

# USMERITVE ZA ZAJEM, ODDAJO IN KONTROLO KAKOVOSTI PODATKOV ZRAČNEGA LASERSKEGA SKENIRANJA

## GUIDELINES FOR DATA ACQUISITION, DELIVERY AND QUALITY CONTROL OF AERIAL LASER SCAN DATA

*Katja Šušteršič, Luka Kocijančič*

### 1 UVOD

Pri uporabi prostorskih podatkov na državni ravni oziroma podatkov, zajetih v okviru večjih naročil, so končni uporabniki lahko prepričani, da so bila v celotnem postopku izvedbe dogovorjena in izvajana merila za zagotavljanje kakovosti. Ne nazadnje imajo naročniki običajno vzpostavljene stroge metode kontrole, s katerimi zaznavajo in izločajo neprimerne podatke. Razpisi se običajno navezujejo na uveljavljene standarde, na primer standard ISO 19157 (2013) za področje zračnega laserskega skeniranja ali priporočila ASPRS (2013). Težave se pojavljajo na nižjih ravneh, kot so občine, zasebna podjetja, javni zavodi in ostali, ki uporabljajo naročila za zajem prostorskih podatkov, nimajo pa ustrezne strokovne podpore, da bi lahko naročila izvedli kakovostno in v skladu s svojimi potrebami. Namen tega članka je podati usmeritve za zajem, shranjevanje in kontrolo podatkov zračnega laserskega skeniranja za pomoč naročnikom.

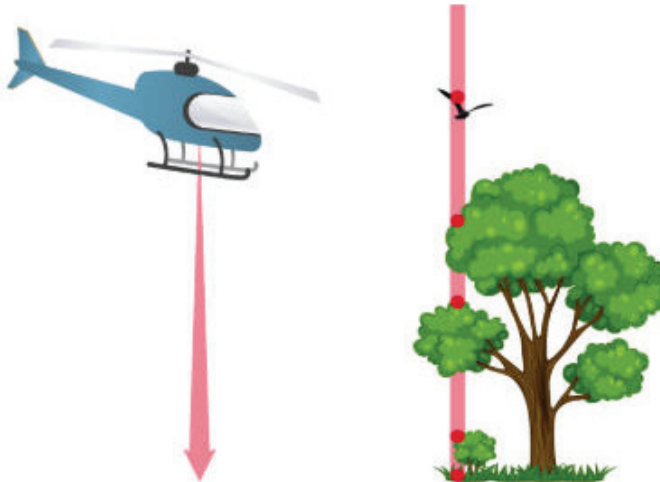
Na področju laserskega skeniranja se neprestano dogajajo spremembe, predvsem v opremi za zajem ter programski opremi za zajem in obdelavo podatkov. S tem se povečujejo tudi zahteve po natančnosti in posledično gostoti oblaka točk. Če je bil do nedavnega »standard« za snemanje večjih območij skeniranja z gostoto 5 točk na kvadratni meter, se ta z novimi tehnologijami zvišuje na 20 točk in več. Ravno zato je treba stalno spremljati razvoj tehnologije, se izobraževati in si izmenjevati informacije v stroki med zasebnim in javnim sektorjem, poleg tega je treba pomagati naročnikom, da bodo zadovoljni z dostavljenimi podatki. Avtorja članka predlagava, da bi pripravili ogrodje za naročila podatkov zračnega laserskega skeniranja manjših površin, v okviru katerega bi si naročnik in izvajalec izmenjala pomembnejše specifikacije in zahteve za zagotavljanje kakovosti podatkov.

### 2 KAKOVOST IN ZAJEM PODATKOV LASERSKEGA SKENIRANJA

Na področju daljinskega zaznavanja se vse bolj poudarja pomen kakovosti podatkov, saj podatki daljinskega zaznavanja postajajo vse pomembnejši pri načrtovanju in operativnih odločitvah javnih ustanov in zasebnih podjetij, poleg tega se uporabljajo v vse več digitalnih storitvah in aplikacijah. V zadnjih letih smo pri svojem delu opazili, da je tuji trg vse zahtevnejši, za enako ceno se namreč pričakuje večja kakovost podatkov in njihova obdelava v realnem času (angl. *real-time*). Vse to je mogoče, če so vzpostavljeni dobri postopki za kontrolo kakovosti podatkov in je zagotovljen zajem podatkov z najnovejšo opremo in primerno platformo. Za doseganje zahtevane natančnosti in ustreznosti podatkov za predvideni na-

men mora imeti naročnik ustrezno znanje in izkušnje. Naročniki v Sloveniji nimajo ustrezne strokovne podpore v obliki standardiziranega postopka, ki bi vključeval priporočila pri naročanju laserskega oblaka točk, prav tako ne pri uporabi teh podatkov.

Kakovost končnega izdelka, podatkov zračnega laserskega skeniranja, je pogojena s tehnično opremo, časom zajema in opredelitvijo gostote oblaka točk. Dobro poznavanje geomorfologije območja zajema je dragocena informacija, ki je pomembna pri interpretaciji podatkov (Grönlund, 2017; Heidemann, 2018). Za namen pridobitve najboljšega modela višin, ki je pogosto končni izdelek pri takšnem zajemu podatkov, morajo biti pogoji zajema takšni, da imajo laserski pulzi najboljšo možnost, da dosežejo tla (slika 1). Poleti listje in visoka podrast onemogočata laserskim pulzom prodor do tal. Jeseni doseganje tal onemogočajo visoko rastoča drevesa, čeprav je listje že odpadlo. Pozimi lahko povzročata težave snežna odeja, saj že nekajcentimeterska odeja da napačno predstavo o modelu višin. Spomladi obstaja možnost taljenja velikih količin snega in ledu. Reke imajo višji vodostaj, ponekod nastajajo lokalne poplave, zato skeniranje v takšnih razmerah ni priporočljivo. Časovno okno za kakovostno izvedbo zračnega laserskega skeniranja je torej zelo ozko. Zato se skeniranje priporoča zunaj rastne sezone, to je spomladi in pozno jeseni.



Slika 1: Oddani laserski žarek se vrne do sensorja kot serija različnih odbojev. Gosta vegetacija onemogoča učinkovit prodor laserskega pulza od tal.

Pri načrtovanju leta snemanja je treba izbrati pravilno višino in hitrost leta, pri tem pa se upoštevajo oziroma zagotovijo naslednji pogoji:

- zahteva po določitvi gostote točk za zadnji ali prvi odboj za območje celotnega zajema,
- upoštevanje hribovitega terena in visokih predmetov, kot so zgradbe ali drevesa, za zagotovitev upodobitve vseh predmetov,
- zahteva po prekrivanju med linijami leta, ki mora biti vsaj 10 %, razen če stranka določi drugače,
- prečne linije je treba umestiti na obeh koncih snemanja, na večjih območjih pa tudi znotraj območja,
- prečne linije so postavljene čim bolj pod pravim kotom na linije leta, nad kontrolnimi točkami, nad naselji in ne prek velikih vodnih površin,
- večkratno letenje enake linije ni dovoljeno za povečanje gostote točk.

Ciljna ocenjena točnost, razdeljena glede na gostoto točk in opredeljena glede na naše izkušnje, je opisana v preglednici 1.

Preglednica 1: Predlagana točnost glede na gostoto točk (vir: Flycom Technologies d.o.o.).

Parameter	Verzija 1	Verzija 2	Verzija 3
<b>Gostota točk (tč/m<sup>2</sup>)</b>	1–6	6–15	20 ali več
<b>Planimetrična/ višinska točnost (m)</b>	0,20/0,10	0,15/0,075	0,07/0,05
<b>Dovoljen kot snemanja</b>	+/- 30°	+/- 20°	–

Če predpostavimo, da vse točke prodrejo do tal (trda podlaga brez rasti), lahko razmerje med gostoto točk in povprečno razdaljo med dvema točkama opišemo, kot je navedeno v preglednici 2.

$$\text{Razdalja med točkami} = \sqrt{\text{gostota točk}}$$

Preglednica 2: Razdalje med točkami glede na gostoto točk.

Točke/m <sup>2</sup>	Razdalja med točkami (m)
32	0,18
16	0,25
8	0,35
4	0,50
2	0,71
1	1,00
0,5	1,41

Glede na zahtevano gostoto točk se naročnik posvetuje z izvajalcem o postavitvi in številu kontrolnih točk. Kontrolne točke se postavijo na že v naravi obstoječe elemente, kot so talne označbe na trdi podlagi ali pokrovi jaškov. Pri veliki gostoti točk se lahko dodatno postavijo signali.

### 3 KONTROLA KAKOVOSTI PODATKOV

Kljub precej množični uporabi podatkov zračnega laserskega skeniranja v splošnem primanjkuje predvsem hitrih in odprtokodnih programov za kontrolo njihove kakovosti. Pri nadzoru opravljene kalibracije laserskega sistema je postopek precej enostaven in ga je mogoče kontrolirati na vsakem koraku, metoda sama pa je popisana in urejena s predhodno določenimi postopki. Po drugi strani pa se v zvezi s kontrolo položajne natančnosti in točnosti še vedno zanašamo na neodvisno določevanje koordinat kontrolnih točk in primerjavo oblaka laserskih točk z njimi. Čeprav takšen način prinaša tudi nekatere prednosti, se hitro pojavi težava izvedbe dovolj natančnih kontrolnih meritev, če niso bile uporabljene primerne tarče (stožci, odsevne tarče ...). Pri tem je treba upoštevati tudi metodo izmere kontrolnih točk.

Za praktično oceno kakovosti podatkov laserskega skeniranja, ki jih želimo uporabiti ali pa smo jih prejeli od ponudnika, se bomo v tem članku omejili predvsem na kontrolo gostote točk, položajno razporeditev točk in razdaljo med točkami, na ujemanje med posameznimi linijami snemanja ter preklpom med linijami skeniranja in nazadnje na kontrolo položajne točnosti oblaka točk (glej tudi Triglav Čekada, Crosilla in Kosmatin Fras, 2010; Rieger, 2012; Grönlund, 2017; Heidemann, 2018).

### 3.1 Dosežena gostota točk

Doseganje zahtevane gostote oblaka točk je eno od ključnih meril kakovosti opravljenega laserskega snemanja. Gostoto končnega oblaka točk je treba določiti predhodno, to je ob samem oddanem naročilu. Predhodno je tudi priporočljivo, da se ob oddanem naročilu izvajalec in naročnik dogovorita o načinu kontrole dosežene gostote. Različni načini kontrole lahko podajajo precej različne informacije o kakovosti gostote in so lahko vzrok za nesoglasja med izvajalcem in naročnikom. Običajno se za manjša območja snemanja uporablja ocena gostote za celico velikosti 10 m x 10 m. Iz ocene gostote točk moramo izločiti vodne ter steklene površine, saj tam zaradi fizikalnih omejitev laserskega skeniranja ne moremo pričakovati zadostnega števila odbojev.

Naslednje merilo ocene gostote je, katere točke iz oblaka točk vstopajo v oceno gostote. Ker imajo laserski skenerji možnost prejema več odbojev posameznega pulza, se običajno dogovori, da se v izračunu gostote upoštevajo samo zadnji odboji (angl. *last returns*). Lahko pa se seveda dogovorimo tudi za upoštevanje samo prvih odbojev (angl. *first returns*) ali vseh odbojev (angl. *all returns*). Bistveno je, da tako naročnik kot izvajalec že pred snemanjem vesta, katere odboje bosta kontrolirala.

Za dejansko oceno gostote oblaka točk si pripravimo statistične ocene in rastrske izriske, kjer za vsako rastrsko celico (velikosti 10 m x 10 m) izračunamo gostoto. S temi kazalniki kakovosti dobimo tudi prve informacije o opravljenem laserskem skeniranju. Pogosto uporabljena programska rešitev, ki pa v odprtokodnem načinu ne omogoča polne funkcionalnosti, je programsko orodje *LasTools* razvijalca *RapidLasso, GmbH*. Za uporabnike, ki se le redko srečujejo z večjo količino podatkov laserskega skeniranja, je dobrodošla tudi njegova povezljivost z odprtokodnim programom QGIS, saj skupaj omogočata analize in izdelavo ocen kakovosti, tudi gostote. Sicer pa so na trgu na voljo tudi druge programske rešitve s podobnimi funkcionalnostmi, na primer Global Mapper, ArcMap, TerraSolid itd.

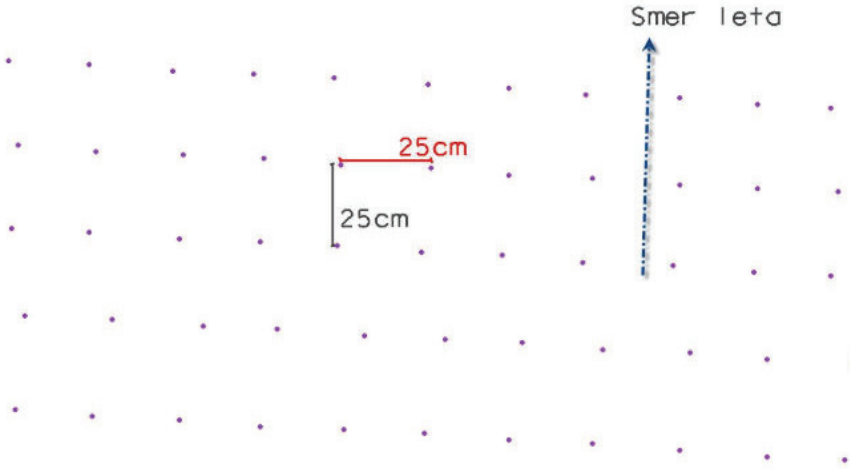
### 3.2 Razporeditev točk v oblaku ter razdalja med njimi

Pri zajemu oblaka točk bi moral vsak izvajalec težiti k čim enakomernejši porazdelitvi točk v samem oblaku. Na razporeditev točk vpliva več dejavnikov:

- izbrana gostota snemanja,
- vremenske razmere med snemanjem,
- uporabljeno letalo ali helikopter
- kakovost namestitve sistema v letalu ali helikopterju,
- izkušenosť posadke letala ali helikopterja.

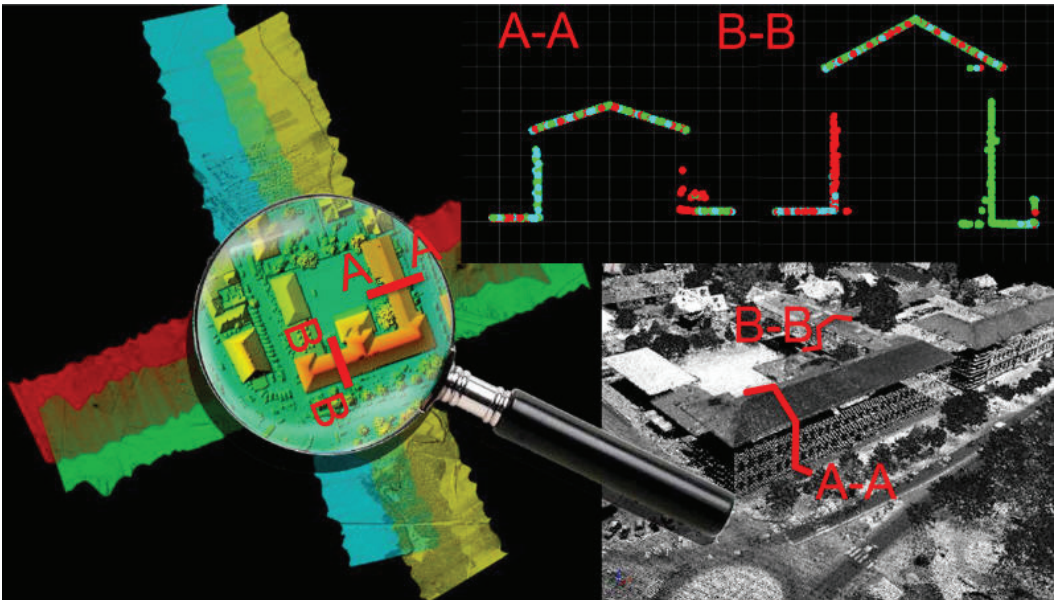
Gostota snemanja ima največji vpliv na položajno razporeditev točk, saj večja gostota pomeni manjšo razdaljo med točkami. Večinoma govorimo o snemanju z enakomerno porazdelitvijo, kar pomeni, da je razdalja med linijami točk in samimi točkami enaka. Drugi dejavniki, ki smo jih omenili, vplivajo predvsem na razdaljo med posameznimi linijami, saj je razdalja med točkami (prečno glede na smer leta) konstantna med linijami pri instrumentih, ki laserski pulz oddajajo prek rotirajoče prizme (na primer laserji proizvajalca Riegl). Vsi preostali dejavniki (vremenske razmere, namestitve, uporabljeno letalo ali helikopter in človeški vpliv) povzročajo nepotrebne vibracije sistema in tako privedejo do neenakomerne razdalje med linijami leta (razdalja med točkami v smeri leta).

Že pred snemanjem se moramo dogovoriti glede dovoljenih razdalj med točkami pred izvedbo snemanja, ravno tako glede načina kontrole. Kontrolira se lahko razdalja med točkami v posameznem pasu (angl. *stripe*) ali pa oddaljenost med točkami v končnem oblaku točk, običajno sestavljenem iz pasov snemanja, ki se med seboj prekrivajo. Načini kontrole so različni, od vizualne kontrole do ustreznih statističnih poročil, ki jih je na primer mogoče izdelati z uporabo programa LasTools.



Slika 2: Primer vizualne kontrole enakomernosti razporeditve oblaka točk znotraj enega pasu snemanja. Rdeče je označena razdalja med točkami prečno na let, črno pa razdalja med linijami leta v enem pasu snemanja.

### 3.3 Ujemanje med posameznimi linijami snemanja ter preklap med linijami skeniranja



Slika 3: Primer vizualne kontrole ujemanja med posameznimi pasovi snemanja – vsak pas je predstavljen z drugačno barvo (Rieger, 2012).

Ko govorimo o ujemanju med posameznimi linijami/pasovi snemanja, se osredotočamo na tisti del pasov, ki se med seboj prekrivajo. V idealnem svetu bi bilo ujemanje med pasovi samoumevno, vendar se zaradi različnih dejavnikov pojavljajo horizontalni in vertikalni zamiki. Končni uporabnik podatkov ne vpliva na to, saj mora ujemanje zagotoviti izvajalec snemanja z ustreznimi postopki kalibracije sistemov (letalo/helikopter, skener, inercialni navigacijski sistem, GNSS) in naknadnimi postopki iskanja veznih linij.

Kontrola ujemanja pasov se najlažje izvaja vizualno s pregledom prečnih prerezov dvokapnic, v programu LasTools si izdelamo rastrske predstavitve ujemanja za celotno območje itd. Pozorni smo predvsem na odstopanja, večja od določene vrednosti (v praksi pogosto več kot 5 centimetrov), saj kažejo na sistematične pogoške instrumentov, uporabljenih za snemanje. Pri oddaji naročila pa lahko zahtevamo od izvajalca tudi podatke o zadnji kalibraciji sistema, saj izvajalci običajno ne poskrbijo dovolj pogosto za kalibracije in je lahko vzrok za neujemanje med pasovi snemanja slaba montaža laserskega sistema (slika 3).

### 3.4 Kontrola položaja oblaka točk

Na kontrolo položaja oblaka točk neposredno vpliva kakovost izvedbe georeferenciranja, torej izračun trajektorije leta na podlagi meritev GNSS (angl. *global navigation satellite systems*) in inercialne navigacijske enote (INS). Ker pa podatke običajno potrebujemo v lokalnih koordinatnih sistemih, je lahko prisotna še napaka transformacije. Tokrat se ne bomo natančneje posvečali kontroli kakovosti georeferenciranja in napakam transformacije, saj je bilo več o tem zapisano v delu Brica, Berka in Triglav Čekada (2013).

Kot končni uporabnik georeferenciranega oblaka točk (tudi GOT) ločeno preverjamo (Bric, Berk in Triglav Čekada, 2013):

- horizontalno točnost položaja točk:  
narava podatkov zračnega laserskega skeniranja ne omogoča enostavne določitve horizontalne točnosti položaja. Tako moramo pri ocenjevanju točnosti posegati po ročnih metodah, na primer z opazovanjem odstopanj na izbranih tarčah (stožcih, odsevnih tarčah ...), odstopanj na presekih dvokapnih streh in drugih topografskih objektov, ki jih prepoznavamo na sliki intenzitete laserskih odbojev. Tu imamo v mislih predvsem talne označbe, ki so dobro vidne, ker so poleg tega narisane na trdni podlagi, je identična točka uporabna tudi za oceno točnosti vertikalnega položaja oblaka točk;
- vertikalno točnost položaja:  
za kontrolo točnosti višin se največkrat uporabi primerjava oblaka točk s terensko izmerjenimi kontrolnimi točkami. Za kontrolo na večjih površinah se za meritev kontrolnih točk največkrat uporablja GNSS-izmera. Uporabimo GNSS-metodo izmere, ki omogoča izmero več kontrolnih točk v kratkem času s trikrat boljšo točnostjo, kot je zahtevana za položajno točnost oblaka točk.

## 4 ODDAJA IN DOKUMENTIRANJE PODATKOV

Naročnik mora pred naročilom opredeliti:

- koordinatni sistem, v katerem želi podatke,
- format in verzijo podatkov,
- poimenovanje,
- geografsko razdelitev in velikost razdelitve listov (angl. *tileindex*).

Oblak točk laserskega skeniranja je oddan v formatu ASPRS LAS, verzijo formata določi naročnik. Za oblak točk, ki imajo na posamezno točko zapisano barvno vrednost (RGB), je potrebna oddaja v formatu LAS 1.2, verzija LAS 1.4 pa dodatno podpira še zapis RGB, NIR, širino pulza itd. Ker so datoteke LAS velike, je pogosto smiselna oddaja v zgoščenem formatu LAS. Trenutno sta na voljo dva formata, ki omogočata zgoščen zapis LAS, to sta LAZ in zLAS. LAZ je odprtokodni format, zLAS pa je produkt programskega orodja ERSI, zato ga vladne agencije, ki dajejo prednost odprtokodnim formatom, večinoma ne sprejemajo. Glede na gostoto točk se priporoča razdelitev na liste, kot je predstavljeno v preglednici 3.

Preglednica 3: Primer razdelitve na liste glede na gostoto točk. Zeleno obarvana polja prikazujejo priporočljivo velikost reza na liste (vir: HMK - Flygburen laserskanning 2017).

Gostota točk/velikost listov	0,5p/m <sup>2</sup>	6p/m <sup>2</sup>	20 p/m <sup>2</sup>
100 x 100 m	0,5 MB	4 MB	10 MB
500 x 500 m	10 MB	100 MB	200 MB
1000 x 1000 m	40 MB	400 MB	800 MB
2500 x 2500 m	250 MB	2500 MB	5000 MB

Vsaki liniji snemanja se lahko pripišejo metapodatki v formatu LAS. To so ID-linije, gostota točk, kot skeniranja, drugi parametri skeniranja, datum snemanja, začetni in končni čas snemanja, ID laserskega snemanja, programska oprema, uporabljena za obdelavo oblaka točk. Oddaja podatkov laserskega skeniranja mora biti tako:

- kontrolirana in popolna,
- v zahtevanem formatu in pravilni verziji formata,
- pravilno poimenovana,
- z vsemi metapodatki, ki jih določi naročnik.

Na koncu je izvajalec dolžan napisati poročilo, ki vsebuje vse informacije, kako se je zajem podatkov izvedel, obdelal in kako ga je kontroliral, da dosega zahtevano gostoto točk, položajno in višinsko točnost, da je izpolnil naročnikove zahteve.

## 5 SKLEP

Trg narekuje vse višjo kakovost prostorskih podatkov, pridobljeno v najkrajšem času za najnižjo ceno. Na državni ravni je dovolj strokovnjakov, ki lahko sledijo novim priporočilom in standardom na področju daljinskega zaznavanja in lahko preverijo, ali so bili podatki zajeti in dostavljeni po zahtevanih specifikacijah. Na lokalni ravni pa opažamo, da naročniki potrebujejo strokovno podporo. Ta je lahko zelo subjektivna, če jo naročniku zagotavlja samo izvajalec (ponudnik), zato bi bilo treba uvesti standardna priporočila za zajem podatkov zračnega laserskega skeniranja, ki bi bila v slovenskem jeziku in bi zajemala primer dobre prakse, saj bi lahko zelo koristila naročnikom. Takšen dokument bi sestavila stroka v sodelovanju z izvajalci. Naročnik bi tako lahko preprosto naročil podatke, za katere bo prepričan, da dosega zahtevano kakovost, hkrati pa bi lahko izvajal nepristranske kontrole kakovosti.

## Literatura in viri:

ASPRS (2013). Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Photogrammetric engineering and remote sensing. <http://www.asprs.org/a/society/divisions/>

pad/Accuracy/Draft\_ASPRS\_Accuracy\_Standards\_for\_Digital\_Geospatial\_Data\_PE&RS.pdf, pridobljeno 26. 2. 2020.

- Bric, V., Berk S., Čekada Triglav, M. (2013). Zagotavljanje kakovosti georeferenciranja podatkov aerolaserskega skeniranja za upravljanje voda. *Geodetski vestnik*, 57 (2), 271–285. [http://geodetski-vestnik.com/cms/images/57/2/gv57-2\\_bric.pdf](http://geodetski-vestnik.com/cms/images/57/2/gv57-2_bric.pdf), pridobljeno 26. 2. 2020.
- Grönlund, A. (2017). HMK - handbuk i mät och kartfrågor. Flytburen laserskanning.
- Heidemann, H. K. (2018). Lidar Base Specification. National Geospatial Program. <https://pubs.usgs.gov/tm/11b4/pdf/tm11-B4.pdf>, pridobljeno 26. 2. 2020.
- ISO 19157 (2013). Geographic information - Data quality.
- Rieger, P. (2012). Quality Control and System Integration.
- Triglav Čekada, M., Crosilla, F., Kosmatin Fras, F. (2010). Teoretična gostota lidarskih točk za topografsko kartiranje v največjih merilih. *Geodetski vestnik*, 54 (3), 389–402. [http://www.geodetski-vestnik.com/54/3/gv54-3\\_389-402.pdf](http://www.geodetski-vestnik.com/54/3/gv54-3_389-402.pdf), pridobljeno 26. 2. 2020.

---

**Katja Šušteršič, univ. dipl. inž. geod.**  
Flycom Technologies d.o.o.  
Ljubljanska cesta 24a, SI-4000 Kranj  
e-naslov: [katja.sustersic@flycom.si](mailto:katja.sustersic@flycom.si)

**Luka Kocijančič, univ. dipl. inž. geod.**  
Flycom Technologies d.o.o.  
Ljubljanska cesta 24a, SI-4000 Kranj  
e-naslov: [luka.kocijancic@flycom.si](mailto:luka.kocijancic@flycom.si)