

## **CITYGML MALLINNUS FOTOGRAMMETRISESTI**

**Anna Erving**

Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio, Maanmittausosasto, TKK  
anna.erving@tkk.fi

### **TIIVISTELMÄ**

*Perinteisesti 3D-malleja on käytetty lähinnä visuaaliseen tarkasteluun. Viime aikoina suosiotaan ovat lisänneet myös semanttiset 3D-mallit, jotka ulkoasun ja geometrian lisäksi sisältävät myös ominaisuustietoa kohteesta. CityGML on työkalu semanttisten mallien tekemiseen, ja se on erikoistunut erityisesti rakennetun ympäristön kuvaamiseen. CityGML-tietomallia on kehitetty viralliseksi standardiksi, jolloin tiedon jakaminen, käsittely, tallennus ja esittäminen helpottuvat huomattavasti. Fotogrammetrialla on tärkeä rooli kolmiulotteisten mallien tuottamisessa, joten sitä voidaan hyödyntää myös CityGML-mallien luomisessa. Fotogrammetriset menetelmät mahdollistavat mittatarkat aineistot ja lopputuotteet.*

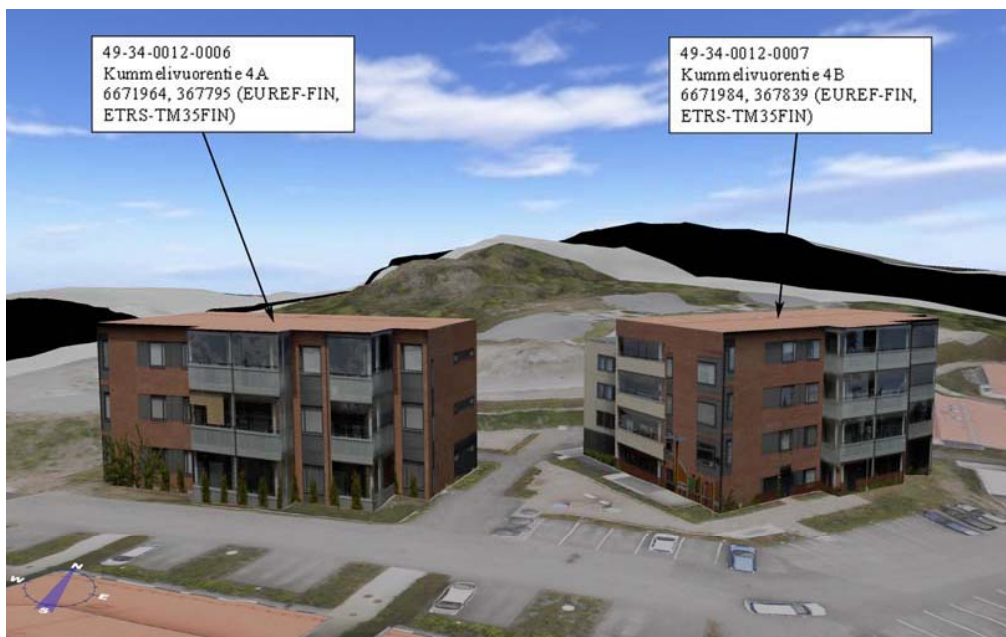
**Avainsanat:** CityGML, semanttinen 3D-malli, fotogrammetria, standardi

### **1 JOHDANTO**

Kolmiulotteisia malleja käytetään nykyään useissa erilaisissa sovelluksissa, kuten teollisuuden simuloinneissa ja kaupunkisuunnittelussa. Nykytekniikan avulla on mahdollista kuvata jopa laajoja kaupunkialueita kohtuullisella työpanoksella, sillä monia työvaiheita voidaan automatisoida. Tekstuurin lisääminen kohteen pintaan lisää mallin tietosisältöä ja tekee siitä visuaalisesti realistisemmän näköisen, etenkin kun kyseessä on tekstuuri valokuvalta.

Perinteisesti malleja on käytetty kohteen esittämiseen ja sen visuaaliseen tarkasteluun. Viime aikoina mukaan ovat kuitenkin tulleet myös semanttiset 3D-mallit, jotka lisäävät sovellusmahdollisuuksia entisestään.

Semanttiset mallit sisältävät geometrian ja tekstuurin lisäksi myös muuta tietoa kohteesta (Kuva 1). Sisältönä voi olla lähes mitä tahansa kohteeseen liittyvää ominaisuustietoa. Kaupunkimallissa kukin rakennus voi esimerkiksi sisältää tiedon sen käyttötarkoituksesta ja rakennusvuodesta. Tietosisältönsä ansiosta mallien avulla on mahdollista tehdä erilaisia kyselyjä, analyysejä ja simulaatioita kohteesta. Mahdollisia hakuja voisivat olla esimerkiksi: ”näytä rakennukset joissa on enemmän kuin kymmenen kerrosta” tai ”näytä sellaisten tasakattoisten rakennusten sijainnit, joiden kattopinta-ala on tarpeeksi suuri helikopterin laskeutumisalustaksi”.



*Kuva 1. Semanttinen 3D-malli antaa paljon tietoa kohteesta. (Kuva: Anna Erving)*

## **2 CITYGML**

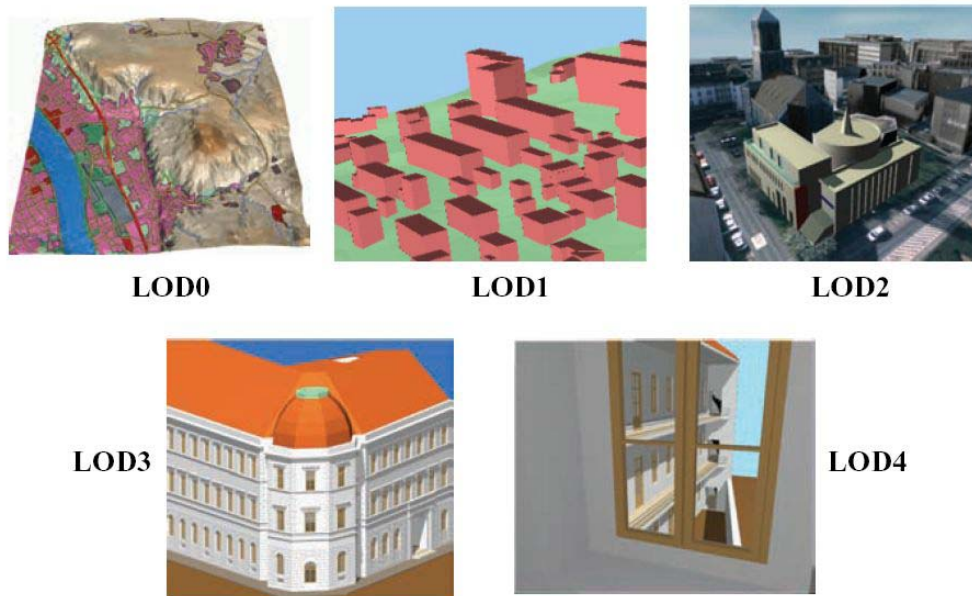
CityGML (City Geography Markup Language) on tietomalli ja työkalu semanttisten mallien tekemiseen. Sen perustana on GML (Geography Markup Language), joka on XML-pohjainen geografisen tiedon esitysmuoto. XML taas on metakieli, jonka avulla voidaan kuvata minkä tahansa esitettävän tiedon rakennetta ja merkitystä. CityGML on erikoistunut kolmiulotteisen rakennetun ympäristön käsittelemiseen ja tallentamiseen, kun taas normaali GML käsittelee geografista tietoa yleisemmällä tasolla. CityGML sisältää kattavasti erilaisia kohdetyyppejä kaupunkialueiden kuvaamiseen. Tällöin juuri sellaiset kohteet, jotka ovat ominaisia kaupunkialueille, on helppo sisällyttää tietomalliin. Näitä ovat esimerkiksi maastomallit, rakennelmat, kasvillisuus, vesialueet, liikennealueet sekä muut ympäristöön kuuluvat asiat kuten liikennemerkit ja muut pienemmät kohteet. (Gröger et al., 2007)

CityGML on kehitetty avoimeksi ja maksuttomaksi standardiksi. Sitä on kehittänyt vuodesta 2002 lähtien Sig3D (Special Interest Group 3D), joka on GDI NRW:n (Geodata Infrastructure North-Rhine Westphalia) perustama työryhmä. Myös EuroSDR Com 3 on mukana toiminnassa. Sig3D koostuu joukosta yrityksiä, kuntia ja tutkimuslaitoksia Saksasta, Sveitsistä, Itävallasta ja Iso-Britanniasta, jotka työskentelevät 3D-mallien ja geovisualisoinnin parissa. Työ kohti virallista standardia on lähes loppusuoralla. Tietomallin määrittelevä raportti (Implementation specification) ansaitsi syksyllä 2007 OGC:n (Open Geospatial Consortium) ”Best Practice Paper”-tittelin.

Tavoitteena on luoda yleinen tietomalli, jonka muotoon kaikki 3D-mallit voitaisiin tulevaisuudessa rakentaa. Standardimuotonsa avulla CityGML mahdollistaa useiden erilaisten aineistojen ja ohjelmistojen yhteiskäytön, jolloin tiedon jakaminen, käsittely, tallennus ja esittäminen helpottuvat huomattavasti.

CityGML erittelee viisi eri yksityiskohtatasoa (Level Of Detail). Kohteet muuttuvat sitä yksityiskohtaisemmiksi, mitä korkeammalle tasolle nousee (Kuva 2). Näkymä voi sisältää

yhtäaikaaisesti mallin eri osien kuvauksia eri yksityiskohtatasoilla. Tärkeitä alueita voidaan korostaa esittämällä ne pienipiirteisemmin kuin muun ympäristön. Tällöin mallin käsittely pysyy vielä melko keveänä verrattuna siihen, että koko alue kuvattaisiin samalla yksityiskohtaisuudella.



**Kuva 2.** CityGML-tietomallin viisi eri yksityiskohtatasoa. (Kuva IKG Uni Bonn)

Vastaavantyyllisiä semanttisia tietomalleja on olemassa muitakin, mutta ne on useimmiten tuotettu jonkin tietyn ohjelmiston tarpeisiin. Tällöin tiedon jakaminen muussa ympäristössä kuin kyseisessä ohjelmassa on vaikeaa tai jopa mahdotonta. CityGML:n vahvuutena on standardinmukaisuus. XML- ja GML-tietomallit ovat jo laajalti käytössä.

### **3 SOVELLUSKOHTEET**

Mahdollisia sovelluskohteita semanttisille malleille löytyy lukemattomia. Virtuaaliset museot ovat yksi hyvä esimerkki. Vierailija voi tutustua museoon siitä tehdyn 3D-mallin avulla. Erilaisia kohteita valittaessa hän saa selville niihin liittyvää tietoa.

Useista Saksan kaupungeista on olemassa malli CityGML-muodossa. Tällöin rakennuksiin ja muihin kohteisiin voidaan liittää ominaisuustietoa. Kaupunkimalleja voidaan käyttää muun muassa turismin apuna, kaupunkisuunnittelussa ja matkapuhelinverkon laatimisessa.

Mallia voidaan hyödyntää myös luonnonkatastrofien simuloinneissa ja todellisissa hätätilanteissa. Esimerkiksi maanjäristyksen sattuessa tuhon laajuus voidaan selvittää nopeasti, pelastajat osataan ohjata oikeisiin paikkoihin ja vaurioituneet kohteet korjata entiselleen (Kolbe et al., 2005). Myös tulvatilanteiden simuloinnilla voidaan selvittää, mitä kaikkea mahdollisesti jää veden alle tositilanteessa.

## **4 FOTOGRAMMETRIA MALLINNUKSESSA**

Paikkatietoala hyödyntää yhä enemmän kohteiden kolmiulotteista esitystapaa. Erityisesti semanttiset mallit ovat käyttökelpoisia ja vastaavat paikkatietopuolen tarpeita, sillä mallit sisältävät ominaisuustietoa kohteesta. Fotogrammetrialla on tärkeä rooli kolmiulotteisten mallien tuottamisessa, sillä niihin tarvittava aineisto ja sitä kautta myös tekotapa ovat usein fotogrammetrisia.

Esimerkkinä mainittakoon rakennuksen mallinnus konvergenteilta valokuvilta. Kohde kuvataan useasta eri suunnasta. Kuville tehdään keskinäinen orientointi, jolloin ne ovat kaikki yhteisessä koordinaatistossa. Kohde mallinnetaan mittaamalla vastinpisteitä eri kuvilta, jolloin niille voidaan laskea 3D-koordinaatit. Malleista saadaan fotorealisticia, kun mallinnettävien kohteiden pintatekstuuri määritetään suoraan valokuvilta. Lopullinen malli voidaan vielä orientoida johonkin ulkoiseen koordinaatistoon, jolloin se vastaa myös mittasuhteiltaan todellisuutta. Oikea mittakaava voidaan määrittää myös silloin, kun kohteesta on tiedossa jokin tunnettu etäisyysmitta. Tällöin kuitenkin vain kohteen koko, ei sen sijainti, on ympäristöön nähden oikea.

Laajojen kaupunkimallien tapauksessa kaikkia pieniä yksityiskohtia on mahdotonta mallintaa. Valokuvilta otettu tekstuuri korvaa visuaalisessa mielessä puuttuvia osia kohteen geometriassa, sillä tekstuurin resoluutiosta riippuen se voi sisältää hyvinkin pieniä yksityiskohtia kohteesta.

Kaupunkimallin muodostamiseen tarvitaan yleensä maastomalli, 3D-mallit rakennuksista ja muista kohteista sekä tekstuurikuvaa mallin pinnalle. Suuri osa aineistosta tuotetaan fotogrammetrisin menetelmin.

### **4.1 3D-mallit**

Kohteen 3D-malli muodostetaan nykyään yhä useammin laserkeilausaineistosta. Erityisesti ilmasta käsin tehtävä keilaus soveltuu hyvin laajojen alueiden mallintamiseen. Tekniikka mahdollistaa nopeasti ja tarkasti keilatun pistepilven kohteesta. Maastomallin tekoa varten aineistosta voidaan karsia siihen kuulumattomat kohteet, kuten rakennukset ja kasvillisuus. Vastaavasti kaupunkimallia varten aineistosta hyödynnetään rakennukset ja muut tarvittavat kohteet.

Rakennusmalleja voidaan tuottaa myös terrestriaalisella laserkeilaimella, mutta tällöin työ on aikaa vievää, vaikkakin myös yksityiskohtaisempaa, erityisesti laajan kohdealueen kanssa. Perinteisempiä fotogrammetrisia menetelmiä maastomallin ja rakennusmallien tekoon on kuvamittaus. Kohteesta voidaan muodostaa kolmiulotteinen malli stereo- tai konvergenttimittauksen avulla.

Kuvamittausmenetelmät eivät kuitenkaan ole yhtä tehokkaita kuin laserkeilaus, jos ajatellaan kohteesta mittauksen avulla saatavan tiedon määrää. Esimerkiksi rakennusta mallinnettaessa laserkeilauksella saadaan myös pienempien yksityiskohtien, kuten räystäiden ja ikkunalausojen, muodot esiin. Sen sijaan kuvamittauksessa tällaisten yksityiskohtien mallintaminen vaatii runsaasti vastinpisteiden mittaamista, mikä taas on työlästä.

Toisaalta kuvamittauksen avulla mitattavien kohteiden laatu ja tarkkuus on parempi, sillä kuvilta voidaan valita ja mitata esimerkiksi nurkka erittäin tarkasti. Laserkeilauksen avulla

saatu pistepilvi taas sisältää lähes poikkeuksetta pyöristetyn nurkan, sillä kohde mitataan tietyllä pistetiheydellä eikä säteen osumakohtia voi sen tarkemmin määrittää.

## **4.2 Tekstuuri**

Maastomallin tekstuurina käytetään useimmiten ilmakuvaa, joka oikaistaan ortokuvaksi mallin pinnalle. Rakennusten katot saadaan samaisilta ilmakuvilta. Sen sijaan julkisivutekstuurit ovat ongelmallisimpia, sillä ne eivät yleensä ole kovinkaan hyvin näkyvissä ilmasta kohtisuoraan maahan päin otetuilta kuvilta. Tähän tarkoitukseen käyvätkin parhaiten viistoilmakuvat tai maakuvat. Viistoilmakuvia käytettäessä kuvia ei tarvitse ottaa niin paljon kun maakuvia, sillä yksi kuva kattaa useita rakennuksia kerrallaan. Myös näkymäesteet, kuten ihmiset, autot ja kasvillisuus, eivät välttämättä ole niin paljon häiriöksi viistoilmakuvalla kuin maakuvalla. Maakuvien hankinta on toisaalta helpompaa kuin ilmakuvien.

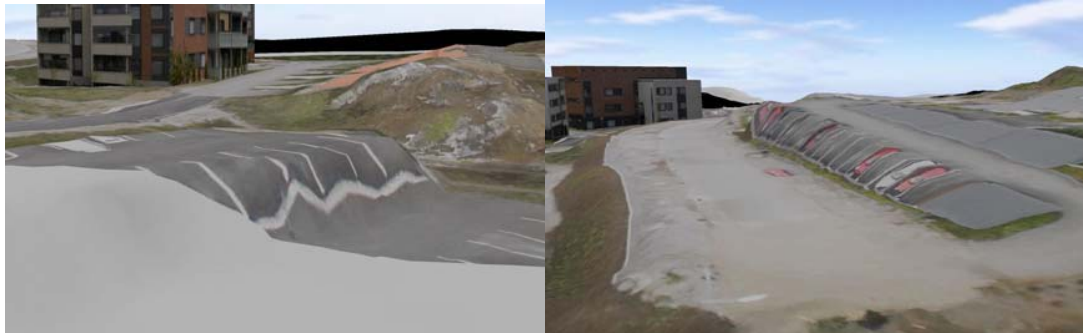
Blom Kartta Oy:n Pictometry tarjoaa pystysuuntaisten ilmakuvien lisäksi viistoilmakuvia neljästä eri ilmansuunnasta. Järjestelmän on tarkoitus kattaa seuraavien vuosien kuluessa kuvat kaikista Euroopan suurimmista kaupungeista. Eri ilmansuunnista otetut kuvat kattavat hyvin rakennuksen eri puolilla olevia julkisivuja ja mahdollistavat seinien teksturoinnin näiltä kuvilta. (Blom Pictometry)

## **4.4 Yhteensovituksen ongelmakohtia**

Mallinnustyössä tärkeää on kattavan aineiston olemassaolo. Aineistoa on kerättävä eri puolilta kohdetta, jotta kaikki tarpeellinen on mahdollista mallintaa. Myös aineiston laatu on tärkeää. Erityisesti kuvilta mallinnettaessa on huomioitava hyvän kuvausgeometrian toteutuminen.

Teksturoitaessa kohteen pintaa kuvilta on tunnettava kuvien orientointi kohteeseen nähden, jotta se osataan sijoittaa oikeaan kohtaan mallin pinnalle. Kuvauksen yhteydessä mukaan voidaan tallettaa kuvanottoaika ja suunta. Erityisesti ilmakuvauksen yhteydessä käytäntö on jo hyvin yleistä. Kuvan sijaintitiedot antavat hyvät lähtölikiarvot tarkemmalle orientoinnille, joka voidaan suorittaa vastinpiirteitä mittaamalla.

Kuvilta on myös poistettava perspektiivistä johtuvat vääristymät, ennen kuin se voidaan liittää kohdemallin pintaan. Ajatellaan esimerkkinä ilmakuvaa, joka halutaan liittää tekstuurina maastomallin pinnalle (Kuva 3). Sellaisenaan kuva sisältää vääristymiä eli pikselit ovat eri kohdissa kuvaa erikokoisia ja -muotoisia, sillä se ei ole täysin ortografinen projektio maastomallin suhteen. Lisäksi maastomalli sisältää korkeusvaihteluita, mikä vaikuttaa myös mittakaavaeroina kuvalla. Sen sijaan ortokuva soveltuu paremmin tekstuuriksi, sillä siinä perspektiivistä ja maaston korkeusvaihteluista johtuvat virheet on korjattu. Vastaavaa menettelyä on käytettävä muissakin teksturointiprosesseissa, kuten julkisivuteksturoinnissa.



**Kuva 3.** Oikaisematon ilmakuva ja maastomalli eivät ole yhteensopivia. (Kuva: Anna Erving)

Usein eri aineistoja on käsiteltävä eri ohjelmien avulla ja yhdistettävä vasta jälkikäteen yhteen. Maastomalli saatetaan tehdä toisella ohjelmalla kuin itse rakennusten mallinnus. Ongelmaksi saattaa syntyä eri ohjelmissa käytössä olevat formaatit, jolloin mallit on muunnettava yhteensovitusta varten johonkin yhteiseen muotoon. Tällöin on huolehdittava siitä, että kaikki malleihin liittyvä säilyy mukana muunnoksissa.

On myös erittäin tärkeää, että aineistot ovat yhteensopivia orientointitietojensa puolesta. Esimerkiksi maastomallia ja rakennusmalleja yhdistäessä tehtävää helpottaa, jos aineistot ovat jo etukäteen samassa järjestelmässä.

Tällä hetkellä on jo olemassa muutamia ohjelmia, joiden avulla aineisto voidaan muuntaa CityGML-muotoon. Yksi esimerkki on 3D Geo:n kehittämä LandXplorer Studio. Ohjelmaan voi tuoda erilaisia aineistoja, kuten maastomalleja, rakennusten 3D-malleja, maa- ja ilmakuvia sekä vektoriaineistoa. Kohteisiin voi liittää CityGML:n mukaista ominaisuustietoa ja myös linkitys ulkoiseen tietokantaan onnistuu. Valmiissa mallissa voidaan valita jokin kohde, jolloin saadaan tietää kaikki kohteeseen liittyvä tieto. Mukana on siis yhtäaikaista visuaalisesti hieno 3D-malli ja monipuolinen tietokanta antamaan lisätietoja. Ohjelmasta on olemassa myös ilmainen versio (LandXplorer CityGML Viewer), jolla kuka tahansa voi pyöritellä malleja ja tarkastella sen sisältämää ominaisuustietoa.

## 5 YHTEENVETO

Kolmiulotteisten mallien yleistymisen myötä ongelmaksi on muodostunut tiedon jakaminen, käsittely ja tallennus erilaisissa ympäristöissä. CityGML mahdollistaa rakennetun ympäristön kolmiulotteisen kuvaamisen standardimuodossa. Standardi on avoin ja maksuton, mikä mahdollistaa sen käytön missä tahansa.

Fotogrammetrialla on tärkeä osuus aineiston hankinnassa ja mallien tuottamisessa erityisesti silloin, kun malleista halutaan mittatarkkoja. Fotogrammetriset menetelmät ovatkin hyvänä apuna paikkatietosovellusten tekemisessä.

CityGML on jo melko lähellä virallista standardointia. Voi kuitenkin mennä aikaa, ennen kuin tietomalli on yleisesti käytössä. Tällä hetkellä saatavilla on lähinnä vielä kehitysvaiheessa olevia ohjelmistoja, joiden avulla aineisto voidaan muuttaa CityGML-muotoon. Kestää varmasti aikansa, ennen kuin työkalut ja menetelmät ovat valmiita aineiston sujuvaa ja tehokasta käyttöä varten.

**Lähdeluettelo**

Gröger, G., Kolbe, T. and Czerwinski, A., 2007, Candidate OpenGIS CityGML Implementation Specification (City Geography Markup Language), Version 0.4.0, Open Geospatial Consortium Inc., 17.6.2007

Kolbe, T.H., Gröger, G. and Plümer, L., 2005, CityGML – Interoperable Access to 3D City Models, Proceedings of the Int. Symposium on Geo-Information for Disaster Management on 21-23 March in Delft

Blom Pictometry, www-dokumentti, <http://www.blompictometry.com/index.html> (Luettu 1.11.2007)