

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:

Vidmar, B., 2013. Oblikovanje trirazsežnih kartografskih znakov za vzpostavitev abstraktne 3D upodobitve mesta Prage. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Petrovič, D., somentor Domajnko, M.): 54 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:

Vidmar, B., 2013. Oblikovanje trirazsežnih kartografskih znakov za vzpostavitev abstraktne 3D upodobitve mesta Prage. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Petrovič, D., co-supervisor Domajnko, M.): 54 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



VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJ  
PRVE STOPNJE  
TEHNIČNEGA  
UPRAVLJANJA  
NEPREMIČNIN

Kandidat:

**BOŠTJAN VIDMAR**

**OBLIKOVANJE TRIRAZSEŽNIH KARTOGRAFSKIH  
ZNAKOV ZA VZPOSTAVITEV ABSTRAKTNE 3D  
UPODOBITVE MESTA PRAGE**

Diplomska naloga št.: 18/TUN

**DESIGNING THE THREE-DIMENSIONAL  
CARTOGRAPHIC SYMBOLS TO ESTABLISH AN  
ABSTRACT 3D REPRESENTATIONS OF PRAGUE CITY**

Graduation thesis No.: 18/TUN

**Mentor:**

doc. dr. Dušan Petrovič

**Predsednik komisije:**

viš. pred. mag. Samo Drobne

**Somentor:**

asist. Matevž Domajnko, univ. dipl. inž. geod.

**Član komisije:**

prof. dr. Bojan Stopar

Ljubljana, 27. 06. 2013

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

Ta stran je namenoma prazna.

## **IZJAVE**

Podpisani Boštjan Vidmar izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »Oblikovanje trirazsežnih kartografskih znakov za vzpostavitev abstraktne 3D upodobitve mesta Praga«.

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

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

Ljubljana, 7.6. 2013

Boštjan Vidmar

Ta stran je namenoma prazna.

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**

<b>UDK:</b>	528.9(437.1Praga)(043.2)
<b>Avtor:</b>	Boštjan Vidmar
<b>Mentor:</b>	doc. dr. Dušan Petrovič
<b>Somentor:</b>	asist. Matevž Domajnko
<b>Naslov:</b>	Oblikovanje trirazsežnih kartografskih znakov za vzpostavitev abstraktne 3D upodobitve mesta Praga
<b>Tip dokumenta:</b>	diplomska naloga – visokošolski strokovni študij
<b>Obseg in oprema</b>	54 str., 38 sl., 5 pregl., 1 pril.
<b>Ključne besede:</b>	abstrakcija, modeliranje, 3D kartografski znaki, trirazsežnost, mesto Praga, kartografska generalizacija

### **Izvleček**

Diplomska naloga obravnava izdelavo generaliziranih in abstraktnih 3D objektov za potrebe kartografske 3D upodobitve mesta Praga. Na osnovi teorije nivojev podrobnosti in abstrakcije 3D modelov, ter na osnovi obstoječih fotorealističnih 3D objektov so bili izdelani abstraktni 3D objekti, ki so potrebni za nazorno, jasno in pregledno 3D karto. V prvem delu diplomske naloge je opisana teorija trirazsežnih kartografskih prikazov in znakov ter postopki generalizacije. V praktičnem delu je opisana izdelava osemnajstih (18-ih) izbranih objektov znotraj mesta Praga.

Ta stran je namenoma prazna.



## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 528.9(437.1Praga)(043.2)  
**Author:** Boštjan Vidmar  
**Supervisor::** Assist. Prof. Dušan Petrovič, Ph. D.  
**Co-advisor:** Assist. Matevž Domajnko  
**Title:** Designing the three-dimensional cartographic symbols to establish an abstract 3D representations of Prague city  
**Document type:** Graduation Thesis – Higher professional studies  
**Notes:** 54 p., 38 fig., 5 tab., 1 ann.  
**Keywords:** abstraction, modeling, 3D cartographic symbols, three-dimension, Prague city, cartographic generalization

### **Abstract:**

The thesis deals with making generalized and abstract 3D objects for the purpose of 3D cartographic depictions of Prague. Based on the theory of levels of detail and abstraction, 3D models, and existing photo-realistic 3D objects. An abstract 3D objects, which are necessary for a transparent and clearly of 3D map, was made. The first part describes the theory of three-dimensional cartographic presentations and symbols, and procedures of generalization. The practical part describes the generalization of eighteen (18) selected objects within the city of Prague.

Ta stran je namenoma prazna.

## **ZAHVALA**

*Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Dušanu Petroviču in somentorju asist. Matevžu Domajnku za strokovno pomoč, čas, vodenje in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.*

*Zahvala gre tudi moji družini, ki me je v času študija ves čas podpirala, spodbujala in verjela vame.*

Ta stran je namenoma prazna.

## KAZALO VSEBINE

<b>1.</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>RAZVOJ KARTOGRAFSKIH PRIKAZOV.....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>VHODNI PODATKI .....</b>	<b>5</b>
3.1	Karte v rastrski obliki .....	5
3.2	Karte v vektorski obliki .....	6
3.3	Ortofoto posnetki .....	7
3.4	Digitalni model reliefa.....	8
3.5	Kataster stavb.....	8
3.6	Numerični, opisni in slikovni podatki o kartografskem znaku .....	9
3.7	Fotogrametrični zajem objektov .....	9
3.7.1	Dvoslikovni zajem objektov .....	9
3.7.2	Večslikovni zajem objektov.....	10
3.8	Podatki letalskega laserskega skeniranja (Lidar).....	11
3.9	Baza že izdelanih 3D modelov .....	13
<b>4.</b>	<b>3D KARTOGRAFSKI ZNAKI.....</b>	<b>14</b>
4.1	Fotorealistični kartografski znaki .....	15
4.2	Abstraktni kartografski znaki.....	19
4.3	Zgradba 3D objektov .....	22
4.3.1	Model VOKSEL: .....	22
4.3.2	Parametrični opis: .....	22
4.3.3	Spajanje gradnikov: .....	22
4.3.4	Lupina objekta: .....	23
4.3.5	Prikaz z geometrijskimi telesi:.....	23
4.4	Nivo podrobnosti (NP).....	23
4.5	Generalizacija kartografskih znakov.....	26
<b>5.</b>	<b>IZDELAVA 3D KARTOGRAFSKIH ZNAKOV ZA MESTO PRAGA.....</b>	<b>29</b>
5.1	Obseg in opis preučevanega območja ter izbor objektov .....	30
5.2	Izbira nivoja podrobnosti (NP) .....	32
5.3	Predstavitev programa SketchUp® .....	32
5.4	Uporabljena barvna lestvica.....	34
5.5	Generalizacija in abstrakcija objektov .....	35
5.5.1	Izbira barv .....	37
5.5.2	Generalizacija .....	38

---

5.5.2.1	Podrobnosti na strehi.....	38
5.5.2.2	Zadnji del objekta.....	38
5.5.2.3	Okna.....	39
5.5.2.4	Abstrakcija podrobnosti.....	40
5.6	Izdelava 3D modela na osnovi slikovnega gradiva.....	42
5.7	Rezultat praktičnega dela.....	44
<b>6.</b>	<b>ZAKLJUČEK.....</b>	<b>47</b>
<b>VIRI</b>	<b>.....</b>	<b>49</b>

## **KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1:	Grafične spremenljivke za izris 3D objektov (Jahnke et al., 2012).....	15
Preglednica 2:	Tabelarni prikaz nivoja podrobnosti za CityGML standard (OGC 12-019:2012) ....	25
Preglednica 3:	Seznam izbranih objektov v mestu Praga.....	30
Preglednica 4:	Opis uporabljenih barvnih odtenkov .....	34
Preglednica 5:	Koraki izdelave poenostavljenega 3D objekta .....	42

Ta stran je namenoma prazna.



## KAZALO SLIK

Slika 1:	Poslikan mamutov okel (Ivory trade, 2012).....	2
Slika 2:	Babilonska karta sveta (Babylonian Map of the World, 2012).....	2
Slika 3:	Resolucija grafičnih prikazov (What is raster data?, 2012) .....	6
Slika 4:	Realnost prikazana na vektorski in rastrski sliki (Raster data, 2012) .....	6
Slika 5:	Ortofoto (a) in ortofoto kot podlaga 3D upodobitve (b) (Google Zemlja, 2012).....	7
Slika 6:	Primer katastra stavb (Grlic et al., 2003) .....	9
Slika 7:	Primer zajema obrisov stavb .....	10
Slika 8:	Enostavni primer več-slikovnega zajema (Dobričič, Kosmatin Fras, 2006).....	10
Slika 9:	Zajem podatkov z aero LiDAR tehnologijo (Elaksmer, Bethel, 2012).....	11
Slika 10:	Obdelava LiDAR oblaka točk - po korakih (a – e) (Verma, Kumar, Hsu, 2012) .....	12
Slika 11:	Graf uporabnosti sistema 3D modeliranja (Jahnke et al., 2012).....	14
Slika 12:	Primer fotorealističnega prikaza (Hermsmeyer et al., 2012) .....	16
Slika 13:	Diagram avtomatiziranega izrisa teksture.....	17
Slika 14:	Potek izdelave fotorealističnega objekta (Arslan et al., 2009).....	18
Slika 15:	Potek abstrakcije objekta (Jahnke et al., 2012) .....	19
Slika 16:	Upodobitev na podlagi abstrakcije.....	21
Slika 17:	Znakovna upodobitev na podlagi katastra stavb (Grlic et al., 2003).....	21
Slika 18:	Generalizacija v znakovni prikaz (Meng in Forberg, 2006) .....	21
Slika 19:	Spajanje gradnikov za izdelavo 3D objekta (Meng in Forberg, 2006). .....	22
Slika 20:	5 stopenj nivoja podrobnosti (OGC 12-019:2012) .....	26
Slika 21:	Generalizacija 2D kartografskih prikazov (Revell, P., et al., 2005) .....	27
Slika 22:	Generalizacija 3D kartografskih prikazov (Fuan T., et al., 2012).....	27
Slika 23:	Območje obdelave v mestu Praga.....	30
Slika 24:	Grafični prikaz lege izbranih objektov (Google Zemlja, 2012).....	32
Slika 25:	Program SketchUp® .....	33
Slika 26:	Uporabljena barvna lestvica.....	34
Slika 27:	Originalni model objekta 10 .....	36
Slika 28:	Fotografija objekta 15 (Prague Lovesguide, 2012).....	36
Slika 29:	Izbira barv za generaliziran objekt.....	37
Slika 30:	Streha pred in po odstranitvi podrobnosti .....	38
Slika 31:	Generalizacija zadnjega dela objekta.....	39
Slika 32:	Okno pred in po generalizaciji .....	40
Slika 33:	Originalen objekt .....	41
Slika 34:	Generaliziran objekt.....	41
Slika 35:	Slika realnosti objekta s podrobnostmi (Nakladatelstvi 1. Dejvická, 2012) .....	44

---

Slika 36: Slika realnosti objekta (Photo-Prague, 2012).....	44
Slika 37: Primerjava razločnosti originalnega in generaliziranega objekta.....	45
Slika 38: Primerjava razločnosti originalnega in generaliziranega objekta na primeru mesta .....	46

## **KRATICE OKRAJŠAVE IN SIMBOLI**

2D	Dvorazsežnost
3D	Trirazsežnost
DMR	Digitalni model reliefa
EOP	Parametri zunanje orientacije
IOP	Parametri notranje orientacije
LiDAR	Light Detection And Ranging (Lasersko skeniranje)
LS	Lokacijske storitve
NP	Nivo podrobnosti
VOKSEL	Eng.: VoXel - Volumetric Picture Element (element prostorskega telesa)

Ta stran je namenoma prazna.

## 1. UVOD

V vsakdanjem življenju se vsa živa bitja za orientacijo v prostoru zanašamo na svoja čutila. Pri človeku se je najbolj razvil vid. Zavedno in hkrati nezavedno opažamo, dojemamo in pomnimo okolje v katerem se gibamo. Naloga kartografov je prikazati to na koščku papirja ali računalniškem zaslonu. Subjektivnost pogleda na okolico nas pripelje do zahtevne naloge, kako izdelati kartografsko upodobitev, ki bo razumljiva vsakomur. Ravno slednje je vzrok za nastanek diplomskega dela. Osredotočil sem se na 3D kartografske prikaze ter si zastavili vprašanje: se lažje znajdemo v fotorealističnih ali na poenostavljenih (generaliziranih in abstrahiranih) kartografskih prikazih?

Enostavnega odgovora na to vprašanje ni. Pojavi se polno neznank. To so predvsem namen in območje predstavitve ter vrsta prikaza. V tem primeru, ki je osredotočen na 3D kartografsko upodobitev dela mesta Praga bomo videli, da je izbira nivoja podrobnosti oziroma generalizacija že izdelanih fotorealističnih objektov ključnega pomena.

Računalniška grafika in enostavna dostopnost do informacij na svetovnem spletu nam omogoča izdelavo podrobnih predstavitev realnosti, kartografija pa je tista stroka, ki mora prepoznati pomembne informacije, jih poudariti ter na podlagi kartografskih načel izdelati uporabniku razumljivo predstavitev realnosti.

Diplomsko delo je osredotočeno na izdelavo ter predelavo 3D objektov v mestu Praga. V primeru generaliziranja in abstrahiranja se izhaja iz fotorealističnega prikaza, kot ga zagotavlja digitalni globus Google Zemlja. Za samostojno izdelavo 3D objekta pa se pridobi kataster stavb, slikovno in drugo gradivo. Gostota 3D kartografskih znakov je v Pragi zelo velika, zato je smiselno 3D modele generalizirati ali abstrahirati. Naj bo dandanes fotorealističen digitalni prikaz realnosti še tako priljubljen in množično dostopen, nas le-ta lahko pripelje do neupoštevanja kartografskih načel, ki so poenostavljen, abstrakten, a še vedno prepoznaven prikaz zemeljskega površja.

Na podlagi pridobljenih podatkov se je ob pravilnem izboru postopkov in kartografskih načel generaliziralo, abstrahiralo ali izdelalo 18 različnih objektov v mestu Praga.

## 2. RAZVOJ KARTOGRAFSKIH PRIKAZOV

Skozi zgodovino kartografije so se pojavili novi vidiki zaznavanja okolja. To je s časom privedlo do tega, da so ljudje sprejeli prikaze s simboli. Tako je bila oblika karte plod domišljije, predstave in znanja kartografa (Robinson et al., 1995). Od jamskih poslikav do starih kart Babilona, Grčije in Azije, skozi leta raziskovanj, do 21. stoletja so ljudje ustvarjali in uporabljali karte kot pomembno orodje za navigacijo in pojasnjevanje svojih poti skozi svet. Kartiranje predstavlja pomemben korak v intelektualnem razvoju. Kot omenja Frančula (2005), si večino naših aktivnosti v prostoru težko predstavljamo brez kartografskih upodobitev. Zatorej so bile od začetka medsebojnega sporazumevanja ljudi v stari zgodovini pa do masovne proizvodnje kart do konca 20. stoletja, karte in kartam podobne predstavitve najpogostejši način za prikaz prostorskih podatkov (Petrovič, 2005).

Kartografija je tako že zelo stara veja geodezije. Najstarejša (znana) karta izhaja iz obdobja 27.000 pr. n. š. To je poslikan mamutov okel (slika 1), s podobo dela ozemlja iz takratnega časa. Za prvo večjo upodobitev celotne zemeljske površine pa lahko štejemo babilonsko karto iz 5. stoletja pred našim štetjem (slika 2), ki velja za prvo karto sveta, kot so si jo predstavljali Babilonci.



Slika 1: Poslikan mamutov okel (Ivory trade, 2012)



Slika 2: Babilonska karta sveta (Babylonian Map of the World, 2012)

Zaradi različnih kultur, kolonij in drugih dejavnosti razvoja človeštva, so se kartografski prikazi neodvisno eden od drugega razvijali na različnih delih sveta. Mejniki v razvoju so bili predvsem na Bližnjem vzhodu, Antični Grčiji, Rimskem imperiju, Kitajski in Evropi.

Kartografija se je torej razvijala od primitivnih upodobitev do subjektivnega prikaza sveta, od znakovnih upodobitev do matematične kartografije in vse natančnejše kartografske upodobitve (History of cartography, 2012).

Vse od takrat pa do pred nekaj let smo poznali karte le v analogni obliki. Z razvojem računalništva pa so le te prešle tudi na računalniške zaslone (v digitalno obliko). Od takrat naprej je moč karte hitreje ter bolj učinkovito (so)oblikovati, ažurirati ter narediti dostopnejše širši množici.

V preteklosti so bili ljudje zgolj uporabniki kart. Danes pa zavoljo možnosti, ki nam jih ponuja svetovni splet lahko rečemo, da se je kartografija »demokratizirala«, saj lahko uporabniki tudi sooblikujejo kartografske prikaze (Frančula, 2005). *»Postali so uporabniki kartografije in ne samo uporabniki kart, ki so jih izdelali drugi.«* (Frančula, 2005, str. 4)

Kljub temu, da je bil hiter razvoj računalništva velika prelomnica tako za človeštvo kot za kartografijo pa to ni edini mejnik v razvoju. Vsebina kart je namreč prešla iz ravne ploskve v višino, torej iz dveh razsežnosti v tri. Če se usmerimo zgolj na 3D kartografske znake lahko rečemo, da smo iz črnega 2D pravokotnega kartografskega znaka za hišo prešli v 3D telo v obliki kvadra s streho in okni. Ta premik je širša, laična javnost spoznala v prejšnjem desetletju, ko je spletni gigant Google s svojo aplikacijo Google Zemlja začel premikati meje v modeliranju kartografskih prikazov. Na samem začetku smo lahko opazovali zgolj slabe satelitske posnetke (s slabo prostorsko ločljivostjo in globinsko ostrino) določenih delov sveta, predvsem ameriške celine. Skozi leta raziskovanj in izboljšanja tehnologije pa se je omenjeni sistem prelevil v izredno veliko in kakovostno bazo podatkov, ki pokriva celotno ozemlje našega planeta. Ta jim je omogočila tudi razvoj sistema za izris 3D objektov. Že od samega začetka Googlova tehnologija izdelave 3D modelov objektov temelji na sodelovanju z uporabniki njihovih aplikacij.

Seveda pa to ni edini primer razvoja in uporabe. T.i. lokacijske storitve (LS) 21. stoletja so novo tehnologijo spretno izkoristile, bodisi za področje večje prodaje, bodisi za razvoj novih sistemov. Ena izmed najbolj uporabljenih LS, avtomobilska navigacija, je prešla od pripomočkov, ki jim ne gre preveč zaupati do samega vrha, kjer si mnogi ne predstavljajo vožnje in iskanja končnega cilja brez njih. Mnoge karte so tako dandanes nadgrajene iz 2,5D pogleda na 3D pogled. To pomeni, da karta poleg pogleda iz perspektive voznika vsebuje dodatne elemente (t.i. izboljšano resničnost). Ti elementi so izrisane stavbe in ostale pomembne interesne točke (en.: Points of interests - PoI) v tretji razsežnosti. To prinaša lažjo orientacijo v velikih, gosto pozidanih mestih predvsem pa novo tržno nišo proizvajalcem omenjenih naprav. V vsem tem pa tudi Slovenija ni izjema. 3D izrise slovenskih mest lahko zasledimo v aplikaciji Google Zemlja, na raznoraznih napravah za navigacijo in modelih mest ter kartografskih predstavitev.

Skozi zgodovino kartografije so se kartografski prikazi nenehno spreminjali, še bolj pa je to opazno danes, v dobi računalništva. Prav slednje, fotorealistične in abstraktne 3D kartografske znake je med pogosto uporabljene kartografske pojme pripeljalo računalništvo in zmožnost prikaza kakovostne grafike.

Karte na računalniških zaslonih so karte, ki vsebujejo besedilo, grafe, fotografije in slike, satelitske ali letalske posnetke, raznovrstne kartografske podlage, zvok ali videoposnetke, itd. Take karte nam prinesejo nov nivo informacij in izboljššan pogled na realnost (Frančula, 2005). Pri takih kartah nismo omejeni s formatom in merilom karte, projekcijsko deformacijo, statičnim pogledom, itd.

V razvoju računalniške grafike se je zanimanje usmerilo na izdelavo vse bolj realističnih zaslonov, ki nam navidezno resničnost prikazujejo vse bolj realno. Kartografija se lahko pohvali s stoletnimi izkušnjami abstrakcije, kar pripomore k lažjemu razumevanju prikaza sveta. Po drugi strani pa se lahko računalniška grafika pohvali z razvojem zaznavanja dinamičnega trirazsežnega sveta, ravno zavoljo razvoja kakovostne 3D grafike. Naš cilj ni zagovarjati samo eno ali drugo temveč spoznati priložnosti, ki nam jih ponuja kartografska abstrakcija in računalniška tehnologija skupaj, saj nam nudita kombinacijo abstrakcije in realne upodobitve v enotnem »GeoVirtual« okolju (MacEachren, 2012).

Nobena stvar dandanes ni samoumevna. Potrebno si je zastaviti vprašanje kje 3D modele v kartografiji potrebujemo oz. kaj uporabniki zahtevajo in kakšna je krivulja ponudbe in povpraševanja. Vedeti moramo, kje lahko zagotovimo zahtevano natančnost, ali lahko dobimo ustrezne podatke in ali bomo imeli kupce za ponujene storitve.

Nekaj primerov uporabe 3D kartografskih prikazov:

- Izdelava turističnih kart mest in gosto poseljenih območij,
- izdelava specifičnih kart (karte smučarskih, zabavišnih parkov, ipd.),
- simulacija širitve hrupa,
- GIS analize,
- izdelava kart za urbanistične namene (širjenje mest),
- digitalne karte za potrebe spletnih aplikacij,
- digitalni modeli za potrebe LS, natančnejše navigacijskih naprav,
- digitalni modeli za simulacijo reševanja (gašenje požarov, reševanje v objektih),
- digitalni modeli za simulacijo naravnih nesreč (širjenje požarov, evakuacije, poplavna območja).



### 3. VHODNI PODATKI

Osnova za vse sodbene kartografske upodobitve, ki jih poznamo danes, so zmogljiva računalniška oprema in digitalni podatki. Najprej je sodobna tehnologija pripomogla k digitaliziranju analognih kart, v zadnjem desetletju pa se celoten postopek izdelave kart izvaja v digitalni obliki. Karte, ki so podlaga za 3D prikaze morajo biti v digitalni, računalniški obliki. Na njih se nato izvaja nadgradnja prikazov.

V osnovi lahko zbiranje podatkov za izdelavo 3D prikazov delimo na:

Podatki kot podlaga za nadaljnje delo:

- Karte v rastrski obliki,
- karte v vektorski obliki,
- državni orto-foto posnetki in
- modeli reliefa.

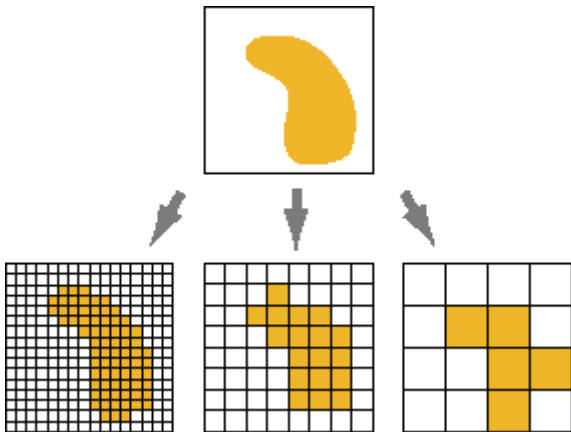
Podatki kot osnova za delo:

- Kataster stavb ,
- numerični opisni in slikovni podatki,
- fotogrametrični zajemi podatkov,
- LiDAR in
- baze že izdelanih 3-R modelov.

#### 3.1 Karte v rastrski obliki

Prva vrsta digitalnih podatkov, ki jih uporabljamo za izdelavo 3D kartografskih upodobitev, so karte v rastrski obliki. Izraz raster se nanaša na način zapisa podatkov v mrežo točk (ang.: pixel), ki sestavlja končno sliko. Točke so lahko različnih velikosti, barv in tonskih vrednosti. Ločljivost karte ocenimo na podlagi enote dpi (dots per inch), kar določa koliko točk karta vsebuje na razdalji enega inch-a, to je 2,54 cm v metričnem zapisu. Na podlagi omenjenega in merila karte lahko v nadaljevanju izračunamo velikost točke v naravi - koliko merskih enot v naravi znaša najmanjši še berljivi del na karti (točka). Kako kakovostna je rastrska karta nam pove tudi podatek o barvni globini. Barvna globina nam pove kolikšno število barv je uporabljeno na kartografskem prikazu. Več kot je barv, večji je kontrast barv na upodobitvi.

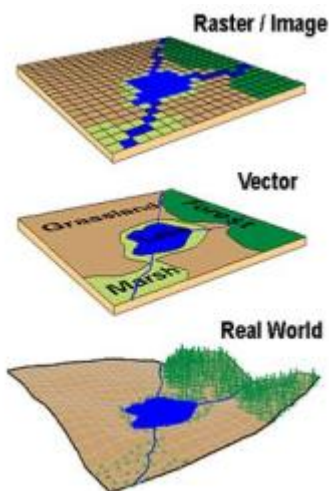
Povzeto po What is raster data? (2012), slika 3 prikazuje tri predstavitve realnega stanja na rastrski sliki, od najnatančnejše oblike prikaza z najvišjo ločljivostjo, do primera nizke ločljivosti, ki predstavlja realno zgolj v abstraktnem smislu.



Slika 3: Resolucija grafičnih prikazov (What is raster data?, 2012)

### 3.2 Karte v vektorski obliki

»V matematiki je vektor daljica, ki ima dolžino in smer. V GIS-u pa izraz vektor označuje poseben sistem predstavitve objektov, ki temelji na vozliščih (točkah) ter povezavah med njimi, to je usmerjenimi segmenti ali loki (linijami).« (Drobne, S., Podobnikar, T. 1999) Osnova vektorskih kart so torej točke, katerih lokacija je določena s koordinatnim parom  $x, y$ . Če povežemo med seboj dve točki dobimo daljico, v kolikor pa povežemo med seboj tri ali več točk v zaključeno enoto, dobimo poligon. Ti trije elementi: točka, linija in poligon, so osnova za kartografske prikaze. Vsem trem elementom pa so dodane še dodatne lastnosti kot so barva, debelina in polnilo. Ker so položaji točk in povezave med njimi matematično določene s koordinatami, to pomeni večjo natančnost in uporabnost, neodvisnost od merila ter možnost prilagajanja kart individualnim potrebam. »Vektorsko predstavitev objektov pogosto uporabljamo kot metodo predstavitve objektov na topografski karti.« (Drobne, S., Podobnikar, T. 1999)



Slika 4: Realnost prikazana na vektorski in rastrski sliki (Raster data, 2012)

### 3.3 Ortofoto posnetki

Ortofoto (ortofotografija, ortofoto karta) je izdelek, ki ga dobimo s transformacijo letalskega posnetka ali satelitske podobe v ortogonalno projekcijo. V literaturi in pogovorno najdemo tudi izraz DOF, ki je kratica za državni ortofoto in se uporablja kot "šifra" za državni izdelek (Kosmatin Fras, 2009).

Ortofoto je torej posnetek dejanskega stanja v naravi, ki nam služi kot podlaga za že ustvarjene modele ali kot podoba ažurnega, dejanskega stanja v naravi. Ker so ortofoto posnetki tudi prostorsko orientirani in geolocirani, nam lahko služijo za izmero obodov stavb ali velikosti drugih grajenih objektov ali naravnih pojavov. Ti postopki so lahko zelo dolgotrajni in nezanesljivi, zato jih uporabimo le v kolikor nimamo drugih podatkov.



(a) Ortofoto posnetek



(b) Ortofoto posnetek kot podlaga 3D upodobitve

Slika 5: Ortofoto (a) in ortofoto kot podlaga 3D upodobitve (b) (Google Zemlja, 2012)

### 3.4 Digitalni model reliefa

Zamisel o izdelavi digitalnega modela reliefa (DMR) je stara skoraj toliko kot informacijska doba oz. uveljavljanje digitalnega računalništva, torej vsaj 50 let. Kljub temu korenine DMR-ja segajo še v analogne predstavitve reliefa, ki so neprimerno starejše. Računalniki so omogočili učinkovite analitične obdelave podatkov ter vzpostavitev zbirk podatkov za izdelavo in praktično uporabo DMR-ja. Možnosti za njegovo izdelavo je pospešilo daljinsko zaznavanje in uveljavitev digitalne fotogrametrije ter pripadajoče metode in tehnike za pridobivanje, obdelavo, interpretacijo in merjenje digitalnih posnetkov. DMR se uporablja za najrazličnejše potrebe kot so prostorsko planiranje, kartografija, geodezija, geografija, arheologija in telekomunikacije (Podobnikar, 2003). »DMR je način opisa oblikovanosti zemeljskega površja, ki vključuje višinske točke, značilne črte in točke reliefa ter druge elemente, ki ga opisujejo (naklone, plastnice, padnice itd.)« (Podobnikar, 2003, str. 48)

DMR nam predstavlja vizualno podobo razgibanosti terena. Je dodana vrednost raznovrstnim kartografskim upodobitvam. Ker DMR vsebuje tudi višinsko predstavo ga opisujemo kot 3D upodobitev terena. Uporaba DMR skupaj z ostalimi elementi 3D kartografske projekcije tvori podrobno navidezno podobo realnosti.

### 3.5 Kataster stavb

Kataster stavb je na prvi pogled idealno izhodišče za izdelavo 3D modelov. Imamo geolocirano osnovo (obris, lego in višino) katero lahko s pomočjo GIS programov postavimo na različne podlage. Zaradi podatkov, ki jih kataster vsebuje ga mnogi označujejo kot 2,5D prikaz terena (2D prikaz, ter višina v atributni tabeli).

Pa vendar za 3D prikaze podatki katastra stavb v veliko primerih niso najbolj primerni. Kot višino imamo podano višino slemen, torej najvišjo točko stavbe (izvzeti so dimniki, antene, prezračevalni jaški in druge dozidave na strehi). Iz teh podatkov ni razvidna oblika in naklon strehe, zato ne moremo trditi ali gre za stanovanjski blok ali zgolj večnadstropno stavbo.



Slika 6: Primer katastra stavb (Grlic et al., 2003)

### 3.6 Numerični, opisni in slikovni podatki o kartografskem znaku

Podlaga za kakovostno izvedeno nadaljnje delo so ne glede na vrsto podlage in osnove za izvedbo natančni podatki o izbranem kartografskem znaku (objektu). Te podatke lahko pridobimo iz opisne, numerične ali slikovne baze podatkov o znaku (v kolikor obstaja). Če predpostavimo, da o objektu nimamo nobenih drugih podatkov (kataster stavb, kartografske podlage, fotografije), pa so meritve na terenu obvezne.

### 3.7 Fotogrametrični zajem objektov

#### 3.7.1 Dvoslikovni zajem objektov

Iz stereoparov letalskih posnetkov terena izdelamo fotogrametričen model stavb. Rezultat takega zajema so obrisi stavb ter višine posameznega dela strehe (ne le slemena strehe, kot je podatek v katastru stavb).

Za ta princip pridobivanja  $x, y$  in  $z$  podatkov o objektu potrebujemo dva slikovna zajema terena iz zraka, ki sta med seboj oddaljena za neko bazno razdaljo. Na podlagi teh dveh posnetkov ustvarimo navidezno 3D realnost posnetega terena. Z ustrezno strojno in programsko opremo lahko izmerimo koordinate  $x, y$  ter višine  $h$  izbranega objekta. V stereomodelu je projicirana merska markica (kot svetleča pika), ki jo operater vodi po stereomodelu in registrira želeno vsebino. Pomembno je, da mersko markico po višini pravilno nastavimo na teren ali objekt, ki ga merimo (Kosmatin Fras, 2009).





Slika 7: Primer zajema obrisov stavb

### 3.7.2 Večslikovni zajem objektov

Večslikovni zajem je metoda pri kateri iz več posnetkov istega objekta sestavimo 3D model. Na podlagi matematičnih obdelav, predvsem preračunov in izravnnav dobimo prostorske koordinate modela. Najlažja predstavitev delovanja večslikovnega zajema je na enostavnem objektu v obliki kocke. Kocko (slika 8) bi lahko posneli le iz štirih različnih pozicij in kasneje v pisarni sestavili 3D model. Pomembno je, da se posamezni žarki homolognih točk sekajo čim bolj pravokotno, pri čemer mora vsaka točka podrobnosti biti upodobljena vsaj na dveh posnetkih (Hrib, 2011).

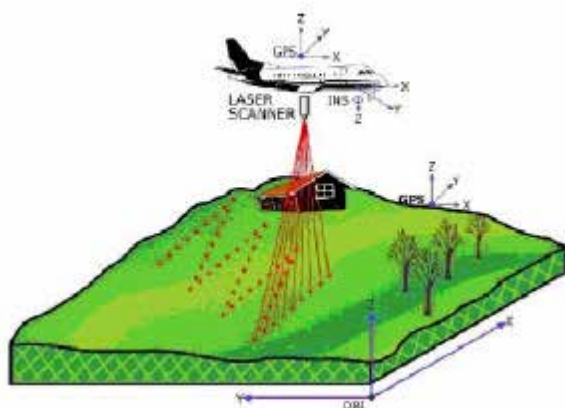


Slika 8: Enostavni primer več-slikovnega zajema (Dobričič, Kosmatin Fras, 2006)

To je metoda, s katero pridobimo metrične in slikovne podatke o objektu. Na podlagi tega lahko naredimo dober računalniški približek dejanskega stanja, izid pa nam v primerjavi z ostalimi metodami poda najboljši rezultat za modeliranje dejanskega stanja v naravi. Tako izdelani 3D modeli so tudi osnova za generalizacijo. »Večslikovni zajem se v glavnem uporablja za netopografske aplikacije (npr. izdelava 3D modelov manjših zgradb, izdelava prizorišča prometne nesreče, načrt arheološkega najdišča, ...).« (Kosmatin Fras, 2009)

### 3.8 Podatki letalskega laserskega skeniranja (Lidar)

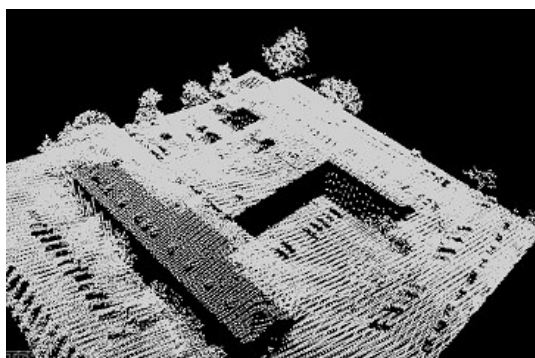
LiDAR (Light Detection And Ranging) je tehnologija kjer s pomočjo laserskih žarkov pridobimo oblak 3D točk. Na podlagi tega se lahko izdelata digitalni model terena (DMT) ali pa model površja (DMP). Osnovna lastnost sistemov LiDAR je v tem, da zabeleži čas med oddanim in sprejetim pulzom v elektro-magnetnem valovanju (žarku). Lidar snemanje nam tako daje različne odboje od objekta. Nekateri žarki se bodo odbili od vrha stavbe, drugi žarki odbiti od tal (najnižje točke) pa bodo predstavljali zadnje povratne žarke. Na ta način LiDAR prikaže hitro in natančno trirazsežno površino (Rottensteiner et al., 2003).



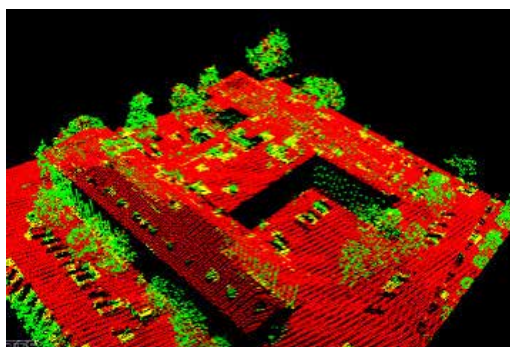
Slika 9: Zajem podatkov z aero LiDAR tehnologijo (Elaksmer, Bethel, 2012)

LIDAR je najhitrejša pot za izdelavo 3D modelov terena, kadar govorimo o večjih območjih. Na podlagi pridobljenih podatkov (x,y in h koordinate oblaka točk stavbe) lahko s pomočjo avtomatiziranih ali pol-avtomatiziranih sistemov sestavimo 3D model z nivojem podrobnosti 2 (NP2), ki po definiciji Kolbe-a iz leta 2004, cit. po Meng in Forberg, 2006, predstavlja 3D objekte nadgrajene s poenostavljeno obliko strehe in podobno teksturo sten kot jo najdemo v naravi. Ob predpostavki, da imamo za snemalni teren tudi fotografsko gradivo je rezultat fotorealistična podoba objekta z NP3 (Elaksmer, Bethel, 2012).

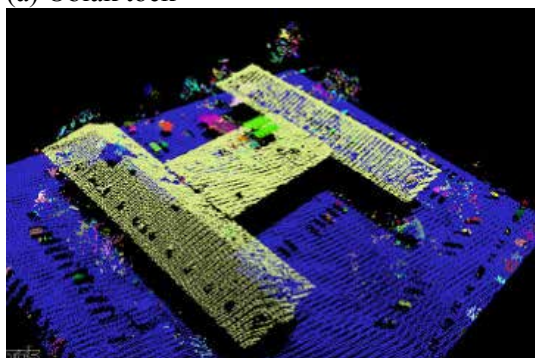
Primer izdelave 3D modelov je mesto Berlin, kjer so s pomočjo LiDAR in ostale tehnologije izdelali 3D model mesta. Model je bil prenesen tudi v navidezno okolje Google Zemlja in je dolgo veljal za največji 3D model mesta prenesen v omenjeno okolje. Območje posnetka je bilo veliko 498 km<sup>2</sup> s približno 244.000 stavbam (Kada, McKinley, 2009).



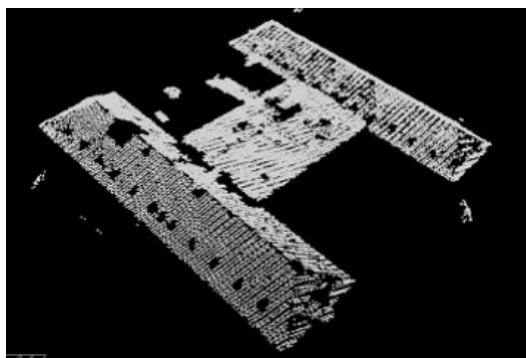
(a) Oblak točk



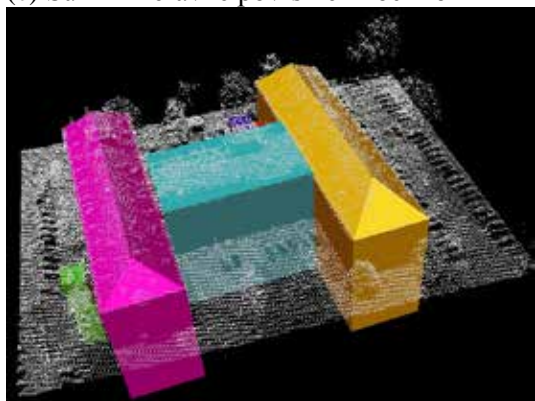
(b) Označene neravne površine – z zeleno



(c) Šum in neravne površine izločimo



(d) Detajli na strehi objekta



(e) Rezultat obdelave

Slika 10: Obdelava LiDAR oblaka točk - po korakih (a – e) (Verma, Kumar, Hsu, 2012)

Slika 10 (a) prikazuje oblak točk pridobljen z LiDAR snemanjem. Z nadaljnjo obdelavo pridobimo ustrezne in želene podatke o stavbi. Vse neravne površine izločimo - drevesa, grmovje, mah ter vse ostale sestavine, ki povzročajo šum. Vse neravne površine so označene z zeleno barvo na sliki 10 (b). Na sliki 10 (c) so z različnimi barvami označeni deli, ki jih povezujemo. Tako lahko ločimo med streho in nadstreškom, balkonom in tlemi, ipd. Na koncu za povečan detajl pregledamo oblak točk na strehi – slika 10 (d). Ko obdelamo celoten oblak točk dobimo rezultat točk viden na sliki 10 (e). Objekt je ločen od vseh ostalih delov, ki se nahajajo ob objektu in jih ne želimo modelirati. Na podoben način deluje tudi terestrični LiDAR, le da tu pridobimo natančnejše podatke o lupini snemanega objekta (gabariti, fasada) (Verma, Kumar, Hsu, 2012).



### **3.9 Baza že izdelanih 3D modelov**

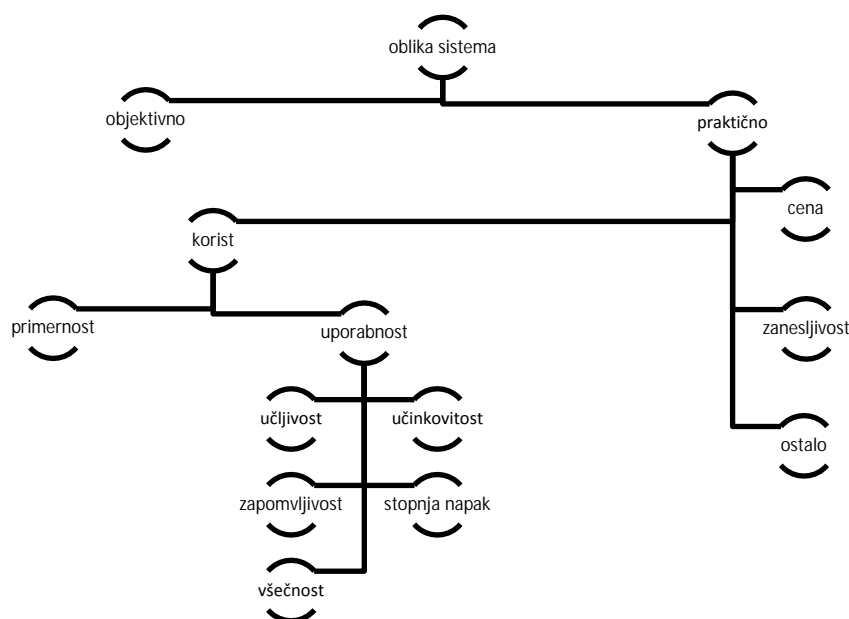
Danes poznamo veliko kartografskih baz. To so nacionalne kartografske baze različnih meril, GIS baze vektorskih in atributnih kart, privatne baze pohodnih, navigacijskih in ostalih kart. Ko pa se osredotočimo na bazo 3D kartografskih modelov lahko opazimo, da trenutno v nobeni evropski državi ni take baze podatkov. Edina znana in obširna baza je Google 3D Warehouse<sup>1</sup>. Google 3D Warehouse vsebuje veliko bazo podatkov 3D objektov celega sveta. Objekti so različne kakovosti in vsebujejo različen nivo podrobnosti. Je baza podatkov, kjer uporabniki omrežja Google, ter samo podjetje Google, izdelujejo 3D modele in jih nalagajo v Googlovo »3D skladišče«.

---

<sup>1</sup> Google je v letu 2012 prodal storitev SketchUp® in vse povezane vsebine podjetju Trimble Navigation Limited. Google 3D Warehouse se bo zato v nadaljevanju imenoval Trimble 3D Warehouse

#### 4. 3D KARTOGRAFSKI ZNAKI

Pri sistemu 3D upodobitve je pomemben vidik primernosti in uporabnosti. Prvi nam pove primernost sistema za določeno nalogo, druga pa prikazuje kako dobro so pri sistemu podprti uporabniki. Uporabnost je dokaj težko določiti, saj imamo opravka z objektivno vsečnostjo. Graf razčlenitve uporabnosti in primernosti sistema je prikazan na sliki 11. Pojavljajo se razlike kaj lahko sistem izdelava in kako to vidijo uporabniki. V primeru 3D upodobitev to pomeni kako in na kakšen način izdelamo kartografski znak ter kako in na kakšen način si ga uporabnik predstavlja (Jahnke et al., 2012).



Slika 11: Graf uporabnosti sistema 3D modeliranja (Jahnke et al., 2012)












»Potrebno je omeniti, da pri 3D kartografskih upodobitvah ne govorimo o kartah velikega ali malega merila temveč o kartah velikega in majhnega območja.« (Domajnko, 2008, str. 20) Pri omenjenih kartografskih prikazih je zaradi neortogonalne perspektive prikaza težko enolično določiti merilo. Kadar je karta prikazana pod nekim kotom je merilo spremenljivo. Bližnji deli so večjega merila, bolj oddaljeni deli prikaza pa so manjšega merila. Objekti v bližini morajo biti prikazani v čistih in med seboj ločljivih barvah, oddaljeni prikazi pa v bolj zamegljenih in manj ločljivih barvah (Petrovič, 2001).

Grafične spremenljivke:

V pred-računalniški dobi je bilo grafično oblikovanje izvedeno z taksonomijo, ki je sestavljena iz šestih grafičnih spremenljivk: oblike, velikosti, orientacije, barvne lestvice, vrednosti, razmika in teksture ter kombinacij med njimi. Z razvojem računalniške grafike v zadnjih desetletjih se je povečal tudi obseg spremenljivk v grafiki. Upoštevati je potrebno resolucijo, barvno nasičenost, ostrino in

prosojnost. Preglednica 1 prikazuje nabor grafičnih znakov, ki se uporabljajo v 3D grafiki (Jahnke et al., 2012).

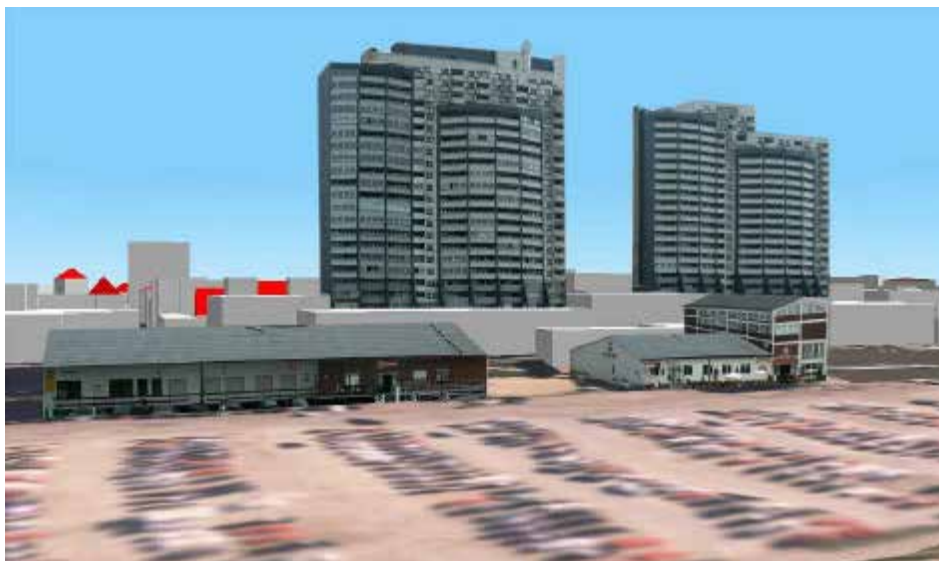
Preglednica 1: Grafične spremenljivke za izris 3D objektov (Jahnke et al., 2012)

OPIS	SLIKOVNA UPODOBITEV	OPIS	SLIKOVNA UPODOBITEV
Oblika		Polnilo	
Barva		Svetlost	
Velikost		Zamegljenost	
Orientacija		Prosojnost	
Razmik		Barvna nasičenost	
Tekstura			

#### 4.1 Fotorealistični kartografski znaki

S fotorealističnimi upodobitvami prikažemo realistično podobo 3D objektov. Vsak tak objekt dobi svojo identiteto in podobo kot jo ima v realnosti. S tem pridobimo 3D prikaz skoraj enakovreden fotografskim posnetkom, videoposnetkom in letalskim oz. satelitskim prikazom (Song, Shan, 2004). Prednost 3D modelov je v njihovi definiciji - so kartografski znaki obogateni s slikovnim gradivom, poleg tega lahko modele približujemo in pregledujemo iz različnih kotov (če so prikazani na računalniškem zaslonu).

Vse pogosteje se fotorealistične prikaze uporablja v kombinaciji z abstraktnimi upodobitvami. Vse za uporabnika nepomembne podrobnosti abstrahiramo na najnižji možni nivo podrobnosti (NP0 oz. NP1), ostale orientacijske ali za uporabnika pomembne objekte pa poudarimo.



Slika 12: Primer fotorealističnega prikaza (Hermsmeyer et al., 2012)

Fotorealistični objekti so v velikih primerih upodobljeni na fotogrametričnih kartah z upodobitvijo modela terena (DMR). Upodobitev terena pomaga uporabniku, da si lažje predstavlja objekt v dejanski topografiji. Pomembno je, da se ob izdelavi fotorealističnih (in ostalih) objektov le-te pravilno geolocira (Arslan et al., 2009). Večjo težavo nam tu lahko predstavlja višinska umestitev objekta na podlago, lahko se nam pripeti, da objekt lebdi nad kartografsko upodobitvijo oz. se v njo zareza.

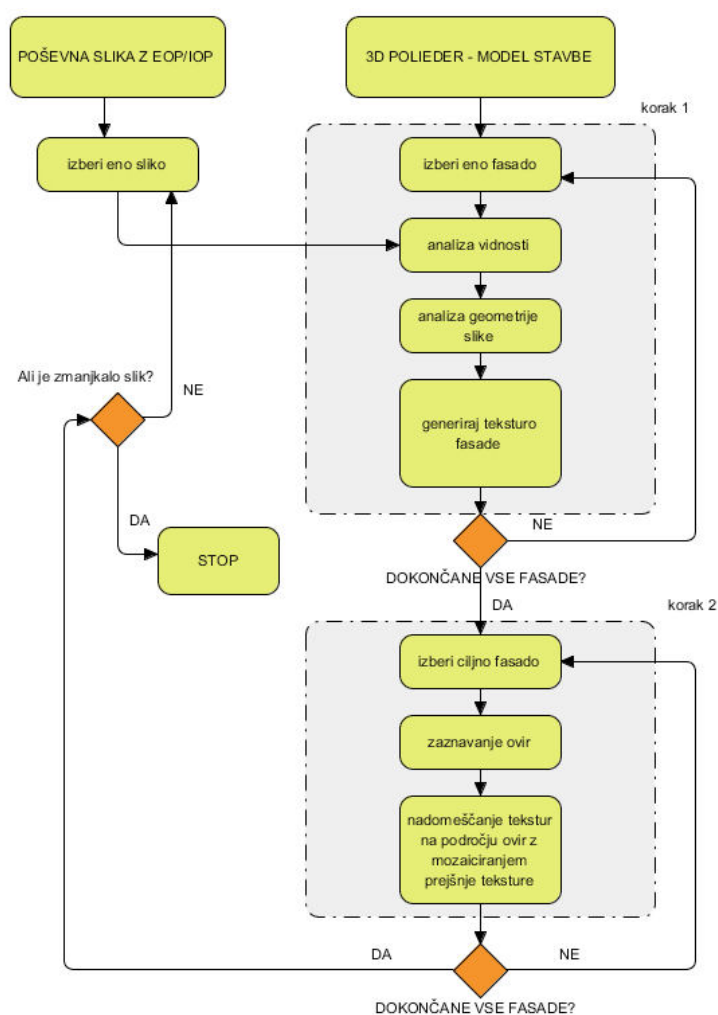
Fotorealistični znaki so, kot nam že samo ime pove, znaki, ki nam prikazujejo dejansko stanje. Izdelajo se na podlagi:

- Slikovnega zajema,
- IR snemanja,
- integracije zajema slike in LiDAR podatkov,
- modeliranja na podlagi vedenja, raziskave ali slike objekta, ipd.

Osnova je torej fotorealistično gradivo o lupini objekta. Ker nam visoke in razgibane stavbe ponujajo veliko barvnih, oblikovnih in slikovitih podrobnosti, sta na podlagi teh objektov Rau in Chu (2010, str. 1) podala trditev, da: »*Fotorealistični model mesta vsebuje tri glavne komponente, ki so (i) 3D geometrija, (ii) tekstura lupine objekta ter (iii) atributi. [...] Glede na število stavb v srednje velikem mestu, ki lahko znaša tudi 100.000 stavb in več, naletimo na težavo v stroškovnem obsegu izdelave. Tako je izdelava fotorealističnih objektov tema, ki se pojavlja v kartografiji in računalniški tehnologiji.*«

V preteklosti se je veliko avtorjev ukvarjalo s problematiko stroškovno učinkovite in hitre upodobitve fotorealistične zunanje lupine objekta. Ti so predvsem: Dijkman, 2001, Varshosaz, 2004, Kada, 2004,

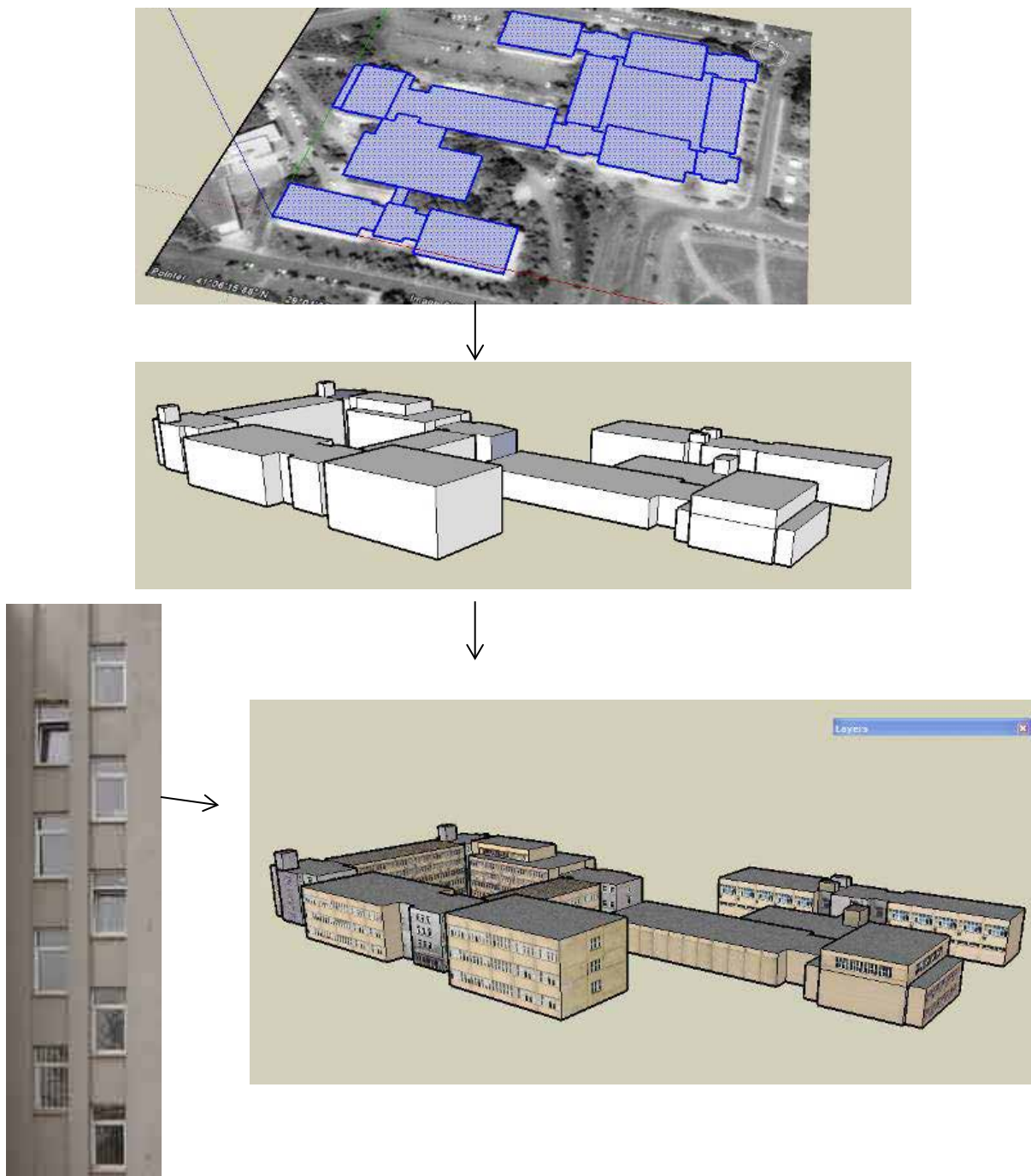
in Rau and Chen, 2003, cit. po Rau, Chu, 2010. Prav slednja sta tudi opisala avtomatski postopek »lepljenja« teksture fasad na izdelane 3D objekte. Kot omenjeno lahko ne-fotorealistične modele objektov pridobimo na dokaj enostaven način v odvisnosti od razpoložljivih podatkov – kataster stavb, LiDAR zajemi, ortofoto posnetki, ipd. Težji in predvsem z višjimi stroški povezan pa je poseg izdelovanja fotorealističnih podob. Torej bi avtomatizacija tega postopka prinesla hitrejšo in učinkovitejšo izdelovanje fotorealističnih podob. Diagram poteka avtomatizirane izdelave fotorealističnih lupin objektov je predstavljen na sliki 13. Pomembno je omeniti, da morajo biti pri avtomatiziranih sistemih pred začetkom zagona znani vsi podatki. Nekateri izmed podatkov so tudi geolokacija slike ter znana notranja in zunanja orientacija kamere.



Slika 13: Diagram avtomatiziranega izrisa teksture

Na sliki 14 je prikazana ročna izdelava fotorealističnih podob. Na podlagi danega obrisa stavbe je bil izdelan 3D model z višino objekta, zapisano v atributnih podatkih. V nadaljevanju so pridobili slikovno gradivo za lupino objekta. Avtorji, ki so izdelali primer so slike pridobili z digitalno kamero. Ker je bilo ob času fotografiranja veliko nepotrebnih motečih elementov na fotografiji kot so drevesa,

ulične svetilke, avtomobili in celo ljudje je bila obdelava zajete slike nujno potrebna. Z računalniško obdelavo je bila pridobljena realna tekstura objekta. Naslednji pomemben popravek je bila perspektiva zajema slike. Ker fotoapararat v času snemanja ni bil pravokoten na zajeto stavbo, se distorzijo leč in perspektivo popravi računalniško (Arslan et al., 2009).



Slika 14: Potek izdelave fotorealističnega objekta (Arslan et al., 2009)

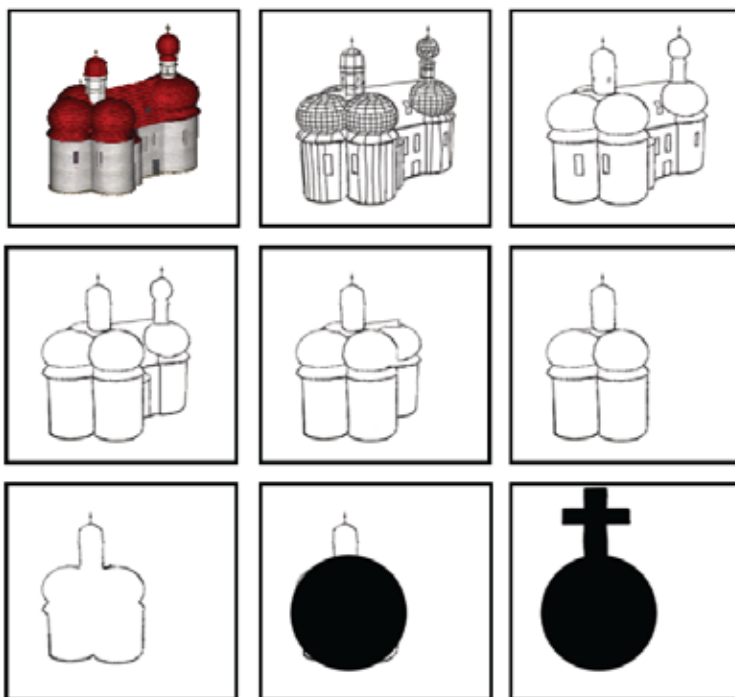
## 4.2 Abstraktni kartografski znaki

»Abstrakcija je miselni proces pri katerem pride do razločevanja med idejami in objekti. Abstrakcija uporablja strategijo poenostavitve podrobnosti, pri čemer prej stvarne podrobnosti postanejo dvoumne, nedoločene ali neopredeljene.« (Abstrakcija, 2012)

Abstraktni modeli so torej modeli, ki prikazujejo realnost vendar v zelo poenostavljeni obliki. Lahko so generalizirani fotorealistični objekti ali zelo poenostavljen prikaz realnega objekta

3D objekt prikažemo v abstraktnem smislu, kadar:

- bi zaradi velikost območja in posledično obsega podrobnosti prikaza sam prikaz postal prenasičen z informacijami. V tem primeru nepomembne in za uporabnika nepotrebne objekte ali podrobnosti izbrisemo ali poenostavimo na nižji nivo podrobnosti v primerjavi z ostalimi podobami. Kateri so ti objekti ali podrobnosti, je odvisno od uporabe končnega izdelka oz. od zahtev naročnika. Na primer: lahko prikažemo zgolj znamenitosti mesta za turistično karto ali trgovine in nakupovalna središča pri kateri je naročnik lastnik trgovskih verig,
- želimo na objektu prikazati določeno ključno podrobno. Na primer: povečan zvonik na cerkvenem objektu, ki v taki obliki abstrakcije dobro izstopa od ostalih oblik v okolici. Z abstrakcijo pa lahko poudarimo pomembno, na zunaj morda neopazno lastnost, ki v opazovalcu kartografskega prikaza vzbudi asociacijo na nek objekt.



Slika 15: Potek abstrakcije objekta (Jahnke et al., 2012)

Abstraktne znake nekateri opisujejo kot ne-fotorealistične ali tudi kot znakovne upodobitve. Abstraktni kartografski znaki nam predstavljajo realnost v posplošenem ali znakovnem prikazu. So veja kartografije, kjer kartograf svoj izdelek želi prikazati čim bolj reprezentativno in berljivo. Pogosto uprizorimo realnost kot abstrakcijo, kadar želimo poudariti ali poenotiti določene objekte. To so lahko na primer: bližnji ali oddaljeni, pomembni ali nepomembni objekti, vegetacija, idr.

Ne-fotorealistična računalniška grafika označuje razred upodobitve, ki prikazuje pravo ali imaginarno (navidezno) podobo. Upodobljena je z elementi kot so oblika, struktura, barva, svetloba, senčenje in osenčenje. Ti elementi se bistveno razlikujejo od tistih v fotorealističnih upodobitvah, ki doprinesejo zaznavo realnega sveta (Buchhloz et al., 2005).

Abstraktne znake izdelamo na podlagi osnovnih informacij o objektu. Odvisno od nivoja abstrakcije niha potreba po količini podatkov. V večini primerov poznamo dve osnovi za izdelovanje 3D abstraktnih znakov:

- Katastrska baza stavb in
- generalizacija že izdelanega 3D modela.

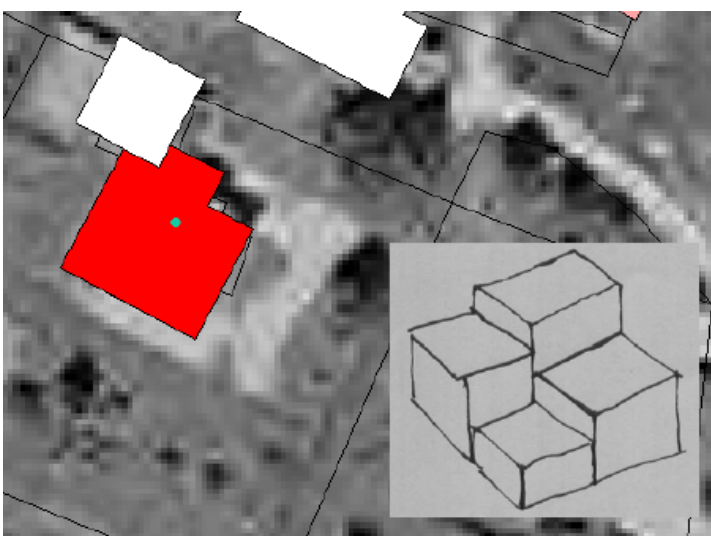
Pri katastru stavb z računalniškim programom izvedemo »dvig« objektov iz 2D kartografskega prikaza v 3D objekt. Podatek o višini objekta je zapisan v atributni tabeli. Pri že narejenih 3D objektih objekte bodisi generaliziramo na izbran nivo podrobnosti (NP), bodisi stavbo abstrahiramo zaradi določene prepoznavne značilnosti (v večini primerov naredimo oboje). V postopku generalizacije poenostavimo vse podrobnosti na lupini objekta, odstranimo streho, fotorealistične prikaze in druge, za abstraktne modele, nepotrebne podrobnosti.

Na sliki 16 je prikazan primer znakovnega (ne-fotorealističnega) prikaza, izdelan na osnovi vizualne zaznave, slika 17 prikazuje primer izdelan na osnovi katastra stavb, na sliki 18 pa vidimo abstrahiranje na osnovi že narejenih 3D objektov.

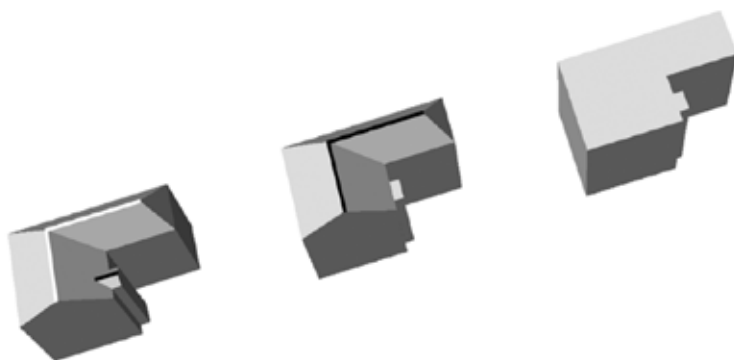




Slika 16: Upodobitev na podlagi abstrakcije



Slika 17: Znakovna upodobitev na podlagi katastra stavb (Grlic et al., 2003)



Slika 18: Generalizacija v znakovni prikaz (Meng in Forberg, 2006)

### 4.3 Zgradba 3D objektov

Meng in Forberg (2006) sta na podlagi definicij Lang,-a, Thiemann-a in Sester-a, ter Forberg-a izdelala delitev 3D objektov glede na njihovo kompleksnost (Lang, 1999; Thiemann and Sester, 2004; Forberg, 2005, cit. po Meng in Forberg, 2006) :

#### 4.3.1 Model VOKSEL:

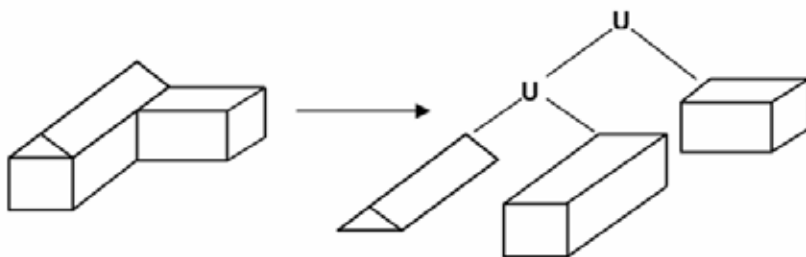
3D objekt je lahko predstavljen kot matrica vokslov (element prostora, ang.: volume elements), ki so majhne kocke v enotni obliki. Vsak voksel je lahko spojen z enim ali večimi sosednjimi vokslji. Tak model ima enake prednosti in slabosti kot 2D rastrska oblika. Na eni strani lahko modeliramo poljubne kompleksne 3D objekte pri katerih je mogoča enostavna obdelava, po drugi strani pa taki modeli zahtevajo veliko prostora za shranjevanje in časovno dolg izris modelov.

#### 4.3.2 Parametrični opis:

To je sistem podoben teoriji geonov<sup>2</sup>, ki jo je razvil Biederman (1987). Predlagal je, da se prepoznava prostorskih objektov in zmožnosti zaznave oblike (npr.: ukrivljenost, kolinearnost, simetrija, vzporednost) zanaša na zaznavo splošnih pod-komponent struktur imenovanih geon. Podobno je lahko 3D objekt razdeljen na določeno število geometrijskih teles kot so valj, stožec in piramida, ki jih lahko opišemo z osnovnimi podatki kot so dolžina, širina, polmer in višina. Absolutna orientacija objekta je določena s šestimi parametri rotacije in translacije. Parametričen opis je primeren za opis enostavnih stavb za katere so značilne ravne strehe in pravokotnost med tlorisom in zidom.

#### 4.3.3 Spajanje gradnikov:

Prostorska geometrija 3D objektov je sestavljena na podlagi logičnih operacij kot so unija, presek, razlika in komplement osnovnih delov stavbe. Zaporedje operacije je shranjeno v CSG (ang.: constructive solid geometry) drevesu. Slika 19 prikazuje primer spajanja gradnikov.



Slika 19: Spajanje gradnikov za izdelavo 3D objekta (Meng in Forberg, 2006).

<sup>2</sup> Biedermann (1987) pravi, da so geoni preproste 2D ali 3D oblike, kot so cilindri, kvader, prizma, stožec, krogi in pravokotniki. Na podlagi geonov človeški možgani sestavljajo oblike predmetov.

#### 4.3.4 Lupina objekta:

Geometrija poljubno kompleksnega 3D objekta je predstavljena z njegovimi mejami kot so točka, mreža in rob. Najbolj uporabljena oblika lupine je TIN (nepravilna trikotniška mreža) mreža, ki pogosto temelji na načelu Delaunayeve triangulacije. Tu so ukrivljeni deli objekta prikazani s TIN mrežo, ki je sestavljena iz linij in točk na lupini objekta. Druga priljubljena oblika predstavitve 3D objektov je jezik VRML (jezik za modeliranje v navidezni resničnosti, ang.: virtual reality modelling language), kjer ustvarjamo interaktivne modele, ki so lahko povezani z internetom. Vsak prizor je sestavljen iz različnih vozlišč, ki lahko opišejo obliko, besedilo, teksturo, svetlost, zvok in ozadje.

#### 4.3.5 Prikaz z geometrijskimi telesi:

Geometrija poljubnega 3D objekta je opisana z tetraedrsko<sup>3</sup> mrežo, ki je sestavljena iz pravih ali nepravilnih topoloških elementov kot so tetraeder, trikotnik, rob, in točka.

#### 4.4 Nivo podrobnosti (NP)

Nivo podrobnosti 3D prostorskih objektov je opredeljen s poljubnim številom podrobnosti. Za vsak nivo podrobnosti obstaja določen nivo generalizacije (Meng, Forberg, 2006). Posamezen objekt je lahko prikazan v različnih nivojih podrobnosti kar pripomore k analizi in predstavitvi 3D objekta za različne namene. Kateri nivo podrobnosti bomo uporabili pa je predvsem odvisno od namena uporabe končnega izdelka, perspektive pogleda, oddaljenosti navidezne kamere, načina prikaza, ipd (Petrovič, 2001).

Tako kot je generalizacija 3D objektov veliko bolj kompleksna od 2D, so posledično taki tudi standardi za določevanje nivoja podrobnosti. Skozi čas se je pojavilo veliko različnih teorij o nivojih podrobnosti (v nadaljevanju NP). Spodaj je predstavljeno nekaj teorij, ki sta jih povzela Meng in Forberg (Thiemann, 2004, Netlexikon von akademie.de ([www.lexikon-definition.de](http://www.lexikon-definition.de)), Gröger et al., 2004, Schilcher et al., 1998, Kolbe., 2004, cit. po Meng in Forberg, 2006)

Thiemann je povzel tri nivoje podrobnosti za naselje in stavbe:

- NP1 = skupina blokov z enotno višino,
- NP2 = posamezen blok brez oblike strehe,
- NP3 = NP2 nadgrajen z poenostavljeno obliko strehe.

Netlexikon von akademie.de je predlagala pet stopenj nivojev podrobnosti:

- NP1 = dvignjen tloris objektov na enotno višino,

---

<sup>3</sup> Tetraeder v splošnem pomenu predstavlja tristrana piramida, omejena z enakostraničnimi trikotniki.

- NP2 = NP1 obogaten s teksturo,
- NP3 = obod zgradbe, oblika strehe, ter majhni površinski elementi,
- NP4 = NP3 obogaten s teksturo,
- NP5 = NP4 nadgrajen z notranjostjo objekta.

Gröger et al., so definirali pet nivojev za 3D pokrajine:

- NP0 = digitalni model reliefa spojen z ortofoto posnetkom in prikazom klasifikacije rabe tal,
- NP1 = dvignjen tloris objektov na enotno višino,
- NP2 = NP1 obogaten s strešnimi teksturami, obliko strehe in vegetacijo,
- NP3 = arhitekturni modeli z vegetacijo ter uličnimi objekti,
- NP4 = arhitekturni modeli notranjosti objektov.

Schilcher et al., pa so definirali nivo podrobnosti za posamezne stavbe:

- NP1 = dvignjen tloris objektov na enotno višino,
- NP2 = NP1 obogaten z osnovno obliko strehe,
- NP3 = NP2 obogaten z fotorealistično teksturo in osnovnimi površinskimi podrobnostmi.

Podobno je definirali tri nivoje Kolbe leta 2004:

- NP1 = dvignjen tloris objektov na enotno višino,
- NP2 = NP1 obogaten z osnovno obliko strehe in simulacijo teksture sten,
- NP3 = NP2 nadgrajen s podrobno obliko strehe, manjšimi površinskimi elementi in fotorealistično teksturo.

Prav tako je OGC<sup>4</sup> standard za programski jezik CityGML, opredelil 5 nivojev podrobnosti. CityGML je odprtokodni jezik na osnovi kodiranja XML za shranjevanje in prikazovanje 3D navideznih modelov mest. Standard CityGML je zelo podoben opredelitvi nivoja podrobnosti Gröger et al., iz leta 2004, cit. po Meng in Forberg, 2006. Standard je prikazan v slikovni in tabelarni upodobitvi, s primerjavo med nivoji.

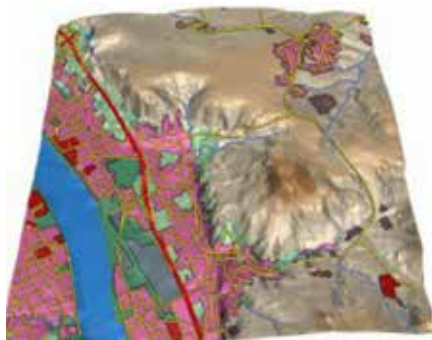
---

<sup>4</sup> Open Geospatial Consortium – standardi za odprtokodne geoprostorske vsebine.  
<http://www.opengeospatial.org/standards/>

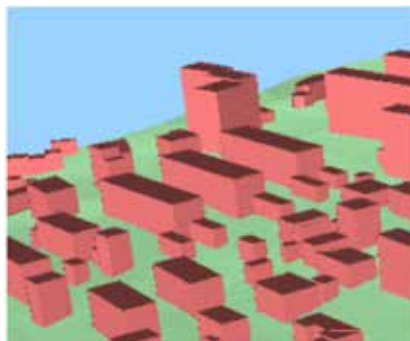
Preglednica 2: Tabelarni prikaz nivoja podrobnosti za CityGML standard (OGC 12-019:2012)

VRSTA PODROBNOSTI / NP	NP0	NP1	NP2	NP3	NP4
velikost 3d modela	Regionalno, pokrajina	Mesto, regija	Del mesta, mesto, posamezen projekt	Del mesta, arhitekturne predstavitve (zunanje), znamenitosti	arhitekturne predstavitve (notranje), znamenitosti
razred natančnost	Najnižji	Nizek	Srednji	Visok	Najvišji
absolutna natančnost 3d točke (položajna/višinska)	Nižja od NP1	5m / 5m	2m / 2m	0,5m / 0,5m	0,2m / 0,2m
generalizacija; oz. prikazane podr. (d*š*v [m])	Visok nivo generalizac ije	Objekti kot generaliziran prikaz (blok); >6*6*2	Objekti kot generalizira n prikaz; >4*4*2	Objekt kot realnost; >2*2*1	Konstrukcija in odprtine so prikazane
gradbena pravilnost	ne	ne	da	predstavljeni zunanji elementi	realna oblika objekta
struktura strehe	Da (nemodelir ano)	ravna	Več struktur	realna oblika strehe	realna oblika strehe
ulični objekti	Ne	Pomembni objekti	Abstrakcija, generalizira ni objekti	Realna oblika objektov	Realna oblika objektov
osamljena vegetacija	Ne	Pomembna vegetacija	Abstrakcija vegetacije višje od 6m	Abstrakcija vegetacije višje od 2m	Abstrakcija oz. realna oblika vegetacije

Slika 20 prikazuje primere nivoja podrobnosti. NP0 (slika 20a) je le digitalni model reliefa prekrit z 2D kartografskim prikazom - objekti so prikazani le kot obrisi. Naslednji nivo je NP1 (slika 20b), kjer so objekti prikazani kot osnovna poenostavljena oblika brez strukture strehe. V NP2 (slika 20c) je že vidna struktura strehe, večja razgibanost tlorisa in zidov objekta. NP3 (slika 20d) označuje arhitekturni model z velikimi podrobnostmi na strehi in zidovih. Model lahko vključuje tudi vrata in okna. Najvišji nivo, NP4 (slika 20e) pa nam poleg zunanosti na nivoju 3 prikaže še notranjost objekta (sobe, stopnišča in pohištvo) (OGC 12-019:2012).



(a) Nivo podrobnosti 0 (NP0)



(b) Nivo podrobnosti 1 (NP1)



(c) Nivo podrobnosti 2 (NP2)



(d) Nivo podrobnosti 3 (NP3)



(e) Nivo podrobnosti 4 (NP4)

Slika 20: 5 stopenj nivoja podrobnosti (OGC 12-019:2012)

#### 4.5 Generalizacija kartografskih znakov

»Karta je komunikacijsko sredstvo, je matematični ter slikovno - znakovni model dela realnosti, ki nas obdaja. Karta je:

- poenostavljena podoba realnosti,
- izdelan za določen namen, namen določa vsebino, obliko in podrobnost modela,
- nikoli ne vsebuje vseh lastnosti zajetih objektov, temveč le izbrane.«

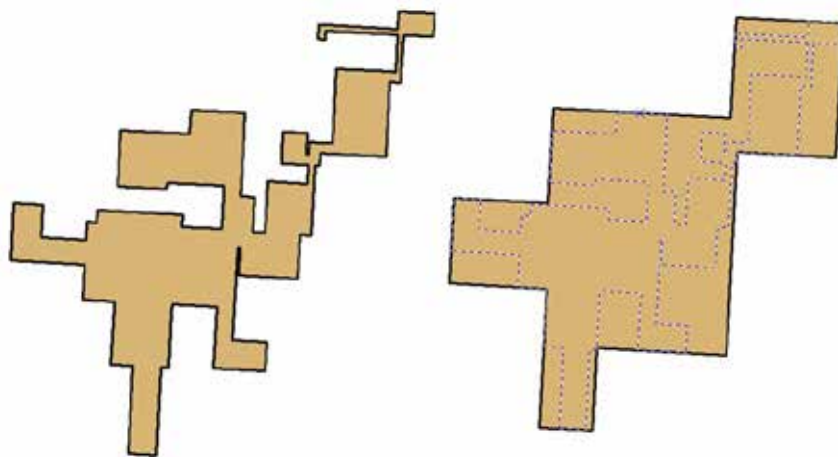
(Petrovič, 2009)

Kot je navedel Petrovič (2009), je pri izdelavi karte velik poudarek na generalizaciji. Kot vizualni medij, ki prikazuje prostorske podatke, imajo karte dolgo tradicijo v reševanju problema kako prikazati velike količine podatkov na omejenem prostoru. V kartografiji izraz »generalizacija« pomeni

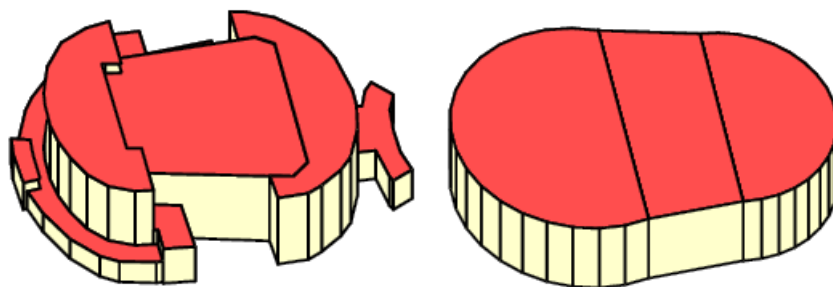
redukcijo podrobnosti, ki so pomembni za doseg določenega cilja z uporabo niza generalizacije (Glander in Döllner, 2009).

Generalizacija je postopek, ki ovrednoti podrobnosti in vizualne informacije ter jih smiselno zmanjša na določen zahtevan oz. smiseln nivo. »Moramo vedeti, da je velika vez med generalizacijo in količino podrobnosti.« (Jahnke et al., 2011, str. 126) V kombinaciji z drugimi grafičnimi sestavinami kot so velikost, ostrina in zamegljenost, lahko spremenimo teksturo v abstraktni ali ilustrativni prikaz (Jahnke et al., 2011).

Sliki 21 in 22 prikazujta primer generalizacije 2D in 3D objektov. Pri prvem (slika 21) gre zgolj za smiselno upodobitev prvotne slike, ki nam ne popači vizualno zaznavo pojava v naravi. Generalizacija 3D objektov (slika 22) pa je veliko bolj kompleksna. Potrebna je generalizacija do te meje, da so človeški možgani še vedno sposobni zaznati podobnosti in narediti vzporednice s prvotnim objektom. V primerjavi z generalizacijo 2D objektov je tu potrebno povezati med sabo tri razsežnosti. Če v 2D karti prikažemo namesto prvotne oblike mesta zgolj krog, katerega velikost variira glede na število prebivalcev, bo karta še vedno berljiva in celo bolj predstavljiva od osnovnega prikaza. Če pa razvejan 3D objekt predstavimo kot kroglo, stožec ali valj pa izdelan model izgubi vso svojo prepoznavnost in podobnost s prvotnim objektom.



Slika 21: Generalizacija 2D kartografskih prikazov (Revell, P., et al., 2005)



Slika 22: Generalizacija 3D kartografskih prikazov (Fuan T., et al., 2012)

Kadar generaliziramo 3D objekte moramo pravilno in smiselno izbrati nivo podrobnosti ter, v kolikor je potrebno, abstrahirati pomembne detajle. Ob pomanjkanju pravih standardiziranih smernic na tem področju mora kartograf v veliki meri uporabiti svoje kartografsko znanje. Generalizacija pri 3D objektih ni samo grafična poenostavitev realnega stanja glede na izbrano merilo temveč vsebuje še veliko drugih dejavnikov kot so:

- velikosti območja prikaza:
  - majhno ali
  - veliko območje;
- medij prikaza:
  - računalniški zaslon,
  - manjši mobilni zasloni,
  - papir,
  - internet;
- prikaza dodatnih tematskih vsebin,
- funkcionalnosti:
  - statične ali
  - dinamične
- podlage prikaza:
  - brez podlage,
  - ortofoto,
  - DMR, ipd.;
- področje uporabe,
- potreba po abstrakciji,
- kvalitativni ali kvantitativni prikaz.

Del zgoraj naštetega je tudi zelo posplošen primer delitve 3D kart, ki ga je poskušal določiti Haberling (2003) v delu Topografische 3D-Karten, cit. po Domajnko, 2008.



## 5. IZDELAVA 3D KARTOGRAFSKIH ZNAKOV ZA MESTO PRAGA

Računalniška doba je v polnem razmahu. Vsakodnevno na trg prihajajo nove bodisi programske, bodisi strojne rešitve. Zato je pomembno, da kartografija vstopi v novo dobo – tehnologijo 21. stoletja. Predvsem zavoljo svetovnega spleta ji to tudi uspeva. To je pripomoglo, da uporabniki širokopasovnih povezav soustvarjajo 3D navidezne podobe sveta. Računalniška tri-razsežnost je namreč kartografiji poleg novih potencialnih tržnih, predstavitvenih in raziskovalnih niš, prinesla s seboj tudi upravljanje z velikim številom podatkov. Trdimo lahko, da so že skoraj vsi deli zemeljskega površja upodobljeni z 2D prikazi. Veliko časa pa bo preteklo, da bomo to lahko trdili za 3D upodobitve. Za te potrebujemo veliko več podatkov o samih objektih in pojavih. Mnogi izmed teh še niso zajeti, kaj šele da bi bili izdelani. Sodelovanje laične javnosti pri izdelavi teh upodobitev nam je v veliko pomoč. Vendar so »laični izdelki«, narejeni z minimalnim znanjem kartografije, lahko tudi korak nazaj. Vzorčni primer je spletni gigant Google. Res je, da nam ponuja največjo bazo podatkov o 3D upodobitvah vendar to ne pomeni, da smo s tem pridobili tudi tako število uporabnih podatkov. Kartografija se že stoletja ukvarja z abstrakcijo realnosti in nič drugače ne bi smelo biti v novi tri-razsežnosti. Poenostavitev, generalizacija, abstrakcija, znanje o ustreznih upodobitvah so domena kartografije.

Diplomska naloga se veže ravno na zadnji stavek. Na podlagi na novo ali že izdelanih 3D upodobitev stavb je bila izdelana generalizacija za bolj ustrezno in predstavljivo podobo mesta. Izdelava naloge je omejena na ožje območje mesta Praga na Češkem. Izdelala se je primerjava med upodobitvijo oz. 3D fotorealističnimi modeli objektov in abstraktnimi 3D modeli objektov. Na podlagi tega je bila narejena primerjava o ustreznosti, berljivosti, informativnosti in ostalih lastnostih kartografskih prikazov. Poraja se vprašanje, ali bo prevladala všečnost trenutne novitete, fotorealističnih prikazov, ali večja informativna vrednost generalizirane karte.

Za osnovo se torej uporabi izdelane fotorealistične 3D modele objektov v Pragi, ali ustrezne kartografske podatke za 3D objekte, ki so bili izdelano ročno. Za to mesto je bil pred kratkim izveden zajem podatkov o stavbah in izgradnja omenjenih modelov za celotno mesto. Iz množice objektov se je izbralo najbolj reprezentativne, orientacijske in značilne podobe mesta. Le-te se v prvem procesu ustrezno generalizira in abstrahira ter jih kasneje doda abstraktnemu modelu ostalega »nepomembnega« območja.

Cilj izdelave oz. končni izdelek je bil abstraktni model, poudarjen s pomembnimi značilnimi objekti mesta.

## 5.1 Obseg in opis preučevanega območja ter izbor objektov

Območje obdelave je obsegalo vzhodni del starega dela mesta Prage, od Praškega gradu do glavne železniške postaje. Numerično je območje obdelave prikazano na sliki 23 (koordinatni sistem WGS84).

$\varphi: 50,110^\circ$ ,  
 $\lambda: 14,385^\circ$



$\varphi: 50,072^\circ$ ,  
 $\lambda: 14,448^\circ$

Slika 23: Območje obdelave v mestu Praga

Objekte se je izbralo po ključu najbolj prepoznavnih objektov v mestu, na primer: znamenite katedrale, zgodovinska obeležja in arhitekturni presežki. Drugi nivo izbora pa so bili objekti, ki vidno izstopajo glede na ostale. To so višji, za oko najbolj prepoznavni, orientacijski in barviti objekti. Pomembna pa je bila tudi homogena razporeditev objektov po celotnem območju.

Preglednica 3: Seznam izbranih objektov v mestu Praga.

Št.	IME OBJEKTA	IZVORNO IME	OPIS
1	Stara mestna hiša z astronomsko uro	Pražského orloje	Velika prepoznavnost astronomske ure z njeno posebno obliko in velikostjo
2	Cerkev sv. Marije pred Tyn	Kostel Matky Boží před Týnem	Izstopajoča cerkev po njeni velikosti in dvojnem, 80m visokim sstolpom.
3	Karlov most	Karlův most	Visoko prepoznaven in vpadljiv zgodovinski gradbeni objekt čez reko Vltavo.
4	Katedrala svetega Víta	Katedrála svatého Víta	Najpomembnejša zgodovinska zgradba v državi iz časa gotike. Zgradba se nahaja znotraj grajskega območja
5	Praški grad	Pražský hrad	Velik objekt viden iz celotnega mesta, kajti grad stoji na hribu.
6	Narodni muzej	Národní muzeum, Praha	Znan in arhitekturno zanimiv objekt. Stoji na samem ob reki Vltavi.
7	Valenštinska palača	Valdštejnský palác	Palača je Baročna stavba z notranjim vrtom. To je tudi dom Češkega senata.

... se nadaljuje

... nadaljevanje

8	Mestna hiša	Města Prahy	Pomemben objekt na državnem in mestnem nivoju.
9	Jindriški stolp	Jindrisska Vez	Prepoznavna in vpadljiva zgradba na osrednjem trgu novega dela Prage
10	Cerkev svete Marije snežne	Kostel Panny Marie Sněžné	Je novejša cerkev. Z 40imi metri je cerkev z najvišjo ladjo v Pragi. Prepoznaven in arhitekturno zanimiv objekt.
11	Nacionalni teater	Národní divadlo	Nacionalno, umetnostno in kulturno pomemben objekt z bogato zunanjo podobo.
12	Rudolfinum	Rudolfinum	Prepoznaven in vpadljiv objekt z parkom in edinstvenim pročeljem.
13	Spomenik Jana Husa	Pomník mistra Jana Husa	Spomenik predstavlja nacionalni prepород, kar ga uvršča med pomembne objekte na starem trgu Prage.
14	Muzej Bedricha Smetane	Muzeum Bedřicha Smetany	Arhitekturno vpadljiv objekt na skrajnem obrobju reke Vltave. Objekt je turistično zanimiv.
15	Novotnjevova promenada	Novotneho lavka	Je niz hiš s turnom. Skupaj z Smetanovim nabrežjem predstavlja del nabrežja reke Vltave.
16	Cerkev Sv. Antona Asiškega	Kostel svatého Františka z Assisi	Cerkev grajena v baročnem slogu. Posebnost ji daje velika kupola in bližina Karlovega mostu.
17	Cerkev Sv. Nikolaja na Starem trgu	Kostel svatého Mikuláše, Staroměstské náměstí	Baročna cerkev na pročelju starega trga. Osrednji in pomemben objekt tega dela mesta.
18	Cerkev Sv. Nikolaja na Malem mestnem trgu	Kostel svatého Mikuláše, Malostranské náměstí	Prepoznaven baročno bogat objekt z veliko kupolo in zvonikom. Je največja Jezuitska cerkev v Pragi.



Slika 24: Grafični prikaz lege izbranih objektov (Google Zemlja, 2012)

## 5.2 Izbira nivoja podrobnosti (NP)

Ključni element za izdelavo končnega izdelka je bil pravilni izbor nivoja podrobnosti. Preučiti je bilo potrebno raziskave (primer: Glander, in Döllner, 2009), kjer so uporabili metode generalizacije in abstrakcije za izdelavo predstavitev 3D objektov. Pregleda se tudi že izdelane 3D kartografske upodobitve.

Izbran je bil nivo podrobnosti 2 (NP2), definiran po OGC CityGML, 2012. Ta nivo generalizacije predvideva na enotno višino dvignjen tloris objektov, z osnovno obliko strehe in simulacijo teksture sten (glej poglavje 4.4). NP2 je v našem primeru najbolj ustrezen, saj bo uporabniku predstavitev omogočil berljivost in dobro predstavo o obliki in pomenu same stavbe. Objekti bodo primerno vidni in razločni, opazovalec mora namreč na kartografski upodobitvi objekt prepoznati brez pretiranega preučevanja.

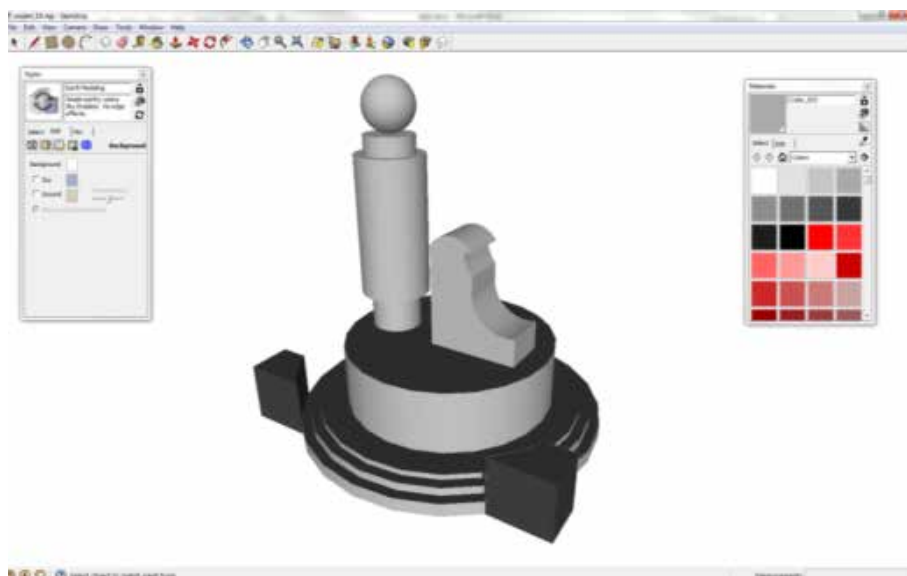
## 5.3 Predstavitev programa SketchUp®

Program SketchUp® je bil razvit leta 1999 za lažjo izdelavo 3D objektov. Uporabnikom so hoteli približati za tisti čas dokaj zahtevno tehnologijo. Leta 2006 je program odkupilo podjetje Google, v letu 2012 pa je program in ostale njegove komponente kupilo podjetje Trimble. Dandanes je

nepogrešljivo orodje arhitektov, gradbenikov, oblikovalcev, kartografov in drugih uporabnikov 3D predstavitev realnosti (Chopra, 2009).

SketchUp je enostavno brezplačno orodje, ki temelji na polilinijah in poligonih. Omogoča enostavno izdelavo 3D upodobitev vendar kljub svoji preprostosti vsebuje določene CAD elemente kot so izmera dolžin in zaznambe mer. Program prepozna bitne slike (jpeg, png, ipd.), senčenja, risanje skeleta, prikaz ogrodja in imitacijo risanja z roko (Ellis et al., 2008).

Na sliki 25 je prikazano delovno okno programa. Z osnovnimi ukazi lahko rišemo preproste elemente, kot so telesa in liki. Na podlagi tega izdelamo željene 2D ali 3D objekte. Program ima uporabniku prijazen vmesnik, ki omogoča hitro izdelovanje prikazov. V podmenijih pa najdemo bolj zapletene ukaze kot so izmere razdalj, smeri pogledov, senčenje, teksturo, geolociranje, meglico, ipd.



Slika 25: Program SketchUp®

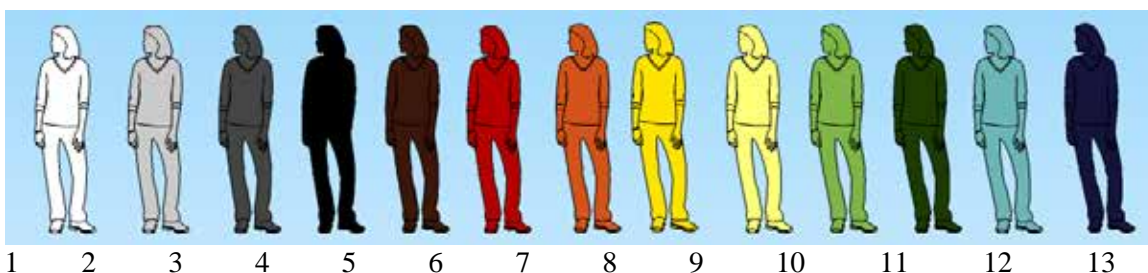
Z gotovostjo lahko trdimo, da je omenjeni program dovolj natančen in vsebinsko bogat, da lahko izdelujemo kartografske upodobitve. V primeru zahtevnejših nalog pa se avtomatizacije in pisanja algoritma lotimo z drugimi, bolj zahtevnimi in plačljivimi »3D CAD« orodji.

Google SketchUp® program lahko brezplačno (2012) prenesemo iz spletne strani <http://www.sketchup.com/>

## 5.4 Uporabljena barvna lestvica

Pri generalizaciji objektov se je zaradi njihove raznovrstnosti barv potrebno osredotočiti zgolj na izbrano lestvico uporabljenih barv. S tem dosežemo, da prikaz ni prenasičen z barvami. Prav tako je ob enotnih barvah za določene elemente objekta veliko lažje zaznavanje kaj objekti na karti predstavljajo, oziroma kakšno obliko imajo: strehe prikažemo z istim odtenkom rdeče, okna z isto izbrano barvo, ipd.

Za barvno predstavitev generaliziranih objektov se je uporabilo barvno lestvico, prikazano na sliki 26. Pomembno je da se na podlagi dane barvne lestvice čim bolj približamo barvam v naravi. V kolikor je objekt znan in opažen po specifičnih podrobnostih, obarvamo pomembne izstopajoče dele z bolj opazno, kontrastno barvo. Tako je preusmerjena pozornost opazovalca na določen del in ne na celotno stavbo.



Slika 26: Uporabljena barvna lestvica

Preglednica 4: Opis uporabljenih barvnih odtenkov

Št. barve	Barvni odtenek (0-255) <sup>5</sup>			Opisno
	Rdeča	Zelena	Modra	
1	255	255	255	Bela
2	170	170	170	Svetlo siva
3	58	58	58	Temno siva
4	0	0	0	Črna
5	51	20	10	Rjava
6	153	0	0	Rdeča
7	178	70	22	Oker
8	255	191	0	Rumena
9	255	216	101	Bež
10	107	153	61	Svetlo zelena
11	25	51	0	Temno zelena
12	91	153	153	Svetlo modra
13	17	18	51	Temno modra

<sup>5</sup> Barvni odtenek predstavlja količino posamezne osnovne barve RGB (rdeča, zelena in modra) v 8 bitni barvni lestvici.  $2^8 = 256$ . Odtenki imajo minimum 0 in maksimum 255. 0 Pomeni brez barve, 255 pa največjo količino.

## 5.5 Generalizacija in abstrakcija objektov

Generalizacija in abstrakcija je bila izvedena v programski opremi SketchUp®. Osnova za njeno izdelavo je bila:

- Že izdelani 3D objekti, ki so bili pridobljeni v Googlovi bazi podatkov – Google Warehouse.
  - Pridobljeni objekti so bili v fotorealistični podobi. Ker nekateri objekti te vrste niso imeli izdelanih podrobnosti<sup>6</sup>, je bil glede na njihove mere izdelan nov model. Fotorealističen prikaz 3D objektov je v tem primeru služil le za predstavbo »realne« podobe. Izmeri se lahko lokacijo oken, vrat, teksturo in obliko fasad, obliko strehe, ter velikost stavbe. Pri objektih, ki so bili izdelani kot polno telo (negirajo opombo 6), se je izvedlo le generalizacijo.
- Slikovno gradivo objektov se je pridobilo na svetovnem spletu.

Znotraj poglavja je predstavljen potek generalizacije in abstrakcije fotorealističnega objekta, pridobljenega v spletni bazi Google Warehouse. Na slikovnem primeru bo razvidno:

- generalizacija,
- izpuščene podrobnosti glede na izbor nivoja podrobnosti,
- izbor barvnih odtenkov,
- abstrakcija ter
- postopek izdelave.

Postopek je prikazan na modelu 10, Cerkev svete Marije snežne (poglavje 5.1). Je novejši, modernistično oblikovan objekt. Izstopa po svoji velikosti kajti ladja cerkve je eden višjih objektov v okolici ter najvišji objekt te vrste v celotnem mestu. Osnovni objekt je po OGC CityGML, 2012, izrisan z nivojem podrobnosti 3, kar predstavlja objekt, nadgrajen s podrobno obliko strehe, manjšimi površinskimi elementi in fotorealistično teksturo.

---

<sup>6</sup> V večini primerov so fotorealistični objekti narejeni po avtomatiziranem oz. polavtomatiziranem načinu. Tu se fotografije stavb sestavi kot skelet. Podrobnosti objekta predstavlja slika (2D) in ne modelirane podrobnosti v 3D načinu. To so balkoni, okna, nadstreški, strehe, ipd.





Slika 27: Originalni model objekta 10



Slika 28: Fotografija objekta 15 (Prague Lovesguide, 2012)

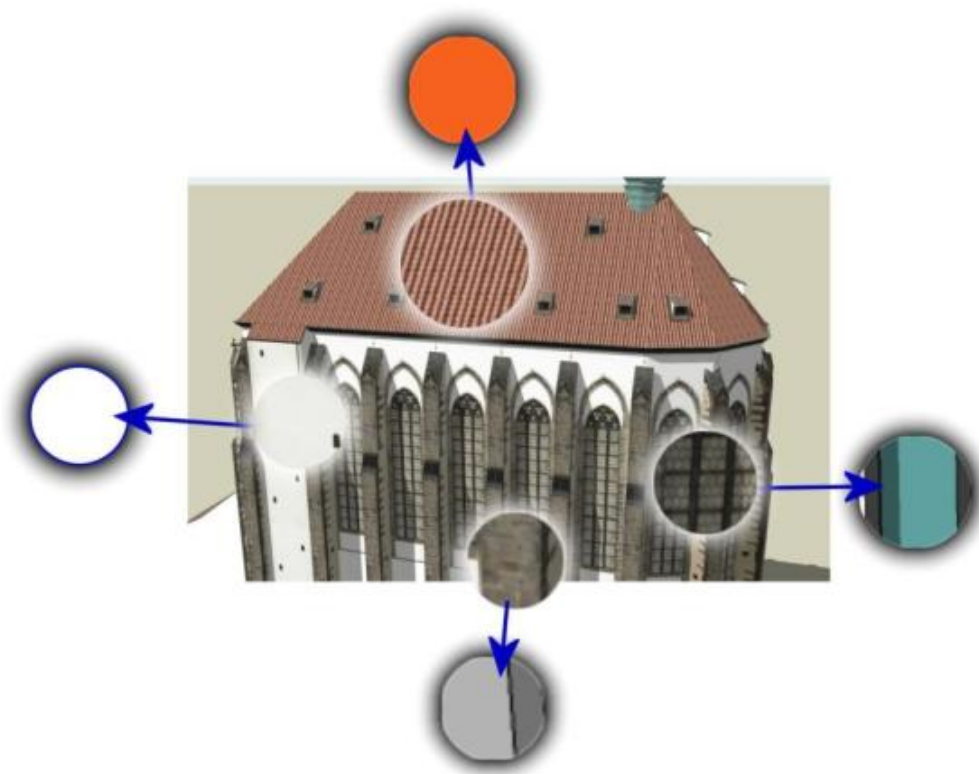


Na sliki 27 lahko vidimo fotorealistično teksturo strehe, oken, stebrov, sten in ostale podrobnosti. Prav tako so izrisane podrobnosti strehe, stebrov in zvonika s križem na strehi. Če primerjamo originalni model s fotografijo na sliki 28 lahko opazimo, da je model izdelan z visokim nivojem podrobnosti in fotorealistično teksturo.

### 5.5.1 Izbira barv

Iz prvotnega modela je v prvi fazi potrebno odstraniti fotorealistično teksturo in jo nadomestiti s teksturi podobnimi barvami. Glede na fotografijo in prvotni model se je izbralo sledeče barve:

- Belo za fasado, ki je v osnovi bele oz. bež barve.
- Stebri objekta predstavljajo ključni element prepoznavne in dajejo enovitost v mestu. Na podlagi tega se stebre obarva s svetlo sivo barvo. Tako dosežemo, da izstopajo iz monotone bele barve.
- Okna se obarvalo s svetlo modro barvo, ki pri človeku predstavlja asociacijo na steklene, prozorne površine.
- Streha je obarvana z oker barvo, ki je najbližja realni barvi strehe objekta.



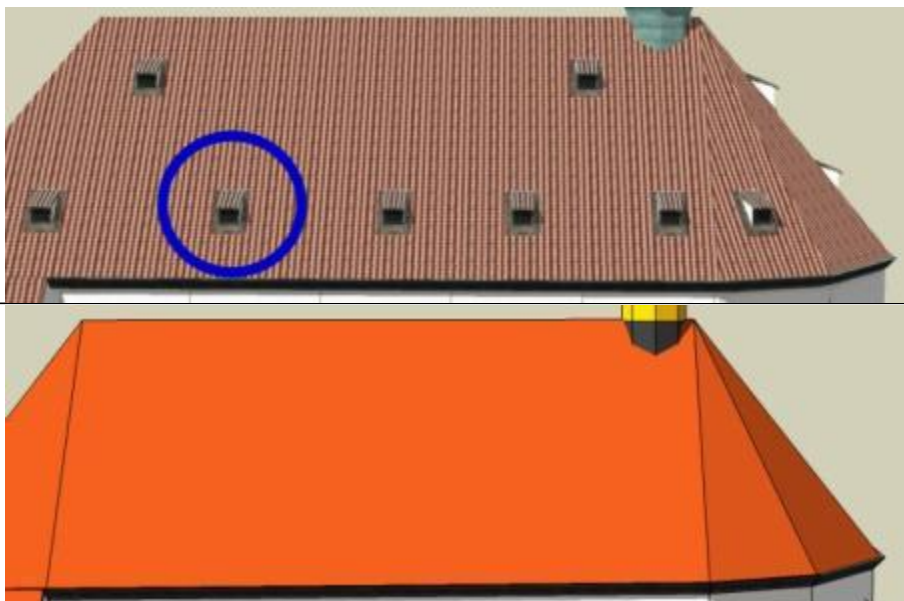
Slika 29: Izbira barv za generaliziran objekt

## 5.5.2 Generalizacija

Ko je izbrana barva za posamezne elemente objekta, je sledila generalizacija podrobnosti. To so okna na mansardi strehe, zadnji del stavbe, glavna okna objekta, ter okna stopnišča.

### 5.5.2.1 Podrobnosti na strehi

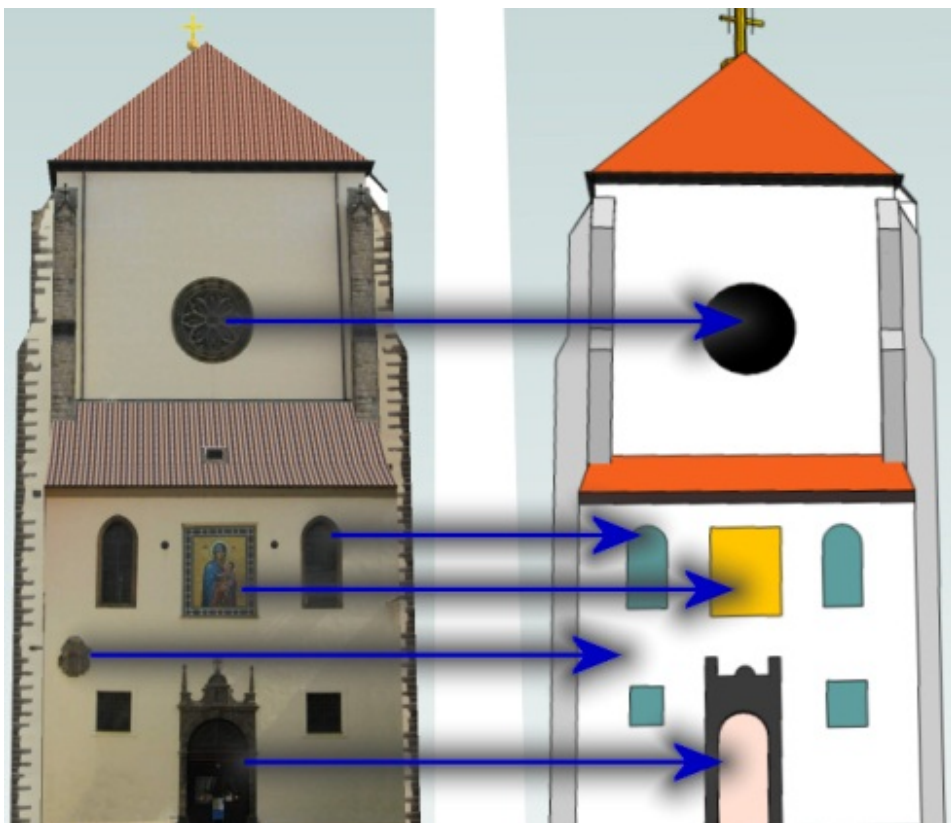
Streha vsebuje za prepoznavanje objekta nepotrebne elemente. Ti nam kvarijo homogenost oblike in teksture, zato se jih odstrani.



Slika 30: Streha pred in po odstranitvi podrobnosti

### 5.5.2.2 Zadnji del objekta

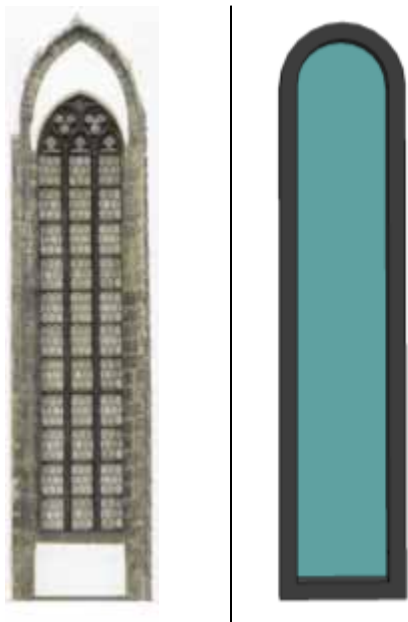
Zadnji del objekta, prikazan na sliki 31, vsebuje veliko fotorealističnih podrobnosti. To so okna, vrata in freska. Večina podrobnosti je ključnega pomena za prepoznavo objekta, saj prikazujejo značilne elemente. Namesto da bi se jih odstranilo, se izvede generalizacijo le-teh. Z ustrezno barvo je prikazana generalizirana ali abstraktna podoba dejanskega stanja. Odstrani se le podrobnost na spodnjem levem delu objekta. Ta ni ključnega pomena in kviri osnovno ravnovesje postavitve ostalih elementov.



Slika 31: Generalizacija zadnjega dela objekta.

### 5.5.2.3 Okna

Majhna okna na stopnišču se odstranil saj predstavljajo element, ki je iz večje razdalje neopazen. Večja pozornost je na glavnih, večjih oknih. So znamenite, ošiljene in obokane oblike z dvojnimi okvirjem. Ker to predstavlja enovitost objekta je bila ohranitev dvojnih okvirjev in same oblike oken nujna, odstranjena je bila le tekstura - gosta homogena mreža. Zamenjala jo je svetlo modra barva. Mreža na oknih je nepotrebna podrobnost, saj že osnovna barva (svetlo modra) dovolj nazorno prikazuje za kateri element gre.



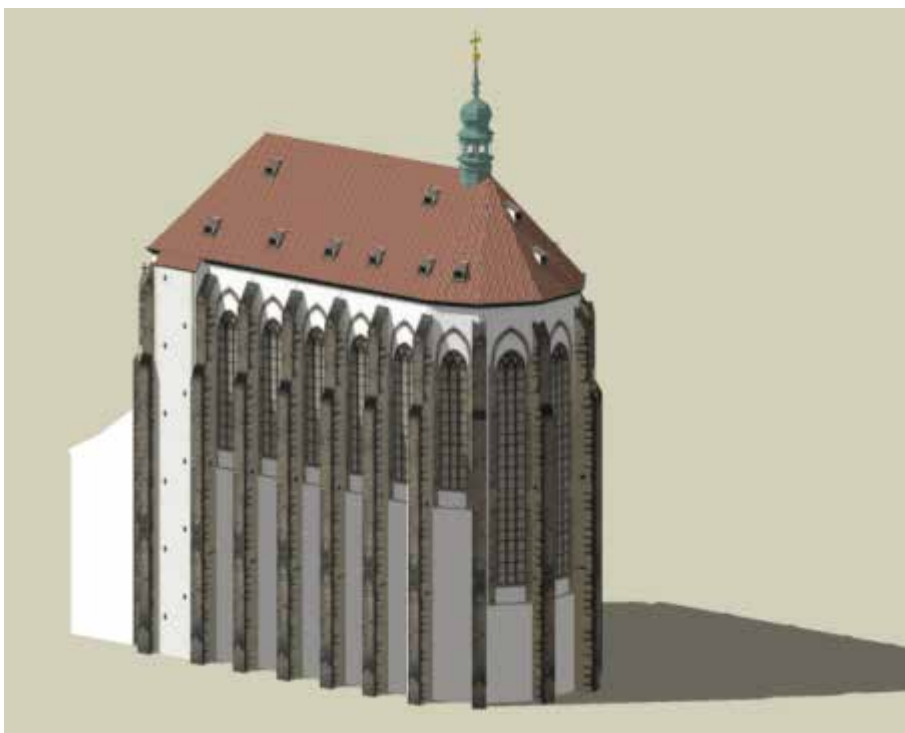
Slika 32: Okno pred in po generalizaciji

#### 5.5.2.4 Abstrakcija podrobnosti

Po uspešno izvedeni osnovni generalizaciji je sledila abstrakcija ključnih podrobnosti na objektu:

- Zvoniku na vrhu objekta. Ne predstavlja ključnega pomena na objektu kot takem, vendar pa je ključni element za prepoznavnost vrste objekta. Velja, da ima večina cerkvenih objektov na vrhu znak pripadnosti. To je lahko krščanski ali pravoslavni križ, Davidova zvezda, ipd. Na podlagi tega je element povečan, generaliziran in obarvan z bolj izstopajočo barvo.
- Stebrih. Bogato zunanost objektu dajejo stebri. Vendar je zaradi njihovega velikega števila berljivost objekta slaba. Z odstranitvijo vsakega drugega stebra se doseže večjo preglednost in razločnost objekta. Po generalizaciji so stebri bolj razpoznavni.
- Glavnih oknih. Poleg stebrov dajejo osnovno obliko zunanosti, razporejena so simetrično okoli objekta. To je izhodišče, da se zmanjša število oken in se jih po potrebi poveča. Efekt generalizacije je bil enak kot pri stebrih.

Na sliki 34 je prikazan dokončno generaliziran objekt. Uporabljeni so bili vsi zgoraj naštet postopki. Slika 33 pa prikazuje originalen objekt.



Slika 33: Originalen objekt



Slika 34: Generaliziran objekt

Rezultat postopka je objekt s poudarjenimi ključnimi podrobnosti, enotnih barv in razrešen nepotrebnih, ponavljajočih se elementov. Kljub temu se opazi, da je ohranjena osnovna oblika in prepoznavnost objekta. Mnogokrat majhna podrobnost kot so križ na cerkvi, fontana, vhodna vrata,

oboki, ipd., predstavljajo ključni pomen za interpretacijo opazovalca kartografskega prikaza. Ključnega pomena pa je tudi vedenje o velikosti prikaza. To nam pove, kako daleč bo navidezna kamera, ki prikazuje perspektivo in oddaljenost uporabnika kartografskega prikaza. Nivo generalizacije namreč prilagajamo temu.

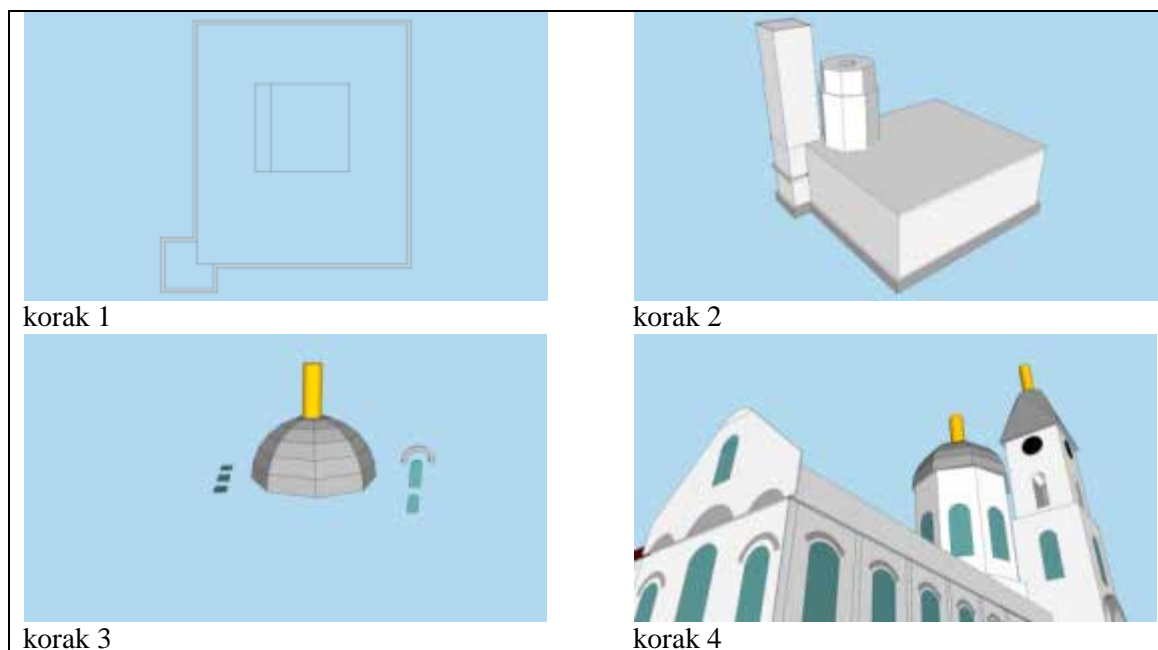
## 5.6 Izdelava 3D modela na osnovi slikovnega gradiva

Za nekatere izmed objektov pri katerih je bilo potrebno izdelati poenostavljen 3D model ni bilo mogoče pridobiti fotorealističnega 3D modela kot osnove za generalizacijo. V tem primeru se je 3D model izdelal na podlagi obodnih mer objekta (obrisa) ter izmere višine posameznega elementa. Tlorisne mere objekta se je pridobilo s pomočjo katastra stavb, višine pa so bile izmerjene v programu Google Zemlja®.

Ker so bili modeli izdelani v nivoju podrobnosti 2 (NP2), je bilo potrebno pridobiti tudi slikovno gradivo. S pomočjo slednjega je mogoče razbrati barvo fasade, obliko oken, obliko in barvo strehe, vkop objekta v teren, spremljajoče objekte in podobno.

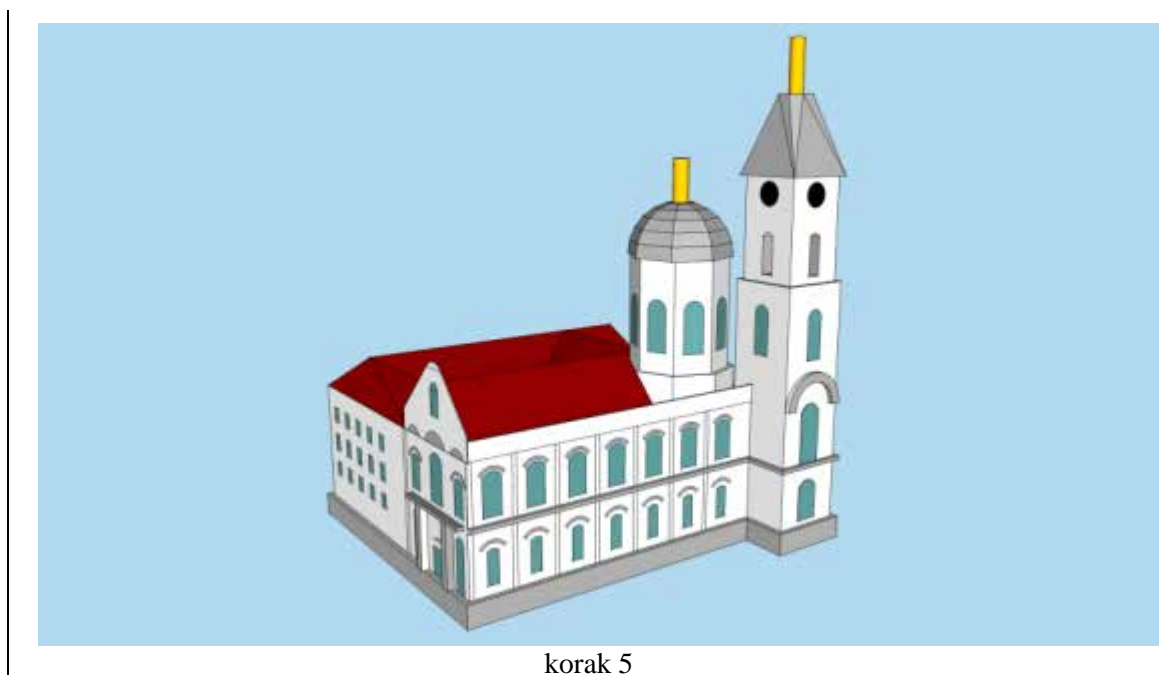
V preglednici 5 je po korakih predstavljena izdelava objekta 18 z nivojem podrobnosti 2 (NP2).

Preglednica 5: Koraki izdelave poenostavljenega 3D objekta



... se nadaljuje

... nadaljevanje



Korak 1 predstavlja pridobljen tloris objekta iz katastra stavb. Na podlagi tega se lahko objekt vzpostavi v tretjo dimenzijo – tloris objekta »dvignjen« na pravo višino. Višino se izmeri s pomočjo Google Zemlja® programske opreme – korak 2. V naslednjem koraku (3) se izdelava vse podrobnosti, ki so vezane na objekt in izpolnjujejo pogoj nivoja podrobnosti 2. Ko so ti izbrani in zrisani, jih lahko smiselno pripne na objekt – korak 4. V pomoč mi je seveda slikovno gradivo - slika 35 in slika 36. V kolikor je potrebno oziroma v kolikor kartograf ugotovi, da lahko izpusti ponavljajoče se elemente ali le te združi, se to naredi v tem koraku (npr.: namesto 10 malih oken – 5 velikih). Prav tako so lahko poudarjene pomembne značilnosti objekta (npr.: kupola o stolp ali pročelje.) Na koncu se na podlagi barvne lestvice smiselno izbere barve. Rezultat izdelave poenostavljenega objekta je korak 5.





Slika 35: Slika realnosti objekta s podrobnostmi (Nakladatelstvi 1. Dejvická, 2012)



Slika 36: Slika realnosti objekta (Photo-Prague, 2012)

Slika 35 in 36 prikazujeta oslonilni fotografiji, na podlagi katerih se razbere obliko in barvo fasade, vse potrebne podrobnosti, obliko strehe in vse elemente, ki so potrebni za izdelavo poenostavljenega 3D modela objekta z NP2.

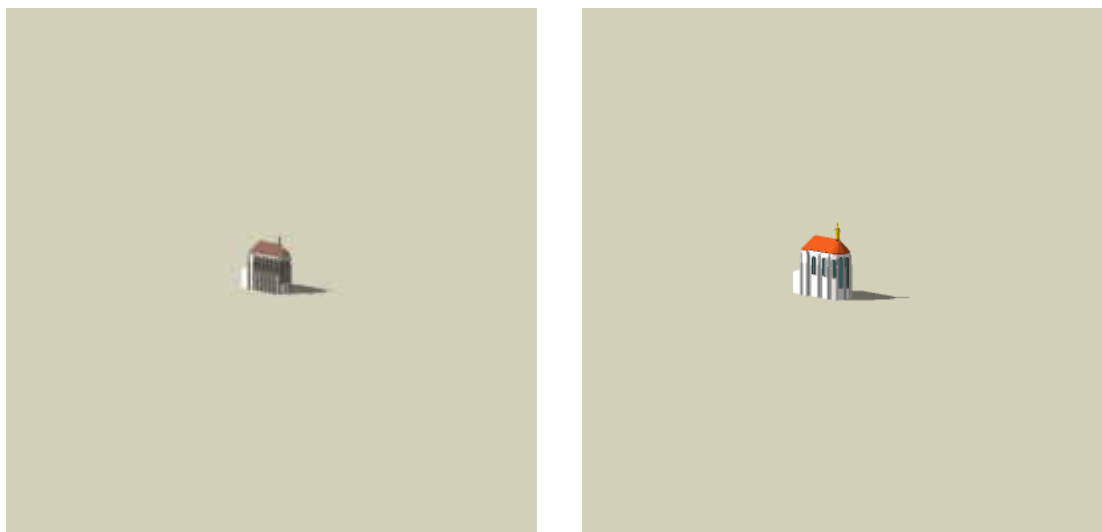
## 5.7 Rezultat praktičnega dela

Končni izdelek vsebuje 18 poenostavljenih objektov, ki so prikazani v prilogi A.

Za boljšo predstavitev praktičnega dela diplomske naloge so na spodnjih primerih prikazane primerjave med vhodnimi, fotorealističnimi 3D modeli ter poenostavljenimi modeli, ki so plod praktičnega dela te naloge.

V prvem primeru je izbran objekt, tako fotorealističen kot poenostavljen, prikazan iz večje razdalje. Slika 37 prikazuje, da je iz večje razdalje prvoten objekt težko razločen kar pa za poenostavljen objekt težko trdimo. Sklepamo lahko, da nam podrobnosti in fotorealistična tekstura fasade objekta, ter ponavljajoči elementi, kot so okna in stebri, ne prinašajo dodatne vrednosti, prav nasprotno. Preveč podrobnosti povzročijo prenasičenost vizualnih podatkov za našo zaznavo.





Slika 37: Primerjava razločnosti originalnega in generaliziranega objekta

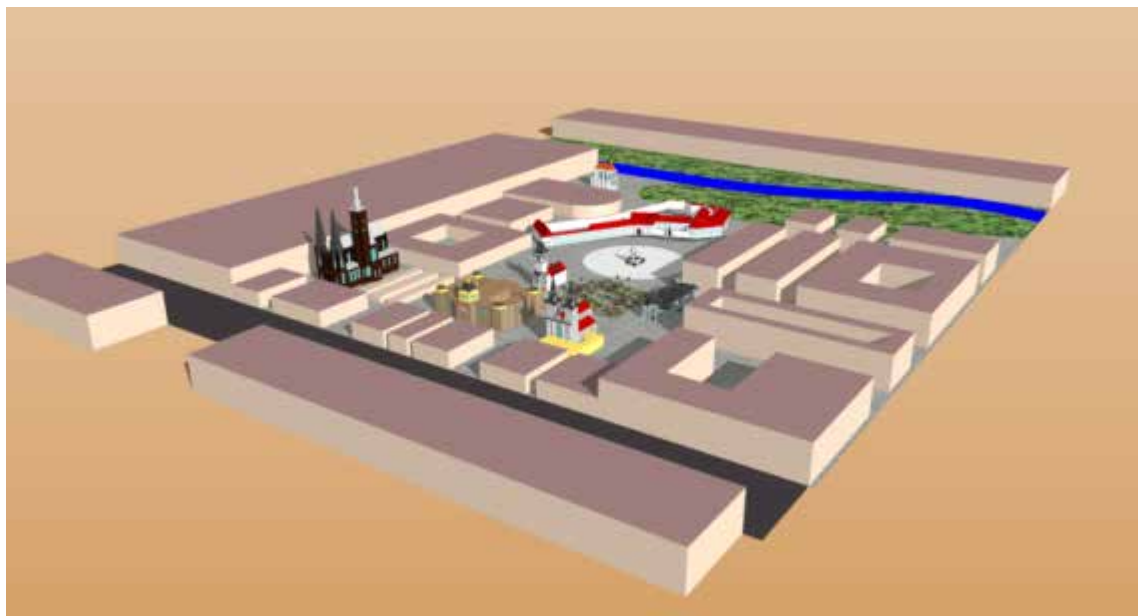
Slika 38 nam na abstraktnem modelu središča mesta nazorno prikazuje, da so fotorealistični objekti z visoko stopno podrobnosti (primer a) slabo razpoznavni. Zaznamo, da v primeru, ko je velikost prikaza majhna postanejo podrobnosti in teksture nerazločne, hkrati pa se zmanjša globinska predstava samega objekta. Da bi to nevšečnost odpravili je na vseh objektih izveden postopek generalizacije in abstrakcije. Rezultat je na primeru (b). Objekti se medsebojno in glede na okolico dosti bolj razlikujejo predvsem pa je, glede na celotno sliko, vizualna zaznava mnogo boljša. S tem ko so na objektih poudarjene ključne značilnosti se lahko hitreje sklepa kateri oz. kakšen objekt je predstavljen.



(a) Abstraktni prikaz s fotorealističnimi 3D objekti

... se nadaljuje

... nadaljevanje



(b) Abstraktni prikaz z generaliziranimi 3D objekti

Slika 38: Primerjava razločnosti originalnega in generaliziranega objekta na primeru mesta

## 6. ZAKLJUČEK

Priča smo hitremu razvoju računalniške grafike. Vseprisotnost širokopasovnih povezav in kakovostne računalniške opreme nam prinaša tudi vseprisotno navidezno realnost. Kartografska upodobitev, bodisi 2D, bodisi 3D nam je na dosegu roke, kot še nikoli. Zatorej bo imela kartografija in z njo povezano vedenje o prikazu površja vse večjo vrednost.

Te trditve so me vodile skozi celoten postopek izdelave moje diplomske naloge. S ciljem, da bo poenostavljen 3D model izdelan po načelih in ugotovitvah priznanih kartografov, sem na podlagi gradiva izdelal raziskavo, ter vse skupaj realiziral na praktičnem delu naloge.

Ne glede na rezultat naloge, si moramo prizadevati, da prehitel razvoj tehnologije in »poplava« podatkov ne obideta sita kartografije. Le-ta je člen, ki lahko iz množice podatkov pridobi prave in uporabne podatke ter s pomočjo matematičnih in analitičnih postopkov poda končen rezultat, temelječ na obliki, velikosti in vrsti prikaza.

Naloga praktičnega dela je bila poenostavitev ter abstrakcija osemnajstih 3D objektov v mestu Praga. To so sakralni objekti, muzeji, utrdbe, spomeniki, ter geografsko, kulturno, državno in orientacijsko pomembni objekti. Skozi postopek generalizacije in abstrakcije se je izvedlo preoblikovanje kartografskega prikaza za ožje območje mesta. Na podlagi kartografskega znanja, smernic in pravil se je izdelalo generalizirane in abstrahirane 3D objekte, ki so bili kasneje uporabljeni za raziskavo. Zaradi subjektivnosti pogleda na posamezni kartografski izdelek (prvotni ali predelani) težko govorimo kateri je bolj všečen, lahko pa trdimo, da je končni izdelek bolj berljiv in nazoren.

Pomemben in ključen element pri generalizaciji in/ali abstrakciji objektov je pravilna izbira nivoja podrobnosti (NP). Zaradi nepravilnega izbora NP-ja se lahko dobi povsem drugačen rezultat od pričakovanega. Prav tu se je v praktičnem delu naloge pojavljajo največ dilem. S pomočjo ustrezne literature in usmeritev s strani mentorjev se je izbral ustrezen nivo. Zaradi te dileme sem se odločil, da prikažem več različnih teorij NP-ja. Različni avtorji so si skozi čas različno razlagali pomen ter število samih stopenj. Zaradi najbolj razširjene uporabe v strokovnih krogih je bila uporabljena delitev OGC CityGML, 2012.

Delo pa nam lahko oteži predvsem pridobivanje ustreznih vhodnih podatkov. Večino 3D objektov se je pridobilo v Googlovem 3D skladišču. Te objekte se nato generalizira in abstrahira. V našem primeru je bilo temu tako v 66% podatkov. Preostanek, torej 33% objektov pa je potrebno izdelati samostojno. Za tako izdelavo se potrebuje tloris in višino objekta, višino ter obliko strehe, vidno predstavitev podrobnosti, teksturo fasade, obliko oken, itd. Pridobiti je potrebno čim več podatkov:

slikovno gradivo, kataster stavb, orto-foto posnetke iz zraka, lidar opazovanja, meritve na terenu in druge vrste podatkov o sami stavbi. Kateri podatki so bolj zanesljivi in uporabni, pa je presoja kartografa.

Da je vse skupaj lažje predstavljivo, je celoten postopek generalizacije in abstrakcije prikazan na primeru 3D objekta. Koraki predstavljajo pravilno izbiro NP-ja, vhodnih podatkov, opornih točk ter metodologijo dela. Prav tako je predstavljena samostojna izdelava 3D objekta, na osnovi katastra stavb in slikovnega gradiva.

Končni rezultat praktičnega dela diplomske naloge je vključen v raziskavo določitve vpliva abstrakcije na kartografsko komunikacijo v 3D kartografskih upodobitvah. Objekti, izdelani v okviru diplomske naloge na znakovni upodobitvi predstavljajo najpomembnejše orientacijske kartografske objekte. Ostala kartografska vsebina je izdelana po vzoru kartografskih načel tlorisnih kart. Pozidana območja so združena in predstavljena s tako imenovanimi 3D bloki, vegetacija je predstavljena nazorno, s prostorninskimi pogojnimi znaki. Podobno sta prometna infrastruktura in reka Vltava predstavljeni z linijskimi oziroma ploskovnimi pogojnimi znaki. Takšna znakovna 3D kartografska upodobitev mesta Praga je skrajna oblika abstrakcije urbanega območja in jo je v okviru raziskave mogoče neposredno primerjati z drugo skrajno obliko – fotorealističnim prikazom, kot ga zagotavlja Google Zemlja.

Ročna izdelava 3D objektov oziroma generalizacija in abstrakcija je ob zadostnih vhodnih podatkih nezahtevna, a vseeno dolgotrajna. Prav slednje bi lahko odpravila avtomatizacija izdelave. Vendar je popolna avtomatizacija, zaradi zapletenosti tretje dimenzije (veliko podatkov) in odsotnosti zanesljivih in poenotениh načel za izdelavo, dokaj oddaljena.

## VIRI

Abstrakcija. 2012.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Kategorija:Abstrakcija> (Pridobljeno 13. 8. 2012.)

Arslan, A. E., Seker, D. Z., Ergun, F. 2009. 3D Building Models and an Example for Use of Photorealistic Models in Geomatics. FIG Working Week 2009, Israel.

[http://www.fig.net/pub/fig2009/papers/ts05b/ts05b\\_arslan\\_seker\\_ergun\\_3462.pdf](http://www.fig.net/pub/fig2009/papers/ts05b/ts05b_arslan_seker_ergun_3462.pdf)

(Pridobljeno 1. 8. 2012.)

Babylonian Map of the World. 2012.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Babylonian\\_Map\\_of\\_the\\_World](http://en.wikipedia.org/wiki/Babylonian_Map_of_the_World) (Pridobljeno 13. 8. 2012.)

Biederman, I. 1987. Recognition by components. A theory of human image understanding. Understanding. Psychological Review 94, 2: 115-147.

<http://wexler.free.fr/library/files/biederman%20%281987%29%20recognition-by-components.%20a%20theory%20of%20human%20image%20understanding.pdf>

(Pridobljeno 19. 2. 2013.)

Buchholz, H., Döllner, J., Nienhaus, M., Kirsch. 2005. Real-time non-photorealistic rendering of 3D city models. V: Gröger/Kolbe (ur.). Proc. Of the 1st Intern. Workshop on Next Generation 3D City Models, Bonn 2005, EuroSDR 49.

[http://www.eurocdr.net/km\\_pub/no49/workshops\\_docs/citymodels\\_june\\_05/paper14\\_buchholz.pdf](http://www.eurocdr.net/km_pub/no49/workshops_docs/citymodels_june_05/paper14_buchholz.pdf)

(Pridobljeno 1. 8. 2012.)

Chopra, A. 2009. Google SketchUP® 7 For Dummies ®. Willey Publishing Inc. New Jersey: 436 str.

<http://www.google.si/books?id=1k3uczGGC3oC&printsec=frontcover&hl=sl#v=onepage&q&f=false>

(Pridobljeno 20. 8. 2012.)

Dobričič, L., Kosmatin Fras, M. 2006. Izdelava metričnih modelov stavb z nizkocenovnim orodjem. Geodetski vestnik 50: 27.

[http://www.geodetski-vestnik.com/50/1/gv50-1\\_025-036.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/50/1/gv50-1_025-036.pdf) (Pridobljeno 27. 7. 2012.)

Domajnko, M. 2008. Oblikovanje znakovnega in foto-realističnega trirazsežnostnega kartografskega prikaza. Diplomna naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Domajnko): 78 str.

[http://eprints.fgg.uni-lj.si/11/1/GEU\\_0765\\_Domajnko.pdf](http://eprints.fgg.uni-lj.si/11/1/GEU_0765_Domajnko.pdf) (Pridobljeno feb. 2012.)

Drobne, S., Podobnikar, T. 1999. Osnovni pojmi v geografskih informacijskih sistemih. [http://www.fgg.uni-lj.si/sdrobne/GIS\\_Pojm/VEKTOR.htm](http://www.fgg.uni-lj.si/sdrobne/GIS_Pojm/VEKTOR.htm) (Pridobljeno 2. 8. 2012.)

Elaksmer, A., F., Bethel. J. S. 2012. Reconstructing 3D buildings from lidar data. School of Civil Engineering, Purdue University, Indiana. <http://www.iNPrs.org/proceedings/XXXIV/part3/papers/paper102.pdf> (Pridobljeno 30. 7. 2012.)

Ellis, P. G., Torcellini, P. A., Ceawley, D. B. 2008. Energy Design Plugin: An EnergyPlus Plugin for SketchUp. Conference Berkeley. California. <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43569.pdf> (Pridobljeno: 21.8.2012)

Frančula, N. 2005. Cartography in the 21st Century = Kartografija u 21. stoljeću. Kartografija i geoinformacije 4, 4: 4-15. <http://hrcak.srce.hr/file/3737> (Pridobljeno 14. 8. 2012.)

Fuan, T., Wan-Rong. L., Liang-Chien, C. 2012. Multi-resolution representation of digital terrain and building models. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 38: Part II. [http://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/part2/Papers/33\\_Paper.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/part2/Papers/33_Paper.pdf) (Pridobljeno 20. 8. 2012.)

Glander, T., Döllner, J. 2009. Abstract Representations for Interactive Visualization of Virtual 3D City Models. Hasso-Plattner-Institute, University of Potsdam.

Google Zemlja. 2012. Slike programskega paketa. Program in vsebino prikazov zagotavlja Google Inc. (»Google«), s sedežem na naslovu 1600 Amphitheatre Parkway, Mountain View, CA 94043, Združene države Amerike.

Grlic, M., Pogorelčnik, E., Triglav, M., Pegan-Žvokelj, Borut. 2003. Vzpostavitev katastra stavb – registrski podatki. Geodetski vestnik 47: 193-214. [http://www.geodetski-vestnik.com/47/3/gv47-3\\_193-214.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/47/3/gv47-3_193-214.pdf) (Pridobljeno 25. 7. 2012.)

Hermesmyer, D., Guretzki, M., Ruffer, J., Krüger, S. 2012. Photo-realistic Visualisation of 3D City Models. [http://www.phoenics.de/tl\\_files/phoenics/downloads/Kuwait\\_3D-City-Models.pdf](http://www.phoenics.de/tl_files/phoenics/downloads/Kuwait_3D-City-Models.pdf) (Pridobljeno 12. 8. 2012.)

History of cartography. 2012.

[http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_cartography](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_cartography) (Pridobljeno 5. 8. 2012.)

Hrib, Ž. 2011. Možnost uporabe fotogrametrije v rudarstvu na primeru izdelave 3d modela kamnoloma. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta (samozaložba Ž. Hrib): 65 str.

[http://www.geo.ntf.uni-](http://www.geo.ntf.uni-lj.si/mvulic/diplome/GRADUATION_THESIS/Hrib_FOTOGAMETRIJ_RUDARSTVO-3D%20MODEL_KAMNOLOMA.pdf)

[lj.si/mvulic/diplome/GRADUATION\\_THESIS/Hrib\\_FOTOGAMETRIJ\\_RUDARSTVO-3D%20MODEL\\_KAMNOLOMA.pdf](http://www.geo.ntf.uni-lj.si/mvulic/diplome/GRADUATION_THESIS/Hrib_FOTOGAMETRIJ_RUDARSTVO-3D%20MODEL_KAMNOLOMA.pdf) (Pridobljeno 5. 8. 2012.)

Ivory trade. 2012.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Ivory\\_trade](http://en.wikipedia.org/wiki/Ivory_trade) (Pridobljeno 13. 8. 2012.)

Jahnke, M., Krisp, J., M., Kumke, H. 2011. How Many 3D City Models Are There? – A Typological Try. The Cartographic Journal 48, 2:124-130.

Jahnke, M., Meng, L., Kypriamdis, J.E., Dollner, J. 2012. Non-photorealistic Rendering on Mobile Devices and its Usability Concerns.

<http://www.iseis.cuhk.edu.hk/downloads/vge/34.pdf> (Pridobljeno feb. 2012.)

Kada, M., McKinley, L. 2009. 3D building reconstruction from lidar based on a cell decomposition approach. Institute for Photogrammetry, University of Stuttgart, Dtuttgart, Virtual City Systems, Dresden.

[http://www.cmrt09.bv.tum.de/pub/CMRT09\\_Kada\\_McKinley.pdf](http://www.cmrt09.bv.tum.de/pub/CMRT09_Kada_McKinley.pdf) (Pridobljeno 20. 7. 2012.)

Kosmatin Fras, M. 2009. Daljinsko zaznavanje in fotogrametrija. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: loč. pag.

MacEachren, A. M. 2012. An evolving cognitive-semiotic approach to geographic visualization and knowledge construction.

[http://www.geovista.psu.edu/storage/alan/amm\\_InfoDesign.pdf](http://www.geovista.psu.edu/storage/alan/amm_InfoDesign.pdf) (Pridobljeno 10. 8. 2012.)

Meng, L., Forberg, A. 2006. 3D Building Generalisation. V: Mackaness, W. (ur), Ruas, A. (ur.), Sarjakoski, T. (ur.). Challenges in the Portrayal of Geographic Information: Issues of Generalisation and Multi Scale Representation, Amsterdam, Elsevier Science: p. 211–232.

Nakladatelstvi 1. dejvická. 2012.

<http://www.nakladatelstvi.pro.cz/chram/9-chram-sv-mikulase.html> (Pridobljeno 20. 11. 2012.)

OGC 12-019. 2012. OpenGIS® Encoding Standard, OGC City Geography Markup Language (CityGML) En-coding Standard verzija 2.0.

[https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=47842](https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=47842) (Pridobljeno 13. 8. 2012.)

Petrovič, D. 2009. Kartografija in topografija v 2 semestru študija Tehnično upravljanje nepremičnin. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, UL Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: loč. pag.

Petrovič, D. 2005. Cartography and Geoinformation in Slovenia = Kartografija in geoinformacije u Sloveniji. Kartografija i geoinformacije 4, 4: 16-28.

<http://hrcak.srce.hr/file/3740> (Pridobljeno 25. 7. 2012.)

Petrovič, D. 2001. Načela oblikovanja izraznih sredstev v tridimenzionalnih kartografskih prikazih. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Petrovič): 130 str.

Photo-Prague. 2012

<http://www.photo-prague.net/cs/foto/kostel-sv-mikulase-1436> (Pridobljeno 20. 11. 2012.)

Podobnikar, T. 2003. Kronologija izdelave digitalnega modela reliefa Slovenije. Geodetski vestnik 47: 47-54.

[http://www.geodetski-vestnik.com/47/12/gv47-1\\_047-054.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/47/12/gv47-1_047-054.pdf) (Pridobljeno 11. 8. 2012.)

Prague Lovesguide - Love's Guide to the Church Bells of Prague. 2012.

[http://prague.lovesguide.com/panny\\_marie\\_snezne.htm](http://prague.lovesguide.com/panny_marie_snezne.htm) (Pridobljeno 20. 8. 2012.)

Raster data, Automation-drive. 2012.

<http://www.automation-drive.com/raster-data> (Pridobljeno 5. 8. 2012.)

Rau, J. Y., Chu, C. Y. 2010. Photo-realistic 3d mapping from aerial oblique imagery. ISPRS Archives, Volume XXXVIII - Part 1.

[http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part1/10/10\\_04\\_Paper\\_209.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part1/10/10_04_Paper_209.pdf)

(Pridobljeno 1. 8. 2012.)



Revell, P., Regnauld, N., Thom, S. 2005. Generalising OS Mastermap topographic buildongs and ITN road centerlines to 1:50 000 scale using a spatial centrelines of agents, triangulation and topology.

[http://icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2005/htm/pdf/oral/TEMA9/Session%204/PATRICK%20REVELL.pdf](http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2005/htm/pdf/oral/TEMA9/Session%204/PATRICK%20REVELL.pdf) (Pridobljeno 20. 8. 2012.)

Robinson, A. H., Morrison, J. L., Muehrcke, P. C., Kimerling, A. J., Gaptill, S. C. 1995. Elements of cartography. Sixth edition. New York idr., John Wiley & Sons: 664 str.

Rottensteiner, F., Briese, C. 2003. Automatic Generation of Building Models from LIDAR Data and the Integration of Aerial Images, V: Mass, H. G. (ur.), Vosselman, G. (ur.), Streilein, A. A. (ur.). Proceedings of ISPRS Working group III/3 Workshop on '3-D Reconstruction from Airborne Laserscanner and InSAR Data'. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and spatial Information Sciences, Dresden: p. 174 -180.

[http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/3-W13/papers/Rottensteiner\\_ALSDD2003.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/3-W13/papers/Rottensteiner_ALSDD2003.pdf)

(Pridobljeno 20. 7. 2012.)

Song, Y., Shan, J. 2004. Photorealistic Building Modeling and Visualization in 3-d Geospatial Information System. V: XXth ISPRS Congress, Volume XXXV Youth Forum.

<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/yf/papers/922.pdf> (Pridobljeno 1. 8. 2012.)

Verma, V., Kumar, R., Hsu, S. 2012. 3D Building Detection and Modeling from Aerial LIDAR Data.

[http://www.ceng.metu.edu.tr/~e120353/building\\_lidar.pdf](http://www.ceng.metu.edu.tr/~e120353/building_lidar.pdf) (Pridobljeno 30. 7. 2012.)

What is raster data? 2012. ArcGIS 9.2 Desktop Help.

[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=What\\_is\\_raster\\_data?](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=What_is_raster_data?)







(Pridobljeno 2. 8. 2012.)

Ta stran je namenoma prazna.

## PRILOGE

### PRILOGA A: SLIKOVNO GRADIVO GENERALIZIRANIH TER VHODNIH 3D OBJEKTOV

Prikazani so izdelani, generalizirani 3D objekti (stolpec levo), ter vhodni 3D objekti na podlagi katerih se je izvedla generalizacija (stolpec desno). Oštevilčenje objektov se sklicuje na seznam izbranih objektov v poglavju 5.1.

GENERALIZIRANI 3D OBJEKTI	VHODNI 3D OBJEKTI
Model 1	
	
Model 2	
	
Model 3	
	

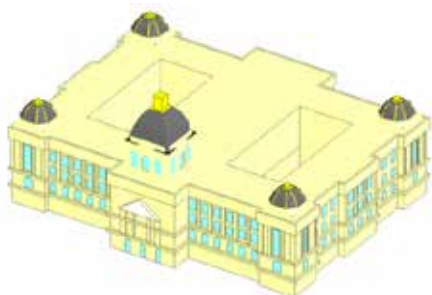
Model 4



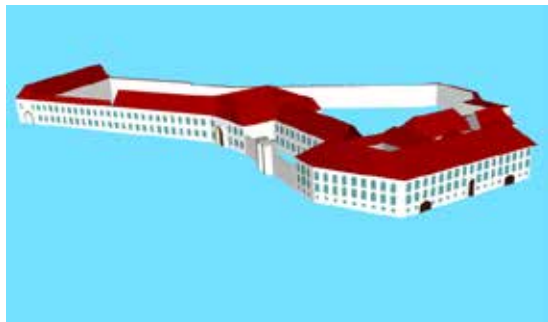
Model 5



Model 6



Model 7



Model 8



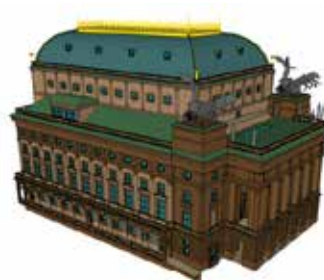
Model 9



Model 10



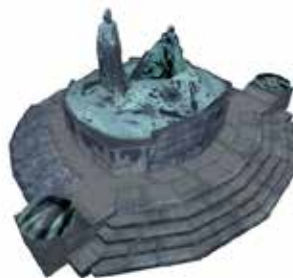
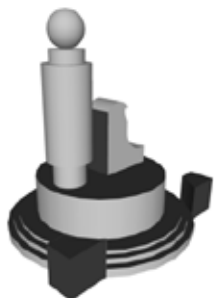
Model 11



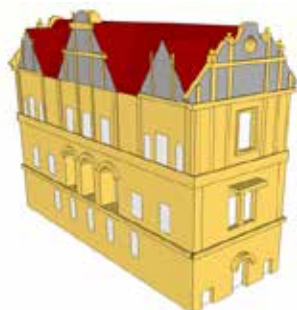
Model 12



Model 13



Model 14



Model 15



Model 16



Model 17



Model 18

