



# CITYGML STANDARD ZA VIZUELIZACIJU 3D MODELA GRADOVA

## CITYGML STANDARD FOR THE VISUALIZATION OF 3D CITY MODELS

DRAGAN ĐURĐEVIĆ<sup>1</sup>, DRAGANA SKORUP<sup>2</sup>, MIROSLAV VUJASINOVIĆ<sup>2</sup>,  
TATJANA MALIČEVIĆ<sup>2</sup>, GORAN MARINKOVIĆ<sup>3</sup>, ZAGORKA GOSPAVIĆ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Vojnogeografski institut, Beograd, dragan.djurdjevic.1982@gmail.com

<sup>2</sup>Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, dragana.skorup@aggf.unibl.org,  
miroslav.vujasinovic@aggf.unibl.org, tatjana.malicevic@student.aggf.unibl.org

<sup>3</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, goranmarinkovic@uns.ac.rs

<sup>4</sup>Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, zaga@grf.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu je opisan razvoj CityGML standarda za vizuelizaciju 3D gradskih modela kroz istoriju. Prikazane su osnovne karakteristike, promene i pravac u kojem će se standard dalje razvijati kako bi ispratilo nove tehnološke revolucije koje se svakodnevno dešavaju.

**Кljučне речи:** CityGML, LOD, 3D model gradova.

**Abstract:** This document presents the development of CityGML international standards for the visualization of 3D city models. The underlying concepts, modifications, and the direction in which the standard will be further developed in order to follow the new technological revolutions that are happening every day are presented.

**Keywords:** CityGML, LOD, 3D city models.

## 1. UVOD

Predstavljanje gradske, urbane sredine upotrebom 3D geometrije gradskih objekata i struktura, sa naglaskom na zgrade, naziva se 3D gradski model [1]. 3D gradski model danas je jako zastupljen u mnogobrojnim primenama za urbanističko planiranje, simulaciju životne sredine i buke, navigaciju, upravljanje katastrofama, 3D katastar, turizam i slično [2]. Za većinu ovih primena sama geometrijska i grafička predstava bez semantičkih podataka o objektu nema veliki značaj. Semantički 3D modeli gradova se mogu definisati kao skupovi podataka koji predstavljaju objekte stvarnog sveta kao što su zgrade, ulice, vegetacija, vodene površine, mostovi i dr., sa njihovim tematskim, geometrijskim, topološkim i vizuelnim svojstvima [3].

Sa namerom da se obezbedi interoperabilna razmena i višestruko korišćenje 3D gradskog modela od strane različitih aplikacija i softverskih sistema Open Geospatial Consortium (OGC) razvio je standard City Geography Markup Language (CityGML). Praćenje razvoja standarda nameće se kao obaveza i potreba u svetu u kojem je razvoj tehnologije uslovio i razvoj informacionih sistema u svim oblastima primene [4]. U radovima Biljeckog, Gröger, Kolbe i Kutzner opisan je standard, njegova primena, kao i razvoj standarda kroz godine.

U ovom radu će biti opisan hronološki razvoj standarda počevši od verzija 1.0 iz 2002. godine, pa do CityGML 3.0 Encoding standarda. Takođe, u radu će biti reči o potrebi za stalnom modernizacijom i unapređivanjem ovog standarda, kao i njegovom uticaju na razvoj geoinformacionih sistema.

## 2. ISTORIJA RAZVOJA CITYGML

Open Geospatial Consortium (OGC) je razvio CityGML standard za modelovanje i razmenu semantičkih 3D modela gradova [5]. CityGML je implementiran kao aplikaciona šema za

Geography Markup Language GML verziju 3.1.1 (GML3). Specifikacije definišu model podataka koji može biti implementiran na različite platforme (Oracle, PostGIS) i format razmene koji služi za transfer podataka između ovih platformi [6]. Glavni fokus je na semantičkoj definiciji svih objekata (features) koji su relevantni za primenu 3D modela grada: zgrada i njihovih delova (delovi zgrade, zidovi, krovovi, vrata, prozori), voda, vegetacije, teren i dr. [7].

Standard je pokrenut 2002. godine od strane Special Interest Group 3D (SIG 3D) [7]. SIG 3D grupa nalazi se pod pokroviteljstvom Spatial Data Infrastructure Germany, koja okuplja više od sedamdeset članova iz Nemačke, Austrije, Švajcarske, Velike Britanije i Holandije. Prva implementacija i evaluacija CityGML izvršena je 2005. godine u projektu "Pilot 3D" u Severnoj Rajni – Vestfaliji. CityGML 1.0 verzija je usvojena 2008. godine kao OGC standard i od tada počinje da se koristi širom sveta za prikaz 3D gradskih modela [8]. Nova verzija je planirana kao manja revizija prethodne verzije, ali s obzirom na OGC direktive to nije bilo moguće, pa je 2012. godine objavljena nova CityGML 2.0 verzija. CityGML 2.0 je kompatibilan sa CityGML 1.0 s tim da je potrebno da se izvrše odgovarajuća usklađivanja [5]. Najznačajnije promene u odnosu na CityGML 1.0 ogledaju se u mogućnosti predstavljanja mostova i tunela, nadogradnje već postojećih modula, kao i promene specifikacijskog dokumenta sa aspekta zahteva za tačnost za odgovarajuće nivoe detaljnosti [9].

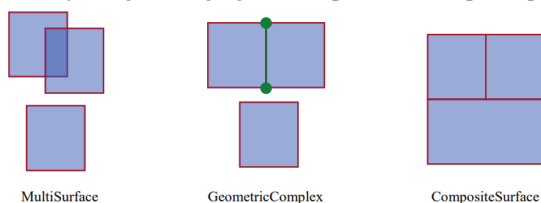
### 3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE CITYGML 2.0

CityGML predstavlja geometrijske, semantičke, topološke i vizuelne aspekte 3D gradskih modela. Standard koristi podskup GML3 geometrijskog modela koji je implementacija ISO 19107 prostorne šeme. Predstavljanje geometrije je izvršeno dobro poznatim načinom predstavljanja granica (Boundary Representation), gde je svako telo ograničeno zatvorenim površinom [5].

Za svaku dimenziju postoji geometrijski primitiv, i to: nulta dimenzija - tačka (\_Point), jednodimenzionalna - kriva (\_Curve), dvodimenzionalna - površina (\_Surface), trodimenzionalna - telo (\_Solid), od kojih svaki može biti u svom referentnom koordinatnom sistemu [10]. Telo je ograničeno površinom, dok je površina ograničena krivim. CityGML koristi podskup ISO 19107, sa sledeća dva ograničenja [11]:

- Curve mogu biti samo prave linije (klasa LineString);
- Surface su predstavljene poligonom čime je definisana ravanska geometrija (granice i unutrašnje tačke moraju biti u istoj ravni).

Kombinovane geometrije mogu biti agregati i kompleksi ili kompoziti primitiva (Slika 1).



Slika 1: Primeri kombinovanih geometrija [5]

Agregatne geometrije kao što su MultiPoint, MultiCurve, MultiSurface ili MultiSolid ne nameću topološka ograničenja i samim tim njihove komponente mogu biti kombinovane ili razdvojene. Kompozitna geometrija kao CompositeSolid, CompositeSurface ili CompositeCurve moraju biti topološki i izomorfno povezane sa primitivom iste dimenzije [2].

Semantički model CityGML koristi ISO 19109 standard za modelovanje geografskih objekata. Entiteti iz stvarnog sveta su modelovani objektima (features) kao što su [3]: zgrade, zidovi, prozori ili sobe. Oni su modelovani u klase koje su opisane Unified Modeling Language (UML) jezikom. Geografski objekti mogu imati proizvoljan broj prostornih i neprostornih atributa. Može se koristiti

objektno - orijentisano modelovanje u cilju stvaranja specifikacija i formiranja hijerarhije. CityGML obezbeđuje definicije klasa, normative i objašnjenja semantike za najvažnije geografske sadržaje u okviru virtuelnog 3D gradskog modela, uključujući zgrade, vode, vegetaciju i gradski enterijer [3].

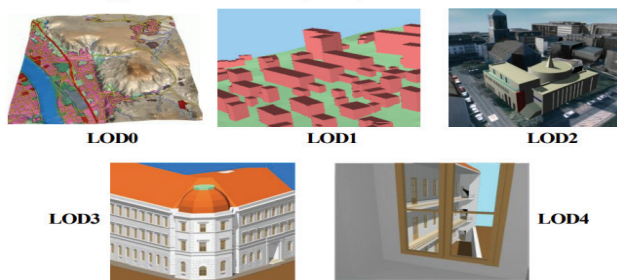
Pored prostornih karakteristika i semantike, izgled površine, tj. uočljivih svojstava površine, smatra se sastavnim delom 3D gradskih modela. "Appearances" nisu ograničeni na vizuelne podatke već predstavljaju proizvoljne kategorije, tzv. teme kao što su infracrvena zračenja, buke, emisije sunčeve svetlosti ili čak zemljotresom izazvan poremećaj zemljine kore. Svakoj površini je dozvoljeno da se prikaže na više načina, s tim da je potrebno kreiranje odvojenih tema. Pomoću tema, takođe, multi teksture mogu biti podržane od strane CityGML [5].

#### 4. TEMATSKA PREKRIVENOST

Standard nije ograničen samo na modelovanje zgrada, nego pokriva i sve ostale relevantne objekte (feature) koji se javljaju u urbanim sredinama. Za svaki od ovih objekata (feature) prikazane su semantičke definicije, atributi, veze i 3D prostorna predstava. Oni su organizovani u module, koji se mogu proizvoljno kombinovati koliko je to potrebno za određenu primenu. Ovakva kombinacija modula naziva se profil. Svi sadržaji definisani u modulima imaju atribute i geometrijske predstave u različitim nivoima detaljnosti (Levels Of Detail – LOD) [3].

CityGML je tematski razdvojen na osnovni modul (Core modul) i proširene module (thematic extension modules). CityGML 2.0 obuhvata trinaest tematski proširenih modula [5]: izgled (Appearance), most (Bridge), zgrada (Building), gradski namještaj (CityFurniture), grupa gradskih objekata (CityObjectGroup), generički (Generic), namena zemljišta (LandUse), reljef (Relief), saobraćaj (Transportation), tunel (Tunnel), vegetacija (Vegetation), voda (WaterBody) i teksture (TexturedSurface).

Razlikuje se pet nivoa detaljnosti (LOD), pri čemu objekti sa većim nivoom postaju detaljnije prikazani uzimajući u obzir i geometriju i tematiku, kako je i prikazano na slici 2. CityGML datoteke mogu, ali ne moraju, sadržavati višestruke prikaze (i geometrije) za pojedini objekat u različitim LOD simultano [12]. Dostupni izvori podataka o objektima mogu biti u različitim oblicima i formatima [13].



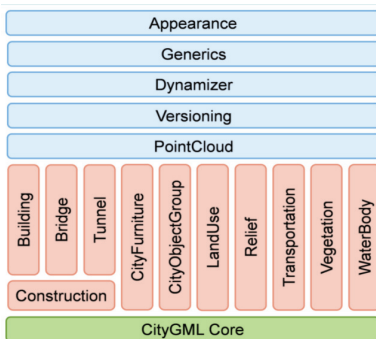
Slika 2: Nivoi detalja definisani u CityGML 2.0 [5]

Važno je napomenuti da je u praktičnoj primeni ponekad neophodno da se skladište i razmene dodatni atributi ili čak 3D objekti koji ne pripadaju nijednoj od unapred definisanih klasa. U tom slučaju CityGML obično nudi dva rešenja proširenja. Prva je upotreba generičkih gradskih objekata (GenericCityObject) i generičkih atributa. Bilo koji CityObject može imati proizvoljan broj dodatnih generičkih atributa. Drugi koncept za proširenje je takozvani CityGML Application Domain Extensions (ADE). ADE omogućavaju uvođenje novih karakteristika u postojeće CityObject klase, kao što je na primer broj stanovnika jedne zgrade.

## 5. OSNOVNE KARAKTERISTIKE CITYGML 3.0

Od 2013. godine počinje rad na novoj verziji CityGML 3.0 do strane OGC CityGML radne grupe (Standards Working Group - SWG) i posebne interesne grupe (Special Interest Group 3D-SIG 3D) za infrastrukturu geoprostornih podataka Nemačke (Geodata Infrastructure Germany GDI-DE) [7]. Verzija CityGML 3.0 se sastoji od dva dela. Prvi deo se odnosi na specifikaciju konceptualnog modela CityGML 3.0 koja je objavljena 13. 9. 2021. godine i CityGML 3.0 GML Encoding specification.

3D CityGML konceptualni model razvijen je 2021. godine i definiše otvoreni 3D CityGML konceptualni model za skladištenje i razmenu 3D gradskih modela. Definisan je na osnovu Unified Modeling Language (UML) objektnog modela koji je pak zasnovan na ISO TC 211 konceptualnom modelu standarda. Osnovni ciljevi ovog modela zasnivaju se na obezbeđivanju zajedničke definicije osnovnih entiteta, atributa i relacija 3D gradskog modela. Ovo je izrazito važno za održivi razvoj gradova u smislu mogućnosti reciklaže podataka za različite životne potrebe [14]. Konceptualnim modelom definisano je 17 modula, prikazanih na Slici 3.



Slika 3: Prikaz modula u CityGML 3.0 CM [14]

Novi moduli koji nisu postojali u CityGML 2.0 su Dynamizer, Versioning, PointCloud i Construction. Osim dodavanja novih modula izvršena je revizija Osnovnog (Core), Generičkog (Generics), Zgrada (Building) i Saobraćaj (Transportation) modula preuzetih iz CityGML 2.0. U okviru modula Konstrukcija (Construction) dati su zajednički koncepti za module Zgrada (Buildnig), Most (Bridge) i Tunel (Tunnel) koji modeluju građevinske strukture [15].

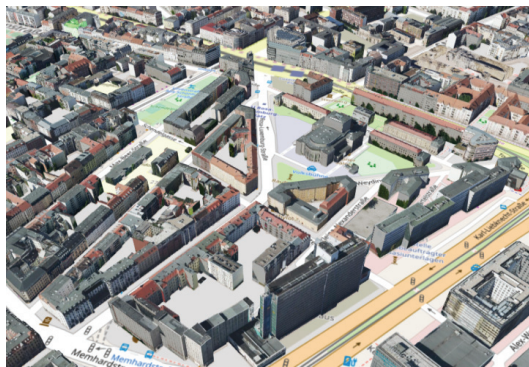
Na slici 3. pet modula proširenja obojeno je plavom bojom koji daju posebne aspekte modulima i koji se koriste u kombinaciji sa svim tematskim modulima i to [14]: modul Izgled (Appearance), modul Oblaka tačaka (PointCloud), generički modul, modul Versioning koji omogućava predstavljanje više verzija objekata, istorije objekata u stvarnom svetu i objekata u geoinformacionom svetu i modul Dynamizer koji omogućava predstavljanje gradskih objekata pomoću vremenskih serija i njihovo povezivanje sa senzorima, servisima za senzorske podatke ili eksternim datotekama.

U CityGML 3.0 su izvršene značajne promene u osnovnom (Core) modulu. Glavna promena je u predstavljanju prostornih elemenata u dve ključne abstraktne klase: prostori (Space) i granica prostora (SpaceBoundary). Iz ovih klasa se kasnije izdvajaju brojne podklase [14]. Space predstavljaju zapreminski objekti u stvarnom svetu kao što su zgrade, vode, sobe, drveće i sabračajnice. SpaceBoundary, u suštini, povezuje i deli Space. U njih spada površina zidova, krovna površina, vodena površina kao granica između vode i vazduha, površina puta kao granica između zemlje i saobraćajnice ili digitalni model terena. Ovakvo razvrstavanje zasnovano je isključivo na semantici, a ne na korištenom tipu geometrije jer CityGML 3.0 dozvoljava različite geometrijske predstave objekata [15]. CityGML 3.0 razlikuje četiri nivoa detaljnosti. LOD4 je izbačen jer se unutrašnji i spoljašnji elementi sada mogu prikazati u LOD 0-3.

## 6. PRIMENA CITYGML

CityGML je implementiran u mnogim softverskim rešenjima i koristi se u mnogim projektima u svetu. Danas se stvaraju i razmenjuju 3D modeli gradova prema CityGML standardima. Modeli se koriste uglavnom za planiranje, urbanizam, razvoj poslovanja i turizam. Na primer, gradovi Berlin, Hamburg, Minhen, Drezden, Frankfurt i mnogi drugi pružaju CityGML kompatibilne 3D modele, slika 4. Naročito, CityGML može da pruži važne informacije za upravljanje katastrofama. To uključuje planiranje putanje za spašavanje i navigaciju u zatvorenom prostoru, kao i proširenje CityGML dinamičkim vodenim površinama unutar određenog ADE-a za slučaj poplava [16].

Srbija i region nastoje da prate korak velikih svetskih metropola, pa tako i izrada 3D modela gradova postaje jedan od prioritarnih pravaca u kojem se GIS razvija. U narednim godinama očekuje se ekspanzija ovih modela i prilagođavanje evropskim i svetskim standardima.



Slika 4: Prikaz 3D modela grada Berlina [16]

Napredak tehnologije se ogleda u razvoju sistema koji na osnovu podataka prikupljenih senzorima i internet inteligentnim uređajima (Internet of things - IoT) na osnovu napredne analitike i veštačke inteligencije omogućava uvid u realni svet [15]. CityGML preko novih modula omogućava predstavljanje gradskih objekata pomoću vremenskih serija i njihovo povezivanje sa senzorima, servisima za senzorske podatke ili eksternim datotekama. Takođe, omogućena je poboljšana podrška za simulacije i modelovanje, kao i brzi snimak grada uz predstavljanje vremenski promenljivih podataka koji će služiti za dokumentaciju i arhiviranje. Mogućnost prikazivanja modela kroz vremenski niz implicira dokumentovanje i rekonstrukciju istorijskih i savremenih događaja, uključujući rekonstrukcije mesta zločina i nesreća, istorijskih bitaka, izgradnje i rušenja objekata i slično [17].

## 7. ZAKLJUČAK

Razvoj tehnologije oblikuje naš svakodnevni život i utiče na sve njegove sfere. Kako bismo mogli napredovati u bilo kojoj oblasti jako je bitno da pratimo šta i kako se nešto razvija, a samim tim i izvodimo zaključke u kom smeru će se razvijati i koji naredni koraci razvoja tehnologije će biti preduzeti.

Razvoj CityGML 1.0 uslovlila je potreba za adekvatnim standardom za predstavljanje 3D modela gradova, koji ranije nije postojao. Od svog začetka ovaj standard bio je popraćen praktičnim projektima kao što je 3D Pilot u Severnoj Rajni – Vestfalija ili projekat kartografisanja širenja buke. Razvoj sistema za vizuelizaciju i potreba za integracijom sa drugim standardima uslovlila je CityGML 1.0 na modifikaciju i dalji razvoj u verziju CityGML 2.0. Danas je CityGML standard koji je široko prihvaćen od strane geoinformacione industrije i razvija se njegova sledeća verzija koja ide u korak sa velikim zahtevima tehnologije u današnjem svetu. CityGML je otvoren standard i konstantno se razvija. Sve zainteresovane strane u oblasti 3D modelovanja gradova mogu da

doprinosu njegovom razvoju, pogotovo u pravljenju programa koji podržavaju, obrađuju i vizualizuju CityGML.

## LITERATURA

- [12] Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., and Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol.4, pp. 2842-2889.
- [13] Yao, Z., Nagel, C., Kunde, F., Hudra, G., Willkomm, P., Donaubaauer, A., Adolphi, T., Kolbe, T. H. (2020). 3DCityDB - a 3D geodatabase solution for the management, analysis, and visualization of semantic 3D city models based on CityGML. *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, vol. 88, pp. 43–61.
- [14] Kolbe, T. H. (2009). Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML, In Lee, J., Zlatanova, S. (Eds.). *3D Geo-information Sciences*. Springer, Berlin, pp. 15–31.
- [15] Cvetinović, J., Gospavić, Z., Pejović M. (2014). Integracija CAD i GIS tehnologije za potrebe izrade informacionih sistema objekata korišćenjem ARCGIS-a. *Tehnika*, vol. 69, br. 1, str. 33-40.
- [16] Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C., Häfele K.H. (2012). OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, version 2.0.0.
- [17] Kutzner, T., Kolbe, T. H. (2018). CityGML 3.0: Sneak Preview. *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V.*, Vol.27, pp. 835-839.
- [18] Preuzeto sa: <http://www.sig3d.org/index.php/en/about-sig3d.html>, 2023.
- [19] Gröger, G., Kolbe, T. H., Czerwinski, A., Nage, C. (2008). OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, version: 1.0.0.
- [20] Gröger, G., Plümer, L., (2012). CityGML – Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol.71, pp. 12-33.
- [21] François, A., Raffin, R., Daniel, M., (2020). Geometric data structures and analysis in GIS: ISO 19107 Case study. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-4/W15, pp. 115-120, 2020.
- [22] Biljecki, F., Ledoux, H., Du, X., Stoter, J., Soon, K. H., Khoo, V. H. S., (2016). The most common geometric and semantic errors in CityGML datasets. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol.IV-2/W1, pp. 13-22.
- [23] Skorup, D., Vasiljević, S., Sekulović, D., (2018). Geoinformacione inovacije: 3D gradski model. *Primena novih tehnologija u menadžmentu i ekonomiji*, ANTIm 2018, Vol. 2, pp. 572-586.
- [24] Biljecki, F. (2013). The concept of level of detail in 3D city models. Ph.D. Research Proposal, pp. 42-46.
- [25] Kolbe, T. H., Kutzner, T., Smyth, C. S., Nagel, C., Roensdorf, C., Heazel, C. (2021). *GC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard*.
- [26] Kutzner, T., Chaturverdi, K., Kolbe, T. H. (2020). CityGML 3.0, New Functions Open Up New Applications, *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, vol. 88, pp. 43-61.
- [27] Preuzeto sa: <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/>, 2023.
- [28] Chaturvedi, K., Smyth, C. S., Gesquière, G., Kutzner, T., Kolbe, T. H. (2017). Managing Versions and History Within Semantic 3D City Models for the Next Generation of CityGML, *Advances in 3D Geoinformation, Lecture Notes in Cartography and Geoinformation*, Springer, pp.191 – 206.