

# TRIRAZSEŽNI PRISTOPI ZA MODELIRANJE STAVB, MEST IN POKRAJIN

THREE-DIMENSIONAL APPROACHES FOR MODELLING BUILDINGS,  
CITIES AND LANDSCAPES

*Radoš Šumrada*

UDK: 004:659.2:711:91

## POVZETEK

*V članku je podan pregled razvoja in možnosti za uporabo odprtokodnih načinov za modeliranje trirazsežnih (3D) prikazov objektov, stavb, naselij in pokrajin. Poleg kratkega pregleda različnih specifičnih pristopov CAD so predstavljeni trije odprtokodni pristopi in prenosni formati, ki temeljijo na meta-jeziku za označevanje podatkov XML: KML, X3D in CityGML. Opisane so značilnosti, prednosti in slabosti teh treh na XML temelječih pristopov ter težave, ki se pojavijo pri tovrstnem razvoju in uporabi. Posebej so predstavljeni uporaba in lastnosti najbolj obetavnega pristopa CityGML, ki poleg 3D-upodabljanja in prenosa prostorskih podatkov omogoča vgraditev hierarhije oziroma agregacije razredov ter dodajanje semantičnih in tematskih lastnosti objektov. Orisana so glavna obstoječa in potencialna področja uporabe navideznih 3D-modelov stvarnosti na splošno in posebej za geodetsko stroko.*

## KLJUČNE BESEDE

*tehnologija GIS, CAD 3D-modeli, odprta koda, standardi, 3D-modeli objektov, XML, KML, X3D, CityGML, IFC, modeliranje*

## 1 UVOD

Tehnologija GIS je »dozorela« in postala ključna sestavina sodobnih, z informacijsko tehnologijo podprtih družbenih ureditev. Tehnološke rešitve in številne aplikacije GIS pa so, kljub izrednemu napredku in množični uporabi v preteklem desetletju, večinoma ostale na ravni dveh razsežnosti

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.02

## ABSTRACT

*This paper presents an overview of the development and possibilities of open source approaches for the modelling of 3D objects, buildings, urban and rural environments. Besides the short overview of some specific CAD approaches, this paper focuses on the three open-source solutions and transfer formats that are based on the XML meta-language for data marking: KML, X3D and CityGML. The characteristics, advantages and disadvantages of all the solutions based on the XML are outlined; difficulties and obstacles that still may hinder their future development are also given. The features and applications of the most promising CityGML approach are described in more detail, which, besides the 3D visualization and spatial data transfer role, offers implementation of class aggregation hierarchies, and the addition of semantic and thematic properties of objects. The concluding remarks specify the main existent and potential application domains for virtual 3D models of reality, also in the field of surveying.*

## KEY WORDS

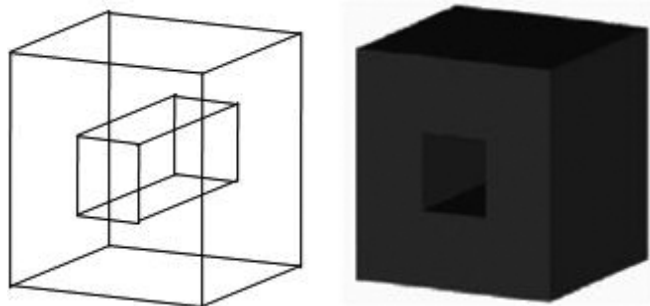
*GIS technology, CAD 3D models, open source, standards, 3D city models, XML, KML, X3D, CityGML, IFC, modelling*

ali dveh razsežnosti in pol. Mnoge uporabnike tehnologije GIS pa poleg časovnih podatkov zanimajo zlasti sodobne trirazsežne (3D) aplikativne rešitve. Največji potencialni uporabniki sodobnih navideznih 3D-modelov prostora so postala velika mesta po svetu, ki množično razvijajo in zagotavljajo zlasti spletne 3D-modele urbanega in ruralnega okolja. Virtualni 3D-modeli mest so digitalne predstavitve terena in ustreznih objektov na širšem urbanem območju. Vodilne svetovne programske hiše sledijo opisanim trendom ter zagotavljajo aplikacije za zajem, prikazovanje in vodenje tovrstnih podatkovnih zbirk, ki so namenjene za množično spletno uporabo in predvsem za prikazovanje dovršenih 3D-modelov stvarnosti v navidezni resničnosti.

Brez dvoma sta programski orodji MS Virtual Earth ([www.Microsoft.com/virtualearth](http://www.Microsoft.com/virtualearth)) in zlasti Google Earth ([Earth.Google.com](http://Earth.Google.com)) naredila »revolucijo« na tem področju. Primeri orodij za spletno kartografsko prikazovanje, navigacijo in ogled dodanih 3D-modelov mestnih vedut so denimo še Google Maps, MS Live Maps, Yahoo Maps itd. Omenjene aplikativne rešitve, ki omogočajo množično navidezno prikazovanje obsežnih urbanih območij in pokrajine v treh razsežnostih, dobivajo vedno več uporabnikov tovrstnih enostavno dostopnih rešitev, vendar so večinoma omejene na nestrokovne in razmeroma nezahtevne uporabnike. Pogosto je pri uporabi tovrstnih 3D-modelov opazna neuskkljenost prostorskih podatkov, ki navadno izvirajo iz različnih virov. Ločljivost in zanesljivost tovrstnih navideznih trirazsežnih modelov in torej kakovost podatkov zato pogosto ne ustrezajo potrebam zahtevnejših uporabnikov. V nadaljevanju so, poleg splošnega pregleda nekaterih pristopov CAD in GIS k modeliranju 3D-objektov in standardnih izmenjalnih formatov CAD, podrobneje opisani trije prevladujoči pristopi za modeliranje navideznih 3D-modelov, ki temeljijo na odprtih formatih XML. To so KML, X3D in zlasti obetaven CityGML, ki mu v nadaljevanju posvečamo tudi največ pozornosti. V sklepnem delu je na kratko opisana akcija COST TU0801 z naslovom, ki se v prevodu glasi »Semantična obogatitev 3D-modelov mest za trajnostni urbani razvoj«.

## 2 MODELIRANJE 3D-OBJEKTOV

### 2.1 Uvod



Slika 1: Primer žične (skeletne) in trdne upodobitve 3D-objekta (vir: Zlatanova et al., 2009)

V računalniški grafiki je izdelava trirazsežnih (3D) modelov razvojni proces, v katerem se z ustrežno programsko opremo najprej sestavi matematična predstavitev izbranega 3D-objekta. Rezultat je trirazsežni (žični) model skeleta objekta, položajno podan z nizom karakterističnih točk v prostoru, ki se potem linijsko povežejo z robovi ([en.wikipedia.org/wiki/3D\\_modeling](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling)). Lokacija točk je lahko izračunana, posneta, skenirana ali izmerjena. Zaključeni nizi robov tvorijo robne ploskve objekta, ki so navadno pravilni geometrični liki, denimo trikotniki, mnogokotniki, krogi itd. Model objekta se lahko prikaže z delnimi 2D-podobami ali pa s postopkom, ki se imenuje 3D-upodabljanje in je podlaga za računalniške simulacije trdnih teles v navideznem prostoru (slika 1). V računalniški grafiki so poznani štirje vodilni metodološki pristopi za razvoj in podajanje 3D-modelov:

- poligonsko modeliranje je pristop, pri katerem se robne ploskve telesa ponazorijo s povezavo njegovih karakterističnih točk (vozlišč) z robovi, ki kot zaključeni poligoni določajo sklenjeno mrežo robnih ploskev 3D-objekta. Poligonski model se lahko hitro sestavi in je zelo prilagodljiv, vendar so takšne ploskve izvorno ravninske. Krive ploskve se lahko približno ponazorijo z uporabo mnogih, bolj natančnih poligonov;
- pristop NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) določa ploskve s krivuljami, imenovanimi zleпки, na katere z uteži vplivajo podane (vozliščne) točke. Na potek zlepkov lokalno vplivajo uteži podanih točk, vendar zleпки ne predstavljajo interpolacijske krivulje. S pristopom NURBS izdelane globalne ploskve so gladke in primerne za modeliranje terena ter zlasti zveznih prostorskih pojavov;
- pristop zlepkov in nalepkov je podoben pristopu NURBS, vendar temelji na postopnem lokalnem določanju zlepkov, ki tvorijo robove natančnih, iz skladnih nalepk sestavljenih ploskvic. Primeren je za modeliranje terena in manj za zgrajene 3D-objekte. Po procesni zahtevnosti in uporabnosti je manj zapleten kot pristop NURBS in bolj natančen od poligonskega pristopa;
- modeliranje z uporabo pravilnih geometričnih gradnikov, kot so krogla, valj, kocka, polieder, stožec itd., je priljubljena metoda za sestavo zahtevnih 3D-modelov trdnih teles v okolju CAD. Prednost je hitra in enostavna sestava iz matematično opredeljenih 3D-gradnikov. Zato je model natančna predstavitev in operacije, ki so podlaga za postopno sestavo modela, so enostavne in pregledne. Gradniki se kombinirajo z logičnimi operacijami, kot so diferenca, presek, unija, vsota itd., ter premiki in linearnimi transformacijami. Pristop je zlasti primeren za modeliranje zgrajenih objektov in tehničnih teles.

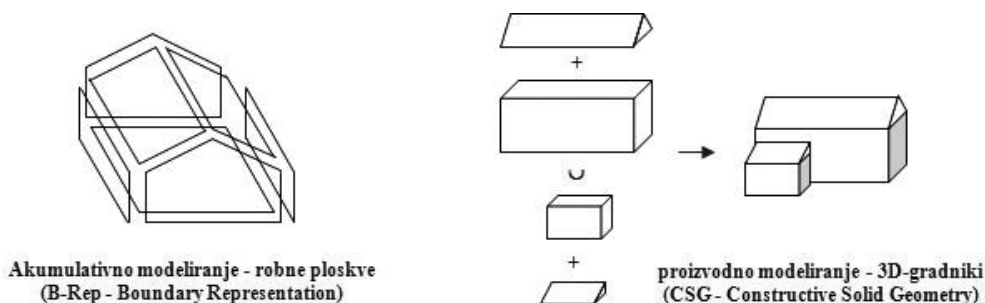
## 2.2 Metode za prikazovanje trirazsežnih objektov

Za sestavo 3D-predstavitve prostorskih objektov (denimo stavbe v mestu) se uporabljajo podatkovni sloj s tlorisi objektov, podatki o višinah vsakega objekta ter podatkovni sloji za pokritja strehe in sten objektov. Pomembni so tudi podatki o številu nadstropij in geokodirani naslovi stavb. Na fasade stavb se dodajo različni nanosi, ki bolj verodostojno ponazarjajo podrobnosti in videz stavbe. Prav tako je mogoče natančno izdelati strehe stavb. Mogoči so tudi prikazi različnih izborov objektov ali tematik, kot so javne stavbe, infrastruktura itd. Domnevna osnovna podlaga

3D-predstavitev je lahko raven prostor. Za realnejšo podobo je mogoče namesto tlorisne ravnine uporabiti ploskev modela višin, ki upodablja stvarno razgibanost terena. Boljše vidne učinke je mogoče doseči z dodatnim (pretiranim) poudarjanjem višine stavb.

Med metodami trirazsežnega modeliranja prostora za predstavitev 3D-objektov sta, poleg tradicionalnega matematičnega oziroma »žičnega« (skeletnega) modela, najbolj pomembna naslednja pristopa, ki sta bolj dovršena in izhajata z dveh tehnoloških področij (slika 2):

- akumulativno modeliranje oziroma predstavitev z robnimi ploskvami (B-Rep - Boundary Representation) določa 3D-objekt z natančnimi robnimi ploskvami, ki s stiki na robovih obdajajo telo in tako določajo njegovo prostornino (GIS). Načelo akumulativnega modeliranja je v osnovi predstavitev videza z robnimi ravninskimi ploskvami telesa oziroma objekta. Temelji na sestavi 3D-objekta z 2D-topologijo vseh robnih ploskev, ki hkrati s spojitvijo določajo volumen objekta;
- proizvodno modeliranje (CSG - Constructive Solid Geometry) določa 3D-objekt z natančnimi volumskimi gradniki, ki se sestavljajo v ciljni trden objekt z različnimi operatorji (CAD). Načelo proizvodnega modeliranja je sestava trdnega 3D-objekta z osnovnimi volumskimi gradniki, kot so krogla, kocka, valj, stožec itd., ki se kombinirajo s pomočjo različnih operatorjev in postopkov ( $-$  diferenca,  $\cap$  presek,  $\cup$  unija,  $+$  vsota itd.), ter premiki in linearnimi transformacijami sestavin modela.



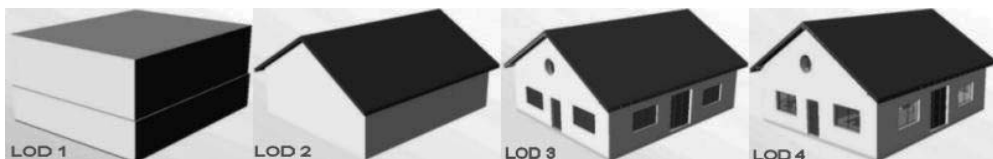
Slika 2: Primer akumulativnega (B-REP) in proizvodnega (CSG) modeliranja 3D-objekta

### 2.3 Stopnje natančnosti prikaza 3D-objektov

Glede na predstavitev 3D-modelov objektov se takšni prikazi po kakovosti oziroma vključevanju podrobnosti delijo glede na stopnjo posploševanja detajlov oziroma glede na ločljivost objektov (LOD - level of detail). Za upodobitev stavb na splošno razlikujemo pet stopenj razpoznavnosti (kakovosti upodobitve) objektov, ki se označujejo kot LOD 0, LOD 1, LOD 2, LOD 3 in LOD 4 (Kolbe, 2008). Zvezno ali večstopenjsko prikazovanje ločljivosti podrobnosti (LOD) je splošno poznana tehnika v računalniški grafiki, ki se uporablja za podajanje od pogleda odvisne redukcije podrobnosti pri prikazovanju rojev točk, pravokotnih in trikotniških mrež, 3D-objektov, tekstur itd. Pristop zagotavlja sproti izboljšanje razmerja med ločljivostjo, kakovostjo in hitrostjo prikaza zahtevne dinamične računalniške grafike. Ločljivost detajla se izračunava sproti

oziroma v realnem času ali skladno s prednastavitvami, kar je odvisno od zapletenosti površin, oddaljenosti opazovalca, kota opazovanja in/ali hitrosti premikanja objekta ali opazovalca (en.wikipedia.org/wiki/Level\_of\_detail). Največja mogoča izguba natančnosti se lahko določi z ustrežno nastavitvijo vnaprej podanih mejnih vrednosti različnih stopenj natančnosti. Stopnje razpoznavnosti 3D-objektov (kakovost upodobitve), ki so prikazane tudi na sliki 3, so:

- prva stopnja predstavlja točno locirani detajlni tloris stavbe (LOD 0), čeprav je pogosto tudi tloris poenostavljen v preprosto geometrijsko obliko;
- drugo stopnjo (LOD 1) razpoznavnosti tvorijo enostavne stavbe, podane s tlorisom in višino ter z ravnimi strehami (enostavni bloki) in brez podrobnosti (osnovni 3D-geometrijski gradniki – polieder, valj itd.);
- tretjo stopnjo (LOD 2) tvorijo modeli stavb z oblikovano streho, natančnim prikazom oblike sten in (delno) razpoznavnimi fasadami;
- četrto stopnjo (LOD 3) ponazarjajo podrobni arhitektonski modeli stavb, katerih sestavni podobjekti so tudi manjši detajli (dimniki, zunanja stopnišča, balkoni, funkcionalna zemljišča, oblika oken itd.);
- peta stopnja (LOD 4) je (še) eksperimentalna in vključuje dodatne semantične, topološke in opisne attribute stavb za različna poizvedovanja, razpoznavo notranje razporeditve prostorov, možnost vstopa in premikanja po notranjosti, analitično podporo za izračune poti, prehodnosti, površin, vrednosti, volumnov itd.



Slika 3: Primer štirih stopenj natančnosti (LOD 1–4) pri prikazu 3D-objekta (vir podatkov: [www.CitygGML.org](http://www.CitygGML.org))

## 2.4 Razni pristopi CAD

Računalniško podprto načrtovanje (CAD – Computer Aided Design) se tradicionalno uporablja za podroben inženirski razvoj načrtov v različnih strokah ter ponuja veliko tehnoloških rešitev za snovanje in izdelavo 3D-modelov navideznih ali obstoječih objektov. Tehnološke rešitve v okolju programske opreme CAD so številne in raznovrstne (3DS Max, 3Dnature, 3Dworld, ArchiCAD, Blender, form Z, Lightwave, Maya, Modo, Revit Architecture itd.), zato obravnava tega področja zaradi posebnosti in zlasti obsežnosti presega vsebino članka. Sodoben metodološki pristop k 3D-modeliranju na področju CAD je Building Information Modeling (BIM). Na kratko ga lahko opišemo kot proces izdelave in upravljanja podatkov o gradbenem projektu med njegovim celotnim življenjskim ciklusom. Uporablja se posebna programska oprema (USA. AutoDesk.com/company/building-information-modeling), da se v dejanskem času vzdržuje 3D-dinamični model stavbe. Osnovni cilj je povečana produktivnost med načrtovanjem in gradnjo objekta, proces prinaša tudi prednosti za njegovo vzdrževanje. Razvojni proces temelji

na informacijskem modelu stavbe (BIM), ki vključuje podrobno geometrijo stavbe, prostorska razmerja, postavitev in geografijo okolja ter druge kvantitativne in opisne podatke o stavbi in njenih sestavinah. BIM predstavlja predvsem podroben 3D-model notranjosti stavbe, ki je zgrajen z volumskimi 3D-gradniki in tehniko proizvodnega modeliranja (CSG). Takšen model se uporablja za upravljanje celovitega procesa gradnje projektiranega objekta, vendar so možnosti za povezavo konstrukcijskega procesa in podatkov s stvarno geolokacijo stavbe oziroma obstoječimi 3D-prostorskimi podatki pogosto nezadostno opredeljene.

Zadnja leta je sestava, uporaba in zlasti izmenjava 3D-prostorskih podatkov postala pomembno področje znanstvene dejavnosti zaradi potrebe po integraciji in množični uporabi velikih baz podatkov, vplivne standardizacije področja ter hitro naraščajočega števila uporabnikov in različnih aplikativnih področij (Zlatanova et al., 2009). Izmenjavo in integracijo podatkov delno zastopajo predvsem naslednji štirje odprti izmenjalni formati s področja CAD:

- 3DMLW (3D Markup Language for Web) je na XML-zapisu temelječ datotečni format za predstavitev različnih 3D- in 2D-interaktivnih grafičnih vsebin, predvsem na spletu. 3DMLW je prosto uporaben datotečni format, ki temelji na GPL-licenci (GNU General Public License). Prikazovanje datotek 3DMLW v spletnih brskalnikih zahteva ustrezne dodatke, ki za upodabljanje uporabljajo grafični vmesnik OpenGL (Open Graphics Library). Dodatke 3DMLW za različne brskalnike (Mozilla Firefox, MS Internet Explorer, Opera itd.) razvija podjetje 3D Technologies R&D ([www.3DMLW.com](http://www.3DMLW.com)). Za urejanje oznak v datotekah 3DMLW je na voljo poseben urejevalnik Quantum Hog ([www.QuantumHog.com](http://www.QuantumHog.com));
- COLLADA (COLLABorative Design Activity) je odprt in prosto uporaben datotečni format za izmenjavo podatkovnih nizov in metapodatkov v 3D-računalniški grafiki, ki temelji na ustreznih XML-shemah in posebnem imenskem prostoru (<https://collada.org>). Odprti industrijski standard COLLADA temelji na XML-shemi za bazo podatkov, ki opredeljuje, vzdržuje in zlasti posreduje zbirko podatkov neke 3D-aplikacije brez izgube informativne vrednosti ([www.Khronos.org/collada](http://www.Khronos.org/collada));
- podatkovni model IFC (Industry Foundation Classes) je v osnovi nevtralna in odprta specifikacija, ki jo je razvilo industrijsko združenje IAI (International Alliance for Interoperability). IFC je objektno usmerjen datotečni format, ki je izvorno podan v jeziku Express (ISO 10303-11:1994). Zapis temelji na semantičnem 3D-objektnem podatkovnem modelu ([www.IAI-tech.org](http://www.IAI-tech.org)). To je bogat in detajlen semantičen model za predstavitev 3D-stavb z uporabo konstruktivnih sestavin, kot so gredi, konzole, stebri, stene itd. IFC-geometrija je prostorska lastnost semantično podanih objektov, vendar ni zadostne podpore za izbiro koordinatnega sistema (Kolbe, 2008). IFC-domena je omejena na stavbe in gradbišče, zato ne vključuje topografskih objektov, kot so teren, vegetacija, infrastruktura itd. Osrednji namen IFC-formata je zagotavljanje medopravnosti med CAD-orodji, ki se uporabljajo predvsem v gradbeništvu. IFC je tudi osnovni izmenjalni format, ki se uporablja v tehnologiji BIM. Sodoben razvoj IFC-modela je prevzelo združenje buildingSMART International, ki ga je tudi avtorsko zaščitilo, vendar za uporabo IFC-formata niso potrebne izrecne licence. IFC je formalno podan kot javno dostopna mednarodna specifikacija ISO/PAS 16739:2005 (PAS -

- Publicly Available Specification). Format IFC je mogoče shraniti tudi v enakovreden zapis XML (\*.ifcxml) oziroma pretvoriti v format CityGML ([www.FzK.De/iai](http://www.FzK.De/iai));
- U3D (Universal 3D) je standardni zgoščeni datotečni format za izmenjavo podatkov o računalniški grafiki. Razvilo ga je posebno industrijsko združenje 3D Industry Forum ([www.3DIF.org](http://www.3DIF.org)), ki je povezalo različne proizvajalce in interesne skupine s področja računalniške 3D-grafike. Namen je nadaljnji razvoj odprtega industrijskega standardnega izmenjalnega formata za raznovrstne 3D-podatke in zlasti za računalniške igre. U3D-datotečni format je registriran kot mednarodni industrijski standard z oznako ECMA-363:2007 ([www.ECMA-International.org](http://www.ECMA-International.org)).

## 2.5 Pristop GIS

Osrednji cilj 3D GIS-podpore je razvoj celovitega 3D-modela za stvarne, navidezne in načrtovane prostorske objekte. Vendar v obstoječih rešitvah, to zlasti velja za urbana okolja, tehnološki razvoj dovršenih 3D-objektov pri mnogih proizvajalcih GIS-orodij opazno zamuja za tovrstnim razvojem rešitev v CAD-okolju. Poleg ustreznega 3D-modela stvarnosti je glavni izziv podpora za analize različnih tipov upodobljenih 3D-objektov. Zagotavljanje ustreznih 3D-prostorskih analiz je kritični dejavnik uspeha za celoten 3D-koncept tehnologije GIS. Dosedanja ovira pri tovrstnem razvoju je, poleg prevladujočih potreb po zgolj kakovostni vizualizaciji 3D-objektov, predvsem še vedno dominanten 2D-koncept prostora, ki prevladuje kot osnovni model realnosti v velikih bazah prostorskih podatkov.

Kot primer 3D-rešitev in možnosti v GIS-okolju sta v nadaljevanju na kratko opisani orodji ArcGlobe in ArcScene proizvajalca ESRI, ki v Sloveniji prevladujeta na področju programske opreme za tehnologijo GIS. ArcScene (različica 9.3) je samostojno orodje za navidezno 3D-vizualizacijo prostorskih podatkov, ki se uporablja za prikazovanje v pretežno 2,5D-tradicionalni ponazoritvi. ArcScene omogoča podporo za prekrivanje vektorskih in rastrskih 2D-podatkovnih slojev, katerih 3D-ponazoritev se priredi višinskemu sloju s prevzemom prostorskega poteka ustrezne rastrske oziroma pravokotne ali pa TIN (Triangulated Irregular Network) ploskve. Mogoči so različni navidezni prikazi in orodjarna v ArcScene zagotavlja podporo tudi za omejeni niz poizvedovanj in večinoma splošne 2D-prostorske analize. Omogočen je izvoz prikazov v vektorski 2D SVG (Scalable Vector Graphic) in standardni VRML (Virtual Reality Modeling Language) 3D-zapis. ArcScene je posebej prirejen za izdelavo različnih animiranih prikazov, pri čemer omogoča več izvedbenih postopkov.

ArcGlobe (različica 9.3) je prav tako samostojno orodje v programskem okolju ArcGIS, ki služi za 3D-vizualizacijo in analizo obsežnih prostorskih podatkov na površini Zemlje. Ustrezno geolocirani podatkovni nizi so prikazani na točno določeni 3D-upodobitvi na površju Zemlje. Podatki se lahko prikažejo kot višinski, premični in nanosni sloji, ki se ustrezno prekrivajo in dopolnjujejo. Mogoč je globalen in lokalni prikaz podatkovnih slojev in dodan je omejen izbor 2D-prostorskih analiz, vendar je prikaz 3D-objektov precej poenostavljen. Objekti so ponazorjeni v detajlnem tlorisu na vektorskem 3D-poligonskem sloju, ki se nato glede na izbrano vrednost ali višino dvigne v ustrezni 3D-blok. Slika 4 prikazuje primer realizacije 3D-objektov v okolju

ArcGlobe. Objekti so prikazani na prvi stopnji natančnosti (LOD 1), kar je enostavno izvedljiv prikaz z dvigom podrobnega tlorisa stavbe v primeren, bolj ali manj pod-roben 3D-blok. Izdelava podrobnejših prikazov je ponazorjena samo za drugo stopnjo (LOD 2), vendar so priprava, sestava in zapleten prikaz podatkov v razpoložljivi različici programa ArcGlobe za zdaj še »skrivnost« proizvajalca. Prav tako je manevriranje z navideznim 3D-prikazom počasno in togo.



Slika 4: Prikaz dela 3D-modela mesta London (LOD 2-3) v programskem okolju ESRI ArcGlobe (različica 9.3)

Zaradi navedenih tehnoloških razlik, raznolikosti pristopov CAD in GIS ter mnogih nestandardnih rešitev v raznih programskih okoljih so v naslednjih poglavjih podrobneje predstavljeni predvsem trije odprtokodni prenosni formati in standardni pristopi za modeliranje navideznih trirazsežnih modelov stvarnosti: KML, VRML/X3D in CityGML.

### 3 KML

KML (Keyhole Markup Language) je na XML-shemi temelječ jezik za podajanje geografske vizualizacije za obstoječe ali navidezne spletne 2D- ali 3D-kartografske prikaze v zemeljskem brskalniku, kot je na primer Google Earth (Google Zemlja), in je hkrati odprt standardni format za modeliranje in izmenjavo navideznih 3D-modelov mest in pokrajine (slika 5). KML temelji na pomenski strukturi z XML-elementi in atributi označenih podatkov. KML-zapis podaja niz pojavov (lokacije, podobe, poligoni, 3D-modeli objektov, besedila itd.) za prikaz v Google Earth, Maps in/ali Mobile, ali pa v drugem 3D-zemeljskem brskalniku (geobrowser), ki podpira kodiranje KML. Program SketchUp se uporablja za dejansko izdelavo, spreminjanje in porazdeljevanje 3D-modelov objektov (SketchUp.Google.com). OGC (Open Geospatial Consortium) bo KML (različica 2.2:2009) letos razglasil za uradni standard kot OpenGIS KML Encoding Standard (OGC KML) ([www.OpenGeospatial.org/standards/kml](http://www.OpenGeospatial.org/standards/kml)). KML bo tako postal dopolnilni 3D-model in prenosni format k že sprejetim industrijskim standardom konzorcija OGC, kot so GML (Geography Markup Language), (WCS) Web Coverage Service, WFS (Web Feature Service), WMS (Web Map Service), WPS (Web Processing Service) itd.



KML je predvsem prosti format za prikazovanje geografskih podatkov v zemljskem brskalniku in KML-zapis se hkrati uporablja kot prenosni format (en.Wikipedia.org/wiki/Keyhole\_Markup\_Language). Prikazovanje prostorskih podatkov ne pomeni samo grafičnega prikaza na zaslonu, temveč tudi podporo za dinamično uporabniško interakcijo, izbore podatkov, razne nastavitve in navigacijo. Datoteko KML program Google Earth obdela podobno kot spletni brskalniki datoteke HTML in XHTML. Datoteko KML je mogoče ustvariti na več načinov. Navadno se sestavi neposredno v programu Google Earth, ker pa gre za pisno XML-datoteko, lahko datoteko KML sestavimo tudi v kateremkoli urejevalniku za XML ali celo v splošnem urejevalniku besedil ali jo izvozimo iz različnih programskih orodij za GIS, kartografijo ipd. Datoteke \*.kml se pogosto posredujejo kot datoteke \*.kmz, ki so zgoščene datoteke KML. Podobno kot jezik GML tudi jezik KML temelji na oznakah XML z vnaprej določenimi imeni elementov in atributov za prikaz raznih značilnosti 3D-objektov in okolice. KML ima podobno strukturo kot GML in vključuje OGC-servisa WFS (Web Feature Service) in WMS (Web Map Service). KML izvirno uporablja samo projekcijo EPSG:4326, zato je ves prikaz datotek KML podan v geodetskem koordinatnem sistemu (CRS 2D) WGS 84.



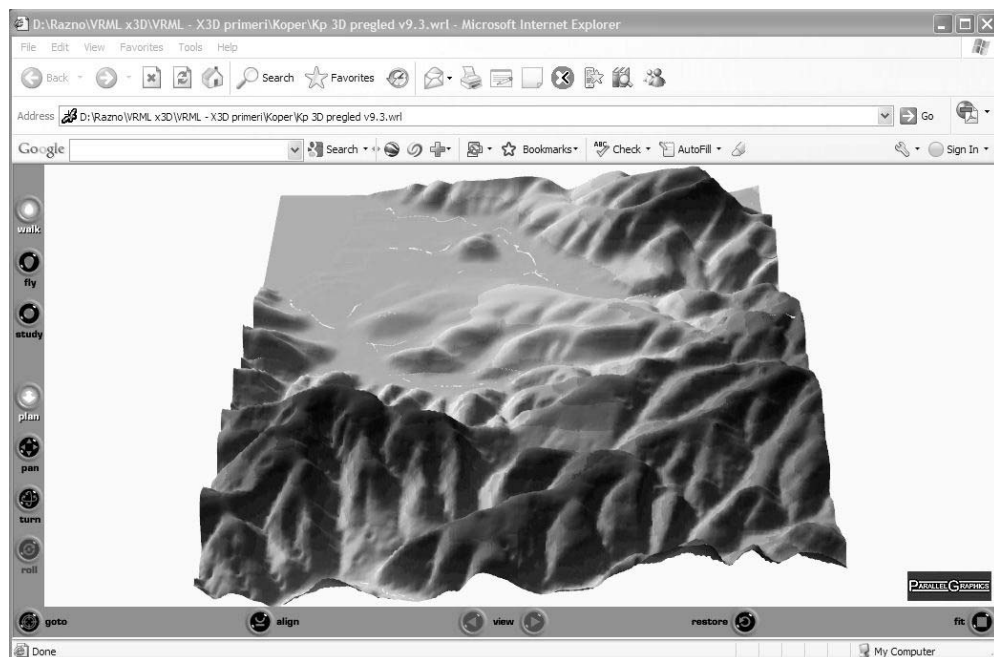
Slika 5: Primer delnega prikaza 3D-modela (LOD 2-3) starega dela mesta Dresden (Google Earth)

#### 4 VRML/X3D

Posebna oblika navideznega 3D-prikaza objektov in prostora, ki se uporablja zlasti na spletu, je VRML oziroma posodobljen X3D-zapis. VRML (Virtual Reality Modeling Language) ali jezik za modeliranje navidezne resničnosti omogoča prikazovanje različnih 3D-prikazov na spletnih straneh. VRML je prosto dostopen in izvedbeno neodvisen jezik, ki ustvari prizor navidezne resničnosti, po katerem se lahko uporabniki »sprehajajo« in tudi sledijo povezavam, podobno kot pri »običajni« spletni strani. VRML-datoteke so pisne oblike in imajo \*.wrl podaljšek. Služijo tudi kot izmenjalni format v običajni obliki, lahko so zgoščene s podaljškom \*.wrz, kar omogoča hitrejši prenos po omrežju. Slika 6 prikazuje primer VRML-prikaza dela reliefa v MS Internet brskalniku z ustreznim dodatkom (www.Cortona3D.com).

Zgodovinski razvoj VRML se je začel leta 1994 v laboratorijih SGI (Silicon Graphics Inc.). VRML-1 je razvila neformalna odprta delovna skupina. Izvorna VRML (Virtual Reality Markup Language) specifikacija je bila prvotno namenjena za oblikovanje lokalnih samostojnih dokumentov. Tri leta kasneje so razvili preoblikovano, razširjeno in sposobnejšo različico z oznako VRML-2, ki je postala tudi mednarodni standard (ISO 14772:1997), poljudno imenovan VRML97. VRML je zbudil velik odziv in zanimanje, čeprav ga na samem začetku niso množično uporabljali. Glavni razlog je bil verjetno stopnja tehnološkega razvoja pred desetletjem in zlasti tedaj nizka hitrost prenosa podatkov po omrežju. VRML je ostal v uporabi do danes in je najbolj pogost prosto dostopni standardni jezik in prenosni format za modele 3D-računalniške in spletne grafike. Tretja generacija jezika je sodobni, na XML-shemah temelječi jezik za označevanje podatkov X3D (eXtensible 3D), ki je od različice 3.0 (trenutna različica 3.2) tudi mednarodni standard (ISO/IEC 19775:2004). Razvoj od VRML do X3D je zahteval mnogo let dela in naporov. X3D je danes del integrirane odprte spletne informacijske infrastrukture. Za sodobni, prosto dostopni X3D-jezik skrbi posebna delovna skupina v okviru konzorcija Web3D ([www.Web3D.org](http://www.Web3D.org)).

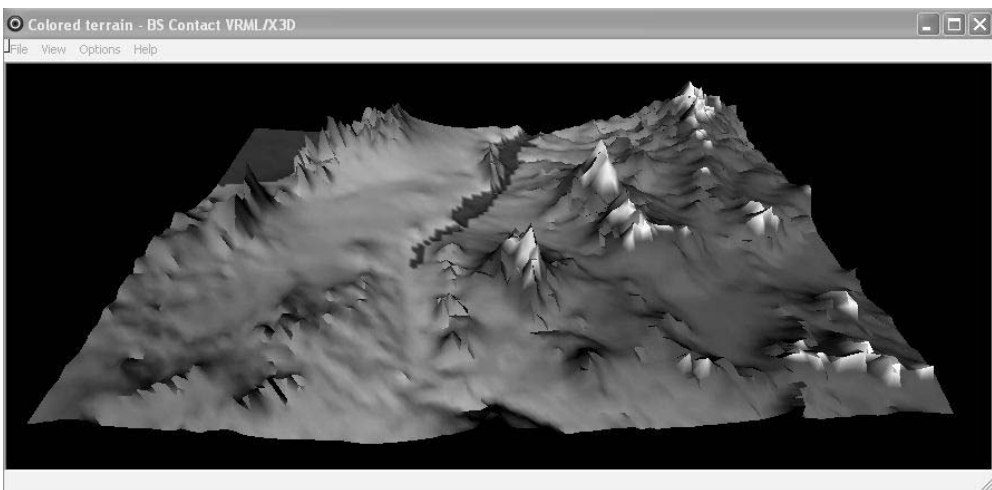
Naslednik VRML je na XML temelječi standard X3D, ki je odprt format za predstavitve navideznih 3D-modelov in večpredstavnosti na spletu. Standardni format X3D podpira vektorsko in rastrsko grafiko ter je med drugim namenjen za njeno trirazsežno predstavitev v spletnih brkljalnikih. X3D je odprt industrijski (Web3D) in mednarodni standard (ISO), ki temelji na XML-zapisu pomena in sestave z uporabo posebnih XML-shem. X3D je torej posodobitev VRML97-formata, ki omogoča kodiranje prikazov računalniške grafike z uporabo XML-sintakse.



Slika 6: Prikaz 3D-modela terena v VRML-zapisu (MS Internet Explorer in dodatek Cortona za VRML)

X3D-pristop temelji na modelu, imenovanem scenski graf in sestavljenem iz grafičnih vozlišč, ki tvorijo navidezno 3D-okolje (Butzman et al., 2007). Scenski graf je usmerjena neciklična drevesna struktura, ki vključuje vse vidike 3D-prikaza. Takšna hierarhična X3D-datoteka, ki povzema XML-zapis pomena in organizacijo podatkov, omogoča opredelitev ustrezne geometrije, določa vizualizacijo, usmerja animacijo in nadzira dogodke. X3D-bralniki so danes programi oziroma dodane aplikacije, ki berejo X3D-scenske grafe iz pisnih datotek in jih upodobijo, in to ne samo kot 3D-modele objektov v različnih prikazih, temveč podpirajo tudi animacijo in uporabniško interakcijo. X3D-bralniki lahko nastopajo kot samostojni programi ali kot dodatki oziroma vsadki za spletne brskalnike. Slika 7 prikazuje primer X3D-prikaza dela reliefa v posebnem programu BS Contact za prikazovanje VRML- in X3D-datotek ([www.Bitmanagement.com](http://www.Bitmanagement.com)).

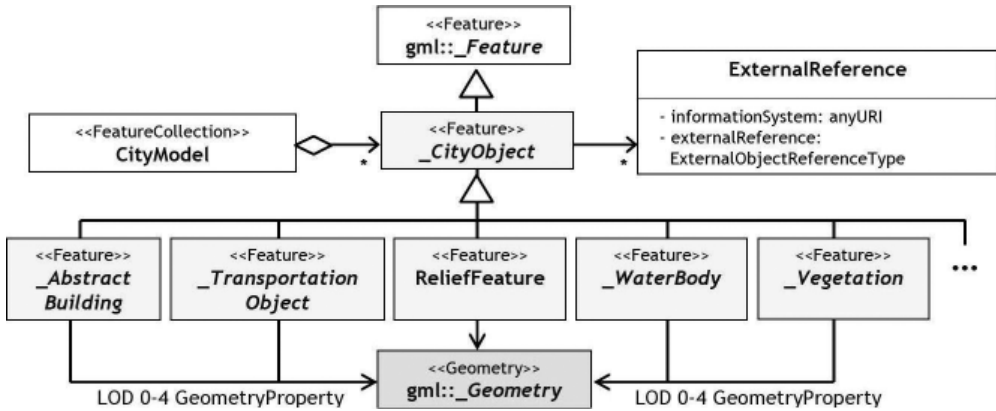
X3D-specifikacija je prosto dostopna in brez licenčnih omejitev ([www.Web3D.org/x3d/specifications/](http://www.Web3D.org/x3d/specifications/)). Na voljo je tudi mnogo prosto dostopnih in tržnih dodatkov za razne aplikacije, ki omogočajo zapis v VRML- in X3D-formatu iz raznih grafičnih in GIS-programskih orodij ([www.Web3D.org/x3d/content/examples/X3dResources.html](http://www.Web3D.org/x3d/content/examples/X3dResources.html)). X3D je namreč postal pogost izmenjalni format za 3D-orodja in interne formate, ki jih avtorji želijo prenesti v spletne brskalnike. Osrednja lastnost X3D-jezika ni izrecno proceduralno programiranje, temveč je prednost deklarativno določanje vizualizacije, načrtovanje animacije in povezav med podatki. X3D je predvsem jezik za izrecno opredelitev in prikaz 3D-geometrije, ki deluje v realnem času. Dodan je uporabniški programski vmesnik API (Application Programming Interface), ki zagotavlja interaktivno programsko okolje za 3D-grafiko in animacijo. Modeliranje in upodabljanje 3D-modelov je zasnovano medopravilno in neodvisno od operacijskega ali strojnega okolja, kar zagotavlja skladna podpora za nizkonivojska grafična pristopa OpenGL in DirectX ([CIC.NIST.gov/vrml/vbdetect.html](http://CIC.NIST.gov/vrml/vbdetect.html)).



Slika 7: Prikaz 3D-modela terena v X3D-zapisu v programu BS Contact (Bitmanagement Software)

## 5 CITYGML

CityGML je prosti standardni format za modeliranje in izmenjavo navideznih 3D-modelov mest in pokrajine. Cilj razvoja CityGML je poenotena opredelitev sestave prostorskih pojavov, njihovih atributov in relacij, da se lahko standardno uporabljajo v različnih 3D-aplikacijah. CityGML je izveden kot aplikativna shema GML (v3.2), ki je mednarodni standard za izmenjavo prostorskih podatkov (SIST EN ISO 19136:2009 - Geography Markup Language). Podatkovni model CityGML hkrati temelji na opredelitvah skupine mednarodnih standardov ISO 191xx, ki jih razvija ISO tehnični odbor (TC) 211 ([www.ISOTC211.org](http://www.ISOTC211.org)). OGC (Open Geospatial Consortium) je sredi leta 2008 razglasil CityGML (različica 1.0) za uradni standard OGC ([www.OpenGeospatial.org/standards/citygml](http://www.OpenGeospatial.org/standards/citygml)). Prvotno je CityGML v okviru pobude Geodata Infrastructure North-Rhine Westphalia ([www.gdi-nrw.org](http://www.gdi-nrw.org)) razvilo posebno interesno združenje SIG 3D (Special Interest Group 3D - [www.IKG.Uni-Bonn.De/sig3d/](http://www.IKG.Uni-Bonn.De/sig3d/)). Skupino je tvorilo več kot 70 članov iz industrijskih, raziskovalnih in akademskih krogov ter javne uprave. Celotni razvojni proces CityGML poteka že tri leta in v njem sodeluje več kot dvajset strokovnjakov.



Slika 8: Prikaz osnovnih razredov CityGML na izseku razrednega diagrama UML (vir: OGC CityGML, 2008)

CityGML je odprt podatkovni model ter na XML in GML temelječ format za označevanje, prikazovanje, shranjevanje in izmenjavo navideznih trirazsežnih (3D) modelov mest in krajin. CityGML je predvsem prenosni format in splošni podatkovni model za določitev 3D-objektov. CityGML definira razrede in odnose za topografske pojave v mestih in na podeželju glede na njihove semantične, opisne, geometrične, grafične in topološke značilnosti. Vključene so hierarhije za generalizacijo in dedovanje tematskih razredov, sestavo agregacij, opredelitev odnosov med razredi in ponazoritev prostorskih značilnosti. CityGML dejansko uporablja podniz, oziroma je profil geometrijskega paketa razredov iz GML, ki sicer temelji na mednarodnem standardu SIST EN ISO 19107:2005 - Prostorska shema. CityGML-model vsebuje pet zaporednih stopenj natančnosti (LOD - Level of Detail), pri čemer se pri 3D-objektih s povečanjem merila prikaza povečuje tudi natančnost ponazoritve glede na geometrične in opisne značilnosti. Objekte je mogoče hkrati prikazovati v različnih stopnjah natančnosti. Funkcionalnost standarda CityGML je vsebinsko razdeljena na več povezanih modulov.

Semantični model CityGML temelji na skupini mednarodnih standardov ISO 191xx, ki jih za celovito poenoteno opredelitev prostorskih podatkov razvija ISO/TC 211. Celoten podatkovni model je ponazorjen na razrednih diagramih v jeziku UML. Slika 8 prikazuje izsek iz posplošene razredne strukture CityGML. Semantični model tvorijo razredi, ki podajajo opredelitev za prevladujoče pojave v navideznih 3D-modelih, kot so stavbe, model reliefa, vodne površine, prometnice, vegetacija, raba tal itd. Vsi razredi so izpeljani iz osnovnega razreda »pojav« (gml::\_Feature), ki je izvorno opredeljen v standardu SIST EN ISO 19109:2006 - Pravila za aplikacijsko shemo in izveden v standardu GML (ISO 19136). Osnovni abstraktni razred služi za podajanje prostorskih objektov in izpeljanih agregacij (OGC CityGML, 2008). V uporabniškem 3D-modelu izpeljani razredi imajo lahko poljubno število prostorskih in opisnih atributov, ki so podani z ustreznimi podatkovnimi tipi GML. Predstavitev in upodabljanje geometrije 3D-teles temeljita na akumulativnem pristopu (B-Rep) ponazoritve z robnimi ravninskimi ploskvami.

V sodobni interpretaciji ontologija opisuje, kaj je stvarno in kako se realnost pojmuje. Pri modeliranju stvarnosti ontologija predstavlja izrecno opredelitev pojmovanja, ki velja na nekem problemskem področju. Podaja abstrakten pogled na pomen območja, ki se upodablja oziroma modelira. Izvedbeno se ontologija poda kot niz opredelitev v smislu formalnega besednjaka, ki pojmovno in pomensko podaja terminologijo nekega problemskega področja. Ontologija omogoča predvsem komunikacijo med ljudmi in tudi medopravilnost podatkovnih modelov med različnimi informacijskimi sistemi. Uporaba ontologije je učinkovit način za dodajanje ustrezne semantike v 3D-model mesta, ki je neodvisna od dejanske upodobitve izbranega modela. S takšnim ontološkim pristopom k 3D-modeliranju prostora, kot ga omogoča metodološki pristop in format CityGML, je mogoče 3D-modele mest in pokrajine semantično obogatiti z integracijo raznovrstnih podatkov, ki lahko izvirajo z zelo različnih področij, kot so ekonomija, pravo in sociologija.

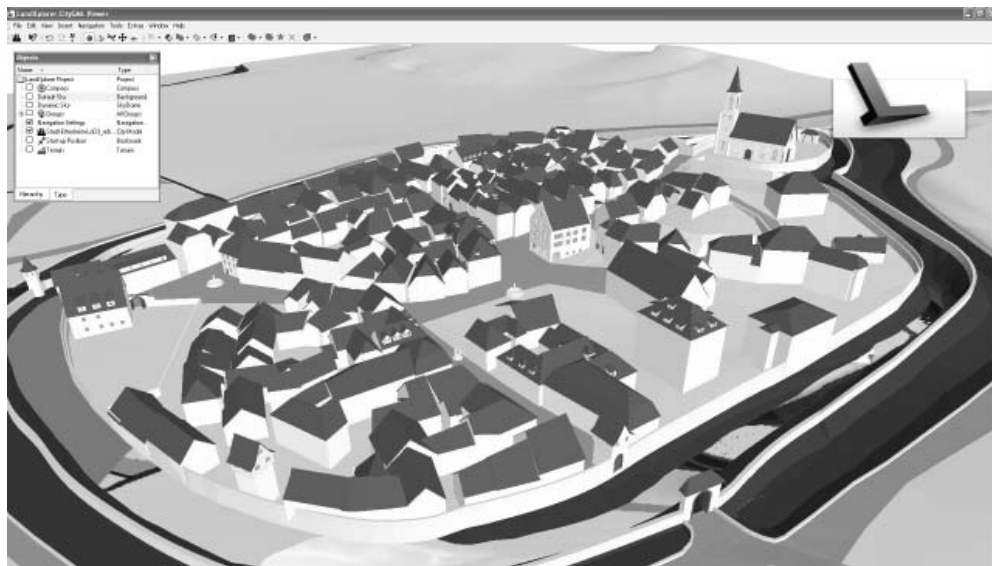
Podatki za izdelavo 3D-modela mesta in okolice lahko izvirajo iz različnih virov, kot so vektorske topografske baze, ortofoto, podatki iz lidarskih meritev, satelitski posnetki visoke ločljivosti, DMV itd. Podatki so lahko podani v kate-remkoli koordinatnem sistemu, ki ga podpira tudi GML. V podatkovnem modelu CityGML nastopa veliko razredov in njihovih hierarhičnih struktur. Opredeljene so skupine razredov za razna tematska področja, odnosi med njimi in številni atributi za podajanje opisnih, geometrijskih, topoloških, grafičnih in časovnih lastnosti. Bogat semantični 3D-model je neposredno uporaben za različna področja, kot so urbanistično planiranje, upravljanje nepremičnin in infrastrukture, načrtovanje prometnih ureditev, navigacija, turizem, civilna zaščita in reševanje, varovanje okolja itd. CityGML omogoča upodobitev različnih podatkovnih tematik v navideznem 3D-modelu stvarnosti in je hkrati v procesu intenzivnih raziskav in tehnološkega razvoja. Raziskave so predvsem usmerjene v razvoj dodatnih razredov podatkovnega modela, podrobnejših semantičnih prikazov notranjosti stavb, dodajanje poizvedovalnih sposobnosti in analitičnih zmožnosti v 3D-modele objektov ter razvoj programskih orodij za učinkovito vizualizacijo CityGML-modelov.

## 5.1 Programska podpora za prikaz modelov CityGML

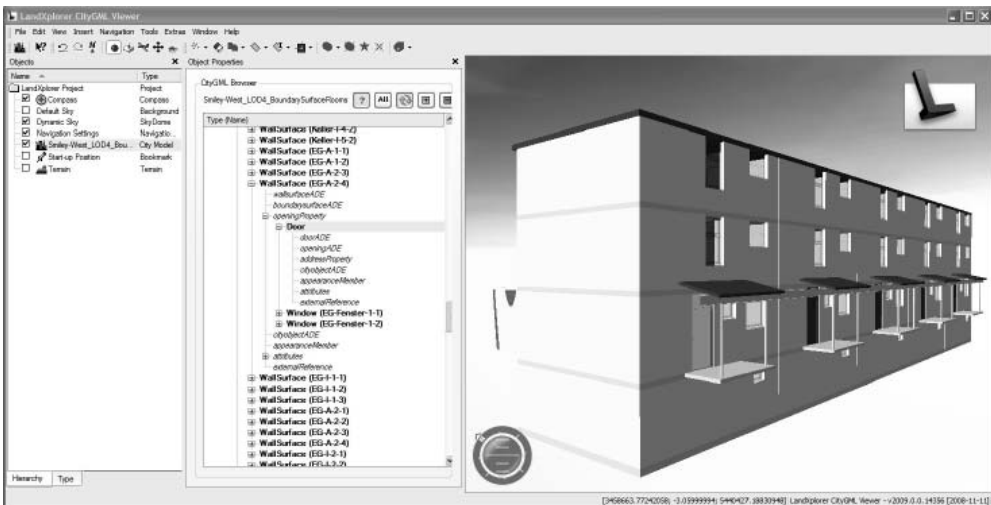
S skupino orodij Autodesk LandXplorer, ki jih je razvilo nemško podjetje 3DGeo ([www.3DGeo](http://www.3DGeo)).

De) in nato prevzel globalni AutoDesc, lahko povežemo in integriramo prostorske podatke s področij tehnologije GIS, raznih načrtov CAD, gradbenih procesov BIM in infrastrukturnih omrežij v enoten 3D-model. Slika 9 prikazuje primer upodobitve 3D-modela za del starega mestnega jedra v programskem okolju Autodesk LandXplorer CityGML Viewer. Na sliki 10 pa je prikazana stavba v četrti stopnji natančnosti (LOD 4) v okolju LandXplorer CityGML Viewer, ki hkrati omogoča poizvedovanje po elementih modela v objektni bazi podatkov. Celotno programsko okolje Autodesk LandXplorer sestavlja pet orodij, katerih podrobni opisi so dostopni na: [www.AutoDesk.com/landexplorer](http://www.AutoDesk.com/landexplorer):

- LandXplorer Studio Professional je obsežno programsko orodje za izvorno izdelavo, privzemanje prostorskih podatkov iz raznih virov, predelavo in porazdeljevanje digitalnih 3D-modelov mest in pokrajin;
- Autodesk LandXplorer Server zagotavlja strežniško podporo za porazdeljevanje in upodabljanje velikih 3D-modelov mest in pokrajin, ki so izdelani z orodjem LandXplorer Studio Professional. Prostorski modeli se postavijo na strežnik, ki zagotavlja potrebno podporo za hitro in učinkovito posredovanje po omrežju in zlasti spletu;
- LandXplorer Xpress Viewer je prosto dostopen program, ki omogoča enostavno in hitro pregledovanje 3D-modelov, izdelanih v okolju LandXplorer;
- LandXplorer Publisher je prosto dostopen program za predelavo in predstavitev 3D-modelov v formatu KML, ki jih uporabljajo zemeljski brskalniki, kot sta Google Earth in MS Virtual Earth;
- LandXplorer CityGML Viewer je prosto dostopen program za ponazoritev in pregledovanje 3D-modelov v formatu CityGML. Deluje kot samostojna aplikacija v okolju MS-oken in ne omogoča neposredne podpore za spletne brskalnike.



Slika 9: Prikaz 3D-modela (LOD 2-3) dela mesta Ettenheim (De) s programom LandXplorer CityGML Viwer (AutoDesc)



Slika 10: Prikaz stavbe (LOD 4) in CityGML-baze podatkov s sestavinami 3D-modela v programu LandXplorer CityGML Viwer (AutoDesc)

Cityvu je razvilo podjetje 3DGIS (Cityvu.3DGIS.It) za prikazovanje regularnih CityGML-zapisov (Rumor et al., 2009). Za grafično upodabljanje uporablja Cityvu programski vmesnik OpenGL (www.OpenGL.org), kar omogoča tudi celovito avtomatsko navigacijo in upravljanje modela. Samostojni program Cityvu je po navedbi posebej zasnovan za čim bolj splošno uporabniško podporo in je razmeroma odporen, vendar mu glede na izkušnje pri praktični uporabi ne uspe odpreti vseh zapisov CityGML, GML ali XML, ki jih sicer program LandXplorer CityGML Viewer podjetja AutoDesc odpre in prikaže brez težav. Po drugi strani pa program Cityvu podpira druge geometrične in grafične 3D-formate, kot so 3D Studio Max, COLLADA, Wavefront Obj itd. Vsak upodobljen 3D-model se lahko ustrezno obogati z dodatnimi opisnimi atributi prikazanih objektov. Cityvu je razvit kot samostojna aplikacija ali pa kot dodatek za spletni brskalnik. Deluje v vseh treh prevladujočih operacijskih sistemih, in sicer MS-oknih, Linuxu in Apple Macu. Slika 11 za primerjavo prikazuje 3D-model mesta Ettenheim v okolju Cityvu, ki je že prikazan na sliki 9 v upodobitvi AutoDesc programa LandXplorer CityGML Viewer.

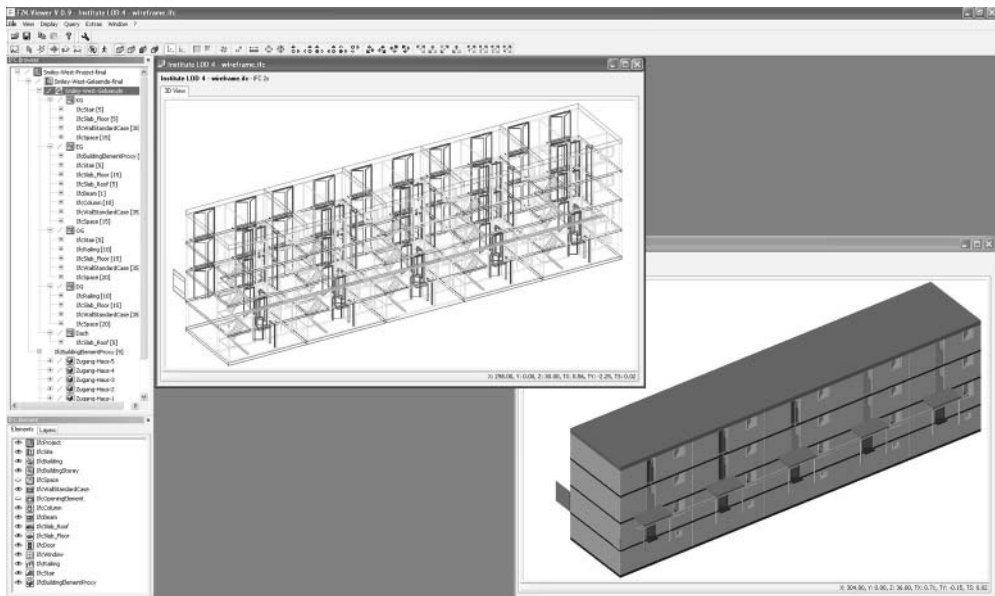
Projekt AristotelsViewer razvija Institute of Geodesy and Geoinformation Bonn - Department of Geoinformation (www.ikg.uni-bonn.de/aristoteles/index.php/Aristoteles) kot prosto dostopen prikazovalnik (GNU-licenca) za CityGML, GML in XML 3D-modele. Mogoče je naložiti tudi modele, podane v formatih VRML/X3D ali Wavefront obj. AristotelsViewer temelji na programskem vmesniku OpenGL in velikost 3D-modelov je pomnilniško omejena. Deluje zgolj kot samostojna aplikacija v okolju MS-oken ter Linuxa in ne ponuja neposredne podpore za spletne brskalnike. AristotelsViewer je razvit predvsem v znanstveno-raziskovalne namene za prikazovanje in urejanje 3D prostorskih podatkov, ki so podani skladno s shemami GML 3.x. Uporabnikom in razvijalcem omogoča ne samo prikazovanje 3D-modelov, temveč tudi podporo za razvoj semantičnega pomena in dodajanje opisnih atributov modela. Programu opazno manjka zanesljivost in podpora za enostavno uporabniško manevriranje s 3D-modeli.





računalniške grafike in prikazovanje spletne kartografije, kot so X3D, COLADA, KML itd. Ti so namenjeni zlasti kakovostnemu prikazovanju in delno upravljanju 3D-modelov, ki so lahko tudi ustrezno prostorsko geolocirani. Formata X3D in KML lahko v izmenjavo delno vključujeta tudi semantične podatke o 3D-objektih, vendar nimata poenotenega načina in ne podpirata zapletenih objektov ter raznih relacij in poljubne hierarhije med njimi.

CityGML je bogat standarden format (OGC) za podajanje celovitega pomena, opisa, lokacije, geometrije in topologije 3D-objektov, ki temelji na nadgrajenih shemah mednarodnega standarda GML (ISO 19136:2008). CityGML ni prvotno namenjen za hitro in učinkovito vizualizacijo velikih stvarnih 3D-modelov, vendar je hkrati učinkovit izmenjalni format za podatke o 3D-objektih, iz katerega se lahko izvedeta tudi izpisa v KML in X3D. IFC je podobno kot CityGML semantični 3D-model, vendar je mnogo bolj podroben in je namenjen za prikaze v velikih merilih. CityGML lahko nadomešča ali dopolnjuje informacijske modele stavb (BIM) in standardni format IFC zlasti v manjših merilih prikaza na topografskih upodobitvah stvarnega prostora ([www.IFCWiki.org/index.php/Main\\_Page](http://www.IFCWiki.org/index.php/Main_Page)). IFC-model je mogoče pretvoriti v format CityGML v različnih stopnjah natančnosti (LOD) z ohranjanjem večine semantičnih podatkov. Nasprotni postopek pretvorbe CityGML-objektov v model IFC pa je še področje za prihodnje raziskave in razvoj, ker je treba v modelu CityGML z robnimi ploskvami podan objekt (B-Rep) pretvoriti v model IFC, ki temelji na volumskih 3D-gradnikih (CSG). Slika 12 prikazuje model stavbe (LOD4), ki je prikazan tudi kot model CityGML na sliki 10, v formatu IFC, in sicer v žičnem pogledu ter kot 3D-model, in z dodatnim pregledom IFC-elementov v programu KMZViewer ([www.iai.fzk.de/www-extern/index.php?id=1791&L=1](http://www.iai.fzk.de/www-extern/index.php?id=1791&L=1)).



Slika 12: Prikaz stavbe (LOD 4) v žičnem in 3D-modelu s sestavinami IFC-elementov v programu KMZViewer

V sedanji izvedbi jezika CityGML je tudi nekaj pomanjkljivosti (Kolbe, 2008). CityGML je denimo omejen na podajanje 3D-teles zgolj z ravnimi ploskvami in podpira samo metodo akumulativnega modeliranja (B-Rep). Krive ploskve stvarnih 3D-objektov je zato treba ponazoriti z bolj detajlnimi ravninskimi zlepci. Poleg razširitve objektnega modela je treba v nadaljnjem razvoju CityGML izboljšati sprotno spremljanje dogodkov, omogočiti dinamično oziroma sprotno spreminjanje stopenj prikazovanja podrobnosti namesto statičnih prednastavitev, zagotoviti podporo za mobilne naprave itd. S širitvijo uporabnikov in objektnega 3D-modela bo treba vzpostaviti tudi metode za optimizacijo modelov ter ustrezne poenostavitve oziroma profile sicer zelo obsežnih modelov, kar bo omogočalo bolj učinkovito shranjevanje, porazdeljevanje in zlasti vizualizacijo CityGML-datoteke v različnih okoljih. Za vse predstavljene prikazovalnike CityGML je v sedanjih izvedbah velikost 3D-modelov pomnilniško omejena. Prav tako vsi predstavljeni samostojni prikazovalniki izrecno ali po izboru preverjajo pravilnost in veljavnost zapisa GML v dejanskem času med nalaganjem kode, kar opazno upočasnjuje izvedbo oziroma prikaz 3D-modela. Oba nekomercialna predstavljena programa sta tudi nezanesljiva in ne obvladata uspešno vseh testiranih datotek CityGML ali GML.

Ne nazadnje je pomembno omeniti COST (European Cooperation in Science and Technology) Action TU0801 z uradnim nazivom »Semantic enrichment of 3D city models for sustainable urban development«, ki pripada COST-domeni ([w3.COST.esf.org](http://w3.COST.esf.org)) TUD (Transport and Urban Development). V tej obširni akciji COST, ki poteka med letoma 2008 in 2012, dejavno sodelujejo predstavniki in znanstveniki iz dvaindvajsetih evropskih držav. Glavni cilj akcije je razvoj semantično obogatene 3D-modelov mest z znanjem o urbanih okoljih, tako da se razširi njihova uporabnost in funkcionalnost, zlasti v smislu podpore trajnostnemu razvoju mest. To pomeni raziskave in celostno obravnavo različnih povezanih urbanih in okoljskih dejavnikov, kot so prostorsko planiranje, promet in transport, energetska oskrba, kakovost okolja, civilna zaščita in reševanje, kulturna dediščina, turizem itd. ([www.SemCity.EU](http://www.SemCity.EU)). Drugi cilji akcije TU0801 so izdelava standardne integrirane podlage za semantično obogatene 3D-modele mest, razvoj splošno uporabne, na ontologiji domene temelječe metodologije za modeliranje mest ter vključevanje razvitih rešitev v proces načrtovanja, v odločanje in programsko opremo za industrijo.

Na geodetskem strokovnem področju je, poleg prostorskega (urbanega in ruralnega) planiranja, perspektivna uporaba 3D-modelov stavb in okolja tudi za kataster stavb in infrastrukturnih objektov, 3D-kartografijo, 3D-pravne odnose in težave, distribucijske modele in načrtovanje prometa, varovanje kulturne in naravne dediščine, usmerjanje oseb v mestih in objektih (turizem, reševanje) itd. Poleg 3D-vizualizacije objektov postajo aktualne tudi zahtevnejše obdelave trirazsežnih modelov, kot so obogatitev geometrije s standardno topološko strukturo (GML), poenotenje semantike in odnosov med sestavinami objektov, povezave z opisnimi atributi, vgraditev relacij med objekti itd. (Stadler et al., 2007). Raziskave so usmerjene tudi v podporo za različna kombinirana poizvedovanja, kot so povezave sorodnih semantičnih podatkov, povezovanje z opisnimi podatki, izbor delov in sestavin 3D-objekta, iskanje sosednjih ali podobnih objektov itd. Načrtuje se tudi razvoj analitičnih 3D-obdelav, kot je določanje in primerjava vrednosti, iskanje optimalnih poti in povezav v objektih in med njimi, izračuni površin, volumnov, razdalj in oddaljenosti, ocenjevanje vrednosti itd.

**Literatura in viri:**

- Butzman, D., Daly, L. (2007). X3D extensible 3D graphics for Web authors. Morgan Kaufman Publishers.*
- Kolbe, T. H. (2008). Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML. The 3rd International Workshop on 3D Geo-Information, Seoul, South Korea.*
- OGC CityGML (2008). OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Pridobljeno s spletne strani OGC CityGML, september 2009: [www.OpenGeospatial.org/standards/citygml](http://www.OpenGeospatial.org/standards/citygml).*
- Pridobljeno s spletne strani 3D modeling Wikipedia, september 2009: [en.wikipedia.org/wiki/3D\\_modeling](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling).*
- Pridobljeno s spletne strani CityGML, september 2009: [www.CitygML.org](http://www.CitygML.org).*
- Pridobljeno s spletne strani Google Earth, september 2009: [Earth.Google.com](http://Earth.Google.com).*
- Pridobljeno s spletne strani Google Maps, september 2009: [Maps.Google.com](http://Maps.Google.com).*
- Pridobljeno s spletne strani Google SketchUp, september 2009: [SketchUp.Google.com](http://SketchUp.Google.com).*
- Pridobljeno s spletne strani ISO, september 2009: [www.ISO.Ch](http://www.ISO.Ch).*
- Pridobljeno s spletne strani MS Virtual Earth, september 2009: [www.Microsoft.com/virtualearth](http://www.Microsoft.com/virtualearth).*
- Pridobljeno s spletne strani MS Live Maps, september 2009: [Maps.Live.com](http://Maps.Live.com).*
- Pridobljeno s spletne strani OGC, september 2009: [www.OpenGeoSpatial.org](http://www.OpenGeoSpatial.org).*
- Pridobljeno s spletne strani Web 3D Consortium, september 2009: [www.Web3D.org](http://www.Web3D.org).*
- Pridobljeno s spletne strani Yahoo Maps, september 2009: [Maps.Yahoo.com](http://Maps.Yahoo.com).*
- Rumor, M., Roccatello, E. (2009). Design and development of visualization tool for 3D geospatial data in CityGML format. Proceedings of the UDMS annual symposium, Ljubljana, Slovenia.*
- Stadler, A., Kolbe, T. H. (2007). Spatio-semantic coherence in the integration of 3D city models. The 5th International ISPRS Symposium on Spatial Data Quality ISSDQ 2007, Enschede, The Netherlands.*
- Zlatanova, S., Lee, J. (2009). 3D Geo-Information Sciences (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography). Springer-Verlag.*

**Prispelo v objavo: 20. julij 2009**

**Sprejeto: 23. november 2009**

**izr. prof. dr. Radoš Šumrada**

UL FGG, Oddelek za geodezijo

Jamova 2, SI 1000 Ljubljana

e-pošta: [rados.sumrada@fgg.uni-lj.si](mailto:rados.sumrada@fgg.uni-lj.si)