdistuu mallinnetun rakennuksen, rakennusosien, laitteistojen ja järjestelmien tietosisällön esittämiseen ja käsittelyyn. Useimmat mallinnusohjelmat sisältävät toiminnallisuuksia, joilla painallus mallinnetun objektin kohdalla avaa erilliseen ikkunaan näkyville objektiin liittyvät ja sille syötetyt tiedot esimerkiksi kuvan 18 mukaisesti.



**Kuva 18.** Palokatko-objekti ja sen tiedot tarkasteluohjelmiston näkymässä. (NCC 2021)

Kuvassa 18 on yhdistelmämallista valittuna ilmanvaihtokanavan palokatkoa kuvaava objekti. Kuvan vasemmassa laidassa on näkyvillä suuri joukko objektille syötettyjä tietoja ryhmittäin jaoteltuina, joista näkyviin valittuna on *suunnittelu-* ryhmäksi nimetty kokonaisuus. Ryhmän sisältämissä tiedoissa nähdään yksittäisen palonkestoluokkaa kuvaavan tiedon lisäksi muun muassa kaksi ulkoisiin tietokantoihin ohjaavaa www-linkkiä. Tapaus toimii esimerkkinä sille, ettei itse tietomalli ja sitä kautta IFC-tiedosto ole useinkaan oikea ja toimivin paikka kaiken tiedon säilömiselle. Kuvan 18 palokatkosta on saatavilla detaljitason dokumentointia sekä palokatkotyöselostus ulkoisista tietojärjestelmistä. Objektin tietoihin lukeutuu esimerkin tavoin IFC-skeeman määrittelemät ominaisuudet, sijainti- ja asentotiedot sekä ohjelmisto- ja suunnittelualakohtaisesti määritellyt yksilölliset ominaisuudet. IFC-tiedoston esittäminen tietomallien tarkasteluun tarkoitetulla ohjelmistolla on siis pitkälti riippuvainen mallinnustyön aikaisesta huolellisuudesta, käytetyistä ominaisuuksista, tasoista sekä yhteisesti sovitusta työkaluista ja koordinaatistosta. Mikäli tietomallin käyttämistä halutaan jatkaa rakennuksen valmistuttua, ja esimerkiksi laitekohtaisia tietoja halutaan saada kiinteistönhuollon ja ylläpidon käyttöön tietomallin toimituksessa tietopankkina ja data-alustana, tulee tällöin esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmän osaa kuvastavalle objektille olla mallinnettuna ja syötettynä kaikki olennaiset ominaisuudet ja tietosisällöt, jotta mallia voidaan hyödyntää käytännön työssä. Mikäli tietty objekti, esimerkiksi arkkitehdin luoma palo-osastointiin osallistuva väliseinä on mallinnettu väärällä työkalulla tai se sijaitsee IFC-tiedostossa väärässä kohtaa, toisin sanoen mallinnettuna väärälle tasolle, ei tulos ole toivotun kaltainen. Tällöin muiden suunnittelualojen tarkastellessa arkkitehtimallia ja sovittaessa omaa suunnitteluaan sen rinnalle, syntyy riski suunnitteluvirheen johdosta kasvaneille kustannuksille, kertaantuville suunnitteluvirheille



sekä esimerkiksi suunnitelmien määräysten vastaisuudelle. IFC-tiedostojen esittämiseen tarkoitettuja sovelluksia voidaan ajatella käytettäväksi rakennuksen käyttäjän, huollon sekä ylläpidon tarpeisiin, mikäli tietomalli on luotu toteutunutta vastaavaksi as-built malliksi. Tarkasteluohjelmistojen käyttöliittymiä ja rajapintoja ei ole kuitenkaan aina kehitetty ottaen huomioon kiinteistönpidon ja muiden tahojen tarpeita. Erillinen tarkasteluohjelmistojen tapaan IFC-tietoa esittävä ylläpidon ja huollon sovellus voisi olla käyttötarkoitukseensa tarkasteluohjelmia sopivampi.

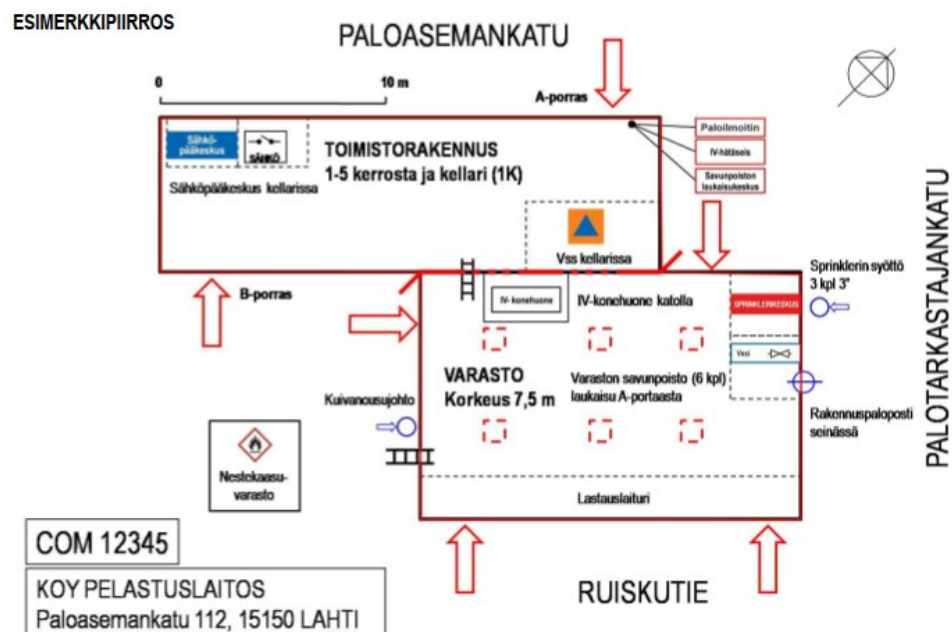
### 4.3 Kevyt mallinnus

Rakennushankkeen aikana paloturvallisuuteen liittyvän suunnittelutyön sekä laite- ja järjestelmävalintojen ohella suuri turvallisuuden vaikuttava kokonaisuus on rakennuksen käytön aikainen turvallisuuden ja jatkuvuuden varmistaminen. Suunnittelu ja tekniset järjestelmät luovat puitteet ja edellytykset riittävän turvallisten olosuhteiden pysymiselle niin neutraalissa käytön ajan tilanteessa, kuin myös hätätilanteessa. Käytönaikaiseen turvallisuustoimintaan voidaan ajatella kuuluvaksi kiinteistön käyttäjien turvallisuustietouden ylläpito koulutuksilla sekä perehdytyksillä. Kokemuksen ja yleisen keskustelun perusteella suunnitteluun käytettävät tietomallit ovat yleensä liian raskaita sekä suuria hyödynnettäviksi sellaisinaan kiinteistön käytön ajan tarpeisiin. Esimerkiksi pelastuslaitoksen toiminnassa hyödynnettävän tietomallin luomisessa on toki mahdollisuudet rajata tarpeetonta tietoa pois, mutta paloturvallisuuden ja kiinteistön käytön ajan tarpeiden suhteen vakiintuneiden mallinnuskäytäntöjen puuttuessa, on vain relevanttia tietoa sisältävän tietomallin luominen suunnittelualojen malleista melko haastavaa ja työlästä. Etsittäessä ratkaisuja tiedon vaivattomaan ja kevyeen esittämiseen, on yksi mahdollisuus hyödyntää astetta kevyempiä mallinnusohjelmistoja suunnittelualojen käyttämiin ohjelmistoihin verrattuna.

Tässä työssä havainnollistamiseen ja ideointiin valittiin käytettäväksi ohjelmistotalo Trimblen SketchUp Pro -mallinnusohjelmisto. SketchUp Pro tarjoaa lukuisia helppokäyttöisiä työkaluja, joilla on mahdollista mallintaa lähes mitä tahansa objekteja sekä rakenteita verrattain muita mallinnusohjelmistoja kevyemmin ja intuitiivisemmin. Yksinkertaistetun geometrian luominen rakennuksesta onnistuu melko lyhyessä ajassa, eikä merkittävää suunnitteluosaamista vaadita. Ohjelmiston hyödyntämisen myötä nousi esiin näkökulma, joka kyseenalaistaa suunnitteluprosessin aikaisen tietomallin käytön esimerkiksi juuri pelastuslaitoksen tarpeisiin. Nykyinen kehitys toki luo uusia teknologioita sekä innovaatioita tietomallien hyödyntämiseksi kaikessa kiinteistöihin liittyvässä toiminnassa, mutta potentiaalisena vaihtoehtona voidaan kuitenkin pitää erillisten kevyiden mallien tuottamista eri tarpeet ja toimijat huomioon ottaen.

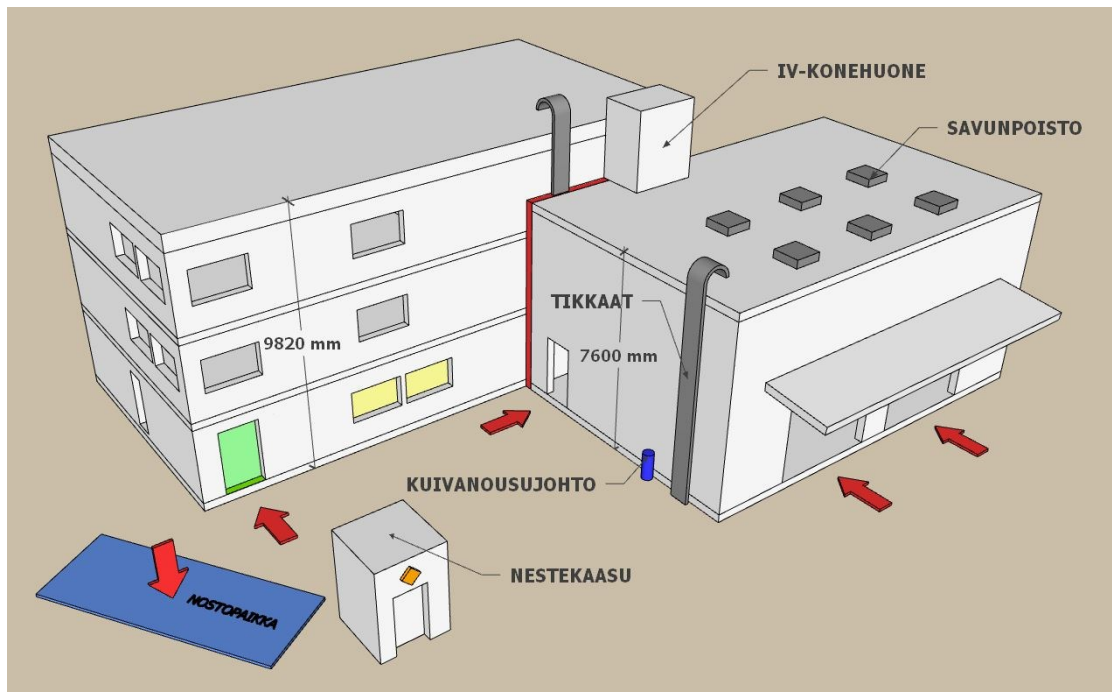
Osalla Suomen pelastuslaitoksista on käytössä kohdekortti, jonka avulla kerätään kohteen oleellimmat pelastustoimintaan liittyvät tiedot. Kohdekortti toimitetaan pelastustoiminnan helpottamiseksi pelastuslaitoksille kohteista, joissa on käytössä automaattinen sammutuslaitteisto ja -paloilmoitin. Jotkin pelastuslaitoksista vaativat kohdekorttiin sisällytettäväksi kohdepiirroksen, johon oleelliset tiedot merkitään tekstin lisäksi symbolein. Toisissa pelastuslaitoksissa kohdekortti on ainoastaan lomake, johon pyydytyt tiedot täytetään vain tekstimuodossa. Kohdekortin kehittämiseksi tietomallipohjaiseksi on suoritettu ainakin yksi kokeiluhanke. *Tietomallit rakennuksen turvallisuuden varmistamisessa* -hankkeessa toteutettiin kokeilu, jossa päiväkotirakennuksesta muodostettiin tietomallipohjainen kohdekortti. Saatujen kokemusten perusteella tietomallipohjaisen kohdekortin kokeilu osoittautui hankkeessa erittäin onnistuneeksi, ja hankkeen yhteenvetoreportissa esitetäänkin tukea kohdekorttien siirtämiseen tietomallipohjaisiksi (Lehtoviita et al. 2019).

Paappasen & Pylkkäsen koostama tarkastuslista (Lehtoviita & Rautiainen 2019) pelastuslaitoksen asettamista tietomallin sisältötarpeista sisältää maininnan aina kulloisenkin sisältötarpeen löytymisestä *Yleiset tietomallivaatimukset 2012* -julkaisusarjasta. Samaisen listauksen pohjalta tutkittiin aiemmin tässä työssä buildingSMART Internationalin ylläpitämää IFC 4 -dokumentaatiota. Vaihtoehtoja paloturvallisuuteen liittyvien tietojen ja tietomallin sisältötarpeiden esittämisestä haettiin tämän työn aikana kevyen mallintamisen keinoin. SketchUp Pro -ohjelmistolla luotiin alusta alkaen erilaisten objektien ja geometrioiden avulla Pohjois-Savon pelastuslaitoksen kohdekorttiohjeesta löytyvää kuvan 19 mukaista kohdepiirrosta jäljittelevä digitaalinen kohdekortin demonstraatio.

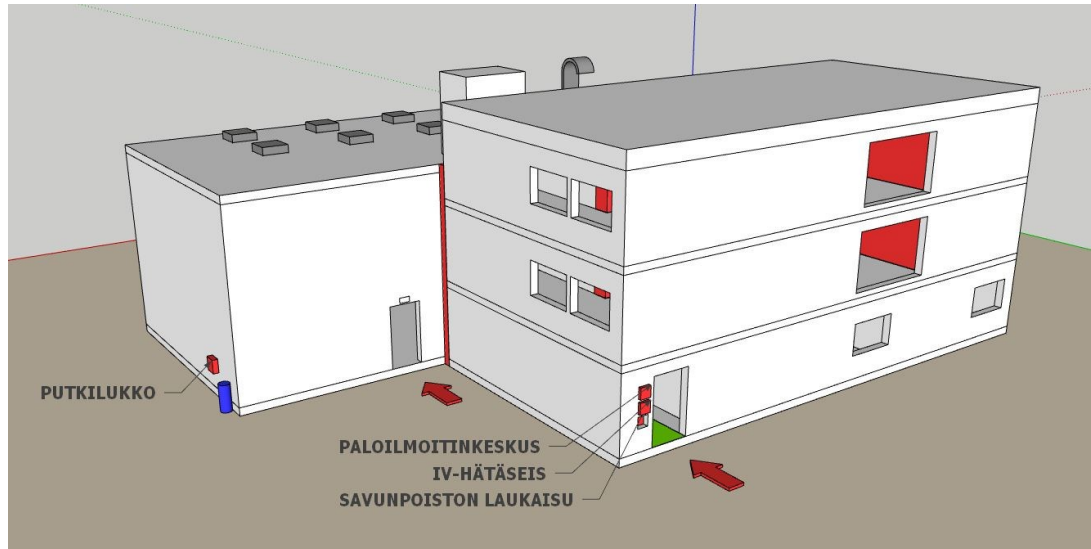


**Kuva 19.** Kohdekortin kohdepiirros. (Pohjois-Savon pelastuslaitos 2021)

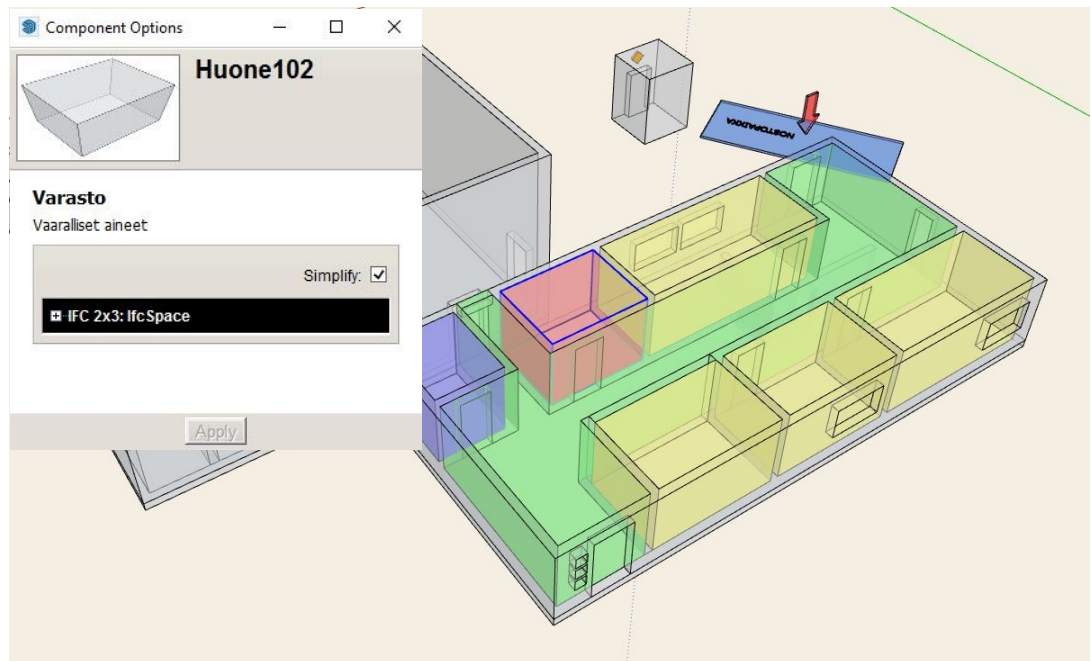
Kohdekorttiin luotiin kokeilumielessä tietosisältöä, joka tavanomaisessa suunnittelijoiden mallinnustyössä ei päädy tietomalliin tai löytyy tietomallista mutta ei ole esillä tarkoituksenmukaisesti. Esimerkeiksi valittiin muun muassa kuvan 20 näkymä, jolla visualisoidaan nostoauton nostopaikka, rakennuksen korkeus, hyökkäystiet, kuivanousujohto, savunpoistoluukut, katolle kulku, ilmanvaihdon konehuone sekä piha-alueen nestekaasuvarasto. Toinen havainnollistamiseen luotu kuvan 21 mukainen näkymä pitää sisällään paloilmotinkeskuksen, ilmanvaihdon hätä-seis-katkaisijan, savunpoiston laukaisukeskuksen ja pelastuslaitoksen putkilukon sijainnit. Kolmannessa esimerkkinäkymässä esitetään rakennuksen ensimmäisen kerroksen tiloja kuvan 22 tapaan. Neljännessä kuvan 23 havainnollistamassa näkymässä esitetään rakennuksen ensimmäisen kerroksen automaattista vesisammutusjärjestelmää.



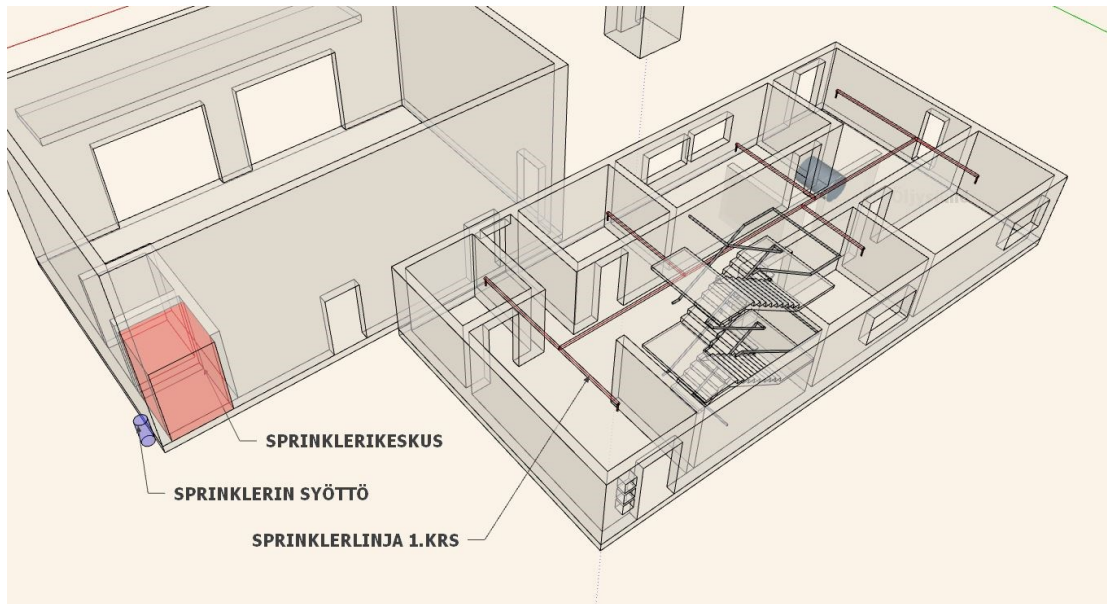
**Kuva 20.** Rakennuksen ulkopuolen havainnollistaminen kevyen mallinnuksen keinoin.



**Kuva 21.** Palokunnan kannalta merkittävien järjestelmien ja objektien sijainnin havainnollistaminen.



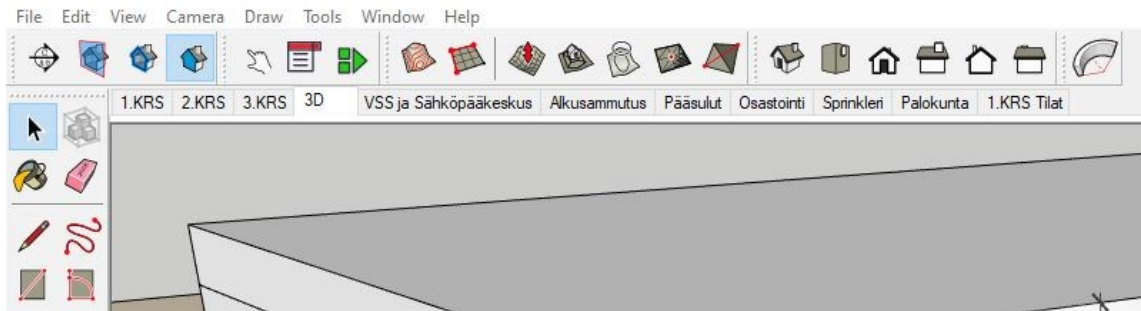
**Kuva 22.** Ensimmäisen kerroksen tilojen havainnollistaminen sekä tilan tiedoista kertova valintaikkuna.



**Kuva 23.** Automaattisen vesisammutusjärjestelmän havainnollistaminen.

SketchUp Pro -ohjelmisto ei ole ensisijaisesti sopivin eikä rakennusalan keskuudessa tunnetuin mallinnustyökalu, sillä se soveltuu paremmin käytettäväksi luonnosteluun sekä tuotesuunnitteluun. Ohjelmisto kuitenkin tukee IFC 2x3 -tallennusmuotoa, minkä vuoksi luoduille objekteille on mahdollista antaa täysin vastaavia ominaisuuksia ja identifioivia tietoja, kuin rakennusalalla yleisesti käytössä olevilla ohjelmistoilla. Lisäksi SketchUp Pro soveltui tämän työn kokeilullisiin mallinnuksiin helppokäyttöisyytensä ansiosta. Voidaan ajatella, että kokemattomaltakin käyttäjältä onnistuu kohtalaisen kevyellä perehtymisellä luoda vastaavanlainen 3d-malli, kuin mitä edellä olevissa kuvissa 20–23 esitetään. Jonkin verran 3d-mallinnustaustaa omaavana ja SketchUp Pro -ohjelmistoa aikaisemmin käyttäneenä, tämän työn kirjoittajalta kului Pohjois-Savon pelastuslaitoksen kohdepiirroksen digitaaliseksi muuttamiseen aikaa noin puolitoista tuntia. Kokeilun perusteella havaittiin, ettei digitaalisen kohdekortin ole välttämättä nojaututtava suunnittelijoiden tuottamiin tietomalleihin, vaan vastaavanlaisen pelastuslaitosta palvelevan kevyen mallin voisi käytännössä luoda kuka tahansa lyhyehkön opetteluun jälkeen. Erityisen kiinnostava ominaisuus, joka SketchUp Pro -ohjelmistosta löytyy, on erittäin helppokäyttöinen näkymienluontityökalu. Näkymä luodaan ensin liikuttelemalla mallia haluttuun asentoon, jonka jälkeen voidaan suodattaa haluttuja tai tarpeettomia mallinnuksia joko piiloon tai näkyviin. Lisäksi voidaan muokata mallinuksille tyyli, joka soveltuu havainnollistamiseen parhaiten. Esimerkiksi tasot tai vaikka seinäobjektit voidaan asettaa läpikuultaviksi, jolloin korosteisella värillä rakennuksen sisällä jotain tärkeää elementtiä kuvaava objekti näkyy luodussa näkymässä selkeästi. Mallista voidaan tuottaa myös leikkauksia ja siihen on mahdollista lisätä tekstejä sekä mittoja. Lopuksi, kun halutun kaltainen näkymä on saatu muodostettua, se tallennetaan, minkä jälkeen ohjelmiston työkalurivin alapuolelle

ilmestyy kuvassa 24 esitetty välilehdenomainen painike, jota painamalla äsken luotu näkymä ilmestyy näytölle. Koska kyseessä on mallinnusohjelmisto, on mahdollista, että käyttäjä saa aikaan muutoksia ja esimerkiksi tärkeän tiedon katoamista. Olisi siis tärkeää, että vastaavanlainen toiminto näkymien muodostamiseen ja niiden välillä liikkumiseen löytyisi myös ainoastaan tietomallin tarkasteluun tarkoitetuista käyttäjäsovelluksista.



**Kuva 24.** SketchUp Pro -ohjelmiston työskentelytilaan luodut näkymänvalintapainikkeet. 1.KRS, 2.KRS, 3.KRS, 3D...

#### 4.4 Virtuaalisuutta ja reaali maailmaa yhdistelevät tiedon esittämisen tavat

Vapaa-ajan ja viihdeteollisuuden käytössä olevia virtuaalista todellisuutta sekä reaali maailmaa yhdisteleviä VR-, AR- ja MR-sovelluksia on jalkautunut jonkin verran myös rakennusteollisuuden käyttöön. Tampereen yliopiston verkkosivustollaan julkaiseman tutkimusuutisen mukaan Vam-Realities -hanke selvitti vuoden 2020 aikana eurooppalaisten rakennusalan ja teollisuuden yritysten halukkuutta ja kykyä ottaa uusia teknologioita käytäntöön. Hankkeessa suoritettiin lähes viisikymmentä haastattelua ja kerättiin yli 250 vastausta aiheeseen liittyen. Kyselyn tulosten perusteella noin 60 prosenttia yrityksistä ei ole ottanut uusia teknologioita käyttöön, mutta toisaalta neljännes yrityksistä kertoo käyttävänsä teknologioita jonkun verran sekä 15 prosenttia kertoo käyttävänsä teknologioita usein. (Tampereen yliopisto 2021)

VR-teknologia eli Virtual Reality (virtuaalinen todellisuus) tarkoittaa tietokoneavusteisesti luotavaa interaktiivista 3D-ympäristöä, jota useimmiten havainnoidaan ja visualisoidaan puettavien järjestelmien kuten VR-lasien avulla. AR-teknologia, eli Augmented Reality (lisätty todellisuus) puolestaan tarkoittaa tietokoneavusteisesti luodun sisällön lisäämistä todellisen maailman näkymään. AR-teknologialla esitettävää sisältöä havainnoidaan päätelaitteiden, kuten älypuhelimien ja tablettien sekä myös päähän puettavien AR-lasien avulla. AR-teknologian etu VR-teknologiaan verrattuna on, että käyttäjä voi edelleen tehdä yhteistyötä, viestiä ja olla vuorovaikutuksessa ympäröivän todellisuuden kanssa toisin kuin VR-teknologiaa käytettäessä. Kolmas aika-ajoin esiin nouseva teknologia on

MR, eli Mixed Reality (yhdistetty todellisuus), jossa VR- ja AR-maailmat kohtaavat ja syntyy yhdistelmä virtuaalisesta tiedosta sekä todellisen maailman näkymästä. MR-tekniologiassa virtuaaliset elementit ovat reaaliaikaisessa vuorovaikutuksessa todellisen maailman ympäristön kanssa. MR-tekniologiaa voidaan visualisoida edellisten tapaan älylaitteiden sekä puettavien järjestelmien avulla. (Jalo et al. 2021) MR-tekniologialla voidaan havainnollistaa siis täysin todenmukaisesti esimerkiksi rakennushankkeen aikaisia tarkastuksia ja laadunhallintaan vaikuttavia tilanteita. Tämän työn aikana käydyissä keskusteluissa nostettiin esille esimerkiksi tilanne, jossa suureen ostos- ja liiketiloja sisältäneeseen kiinteistöön asennetut mainoskyltit ja taulut estivät poistumisopasteiden kunnollisen näkyvyyden. Vastaavat asennukset voisivat myös rajoittaa sammutuslaitteiston haluttua toimintaa tai olla esteitä, jotka vaikuttavat vaatimukset täyttävän ilmaisimen sijoittelun kelpoisuuteen. Kuvaillun kaltaisessa tilanteessa esimerkiksi MR-tekniologian hyödyntäminen työmaan tarkastuskäynnillä olisi saattanut estää mainoskylttien poistumisopasteiden näkyvyyttä heikentävän asentamisen.

Kun edellä mainittujen tekniologioiden virtuaalinen sisältö laaditaan rakennuksen tietomallista, saadaan aikaan sovelluksia, joiden hyötyjä voi olla vaikea osoittaa ennalta. ”Esimerkiksi XR-tekniologian mahdollisuuksia on hyvin vaikea osoittaa ilman käyttäjäkohtaista kokoemusta.” Toteaa Tampereen yliopiston Tenure Track-professori Henri Pirkkalainen (Tampereen yliopisto 2021). XR-termiä, eli Extended Reality (laajennettu todellisuus) termiä käytetään kaikkia VR-, AR- ja MR- termejä tarkoittavana kattokäsitteenä. XR-tekniologian mahdollisuudet tunnustetaan niin paloturvallisuusosalalla kuin myös muidenkin suunnittelualojen toimesta. Paloturvallisuusosalalla sen lisäksi, että XR-tekniologian avulla voidaan suorittaa tarkastuksia ja visualisointeja, voidaan sitä hyödyntää mittavasti pelastustoiminnassa. Paloturvallisuuteen liittyvä kouluttaminen sekä perehdyttäminen hyötyvät erityisesti XR-tekniologioiden tarjoamista mahdollisuuksista. Pelastussuunnitelman mukaan toimiminen sekä palotilanteisiin tutustuminen ennalta virtuaalisin ja pelillisin keinoin parantavat mitä ilmeisimmin turvallisen toiminnan edellytyksiä, mikäli verrokkina toimii tavallisin 2d-dokumenteihin toteutettu perehdytystoiminta.

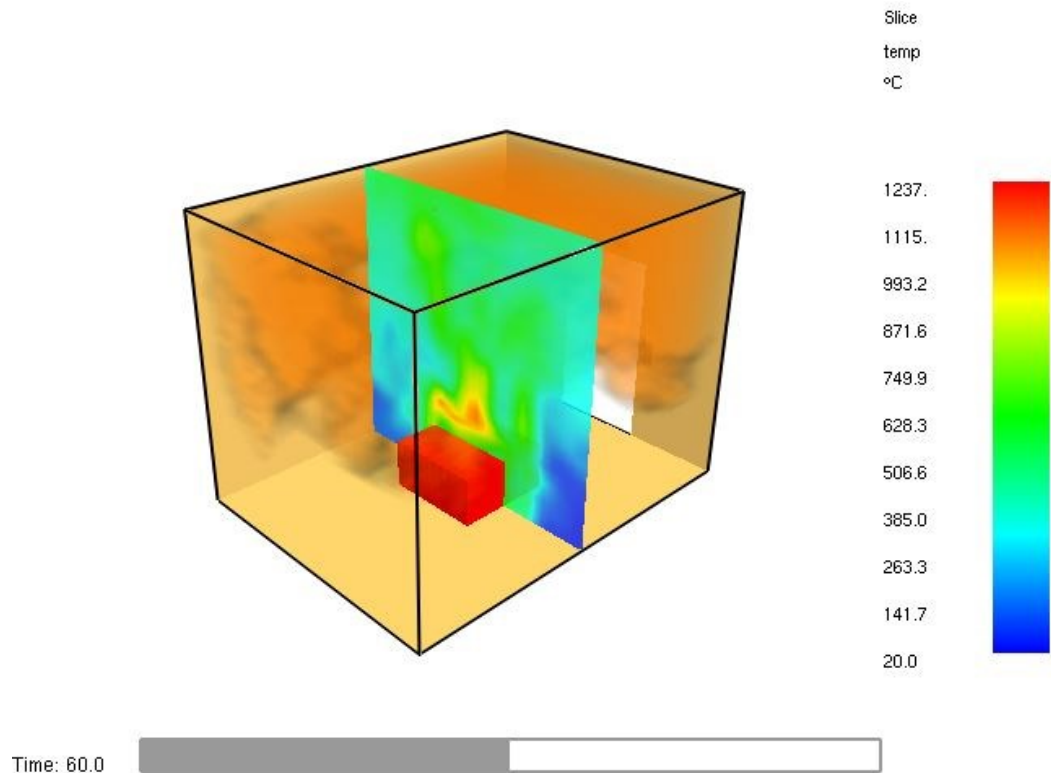
## 4.5 Palotilanteen mallintaminen

FDS (Fire Dynamics Simulator) on yhdysvaltalaisen NIST:n (National Institute of Standards and Technology) yhteistyössä kotimaisen Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen VTT:n kanssa kehittämä laskennallinen tietokonesovellus. Sovelluksen laskenta perustuu Navier-Stokes:n yhtälöihin ja sen avulla kuvataan lämpötilamuutosten ja tulipalon aikaansaamia fluidien virtauksia. Laskennan tuloksilla kuvataan muun muassa lämpötilan kehittymistä sekä savunmuodostumista ja virtauksia. FDS on avoimeen lähdekoodiin

perustuva sovellus, eikä sillä ole graafista käyttäjärajapintaa, vaan sovelluksen käyttäminen tapahtuu tietokoneen käyttöjärjestelmän komentoriviltä. Tietomallinnuksen tuloksena syntyvää IFC-tiedostoa ei voida suoraan hyödyntää simulointiin, sillä FDS suorittaa simulaation ja laskennan käyttäen lähtötietonaan tekstitiedostoa, jonka vuoksi sen käyttäminen vaatii melko syvällistä osaamista ja perehtymistä ohjelmakoodin toimintaperiaatteisiin. FDS-simulaation lopputuloksena on kansiorakenteeseen tallentuva joukko erimuotoisia tiedostoja, joita hyödynnetään simulaation tulosten visualisointiin. FDS:n ohella käytetään SMV (Smokeview) -sovellusta, jolla puolestaan on graafinen käyttöliittymä. SMV on visualisointiohjelmisto, jota käytetään FDS-simulaation tulosten esittämiseen. FDS-ohjelmakoodiin on lisäksi upotettu ohjelman toimintaa laajentava moduuli henkilöiden poistumisen ja evakuoinnin mallintamiseen. Moduulia käytettäessä puhutaan FDS+Evac -simulaatiosta. (NIST FDS-SMV 2021)

FDS:n vaatiman tekstimuotoisen lähdetiedoston luominen alusta alkaen käsin on erittäin työlästä ja virhealtista, jonka vuoksi eri toimijat ja ohjelmistotalot ovat kehittäneet ohjelmistoja, joilla IFC-mallista saadaan poimittua tarvittavat tiedot ja muodostettua niistä oikeassa formaatissa oleva lähtötiedosto FDS-simulaatiota varten. Kuvassa 25 esitetään SMV-sovelluksen visualisoima FDS-ohjelmistolla suoritettu hyvin yksinkertainen esimerkki. Esimerkissä neliskulmaisen huonetilan lattialle on mallinnettu palonlähde ja yhdelle seinälle ovi. Kuvan näkymään on valittu laskennan tulosten perusteella liekkien visualisointi, sekä viipaleessa värijakaumana havainnollistettava huoneen lämpötilajakauma. Kuvan alareunassa näkyy simulaation ajankulkua kuvastava palkki. Kuvakaappauksen hetkellä simulaatiota on ehtinyt kulua 60 sekuntia. Esimerkkisimulaation suorittamiseen hyödynnettiin [fdstutorial.com](http://fdstutorial.com) -sivuston tarjoamia materiaaleja. (FDS Tutorial 2021)





**Kuva 25.** FDS-simulaation tulos visualisoituna SMV sovelluksessa.

Diplomityön osana käydyissä sidosryhmäkeskusteluissa kuultiin muun muassa palokonsulteilta ja paloturvallisuussuunnittelua toteuttavilta tahoilta, että FDS-sovellusta käytetään verrattain aktiivisesti mallintamaan rakennuskohteiden tulipaloskenaarioita. Yrityksillä on käytössään palveluita ja sovelluksia, joiden avulla hankkeiden IFC-mallien pohjalta luodaan FDS-simulaatioiden lähtötiedostot. Palokonsulttitahon mukaan nykypäivän tietotekniikalla ja laskentateholla FDS-simulaation lähtötiedostot saadaan tuotettua rakennuksen tietomalliin perustuen noin puolessa päivässä. IFC-tiedostosta poimitaan lähtötiedostoon toimialalta saadun tiedon perusteella useimmiten vain rakennuksen pääpiirteittäinen geometria.

Keskusteluissa nousi esille selkeitä palosimulaatioissa käytettäviin lähtötietoihin ja oletuksiin liittyviä kehitystarpeita. Palokonsulttitahon mukaan on tyypillistä, että simulaatioissa tehdään esimerkiksi konservatiivisena oletuksena valinta, jonka perusteella kaikki materiaalit ja pinnat otetaan simulaatiossa huomioon betonin materiaaliominaisuuksien mukaan. Simulaatioiden laatua saataisiin merkittävästi parannettua, mikäli simulaation lähtötietojen määrittämiseen kiinnitettäisiin huomiota nykyistä enemmän. Tietomallin rooli paloturvallisuussuunnittelun parantamisessa liittyy malliin syötettävään tietosisältöön, jota olisi mahdollista hyödyntää esimerkiksi FDS-simulaatioissa. Dokumentissa *FDS User's Guide* on esiteltyä kaikki tietosisältö, joka on mahdollista sisällyttää palosimulointiin. Kuvassa 26 on esitettyä *FDS User's Guiden* tarjoama esimerkki sprinklerin

määrittämisestä lähtötiedostoon. Esimerkkikoodista löydetään muun muassa sprinklerin laukaisulämpötila sekä virtaamatieto, joista kumpikin on mahdollista sisällyttää myös IFC-tiedostoon syöttämällä sprinklerisuutinta kuvaavalle objektille kyseiset ominaisuustiedot.

```
&SPEC ID='WATER VAPOR' /
&PART ID='my droplets', DIAMETER=1000., SPEC_ID='WATER VAPOR' /
&PROP ID='K-11', QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE', RTI=148., C_FACTOR=0.7,
ACTIVATION_TEMPERATURE=74., OFFSET=0.10, PART_ID='my droplets', FLOW_RATE=189.3,
PARTICLE_VELOCITY=10., SPRAY_ANGLE=30.,80., SMOKEVIEW_ID='sprinkler_upright' /
&DEVC ID='Spr-1', XYZ=22.8,19.7,7.4, PROP_ID='K-11' /
&DEVC ID='Spr-2', XYZ=22.8,22.7,7.4, PROP_ID='K-11' /
```

**Kuva 26.** Sprinklerisuuttimen määrittely FDS simulaation tekstimuotoisessa lähtötiedostossa. (Korhonen 2018)

FDS-ohjelmakoodille on kaupallisten toimijoiden taholta kehitetty joitain graafisia käyttäjärajapintoja, joista esimerkkinä toimii yhdysvaltalaisen *Thunderhead Engineering* -yhtiön *PyroSim*-sovellus. *PyroSim*-sovellus tukee monia eri tiedonsiirtomuotoja, joilla lähtötiedostoja voidaan ohjelmistoon ladata. Lähtötietoja voidaan esimerkiksi tuoda sovellukseen IFC-tiedostomuodossa. Lähtötietojen tuonnin jälkeen sovelluksen työkaluilla voidaan tehdä tarvittavia muokkauksia esimerkiksi rakennuksen geometrioihin liittyen. Lähtötiedoston lataamisen jälkeen IFC-tiedostosta tuotuun geometriaan määritellään tasoja sekä leikkauksia, joiden kohdalta FDS-simulaation tuloksia halutaan tarkastella. Leikkaukset voivat olla esimerkiksi pystysuuntaisia pintoja jossain tilassa, kuten konserttitalissa ennalta määritellyin tiheyksin, esimerkiksi kahden metrin välein. Simulaatiotasojen määrittelyn jälkeen *PyroSim* konvertoi saamansa lähtötiedoston FDS-simulaatiolle soveltuvaksi tekstitiedostoksi. Konvertoinnin jälkeen FDS-simulaatio suoritetaan ja lopputuloksia päästään tarkastelemaan SMV-sovelluksen avulla. *PyroSim* sisältää parannelun käyttäjärajapinnan myös SMV-ohjelmiston kanssa työskentelyyn. (Thunderhead Engineering 2021)

Eräs toinen Thunderhead Engineering:n tarjoamista tuotteista on *Pathfinder*-ohjelmisto, jonka avulla voidaan simuloida henkilöiden käyttäytymistä, poistumista ja evakuointia halutuun ja laajalti muokattavissa olevin parametrein. *Pathfinderin* suorittamaan simulaatioon on mahdollista sisällyttää FDS-simulaation tiedot esimerkiksi savukaasujen kulkemisesta rakennuksen tiloissa, jotka osaltaan vaikuttavat olennaisesti ihmisten käyttäytymiseen ja kulkemiseen rakennuksen sisällä. Näitä tietoja voidaan yhdistää *Pathfinderin* simulaatiossaan käyttämiin parametreihin ja saadaan luoduksi hyvin kattava mutta kuitenkin yksinkertaistettu paloskenaario. (Thunderhead Engineering 2021)

## 5. TIETOMALLIIN LIITTYVÄT SOPIMUKSELLISET JA OIKEUDELLISET NÄKÖKULMAT

### 5.1 Tietomallin omistus- ja käyttöoikeudet

Tietomallin omistusoikeudet määrittyvät täysin laadittujen tietomallinnusta koskevien sopimusten mukaisesti. Ilman perehtymistä immateriaalioikeuksiin, saattaa esimerkiksi rakennuskohteen omistajataho suunnittelutyön maksettuaan kuvitella omistavansa oikeudet tietomalliin ja kaikkeen sen sisältämään tietoon. Suunnittelija tai suunnitteluorganisaatio on kuitenkin voinut käyttää tietomallin luomiseen omaa tuotekehitystään tai suojattuja lisenssejä (Halmetoja 2016). Tuotekehitys ja lisensointi voivat liittyä esimerkiksi mallinnettujen rakenteiden ja osien kehitykseen tai suunnittelu- ja laskentaohjelmiin kehitettyihin yksilöllisiin toiminnallisuuksiin. Tällaisissa tapauksissa esille nousevat tietomallin immateriaalioikeudet, jotka määrittävät tietomallin käyttömahdollisuudet elinkaaren aikaisena ylläpitomallina.

Tietomallinnuksen lopputuotteena syntyvä tietomalli on luovan työn tulos, jonka vuoksi sen omistusoikeuksien tarkastelu perustuu immateriaalioikeuksiin (Silius-Miettinen 2011). Immateriaalioikeuksilla tarkoitetaan muun muassa tekijänoikeutta sekä mallioikeuksia. Immateriaalioikeudet ovat aineettomia yksinoikeuksia, joilla taataan henkisen työn tuloksen taloudellinen hyödyntäminen. Tekijänoikeuslaki (404/1961) sekä mallioikeuslaki (221/1971) määrittävät oikeuksien luonteen seikkaperäisesti. Rakennusten tietomallien yhteydessä oikeuksien määräytyminen ei kuitenkaan ole yksiselitteistä. Esimerkiksi kaikkien suunnittelualojen mallit yhteen kokoava yhdistelmämalli saattaa jakaa oikeudet jokaisen suunnitelman laatijalle erikseen tai vaihtoehtoisesti tietomallisopimus määrittää kaikki malliin liittyvät oikeudet vain tietyille tahoille. Halmetojan (2016) mukaan tietomallin käyttöoikeuksiin liittyvien ongelmien välttämiseksi olisi mallinnustyön alussa laadittava erillinen tietomallin käyttö sopimus. Sopimuksen avulla välttyttäisiin ongelmilta ja rajoitteilta, jotka saattaisivat hankaloittaa tietomallin hyödyntämistä esimerkiksi kiinteistön huollon ja ylläpidon eri osapuolten tarpeisiin liittyen. (Silius-Miettinen 2011).

Edellä kuvatut tietomallin oikeusasioihin liittyvät näkökulmat käsittelevät lähinnä tietomallin kaupallisia hyödyntämisoikeuksia. Paloturvallisuuden laadun varmistamisen ja hallinnan kannalta oikeudet eivät välttämättä näytele suurta roolia, sillä turvallisuus taataan todennäköisemmin jo onnistuneen ja laadukkaan suunnittelutyön aikana. Toki tilanteessa, jossa epäselvyyksiä tietomallin hyödyntämisoikeuksista ei ole, on edellytykset sille, että paloturvallisuudenkin suunnittelu muiden suunnittelualojen työn ohella sujuu

entistä laadukkaammin ja virheettömämmin. Tietomallin käyttöoikeudelliset seikat ulottuvat myös rakennuksesta käytön aikana kerättäviin tietoihin ja reaaliaikaiseen anturidataan. Mikäli kiinteistönpidossa hyödynnetään olosuhdemallia, on oltava yksiselitteisen selvää, mitkä tahot ja toimijat pääsevät käsiksi mihinkin tietoihin. Paloturvallisuuden kannalta on tärkeää, että esimerkiksi laajojen rakennushankkeiden tai julkisten tilojen turvallisuuden kannalta kriittisiä tietoja ei päädy väärin käsiin. Tietojärjestelmien on oltava tietoturvallisia ja arkistoihin, projektipankkeihin ja pilvipohjaisille alustoille tallennettavan tiedon on pysyttävä ainoastaan ennalta määriteltyjen tahojen hallinnassa. Mikäli tietomallia hyödynnetään ja käytetään jatkuvasti rakennuksen elinkaaren aikana, tulee todennäköisesti vastaan tilanteita, jossa sitä halutaan käyttää muutostöiden, käyttötavan muutoksen tai esimerkiksi korjaustöiden tarpeisiin. Tällöin käyttöoikeudellisten näkökulmien lisäksi on erityisen tärkeää, että tietomallin käyttövastuulliset asiat on huomioitu, eli toisin sanoen vastuunjako tietomallin pitämisestä ajantasaisena on selvillä.

## 5.2 Tietomalliin liitettävä kiinteistöstä kerättävä tieto ja henkilötiedot

Kiinteistöjen energiankulutuksen, vedenkulutuksen, olosuhteiden ja jopa jätteiden muodostumisen seurantaan on olemassa monia eri teknologioiden ja järjestelmien tarjoamia mahdollisuuksia. Vuosina 2018–2020 aktiivisessa toiminnassa ollut *Ilmastoviisaat taloyhtiöt* -hanke kartoitti mahdollisuuksia vähentää taloyhtiöiden energiankulutusta ja ilmastopäästöjä taloyhtiöstä saatavilla olevan ja sieltä kerättävän tiedon avulla. Hankkeen aikana toteutettiin pilotointeja, joissa taloyhtiöt varustettiin IoT-antureilla. Antureilla mitattiin asuntojen lämpötilaa, hiilidioksidipitoisuutta sekä suhteellista kosteutta. Lisäksi rakennuksen ulkopuoliset anturit välittivät tietoja vallitsevista sääolosuhteista. (Ilmastoviisaat taloyhtiöt 2020a) Koska kerättävä tieto pilottikohteina toimivista taloyhtiöistä on asunto-kohtaista ja asukas- sekä osakerekisterien kautta henkilöitävissä, tulkitaan se vallitsevan lainsäädännön mukaan henkilötiedoksi. Paloturvallisuusalalla laitteistojen ja järjestelmien kehitys vaatii tarvelähtöisiä ajureita ja uusia liiketoiminnan mahdollisuuksia. Eräskin tulevaisuuden näkymistä voisi olla tilanne, jossa esimerkiksi paloilmaisin toimii edellä kuvaillun mukaisten olosuhdetietojen mittausanturina hoitaen samalla pääasiallista tehtäväänsä eli tarkkaillen vastuualueensa paloturvallisuuden säilymistä. Tällöin paloturvallisuusalanakin käyttämät teknologiat astuvat osallisiksi henkilötietojen käsittelyn piiriin tietosuojan asettaessa toiminnalle uusia vaatimuksia.

Henkilötiedoiksi määritellään kaikki sellaiset tiedot, joiden perusteella henkilö voidaan tunnistaa joko suoraan tai välillisesti. Välillinen tunnistaminen voi tapahtua esimerkiksi,

kun huoneistosta mitatut ilmanlaatua kuvaavat tiedot yhdistetään asukasrekisterin perusteella tiettyihin henkilöihin, yhden asukkaan tapauksessa tiettyyn henkilöön. Tällöin aitureiden avulla mitattu ilmanlaadusta kertova tieto luokitellaan henkilötiedoksi. Yleisesti tunnistettuja henkilötietoja ovat muun muassa nimi, kotiosoite, puhelinnumero, henkilökortin numero, auton rekisterinumero, paikannustiedot, IP-osoite sekä potilastiedot. Lisäksi muun muassa kameravalvonnan avulla tallennettu kuva ja ääni ovat henkilötietoja, mikäli yksityishenkilö on niiden perusteella tunnistettavissa. Kun henkilötietoja kerätään menetelmästä riippumatta, suoritetaan henkilötietojen käsittelyä ja tietorekisterien ylläpitoa, joka puolestaan edellyttää aina lain määrittämän käsittelyperusteen löytymistä. Henkilötietojen käsittelyä säätelee EU:n vuonna 2018 antama tietosuojasetus GDPR. Tietosuojasetus määrittelee kuusi henkilötietojen käsittelyyn oikeuttavaa käsittelyperustetta: rekisteröidyn suostumus, sopimus, rekisterinpitäjän lakisääteinen velvoite, elintärkeiden etujen suojaaminen, yleistä etua koskeva tehtävä tai julkinen valta sekä rekisterinpitäjän tai kolmannen osapuolen oikeutettu etu. Tietojen käsittelystä on lisäksi laadittava rekisteriseloste, josta rekisteröidylle käy ilmi muun muassa mitä tietoa kerätään, mihin tarkoitukseen tietoa kerätään, rekisteriä ylläpitävä taho, kuinka kauan tietoja säilytetään, missä tietoja säilytetään, mille tahoille kerättyä tietoa jaetaan, luovutetaanko tietoa kolmansille osapuolille sekä mitkä ovat rekisteröidyn oikeudet omiin henkilötietoihinsa liittyen. (Tietosuojavaalutetun toimisto 2021)

Tätä työtä kirjoitettaessa sidosryhmäkeskusteluista saatujen kommenttien mukaan on vielä harvinaista, että paloturvallisuuteen liittyvät teknologiat keräisivät kiinteistöistä henkilötiedoiksi luokiteltavia tietoja. Tulevaisuudessa kehitys voi kuitenkin mahdollistaa, että esimerkiksi paloilmaisimen keräämien olosuhdetietojen lisäksi muun muassa valvontakamerat sekä mikrofonit tallentaisivat kiinteistöistä tilojen käyttöasteisiin ja käyttäjiin liittyviä tietoja. Kaikki kuvatus mukainen tieto voitaisiin tapauskohtaisesti tulkita henkilötiedoksi. Kiinteistö- ja rakennusalan toiminnoissa kerättävien henkilötietojen käsittelyperusteena sovelletaan useimmiten muun muassa rekisterinpitäjän lakisääteistä velvoitetta tai oikeutettua etua. Esimerkiksi osakeluettelon tai remonttirekisterin ylläpito ovat taloyhtiön lakisääteisiä velvollisuuksia. Asukasluetteloiden pito sekä mittatietojen kerääminen asunnoista perustuu puolestaan rekisterinpitäjän oikeutettuun etuun. Asukasluetteloa ylläpidetään taloyhtiön käytännön asioiden hoitoa varten ja mittatietoa kerätään ylläpidon, huollon ja esimerkiksi energiankulutuksen sekä -hallinnan tarpeisiin. (Ilmastoviisaat taloyhtiöt 2020b) Mikäli edellä mainitun kaltaisia tietoja yhdistetään tulevaisuudessa rakennuksen tietomalleihin, muodostuu haasteita tietojen lainmukaisen käsittelyn toteutumiselle.

Kuvitteellisessa tilanteessa kiinteistöstä on muodostettu virtuaalinen malli, joka palvelee hyvin suurta joukkoa eri sidosryhmiä, jotka ovat kiinteistön kanssa tekemisissä jossain vaiheessa sen elinkaarta. Mallista on käyttöliittymän avulla luettavissa niin staattista rakenteisiin, järjestelmiin ja laitteisiin liittyvää tietoa, kuin myös dynaamista antureiden, kameroiden ja mikrofoniin välittämää tietoa. Mikäli tällaisessa ratkaisussa ei ole tarkkaan määriteltynä käyttö- ja tarkasteluoikeuksiin liittyviä sopimuksia, muodostuu riski henkilötietojen lainmukaisen käsittelyn laiminlyönnille. Tietojen pirstaloituminen hankaloittaa tiedon hyödyntämistä ja oikeuksien määrittelyä merkittävästi. Kiinteistöstä kerättyjä tietoja voivat pyrkiä hyödyntämään muun muassa pelastusviranomaiset, rakennusvalvonta, omistajatahot, palveluntarjoajat, laite- ja järjestelmätoimittajat, käyttäjät sekä huolto- ja ylläpitotoimijat. Rekisteriselosteiden ja tietoturvaratkaisujen keinoin on pyrittävä pääsemään ratkaisuun, jossa monimutkaiseksi ja rikkonaiseksi jakautuva tiedon ja sen hyödyntäjien muodostama verkosto, toimii henkilötietoja vallitsevien lakien ja asetusten mukaan käsittelevänä kokonaisuutena. Mitä todennäköisimmin käsitteen asettelusta riippuen digitaalisen kaksosen, olosuhdemallin tai ylläpitomallin toimiessa internet-pohjaisten käyttöliittymien kautta, muodostuu tietotekniikkaan liittyvä tietoturva kynnyskysymykseksi.

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tietomallinnusta voidaan hyödyntää läpi rakennushankkeen kaikissa sen eri vaiheissa. Tietomallinnusprosessi muodostaa rakennushankkeen elinkaaren eri vaiheista sekä toimialojen ja osapuolten tarpeista ja tuotoksista hankekohtaisesti yksilöllisen kokonaisuuden. Tietomallikokonaisuuden rakenteeseen vaikuttavat rakennuksen ominaisuudet ja erityispiirteet, tietomallinnettavaksi tilatut kokonaisuudet sekä rakennushankkeen elinkaaren vaiheet, joina tietomallia pyritään hyödyntämään. Tietomallin hyödyntämispotentiaalin on todettu olevan merkittävän suuri ja usein päädytäänkin listaamaan tyypillisimpiä tietomallin hyödyntämisen muotoja. Teknologioiden kehitys ja uudenlaisten liiketoimintamallien muodostuminen on reitti tietomallien yhä tehokkaammalle hyödyntämiselle. Nykykäytäntöjen mukaan tietomallinnuksesta saatavat hyödyt liittyvät suunnittelutyöhön ja sen laatuun, suunnitelmien ja ratkaisujen havainnollistamiseen ja dokumenttien tuottamiseen, rakennushankkeen taloudelliseen ja ajankäytölliseen ohjaukseen sekä työmaatoimintojen tukemiseen. Kokeiluluontoisissa hankkeissa sekä erilaisissa pilotoinneissa tietomallinnusta ja sen tuloksena saatua materiaalia on hyödynnetty käytön aikaisiin tarpeisiin, kuten esimerkiksi alustana kiinteistön huolto- ja ylläpitopalveluiden käyttöliittymissä ja sovelluksissa. Tietomallinnuksen hyödyntäminen paloturvallisuuden laadun varmistamiseen ja hallintaan sekä muihin paloturvallisuutta palveleviin tarkoituksiin nojautuu voimakkaasti rakennushankkeen parissa vaikuttaviin suunnittelualoihin. Paloturvallisuuden tietomallipohjainen kokonaisuus muodostuu arkkitehtisuunnittelun, rakennesuunnittelun sekä talotekniikan suunnittelun tietomallinnuksien yhteistyönä. Seuraavissa alakappaleissa viitataan Lehtoviidan & Rautiaisen (2019) tietomallin sisältötarpeista turvallisuuden näkökulmasta kertovan raportin sisältämiin listauksiin, joissa koostetaan tietomalleille esitettyjä sisältötarpeita niin tilaajan kuin pelastuslaitoksenkin puolesta. Listaukset on koostettu taulukkoon, joka on tämän työn liitteenä A. Liitteen sisältämään taulukkoon on koostettu kunkin sisältötarpeen kohdalle merkintä sen löytymisestä työn kirjoitushetkellä voimassaoleista yleisistä tietomallivaatimuksista (YTV2012). Lisäksi liitteeseen on koostettu sisältötarvekohtainen ehdotus, liittyen kyseisen tiedon esittämiseen tietomallissa. Liitteestä ilmenee myös tieto kunkin sisältötarpeen esiintymisestä tämän työn kirjoitushetkellä käynnissä olleista kehityshankkeista.

## 6.1 Tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden muodostuminen

Yksinkertaistettuna voidaan ajatella, että paloturvallisuusratkaisuihin vaikuttavat tekijät alkavat hahmottumaan hankkeen ehdotussuunnitteluvaiheessa, jonka päätteeksi valitaan hankkeen tavoitteisiin parhaiten soveltuvat ratkaisut. Ehdotussuunnitteluvaiheessa arkkitehtimalli muotoutuu pääpiirteittäin tulevia rakenteita kuvaavaksi. Rakennesuunnittelu ja talotekninen suunnittelu sovittavat omat suunnitelmansa ehdotusvaiheen arkkitehtimalliin. Yhteistyön tavoitteena on lopputulos, jossa rakennesuunnittelijoiden sekä talotekniikan suunnittelijoiden pääpiirteiset mallinnukset sopivat keskenään yhteen, ja edelleen yhteen myös arkkitehdin mallin kanssa. Rakennushankkeen yleissuunnitteluvaiheessa suunnittelualat mallintavat omia ratkaisujaan entistä tarkemmin, jolloin useat paloturvallisuuteen liittyvät mallinnukset saavat jo lopullisen muotonsa tietosisältöineen. Toteutussuunnitteluvaiheessa tietomalleja päivitetään suunnittelualoittain vastaamaan rakennushankkeen toteutusta mahdollisimman tarkasti. Toteutussuunnitteluvaiheessa on tyypillistä esimerkiksi järjestelmien, laitteiden ja tuotteiden yksilöivien tietojen, kuten tuotemerkkien ja valmistajien täsmentyminen. Rakentamisvaiheeseen siirryttäessä on suunnittelun aikainen tietomallikokonaisuus pidettävä ajantasaisena. On tyypillistä, että suunnitelmat eivät ole olleet riittävällä tarkkuudella tai yhteensovittamisen tarpeita ei ole pystytty laitteistokohtaisessa suunnittelussa huomioimaan, jolloin suunnitelmamuutoksia joudutaan tekemään asennusten aikana. Tällöin esimerkiksi tuotevalintoja saatetaan joutua muuttamaan ja asennus ei toteudu aiemmin esitettyjä suunnitelmia vastaavaksi. Haasteena tällöin on myös, että erityissuunnittelijan tekemissä suunnitteluperusteissa ei ole esitetty poikkeamia suunnitteluohjeista ja nämä aiheuttavat selvitysvaivaa tarkastusvaiheeseen ja voivat edellyttää myös korjauksia. Paloturvallisuutta palveleva tietomallikokonaisuus on luotettava ja uskottava vain silloin, kun sen tiedot vastaavat toteutuneen rakennushankkeen tietoja. Palontorjuntatekniikkaan liittyvä laadunvarmistaminen ja -hallinta ajoittuu rakennushankkeen elinkaareissa pitkälti käytön aikaan. Mikäli tietomallin prosessi on suoritettu onnistuneesti voimassa olevien vaatimusten ja ohjeiden mukaan, olettaen, että tietomallinnusta tilattaessa on osattu ottaa huomioon tarvittavat asiat, on tietomallia mahdollista käyttää lähtötietona ja alustana useisiin käytönajan tarpeisiin. Oikean asian löytyminen tietomallista tarkoituksenmukaisella koneluettavalla ja identifioivalla tiedolla varustettuna, on avainasemassa hyödyntämismahdollisuuksien kannalta. Erityisen tärkeää on myös, että tietomallin sisältö on vakioitu ja vakiointi tunnistettu kaikkien rakennusalalla toimivien osapuolien keskuudessa. Vakioitu tietosisältö mahdollistaa tietomallien tehokkaan hyödyntämisen niin suunnittelijoille kuin myös rakennuksen loppukäyttäjille. Suunnittelijan voi olla hyödyllistä jäsentää tietomallin sisältöä



esimerkiksi palokatkosuunnittelussa läpivientiaukkojen koon ja sijainnin mukaan. Tietomallin vastaanottajana toimivan kiinteistön omistajan voi olla puolestaan hyödyllistä tehdä jäsentely esimerkiksi sen mukaan, mitkä paloturvallisuusasennukset joko vaativat huoltoa tai eivät. (Järvenpää 2021)

### 6.1.1 Arkkitehtimalli

Työn aikana havaittiin arkkitehtisuunnittelun olevan hyvin merkittävässä roolissa tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden muodostumisessa. Lehtoviita & Rautiainen (2019) koostavat raportissaan *Tietomallien sisältötarpeet turvallisuuden näkökulmasta* listaukset sekä pelastuslaitoksen, että tilaajan asettamista tietomallien sisältötarpeista turvallisuusnäkökulmiin liittyen. Listausten sisältämien kohtien vertaaminen *Yleiset tietomallivaatimukset 2012* -julkaisusarjaan osoittaa, että suuri osa esitetyistä tarpeista kohdistuu arkkitehdin vastuualueelle. Listausten sisällössä esiintyy konkreettisia mallinnuksia, kuten esimerkiksi rakennusosia ja tuotteita. Konkreettisten mallinnusten rinnalla listauksesta löytyy myös sisältötarpeita, joiden mallintaminen näkyväksi tietomalliin ei ole luontevaa tai on nykyisin menetelmin haastavaa ja tarkoituksetonta. Tällaisia sisältötarpeita ovat muun muassa rakennushankkeen perustiedot, kuten rakennuksen paloluokka, korkeus, etäisyys ympäröiviin rakennuksiin, tai sisältötarpeet, joiden yhteydessä mainitaan *sijainti* tai *suunnitelmat*. Sijainti voidaan osoittaa mallinnuksen keinoin joko konkreettisesti objektin sijaitsemisella sille määrättyssä paikassa suhteessa ympäröiviin rakenteisiin tai erikseen kehitetyin haku-, suodatus- ja korostustyökaluin, joilla objektin sijainti saadaan selville ilman käyttäjän suorittamaa etsintää. Suunnitelmiin puolestaan sisältyy hyvin laaja-alaisesti erilaista tietoa. Suunnitelmien esittäminen mallinnuksen keinoin voidaan toteuttaa mallintamalla suunnitelmia vastaavat rakenteet tai asennukset todellisuutta vastaavasti ja esittämällä suunnitteluperusteet-, vaatimukset ja muut dokumentit esimerkiksi erillisessä tietokannassa irrallaan varsinaisesta tietomallista. Suunnitelmadokumenttien löytyminen erillisistä tietokannoista tietomalliin syötettyjen linkitysten kautta edesauttaa suunnitelmien päivitettävyyttä mutta luo puolestaan haasteen käyttöoikeudellisille sekä tietoturvaan liittyville asioille tiedon hajaantuessa yhä laajemmalle uusiin säilytyspaikkoihin.

Tietomallin sisältötarpeiden määrittely on ensimmäinen askel, jotta tietomalli saadaan valjastettua koko sen sisältämällä potentiaalilla edistämään paloturvallisuuden toteutumista. Toinen tässä työssä havaittu kehitystarve on paloturvallisuuteen liittyvän tietosisällön vakioiminen. Työn kirjoitushetkellä tietosisällön vakiontiin liittyen on kesken useita hankkeita, joista merkittävimpinä mainittakoon ympäristöministeriön RYHTI- ja RAVA2 -

hankkeet sekä rakennusalan yhteinen yleisten tietomallivaatimusten YTV2020 -päivittämishanke. RYHTI-hankkeen tavoitteena on yhtenäistää koko rakennusalan tuottama informaatio ja tietosisältö. RAVA2-hanke puolestaan määrittelee tietomallien tietosisältövaatimuksia rakennusvalvonnan tarpeita huomioiden. Yleisten tietomallivaatimusten päivittämisellä pyritään muodostamaan kattava nimikkeistöjen ja tietomalliin syötettävien tietojen vakiointi. Vakioinnin ansiosta tulevaisuuden tietomallit pyritään saamaan tietorakenteeltaan sellaisiksi, että niistä pystytään lukemaan ja tunnistamaan koneellisesti mitä tahansa niihin mallinnettua sisältöä, riippumatta mallinnukseen käytetystä sovelluksesta tai tietomallinnusta suorittavasta organisaatiosta.

Arkkitehtisuunnitteluun liittyvistä paloturvallisuuden sisältötarpeista löytyy mainintoja ja vaatimuksia YTV2012-julkaisusarjasta. Liitteen A mukaisessa sisältötarvelistauksessa on myös useita määrittelyjä, joita ei ole löydettävissä tietomallinnusta ohjaavista julkaisuista. Useat suoraan mihinkään suunnittelualaan YTV2012-julkaisusarjassa kohdentamattomat sisältötarpeet päädyttiin tämän työn muodostaman kokonaiskuvan perusteella ehdottamaan kohdistettavaksi arkkitehdin työnkuvaan. Mallinnusohjeiden sekä -vaatimusten lisäksi olennaista on, että kaikki Lehtoviidan & Rautiaisen (2019) raportissa esitetyt paloturvallisuuden sisältötarpeet otetaan mukaan myös YTV2020-tietosisällön vakiointityöhön. Arkkitehtisuunnittelun keskeisimmät paloturvallisuuteen liittyvät tietomallinnukset ovat luonteeltaan kohteen perustietoja, rakennusosa- ja -tuoteobjekteja, tilaobjekteja sekä eri objekteille kohdistettavia tietoja.

YTV2012-julkaisusarjan arkkitehtisuunnittelua käsittelevän 3. osan mukaan minimivaatimuksena on, että IFC-tiedonsiirrossa tilaobjektiin liittyen siirtyvät tilan tunnistetiedot ja tilan käyttötarkoituksesta kertovat tiedot. Arkkitehtien mallinnusohjelmistoissa tilatyökalu, joilla tilaobjektit mallinnetaan, on keskeisen tärkeä työkalu usean eri paloturvallisuustiedon mallinnuksessa. Tilan tietosisällön huolellinen ja johdonmukainen määrittäminen yhdessä eri kuvatasojen kanssa mahdollistaa tilaobjektien käytön hankkeen myöhemmissä vaiheissa muun muassa palo-osastoihin, talotekniikan palvelualueisiin sekä tiloihin kohdistuvien vaatimusten tarkasteluissa. Tilaobjektien tunnistettavuus ja varustaminen tarkoituksenmukaisella tietosisällöllä tukevat myös tietomallin hyödynnettävyyttä esimerkiksi kiinteistön huollon ja ylläpidon sovelluksissa sekä olosuhdemallin muodostamisessa. Kutakin tilaa, huonetta tai aluetta kuvaava tilaobjekti, voisi olla varustettuna tiedoilla, jotka kertovat tilan ominaisuuksista, käytöstä ja tilaan kohdistuvista erityistarpeista sekä vaatimuksista. Tietosisällön vakioinnissa tähdätään tilanteeseen, jossa kaikki rakennuksen tietomallin sisältämä tieto olisi koneellisesti tunnistettavissa. Koneellisuudella voitaisiin saada esimerkiksi tarkastusten ja rakennusvalvonnan käyttöön

automatisoituja työkaluja, joilla rakentamisen valvontaa saataisiin tehostettua. Tulevaisuuden ratkaisuilla voisi olla esimerkiksi mahdollista suorittaa automatisoitu tarkastus, jolla selvitetäisiin tilojen poistumisteiden mitoituksen riittävyys. Tarkastusta varten vaadittaisiin tilaobjekti, josta luettaisiin tilan käyttötarkoitus, henkilömäärä sekä tilan geometriset tiedot. Lisäksi tarvitaan kyseiseen tilaan tunnistettavasti yhdistetty tieto kulkureiteistä ja ovista. Tarkastuksen tehokkuus perustuisi vakioidun IFC-skeeman mukaisesti järjesteltyyn tietosisältöön, jota pohjatietona käyttäen voitaisiin tietoja lukea ilman, että tietomallia tarvitsisi välttämättä avata lainkaan. Tilaobjekti voi myös tarjota ratkaisun niiden liitteessä A esitettyjen sisältötarpeiden mallinnukseen, joissa kyseessä on joko objektin sijainnin, suunnitelmien tai vaatimusten sisällyttäminen tietomalliin. Luonteva tapa esimerkiksi ilmanvaihdon tai lämmitysjärjestelmien paloturvallisuusvaatimusten esittämiselle voisikin olla linkityksen sisällyttäminen kyseisten konehuoneiden tilaobjektien tietoihin. Linkityksen takaa löytyisi kulloinkin kyseessä olevia vaatimusdokumentteja, suunnitelmia tai muita laajempia tietosisältöjä, joita ei muutoin ole mahdollista esittää luontevasti tietomallien tarjoamin keinoin.

Perustiedot rakennushankkeesta, kuten esimerkiksi paloluokka, palovaarallisuusluokka, suojaustaso tai muut vastaavat mallinnuksen keinoin hankalasti esitettävät tiedot voitaisiin määritellä ja vakioida esitettäväksi erillisen yleistieto-objektin ominaisuuksiin. Erillinen yleistieto-objekti voisi olla kolmiulotteinen mallinnusobjekti tunnistettavasti ja havaittavasti irrallaan varsinaisesta rakennuksen mallista. Nykyisen käytännön mukaan mallinnusohjelmistoilla saatetaan tietomalliin sisällyttää joitain hankkeen yleistietoja, kuten esimerkiksi osoitteita ja rakennustunnuksia. mutta niitä ei kuitenkaan ole luontevin työkaluin ja menetelmin mahdollista havainnoida ja etsiä tietomalleissa esimerkiksi tietomallien tarkasteluohjelmistojen avulla. Ratkaisu yleistietojen esittämiseen tietomallissa voisi olla erillinen objekti, joka olisi sisällöltään vakioitu ja kokoaisi yhteen kaikki vaadittavat hankkeen yleistiedot. Tällöin yleistieto-objektia tarkastelemalla saataisiin esille kattavasti mallinnuksen keinoin muuten vaikeasti esitettävissä olevaa tietoa. Rakennushankkeen yleistiedot saataisiin näin koottua selkeästi ja koneellisesti tunnistettavaan paikkaan. Yleistieto-objektin voitaisiin ajatella olevan eräänlainen tietomallien yhteydessä käytettävä vastine perinteisissä 2d-piirustuksissa ja suunnitelmissa totutusti esiintyville yleisteksteille sekä nimiöille. Yleistieto-objektin käyttöönottoa voitaisiin perustella esimerkiksi, kun kokemattomampi käyttäjä etsii kohteen yleistietoja tietomallin tarkasteluohjelmiston avulla. Tavanomaisia 2d-piirustuksia katsottaessa, havaitaan arkin kulkussa usein nimiöruutu. Vastaavasti tietomallia tarkasteltaessa havaittaisiin kokemattomamman käyttäjän toimesta kohteesta irrallaan oleva, esimerkiksi kuution muotoinen objekti, jonka valitsemalla saisi näkyviin kattavasti kaikki kohteelle syötetyt yleistiedot.

Käyttämällä arkkitehdin mallinnustyökaluja tietomalleihin voitaisiin luoda myös kuvitteellisia objekteja kuvaamaan esimerkiksi pelastuslaitoksen kannalta tärkeitä tietoja, kuten hyökkäysreittejä sekä esimerkiksi pelastusteitä ja nostopaikkojen sijainteja. Erilaisten sijaintien ja paikkojen osoittaminen voitaisiin mallintaa esimerkiksi selkeästi erottuvan värisillä nuoliobjekteilla oikeisiin paikkoihin sijoiteltuna. Mikäli kyseessä olisi esimerkiksi pelastuslaitoksen hyökkäysreittiä kuvaava nuoliobjekti, olisi se tietosisällöltään tunnistettavissa pelastuslaitoksen tilaamaksi tiedoksi tai mallinnettuna pelastuslaitoksen tietoja sisältävälle kuvatasolle.

### 6.1.2 Rakennemalli

Rakennesuunnittelijan rooli nimenomaan paloturvallisuutta palvelevan tietomallikonaisuuden muodostamisessa on tutkimuksen aikana saatujen havaintojen mukaan melko paljon pienempi verrattuna arkkitehdin ja talotekniikan suunnittelijoiden rooleihin. *Yleiset tietomallivaatimukset 2012* -julkaisusarjan rakennesuunnittelua käsittelevän osan 5 mukaan rakennemalliin mallinnetaan kaikki kantavat rakenteet sekä ei-kantavat betonirakenteet, joiden lisäksi mallinnetaan myös kaikki sellaiset tilaa vievät rakennustuotteet, joiden koolla ja sijainnilla on merkitystä muille suunnittelijoille. (YTV2012, osa 5) Paloturvallisuuteen liittyen tilaa vieviin rakennustuotteisiin lukeutuu paloturvallisuuden kannalta esimerkiksi kaikki paloeristeinä toimivat osat ja materiaalit kuten teräspalkkien palokoteloinnit sekä osastoivien rakenteiden sisältämät paloeristeet. Rakennesuunnittelija sovitaa rakennejärjestelmän yhteensopivaksi niin arkkitehdin mallin kuin talotekniikankin tietomallin kanssa. Paloturvallisuussisältöön liittyen rakennesuunnittelijan eräs merkittävimmistä mallinuksista liittyy kantavien ja jäykistävien rakenneosien mallinnukseen sekä niiden varustamiseen palonkestoa kuvaavalla tiedolla. Osin esimerkiksi rakenteiden palonkestoajaan liittyen, on rakennesuunnittelijan syötettävä rakenneosien tietoihin myös maininnat pintakäsittelyistä, jotka vaikuttavat esimerkiksi kantavan palkin palonkestoon. Kantavien rakenteiden mallintamisen lisäksi rakennesuunnittelijan on mahdollista mallintaa palo-osastointiin osallistuvat osastoivat rakenteet siten, että ne voidaan koneellisesti tunnistaa ja suodattaa näkyviin esimerkiksi palotarkastusten yhteydessä tietomallin tarkastelusuovelluksen avulla. Edelleen tietosisällön vakioimistarve kohdistuu myös rakennesuunnittelijan mallinuksiin. Yhtenäistetyt mallinnuskäytännöt ja esimerkiksi osastoivien rakenteiden varustaminen vakioidulla tietosisällöllä on edellytys osastoinnin tietomallipohjaiselle tarkastelulle rakennuksen elinkaaren myöhemmissä vaiheissa. Talotekniikan vaatimat järjestelmien tilavaraukset ja läpiviennit sovitetaan yhteen rakennemallin kanssa. Kun esimerkiksi palo-osastot ja talotekniikan läpivientien palokatot on mallinnettu vakioiduilla tunnisteilla, voidaan puutteellisesti varustetut läpiviennit

tunnistaa osastoihin kohdistetuissa tarkastuksissa jo ennen työmaalla tapahtuvaa palokatkosten toteutusta.

### 6.1.3 Talotekniikan tietomallit

Talotekniikan tietomalleissa paloturvallisuussisältö koostuu erilaisten järjestelmien ja laitteistojen mallinnuksista. *Yleiset tietomallivaatimukset 2012* -julkaisusarja esittää mallinnettavaksi useita Lehtoviidan & Rautiaisen (2019) raportin listauksesta löytyviä turvallisuuteen liittyviä tietomallien sisältötarpeita. Tämän työn kirjoitushetkellä YTV2020-hanke on puolestaan vakioimassa talotekniikan nimikkeistöjä ja tietosisältöjä. Lähes kaikki Lehtoviidan & Rautiaisen (2019) raportin esittämät talotekniikkaan sekä palontorjuntatekniikkaan liittyvät turvallisuuden sisältötarpeet on otettu huomioon YTV2020-hankkeen tietosisällön vakiointityössä. Useat sisältötarvevaatimukset esittävät taloteknisten laitteiden ja järjestelmien sijainnin esittämistä tietomallien keinoin. Sijainnin esittäminen tapahtuu mallinnuksen seurauksena osittain automaattisesti, kun eri objekteja sisällytetään tietomalleihin. Sijainnin esittäminen muutoin kuin konkreettisella mallinnuksella oikeaan asemaan on tehtävä erikseen kehitettävien työkalujen avulla. Sijainnin esittämisen tarve kohdistunee muihin kuin natiivimalleihin ja tietomallinnuksessa käytettäviin sovelluksiin. Sijainnin esittämisen kehittämistä on toteutettava tietomallien tarkastelusovelluksissa, joissa kylläkin on jo olemassa runsaasti erilaisia tiedon ja objektien suodatus- ja etsintätoimintoja. Toiminnallisuuksista huolimatta tietomalleissa voi usein olla niin paljon sisältöä, että tietyn laitteen löytäminen mallista on etsintätyökaluista huolimatta haastavaa. Sijaintia voidaan esittää tietomallien tarkastelusovelluksissa esimerkiksi hakutapahtuman jälkeen korostamalla haetun sisällön väriä tai esitystapaa muuhun ympäröivään tietomallisisältöön verrattuna. Hakutoiminnolla voitaisiin myös saada aikaan tietomallia hyödyntävän sovelluksen näkymän siirtyminen haetun objektin läheisyyteen. Rakennuksen käytön ajan sovelluksissa, kuten huoltokirjapalveluissa ja olosuhdemalleissa oikeiden järjestelmien ja mallinnusten löytyminen tunnistettavasti talotekniikan tietomallista on tärkeää, jotta laitteiden ylläpitotietoja voidaan hallita tai esimerkiksi rakenteiden takana piilossa olevia järjestelmiä voidaan havainnoida.

Talotekniikan mallinnuksissa *Yleisten tietomallivaatimusten 2012* talotekniikkaa käsittelevän osan 4 mukaan tyyppillistä on mallihuoneajattelu, jonka mukaan yleissuunnitteluvaiheessa kohteesta valitaan mallihuone tai -alue. Mallihuoneeseen tai -alueeseen mallinnetaan ohjeen mukaan kaikki talotekniikka, jolla on tilavaraus tai toiminnallinen merkitys. (YTV2012, osa 4) Esimerkiksi pelastuslaitoksen toiminnan sekä rakentamisen valvontaja tarkastustoiminnan kannalta olisi kuitenkin tärkeää siirtyä pois mallihuoneajattelusta, ja mallintaa tilojen ja huoneiden talotekniset asennukset kaikkiin rakennuksen tiloihin

(Lehtoviita & Rautiainen, 2019). Ylläpidon käyttöön tähtäävän tietomallin hyödyntämisen kannalta on myös tunnistetusti tärkeää, että rakennuksen valmistumisen jälkeen luovutettu malli on as-built -malli, eli toteuttaa vastaava niin rakennusosiltaan kuin laitteisto- ja järjestelmäsensuillaankin. As-built -mallin vaatimus ei toteudu mallihuonemenetelyä sovellettaessa.

## **6.2 Tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden hyödyntäminen**

Tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden hyödyntäminen perustuu kaikkien suunnittelualojen tietomalleista muodostuvaan yhdistelmämalliin. Yhdistelmämallin IFC-tiedosto sisältää täsmälleen ne tiedot, joita suunnittelua tilattaessa on määritetty otettavaksi mukaan tietomallinnustyöhön. Vakioitu tietosisältö ja koneluetavuus avaavat mahdollisuuden kehittää sovelluksia paloturvallisuuden edistämiseksi niin kiinteistön käyttäjien, huoltajien, valvontaviranomaisten kuin myös pelastuslaitoksen tarpeisiin. Nykyään on jo olemassa tietomallipohjaisia sovelluksia, joita käytetään muun muassa kiinteistöjen toimitilajohtamiseen tai ylläpitopalveluiden tuottamiseen (Pöyry Finland Oy, 2019). Nykyiset tietomallipohjaiset rakennuksen käytön aikaan suunnatut sovellukset ovat kuitenkin palveluntuottajista riippuen hyvin yksilöllisiä sekä toimintaperiaatteiltaan keskenään eriäviä. Sovellusten yksilöllisyys johtunee osittain tietomallien tietosisällön vakioimattomasta nykytilasta. Eri suunnittelualojen sovellukset tuottavat työkaluillaan kylläkin IFC-skeeman mukaiseksi tallennetun tietomallin IFC-tiedoston, mutta tiedoston sisältö sekä tiedon järjestys ja tunnistettavuus eivät ole yhteneväisiä rakennusalan toimijoiden kesken. Ensinnäkään käytetyt rakennusosia ja -tuotteita kuvaavat nimet ja tunnukset eivät välttämättä aina vastaa toisiaan suunnittelutahojen kesken. Toisekseen käytetyt sovellukset tuottavat tietomalliin ja sitä kautta IFC-tiedostoon kylläkin tarkoitukseltaan yhtenevää tietoa, mutta sen muoto, tunnistettavuus ja sijainti IFC-tiedoston hierarkiassa eroavat toisistaan. Lisäksi tietomallikokonaisuuksien rakennetta monimutkaistaa mallinnussovellusten mahdollisuus suunnittelijakohtaisten työkalujen ja yksilöllisten objektien syötettävien ominaisuuksien luontiin. Suunnittelijan itsensä määrittämät ja nimeämät ominaisuuksitiedot ovat lähtökohtaisesti tunnistettavissa ainoastaan niiden olemassaolosta tietoisille tahoille.

Keskeiset käsitteet tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden hyödyntämiseen liittyen ovat ylläpitomalli sekä olosuhdemalli. Halmetoja (2016) listaa raportissaan ylläpitomallin käyttömahdollisuuksista turvallisuuden tarpeisiin seuraavia toimintoja:

- turvallisuushenkilöstön perehdytys

- turvakävelyjen visualisointi
- hyökkäysreittien suunnittelu
- hätäpoistuminen
- sammutussuunnitelmat
- paloilmoittimien paikantamiskaaviot
- savuntuuletus
- palo-osastot
- ATEX-alueet
- ovikartat ja avainsarjat
- automaattisen vesisammutuslaitteiston suojausalat ja kaasusammutusalueet

Olosuhdemallin käytöstä turvallisuuden tarpeisiin Halmetoja puolestaan (2016) listaa:

- poistumisopastus
- palo- tai pelastustoiminta-alueen toteaminen
- henkilöiden paikantaminen
- ovien auki/kiinni tilat

Suuri osa edellä mainituista ylläpitomallin sekä olosuhdemallin käyttötavoista on mahdollista toteuttaa jo nykyisillä tietomallinnuksen menetelmillä ja työkaluilla. Ylläpitomallien kohdalla haasteet ja tulevaisuuden kehitystarpeet liittyvät paloturvallisuuskokouksen tärkeyden ja lisäarvon tunnistamiseen. On erityisen tärkeää, että tietomallinnusta tilaava osapuoli osaa tunnistaa paloturvallisuuskokonaisuuden tuottaman lisäarvon ja roolin toiminnan jatkuvuuden turvaajana. Lisäksi tarvitaan liiketoimintamallien kehittämistä sekä tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden markkinointia, jotta mallinnustyötä tilattaessa tilaajaosapuolen olisi nykyistä helpompi tunnistaa tietomallinnuksen tarjoamia mahdollisuuksia ja tätä kautta tilata mallinnustyötä oikeita asioita. Paloturvallisuuden näkökulmasta olosuhdemalleihin liittyvät kehitystarpeet ja haasteet liittyvät etenkin olosuhdemalleja hyödyntävien käyttäjäsovellusten, käyttölaitteiden ja rajapintojen hyödynnettävyyteen. Rakennuksen käytön ajan olosuhdemallit palvelevat normaalitilanteissa rakennuksen käyttäjää, ylläpitoa ja omistajaa tuottamalla informaatiota muun muassa rakennuksen tilojen olosuhteista sekä energiankulutuksesta. Paloturvallisuuden osalta olosuhdemallin hyödyntämispotentiaali liittyy pitkälti onnettomuustilanteeseen ja pelastus-

toiminnan tukemiseen. Olosuhdemallia on mahdollista käyttää pelastustoiminnan tukemiseen niin ajomatalla onnettomuuskohteeseen kuin myös onnettomuuspaikalla sekä etäyhteyksin tilanne- tai johtokeskuksesta. Olosuhdemallin hyödyntämiseen pelastustoiminnan tukena liittyy kuitenkin useita haasteita ja käytännön ongelmia. Olosuhdemallin tallennuspaikka ja saatavuus pelastuslaitoksen käyttöön, langattoman tiedonsiirron nopeus ja varmatoimisuus, käytettävän tiedon luotettavuus, olosuhdemallin käyttösovellukset sekä olosuhdemalliin kiinteistöstä tietoa tuottavien anturien ja laitteiden toiminta palotilanteessa ovat haasteita, joihin tulee tulevaisuudessa pyrkiä löytämään ratkaisuja, jotta olosuhdemallien havaitut hyödyt saadaan realisoitumaan. (Lehtoviita et al, 2019)

IFC-tiedostomuotoon tallennettu tietomalli tarjoaa mahdollisuuden rakennuksen geometrian ja asennusten visualisoinnille nykyteknologian tarjoamin virtuaalisen todellisuuden ja lisätyn todellisuuden ratkaisuin. Kaikenlainen paloturvallisuuteen liittyvä perehdytystoiminta, kohteisiin tutustuminen sekä koulutusluontoinen toiminta voidaan toteuttaa tehokkaasti, havainnollistavasti sekä esimerkiksi etänä ennen varsinaiseen kohteeseen saapumista ja rakennuksen tilojen käytön alkamista. Virtuaalisen ja lisätyn todellisuuden ratkaisuilla voidaan myös arvioida sekä tarkastella rakennusratkaisujen, esimerkiksi turvavalaistusten ja poistumisopasteiden näkyvyyttä ja asennuksia työmaavaiheen aikana. Tietomallien tarjoamin keinoin tai esimerkiksi tietomallin käsitteestä eroavien kevyempien mallien, kuten 360-valokuvamallien keinoin voisi myös olla mahdollista toteuttaa laajoissa kiinteistöissä turvallisuutta edistävää perehdytystoimintaa. Esimerkiksi yliopistokampusten tyyppiset laajat kiinteistöt sisältävät suuren määrän erilaisia tiloja, kuten erilaiset luokkatilat ja atk-työskentelytilat. Tyypillistä kuvailun kaltaisille tiloille on, että käyttäjät voivat liikkua ja hyödyntää kiinteistön tiloja oman mielensä mukaan kenties jopa vuorokauden ympäri kulkutunnisteiden avulla. Toimintamalli, jossa tietyn tilan, esimerkiksi atk-luokan käyttäminen edellyttäisi 360-valokuvamallin pohjalta suoritettavan kunkin tilan mukaisen turvallisuusperehdytyksen suorittamista, voisi olla tehokas ratkaisu parantamaan paloturvallisuuden toteutumista. Kuhunkin tilaan yksilöidysti toteutettu 360-valokuvamallipohjainen paloturvallisuusperehdytys voisi sisältää tutustumisen muun muassa tiloista poistumiseen, tilan alkusammutuskalustoon ja esimerkiksi ensiaputoimintaan liittyen.

### **6.3 Tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden prosessi ja sen hallinta**

Tietomallipohjainen paloturvallisuuskokonaisuus muodostuu eri suunnittelualojen yhteistyön tuloksena. ARK, RAK ja TATE-suunnittelualojen työtä täydentää lisäksi erityissuunnittelijoiden luomat mallinnukset ja suunnitelmat. Kappaleet 6.1.1, 6.1.2 ja 6.1.3 kuvaavat



paloturvallisuuskokonaisuuden muodostumista suunnittelualoittain. Tämän työn ohessa esitettävässä liitteessä A selvitetään paloturvallisuuskokonaisuuden kannalta merkittäviä tietomallisisältöjä. Yhteen liitteen A esittämän taulukon sarakkeista on lisätty merkintä suunnittelualasta, jolle *Yleiset tietomallivaatimukset 2012* -julkaisusarjassa on ohjeistettu kyseisestä mallinnuksesta vastaava suunnitteluala. Mikäli mallinnusvaatimukset eivät suoraan ota kantaa minkä suunnittelualan vastuulla tietyn sisältötarpeen mallintaminen on, on tämän työn muodostaman ymmärryksen perusteella esitetty ehdotus mallinnuksen toteuttavasta suunnittelualasta.

Paloturvallisuuskokonaisuuden prosessi alkaa jo varhain rakennushankkeen alkaessa. Prosessi etenee suunnitteluvaiheiden kautta toteutukseen ja lopulta rakennuksen käyttöönottoon ja käytönaikaan. Käytön aikana prosessiin kohdistuvia muutos- ja päivitystarpeita luovat muun muassa omistajatahon vaihtuminen, käyttötarkoituksen muutokset, korjaus- ja täydennysrakentaminen sekä ylläpidon ja huollon toiminnoista aiheutuvat muutokset. Tietomallipohjaisen paloturvallisuusprosessin vastuutahoksi rakennushankkeeseen ehdotetaan paloturvallisuuden toteutumisesta vastaavaa tietomallikoordinaattoria. Tietomallikoordinaattori voi olla joko erillinen henkilö, pääsuunnittelija tai muu hankke johdon nimeämä taho (YTV2012, osa 1). Tietomallikoordinaattorin tulee olla riittävän pätevä ja osaava henkilö, joka omaa tarvittavan kokemuksen ja asiantuntemuksen tietomallintamisesta ja projektinhallinnasta. Tietomallikoordinaattorin tehtävät rakennushankkeessa vastaavat osittain pääsuunnittelijan tehtäviä, mutta ovat luonteeltaan varsin teknisiä. Tietomallikoordinaattorin tehtäviin lukeutuu muun muassa tietomallinnustavoitteiden-, päämäärien sekä tietomallinnuksen käytön laajuuden kuvaaminen. Lisäksi tietomallikoordinaattori hoitaa, ohjeistaa, hallinnoi ja koordinoi tietomallinnusprosessia koko hankkeen ajan ja raportoi mallintamisen tilanteesta, laadunvarmistuksesta ja tehdyistä mallinnustoimenpiteistä projekti- ja suunnittelujohdolle. Tietomallikoordinaattorin tehtäviin voi kuulua myös eri suunnittelutahojen mallinnusten yhteensovittaminen sekä yhdistelmämallien luominen. (YTV2012, osa 11) Tietomallikoordinaattorin osallistuessa hankkeen paloturvallisuuskokonaisuuden muodostamisen koordinointiin, on hänellä oltava myös riittävä ymmärrys ja tietotaito paloturvallisuuskokonaisuuden muodostavista mallinnussisällöistä. Etenkin tietomallinnustavoitteiden määrittelyssä tietomallikoordinaattorista on paloturvallisuuden tarpeisiin sitä enemmän hyötyä, mitä enemmän tietämystä hänellä on rakentamisen paloturvallisuuteen liittyen. Tietomallikoordinaattorin tehtävän laajuuden hallitsemiseksi paloturvallisuuskokonaisuuden koordinointia voisi olla tarpeen hajauttaa eri suunnittelualojen mallinnuksesta vastaaville henkilöille, kokonaisuuden vetovastuun pysyessä kuitenkin edelleen hankkeeseen nimetyllä tietomallikoordinaattorilla.

Rakennushankkeen valmistuttua tietomallipohjainen paloturvallisuuskokonaisuus jatkaa olemassaoloaan joko arkistoihin talletettuna passiivisena tietosäiliönä tai sitten aktiivisemmassa käytössä rakennuksen käytön aikaan sidoksissa olevien tahojen toimintojen tukena erilaisten alustojen, sovellusten ja teknologioiden kautta. Paloturvallisuuskokonaisuuden laadun varmistaminen ja hallinta perustuvat paloturvallisuustietoisuuden ja -ratkaisujen ylläpitoon sekä palontorjuntatekniikan kunnossapitoon ja asianmukaisiin päivityksiin. Rakennuksen toteutukset ja järjestelmät tuntevaa tietomallikoordinaattoria ei oletettavasti ole välttämättä enää käytettävissä käytönaikaisten tietomalliin kohdistuvien päivitystarpeiden ilmetessä esimerkiksi usean käytössäolovuoden, jopa vuosikymmenen jälkeen. Tietomallin päivitystarpeiden huolehtimisvelvollisuutta ollaankin tämän työn kirjoitushetkellä käynnissä olevassa kaavoitus- ja rakennuslain uudistushankkeessa ehdottamassa osoitettavaksi rakennuksen omistajataholle. Luonnollisesti voidaan katsoa tietomallipäivitysten huolehtimisen olevan omistajataholle haastavaa ensinnäkin tietoteknisistä syistä sekä toisekseen rakennusalan sekä paloturvallisuuteen liittyvän asiantuntemuksen puutteen vuoksi. Tulevaisuudessa tuleekin kehittää uusia palveluita, toimintamalleja sekä liiketoimintaa tietomallipäivitysten ympärille. Käytön aikaisten omistajatahon vastuulla olevien tietomallipäivitysten huolehtiminen ja toteuttaminen tietomalliin katsottiin tätä työtä tehdessä toiminnoksi, joka tulevaisuudessa tulee olemaan erikseen ostettava palvelu. Edeltävän kaltaisen liiketoiminnan muodostaminen on yksi kannustimista tietomallien rakenteen ja sisällön vakiointityöhön, sillä kuvailtu tietomallipäivityspalvelu osoittautunee sitä haastavammaksi, mitä sekalaisempaa ja vakioimattomampaa tietomallien sisältö on.

## 7. YHTEENVETO

### 7.1 Tutkimus ja tulokset

Tässä työssä pyrittiin selvittämään jatkuvasti yleistyvän ja kehittyvän tietomallintamisen ja sen tuloksena syntyvien tietomallien yhteyksiä rakennusten paloturvallisuuteen. Työssä pyrittiin muodostamaan kokonaiskuva ja käsitys paloturvallisuuden esiintymisestä työn kirjoitushetkellä vallitsevien käytäntöjen tapaan luoduista tietomalleista. Nykyhetken kuvauksen ohella selvitettiin myös tietomallinnuksen tarjoamia mahdollisuuksia, joilla rakennusten paloturvallisuuden laadunhallintaa ja -varmistamista saataisiin toteutettua entistä tehokkaammin ja rakennusalan digitalisaatiota tukevin menetelmin. Tutkimuksen taustalla ovat johdantokappaleessa esitellyt aiemmat paloturvallisuuteen keskittyvät tutkimukset. Tutkimus on jatkoa Janne Mäkelän (2020) laatimalle integroituvaa paloturvallisuutta ja älyrakentamista käsittelevälle diplomityölle. Työn aikana suoritettiin kirjallisuuskatsaus, jossa etsittiin sekä kotimaista, että kansainvälistä materiaalia paloturvallisuuteen ja tietomallinnukseen liittyen. Lisäksi kirjallisuuskatsauksen materiaaleina totutuista tieteellisistä julkaisuista poiketen toimivat lukuisat erilaiset dokumentit ja verkkosivustot. Työn aikana järjestettiin myös useita rakennusalan eri sidosryhmille pidettyjä vapaamuotoisia keskustelutilaisuuksia, joissa keskustelijoille esitettiin kysymyksiä paloturvallisuusasioiden ja tietomallinnuksen välisistä yhteyksistä. Keskustelujen avulla pyrittiin kartoittamaan paloturvallisuuteen liittyvän tietomallintamisen nykytilaa, siihen liittyviä asenteita ja näkemyksiä rakennusalan toimijoiden keskuudessa.

Tietomallinnus työskentelymuotona sekä työkaluna, sen kehittyminen ja käyttöön vakiintuneet menetelmät ovat työn kirjoitushetkellä vahvasti kaupallisten toimijoiden ohjailtavissa. Ohjelmistotalot ja sovelluskehittäjät tarjoavat yrityksille omia tietomallinnuksen tuotteitaan, joista jokaisen tapa luoda tietomalliin sisältöä ja tallentaa sitä, eroavat enemmän tai vähemmän toisistaan. Rakennusalan yhteisöt ja yhteenliittymät kuten buildingSMART:n kaltaiset organisaatiot määrittävät ja kehittävät muun muassa yleisiä tietomallivaatimuksia, mallinnusohjeita sekä esimerkiksi nimikkeistöjä. Yhteiset toimintaohjeet sekä vaatimukset ovat kuitenkin tähän hetkeen mennessä keskittyneet pääosin tietomallien geometriseen sisältöön sekä muihin mallinnusteknisiin asioihin. Paloturvallisuuden tukemiseen ja paloturvallisuuskokonaisuuden muodostamiseen soveltuvan tietomallin on oltava nimensä mukaisesti malli, joka sisältää tietoa. Sisältääkseen oikeanlaista ja tarpeenmukaista tietoa, on malliin syötettävän tiedon oltava vakioitua ja luokiteltua siten, että se on koneluettavissa ja tunnistettavissa niin alkuperäisen suunnittelijan,

kuin myös täysin ulkopuolisenkin toimijan, kuten esimerkiksi rakennusvalvontaviranomaisen toimesta. Nykyiset mallinnusohjeet ja käytännöt eivät luo suunnittelutahojen kesken tietorakenteiltaan yhteneviä tietomalleja, jolloin kulloisissakin yhteistyötilanteissa tietomallipohjainen tiedon jakaminen, sen löytäminen ja sen yhteensovittaminen on erikseen sovittava ja käsiteltävä.

Työn tavoitteiksi asetettiin kokonaiskuvan muodostaminen tietomalleihin syötettävän paloturvallisuussisällön nykytilasta sekä tulevaisuuden mahdollisuuksista. Lisäksi pyrittiin selvittämään tietomallien käyttömahdollisuuksia koko rakennuksen elinkaaren aikaisessa paloturvallisuuskokonaisuuden muodostamisessa, ylläpidossa ja laadun varmistamisessa sekä hallinnassa. Lisäksi työn tavoitteisiin lukeutui pyrkimys saada muodostetuksi eräänlainen prosessikuvaus tai ohjeistus siitä, kuinka tietomallipohjainen paloturvallisuuskokonaisuus muodostetaan, kuinka sitä hallitaan ja kuinka sitä ylläpidetään. Työn tavoitteet saavutettiin osittain, joskin jatkotutkimukselle sekä kehitystyölle jäi oma tarpeensa. Paloturvallisuuden tietomallinnuksen kokonaiskuvan muodostaminen katsottiin onnistuneeksi niin nykyhetken kuvauksen kuin myös tulevaisuuden mahdollisuuksien osalta. Lisäksi työssä onnistuttiin kuvaamaan tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden ilmenemistä rakennuksen elinkaaren kaikissa eri vaiheissa. Työhön sisällytettiin myös kattava selvitys tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden hyödyntämisen eri muodoista ja tietomallisisällön esitysmenetelmistä. Uutta sisältöä tuotettiin esimerkiksi kappaleen 4.3 esittelemän kevyen mallinnuksen keinoin luoduilla paloturvallisuussisällön mallinnuskokeiluilla. Osittain saatiin muodostettua kappaleen 6.3 mukainen kuvaus tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden prosessista. Prosessin kuvauksen runkona toimi Lehtoviidan & Rautiaisen (2019) *Tietomallien sisältötarpeet turvallisuuden näkökulmasta* työhön koostettu listaus tietomallien paloturvallisuuteen liittyvistä sisältötarpeista. Listauksen sisältöä tutkittiin ja vertailtiin muuhun työssä käytettyyn taustamateriaaliin. Listaus sisältötarpeista, rikastettuna neljän oikeanpuoleisen sarakkeen tiedoilla löytyy tämän työn liitteestä A. Tietomallipohjaisen paloturvallisuuskokonaisuuden prosessin kuvauksen jääminen yleiselle ja melko yksinkertaiselle tasolle johtuu rakennusalan yleisestä luonteesta, jossa työskentelytavat ja tekemisen kulttuuri vaihtelevat voimakkaasti eri toimijoista riippuen. Lisäksi muutosten ja esimerkiksi uusien työohjeiden toimivuus, vaikutukset ja käyttöön vakiintuminen vaativat aikaa. Prosessin kuvailuun päädyttiin lisäämään tietoa esimerkiksi tietyn sisällön mallintamisen sijoittumisesta rakennushankkeen vaiheisiin lähinnä ehdotuksen muodossa. Vasta riittävän ajan kuluttua tietyn työtavan, mallinnusohjeen tai muun ohjeistuksen käyttöönotosta, voidaan arvioida tarkemmin sen toimivuutta ja tarkoituksenmukaisuutta.

## 7.2 Jatkotutkimus- ja kehitystarpeet

Suurin jatkotutkimuksen ja kehitystyön tarve liittyy tutkimuksen aikana muodostetun ymmärryksen perusteella tietomallien sisällön vakiointiin sekä tietomallinnuskäytäntöjen harmonisointiin. Rakennusalan tietomallinnuksen yleisesti käyttämä IFC-tietorakenne tarjoaa mahdollisuudet yhtenevän, koneluettavan ja vakioidun tiedon tuottamiselle. Kehityssaskel on kuitenkin otettava, jotta tietomallit saadaan rakenteeltaan, sisällöltään ja nimikkeistöiltään yhteneviksi suunnittelualasta sekä -tahosta riippumatta. Ilman vakioitua ja alan kesken yhdenmuotoista tietosisältöä uusien tietomallipohjaista paloturvallisuuskokonaisuutta hyödyntävien sovellusten, työkalujen ja teknologioiden kehittäminen on toki mahdollista, mutta jäänee yksilölliseksi ja hajanaiseksi eri kaupallisten toimijoiden, kuten ohjelmistotalojen välillä. Tähän havaittuun tarpeeseen on osiltaan vastaamassa työn kirjoitushetkellä meneillään olevat *YTV2020-* sekä *RAVA2*-hankkeet. Tietomallien yhdenmukaistamisen ansiosta, niiden hyödynnettävyyttä esimerkiksi rakennusvalvonnan ja pelastuslaitoksen tarpeisiin voidaan alkaa edistämään entistä tehokkaammin. Kehitystarpeita voidaan osoittaa myös tietomalleja hyödyntäviin sovelluksiin, työkaluihin ja palveluihin. Rakennuksen tietomalli sisältää mallinnuksen tasosta riippuen usein melko suuren määrän informaatiota. Tietomallit ja mallinnussovellukset on pääasiassa kehitetty asiantuntijoiden ja suunnittelijoiden käyttöön. Erityisesti rakennuksen käytön aikaan kohdistuvat tietomallien hyödyntämismahdollisuudet vaativat realisoituakseen sovelluksia, käyttöliittymiä ja rajapintoja, joiden kautta ylläpitomallit ja olosuhdemallit saadaan myös muiden kuin alan asiantuntijoiden jokapäiväiseen käyttöön.

## LÄHTEET

BIMForum. (2019). Level of development (LOD) specification part 1 & commentary. [WWW]. Saatavissa (viitattu 16.4.2021): [https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum\\_LOD\\_2019\\_reprint.pdf](https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum_LOD_2019_reprint.pdf)

Bionova Oy. (2017). Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. 72 s. [PDF]. Saatavissa (viitattu 23.4.2021): [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC\\_4F20\\_43AB\\_AA62\\_A09DA890AE6D-129197.pdf/1f3642e1-5d58-8265-40c1-337deeab782d/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC\\_4F20\\_43AB\\_AA62\\_A09DA890AE6D-129197.pdf?t=1603260760602](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf/1f3642e1-5d58-8265-40c1-337deeab782d/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf?t=1603260760602)

buildingSMART Finland. (2021). Tero Järvinen: Vakiointiprojekti parantaa merkittävästi talotekniikkamallien hyödynnettävyyttä. (25.6.2017). [WWW]. Saatavissa (viitattu 7.6.2021): <https://buildingsmart.fi/tero-jarvinen-vakiointiprojekti-parantaa-merkittavasti-talotekniikkamallien-hyodynnettavyytta/>

buildingSMART International. (2021a). [WWW]. Saatavissa (viitattu 24.4.2021): <https://www.buildingsmart.org/>

buildingSMART International. (2021b). Industry Foundation Classes 4.0.2.1. [WWW]. Saatavissa (viitattu 24.4.2021): [http://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2\\_TC1/HTML/](http://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/)

buildingSMART International. (2021c). Software implementations. [WWW]. Saatavissa (viitattu 8.6.2021): <https://technical.buildingsmart.org/resources/software-implementations/>

Ekokumppanit. (2021). Digitaalinen kaksonen 360-kuvista. Video. [WWW]. Saatavissa (viitattu 7.6.2021): <https://www.youtube.com/watch?v=poqCFkx-5wc>

Energiaviisaat kaupungit. (2020a). Tiedon visualisointi digitaalisessa kaksosessa kiinteistönhallinnan työkaluna Turussa. [WWW]. Saatavissa (viitattu 12.8.2021): <https://energiaviisaat.fi/kiinteistotiedon-visualisointi-digitaalisessa-kaksosessa-kiinteistönhallinnan-tyokaluna-turussa/>

Energiaviisaat kaupungit. (2020b). 360-valokuvista muodostettiin digitaalinen kaksonen. [WWW]. Saatavissa (viitattu 7.6.2021): <https://energiaviisaat.fi/360-valokuvista-muodostettu-digitaalinen-kaksonen/>

FDS Tutorial. (2021). [WWW]. Saatavissa (viitattu 18.6.2021): <https://fdstutorial.com/>

Fire Dynamics Simulator and Smokeview. (2021). [WWW]. Saatavissa (viitattu 18.6.2021): <https://pages.nist.gov/fds-smv/>

Grani, H. K., (2016). Level of development – LOD – as a lifecycle BIM tool. areo blog. [WWW]. Saatavissa (viitattu 21.4.2021): <https://blog.areo.io/level-of-development/>

Granlund. (2018). Virtuaalisen kiinteistön ensimmäinen vaihe on julkaistu. Uutinen. [WWW]. Saatavissa (viitattu 25.5.2021): <https://www.granlund.fi/uutinen/virtuaalisen-kiinteiston-ensimmainen-vaihe-on-julkaistu/>

Granlund. (2021a). Tutkimus: Rakennusten digitaaliset kaksoset yleistyvät käyttäjien tarpeiden ehdoilla. [WWW]. Saatavissa (viitattu 12.8.2021): <https://www.granlund.fi/uutinen/tutkimus-rakennusten-digitaaliset-kaksoset-yleistyvat-kayttajien-tarpeiden-ehdoilla/>

Granlund. (2021b). Granlund Manager -ohjelmisto. [WWW]. Saatavissa (viitattu 3.6.2021): <https://www.granlund.fi/palvelut/granlund-manager-ohjelmisto/>

Halmetoja, E., (2016). Tietomallit ylläpidossa. Senaatti-kiinteistöt. [PDF]. Saatavissa (viitattu 12.4.2021): [https://www.senaatti.fi/app/uploads/2017/05/6099-Tietomallit\\_yllapidossa.pdf](https://www.senaatti.fi/app/uploads/2017/05/6099-Tietomallit_yllapidossa.pdf)

Halmetoja, E., (2019). Tietomallit teknisten huoltojen ja kiinteistön käytön tukena. Senaatti-kiinteistöt. [PDF]. Saatavissa (viitattu 15.4.2021): [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/12/Ēsa\\_Halmetoja\\_Tietomallit\\_teknisten\\_huoltojen\\_ja\\_kiinteist%C3%B6n\\_k%C3%A4yt%C3%B6n\\_tukena1.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/12/Ēsa_Halmetoja_Tietomallit_teknisten_huoltojen_ja_kiinteist%C3%B6n_k%C3%A4yt%C3%B6n_tukena1.pdf)

Hamara, K., (2018). Reaaliaikaisen anturidatan yhdistäminen rakennuksen tietomalliin. Aalto-Yliopisto. Sähkötekniikan korkeakoulu. Diplomityö. 68 s. [PDF]. Saatavissa (viitattu 3.6.2021): [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/33731/master\\_Hamara\\_Klaus\\_2018.pdf?sequence=1&isallowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/33731/master_Hamara_Klaus_2018.pdf?sequence=1&isallowed=y)

Hellman, J., (2019). Tietomallien tietosisällön optimointi rakennushankkeen eri vaiheita varten. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Insinööriyö. 36 s. [PDF]. Saatavissa (viitattu 25.5.2021): [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/261112/Hellman\\_Joel.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/261112/Hellman_Joel.pdf?sequence=2)

Henttinen, T., (2012). Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 1. Yleinen osuus. buildingSMART Finland. [PDF]. Saatavissa (viitattu 25.5.2021): [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_1\\_yleinen\\_osuus.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf)

Henttinen, T., (2012). Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 3. Arkkitehtisuunnittelu. buildingSMART Finland. [PDF]. Saatavissa (viitattu 15.5.2021): [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_3\\_ark.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_3_ark.pdf)

Ilmastoviisaat taloyhtiöt. (2020a). [WWW]. Saatavissa (viitattu 31.8.2021): <https://ilmastoviisaat.fi/>

Ilmastoviisaat taloyhtiöt. (2020b). Taloyhtiön tietosuoja pähkinänkuoressa. GDPR-OPAS. [PDF]. Saatavissa (viitattu 31.8.2021): <https://drive.google.com/file/d/1L9HHZj62X-LD2COpcaBCeasTByf5ahXO/view>

Jalo, H., Pirkkalainen, H. & Torro, O. (2021). The state of augmented reality, mixed reality and virtual reality adoption and use in european small and medium-sized manufacturing companies in 2020. VAM Realities Survey Report. [PDF]. Saatavissa (viitattu 15.6.2021): [https://vam-realities.eu/wp-content/uploads/VAM-Realities\\_Survey-Report](https://vam-realities.eu/wp-content/uploads/VAM-Realities_Survey-Report)

Jokela, M., Laine, T. & Hänninen, R. (2012). Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 12. Tietomallien hyödyntäminen rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana. buildingSMART Finland. [PDF]. Saatavissa (viitattu 17.5.2021): [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_12\\_yllapito.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_12_yllapito.pdf)

Järvenpää, M., (2021). Ohjeet ja kuvaukset talotekniikan nimistöjen ja esimerkkien koe-käyttöjulkaisulle. Granlund Oy. KIRAHub. [PDF]. Saatavissa (viitattu 14.9.2021): <https://kirahub.org/ytv2020-talotekniikan-ja-rakennesuunnittelun-nimistojen-koekaytto-alkaa/>

Järvinen, T. & Järvenpää, M. (2021). RAVA2-Kehityshanke: Tunnistetut TATE-käyttöta-pauskuvaukset. Granlund Oy. Ympäristöministeriö. [PDF]. Saatavissa (viitattu 14.9.2021): [https://kirahub.org/wp-content/uploads/2021/04/YM\\_RAVA2-TATE-ka%CC%88ytto%CC%88tapaukset-12.4.2021-1.pdf](https://kirahub.org/wp-content/uploads/2021/04/YM_RAVA2-TATE-ka%CC%88ytto%CC%88tapaukset-12.4.2021-1.pdf)

Järvinen, T., Laine, T., Kaleva, K. & Heljonmaa, K. (2012). Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 4. Talotekninen suunnittelu. buildingSMART Finland. [PDF]. Saatavissa (viitattu 21.4.2021): [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_4\\_tate.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_4_tate.pdf)

Karjula, J. & Mäkelä, E. (2012). Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 11. Tietomalli-pohjaisen projektin johtaminen. buildingSMART Finland. [PDF]. Saatavissa (viitattu 12.10.2021): [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_11\\_projektin\\_johtaminen.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_11_projektin_johtaminen.pdf)

Kautto, T., (2012). Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 5. Rakennesuunnittelu. buildingSMART Finland. [PDF]. Saatavissa (viitattu 23.4.2021): [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_5\\_rak.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_5_rak.pdf)

Korhonen, T. (2018). Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac. Technical Reference and User's Guide. VTT Technical Research Centre of Finland. [PDF]. Saatavissa (viitattu 12.6.2021): [http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/fdsevac/documents/FDS+EVAC\\_Guide.pdf](http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/fdsevac/documents/FDS+EVAC_Guide.pdf)

Korventausta, V. (2019). Tietomallipohjainen palotekninen suunnittelu. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikka. Insinööriyö. 33 s. [PDF]. Saatavissa (viitattu 13.8.2021): [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/227950/Valtteri\\_Korventausta.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/227950/Valtteri_Korventausta.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Lehtoviita, T., Pyllkänen, T., Paappanen, J., Huuskonen, H., Kanerva, J., Rautiainen, J. & Windahl, T. (2019). Tietomallit rakennusten turvallisuuden varmistamisessa. Saimaan ammattikorkeakoulu. [PDF]. Saatavissa (viitattu 12.4.2021): <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-7055-61-8>

Lehtoviita, T. & Rautiainen, J. (2019). Tietomallit rakennusten turvallisuuden varmistamisessa. Tietomallien sisältötarpeet turvallisuuden näkökulmasta. Saimaan ammattikorkeakoulu. [PDF]. Saatavissa (viitattu 15.5.2021): <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/225796/Tietomallien%20sis%C3%A4lt%C3%B6tarpeet%20turvallisuuden%20n%C3%A4k%C3%B6kulmasta.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

LUT-Yliopisto. (2020). Digitaalinen kaksonen tulkitsee todellisuutta ja tehostaa toimintaa – älykkään mallinnuksen avulla säästetään aikaa ja rahaa. [WWW]. Saatavissa (viitattu 12.8.2021): [https://www.lut.fi/uutiset/-/asset\\_publisher/h33vOeufOQWn/content/digitaalinen-kaksonen-tulkitsee-todellisuutta-ja-tehostaa-toimintaa-%E2%80%93-alykkaan-mallinnuksen-avulla-saastetaan-aikaa-ja-rahaa](https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/digitaalinen-kaksonen-tulkitsee-todellisuutta-ja-tehostaa-toimintaa-%E2%80%93-alykkaan-mallinnuksen-avulla-saastetaan-aikaa-ja-rahaa)

Mallioikeuslaki 221/1971. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Voimaan tulo 1.4.1971. [WWW]. Saatavissa (viitattu 17.5.2021): <https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/1971/19710221>



Marjamäki, T., (2020). MRL-uudistus ja HO-tavoitteet. Digi ja yhteentoimivuus. Ympäristöministeriö. [PDF]. Saatavissa (viitattu 30.8.2021): [https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5oJ5FjIGF/jaNZyAeGx/Marjamaki\\_Rakennusfoorumi160320.pdf](https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5oJ5FjIGF/jaNZyAeGx/Marjamaki_Rakennusfoorumi160320.pdf)

MRL Uudistus. (2020). Kaavoitus- ja rakennuslakiuudistus. Lausuntopyyntömateriaali VN/2792018.

Mäkelä, J., (2020). Integroituva paloturvallisuus rakennuksissa. Tampereen yliopisto. Rakennetun ympäristön tiedekunta. Diplomityö. 104 s. [PDF]. Saatavissa (viitattu 1.9.2021):

Mäläskä, M., (2011). Elinkaarihankkeen ylläpitomalli. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetun ympäristön tiedekunta. Diplomityö. 76 s. [PDF]. Saatavissa (viitattu 23.4.2021): <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-2011112114896>

NCC. (2021). Keskustelumateriaali: NCC. Tampereen Yliopisto. Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö. Viitattu 15.5.2021

Norén, J., Delin, M., Nystedt, F., Strömgren, M. (2018). Fire protection engineering in a BIM environment. Briab R&D. [PDF]. Saatavissa (viitattu 8.6.2021): [https://www.researchgate.net/publication/327744623\\_Fire\\_protection\\_engineering\\_in\\_a\\_BIM\\_environment](https://www.researchgate.net/publication/327744623_Fire_protection_engineering_in_a_BIM_environment)

Pohjois-Savon pelastuslaitos. (2021). Kohdepiirroksessa esitettävät tiedot. [PDF]. Saatavissa (viitattu 22.5.2021): [http://www.pspelastuslaitos.fi/js/upload/1541064243\\_Kohdepiirrosohje.pdf](http://www.pspelastuslaitos.fi/js/upload/1541064243_Kohdepiirrosohje.pdf)

Pöyry Finland Oy. (2019). Ympäristöministeriö. Raportti. A/III Digitaalisuuden läpiviemi ja laaja hyödyntäminen. [PDF]. Saatavissa (viitattu 16.9.2021): <https://mrluudistus.fi/wp-content/uploads/2019/12/AIII-Digitaalisuuden-l%C3%A4piviemi-ja-laaja-hy%C3%B6dynt%C3%A4minen.pdf>

Rakennuslehti. (2020). Tutkimus: Rakennusten digitaaliset kaksoset edistyvät hitaasti – käyttäjät haluavat yksinkertaisuutta. [WWW]. Saatavissa (viitattu 13.8.2021): <https://www.rakennuslehti.fi/2020/12/tutkimus-rakennusten-digitaaliset-kaksoset-edistyvat-hitaasti-kayttajat-haluavat-yksinkertaisuutta/>

RT 10-11224. (2016). Talonrakennushankkeen kulku. Rakennustietosäätiö. 4 s. [PDF]. Saatavissa (viitattu 23.4.2021): <https://kortistot.rakennustieto.fi/resource/juha/content/8472#page=1>

RT 63-10990. (2010). Sprinklerilaitteistot. Rakennustietosäätiö. 4 s. [PDF]. Saatavissa (viitattu 24.8.2021): <https://kortistot.rakennustieto.fi/resource/juha/content/8160#page=1>

Silius-Miettinen, P. (2011). Rakentamisen tietomalli, huomioitavaa hankinnassa ja ennakkoivassa sopimisessa. Itä-Suomen yliopisto. Kauppa- ja oikeustieteiden tiedekunta. pro gradu -tutkielma. 99 s. [PDF]. Saatavissa (viitattu 17.5.2021): [https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/10162/urn\\_nbn\\_fi\\_uef-20110380.pdf?sequence=-1](https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/10162/urn_nbn_fi_uef-20110380.pdf?sequence=-1)

Tampereen yliopisto. (2021). Rakennusala siirtyy digitaaliseen maailmaan. [WWW]. Saatavissa (viitattu 12.6.2021): <https://www.tuni.fi/fi/ajankohtaista/rakennusala-siirtyy-digitaaliseen-maailmaan>

Tekijänoikeuslaki 404/1961. Opetusministeriö. Voimaantulo 1.9.1961. [WWW]. Saatavissa (viitattu 17.5.2021): <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1961/19610404>

Thunderhead Engineering. (2021). Simulation software for science and engineering. [WWW]. Saatavissa (viitattu 12.6.2021): <https://www.thunderheadeng.com/>

Tietosuojavaltuutetun toimisto. (2021). [WWW]. Saatavissa (viitattu 31.8.2021): <https://tietosuoja.fi/tietosuoja>

Tuuhea, S., (2010). Tietomalli pääsuunnittelijan apuna – koordinointi vai tietomallikoordinaattori. Aalto-Yliopiston Teknillinen korkeakoulu. [PDF]. Saatavissa (viitattu 17.5.2021): <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/4918/urn100326.pdf?sequence=12&isAllowed=y>

World Wide Web Consortium (W3C). (2021). Extensible Markup Language. [WWW]. Saatavissa (viitattu 24.4.2021): <https://www.w3.org/TR/2008/REC-xml-20081126/#charsets>

Ympäristöministeriön asetus rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä 2015/216. Annettu Helsingissä 12.3.2015.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017/848. Annettu Helsingissä 28.11.2017.

Ympäristöministeriö. (2021). Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje. [WWW]. Saatavissa (viitattu 8.10.2021): [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/kiinteiston\\_yl-lapito\\_ja\\_korjaaminen/kiinteiston\\_kaytto\\_ja\\_huoltoohje](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/kiinteiston_yl-lapito_ja_korjaaminen/kiinteiston_kaytto_ja_huoltoohje)

3d-Talo. (2021a). Fotogrammetria. [WWW]. Saatavissa (viitattu 10.6.2021): <https://3dtalo.fi/fotogrammetria>

3d-Talo. (2021b). Laserkeilaus. [WWW]. Saatavissa (viitattu 10.6.2021): <https://3dtalo.fi/laserkeilaus>

