

UDK 528.93:911.375:004.92(497.561Krk)  
Pregledni znanstveni članak / Review

# Optimizacija razine detalja 3D kartografskog prikaza na primjeru grada Krka

**Bartol ŽIC – Krk<sup>1</sup>, Robert ŽUPAN, Stanislav FRANGEŠ – Zagreb<sup>2</sup>**

*SAŽETAK.* U radu je objašnjen pojam 3D modela grada te načini i razlozi optimizacije 3D kartografskog prikaza kroz model grada Krka. Opisan je postupak izrade 3D kartografskog prikaza za potrebe vizualizacije grada Krka i usporedbe modela grada u ovisnosti o razini detalja – LOD (engl. Level of Detail). Objašnjen je kompletni postupak modeliranja, od izbora područja, prikupljanja podataka, izbora izvornika, odabira softvera za modeliranje i vizualizaciju, izrade modela grada te analize modela. Također su objašnjeni problemi i rješenja pri modeliranju 3D gradova te opisane njihove prednosti i prikazani slični primjeri dosada izrađenih 3D modela gradova. Kao praktičan primjer izrađen je 3D model grada Krka.

*Cljučne riječi:* 3D gradovi, modeliranje, Krk, razina detalja.

## 1. Uvod

Povećanje urbanog stanovništva i povećanje zahtjeva lokalne infrastrukture neki su od velikih izazova za lokalne vlasti diljem svijeta. U svrhu učinkovitog upravljanja prostornim i ostalim informacijama povezanim s urbanom infrastrukturom, gradovima su potrebne ažurne 3D prostorne informacije. Sustavi za 3D prikaz modela gradova podržavaju i potpomažu u vizualnom i analitičkom smislu donošenje odluka pri izgradnji i upotrebi urbane infrastrukture i upravljanju njome (Björk i dr. 1989, Gröger i Plümer 2012).

3D modeli gradova virtualni su prikazi urbanih sredina, uključujući zgrade, terene, infrastrukturu, krajolik i vegetaciju. Oni integriraju geoprostorne podatke koji su stvarna, trodimenzionalna vizualizacija grada. 3D modeli gradova pozitivno utječu na urbano planiranje, nude analize okoliša pomoću različitih primjena temeljenih na aplikacijama i potiču sudjelovanje javnosti u urbanom razvoju (Eastman 1999, Kolbe i dr. 2005, Kolbe 2009).

<sup>1</sup> Bartol Žic, mag. ing. geod. et geoinf., Vatroslava Lisinskog 4, HR-51500 Krk, Hrvatska.

<sup>2</sup> Izv. prof. dr. sc. Robert Župan, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: rzupan@geof.unizg.hr,

Prof. dr. sc. Stanislav Frangeš, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: sfranges@geof.unizg.hr.

3D model u ovom je radu trodimenzionalan digitalni prikaz grada ili urbane sredine, nastao na temelju podataka dobivenih iz višestrukih izvora. 3D modeli predstavljaju postojeće objekte i njihove topološke i funkcionalne odnose. Mogu sadržavati veliki broj objekata različitih klasa, različitih modela podataka i struktura, a najčešće se dijele prema stupnju detaljnosti prikaza objekata (engl. *Level of Detail* – LOD) (Cetl i dr. 2013).

3D kartografski prikaz je prikaz odjelitih (diskretnih) objekata ili pojava u trodimenzionalnom obliku (Francula i Lapaine 2008).

Posljednjih nekoliko godina potreba za izradom 3D modela raste velikom brzinom, a njihova primjena postaje sve šira. Lokalne vlasti postaju sve većim korisnicima virtualnih modela gradova (Frueh i Zakhor 2003, Frueh i dr. 2004, Biljecki i dr. 2015).

Ovaj je rad kompozicijski podijeljen na nekoliko poglavlja. Opisan je koncept razine detalja (engl. *Level of Detail*). Objasnjen je kompletan tijek izrade 3D kartografskog prikaza grada Krka, od izbora područja, prikupljanja podataka i izbora izvornika do izrade modela te njegove vizualizacije. Uspoređeni su modeli različitih razina detalja te je dan zaključak o primjeni 3D modela grada Krka.

Optimizacija modela potrebna je zbog poznatog problema LOD-a u kojem je poznato da je CityGML industrijski standard za oblikovanje 3D modela gradova, a pet razina LOD-a nije točno definirano i za tu svrhu nisu dovoljni. Jedno je od mogućih rješenja povećanje broja LOD-ova, a drugo je ručno oblikovanje koje je i u ovom radu primijenjeno.

## 2. LOD – Level of Detail

Gradovi sve više usvajaju 3D modele gradova. Pružajući dodatnu vrijednost i dodatnu korist nad 2D skupovima geopodataka, 3D modeli gradova postaju sveprisutni u donošenju i poboljšavanju učinkovitosti upravljanja gradovima (Shibayama i dr. 2012). Lokalne samouprave upotrebljavaju 3D modele gradova za urbanističko planiranje i simulacije okoliša, istražuju kako buka prometa utječe na stanovnike grada, koliko su ekonomski izvedivi solarni paneli itd. (Biljecki 2017).

Na slici 1 prikazani su, od lijevoga gornjeg kuta u smjeru kazaljke na satu, gradovi: Ettenheim, Njemačka; Punggol, Singapur; Chongqing, Kina; Adelaide, Australija; Chiao Tung, Tajvan; New York City, SAD. Naravno, postoji i 3D model grada Zagreba i ostalih većih gradova u Hrvatskoj koji se mogu pretraživati pomoću programa Google Earth.

3D modeli aproksimacija su stvarnog svijeta, modelirani s određenim stupnjem detaljnosti (Luebke i dr. 2003, Benner i dr. 2013).

U današnje se doba pokazalo potrebnim izraditi takav model podataka koji će u potpunosti opisivati sve objekte koji se mogu naći u urbanim sredinama, kao i sadržavati svu potrebnu 3D geometriju za izgradnju stvarnog fizikalnog 3D modela. Model će biti standardiziran i omogućavati ažuriranje i razmjenu podataka između različitih aplikacija te davati semantički i topološki aspekt objektima.

City Geography Markup Language (CityGML) semantički je model podataka koji služi za prezentaciju terena i 3D objekata u urbanim sredinama te u onim



Slika 1. *Primjeri 3D modela gradova svijeta s različitim razinama detaljnosti (Biljecki 2017).*

sredinama u kojima je moguća razmjena podataka između različitih aplikacija, bez gubitka kvalitete i kvantitete (Mayer 2005, Isikdag i Zlatanova 2009, Fan i dr. 2009, Gröger i Plümer 2012).

Jedno od osnovnih svojstva modela CityGML mogućnost je prikaza 3D objekata u pet jasno definiranih i hijerarhijski spojenih razina detaljnosti – LOD (engl. *Level of Detail*):

- LOD 0 – prikaz digitalnog modela terena
- LOD 1 – prikaz osnovnih oblika objekata, tzv. model kutija (engl. *box model*)
- LOD 2 – prikaz objekata s teksturama i detaljnom strukturom krova
- LOD 3 – detaljan prikaz vanjske arhitekture objekata s detaljnom strukturom krova
- LOD 4 – detaljan prikaz unutrašnjosti objekata (Kolarek 2009).



Slika 2. Prikaz razine detalja – LOD (Biljecki 2017).

Razina detaljnosti prikaza objekata (LOD) kreće od najjednostavnijeg prikaza, npr. model kutije za prikaz kuća ili zgrada (LOD1). Postupno se povećava dodavanjem tekstura objekata i strukture krova (LOD2), dodavanjem vanjske arhitekture objekata (LOD3) te na kraju modeliranjem unutrašnjosti objekata (LOD4). Važno je napomenuti da se sve više razine nadovezuju na osnovnu razinu detaljnosti, odnosno da je tekstura objekata i struktura krova definirana u razini LOD2, nastavno na model kutija definiran u razini LOD1 i nastavno prema višim razinama (Goetz 2013). To omogućuje jedinstven prikaz svih objekata, bez obzira do koje su razine izvorno modelirani (slika 2).

Također, u ovisnosti o namjeni, isti skup podataka može se upotrebljavati npr. u analizama zagađenosti bukom, gdje će biti dovoljna razina LOD1, ili u prilično vjernim vizualizacijama, gdje je potrebna razina LOD2 ili LOD3.

Tablica 1. Definiranje parametara točnosti modeliranih objekata (Kolarek 2009).

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Opseg podataka	veća područja	regije i gradovi	dijelovi radova, područje adatka	pojedinačni modeli	pojedinačni modeli
Apsolutna točnost (XY/Z)	>LOD1	5 m/5 m	2 m/2 m	0,5 m/0,5 m	0,2 m/0,2 m
Stupanj generalizacije	maksimalni stupanj generalizacije	blokovi generaliziranih objekata >6×6 m/3 m	pojedinačni generalizirani objekti >4×4 m/2 m	pojedinačni generalizirani objekti >2×2 m/1 m	modelirani konstruktivni elementi objekata
Struktura krova	–	ravni krov	standardni tipovi krova i orijentacija	stvarna struktura krova	stvarna struktura krova
Standardni objekti u urbanim sredinama	–	samo važni objekti	standardni objekti	standardni objekti	modelirani stvarni objekti
Vegetacija	–	važni veći objekti	standardni objekti viši od 6m	standardni objekti viši od 2m	modelirani stvarni objekti
Upotreba zemljišta	–	>50×50 m	>5×5 m	>LOD2	>LOD2

Tablica 1 prikazuje karakteristike LOD-podjele 3D modela od LOD0 do LOD4.

### 3. Izrada 3D modela

Postupak izrade 3D modela možemo provesti u nekoliko koraka. Prvi je korak određivanje i omeđivanje željenog područja za modeliranje. Zatim slijedi postupak prikupljanja podataka i izvornika. Veliku važnost u izradi 3D modela grada ima i izbor softvera te korištenje odabranih alata i mogućnosti. Posljednji je korak sama vizualizacija i kartografski prikaz modela.

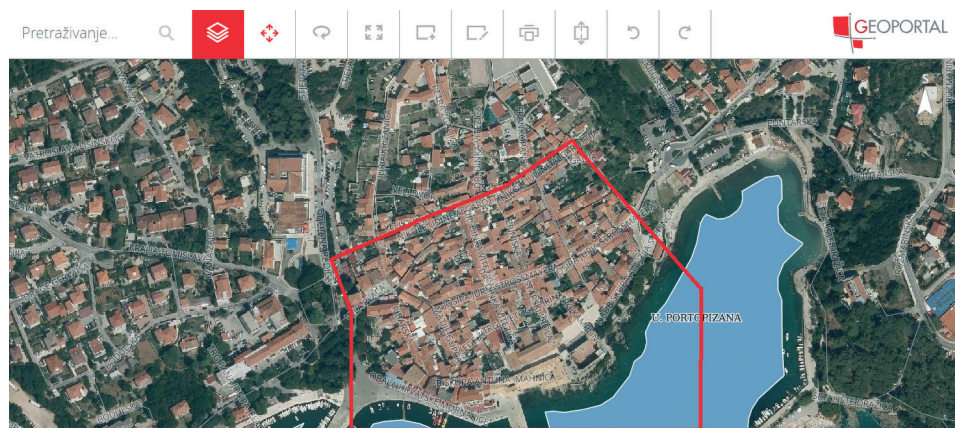
#### 3.1. Izbor područja

Područje odabrano za modeliranje centar je grada Krka. Odabran je zbog svojega specifičnoga izgleda te mnogobrojnih povijesnih znamenitosti i građevina.

Otok Krk pripada kvarnerskoj skupini otoka, smještenoj u sjevernom Jadranu, između poluotoka Istre na zapadu te Hrvatskog primorja na istoku. Okružen je Vinodolskim kanalom s istočne, Riječkim zaljevom sa sjeverozapadne i Kvarnerićem s jugozapadne strane. Trokutastog je oblika, točnije oblika nepravilnog četverokuta. Najveći je otok u Republici Hrvatskoj s površinom 405,78 km<sup>2</sup>. Nalazi se u Primorsko-goranskoj županiji, a administrativno je sjedište otoka Grad Krk.

Grad Krk je administrativno, političko, gospodarsko i vjersko središte otoka Krka kao mikroregije koja, osim grada Krka, obuhvaća i općine Baška, Dobrinj, Malinska–Dubašnica, Omišalj, Punat i Vrbnik. Najvažnija je prometna značajka otoka njegova povezanost s kopnom preko Krčkog mosta, izgrađenog 1980. godine. Trajektna se povezanost održava preko trajektnih luka na potezu Valbiska – Merag, što omogućuje prijevoz robe i putnika glavnom otočkom cestom od otoka Cresa i Lošinja.

Područje Grada Krka obuhvaća 110,41 km<sup>2</sup> kopnene površine (oko 3,07% ukupne površine teritorija Primorsko-goranske županije (3595,35 km<sup>2</sup>)) i 152,27 km<sup>2</sup> morske površine. Gradska je granica duga 82,34 km. Administrativno grad Krk obuhvaća petnaest naselja: Bajčići, Brusići, Brzac, Kornić, Krk, Lاکmartin, Linardići, Milohnići, Muraj, Nenadići, Pinezići, Poljica, Skrbčići, Vrh, Žgaljići.



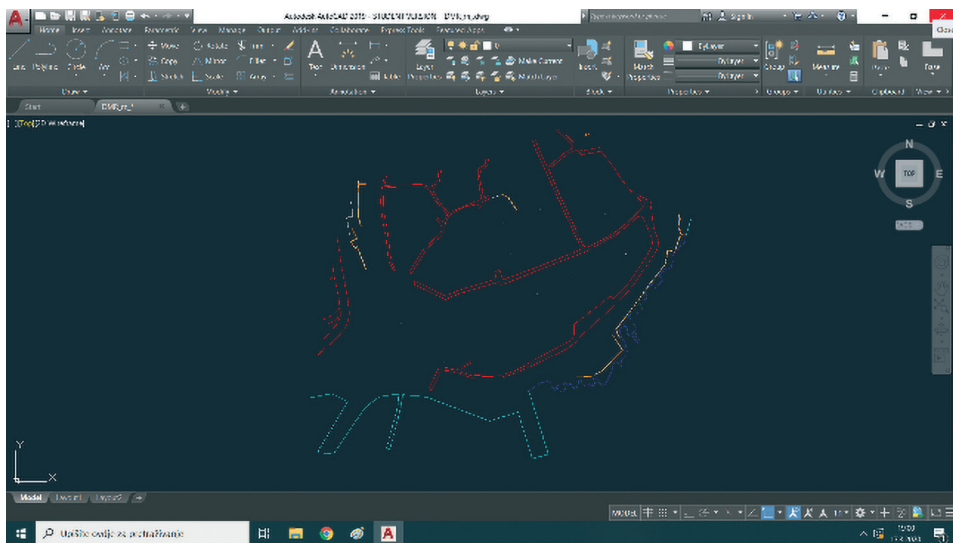
Slika 3. Prikaz odabranog područja crvenim linijama (URL 3).

Gospodarstvo je usmjereno ponajprije prema turizmu. U strukturi gospodarskih subjekata na području grada vidljiva je prevlast obrta i mikro-poduzeća (95,6%), dok je većina gospodarskih subjekata (74,5%) locirana u samom naselju Krk.

Centar grada Krka omeđen je sa sjeverne strane Trgom Vela Placa te Ulicom Nikole Udine Algarottija, s istočne strane Ulicom Galija, a s južne i zapadne strane Obalom Hrvatske mornarice i Ulicom Stjepana Radića (slika 3).

### 3.2. Prikupljanje podataka

Prikupljanje podataka počinje od reljefa za izabrano područje. Reljef ima ključnu važnost za vjerodostojan prikaz grada, koji ima specifičan izgled zbog brežuljkastog terena i načina gradnje. Digitalni model reljefa (DMR) i digitalni model visina (DMV) dobiveni su od Državne geodetske uprave nakon podnošenja zahtjeva. Dobiveni su podaci u vektorskom obliku, a ukupna površina terena iznosi 10 ha (slika 4).



Slika 4. Prikaz DMR-a u softveru AutoCAD.

Za izradu tlocrta područja upotrijebljeni su podaci Geoportala DGU-a, Hrvatska osnovna karta (HOK) i Digitalni ortofoto 2017/18 (slika 5). Za dodatnu provjeru primijenjen je Google Earth.

Osim digitalnih, pojedini su podaci prikupljeni terenskim mjerenjima. Snimljene su fotografije različitih objekata i izmjerene dimenzije pojedinih objekata radi vjerodostojnijeg i točnijeg prikaza tlocrta. Podaci su dobiveni Boschovim digitalnim laserskim daljinomjerom. Zbog nepristupačnosti pojedinih ulica i zgrada u centru grada Krka, podaci za manji broj zgrada dobiveni su osobnom procjenom bez mjerenja.

Za modeliranje 3D modela grada upotrijebljene su snimke dobivene osobnim mobitelom iPhone 8 Plus, te panoramske snimke snimljene dronom.



Slika 5. HOK i Digitalni ortofoto 2017/18. (URL 3).

### 3.3. Izrada tlocrta

Glavni je izvorNIK Digitalni ortofoto 2017/18, nadopunjen Hrvatskom osnovnom kartom te dimenzijama dobivenim terenskim mjerenjima i prikupljanjem podataka. Postupak izrade možemo izvesti u nekoliko koraka. Prvi je korak unos slike u mjerilu unutar crteža. Sljedeći korak bio je izrada modela kuća, dvorišta, cesta i ostalih objekata, a na slici 6 prikazan je tlocrt kojim postupak izrade 3D modela započinje.

Za prikaz zidina i obalne linije korišteni su podaci dobiveni od Državne geodetske uprave.



Slika 6. Prikaz tlocrta grada Krka.

### 3.4. Izrada reljefa

Za potrebe izrade reljefa upotrijebljen je softver SketchUp uz odabir radne površine za crtanje – *Architectural templates* (mm, cm, m).

Učita se digitalni model reljefa u vektorskom obliku. Softver SketchUp automatski učitane datoteke stavlja u takozvane grupe (engl. *Group*), koje je potrebno rastaviti na komponente kako bi se omogućio rad s njima.

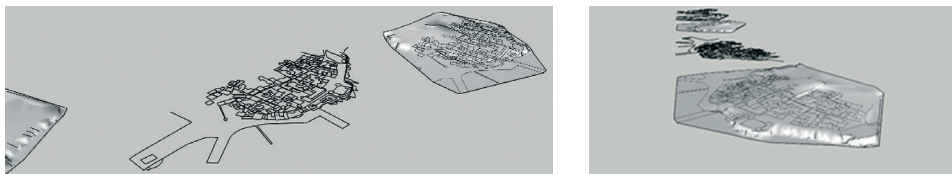
Digitalni model reljefa sastoji se od niza polilinja koje prikazuju kretanje reljefa od najniže do najviše točke. Model reljefa prikazujemo kao stvarni prikaz reljefa koji se više ne sastoji samo od polilinja, već i od niza ploha.



Slika 7. Postupak izrade reljefa.

Idući je korak optimizacija unutar modela brisanjem uvezene vektorske datoteke kako bi se dobio prikaz reljefa (slika 7).

Sljedeći je korak priprema reljefa za modeliranje unutar 3D modela grada. Učitava se vektorska datoteka s prikazom tlocrta. Model tlocrta postavlja se iznad modela reljefa koji se automatski postavlja duž vertikalne osi. Zatim se tlocrt, prikazan kao 2D ploha, preslika na reljef koji je prikazan kao trodimenzionalan objekt (slika 8).



Slika 8. Prikaz gotovog modela reljefa.

### 3.5. Izrada modela grada

Postupak izrade 3D modela grada podijeljen je na nekoliko dijelova koji ovise o razini detalja kojom su prikazani (LOD1 i LOD2).

Prvo je modeliran prikaz grada LOD1 pomoću modela LOD0. LOD0 je reljef s obrisom tlocrta (slika 6).

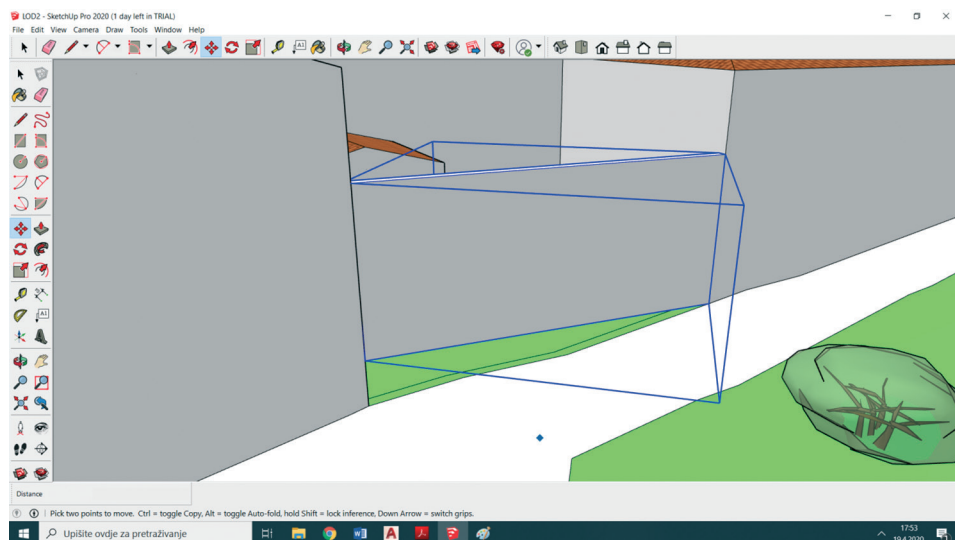
Prvi korak pri izradi modela građevina bio je korištenje tlocrta koji nije preslikan na reljef. Razlog su tome ograničene mogućnosti unutar programa SketchUp. Naredbom „Push/Pull“ nije bilo moguće modelirati građevinu, jer površina, na kojoj se nalazi tlocrt, nije horizontalna te podizanjem tlocrtnih obrisa u visinu dolazi do kosih zidova i krovova.

Rješenje problema bilo je modeliranje svake zgrade zasebno na tlocrtu bez reljefa.

Zgrade su modelirane tako da je svakoj posebno dodijeljena visina. Softver SketchUp vidi svaku plohu i liniju kao poseban element te je bilo potrebno za svaku građevinu, koja je bila različitih geometrijskih tijela, napraviti grupu (kada objedinimo broj ploha, linija i tekstura u jedinstveni objekt koji ima neki smisao, npr. kuća), odnosno jedinstveni element. Tek kada je zgrada postala jedinstvena grupa ploha i linija, bilo ju je moguće pomicati. Istim su postupkom modelirani svi ostali tlocrtni objekti.

Objekt se potom postavlja na model reljefa. Pritom se javlja problem prikazan na slici 9. Prilikom modeliranja objekata i terena često se događa da objekti „lete“

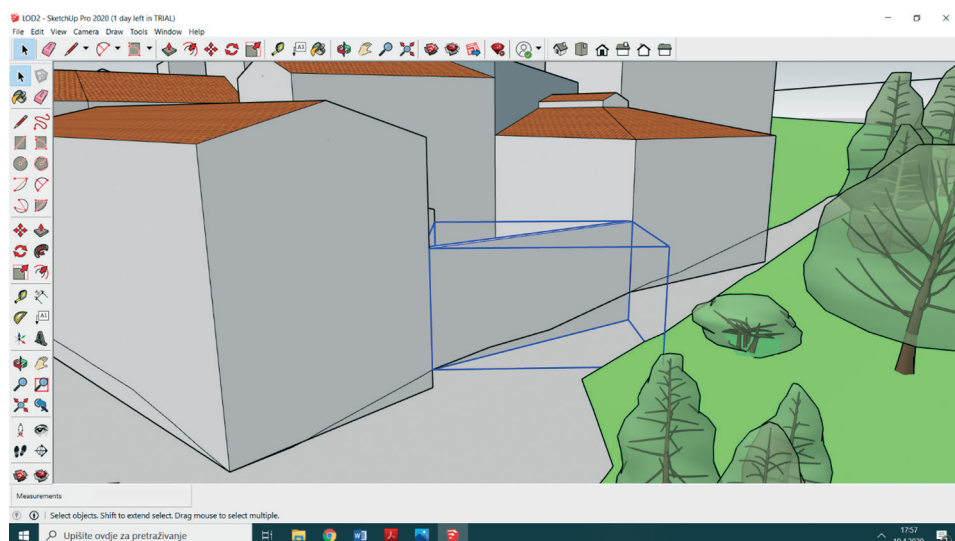




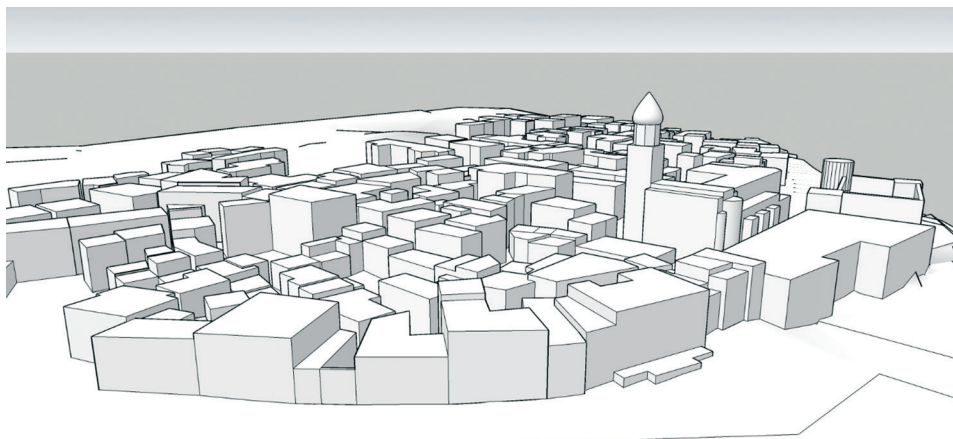
Slika 9. Prikaz problema pri pomicanju objekta na model reljefa.

iznad terena ili „potonu“ u teren. Tada treba pripaziti da svaki objekt bude smješten na najnižu točku terena te da nastane presjek terena na objektu, kao što je prikazano na slici 10.

Zbog tog problema svaki je objekt zasebno optimiran i pažljivo smješten na plohu modela reljefa pomoću linija spoja terena i objekata kako bi rezultat bio vjerna vizualizacija.



Slika 10. Prikaz reljefa i modela – presjek.



Slika 11. Model kutija – LOD1.

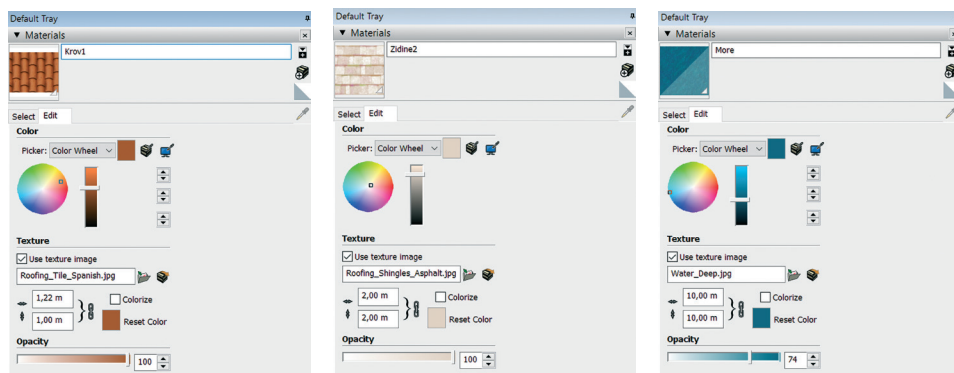
Nakon postupnog modeliranja svake građevine na slici 11 prikazan je rezultat 3D modela grada Krka.

Za izradu modela LOD2 korišten je model LOD1. LOD2 je nastao dodavanjem detalja, odnosno u ovom radu tekstura objekata i tekstura krovova na LOD1.

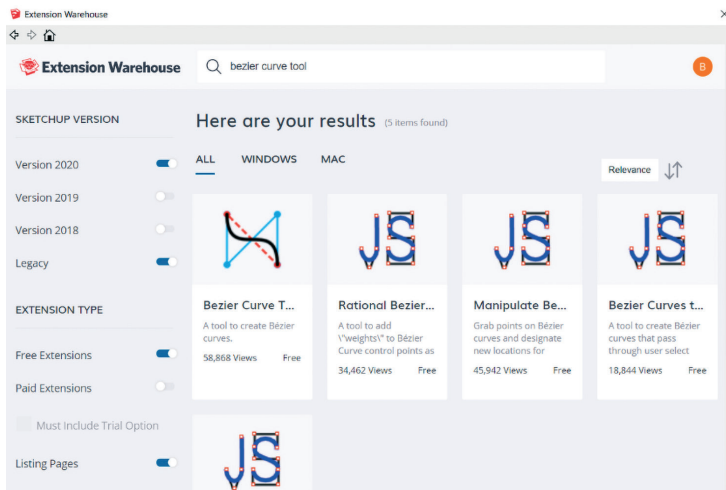
Svaki je krov izrađen zasebno, a linija koja treba biti vrh krova podignuta je po okomitoj osi za određenu visinu. Program SketchUp ploham automatski spaja spomenutu liniju i paralelne linije građevine. Zatim je na plohe krova dodana pomno izabrana i izgledom vjerna tekstura krova. Tekstura je prilagođena i uređena kako bi odgovarala stvarnom stanju krova.

Na isti su način prilagođene teksture za more, zidine, ceste i zelene površine modela (slika 12).

Pri izradi krova iznimka je bila kupola katedrale. Za njezinu izradu bilo je potrebno preuzeti dodatak (engl. *Plugin*) „*Bezier Curves*“ koji se nalazi u internetskom



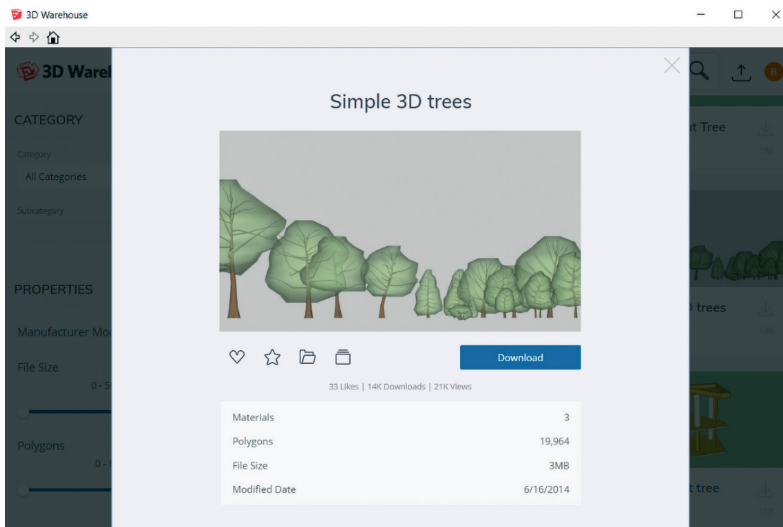
Slika 12. Prikaz različitih tekstura.



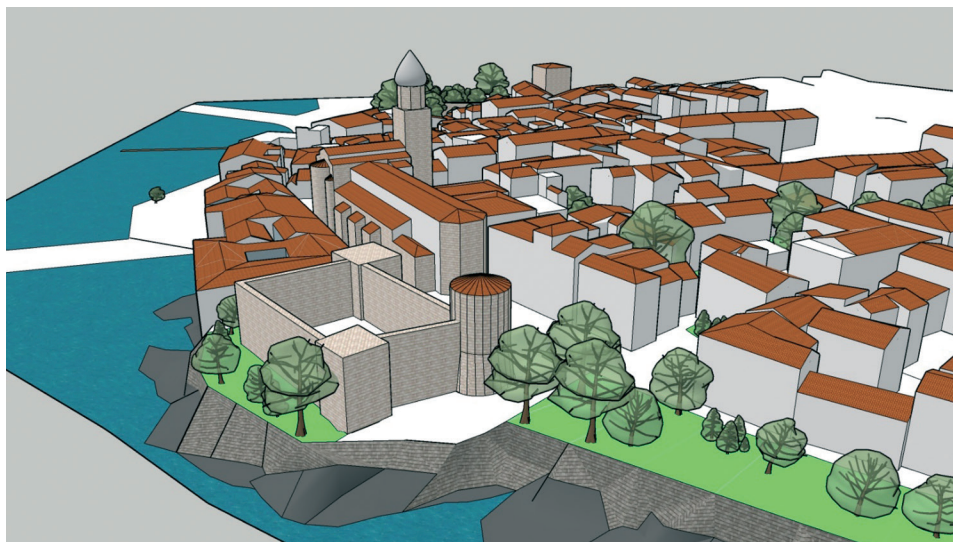
Slika 13. Prikaz dodatka za izradu kupole katedrale.

skladištu gotovih 3D modela različitih objekata (engl. *Extension Warehouse*) i tek tada je moguće izraditi vjerodostojan profil kupole koji je poslije dobio 3D oblik (slika 13).

Iznimka je, također, bio i krov kule kaštela. Kula je napravljena kao mnogokut s velikim brojem strana. Na ravnom krovu na sredini kule nacrtana je okomita linija s određenom visinom koja je visina krova kule. Zatim su se ručno od vrha linije crtale nove linije prema vrhovima mnogokuta. Tako je dobiven vjerodostojan prikaz krova kule.



Slika 14. Prikaz modela drveća korištenih u modelu.

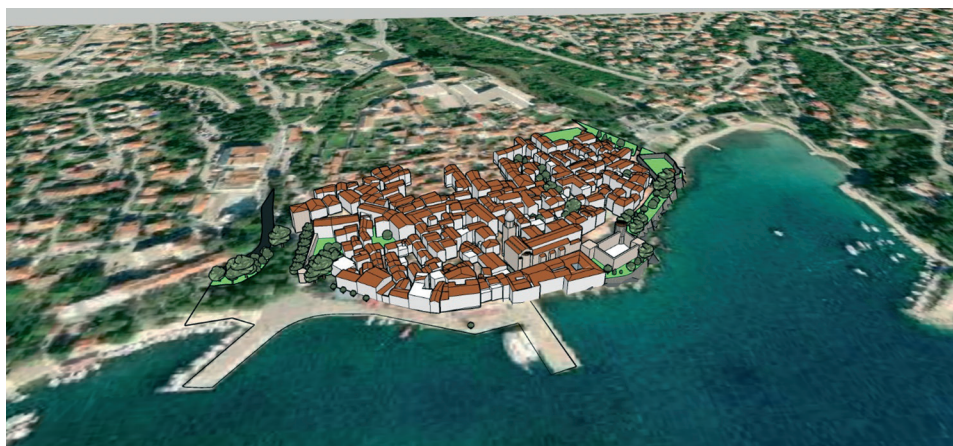


Slika 15. Prikaz modela LOD2.

Za prikaz drveća poslužili su dostupni modeli iz izbornika 3D Warehouse (slika 14).

Zadnji korak pri izradi modela LOD2 bile su sitne promjene kao što su brisanje nepotrebnih linija i promjena nekih nijansa boja tekstura. Na slici 15 prikazan je konačan rezultat modeliranja.

Jedna od mogućnosti softvera SketchUp dodavanje je geolokacije, odnosno karte područja koje je modelirano. Za dodavanje karte područja korištena je naredba „Geolocation“ (slika 16).



Slika 16. Model prikazan na karti.

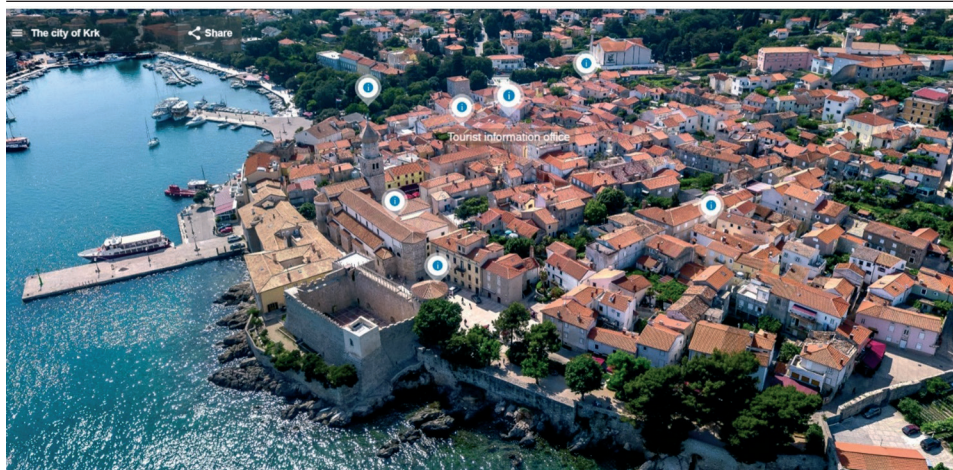
## 4. Usporedba modela

U nastavku će biti prikazane usporedbe u ovisnosti o razini detalja te usporedba modela sa stvarnim stanjem u prirodi.

### 4.1. Usporedba LOD2 i stvarnog stanja



Slika 17. Usporedba modela sa stvarnim stanjem – jugozapadna strana.



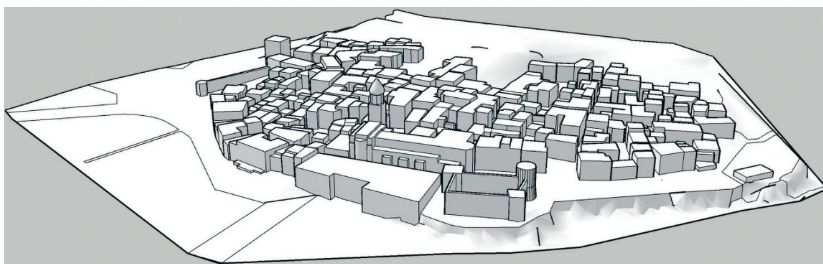
Slika 18. Usporedba modela sa stvarnim stanjem – jugoistočna strana.

Iz priloženih slika 17 i 18 može se vidjeti i zaključiti da je izrada modela uspješno izvedena uz ručno optimiranje. Model je vjerodostojno izrađen, ima sve bitne elemente grada te se može prepoznati model grada Krka.

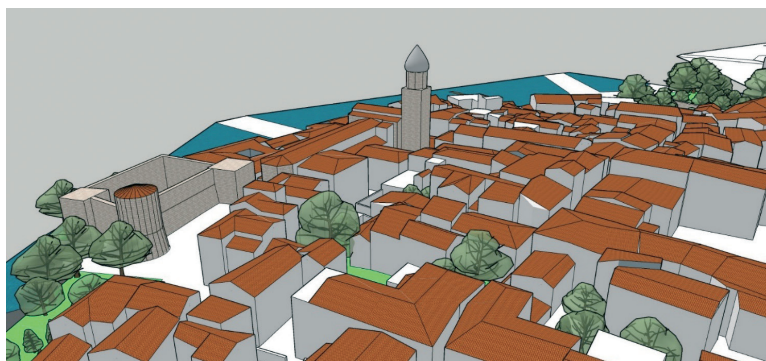
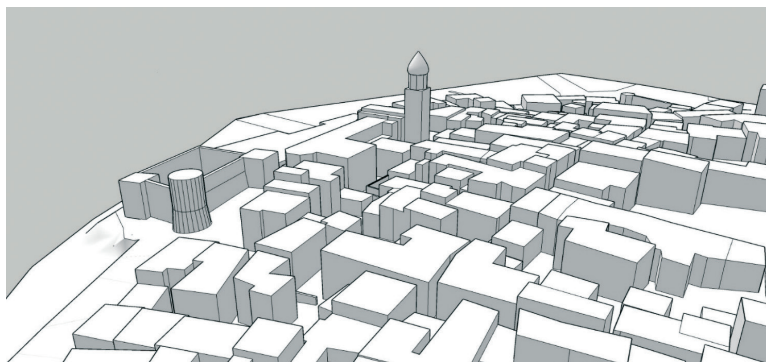
Na razini LOD2 nisu obuhvaćeni niti su prikazani objekti kao što su terase kafića i restorana, prozori i balkoni na kućama. Također, nisu prikazane fasade objekata.

#### 4.2. Usporedba LOD1 i LOD2

Modeli su prikazani različitim razinama detalja kako bi se prikazalo osnovno svojstvo modela CityGML, a to je mogućnost prikaza 3D objekata u pet jasno definiranih i hijerarhijski spojenih razina detaljnosti – LOD.



Slika 19. LOD1 i LOD2 – južna strana.



Slika 20. LOD1 i LOD2 – istočna strana.



Slika 21. LOD1 i LOD2 – zapadna strana.

Iz priloženih slika može se zaključiti da su modeli, u ovisnosti o razini detalja, izrađeni u skladu sa svojstvima CityGML-a koji su jasno definirani i hijerarhijski spojeni (tablica 1).

LOD1 je prikaz osnovnih oblika objekata, ali ipak je vidljiva kontura grada Krka zbog svoje specifične gradnje i objekata, kao što su kaštel i katedrala.

LOD2 je prikaz objekata s teksturama i detaljnom strukturom krova, nakon čega model grada Krka poprima svoj tipičan izgled.

## 5. Vizualizacija modela

Softveri za vizualizaciju 3D modela omogućuju vizualizaciju, ali ne i učinkovitu analizu i obradu 3D modela. GIS softveri nesumnjivo pružaju maksimalnu iskoristivost 3D modela te su pri njihovoj primjeni u upravljanju gradom zasigurno



bolji izbor od softvera koji imaju samo mogućnost vizualizacije modela. U tom smislu, nisu primjenjivi za korištenje 3D modela u upravljanju gradom i urbanom infrastrukturom. Njihova se primjena odnosi na vizualizaciju i promidžbu (Lapaine i dr. 2001).

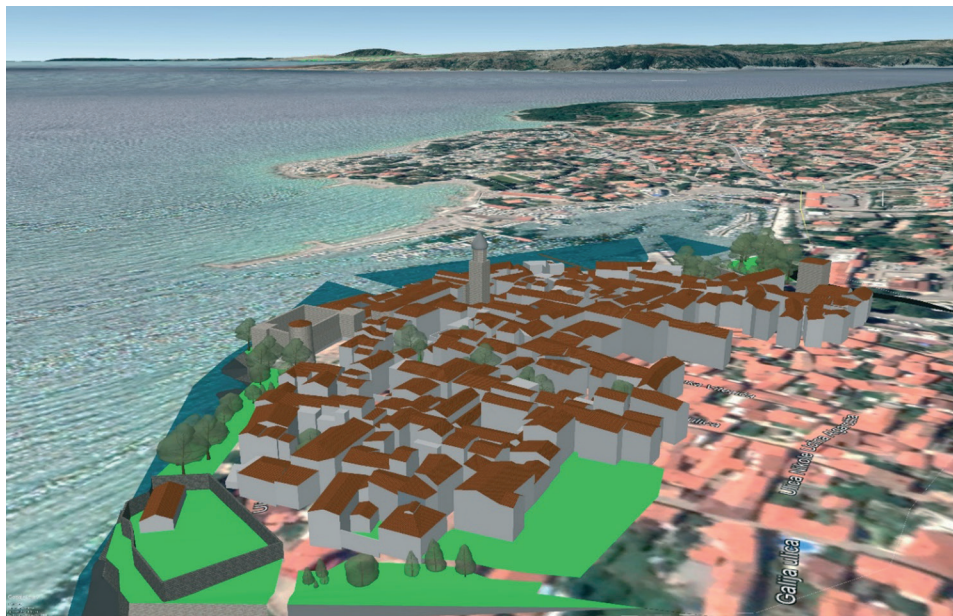
U ovom je radu korišten softver za vizualizaciju Google Earth Pro. On nema tipične funkcije GIS softvera (kompletne analize). Ipak, omogućuje pregled i jednostavna mjerenja udaljenosti i površina, kao i osnovna 3D kartometrijska mjerenja, koje sve ubrajamo u jednostavne analize.

Osim dostupnih podataka, u Google Earth Pro moguć je uvoz vlastitih prostornih podataka ili 3D modela u obliku KML datoteka ili KMZ arhive. Podaci su tada integrirani sa svim ostalim podacima koje Google Earth pruža, pa tako omogućuje uvid u odnose u prostoru s ostalim objektima i područjima. Google Earth Pro podržava i druge formate.

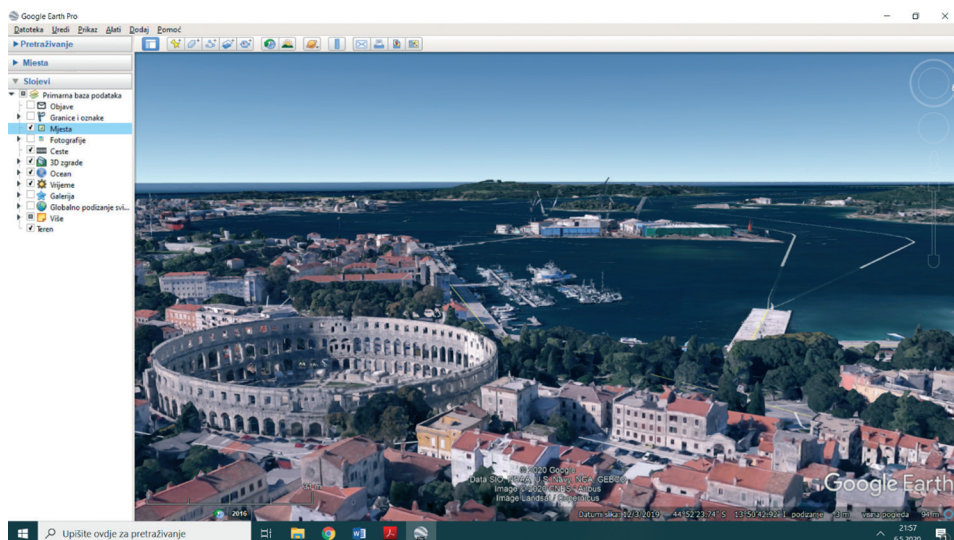
Model grada Krka je u programu SketchUp spremljen u format KMZ (GradKrk.kmz) (slika 22).

KMZ su ZIP datoteke koje sadrže KML datoteku i ostale resurse, poput slika, ikona, modela. Keyhole Markup Language (KML) format temeljen je na XML-u, razvijen za prikaz prostornih podataka u aplikacijama kao što su Google Earth i Google Maps, ali i ostalim aplikacijama za kartografsku vizualizaciju modela Zemlje (Cetl i dr. 2013).

KML 2.2 OGC implementacijski je standard za reprezentaciju geoinformacija te njihov prikaz u softverima za kartografsku vizualizaciju modela Zemlje (Cetl i dr. 2013).



Slika 22. Vizualizacija modela pomoću Google Earth Pro.



Slika 23. Prikaz Pule u Google Earth Pro.

Google Earth prikazuje 3D modele zgrada u nekim gradovima, uključujući fotorealistične 3D slike. Prve 3D građevine u programu Google Earth nastale su korištenjem aplikacija za 3D modeliranje, poput SketchUpa, a počevši od 2009. godine i prenesene su u Google Earth pomoću 3D Warehousea.

U lipnju 2012. Google je objavio da će zamijeniti generirane 3D zgrade od korisnika s automatski generiranom 3D mrežom. Razlog je veća ujednačenost u 3D zgradama.

Od 2016. bilo je promjena, pa su tako osim četiriju hrvatskih gradova (Pula, Split, Zagreb i Zadar) prikazani 3D modeli i drugih gradova u više od 40 država, uključujući i sve države u SAD-u i na svim kontinentima osim Antarktike.

Na slici 22 prikazan je model grada Krka vizualiziran pomoću Google Earth Pro, a na slici 23 je model grada Pule automatski generiran 3D mrežom. Vidljiva je razlika u razini detalja prikazanih u modelima. Prednost modela Krka je točniji prikaz geometrije objekata i brži prikaz ulica i građevina za razliku od modela Pule, gdje je potrebno mnogo vremena dok se svi objekti učitaju za prikaz. Također model Krka u mjerilima sitnijim od 1:1000 nema deformaciju oblika građevina, dok su na modelu Pule sve građevine s vidljivim deformacijama (objekti nemaju ravne linije ploha i krovova). Model Pule ima prikazan veći broj detalja i tekstura, te je pokriveno cijelo područje grada za razliku od manjeg područja grada Krka.

## 6. Zaključak

Premda se u literaturi dosta istražuju automatski načini modeliranja 3D objekata, terena, ulica, vegetacije, zgrada i sl., a pogotovo se u posljednje vrijeme uključuje i eksperimentira strojno učenje u kombinaciji s automatizacijom cijelog procesa uz

različite stupnjeve optimizacije, ipak se u praksi ne susreću često cijeli gotovi 3D modeli npr. zgrada za cijelu državu ili sve gradove u Hrvatskoj. Modeli gradova virtualni su prikazi urbanih sredina i uključuju zgrade, terene, infrastrukturu, krajolike i vegetaciju. Svaki grad za potrebe planiranja, zahvata u prostoru, evidencije i sl. treba upotrebljavati računalnu i srodnu tehnologiju te javnosti i stručnim službama prikazati, u skladu s pravilima kartografske geovizualizacije, digitalni 3D model grada.

Najveća je prednost 3D modela gradova mogućnost jednostavne vizualizacije, kartiranja i urbanog planiranja. 3D modeli nude urbanistima uvid u promjene izgleda krajolika i utjecaje na društvene objekte i znamenitosti, izazvane novim zgradama i njihovim razvojem. Detaljna vizualizacija smanjuje pogreške u planiranju, što rezultira jednostavnim nadgledanjem okoliša i smanjenjem novčanih gubitaka.

Jedan od glavnih poticaja za izradu ovog rada bio je nedostatak 3D modela grada Krka. U radu je opisan kompletan tijek izrade modela te su prikazani modeli grada od LOD0 do LOD3 (engl. *Level of Detail*). Iz priloženih slika i analize može se zaključiti da je svaki model izrađen u skladu s CityGML semantičkim modelom koji služi za prikaz 3D objekata u urbanim sredinama. Modeli su izrađeni s visokom razinom točnosti jer su korišteni službeni podaci Državne geodetske uprave: DMR (Digitalni model reljefa) i Digitalni ortofoto 2017/18. te podaci prikupljeni terenskim mjerenjima. Model LOD2 vjerodostojno prikazuje centar grada Krka.

## Literatura

- Benner, J., Geiger, A., Gröger, G., Häfele, K. H., Löwner, M. O. (2013): Enhanced LOD concepts for virtual 3D city models, In ISPRS annals of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, Proceedings of the ISPRS 8th 3D GeoInfo conference & WG II/2 workshop, 51–61.
- Biljecki, F. (2017): Level of detail in 3D city models, Doctoral dissertation, Delft University of Technology, Delft, Nederland.
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., Èöltekin, A. (2015): Applications of 3D city models: State of the art review, ISPRS International Journal of Geo-Information, 4, 4, 2842–2889.
- Björk, Bo-Christer, Penttilä, H. (1989): A Scenario for the Development and Implementation of a Building Product Model Standard, In 1st symposium of the CIFE, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, USA, 28–29 March 1989, published in Advanced Engineering Software, 1989, Vol. 11, No. 4, 176–187.
- Cetl, V., Tomić, H., Lisjak, J. (2013): Primjena 3D modela u upravljanju gradom, studija, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Eastman, C. (1999): Building product models: Computer environments supporting design and construction, CRC Press, Boca-Raton, Florida.
- Fan, H., Meng, L., Jahnke, M. (2009): Generalization of 3D buildings modelled by CityGML, In Advances in GIScience, Springer, Berlin, Heidelberg, 387–405.
- Frančula, N., Lapaine, M. (2008): Geodetsko-geoinformatički rječnik, Državna geodetska uprava, Zagreb.
- Frueh, C., Zakhor, A. (2003): Constructing 3D city models by merging ground-based and airborne views, In 2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Proceedings, IEEE, Vol. 2, II-562.
- Frueh, C., Sammon, R., Zakhor, A. (2004): Automated texture mapping of 3D city models with oblique aerial imagery, In Proceedings, 2nd International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, 3DPVT 2004, IEEE, 396–403.
- Goetz, M. (2013): Towards generating highly detailed 3D CityGML models from OpenStreetMap, International Journal of Geographical Information Science, 27, 5, 845–865.
- Gröger, G., Plümer, L. (2012): CityGML–Interoperable semantic 3D city models, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 71, 12–33.
- Isikdag, U., Zlatanova, S. (2009): Towards defining a framework for automatic generation of buildings in CityGML using building Information Models, In 3D geo-information sciences Springer, Berlin, Heidelberg, 79–96.
- Kolarek, M. (2009): CityGML, Ekscentar, 11, 32–35.
- Kolbe, T. H. (2009): Representing and exchanging 3D city models with CityGML, In 3D geo-information sciences, Springer, Berlin, Heidelberg, 15–31.
- Kolbe, T. H., Gröger, G., Plümer, L. (2005): CityGML: Interoperable access to 3D city models, In Geo-information for disaster management, Springer, Berlin, Heidelberg, 883–899.
- Lapaine, M., Vučetić, N., Tutić, D. (2001): Kartografija i AutoCAD Map, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Luebke, D., Reddy, M., Cohen, J. D., Varshney, A., Watson, B., Huebner, R. (2003): Level of detail for 3D graphics, Morgan Kaufmann.

Mayer, H. (2005): Scale-spaces for generalization of 3D buildings, *International Journal of Geographical Information Science*, 19, 8–9, 975–997.

Shibayama, J., Hirano, T., Yamauchi, J., Nakano, H. (2012): Efficient implementation of frequency-dependent 3D LOD-FDTD method using fundamental scheme, *Electronics letters*, 48, 13, 774–775.

## Mrežne adrese

URL 1: 3D city models, [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_city\\_models](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_city_models), (1. 5. 2020.).

URL 2: Hrvatska osnovna karta, <https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/sluzbene-drzavne-karte-i-ostale-karte/hrvatska-osnovna-karta-175/175>, (1. 5. 2020.).

URL 3: Geoportal, <https://geoportal.dgu.hr/>, (1. 5. 2020.).

URL 4: Grad Krk, <https://www.grad-krk.hr/>, (1. 5. 2020.).

URL 5: SketchUp, <https://www.sketchup.com/>, (1. 5. 2020.).

URL 6: Google Earth, <https://www.google.hr/intl/hr/earth/>, (1. 5. 2020.).

URL 7: Krk (grad), [https://hr.wikipedia.org/wiki/Krk\\_\(grad\)](https://hr.wikipedia.org/wiki/Krk_(grad)), (1. 5. 2020.).

URL 8: Autodesk, <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?plc=ACDIST&term=1-YE-AR&support=ADVANCED&quantity=1>, (1. 5. 2020.).

## Optimization of 3D Cartographic Presentations on the Example of the City of Krk

*ABSTRACT. This paper explains the concept of 3D model of the city as well as the ways and reasons for optimizing the 3D cartographic representation through the model of the city of Krk. The process of making a 3D model for the needs of visualization of the city of Krk and comparison of the city model depending on the level of detail – LOD (Level of Detail) is described. The complete modelling process is explained, from site selection, data collection, source selection, modelling and visualization software selection, city model making, and model analysis. Problems and solutions in modelling 3D cities are also explained, as well as their advantages and similar examples of previous 3D cities. As a practical example, a 3D model of the city of Krk was made.*

*Keywords: 3D city, modelling, Krk, Level of Detail.*

*Primljeno / Received: 2020-05-04*

*Prihvaćeno / Accepted: 2020-06-20*