

# KONČAN JE PROJEKT LASERSKEGA SKENIRANJA SLOVENIJE

## THE PROJECT OF LASER SCANNING OF SLOVENIA IS COMPLETED

*Mihaela Triglav Čekada, Vasja Bric*

### 1 UVOD

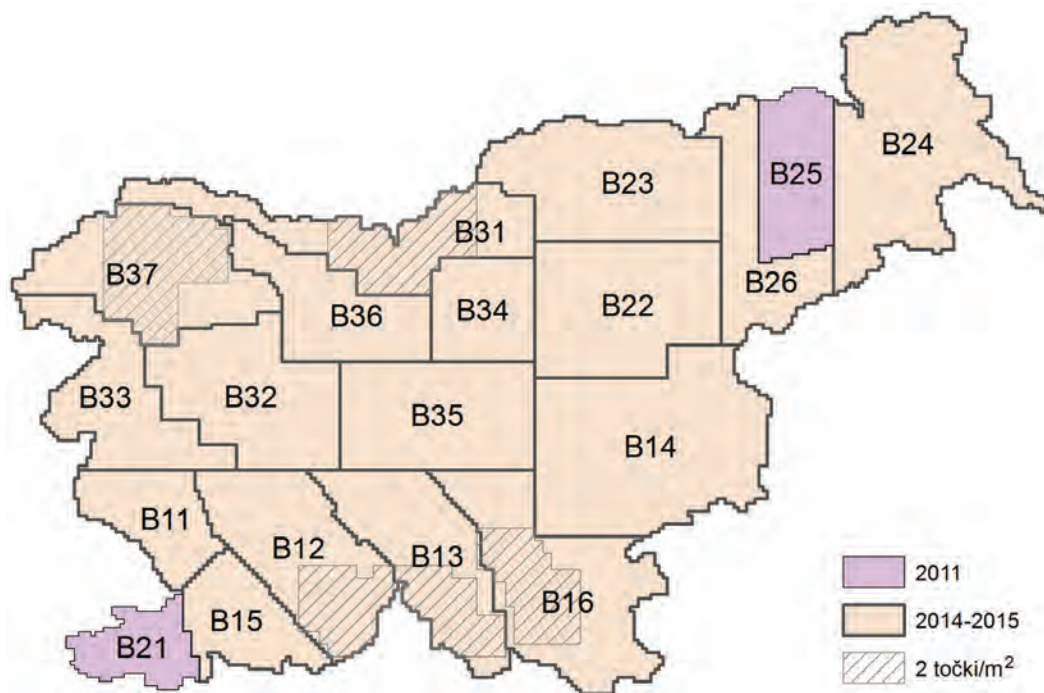
Projekt Lasersko skeniranje Slovenije (LSS), ki je bil deloma izveden v letu 2011, večinoma pa v letih 2014 in 2015, je končan. Osnovni namen je bil zagotoviti ustrezne podlage za zajem podatkov o hidrografiji in dejanski rabi (vodnih) zemljišč, ki omogočajo vzpostavitev informacijske infrastrukture za upravljanje voda. Vsebina projekta je že bila podrobno predstavljena (Pegan Žvokelj in sod., 2014), prav tako so bili predstavljeni prvi rezultati kontrol in nekatere možnosti uporabe, ki nam jih ponuja LSS (Triglav Čekada in sod., 2015). Seveda so podatki LSS uporabni še na mnogih drugih področjih, ne nazadnje bo izdelek DMR1 (1 m × 1 m) zamenjal dosedanj najpodrobnejši DMR5 (5 m × 5 m) za celotno območje države in bo uporabljen tudi pri izdelavi ortofotov v okviru projekta cikličnega aerofotografiranja Slovenije že za izdelke iz leta 2015.

V sestavku smo opisali značilnosti izdelkov in predstavili rezultate kontrol, ki so na voljo za posamezen blok v tehničnih poročilih projekta. Z oddajo zadnjih blokov v avgustu 2015 je bil projekt končan. Njegovi rezultati so brezplačno dostopni na spletnem naslovu:

[http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas\\_voda\\_Lidar@Arso](http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso).

### 2 OPIS IZDELKOV

Slovenija je bila razdeljena na 19 blokov (slika 1). Od teh sta bila B21 in B25 skenirana in obdelana že v letu 2011. Preostalih 17 blokov je bilo skeniranih med 14. 2. 2014 in 2. 4. 2015, hkrati se je izvajala obdelava podatkov in priprava končnih izdelkov (slika 2). Posamezen blok je skeniran v razponu od nekaj do največ enajstih mesecev. Za tako dolga obdobja je več razlogov: zaradi neugodnega vremena se je skeniranje izvajalo s časovnimi zamiki, ponekod je bilo treba odstraniti grobe napake in skeniranje ponoviti, meje nekaterih blokov smo spreminjali zaradi dinamike oddajanj (na primer del bloka je bil že skeniran, drug del še ne in je bil priključen drugemu bloku, ki se je oddajal kasneje) ali bolj zaokrožene oblike (na primer B37: visokogorje se je skeniralo poleti, ker smo v gorah želeli čim manj snežišč; bovško in bohinjsko dolino so zaradi olistanosti skenirali pozneje). Sam datum skeniranja je zapisan v posamezni skenirani liniji ter zabeležen med splošnimi informacijami posamezne LAS-datoteke, in sicer kot letnica skeniranja in julijanski dan skeniranja – zaporedni dan v letu (npr. datoteka TM\_488\_159.las iz bloka B23 je bila skenirana na 315. dan v letu 2014, torej 2. 12. 2014).



Slika 1: Razdelitev Slovenije na bloke laserskega skeniranja.

Izvajalec skeniranja, Flycom, d. o. o., je izvedel zajem podatkov in oddal georeferenciran oblak točk (GOT) po razrezanih skeniranih pasovih v ravninskem koordinatnem sistemu D96/TM in z elipsoidnimi višinami. Na Geodetskem inštitutu Slovenije smo pasove GOT združili in jih razrezali v datoteke za območja velikosti 1 km<sup>2</sup>, transformirali elipsoidne višine v nadmorske in ustvarili standardne izdelke (slika 2):

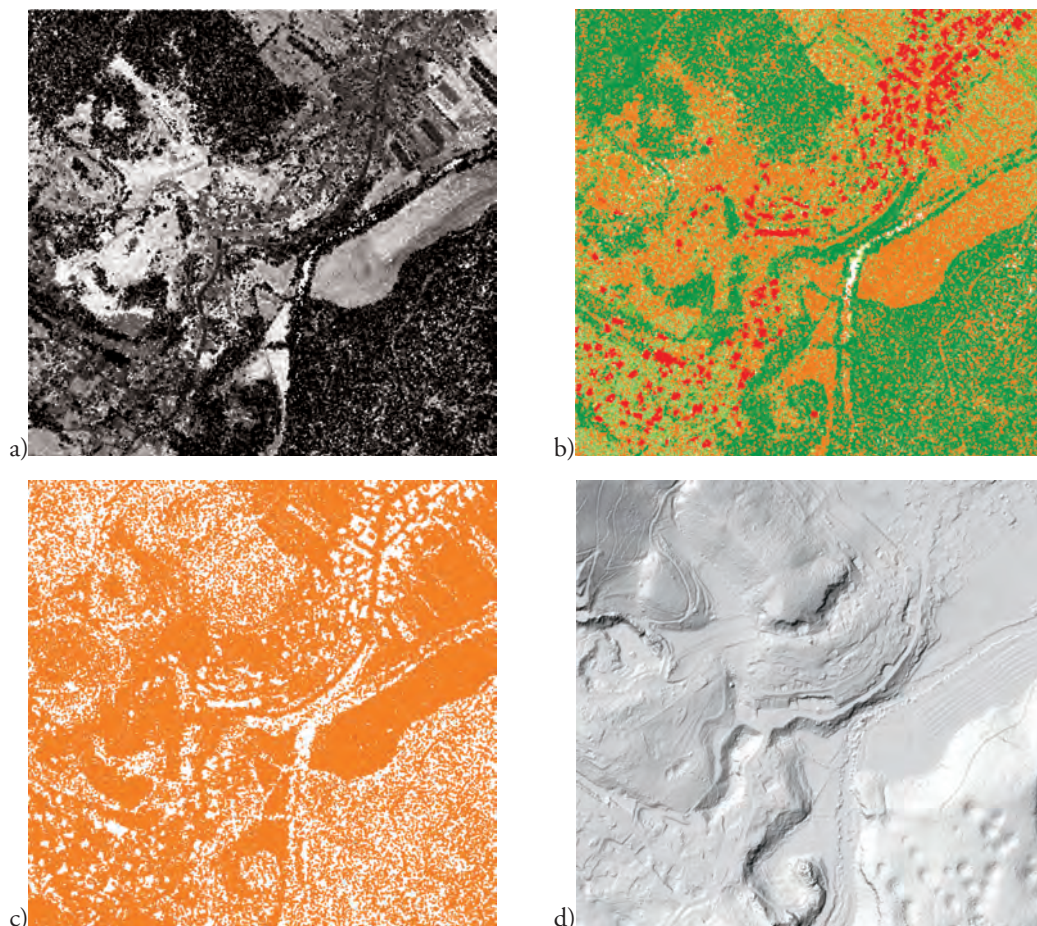
- georeferenciran in klasificiran oblak točk (GKOT), v katerem so točke klasificirane v šest razredov – tla, nizka (do 1 metra višine), srednja (med 1 in 3 metri) in visoka vegetacija (nad 3 metri višine), stavbe ter neklasificirane točke – in je shranjen v formatu LAS;
- digitalni model reliefa 1 m × 1 m (DMR1), zapisan v formatu ASCII;
- oblak točk reliefa (OTR) – samo točke tal, zapisan v formatu LAS;
- podoba analitičnega senčenja DMR1 (PAS) za območja velikosti 5 km × 5 km, zapisana v rastrskem geolociranem formatu TIF.

Izdelki so večinoma nastali v programu gLidar, ki je bil tudi že podrobneje predstavljen (Mongus in Horvat, 2015).

Vsi izdelki so zapisani v državnih ravninskih koordinatnih referenčnih sistemih D96/TM in D48/GK ter z nadmorskimi višinami. V sodelovanju s Fakulteto za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru (FERI) smo razvili program za transformacijo med starim in novim koordinatnim referenčnim sistemom ter program za transformacijo med elipsoidnimi in nadmorskimi višinami. Oba lahko kot vhodni format datotek uporabljata LAS in ASCII ter delujeta na množici datotek. Ravninska transformacija je izvedena z modelom trikotniške transformacije, različica 3.0, ki zagotavlja zveznost in povratnost transformacij na celotnem območju Slovenije (Berk in Komadina, 2010 in 2013). V višinski

transformaciji se uporablja ploskev absolutnega modela geoida Slovenije iz leta 2000 (Pribičević, 2000; Kuhar in sod., 2011), ki je bil nekoliko prirejen; vključuje tudi točke zunaj Slovenije, ki so bile določene z ekstrapolacijo. Vhodni geoid smo interpolirali z metodo bikubične interpolacije in za vsako točko izračunali geoidno ondulacijo. Razviti program za transformacijo višin nam omogoča, da bomo lahko po tvorbi novejšega, izboljšanege modela geoida spet transformirali in izboljšali višine vseh izdelkov LSS.

Pri omembi transformacij je za uporabnike pomembno poudariti, da so bili izdelki iz izvornega koordinatnega sistema (D96/TM) v D48/GK samo transformirani in spet razrezani na območja velikosti 1 km<sup>2</sup>. Zato DMR1 v D48/TM ni sestavljen iz točk s koordinatami, zaokroženimi na 1 meter, ampak so zapisane na dve decimalni mesti, torej je posamezna celica lahko nekoliko večja ali manjša od 1 m<sup>2</sup>. Zaradi ponovnega razreza izdelkov v D48/GK na datoteke z velikostjo območja 1 km<sup>2</sup>, ki se poimenujejo glede na koordinate levega spodnjega vogala, dobimo na mejah blokov dve datoteki z istim imenom, vsako v svojem bloku. Ne smemo ju prepisati drugo čez drugo, saj vsaka vsebuje samo del podatkov iz njenega bloka v D48/GK. Te težave v izvornem koordinatnem sistemu D96/TM ni, saj potekajo meje blokov po črtah kilometrske mreže.



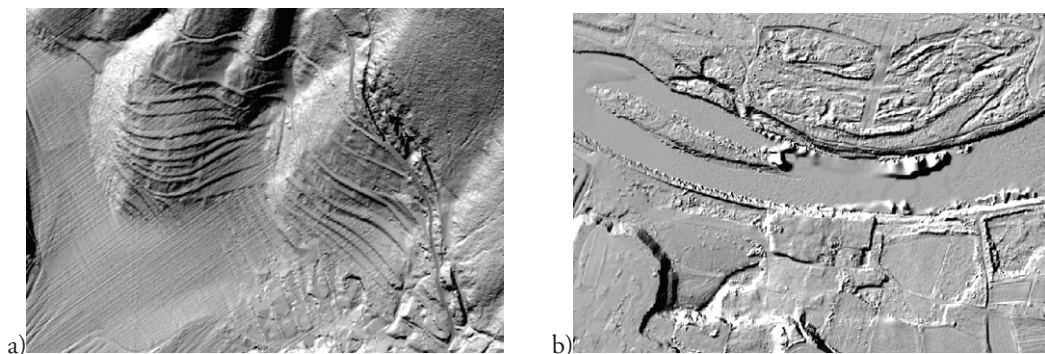
Slika 2: Izdelki za območje velikosti 1 km<sup>2</sup>: a) intenziteta laserskih odbojev GKOT, b) klasifikacija GKOT, c) OTR, d) PAS iz DMR1.



Skeniranje se je izvajalo z gostoto prvih odbojev najmanj 5 točk/m<sup>2</sup> za večino države, na območjih večjih gozdov pa z gostoto najmanj 2 točki/m<sup>2</sup> (slika 1). Načrtovana gostota 2 točki/m<sup>2</sup> je bila v visokogorju presežena in ustreza gostoti najmanj 5 točk/m<sup>2</sup>. Povprečno gostoto prvih odbojev smo preverjali po posameznih blokkih na celicah velikosti 10 m × 10 m (preglednica 1). Da smo blok sprejeli v obdelavo, je moralo 90 % celic v celotnem bloku presegati zgoraj navedeno gostoto (tj. 500 točk v celici 10 m × 10 m). Za območja, na katerih je bila predpisana gostota najmanj 5 točk/m<sup>2</sup>, je bila dosežena 94,5-odstotna povprečna pokritost s to gostoto. Ker so celice, na katerih se je izvajala kontrola gostote, velike 10 m × 10 m, je gostota še vedno ustrežna tudi tam, kjer se skenirane linije zgoščajo in redčijo, kar se v izvedenem DMR1 odraža v obliki vzporednih linij na PAS-ih, ki jih vidimo na levi strani slike 3a. Pri takem zgoščanju skeniranih linij je lahko oddaljenost med dvema zgostitvama skeniranih linij tudi en meter ali več.

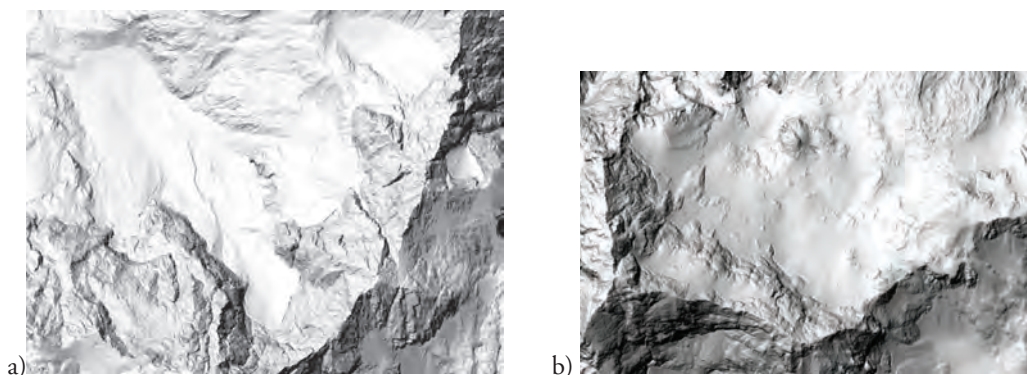
Pri sami gostoti moramo poudariti tudi pomembno značilnost laserskega skeniranja, da na vodnih površinah dobimo manj vrnjenih odbojev. Pri večjih vodnih površinah se pri interpolaciji DMR1 v tem primeru pojavijo napake, ki se odražajo v sunkovitih skokih med ploskvami vode (sliki 3b). V postopku ročnega popravljanja DMR1 jih nismo odstranjevali, saj bi pri tem lahko odstranili značilne robove in objekte (otoke, pregrade ...) v vodnih telesih.

Tukaj omenimo še, da se je skeniranje izvajalo s prej opisanimi gostotami za celotno območje Slovenije ter dodatnih 250 metrov čez državno mejo. Podatkov, ki pokrivajo območja več kot 250 metrov čez mejo, nismo brisali ali popravljali. Na njih je zato več napak, ki jih gre pripisati temu, da se pri zmanjšani gostoti odbije do tal manj točk.



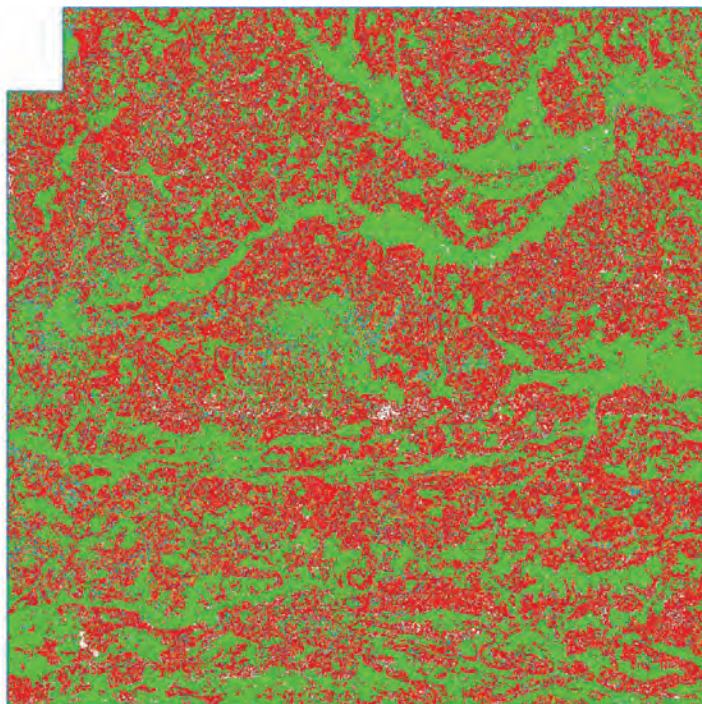
Slika 3: Primeri izsekov PAS na območju bloka B35: a) kjer se skenirane linije zgoščajo in redčijo, in b) skoki na DMR na večjih vodnih telesih.

Pri opisu glavnih značilnosti skeniranja moramo poudariti še, da so bila skeniranja večinoma izvedena, ko je bila vegetacija neolistana. Je pa žal tudi nekaj izjem, ki so bodisi posledica odpravljanja napak z vnovičnim skeniranjem delov bloka bodisi naše želje, da bi visokogorje skenirali, ko je bilo tam najmanj snega. Kljub temu je bilo zaradi deževnega in hladnega poletja v letu 2014, ko se je izvajala glavna skeniranja, v gorah še vedno veliko snega. Zato je bilo na primer veliko krnic v Kamniško-Savinjskih in Julijskih Alpah na DMR1 še vedno zasutih s snegom (slika 4).



Slika 4: a) Zasnežene krnice pod Skuto in Rinko (B31) ter b) območje Triglavskih podov (B37).

Med pomembnimi vsebinami tehničnih poročil moramo izpostaviti še skice gostot točk v OTR (glej primer B34 na sliki 5). Kot smo že omenili, so v OTR shranjene samo točke, ki so bile v postopku klasifikacije izločene kot tla, torej brez vegetacije in stavb ter neklasificiranih točk. Gostota je obarvana glede na število točk v celicah velikosti  $10 \times 10$  m. Posamezni kvadrati so obarvani glede na gostoto točk tal: 0–0,5 točke/m<sup>2</sup> v rdeči, 0,5–1 točka/m<sup>2</sup> v oranžni, 1–2 točki/m<sup>2</sup> v modri in več kot 2 točki/m<sup>2</sup> v zeleni. Z belo so obarvani kvadrati brez podatkov (na primer voda, zgradbe). Na območjih gozdov večinoma dobimo gostoto točk tal do 0,5 točke/m<sup>2</sup>, za odprta območja travnikov pa gostoto 2 točki/m<sup>2</sup>. Pri uporabi izdelkov laserskega skeniranja za različne analize površja predvsem pod gozdom je treba to upoštevati.



Slika 5: Skica gostot OTR za blok B34 (na črno-beli sliki črna barva pomeni rdečo, siva pa zeleno).

## 2 REZULTATI KONTROL IZDELKOV

Za izdelke laserskega skeniranja Slovenije je predpisana višinska točnost elipsoidnih višin 15 centimetrov (RMSE), položajna pa 30 centimetrov (RMSE). Točnost višin in položaja je najprej preveril izvajalec skeniranja, potem smo jo preverili na Geodetskem inštitutu Slovenije in izvedeli še druge kontrole kakovosti vhodnih podatkov. Za kontrolo elipsoidnih višin smo uporabili 2349 kontrolnih točk ali povprečno 138 točk na blok. Oblikovanju izdelkov je sledila še tretja kontrola višinske točnosti (nadmorskih višin) in položajne točnosti samih izdelkov na tretjem neodvisnem nizu kontrolnih točk, kjer smo uporabili 1661 kontrolnih točk ali povprečno 97 točk na blok za kontrolo višin, od teh pa povprečno 55 točk na blok tudi za kontrolo ravninske točnosti. Višinska in položajna točnost na kontrolnih točkah je za vsak posamezen blok boljša od predpisane.

Poleg kontrole višinske in položajne točnosti smo preverjali še popolnost (delež najdenih stavb) in pravilnost klasifikacije stavb (delež pravih od vseh najdenih stavb) na 5-odstotnem vzorcu klasificiranih datotek GKOT iz posameznega bloka. Območja, na katerih smo izvajali kontrolo klasifikacije, so morala vsebovati približno 1/3 naselij, 1/3 gozdov ali srednje vegetacije in vsaj nekaj mostov. Povprečne vrednosti za celotno Slovenijo so: 97,6-odstotna popolnost klasifikacije stavb in 91,9-odstotna pravilnost klasifikacije stavb. Rezultati ocenjevanja popolnosti in pravilnosti se med bloki razlikujejo (preglednica 1). Na blokih B31 in B37 sta popolnost in pravilnost klasifikacije stavb slabši, saj je na teh območjih veliko zelo strmih pobočij gora, katerih vrhovi ali deli prepadnih sten se lahko samodejno klasificirajo kot stavbe. Zato smo pri obdelavi spreminjali parametre tako, da je bilo napačnih klasifikacij čim manj, pri tem pa smo lahko izgubili nekaj stavb. Popolnost in pravilnost sta znotraj zahtevanih 70 % oziroma 85 %, ki naj bi bili doseženi na podlagi laserskih ali kombiniranih laserskih in optičnih podatkov s samodejno klasifikacijo (Mayer in sod., 2006; Rottensteiner in sod., 2014).

Preglednica 1: Kontrola gostote prvih odbojev in kakovosti klasifikacije stavb po blokih.

Blok	Povprečna gostota prvih odbojev [%] kvadratov 10 m × 10 m	Popolnost klasifikacije stavb [%]	Pravilnost klasifikacije stavb [%]
B11	93,0	98,6	92,5
B15	94,2	99,4	91,3
B16	94,1 (za 5) in 94,9 (za 2)	98,5	96,0
B14	96,1	97,7	95,0
B12	91,9	99,5	86,3
B13	90,0	98,6	94,4
B24	94,9	99,4	94,8
B23	96,2	97,5	90,6
B26	94,1	98,2	95,9
B22	95,8	98,6	94,7
B34	97,3	99,0	88,5
B31	93,4	90,4	82,8
B37	93,2	95,7	89,6
B36	97,6	97,3	93,8
B32	97,3	97,8	93,4
B33	90,6	94,8	91,4
B35	97,6	98,3	94,4

### 3 SKLEP

Rezultati laserskega skeniranja Slovenije niso optimalni za vse aplikacije, saj so bili zajeti in izdelani predvsem za zajem podatkov hidrografije in dejanske rabe vodnih zemljišč. Zato se moramo pred njihovo uporabo poučiti o njihovih lastnostih in uporabnosti za druge namene. Priporočamo podrobno preučitev tehničnih poročil za posamezne bloke, katerih podatke nameravate uporabljati. Izpostavili smo namreč le najpomembnejše značilnosti, na katere je treba biti pri uporabi izdelkov laserskega skeniranja posebej pozoren.

### ZAHVALA

Lasersko skeniranje Slovenije je bilo izvedeno v okviru projekta Zagotavljanje sistemskih podatkovnih podlag za upravljanje z vodami, ki ga je naročilo ministrstvo za okolje in prostor. Pri projektu so poleg Geodetskega inštituta Slovenije sodelovali še Flycom, d. o. o., ter Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru.

### Literatura in viri:

- Berk, S., Komadina, Ž. (2010). Trikotniško zasnovana transformacija med starim in novim državnim koordinatnim sistemom Slovenije. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010*. Ljubljana: Založba ZRC, 291–299.
- Berk, S., Komadina, Ž. (2013). Local to ETRS89 Datum Transformation for Slovenia: Triangle-Based Transformation Using Virtual Tie Points. *Survey Review*, 45 (328), 25–34. DOI: <http://dx.doi.org/10.1179/1752270611y.0000000020>
- Kuhar, M., Berk, S., Koler, B., Medved, K., Omang, O. C. D., Solheim, D. (2011). Vloga kakovostnega višinskega sistema in geoida za izvedbo GNSS-višinomerstva. *Geodetski vestnik*, 55 (2), 226–234. <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2011.02.226-234>
- Mayer, H., Hinz, S., Bacher, U., Baltasvias, E. (2006). A test of automatic road extraction approaches. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36 (Part 3), 209–214.
- Mongus, D., Horvat, D. (2015). gLidar: napredno orodje za obdelavo lidarskih podatkov. *Geodetski vestnik*, 59 (1), 153–158.
- Pegan Žvokelj, B., Brič, V., Triglav Čekada, M. (2014). Lasersko skeniranje Slovenije. *Geodetski vestnik*, 58 (2), 349–351.
- Pribečević, B. (2000). Uporaba geološko-geofizičnih in geodetskih baz podatkov za računanje ploskve geoida Republike Slovenije. Doktorska disertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.10.004>
- Triglav Čekada, M., Brič, V., Mongus, M. (2015). Napredne analize površja s podatki laserskega skeniranja Slovenije. *Geodetska (r)evolucija: zbornik posveta 43. Geodetskega dne*. Ljubljana in Nova Gorica: Zveza geodetov Slovenije in Primorsko geodetsko društvo.

*dr. Mihaela Triglav Čekada, univ. dipl. inž. geod.*  
Geodetski inštitut Slovenije  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: [mihaela.triglav@gis.si](mailto:mihaela.triglav@gis.si)

*mag. Vasja Brič, univ. dipl. inž. geod.*  
Geodetski inštitut Slovenije  
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana  
e-naslov: [vasja.bric@gis.si](mailto:vasja.bric@gis.si)