

Georeferenciranje terestričnega laserskega skeniranja z naravnimi tarčami: primer lednega plezališča v Mlački

Polona Pavlovčič Prešeren*, Miha Pajnič**, Tomaž Ambrožič*, Aleš Marjetič*

Povzetek

V prispevku obravnavamo primernost uporabe naravnih tarč za georeferenciranje podatkov terestričnega laserskega skeniranja na območju težavne izvedbe postavitve umetnih tarč. V lednem plezališču Mlačka v Mojstrani smo opravili izmero v dveh različnih terminih zajema oblakov točk, da bi na primeru določili postopek izvedbe in obdelave meritev za spremljanja debeline ledne stene. V danem primeru smo se omejili na opredelitev kakovosti georeferenciranja na podlagi izbranih ploskovnih elementov v zajetih skenogramih posamezne izmere. Za to smo uporabili metodo ujemanja oblakov točk »Cloud to cloud« in metodo primerjave parametrov z izravnavo ravnin iz množice zajetih točk dveh izmer. Iz prvih izkušenj ter pridobljenih rezultatov izmere v težavnih pogojih je najbolj očiten problem v soteski slaba geometrijska razporeditev oslonilnih točk (naravnih tarč) za registracijo in georeferenciranje. Zato bi bilo smiselno na danem območju vzpostaviti in trajno stabilizirati geodetsko mrežo točk, da bi lahko v nadaljevanju izmere zagotovili boljšo registracijo s pomočjo umetnih tarč.

Ključne besede: georeferenciranje, registracija, naravne tarče, oslonilne točke

Keywords: georeferencing, registration, natural targets, control points

Uvod

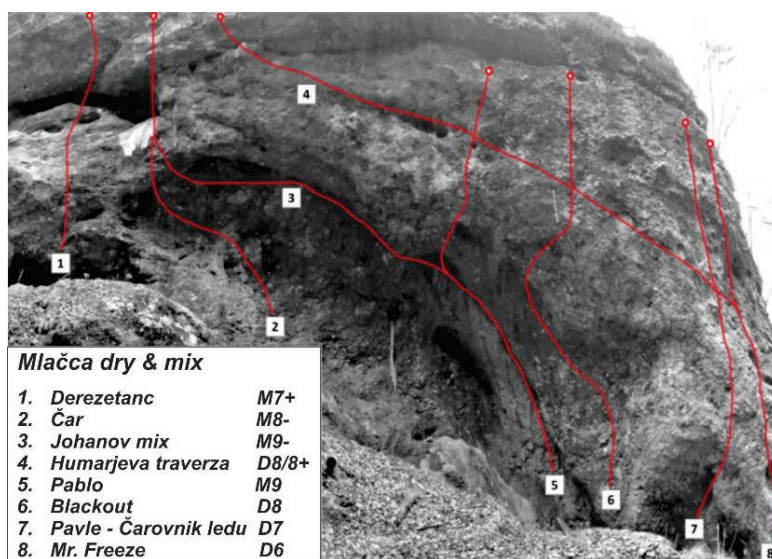
Terestrično lasersko skeniranje (TLS) nam kot tehnologija celovitega zajemanja prostorskih podatkov omogoča, da lahko hitro in enostavno pridobimo veliko količino podatkov o prostoru. Poleg hitrosti, natančnosti in možnosti zajema ogromne količine podatkov je ključno, da lahko določimo položaje objektom na težko dostopnih mestih. Če oblake točk za isto območje pridobimo v več zaporednih izmerah, lahko modeliramo spremembe oziroma deformacije naravnih ter zgrajenih objektov. Tehnologijo TLS so za modeliranje sprememb v prostoru uporabili že v številnih raziskavah (Carrivick et al., 2013; Blasone et al., 2014; Vericat et al., 2014; Bezak et al., 2017). V danem primeru smo prednosti TLS želeli uporabiti za izdelavo modela in spremljanje debeline ledu v lednem plezališču Mlačka v Mojstrani v zimi 2019/2020. Prvotni namen je bil spremljati debelino ledu v fazi nastajajoče ledne stene. Vendar so bili v tej zimi pogoji tako neugodni, da se je po drugi izmeri v januarju 2020 komaj nastali led že začel taliti. Kljub temu nam je uspelo pridobiti izkušnje, ki bodo osnova za izboljšavo izmere in modeliranja ledne stene v prihodnjih zimah.

Ledno steno v soteski Mlačka izdelujejo člani *Društva lednih plezalcev Mojstrana*. Podrobnejše informacije o stanju lednega plezališča lahko najdemo na njihovi spletni strani (www.lednoplezanje.com). Težavnost smeri št. 8 (slika 1) je leta 2016 ocenila plezalka

* Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

** GeoTočka d. o. o., Tehnološki park 24, 1000 Ljubljana

Nadja Korinšek, težavnost preostalih smeri pa plezalec Vili Guček. Eden od ciljev našega dela je bil, da izdelamo podrobnejši 3D-prikaz previsov na steni, ki bi ga lahko plezalci uporabili za virtualno izboljšavo trenutne ocene smeri.



Slika 1: Stena v Mlačci s smermi ter ocenami težavnosti (vir: www.lednoplezanje.com).

V soteski je nameščanje tarč na stene težavno, zato smo se odločili za registracijo in georeferenciranje na osnovi izbranih naravnih tarč (objektov). Večinoma tak pristop ne da najboljših rezultatov, zato smo morali oceniti, ali so naravne tarče v soteski primerne za registracijo in georeferenciranje. Za spremljanje debeline ledene stene namreč potrebujemo enolično georeferencirane skenograme več terminskih zaporednih izmer. Kontrolo kakovosti georeferenciranja s pomočjo naravnih tarč smo izvedli s pomočjo izbranih ploskovnih elementov in območij, ki so predstavljala enako površino v zajetih skenogramih. Za ugotavljanje morebitnega nekakovostnega georeferenciranja skenogramov smo z metodo »Cloud to cloud« (v nadaljevanju C2C) primerjali parametre izravnanih ravnin iz množice zajetih točk.

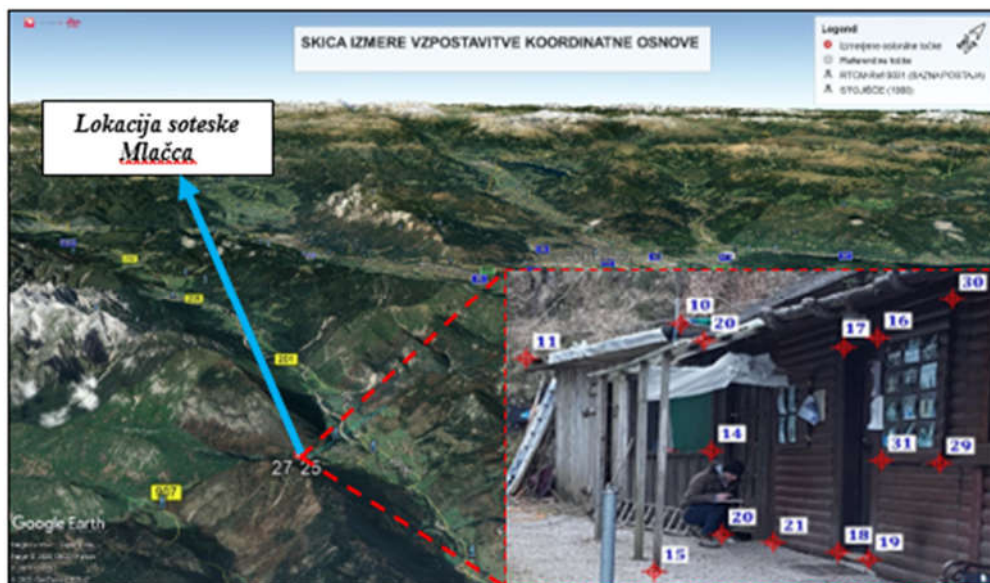
Z geodetskega in merskega stališča je bil glavni namen raziskave oceniti uspešnost metode fine registracije oblaka točk za ustvarjanje tridimenzionalne osnove za spremljanje debeline ledne stene z uporabo podatkov TLS. Za natančno prilagajanje skenogramov v več časovnih izmerah in določitev morebitnega premika zaradi napačnega georeferenciranja smo uporabili (a) metodo ocene oddaljenosti med dvema skenogramoma in (b) metodo iterativnega določevanja najbližje točke (angl. *Iterative Closest Point*).

Terenska izmera

Terensko izmero v soteski smo naredili dvakrat. Prva je potekala v juliju 2019 in druga v januarju 2020, ko je bila plezalna stena obdana z ledom. Izmero v januarju smo izvedli v času, ko je bil led trenutne zime najdebelejši, a je imel v tej zimi veliko manjši obseg kot običajno. V zimi 2020 je bila količina ledu tako skromna, da se v plezališču zaradi varnosti niso izvajale športne aktivnosti.

Za skeniranje soteske smo zaradi priročnosti uporabili terestrični laserski skener BLK360 proizvajalca Leica Geosystems AG (Heerbrugg, Švica), ki z dosegom 60 m omogoča izvedbo skeniranja v obravnavanem primeru. Da smo lahko zajeli podatke celotnega območja, smo skenirali z več stojišč in oblake točk nadalje s postopki registracije in

georeferenciranja skušali vklopiti v državni koordinatni sistem D96-17/TM. Državni sistem smo uporabili zato, da bi lahko rezultate skeniranja primerjali z drugimi podatki množičnega zajema prostorskih podatkov. Za oba termina izmer je bilo potrebno določiti enoten geodetski datum in vzpostavili izhodišče za nadaljnje analize različnih izmer.



Slika 2: Skica nekaterih točk detajla, ki smo jih uporabili pri georeferenciranju skenogramov.

Za registracijo in georeferenciranje smo uporabili značilne točke lesenih zgradb v soteski. Signalizaciji oslonilnih točk z umetnimi tarčami smo se izognili zato, ker nismo želeli fizično posegati v prostor. Na terenu smo določili položaj večjega števila točk, kot so detajli lesenih objektov v soteski (robovi oken, vrat, slemena strehe, robovi, kjer se stika več različnih ploskev). Položaj oslonilnih točk smo določili s kombinirano GNSS in tahimetrično izmero v državnem koordinatnem sistemu D96-17/TM. Sliki 2 in 3 prikazujeta lokacije nekaterih oslonilnih točk na območju enostavnih objektov ob plezalni steni.



Slika 3: Prikaz lokacij oslonilnih točk na skenogramu druge izmere.

Obdelava meritev

Za registracijo in georeferenciranje posameznih stojišč v skupni izbrani koordinatni sistem smo uporabili program *Leica Cyclone REGISTER 360*. Ker so zajeti skenogrami vsebovali tudi vegetacijo in druge objekte, ki nas niso zanimali, smo območje stene, ki jo v zimskem času obda ledena plast, najprej grobo obrezali. Sledila je fina filtracija podatkov, da bi določili le točke s površja stene. Ta točke razvršča na talne in ne-talne, ki ne predstavljajo dejanskega terena. Za lokacijo izbranega ploskovnega elementa smo filtracijo naredili s pomočjo algoritma »soglasje naključnih vzorcev« (angl. *Random Sampling Consensus – RANSAC*) (Fischler in Bolles, 1981; Urbančič et al., 2014; Urbančič et al., 2016). Gre za algoritem razpoznavanja točk iz oblaka točk, ki pripadajo telesu z opisljivo geometrijo.

V danem primeru smo iz oblaka točk izbrali naključne tri točke iz oblaka in z njimi definirali ravnino. Na osnovi izračunane ravnine je algoritem določil, katere in koliko točk je na tej ravnini ter koliko so ostale točke od ravnine oddaljene. Na ta način smo dobili oblak točk, ki je vseboval največje število točk na podlagi predhodno izbranih parametrov.

S slike 3 je razvidno, da je bila večina oslonilnih točk le ob objektih na desni strani soteske, zato razporeditev oslonilnih točk ni bila najboljša. Razporeditev oslonilnih točk je že vnaprej narekovala na težavo pri kakovosti georeferenciranja zaradi morebitnega zasuka okoli osi X (slika 8). Zato smo za testiranje izbrali območji na plezalni steni in en vertikalni ploskovni element, kjer smo predpostavili, da se površje med dvema izmerama ni spremenilo.

Po registraciji in georeferenciranju na podlagi izmerjenih oslonilnih točk oblaka točk dveh terminskih izmer nista sovpadala. Zato smo se odločili, da naredimo še fino poravnavo oblakov točk z metodo ICP (angl. *Iterative Closest Point*) (He et al., 2017). Registracijo oblakov točk prve in druge izmere smo izvedli na dva načina:

- o brez prilagoditve merila skenograma; razlika RMS: 10^{-5} ;
- o s prekrivanjem skenogramov in izključitev najbolj oddaljenih točk.

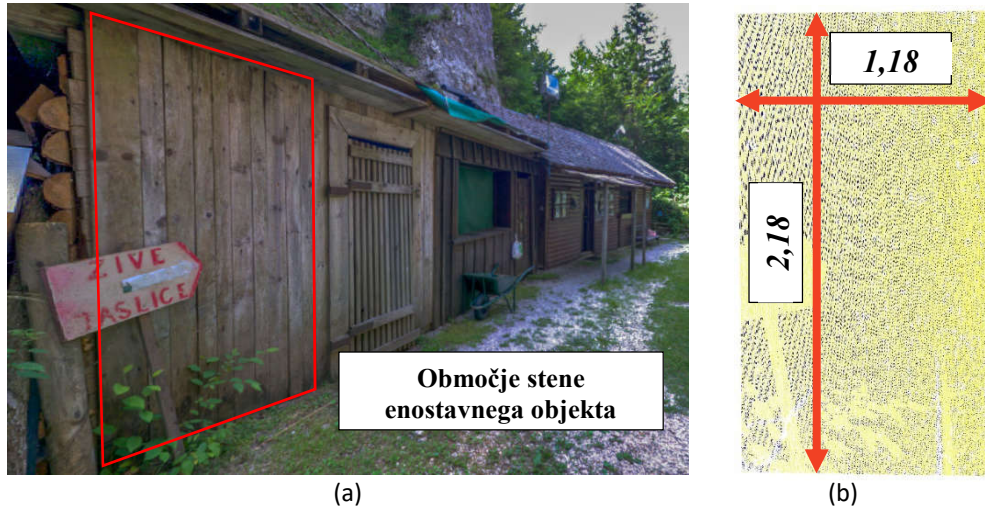
Sledila je fina registracija oz. poravnava skenogramov, kjer smo določili transformacijsko matriko, ki ponazarja relacijo med skenogramoma pred in po izvedeni fini registraciji. Poleg tega smo pridobili oceno natančnosti oddaljenosti na identičnih točkah v obliki korena srednjega kvadratnega pogreška (RMS); v danem primeru je znašal 9 mm. Na podlagi izbranega instrumentarija in izvedeni registraciji posameznih stojišč skenogramov lahko ugotovimo, da je bila fina poravnava narejena ustrezno. To je razvidno tudi iz izračunane transformacijske matrike \mathbf{R} , ki združuje rotacijsko matriko (zgornja blok-diagonalna podmatrika velikosti 3×3) in translacijski vektor (vektor 3×1 četrtega stolpca matrike \mathbf{R}):

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & T_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & T_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,000 & -0,001 & -0,001 & 0,001 \\ 0,001 & 1,000 & -0,001 & 0,011 \\ 0,001 & 0,001 & 1,000 & 0,016 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 1,000 \end{bmatrix}$$

Rezultati

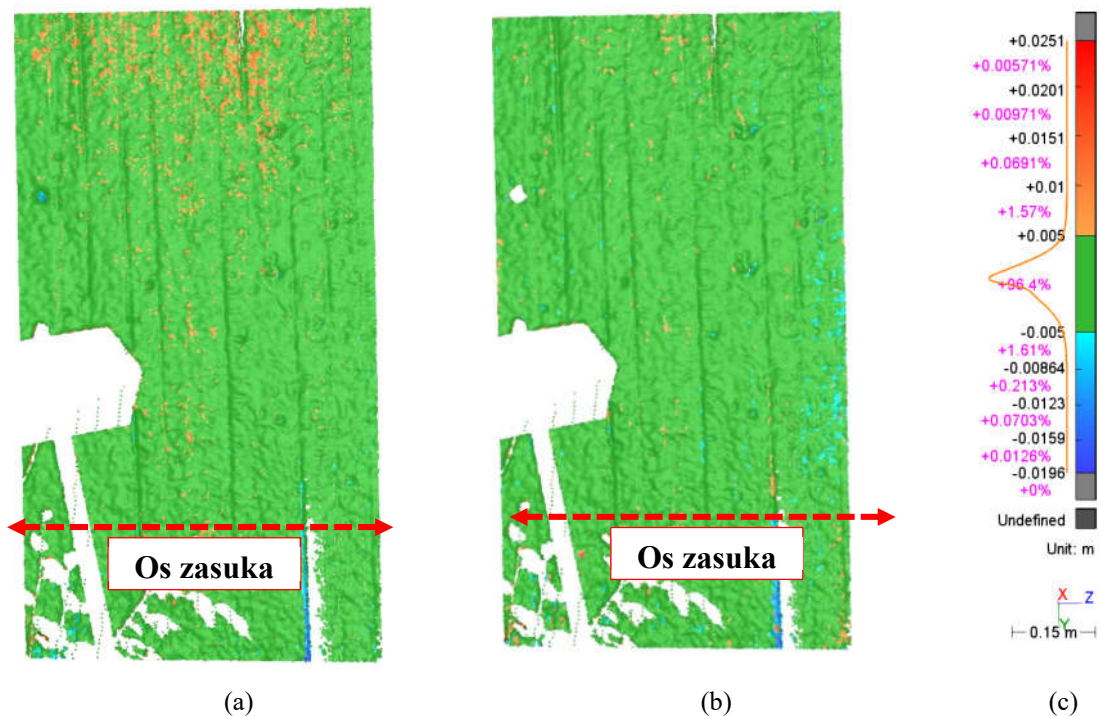
(A) Stena enostavnega vertikalnega objekta

Na sliki 4.b modri oblak prikazuje meritve prve izmere in rumeni oblak točk rezultate druge izmere. Levo je prikazano skenirano območje vertikalne lesene stene objekta ob plezališču (označeno s paralelogramom na sliki 7).



Slika 4: Oblak točk izbranega vertikalnega objekta.

Z metodo C2C smo določili oddaljenosti med oblakoma prve in druge izmere. Primerjavo dela oblakov točk smo naredili z namenom ocene sistematičnih pogreškov, ki bi lahko nastali zaradi nekakovostnega georeferenciranja z naravnimi tarčami.



Slika 5: Prikaz razlik v oblaku točk za vertikalni objekt s slike 4, in sicer: (a) pred registracijo, (b) po registraciji, (c) razlike med oblakoma po fini poravnavi.

Slika 5 prikazuje oddaljenost med oblakoma točk dveh zaporednih izmer, določenih z metodo C2C. Prikazane so razlike med skenogramoma pred in po fini registraciji oblakov točk. Oddaljenosti med oblakoma točk na zgornji strani objekta so nekaj milimetrov večje od oddaljenosti spodnjega roba stene, vendar se po fini poravnavi izrazito zmanjšajo. Na osnovi rezultatov lahko sklepamo, da je prišlo do zasuka oblaka točk zaradi slabe razporeditve oslonilnih točk vzdolž soteske. Po primerjavi oblakov točk med dvema izmerama lahko rečemo, da so razlike po fini poravnavi enakomerno porazdeljene po celotnem območju (slika 4.c).

Sklepanja na osnovi grafičnih rezultatov na sliki 5 lahko potrdimo tudi s statistično analizo primerjave vzorcev oblakov točk dveh izmer. Za vzorec smo vzeli del oblakov točk iz posameznih izmer, ki se je nanašal na isto območje, to je steno lesene barake (slika 4). Iz rezultatov (preglednica 1) lahko vidimo, da se največje in najmanjše oddaljenosti med oblakoma točk pred in po registraciji nekoliko spremenijo, zato se sorazmerno spremenijo tudi vrednosti variacijskega razmika.

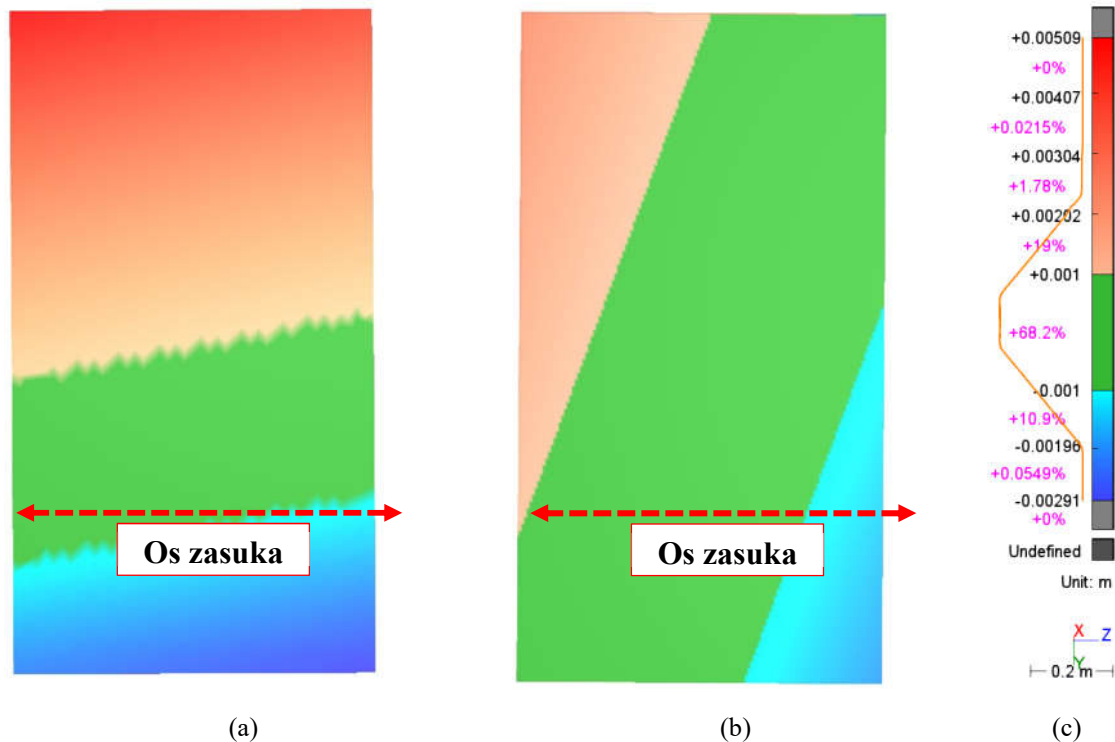
Preglednica 1: Statistični kazalci (srednje vrednosti in mere razpršenosti) vzorca pred in po registraciji za območje stene objekta.

	<i>Razlika 2 .in 1.izmere (pred registracijo)</i>	<i>Razlika 2 .in 1.izmere (po registraciji)</i>	<i>Razlika pred in po registraciji</i>
Srednje vrednosti			
<i>Aritmetična sredina (\bar{x})</i>	0,001 m	0,000 m	-0,001 m
<i>Mediana (M_e)</i>	0,001 m	0,001 m	0,000 m
<i>Največja vrednost</i>	0,013 m	0,025 m	0,012 m
<i>Najmanjša vrednost</i>	-0,018 m	-0,020 m	-0,002 m
<i>Standardni odklon (σ)</i>	0,002 m	0,002 m	0,000 m
<i>Variacijski razmik (VR)</i>	0,031 m	0,045 m	0,014 m
Število točk, kjer je bila izračunana oddaljenost v intervalu $[-\infty \text{ cm}, 0 \text{ cm}]$			
<i>Vzorec</i>	24.670	62.886	38.216
<i>Delež populacije</i>	14,1 %	35,9 %	21,8 %
Število točk, kjer je bila izračunana oddaljenost v intervalu $[0 \text{ cm}, \infty \text{ cm}]$			
<i>Vzorec</i>	150.618	112.102	-38.516
<i>Delež populacije</i>	85,9 %	64,1 %	-21,8 %
Število točk, kjer je bila izračunana oddaljenost v intervalu $[-0,6 \text{ cm}, 0,6 \text{ cm}]$			
<i>Vzorec</i>	165.567	171.962	6.395
<i>Delež populacije</i>	94,5 %	98,3 %	3,8 %

Oblak točk se po narejeni fini poravnavi nekoliko bolj prilega in izključuje možnost morebitnega zasuka. To je razvidno iz spremenjenih razmerij med izračunanimi negativnimi in pozitivnimi oddaljenostmi med točkami oblakov dveh izmer. Pred poravnavo je bilo zaznanih 24.670 negativnih razdalj ali 14,1 % vzorca, medtem ko se je numerična vrednost po poravnavi zvišala na 21,8 % oziroma na 62.886 ali 35,9 % izračunanih negativnih oddaljenosti med oblakoma prve in druge terminske izmere. Pozitivne razdalje so se zmanjšale na 112.102 oz. na 64,1 % celotnega vzorca oddaljenosti. Določili smo tudi število točk, kjer je bila izračunana oddaljenost v intervalu med -0,6 cm in 0,6 cm. Ugotovili smo, da se je število izmerjenih oddaljenosti po izvedeni fini poravnavi povečalo za 3,8 % oz. na 6.395 oddaljenosti glede na analizo pred poravnavo. Iz tega lahko ugotovimo, da se celoten skenogram prve izmere še nekoliko bolj prilega skenogramu druge izmere. Iz rezultatov lahko potrdimo smiselnost fine poravnave oblaka točk za odstranitev zasuka skenograma.

Naredili smo tudi primerjavo med rezultati izračunanih izravnanih ravnin iz obstoječega ter transformiranega skenograma po registraciji. Slika 6 prikazuje razlike med ravninama prve in druge terminske izmere, in sicer pred in po fini poravnavi skenogramov. S slike 6 je

razvidno, da smo s fino poravnavo dobili večji delež razlik v območju ± 1 mm (zeleno obarvano območje). Pred poravnavo ravnin je bilo 27,2 % razlik celotne površine analiziranega območja manjših od enega milimetra, medtem ko se je po fini poravnavi delež zvišal na 68,2 % celotne površine (izrazito povečano zeleno območje na Sliki 9.b). Po poravnavi skoraj ni videti temno modre in rdeče barve, ki predstavljata največje pozitivne oziroma negativne vrednosti razlik.



Slika 6: Prikaz razlik v izravnanih ravninah za vertikalni objekt (slika 7), in sicer: (a) pred registracijo, (b) po registraciji, (c) razlike med oblakoma po registraciji.

(B) Vertikalni element: izsek na steni lednega plezališča

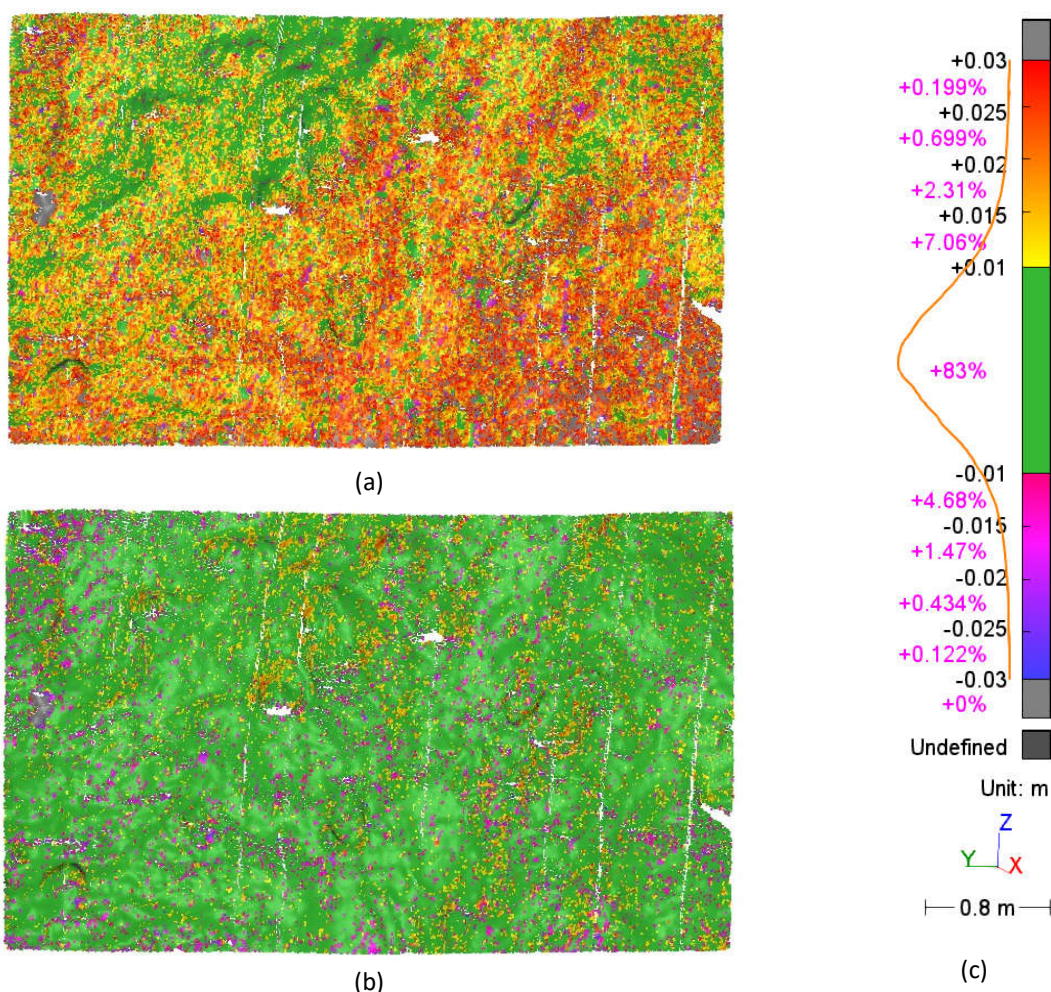


Slika 7: Izbrano območje analize na plezalni steni

Analizo smo razširili na izbrano območje na plezalni steni (slika 7), da bi naredili kontrolo kakovosti fine poravnave skenogramov za območje, ki nas je zanimalo. Testni območji smo izbrali na osnovi kriterijev:

- stabilnost območja
- nespremenjena konfiguracija terena in
- območja brez ledu in vegetacije.

Na povsem enak način kot prej smo ugotavljali kakovost registracije (georeferenciranja) skenogramov dveh izmer med sabo in morebitne zasuke zaradi neprimerne razporeditve oslonilnih točk.



Slika 8: Prikaz razlik v položajih med prvo in drugo izmero za območje plezalne stene (slika 10): (a) pred registracijo, (b) po registraciji in (c) prikaz razporeditve razlik po registraciji.

Rezultati primerjave pred in po fini poravnavi so grafično prikazani na sliki 8. Zgornja slika ponazarja oddaljenosti med oblakoma točk območja med prvo in drugo izmero pred fino poravnavo, medtem ko spodnja slika prikazuje rezultat oddaljenosti po poravnavi. Očitno je, da smo z dodatnim postopkom dosegli boljši vklop oblakov točk dveh izmer. Preglednica 2 prikazuje statistične mere razpršenosti med prvo in drugo izmero po izvedeni fini poravnavi ter primerjavo pred in po izvedeni fini registraciji skenogramov. Pozitivno vrednost razdalj je imelo 102.275 oziroma 56 % izmed vseh izračunanih oddaljenosti. Negativne vrednosti so bile pri 44 % točk vzorca (80.521 izračunanih oddaljenosti). Če

primerjamo rezultate, dobljene pred registracijo, opazimo znatno spremembo, saj se za 40,5 % vzorca povečajo negativne oddaljenosti, medtem ko se vzorcu pozitivnih oddaljenosti zmanjša obratno sorazmerno negativnemu vzorcu. Največje razlike med obema analizama dobimo pri testiranju števila točk, kjer je bila izračunana oddaljenost med -1 cm in $+1$ cm. Tu se je število izračunanih razdalj povečal za 131.321 oddaljenosti ali 71,8 % celotnega vzorca. Velika sprememba je bila zaznana tudi pri analizi oddaljenosti, ki niso presegale absolutne vrednosti dveh centimetrov. Število teh se je povečalo za 112.256 oziroma za 61,4 %.

Preglednica 2: Tabela rarična predstavitev mer razpršenosti pred in po registraciji za drugo območje plezalne stene.

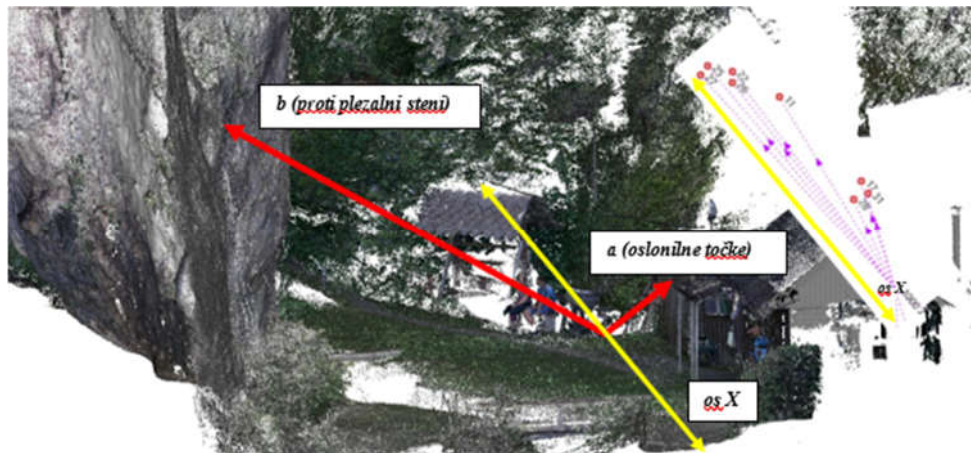
	<i>Razlika 2 .in 1.izmere (pred registracijo)</i>	<i>Razlika 2 .in 1.izmere (po registraciji)</i>	<i>Razlika pred in po registraciji</i>
Srednje vrednosti			
<i>Aritmetična sredina (\bar{x})</i>	0,013 m	0,001 m	-0,012 m
<i>Mediana (M_e)</i>	0,014 m	0,001 m	-0,013 m
<i>Največja razlika</i>	0,099 m	0,085 m	-0,014 m
<i>Najmanjša razlika</i>	-0,087 m	-0,083 m	0,004 m
<i>Standardni odklon (σ)</i>	0,011 m	0,008 m	-0,004 m
<i>Variacijski razmik (VR)</i>	0,186 m	0,185 m	-0,001 m
Razlike med točkami so v intervalu [-3 cm, 3 cm]			
<i>Število točk</i>	136.163	182.333	46.170
<i>Delež populacije</i>	74,5 %	99,7 %	25,3 %
Razlike med točkami so v intervalu $(-\infty, -3 \text{ cm}] \cup [3 \text{ cm}, \infty)$			
<i>Število točk</i>	46.633	463	-46.170
<i>Delež populacije</i>	25,6 %	0,3 %	-25,3 %
Razlike med točkami so v intervalu [-2 cm, 2 cm]			
<i>Število točk</i>	67.421	179.677	112.256
<i>Delež populacije</i>	36,9 %	98,3 %	61,4 %
Razlike med točkami so v intervalu [-1 cm, 1 cm]			
<i>Število točk</i>	20.069	151.390	131.321
<i>Delež populacije</i>	11,0 %	82,8 %	71,8 %
Razlike med točkami so v intervalu $[-\infty \text{ cm}, 0 \text{ cm}]$			
<i>Število točk</i>	6.580	80.521	73.941
<i>Delež populacije</i>	3,6 %	44,0 %	40,5 %
Razlike med točkami so v intervalu $[0 \text{ cm}, \infty \text{ cm}]$			
<i>Število točk</i>	176.216	102.275	-73.941
<i>Delež populacije</i>	96,4 %	56,0 %	-40,5 %

Z registracijo smo dosegli, da le za 1,7 % točk obravnavanega testnega območja pripišemo slabi filtraciji in šumom. Iz preglednice 2 je razvidno, da so se mere razpršenosti po fini registraciji zmanjšale glede na rezultate pred poravnavo. Primerjava med ekstremi izračunanih razlik, tj. oddaljenostmi med točkami, ostaja skoraj nespremenjena. Iz razporejenosti razlik v oddaljenostih (slika 11. c) lahko zaključimo, da so na tem testnem območju razlike med prvo in drugo terminsko izmero porazdeljene normalno. To pomeni, da smo tudi na tem območju s fino poravnavo posredno odpravili sistematične napake zaradi pomanjkljivosti razporeditve točk pri georeferenciranju skenogramov v izbrani referenčni koordinatni sistem.

Težava, ki bi jo v prihodnje potrebno razrešiti je, da se bo stena tekom zaledenitve spreminjala in bo na steni čedalje manj območij, ki bi jih lahko uporabili za poravnavo.

Zaključek

Po analizi registracije in georeferenciranja posameznega oblaka točk s pomočjo ploskovnih elementov lahko zaključimo, da bi bilo v prihodnje potrebno rešiti problem slabe razporeditve oslonilnih točk za georeferenciranje. Na podlagi kriterijev izbire območja smo za analizo izbrali dve vertikalni območji, in sicer eno izmed območij je bilo omejeno na ravno vertikalno steno lesene barake in drugo na območje plezalne stene, kjer smo želeli določiti konkretne vrednosti razlike med dvema skenogramoma. Iz rezultatov (preglednica 1 in preglednica 2) ter iz grafičnih prikazov (slika 5, slika 6 in slika 8) lahko vidimo zasuk okoli osi X (slika 9).



Slika 9: Razlaga zasuka zaradi slabe geometrije razporeditve oslonilnih točk.

Po analizi georeferenciranja bi za nadaljnje delo bilo smiselno narediti najprej optimizacijski postopek projektiranja točk geodetske mreže, ki bi jih uporabili kot oslonilne točke za georeferenciranje. Čeprav bo to v soteski težavna naloga, bomo poizkušali trajno stabilizirati točke v naravi na takih mestih, da jih ne bo prekril led. Na ta način bomo vzpostavili osnovo in ocenili kakovost določitve koordinat. Za nadaljnja spremljanja sprememb v soteski zaradi zaledenitve bi bilo smiselno uporabiti signalizacijo na retroreflektivne tarče. Dodatno bi veljalo premisliti o možnosti skeniranja z višjo ločljivostjo.

Literatura in viri

- Bezak, N., Grigillo, D., Urbančič, T., Mikoš, M., Petrovič, D. in Rusjan, S. (2017). Geomorphic response detection and quantification in a steep forested torrent. *Geomorphology*, 291, 33–44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.06.034>
- Blasone, G., Cavalli, M., Marchi, L., Cazorzi, F. (2014). Monitoring sediment source areas in a debris-flow catchment using terrestrial laser scanning. *Catena*, 23, 23–26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.07.001>
- Carrivick, J. L., Geilhausen, M., Warburton, J., Dickson, N.E., Carver, S. J., Evans, A. J. in Brown, L. E. (2013). Contemporary geomorphological activity throughout the proglacial area of an alpine catchment. *Geomorphology*, 188, 83–95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.03.029>

- Fischler M. A., Bolles R. C. (1981). Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, 24 (6), 381–395. DOI: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/358669.358692>
- He, Y., Liang, B., Yang, J., Li, S., He, j. (2017). An Iterative Closest Points Algorithm for Registration of 3D Laser Scanner Point Clouds with Geometric Features. *Sensors*, 17 (8), 1862–1898. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17081862>
- Urbančič, T., Koler, B., Stopar, B., Kosmatin Fras, M. (2014). The Influence of the Input Parameters Selection on the RANSAC Results. *International Journal of Simulation Modelling*, 13 (2), 159–170. DOI: [https://doi.org/10.2507/IJSIMM13\(2\)3.258](https://doi.org/10.2507/IJSIMM13(2)3.258)
- Urbančič, T., Vrečko, A., Kregar, K. (2016). Zanesljivost metode RANSAC pri oceni parametrov geometrijskih oblik. *Geodetski vestnik*, 60 (1), 69–97. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2016.01.69-97>
- Vericat, D., Smith, M. W., Brasington, J. (2014). Patterns of topographic change in sub-humid badlands determined by high resolution multi-temporal topographic surveys, *Catena*, 120, 164–176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.04.012>

Zahvali

Zahvaljujemo se *Društvo lednih plezalcev* iz Mojstrane, še posebej neumornemu skrbniku plezališča **Pavletu Skumavcu**, ki nam je omogočil izmero.

Prispevek je nastal v okviru raziskovalnega programa *Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije (P2-0227)* Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije – ARRS.