



Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden
korkeakoulu

Essi Huntus

Katsaus tietomallien potentiaaliin vesihuoltoverkosto-omaisuuden hallinnassa

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

Espoossa 15.10.2018

Valvoja: Professori Riku Vahala

Ohjaaja: Professori Riku Vahala

Tekijä Essi Huntus

Työn nimi Katsaus tietomallien potentiaaliin vesihuoltoverkosto-omaisuuden hallinnassa

Koulutusohjelma Vesi- ja ympäristötekniikan maisteriohjelma

Pää-/sivuaine Vesi- ja ympäristötekniikka

Koodi ENG29

Työn valvoja Professori Riku Vahala

Työn ohjaaja(t) Professori Riku Vahala

Päivämäärä 15.10.2018

Sivumäärä 48 + 2

Kieli suomi

Tiivistelmä

Vesihuoltoverkostot ovat yhteiskunnan kriittisimpiä fyysisiä omaisuusvaroja niin yhteiskunnan perustoimintojen turvaamisen kuin niiden taloudellisen merkityksenkin kannalta. Verkosto-omaisuuden hallintaan liittyy lukuisia haasteita, joista merkittävimmät koskevat verkostotiedon laatua ja näiden tietojen hallintaa.

Viime vuosina yhtenä ratkaisuna tiedonhallinnallisiin haasteisiin on esitetty rakennettua ympäristöä kuvaavia semanttisia datamalleja eli niin kutsuttuja tietomalleja. Mallit voidaan jakaa karkeasti kolmiulotteisiin semanttisiin aluetason tietomalleihin eli semanttisiin kaupunkimalleihin (engl. *Semantic 3D City Models*) ja yksityiskohtaisempaa rakennustietoa kuvaaviin malleihin (engl. *Building Information Model*, BIM tai *product data model*). Molempien taustalla on ajatus kehittyneemmästä tavasta tuottaa, jäsenellä ja välittää rakennettuun ympäristöön liittyvää tietoa. Tekniikan kehittyessä mallien hyödyntäminen on lisääntynyt merkittävästi, mutta vesihuoltoverkostojen kuvaamiseen malleja ei ole juurikaan hyödynnetty.

Tämän työn tavoitteena oli selvittää, minkälaisia käytäntöjä ja haasteita verkosto-omaisuuden hallintaan liittyy erityisesti tiedonhallinnan näkökulmasta, ja minkälaisia mahdollisia parannuksia tietomallien hyödyntäminen voisi tuoda verkosto-omaisuuden hallintaan nyt ja tulevaisuudessa. Työssä selvitettiin lisäksi, minkälaisia haasteita tietomallien hyödyntämisessä on ilmennyt, ja minkälaisia kehittämistarpeita näiden pohjalta on havaittu. Työssä käsitelty aineisto on kerätty kirjallisuudesta ja asiantuntijahaastatteluiden avulla.

Tutkimuksessa selvisi, että merkittävin verkosto-omaisuuden hallinnan käytäntöihin vaikuttava tekijä on useimmiten laitoksen koko, eli käytännössä omaisuudenhallintaan käytettävissä olevat resurssit. Tiedonhallintaan liittyvät haasteet ovat kuitenkin hyvin samankaltaisia kaikilla laitoksilla. Näihin lukeutuvat esimerkiksi puutteelliset tai virheelliset verkostotiedot, tietolähteiden pirstaleisuus sekä lukuisat käytössä olevat tiedon tallennus- ja siirtomuodot.

Tietomallien ja avoimien tiedonsiirtostandardien avulla ei voida ratkaista verkosto-omaisuuden hallintaan liittyviä perusongelmia. Näitä hyödyntämällä voidaan kuitenkin tehostaa tiedonsiirtoa eri osapuolten ja tietoteknisten järjestelmien välillä. Koska käytännön kokemuksia tietomallien hyödyntämisestä vesihuoltoverkostojen kuvaamisessa ei juurikaan ole, edellyttää mallien jalkauttaminen vesihuoltoon vielä paljon kehitystyötä.

Avainsanat vesihuoltoverkostot, verkosto-omaisuuden hallinta, semanttinen datamalli, tietomalli

Author Essi Huntus		
Title of thesis An overview of the potential of semantic data models in the management of water network assets		
Degree programme Master's Programme in Water and Environmental Engineering		
Major/minor Water and Environmental Engineering	Code ENG29	
Thesis supervisor Professor Riku Vahala		
Thesis advisor(s) Professor Riku Vahala		
Date 15.10.2018	Number of pages 48 + 2	Language Finnish

Abstract

Water supply and sewer networks are among the most critical physical assets of society, both for safeguarding the basic societal functions as well as for their economic significance. Managing network assets involves a number of challenges and the most important ones concern the quality and management of network data.

In recent years, semantic data models or so-called information models, have been presented as one solution to information management challenges. These models can roughly be divided into semantic three-dimensional city models, and Building Information Models (BIM) or product data models, which offer more detailed building information. Both are based on the idea of a more sophisticated way of producing, classifying and relaying information about the built environment. The utilization of the models has increased considerably, however, models have rarely been utilized to illustrate water supply or sewer networks.

The aim of this thesis study was to identify what kind of practices and challenges are involved in the management of network assets particularly from the point of view of data management. Moreover, the aim was to discover how the usage of data models could improve the management of network assets both currently, as well as in the future. In addition, the aim was to examine the challenges that have been recognized in the use of data models and what kind of development needs have been identified based on these challenges. The material for this thesis was collected from literature and expert interviews.

The study revealed that the most significant factor affecting asset management practices is in most cases the size of the water utility and resources available for asset management. However, the challenges of data management are very similar in all utilities regardless of their size. These challenges include, for example, inadequate or incorrect network information, fragmentation of data sources, and numerous existing data exchange formats.

The use of semantic data models and open data exchange standards cannot offer a solution to many of the basic problems related to asset management. The utilization can, however, improve the effectiveness of data exchange between different parties and IT systems. Due to lack of practical experiences, more development work is needed before models can be applied in the management of water networks assets.

Keywords water supply and sewer networks, asset management, semantic data model, information model

Alkusanat

Tämä diplomityö tehtiin osana vesi- ja ympäristötekniikan diplomi-insinöörin tutkintoa. Työn rahoituksesta haluan kiittää Aalto-yliopiston tekniikan tukisäätiötä, ja tätä kautta Helsingin seudun ympäristöpalveluja, Ramboll Finland Oy:tä sekä Vesilaitosyhdistystä. Lisärahoituksesta haluan kiittää Maa- ja vesitekniikan tuki ry.:tä.

Työn ohjauksesta ja valvonnasta haluan kiittää professori Riku Vahalaa Aalto-yliopistosta. Panoksestaan tähän työhön haluan kiittää Tuija Laaksoa ja Anas Altartouria Aalto-yliopistosta, Pentti Janhusta ja Mikael Järvistä Helsingin Seudun ympäristöpalveluista, Esra Marvinia ja Henri Paatelaa Ramboll Finland Oy:stä sekä Osmo Seppälää ja Mika Rontua Vesilaitosyhdistyksestä. Erityiskiitos Tuijalle ja Esralle lukuisista kommentteista ja neuvoista matkan varrella. Lisäksi haluan kiittää kaikkia niitä asiantuntijoita, jotka osallistuivat työn yhteydessä tehtyihin haastatteluihin.

Lopuksi haluan kiittää ystäviäni ja perhettäni korvaamattomasta tuestanne.

Essi Huntus

Helsinki 1.10.2018

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo	6
Lyhenteet.....	7
Käsitteet.....	8
1 Johdanto	1
2 Verkosto-omaisuuden hallinta	3
2.1 Lähtökohdat verkosto-omaisuuden hallinnalle.....	3
2.2 Verkosto-omaisuuden elinkaari.....	6
2.3 Verkostotiedon hallinta	8
2.4 Verkosto-omaisuuden hallintaan liittyviä haasteita	10
3 Tietomallit	12
3.1 Yleisesti	12
3.2 Semanttinen kaupunkimalli	14
3.2.1 Käsitteenä.....	14
3.2.2 Kansainvälinen kaupunkitiedon standardi CityGML.....	15
3.3 Rakennuksen tietomalli	18
3.3.1 Käsitteenä.....	18
3.3.2 Kansainvälinen rakennustiedon standardi IFC.....	22
3.3.3 LandXML ja Inframodel	23
4 Tietomallit omaisuuden hallinnan työkaluina.....	27
4.1 Semanttinen kaupunkimalli omaisuudenhallinnan työkaluna.....	27
4.2 Rakennuksen tietomalli omaisuuden hallinnan työkaluna	28
5 Tietomallien potentiaali verkosto-omaisuuden hallinnan työkaluina	33
6 Yhteenveto	36
Lähteet.....	38
Liiteluettelo	48
Liite 1. Omaisuudenhallintastandardit ja -ohjeistukset	

Lyhenteet

ADE	Application Domain Extension
BIM	Building Information Model
CAD	Computer-Aided Design
GIS	Geographical Information System
GML	OpenGIS City Geography Markup Language
IFC	Industry Foundation Classes
InfraBIM	Infrastructure Built Environment Information Model
Infra-O	Infraomaisuuden avoin innovaatioalusta
ISO	International Organization for Standardization
KRYSP	Kunnan Rakennetun Ympäristön Sähköiset Palvelut
ROTI	Rakennetun omaisuuden tila
XML	Extensible Markup Language
YIV	Yleiset Inframallinnusvaatimukset
YTV	Yleiset tietomallinnusvaatimukset

Käsitteet

Attribuutit kuvaavat objektien (taikka kohteiden tai elementtien) ominaisuuksia, kuten putken (objekti) paineluokan, putkien välisen liitostavan tai rakennusajankohdan. Attribuuteilla voi olla edelleen arvoja.

Avoimella tiedonsiirtoformaattilla tarkoitetaan yleisesti ottaen jotain ei-kaupallista formaattia, jonka lukeminen ei edellytä kaupallista ohjelmaa. Avoimet tiedonsiirtoformaatit pohjautuvat usein tekstipohjaiseen XML-standardiin. Formaatin avulla siirretty aineisto on mahdollisimman monen ohjelman luettavissa.

buildingSMART on avoin, kansainvälinen yhteenliittymä Industry Foundation Classes (IFC) tiedonsiirtostandardin kehittämiseksi ja sen käyttöönoton edistämiseksi. Aiemmin buildingSMART tunnettiin nimellä International Alliance for Interoperability.

Data (engl. *data*) on tiedon raaka-ainetta, merkkejä ja symboleita, joilla ei ole merkitystä ilman tulkintaa. Raakadataa on helppo hallita ja siirtää paikasta toiseen menettämättä datan sisältöä. Datasta muuttuu tulkittaessa **informaatiota** (engl. *information*). Tämä edellyttää, että datalla on informatiivinen järjestys ja että datalle voidaan antaa semanttista merkitystä. Sisäistetystä informaatiosta syntyy **tietoa/tietämystä** (engl. *knowledge*).

Dokumenttipohjainen on tiedonkäsittelyn soveltamistapa, jossa tietoa käsitellään ja siirretään dokumentteina. Ihmiset pystyvät tulkitsemaan dokumenttien sisältöä, mutta tietokoneet eivät. Dokumenttipohjainen on määritelty erotuksena **mallipohjaisesta** tiedonkäsittelyn soveltamistavasta, jossa esimerkiksi suunnittelun, rakentamisen tai kunnossapidon kohdetta kuvataan mallina ja sen muodostavina osina, joita tietokonesovellukset pystyvät tulkitsemaan (mallin sisältämä tieto on koneluettavaa).

Korjausvelalla tarkoitetaan sitä rahamäärää, jonka verran infrastruktuuriin on jäänyt investoimatta, jotta se olisi käytön kannalta edelleen hyvässä kunnossa.

Kunnossapito on säännöllistä toimintaa, jolla säilytetään infrastruktuurin (tai muun omaisuuden) toiminta ja ominaisuudet, vaikutetaan käytön olosuhteisiin tai hallitaan laitteita tai järjestelmiä. Kunnossapito koostuu korjauksesta, hoidosta ja käytöstä.

Metatiedot (metadata, liitännäistiedot) ovat kuvailevia tietoja eli tietoa tiedosta. Yleisiä metatietoja ovat esimerkiksi tiedoston luontipäivämäärä, tallennuspäivämäärä ja tallentaja, joiden avulla helpotetaan tiedon hallinnointia ja tietokantojen muodostamista.

Natiiviformaatiksi kutsutaan tietokoneohjelman omaa tallennusmuotoa. Natiiviformaatti on yleensä konvertoitavissa avoimiin tiedonsiirtoformaatteihin, mutta usein siirrossa menetetään tällöin hyötyjä verrattuna natiiviformaatissa tapahtuvaan siirtoon. Dataa voi jäädä puuttumaan tai se kuvautuu toisessa ohjelmistossa eri tavoin kuin alkuperäisessä ohjelmistossa. Natiiviformaatteja ovat esimerkiksi useiden tietokoneavusteisten suunnitteluohjelmistojen käyttämät DWG- ja DGN-formaatit.

Nimike on systemaattinen tapa identifioida fyysinen lopputuote, resurssi, palvelu tai esimerkiksi työsuoritus. Nimikkeet erotetaan toisistaan yksilöllisen tunnusteen, kuten koodin ja sisällön kuvauksen avulla. Nimikkeet muodostavat yhdessä **nimikkeistön**, ja useat nimikkeistöt yhdessä edelleen nimikkeistöjärjestelmän. Nimikkeistö on standardi tietojen osittelulle ja sen avulla jäsenetään tietoja, vaatimuksia sekä ohjeita halutulla tarkkuudella esimerkiksi rakennushankkeen osapuolten kesken. Yleisesti nimikkeistöjä käytetään esimerkiksi suunnitteluohjeiden, laatuvaatimusten, määrälaskennan sekä sopimusasiakirjojen vakiointiin ja yhdenmukaistamiseen.

Objekti (voidaan viitata myös sanalla kohde tai elementti) on tietokoneohjelmiston rakenteellinen perusyksikkö, jonka sisältämää tietoa käsitellään tietokonesovelluksissa yhtenä kokonaisuutena. Tässä työssä käytetään nimitystä kohde.

OmaisuuDENhallinta voidaan määritellä organisaation koordinoituna toimintana, jolla hyödynnetään omaisuuden arvo. Omaisuus itsessään voidaan määritellä kohteena, asiana tai kokonaisuutena, joilla on tai voi olla arvoa organisaatiolle.

Paikkatieto on tietoa, johon liittyy maantieteellinen sijainti. Paikkatieto voidaan liittää suurimpaan osaan kohteista ja ilmiöistä. Kohteisiin tai ilmiöihin liittyy yleensä tietoa kohteiden tai ilmiöiden ominaisuuksista ja topologiasta eli näiden välisistä sijainnillisista suhteista.

Paikkatietojärjestelmät (GIS, *Geographical Information System*) koostuvat paikkatietoaineistoista, laitteistoista, paikkatieto-ohjelmistoista ja paikkatietojen käyttäjistä.

Skeema määrittelee XML-pohjaisten kuvauskielten, kuten GML:n, käytön tietyssä käyttötapauksessa. Skeema sisältää muun muassa listauksen rakenteesta, objekteista, attribuuteista, attribuuttien tietotyypeistä ja niiden sallituista arvojoukoista.

Tiedonsiirtoformaattiksi kutsutaan tietokoneohjelmilla tulkittavaa muotoa tiedolle (dalle) sen tallentamiseksi, siirtämiseksi ja arkistoinniseksi.

Fyysinen **verkosto-omaisuus** muodostuu vesijohto- ja viemäriputkista sekä näihin liittyvistä laitteista ja rakenteista, kuten venttiileistä, kaivoista ja paloposteista.

1 Johdanto

Vesihuoltoverkostot ovat yhteiskunnan kriittisimpiä fyysisiä omaisuusvaroja, minkä ohella ne muodostavat suurimman osan vesihuoltolaitosten laitosomaisuudesta ja merkittävän osan kaiken julkisen infrastruktuurin yhteenlasketusta arvosta (Cardoso et al. 2012; Vanier 2001). Verkosto-omaisuuden hallinnalla on näin ollen keskeinen merkitys sekä yhteiskunnallisesti että vesihuoltolaitosten toiminnan kannalta.

Omaisuuksenhallinnan kannalta merkittävimmät haasteet liittyvät toisaalta fyysistä verkostoa koskeviin puutteellisiin tai virheellisiin tietoihin ja toisaalta verkostotietojen hallintaan. Verkosto-omaisuuden hallintaan liittyy lukuisia osapuolia, joiden välillä verkostotietoa tulisi kyetä siirtämään verkostojen elinkaaren eri vaiheissa. Osapuolilla on käytössään erilaisia ohjelmistoja ja tietojärjestelmiä, jotka on kehitetty toimimaan itsenäisinä järjestelminään. (Halfawy 2008; Välisalo et al. 2008, 56-57.) Käytössä on myös lukuisia erilaisia tiedon tallennus- ja siirtomuotoja, ja tietoja siirrettäessä ne joudutaan usein tulkitsemaan uudelleen, muuntamaan ja yhdistämään uudelleen eri ohjelmistoihin useaan kertaan. Toisaalta esimerkiksi läheskään kaikkea rakennushankkeissa syntyvää tietoa ei pystytä hyödyntämään myöhemmin digitaalisessa muodossa muihin tarkoituksiin tai integroimaan vesihuoltolaitosten omiin järjestelmiin (Malmi 2016, 32; Halfawy et al. 2006b). Edellä luetellut prosessit ovat useimmiten tehottomia ja virheellisiä, ja hidastavat osaltaan tehokkaan omaisuushallinnan toteutumista.

Yhtenä ratkaisuna tiedonhallinnan haasteisiin on esitetty rakennettua ympäristöä kuvaavia semanttisia datamalleja eli Suomessa usein tuttavallisemmin kutsuttuja tietomalleja. Nämä mallit voidaan jaotella karkeasti kolmiulotteisiin semanttisiin aluetason tietomalleihin eli niin kutsuttuihin semanttisiin kaupunkimalleihin (engl. *Semantic 3D City Models*) sekä yksityiskohtaisempaa rakennustietoa kuvaaviin malleihin (engl. *Building Information Model*, BIM tai *product data model*). Semanttiset kaupunkimallit kuvaavat rakennetun ympäristön kohteita niiden käytön tai havainnoinnin näkökulmasta. Yksityiskohtaisemmat rakennustietoa kuvaavat mallit kertovat puolestaan, kuinka kohteet suunnitellaan ja rakennetaan. (Tolmer et al. 2013.) Semanttiset kaupunkimallit ovat hyvin moniulotteisia ja sopivat siksi laajojen aluemaisten kohteiden kuvaamiseen. Rakennuksia kuvaavat tietomallit ovat yleensä yksityiskohtaisempia ja tietosisällöltään rikkaampia kuin kaupunkimallit, mutta soveltuvat paremmin pienempien, yksittäisten kohteiden kuvaamiseen. (Gröger & Plumer 2012; Rich & Davis 2010, 23-25.)

Verkosto-omaisuuden hallintaan tietomalleja ei ole juurikaan aikaisemmin yhdistetty, minkä vuoksi työssä oli tarkoitus luoda katsaus tietomallien mahdolliseen potentiaaliin verkosto-omaisuuden hallinnan kannalta. Aiheen luonteesta johtuen työssä ei ollut kuitenkaan tarkoitus esittää lopullisia johtopäätöksiä, vaan enemmänkin esittää yleiskatsaus käsiteltävistä ilmiöistä ja luoda näin pohjaa mahdollisesti tuleville, yksityiskohtaisemmille tutkimuksille sekä vesihuoltoverkostojen kuvaavien tietomallien hyödyntämiseen liittyvien käytäntöjen toteuttamiselle.

Työssä käsitelty aineisto on kerätty kirjallisuudesta ja asiantuntijahaastatteluiden avulla. Kirjallisuusselvitys käsittää aiheeseen liittyviä tutkimusartikkeleita, tapaustutkimuksia (engl. *case studies*) sekä muuta aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Käytännön esimerkkejä jouduttiin keräämään muilta aloilta, koska vesihuollon osalta näitä ei juurikaan ole. Haastatteluiden avulla pyrittiin täydentämään kirjallisuusselvitystä toisaalta suomalaisten vesialan toimijoiden näkemyksillä verkosto-omaisuuden hallintaan liittyen ja toisaalta tietomallien parissa työskentelevien asiantuntijoiden kokemuksilla tietomallien hyödyntämisestä käytännössä eri organisaatioissa ja konteksteissa. Samalla kerättiin tietoa pullonkauloista ja kehitystarpeista, joita tietomallien parissa työskentelevät ovat havainneet. Varsinaisten haastatteluiden lisäksi työhön kerättiin kommentteja kahdessa asiantuntijatilaisuudessa: rakennetun ympäristön ja rakentamisen digitalisaatiohankkeen KIRA-digi-työpajassa sekä buildingSMART Finland:in kehitysryhmässä. Työn yhteydessä tehtyjen haastatteluiden tarkoituksena oli täydentää kirjallisuudesta saatua materiaalia, minkä vuoksi haastatteluaineistoa esitellään kirjallisuuslähteistä saatujen aineistojen yhteydessä.

Verkosto-omaisuuden hallintaan luodaan katsaus luvussa kaksi ja tietomalleihin perehdytään yksityiskohtaisemmin luvussa kolme. Työn neljännessä luvussa käsitellään tietomalleja omaisuudenhallinnan näkökulmasta. Viidennessä luvussa pohditaan tietomallien potentiaalia verkosto-omaisuuden hallinnan näkökulmasta ja esitellään ehdotukset mahdollisiksi jatkotoimenpiteiksi. Työn viimeisessä luvussa kootaan yhteen edellisissä kappaleissa käsitellyt asiat.

2 Verkosto-omaisuuden hallinta

2.1 Lähtökohdat verkosto-omaisuuden hallinnalle

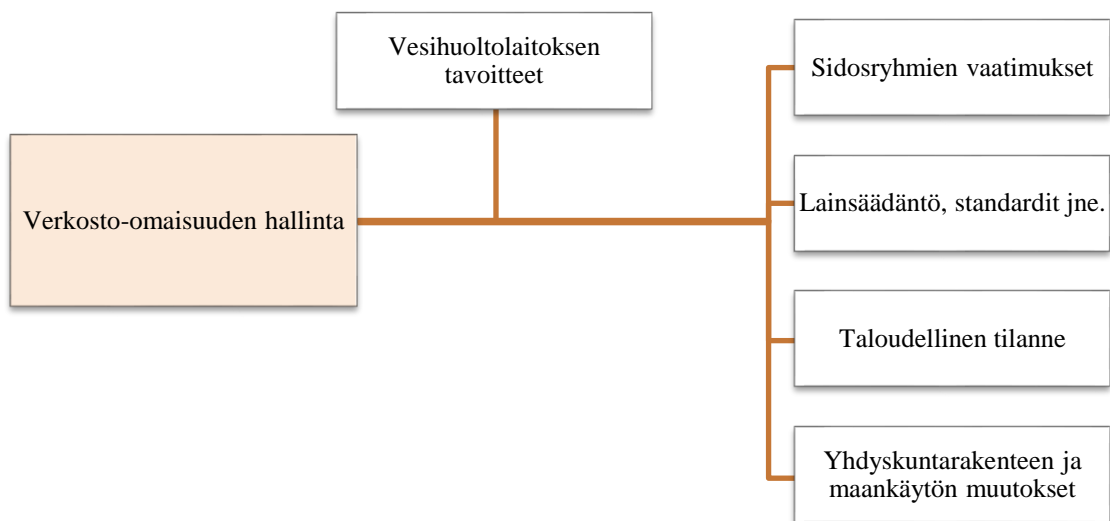
Vesihuoltoverkot muodostavat yhden yhteiskunnan kriittisimmistä fyysisistä omaisuusvaroista. Yhteiskunnan perustoimintojen turvaamisen ohella verkosto-omaisuudella on keskeinen taloudellinen merkitys, sillä se kattaa suurimman osan vesihuoltolaitosten laitosomaisuudesta sekä merkittävän osan kaikesta julkisen infrastruktuurin yhteenlasketusta arvosta. (Cardoso et al. 2012; Vanier 2001.) Verkosto-omaisuuden on arvioitu muodostavan kokonaisuudessaan noin 80 prosenttia vesihuoltolaitosten omaisuudesta (Välisalo et al. 2006, 9). Suomessa tämä vastaa arviolta noin 107 000 kilometriä yleistä vesijohtoverkosta ja noin 50 000 kilometriä jätevesiviemäri- ja hulevesiverkosta sekä näihin kuuluvia laitteistoja, kuten venttiileitä, kaivoja ja pumppaamoja. Edellä mainittuihin lukuihin eivät sisälly kiinteistöjen tonttijohdot, joiden yhteispituudeksi on arvioitu kymmeniä tuhansia kilometrejä. (ROTI 2017.) Vesihuoltolaitosten verkosto-omaisuuden arvosta on tehty karkeita laskelmia (esim. Vattovaara & Sipilä 2005), mutta käytännössä arvon määrittäminen on hyvin vaikeaa, sillä verkostojen pääasiallinen sijainti maan alla tekee arvon määrittämisessä olennaisen verkostotiedon keräämisestä haastavaa ja kallista (Luomanen et al. 2013, 4). Vaikka verkosto-omaisuuden tarkasta arvosta ei ole tietoa, selvää kuitenkin on, että verkosto-omaisuuden hallinnalla on suuri merkitys sekä yhteiskunnallisesti että vesihuoltolaitosten kannalta, joiden elinkeino riippuu tämän omaisuuden toiminnasta (Cardoso et al. 2012; Vanier 2001).

Käsitteenä omaisuudenhallintaa voidaan pitää varsin laajana ja monitulkinnallisena. Kansainvälinen omaisuudenhallintastandardi SFS-ISO 55000: 2014 kiteyttää omaisuudenhallinnan ”organisaation koordinoituna toimintana, jolla hyödynnetään omaisuuden arvo”. Price & Vojinovic (2011, 248-250) puolestaan määrittelevät omaisuudenhallinnan kokonaisvaltaisena ja järjestelmällisenä lähestymistapana omaisuuden pitkäaikaiseen hallintaan siten, että omaisuus palvelee yhteiskunnan tarpeita mahdollisimman kustannustehokkaasti. Hallinnan työkaluja ovat esimerkiksi erilaiset tiedonhallintajärjestelmät, suunnitelmat ja toimenpiteet, joiden avulla voidaan ylläpitää ja kehittää omaisuuden arvoa ja toisaalta alentaa sen ylläpidosta aiheutuvia kustannuksia (Välisalo et al. 2008, 9 [Komonen et al. 2005]). Kokonaisvaltaisella lähestymistavalla Price & Vojinovic (2011, 248-250) korostavat omaisuuden koko elinkaaren huomioon ottamista aina suunnittelusta kunnossapidon kautta omaisuuden lopulliseen hävittämiseen. Jälkimmäinen määrittelytapa kuvaa hyvin etenkin vesihuollon kaltaista yhteiskunnalle kriittistä palvelua, johon kuuluvan fyysisen omaisuuden elinkaari on lähes poikkeuksetta verrattain pitkä (Lemer 1999).

Verkosto-omaisuuden hallinta muodostaa muunkin julkisessa omistuksessa olevan infrastruktuurin tavoin varsin monimutkaisen ja monitahoisen prosessin, johon kuuluu lukuisia eri sidos- ja vaikuttajaryhmiä (Heino 2012; Vanier 2001). Organisaatiotasolla vesihuoltoon vaikuttavat Euroopan unioni, valtio ja kunnat. Muita keskeisiä sidosryhmiä ovat esimerkiksi kuntalaiset, vesihuoltolaitokset ja yritykset (Katko 2013, 214-217). Kunnilla on vastuu vesihuollon kehittämisestä ja järjestämisestä, minkä lisäksi kunnat ovat usein

vastuussa myös palveluiden tuottamisesta joko perinteisen kunnallisen laitoksen, kunnan omistaman yhtiön, liikelaitoksen tai ylikunnallisen laitoksen kautta (Vesihuoltolaki 199/2001). Vesihuoltolaitosten on kyettävä hallitsemaan verkosto-omaisuuttaan siten, että omaisuus täyttää edellä lueteltujen sidosryhmien odotukset ja vaatimukset kustannustehokkaalla tavalla (Vanier 2001; Lemer 1999).

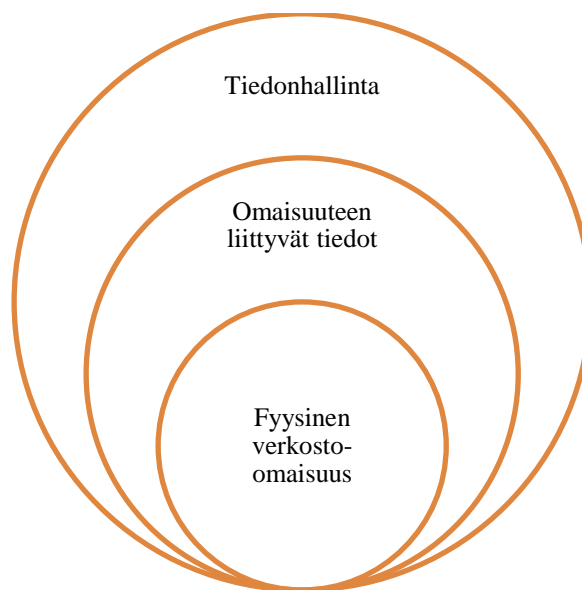
Lähtökohtana verkosto-omaisuuden hallintaan liittyville toiminnoille pidetään usein niin kutsutun palvelutason asettamista. Tämä tarkoittaa sen palvelun laatua tai tavoitetta, jonka vesihuoltolaitos pyrkii saavuttamaan ja ylläpitämään. Vaadittuun tai tavoiteltuun palvelutasoon vaikuttavat kansallinen, ja tämän kautta myös kansainvälinen lainsäädäntö, sidosryhmien vaatimukset, yhdyskuntarakenteeseen tai maankäyttöön liittyvät muutokset sekä laitosten ja kuntien taloudellinen tilanne (Kuva 1). (Price & Vojinovic 2011, 250-251.) Vaikka varsinainen päätöksenteko verkosto-omaisuuden hallinnan toimintaperiaatteista on kuntaomistajilla, hallitaan omaisuutta edelleen keskitetysti vesihuoltolaitosten kautta yhden organisaation alaisuudessa. Näin ollen omaisuudenhallinnan tasoon vaikuttavat viime kädessä konkreettisimmin laitosten omat tavoitteet sekä keinot, joilla nämä tavoitteet pyritään saavuttamaan. (Vattovaara & Sipilä.)



Kuva 1 Verkosto-omaisuuden hallinnan viitekehys.

Vesihuollon kaltaisella pääomaintensiivisellä alalla omaisuudenhallinnan ytimen muodostavat jo edelläkin mainitut fyysiset omaisuusvarat (Kuva 2). Perustan fyysisen omaisuuden hallintaan liittyville toiminnoille muodostavat puolestaan riittävät, eheät ja luo-

tettavat tiedot omaisuudesta (Luomanen 2013, 4; Price & Vojinovic 2011, 247). Vesi- huoltoverkostojen osalta näihin omaisuustietoihin lukeutuvat muun muassa verkoston sijainti-, ominaisuus- ja kuntotiedot, jotka tarjoavat edelleen asianmukaisen tietopohjan omaisuudenhallintaan liittyvien tavoitteiden asettamiselle ja kustannustehokkaiden päätösten tekemiselle (Koo et al. 2015; Vanier 2001). Vanierin (2001) mukaan tavoitteena on, että omaisuustietojen avulla kyettäisiin vastaamaan kuuteen omaisuudenhallinnan kannalta oleellisimpaan kysymykseen: (1) mitä organisaatio omistaa; (2) mikä organisaation omistaman omaisuuden arvo on; (3) kuinka suuri on mahdollisesti kertynyt korjausvelka; (4) missä kunnossa omaisuus tällä hetkellä on; (5) mikä on omaisuuden arvioitu jäljellä oleva käyttöikä ja; (6) mitä tulisi korjata ensimmäisenä.



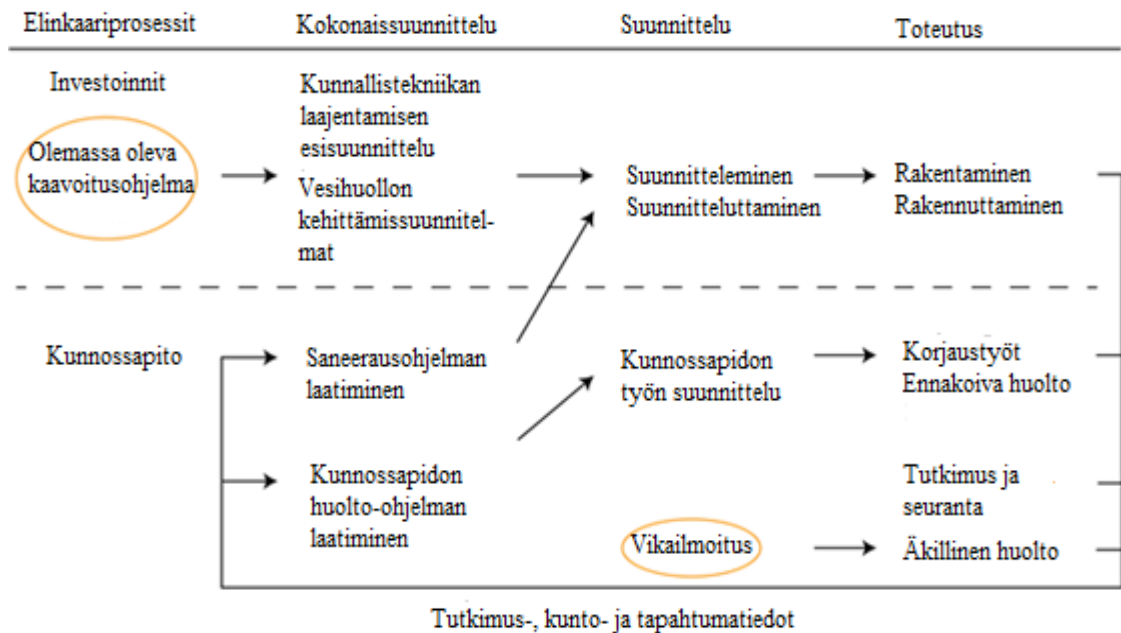
Kuva 2 Fyysisen verkosto-omaisuuden ja tiedonhallinnan kokonaisuus.

Omaisuuteen liittyvää tietoa kertyy verkostojen elinkaaren aikana jatkuvasti ja sitä saadaan useista lähteistä, mikä korostaa tiedonhallinnan keskeistä roolia omaisuudenhallinnassa. Myös useimmat omaisuudenhallintaan liittyvät toimet, kuten verkoston kuntotutkimusohjelmien laatiminen ja korjausinvestointien kohdentaminen, ovat hyvin tietointensiivisiä, ja edellyttävät näin tyypillisesti suurten tietomäärien käsittelyä ja analysointia. (Halfawy 2010; Välisalo et al. 2006, 56-57.)

Omaisuudenhallinnan tehostamista on tutkittu vuosien varrella melko runsaasti (esim. Halfawy 2008; Halfawy et al. 2006a; 2006b; Vanier 2001), ja organisaatioiden omaisuudenhallinnan tueksi on kehitetty edellä mainitun SFS-ISO 55000:2014 standardin lisäksi lukuisia muita standardeja ja ohjeita sekä niin kutsuttuja parhaita käytäntöjä (engl. *best practises*) (Liite 1), joita on pyritty soveltamaan yhä enenevässä määrin myös vesihuoltolaitoksilla (Anglian Water 2017). Vattovaara & Sipilän (2005) mukaan vesihuoltolaitosten omaisuudenhallinnan nykytilassa onkin huomattavaa kehittämispotentiaalia niin kansallisella kuin kansainväliselläkin tasolla. Yhtenä keskeisimpänä kehityskohteenä pidetään edellä kuvailtujen tiedonhallinnan toimintamallien ja järjestelmien kehittämistä. (Vattovaara & Sipilä 2005). Verkostojen ikääntyessä omaisuuteen liittyvän käyttökelpoisen tiedon ja tiedonhallinnan arvo kasvaa jatkuvasti (Sirkiä et al. 2017; Koo et al. 2015).

2.2 Verkosto-omaisuuden elinkaari

Verkosto-omaisuuden elinkaaren voidaan ajatella alkavan rakennus- tai investointihankkeiden suunnitteluvaiheesta (Kuva 3). Varsinaista suunnitteluvaihetta edeltää yleensä niin kutsuttu kokonaissuunnitteluvaihe, joka kattaa rakennushankkeiden osalta vesihuollon kehittämissuunnitelmat ja kunnallistekniikan laajentamisen esisuunnittelun. Nämä liittyvät kummatkin usein tiiviisti olemassa oleviin kaavoitusohjelmiin ja yhdyskuntarakenteen tai maankäytön muutoksiin (Karttunen 2010b, 76). Varsinaisessa suunnitteluvaiheessa selvitetään tarpeen mukaan muun muassa nykyisten vesihuoltoverkostojen tila, tiedot alueella sijaitsevista muista teknisistä verkostoista, vesihuoltoverkostojen mitoitus-tiedot sekä vedenkulutuksen ennusteet. Vaiheessa kerättyjen tietojen perusteella muodostetaan alustavalla suunnittelutarkkuudella vaihtoehtoisia ratkaisuja toteutusratkaisuista. Yksi esitetyistä vaihtoehdoista etenee yksityiskohtaisempaan rakennussuunnitteluvaiheeseen, jossa tehdään tarkemmat tutkimukset kohteen toteuttamiseksi ja laaditaan edelleen yksityiskohtaiset suunnitelmapiirustukset, hankintaluettelot sekä muut tarvittavat asiakirjat. (Tuomiranta, J. 2017; Karttunen 2010a, 119-126.)



Kuva 3 Vesihuoltoverkostojen elinkaariprosessit (muokattu lähteestä Karttunen 2010b, 76).

Rakennussuunnitteluvaihe toimii perustana uudis- ja saneeraushankkeiden toteutukselle. Tässä vaiheessa laaditut suunnitelmat ja dokumentit etenevät urakoitsijoille sekä materiaalivalmistajille ja -toimittajille, jotka toteuttavat kohteen suunnitelmien mukaisesti. Kohteille on usein tyypillistä, että lähtötiedot tarkentuvat vasta rakennettaessa, jolloin rakennussuunnitelmia joudutaan muuttamaan. (Partanen, A. 2017.) Kohteen valmistuttua se luovutetaan tilaajalle asianmukaisin tarkastuksin, mittauksin ja dokumentein. Näihin lukeutuvat esimerkiksi painekokeet, viettoviemäreiden suoruuden tarkistukset, viemärikuvaukset sekä verkostojen paikan mittaus (x-, y-, ja z- suunnissa). (Lukkarila, P. 2017; Ojala, A. 2017; Karttunen 2010b, 82-84.)

Suunnittelijat toimittavat suunnitelmapiirustukset vesihuoltolaitoksille ja verkoston sijaintikunnalle. Rakennusvaiheen jälkeen suunnitelmista ja mittauksista saatavaa tietoa hyödynnetään edelleen muun muassa verkoston jatkuvassa kunnossapidossa, että kadunrakennushankkeiden yhteydessä (Orava, M. 2017; Remes, I. 2017; Yrjölä, A. 2017). Tiilajina vesihuoltolaitosten ja kuntien toimintatavat tietojen vaatimisessa vaihtelevat jonkin verran, minkä lisäksi eri kuntien ja vesihuoltolaitosten välillä on eroja. Myös esimerkiksi suunnittelutarkkuus voi vaihdella merkittävästikin etenkin saneerattavien kohteiden kohdalla riippuen esimerkiksi kohteen sijainnista ja saatavilla olevista lähtötiedoista. (Ojala, A. 2017; Tuomiranta, J. 2017.)

Kunnossapito on jatkuva prosessi, jossa toteutuvat käytännössä samat vaiheet kuin rakennushankkeiden elinkaareissa. Kunnossapidon kokonaissuunnitteluvaiheeseen lukeutuvat huolto- ja tutkimusohjelmien, korjausohjelmien sekä saneerausohjelmien laatiminen. (Karttunen 2010b, 76.) Ohjelmat laaditaan kunnossapitotyön ja siihen liittyvien tutkimusten sekä asiakkaiden tai automaatiojärjestelmän vikailmoitusten perusteella. Kunnossapitotyötön lukeutuvat esimerkiksi viemäreiden huuhtelu, viemärikuvaukset sekä virtaama- ja painemittaukset. Yllättävät viat, kuten viemäritukokset, vesijohtovuodot tai erilaiset rikkotilanteet, tulevat ilmi asiakasyhteydenottona, ennakoivan huollon yhteydessä tai vesihuoltolaitoksen automaatiojärjestelmän kautta. (Remes, I. 2017; Yrjölä, A. 2017.)

Edellä kuvailtu verkosto-omaisuuden elinkaari on tyypillisesti pitkä. Varsinaisten putkien tekniseksi käyttöäksi arvioidaan noin 40–60 vuotta verkostomateriaalista, veden laadusta ja virtausolosuhteista riippuen (Välisalo et al. 2006, 9; Vattovaara & Sipilä 2005). Osa putkista saattaa kestää hyväkuntoisena huomattavasti edellä mainittua pidempään, kun taas joissain tilanteissa niiden tekninen käyttöikä ei täyty esimerkiksi suunnittelu- tai rakennusvirheen vuoksi. Saneeraustarpeeseen vaikuttavat verkoston teknisen ikääntymisen ja mahdollisten toteutusvirheiden lisäksi myös niin kutsuttu toiminnallinen ikääntyminen. Tällöin verkosto ei enää vastaa käyttötarpeita, ja näin esimerkiksi verkoston kapasiteettia on joillain alueilla pienennettävä veden ominaiskulutuksen vähentymisen vuoksi. Toisaalta saneerausten ajankohtaan vaikuttavat usein muutkin tekijät kuin verkoston tekninen kunto, sillä etenkin taajama-alueilla saneerausjärjestys noudattelee pitkälti katusaneerausten järjestystä. (Lukkarila, P. 2017; Yrjölä, A. 2017; Välisalo et al. 2008, 57.)

OmaisuuDENhallinnan kannalta merkittävimpanä elinkaaren vaiheena pidetään tyypillisesti kunnossapitovaihetta, sillä ajallisesti pisimpänä ajanjaksona esimerkiksi suurin osa omaisuuteen liittyvistä kustannuksista syntyy usein tässä vaiheessa. Suurin osa omaisuuden elinkaaren aikaisista kustannuksista sidotaan kuitenkin suunnitteluvaiheessa, ja tässä vaiheessa tehdyt ratkaisut vaikuttavat oleellisesti myös kunnossapitovaiheen kustannuksiin. Kunnossapitovaiheen kustannuksiin ja omaisuuden lopulliseen käyttöikään vaikuttaa luonnollisesti myös rakennustyön laatu. (Grigg 2012, 95-97; Välisalo et al. 2006, 9.)

2.3 Verkostotiedon hallinta

Vesihuoltoverkostoja koskevan tiedon hallinta voidaan jakaa verkostojen elinkaaren vaiheiden tavoin kahteen luonteeltaan erilaiseen toimintaan: tiedonhallintaan rakennushankkeissa ja tiedon ylläpitoon. Tiedon ylläpidosta voidaan käytännössä erottaa vielä tiedon pitkäaikaissäilytys eli arkistointi, jossa korostuu tiedon pysyvyys hyvin pitkällä aikavälillä. (Malmi 2016, 24.) Yksi tiedonhallinnan organisoinnin ja jakamisen perusedellytys on, että tietoja voidaan hyödyntää digitaalisessa muodossa. Tästä syystä nykyinen vesihuoltolaki edellyttääkin, että vuoden 2016 loppuun mennessä kaikkien laitosten verkostojen sijaintitietojen on täytynyt olla sähköisessä muodossa (Vesihuoltolaki 119/2001).

Viime vuosikymmenien aikana useat vesihuoltolaitokset ovat tehneet merkittäviä investointeja verkostotiedon ylläpidon parantamiseksi (Halfawy et al. 2006b). Tehokkaampien tiedonhallinnan järjestelmien käyttöönotto on parantanut omaisuudenhallintaa ja siihen liittyviä toimintoja, kuten omaisuuden kunnan arviointia, verkoston suorituskyvyn ennustamista sekä kunnossapitotöiden kohdentamista (Halfawy 2008). Suomessa, kuten muuallakin Euroopassa, vesihuoltolaitosten resursseissa ja teknisissä valmiuksissa on yleensä kuitenkin suuria eroja, minkä vuoksi etenkin pienemmillä laitoksilla tiedonhallinnan järjestelmät ovat usein vaatimattomampia (Sirkiä et al. 2017; Grigg 2012, 264).

Verkostotietoa ylläpidetään yleensä vesihuoltolaitosten omassa verkkotietokannassa. Osa vesihuoltolaitoksista hyödyntää CAD (*Computer Aided Design*) -pohjaisia järjestelmiä, mutta etenkin suuremmissa kunnissa ja niiden vaikutusalueilla omaisuustiedon hallinnan ytimen muodostavat paikkatietojärjestelmät (GIS, *Geographical Information Systems*) ja näihin pohjautuvat varsinaiset verkkotietojärjestelmät (NIS, *Network Information Systems*) (Grigg 2012, 268-269). Verkkotietojärjestelmät sisältävät paikkatietojen käsittelyn edellyttämät työkalut ja toiminnot, ja tietoja visualisoimalla suuretkin tietomäärät saadaan kartalle helposti hahmotettavaan muotoon. Verkkotietojärjestelmien vahvuuksia ovat tiedonhallinta ja monipuoliset analyysimahdollisuudet, kun taas CAD -pohjaisten järjestelmien vahvuuksina voidaan pitää geometriatietojen käsittelyä ja muokkausta sekä esimerkiksi kolmiulotteisten tietojen visualisointia. (Harju 2004, 17.) Verkostoihin liittyvän tiedon, ja yleensäkin verkostomaiseen infrastruktuuriin liittyvän tiedon, hallinnassa paikkatietoon pohjautuvien järjestelmien on todettu palvelevan omaisuudenhallintaa huomattavasti CAD -pohjaisia järjestelmiä tehokkaammin (Grigg 2012, 268-269).

Verkkotietojärjestelmään tallennetaan yleensä ainakin putkien ja laitteiden sijainnit, yksilöivät tunnukset, laji- tai tyyppitiedot (kuten viemäriputki, vesijohtoputki, kaivotyyppi, jne.), materiaalit, asennus- ja saneerausvuosi ja dimensiot. Putkille erityisinä ominaisuustietoina voidaan tallentaa esimerkiksi putkien kestävyys- tai paineluokkatiedot ja putkitiivisteiden materiaalit, kun taas kaivoihin voidaan liittää tiedot kaivon kannen ja pohjan korkeudesta sekä kaivoon tulevista ja kaivosta lähtevistä putkista. Näiden lisäksi laitoksilla voi olla erilaisia valmistaja- ja toimittajatietoja sekä laitteistojen teknisiä tietoja (kuten pumpun teho ja energiankulutus, jne.). (Lukkarila, P 2017; Remes, I. 2017; Yrjölä, A 2017) Useimmiten verkkotieto-järjestelmissä on lisäksi monipuolisia mahdollisuuksia

kunnossapitotietojen, kuten viemärikuvausten, valokuvien ja erilaisten dokumenttien, tallentamiseen (Vattovaara & Sipilä 2005).

Varsinaisen verkkotietojärjestelmän ulkopuolella vesilaitoksilla on mahdollisesti erilaisia kunnossapitojärjestelmiä, joiden avulla suunnitellaan kunnossapidon töiden kohdentamista ja ajoittamista, verkoston operointiin tarkoitettuja valvomo- ja tiedonhankintajärjestelmiä (SCADA, *Supervisory Control and Data Acquisition*) sekä erilaisia asiakastieto- ja laskutusjärjestelmiä (Sirkiä et al. 2017; Grigg 2012, 254-255). Pienemmät laitokset voivat ylläpitää myös esimerkiksi erillisiä verkoston kunnossapito-, ongelma-, ja vuotoeksteriä tai laitekohtaisia kaivo- ja venttiilirekistereitä. Suuremmilla laitoksilla nämä tiedot pyritään kuitenkin säilyttämään keskitetysti varsinaisessa verkkotietojärjestelmässä. (Luomanen 2013, 50; Forss 2005, 10 [Nevas 2005].)

Vesihuoltolaitosten lisäksi verkostoon liittyviä tietoja kerätään ja ylläpidetään esimerkiksi kuntien mittaus- ja kiinteistötoimessa, kaavoitustoimessa ja rakennusvalvonnassa. Keskeisessä osassa ovat etenkin kuntien tai vesihuolto- ja muiden verkosto-operaattoreiden ylläpitämät johto- ja kantakartat, jotka sisältävät vesihuoltoverkostojen lisäksi myös muut tekniset verkostot. (Orava, M. 2017.)

Rakennushankkeiden aikaisen tiedonhallinnan tavoitteena on tehostaa hankkeiden osapuolten välistä yhteistyötä. Hankekohtaisessa tiedonhallinnassa keskeisessä asemassa ovat tiedon hyvä päivitettävyys ja sujuva tiedonsiirto eri osapuolten ja tietojärjestelmien välillä. (Malmi 2016 24-25.) Tiedonhallinnan merkitys korostuu rakennushankkeissa etenkin suunnittelun lähtötietojen hankkimisessa ja kunkin suunnitteluvaiheen tai rakennusvaiheen päättyessä (Liukas 2009). Osa lähtötiedoista, kuten putkien ja laitteiden sijainnit tai maa-alueiden kaavoitustiedot, saadaan niiden haltijoilta eli vesihuoltolaitoksilta ja kyseessä olevilta kunnilta. Osa tiedoista on puolestaan kutakin varten tuotettua tarkentavaa tietoa, kuten esimerkiksi suunnittelu- ja kunnossapitovaiheessa tehtävät tarkemittaukset olemassa olevien vesijohtoverkostojen sijainnista. (Lukkarila, P. 2017; Remes, I. 2017; Tuomiranta, J. 2017.)

Verkostohankkeiden tiedonhallinnan käytännöt vaihtelevat esimerkiksi hankkeiden laajuudesta sekä toteuttavista tahoista riippuen. Suuremmissa hankkeissa hyödynnetään usein projektipankkeja, minkä lisäksi hankkeiden osapuolet voivat käyttää erilaisia pilvipalveluja tiedostojen tallentamiseen hankkeiden aikana. (Lönnberg, K. 2017; Ojala, A. 2017; Tuomiranta, J. 2017.) Varsinaisen sähköisen tiedonvälityksen lisäksi tiedonhallintaan kuuluvat oleellisena osana luonnollisesti myös esimerkiksi erilaiset suunnittelu- ja yhteensovituskokoukset.

Hankekohtaisessa tiedonhallinnassa on viime vuosikymmeninä tapahtunut verkostotiedon ylläpidon tavoin kehitystä esimerkiksi digitaalisten aineistojen lisääntymisen, kohteiden mallinnuksen kehittymisen sekä suunnittelun lähtötiedoiksi vaadittavien aineistojen avaamisen myötä (ROTI 2015). Rakennushankkeissa tapahtuvan tiedonhallinnan tehostamiseksi on myös käynnistetty lukuisia kansallisia hankkeita, joista viimeisimpinä

voidaan mainita edelleen käynnissä oleva rakennetun ympäristön ja rakentamisen digitaalisaatiohanke KIRA-digi sekä vuosina 2010-2014 toteutettu RYM Oy:n ja Tekes:n (nykyisen Business Finlandin) rahoittama PRE-tutkimusohjelma (engl. *Built Environment Process Re-engineering*). Yhtenä hankkeiden keskeisimpänä tavoitteena on ollut rakennushankkeiden aikaisen tiedonhallinnan harmonisointi. (Kiradigi 2018; Salmi 2014.)

2.4 Verkosto-omaisuuden hallintaan liittyviä haasteita

OmaisuuDENhallintaan ulkopuolelta kohdistuneet kehityspaineet ovat julkisella sektorilla olleet pääsääntöisesti yksityistä sektoria vähäisemmät, minkä lisäksi toimintaympäristö on ollut verrattain stabiili (Heino 2012; Vattovaara & Sipilä 2005). Viime vuosina vesihuoltolaitosten toimintaympäristö on kuitenkin muuttunut ja laitokset ovat samalla kohdanneet lukuisia omaisuudenhallintaan liittyviä haasteita, joista vesihuoltoverkostojen osalta merkittävimmät liittyvät verkostojen heikkoon kuntoon, hitaan saneeraustahdin vuoksi kertyneeseen korjausvelkaan ja niukkoihin investointivaroihin. Haasteita lisäävät myös esimerkiksi paine uusinvestointeihin ja verkostojen kapasiteetin kasvattamiseen laitosten toiminta-alueiden laajentuessa ja erillisviemäroinnin lisääntyessä. Tulevaisuudessa vesihuoltolaitoksilta edellytetäänkin uudennlaisia lähestymistapoja, uusia teknologioita ja kokonaisuudessaan yhä tehokkaampia omaisuudenhallinnan käytäntöjä. (Cardoso et al. 2012; Halfawy 2008; Babovic et al. 2002.)

Luontaisesta monopoliasemastaan huolimatta vesihuoltolaitosten tulee jatkuvasti pyrkiä parantamaan tarjoamansa palvelun tasoa ja vastaamaan aiemmin mainittujen sidosryhmien osittain ristiriitaisiinkin tarpeisiin ja intresseihin, mikä tekee omaisuudenhallinnasta haastavaa (Heino 2012; Vanier 2001; Lemer 1999). Omaisuudenhallinnan haasteita lisäävät monimutkaisten verkostojärjestelmien kytkeytyminen tiiviisti muuhun ympäröivään infrastruktuuriin, verkostojen poikkeuksellisen pitkän elinkaari, pääasiallinen sijainti maan alla sekä verkostojen kunnan tutkimiseen liittyvät haasteet (Luomanen 2013, 4; Grigg 2012, 4). Pitkän elinkaarensa aikana verkostoon kuuluvat komponentit altistuvat monenlaisille rasituksille, ja verkoston kunto vaihtelee monista komponenteista riippumattomista syistä, kuten asennustavasta, maaperän laadusta, paineiskuista tai liikennekuormista, johtuen. Erityisesti vesijohtoverkostojen kunnan tutkiminen on verkoston käytön aikana nykytekniikalla lähes mahdotonta, ja verkoston todellinen kunto selviääkin usein vasta saneerausvaiheessa. (Välisalo et al. 2008, 9; Babovic et al. 2002.)

Vattovaara & Sipilä (2005) näkevät yhtenä suurimpana verkosto-omaisuuden hallinnan haasteena verkostotiedon hallintaan liittyvät haasteet. Etenkin vanhempien verkoston osalta esimerkiksi näiden sijaintiin ja muihin ominaisuuksiin liittyvät lähtötiedot ovat usein puutteellisia tai virheellisiä, sillä aikaisemmin tietoja ei kerätty läheskään yhtä järjestelmällisesti kuin nykyään. Toisaalta myöskään laitoksilla aiemmin käytössä olleet työkalut eivät ole välttämättä tukeneet tiedon systemaattista keräämistä. (Lukkarila, P. 2017; Luomanen 2013, 50.)

Tiedonhallintaan teknisesti liittyvinä suurimpina haasteina Halfawy et al. (2006b) pitävät tietolähteiden pirstaleisuutta, nykyisten järjestelmien sulkeutuneisuutta sekä lukuisia käytössä olevia tiedon tallennus- ja siirtomuotoja, mitkä kaikki hidastavat osaltaan tehokkaan omaisuudenhallinnan toteutumista. Vesihuoltolaitoksilla, kunnilla ja muilla verkosto-omaisuudenhallintaan liittyvillä osapuolilla on käytössään erilaisia ohjelmistoja ja tietojärjestelmiä, jotka on kehitetty toimimaan itsenäisinä järjestelminään (Halfawy 2008; Välisalo et al. 2008, 56-57). Toisin sanoen organisaatioiden käyttämät tietomuodot eivät useinkaan ole avoimia standardeja, vaan käytössä olevien tietojärjestelmien ohjelmistovalmistajien omisteisia, lisenssisuojattuja tietomuotoja eikä standardoitua rajapintaa ole toisaalta kyetty yhteisesti sopimaan (ROTI 2015; Malmi 2016, 32; Halfawy 2010).

Tietoja siirrettäessä tiedot joudutaan usein tulkitsemaan uudelleen, muuntamaan ja yhdistämään uudelleen eri ohjelmistoihin useaan kertaan (Halfawy et al. 2006b). Esimerkiksi tiedonsiirto hankkeista tiedon ylläpitoon edellyttää yleensä tiedon muokkaamista ylläpidon vaatimiin tietomuotoihin eikä läheskään kaikkea hankkeissa syntyvää tietoa pystytä vielä hyödyntämään digitaalisessa muodossa tai integroimaan vesihuoltolaitosten omiin järjestelmiin. Kokonaisuudessaan turhaa työtä aiheuttavat prosessit ovat tehottomia ja virheellisiä, ja johtavat usein osin ristiriitaisiin tai ajallisesti eriytyneisiin tietosisältöihin. (Malmi 2016, 32.)

Halttulan (2009) mukaan työmaalta toimitettavat toteumatiedot ovat nykyäänkin yleensä melko vaatimattomia. Usein käytössä olevia dokumenttipohjaisia tiedonsiirtomenetelmiä voidaan pitää haasteellisena, sillä nämä eivät tue tietojen hyödyntämistä myöhemmin muihin tarkoituksiin. Toisaalta tilaajatahoilla saattaa olla haasteita muodostaa selkeitä sääntöjä siitä, mitä tietoja tilaajalle tulisi luovuttaa rakennushankkeiden jälkeen ja missä muodossa nämä tiedot tulisi luovuttaa. (Halfawy et al. 2006b.) Välisalo et al. (2008, 56-57) pitävätkin tärkeänä, että tiedonkeruuta saataisiin standardoitua. Tämä helpottaisi sekä yksittäisten laitosten tiedonkeruuta, että eri laitosten välisten tietojen vertailua (Välisalo et al. 2008, 56-57).

Lopuksi Vattovaara & Sipilä (2005) uskovat, että vesihuoltolaitosten olemassa olevien tietojen ja verkkotietojärjestelmien potentiaalin hyödyntäminen voisi olla tehokkaampaa lähes kaikilla laitoksilla. Useimmiten esimerkiksi verkkotietojärjestelmiin olisi mahdollisuus tallentaa huomattavasti nykyistä enemmän erilaisia verkostoja koskevia tietoja, joita voitaisiin hyödyntää myöhemmin muun muassa saneerausten kohdentamisessa (Vattovaara & Sipilä 2005). Viime kädessä haasteena on kuitenkin usein etenkin pienemmillä vesihuoltolaitoksilla tiedon keräämiseen ja validointiin vaadittavat resurssit (Luomanen 2013, 50-51). Kokonaisuudessaan suuremmilla laitoksilla onkin pienempiä laitoksia paremmat valmiudet omaisuudenhallinnan tehostamiseen (Vattovaara & Sipilä 2005).

3 Tietomallit

3.1 Yleisesti

Sana tietomalli on lainattu ohjelmistotuotannosta, jossa sillä tarkoitetaan tiedon rakenteen kuvausta. Käytännössä oikeammin tulisi puhua käsitelmalleista tai datamalleista, sillä teknisesti tietokoneet käsittelevät dataa, mutta Suomessa tietomalli -termiä käytetään usein ainakin semanttisiin datamalleihin viitattaessa (Siren 2014; Hietanen 2005, 26-29). Tiivistetyksi mallien avulla pyritään löytämään keinoja, joilla asioiden todelliset merkitykset ja kontekstit voidaan kuvata tietokoneelle eli esittää asiat koneluettavassa muodossa. Tietomalleissa määritellään esimerkiksi, millaisia kohteita (objekteja/elementtejä) mallin avulla voidaan kuvata, minkälaisia attribuutteja kuvattaviin kohteisiin liittyy, minkälaisia relaatiota mallissa esitettävien tietojen välillä on, ja minkälaisia sääntöjä tietoihin liittyy (Helsingin yliopisto 2005). Nämä määrittelyt muodostavat metatietoverkoston, jossa tietokone ”ymmärtää” tietomallin mukaisesti kuvattavien kohteiden tietosisällön merkityksen (Hietanen 2005, 26-29).

Rakennettua ympäristöä kuvaavat tietomallit voidaan jaotella karkeasti kolmiulotteisiin semanttisiin aluetason tietomalleihin eli niin kutsuttuihin semanttisiin kaupunkimalleihin (engl. *Semantic 3D City Models*) sekä yksityiskohtaisempaa rakennustietoa kuvaaviin malleihin (engl. *Building Information Model*, BIM). Joissakin lähteissä luonteeltaan hieman erilaiset, infrastruktuurin rakennustietoa kuvaavat mallit on erotettu jälkimmäisestä termillä InfraBIM (engl. *Infrastructure Built Environment Information Model*) (esim. Siren 2014). Ajatus rakennettuja ympäristöä kuvaavista tietomalleista ei ole uusi, sillä malleja on tutkittu ja kehitetty ainakin jossain määrin jo vuosikymmeniä. Keskustelu aiheen ympärillä on kuitenkin vilkastunut viime vuosina muun muassa siksi, että mallien luomiseen ja hyödyntämiseen käytettävät teknologiat ja menetelmät ovat kehittyneet huomattavasti. (Gröger & Plumer 2012; Eastman et al. 2008, 13.)

Vaikka edellisessä kappaleessa kuvattujen mallien välillä on yhtäläisyyksiä, eroavat ne toisistaan teknisesti ja kuvaustavoiltaan. Semanttiset kaupunkimallit kuvaavat rakennetun ympäristön kohteita niiden käytön tai havainnoinnin näkökulmasta, kun taas rakennuksen tietomalli keskittyy kuvaamaan, kuinka kohteet suunnitellaan ja rakennetaan. (Tolmer et al. 2013.) Semanttiset kaupunkimallit ovat hyvin moniulotteisia ja sopivat siksi laajojen aluemaisten kohteiden kuvaamiseen. Rakennuksia kuvaavat tietomallit ovat yleensä yksityiskohtaisempia ja tietosisällöltään rikkaampiakin kaupunkimallit, mutta soveltuvat paremmin pienempien, yksittäisten kohteiden kuvaamiseen. (Gröger & Plumer 2012; Rich & Davis 2010, 23-25.)

Kaupunkimalleissa keskeisessä osassa ovat paikkatietojärjestelmät ja kohteiden liittäminen maapallon koordinaatistoon (Kang & Hong 2018). Rakennusten ja pistemäisten inf-rakohhteiden, kuten siltojen, tietomallit ovat teknisesti hyvin samankaltaisia, ja nämä sidotaan suunniteltaessa usein rakennuspaikan paikalliskoordinaatistoon (Malmi 2016, 45). Laajemmat infrastruktuurikonaisuudet, kuten vesihuoltoverkostot tai tiet, sijoittuvat

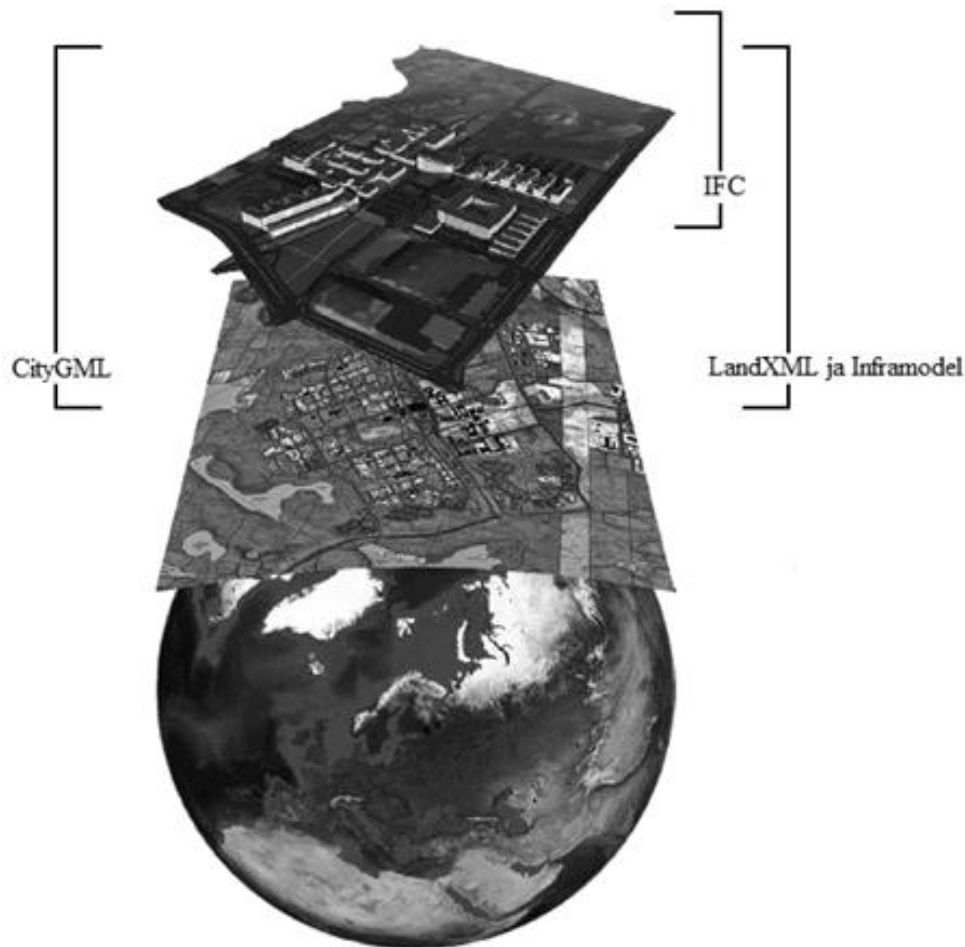
edellisten välimaastoon, ja tällöin mallilta edellytetään käytännössä sekä yksityiskohtaista kuvaamista että kohteiden liittämistä maapallon koordinaatistoon (Becker et al. 2013).

Tietomallien taustalla on pohjimmiltaan ajatus dokumenttipohjaista toimintatapaa kehittyneemmästä tavasta tuottaa, jäsenellä ja välittää rakennettuun ympäristöön liittyvää tietoa. Koska organisaatiot käyttävät sisäisessä toiminnassaan tietojärjestelmiinsä parhaiten sopivia tietomuotoja, edellyttää yhteiskäyttöisten tietojen välittäminen avoimia tiedonsiirtostandardeja (Malmi 2016, 32). Standardoinnilla pyritään takaamaan se, että mallissa kuvattavat tiedot ovat eheitä ja johdonmukaisia sekä mahdollisimman käyttökelpoisessa muodossa eri toimijoiden ja käytettävien ohjelmistojen kannalta. Toisaalta myös eri ohjelmistotoimittajat tekevät tuotteistaan todennäköisemmin yhteensopivia laajasti käytettyjen standardien kanssa, mikä edistää edelleen eri ohjelmistojen välistä riippumattomuutta. (Eastman et al. 2008, 66-67; Halfawy et al. 2006b.)

Semanttisten kaupunkimallien kannalta mielenkiintoisin standardi on OGC:n (engl. *Open Geospatial Consortium*) hyväksymä GML:n (engl. *City Geography Markup Language*) sovellusskeema CityGML (Gröger & Plumer 2012). Kansallisesti kaupunkimallitekniikkaan siirtymistä ja kuntien hallitsemien paikkatietojen mallintamista on pyritty edistämään muun muassa KuntaGML ja KRYSP (Kunnan Rakennetun Ympäristön Sähköiset Palvelut) -hankkeiden avulla. (Kuntaliitto 2017.)

Yksityiskohtaisemman rakennustiedon kuvaamisessa kansainvälisesti merkittävimmässä asemassa on tällä hetkellä IFC -standardi (engl. *Industry Foundation Classes*) (Valande et al. 2008). IFC soveltuu myös pistemäisten infrastruktuurikohteiden kuvaamiseen, mutta laajempien ja verkostomaisten kohteiden kuvaamisessa käyttökelpoisin malli on tällä hetkellä kansainvälisesti LandXML ja Suomessa tämän kansallinen sovellusohje Inframodel (Liukas 2009; Halfawy et al. 2006b).

Kokonaisuudessaan rakennetun ympäristön kuvaamiseen ei ole yhtä ainoaa standardia, joka kattaisi kaikki rakennetun ympäristön osa-alueet (Tolmer et al. 2013). Toisaalta tällaisten standardien luominen ei olisi Valanden et al. (2008) tutkimuksen mukaan edes mielekäästä, sillä hyvin laajat ja semanttisesti rikkaat mallit törmäisivät todennäköisesti lukuisiin tiedonsiirrollisiin haasteisiin. Tolmer et al. (2013) korostavatkin, että nykyisten standardien merkittävää laajentamista tärkeämpää olisi eri standardien välisten raja-aitojen poistaminen. Näin kutakin standardia voitaisiin hyödyntää siihen käyttötarkoitukseen, johon tämä parhaiten soveltuu (Rich & Davis 2010, 23). Rakennettua ympäristöä kuvaavien standardien/tietomallien sovelluskelpoisimpia mittakaavoja on esitetty kuvassa 4. Näistä kutakin käsitellään tarkemmin seuraavissa alaluvuissa.



Kuva 4 Rakennettua ympäristöä kuvaavien tietomallien (engl. *data model*) mittakaavat (muokattu lähteestä Malmi 2016, 47).

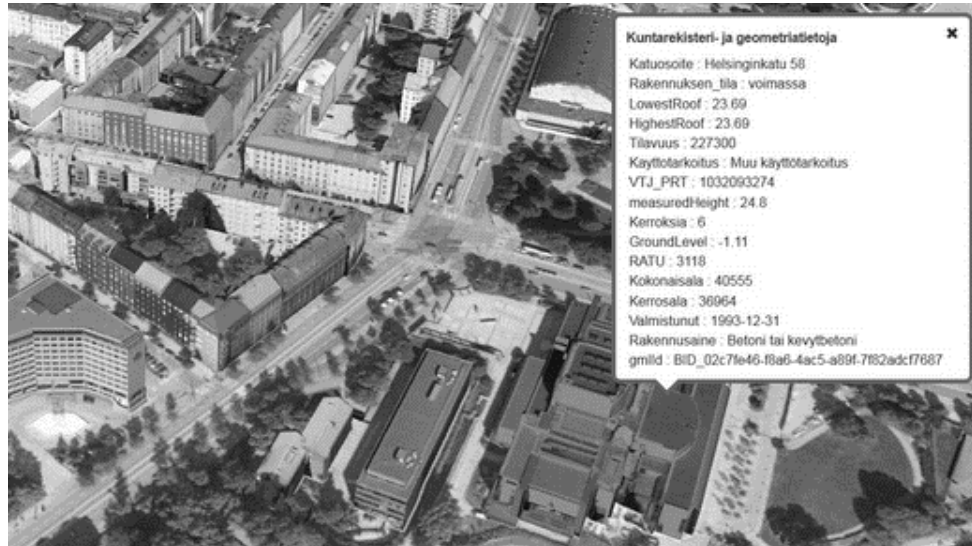
3.2 Semanttinen kaupunkimalli

3.2.1 Käsitteenä

Kaupunkimallin perusajatuksena on toisaalta esittää digitaalinen ja mahdollisimman realistinen kuvaus kaupungista ja toisaalta sallia mallista löytyvien kohteiden tarkka mittaus. Mittausta varten mallin tulee sijaita tunnetussa koordinaatistossa. Näin mallista voidaan mitata siinä esitetyn kohteen koordinaatit ja selvittää edelleen esimerkiksi kohteiden välistä etäisyyksiä oikeassa mittakaavassa. (Airaksinen 2016, 17.) Kolmiulotteiset kaupunkimallit ovat havainnollisuutensa lisäksi erinomainen pohja esimerkiksi aluesuunnittelulle (Gröger & Plumer 2012).

Kolmiulotteiset kaupunkimallit voidaan jakaa karkeasti geometrisiin malleihin ja semanttisiin malleihin. Geometriset kaupunkimallit, kuten Google Maps:in tarjoamat mallit, ovat nimensä mukaan puhtaasti geometrisia eikä näihin voida liittää semanttista tietosisältöä. Semanttiset kaupunkimallit sen sijaan sisältävät tietoa kaupunkimallissa esitettyjen kohteiden ominaisuuksista ja näiden välisistä suhteista sekä kohteiden ulkoasusta. (Gröger & Plumer 2012.) Parhaimmillaan semanttiset kaupunkimallit ovatkin hyvin tietointensiivisiä ilmaisuvälineitä. Esimerkiksi Helsingin kaupungista muodostetusta mallista voidaan tarkastella malliin liitettyjä kuntarekisteritietoja (Kuva 5). Kaupunkimalleja on aiemmin

mainitun aluesuunnittelun lisäksi sovellettu esimerkiksi rakennusten energia- ja tulva-alue-analyyseissä sekä teknisten verkostojen kriittisyystarkastelussa (Becker et al. 2011). Kattavan listauksen erilaisista sovellusmahdollisuuksista ovat tehneet muun muassa Biljecki et al. (2015).



Kuva 5 Helsingin luotuun kaupunkimalliin on liitetty semanttista tietosisältöä (Airaksinen 2016, 82).

Semanttinen kaupunkimalli tuotetaan tyypillisesti yhdistelemällä useita tekniikoita ja menetelmiä, kuten laserkeilausta, suunnitelmapiiirustuksia ja fotogrammetrisia menetelmiä (Tomljenovic et al. 2015; Haala & Nada 2010; Yin et al. 2009). Semanttisen kaupunkimallin luominen ei ole Lappalaisen (2017) mukaan välttämättä graafista mallinnusta monimutkaisempaa tai merkittävästi kalliimpaa, koska kaupunkimallin geometria on tuotettavissa puoliautomaattisesti keilaus- ja karttamateriaalien pohjalta. Tämän jälkeen mallin monimutkaisuus ja toisaalta hyödyntämispotentiaali riippuu malliin muista tietokannoista liitettävästä semanttisesta tiedosta (Lappalainen 2017). Kokonaisuudessaan semanttisten kaupunkimallien luomiseen käytettävät tekniikat ja menetelmät ovat kehittyneet viime vuosikymmenten aikana huomattavasti, mikä on luonnollisesti lisännyt kiinnostusta mallien hyödyntämiseen (Gröger & Plumer 2012).

3.2.2 Kansainvälinen kaupunkitiedon standardi CityGML

Kansainvälinen CityGML-standardi on avoin tietomalli (engl. *data model*) ja tiedonsiirtoformaatti, joka on tarkoitettu semanttisesti rikkaiden aluemaisten kohteiden kuvaamiseen (Gröger & Plumer 2012). Nykyään CityGML näyttää tarjoavan parhaan viitekehyksen aluemaisten, maanpinnan yläpuolisten kohteiden kuvaamiseen, minkä vuoksi akateeminen ja poliittinen kiinnostus CityGML:ää kohtaan on hyvin vireää (Biljecki et al. 2015; Tolmer et al. 2013). Standardiin viitataan muun muassa Euroopan komission INSPIRE-direktiivissä, ja sitä sovelletaan nykyisin useissa kymmenissä maissa (Gröger & Plumer 2012).

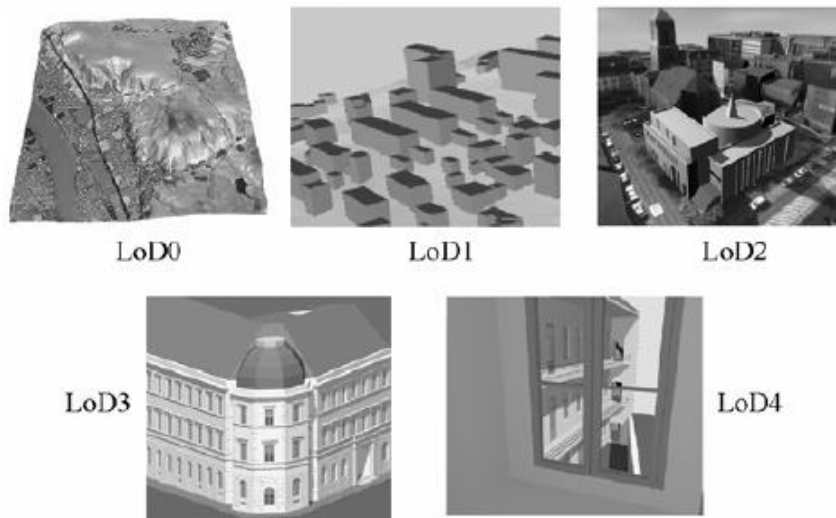
Toinen ja tähän mennessä viimeisin versio CityGML-standardista ilmestyi vuonna 2012. Parhailtaan standardista kehitetään versiota 3.0, jonka on tarkoitus vastata edeltäjiään paremmin INSPIRE-direktiivin vaatimuksiin. Kehittämisestä vastaa Special Interest Group 3D (SIG 3D), johon kuuluu kymmeniä yrityksiä, kuntia ja tutkimuskeskuksia Saksasta, Iso-Britanniasta, Sveitsistä, Itävallasta ja Hollannista. (OGC 2010; OGC 2012, xiv.)

CityGML perustuu XML-pohjaiseen *Geographical Markup Language 3* (GML3) kieleen, joka on laajasti tuettu erilaisissa paikkatieto-ohjelmissa ja spatiaalisissa tietokannoissa. Standardi on näin yhteensopiva useiden paikkatietojärjestelmien ja tietopalvelurajapintojen kanssa, minkä vuoksi CityGML:n sisältämää dataa voidaan siirtää, muokata, mallintaa ja hallita tehokkaasti erilaisten paikkatietosovellusten ja tietopalvelurajapintojen välillä. (Gröger & Plumer 2012; Kolbe 2009.) Varsinaisten mallien luomiseen on lukuisia eri ohjelmistoja.

Yksi standardin tärkeimmistä ominaisuuksista on niin kutsuttu LoD (Level of Detail) -konsepti, minkä ansioista mallissa kuvattavat kohteet voidaan määritellä viidellä eri tarkkuustasolla. Tarkkuustasot kuvaavat, kuinka paljon kolmiulotteinen malli vastaa reaali maailman kohteita ja toisaalta rajaavat näin myös mallin käyttömahdollisuuksia. (Biljecki et al. 2015; Gröger & Plumer 2012.) Tarkkuustasoista LoD 0 on karkein LoD 4:n ollessa tarkin:

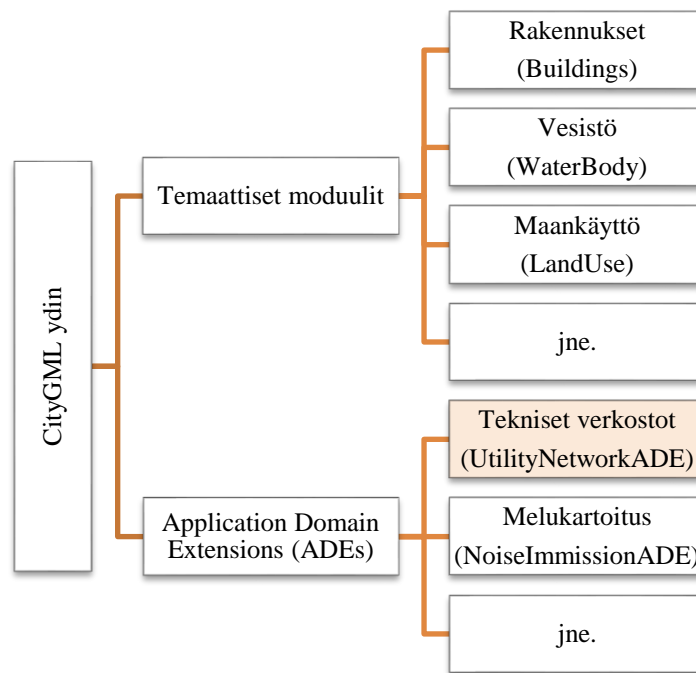
- LoD 0: maastomalli, käytetään kaksi- ja puoliulotteisen (2,5D) digitaalisen maastomallin kuvaamiseen. Maastomallin päälle voidaan levittää esimerkiksi karttakuva, ilmakuva tai polygoneja kuvaamaan eri alueiden ominaisuuksia.
- LoD 1: rakennetun ympäristön laatikkomalli, jossa kohteet ovat suorakulmaisia. Kolmiulotteisten pisteiden sijaintitarkkuus on 5/5 m (sijaintitarkkuuden on oltava sekä x-, y- että z-suunnassa viisi metriä tai vähemmän). Tasossa voidaan esittää kohteita, joiden pinta-ala on vähintään 6 m * 6 m ja korkeus 3 m.
- LoD 2: rakennetun ympäristön laatikkomalli, jossa rakennukset voivat sisältää erimuotoisia pintoja. Kolmiulotteisten pisteiden sijaintitarkkuus on 2/2 m. Tasossa voidaan esittää kohteita, joiden pinta-ala on vähintään 4 m * 4 m ja korkeus 2 m.
- LoD 3: rakennetun ympäristön tarkka malli, jossa voidaan esittää rakennusten tarkat arkkitehtuuriset piirteet, kuten seinien ja kattojen yksityiskohdat. Kolmiulotteisten pisteiden sijaintitarkkuus on 0,5/0,5 m. Tasossa voidaan esittää kohteita, joiden pinta-ala on vähintään 2 m * 2 m ja korkeus 1 m.
- LoD 4: sisätilamalli, jossa voidaan esittää huoneet ja esimerkiksi huoneisiin kuuluvat kalusteet. Kolmiulotteisten pisteiden sijaintitarkkuus on 0,2/0,2 m. (OGC 2012, 10-11.)

Eri tarkkuustasojen avulla kohteiden visuaalinen esittäminen on tehokasta, sillä oleellimmat kohteet voidaan kuvata tarkemmilla tasoilla kuin vähemmän tärkeät kohteet (Kuva 6). Lisäksi eri tasot mahdollistavat sen, että läheltä tarkasteltaessa mallista paljastuu paljon yksityiskohtia, kun taas kauempaa kohteet yksinkertaistuvat, jolloin kokonaisuus on selkeämpi. Tästä ominaisuudesta on etua etenkin laajoissa aineistoissa, jolloin isojen tiedostojen käsittely kevenee yksityiskohtien vähetessä. Visuaalisen tarkastelun ohella LoD-tasoa hyödynnetään erilaisissa analyyseissä siten, että analyysit ovat mahdollisimman kevyitä ja tehokkaita. Esimerkiksi tietyllä alueella olevien kohteiden määrän laskeminen voidaan tehdä alimmalla tasolla, jossa kohteet ovat esitettynä, mikä voi keventää analyysijä huomattavasti. (Gröger & Plumer 2012.)



Kuva 6 Kohteiden esittäminen CityGML:n mukaisilla tarkkuustasoilla LoD0 - LoD4 (Kolbe 2009).

CityGML on suunniteltu universaaliksi standardiksi, jossa määriteltäisiin kaikki yleisimmät rakennetun ympäristön sisältämät kohteet ja niiden luokat. CityGML:n mukainen malli koostuu kahdesta temaattisesta osasta: ydinmoduulista (engl. *core module*), joka sisältää mallin peruskäsitteet ja -komponentit sekä laajennusmoduuleista (engl. *extension modules*), joista jokainen käsittää yhden mallin temaattisen alueen. Temaattisia moduuleita on nykyisin kymmenen ja nämä käsittävät esimerkiksi rakennukset, vesialueet ja maankäytön (Kuva 7). (Gröger & Plumer 2012.) CityGML:ssä uusia kohteita, ominaisuuksia ja geometrioita voidaan lisätä malliin *Application Domain Extension (ADE)* -laajennusominaisuuden avulla. Laajennoksia on kehitetty useisiin erilaisiin sovellusmahdollisuuksiin, kuten melukartoitukseen (NoiseImmissionADE) ja teknisten verkostojen kuvaamiseen (UtilityNetworkADE) (Becker et al. 2013; OGC 2012, 308.)



Kuva 7 CityGML-standardin sisältämiä temaattisia moduuleja ja laajennuksia (ADEs).

Teknisiä verkostoja kuvaavan laajennuksen luonnosversio esiteltiin ensimmäistä kertaa vuonna 2011, minkä jälkeen aiheesta on ilmestynyt melko rajallinen määrä virallisia julkaisuja. Becker et al.:n (2011) esittelemässä luonnosversiossa määriteltiin UtilityNetworkADE:n verkostotietojen ydin (engl. *NetworkCore*), joka kattaa teknisten verkostojen elementtien geometria- ja topologiatiedot. Hijazi et al. (2010) olivat hieman aikaisemmin esitelleet ajatuksia ja ohjeita siitä, miten kappaleessa 3.3.3 esiteltävän IFC-standardin mukaisen mallin kuvaamia rakennusten sisäisten verkostojen tietoja voitaisiin integroida kaupunkimalliin. Näiden jälkeen lähes ainoa viittaus UtilityNetworkADE:en näyttää löytyvän Kutznerin & Kolben vuonna 2017 ilmestyneessä suppeassa esitysmateriaalissa, jonka mukaan laajennuksen kehittäminen on kuitenkin edelleen käynnissä. Esityksen mukaan verkoston osiin on liitetty mahdollisuus lisätä materiaaliominaisuuksia, kuten osien ulko-, sisä- ja täytemateriaalit, sekä toiminnallisia piirteitä, kuten kohteen merkitys verkostossa (Kutzner & Kolbe 2017).

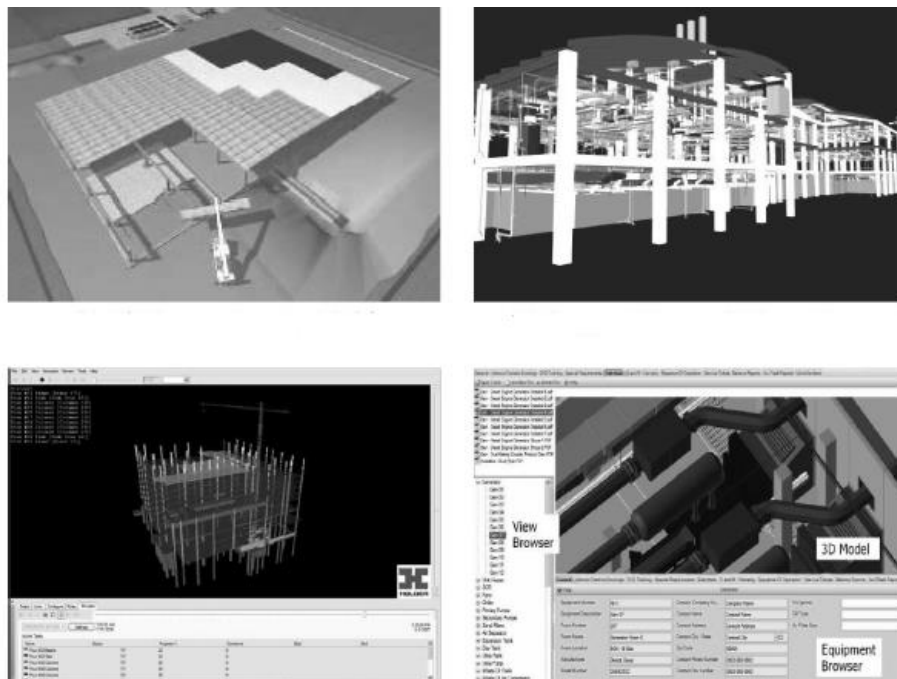
3.3 Rakennuksen tietomalli

3.3.1 Käsitteenä

Rakennuksen (tai pikemminkin kohteen) tietomallille löytyy kirjallisuudesta lukuisia määritelmiä, mutta ei yhtäkään täysin yksiselitteistä (Migilinskas 2013). Aranda-Mena et al. (2009) ja Barlish & Sullivan (2012) toteavatkin rakennuksen tietomallin olevan käsitteenä ja ilmiönä hyvin monitulkinnallinen. Monitulkinnallisuudesta kertoo muun muassa se, että käsitteestä löytyy lukuisia toisistaan hieman poikkeavia määritelmiä, ja itse akronyyminäkin BIM on käännetty neljällä tavalla: *Building Information Model*, *Building Information Modeling*, *Building Information Management* ja *Better Information Management* (BIM4Water 2017; Aranda-Mena 2009; Succar 2009). BIM-termin lisäksi käy-

tännössä samaan asiaan viitataan eri lähteissä myös muun muassa termeillä *Asset Lifecycle Information System*, *nD Modelling* ja *Virtual Building* (Succar 2009). Rakennuksen tietomallia käsittelevissä varhaisimmissa lähteissä käytetään useimmiten nimitystä tuotemalli tai tuotetietomalli (engl. *building product model* tai *product data model*) (esim. Björk 1989). Joissakin lähteissä edelliset termit on erotettu toisistaan siten, että varsinaisiin tuotetietoihin kuvaaviin malleihin, kuten IFC-standardiin, viitataan termillä tuotetietomalli, kun taas yksittäiseen IFC-tiedostoon viitataan termillä tuotemalli (esim. Siren 2014). Käsitteen kehittymistä ja ilmiön monitulkinnallisuutta kuvataan tarkemmin esimerkiksi Latiffin et al. (2014) artikkelissa ”*The Development of Building Information Modeling (BIM) Definition*”.

Usein rakennuksen tietomalli tulkitaan digitaaliseksi esitykseksi tai kokonaisuudeksi, joka kuvaa kohteen fyysisiä ja toiminnallisia ominaisuuksia (esim. Barlish & Sullivan 2012; Björk 1989). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kohdetta kuvataan semanttisen datamallin eli ikään kuin kohteesta muodostettavan oman tietokannan avulla. Malli voi sisältää varsinaisten geometriatietojen lisäksi tietoa muun muassa esivalmistetuista rakenneosista, kustannuksista ja rakentamiseen tai kunnossapitoon liittyvistä aikatauluista (Migilinskas et al. 2013; Eastman et al. 2008, 109 330.) Näin mallin tietosisältöä voidaan hyödyntää edelleen esimerkiksi visualisoinnissa, työmaan logistiikan suunnittelussa, perinteisten suunnitelmapiirustusten tuottamisessa sekä määrä- ja kustannuslaskennassa (Kuva 8) (Azhar 2011).



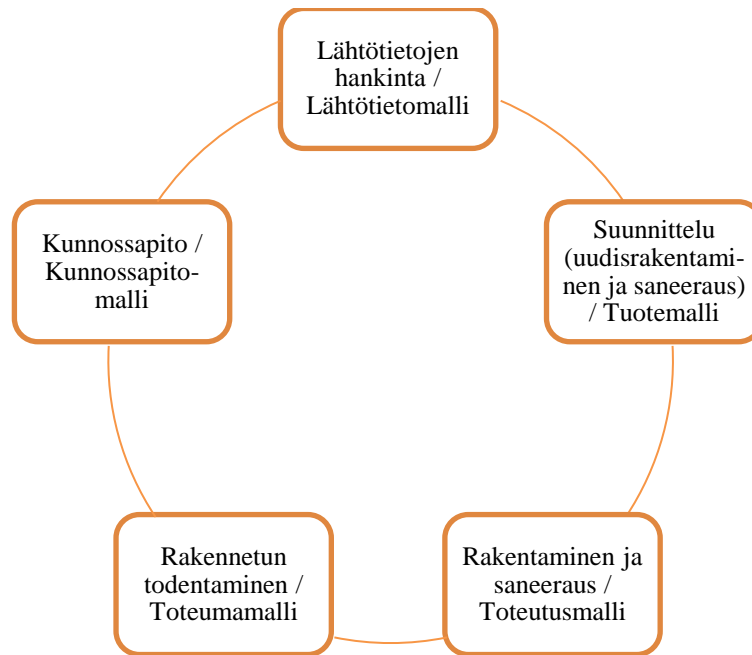
Kuva 8 Rakennuksen tietomallin erilaisia ulottuvuuksia ja sovellusmahdollisuuksia (Azhar 2011).

Mallien laatimiseen ja näiden tarkastelemiseen on lukuisia eri ohjelmistoja. Useimmille suunnittelualoille, kuten rakennesuunnitteluun, LVI-suunnitteluun ja verkostosuunnitte-

luun, on vuosien varrella kehitetty alojen tarpeisiin räätälöityjä omia ohjelmistojansa. Vesihuoltoverkostoja voidaan suunnitella esimerkiksi Autodesk:in Civil 3D -ohjelmistolla tai Bentley:n MicroStation -ohjelmistolla (Autodesk 2018; Bentley 2018a). Tarkasteluohjelmistoilla, kuten Solibri Model Viewer: llä ja Bentley View:lla, voidaan tarkastella malleja sekä lisätä näihin esimerkiksi kommentteja (Bentley 2018b; Solibri 2018). Suunnittelu- ja tarkasteluohjelmistojen lisäksi mallien tietosisältöä hyödyntävien erilaisten analyysien suorittamiseen on usein omat ohjelmistonsa.

Alkuperäisen ajatuksen mukaan rakennusta (tai muuta kohdetta) kuvaavalle mallille ehdottomina vähimmäisvaatimuksina pidetään teknisesti ainakin sitä, että: (1) mallissa kohteen rakennusosia edustavat objektit, joihin liittyvät attribuutit ja säännöt määrittävät tarkasti, mitä objektit edustavat (2) malliin tehtävien muutosten on päivityttävä mallin kaikkiin näkyisiin; (3) mallin objektien ominaisuudet on voitava tallentaa sellaisessa muodossa, että toiset ohjelmat voivat lukea tietoa (Eastman et al. 2008, 13). Ensimmäisellä vaatimuksella viitataan esimerkiksi siihen, että malliin laaditaan säännöstö, jonka mukaan viemäriputki on määritelty mallissa tarkasti viemäriputkeksi ja putken päässä voi olla vain tietynlainen kaivo. Toisella vaatimuksella tarkoitetaan puolestaan sitä, että tekemällä muutoksia mallin yhteen näkymään, kuten pituusleikkaukseen, sama muutos päivityy mallin sääntöjen mukaisesti myös muihin näkyisiin (Halttula 2009). Viimeinen vaatimus on keskeinen mallinnetun tiedon jälleenkäyttöarvon kannalta. Yhtenä ”tietomallitekniikan” perimmäisenä tarkoituksena nimittäin on, että malliin tallennettu tieto voidaan siirtää elinkaaren vaiheesta tai osapuolelta toiselle käyttökelpoisessa muodossa siten, että tietoa ei katoa vaiheiden välillä (Valande et al. 2008).

Tavoitetilassa tietomalli käsittäisi kohteen koko elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuuden digitaalisessa muodossa ja näin mallia voitaisiin myös hyödyntää kohteen koko elinkaaren ajan (Kuva 9) (Eastman et al. 2008, 110, 330). Rakennushankkeen alussa lähtötiedoista koostettaisiin suunnittelua varten lähtötietomalli, joka käsittäisi eri lähteistä saadut tai mitatut lähtötiedot, kuten maaperä- ja pohjatutkimusaineistot, johtokartat, sekä viiteaineistot, kuten viranomaisluvut ja -päätökset (Liukas & Virtanen 2015). Suunnittelun lopputuloksena syntyisi niin kutsuttu suunnitelmamalli, joka koostuisi eri tekniikkalajien, kuten vesihuollon, geotekniikan ja katutekniikan suunnitelmista. Rakentamisen aikana hyödynnettäisiin toteutusmallia, joka ideaalitalanteessa kattaisi kaikki kohteen toteuttamiseksi tarvittavat tiedot, ja josta voitaisiin jalostaa edelleen esimerkiksi työkoneissa hyödynnettäviä koneohjausmalleja. Rakennustöiden aikana laadittava toteumamalli kuvaisi kohteen toteutumisen ja näin mallia voitaisiin käyttää esimerkiksi laaturaportoinnin tukena, kun kohde luovutetaan tilaajalle. Lopuksi kohteesta laadittava kunnossapitomalli tukisi muita kunnossapidon teknisiä järjestelmiä, kuten kiinteistöjen kiinteistöhoitojärjestelmiä tai vesihuoltoverkostojen verkkotietojärjestelmiä. (Miettinen & Paavola 2014.)



Kuva 9 Kohdetta kuvaavan tietomallin elinkaari.

Perusominaisuuksiltaan rakennuksia ja infrastruktuurikohteita kuvaavia malleja voidaan pitää samankaltaisina, ja näin ollen esimerkiksi edellä kuvatut vaatimukset koskevat myös infrastruktuurikohteita kuvaavia malleja. Käytännössä useimpia infrastruktuurikohteita ei voida kuitenkaan verrata rakennuksiin. Infrastruktuurikohteet ovat esimerkiksi lähes poikkeuksetta huomattavasti rakennuksia laajempia kokonaisuuksia, kohteiden välillä on monimutkaisia riippuvuussuhteita eikä kohteita voida rajata yhtä selkeästi kuin rakennuksia (buildingSMART 2018, 76-77). Osittain näistä syistä tietomallitekniikan hyödyntäminen onkin mukaan infrastruktuurihankkeissa paljon muuta rakennusalaan jäljessä.

Verrattain hidas kehitys ja tietomallitekniikan jalkauttaminen varsinaisiin rakennushankkeisiin ei kuitenkaan liity vain mallien muodostamiseen liittyviin teknisiin kysymyksiin. Useammassa tutkimuksessa (esim. Miettinen & Paavola 2014; Mäki et al. 2012; Neff et al. 2010) on todettu, että tarjolla olevan teknologian potentiaalin hyödyntämistä hidastavat varsinaiseen tekniikkaan suoranaisesti liittymättömät tiedon välittämistä ja yhteistyötä koskevat kysymykset. Koska näillä näkökulmilla on kuitenkin hyvin keskeinen osa tietomallitekniikassa, on rakennuksen tietomallin käsitettä laajennettu viimeisten vuosikymmenten aikana huomattavasti. Nykyään käsitteen voidaankin ajatella muodostavan eräänlaisen sateenvarjotermin tai -konseptin, jota voidaan lähestyä useista eri näkökulmista (Latiff et al. 2014). Suppeammassa merkityksessä rakennuksen tietomallia voidaan siis tarkastella vain teknisestä näkökulmasta käsin, mutta laajemmassa merkityksessä tulee Succarin (2009) mukaan ottaa huomioon myös prosessi- (engl. *process*) ja toimintaperiaatteenäkökulmat (engl. *policy*).

Prosessi- ja toimintaperiaatteenäkökulmat korostavat uudenlaisia prosesseja ja yhteistyön muotoja, joita mallien hyödyntäminen näyttää edellyttävän tai tuovan mukanaan (Mäki

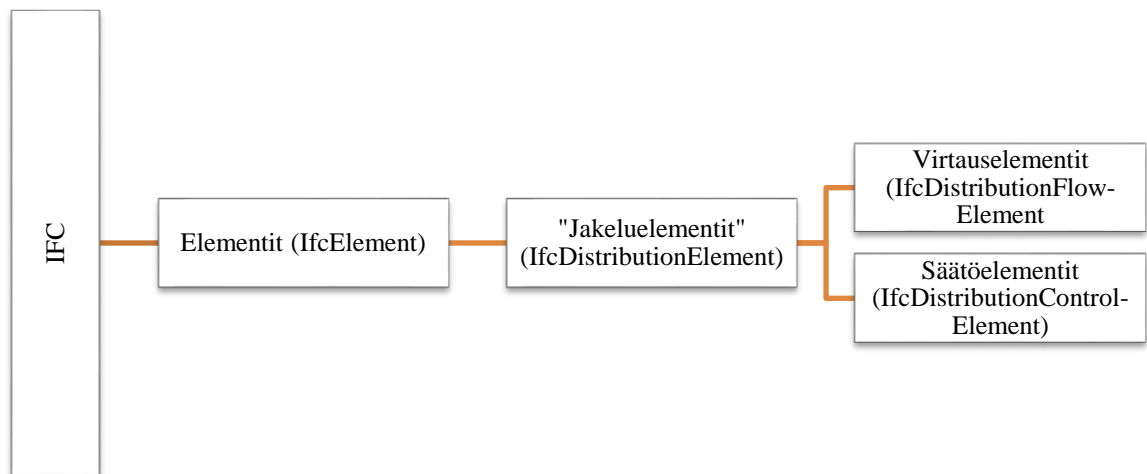
et al. 2012). Tämä tarkoittaa esimerkiksi rakennettavan kohteen koko elinkaaren kokonaisvaltaisempaa huomioon ottamista jo suunnitteluvaiheessa sekä tehokkaampaa ja avoimempaa tiedon jakamista ja yhteistyötä eri elinkaaren vaiheiden välillä (Succar 2009). Prosessien muuttamisella ja yhtenäistämällä pyritään parantamaan rakennusprosessien tuottavuutta ja laatua, ja viime kädessä kohteen koko elinkaaren aikaista hallintaa (Eastman et al. 2008, 16-20).

Succarin (2009) mukaan uudenlaiset prosessit ja yhteistyömuodot puolestaan edellyttävät uudenlaisia sopimuksia ja sääntöjä. Näihin voidaan laskea esimerkiksi luvussa 2.3 mainitun PRE-tutkimusohjelman tuloksena syntynyt tekninen ohjekokonaisuus yleiset inframallinnusvaatimukset (YIV) (Salmi 2014). Käytännössä YIV: ssa linjataan, kuinka malleja laaditaan ja hyödynnetään erilaisissa käyttötapauksissa (Malmi 2016, 15, 21). Ohjekokonaisuus kattaa esimerkiksi määrälaskennan, havainnollistamisen ja mallien laadunvarmistuksen kannalta oleelliset asiat (Luoma 2016; Mäkinen et al. 2016; Ruuti et al. 2015). Kokonaisuudessaan YIV: ia voitaisiin luonnehtia kokoelmaksi infrastruktuurin mallintamisen ja hankkeiden parhaita käytäntöjä, joilla tulee Malmin (2016, 21) mukaan todennäköisesti olemaan kaivattu standardoiva vaikutus infrastruktuurin mallintamiseen.

3.3.2 Kansainvälinen rakennustiedon standardi IFC

Kansainvälisesti merkittävimmän aseman rakennustiedon kuvaamisessa on saavuttanut IFC -standardi. IFC on avoin tietomalli (engl. *data model*) ja tiedonsiirtoformaatti, joka on tarkoitettu semanttisesti rikkaiden pistemäisten kohteiden kuvaamiseen. (Becker et al. 2013.) Standardin kehittäminen aloitettiin 1990-luvun alkupuolella buildingSMART:in (silloisen *International Alliance of Interoperability*:n, IAI) alaisuudessa ja on ollut aktiivista siitä lähtien (Valande et al. 2008). IFC:n kehittämisen pyrkimyksenä on ollut kuvata kaikki rakennustiedon piiriin kuuluvat tietosisällöt ja näiden keskinäiset suhteet. Tietomallina IFC:stä onkin kehittynyt hyvin laaja ja semanttisesti rikas malli, jonka avulla voidaan kuvata kohteen fyysisten ominaisuuksien lisäksi myös esimerkiksi rakennusprojektien kustannuksiin ja aikatauluihin liittyviä tietosisältöjä. (Golabchi & Kamat 2013.)

IFC:n ytimenä toimii niin kutsuttu juuritaso (*ifcRoot*), jolla määritellään kohteet, attribuutit ja näiden väliset suhteet. Kaikkiin kohteisiin liittyvät rakennuselementit esitetään *IfcElement* -päätasolla (Kuva 10). Kaikki ”jakelujärjestelmät”, mukaan lukien lämpö-, vesi- ja ilmanvaihtojärjestelmät, esitetään *IfcDistributionElement* -elementin alla. Jakelujärjestelmät voivat olla tyypiltään virtaus- tai säätöelementtejä. Edellisiin lukeutuvat esimerkiksi erilaiset säiliöt ja pumput, ja jälkimmäisiin puolestaan erilaiset automaatiojärjestelmät. Tällä hetkellä IFC:ssä on määritelty rakennusten sisäiset tekniset verkostot vesihuoltoverkostot mukaan lukien, mutta maanalaiset verkostot eivät sen sijaan ainakaan vielä kuulu IFC:n kuvauksen piiriin. (Becker et al. 2013; Becker et al. 2011.)



Kuva 10 IFC:n hierarkkinen rakentuminen.

Vuonna 2006 julkaistun ja vielä nykyisin yleisimmin käytetyn 2x3 version aikana IFC on ollut kasvavan kiinnostuksen kohteena myös erilaisten infrastruktuurikohteiden kuvaamisessa. Nykyisin IFC:tä voidaan hyödyntää pistemäisten infrastruktuurikohteiden kuvaamisessa, kuten erilaisissa taitorakenteissa. IFC:n laajentamisesta on käynnissä lukuisia kehityshankkeita, joissa standardia pyritään laajentamaan myös pituudeltaan merkittävämpiin kohteisiin, kuten rautateihin ja tunneleihin. (Lee & Kim 2011.) Nykyisellään IFC:ssä ei kuitenkaan tueta maapallokoordinaattien käyttöä (Rich & Davis 2010, 24-25). Malmin (2016, 44) mukaan tämä tarkoittaisi luultavasti sitä, että pituudeltaan merkittävimmissä kohteissa esimerkiksi IFC:n mukainen vesihuoltoverkoston kuvaava malli olisi välttämätöntä pilkkoa huomattavasti lyhyemmiksi osiksi, jotta koordinaatistorajoitteisuudesta ei aiheutuisi rakennettavuutta haittaavia mittavirheitä.

Joissakin maissa IFC:n rinnalle on viime vuosina noussut COBie -standardi (engl. *Construction Operations Building information exchange*), jonka avulla on haluttu tehostaa tiedon siirtymistä kohteiden suunnittelu- ja rakentamisvaiheesta kunnossapitovaiheeseen (National Institute of Building Sciences 2018). Toistaiseksi COBie -standardia ei tietävästi kuitenkaan hyödynnetä Suomessa eikä se käsitä infrastruktuurille tyypillisiä kuvauksia.

3.3.3 LandXML ja Inframodel

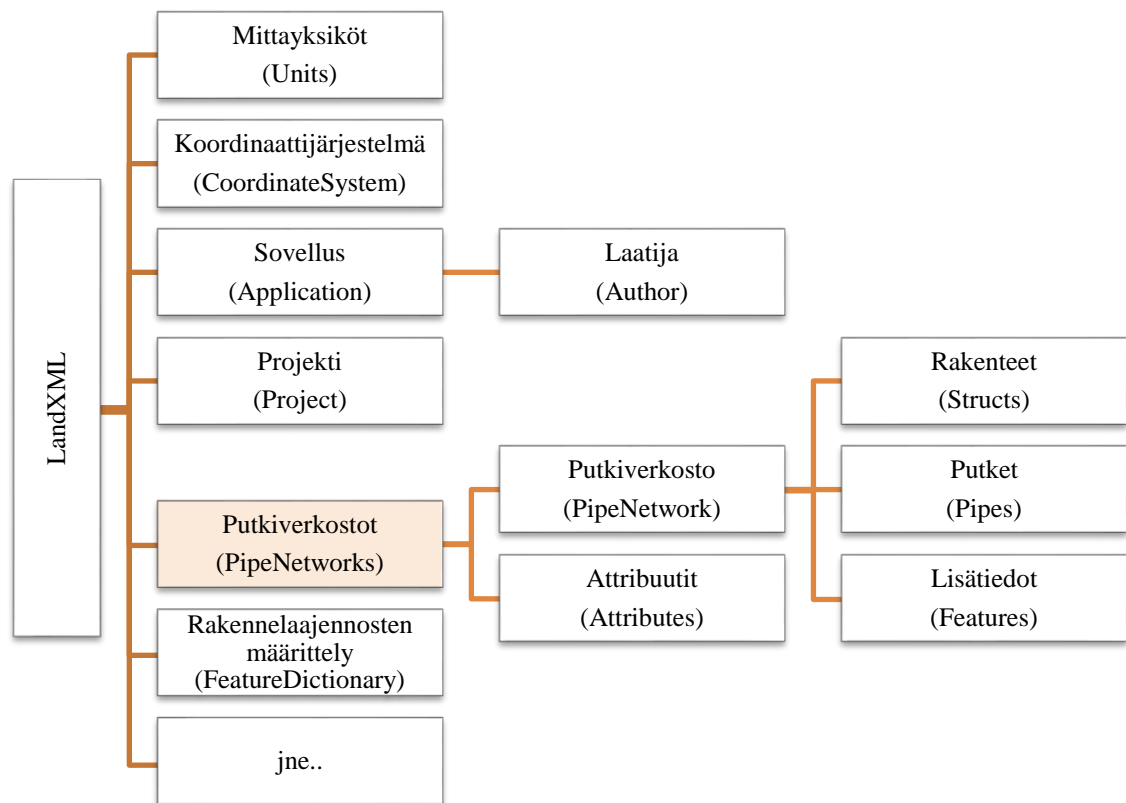
Mikään edellä mainituista standardeista ei tällä hetkellä kata vesihuoltoverkoston kaltaista maanalaista infrastruktuuria. CityGML (ja KuntaGML) on erikoistunut laajojen maanpäällisten alueiden kuvaamiseen, IFC:n ollessa puolestaan käyttökelpoisin rakennusten tai pistemäisten infrastruktuurikohteiden kuvaamisessa (Kuva 3) (Tolmer et al. 2013; Rich & Davis 2010, 25.) Kansainvälisesti käytetyin avoin tietomalli ja tiedonsiirtoformaatti yhdyskuntatekniikan tarpeisiin on LandXML. LandXML:ää kehitettiin alun

perin maanrakennushankkeiden osapuolten välisen tiedonsiirron sujuvoittamiseksi. Lisäksi mallin kehittämisessä ajatuksena oli luoda niin tiedon pitkäaikaissäilytykseen soveltuva formaatti kuin myös viralliseksi sähköiseksi suunnitteludokumentiksi kelpaava tiedon esitystapa. (Halfawy et al. 2006b.)

LandXML:n erikoisominaisuudet perustuvat siihen, että maanrakennustekniikan suunnittelu sijoittuu rakennussuunnittelun ja alueiden suunnittelun välimaastoon, jolloin mallilta edellytetään sekä BIM:in että GIS:in kaltaisia ominaisuuksia. Esimerkiksi verkostohankkeiden toteuttaminen edellyttää sekä tarkkaa jatkuvaa geometriatietoa että tarkkoja sijaintitietoja koko suunnitelman laajuudessa. (Malmi 2016, 45.) Käytännössä LandXML:n avulla onkin siis pyritty vastaamaan infrastruktuurin tarpeisiin niiltä osin, joita ei ole kaettu IFC:ssä tai CityGML:ssä.

Viimeisin versio LandXML:stä ilmestyi vuonna 2008, jonka jälkeen kehitystyö oli pitkään pysähdyksissä. Sittemmin myös IFC:tä kehittävä buildingSMART on toistaiseksi ollut halukas tukemaan LandXML:n ylläpitämistä ja kehittämistä (LandXML 2017). Tähän mennessä LandXML ei ole kuitenkaan saavuttanut IFC:n tavoin virallisen standardin asemaa (Tolmer et al. 2013).

Nykyinen LandXML-skeema muodostuu kuvan 11 hierarkkisen jäsentelyn mukaisesti. LandXML:n juurielementin alle jäsennetään tiedot mittayksiköistä, käytetystä koordinaattijärjestelmästä, projektin tiedoista ja niin edelleen. Näiden perustietojen lisäksi kullekin suunnittelun osa-alueelle on omat hierarkkiset rakenteensa, jotka sisältävät suunnittelualalle tyypillisimmät määritelmät. (LandXML 2017.) LandXML ei ole tarkoitettu yhtä yksityiskohtaiseen kohteiden kuvaamiseen kuin IFC eikä se myöskään sovellu IFC:n tavoin kohteiden koko elinkaaren kuvaamiseen (Valande et al. 2008; Halfawy et al. 2006b). Toisaalta kuten edellä mainittiin, LandXML on kehitetty nimenomaan maanrakennushankkeiden tarpeisiin ja sisältää infrastruktuurin kuvaamiseen välttämättömiä elementtejä, joita IFC ei ainakaan tällä hetkellä kata.



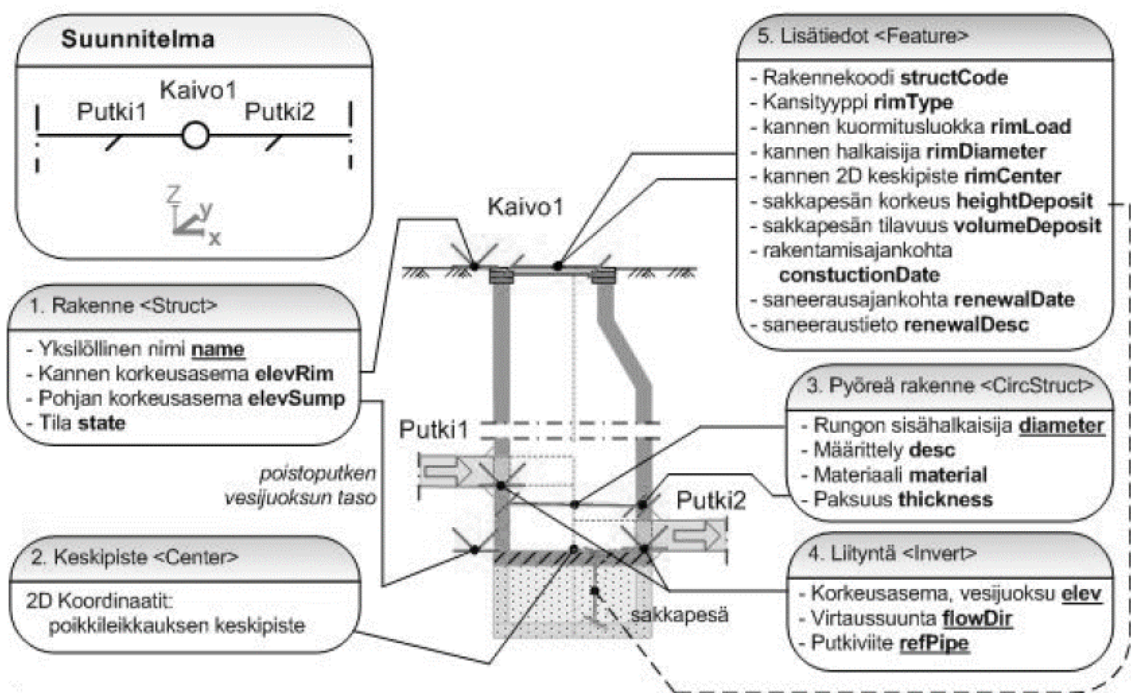
Kuva 11 LandXML:n hierarkkinen rakentuminen.

LandXML:ssä vesihuoltoverkostot on kuvattu CityGML:n tavoin topologisena mallina ja kaivot solmupisteinä, joiden välille määritellään putkia. Päätasen putkiverkostot esitetään PipeNetworks -elementissä, jonka alielementeiksi määritellään yksittäiset putkiverkostot. (Hyvärinen & Porkka 2010). Putkiverkostot voivat olla tyypiltään sadevesi-, jätevesi- tai vesijohtoverkostoja taikka rumpuja (Liukas 2009). Yksittäisen putkiverkoston komponentteja ovat edelleen rakenteet ja putket. Rakenteita ovat esimerkiksi kaivot ja laitteet sekä putkien liitos-, jatkos- ja taitepisteet. PipeNetworks -elementtiä voidaan soveltaa vesihuoltoverkostojen lisäksi myös kaukolämpöverkostoihin. (LandXML 2017; Hyvärinen & Porkka 2010.)

Halfawy et al. (2006b) pitävät LandXML:n nykyistä versiota erityisesti vesihuoltoverkostojen kannalta hyvin suppeana, ja myös Hyvärinen & Porkka (2010) toteavat mallissa samanlaisia puutteita. LandXML:n merkittävä laajentaminen olisikin tarpeen, jotta mallia voitaisiin soveltaa täysmääräisemmin vesihuoltoverkostojen elinkaaren aikana (Halfawy et al. 2006b). Kokonaisuudessaan LandXML:ää on kritisoitu myös tulkinnanvaraisuudesta (King 2017; Amann et al. 2013). Tämä johtune Malmin (2016, 51) mukaan osaltaan siitä, että LandXML:n ei ole kehitetty IFC-standardin mukaisen tiedonsiirron kuvaavia käyttötapauksia tai GML:n sovelluskeemoja vastaavia järjestelyjä. Käytännössä käyttötapauksien tai järjestelyjen kehittämiseksi ei ole esteitä, mistä on esimerkkinä kansallinen LandXML:n Inframodel-sovellusohje (Malmi 2016, 51).

Inframodel on LandXML:ään perustuva tiedonsiirtoformaatti, jonka kehittämisestä vastaa kansallinen buildingSMART -Finland ryhmä. Formaatin tarkoituksena on vastata

LandXML:ää paremmin erityisesti kansallisissa rakennushankkeissa edellytettyihin tiedonsiirron käyttötapauksiin. Inframodel:ssa LandXML:n kaikista noin 200:sta elementistä on käytetty yhteensä noin 50:tä elementtiä, minkä ohella Inframodel:iin on lisätty rakennelaajennuksia LandXML:ssä puutteellisiksi koetuilta osin. (Liukas 2009.) Rakennelaajennuksia on lisätty muun muassa vesihuoltoverkostojen sisältämien erilaisten rakenne- ja putkityyppien kuvaamiseen. Esimerkiksi paineviemäreiden osalta Inframodel:iin on lisätty mahdollisuus esittää painetieto ja lujuusluokka putken määreenä, minkä lisäksi kaivot on mahdollista kuvata hyvinkin tarkasti (Kuva 12). LandXML:stä poiketen myös erityyppiset putket voidaan Inframodel:ssa määrittellä kaareviksi. (Hyvärinen & Porkka 2010.) Karjalaisen (2015) mukaan Inframodel:in kehittyessä verkostoa kuvaaviin ominaisuuksiin on tarkoitettu lisätä muun muassa kaivokortit ja omistajatiedot.



Kuva 12 Kaivojen ja putkien tietojen esittäminen Inframodel:ssa (Hyvärinen & Porkka 2010).

4 Tietomallit omaisuuden hallinnan työkaluina

4.1 Semanttinen kaupunkimalli omaisuudenhallinnan työkaluna

Viime vuosina kiinnostus tietomallien hyödyntämiseen omaisuudenhallinnan työkaluina on kasvanut huomattavasti. Siinä missä mallien hyödyt liitettiin aiemmin etenkin epävirallisemmissa julkaisuissa melko vahvasti niiden tietosisällön sallimien kolmiulotteisten esitysten muodostamiseen, on painopiste sittemmin siirtynyt kokonaisvaltaisemmin tiedonhallintaan. Esimerkiksi Becker et al. (2013) näkevät, että ”älykkäiden” kaupunkimallien avulla voitaisiin tulevaisuudessa hallita kokonaisten kaupunkien elinkaarta. Keskeisessä asemassa ovat heidän mukaansa CityGML-standardin kaltaiset avoimet mallit, jotka voivat jossain vaiheessa mahdollisesti muodostaa ohjelmistoriippumattoman alustan rakennettua ympäristöä koskevien tietojen yhdistelylle (Malmi 2016, 53; Becker et al. 2013). Näistä syistä johtuen CityGML-standardi onkin herättänyt runsaasti niin poliittista kuin akateemistakin kiinnostusta (Gröger & Plumer 2012). Malmin (2016, 53) mukaan CityGML:n rajallinen ohjelmistotuki rajoittaa kuitenkin vielä standardin saamista esimerkiksi laajempaan viranomaiskäyttöön.

Kansallisesti rakennettua ympäristöä koskevien tietojen yhdistelytarpeeseen on pyritty vastaamaan muun muassa luvussa 3.1 mainitussa KuntaGML -hankkeessa ja myöhemmin KRYSP -hankkeessa. Hankkeilla on pyritty edistämään etenkin kuntien tuottamien paikkatietojen hyötykäyttöä. (Kuntaliitto 2017.) Hankkeiden valmistuttua Kuntaliitto avasi käyttäjille maksullisen Kuntatietopalvelun, jonka avulla voidaan hakea ajantasaisia tietoja kuntien järjestelmistä KuntaGML-rajapintoja hyödyntämällä. Rajapintojen avulla voidaan lukea esimerkiksi yleiskaava-, asemakaava- ja kantakarttatietoja. (Kuntaliitto 2018.)

Viimeisimpänä suomalaisten kuntien siirtymistä kaupunkitietomallitekнологiaan on pyritty vauhdittamaan Kuntasäätiön ja KEHTO-konsortioon (kuntainfran kehittämisfoorumi) kuuluvien kaupunkien rahoittaman Infra-O -hankkeen (infraomaisuuden avoin innovaatioalusta) avulla. Infra-O on avoin tietomalli, joka on suunniteltu kuntien infrastruktuuria koskevien omaisuustiedon siirtoon. Hankkeella on pyritty edistämään omaisuustietoja sisältävien aineistojen avaamista ja näiden julkaisemista koneluettavassa muodossa sekä vauhdittamaan edellisessä kappaleessa mainitun Kuntatietopalvelun käyttöönottoa. Avoimen kaupunkitietomallitekнологiaa tukevan formaatin hyödyntämisen odotetaan tulevaisuudessa muun muassa alentavan kuntien omistuksessa olevan infrastruktuurin ylläpidon kustannuksia. Vuoden 2018 keväällä valmistunut Infra-O:n tietomallimallimäärittely ei ainakaan vielä tällä hetkellä sisällä vesihuoltoverkostoja. (NOSTO Consulting 2018.)

Vaikka kaupunkimalleihin liittyvä teknologia on kehittynyt viimeisten vuosien aikana nopeasti, ovat käytännön esimerkit mallien hyödyntämisestä etenkin infrastruktuuriomaisuuden hallinnan osalta vielä harvassa. Toisaalta malleille asetetut tavoitteet ovat korkealla ja käytännön sovelluksia voitaneenkin suurella todennäköisyydellä odottaa lisää tulevaisuudessa (Becker et al. 2013). Kansallisesti hyvä esimerkki on parhaillaan käynnissä

oleva Vantaan kaupungin MATTI -hanke (MAankäytön Toimintamalli ja Tietojärjestelmä). Hankkeen tavoitteena on kehittää kokonaisratkaisu, joka korvaa useimmat aiemmin käytössä olleet tiedonhallintajärjestelmät, ja kattaa kaupungin maankäytön suunnittelun ja kuntateknisen infrastruktuurin elinkaaren hallinnan sekä kartta- ja paikkatiedon tuotannon ja hallinnan. MATTI -hankkeen valmistuttua tiedonhallinnan ”ytimen” muodostaa pilvipalvelimella sijaitseva semanttinen kaupunkimalli, joka tullaan integroimaan kaupungin muihin tiedonhallintajärjestelmiin. Tieto ei ole enää pirstaloituneena eri järjestelmiin, vaan useita aineistoja päästään hyödyntämään saman käyttöliittymän kautta. Koska suurimpaan osaan tiedosta on liitettävissä paikkatieto, voidaan mallista hakea tietoa helposti sijainnin perusteella. Hankkeen on määrä valmistua kokonaisuudessaan vuonna 2019. (Orava, M. 2017.)

Vantaan kaupunkimallia olisi tulevaisuudessa mahdollista rikastaa myös vesihuoltolaitosten hallinnassa olevalla verkostotiedolla, kuten vesihuoltoverkoston kuntotiedoilla. Kaupungin kannalta olisi esimerkiksi hyödyllistä nähdä putkien kuntoluokitukset, ja päästä näin arvioimaan verkoston tulevia saneeraustarpeita. Kun tiedot olisivat helpommin sekä katuhankkeista vastaavan kaupungin, että verkostohankkeissa mukana olevan vesihuoltolaitoksen saatavilla, voitaisiin hankkeita suunnitella mahdollisesti aikaisempaa optimaalisemmin ja tehokkaammin yhteistyönä. Vesihuoltolaitosten lisäksi kaupunkimallin tulee todennäköisimmin helpottamaan kaupungin hankeyhteistyötä myös esimerkiksi urakoitsijoiden ja konsulttien välillä, kun tiedot ovat keskitetyt samassa järjestelmässä. (Orava, M. 2017.)

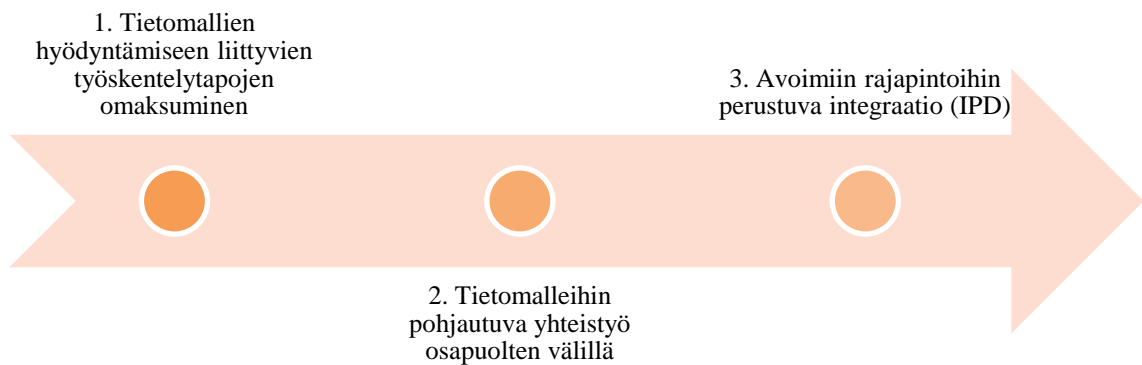
4.2 Rakennuksen tietomalli omaisuuden hallinnan työkaluna

Tällä hetkellä omaisuudenhallinnan kannalta välittömimmät odotukset kohdistuvat kaupunkimallien sijaan luultavasti kuitenkin yksityiskohtaisempiin rakennuksia ja infrastruktuurikohteita kuvaaviin tietomalleihin sekä kokonaisuudessaan näiden mukanaan tuomiin uudenlaisiin prosesseihin ja yhteistyön muotoihin. Useissa tutkimuksissa (esim. Love et al. 2014; Azhar 2011; Aranda-Mena et al. 2009) mallien hyödyntämisellä kohteiden suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa on saavutettu muun muassa kustannus- ja aikataulusäästöjä, minkä vuoksi malleille on viime vuosina etsitty kiivaasti erilaisia käyttökohteita myös kohteiden kunnossapidon tueksi (Volk et al. 2014; Becerik-Gerber et al. 2012). Motivaatiota ratkaisujen etsimiselle lisää se, että suurin osa kustannuksista syntyy usein kohteiden kunnossapidon aikana. Jos siis kunnossapitoa voidaan tehostaa edes jonkin verran malleista saatavien tietojen avulla, voivat kustannussäästöt kumuloitua myöhemmin elinkaaren aikana. (Malmi 2016, 39.)

Malleja ja näiden hyödyntämisen mukanaan tuomia uudenlaisia prosesseja on pyritty jalkauttamaan rakennushankkeisiin sekä julkisella että yksityisellä sektorilla (Howard & Björk 2008). Esimerkiksi Iso-Britanniassa kehitystä on pyritty vauhdittamaan siten, että maan hallitus on linjannut, että kaikista julkisen sektorin hankkeista on laadittava tietomallit (National Building Specification 2018). Suomessa tietomallien jalkauttamista rakennushankkeisiin ovat edistäneet erityisesti Liikennevirasto ja valtionhallinnon kiinteistöjen tilapalveluista pääasiallisesti vastaava Senaatti-kiinteistöt, jotka kummatkin ovat jo

pidempään edellyttäneet rakennushankkeissaan tietomallien hyödyntämistä (Savolainen, T. 2017; Halmetoja 2016, 6). Viime vuosina myös useat suuremmat kaupungit, kuten Espoo, Oulu ja Vantaa, ovat käynnistäneet erilaisia pilottihankkeita mallien hyödyntämiseen liittyen (Orava, M. 2017; Pakarinen, S-M. 2017; Salmi 2014).

Tällä hetkellä vahvimmat odotukset kohdistuvat luultavimmin erillissuunnittelussa ja rakennusvaiheessa syntyvien virheiden eliminoimiseen ja kokonaisvaltaiseen tiedonhallinnan tehostumiseen (Mäki et al. 2012; Eastman et al. 2008, 16-20). Tietomallien ilmestyttyä uskottiin, että eri alojen suunnittelijat voisivat työstää yhtä aikaa yhtä ja samalla palvelimella olevaa rakennuksen mallia ja että lopullinen malli olisi melko täydellinen digitaalinen kuvaus kohteesta. Kun kaikki osapuolet pääsisivät käsiksi malliin, ristiriitaisuuksien mahdollisuus vähenisi huomattavasti. (Miettinen & Paavola 2014.) Tiedonsiirto perustuisi avoimiin kansainvälisiin standardeihin, ja eri osapuolten tietovarannot olisivat kaikkien asianmukaisten osapuolten saavutettavissa (Kuva 13). Tällöin esimerkiksi suunnittelun lähtötietoja pystyttäisiin hakemaan tietovarannoista metatietopohjaisesti ja lukemaan suoraan suunnitteluohjelmistoihin. Tietovarantoihin tallentuisivat myös elinkaaren aikana tuotetut mallit sekä kohteiden kunnossapidon aikana kertyvät tiedot. (Halttula 2009.) Myöhemmin tähän tietomallien hyödyntämisen ”korkeimpaan kehitysvaiheeseen” on eri julkaisuissa viitattu useimmiten termillä IPD (engl. *Integrated Project Delivery*) (Succar 2009).



Kuva 13 Rakennuksen tietomallin kehitysvaiheet Succarin (2009) mukaan.

Nykyisin mallien hyödyntäminen ei kuitenkaan suurimmilta osin vastaa alkuaikojen visioita, mikä johtuu Malmin (2016, 38) mukaan lähinnä siitä, että eri ohjelmistojen yhteensopivuus ei ole vielä riittävällä tasolla. Esimerkiksi eri suunnitteluohjelmistojen on todettu tukevan Inframodel -formaattia eri tavoin, mikä vaikeuttaa luonnollisesti koneluettavuutta (Pakarinen S-M. 2017; Putkonen, P. 2017). Näin muun muassa suunnittelun

jatkaminen toisella ohjelmistolla vaikeutuu, koska osa tiedoista jää puuttumaan tai lukeutuu malliin väärin. Erot ovat yleensä tekniikkalajikohtaisia, ja vesihuoltoverkoston osalta ongelmia on havaittu esimerkiksi siinä, millaisena kaivon geometria luetaan eri ohjelmistoissa. (Putkonen, P. 2017). Myös Espoon kaupungin KIRA-digi -tutkimushankkeen yhteydessä todettiin, että yksikään kaupungin tilaama suunnitelmamalli ei noudattanut täysin Inframodel:in mukaista kuvausta. Parhaimmillaan mallit olivat 70 prosenttia yhteneväisiä kuvauksen kanssa ja huonoimmillaan vain 40 prosenttia yhteneväisiä. Osan virheistä arvioitiin johtuvat käytetyistä ohjelmistoista ja näiden erilaisesta Inframodel -kuvauksesta ja osan suunnittelijoiden mahdollisesti tekemistä virheistä. (Pakarinen, S-M. 2017.)

Howard & Björk (2008) toteavatkin, että tietomalleja on yleensä suhteellisen yksinkertaista hyödyntää erikseen eri työvaiheiden tukena, kuten suunnitelmien visualisoinnissa, koneohjauksessa tai erilaisten dokumenttien tuottamisessa, mutta tietojen siirtäminen tai näiden yhteiskäyttö on usein huomattavasti haastavampaa. Tästä syystä eri osapuolten välisessä tiedonsiirrossa turvaudutaan usein tietoja usein siirtämään dokumenttipohjaisesti tai tietosisällöltään köyhempinä kolmiulotteisina malleina, joilla ei ole muokattavia parametrisia ominaisuuksia (Mäki et al. 2012; Howard & Björk 2008). Succar (2009) viittaa toimintaan melko osuvasti termillä ”*lonely BIM*”, sillä tällöin malleista saatava hyöty toteutuu vain osittain.

Vaikka kaikki edellä luetellut haasteet olivat luonteeltaan enemmänkin teknisiä, on näitä suurempana haasteena kuitenkin nähty mallinnushankkeiden edellyttämät muutokset perinteiseksi koetuissa toimintatavoissa (Miettinen & Paavola 2014; Mäki et al. 2012; Neff et al. 2010). Esimerkiksi perinteisiä suunnittelun, rakentamisen ja kunnossapidon välisiä siiloja on vaikea purkaa, sillä alalla on pitkät perinteet rakennushankkeiden roolijaossa ja ammatillisissa käytännöissä (Liukas J. 2017; Mäkelä H. 2017; Pakarinen, S-M. 2017; Perttula, T. 2017). Mäen et al. (2012) haastattelututkimuksesta kävi ilmi, että useissa hankkeissa malleja on hyödynnetty pitkälti yhä perinteisten suunnitelmien tavoin eikä niihin liittyvä toimintatavat, yhteistyö tai osapuolten roolit olleet merkittävästi muuttuneet. Neff et al. (2010) puolestaan tulivat tutkimuksessaan lopputulokseen, että vaikka tietomallien käyttö oli kaksinkertaistunut tutkituissa rakennushankkeissa vuosien 2007 ja 2010 välillä, ei työskentelytapoja oltu juurikaan muutettu. Mäen et al. (2012) toteavatkin, että yhteisten pelisääntöjen luominen vaatii aikaa ja resursseja, mutta usein näiden luominen hankkeiden yhteydessä voi olla ristiriidassa hankkeiden muiden tavoitteiden, kuten aikataulujen ja kustannusten, kanssa.

Kaikista aiemmin kuvatuista haasteista huolimatta useimmat tämän työn yhteydessä haastatellut henkilöt kokivat, että mallinnushankkeet ja näihin tehdyt panostukset, kuten erilaiset ohjelmistot ja henkilöstön kouluttaminen, ovat kannattaneet. Suurimpien tähän mennessä saavutettujen hyötyjen todettiin liittyvän rakennushankkeiden eri vaiheiden väliseen tiedonsiirron tehostumiseen, tehostuneeseen suunnittelun ohjaukseen ja parempaan laadunvarmistukseen. Myös mallien tarjoamia visualisointimahdollisuuksia pidettiin tär-

keinä. Taloudellisesti suurimmat hyödyt on saavutettu rakennusvaiheessa, jossa koneohjauksen todettiin vähentäneen kaivuuvirheitä, lisänneen merkittävästi työkoneiden tehokasta työaikaa ja nopeuttaneen näin rakennushankkeiden läpivientiaikoja. (Hatvala, V-M. 2017; Lönnberg, K. 2017; Pakarinen, S-M. 2017; Partanen, A. 2017; Savolainen, T. 2017.) Hieman joistakin edellä mainituista tutkimuksista poiketen haastatellut mainitsivat myös yhteistyön ja vuorovaikutuksen tehostuneen (Lönnberg, K. 2017; Partanen, A. 2017; Savolainen, T. 2017). Tilaajapuolella koettiin lisäksi, että hankkeissa tuotettava aineisto on laadukkaampaa ja tietosisällöltään rikkaampaa kuin aikaisemmin. Myös urakatarjoukset ovat yhdenmukaistuneet mallien hyödyntämisen myötä. (Savolainen, T. 2017.)

Omaisuuksienhallinnan kannalta merkittävimmät, vielä ratkaisemattomat tekniset kysymykset liittyvät kohteiden kunnossapitoon, minkä vuoksi mallin päivittäminen loppuu nykyisin yleensä suunnittelu- tai rakentamisvaiheen jälkeen (Volk et al. 2014). Tämä johtuu siitä, että useimmiten kohteiden kunnossapitoa koskevat tiedot ovat järjestelmissä, jotka eivät ole yhteensopivia tietomallien kanssa, ja toisaalta siitä, että tietomallin realistisista käyttötarkoituksista kunnossapitovaiheessa ei ole vielä selvyyttä (Miettinen & Paavola 2014; Salminen 2014).

Edellä olevien haasteiden ratkaisemiseksi on esitetty muun muassa kunnossapidon järjestelmien päivittämistä yhteensopiviksi tietomallien kanssa (Korpela & Miettinen 2013). Malmin (2016, 39) mukaan järjestelmien päivittämiseen liittyy todellisuudessa kuitenkin huomattavia hitausmomenteja, ja toisaalta omistajat eivät yleensä ole halukkaita ottamaan käyttöön erillisiä kunnossapitojärjestelmiä. Lisäksi esimerkiksi Korpelan & Miettisen (2013) tutkimus osoitti, että kunnossapidon järjestelmien uudelleen räätälöiminen malleihin sopiviksi voi johtaa varsinaisten kunnossapitojärjestelmien käyttömukavuuden vähenemiseen.

Myös kunnossapidon edellyttämän suuren tietomäärän hallinta nykyisten kaltaisissa malleissa on erittäin haastavaa – jollei mahdotonta (Rich & Davis 2010, 25-26). Toisaalta suuri osa malleihin suunnittelu- ja rakentamisvaiheissa tallennetuista tiedoista ei ole jatkuvan kunnossapidon kannalta edes tarpeellista (Orava, M. 2017; Savolainen, T. 2017). Halmetoja (2016, 34) toteaaakin kohteista laadittavien tietomallien tuskin olevan oikea paikka kunnossapitoon liittyvän tiedon säilyttämiseen, vaan toimivampaan ja luotettavampaan ratkaisuun päästään käyttämällä erillistä tietokantaa, kuten vesihuoltolaitosten omaa verkkotietokantaa. Käytännössä BIM:iä voidaan siis pitää pätevänä työkaluna kohteiden suunnittelu- ja rakentamisvaiheissa, mutta tämän jälkeen tärkeintä on se, että tuotetuista malleista voidaan siirtää tietoja muihin järjestelmiin hyödynnettäviksi ja jatkojalostettaviksi (Salminen 2014).

Edellisiin viitaten Malmi (2016, 39) uskoo, että tulevana vuosina tullaan painottamaan erilaisia järjestelmäkohtaisia tiedon suodatusratkaisuja. Infrastruktuurin osalta suodatusratkaisuja on pohdittu ainakin Liikennevirastossa sekä Espoon ja Vantaan kaupungeissa,

mutta yksityiskohtaisemmat vaatimukset kunnossapitoon toimitettavien mallien tietosäilytyksistä ovat vielä kesken. (Orava, M. 2017; Pakarinen, S-M. 2017; Savolainen, T. 2017.)

Senaatti-kiinteistöjen vuonna 2016 laatiman tutkimusraportin mukaan tietomallien laadintakäytännöt nykyisellään juurikaan tue kunnossapidon tarpeita. Esimerkiksi kunnossapidon kannalta oleellista tietoa, kuten kuntotietoja, erilaisten materiaalien käyttöikä tai hoitajaksoja, ei normaalisti tallenneta malliin. Mikäli näin tehtäisiinkin, haasteeksi muodostuvat tietotaitokysymykset eli se, kuka kunnossapidon tarvitsemat tiedot malliin tallentaa ja missä vaiheessa tiedot tallennetaan. Käytännössä esimerkiksi mallin alun perin laatinut suunnittelija on harvemmin oikea taho kunnossapidon tarvitsemien tietojen tallentamisessa malliin. (Halmetoja 2016, 43-37.)

Tiedonhallinnan kannalta ratkaistavaksi jää myös tietomallien pitkäaikaissäilytykseen eli arkistointiin liittyvät kysymykset. Käytännössä tietojärjestelmien rakenteen muuttumista ja tiedon laadullista tai määrällistä kehitystä on vaikea arvioida. Orava, M. (2017) kertoo arkistointilaitoksen hyväksyneen Vantaalla mallipohjaisten suunnitelmien arkistoinnin, mutta käytännön ohjeiden olevan vielä epäselviä. Myös hallinnolliset tarpeet edellyttävät kunnissa edelleen perinteisten dokumenttien tuottamista (Orava, M. 2017).

5 Tietomallien potentiaali verkosto-omaisuuden hallinnan työkaluina

Kysymystä työssä esitettyjen tietomallien potentiaalista verkosto-omaisuuden hallintaan voidaan pitää varsin haasteellisena. On todennäköistä, että semanttisilla kaupunkimalleilla, rakennuksen tietomallilla sekä kokonaisuudessaan näiden mukanaan tuomilla uudenaikaisilla prosesseilla on tulevaisuudessa jokin, ainakin välillinen vaikutus verkosto-omaisuuden hallintaan. Lähitulevaisuudessa kaupunkimallien avulla päästäisiin luultavasti helpommin käsiksi yhteiskäyttöisiin tietoihin ja nämä voisivat toimia myös ”älykkäämpänä” kommunikaatioalustana vesihuoltolaitosten ja kaupunkien välillä. Tietomallitekniikan hyödyntäminen rakennushankkeissa lisäisi puolestaan ainakin kohteista käytettävissä olevan mallipohjaisen aineiston määrää ja parantaisi näin mahdollisuuksia aineiston jatkokäyttöön erilaisissa sovelluksissa.

Semanttisten kaupunkimallien osalta ehdottomasti mielenkiintoisin esimerkki lienee Vantaan tuleva kaupunkimalli ja siihen kokonaisuudessaan yhdistettävät tietojärjestelmät sekä mallin avulla tapahtuva toiminnan ohjaus. Erityisesti tietojen kytkeminen paikkatietoon on tehokas tapa hallita suuria tietomassoja. Kuten jo kappaleessa 3.2.2 mainittiin, vesihuoltoverkostoja ei ole tällä hetkellä varsinaisesti kuvattu semanttisten kaupunkimallien kannalta oleellisimmassa avoimessa standardissa, CityGML: ssä. Tämä ei estä verkostojen kuvausta malleissa, mutta saattaa vaikeuttaa erilaisten aineistojen jakamista ja yhdistämistä. Tulevaisuudessa onkin mielenkiintoista nähdä, kuinka infrastruktuuria koskevien tietojen jakaminen ja yhdistäminen tullaan toteuttamaan Vantaan kaupungissa. Käytännön esimerkeistä on varmasti suurta hyötyä tulevaisuudessa myös verkostotietojen hallintaan.

Vesihuollon kannalta yksi oleellisimmista kaupunkimallien semantiikkaa hyödyntävistä sovelluksista on Becker et al. (2011) mielestä erilaisten katastrofien simulointi ja hallinta. Kaupunkimallien kiistattomat hyödyt liittyvät heidän mukaansa verkostojen kannalta siihen, että samaan malliin voidaan integroida lukuisia eri verkostoja, ja näiden toimintaa voidaan simuloida realistisessa kaupunkiympäristössä. Käytännössä näin voitaisiin simuloida ja analysoida minkälaisia tapahtumasarjoja esimerkiksi vesihuoltoverkostoihin liittyvien rakenteiden viat tai rikkoutumiset voivat aloittaa. (Becker et al. 2011.) Artikkelissa ei oteta pohdita tämän kaltaisten ratkaisujen turvallisuutta tietotekniseltä kannalta, mutta tämä näkökulma on oleellista ottaa huomioon, mikäli yhteiskunnan kannalta hyvin kriittisiä ja haavoittuvia verkostoja koskevia tietoja tallennetaan samaan paikkaan.

Kaupunkimalleja enemmän kirjallisuudesta löytyy viitteitä yksityiskohtaisempaa rakennustietoa kuvaaviin malleihin eli rakennuksen tietomalliin. Vesihuoltoverkostoihin liittyvää aineistoa aiheen ympäriltä ei kuitenkaan ole juurikaan löydettävissä. Ainakaan avointa aineistoa ei ole löydettävissä edes Iso-Britanniasta, missä hallituksen linjaukset mallien hyödyntämisestä rakennushankkeissa näyttävät varsin velvoittavilta. Maan vesi-

huoltoon liittyvien mallinnushankkeiden edistämisestä vastaavan järjestön BIM4Water:in sivuilta löydettävät viittauksen keskittyvät vain varsinaisten vesihuoltolaitosten suunnitteluun ja rakentamiseen. (BIM4Water.)

Vesihuoltoverkostojen osalta kehityksessä on jääty jälkeen luultavasti ainakin siitä syystä, että esimerkiksi teiden rakentamisen kaltaisiin maanrakennuksen massahankkeisiin verrattuna verkostohankkeissa koneohjauksen hyödyntämisen kautta taloudellisesti saavutettavat hyödyt ovat melko vähäiset. On ymmärrettävää, että kehitys on ollut nopeampaa aloilla, joissa potentiaaliset taloudelliset hyödyt ovat suurempia.

Kansallisesti kehityksestä on jääty jälkeen luultavasti siksi, että vesihuollon kentällä ei ole vielä ollut esimerkiksi Liikenneviraston kaltaisia mallinnuksen aktiivisia edistäjiä. Useat tämän työn tiimoilta haastatellut henkilöt korostivat rakennushankkeiden tilaaja-puolen keskeistä roolia kehityksen eteenpäin viejänä, ja lieneekin selvää, että tilaajaosamista olisi syytä kehittää myös vesihuollon osalta, mikäli mallinnushankkeet nähdään vesihuoltoverkostojen kannalta tarpeellisina (Hatvala, V-M. 2017; Pakarinen, S-M. 2017; Perttula, T. 2017; Savolainen, T. 2017).

Tiedonhallinnan kannalta keskeisimmässä asemassa on alan kattavan vakioinnin syventäminen (Liukas, J. 2017; Mäkelä, H. 2017). Tällä hetkellä lähes ainoat viittaukset vesihuoltoverkostojen kuvaavien mallien laatimiseen löytyvät YIV:n kuudennesta osasta ”järjestelmät” sekä mallien laatimista ja jakamista tukevassa InfraBIM-nimikkeistöstä. Mallinnusvaatimuksia ja nimikkeistöä on tähän mennessä kehitetty kuitenkin ensisijaisesti teiden rakentamisen näkökulmasta, minkä vuoksi nämä kaipaavat vielä kehittämistä vesihuollolle, ja ylipäänsä katuinfrastruktuurille, tyypillisen pikkutarkkuuden osalta (Putkonen, P. 2017). Koska nämä kohteet ovat kuitenkin lähes poikkeuksetta tierakennuskohteita monimutkaisempia, on yhtenäisten mallinnusvaatimusten ja nimikkeistön kehittäminen haastavaa. Haastetta lisää myös se, että katuinfrastruktuurin rakentaminen ja kunnossapito ovat useiden eri tahojen vastuulla, ja käytännöt saattavat erota paljonkin esimerkiksi eri vesihuoltolaitosten ja kuntien välillä. (Liukas, J. 2017; Mäkelä, H. 2017.)

Käyttökelpoisin ja käytännössä ainoa tietomalli ja tiedonsiirtoformaatti vesihuoltoverkostojen kuvaamiseen on tällä hetkellä LandXML ja Suomessa tämän kansallinen Inframodel -sovellusohje. Inframodel:in kehittämiseen on vuosien varrella panostettu paljon, ja visio on, että Inframodel kattaisi tulevaisuudessa ainakin jollain tasolla koko infrastruktuurin kuvaamisen. Käytännössä tämä tarkoittaa muun muassa infrastruktuuriin liittyvien tietojen yhtenäisiä tallennusmenetelmiä, kansallista vakiointinimikkeistöä ja sitä, että eri alojen toimijat pystyvät vastaanottamaan ja toimittamaan tietoja Inframodel:in kuvauksen mukaisesti. (Liukas, J.2017; Mäkelä, H. 2017.) Edellisten vuoksi onkin perusteltua, että myös vesihuollon osalta pyrittäisiin edistämään saman formaatin hyödyntämistä kuin muun infrastruktuurin osalta.

Halttulan (2009) mukaan infrastruktuurin alan kattavan standardin olisi perustuttava kansainvälisiin standardeihin. Tämä liittyyneen käytännössä siihen, että ohjelmistotoimittajat

ovat useimmiten kansainvälisiä yrityksiä, jotka tekevät tuotteistaan todennäköisimmin yhteensopivia mahdollisimman laajasti käytettyjen standardien kanssa. Toisaalta kansainvälinen standardi edistäisi myös alan kilpailukykyä. On kuitenkin syytä todeta, että LandXML:n tulevaisuus näyttää hieman epävarmemmalta kuin esimerkiksi virallisen standardin aseman saavuttaneiden CityGML:n ja IFC:n. Malmin (2016, 53) mukaan buildingSMART ja OGC eivät varsinaisesti kannata LandXML:n kehittämistä sellaisenaan. Periaatteessa tulevaisuudessa LandXML:n voisikin mahdollisesti syrjäyttää IFC:n ja GML:n yhdistelmä, mutta tällaisen kehityksen aikataulusta tai edes toteutumisesta ei vielä ole varmuutta (Malmi 2016, 53). Standardien laajentaminen ja kehittäminen on usein hyvin hidasta (Liukas, J. 2017).

Lopuksi voidaan todeta, että käytännön kokemuksia tietomallien hyödyntämisestä, niin verkosto-omaisuuden hallinnan kuin muunkaan infrastruktuuriin liittyvän omaisuuden hallinnan osalta, ei juurikaan ole. Kokonaisuudessaan kehitysmahdollisuuksia voidaan pitää kansallisesti kuitenkin varsin positiivisina, sillä Suomessa etenkin infrastruktuuriin liittyvä mallinnusosaaminen on poikkeuksellisen hyvällä tasolla useisiin muihin maihin verrattuna.

Vesihuollon kannalta seuraavia luontevia askelia olisivat esimerkiksi vesihuoltoa koskevan InfraBIM-nimikkeistön ja verkostoja koskevien mallinnusvaatimusten täydentäminen. Tähän liittyen myös Inframodel-tiedonsiirtoa olisi testattava vesihuoltolaitosten verkkotietojärjestelmien ja muiden ohjelmistojen välillä. Nimikkeistöä ja mallinnusvaatimuksia kehitettäessä olisikin syytä tehdä yhteistyötä useiden eri vesihuoltolaitosten ja kuntien välillä. Vetäjiksi tämän tyyppiin yhteistyöhankkeisiin sopisi jokin yliorganisaatorinen järjestö, kuten Vesilaitosyhdistys, yhteistyössä buildingSMART Finland:in kaltaisten yhteistyöfoorumien kanssa. Tästä seuraava askel olisivat erilaiset pilottiprojektit. Oikeita tahoja näiden toteuttajiksi olisivat todennäköisimmin suurimmat vesihuoltolaitokset, joilla on resursseja enemmän kuin pienemmillä laitoksilla.

6 Yhteenveto

Vesihuoltoverkosto-omaisuuden hallinnassa keskeisimmässä asemassa on verkostotiedon laatu ja sen hallinta. Näihin kumpaankin liittyy lukuisia haasteita. Verkostotiedon laadun kannalta merkittävimmät haasteet liittyvät etenkin vanhojen verkostonosien osalta puutteellisiin lähtötietoihin, verkoston kunnan tutkimiseen liittyviin haasteisiin sekä vesihuoltolaitosten resursseihin kerätä verkostoa koskevia tietoja. Tiedonhallinnan kannalta teknisesti merkittävimmät haasteet liittyvät tietolähteiden pirstaleisuuteen, tiedonhallinnan järjestelmien sulkeutuneisuuteen sekä lukuisiin käytössä oleviin tiedon tallennus- ja siirtomuotoihin.

Yhtenä ratkaisuna tiedonhallinnallisiin haasteisiin voidaan nähdä rakennettua ympäristöä kuvaavat semanttiset datamallit eli niin kutsutut tietomallit. Nämä voidaan jaotella karkeasti kolmiulotteisiin semanttisiin aluetason tietomalleihin eli niin kutsuttuihin semanttisiin kaupunkimalleihin (engl. *Semantic 3D City Models*) sekä yksityiskohtaisempaa rakennustietoa kuvaaviin malleihin (engl. *Building Information Model*, BIM tai *product data model*). Semanttiset kaupunkimallit kuvaavat rakennetun ympäristön kohteita niiden käytön tai havainnoinnin näkökulmasta. Yksityiskohtaisemmat rakennustietoa kuvaavat mallit puolestaan kertovat, kuinka kohteet suunnitellaan ja rakennetaan. Kaupunkimalleissa keskeisessä osassa ovat paikkatietojärjestelmät, ja ne soveltuvat paremmin tiedon ylläpitoon sekä erilaisiin analyysiin ja simulointeihin. Yksityiskohtaisemmat rakennustietoa kuvaavat mallit soveltuvat hyvin rakennushankkeiden tiedonhallinnan työkaluiksi, mutta niiden hyödyntäminen tiedon pitkäaikaisemmassa hallinnassa on haastavaa. Myös tiedon siirto rakennushankkeista tiedon ylläpidon järjestelmiin on todettu haasteelliseksi.

Edellä kuvailtuja malleja ei ole juurikaan hyödynnetty vesihuoltoverkostojen kuvaamiseen, ja tämän vuoksi myöskään käytännön esimerkkejä mallien hyödyistä tai haasteista nimenomaisesti vesihuoltoverkostojen osalta ei ole. Käytännön esimerkkejä tietomallien hyödyntämisestä infrastruktuuriomaisuuden hallintaan on kokonaisuudessaan melko vähäisesti, mutta näitä saataneen lisää tulevana vuosina. Tällä hetkellä omaisuudenhallinnan kannalta välittömimmät odotukset kohdistunevat yksityiskohtaisempiin rakennustietoa kuvaaviin tietomalleihin sekä mallinnushankkeiden mukanaan tuomiin tai edellyttämiin uudenlaisiin prosesseihin ja yhteistyön muotoihin.

Mallien hyödyntäminen on kasvanut merkittävästi viime vuosina, ja onkin todennäköistä, että tietomalleilla on tulevaisuudessa ainakin välillinen vaikutus verkosto-omaisuuden hallintaan. Vaikka tietomallien avulla ei voida ratkaista verkosto-omaisuuden hallintaan liittyviä perusongelmia, voidaan näiden avulla tehostaa merkittävästi esimerkiksi tiedon siirtoa eri osapuolten ja tietoteknisten järjestelmien välillä. Avainasemassa ovat etenkin avoimet tiedonsiirto-standardit.

Useimmilla avoimilla standardeilla ei kuitenkaan voida kuvata vesihuoltoverkostoja. Tällä hetkellä käyttökelpoisin ja käytännössä lähes ainoa formaatti verkostotietojen kuvaamiseen on LandXML, ja Suomessa tämän kansallinen Inframodel -sovellusohje.

LandXML on kehitetty ensisijaisesti maanrakennushankkeissa tapahtuvaa tiedonsiirtoa varten eikä sen avulla voida kuvata esimerkiksi vesihuoltoverkostoa koskevia kuntotietoja. Kokonaisuudessaan mallien jalkauttaminen vesihuoltoon edellyttää vielä paljon työtä.

Lähteet

Airaksinen, E. 2017. Kaupunkien kolmiulotteiset mallinnusmenetelmät. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Espoo. 97 s.

Anglian Water, 2017. 55,001 reasons our asset management is amongst the best in the world. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.9.2017]. Saatavissa: [anglianwater.co.uk http://www.anglianwater.co.uk/news/55-001-reasons-our-asset-management-is-amongst-the-best-in-the-world.aspx](http://www.anglianwater.co.uk/news/55-001-reasons-our-asset-management-is-amongst-the-best-in-the-world.aspx).

Aranda-Mena, G., Crawford, J., Chevez, A. & Foerse, T. 2009. Building information modelling demystified – does it make business sense to adopt BIM? *International Journal of Managing Projects in Business*. Vol. 2: 3. S. 419-434.

Autodesk. 2018. A Civil 3 D. Design better civil infrastructure. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.9.2018]. Saatavissa: <https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview>.

Azhar, S. 2011. Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, Risks and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*. Vol. 11: 3. S. 241-252.

Babovic, V., Drécourt, J-P., Keijzer, M., & Hansen, P. 2002. A data mining approach to modelling of water supply assets. *Urban Water*. Vol. 4: 4. S. 401-414.

Barlish, K. & Sullivan, K. 2012. How to measure the benefits of BIM – A case study approach. *Automation in Construction*. Vol. 24. S. 149-159.

Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N. & Calis, G. 2012. Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 138: 3. S. 431-442.

Becker, T., Nagel, C. & Kolbe, T. 2013. Semantic 3D modeling of multi-utility networks in cities for analysis and 3D visualization. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. S. 41-62.

Becker, T., Nagel, C. & Kolbe, T. 2011. Integrated 3D modeling of multi-utility networks and their interdependencies for critical infrastructure analysis. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. [Verkkodokumentti]. 24 s. [Viitattu: 28.8.2017]. Saatavissa: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1145740/358854.pdf>.

Bentley. 2018a. MicroStation – Data-driven design and multi-discipline deliverables. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.9.2018]. Saatavissa: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/microstation>.

- Bentley. 2018b. Bentley View – View CAD drawings and models. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.9.2018]. Saatavissa: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/bentley-view>.
- Biljecki, F., Storer, J., Ledoux, H., Zlatanova, S. & Cöltekin A. 2015. Applications of 3D City Models: State of the Art Review. ISPRS International Journal of Geo-Information. Vol. 4. S. 2842-2889.
- BIM4Water. 2018. Building Information Management. British Water. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.10.2018]. Saatavissa: <https://www.britishwater.co.uk/bim.aspx>.
- BIM4Water. 2017. BIM4Water Terms of Reference. [Verkkodokumentti]. 3 s. [Viitattu: 14.10.2018]. Saatavissa: <file:///C:/Users/essi.huntus/Downloads/2017%2001%2004%20-%20Terms%20of%20Reference.pdf>.
- Björk, B-C. 1989. Basic structure of a proposed building product model. Computer-Aided Design. Vol. 21: 2. S. 71-78.
- buildingSMART. 2018. Infrastructure asset managers BIM requirements. buildingSMART InfraRoom. [Verkkodokumentti]. 117 s. [Viitattu 10.9.2018]. Saatavissa: <https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2018/01/18-01-09-AM-TR1010.pdf>.
- Cardoso, M., Santos, S., Coelho, M. & Almeida, M. 2012. Urban water infrastructure asset management – a structured approach in four water utilities. Water Science & Technology. Vol. 66: 12. S. 2702-2711.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. 2008. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey. 506 s. ISBN: 9780470261309.
- Forss, A. 2005. Vesihuollon verkostojen ylläpidon perusteita. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere. 76 s.
- Golabchi, A. & Kamat, V. 2013. Evaluation of industry foundation classes for practical building information modeling interoperability. ISARC 2013 - 30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining. S. 17-26.
- Grigg, N. 2012. Water, wastewater, and stormwater infrastructure management. IWA Publishing. 343 s. ISBN 978-1-4398-8183-5.
- Gröger, G., & Plümer, L. 2012. CityGML– interoperable semantic 3D city model. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 71. S. 12-33.

Haala, N. & Kada, M. 2010. An update on automatic 3D building reconstruction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol 65. S. 570-580.

Halfawy, M. 2010. Municipal information models and federated software architecture for implementing integrated infrastructure management environments. *Automation in Construction*. Vol. 19: 4. S. 433-446.

Halfawy, M. 2008. Integration of Municipal Infrastructure Asset Management: Challenges and solutions. *Journal of Computing in Civil Engineering*. Vol. 22: 3. S. 216-229.

Halfawy, M. Newton, L. & Vanier, D. 2006a. Review of commercial municipal infrastructure asset management systems. *Electronic Journal of Information Technology Construction*. Vol. 11. S. 211-224.

Halfawy, M., Vanier, D. & Froese, T. 2006b. Standard data models for interoperability of municipal infrastructure asset management systems. *Canadian Journal of Civil Engineering*. Vol. 33. S. 1459-1469.

Halmetoja, E. 2016. Tietomallit ylläpidossa. Raportti 2016-09-21. SEN/1269/2016/351054. Senaatti-kiinteistöt. [Verkkodokumentti]. 40 s. [Viitattu 20.9.2018]. Saatavissa: https://www.senaatti.fi/app/uploads/2017/05/6099-Tietomallit_yllapidossa.pdf.

Halttula, H. 2009. Kehitysnäkymät. Junnonen, J.-M. (toim). Teoksessa: Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu. Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy. S. 91-96. ISBN 978-952-5472-97-4.

Harju, K., Etelämäki, L., Lapinlampi, T., Oinonen, K. & Santala, E. 2004. Paikkatiedot vesihuollossa. Ympäristöopas 112. Suomen ympäristökeskus. Helsinki 2004. 77s. ISBN 952-11-1618-8.

Heino, O. 2012. Tuotanto- ja operointi-innovaatiot – case vesihuolto. Malinen, P., Anttiroiko, A-V., Haahtela, T. & Siitonen, P. (toim). Teoksessa: Huomispäivän infrastruktuuri. Näkökulmia kuntien teknisen toimen uudistamiseen. Suomen Kuntaliitto. 1. painos. Helsinki 2012. S. 120-138. ISBN 978-952-213-916-0.

Helsingin yliopisto. 2005. Tietokantojen perusteet. [Verkkodokumentti]. 36 s. [Viitattu 10.9.2018]. Saatavissa: <https://www.cs.helsinki.fi/u/tkujala/tikapeV2005/pdf/relaatiomalli.pdf>.

Hietanen, J. 2005. Tietomallit ja rakennusten suunnittelu. Filosofinen selvitys tieto- ja viestintätekniikan mahdollisuuksista. Rakennustieto Oy. Tampere. 95 s. ISBN 951-682-783-7.

Hijazi, I., Ehlers, M., Zlatanova, S., Becker, T. & Berlo, L. 2011. Initial investigations for modeling interior Utilities within 3D Geo Context: Transforming IFC- interior utility to CityGML/UtilityNetworkADE. 5th International 3D GeoInfo Conference, November 3-4, 2010, Berlin, Germany. [Verkkodokumentti]. 22 s. [Viitattu 8.9.2017]. Saatavissa: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42633878/Initial_Investigations_for_Modeling_Inte20160212-27024-1ti383j.pdf.

Howard, R. & Björk, B-C. 2008. Building information modelling – Experts’ views on standardisation and industry deployment. *Advanced Engineering Informatics*. Vol. 22: 2. S. 271-280.

Hyvärinen, J. & Porkka, J. 2010. Inframodel tiedonsiirron sovellusohje v1.2. Ohjeistus LandXML tiedonsiirtostandardin käyttöön kotimaan infrarakentamisessa. VTT. 121 s.

Kang, T. & Hong, C. 2018. IFC-CityGML LOD mapping automation using multiprocessing-based screen-buffer scanning including mapping rule. *Journal of Civil Engineering*. Vol. 22: 2. S. 373-383.

Karttunen, E. 2010a. RIL 237-2-2010. Vesihuoltoverkkojen suunnittelu. Mitoitus ja suunnittelu. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 162 s. ISBN 978-951-758-521-7.

Karttunen, E. 2010b. RIL 237-1-2010. Vesihuoltoverkkojen suunnittelu, perusteet ja toiminnallisuus. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 177 s. ISBN 978-951-758-526-2.

Katko, T. 2013. Hanaa! Suomen vesihuolto – kehitys ja yhteiskunnallinen merkitys. Suomen vesilaitosyhdistys ry. 501 s. ISBN 978-952-5000-97-9.

Kiradigi 2018. Visio ja tavoitteet. [Verkkosivu]. [Viitattu 20.4.2018]. Saatavissa: <http://www.kiradigi.fi/info/visio-ja-tavoitteet.html>.

Kolbe, T. 2009. Representing and exchanging 3D city models with CityGML. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. S. 15-31.

Komonen, K., Räikkönen, M., Laakso, K., Rosqvist, T., Rissanen, T., Auvinen, O., Riihimäki, M., Solin, J., Kortelainen, H., Hämäläinen, J. & Jalonen, M. Käyttöomaisuuden hallinta – Asset Management. Tutkimusraportti BTUO43-051362. Espoo: VTT. 2005.

Koo, D., Piratla, K. & Matthews, J. 2015. Towards Sustainable Water Supply: Schematic Development of Big Data Collection Using Internet of Things (IoT). *Procedia Engineering*. Vol. 118. S. 489-497.

Korpela, J. & Miettinen, R. 2013. BIM in facility management and maintenance: the case of Kaisa library of Helsinki University. [Verkkodokumentti]. 10 s. [Viitattu: 17.4.2018].

Saatavissa:http://www.arcom.ac.uk/-docs/proceedings/ar2013-0047-0056_Korpela%20_Miettinen.pdf.

Kuntaliitto. 2018. Rakennetun ympäristön tietojen hakupalvelu. Kuntatietopalvelu. [Verkkosivu]. [Viitattu: 15.9.2018]. Saatavissa: <https://www.kuntaliitto.fi/asiantuntijapalvelut/yhdyskunnat-ja-ymparisto/yhdyskunnat-ja-maankaytto/kuntatietopalvelu>.

Kuntaliitto. 2017. KuntaGML -tietopalvelurajapintojen kehittämishankkeet. Kuntatietopalvelu. [Verkkosivu]. [Viitattu: 15.9.2018]. Saatavissa: <https://www.kuntaliitto.fi/asiantuntijapalvelut/yhdyskunnat-ja-ymparisto/yhdyskunnat-ja-maankaytto/kuntatietopalvelu/kuntagml-tietopalvelurajapintojen-kehittamishankkeet>.

Kutzner, T. & Kolbe, T. 2017. CityGML Utility Network ADE – Scope, Concepts, and Applications. Underground Infrastructure Mapping and Modeling Workshop. New York City, April 24-25, 2017. [Verkkodokumentti]. 34 s. [Viitattu 14.10.2018]. Saatavissa: file:///C:/Users/essi.huntus/Downloads/4.1._CityGML_Utility_Network_ADE_-_Scope_Concepts_and_Applications.pdf.

LandXML. 2017. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.9.2017]. Saatavissa: <http://www.landxml.org/>.

Lappalainen, P. 2017. Kaupunkimallinnuksen ohjekirja. [Verkkosivu]. [Viitattu: 17.9.2017]. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/kaupunki/kaupunkimallinnuksen-ohjekirja/>.

Lee, S. & Kim, G. 2011. IFC Extension for Road Structures and Digital Modeling. *Procedia Engineering*. Vol. 14. S. 1037-1042.

Lemer, A. 1999. Building public works infrastructure management systems for achieving high return on public assets. *Public works management & policy*, Vol. 3: 3. S. 255-272.

Liukas, J. & Virtanen, J. 2015. Yleiset inframallinusvaatimukset YIV 2015. Osa 3. Lähtötiedot. Versio 1.0. buildingSMART Finland. [Verkkodokumentti]. 22 s. [Viitattu 15.12.2017]. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>.

Liukas, J. 2009. Tiedonsiirto. Junnonen, J.-M. (toim). Teoksessa: Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu. Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy. S. 45-53. ISBN 978-952-5472-97-4.

Love, P., Matthews, J., Simpson, I., Hill, A. & Olatunji, O. 2014. A benefits realization management building information modeling framework for asset owners. *Automation in Construction*. Vol. 37. S. 1-10.

Luoma, S. 2016. Yleiset inframallinnusvaatimukset YIV 2015. Osa 10. Versio 1.0. buildingSMART Finland. [Verkkodokumentti]. 26 s. [Viitattu 1.12.2017]. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>.

Luomanen, T., Hanski, J. & Oulasvirta, L. 2013. OT7 – Vesihuoltoverkostojen kunnan ja arvon määrittäminen – tulosityhteenveto. Tampere 2013. VTT-R-08119-12. 64 s.

Malmi, J. 2016. Rakennetun ympäristön tietomalli - Merkitys, tietosisällöt ja käyttötarkoitukset alueidenkäytön tiedonhallinnassa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 90 s.

Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V. & Ustinovichius, L. 2013. The benefits, obstacles and problems of practical BIM implementation. *Procedia Engineering*. Vol. 57. S. 767-774.

Miettinen, R. & Paavola, S. 2014. Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. *Automation in Construction*. Vol. 43. S. 84–91.

Mäki, T., Paavola, S., Kerosuo, H. & Miettinen, R. 2012. Tietomallintamisen käytöt rakentamisessa. KOSEPTI – Toimintakonseptin uudistajien verkkolehti. Helsingin yliopisto. [Verkkodokumentti]. 19 s. [Viitattu 8.4.2018]. Saatavissa: https://www.mittaviiva.fi/uploads/8/.../konsepti_artikkeli_bim_käytöt_rakentamisessa.pdf.

Mäkinen, E., Tieaho, I. & Parkkari, J. 2016. Yleiset inframallinnusvaatimukset YIV 2015. Osa 8: Inframallin laadunvarmistus. Versio 1.0. buildingSMART Finland. [Verkkodokumentti]. 17 s. [Viitattu 1.12.2017]. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>.

National Building Specification. 2018. BIM Levels explained. Definitions for levels of BIM maturity from Level 0, through Level 1, Level 2 and Level 3 and beyond. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.8.2018]. Saatavissa: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>.

National Institute of Building Sciences. 2018. Construction Operations Building information exchange (COBie). [Verkkosivu]. [Viitattu 19.9.2018]. Saatavissa: https://www.nibs.org/page/bsa_cobie.

Neff, G., Fiore-Silfvast, B. & Dossick, C. 2010. A case study of the failure of digital communication to cross knowledge boundaries in virtual construction. *Information, communication and society*. Vol. 13: 4. S. 556–573.

Nevas, A. 2005. Verkostojen sijainti- ja ominaisuustiedot. 21.3.2005.

NOSTO Consulting. 2018. Infra-O. Infraomaisuuden avoin innovaatioalusta. Ohje rajapintamäärittelyyn käyttöönottoon. Versio 1.1. [Verkkodokumentti]. 24 s. [Viitattu 6.10.2018]. Saatavissa: http://www.infra-o.fi/wp-content/uploads/2018/04/Infra_O_ohje_24.4.2018.pdf.

OGC. 2010. CityGML goes INSPIRE. GIM magazine. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 16.8.2017]. Saatavissa: <https://www.gim-international.com/content/news/citygml-goes-inspire>.

OGC. 2012. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Open Geospatial Consortium. OGC 12-019. [Verkkodokumentti]. 344 s. [Viitattu 12.8.2017]. Saatavissa: <http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0>.

Price, R. & Vojinovic, Z. 2012. Urban hydroinformatic data, models and decision support for integrated urban water management. IWA Publishing. 520 s. ISBN: 9781780401362.

Rich, S. & Davis, K. 2010. Geographic Information Systems (GIS) for Facility Management. IFMA Foundation. [Verkkodokumentti]. 55 s. [Viitattu 20.9.2017]. Saatavissa: [https://foundation.ifma.org/docs/default-source/Whitepapers/foundation-geographic-information-systems-\(gis\)-technology.pdf?sfvrsn=2](https://foundation.ifma.org/docs/default-source/Whitepapers/foundation-geographic-information-systems-(gis)-technology.pdf?sfvrsn=2).

ROTI, 2017. Vesihuoltopalveluille tehtävä rakennemuutos. Teoksessa: Rakennetun omaisuuden tila 2017. [Verkkodokumentti]. S. 30-41. [Viitattu 3.7.2017]. Saatavissa: http://roti.fi/wp-content/uploads/2015/12/ROTI_2017_Paneelit_YHD.pdf.

ROTI, 2015. Data on palveluiden polttoainetta. Teoksessa: Rakennetun omaisuuden tila 2015. [Verkkodokumentti]. S. 40-49. [Viitattu: 30.6.2017]. Saatavissa: roti.web31.neutech.fi/wp-content/uploads/2015/12/ROTI_2015_NET_sivut_FINAL_250215.pdf.

Ruuti, P., Janhunen, N. & Pienimäki, M. 2015. Yleiset inframallinnusvaatimukset YIV 2015. Osa 9: Määrälaskenta ja kustannusarviot. Versio 1.0. buildingSMART Finland. [Verkkodokumentti]. 36 s. [Viitattu 1.12.2017]. Saatavissa: <https://buildingSMART.fi/infrabim/yiv/>.

Salmi, J. 2014. Huippututkimus vauhditti mallinnuksen läpimurtoa rakennusalalla. buildingSMART Finland. [Verkkosivu]. [Viitattu 22.4.2018]. Saatavissa: <https://buildingSMART.fi/huippututkimus-vauhditti-mallinnuksen-lapimurtoa-infra-alalla/>.

Salminen, J. 2014. BIM:iin asetettu liikaa odotuksia. Rakennuslehti. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 30.4.2018]. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/blogit/bimiin-asetettu-liikaa-odotuksia/>.

SFS-ISO 55000. 2014. Asset management. Overview, principles and terminology. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 45 s.

Siren, K. 2014. InfraBIM-sanasto. Versio 0.7. [Verkkodokumentti]. 49 s. [Viitattu 30.4.2018]. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2013/10/InfraBIM_Sanasto_0-7.pdf.

Sirkiä, J. Laakso, T. Ahopelto, S., Ylijoki, O., Porras, J. & Vahala, R. 2017. Data utilization at Finnish water and wastewater utilities: Current practices vs. state of the art. *Utilities Policy*. Vol. 45. S. 69-75.

Solibri. 2018. Solibri model viewer. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.9.2018]. Saatavissa: <https://www.solibri.com/solibri-model-viewer>.

Succar, B. 2009. Building information modeling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*. Vol. 18. S. 357-375.

Tolmer, C-E., Castaing, C., Diab, Y. & Morand, D. 2013. CityGML and IFC: going further than LOD. *International Congress Digital Heritage, Marseille, France*. 4 s.

Tomljenovic, I., Höfle, B., Tiede, D. & Blaschke, T. 2015. Building extraction from airborne laser scanning data: An analysis of the state of the art. *Remote Sensing*. Vol. 7. S. 3826-3862.

Valande, R., Nicolle, C. Cruz, C. 2008. IFC and building lifecycle management. *Automation in Construction*. Vol. 18: 1. S. 70-78.

Vanier, D. 2001. Why industry needs asset management tools? *Journal of Computing in Civil Engineering*. Vol. 15:1. S. 35-43.

Vattovaara, M. & Sipilä, O. 2005. Vesihuoltoinfrastruktuuri. Teoksessa: Fyysisen käyttöomaisuuden hallinnan taustaselvitys. *Teknologiakatsaus 170/2005*. Tekes. Helsinki 2005. S. 40-45. ISBN 952-457-192-7.

Vesihuoltolaki 119/2001. Helsinki. Maa- ja metsätalousministeriö. 1.3.2001.

Volk, R., Stengel, J. & Scultmann, F. 2014. Building information modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs. *Automation in Construction*. Vol. 38. S. 109-127.

Välisalo, T., Riihimäki, M., Lehtinen, E. & Kupi, E. 2008. Vesihuoltolaitosten verkosto-omaisuuden hallinta. Toimintamallin kuvaus Total Management Planning - ohjeistuksen pohjalta. *VTT working papers 98*. Espoo 2008. 74 s. ISBN 978-951-38-7159-8.

Välisalo, T., Räikkönen, M. & Lehtinen, E. 2006. Asset management vesihuollossa. Kirjallisuustutkimus. VTT working papers 61. Tampere 2006. 79 s. ISBN 951-38-6613-0.

Yin, X., Wonka, P. & Razdan, A. 2009. Generating 3D building models from architectural drawings: A survey. IEEE Computer Graphics and Applications. Vol. 29. S. 20-30.

Haastattelut

Hatvala, V-M. 2017. Projektipäällikkö, Ramboll Finland Oy. Espoo. Haastattelu 14.6.2017.

Lukkarila, P. 2017. Ryhmäesimies, Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Helsinki. Haastattelu 20.6.2017.

Liukas, J. 2017. Johtava konsultti, Sitowise Oy. Espoo. Haastattelu 7.6.2017.

Lönnberg, K. 2017. Koneohjaus- ja tietomallinnusasiantuntija, Graniittirakennus Kallio Oy. Vantaa. Haastattelu 3.8.2017.

Mäkelä, H. 2017. Johtava asiantuntija, Innegeo Oy. Espoo. Haastattelu 7.6.2017.

Ojala, A. 2017. Asiantuntija, Sujutek Oy. Espoo. Haastattelu 18.7.2017.

Orava, M. 2017. Vesihuollon suunnittelupäällikkö, Vantaan kaupunki. Vantaa. Haastattelu 10.8.2017.

Pakarinen, S-M. 2017. Palvelupäällikkö, Espoon kaupunki. Espoo. Haastattelu 2.6.2017.

Partanen, A. 2017. Työpäällikkö, Graniittirakennus Kallio Oy. Vantaa. Haastattelu 3.8.2017.

Perttula, T. 2017. InfraBIM kehityspäällikkö, Ramboll Finland Oy. Espoo. Haastattelu 8.9.2017.

Putkonen, P. 2017. Kunnallistekniikan pääsuunnittelija, Ramboll Finland Oy. Espoo. Haastattelu 19.10.2017.

Remes, I. 2017. Työnjohtaja, Lahti Aqua Oy. Sähköpostiviesti. 21.9.2017.

Savolainen, T. 2017. InfraBIM kehityspäällikkö, Liikennevirasto. Helsinki. Haastattelu 11.9.2017.

Tuomiranta, J. 2017. Ryhmäpäällikkö, Ramboll Finland Oy. Espoo. Haastattelu 7.7.2017.

Yrjölä, A. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Espoo. Haastattelu 18.9.2017.

Liiteluettelo

Liite 1. Omaisuudenhallintastandardit ja -ohjeistukset. 2 sivua.

Liite 1. Omaisuudenhallintastandardit ja -ohjeistukset

Standardi, ohjeistus, suositus	Pääsisältö	Lähde
ISO 55000 standardit (ISO 55000, ISO 55001 ja ISO 55002)	ISO -standardit on luotu tehostamaan omaisuudenhallintaa maailmanlaajuisesti. Standardeissa määritellään omaisuudenhallintaa yleisellä tasolla sekä omaisuudenhallintaan liittyvät käsitteet ja terminologia (ISO 55000). Lisäksi ne standardeissa määritetään omaisuudenhallintajärjestelmien vaatimukset (ISO 55001) ja ohjataan järjestelmien tulkintaa ja toteutusta (ISO 55002). Standardeissa ei kuitenkaan anneta ohjeita varsinaisesta käytännön toteutuksesta.	SFS-ISO 55000: 2014, SFS-ISO: 55001: 2014, SFS-ISO 55002: 2014
PAS 55	PAS 55 -standardi on Britannian standardoimisinsti-tuution (BSI, <i>British Standard's Institution</i>) luoma standardi fyysisen käyttöomaisuuden hallinnan opti-mointiin. Standardi sisältää määritelmiä ja vaatimuk-sia optimoidun hallintajärjestelmän perustamiseksi ja sitä voidaan soveltaa mihin tahansa fyysistä käyttö-omaisuutta hallinnoivaan organisaatioon. Ensimmäi-sen kerran vuonna 2004 julkaistua standardia on käy-tetty pohjana organisaation sertifiointeille useissa maissa, mutta monissa tapauksissa ISO 55000 sarjan standardit ovat sittemmin korvanneet PAS 55 -standar-din.	The Institute of Asset Management 2018
PAS 181	PAS 181 toimii viitekehyksenä älykkäiden kaupun-kien (engl. <i>smart cities</i>) toimintastrategioiden kehittä-miselle, yhteensovittamiselle ja toteuttamiselle. Strate-gian avulla pyritään integroimaan teknologiset ratkai-sut, kuten esineiden internet (IoT, <i>Internet of Things</i>), osaksi kaupungin omaisuudenhallintaa. Tavoitteena on, että kaupunkien hallinnollinen johto pystyy edes-auttamaan kaupungin kykyä vastata tulevaisuuden haasteisiin toteuttamalla samanaikaisesti pyrkimyksi-ään kaupungin kehittämiseksi tulevaisuudessa. Käytännössä standardi sisältää ohjeita liiketoiminnan päätöksenteon tueksi ja sen varmistamiseksi, että älyk-kään kaupunkistrategian mukanaan tuomat edut hah-motetaan selkeästi. Lisäksi standardissa on ohjeita strategian toteutuksen onnistumisen mittaamiseksi ja tehokkaan riskienhallinnan toteuttamiseksi.	British Standards In-stitution 2014

IIMM (<i>The International Infrastructure Management Manual</i>)	IIMM kehitettiin käytännön ohjeistukseksi Australian ja Uuden-Seelannin kansallisten maanhallintolaitosten omaisuudenhallintaan. Käsikirjan tarkoituksena on kuvata parhaita käytäntöjä omaisuudenhallinnalle erilaisten tapausesimerkkien kautta. IPWEA (<i>Institute of Public Works Engineering Australasia</i>) on julkaissut varsinaisen käsikirjan lisäksi lyhemmän oppaan ISO 55000 -standardien käytännön toteuttamiseksi.	Institute of Public Works Engineering Australasia 2014
--	--	--

British Standards Institution. 2014. PAS 181: 2014. Smart city Framework. Guide to establishing strategies for smart cities and communities. Executive summary. British Standards Institution. [Verkkodokumentti]. 11 s. [Viitattu: 22.7.2017]. Saatavissa: https://shop.bsigroup.com/upload/Smart_cities/BSI-PAS-181-executive-summary-UK-EN.pdf.

Institute of Public Works Engineering Australasia. 2014. IIMM Supplement 2011 - Meeting ISO 55001 Requirement for Asset Management Using the International Infrastructure Management Manual (IIMM). [Verkkodokumentti]. 36 s. [Viitattu: 6.10.2018]. Saatavissa: <https://www.fmanz.org/site/facilitiesnz/files/MAS-TER%20CLASSES/PreRead%20Facilities%20Asset%20Management/8g%20Quick%20Guide%20Meeting%20ISO55001%20Requirements%20NAMS2014.pdf>.

SFS-ISO 55000. 2014. Asset management. Overview, principles and terminology. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 45 s.

SFS-ISO 55001. 2014. Asset management. Management systems. Requirements. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 33 s.

SFS-ISO 55002. 2014. Asset management. Management systems. Guidelines for the application of ISO 55001. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 71 s.

The Institute of Asset Management. 2018. BSI PAS 55. [Verkkosivu]. [Viitattu: 6.10.2018]. Saatavissa: <https://theiam.org/knowledge/Knowledge-Base/pas/>.