

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Škrlec, K., 2013. Fotogrametrični zajem stavb v različnih stopnjah podrobnosti. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Kosmatin Fras, M., somentor Grigillo, D.): 23 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Škrlec, K., 2013. Fotogrametrični zajem stavb v različnih stopnjah podrobnosti. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kosmatin Fras, M., co-supervisor Grigillo, D.): 23 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**PRVOSTOPENJSKI
ŠTUDIJSKI PROGRAM
GEODEZIJA (UN)**

Kandidat:

Diplomska naloga št.: 27/GIG

Graduation thesis No.: 27/GIG

Mentorica:

Somentor:

Predsednik komisije:
izr. prof. dr. Dušan Kogoj

Ljubljana, 01. 07. 2013

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani KLEMEN ŠKRLEC izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »FOTOGRAMETRIČNI ZAJEM STAVB V RAZLIČNIH RAVNEH PODROBNOSTI«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Škofljica, 28. 5. 2013

.....
(podpis)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.7(063.2).
Avtor:	Škrlec Klemen
Mentorica:	doc. dr. Mojca Kosmatin Fras
Somentor:	asist. dr. Dejan Grigillo
Naslov:	Fotogrametrični zajem stavb v različnih ravneh podrobnosti
Tip dokumenta:	Diplomska naloga - univerzitetni študij
Obseg in oprema:	23 str., 1 pregl., 18 sl.
Ključne besede:	CityGML, ravni podrobnosti, LOD, standard, 3D-mestni model, fotogrametrični zajem, Google Zemlja, žični model

Izvleček

Dandanes so za prikaz prostorskih podatkov zmeraj bolj aktualni navidezni trirazsežni modeli. V diplomski nalogi opišemo standard CityGML, ki med drugim definira pet zaporednih stopenj podrobnosti prikazovanja modelov stavb. Na podlagi omenjenih stopenj podrobnosti smo z uporabo različni programskih orodij izdelali praktičen primer 3D-modela stavbe in ulice iz podatkov, pridobljenih s fotogrametričnimi metodami. Poudarek naloge je bil na izdelavi izbranega modela stavbe v različnih ravneh podrobnosti, ki je primeren tudi za objavo v zemeljskem brskalniku (Google Zemlja).

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.7(063.2).
Author: Škrlec Klemen
Supervisor: Assist. Prof. Mojca Kosmatin Fras, Ph. D.
Co-advisor: Assist. Dejan Grigillo, Ph. D.
Title: Photogrammetric acquisition of buildings in various level of detail
Document type: Graduation thesis - University studies
Scope and tools: 23 p., 1 tab., 18 fig.
Keywords: CityGML, level of detail, LOD, standard, 3D-city model, photogrammetric acquisition, Google Earth, wire frame model

Abstract

Nowadays, virtual three-dimensional models are increasingly interesting for the display of spatial data. In this thesis we describe the standard CityGML, which among other topics defines five consecutive levels of detail for representation of building models. Based on the mentioned levels of detail we have, using a variety of software tools, accomplished a practical example of 3D-model of the building and the street. A photogrammetric method of data acquisition has been applied. The focus of this thesis has been to create a model of selected building in different levels of details, that could additionally be appended to the data in the search engine Google Earth.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Kosmatin Fras ter somentorju asist. dr. Dejanu Grigillu.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	II
IZJAVE	III
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	IV
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	V
ZAHVALA	VI
1 UVOD	1
2 TEORETIČNO OZADJE MODELIRANJA STAVB V RAZLIČNIH RAVNEH PODROBNOSTI	2
2.1 OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM	2
2.2 STANDARD IN STANDARDIZACIJA	2
2.3 CITYGML	3
2.4 RAVNI PODROBNOSTI 3D PRIKAZOVANJA STAVB	4
2.5 GRAFIČNA PONAZORITEV TRIRAZSEŽNIH MODELOV	6
2.5.1 KML	6
2.5.2 VRML/X3D	8
3 IZVEDBA PRAKTIČNEGA MODELA	9
3.1 MODEL ULICE V RAVNEH PODROBNOSTI LOD0 IN LOD1	11
3.1.1 Izbor stavb v ArcMap	11
3.1.2 Izdelava prikazov ravni podrobnosti LOD0 in LOD1 v programu ArcScene	12
3.2 MODELA STAVBE V RAZLIČNIH RAVNEH PODROBNOSTI	13
3.2.1 Obdelava v programu Socet Set	13
3.2.2 Izdelava žičnega modela v programu Googel Sketch Up	14
3.2.3 Izdelava modela stavbe ravni podrobnosti LOD1 v programu Google SketchUp	15
3.2.4 Izdelava ploskovnega modela, ortofotov in 3D modela stavbe v ravni podrobnosti LOD2	15
3.2.5 Izdelava 3D modela stavbe v ravni podrobnosti LOD3	18
4 ANALIZA METODOLOGIJE IN REZULTATOV	20
5 ZAKLJUČEK	21
VIRI	22

KAZALO PREGLEDNIC

PREGLEDNICA 1: OPIS ZNAČILNOSTI POSAMEZNIH RAVNI PODROBNOSTI (VIR: GRÖGER IDR., 2012: STR. 12)	6
--	---

KAZALO SLIK

SLIKA 1: JEDRNI IN OSNOVNI MODULI CITYGML-A (KOLBE IDR., 2009: STR. 268).....	3
SLIKA 2: PRIMER PRIKAZA PETIH STOPENJ PODROBNOSTI, KI JIH DEFINIRA CITYGML.....	5
SLIKA 3: PRIMER PRIKAZA 3D-MODELA DELA MESTA NEW YORK (GOOGLE EARTH).....	7
SLIKA 4: PRIKAZ ZAPISA KML DATOTEKE.....	8
SLIKA 5: PRIKAZ OBRAVNAVANEGA OBMOČJA (GOOGLE EARTH).....	9
SLIKA 6: UPORABLJEN FOTOAPARAT NIKON D3000 ZA IZDELAVO TEKSTUR STAVBE.....	10
SLIKA 7: PRIKAZ ZAHTEVNEGA ARHITEKTURNEGA STILA.....	10
SLIKA 8: PRIKAZ OBRAVNAVANIH STAVB.....	11
SLIKA 9: MODEL ULICE V RAVNI PODROBNOSTI LOD0.....	12
SLIKA 10: MODEL ULICE V RAVNI PODROBNOSTI LOD1.....	12
SLIKA 11: ZAJEM TLOORISA TEMELJEV, KAPI IN OBLIKE STREHE V SOCET SET-U.....	13
SLIKA 12: ŽIČNI MODEL STAVBE.....	14
SLIKA 13: MODEL STAVBE V RAVNI PODROBNOSTI LOD1.....	15
SLIKA 14: PLOSKOVNI MODEL.....	16
SLIKA 15: PRIMER IZDELANEGA ORTOFOTA V PROGRAMU FOTOPLAN.....	17
SLIKA 16: PRIMER KOORDINAT OSOLONILNIH TOČK V DATOTEKI *.TXT.....	17
SLIKA 17: PRIKAZ 3D MODELA STAVBE V RAVNI PODROBNOSTI LOD2.....	18
SLIKA 18: PRIKAZ 3D MODELA STAVBE V RAVNI PODROBNOSTI LOD3.....	19

1 UVOD

Danes lahko prostorske podatke zajemamo z različnimi sodobnimi geodetskimi tehnologijami. V nalogi se bomo osredotočili na področje fotogrametrije, pri kateri na podlagi interpretacije in merjenja s fotografskih posnetkov pridobivamo merske podatke o Zemljinem površju. Razvoj fotogrametrije je povezan z razvojem nekaterih drugih tehnologij, predvsem razmahom računalniške tehnologije in digitalnih slikovnih senzorjev.

S fotogrametričnimi postopki in metodami je možno zajeti in prikazati navidezne trirazsežne modele mest in krajin. Težnja k razvoju navideznih trirazsežnih modelov okolja verjetno izvira iz tega, ker smo ljudje bitja, ki skozi oči zaznavamo prostor. Kljub temu, da večina uporabnikov zna interpretirati dvorazsežne karte, postaja zmeraj bolj atraktivna uporaba navideznih 3D modelov (predvsem modelov velikih mest), ki uporabniku omogočajo prijaznejši zajem, izmenjavo in seveda interpretacijo 3D geografskih podatkov. Da bi vzpostavili ustrezno bazo podatkov in hkrati omogočili njihovo izmenjavo brez kakršnihkoli izgub podatkov, so strokovnjaki OGC-ja (Open Geospatial Consortium) razvili ustrezen standard (CityGML).

Prosti standard CityGML, ki je namenjen izmenjavi in modeliranju raznovrstnih trirazsežnih modelov, definira pet ravni podrobnosti (angl. Level of Detail, LOD) na podlagi katerih smo v praktičnem primeru izdelali 3D model stavbe z obdelavo fotogrametrično zajetih podatkov.

Diplomska naloga je sestavljena iz petih poglavij. Poleg uvoda in zaključka v diplomski nalogi v drugem poglavju predstavimo teoretično ozadje ustanovitve CityGML-a in različnih ravni podrobnosti, predstavimo pa tudi različne standardne formate za modeliranje 3D modelov. V tretjem in četrtem poglavju se osredotočimo na metodologijo dela in analizo rezultatov praktičnega primera.

2 TEORETIČNO OZADJE MODELIRANJA STAVB V RAZLIČNIH RAVNEH PODROBNOSTI

2.1 Open Geospatial Consortium

Open Geospatial Consortium (OGC) je mednarodna neodvisna organizacija za razvoj industrijskih standardov, ki je bila ustanovljena leta 1994. OGC sestavlja 484 podjetij po vsem svetu, med katerimi prevladujejo vladne organizacije, akademske ustanove ter razna računalniška podjetja (OGC, 2013).

OGC je razvil odprto specifikacijo OpenGIS za opredelitev standardnega vmesnika, ki zagotavlja učinkovitejšo uporabo omrežnih povezav. Standardi razvojnim tehnologom omogočajo razvijanje tehnoloških rešitev za uporabo in obdelavo prostorskih podatkov z različnimi programskimi orodji GIS. OpenGIS, za razliko od evropskih CEN in mednarodnih ISO standardov, ki sta formalna standarda, daje pobudo industrijsko odprti standardizaciji tehnologije GIS. Z GIS tehnologijo uporabnik lažje dostopa in izmenjuje prostorske podatke po medmrežju, se nanj povezuje, omogoča pa tudi podporo za medopravnost sistemov GIS (Šumrada, 2011).

2.2 Standard in standardizacija

Standard je dokumentiran dogovor, ki vsebuje tehnične specifikacije ali druge natančno določene kriterije, ki se pogosto uporabljajo kot pravila, smernice ali definicije lastnosti, da bi dosegli optimalno stopnjo urejenosti na danem področju. Standard nastane na osnovi doseženega konsenza, ki ima cilj poenotiti (postopke, procese, storitve,...) med predstavniki iz industrije in komisijo, ki standard napiše. Standarde delimo na mednarodne, nacionalne in regionalne (Šumrada, 2009b).

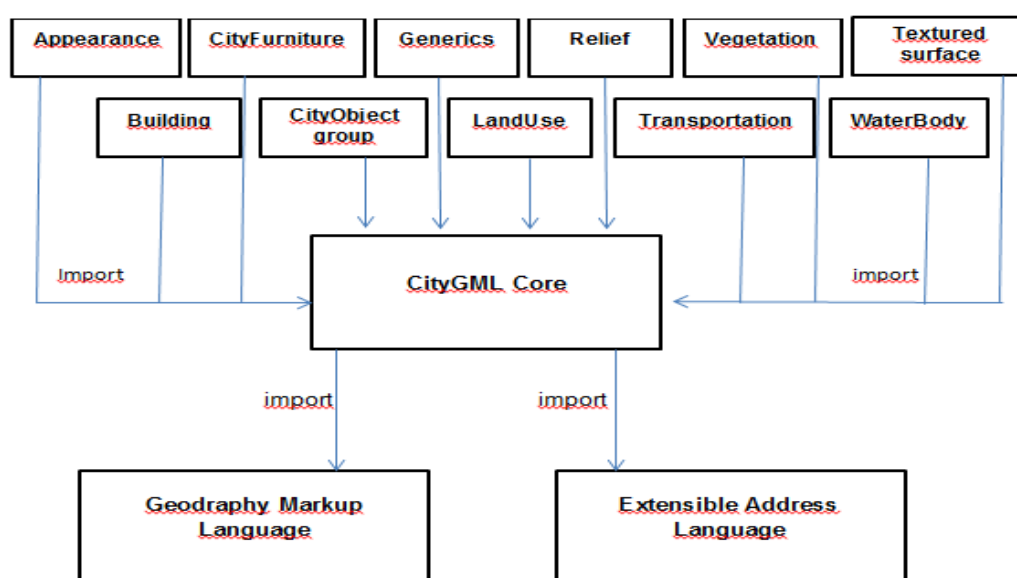
Standardizacija je dejavnost, ki usklajuje pravila in določila, da se ob ponavljajoči uporabi doseže optimalna stopnja urejenosti (jasnost in poenotenje), kjer je različnost na določenem področju nezaželena oziroma moteča. Dejavnost obsega postopke razvoja, sprejemanja, uveljavljanja in uporabe standardov (Šumrada, 2009b).

2.3 CityGML

CityGML je mednarodni standard in odprt podatkovni model, ki temelji na formatu XML in GML, namenjen je za modeliranje, prikazovanje, shranjevanje in izmenjevanje podatkov navideznih 3D modelov mest in krajin. CityGML temelji na opredelitvah družine standardov ISO191xx in se hkrati izvaja kot aplikativna shema GML3 (angl. Geography Markup Language), ki je mednarodni standard za izmenjavo in kodiranje prostorskih podatkov, opredeljen s strani OGC-ja (Kolbe idr., 2009; Šumrada, 2009a; Štadler, 2007).

Namen razvoja CityGML je definirati razrede in odnose med ustreznimi topografskimi pojavi v mestih in na podeželju glede na njihove geometrične, topološke, grafične, opisne in semantične lastnosti. »Vključene so hierarhije za generalizacijo in dedovanje tematskih razredov, sestavo agregacij, opredelitev odnosov med razredi in ponazoritev prostorskih značilnosti« (Šumrada, 2009a: str. 706). Tematski podatki niso pomembni le za grafično izmenjavo podatkov, vključujejo tudi 3D mestne modele za izvajanje analiz v različnih aplikacijah za prikaz simulacije mesta ter upravljanje objektov (Kolbe idr., 2009; Šumrada, 2009a).

Podatkovni model CityGML sestavljajo jedrni modul ter ostali osnovni moduli (slika 1). Jedrni modul vsebuje osnovne koncepte ter komponente virtualnih mest, vsi ostali pa vsebujejo specifične tematske vsebine kot so stavbe, digitalni model reliefa (DMR), vodna telesa, vegetacija, prometnice, itd. (Kolbe idr., 2009).



Slika 1: Jedrni in osnovni moduli CityGML-a (Kolbe idr., 2009: str. 268)

CityGML omogoča prikazovanje 3D mestnih modelov z različnimi ravni kompleksnosti geometrije in tudi semantike. Opredeljuje pet zaporednih ravni podrobnosti (LOD – Level of Detail), pri čemer objekti postajajo bolj podrobni glede na opisne in geometrične podatke s prehajanjem na višji nivo ravni podrobnosti. Povedano drugače, bolj kot povečamo merilo (povečamo prikaz) višja raven podrobnosti se nam prikazuje. Objekte je mogoče prikazati v različnih ravneh sočasno (Kolbe idr., 2009; Šumrada, 2009a; Kolbe, 2008).

Če povzamem po Šumradi (2009a) je cilj razvoja CityGML, da se doseže standardno (enostavnejšo in učinkovitejšo) uporabo v različnih 3D aplikacijah s poenoteno opredelitvijo prostorskih pojavov, njihovih odnosov in lastnosti.

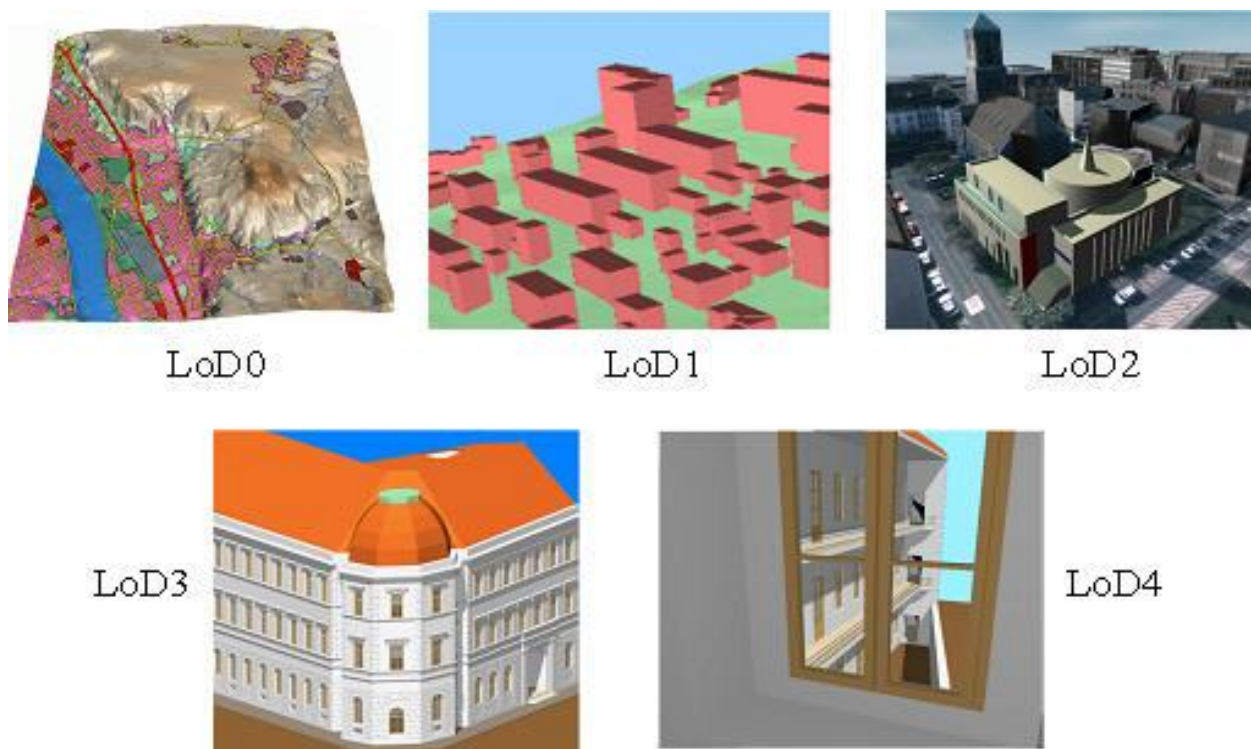
2.4 Ravni podrobnosti 3D prikazovanja stavb

Kot je že omenjeno v poglavju 2.3, CityGML opredeljuje ravni podrobnosti oziroma razpoznavnosti, kjer se geometrijska in tematska podrobnost objektov povečuje z rastjo ravni podrobnosti. Posamezna raven opredeljuje, do katere mere bodo detajli objektov posplošeni oziroma kakšno ločljivost bomo z določeno ravnjo razpoznavnosti dosegli.

CityGML definira pet ravni podrobnosti oziroma razpoznavnosti prikazovanja 3D-modelov stavb (slika 2), ki se označujejo LOD0, LOD1, LOD2, LOD3 in LOD4 (Gröger idr., 2012; Šumrada, 2009a):

- LOD0 (prva raven – regionalni model) predstavlja osnovni nivo, ki ponazarja 2,5D digitalni model reliefa (DMR), katerega lahko prekrijemo z raznimi fotogrametričnimi posnetki oz. z drugo ustrezno kartografsko podlago. V tem nivoju so stavbe ponazorjene s tlorisom stavbe, niso pa prikazane v 3D obliki.
- LOD1 (druga raven – mestni model) prikazuje stavbe brez večjih podrobnosti, ki imajo podan tloris in višino (strehe so ravne). Stavbo tvorijo bloki osnovnih 3D geometrijskih teles.
- LOD2 (tretja raven) doda predhodni ravni podrobnosti stavb obliko streh, detajlnejšo obliko sten ter tematsko opredeljene fasade.
- LOD3 (četrt raven) se dodatno poglobi v podrobnosti arhitekturnih modelov stavb. V tej stopnji se podrobneje prikaže streha, stene, v obdelavo pa se lahko vključijo tudi manjši detajli kot so vrata, okna, zunanja stopnišča, dimniki, balkoni.
- LOD4 (peta raven) vključuje poleg že omenjene visoke podrobnosti zunanosti stavb tudi podrobno ponazoritev notranjosti, hkrati pa omogoča tudi premikanje v notranjosti objekta. Vključene so lahko tudi opisne, semantične in topološke lastnosti stavb.

Vnaprej definirane ravni podrobnosti variirajo od jedrnega 2,5D modela, ki je definiran z DMR-jem in ustreznim fotogrametričnim posnetkom, pa vse do podrobno prikazanega modela, ki vključuje tudi podroben prikaz arhitekturnih komponent v notranjosti objektov (Kolbe, 2009).



Slika 2: Primer prikaza petih stopenj podrobnosti, ki jih definira CityGML

Ravni podrobnosti se med seboj ločijo tudi po zahtevani položajni točnosti, stopnji generalizacije in drugih lastnostih, prikazanih v preglednici 1.

Položajno točnost opišemo kot standardni odklon (σ) absolutnih oz. relativnih 3D koordinatnih točk glede na pravi položaj. Relativna položajna točnost zaenkrat še ni vključena v informacijski model CityGML (Gröger idr, 2012).

Položajna točnost točk mora biti v LOD1 5 m oz. boljša, obravnavati pa se morajo vsi objekti, katerih tlorisne dimenzije znašajo vsaj 6 m x 6 m. LOD0 dovoljuje slabšo točnost od LOD1. Pri LOD2 je predpisana položajna točnost vsaj 2 m ali boljša. Minimalna vrednost tlorisne dimenzije še obravnavanih objektov mora biti 4 m x 4 m. Stopnja točnosti točke pri LOD3 mora biti 0,5 m in predlagan tloris obravnavanih stavb je minimalno 2 m x 2 m. Pri peti ravni razpoznavnosti (LOD4) pa mora biti položajna točnost boljša od 0,2 m (Gröger idr., 2012).

Preglednica 1: Opis značilnosti posameznih ravni podrobnosti (vir: Gröger idr., 2012: str. 12)

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Uporaba	regionalna, pokrajina	mesta, regije	mesta, mestne četrti, projekti	mestne četrti, arhitekturne podrobnosti (zunanost), prepoznavni, orientacijski znaki	arhitekturne podrobnosti (notranost), prepoznavni in orientacijski znaki
Zahtevana točnost	najnižja	nizka	srednja	visoka	zelo visoka
Absolutna točnost 3D točk (višinska/ planimetrična)	nižja od LOD1	5 m/5 m	2 m/2 m	0,5 m/0,5 m	0,2 m/0,2 m
Generalizacija	maksimalna poenostavljenost	poenostavljeni blokovni objekti > 6 m x 6 m (tloris)/ 3 m (višina)	poenostavljeni objekti z dodano streho in teksturo fasade > 4 m x 4 m (tloris)/ 2 m (višina)	zunanost objektov prikazana detajlno (stopnišča, dimniki, zračniki, itd.) > 2 m x 2 m (tloris)/ 1 m (višina)	prikazani konstrukcijski elementi ter okna in vrata
Prikaz napeljav/inštalacij objektov	ne	ne	da	predstavitev zunanjih napeljav	realna upodobitev objektov
Ponazoritev streh	da (DOF, DTK, itd.)	ravna	groba oblika realnega stanja	realna oblika	realna oblika
Previsni deli streh	da	ne	da, če je definiran	da	da
Oprema za javno dobro	ne	pomembni objekti	prototipi, generalizirani/poenostavljeni objekti	realistična upodobitev objektov	realna upodobitev objekta

2.5 Grafična ponazoritev trirazsežnih modelov

Tako pri fotogrametrično izdelanih modelih, kot tudi pri drugih prikazih stavb v 3D modelu stvarnosti, se za prikaz objektov lahko uporablja različne formate prikazovanja. V nadaljevanju bom obravnaval dva odprtokodna prenosna formata ter standardna pristopa za modeliranje navideznih 3D modelov: KML, VRML/X3D.

2.5.1 KML

KML (Keyhole Markup Language) je jezik, ki temelji na XML-shemi in se uporablja za modeliranje, izmenjavo in prikaz 2D oziroma 3D geografskih podatkov na spletnem zemeljskem brskalniku, kot je Google Earth (slika 3). KML-jev prosti format se uporablja za

prikazovanje in prenos geografskih podatkov, vendar pa je potrebno poudariti, da pri prikazovanju ni mišljeno le na grafičen prikaz na zaslonu, temveč tudi za izbor podatkov, dinamično interakcijo in razne druge funkcije.



Slika 3: Primer prikaza 3D-modela dela mesta New York (Google Earth)

Če poenostavim, s KML zapisom definiramo, kaj in kako bomo izbrano stvar (točke, poti, poligoni itd) prikazali v Google Earth, Maps ipd., ki podpirajo KML zapis. Lahko bi rekel, da se strukturi zapisa KML in XML ne razlikujeta, kar je posledica tega, da KML temelji na XML standardu. KML ima gnezdeno strukturo, kar pomeni, da na primer definiramo »starša«, kateremu definiramo lastnost (koordinate točk, stil prikaza, itd.), njegovemu »otroku« (podelementu) pa definiramo, na kakšen način želimo imeti prikazan položaj (npr. rdeča pika, žebliček, debelina žeblička, itd.) (slika 4). KML datoteko je možno ustvariti neposredno v Google Earth, lahko pa se jo izdelava tudi v preprostem urejevalniku besedil (beležnica). Za samo izdelavo dejanskega 3D modela pa se lahko uporablja programsko orodje SketchUp s katerim lahko prav tako izvozimo datoteko KML. V praksi se lahko datoteke *.kml posredujejo tudi kot zgoščene datoteke *.kmz (Šumrada, 2009a; Wilson, 2008).

```

<Placemark>
  <Style id="s_ylw-pushpin">           "starš" --> oblika prikaza točke (žebliček)
  <IconStyle>
    <color>ff0000ff</color>           "otrok" --> barva prikaza
    <scale>2</scale>                 "otrok" --> velikost prikaza žeblička
    <Icon>
      <href>http://maps.google.com/mapfiles/kml/shapes/shaded_dot.png</href>
    </Icon>
  </IconStyle>
</Style>
<Point>
  <coordinates>74.58788300001065,42.87002199994699,0
77.9877629080011,43.3922548198411,0</coordinates>
</Point>
</Placemark>

```

Slika 4: Prikaz zapisa KML datoteke

2.5.2 VRML/X3D

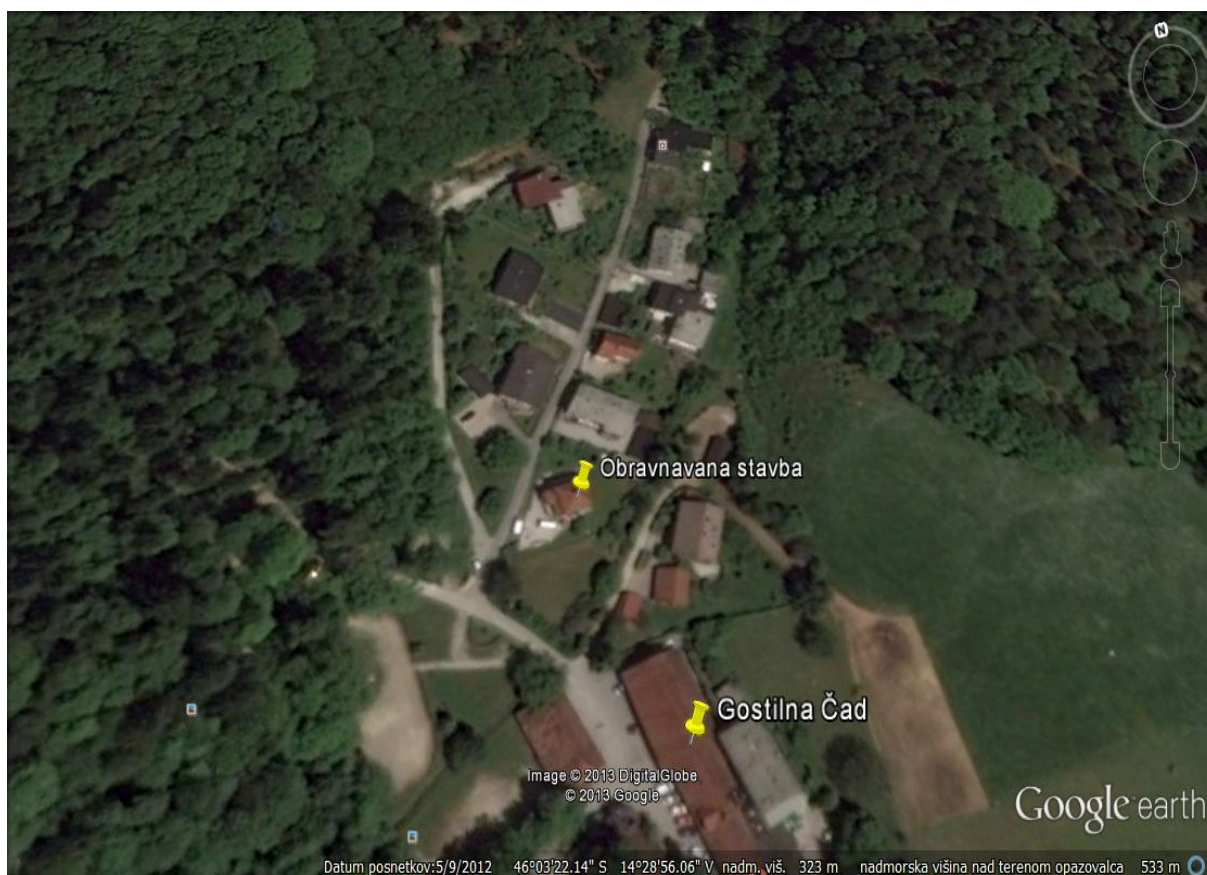
Kljub temu, da so VRML (Virtual Reality Modeling Language) začeli razvijati leta 1994 v laboratorijih SGI (Silicon Graphics Inc.), se še danes uporablja kot najbolj pogost prenosni format za spletno grafiko in prosto dostopni standard za modeliranje navideznega prostora in 3D objektov, ki je uporaben zlasti na spletu. Uporabniki se lahko po ustvarjenih prizorih navidezne resničnosti, zapisanih v jeziku VRML, premikajo podobno, kot pri »klasični« spletni strani in sicer preko povezav. Datoteke se zapisujejo v obliko *.wrl ali pa podobno kot pri KML, kot zgoščene datoteke, ki imajo končnico *.wrz. Zgoščena oblika omogoča uporabniku hitrejši prenos po omrežju (Šumrada, 2009a).

X3D (eXtensible 3D) je odprti format, ki je nasledil VRML in temelji na XML standardu. X3D podpira tako rastrsko kot tudi vektorsko grafiko in se podobno kot VRML uporablja za prikazovanje, modeliranje in prenos 3D-modelov na spletu (Šumrada, 2009a).

3 IZVEDBA PRAKTIČNEGA MODELA

Pri praktični izvedbi naloge smo opisali postopek za izdelavo modela stavbe v različnih ravneh podrobnosti do LOD3, ki bi bil prikazan tudi v zemeljskem brskalniku (Google Earth) ter izdelavo modela ulice do LOD1. Obravnavano območje se nahaja na poti na Drenikov vrh, ki je v neposredni bližini gostilne Čad v Ljubljani (slika 5). Zajem in obdelavo podatkov smo opravili s fotogrametrično metodo. Vhodni podatki na podlagi katerih smo izdelali model ulice in 3D-model stavbe, so bili naslednji:

- DOF050 (državni ortofoto s prostorsko ločljivostjo 0,5 m),
- DMV 5 (državni DMV s prostorsko ločljivostjo 5 m),
- DTK5 (državna zbirka topografskih podatkov homogene natančnosti, ki ustreza ravni merila 1 : 5000),
- stereopar letalskih posnetkov Cikličnega aerosnemanja Slovenije CAS 2006 (uprabili smo ga za izdelavo žičnega modela),
- fotografije stavbe zajete s fotoaparatom Nikon D3000, ki je prikazan na sliki 6 (uprabili smo jih za izdelavo tekstur).



Slika 5: Prikaz obravnavanega območja (Google Earth)



Slika 6: Uporabljen fotoaparater Nikon D3000 za izdelavo tekstur stavbe

Pri izdelavi naloge smo uporabljali ESRI-jevo (ArcMap in ArcScene) programsko opremo s katero smo obdelali obravnavano ulico. Za izdelavo 3D modela stavbe smo uporabili digitalno fotogrametrično postajo Socet Set, kjer smo imeli z izdelavo osnovnega žičnega modela (tloris temeljev, strehe ter sleme strehe) kar nekaj težav, saj ima izbrana stavba zahteven arhitekturni stil (slika 7). S pomočjo izdelanih osnovnih linij v Socet Set-u smo žični model v Google SketchUp-u dogradili in izdelali ploskovni model na katerega smo nanegli teksturo v obliki ortofotov, ki smo jih izdelali s programom Fotoplan.



Slika 7: Prikaz zahtevnega arhitekturnega stila

V podpoglavjih 3.1 in 3.2 bomo predstavili posamezne faze izdelave modela ulice in modela stavbe.

3.1 Model ulice v ravneh podrobnosti LOD0 in LOD1

Kot smo omenili že zgoraj, obravnavano območje leži na poti na Drenikov vrh v Ljubljani ob gostilni Čad. Za izdelavo modelov v LOD0 in LOD1 smo uporabljali ESRI-jev programski paket ArcGIS, ki uporabniku omogoča obdelovanje, analiziranje in pregled geografskih podatkov.

Podatke digitalnega ortofota, digitalnega modela višin ter državno topografsko karto smo uporabili za osnovo pri modeliranju ulice v zgoraj omenjenih stopnjah podrobnosti. Modeliranje smo opravili v dveh stopnjah. Prvo fazo s programom ArcMap, drugo pa z ArcScene.

3.1.1 Izbor stavb v ArcMap

ArcMap je del programskega paketa ArcGIS s katerim lahko ustvarjamo poljubne karte, urejamo podatke, zajemamo določena območja, izvajamo analize geografskih podatkov itd. ArcMap smo v našem projektu uporabili zgolj za izbiro stavb, ki smo jih v drugi fazi modelirali do druge stopnje podrobnosti (slika 8). V ArcMap smo uvozili DOF050 in DTK 5 na podlagi katerih smo izvedli izbor.



Slika 8: Prikaz obravnavanih stavb

3.1.2 Izdelava prikazov ravni podrobnosti LOD0 in LOD1 v programu ArcScene

ArcScene je prav tako kot ArcMap del programskega paketa ArcGIS, ki pa se uporablja za izdelavo 3D aplikacij. V ArcScene-u lahko prekrivamo različne podlage v 3D okolju, kot smo to storili mi, ko smo izdelali prikaz v ravni podrobnosti LOD0, kjer smo na DMV nanesli ortofoto ter izbrane stavbe (slika 9). S sliko 10 pa smo prikazali izdelan LOD1, pri katerem smo nadgradili LOD0, tako da smo obravnavane stavbe dvignili na višino slemena, s čimer smo dobili 3D blokovne objekte.



Slika 9: Model ulice v ravni podrobnosti LOD0



Slika 10: Model ulice v ravni podrobnosti LOD1

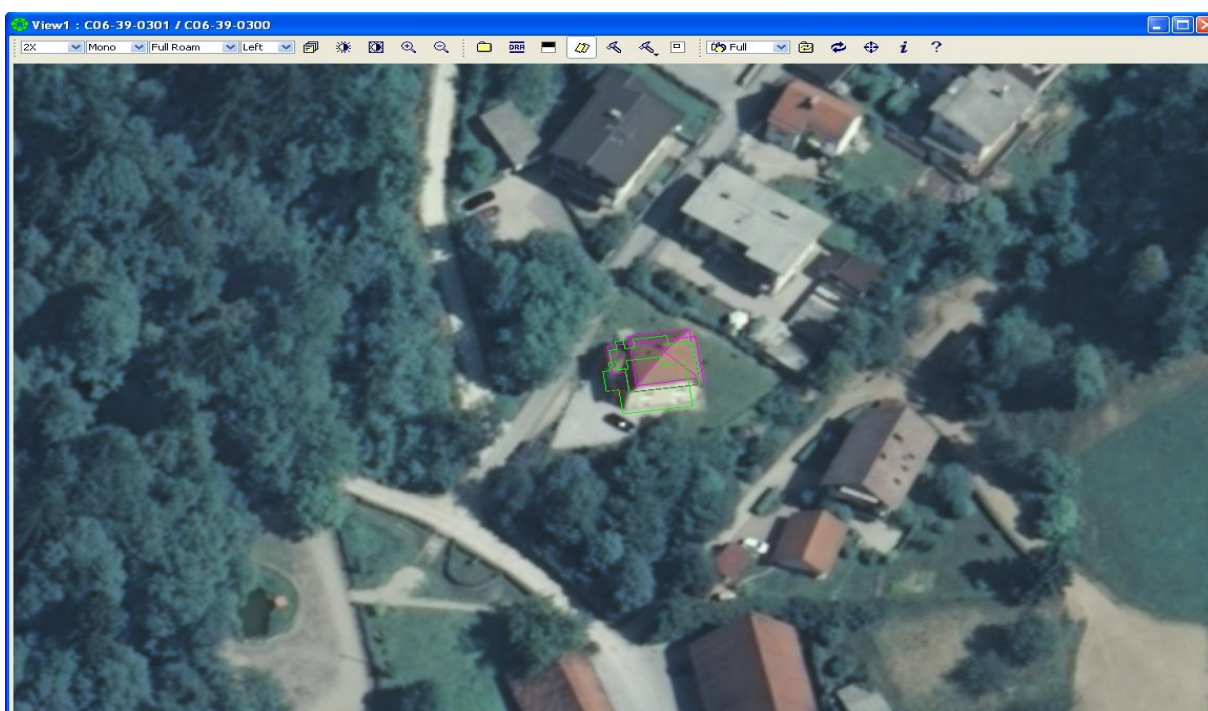
3.2 Modela stavbe v različnih ravneh podrobnosti

Pri izbiri primerne stavbe za izdelavo modela smo imeli kar nekaj težav, saj je na območju Ljubljane težko posneti stavbo z vseh strani, ker so stavbe zgrajene zelo blizu druga drugi. Težava pa se pojavi tudi v stiku z lastniki nepremičnin, saj so nekateri zelo nezaupljivi in ne dovolijo vstopa na nepremičnino.

V tem delu praktične naloge smo uporabili stereopar iz letalskih posnetkov CAS 2006 ter fotografije, ki smo jih na terenu zajeli z Nikonovim D3000 fotoaparatom.

3.2.1 Obdelava v programu Socet Set

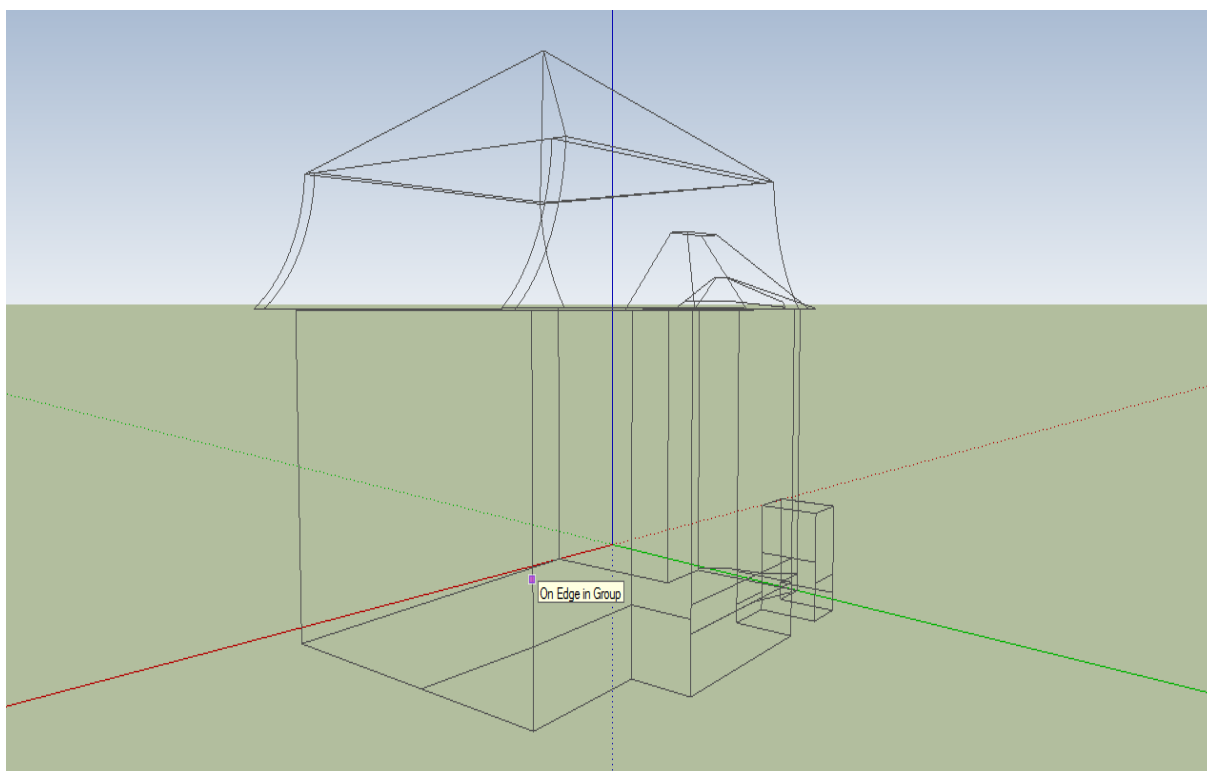
Prvo fazo izdelave modela stavbe v različnih ravneh podrobnosti smo izdelali z uporabo programskega orodja Socet Set. Socet Set uporabniku omogoča natančno obdelavo fotogrametričnih meritev na posnetkih za pridobitev ustreznih merskih vrednosti (položaj, višina) (Cigelšek, 2012). V praktični nalogi smo Socet Set, kot prikazuje slika 11, uporabili za definiranje žičnega modela tlorisa temeljev, kapi stavbe ter strehe, ki smo ju izvozili v *.dxf datoteki. Pri zajemu tlorisov smo si pomagali z vključeno državno topografsko karto, ki nam je bila vodilo za zajem. Ker smo zaradi zahtevne oblike strehe, kot je prikazana na sliki 7, težko določili pravo obliko in dimenzijo strehe, smo se odločili, da jo določimo le grobo in jo v naslednji fazi s pomočjo programskega paketa Google SketchUp optimiziramo.



Slika 11: Zajem tlorisa temeljev, kapi in oblike strehe v Socet Set-u

3.2.2 Izdelava žičnega modela v programu Google Sketch Up

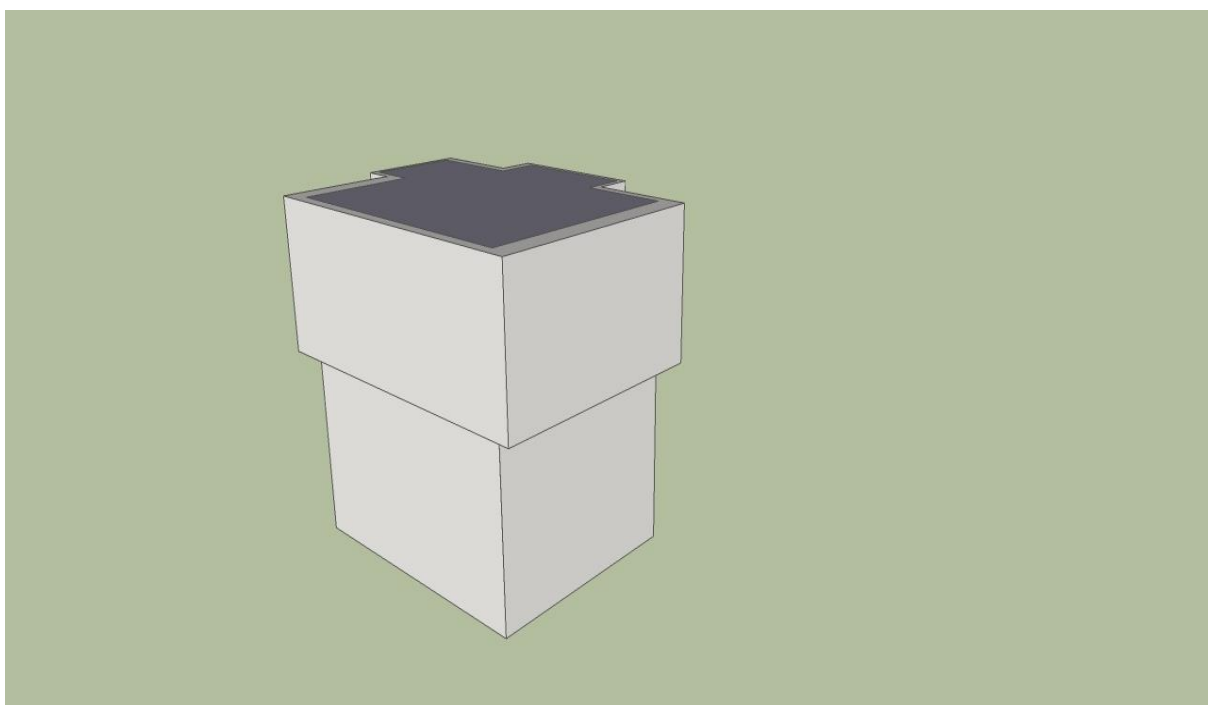
Google SketchUp-ova osnovna verzija je prosto dostopno programsko orodje za izdelovanje tridimenzionalnih modelov, ki se lahko uporabljajo v različnih aplikacijah, kot so arhitekturni, mestni in strojni modeli, uporaba pa je mogoča tudi za modeliranje video iger (Wikipedia, 2013). Google SketchUp smo uporabili za izdelavo celotnega žičnega modela, ki je prikazan na sliki 12, ter za modeliranje stavbe v različnih ravneh podrobnosti. Z žičnim modelom prikažemo skelet objekta, saj je sestavljen iz 2D gradnikov (linije, krivulje, loki itd.) brez dodanih ploskev, katere 3D modelom omogočajo dodajanje tekstur. Ker žični model ne vsebuje ploskev, ga uvrščamo med 2,5D objekte (Kotnik, 2008). V Google SketchUp smo uvozili datoteki *.dxf, ki smo ju pridobili iz Socet Set-a. Kot smo že omenili v poglavju 3.2.1, smo morali žični model strehe, zaradi njene zahtevne arhitekturne oblike, optimizirati. Dimenzije žičnega modela smo izboljšali z ortofotom fasade, na podlagi katerega smo definirali pravo višinsko razliko med nižjim in višjim delom strešne kapi. Pri izdelavi žičnega modela smo uporabljali osnovna orodja, ki jih ponuja Google SketchUp za izdelavo linij in lokov.



Slika 12: Žični model stavbe

3.2.3 Izdelava modela stavbe ravni podrobnosti LOD1 v programu Google SketchUp

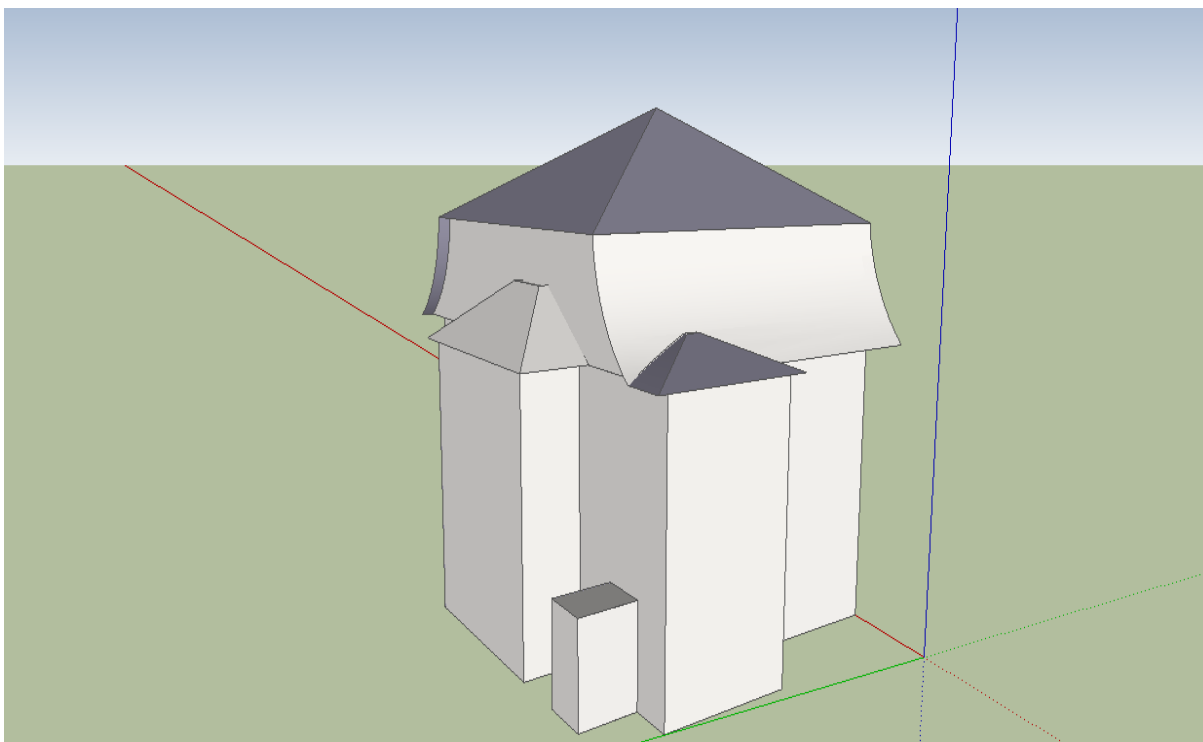
V poglavju 2.4 smo omenili, da so stavbe v LOD1 prikazane v obliki 3D blokovnih elementov, ki ne vsebujejo prikaza tekstur fasad. Stavba je v našem primeru sestavljena iz dveh blokov (slika 13). Prvi blok predstavlja zajete tlorisne dimenzije iz Socet Set-a ter višinsko razliko med višino točke temeljev in nižjo od višin kapi. Drugi blok je bil sestavljen na enak način, le da smo za višino bloka vzeli višinsko razliko med nižjo višino kapi strehe ter slemenom strehe. V Google SketchUp-u smo na podlagi žičnega modela izdelali tlorisno ploskev, ki smo jo z orodjem »Pull« dvignili na ustrezni višini, s čimer smo dobili blokovna elementa, ki predstavljata model stavbe v ravni podrobnosti LOD1.



Slika 13: Model stavbe v ravni podrobnosti LOD1

3.2.4 Izdelava ploskovnega modela, ortofotov in 3D modela stavbe v ravni podrobnosti LOD2

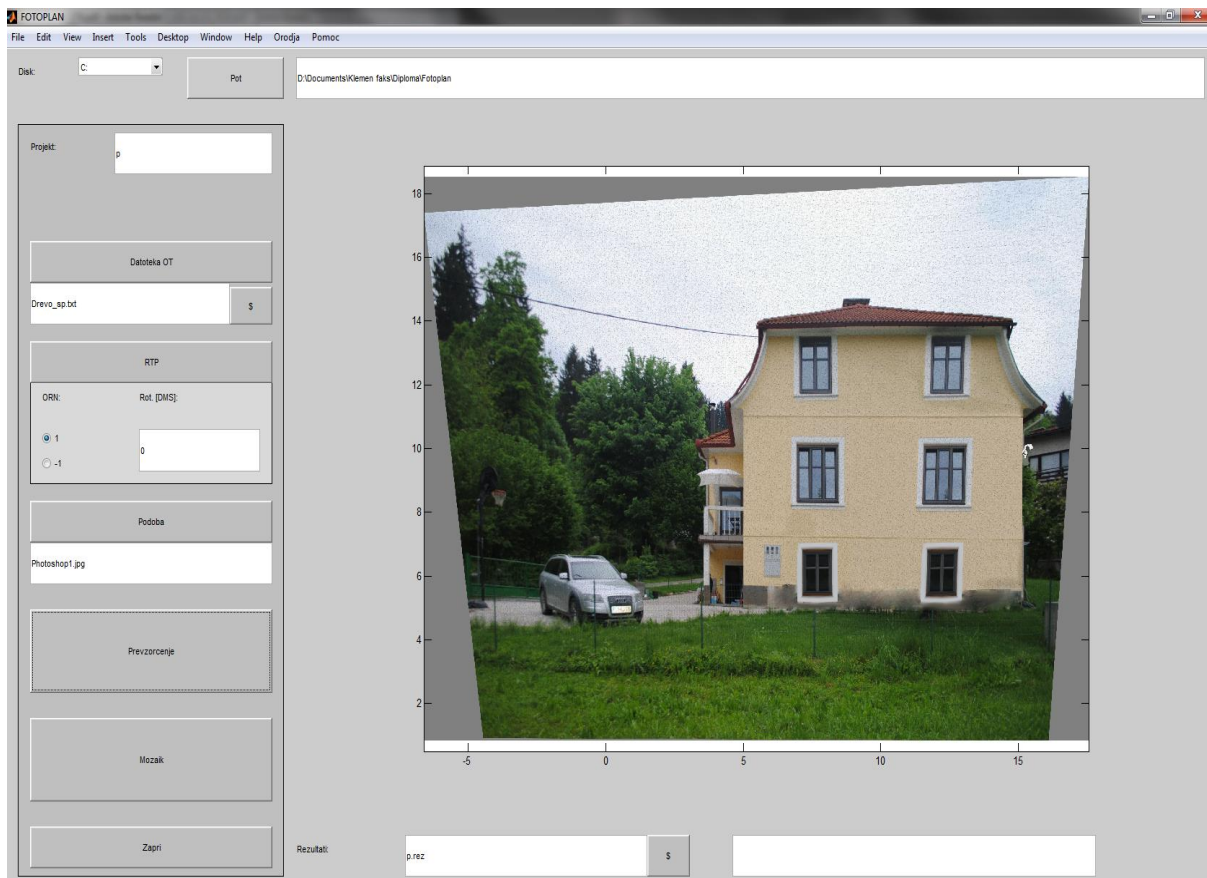
Z izdelavo ploskovnega modelov smo iz 2,5D žičnega modela dobili 3D objekt. Posamezne ploskve so nam v nadaljnjih korakih omogočale nanašanje tekstur fasade in strehe. Na podlagi žičnega modela smo v Google SketchUP-u brez težav med seboj povezali vse robove in dobili posamezne ploskve 3D objekta (slika 14).



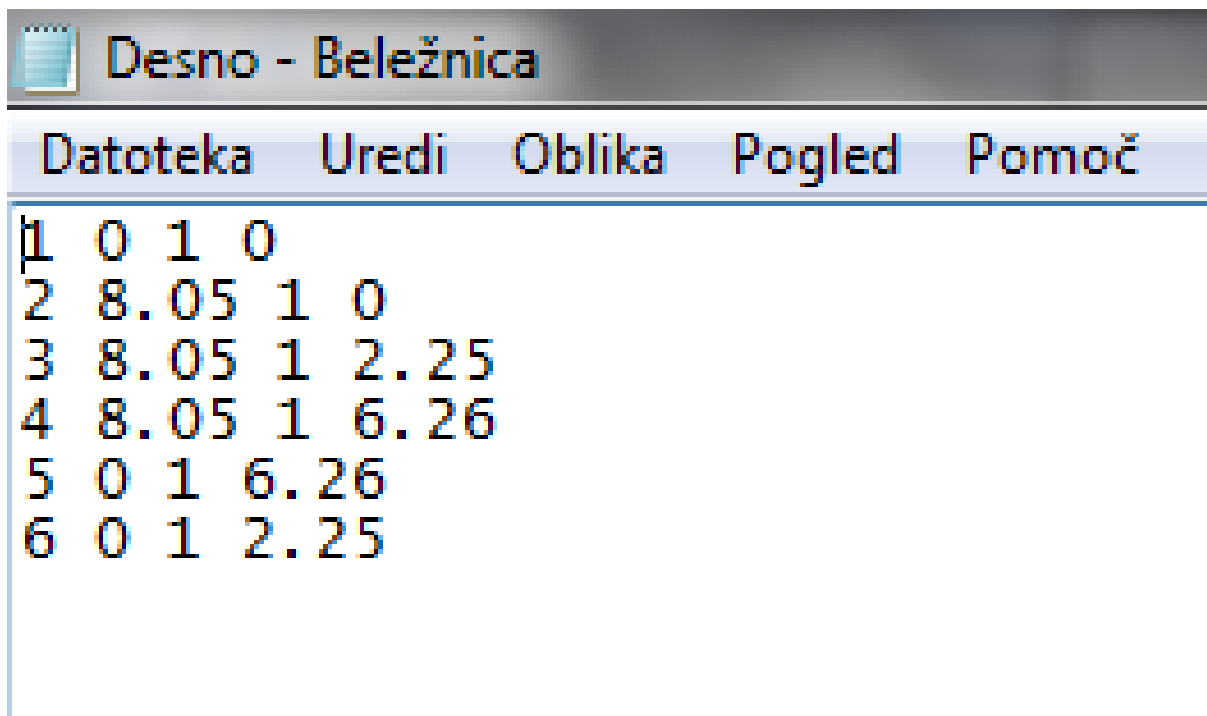
Slika 14: Ploskovni model

Ortofoto je fotogrametrični izdelek, ki postaja v sodobnem času nepogrešljiv pri uporabi različnih prostorskih aplikacij. Dobimo ga s prevzorčenjem zajetega fotografskega posnetka v ortogonalno projekcijo. Ortofoto, kot trdi Kosmatin Fras (2004: str. 167), »nadomešča vektorske podatke tam, kjer ustrezni niso na voljo, ali pa jih dopolnjuje. Uporablja se kot rastrska podlaga v geolociranih prostorskih bazah, na njem se izdelujejo geodetske podlage za potrebe planiranja, z njim na različne načine fotografsko realistično »oblepimo« trirazsežne modele (projekcija na digitalni model terena, modele stavb itd.)«.

V praktičnem primeru smo za izdelavo ortofotov (slika 15) uporabili program Fotoplan. Pred prevzorčenjem fotografskega posnetka v ortogonalno projekcijo smo morali za vsako ravnino pripraviti ustrezno datoteko *.txt v beležnici (slika 16), v kateri smo definirali prostorske koordinate štirih oslonilnih točk objekta (v metrih). Koordinati x in z smo izmerili na ploskovnem modelu, izdelanem v programu Google SketchUp. Ker smo obdelovali ravnine, smo koordinati y pri vseh točkah dodelili isto vrednost. Fotoplan izdelava ortofote ravnih fasad z uporabo projektivne transformacije. Dobljene ortofote smo uporabili pri nanašanju tekstur na ploskovni model, s čimer smo dobili model stavbe v ravni podrobnosti LOD2 (slika 17), ki je podrobneje opisana v poglavju 2.4. Pri sami izdelavi LOD2 je glavni problem predstavljala pravilna določitev položajev oslonilnih točk za izdelavo ortofotov, saj objekt leži na klančini.



Slika 15: Primer izdelanega ortofota v programu Fotoplan



Slika 16: Primer koordinat oslonilnih točk v datoteki *.txt



Slika 17: Prikaz 3D modela stavbe v ravni podrobnosti LOD2

3.2.5 Izdelava 3D modela stavbe v ravni podrobnosti LOD3

Kot prikazuje slika 18 smo pri četrti stopnji podrobnosti oz. LOD3 model, izdelanem v LOD2, nadgradili z arhitekturnimi detajli med katere uvrščamo žlebove, dimnike, okna, vrata itd. Po končanem modeliranju smo model locirali na podlago, pridobljeno iz Google Earth-a, ki smo jo v naslednjem koraku dvignili na položaj digitalnega modela terena. SketchUp-ovo datoteko 3D modela bi morali v zadnjem koraku izvoziti v datoteki *.kmz, če bi želeli prikazati model v zemeljskem brskalniku (Google Earth).



Slika 18: Prikaz 3D modela stavbe v ravni podrobnosti LOD3

4 ANALIZA METODOLOGIJE IN REZULTATOV

Na podlagi raznovrstnih fotogrametričnih podatkov smo izdelali ter prikazali model ulice in izbrane stavbe v različnih ravneh podrobnosti.

Pri modelu ulice je bilo praktičnega dela malo, saj smo imeli vse vhodne podatke pripravljene in je bila naša naloga zgolj združiti fotogrametrično podlago (v našem primeru DOF) in izbrane stavbe iz DTK z DMV ter določiti višinsko razliko med slemenom streh in višino temeljev stavb, na podlagi katerih smo izdelali 3D blokovne modele stavb.

Model stavbe je zahteval več dela in hkrati povzročal več težav. Že pri zajemanju žičnega modela iz stereoparov se je pojavil problem zaradi zahtevno oblikovane strehe. Na podlagi tekstur, ki smo jih pridobili iz ortofotov, smo prilagodili obliko ploskovnega modela in posredno tudi žičnega. Ker leži stavba na klančini in nismo imeli pravih položajnih podatkov oslonilnih točk, smo večjo pozornost posvetili tudi izdelavi ortofotov. Po vsakem ortofotu, ki smo ga uporabili v modelu, smo morali določiti novo ničto točko (stik terena in stavbe) za določitev oslonilnih točk. Delo bi bilo lažje, če bi pridobili položaje posameznih vogalov točk (oslonilne točke) stavbe s terestrično ali katero drugo metodo izmere. Vendar pa se je potrebno vprašati, če so dodatni stroški smiselni glede na zahtevano absolutno točnost (0,5 m), ki jo predpisuje standard. Na koncu smo dosegli željen cilj in izdelali mestni model stavbe v različnih ravneh podrobnosti.

5 ZAKLJUČEK

Cilj diplomske naloge je bil ustvariti model ulice in izbrane stavbe v različnih ravneh podrobnosti na podlagi fotogrametrične metode zajema.

Mednarodni odprti standard CityGML konzorcija OGC ureja povezljivost zajetih podatkov o stavbah in njihovo uporabo v 3D mestnih modelih. CityGML predpisuje pet različnih ravni podrobnosti. Osnovna raven podrobnosti (LOD0) definira 2,5D model, s katerim definiramo položaj in višino. Z vsako naslednjo stopnjo pa se povečuje realnost prikaza obravnavanega modela.

V delu izdelave ulice smo z ESRI-jevim programskim paketom izdelali model ulice z ravnema podrobnosti LOD0 in LOD1. V tem delu smo uporabili le dane podatke iz vhodnih datotek (DOF050, DMV 5, DTK 5). Modelirana stavba leži na ulici, ki smo jo izdelali z ravnema podrobnosti LOD0 in LOD1 in sicer v Ljubljani na poti na Drenikov vrh. Pri modeliranju stavbe smo osnovne podatke pridobili iz stereopara CAS 2006 s fotogrametričnim zajemom (žični model) in na podlagi lastnih terestričnih posnetkov (ortofoto). Trirazsežen model stavbe, čigar ocenjena relativna točnost je znotraj predpisane vrednosti (0,5m), je izdelan do faze, ki je primerna za izvoz v datoteko *.kmz in posredno za prikaz v programu Google Earth.

Seveda bi z uporabo drugih geodetskih tehnik zajemanja podatkov lahko dobili boljšo točnost modela, vendar zaradi predpisane točnosti obravnavanih modelov zajem z boljšo točnostjo ni potreben in ni ekonomičen (višji stroški in večja poraba časa). V nalogi smo pokazali, da s fotogrametrično zajetimi podatki lahko izdelamo trirazsežne modele v različnih ravneh podrobnosti.

VIRI

Uporabljeni viri

- Cigelšek, L. 2012. Kalibracija digitalnega fotoaparata na testnem polju. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 1, 18
- Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C., Häfele, K. H. 2012. OGC City Geography Language (CityGML) Encoding Standard: 11-12.
<http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0> (Pridobljeno 9. 4. 2013.)
- Kolbe, T. H., Claus N., Stadler, A. 2009. CityGML – OGC Standard for Photogrammetry? Berlin: 267-269, 271-272.
<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo09/270Kolbe.pdf>
(Pridobljeno 11. 4. 2013.)
- Kolbe, T. H. 2008. Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML. Berlin, Institute for Geodesy and Geoinformation Science, Technische Universität Berlin: str. 3-4.
http://www.citygml.org/fileadmin/citygml/docs/CityGML_Paper_Kolbe_2008.pdf
(Pridobljeno 6. 4. 2013.)
- Kosmatin Fras, M. 2004. Vpliv kakovosti vhodnih podatkov na kakovost ortofota. Ljubljana, Geodetski vestnik. 48, 2: 167
- Kotnik, D. 2008. Izdelava 3R modela Plečnikovih propilej na ljubljanskih Žalah iz podatkov laserskega skeniranja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 38 str.
- Open Geospatial Consortium. 2013.
<http://www.opengeospatial.org/ogc> (Pridobljeno: 10. 9. 2013.)
- Stadler, A., Kolbe, T. H. 2007. Spatio-semantic Coherence in the Inegration of 3D City Models. Berlin, Institute for Geodesy and Geoinformation Science, Technische Universität Berlin: 3 str.
http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/2-C43/Session1/paper_Stadler.pdf
(Pridobljeno: 11. 4. 2013.)
- Šumrada, R. 2009a. Trirazsežni pristopi za modeliranje stavb, mest in pokrajin. Ljubljana, Geodetski vestnik. 53, 4: 698-699, 702-707.
- Šumrada, R. 2009b. Slovenski, Evropski in mednarodni standardi za prostorske podatke. Ljubljana, Geodetski vestnik. 53, 2: 319-320.
- Šumrada, R. 2011. Prosti standardni spletni servisi OGC za prostorske podatke. Ljubljana, Geodetski vestnik. 55, 1: 47.
- SketchUp, 2013. <http://en.wikipedia.org/wiki/SketchUp> (Pridobljeno 24. 5. 2013.)
- Wilson, T. 2008. OGC KML. Open Geospatial Consortium Inc: str. XVIII.
<http://www.opengeospatial.org/standards/kml/> (Pridobljeno 24. 5. 2013.)

Viri slik

- Directionmag. 2013.
http://www.directionsmag.com/images/newsletter/2006/06_22/LoD_lg.jpg
(Pridobljeno 18. 4. 2013.)
- Telerik. 2013.
http://blogs.telerik.com/docs/default-source/veli-pehlivanov/listview_clientbinding_21.png?sfvrsn=0 (Pridobljeno 24. 5. 2013.)
- Kolbe, T. H., Claus N., Stadler, A. 2009. CityGML – OGC Standard for Photogrammetry?
Berlin: 268 str.
<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo09/270Kolbe.pdf>
(Pridobljeno 11. 4. 2013.)
- Nikon 3000. 2013.
http://www.kenrockwell.com/nikon/d3000/D3S_7799-1200.jpg (Pridobljeno 25. 5. 2013.)

Ostali viri

- Zbornica gradbeništva in IGM. 2013. Splošno o standardih. Slovenski inštitut za standardizacijo.
http://www.gzs.si/slo/panoge/zbornica_gradbenistva_in_industrije_gradbenega_materiala/gradbeni_standardi/splosno_o_standardih (Pridobljeno 3. 4. 2013)