



## L1.3 3D STANDARDI PODATAKA

### BILJEŠKE S PREDAVANJA

#### **Autor(i)/Organizacija(e):**

Ariana Kubart, Ocellus Information Systems AB, Švedska

#### **Dozvola**



<https://creativecommons.org/licence/by-sa/4.0/>

#### **Verzija**

Verzija 2.0

Datum: travanj 2025.

#### **Sažetak**

Posljednje predavanje ovog bloka opisuje 3D modele gradova na razini podataka. Uvodi studenta u CityGML konceptualni model i opisuje njegove module i kako se mogu koristiti u različitim aspektima gradskog modeliranja. Prolazi dublje u određenu reprezentaciju, npr. geometrijsku, topološku ili vremensku, jer je njihovo poznavanje važno za razumijevanje procesa BIM-GIS integracije. Nadalje, predavanje pruža informacije o različitim CityGML kodovima, kao i drugim 3D formatima.

#### **Ishodi učenja**

Na kraju ovog predavanja od polaznika se očekuje da bude sposoban:

- Navesti nekoliko načina kako se 3D podaci mogu pohraniti, s fokusom CityGML kodiranja
- Sažeti glavne dijelove CityGML konceptualnog modela i kako se mogu koristiti
- Razumjeti aspekte CityGML-a koji su važni za pretvorbu u i iz BIM-a



### ***Očekivane kompetencije prilikom ulaska u predavanje***

Srednja razina znanja o GIS-u

L1.1 Koncepti 3D modeliranja

L1.2 Semantički modeli gradova

### ***Očekivano radno opterećenje***

26 slajdova sa sadržajem za učenje, oko 5 sati

*Financirano sredstvima Europske unije. Izneseni stavovi i mišljenja su stavovi i mišljenja autora i ne moraju se podudarati sa stavovima i mišljenjima Europske unije ili Europske izvršne agencije za obrazovanje i kulturu (EACEA). Ni Europska unija ni EACEA ne mogu se smatrati odgovornima za njih.*



## Sadržaj

Semantički 3D modeli gradova .....	4
CityGLM standard.....	5
CityGLM konceptualni model .....	6
Moduli razreda u konceptualnom modelu.....	7
Moduli za posebne aspekte na tržištu kapaciteta.....	8
Semantičke informacije u 3D modelima .....	9
Agregacijska shema.....	10
Usklađeno semantičko-geometrijsko modeliranje .....	11
Razine detalja, granice određivanja, u CityGML-u.....	12
Razina detalja, LoD II .....	13
Prethodne verzije CityGML, 1.0 i 2.0 .....	14
Prikaz geometrije.....	15
Zastupljenost topologije u CityGML 3.0 .....	16
Fizički i logički prostori .....	17
Vanjski prostori, interijeri i hijerarhije.....	18
Koordinate i nadmorska visina .....	19
4D – vremenska dimenzija.....	20
Proširenja aplikacijske domene, ADE-ovi u CityGML-u .....	21
Kvaliteta podataka.....	22
Kodiranje CityGML-a .....	23
Kodiranje u XML-u.....	24
CityJSON Kodiranje I .....	25
CityJSON Kodiranje II.....	26
3D kodiranje baze podataka grada .....	27
Ostali 3D formati.....	28
LandInfra.....	29
INSPIRE 3D građevine .....	30
Reference.....	31



## Semantički 3D modeli gradova

### 3D standardi podataka



Co-funded by  
the European Union

#### Semantički 3D modeli gradova

- Pružanje geografskih, topografskih i semantičkih informacija o objektima
- Interakcije među objektima
- Hijerarhijska razgradnja na manje dijelove (npr. prozor zgrade i zida)
- Može biti složena i pokrivati velika područja



Mnogo semantičkih informacija može se dodati u 3D model  
3D model Nancy, Francuska, Google Earth



4

Semantički modeli gradova pružaju geografske, topografske i semantičke informacije o objektima u urbanim područjima (vidi Predavanje 1.2). Semantički objekti mogu biti prostorno predstavljeni višestrukim geometrijama i različitim granicama određivanja. Nadalje, predmeti se mogu razgraditi na manje dijelove na nekoliko razina, a ta je razgradnja hijerarhijska (npr. prozor zgrade i zida).

3D modeli spremni za uporabu moraju biti pohranjeni negdje i dostupni krajnjim korisnicima. Istodobno, semantički modeli mogu biti vrlo složeni i pokrivati velika područja.

To znači da 3D geobaza podataka za 3D model mora biti u stanju nositi se sa semantičkom i geometrijskom hijerarhijom, upravljati velikim skupom podataka i omogućiti pristup, ažuriranja i upite podataka.

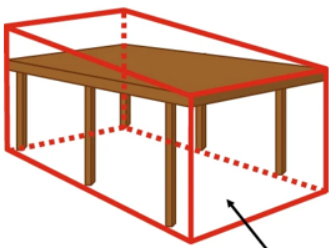
## CityGLM standard

**3D standardi podataka**
 **BIRGIT**
 Co-funded by the European Union

**CityGML standard**

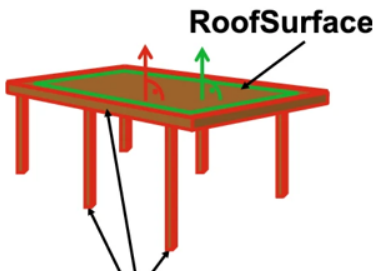
- CityGML je model otvorenih podataka otvorenog geoprostornog konzorcija (OGC)
- Cilj je prikazati semantičke 3D modele
- Trenutačna verzija je 3.0, odobrena 2021.

**Carport in LOD1**



**OccupiedSpace**

**Carport in LOD2/3**



**RoofSurface**

**OccupiedSpace**

Prikaz nadstrešnice kao OccupiedSpace u različitim granicama određivanja. Od: [CityGML 3.0: Nove funkcije otvaraju nove aplikacije](#)

5

Kako je sve to kodirano u računalu?

Postoji model otvorenih podataka standardiziran od strane Open Geospatial Consortium (OGC), s ciljem predstavljanja semantičkih 3D modela. Standard se zove CityGML, a trenutačna verzija je 3.0, odobrena 2021.

OGC vlastiti zvukovi definicije: „CityGML je zajednički semantički informacijski model za prikaz 3D urbanih objekata koji se mogu dijeliti u različitim aplikacijama”.

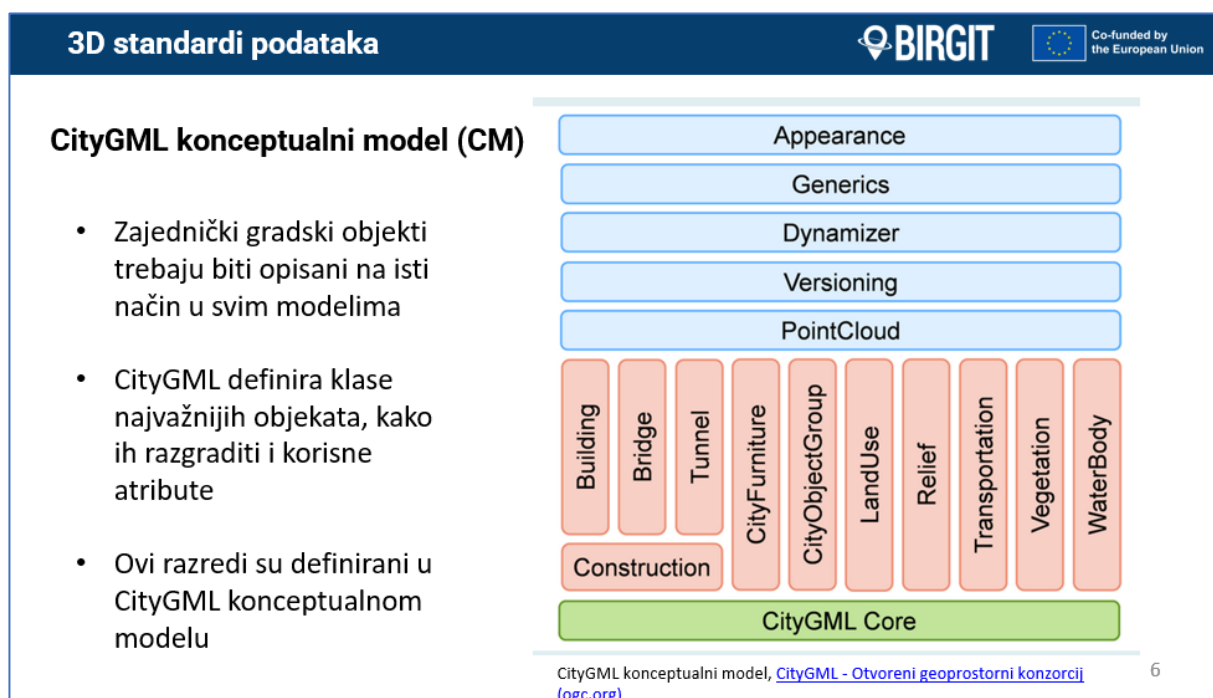
Kako djeluje? Poblje ćemo to vidjeti u ovom predavanju.

[CityGML - Otvoreni geoprostorni konzorcij \(ogc.org\)](http://ogc.org)

[CityGML 3.0: Nove funkcije otvaraju nove aplikacije ?? PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Znanost o osjetilima i geoinformacijama \(springer.com\)](#)



## CityGLM konceptualni model



Mnogi objekti, kao što su zgrade, ulice ili mostovi, uobičajeni su u svim gradovima. Stoga ih treba opisati na isti način u svim modelima. U suprotnom bi se npr. „zgrade” mogle nazivati „kućama” u drugom gradu i ne bi bilo interoperabilnosti.

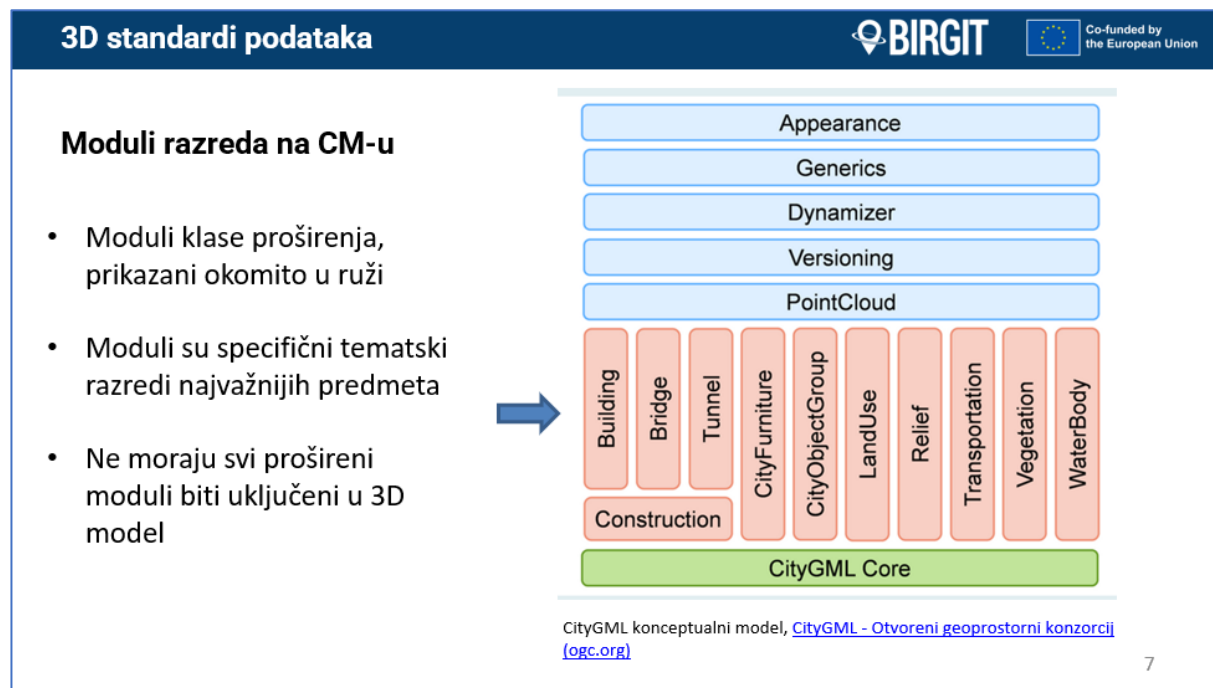
Stoga definira CityGML vlastite klase najvažnijih objekata, kako ih razgraditi i često neke korisne attribute koje treba uključiti. Te su klase definirane u CityGML konceptualnom modelu (CM).

Konceptualni model vizualiziran je slikom na slajdu.

Osnovni dio Idejnog modela je Osnovni modul, prikazan zelenom bojom. Osnovni modul obuhvaća osnovne koncepte i komponente virtualnog grada. Stoga se uvijek mora implementirati u bilo koji 3D model grada.



## Moduli razreda u konceptualnom modelu



Osim modula Core, tu su i moduli klase ekstenzija, prikazani okomito u ružičastoj boji.

Svaki prošireni modul pokriva specifičnu tematsku klasu za najvažnije objekte unutar virtualnog 3D grada. To uključuje konstrukcije, reljef, npr. u obliku DTM-a (digitalni model terena), vodna tijela i tako dalje, kako je prikazano na slici.

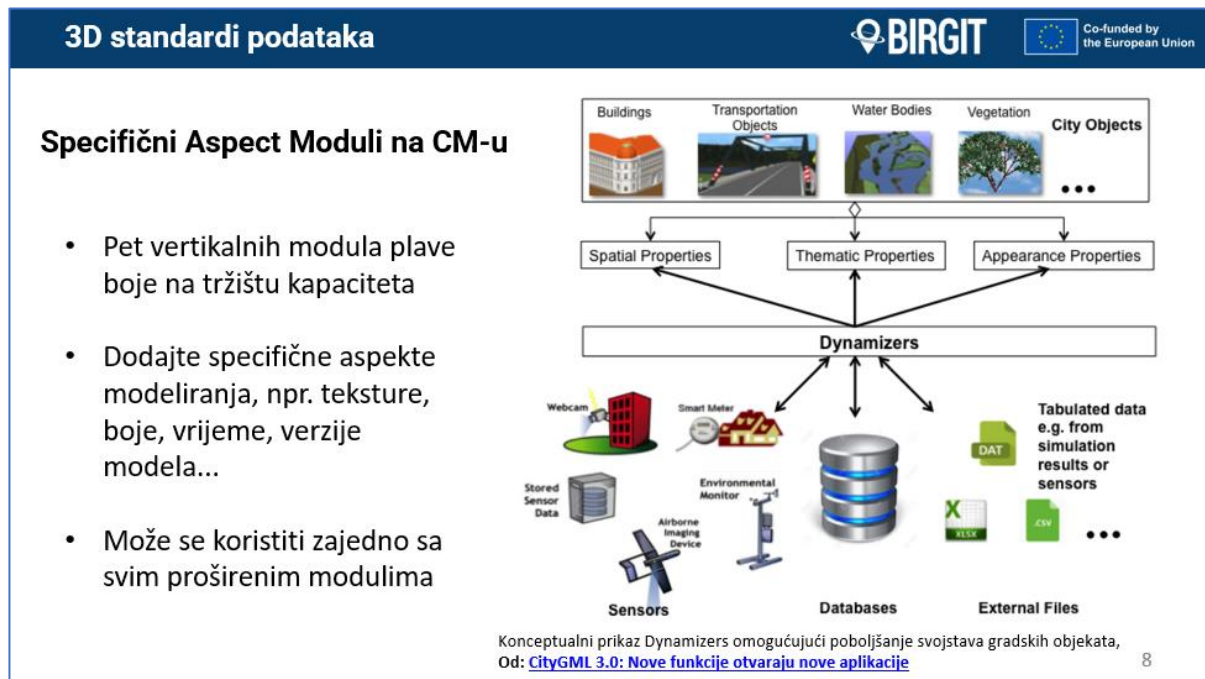
Tri modula *Izgradnja*, *Most*, i *Tunel model* civilnih struktura i dijele zajedničke koncepte. Zato su grupirani unutar modula *Građevinarstvo*.

Modul *Prijevoz* definira razrede za reprezentaciju prometne infrastrukture. Omogućuje korištenje CityGML-a za simulacije prometa i vožnje, sustave pomoći u vožnji, autonomnu vožnju, kao i sa sustavima upravljanja cestama i željezničkim objektima.

Model grada ne mora podržavati sve razrede (= module proširenja). Može koristiti samo podskup u skladu s posebnim potrebama modela.

Na primjer, ako aplikacija radi isključivo s podacima o zgradi, dovoljno je samo s modulima *jezgre*, *konstrukcije* i *zgrade*.

## Moduli za posebne aspekte na tržištu kapaciteta



Pet modula plave boje dodaju posebne aspekte modeliranja. Oni koji se mogu koristiti zajedno sa svim proširenim modulima.

*Modul Izgled* predstavlja npr. teksture i boje gradskih objekata.

*PointCloud* modul pruža koncepte predstavljene geometrije objekta pomoću 3D oblaka točaka.

*Generics* modul definira generičke objekte, attribute i odnose. Generički objekti predstavljaju 3D objekte koji nisu obuhvaćeni izričito modeliranim klasama. Slično tome, generički atributi i odnosi su ti dodatni.

*Verzija dodaje* koncepte za prikaz istodobnih verzija objekata.

Modul *Dynamizer* omogućuje prikaz svojstava objekta podacima vremenske serije i njihovo povezivanje sa senzorima ili vanjskim datotekama.



## Semantičke informacije u 3D modelima

### 3D standardi podataka

#### Semantičke informacije u 3D modelima

- Svi predmeti pripadaju klasi ili se mogu definirati kao „generički” predmeti
- Objekt se može prikazati semantikom (= neprostorna svojstva), 3D geometrijom, 3D topologijom, pojavama i promjenama tijekom vremena
- Jedinstveni i obvezni *featureID* za svaki objekt



*TU Delft primjer pet vrsta krovova: ravna, zabata, hipped, piramidalan, i prollo.*

[GitHub - tudelft3d / 3dbook: Knjiga za tečaj GEO1004: 3D modeliranje izgrađenog okoliša](#)

9

U CityGML-u, svi gradski objekti su modelirani razredima, kao što smo vidjeli gore. Ti objekti stoga „znaju” što su i gdje se nalaze.

Kombinirajući različite CityGML-module, svaki objekt može biti predstavljen svojom semantikom (= neprostorna svojstva), 3D geometrijom, 3D topologijom, pojavom (npr. površinske karakteristike) i promjenama tijekom vremena.

Svaki objekt ima jedinstvenu i obveznu *značajkuID*. Može imati i neobveznu *identifikacijsku oznaku*. Identifikator je identičan za sve verzije istog objekta, poput prozora ili tablice. To olakšava tematske upite, zadatke analize ili rudarenje prostornih podataka, daleko izvan vizualizacije.

Atributi za klasifikaciju objekata često su ograničeni na skup diskretnih vrijednosti. Na primjer, postoji samo ograničen broj vrsta krovova. Navedeni su kao vanjski popisi kodova. Međutim, korisnik može redefinirati te vanjske popise kodova.

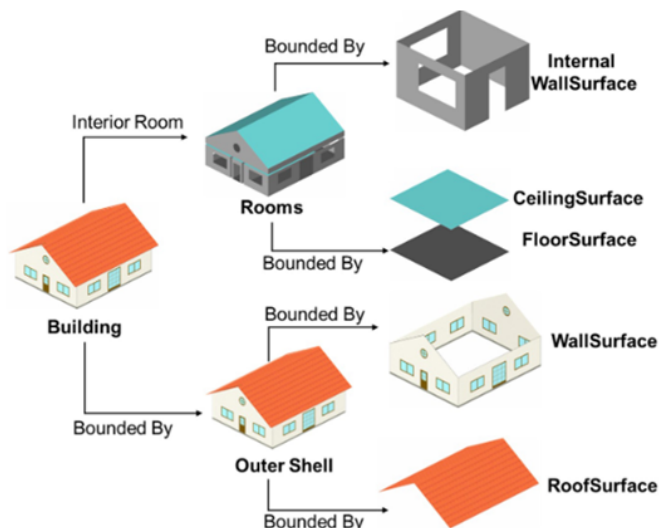
Nadalje, predmeti koji nisu izričito obuhvaćeni razredima konceptualnog modela mogu se prikazati kao generički predmeti i generički atributi.

## Agregacijska shema

### 3D standardi podataka

#### Agregacijska shema

- Mogu postojati hijerarhijski odnosi među gradskim objektima
- Hijerarhija agregiranja – cijela zgrada i njezina razgradnja na dijelove (vidjeti sliku)
- Korisno za upite, simulacije i analize



Pregled zgrade zastupljene u CityGLM formatu. Od Malhotra i dr. (2021.): Open-Source alat za transformaciju CityGML razine detalja <sup>10</sup>

Gradski modeli moraju odražavati složenost gradskih objekata i njihove međusobne odnose.

Objekti mogu biti međusobno povezani različitim vrstama odnosa u CityGML-u, a ti su odnosi obično hijerarhijski.

Složeni objekti kao što su zgrade ili prijevozni objekti obično se sastoje od dijelova. Ovi dijelovi su vlastite osobine, a mogu se čak i dalje raspadati. U odjeljku L1.2 već smo spomenuli primjer hijerarhije zgrade – dio zgrade – površina krova, površina zida i ugradnja zgrade – vrata, prozor kao potkategoriju površine zida. To se naziva agregacijska hijerarhija komponenti, koja, drugim riječima, definira djelomične odnose između značajki.

To nije samo objekt koji se može razgraditi. Čak se i cijelo urbano područje može semantički razgraditi na npr. korištenje zemljišta, biljni pokrov, zgrade.

Ova hijerarhijska struktura nužna je za upite, simulacije i analize.

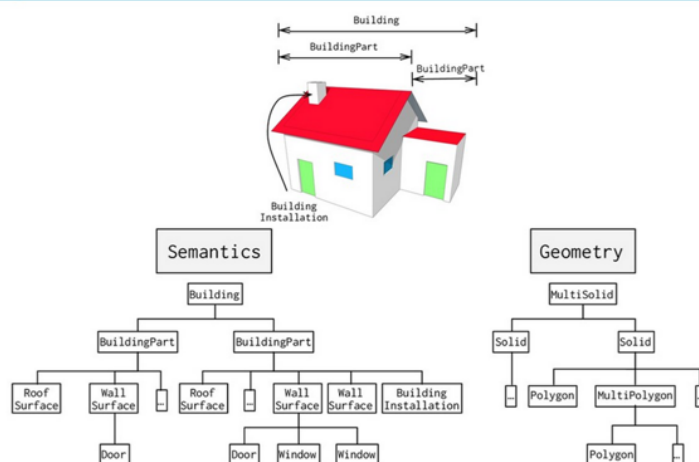
## Usklađeno semantičko-geometrijsko modeliranje

### 3D standardi podataka

#### Usklađena semantička Geometrijsko modeliranje

- Zgrada i njezini dijelovi = semantička agregacijska hijerarhija
- Postoji i geometrijska hijerarhija – lokacija, oblik, opseg...
- Ključno je da su semantička i geometrija odgovarajućih objekata međusobno povezane.

#### Spatio-semantic coherence



Iz Ledoux (2018.): CityGML i njegova dva kodiranja CityGML i CityJSON

11

Dakle, grad-objekti su predstavljeni značajkama, kao što su zgrade ili prozori. Oni također mogu uključivati attribute, odnose i hijerarhije između značajki. Sve su to semantičke informacije.

Međutim, objektima se također dodjeljuje njihov položaj, oblik i opseg, tj. njihova geometrija.



Dakle, model se sastoji od dvije hijerarhije: semantički i geometrijski, kao što je prikazano na slici. Odgovarajući objekti (i njihovi dijelovi) povezani su odnosima. Ključno je da te poveznice budu usklađene i da se uklapaju.

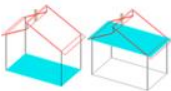


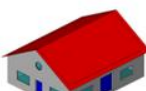
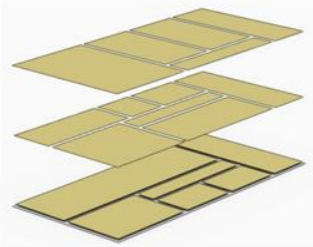

Moguće je kretati se u obje hijerarhije i među njima proizvoljno, za odgovaranje na tematska i geometrijska pitanja ili za provođenje analiza.



## Razine detalja, granice određivanja, u CityGML-u

**3D standardi podataka**



	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3
<b>Razina detalja, LoD I</b>				
LOD0 – vrlo generalizirani model	Prikaz iste zgrade u stvarnom svijetu u razinama detalja 0-3			
LOD1 – Blok-model / predmeti za ekstruziju				
LOD2 – realan, ali još uvijek općenit model				
LOD3 – vrlo detaljan model				

Prikaz tlocrta u LoD0 (lijevo) i LoD2 (desno). Od: <https://www.gim-international.com/content/news/citygml-3-0-conceptual-model-approved-as-official-ogc-standard>

Svaki objekt može imati različite prostorne reprezentacije u isto vrijeme. To je predviđeno četirima unaprijed definiranim razinama detalja (LOD 0-3).

Ukratko, razina detalja je količina informacija u modelu koji prikazuje stvarni svijet.

LOD-ovi su sljedeći:

LOD0 – vrlo generalizirani model;

LOD1 – Blok-model/predmeti ekstruzije;



LOD2 – realan, ali još uvijek općenit model;

LOD3 – vrlo detaljan model.

Na primjer, zgrada se može apstrahirati i otiskom otiska stopala ili krova (LOD0), 3D čvrstim ravnim krovom (LOD1) do detaljne vizualizacije u LOD3.

## Razina detalja, LoD II

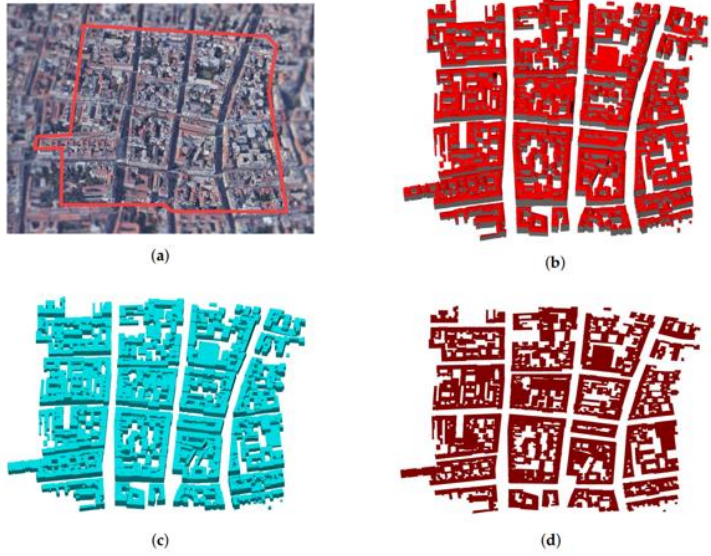
**3D standardi podataka**

 Co-funded by the European Union

### Razina detalja, LoD II

- LoD-ovi se primjenjuju i na unutarnji i na vanjski dio
- Pojedinačne zgrade ili cijele četvrti
- moguće je kombinirati različite granice određivanja u istom modelu

Vizualni prikaz nekoliko stambenih blokova u Beču (a) temeljna slika s Google karata, (b) prikaz otvorenog modela LoD2 CityGML, (c) model LoD1 transformiran iz modela LoD2, (d) modeli LoD0 CityGML. Iz Malhotra i dr. (2021.)



(a) (b) (c) (d)

13

Modele LoD1 lako je rekonstruirati: otisak zgrade može biti ekstrudiran do svoje visine. Ta visina može biti npr. prosjek svih točaka LIDAR-a unutar otiska.

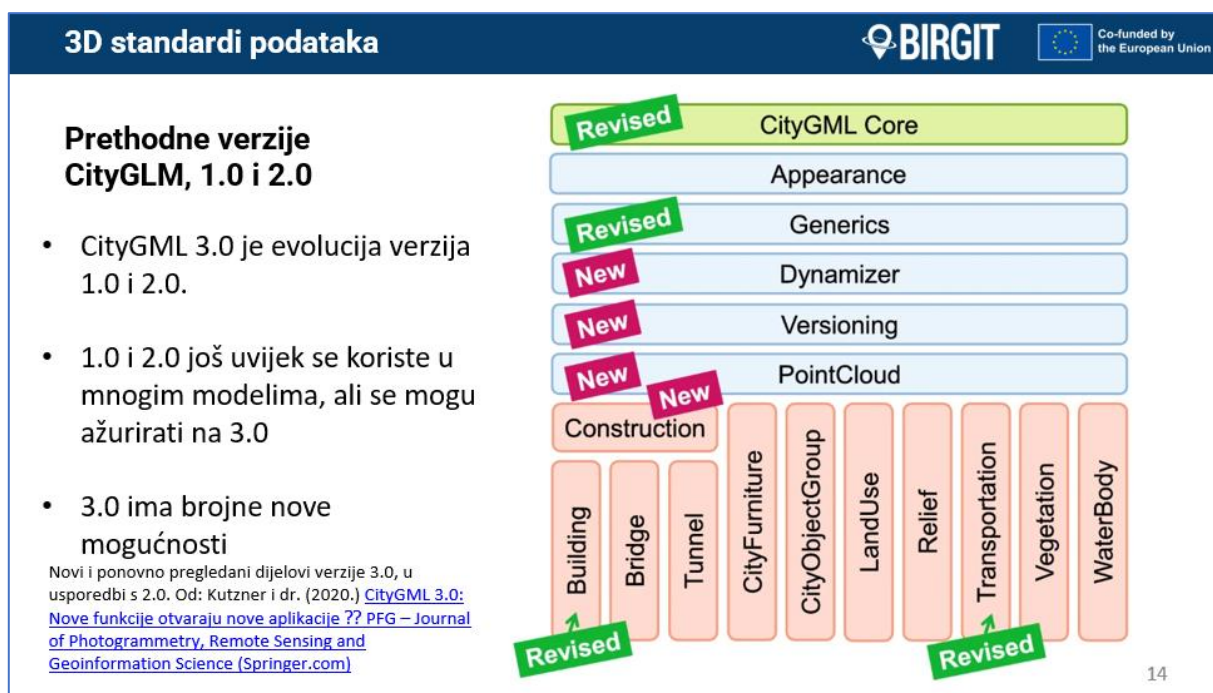
LoD2 uključuje opći oblik krova. Kao takvi, modeli LoD2 korisni su za procjenu fotonaponskog potencijala. Obično se dobivaju fotogrametrijskim tehnikama i dobivaju automatski.

LoD3 je detaljni model s otvorima (prozorima i vratima), dimnjacima i ostalim detaljima fasade. Modeli na LoD3 obično se dobivaju konverzijom iz BIM modela ili zemaljskim laserskim skeniranjem. Prisutnost prozora i drugih detalja čini ih korisnima u primjenama kao što su energetske simulacije.

Te granice određivanja primjenjive su i na unutarnje i na vanjsko područje i mogu se kombinirati. Građevinski tlocrti su LOD0 prikazi interijera zgrade.

Moguće je kombinirati različite granice određivanja u istom 3D modelu. Na primjer, vanjska ljuska zgrade može biti prikazana u LOD2, a unutarnji elementi kao što su sobe ili stepenice u LOD1. Čak je moguće modelirati vanjsku ljusku zgrade u LOD1 dok predstavlja unutarnju strukturu u LOD2 ili LoD3.

## Prethodne verzije CityGML, 1.0 i 2.0




CityGML 3.0 je evolucija prethodnih verzija 1.0 i 2.0.


Ima puno novih mogućnosti. To uključuje mnogo bolju integraciju s BIM-om, mogućnost predstavljanja unutarnjih prostora u različitim razinama detalja (LOD), podršku za dinamičke senzorske podatke i mogućnost proširenja informacijskog modela u ekstenzije aplikacijske domene, ADE (kao što ćemo kasnije raspravljati).

Budući da postoje mnogi modeli stvoreni pomoću CityGML 1.0 i 2.0, ove specifikacije neće biti zastarjele. Međutim, ovi postojeći CityGML podaci mogu se nadograditi na CityGML 3.0. kako bi se došle do novih mogućnosti.

## Prikaz geometrije

**3D standardi podataka**




Co-funded by  
the European Union

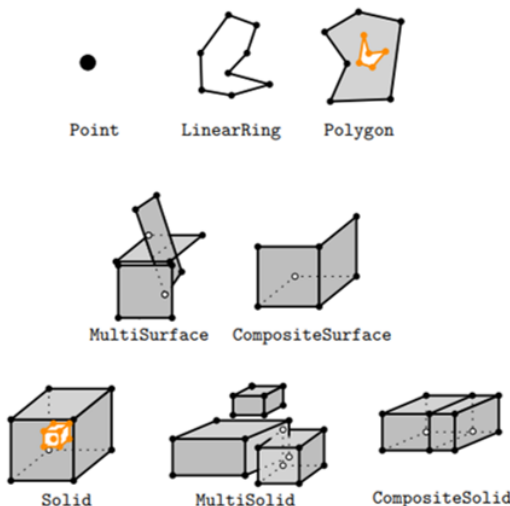
### Geometrijska reprezentacija

Prostorna svojstva svih CityGML objekata prikazana su razredima geometrije definiranim u ISO 19107

Među njima su:

- primitivne geometrije - točke, krivulje, površine i krute tvari
- različite vrste agregiranih geometrija

Sve geometrije spremljene u osnovnom modulu



Neki od CityGML primitiva, uključujući agregate i kompozitne materijale. Iz Ohori et al (2020.-2022.) [Izdanja - tudelft3d/3dbook](#) ([github.com](#))

Prostorna svojstva svih CityGML objekata prikazana su primjenom razreda geometrije definiranih u normi ISO 19107. To uključuje primitivne geometrije, to jest pojedinačne točke, krivulje, površine i krute tvari.

Osim toga, postoje različite vrste agregiranih geometrija: prostorni agregati (*MultiPoint*, *MultiCurve*, *MultiSurface*, *MultiSolid*) i kompoziti (*CompositeCurve*, *CompositeSurface*, *CompositeSolid*).

Objekti su definirani atributima koji definiraju njihove podelemente. Ti se podelementi zatim kombiniraju kako bi tvorili cijeli objekt. Zvuči komplicirano, stoga ilustrirajmo to slikom:





[GitHub - tudelft3d / 3dbook: Knjiga za tečaj GEO1004: 3D modeliranje izgrađenog okoliša](#)

Geometrija ove zgrade sastoji se od geometrije kuće (*CompositeSolid*) i garaže/priloga s desne strane (*Solid*). Geometrija kuće dodatno se razgrađuje na geometriju krova (*Solid*) i geometriju tijela kuće (*Solid*).

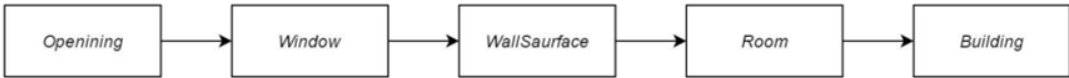
U CityGML 3.0 svi geometrijski prikazi definirani su samo u osnovnom modulu.



## Zastupljenost topologije u CityGML 3.0

3D standardi podataka
 BIRGIT
 Co-funded by the European Union

### Zastupljenost topologije



```

graph LR
    Opening[Opening] --> Window[Window]
    Window --> WallSurface[WallSurface]
    WallSurface --> Room[Room]
    Room --> Building[Building]
    
```

CityGML shema prikazuje odnos od prozora prema sobi do zgrade. Od: Salheb (2019)  
Automatska pretvorba CityGML-a u IFC

- Topologija slijedi potpunu razgradnju, sličnu geometriji
- Odnosi između elemenata dobro definiranih u CityGLM 3.0
- Prostori – objekti u stvarnom svijetu
- Granice prostora – razgraničenje i povezivanje prostora (npr. površina zida, površina ceste...)

16

Model topologije CityGML3.0 slijedi punu dekompoziciju n-dimenzionalnih topologija sve do razine čvorova, slično kao i geometrijska dekompozicija.

Schema odnosa između elemenata dobro je definirana. Na primjer, odnos između prozora i sobe definiran je u shemi prikazanoj na slici.

CityGML 3.0 također mapira sve gradske objekte na dva semantička koncepta: riječ je o „svemirskoj” i „svemirskoj granici”.

Prostor je objekt u stvarnom svijetu s volumetrijskim opsegom, kao što su zgrade, vodna tijela, stabla, sobe i prometni prostori.

*Prostorne granice* razgraničavaju i povezuju *prostore*. Primjeri su zidne površine i krovne površine koje povezuju zgradu, vodena površina kao granica između vodnog tijela i zraka, površina ceste ili digitalni model terena.



To je važno prilikom pretvaranja CityGML-a u IFC (otvoreni BIM format).





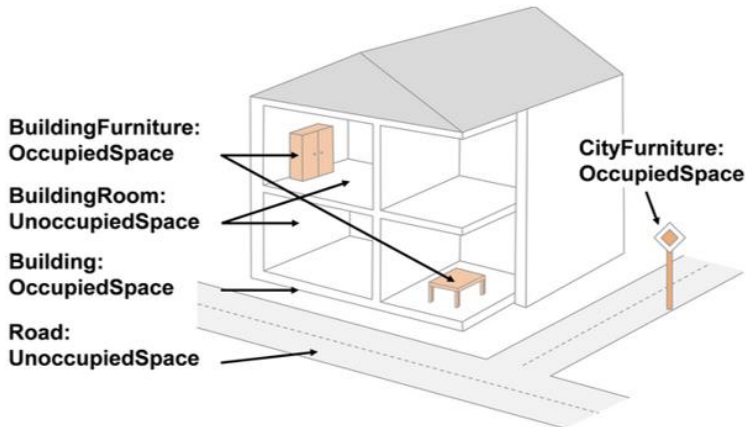
## Fizički i logički prostori

**3D standardi podataka**



**Fizički i logički prostori**

- Fizički prostori omeđeni su fizičkim objektima, npr. zgradama, drvećem...
- Zauzeto ili nenastanjeno (vidjeti sliku)
- Logički prostori – tematski, npr. gradska četvrt, samostalna uporabna cjelina zgrade



Okupirani i nenaseljeni prostori. Od: Kutzner i dr. (2020.) CityGML 3.0: Nove funkcije otvaraju nove aplikacije

17

Prostori su dalje podijeljeni na fizičke prostore i logičke prostore.

Fizički prostori potpuno su ili djelomično omeđeni fizičkim objektima. Zgrade i prostorije fizički su prostori jer su omeđeni zidovima i pločama. Prometni prostori cesta fizički su prostori jer su omeđeni cestovnim površinama u odnosu na tlo.



Nasuprot tome, logički prostori definirani su u skladu s tematskim razmatranjima, kao što su samostalna uporabna cjelina zgrade, gradska četvrt i sigurnosne zone u zračnim lukama.

Fizički prostori dalje se klasificiraju u zauzete prostore i prazne prostore.

Okupirani prostori predstavljaju fizičke volumetrijske objekte, na primjer zgrade, mostove, drveće, gradski namještaj i vodna tijela. Nenaseljeni prostori su prostorije za izgradnju i prometni prostori. Pogledajmo to na slici xx.

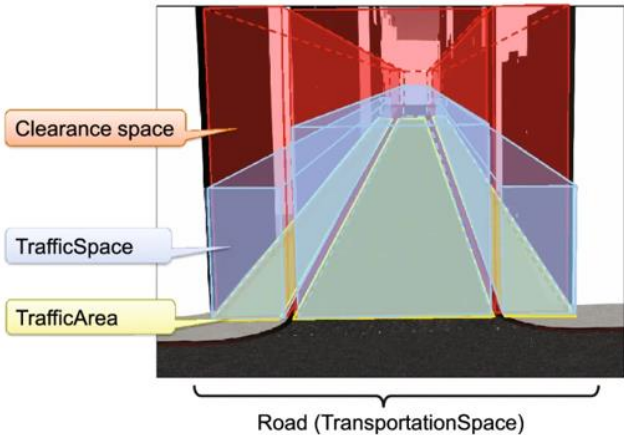
## Vanjski prostori, interijeri i hijerarhije

**3D standardi podataka**



### Vanjski prostori, interijeri i hijerarhije

- Svaka zgrada može imati vanjski, unutarnji, podzemni
- Automatsko razvrstavanje i raspadanje moguće je samo za vanjske (vidljive) dijelove, a ne za unutarnje
- Zahtjevi zahtijevaju detaljnije informacije
- Moguća poluautomatska klasifikacija za manje jedinice



raspadanje prijevoznog prostora; teško ga je potpuno automatizirati. Od: Kutzner i dr. (2020.) CityGML 3.0: Nove funkcije otvaraju nove aplikacije

18

I vanjski i unutarnji dio zgrade može opisati CityGML.

Nadalje, unutrašnjost zgrade može imati različite prostorije (BuildingRoom), različite etaže ili jedinice (BuildingStorey i BuildingUnit), ali i instalacije (npr. dimnjaci, antene, balkoni itd.).

Može se modelirati čak i podzemlje, kao što su šuplji prostori i geološki slojevi stijena koristeći koncept prostora i prostornih granica.

Jedno od glavnih pitanja za primjenu je kako dodati hijerarhiju objekta, tj. kako ih razgraditi u osnovne dijelove i kako se nositi s interijerima. Kako oblaci točaka registriraju vidljive dijelove, raspadanje objekta moguće je samo za vidljive površine. Na primjer, zgrade se mogu više ili manje automatski razgraditi na zidove, krovove i površine tla. Također je relativno lako klasificirati druge gradske objekte kao što su vegetacija ili vodena tijela. To se može pretvoriti u GML klase.

Međutim, za raznoliku primjenu, kao što su digitalni blizanci koji se upotrebljavaju za simulacije i analize, potrebno je detaljnije semantičko znanje. U najboljem slučaju, to bi trebao biti puni semantički 3D gradski modeli, koji sadrže hijerarhijski strukturirane semantičke i prostorne informacije. Nažalost, još uvijek je temeljni izazov dobiti ih automatskom obradom slike.

Rješenje za manja područja ili pojedinačne zgrade je definiranje hijerarhija (polu) ručno.

### 3D standardi podataka



#### Koordinate i visina

Sve geometrije u CityGML-u moraju:

- koristiti 3D koordinatne vrijednosti
- biti apsolutno georeferencirani

Mogu uključivati modele terena

2.5D – samo jedna koordinata Z za sve zgrade



Snimka zaslona ArcGIS Pro s pomoću Esrijevih podataka za osposobljavanje

19

Sve geometrije u CityGML-u moraju koristiti 3D koordinatne vrijednosti. Svaka 3D točka je apsolutno georeferencirana. To znači da sve koordinate pripadaju referentnom koordinatnom sustavu (CRS), a lokalne transformacije nisu dopuštene.


To je u suprotnosti s BIM-om, gdje je uobičajena upotreba lokalnih koordinata.


CityGML može uključivati prikaz digitalnih modela terena (DTM-ova), na primjer kao oblake točaka iznad rasterskih podataka ili PIB-ova. LOD koncept čak omogućuje kombiniranje nekoliko varijanti terena u različitim rezolucijama. To može biti, na primjer, PIB fine razlučivosti ugrađen u mrežni DTM velikog područja.

Ponekad se susreće pojam 2.5D podataka. U tom slučaju postoji isti Z za svaki položaj (X, Y). Takvi 2,5D modeli smanjuju troškove u usporedbi s 3D modelima, što je još uvijek korisnije za svemirske analize u usporedbi s 2D podacima.

## 4D – vremenska dimenzija

3D standardi podataka





Co-funded by  
the European Union

### 4D – Vremenska dimenzija

- Važno u pametnim gradovima, digitalni blizanci
- Verzijski modul – spore promjene
- Modul dinamizatora – brze promjene, npr. senzorski podaci

```

<cityObjectMember>
  <Building gml:id="B1020_t1">
    <identifier>B1020</identifier>
    <consistsOfBuildingPart>
      <BuildingPart xlink:href="//identifier[text()='BP12']"/>
    </consistsOfBuildingPart>
    <creationDate>2012-08-02</creationDate>
    <terminationDate>2013-10-10</terminationDate>
    <function>Office</function>
  </Building>
</cityObjectMember>
<cityObjectMember>
  <Building gml:id="B1020_t2">
    <identifier>B1020</identifier>
    <consistsOfBuildingPart>
      <BuildingPart xlink:href="//identifier[text()='BP12']"/>
    </consistsOfBuildingPart>
    <creationDate>2013-10-10</creationDate>
    <function>Living</function>
  </Building>
</cityObjectMember>

```

Primjer verzija koje predstavljaju preinake zgrade (nadogradnju)  
Prikaz različitih verzija gradskih objekata unutar jednog CityGML skupa podataka kodiranih u GML-u (lijevo)  
Od: Kutzner i dr. (2020.) CityGML 3.0: Nove funkcije otvaraju nove aplikacije

20

Vremenska dimenzija sve je važnija u aplikacijama kao što su pametni gradovi i digitalni blizanci.

Svojstva ovisna o vremenu upravljaju Versioning modulom i Dynamizer modulom, dva plava modula specifičnog aspekta u konceptualnom modelu (Slika XX).

Modul Verzija upravlja kvalitativnim promjenama koje su sporije u prirodi.



Sve značajke mogu imati atribut creation-Date i termination-Date, kao i *validFrom* i *validTo*. Oni predstavljaju specifičnu verziju objekta u određenom trenutku. Stoga se može pretraživati CityGML skup podataka o tome kako gradski model izgleda u određenom trenutku.

Dynamizer modul upravlja kvantitativnim promjenama s čestim ili dinamičkim varijacijama svojstava objekta. To mogu biti opažanja senzora u stvarnom vremenu, podaci iz IoT uređaja ili iz simulacija. Primjeri su gustoća prometa, onečišćenje zraka, potrošnja električne energije, sunčevo zračenje ili položaj pokretnih objekata.

U ovom slučaju, samo neka od svojstava inače statičkih objekata trebaju imati vrijednosti koje se mijenjaju vremenom.


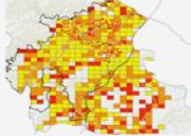

## Proširenja aplikacijske domene, ADE-ovi u CityGML-u

**3D standardi podataka**



### Proširenja aplikacijske domene, ADE

Data added using the CityGML ADE feature

LOD (-2) Graphs and charts	LOD (-1) Heat maps	LOD 0 Basic city planning maps
		
<ul style="list-style-type: none"><li>- National level, city level</li><li>- Indexing and projecting</li><li>- National government income and expenditures/economic activity</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Subregions/grids/administrative divisions</li><li>- Aggregate values for indices/areas</li><li>- Population/aging rates/road-to-area ratios, etc.</li><li>- Comparisons between cities/city analysis</li><li>- GIS/i-Urban Revitalization/e-Stat</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Buildings/land (flat)</li><li>- Topographic models (height data)</li><li>- Building use/structure/area</li><li>- City plan studies/analysis</li><li>- GIS data</li></ul>

- ADE-ovi olakšavaju dodavanje novih razreda, atributa ili odnosa
- npr. energija ADE
- Uslužna mreža ADE

[3d-urban-models-04en.png \(1200x650\) \(murata.com\)](#)

21

CityGML 3.0 osnovni podatkovni model može se proširiti ADE-ovima, ekstenzijama aplikacijske domene.

ADE olakšava sustavno proširenje CityGML konceptualnog modela novim klasama, atributima i odnosima za određene aplikacijske domene.

To znači da se ADE-ovi koriste kada praktičari žele modelirati dodatne značajke i kada GenericCityObjects i generički atributi nisu dovoljno sustavni za tu svrhu.

Mnogi ADE-ovi razvijeni su za različite primjene; na primjer, energetska ADE za potporu energetskim analizama zgrada ili komunalna mreža ADE za prikaz i analizu više mreža.

Uz CityGML 3.0, ADE-ovi postaju modeli neovisni o platformi na konceptualnoj razini. Kao takvi, mogu se slobodno kombinirati s izvornim razredima konceptualnog modela.

Opsežnu raspravu o postojećim CityGML ADE-ima pružaju Biljecki i dr. (2018) Proširenje domene aplikacije CityGML (ADE): pregled razvoja, Open Geospatial Data, Software and Standards (Otvoreni geoprostorni podaci, softver i standardi), DOI: [10.1186/s40965-018-0055-6](https://doi.org/10.1186/s40965-018-0055-6).



## Kvaliteta podataka

**3D standardi podataka**

 Co-funded by the European Union

### Kvaliteta podataka

Gradski modeli složeni su veliki skupovi podataka

Kvaliteta podataka ključno je pitanje

- Točnost
- Cjelovitost
- Upotrebljivost
- Dosljednost
- Jedinstvenost



Semantički 3D model Zagreba, Hrvatska. Snimka zaslona tvrtke ArcGIS Pro.

22

Grad-modeli su vrlo složeni s ogromnim skupovima podataka i puno informacija koje potječu iz više izvora. Stoga je kvaliteta podataka ključno pitanje koje treba razmotriti. Iz loših podataka proizlaze loše odluke.

Postoji više dimenzija kvalitete podataka. Te dimenzije mogu imati jednake ili različite težine, ali sve bi trebale biti pokriveno.

U slučaju prostornih podataka, glavne dimenzije kvalitete su točnost i potpunost.

**Pozicijska točnost:** Odgovaraju li geografske koordinate značajke koordinatama objekta u stvarnom svijetu? U istom referentnom sustavu, naravno.

**Tematska točnost:** Predstavljaju li podaci ispravno klasifikacije povezane s lokacijama ili objektima? Na primjer, je li rijeka u modelu zapravo rijeka u stvarnosti?

**Vremenska točnost:** Jesu li podaci ažurirani i predstavljaju li stvarnost tijekom potrebnog vremenskog razdoblja?

**Topološka točnost:** Odražava li prostorni odnos između obilježja ispravno njihov položaj u stvarnom svijetu?

**Cjelovitost:** Jesu li sve dostupne točke podataka u bazi podataka; nedostaju li mnoge vrijednosti za sve potrebne podatke?

Možemo dodati i druge dimenzije kao što su:

**Upotrebljivost:** Jesu li podaci usklađeni s potrebama krajnjeg korisnika? Je li razina detaljnosti primjerena za tu svrhu?

**Dosljednost:** Jesu li podaci sinkronizirani u svim izvorima podataka? Postoje li neke nemoguće



vrijednosti? **Jedinstvenost:** Postoje li duplikati u podacima? Upotrebljavaju li svi isti skup podataka?





## Kodiranje CityGML-a

**3D standardi podataka**



### Kodiranje CityGML-a

GML – Geografski jezik za označivanje




CityGML je ime i za:

- GML kodiranje na temelju XML-a
- konceptualni model podataka

Izdaje Open Geospatial Consortium (OGC)

CityGML 3 omogućuje kodiranje podataka u XML-u, JSON-u ili shemama baze podataka

Three encodings:

- XML-based → 
- JSON-based → 
- SQL-based → 

23

Prvo, treba napomenuti da je CityGML naziv i za GML kodiranje i za model podataka.

GML ostaje za [Geography Markup Language verziju 3.1.1 \(GML3\)](#). Riječ je o proširivoj međunarodnoj normi za razmjenu prostornih podataka koju su izdali [Open Geospatial Consortium \(OGC\)](#) i [ISO TC211](#), a koja omogućuje jednostavan i besplatan pristup cijeloj međunarodnoj zajednici.

CityGML 3 omogućuje kodiranje podataka u GML/XML, ali i u JSON ili sheme baze podataka.



## Kodiranje u XML-u

### 3D standardi podataka



Co-funded by  
the European Union

#### Kodiranje u XML-u

Izvorno kodiranje CityGLM-a

- glagol
- hijerarhijska
- složena
- nije prilagođena za internet

Više se ne koristi puno

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <CityModel xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
3   xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
4   xmlns:bldg="http://www.opengis.net/citygml/building/2.0"
5   xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/citygml/2.0">
6   <cityObjectMember>
7     <bldg:Building gml:id="9a06451677c7">
8       <bldg:function>1070</bldg:function>
9       <bldg:lod1Solid>
10         <gml:Solid>
11           <gml:exterior>
12             <gml:CompositeSurface>
13               <gml:surfaceMember>
14                 <gml:Polygon>
15                   <gml:exterior>
16                     <gml:LinearRing>
17                       <gml:pos>0.0 0.0 0.0</gml:pos>
18                       <gml:pos>0.0 1.0 0.0</gml:pos>
19                       <gml:pos>1.0 1.0 0.0</gml:pos>
20                       <gml:pos>1.0 0.0 0.0</gml:pos>
21                       <gml:pos>0.0 0.0 0.0</gml:pos>
22                     </gml:LinearRing>
23                   </gml:exterior>
24                 </gml:surfaceMember>
25               </gml:CompositeSurface>
26             </gml:exterior>
27           </gml:Solid>
28         </bldg:lod1Solid>
29       </bldg:Building>
30     </cityObjectMember>
31 </CityModel>
```

24

Izvorno, CityGML su XML datoteke. Primjer je prikazan na slici. Kao što možemo vidjeti, XML kodiranje je glagolsko, hijerarhijsko, složeno i nije prilagođeno webu. Stoga se više ne koristi puno (u CityGML 3).





## CityJSON Kodiranje I

### 3D standardi podataka



### CityJSON Kodiranje I

- najčešće korištena alternativa XML kodiranju JSON - JavaScript Object Notation
- čak i CityJSON je OGC standard
- koordinate su pohranjene samo na jednom mjestu, u posebnom nizu, tj. „vertices”

CityJSON omogućuje potpunu kompresiju i pojednostavljuje strukturu datoteka u usporedbi s XML kodiranjem (desna slika)  
Primjer koordinata u CityJSON-u (lijevo)

```
1  "vertices": [  
2    [23234, 111009, 1392],  
3    [29456, 115134, 1007],  
4    [54508, 229995, 1961],  
5    ...  
6    [23134, 625134, 203]  
7  ]
```

```
1  "CityObjects": {  
2    "id-1": {  
3      "type": "Building",  
4      "attributes": {...},  
5      "children": ["id-2", "id-3"],  
6      "geometry": [{...}]  
7    },  
8    "id-2": {  
9      "type": "BuildingPart",  
10     "parents": ["id-1"],  
11     "geometry": [{...}]  
12     ...  
13   },  
14   "id-3": {  
15     "type": "BuildingPart",  
16     "parents": ["id-1"],  
17     "geometry": [{...}]  
18     ...  
19   }  
20 }
```

25

Trenutno, najčešće korištena alternativa XML kodiranju CityGML-a je CityJSON (JavaScript Object Notation).

Čak je i CityJSON standard otvorenog geoprostornog konzorcija (OGC). Trenutna verzija CityJSON-a je 1.1.3 i pruža brojne prednosti u odnosu na CityGML-XML.

### [CityJSON specifikacije 1.1.3](#)

Prvo, koordinate su pohranjene samo na jednom mjestu, u zasebnom nizu, tj. "vertices" vlasništvu. CityJSON objekta. Geometrijski primitivi zatim se odnose na položaj vrha u nizu.

## CityJSON Kodiranje II

### 3D standardi podataka

### CityJSON Kodiranje II

Grad JSON:

- vrlo je pogodan za web aplikacije
- smanjuje veličinu podataka; JSON datoteka zauzima oko 6x manje prostora od XML
- može se pohraniti kako u relacijskoj tako i u no-SQL bazi podataka

Dvije vrste gradskih objekata – 1.<sup>i</sup>  
2. razina (roditelji i djeca)



[CityJSON specifikacije 1.1.3](#)

26

Zatim, JSON dominira webom, što razmjenu podataka između aplikacija čini jednostavnim zadatkom.

Treće, JSON smanjuje veličinu podataka; JSON datoteka zauzima oko 6x manje prostora od XML-a.

Naposljetku, JSON datoteke mogu se pohranjivati i u relacijskim i u ne-SQL bazama podataka.

U JSON-u je shema CityGML-a izravnana u usporedbi s XML kodiranjem, kako je prikazano na slici.

Postoje dvije vrste gradskih objekata u CityJSON: 1. razina, ili roditelji, koji mogu postojati sami, poput izgradnje, mosta ili vodnog tijela.

I 2. razina, ili djeca, koja moraju imati „roditelje” da bi postojala. Primjeri mogu biti građevinski dio, namještaj ili soba. Na slici je prikazano više primjera. I gradski objekti prve i druge razine pohranjeni su u rječniku "CityObjects".



Gradski objekt mora imati minimalno svojstvo "geometrije". Ako se atributi pohranjuju, moraju biti u svojstvu "atributa". Time se pojednostavljuje rad razvojnog programera jer postoji jedinstvena ulazna točka za sve geometrije i attribute (za razliku od XML kodiranog CityGML-a).

Da biste istražili jednostavan CityJSON model, idite na: <https://ninja.cityjson.org/>, koji je besplatan internetski preglednik JSON-a, i učitajte LoD3\_Railway.city.json, koji je dostupan uz predavanje.

Alternativno, možete ga preuzeti na sljedećoj poveznici: [Skupovi podataka ?? CityJSON](#), zajedno s drugim .json datotekama

## 3D kodiranje baze podataka grada

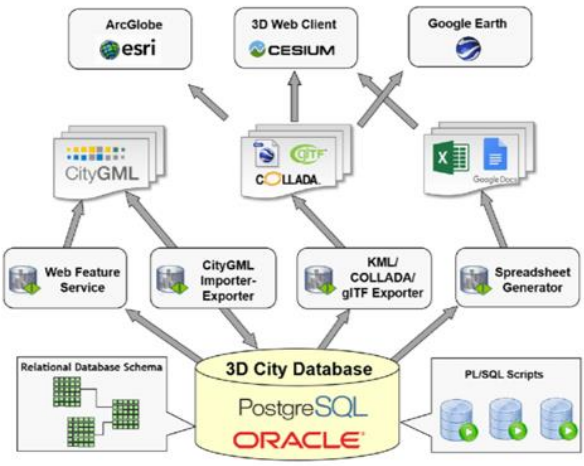
**3D standardi podataka**

 Co-funded by the European Union

### 3D kodiranje baze podataka grada

- shema baze podataka pod nazivom 3DCityDB
- nije službeni standard
- čak i softver otvorenog koda

[baza podataka 3DCityDB – početna stranica](#)



The diagram illustrates the 3DCityDB architecture. At the center is the '3D City Database' which supports 'PostgreSQL' and 'ORACLE'. It is connected to a 'Relational Database Schema' and 'PL/SQL Scripts'. The database interacts with several services: 'Web Feature Service', 'CityGML Importer-Exporter', 'KML/ COLLADA/ gITF Exporter', and 'Spreadsheet Generator'. These services then connect to various clients and standards: 'ArcGlobe esri', '3D Web Client CESIUM', 'Google Earth', 'CityGML', 'COLLADA', and 'Google Docs'.

3DCityDB - rješenje za 3D geobazu podataka za upravljanje, analizu i vizualizaciju semantičkih 3D gradskih modela temeljenih na CityGML-u, Yao et al. (2018)

27

Treće CityGML kodiranje je shema baze podataka nazvana 3DCityDB. Može se implementirati i za PostgreSQL i Oracle Spatial. To je softver otvorenog koda i iako nije službeni standard, koristi ga nekoliko općina širom svijeta.

Široko korišteni softverski paket koji se bavi 3D modelima naziva se 3D City Database, skraćeno kao 3DCityDB. To je besplatna shema baze podataka otvorenog koda za prostorno poboljšane sustave upravljanja relacijskim bazama podataka, kao što su ORACLE Spatial ili PostgreSQL/PostGIS.

Uz sustav baze podataka, 3DCityDB pruža sve potrebne alate, uključujući održavanje i web-vizualizaciju 3D modela gradova.

Za tutorijale / tečaj vidjeti

[http://www.3dcitydb.net/3dcitydb/fileadmin/TUM\\_Workshop/Documents/Tutorial.pdf](http://www.3dcitydb.net/3dcitydb/fileadmin/TUM_Workshop/Documents/Tutorial.pdf)

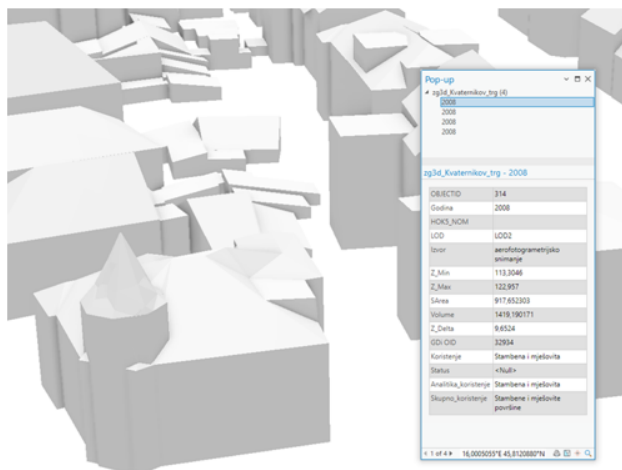
## Ostali 3D formati

### 3D standardi podataka

#### Ostali 3D formati

GML se može kombinirati s mnogim drugim formatima

- Usluga značajke weba (WFS)
- Usluga obrade podataka putem interneta (WPS)
- KML/COLLADA ili X3D datoteke
- Web 3D servis (W3DS)
- Usluga internetskog terena (WTS)
- Unutarnji GLM



Primjer 3D modela

28



Kao OGC standard, GML3 se može kombinirati s cijelim nizom drugih OGC standarda. Web Feature Service (WFS), Catalog Service (CS-W), Web Coordinate Transformation Service (WCTS) i Web Processing Service (WPS) posebno su važni za pristup, obradu i identificiranje CityGML resursa.

Za 3D vizualizaciju, CityGML je osnovni format iz kojeg se 3D grafički formati mogu lako izvesti. Bogate semantičke informacije o CityGML objektima također pomažu u automatskoj kartografskoj generalizaciji i simbolizaciji. Također je pogodan za generiranje računalne grafike prikazane npr. kao KML/COLLADA ili X3D datoteke. Odgovarajuće OGC usluge prikazivanja su Web 3D usluga (W3DS) i Web Terrain Service (WTS).

Tu je i unutarnji GML za modeliranje podataka unutarnjeg prostora i navigaciju. Ima minimalno preklapanje s CityGML-om, ali je moguće kombinirati ova dva (CityGML i Indoor GLM) u jednom modelu, ako je potrebno.


## LandInfra


**3D standardi podataka**


 Co-funded by the European Union

### LandInfra

- Još jedan 3D podatkovni standard
- Zemljište i niskogradnja
- Neki se preklapaju sa CityGML-om
- Uključuje značajke koje nisu dostupne u CityGML-u

**IFC**

**CityGML**

**LandInfra**

[Usporedba između IFC-a, CityGML-a i LandInfra-a. Izvor: LandInfra BIM GIS.pdf Hrvatski](#)

29

Osim CityGML-a, postoji još jedan 3D standard podataka pod nazivom LandInfra.

Riječ je o konceptualnom modelu za zemljišnu i građevinsku infrastrukturu. Kao takav, objavljuje se za unaprijed određene slučajeve uporabe kao što su objekti, projekti, cesta, željeznica, izmjera, podjela zemljišta, otpadne vode ili sustavi distribucije vode.

LandInfra ima određeno potencijalno preklapanje s CityGML-om, ali ne podržava ADE-ove i granice određivanja.

S druge strane, uključuje neke značajke koje nisu dostupne u CityGML-u. Među njima su: poboljšano modeliranje podataka o podzemlju, okvir za modeliranje pravnih informacija i pohranjivanje informacija povezanih s istraživanjem.

Čak se i djelomično preklapa s .ifc, ali se još ne koristi za premošćivanje jaza između BIM-a i GIS-a.

Da biste saznali više, možete pročitati članak [LandInfra BIM GIS.pdf](#)

## INSPIRE 3D građevine

## 3D standardi podataka



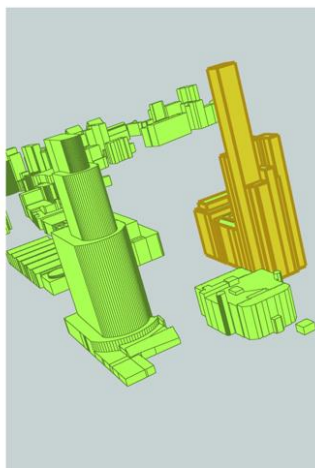
Co-funded by  
the European Union

## INSPIRE 3D građevine

Pod utjecajem CityGLM-a,  
ali pojednostavljeno

Cilj je zajamčiti  
interoperabilnost  
prostornih podataka i  
usluga iz različitih država  
članica EU-a

Zahtjevi direktiva EU-a  
(npr. buka, energetska  
učinkovitost)

[illegible]

INSPIRE Zgrade GML pregledan s Data Inspector. Od: [Pretvaranje CityGML-a u INSPIRE 3D zgrade \(Prilog III.\) \(safe.com\)](#)

30

CityGML je snažno utjecao na model za INSPIRE 3D zgrade.

INSPIRE GML uključuje atribute za potporu mandatu INSPIRE-a, od kojih su mnogi zajednički drugim temama INSPIRE-a.

INSPIRE Zgrade su donekle pojednostavljene, u usporedbi s CityGML-om. Na primjer, prozori i vrata nisu potrebni, dijelovi ne mogu imati poddijelove, a izgled je pojednostavljen.

INSPIRE specifikacija podataka ne zahtijeva prikupljanje novih podataka. Cilj mu je zajamčiti interoperabilnost prostornih podataka i usluga iz različitih država članica EU-a. To se odnosi na zahtjeve povezane s europskim izvješćivanjem, kao što su Direktiva o buci, Direktiva o kvaliteti zraka ili Direktiva o energetske svojstvima zgrada.



## Reference

Malhotra i dr. (2022.) Information modelling for urban building energy simulation –A taxonomic review (Informacijsko modeliranje za simulaciju energije u urbanim zgradama – taksonomski pregled). Zgrada i okoliš 208, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108552>

Ledoux (2018) CityGML i njegova dva kodiranja CityGML i CityJSON, prezentacija Sveučilište Delft

Ken Arroyo Ohori, Hugo Ledoux i Ravi Peters (2020.–2022.): 3D modeliranje izgrađenog okoliša, dostupno na: [Izdanja · tudelft3d / 3dbook \(github.com\)](#)

Sahleb (2019) Automatska pretvorba CityGML-a u IFC, TU Delft, mag. disertacija