

Izvedba laserskega skeniranja Slovenije

Blok 35 – 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:

dr. Mihaela Triglav Čekada

mag. Vasja Bric

Alenka Obreza

Stanislav Tršan

Bojan Dejak

Maja Kogoj

Jani Demšar

Mag. Igor Karničnik

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 3)

Naročnik: Številka pogodbe: K062051/P-4

Datum: 13. 5. 2014

Izvajalec: Številka pogodbe: FLP07-036-14

Datum: 14. 5. 2014

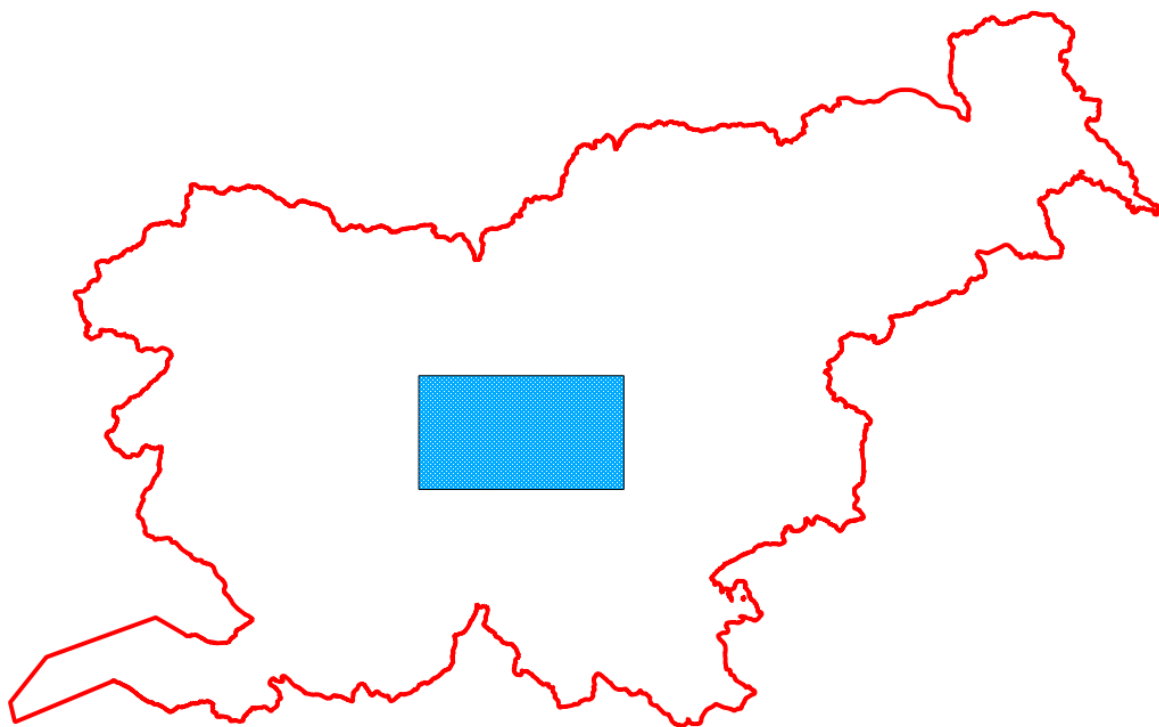
Zastopnik

Izvajalec: mag. Borut Pegan Žvokelj

Podizvajalec: Luka Šolar

	ŠT.	IME
Blok:	B35	Ljubljana

Datum oddaje izdelkov v notranjo kontrolo: 17. 8. 2015
Datum oddaje: 21. 8. 2015



KAZALO

1 VHODNI LASERSKI PODATKI	7
1.1 OSNOVNI PODATKI O SNEMANJU	7
1.2 KONTROLA KAKOVOSTI VHODNIH PODATKOV	9
2 IZDELAVA IZDELKOV.....	10
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.

Datumi snemanja: od 14. 3. 2014 do 2. 4. 2015 (glej Tabela 1)

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/Naj večja vrednost PDOP	Ocenjena natančnost N/E/H [m]
14.3.2014	BREZ, VIRT	2/ < 3	$\pm 0,02/0,02/0,025$
30.03.2014	BREZ, TREB	2/ < 3	$\pm 0,03/0,03/0,025$
29.9.2014	VIRT	2/ < 3	$\pm 0,02/0,02/0,025$
30.09.2014	SLOG, VIRT, DLBG	2/ < 3	$\pm 0,02/0,02/0,02$
29.10.2014	VIRT	2/ < 3	$\pm 0,03/0,03/0,025$
03.03.2015	GSR, TREB, RADO	2/ < 3	$\pm 0,02/0,02/0,02$
04.03.2015	GSR, RADO	2/ < 3	$\pm 0,02/0,02/0,025$
07.03.2015	GSR	2/ < 3	$\pm 0,02/0,02/0,02$
08.03.2015	GSR, TREB	2/ < 3	$\pm 0,03/0,03/0,025$
09.03.2015	GSR	2/ < 3	$\pm 0,03/0,03/0,025$
02.04.2015	GSR, IDRI, RADO	2/ < 3	$\pm 0,03/0,03/0,03$

Obdelava podatkov:

1. Trajektorija leta plovila se je izračunala s programom GrafNav (v8.50) (proizvajalec Waypoint-Novatel) iz zajetih GNSS-podatkov po metodi diferenciralnega 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.

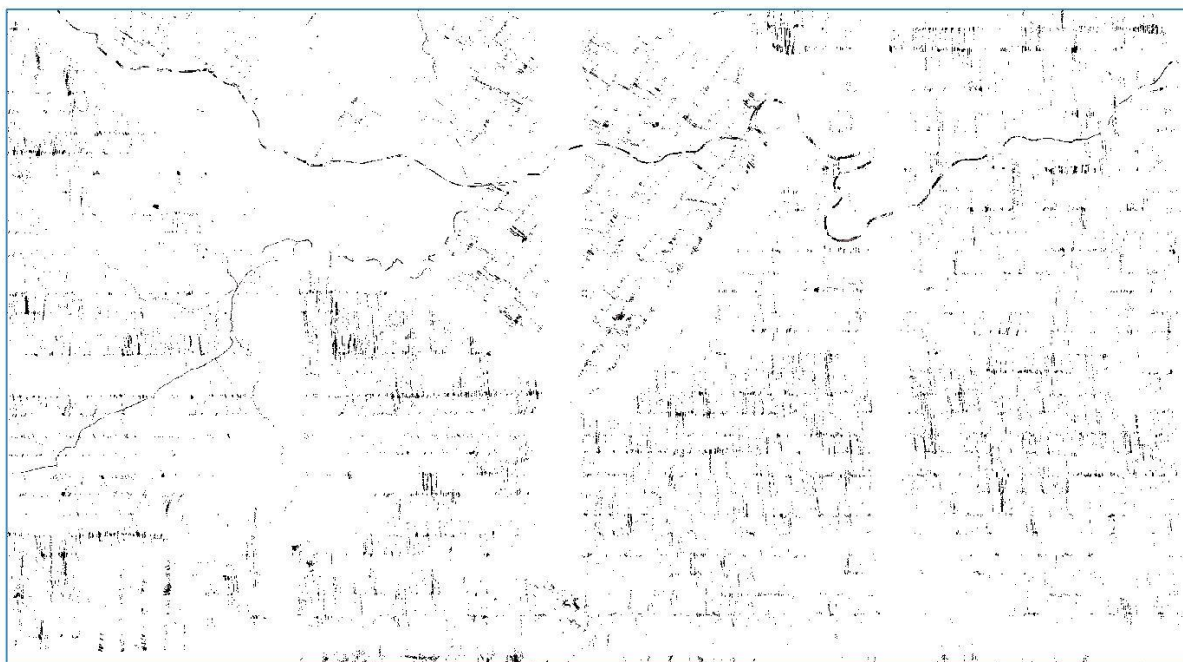
Podrobnosti so v TP_obmocje_35.doc.

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 B35:* uporabili smo 89 kontrolnih točk izmerjenih z GNSS RTK-metodo izmere, dobljeni RMS elipsoidnih višin je 0,06 m.
2. *Povprečna gostota prvih odbojev na kvadratih velikosti 10 m² združenih datotek GOT za blok B35 (zahtevano vsaj 90 %):* 97,6 % kvadratov ustreza gostoti 5 točk/m².



Slika 1: Povprečna gostota prvih odbojev na kvadratih velikosti 10 x 10 m, črna polja prikazujejo območja kjer gostota ni zadovoljiva (ni 5 točk/m²).

2 Izdelava izdelkov

2.1 Uporabljena programska oprema

Programi za obdelavo podatkov (proizvajalec GeMMA Lab):

- gLidar verzija 1.0 – za izdelavo ASCII DMR, ASCII PAS in LAS georeferenciranega in klasificiranega oblaka točk
- gTile – za združevanje in razrez na dimenzije 1 km² (oz. 1 + preklap) v različnih koordinatnih sistemih in za različne formate (ASCII, LAS, TIF+TFW)
- gLidar – Pretvorba višin E2N in
- gLidar – Pretvorba horizontalnih koordinat TM_GK

Programi za kontrolo podatkov:

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

2.2 Postopek obdelave

Podatke GOT smo najprej združili in razrezali na datoteke velikost 1 km², ki smo jih uporabili v obdelavi. Združevanje in razrez smo izvedli s programom **gTile**.

Izdelki, kjer datoteke pokrivajo območje 1 km²:

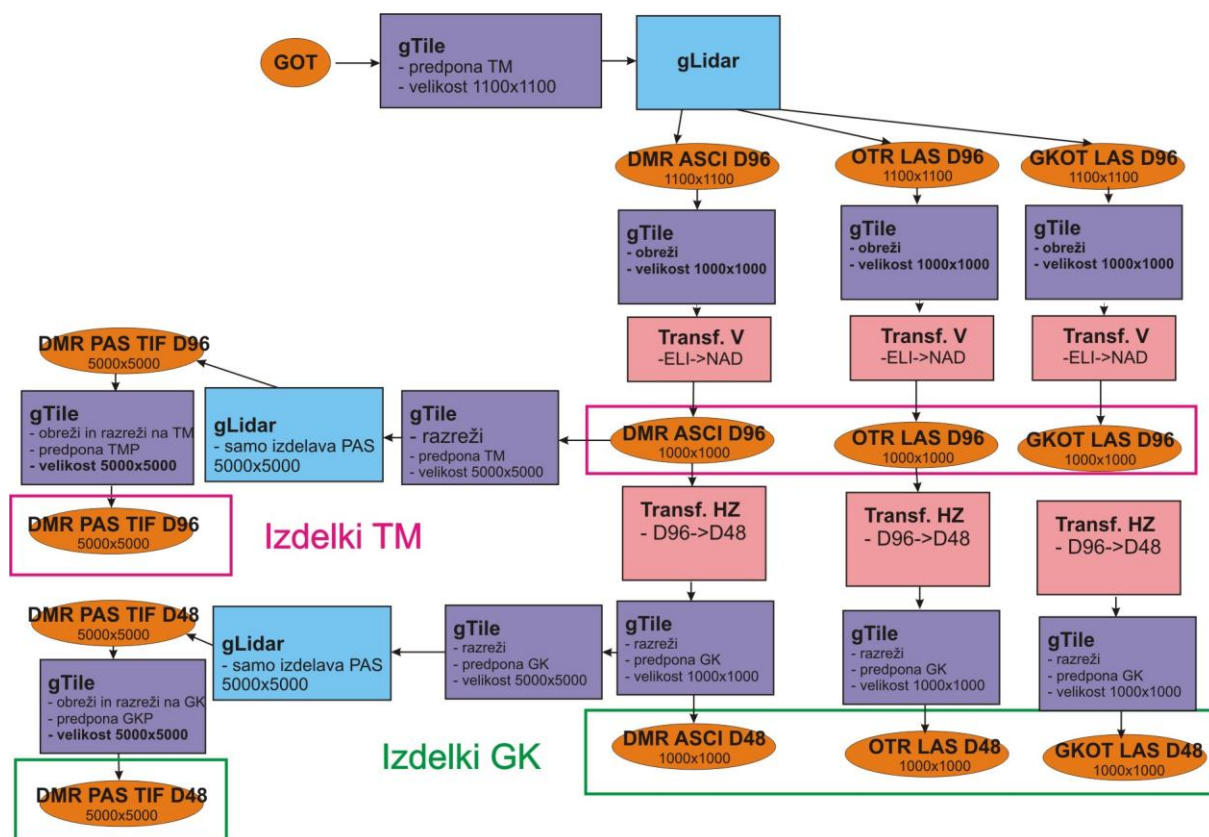
- **DMR** - digitalni model reliefa je interpolacija reliefa na osnovi točk OTR, ki je zapisana v pravilno mrežo 1 m × 1 m. Shranjen je v ASCII datoteki.
- **OTR** - oblak točk reliefa je izdelek, kjer so shranjene samo točke, ki so bile klasificirane kot tla, vse ostale točke so pobrisane. Shranjen 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 km²:

- **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 s 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 km²** (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. km²
- 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. km²

Poimenovanja **OTR datotek** velikosti **1 km²** (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. km²
- 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. km²

Poimenovanja **DMR datotek** velikosti **1 km²** (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. km²
- 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. km²

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 km²**, 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. km².
- 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. km².

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

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:

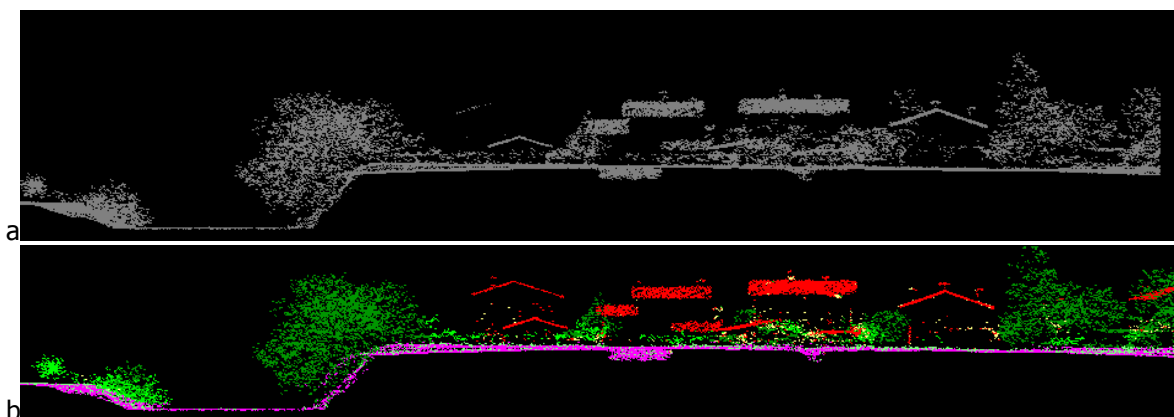
1. najprej smo s pomočjo DMR klasificirali razred tal (klasificirana vrednost 2), izločili smo tudi nizke točke (k.v. 7)
2. potem smo klasificirali zgradbe (k.v. 6)
3. na koncu še tri vrste vegetacije na enkrat (k.v. 3, 4, 5)
4. nazadnje še izvozimo OTR kot samostojno datoteko

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 20km². 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://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 (Pribičević, 2000; 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.

Pribičević, B. (2000). Uporaba geološko-geofizičnih in geodetskih baz podatkov za računanje ploskve geoida Republike Slovenije. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.

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

2.5 Specifikacije izdelkov

V bloku B35 so izdelki DMR1, OTR, GKOT razdeljeni na:

- 1222 datotek v koordinatnem sistemu D96/TM datotek oz. listov velikosti 1 km². Nekateri listi na mejah bloka niso polni
- 1296 datotek v koordinatnem sistemu D48/GK datotek oz. listov velikosti 1 km²

V bloku B35 je izdelek PAS razdeljen na:

- 60 datotek v koordinatnem sistemu D96/TM datotek oz. listov velikosti 5 km²
- 77 datotek v koordinatnem sistemu D48/GK datotek oz. listov velikosti 5 km²

Podatki pokrivajo 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. Ponekod vidimo rahle nezveznosti v DMR na območjih, kjer se je DMR interpoliral pod zgradbami (slika 4). Ta pojav nastane zaradi zmanjšane števila točk, ki se na tem območju uporabi za izgradnjo DMR.

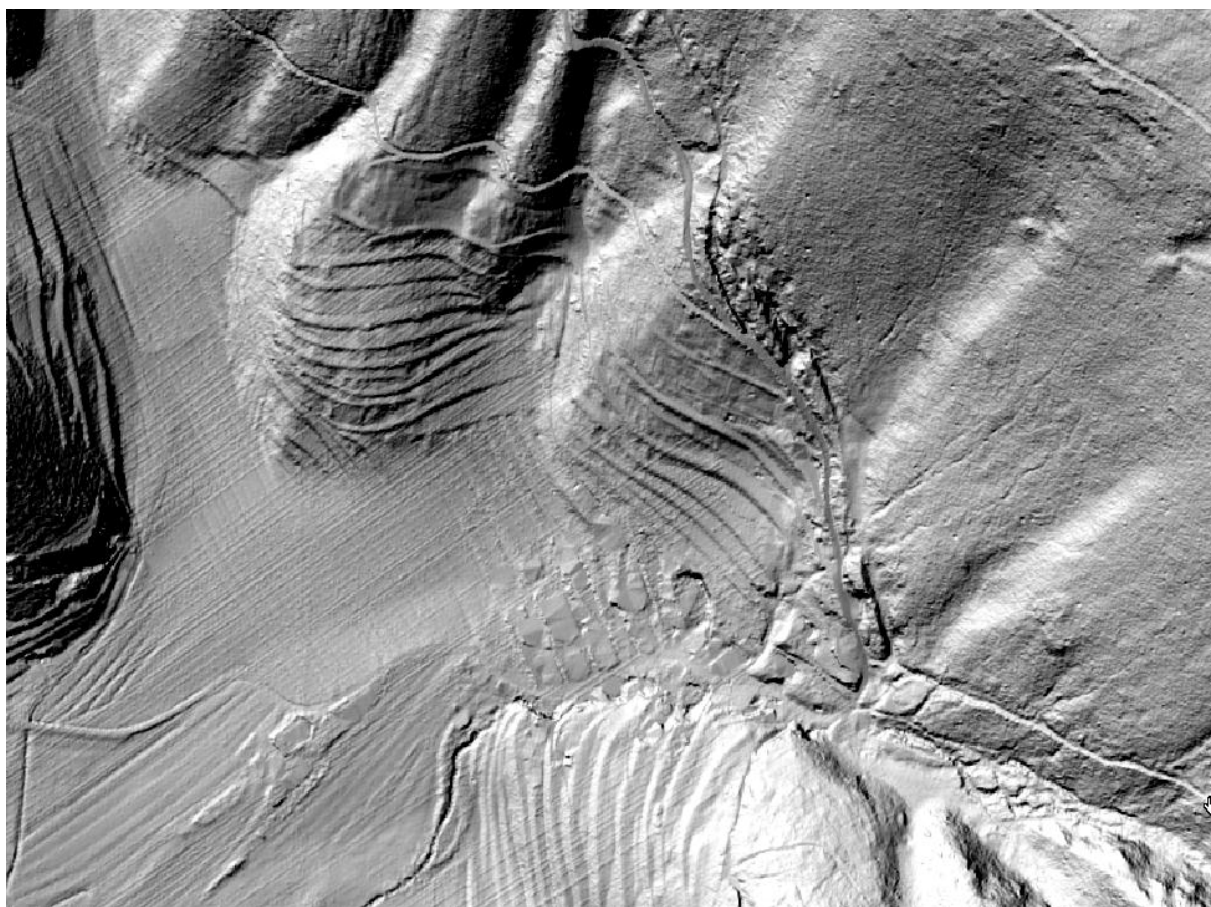
Enak pojav nezveznosti v DMR opazimo tudi na širših vodotokih, ki nastane zaradi premajhnega števila točk, ki se na območju vode odbijejo nazaj do laserskega senzorja. DMR-ja na vodnih ploskvah vodotokov večinoma nismo popravljali ročno, saj bi s tem lahko zabrisali pomembne detajle na robovih strug in v vodni strugi (slika 5). Na sliki 6 vidimo tudi vzporedne linije, ki nastanejo zaradi zgoščanja in redčenja snemalnih linij na območju kjer je sicer gostota na 10 m x 10 m zadovoljiva.



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



Slika 5: Nezveznosti DMR na površju večjih vod zaradi manjšega števila točk, ki se odbije od vode.



Slika 6: Levo zgoščanje snemalnih linij.

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° in vertikalni kot 45°.

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 svinami, kot posledico avtomatske interpolacije sivih vrednosti na območja brez podatkov.



Slika 7: Podoba analitičnega senčenja za blok B35.

2.5.3 GKOT

Georeferenciran in klasificiran oblak točk je shranjen v LAS obliki.

Klasifikacija je bila izvedena avtomatsko s programom gLidar. Vendar parametri za izvedbo klasifikacije so bili enotni za cel blok.

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

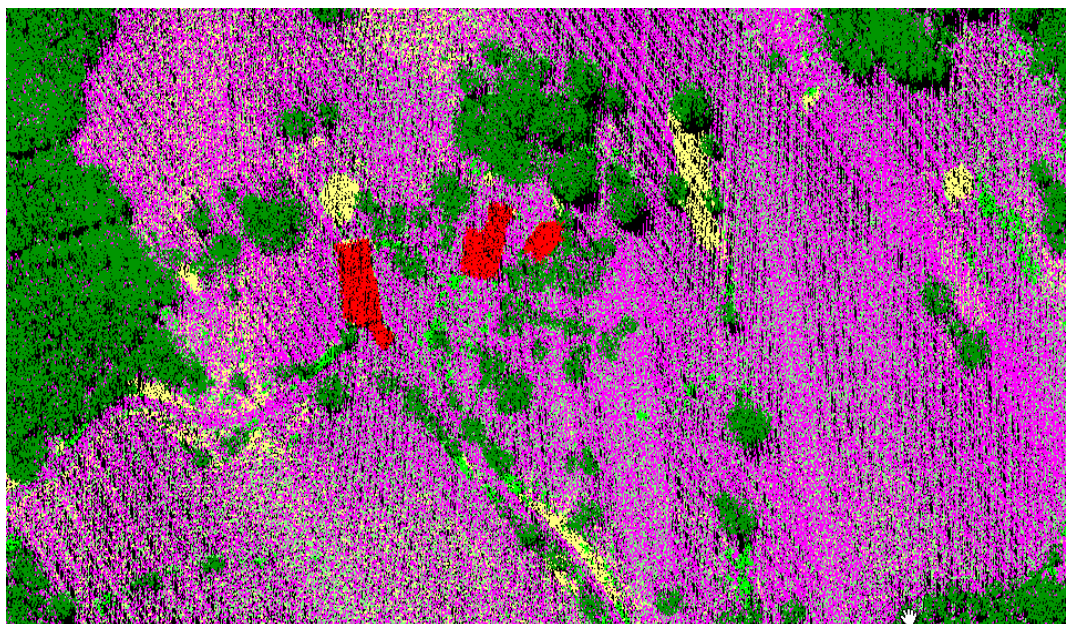
Avtomobile najdemo ponekod v razredih neklasificirane točke ali srednja vegetacija. Prikolice tovornjakov pa najdemo v razredu zgradbe.

Glede na notranjo kontrolo (poglavje 2.6), ki smo jo izvedli na vzorcu 5 % datotek (5202 zgradb), ki so izpolnjevale pogoj, da so na njih v enakih deležih vidni zgradbe, vegetacija in odprt teren, da je:

- izpuščenih 1,7 % zgradb iz klasifikacijskega razreda zgradbe
- 5,6 % zgradb predstavlja vegetacijo oz. druge grajene objekte.

Torej je **popolnost klasifikacije zgradb** na bloku B35 **98,3 %** (delež najdenih zgradb od dejanskega deleža vseh zgradb) in **pravilnost 94,4 %** (delež pravilnih 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 klasificiranih tal in nizke vegetacije v razred neklasificirano je majhen. Največ neklasificiranih točk najdemo v strmih pobočjih in ob cestnih nasipih (slika 8).



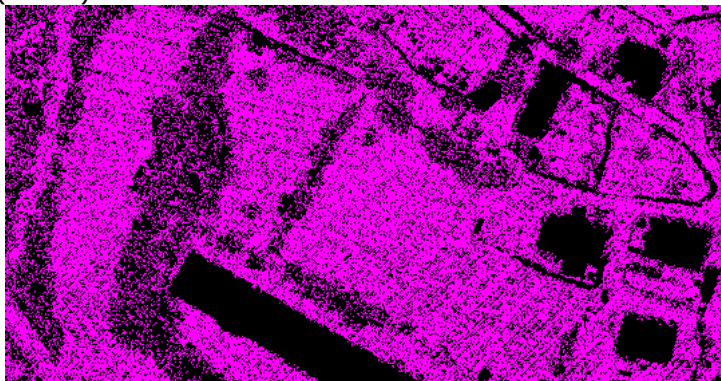
Slika 8: Rdeče točke klasifikacija zgradba, vijoličaste trla, rumene točke neklasificirano in zelene vegetacija: levo neklasificirani cestni nasipi na strmem terenu in zgoraj v sredini neklasificirane točke v strmem naklonu terena.

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.

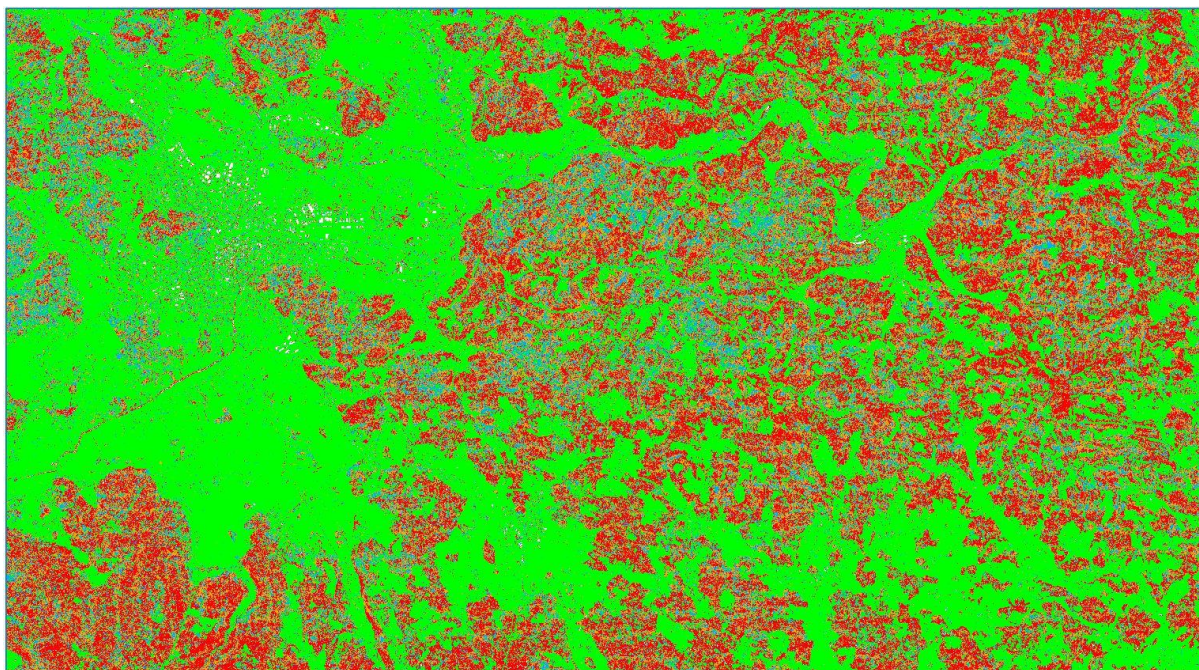
2.5.4 OTR

Oblak točk reliefa je shranjen v LAS obliki. V njem je shranjen samo klasifikacijski razred tla. Območja zgradb nimajo točk (slika 9).



Slika 9: Izsek iz oblak točk reliefa.

Porazdelitev gostote točk OTR v bloku B35 v kvadratih velikosti 10 m × 10 m je prikazana na sliki 10.



Slika 10: Porazdelitev gostote točk OTR v bloku B35. Kvadrati v velikosti 10 x 10 m so obarvani glede na gostoto: 0–0,5 točk/m² rdeča, 0,5–1,0 točk/m² oranžna, 1–2 točk/m² modra, več kot 2 točk/m² 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 B35 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 (km²) za kontrolo izbiramo glede na razgibanost terena: vsaj 30 % enega km² je pokritega s zgradbami, vsaj 30 % z visoko vegetacijo in/ali srednjo vegetacijo, v km² je tudi nekaj mostov. Na območjih kjer je veliko strmih hribov ali gora, izbiramo za kontrolo večinoma take km², ki poleg zgradb vsebujejo še strmine. Preštejemo število zgradb, ki jih na območju izbrane datoteke (km²) 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 B35: Od skupno 1222 datotek v bloku smo pregledali vzorec 62 datotek, torej 5,1 % datotek. Izbrane kontrolne datoteke so enakomerno razporejene po celotnem bloku. Na izbranih kontrolnih datotekah se nahaja 5202 zgradb. Ugotovitve:

- da je izpuščenih 1,7 % (90 zgradb) iz klasifikacijskega razreda zgradbe (predvsem manjše ali ožje zgradbe, kot so kapelice, transformatorske postaje, kozolci)
- 5,6 % zgradb (291 drugih objektov) predstavlja vegetacijo oz. druge grajene objekte. Od tega je med zgradbe klasificirano: vegetacija 21 (7 % odvečnih zgradb); kupi materiala, skladovnice, špičasti vrhovi 203; mostovi 16; brežine, strmine 22; kamioni 29.

Popolnost klasifikacije zgradb 98,3 % in pravilnost 94,4 %.

Delež neklasificirane nizke vegetacije in tal 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 B35: uporabili smo 96 kontrolnih točk na 10 km², dobljeni RMS nadmorskih višin je 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 B35: za kontrolo smo uporabili 93 kontrolnih točk na 10 km² RMS je 0,13 m.

8. Kontrola absolutne višinske točnosti GKOT v koordinatnem sistemu D96/TM in nadmorskih višinah

Opis kontrole: Primerjava med terenskimi kontrolnimi točkami in zajemom iz klasifikacijskega razreda talne točke (ground) GKOT.

Rezultat na B35: za kontrolo smo uporabili 96 kontrolnih točk na 10 km² RMS je 0,09 m.