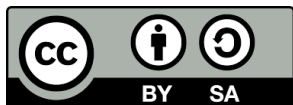


3D standardi podataka

Ariana.kubart@ocellus.se



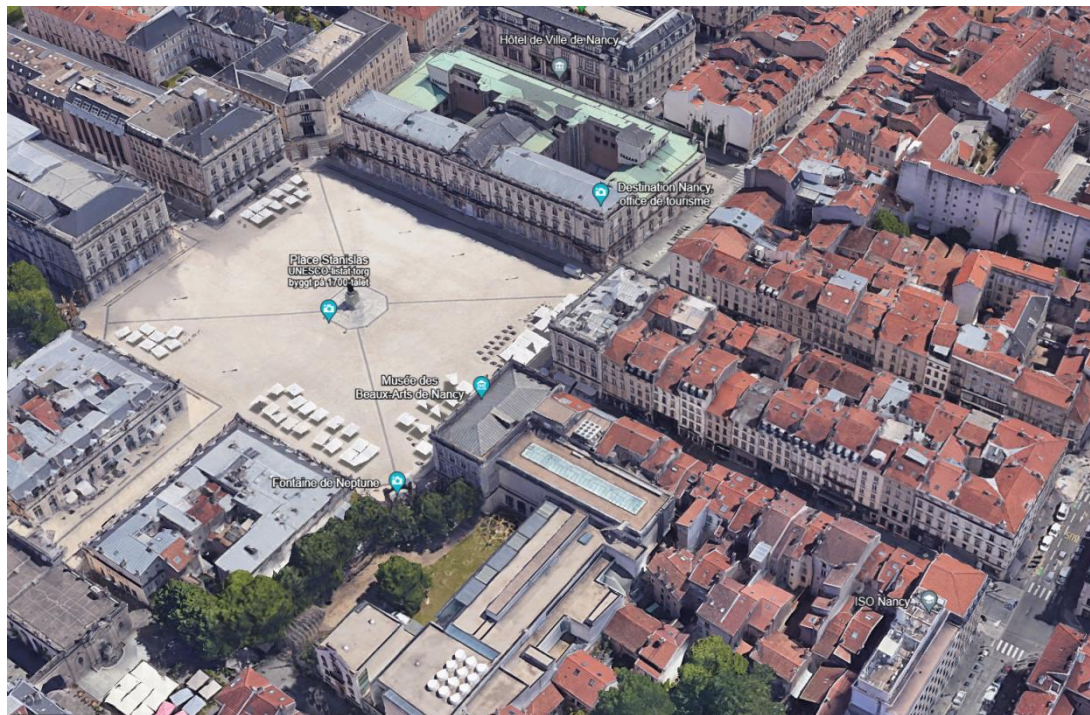
Ishodi učenja

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

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

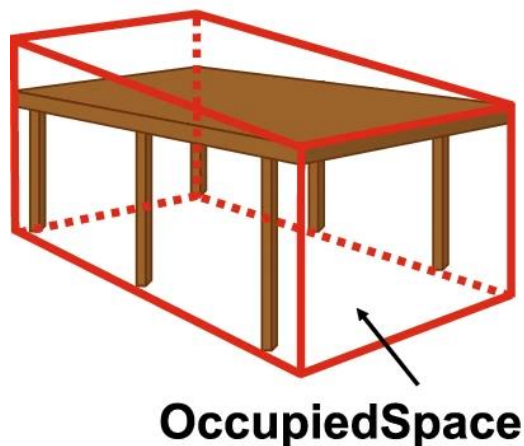


Mnogo semantičkih informacija može se dodati u 3D model
3D model Nancy, Francuska, Google Earth

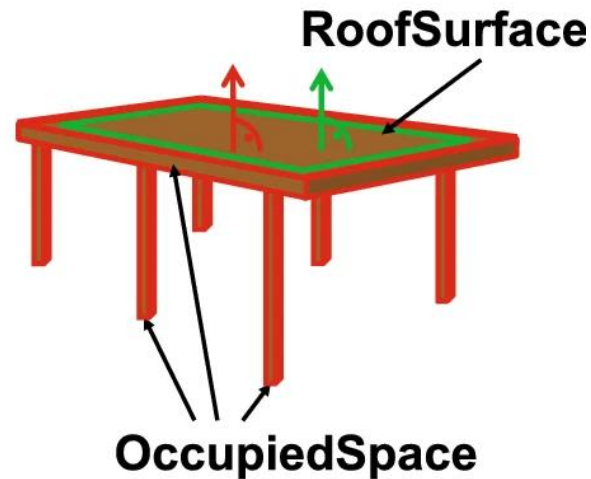
CityGML standard

- 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



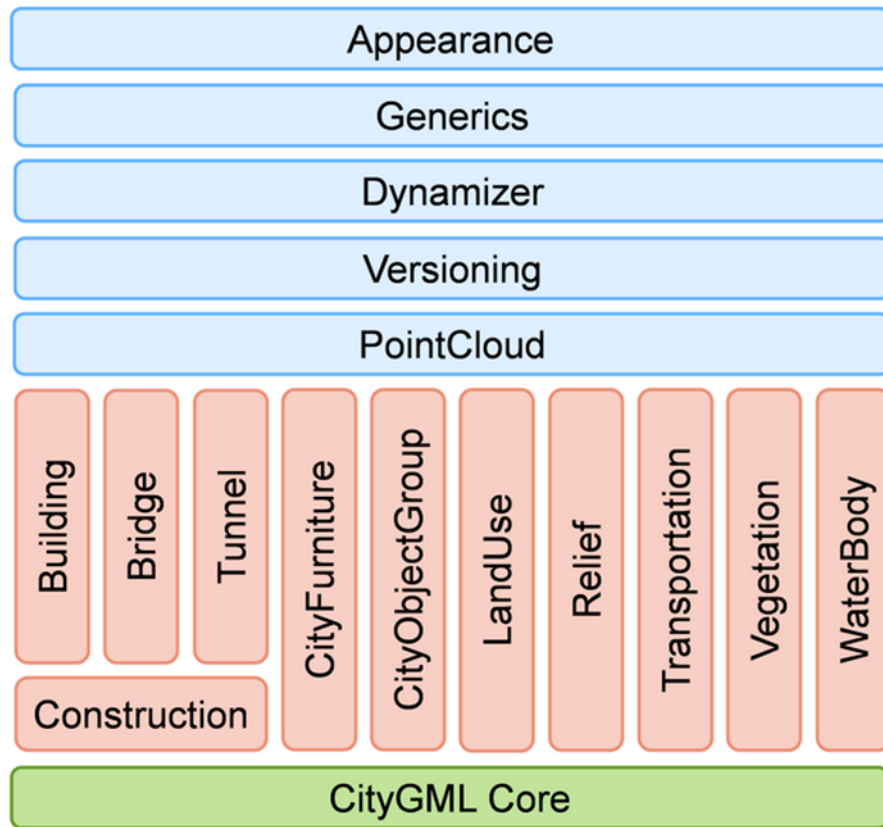
Carport in LOD2/3



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

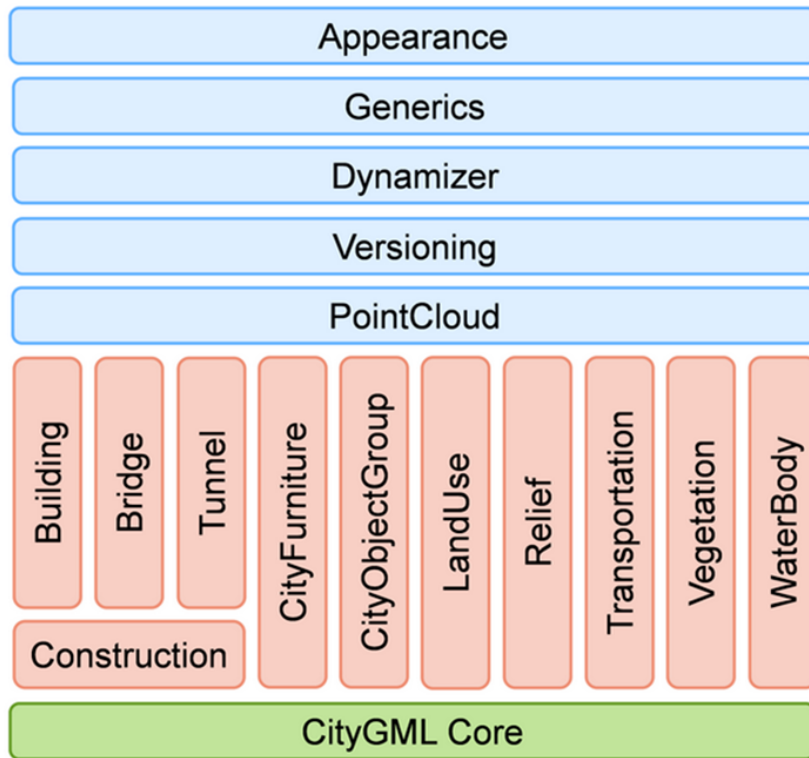
CityGML konceptualni model (CM)

- Zajednički gradski objekti trebaju biti opisani na isti način u svim modelima
- CityGML definira klase najvažnijih objekata, kako ih razgraditi i korisne attribute
- Ovi razredi su definirani u CityGML konceptualnom modelu



Moduli razreda na CM-u

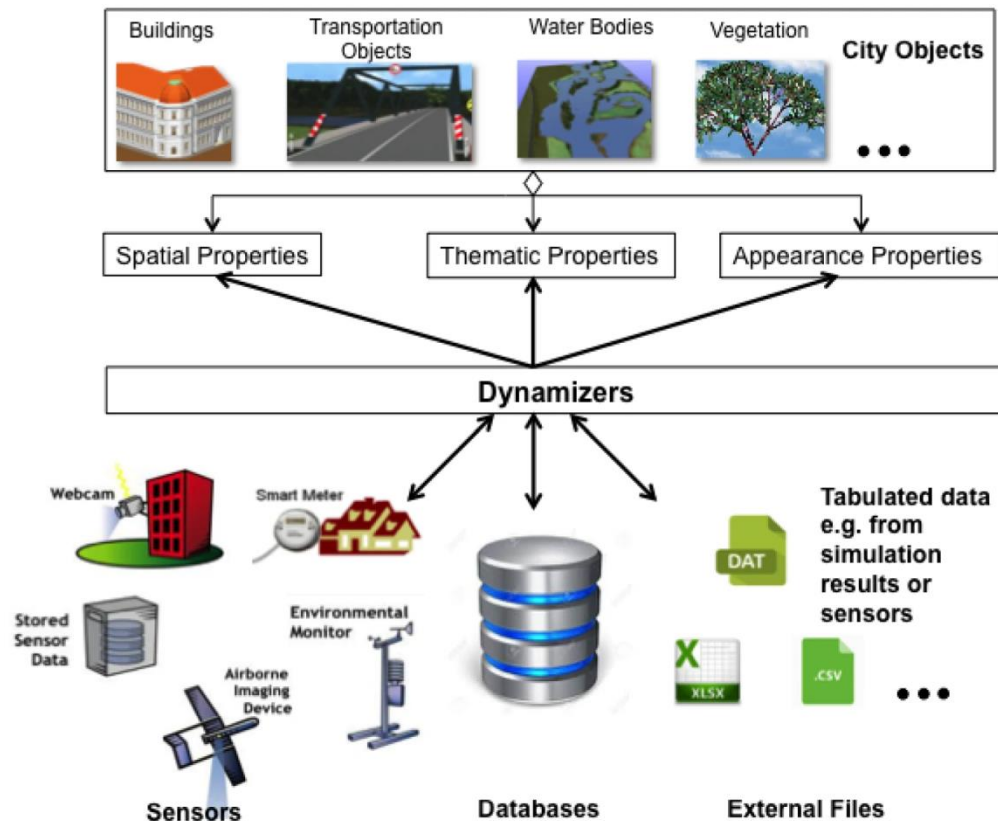
- Moduli klase proširenja, prikazani okomito u ruži
- Moduli su specifični tematski razredi najvažnijih predmeta
- Ne moraju svi prošireni moduli biti uključeni u 3D model



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

Specifični Aspect Moduli na CM-u

- Pet vertikalnih modula plave boje na tržištu kapaciteta
- Dodajte specifične aspekte modeliranja, npr. teksture, boje, vrijeme, verzije modela...
- Može se koristiti zajedno sa svim proširenim modulima



Konceptualni prikaz Dynamizers omogućujući poboljšanje svojstava gradskih objekata,
Od: [CityGML 3.0: Nove funkcije otvaraju nove aplikacije](#)

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

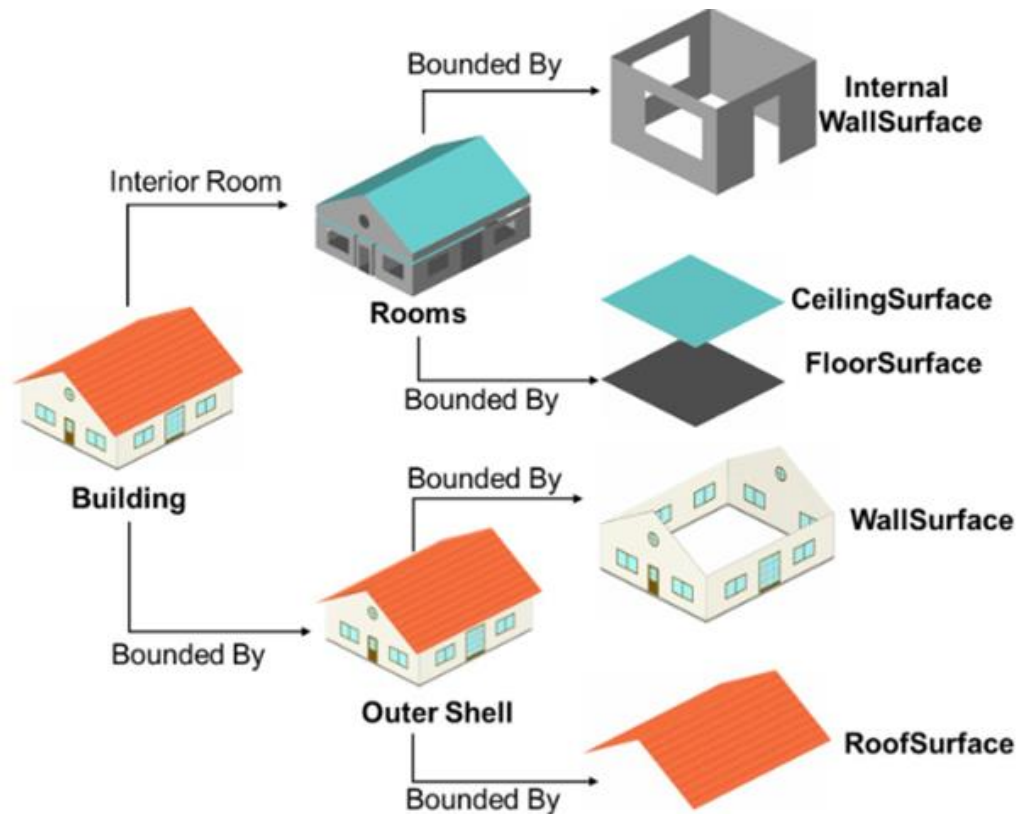


TU Delft primjer pet vrsta krovova: ravna, zabata, hipped, piramidalan, i prolio.

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

Agregacijska shema

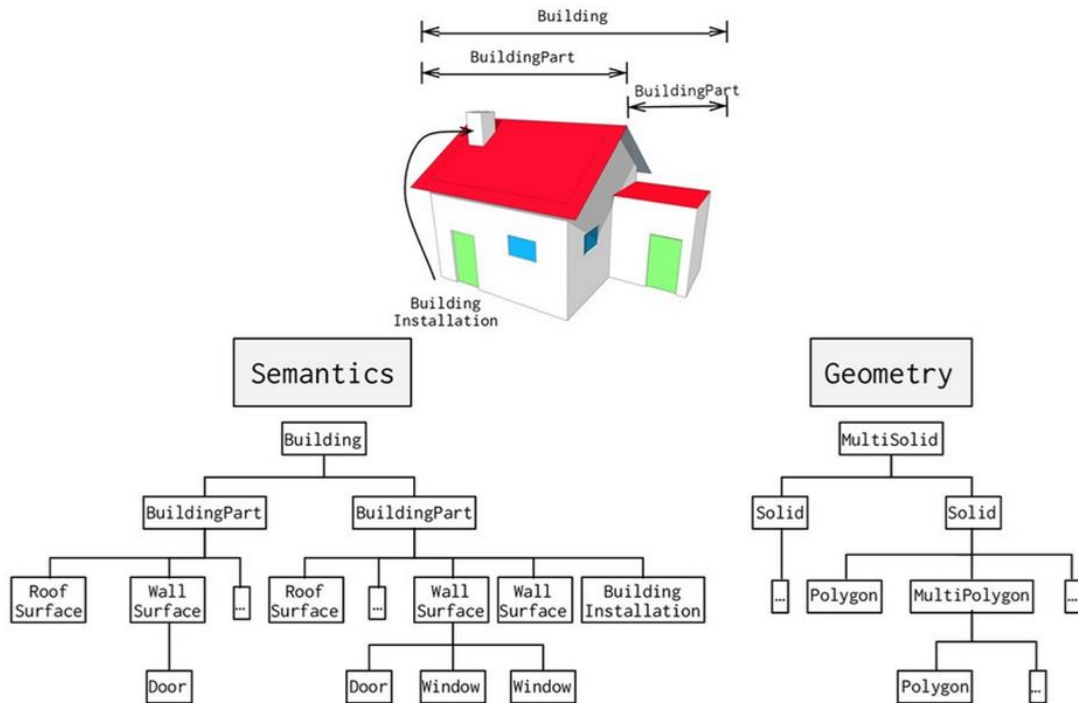
- Mogu postojati hijerarhijski odnosi među gradskim objektima
- Hijerarhija agregiranja – cijela zgrada i njezina razgradnja na dijelove (vidjeti sliku)
- Korisno za upite, simulacije i analize



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



Razina detalja, LoD I

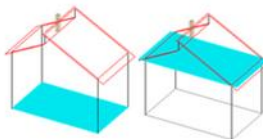
LOD0 – vrlo generalizirani model

LOD1 – Blok-model / predmeti za ekstruziju

LOD2 – realan, ali još uvijek općenit model

LOD3 – vrlo detaljan model

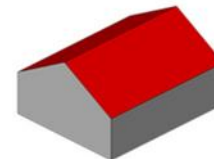
LOD0



LOD1



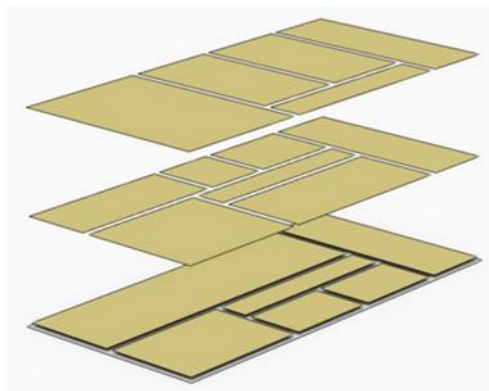
LOD2



LOD3



Prikaz iste zgrade u stvarnom svijetu u razinama detalja 0-3



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>

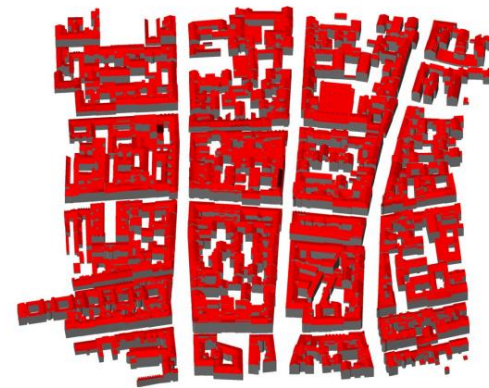
Razina detalja, LoD II

- 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

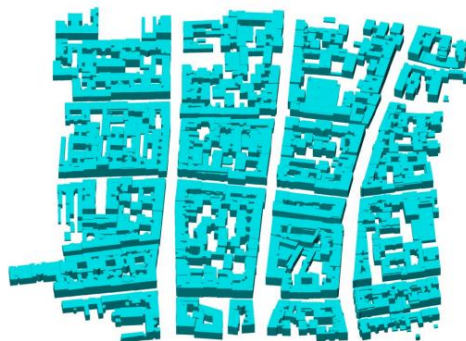
Vizualni prikaz nekoliko stambenih blokova u Beču (a) temeljna slika s Google karata, (b) prikaz otvorenog modela LoD2 CityGML, (c) model LoD1 transformiran iz modela LoD2, (d) modeli LoD0 CityGML. Iz Malhotra i dr. (2021.)



(a)



(b)



(c)

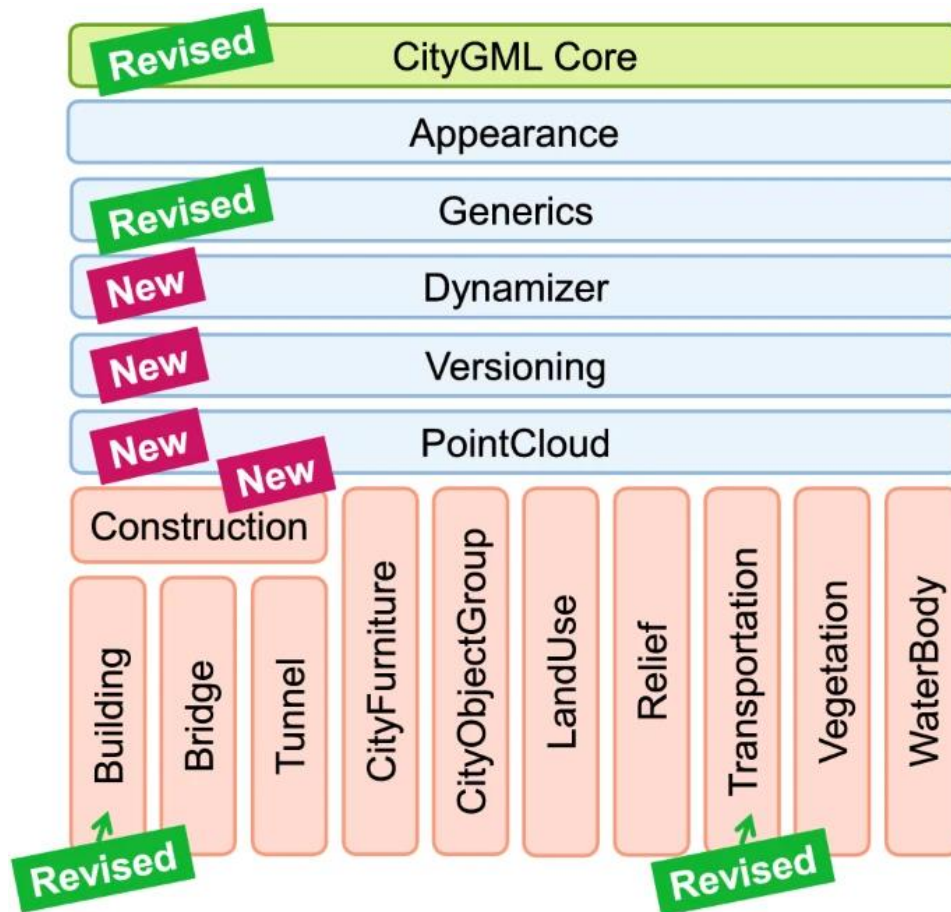


(d)

Prethodne verzije CityGLM, 1.0 i 2.0

- CityGML 3.0 je evolucija verzija 1.0 i 2.0.
- 1.0 i 2.0 još uvijek se koriste u mnogim modelima, ali se mogu ažurirati na 3.0
- 3.0 ima brojne nove mogućnosti

Novi i ponovno pregledani dijelovi verzije 3.0, u usporedbi s 2.0. Od: Kutzner i dr. (2020.) [CityGML 3.0: Nove funkcije otvaraju nove aplikacije ?? PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science \(Springer.com\)](#)



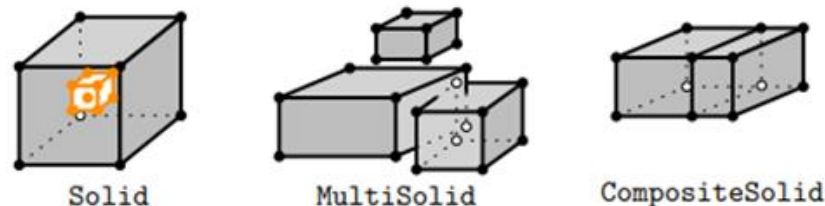
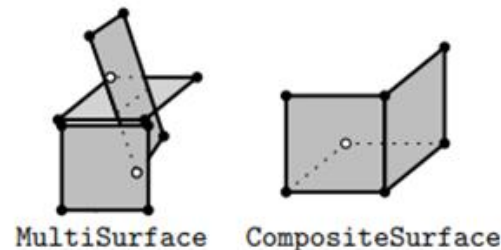
Geometrijska reprezentacija

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

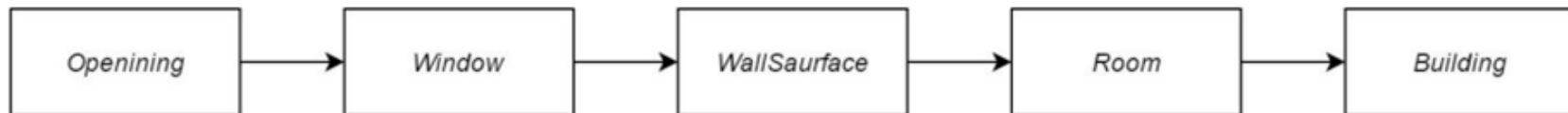
Među njima su:

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

Sve geometrije spremljene u osnovnom modulu



Zastupljenost topologije

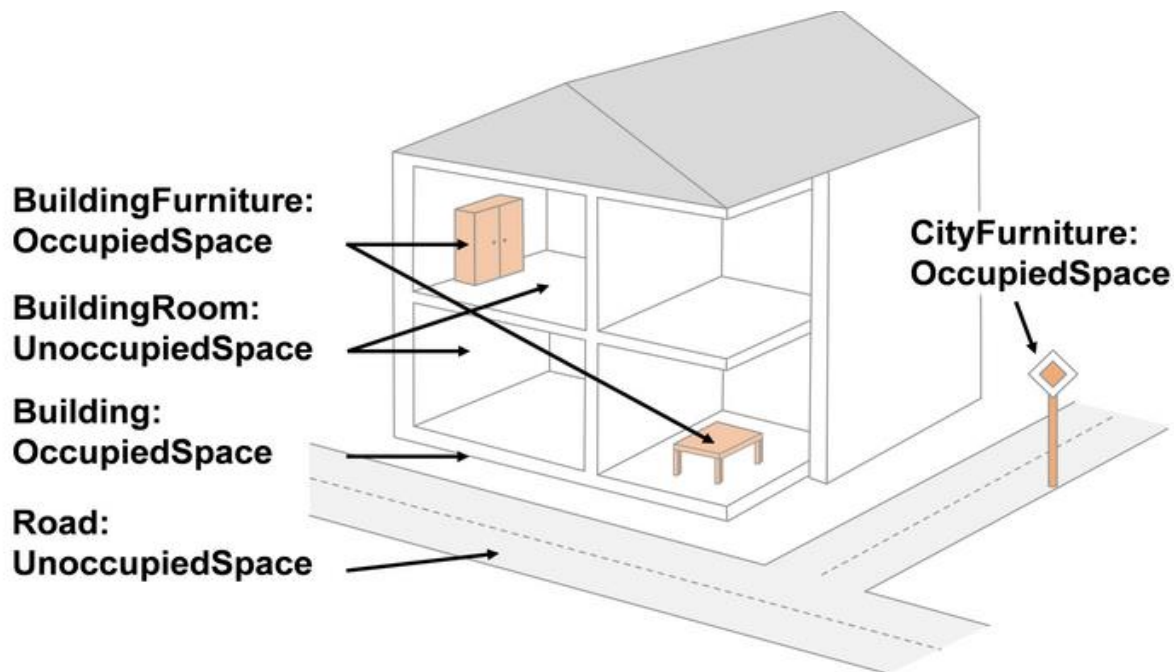


CityGML shema prikazuje odnos od prozora prema sobi do zgrade. Od: Salheb (2019)
Automatska pretvorba CityGML-a u IFC

- 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...)

Fizički i logički prostori

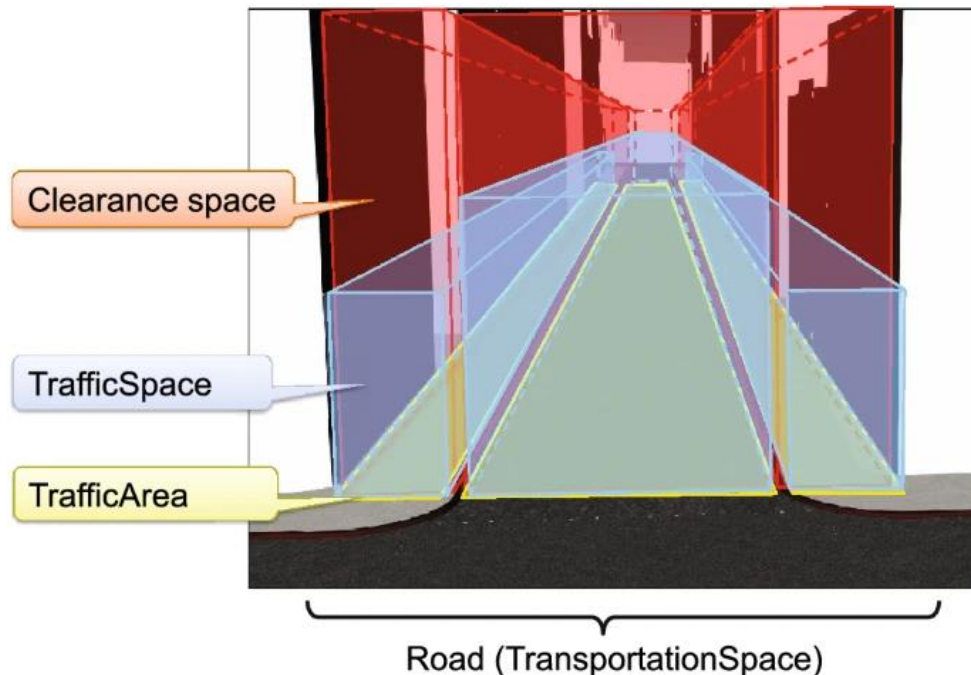
- Fizički prostori omeđeni su fizičkim objektima, npr. zgradama, drvećem...
- Zauzeto ili nenastanjeno (vidjeti sliku)
- Logički prostori – tematski, npr. gradska četvrt, samostalna uporabna cjelina zgrade



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

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

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

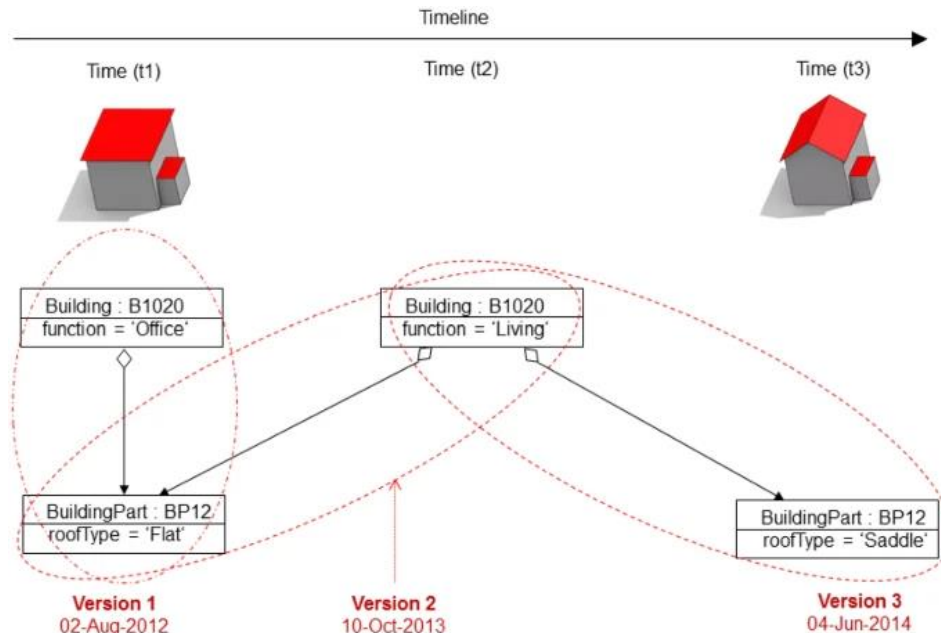


Snimka zaslona ArcGIS Pro s pomoću Esrijevih podataka za osposobljavanje

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>
```



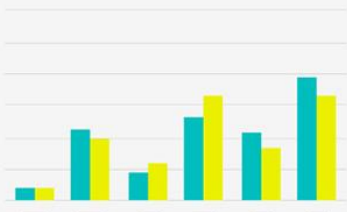
Primjer verzija koje predstavljaju preinake zgrade (nadogradnju)
Prikaz različitih verzija gradskih objekata unutar jednog CityGML skupa podataka kodiranih u GML-u (lijevo)
Od: Kutzner i dr. (2020.) CityGML 3.0: Nove funkcije otvaraju nove aplikacije

Proširenja aplikacijske domene, ADE

Data added using the CityGML ADE feature

LOD (-2)

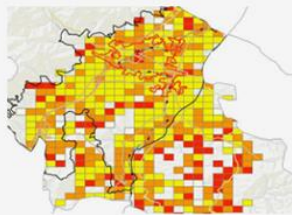
Graphs and charts



- National level, city level
- Indexing and projecting
- National government income and expenditures/economic activity

LOD (-1)

Heat maps



- Subregions/grids/administrative divisions
- Aggregate values for indices/areas
- Population/aging rates/road-to-area ratios, etc.
- Comparisons between cities/city analysis
- GIS/i-Urban Revitalization/e-Stat

LOD 0

Basic city planning maps



- Buildings/land (flat)
- Topographic models (height data)
- Building use/structure/area
- City plan studies/analysis
- GIS data

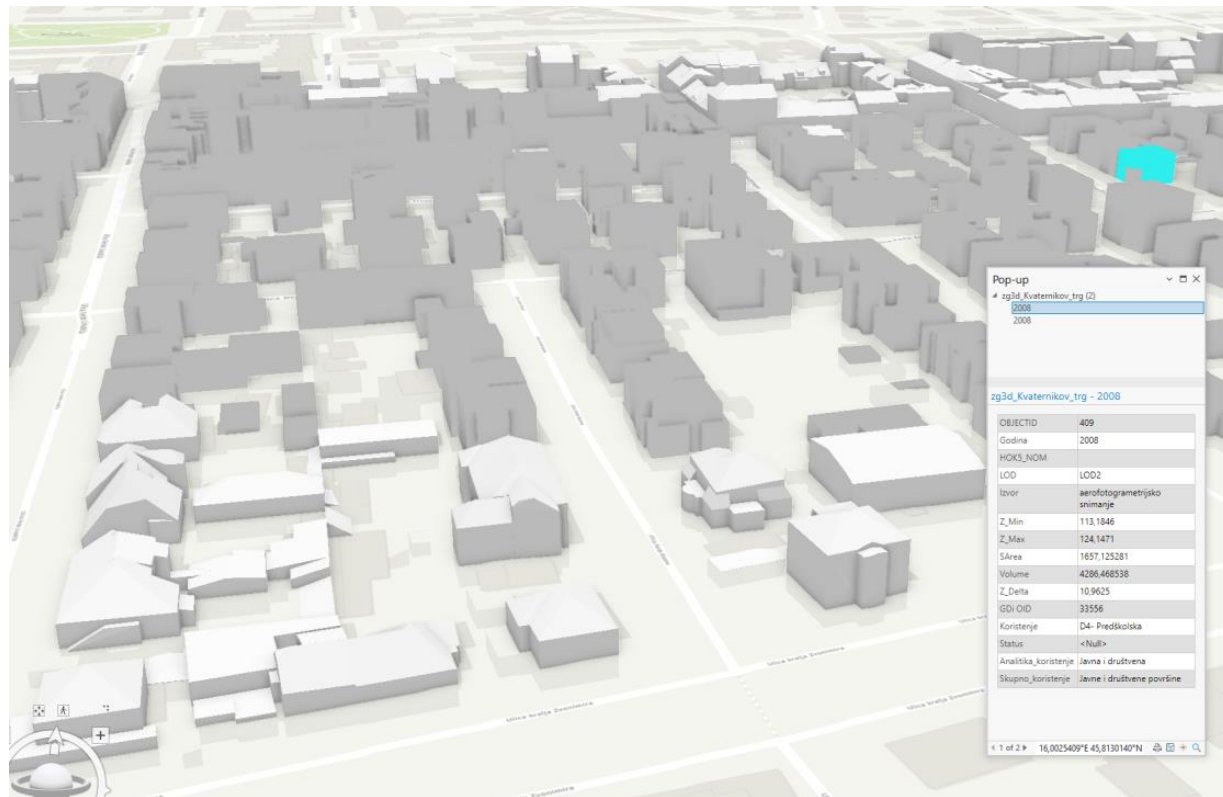
- ADE-ovi olakšavaju dodavanje novih razreda, atributa ili odnosa
- npr. energija ADE
- Uslužna mreža ADE

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.

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 →



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="http://www.opengis.net/citygml/2.0"
5   xmlns:bldg="http://www.opengis.net/citygml/building/2.0"
6   xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/citygml/2.0">
7   <cityObjectMember>
8     <bldg:Building gml:id="9a06451677c7">
9       <bldg:function>1070</bldg:function>
10      <bldg:lod1Solid>
11        <gml:Solid>
12          <gml:exterior>
13            <gml:CompositeSurface>
14              <gml:surfaceMember>
15                <gml:Polygon>
16                  <gml:exterior>
17                    <gml:LinearRing>
18                      <gml:pos>0.0 0.0 0.0</gml:pos>
19                      <gml:pos>0.0 1.0 0.0</gml:pos>
20                      <gml:pos>1.0 1.0 0.0</gml:pos>
21                      <gml:pos>1.0 0.0 0.0</gml:pos>
22                      <gml:pos>0.0 0.0 0.0</gml:pos>
23                    </gml:LinearRing>
24                  </gml:exterior>
25                </gml:Polygon>
26              </gml:surfaceMember>
27            ...
28          </bldg:Building>
29          <bldg:Building gml:id="jdhd76sa">
30            ...
31          </bldg:Building>
32        </cityObjectMember>
33      </CityModel>
```


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 }
```

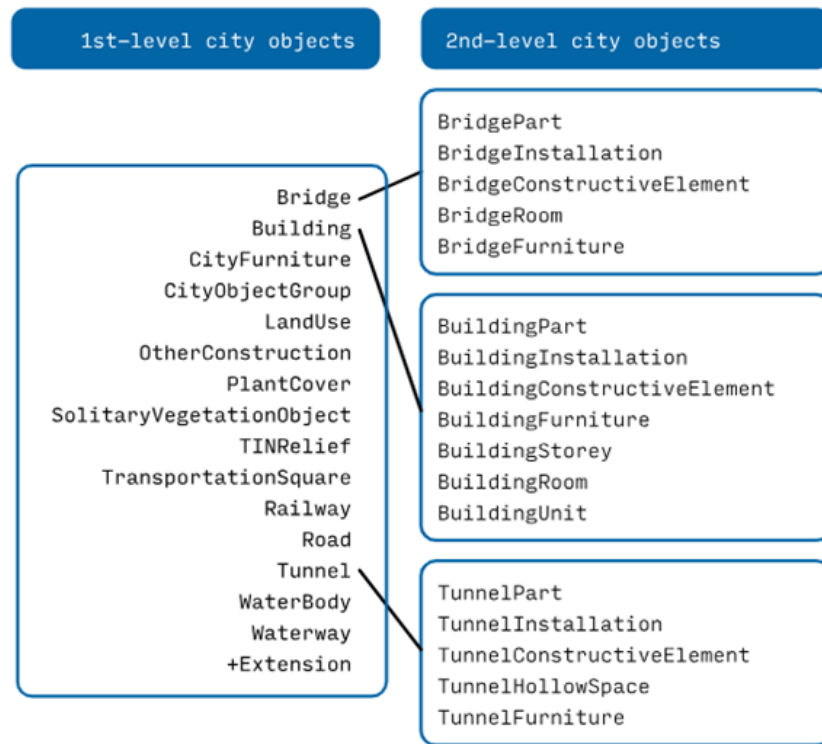

CityJSON Kodiranje II

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.ⁱ

2.^{razina} (roditelji i djeca)

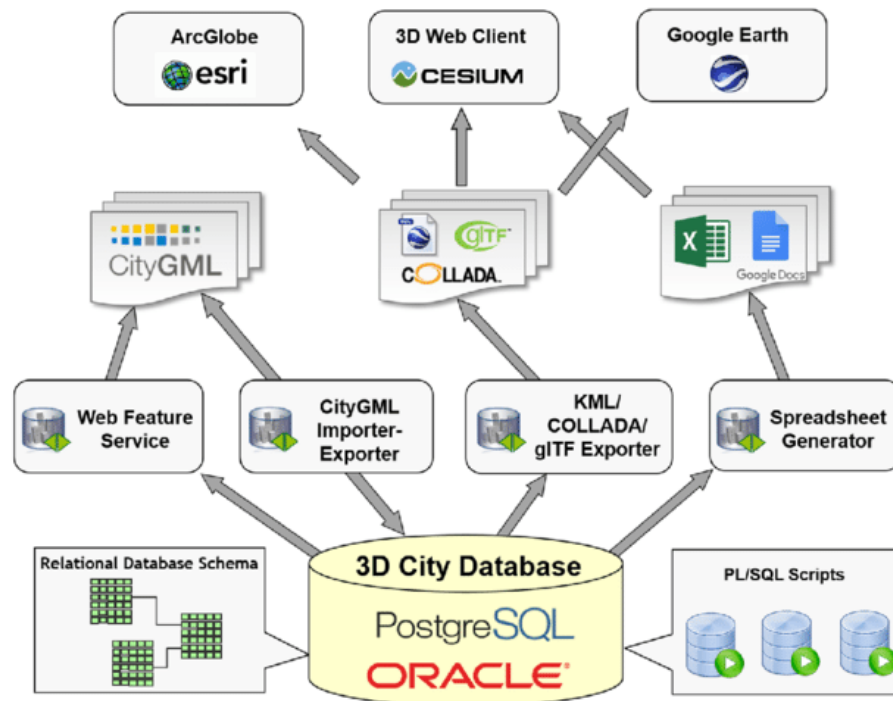


[CityJSON specifikacije 1.1.3](#)

3D kodiranje baze podataka grada

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

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

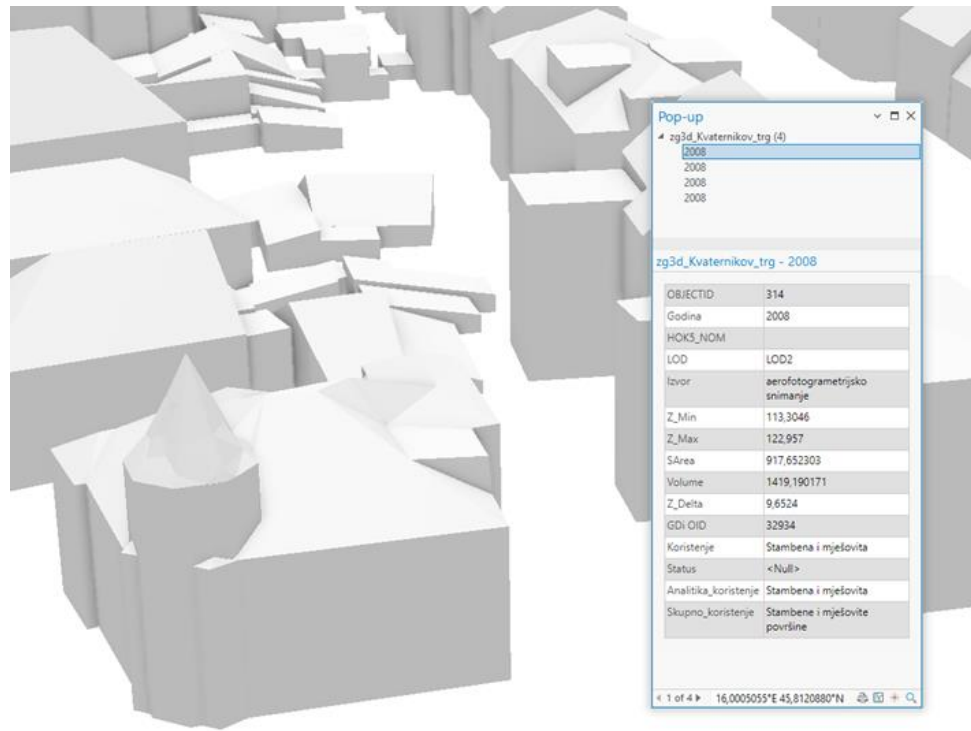


3DCityDB - rješenje za 3D geobazu podataka za upravljanje, analizu i vizualizaciju semantičkih 3D gradskih modela temeljenih na CityGML-u, Yao et al. (2018)

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

LandInfra

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



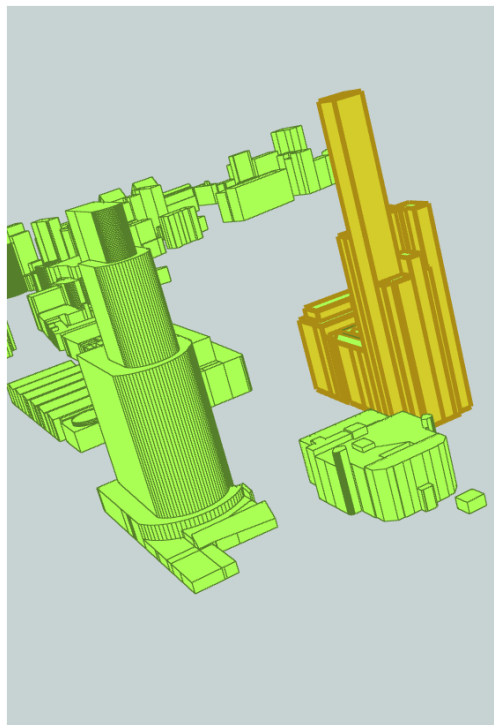
[Usporedba između IFC-a, CityGML-a i LandInfra-a. Izvor: LandInfra BIM_GIS.pdf Hrvatski](#)

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)



Property	Value
Feature Type	BuildingPart
Coordinate System	EPSG:28992
Dimension	3D
Number of Vertices	606
Min Extents	92930.945999999996, 435425.1972, 0.0
Max Extents	93029.243000000002, 435500.672000000002, 135.50008840000001
Attributes (12)	
beginLifespanVersion (encoded: utf-16)	2013-01-15T00:00:00
conditionOfConstruction.owns (encoded: utf-16)	false
conditionOfConstruction.xsi_nil (encoded: utf-16)	true
fme_geometry (string)	fme_aggregate
fme_type (string)	fme_area
geometry3DLoD2.BuildingGeometry3DLoD2.horizontalGeometry...	1.0
geometry3DLoD2.BuildingGeometry3DLoD2.horizontalGeometry...	m
gml_id (encoded: utf-16)	fme-gen-778f112c-1978-4-ca9-a52d-f1c525f42f52
gml_original_coordinate_system (encoded: utf-16)	EPSG:28992
inspireId.Identifier.localId (encoded: utf-16)	fme-gen-778f112c-1978-4-ca9-a52d-f1c525f42f52
inspireId.Identifier.namespace (encoded: utf-16)	EUJRC.BU
xml_type (string)	xml_area
IFEMultiArea (123 Parts)	
Name (encoded: utf-16)	geometry3DLoD2.BuildingGeometry3DLoD2.geometryMultiSurface
Geometry Traits (1)	
Part 0: IFMEPolygon	
Name (encoded: utf-16)	surfaceMember
Geometry Traits (1)	
gml_id (encoded: utf-16)	fme-gen-778f112c-1978-4-ca9-a52d-f1c525f42f52-1
Linear Boundary	True
Convex	True
Orientation	Right Hand Rule
Boundary: IFMELINE (4 Coordinates)	(92971.863129999998, 435461.867299999998, 32.1908558399999998, ...)
Closed	Yes
Coordinates (4)	
0	92971.863129999998, 435461.867299999998, 32.1908558399999998
1	92983.949670000002, 435471.024700000001, 32.1909623299999998
2	92983.949670000002, 435471.024700000001, 32.19067957
3	92971.863129999998, 435461.867299999998, 32.1908558399999998
Part 1: IFMEPolygon	
Name (encoded: utf-16)	surfaceMember
Geometry Traits (1)	
gml_id (encoded: utf-16)	fme-gen-778f112c-1978-4-ca9-a52d-f1c525f42f52-2
Linear Boundary	True
Convex	True
Orientation	Right Hand Rule
Boundary: IFMELINE (5 Coordinates)	(92983.949670000002, 435471.024700000001, 32.1909623299999998, ...)
Closed	Yes

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

Hvala na pažnji



<https://birgitproject.eu/>

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.