

**PRIKAZ UNUTRAŠNOSTI OBJEKATA 3D GRADSKIH MODELA U SISTEMIMA VIRTUALNE REALNOSTI****VISUALIZATION OF INDOOR SPACE OF 3D CITY MODELS IN VIRTUAL REALITY SYSTEMS**Igor Ruskovski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GEODEZIJA I GEOMATIKA**

**Kratak sadržaj** – Rad se bavi tematikom modelovanja unutrašnjeg prostora i ispitivanjem potencijala definisanog standarda IndoorGML na konkretnom primeru.

**Ključne reči:** 3D modeli gradova, IndoorGML, VR, A-Frame

**Abstract** – This paper describes the process of modeling indoor space. Detailed analysis of IndoorGML standard and its application is given on a practical example.

**Keywords:** 3D city models, IndoorGML, VR, A-frame

**1. UVOD**

Značajan napredak u geoprostornim tehnologijama nije usporio od samog postanka GIS-a u 1960-im godinama. Istoriju geoprostornih tehnologija možemo razmatrati sa stanovišta veličine prostora. U prvoj generaciji GIS je pokrivaio veliko područje kao što je to država ili grad, i korisnički segment je bio ograničen na stručnjake poput prostornih planera i građevinskih inženjera. Razvojem računarske tehnologije i metoda pozicioniranja poput GPS-a geoprostorne tehnologije postale su dostupne javnosti u vidu auto navigacije i internet servisa. U skladu sa tim, korisnički segment je proširen šoferima i internet korisnicima dok je prostor postajao manji u odnosu na prethodnu generaciju. Od 2010. godine tehnologija mobilnih telefona omogućila je pešačku navigaciju koja zahteva još manji prostor i detaljniji prikaz te se korisnički segment značajno proširio. Može se predvideti da će u budućnosti prostorni okvir postati još manji i da će korisnički segment geoprostornih tehnologija biti još veći, a servisi informacija o unutrašnjem prostoru su primer ovog trenda. Unutrašnji prostor objekata postao je veći i kompleksniji zbog ubrzane urbanizacije i velike populacije u urbanim područjima. Iz ovog razloga je efikasno upravljanje prostornim informacijama o unutrašnjem prostoru važan zahtev kod velikih objekata.

**2. 3D MODELI GRADOVA**

3D modeli gradova su digitalni modeli gradskih područja koji prikazuju površ terena, mesta, zgrade, vegetaciju, infrastrukturu i pejzažne elemente uključujući i objekte koji pripadaju gradskom području.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Miro Govedarica, red. prof.

Komponente modela predstavljene su odgovarajućim 2D i 3D georeferenciranim prostornim podacima. 3D modeli gradova podržavaju prezentaciju, istraživanje, analizu i upravljanje zadacima u različitim oblastima primene [1]. Slično dvodimenzionalnim podacima, 3D modeli su aproksimacija realnog sveta. Elementi se modeluju do određenog stepena, dok su neki elementi pojednostavljeni ili izostavljeni. Kvantitet i raznolikost sadržaja određeni su budućom primenom 3D modela, karakteristikama polaznih podataka, tehnikom prikupljanja podataka, finansijskim sredstvima i razmerom. Primeri modela sa različitim nivoima detaljnosti prikazani su na slici 1.



Slika 1. Različite vrste 3D modela gradova [2]

Količina prikazanog detalja u 3D modelu, u smislu geometrije i atributa, naziva se nivo detaljnosti - *LoD* (eng. *Level of detail*), i on indikuje koliko je detaljno prostor izmodelovan. To dalje znači da je *LoD* izuzetno važan koncept u geografskim informacionim sistemima i 3D modelovanju gradova [2].

Može se reći da je koncept *LoD* -a važan u svim koracima tipičnog životnog ciklusa 3D modela grada, čak i pre nego se odradi bilo kakva akvizicija podataka. *LoD* je važna stavka u tenderima i njime se opisuju karakteristike željenog 3D modela grada, odnosno da li će se putevi ili krovovi modelovati posebno. Važno je imati *LoD* u vidu kada se planira prikupljanje podataka kako bi se pravilno rasporedili finansijski resursi, tehnologije (*LoD* direktno diktira gustinu tačaka kod avionskog laserskog skeniranja). Kod prikupljanja podataka, *LoD* određuje koliko detaljno se podaci moraju prikupiti.

*LoD* takođe utiče i na obradu podataka. On se ne odnosi samo na količinu geometrijskih podataka, već i na semantičko bogatstvo podataka. Podaci su podložni konverziji, što obično zavisi od *LoD*-a. Nakon što se podaci prikupe, *LoD* utiče na skladištenje tih podataka u smislu zahteva za kompresijom. Kontrola kvaliteta je takođe važan aspekt u životnom ciklusu 3D modela grada gde se u skladu sa *LoD*-om osigurava da su svi delovi podataka prikazani. Kada su svi podaci spremni za objavljivanje i raspodelu, *LoD* diktira aspekte kao što su razmena podataka, materijalizacija, prenos i dostava. Naposljetku, podaci su dostavljeni korisnicima koji ih koriste u aplikacijama gde *LoD* može da utiče na performanse i pouzdanost prostorne analize. Podaci višeg nivoa detaljnosti donose preciznije rezultate u prostornim analizama ali po cenu pristupačnosti i ekonomičnosti prikupljanja podataka.

Kako većina primena uključuje i prikaz podataka, vizualizacija je takođe važan aspekt gde *LoD* igra važnu ulogu. Nakon što su svi ovi koraci odrađeni, 3D modeli zahtevaju održavanje i ažuriranje gde se podaci menjaju u skladu sa promenama u realnom svetu. U ovom procesu mora se voditi računa da osveženi podaci odgovaraju *LoD*-u originalnih podataka [2].

### 3. STANDARDI I FORMATI ZA MODELOVANJE UNUTRAŠNJEG PROSTORA

Termin modelovanje unutrašnjeg prostora koristi se i za geometrijsku i semantičku predstavu fizičkog prostora, definisanog kao životni prostor sa ograničenjima kao što je unutrašnjost zgrada. Različite tehnologije prikupljanja podataka danas mogu biti iskorišćene u svrhu dobijanja podataka za modelovanje 3D modela unutrašnjosti. 3D model predstavlja realnu scenu putem geometrijskih oblika koji imaju topologiju i semantiku.

Tri najpoznatija formata koja su u upotrebi za modelovanje unutrašnjeg prostora su: *IFC*, *CityGML* i *IndoorGML*. Oni obezbeđuju modele podataka, semantičke okvire i formate za rad sa zgradama i podacima o unutrašnjem prostoru. Pored njih, postoji još nekoliko formata iz kompjuterske grafike koji imaju potencijal za primenu u modelovanju unutrašnjeg prostora.

Većina standarda i formata koristi nekoliko pristupa za reprezentaciju geometrije. 2D reprezentacija koristi tačke, linije i poligone da predstavi elemente. 2.5D reprezentacija koristi visinu ili dubinu čije vrednosti dodeljuje svakoj 2D tački da bi se kreirala površ. 2.5D površi sa ravnopravno raspoređenim tačkama se zovu gridovi ili rasteri, a površi sa nepravilno raspoređenim i povezanim tačkama su nepravilne triangulacione mreže – *TIN*. Što se tiče 3D geometrije, postoji šest različitih načina za reprezentaciju. **Vokseli** su nastavci rastera u 3D prostoru. Kod **razlaganja ćelija**, geometrijski objekti formiraju se putem *Boolean* unije geometrijskih primitiva. Kod konstruktivne geometrije (*CSG*) objekti se formiraju spajanjem ili razdvajanjem primitivnih objekata koristeći *Boolean* operacije. Granična reprezentacija (***BRep***) koristi objekte definisane povezanim licima, ivicama i verteksima na granicama čvrstih objekata. U **parametarskoj reprezentaciji** objekti su definisani bročanim parametrima u obliku ograničenja i dimenzija. Na kraju, **teselacija** je nadogradnja *TIN*-a u 3D prostoru.

Semantika povezuje geometriju sa entitetima u realnom svetu. Ona daje značenje modelovanim objektima i njihovim delovima.

Metode prostornog referenciranja koriste deskriptore da definišu pozicije objekata u fizičkom svetu. Internacionalna organizacija standarda (*ISO*) i geoprostorni konzorcijum (*OGC*) definišu dva načina za prostorno referenciranje: prema identifikatoru i prema koordinatama. Referenciranje prema koordinatama koristi merenja za definisanje pozicija, dok referenciranje prema identifikatoru koristi geokodove – naziv ulica, broj zgrada, broj sobe.

Nivo detaljnosti opisuje različite načine reprezentacije geometrijskog objekta u zavisnosti od nivoa generalizacije [3].

Sa stanovišta postojećih modela objekata, *BIM* modeli zasnovani na *IFC* imaju najveći potencijal za upotrebu u 2D i 3D modelovanju unutrašnjeg prostora zbog velike detaljnosti geometrije i bogate semantike. *IFC* je i format za razmenu podataka dizajniran za minimalne konflikte tokom transfera između različitih softverskih rešenja. Čest problem ovog formata je ipak taj što se tokom konverzije mogu izgubiti određeni detalji, najčešće prilikom konverzije geometrije.

Iako *CityGML* definiše *LoD4* za modelovanje unutrašnjosti, veoma malo modela postoji na tom nivou detalja. Ovo može biti zbog toga što je još uvek mali broj praktičnih slučajeva razrađeno u ove svrhe. Uprkos tome, *CityGML* pruža visok nivo podrške kod raznolikih zahteva za modelovanje unutrašnjosti. Podržava bogatu semantiku, koristi inženjerski i geodetski referentni sistem i koncepte *LoD*-ova. Nedostatak ovog modela jeste što za unutrašnji prostor postoji samo jedan *LoD*, što daje izbor „sve ili ništa“ prilikom modelovanja. Ukoliko bi bilo više *LoD*-ova mogla bi se razmatrati generalizacija sadržaja u unutrašnjosti.

Prednosti *IndoorGML*-a biće opisane u daljem tekstu ovog rada, stoga u ovom poglavlju neće detaljnije biti razmatrane.

## 4. INDOORGML

### 4.1 Motivacija

Unutrašnji prostor se od spoljašnjeg razlikuje na mnogo načina. Osnovni koncepti, modeli podataka i standardi prostornih informacija bi trebali biti redefinisani kako bi ispunili zahteve aplikacija koje zahtevaju podatke o unutrašnjem prostoru. Ti zahtevi o podacima su specificirani na razne načine, u zavisnosti od tipa aplikacije za koju se koriste. Uopšteno, aplikacije koje koriste podatke o unutrašnjem prostoru mogu se svrstati u dve kategorije:

- Upravljanje objektima i njihovim komponentama
- Način korišćenja unutrašnjeg prostora

Izgradnja objekta i upravljanje spadaju u prvu kategoriju. Glavni fokus prve kategorije je upravo na izgradnji komponenta kao što su krovovi i zidovi. Druga kategorija se fokusira na način korišćenja i lokalizaciju elemenata (stacionarnih i pokretnih) u unutrašnjem prostoru. Prostorne informacije o unutrašnjem prostoru u drugoj kategoriji predviđene su za reprezentaciju prostornih komponenti kao što su prostorije i hodnici i ograni-

čenja kao što su to vrata. Na primer, servisi bazirani na unutrašnjoj poziciji objekata i analiza rutiranja u unutrašnjosti objekata pripadaju drugoj kategoriji [4].

Cilj ovog standarda je definicija okvira za prostorne podatke o unutrašnjem prostoru koji mogu locirati stacionarne ili pokretne elemente u unutrašnjosti objekta i pružiti servise prostornih informacija koji se tiču njihovih pozicija u unutrašnjem prostoru umesto da reprezentuju arhitekturu samog objekta. *IndoorGML* je predviđen da izvršava sledeće funkcije:

- Reprezentacija karakteristika unutrašnjeg prostora
- Pružanje prostornog okvira elemenata u unutrašnjem prostoru

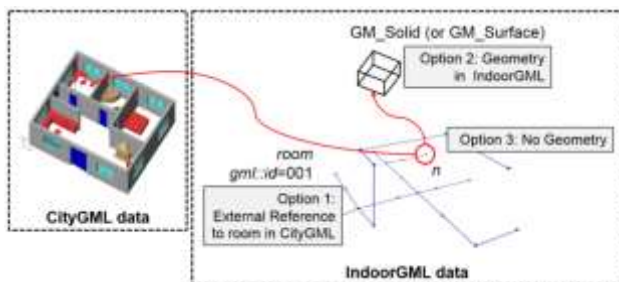
#### 4.2 Generalni koncepti *IndoorGML*-a

Važna razlika između unutrašnjeg i spoljašnjeg prostora je u tome što je unutrašnji prostor sačinjen od komplikovanih ograničenja u vidu hodnika, vrata, stepeništa, liftova. To znači da je ključni problem prilikom definicije standarda modelovanja naći način za pravilnu reprezentaciju ovih elemenata [4].

**Ćelijski prostor:** unutrašnji prostor predstavlja se kao skup ćelija koje su definisane kao najmanja organizaciona ili strukturalna jedinica unutrašnjeg prostora. Ćelijski prostor ima važne osobine. Kao prvo, svaka ćelija ima svoj identifikator poput broja prostorije. Dalje, svaka ćelija može imati zajedničku granicu sa drugim ćelijama ali se ne sme preklapati. Na kraju, pozicija u ćelijskom prostoru može biti definisana identifikatorom ali se zarad preciznije definicije uključuju x,y,z koordinate.

**Semantička reprezentacija:** Semantika je važna karakteristika ćelija. U *IndoorGML*-u, semantika se koristi iz dva razloga: da omogući klasifikaciju i da identifikuje ćeliju i utvrdi vezu između ćelija. Semantika omogućava definiciju ćelija koja može biti od izuzetnog značaja za navigaciju. Najčešća klasifikacija ćelija je na navigacione (prostorije, hodnici, vrata) i nenavigacione (zidovi, prepreke) ćelije.

**Geometrijska reprezentacija:** Geometrijska reprezentacija 2D ili 3D elemenata u unutrašnjem prostoru nije glavni fokus *IndoorGML*-a zbog toga što je ona definisana u *ISO19107*, *CityGML* i *IFC* standardima. Ipak, zarad potpunosti podataka, geometrija 2D ili 3D objekata može biti opciono definisana unutar *IndoorGML* dokumenta u skladu sa modelom podataka definisanim u *ISO19107*. Postoje tri načina za definisanje geometrije u *IndoorGML*-u kao što je prikazano na slici 2.:



Slika 2. Geometrijska reprezentacija

**Topološka reprezentacija:** Topologija je izuzetno važna komponenta ćelijskog prostora i *IndoorGML*-a. Čvorno-Relacioni Graf (engl. *Node-Relation Graph* – *NRG*) predstavlja topološke odnose (primer: susedstvo, povezanost)

između objekata u unutrašnjem prostoru [4]. *NRG* omogućava izdvajanje, pojednostavljenje i reprezentaciju topoloških odnosa između 3D prostora u unutrašnjem prostoru poput prostorija unutar zgrade. Može biti implementiran kao graf koji predstavlja susedstvo ili povezanost bez geometrijskih osobina. Omogućava efikasnu implementaciju računskih problema u sistemima za rutiranje i unutrašnju navigaciju. *Poincare* dualnost omogućava teoretski osnov za mapiranje unutrašnjeg prostora u *NRG* grafu koji predstavlja topološke odnose. Bilo koji unutrašnji prostor može biti transformisan u *NRG* pomoću *Poincare* dualnosti. On pojednostavljuje kompleksne prostorne odnose između 3D objekata pomoću kombinatornog topološkog mrežnog modela. Prema *Poincare* dualnosti, k-dimenzioni objekat u N-dimenzionom prostoru kartira se u (N-k) dimenzioni objekat u dualnom prostoru. Zajedničke 2D površi dva objekta transformisaće se u ivicu (1D) koja povezuje dva čvora u dualnom prostoru.

## 5. VIRTUALNA REALNOST

Definicija virtualne realnosti dolazi iz definicija reči „virtualno“ i „realnost“. Definicija reči „virtualno“ je blisko a realnost je ono što doživljavamo kao ljudska bića. Dakle, termin virtualna realnost u suštini znači „blisko stvarnosti“. Ovo naravno može značiti bilo šta ali se obično odnosi na specifičnu vrstu imitacije.

Svet raspoznavamo prema našim čulima i sistemima percepcije. Poznato je da čovek ima 5 čula: ukus, dodir, miris, vid i sluh. Ovo su ipak najočigledniji organi čula. Istina je da ljudi imaju mnogo više čula od ovih, kao što je to osećaj ravnoteže. Ova druga ulazna čula uz neke posebne procese čulnih informacija koji se dešavaju u mozgu osiguravaju da dobijamo bogat protok informacija iz okruženja u naš mozak.

Sve što poznavamo o našoj stvarnosti dolazi putem čula. Drugim rečima, svo naše iskustvo je obična kombinacija čulnih informacija. Ima smisla reći da ukoliko je moguće prikazati čulima izmišljene informacije, percepcija realnosti bi se promenila u skladu sa tim. Verzija realnosti koja nije zaista tu bi bila prikazana i naša perspektiva bi bila tako percipirana. Ovako bismo opisali virtualnu realnost. Ukratko, virtualna realnost uključuje prezentovanje generisanog virtualnog okruženja koje možemo istraživati našim čulima [5].

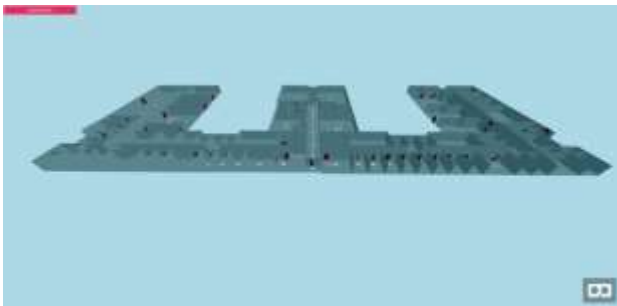
## 6. STUDIJA SLUČAJA

Zadatak ovog rada je razvoj internet bazirane *VR* aplikacije koja prikazuje 3D model jedne zgrade Fakulteta tehničkih nauka, instituta mašinskog odseka, koji je prethodno izrađen u skladu sa *OGC* standardom *IndoorGML*, skladišten u bazu podataka i transformisan u odgovarajući format podržan od strane okvira za aplikaciju. Zgrada instituta mašinskog odseka sastavni je deo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. Sastoji se od dva sprata koji sadrže kabinete, učionice i laboratorije koje se koriste za izvođenje auditorne i praktične nastave. Približne dimenzije objekta su 155m x 55m a čine ga glavni (ulazni) deo i tri krila. Na slici 3. plavom bojom prikazana je tačna lokacija objekta na *Google Earth* podlozi.



Slika 3. Google Earth prikaz lokacije objekta

Rešavanje praktičnog dela zadatka podrazumeva korišćenje editora za izradu *IndoorGML* dokumenta, FME (*Feature Manipulation Engine*) softvera za transformaciju podataka, *PostgreSQL* bazu podataka za skladištenje i *A-Frame* okvir za izradu VR aplikacije. Polazni podaci za modelovanje objekta sastoje se od evakuacionog plana na kom se nalazi tlocrt objekta sa obeleženim prostorijama. Na slikama 4. i 5. nalaze se prikazi izmodelovanog objekta i pogled iz jedne od prostorija kroz aplikaciju virtualne realnosti izrađene u *A-Frame* okviru.



Slika 4. 3D model objekta instituta mašinskog odseka



Slika 5. Pogled iz jedne od prostorija u VR

## 7. ZAKLJUČAK

Sa porastom zahteva za prostornim informacijama o zatvorenom prostoru, standardni model podataka postao je osnovna komponenta u prostornim tehnologijama koje se bave unutrašnjim prostorom. Iz ovog razloga je i kreiran *IndoorGML* i definisan kao standardni model podataka i format za razmenu baziran na *XML* strukturi. Kartiranje i modelovanje unutrašnjeg prostora može pružiti značajnu ekonomsku vrednost uzimajući u obzir količinu vremena koju ljudi provode unutra. Postoji mnoštvo formata za modelovanje i vizualizaciju unutrašnjeg prostora, ali se neki izdvajaju u efikasnosti modelovanja za određene svrhe. U ovom radu izvršena je analiza *IndoorGML*-a i predloženi su osnovni koncepti za njegovu primenu. Prikazan je način upotrebe softverskih alata u cilju kreiranja 3D modela objekta. Obzirom da je *IndoorGML* kao standard relativno nov, očekuje se da će u budućnosti biti dodati novi koncepti koji mogu biti korišćeni u različite svrhe.

## 8. LITERATURA

- [1] J. Dollner, K. Baumann, H. Buchholz, "Virtual 3D City Models as Foundation of Complex Urban Information Spaces", 2006.
- [2] F. Biljecki, "Level of detail in 3D city models", Ph. D. thesis, 2017.
- [3] J. Chen, K. C. Clarke, "Modeling Standards and File Formats for Indoor Mapping", 2017.
- [4] <http://www.indoorgml.net/> (pristupljeno u septembru, 2018.)
- [5] <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/what-is-virtual-reality.html> (pristupljeno u septembru, 2018.)

### Kratka biografija:



**Igor Ruskovski** rođen je u Vrbasu 1995. godine. Master studije na Fakultetu tehničkih nauka upisao je 2017. godine. Tokom master studija učestvovao je u izvođenju nastave kao demonstrator. Oblasti interesovanja su geoinformatika, vizualizacija geoprostornih podataka i lasersko skeniranje terena i objekata. kontakt: igor.ruskovski@gmail.com