

# **Izvedba laserskega skeniranja Slovenije**

## **Blok 14 – tehnično poročilo o izdelavi izdelkov**





## PODATKI O PROJEKTU

### Naročnik:

**Republika Slovenija – Ministrstvo za kmetijstvo in okolje**

Dunajska cesta 22  
1000 Ljubljana

Matična številka: 2399253000  
ID za DDV: 31162991

Odgovorna oseba: mag. Dejan Židan

### Izvajalec:

**Geodetski inštitut Slovenije**

Ljubljana, Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana

Matična številka: 5051649000  
ID za DDV: SI81498756  
Račun: 01100-6030348025

Odgovorna oseba: Milan Brajnik, direktor

### Pogodba med naročnikom in izvajalcem:

Številka naročila: 2330-13-830161

Naslov pogodbe: Zagotavljanje sistemskih podatkovnih podlag in informacijske infrastrukture za upravljanje z vodami

Naročnik: Številka pogodbe: 2330-13-830161

Datum: 27.06.2014

Izvajalec: Številka pogodbe: K062051/P-1

Datum: 26.04.2013

Aneks št. 1 k pogodbi 2330-13-830161

Naročnik: Številka pogodbe: 2330-13-830161

Datum: 26.04.2013

Izvajalec: Številka pogodbe: K062051/A1-BPŽ

Datum: 13.06.2014

### Zastopnik

Naročnik: Klemen Grebenšek  
Izvajalec: mag. Edvard Mivšek

### Sodelavci:

mag. Borut Pegan Žvokelj  
mag. Vasja Bric  
dr. Mihaela Triglav Čekada  
Alenka Obreza  
Stanislav Tršan

**Podizvajalec:****Flycom d.o.o.**

Žirovnica, Moste 26b  
4274 Žirovnica

Matična številka: 5710081  
ID za DDV: SI10286314  
Račun: 03139-1087512137

Odgovorna oseba: Roman Bernard, direktor

**Pogodba med izvajalcem in podizvajalcem:**

Naslov pogodbe: Okvirni sporazum

Naročnik: Številka pogodbe: K062051/P

Datum: 22.10.2013

Izvajalec: Številka pogodbe: FLP07-119\_13

Datum: 25.10.2013

Naslov pogodbe: Pogodba za izvedbo laserskega skeniranja in snemanja Slovenije (območja B in C – Podobmočje 1)

Naročnik: Številka pogodbe: K062051/P-2

Datum: 15.1.2014

Izvajalec: Številka pogodbe: FLP07-01-14

Datum: 17.1.2014

Naslov pogodbe: Aneks k pogodbi o izvedbi laserskega skeniranja in snemanja Slovenije (območja B in C – Podobmočje 1)

Naročnik: Številka aneksa: K062051/A-1 (P-2)

Datum: 30.6.2014

Izvajalec: Številka aneksa: FLP07-01-14/1

Datum: 2.7.2014

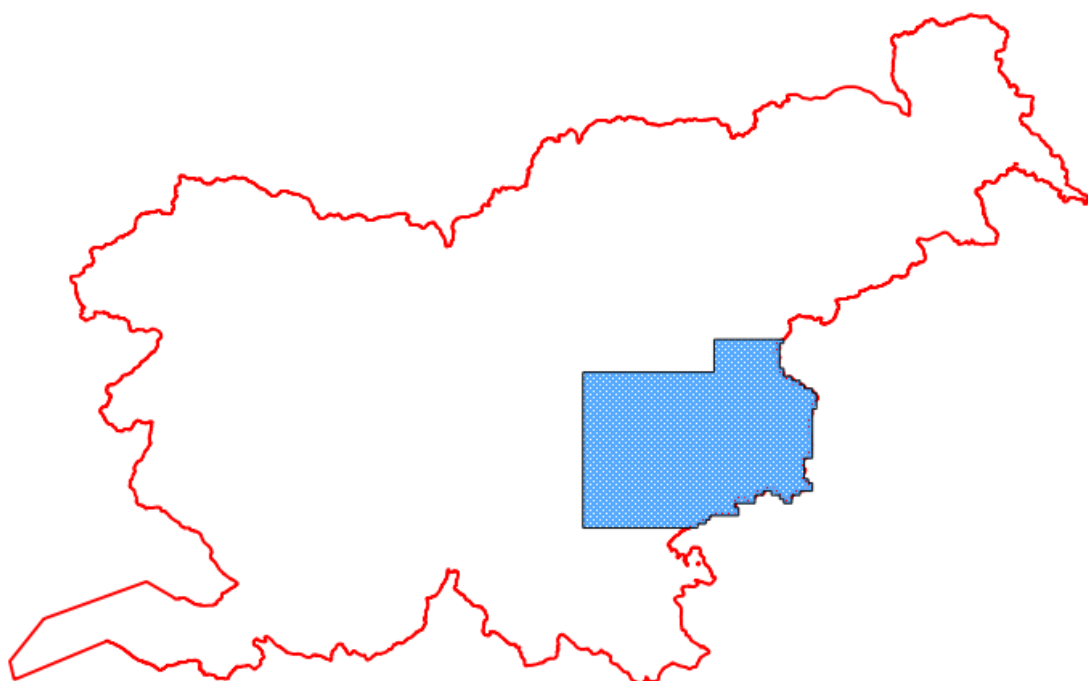
**Zastopnik**

Izvajalec: mag. Borut Pegan Žvokelj

Podizvajalec: Luka Šolar

ŠT.	IME
<b>Blok: B14</b>	<b>Novo Mesto</b>

Datum oddaje izdelkov v  
notranjo kontrolo: 20. 10. 2014  
Datum oddaje: 19. 12. 2014



# KAZALO

<b>1 VHODNI LASERSKI PODATKI .....</b>	<b>7</b>
1.1 OSNOVNI PODATKI O SNEMANJU .....	7
1.2 KONTROLA KAKOVOSTI VHODNIH PODATKOV .....	9
<b>2 IZDELAVA IZDELKOV .....</b>	<b>10</b>
2.1 UPORABLJENA PROGRAMSKA OPREMA .....	10
2.2 POSTOPEK OBDELAVE .....	10
2.3 POIMENOVANJA IN FORMATI REZULTATOV .....	11
2.4 GLIDAR .....	12
2.4.1 Izdelava DMR.....	12
2.4.2 Klasifikacija oblaka laserskih točk (GKOT in OTR) .....	12
2.4.3 Transformacije .....	13
Horizontalna transformacija.....	13
Višinska transformacija.....	14
2.5 SPECIFIKACIJE IZDELKOV .....	15
2.5.1 DMR .....	15
2.5.2 PAS .....	17
2.5.3 GKOT .....	18
2.5.4 OTR.....	19
2.6 KONTROLA KAKOVOSTI IZDELKOV .....	20

# 1 Vhodni laserski podatki

## 1.1 Osnovni podatki o snemanju

Uporabljeni inštrumentarij v času snemanja:  
Laserski skener: RIEGL LMS-Q780,  
INS: IGI Aerocontrol Mark II.E 256Hz  
GNSS: Novatel OEMV-3

Največji kot skeniranja:  $\pm 30^\circ$

Napaka izmere kotov skeniranja je manjša ali kvečjemu enaka 0,25 mrad.

Natančnost INS kotov: »roll/pitch« 0,004° in »heading« 0,01°, natančnost pozicije 5 cm.

Napaka sinhronizacije med INS, GNSS in laserskim sistemom znaša 0,005 ms.

Višina leta nad tlemi: 1200 do 1400 m nad tlemi.

Datum snemanja: 12. 3. 2014, 14. 3. 2014, 20. 3. 2014 in 7. 6. 2014

Zamiki med merilnimi sistemi:

- Zamik med izhodiščem koordinatnega sistema laserskega skenerja ter izhodiščem koordinatnega sistema IMU:  
X= -0,1579 m, Y= -0,161 m, Z= 0,0193 m
- Zamik med izhodiščem koordinatnega sistema GNSS-antene ter izhodiščem koordinatnega sistema IMU:  
X=-5,1507 m, Y=-0,2254 m, Z=-2,571 m

Tabela 1: Ocenjena natančnost lokacije po misijah snemanja.

Datum ter zaporedna št. misije v dnev	Uporabljene postaje SIGNAL	Povprečna/Največja vrednost PDOP	Ocenjena natančnost N/E/H [m]
12.03.2014_01	Virtualna postaja	2/ < 3	$\pm 0,02/0,02/0,015$
12.03.2014_02	Virtualna postaja	2/ < 3	$\pm 0,02/0,02/0,025$
13.03.2014_01	BREZ, TREB	2/ < 3	$\pm 0,03/0,03/0,02$
13.03.2014_02	BREZ, TREB	2/ < 3	$\pm 0,03/0,03/0,02$
14.03.2014_01	BREZ, virtualna postaja	2/ < 3	$\pm 0,02/0,02/0,015$
14.03.2014_02	BREZ, CRNO, virtualna postaja	2/ < 3	$\pm 0,02/0,02/0,025$
20.03.2014_01	CELJ, TREB	2/ < 3	$\pm 0,015/0,015/0,018$
20.03.2014_02	CELJ, TREB	2/ < 3	$\pm 0,018/0,018/0,02$
07.06.2014_02	BREZ, CRNO	2/ < 3	$\pm 0,02/0,02/0,02$

Obdelava podatkov:

1. Trajektorija leta plovila se je izračunala s programom GrafNav (v8.50) (proizvajalec Waypoint-Novatel) iz zajetih GNSS-podatkov po metodi diferencialnega GPS (DGPS).
2. Za združitev podatkov GNSS in IMU-sistemov se je uporabil program AeroOffice (v5.1f) (proizvajalec IGI)
3. Surovi laserski podatki so bili obdelani s programom RiPROCESS (v1.5.9) (proizvajalec RIEGL). Rezultati so bili izvoženi v format LAS 1.2 z istim programom. Za obdelavo sta bila uporabljena modula:
  - a. RiANALYZE (v6.0.2) branje surovih laserskih podatkov
  - b. RiWORLD (v4.5.8) združevanje laserskih podatkov in trajektorije
4. S programom TerraMatch (proizvajalec TerraScan) se je opravilo še ujemanje med pasovi po metodi linijskega ujemanja (ang. line matching).

Tako dobimo datoteke snemalnih linij imenovane **georeferenciran oblak točk (GOT)** shranjene v LAS 1.2 formatu. Snemalne linije se prekrivajo med sabo in so rezane tako, da ena LAS datoteka ni večja od 2 GB. GOT podatki so zapisani v elipsoidnih višinah in koordinatnem sistemu D96/TM.

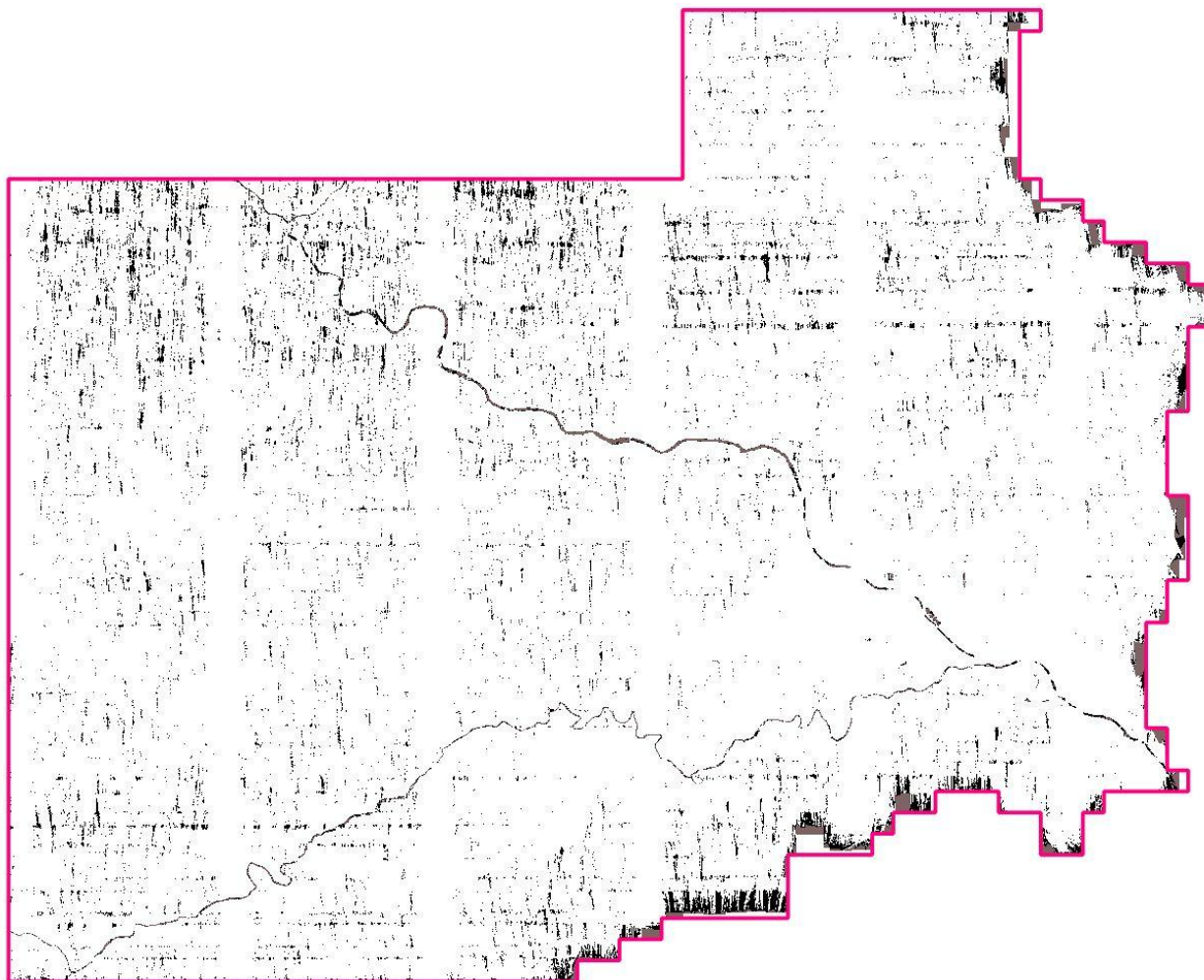
Podrobnosti so v Tehnično poročilo snemanja B14.doc.

## 1.2 Kontrola kakovosti vhodnih podatkov

**Vhodni podatki** za izdelavo izdelkov Laserskega skeniranja Slovenije (LSS) so datoteke GOT posameznih snemalnih linij, ki se prekrivajo med sabo.

Na vhodnih podatki laserskega skeniranja GOT smo pred izdelavo izdelkov izvedli še kontrolo kakovosti. Na tem mestu podajamo rezultate najbolj bistvenih kontrol za uporabnike laserskih podatkov:

1. *Kontrola absolutne višinske točnosti vhodnih podatkov za blok B14:* uporabili smo 184 kontrolnih točk na 11 lokacijah izmerjenih z GNSS RTK-metodo izmere, dobljeni RMS elipsoidnih višin je 0,07 m.
2. *Povprečna gostota prvih odbojev na kvadratih velikosti 10 m<sup>2</sup> združenih datotek GOT za blok B14* (zahtevano vsaj 90 %): 96,1 % kvadratov ustreza gostoti 5 točk/m<sup>2</sup>



Slika 1: Povprečna gostota prvih odbojev na kvadratih velikosti 10 x 10 m, črna polja prikazujejo območja kjer gostota ni zadovoljiva.

## 2 Izdelava izdelkov

### 2.1 Uporabljena programska oprema

Programi za obdelavo podatkov (proizvajalec GeMMA Lab):

- gLidar verzija 1.0 – za izdelavo ASCI DMR, ASCI PAS in LAS georeferenciranega in klasificiranega oblaka točk
- gTile – za združevanje in razrez na dimenzije 1 km<sup>2</sup> (oz. 1 + preklop) v različnih koordinatnih sistemih in za različne formate (ASCI, LAS, TIF+TFW)
- gLidar – Pretvorba višin E2N in
- gLidar – Pretvorba horizontalnih koordinat TM\_GK

Programi za kontrolo podatkov:

- FugroViewer
- Scop++
- qGIS
- LidarLive (GeMMA Lab)

### 2.2 Postopek obdelave

Podatke GOT smo najprej združili in razrezali na datoteke velikost 1 km<sup>2</sup>, ki smo jih uporabili v obdelavi. Združevanje in razrez smo izvedli s programom **gTile**.

**Izdelki, kjer datoteke pokrivajo območje 1 km<sup>2</sup>:**

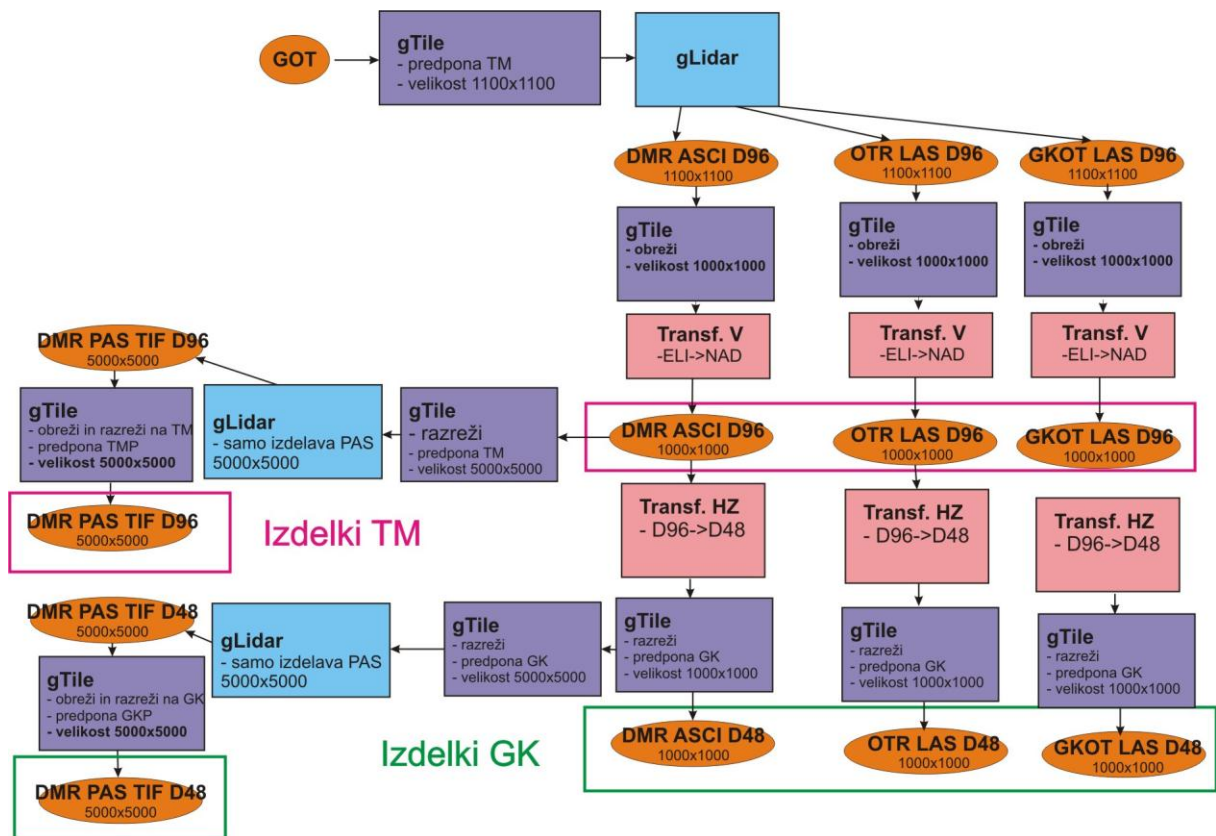
- **DMR** - digitalni model reliefa je interpolacija reliefa na osnovi točk OTR, ki je zapisana v pravilno mrežo 1 m × 1 m. Shranjen je v ASCI datoteki.
- **OTR** - oblak točk reliefa je izdelek, kjer so shranjene samo točke, ki so bile klasificirane kot tla, vse ostale točke so pobrisane. Shranjen je v LAS obliki.
- **GKOT** - georeferenciran in klasificiran oblak točk. V njem so točke klasificirane na tla, stavbe, 3 različni tipi vegetacije (nizka, srednja in visoka). Shranjen je v LAS obliki.

**Izdelki, kjer datoteke pokrivajo območje 5 km<sup>2</sup>:**

- **PAS** - podoba analitičnega senčenja izdelana iz DMR shranjena v geolociranem tif (+tfw).

Izdelke smo avtomatsko izdelali s programom **gLidar** iz podatkov GOT v koordinatnem sistemu D96/TM in elipsoidnih višinah. Po avtomatski obdelavi in ročnem odstranjevanju napak v DMR v programu **gLidar**, smo posamezne rezultate (DMR, PAS, OTR, GKOT) najprej transformirali iz elipsoidnih v nadmorske višine z uporabo programa **gLidar – Pretvorba Višin E2N** ob uporabi datoteke AMG2000GI.grd.

Potem smo transformirali horizontalne koordinate spet vsakega izdelka posebej iz D96/TM v D48/GK koordinatnega sistema z programom **gLidar - Pretvorba TM\_GK**. Da se poimenovanja vogalov datotek tudi po transformaciji v D48/GK ujemajo z vogali zapisanimi v datotekah, smo transformirane podatke še enkrat združili v blok in jih ponovno razrezali na razdelitev v D48/TM s programom **gTile**. Postopek obdelave je podrobno je predstavljen na sliki 2.



Slika 2: Celoten postopek avtomatske izdelave izdelkov po korakih. Vmesni izdelki so v rjavih elipsah, uporabljeni programi so v kvadratih. Končni izdelki so občrtani z vijoličastim (D96) ali zelenim robom (D48).

### 2.3 Poimenovanja in formati rezultatov

Poimenovanja **GKOT datotek** velikosti **1 km<sup>2</sup>** (v formatu LAS 1.2):

- D96/TM v nadmorskih višinah: TM\_eee\_nnn.las, kjer je eee kilometer v e koordinati in nnn kilometer v n koordinati spodnjega levega vogala kvadrata oz. km<sup>2</sup>
- D48/GK v nadmorskih višinah: GK\_yyy\_xxx.las, kjer je yyy kilometer v y koordinati in xxx kilometer v x koordinati spodnjega levega vogala kvadrata oz. km<sup>2</sup>

Poimenovanja **OTR datotek** velikosti **1 km<sup>2</sup>** (v formatu LAS 1.2):

- D96/TM v nadmorskih višinah: TMR\_eee\_nnn.las, kjer je eee kilometer v e koordinati in nnn kilometer v n koordinati spodnjega levega vogala kvadrata oz. km<sup>2</sup>
- D48/GK v nadmorskih višinah: GKR\_yyy\_xxx.las, kjer je yyy kilometer v y koordinati in xxx kilometer v x koordinati spodnjega levega vogala kvadrata oz. km<sup>2</sup>

Poimenovanja **DMR datotek** velikosti **1 km<sup>2</sup>** (ASC format je tekstualni kjer je ločilo med posameznimi koordinatami podpičje):

- D96/TM v nadmorskih višinah: TM1\_eee\_nnn.asc, kjer je eee kilometer v e koordinati in nnn kilometer v n koordinati spodnjega levega vogala kvadrata oz. km<sup>2</sup>
- D48/GK v nadmorskih višinah: GK1\_yyy\_xxx.asc, kjer je yyy kilometer v y koordinati in xxx kilometer v x koordinati spodnjega levega vogala kvadrata oz. km<sup>2</sup>

Format zapisa DMR1 v D96/TM je ASCII (npr. TM1\_389\_82.ASC). V D96/TM je velikost celice pravi kvadrat velikosti 1 m × 1 m. Primer zapisa:

```
389000.00;82000.00;63.04
389000.00;82001.00;63.02
389000.00;82002.00;63.01
```

Po transformaciji v D48/GK (npr. GK1\_389\_82.ASC) DMR nima več enako velikih celic. Saj smo koordinate iz D96 samo transformirali v D48, nad njimi pa nismo izvedli interpolacije na pravilno mrežo 1 m × 1 m. Primer zapisa koordinat v DMR1 v D48/GK:

389372.55;78512.67;228.69

389372.55;78513.67;228.75

389372.55;78514.67;228.81

Poimenovanja **PAS datotek** velikosti **5 km<sup>2</sup>**, kjer se kvadrat se prične na vsakem ničtem oz. petem kilometru (npr. 395\_35 in 340\_40):

- D96/TM v nadmorskih višinah: TMP\_eee\_nnn.tif + tfw, kjer je eee kilometer v e koordinati in nnn kilometer v n koordinati spodnjega levega vogala kvadrata oz. km<sup>2</sup>.
- D48/GK v nadmorskih višinah: GKP\_yyy\_xxx.tif+tfw, kjer je yyy kilometer v y koordinati in xxx kilometer v x koordinati spodnjega levega vogala kvadrata oz. km<sup>2</sup>.

V TFW-datotekah je zapisana koordinata sredine levega zgornjega slikovnega elementa PAS-slike.

## 2.4 gLidar

### 2.4.1 Izdelava DMR

Iz surovih neklasificiranih lidarskih podatkov najprej izgradimo mrežo DMR 1 m × 1 m, ki temelji na iterativnem približevanju aproksimiranega površja dejanskemu terenu.

Najprej razdelimo točke v mrežo enako velikih celic, višina celice je določena z njeno najnižjo vsebovano točko. V naslednjem koraku je ta točka obravnavana kot kontrolna točka interpolacijske funkcije za izgradnjo DMR. Za interpolacijo DMR uporabimo interpolacijo zlepkov tankih plošč (ang. Thin plate spline). V vsakem koraku iteracije primerjamo razlike višin med trenutnim približkom DMR in točkami nižjega nivoja piramidne strukture. Izločimo tiste, ki ne sodijo v DMR in dodamo tiste, ki sodijo vanj. Ponovimo interpolacijo DMR na večji ločljivosti mreže in spet ponovimo postopek ([Mongus in Žalik, 2012](#), [Mongus in sod., 2013](#)).

Po avtomatski izdelavi DMR, program **gLidar** omogoča tudi ročno popravljanje napak.

Mongus, D., Triglav Čekada, M., Žalik, B. (2013). Analiza samodejne metode za generiranje digitalnih modelov reliefa iz podatkov lidar na območju Slovenije, *Geodetski vestnik*, 57:2, 245-258. [http://www.geodetski-vestnik.com/images/57/2/gv57-2\\_mongus.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/images/57/2/gv57-2_mongus.pdf)

Mongus, D., Žalik, B. (2012). Parameter-free ground filtering of LiDAR data for automatic DTM generation, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 1-12.

### 2.4.2 Klasifikacija oblaka laserskih točk (GKOT in OTR)

Po izdelavi DMR smo izvedli klasifikacijo laserskih točk (slika 3) na razrede v Tabeli 1. Klasifikacija razredov je bila izvedena z **gLidar** po naslednjem vrstnem redu:

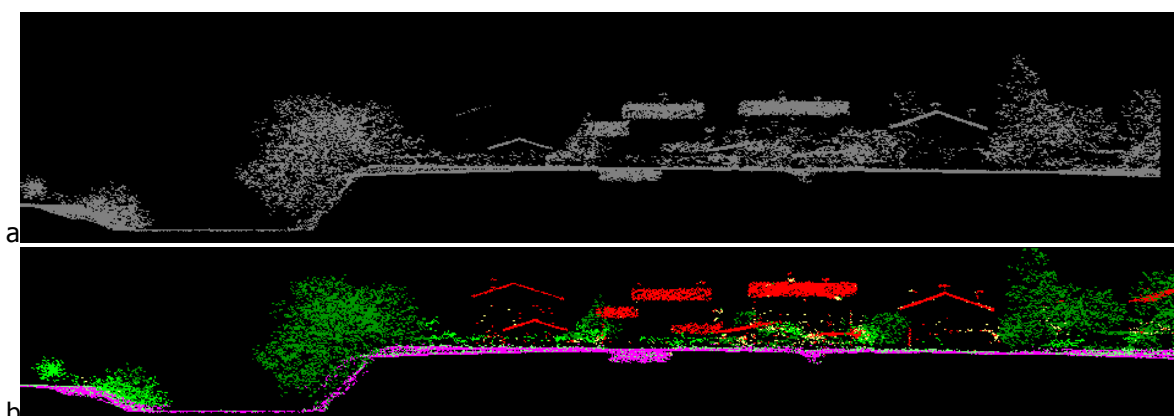
1. najprej smo s pomočjo DMR klasificirali razred tal (klasificirana vrednost 2), izločili smo tudi nizke točke (k.v. 7)
2. potem smo klasificirali zgradbe (k.v. 6)
3. na koncu še tri vrste vegetacije na enkrat (k.v. 3, 4, 5)
4. nazadnje še izvozimo OTR kot samostojno datoteko

**Zgradbe** so grajeni objekti med katere sodijo: stavbe ter mostovi. V klasifikacijskem razredu zgradbe lahko občasno najdemo tudi skladovnice drv in tovarnjake.

Klasifikacijo smo izvajali glede na višinske razlike med danimi točkami in DMR ter na geometrijski lastnosti množic sosednjih točk. Podrobnejši opis metodologije je opisan v [Mongus in Žalik \(2014\)](#).

Tabela 1: Klasifikacijski razredi v katere smo v projektu laserskega skeniranja Slovenije klasificirali laserske točke.

Klasificirane vrednosti	Pomen
0	ustvarjana, vendar nikoli klasificirane točke
1	neklasificirane točke
2	tla (ang. ground)
3	nizka vegetacija, do 1 m
4	srednja vegetacija, 1 m do 3 m
5	visoka vegetacija, nad 3 m
6	zgradbe
7	nizka točka (šum)



Slika 3: Prečni prerez skozi: a) neklasificiran GOT in b) klasificiran GKOT.

Mongus, D., Žalik, B. (2014). Ground and building extraction from LiDAR data based on differential morphological profiles and locally fitted surfaces, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93, 145-156.

### 2.4.3 Transformacije

#### Horizontalna transformacija

Program **gLidar – pretvorba TM\_GK** omogoča izvedbo transformacije neposredno med ravninskima koordinatnima referenčnima sistemoma D96/TM in D48/GK z uporabo modela trikotniške transformacije, različica 3.0 ([Berk in Komadina, 2010 in 2013](#)). Zagotovljena je zveznost na celotnem ozemlju države in povratnost transformacij.

Vezne točk modela trikotniške transformacije različica 3.0 ne vsebujejo na terenu obeleženih točk z neposredno določenimi koordinatami v D48/GK in D96/TM, ampak so to točke z vnaprej določeno optimalno razporeditvijo – virtualne vezne točke. Kot osnova za pokritje države z mrežo virtualnih veznih točk je izbrana pravilna trikotniška mreža. Stranica osnovnega trikotnika meri 6796 m, njegova površina pa 20km<sup>2</sup>. Osnovna mreža je razširjena še navzven, vendar se gostota veznih točk navzven zmanjšuje. Tako je skupaj 899 virtualnih veznih točk, ki tvorijo 1776 Delaunayjevih trikotnikov; od tega 594 točk znotraj Slovenije ter 305 izven. Vektor pomikov v virtualni vezni točki med koordinatnima sistemoma je določen na osnovi znanih vektorjev v ETRS točkah, ki ležijo v njeni neposredni okolici. Vektorjem v ETRS točkah so dodeljene ustrezne uteži, s pomočjo katerih je upoštevan tudi vpliv neenakomerne gostote ETRS točk in različne oddaljenosti ETRS točk od izbrane virtualne vezne točke ([Berk in Komadina, 2010; zbornik projekta](#)).

Glede na analize kakovosti s pomočjo okoli 2.000 točk, določenih v obeh koordinatnih referenčnih sistemih, je za pretežni del državnega ozemlja zagotovljena natančnost transformacije, boljša od enega decimetra (koordinatni standardni odklon ~3 cm), pri čemer je ta ocena nezanesljiva na območjih z nizko gostoto izmerjenih točk in pri ekstrapolaciji transformacije ob državni meji, glej npr. ([Berk in sod., 2011b](#)).

Berk, S., Komadina, Ž. (2010). Trikotniško zasnovana transformacija med starim in novim državnim koordinatnim sistemom Slovenije. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010. GIS v Sloveniji*, št. 10. Založba ZRC, Ljubljana, str. 291–299.

Berk, S., Komadina, Ž., Triglav, J. (2011b). Analiza skladnosti D48/GK- in D96/TM-koordinat zemljiškokatastrskih točk v Pomurju. *Geodetski vestnik*, 55:2, str. 269–283.

Berk, S., Komadina, Ž. (2013). Local to ETRS89 Datum Transformation for Slovenia: Triangle-Based Transformation Using Virtual Tie Points. *Survey Review*, 45:328, str. 25–34.

Zbornik projekta (2010). Vzpostavljanje evropskega prostorskega referenčnega sistema v Sloveniji, [http://e-prostor.gov.si/fileadmin/projekti/DGS/2010p/Zbornik\\_projekta.pdf](http://e-prostor.gov.si/fileadmin/projekti/DGS/2010p/Zbornik_projekta.pdf), <http://www.e-prostor.gov.si/index.php?id=871>

### **Višinska transformacija**

Višinska transformacija izvedena v programu **gLidar – pretvorba Višin E2N** uporablja za transformacijo višin ploskev geoida AMG2000GI.grd (Kuhar in sod., 2011), ki vključuje tudi točke izven meje Slovenije. Vhodni grid geoida smo interpolirali z metodo bikubične interpolacije tako, da lahko za vsako točko izračunamo interpolirano geoidno ondulacijo.

Kuhar, M., Berk, S., Koler, B., Medved, K., Omang, O. C. D., in Solheim, D. (2011). Vloga kakovostnega višinskega sistema in geoida za izvedbo GNSS-višinomerstva. *Geodetski vestnik*, 55:2, str. 226–234, [http://www.geodetski-vestnik.com/55/2/gv55-2\\_226-234.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/55/2/gv55-2_226-234.pdf)

## 2.5 Specifikacije izdelkov

V bloku B14 so izdelki DMR1, OTR, GKOT razdeljeni na:

- 2072 datotek v koordinatnem sistemu D96/TM datotek oz. listov velikosti 1 km<sup>2</sup>. Nekateri listi na mejah bloka niso polni
- 2170 datotek v koordinatnem sistemu D48/GK datotek oz. listov velikosti 1 km<sup>2</sup>

V bloku B14 je izdelek PAS razdeljen na:

- 104 datotek v koordinatnem sistemu D96/TM datotek oz. listov velikosti 5 km<sup>2</sup>
- 105 datotek v koordinatnem sistemu D48/GK datotek oz. listov velikosti 5 km<sup>2</sup>

Območje pokriva območje znotraj slovenske meje plus 250 m čez mejo.

### 2.5.1 DMR

DMR prikazuje teren brez grajenih objektov. Iz njega so izločeni vsi mostovi in prehodni na avtocestah daljši od 20 metrov.

Na območju naselij, se DMR interpolira pod zgradbami. Ploskev se interpolira med zadnjimi obstoječimi točkami terena pred začetkom zidov. V gosto poseljenih območjih lahko ponekod vidimo rahle nezveznosti v DMR na območjih, kjer se je DMR interpoliral pod zgradbami (slika 5). Ta pojav nastane zaradi zmanjšane števila točk, ki se na tem območju uporabi za izgradnjo DMR.

Enak pojav nezveznosti v DMR opazimo tudi na širših vodotokih, ki nastane zaradi premajhnega števila točk, ki se na območju vode odbijejo nazaj do laserskega senzorja (slika 6). DMR-ja na vodnih ploskvah vodotokov večinoma nismo popravljali ročno, saj bi s tem lahko zabrisali pomembne detajle na robovih strug in v vodni strugi.

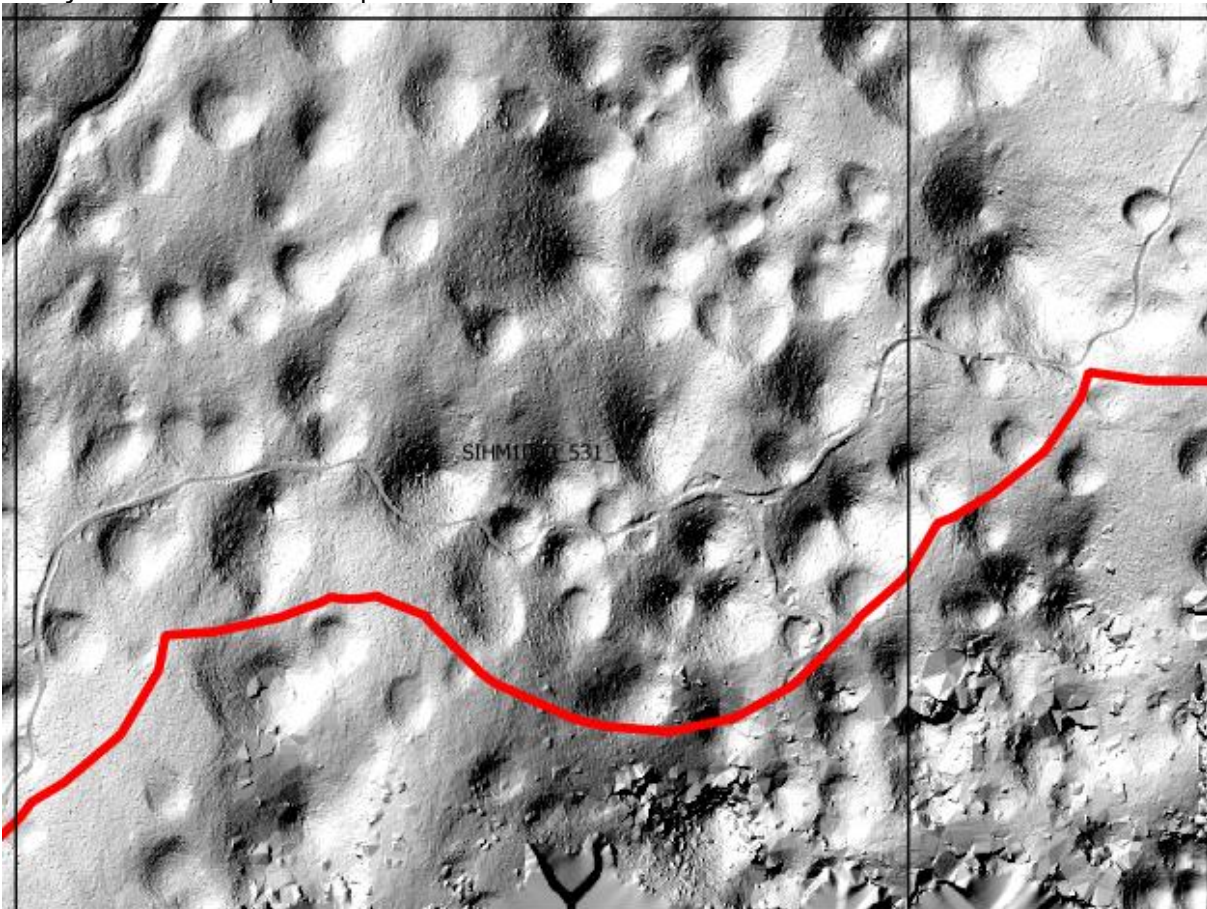


Slika 4: Primeri nezveznost DMR v naselju (prikazano na PAS).



*Slika 5: Primeri nezveznosti DMR na širšem vodotoku (prikazano na PAS).*

Na robovih bloka se v DMR ponekod pojavijo skoki v DMR, ki se na PAS kažejo v obliki trikotnikov (slika 6). Ti nastanejo zaradi redkejšje gostote točk izven Slovenske meje+200 m, ker v primeru redkejših točk niso vsepovsod prišle točke do tal.



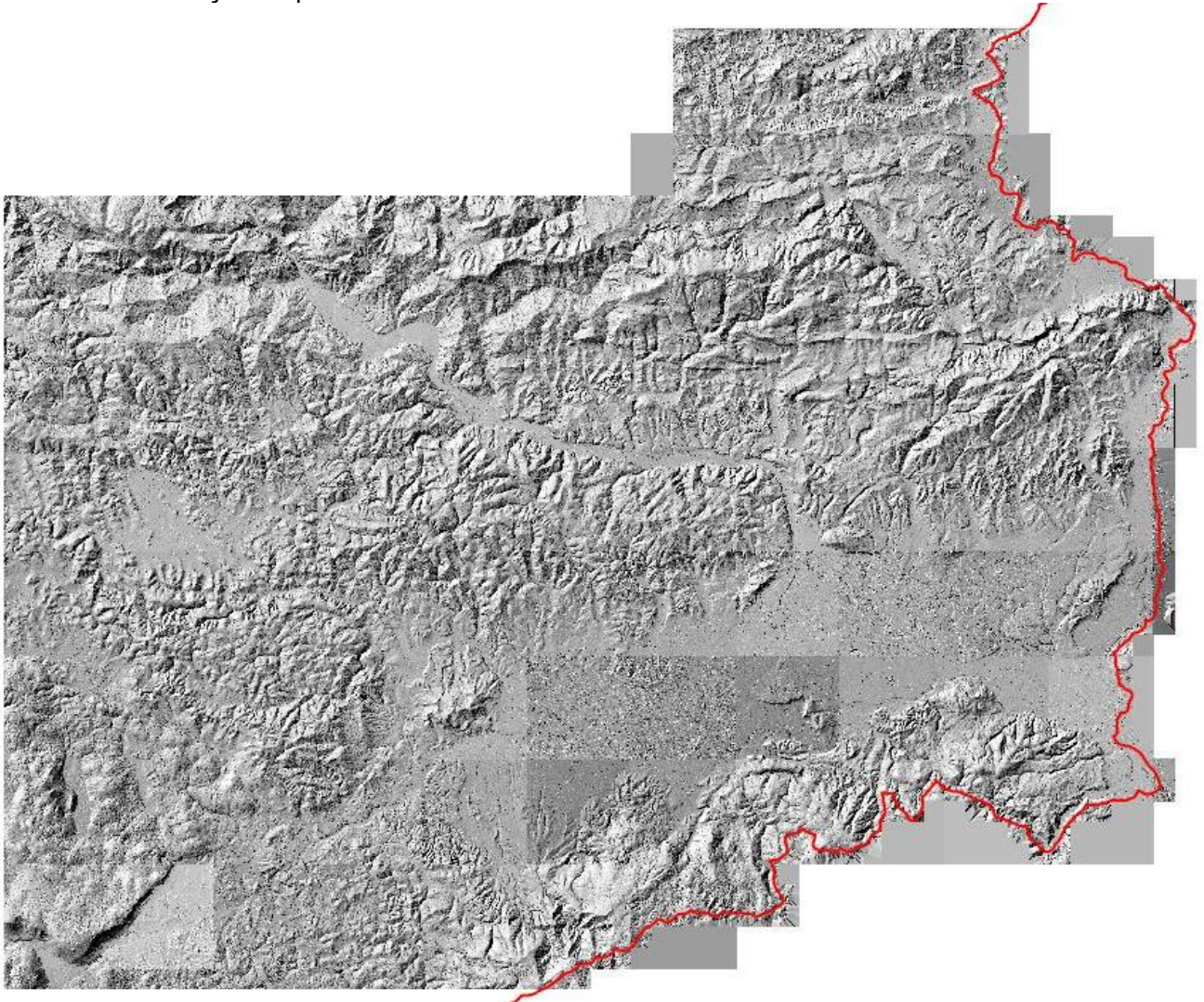
*Slika 6: Napake na DMR izven meje+250 m zaradi redkejšje gostote točk.*

### 2.5.2 PAS

Podoba analitičnega senčenja PAS je izdelana iz DMR. Je 8 bitna sivinska slika v TIF+TFW obliki. Analitično senčenje je izdelano z osvetlitvijo, ki ima azimut  $315^\circ$  in vertikalni kot  $45^\circ$ .

Med dvema sosednjima listoma PAS lahko pride do rahlih odstopanj v sivinskem prikazu, predvsem če prikazujeta območja s povsem različnim razponom višinskih vrednosti.

Na območjih, ki padejo izven slovenske meje oz. bloka in za katera v obdelavi nismo imeli podatkov, lahko opazimo črte in prelivanja med različnimi sivinami, kot posledico avtomatske interpolacije sivih vrednosti na območja brez podatkov.



*Slika 6: Podoba analitičnega senčenja za blok B14.*

### 2.5.3 GKOT

Georeferenciran in klasificiran oblak točk je shranjen v LAS obliki.

Klasifikacija je bila izvedena avtomatsko s programom gLidar.

Glede na notranjo kontrolo (poglavje 2.6), ki smo jo izvedli na vzorcu 5 % datotek (14507 zgradb), ki so izpolnjevale pogoj, da so na njih v enakih deležih vidni zgradbe, vegetacija in odprt teren, smo za klasifikacijski razred zgradbe ugotovili:

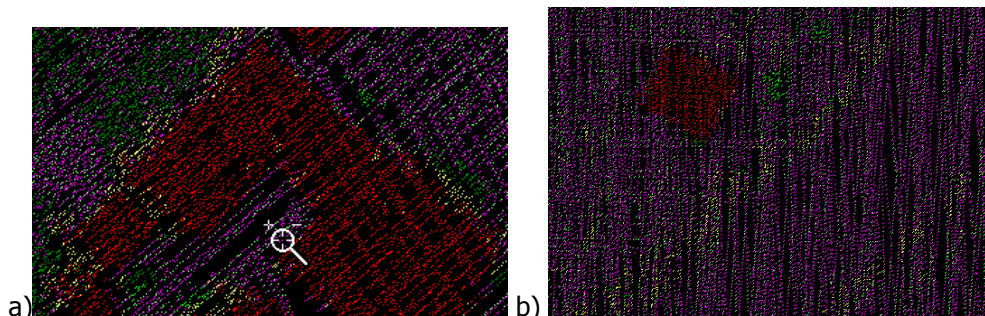
- 2,3 % zgradb je izpuščeno iz klasifikacijskega razreda zgradbe (predvsem zgradbe z manjšo višino)
- 5,0 % zgradb predstavlja vegetacijo oz. druge grajene objekte (npr. žive meje, deli nasipov, mostov, strmih cestišč, tovornjaki)

Torej je **popolnost klasifikacije zgradb** na bloku B14 **97,7 %** (delež najdenih zgradb od dejanskega deleža vseh zgradb) in **pravilnost 95,0 %** (delež pravih od najdenih). Te vrednosti so boljše od osnovne zahteve o 70 % popolnosti in 85 % pravilnosti rezultatov katerekoli avtomatske klasifikacije zgradb na osnovi laserskih ali kombiniranih laserskih in optičnih podatkov ([Mayer et al., 2006](#); [Rottensteiner et al., 2014](#)).

Delež napačno klasificirane nizke, srednje in visoke vegetacije, ki so bile nepravilno klasificirane v razred neklasificirano, je majhen. Posamezni primeri nepravilno oz. neklasificiranih točk se pojavljajo ob stikih vegetacije s stavbami in strmih pobočjih terena med terasami (slika 7).

Elektrovodi so vključeni med visoko vegetacijo, saj v razpisni dokumentaciji za elektrovođe ni predviden poseben razred.

Avtomobile najdemo ponekod v razredih neklasificirane točke ali srednja vegetacija.



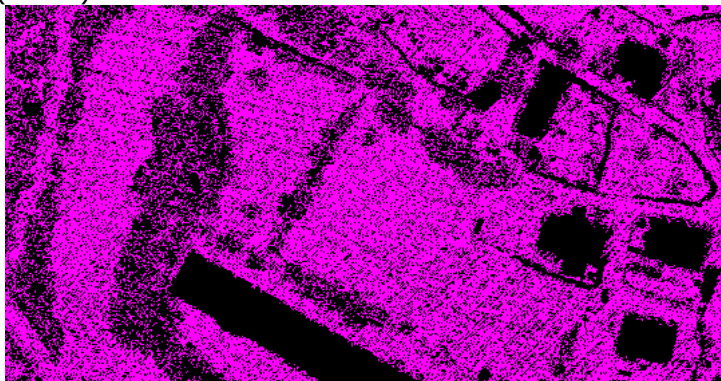
Slika 7: Rdeče točke klasifikacija zgradba, vijoličaste trla, rumene točke neklasificirano in zelene vegetacija: a) nepopolno klasificiran del zgradbe b) strmi preskok terena.

Mayer, H., Hinz, S., Bacher, U., Baltasivias, E., (2006). A test of automatic road extraction approaches. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36 (Part 3), 209-214.

Rottensteiner, F., Sohn, G., Gerke, M., Wegner, J.D., Breitkopf, U., Jung, J. (2014). Results of the ISPRS benchmark on urban object detection and 3D building reconstruction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93, 256-271.

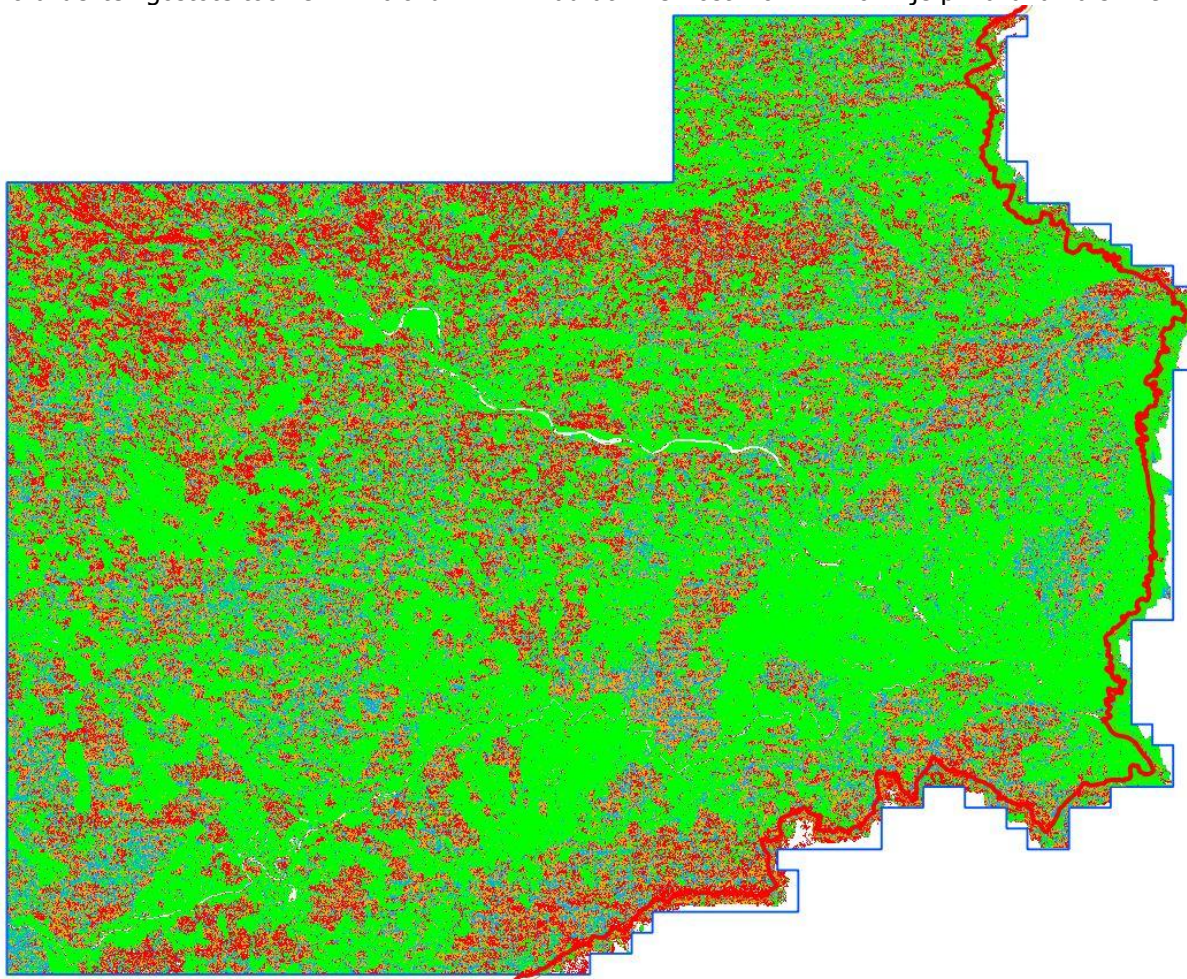
#### 2.5.4 OTR

Oblak točk reliefa je shranjen v LAS obliki. V njem je shranjen samo klasifikacijski razred tla. Območja zgradb nimajo točk (slika 8).



Slika 8: Izsek iz oblak točk reliefa.

Porazdelitev gostote točk OTR v bloku B14 v kvadratih velikosti 10 m × 10 m je prikazana na sliki 9.



Slika 9: Porazdelitev gostote točk OTR v bloku B14. Kvadrati v velikosti 10 x 10 m so obarvani glede na gostoto: 0–0,5 točk/m<sup>2</sup> rdeča, 0,5–1,0 točk/m<sup>2</sup> oranžna, 1–2 točk/m<sup>2</sup> modra, več kot 2 točk/m<sup>2</sup> zelena. Z belo barvo so obarvani kvadrati brez podatkov (npr. voda, zgradbe).

## 2.6 Kontrola kakovosti izdelkov

Po izdelavi izdelkov smo izvedli še naslednje notranje kontrole kakovosti izdelkov. Preverili smo vse datoteke bloka B14 in naslednje izdelke ASCI DMR, PAS DMR, GKOT, OTR v koordinatnih sistemih D96/TM in D48/GK. Na tem mestu podajamo rezultate najbolj bistvenih kontrol izdelkov za uporabnike laserskih podatkov:

1. Kontrola popolnosti in pravilnosti poimenovanja izdelkov.
2. Kontrola pravilnosti in popolnosti DMR z vizualnim pregledom PAS.
3. Vizualna kontrola pravilnosti in popolnosti OTR.
4. Vizualna kontrola popolnosti GKOT.

### Pri izvedenih kontrolah izdelkov 1.-4. nismo našli odstopanj.

5. Kontrola pravilnosti klasifikacije GKOT na 5 % vzorcu datotek:

**Opis kontrole:** Vizualni pregled klasifikacije na vzorcu 5 % datotek bloka. Datoteke (km<sup>2</sup>) za kontrolo izbiramo glede na razgibanost terena: vsaj 30 % enega km<sup>2</sup> je pokritega s zgradbami, vsaj 30 % z visoko vegetacijo in/ali srednjo vegetacijo, v km<sup>2</sup> je tudi nekaj mostov. Na območjih kjer je veliko strmih hribov ali gora, izbiramo za kontrolo večinoma take km<sup>2</sup>, ki poleg zgradb vsebujejo še strmine. Preštejemo število zgradb, ki jih na območju izbrane datoteke (km<sup>2</sup>) vidimo na podloženem ortofotu. Preštejemo število zgradb v datoteki GKOT, ki so klasificirane kot zgradbe. Na enak način preverimo tudi pravilnost drugih klasifikacij.

Preverimo tudi pravilnost klasifikacije vegetacije in delež vegetacije, ki je ostala v razredu neklasificirano.

**Rezultati na B14:** Od skupno 2071 datotek v bloku smo pregledali vzorec 108 datotek, torej 5,2 % datotek. Izbrane kontrolne datoteke so enakomerno razporejene po celotnem bloku. (na njih se nahaja 14507 zgradb) bloka B14 smo ugotovili:

- da je izpuščenih 2,3 % (327 zgradb) iz klasifikacijskega razreda zgradbe (predvsem zgradbe z manjšo višino)
- 5,0 % zgradb (327 drugih objektov) predstavlja vegetacijo oz. druge grajene objekte. Od tega je med zgradbe klasificirano: vegetacija 220; kupi materiala, skladovnice 291; mostovi 51; brežine, kamioni 171.

**Popolnost klasifikacije zgradb 97,7 % in pravilnost 95,0 %.**

Delež neklasificirane vegetacije je na vzorcu zelo majhen.

6. Kontrola absolutne višinske točnosti DMR1 v koordinatnem sistemu D96/TM in nadmorskih višinah

**Opis kontrole:** Primerjava med terenskimi kontrolnimi točkami in modelom terena izračunanim iz točk digitalnega modela reliefa (DMR). Terenske kontrolne točke so bile izmerjene z GNSS RTK-metodo izmere (druge točke kot za kontrolo GOT).

**Rezultati na B14:** uporabili smo 76 kontrolnih točk na 14 km<sup>2</sup>, dobljeni RMS nadmorskih višin je RMS 0,06 m.

7. Kontrola absolutne ravninske točnosti GKOT v koordinatnem sistemu D96/TM in nadmorskih višinah

**Opis kontrole:** Primerjava med terenskimi kontrolnimi točkami in zajemom iz georeferenciranega klasificiranega oblaka točk (GKOT).

**Rezultati na B14:** za kontrolo smo uporabili 42 kontrolnih točk v 12 km<sup>2</sup> RMS je 0,10 m.