

Primerjava različnih rešitev naknadne obdelave trajektorije pri laserskem skeniranju z daljinsko vodenim letalnikom - primer meritve snežnih plazov v Zgornji soški dolini

Milan Kobal*

Povzetek

Snežni plazovi so v hribovitem in gorskem svetu normalen vsakoletni pojav. Manjši snežni plazovi se ob ustreznih snežnih razmerah na določenih območjih prožijo tudi večkrat letno, vendar običajno ti plazovi ne ogrožajo ljudi in njihovega premoženja. Z vidika ogroženosti človeških življenj in infrastrukture, ter varstva pred snežnimi plazovi, so zlasti pomembni snežni plazovi večjega obsega/dosega, kakršni so se sprožili tudi 22. in 23. januarja 2021 v Zgornji Soški dolini. Kljub že obsežnemu narejenemu delu na področju snežnih plazov, pa plazovitih območij, kot jih za zagotavljanje varstva pred škodljivim delovanjem voda določa Zakon o vodah, še nimamo določenih. V naslednjih letih bo tako nujno preiti iz katastra snežnih plazov (in tudi kart podvrženosti) na karte nevarnosti in ogroženosti pred snežnimi plazovi. Z namenom čim bolj točnega modeliranja gibanja snežnih plazov in izdelavi kart erozijske nevarnosti in ogroženosti smo na Katedri za krajinsko znanost in geoinformatiko Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF UL z daljinsko vodenim letalnikom fotografirali številne snežne plazove na Bovškem, z UAV fotogrametrijo izdelali 3D-modele akumulacije snega in ortofote večjega števila le-teh, izbrane snežne plazove pa smo dodatno skenirani z laserskim skenerjem YellowScan Surveyor Ultra, integriranim na daljinsko vodeni letalnik DJI M600 Pro. Ker smo v raziskavi želeli ugotoviti vpliv različnih opazovanj GNSS pri kinematični metodi izmere z naknadno obdelavo (PPK) na premik trajektorije in posledično na točnost izračunov, smo datoteke z opazovanji GNSS v RINEX obliki za različne rešitve PPK pridobili iz: a) stalno delujoče GNSS postaje SIGNAL v Bovcu b) virtualne referenčne postaje na območju snežnega plazu Zvirnik ter c) lastne bazne postaje (Leica Zeno + GNSS sprejemnik GG04 plus Smart Antenna), ki smo jo postavili na območju snežnega plazu. Podatke smo obdelali v programih Applanix POSPac, YellowScan CloudStation in CloudCompare. Glede na različne rešitve PPK smo primerjali: a) trajektorijo po horizontali in vertikali, b) ujemanje digitalnih modelov višin DMV ter c) izračunano akumulacijo snega glede na 3D-modele akumulacije snega, izdelane iz podatkov različnih rešitev PPK. Vizualna primerjava premika trajektorije glede na različne rešitve PPK kaže na razlike med analiziranimi rešitvami PPK, prav tako so prisotne razlike v digitalnih modelih višin, ki smo jih izdelali iz oblakov točk, kjer je bila trajektorija različno naknadno obdelana. Izračunan volumen akumuliranega snega se glede na različne rešitve PPK giblje med 30.276,0 m³ in 30.437,5 m³.

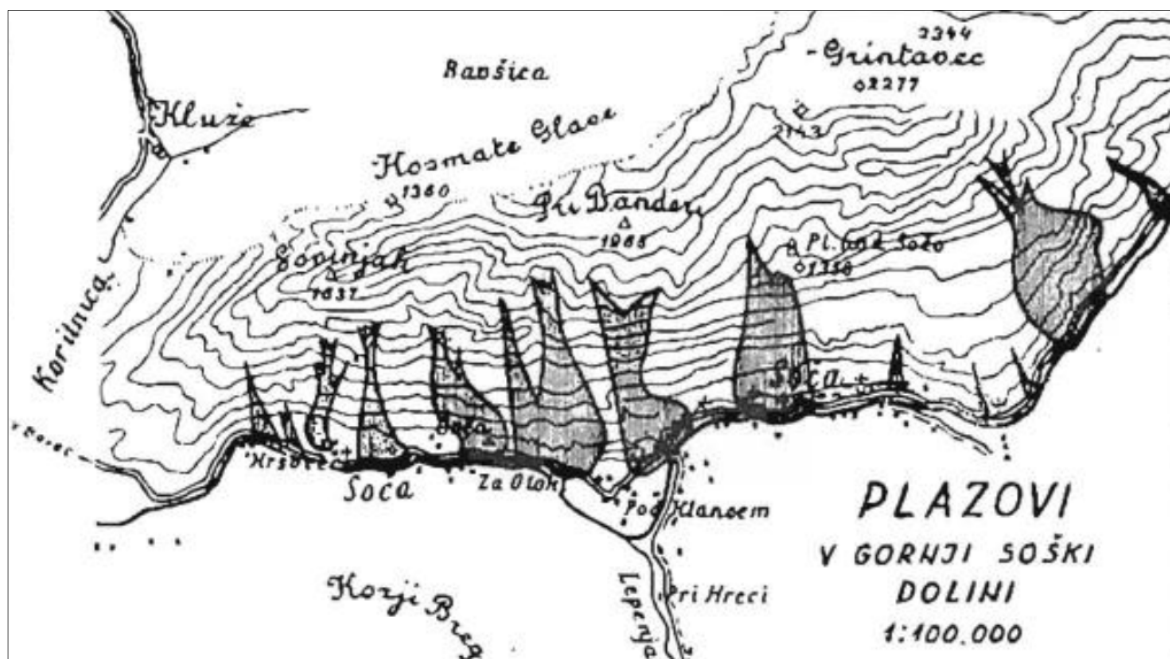
Ključne besede: snežni plazovi, laserski skener, daljinsko vodeni letalnik, kinematična metoda izmere z naknadno obdelavo PPK

Keywords: avalanches, laser scanner, unmanned aerial vehicle, post-processing kinematics PPK

* Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Večna pot 83, 1000 Ljubljana

Uvod

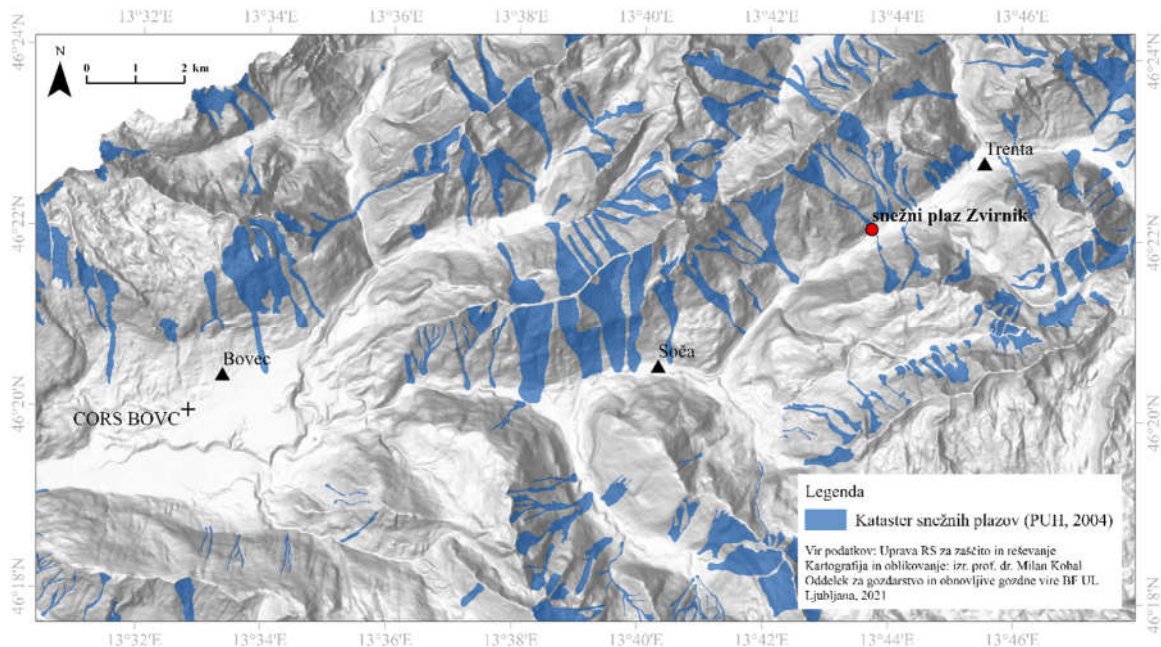
Gozdarji imamo dolgo tradicijo preučevanja snežnih plazov. Gozdarski inženir Bogdan Žagar je tako že leta 1952 v Gozdarskem vestniku objavil karto snežnih plazov v Zgornji soški dolini (Žagar, 1952), v takratnem letniku te osrednje gozdarske revije pa je o *Plazovih in zaščiti zemljišči v Soški dolini* pisal tudi Tregubov (1952), o *Zgodovini borbe proti snežnim plazovom* pa Reiner (1952). Raziskovanje snežnih plazov se je nadaljevalo na Podjetju za urejanje hudorunikov (PUH); omeniti velja študijo "Ocena ogroženosti Slovenije s snežnimi plazovi", ki sta jo financirala Uprava RS za zaščito in reševanje ter Uprava RS za varstvo narave (PUH, 1994). Za celotno območje Slovenije je bil izdelan t.i. lavinski kataster oz. kataster snežnih plazov, ki zajema 1.246 plaznic, izrisanih v merilu 1:10.000. Pomembna analiza nevarnosti in ogroženosti pred snežnimi plazovi je tudi leta 1999 izvedena študija "Zagotovitev varnosti pred snežnimi plazovi na državnih cestah republike Slovenije" (PUH, 1999). V letih 2003/2004 je bil za območje občine Bovec lavinski kataster nadgrajen in posodobljen, izdelane pa so bile tudi osnove za učinkovito izvajanje ukrepov zaščite in reševanja (PUH, 2004). Maksimalni doseg najbolj problematičnih plazov je bil preverjen s topografsko statistično metodo določanja dosega snežnih plazov. Statistično izračunani maksimalni dosegi snežnih plazov so bili vneseni v kataster snežnih plazov.



Slika 1: Prva karta najpogostejših snežnih plazov v Zgornji Soški dolini, ki je bila v prispevku Bogdana Žagarja objavljena v Gozdarskem vestniku leta 1952.

Kljub že obsežnemu narejenemu delu na področju snežnih plazov, pa plazovitih območij (zemljišča, kjer zaradi klimatskih in topografskih razlogov redno prihaja do pojava snežnih plazov ali pa obstoja velika verjetnost, da se pojavijo), kot jih za zagotavljanja varstva pred škodljivim delovanjem voda določa Zakon o vodah (Uradni list RS, št. 67/02), še nimamo določenih. V naslednjih letih bo tako nujno preiti iz katastra snežnih plazov (in tudi kart podvrženosti!) na karte nevarnosti in ogroženosti pred snežnimi plazovi, ki bodo ločeno prikazala tako območja proženja, kot območja gibanja in območja odlaganja snežnih plazov. Kataster snežnih plazov lahko pri modeliranju gibanja snežnih plazov in izdelavi kart erozijske nevarnosti in ogroženosti na občinski ravni služi kot zbirka dogodkov za grobo

kalibracijo modelov, za natančnejšo izdelavo kart pa je potrebna podrobnejša kalibracija modelov na zanesljivih meritvah snežnih plazov, ko se le-ti sprožijo. S tega vidika so zlasti pomembni snežni plazovi večjega obsega/dosega, kakršni so se sprožili tudi 22. in 23. januarja 2021 v Zgornji Soški dolini. Prav tako so ti plazovi pomembni z vidika projektiranja zaščitnih ukrepov, kjer moramo poleg verjetnosti sprožitve in dosega, poznati tudi magnitudo pojava, kar predstavlja njegov doseg oz. volumen akumuliranega snega.



Slika 2: Širše območje Zgornje soške doline z vrisanimi plaznicami snežnih plazov za občino Bovec (PUH, 2004) ter vrisano lokacijo snežnega plazu Zvirnik.

Za občino Bovec je bilo leta 2004 ugotovljeno, da je problematika ogroženosti občine zaradi proženja snežnih plazov zelo obsežna in razmeroma zahtevna. Skupno število vseh plazov je 278; od tega jih je na državnih cestah evidentiranih 52 in na občinskih 22. Poleg tega 9 plazov ogroža smučišče Kanin, 14 daljnovode, 4 stanovanjske objekte in 3 gospodarske objekte (PUH, 2004). Tudi vseh 7 snežnih plazov, ki so v dneh 22. in 23. januar 2021 zaprli prometne povezave iz Bovca proti Trenti ter Logu pod Mangartom ter na Vrsnik, so vrisani v kataster snežnih plazov in sicer pod imeni Velika Kanja (Veliki Rob, Plamenice), Grapa (Pod klancem), Širokec, Plazovi v Koritih, Na Prapreti, Zvirnik ter Pod plazom.

Z namenom čim bolj točnega modeliranja gibanja snežnih plazov in izdelavi kart erozijske nevarnosti in ogroženosti smo na Katedri za krajinsko znanost in geoinformatiko Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF UL z daljinsko vodenim letalnikom fotografirali številne snežne plazove, z UAV fotogrametrijo izdelali 3D-modele akumulacije snega in ortofote večjega števila snežnih plazov, izbrane snežne plazove pa smo skenirani z laserskim skenerjem YellowScan Surveyor Ultra, integriranim na daljinsko vodeni letalnik. Slednje predstavlja novost daljinskega pridobivanja podatkov v Sloveniji, ne le na področju preučevanja snežnih plazov. Pridobljene podatke bomo uporabili tako za podrobno kalibracijo modelov kot za validacijo kart erozijske nevarnosti in ogroženosti.

Namen prispevka je na primeru snežnega plazu Zvirnik prikazati možnosti in omejitve laserskega skeniranja z daljinsko vodenim letalnikom za izmero akumulacije snega. V ta namen smo glede na kinematično metodo izmere z naknadno obdelavo PPK trajektorije primerjali: a) trajektorijo po horizontalni in vertikalni osi, b) ujemanje digitalnih modelov

višin DMV ter c) izračunano akumulacijo snega glede na različne 3D-modele akumulacije snega.

Metode dela

Lasersko skeniranje snežnega plazu Zvirnik

Lasersko skeniranje snežnega plazu Zvirnik smo opravili 26. 1. 2021 dopoldan z laserskim skenerjem YellowScan Surveyor Ultra (Preglednica 1), nameščenim na kopter DJI M600 Pro (Slika 3) z nadgradnjo avtopilota na Pixhawk2 - ArduPilot, ki ga je razvilo in z njim upravlja podjetje OneDrone. Hitrost letenja je znašala 5 m/s, višina leta je bila 70 m nad terenom. Za načrtovanje snemalne misije smo uporabili program UgCS.

Preglednica 1: Osnovne lastnosti laserskega skenerja YellowScan Surveyor Ultra

Skener	Velodyne VLP-32
Valovna dolžina	905 nm
Natančnost / Točnost	10 cm / 5 cm
Vidno polje skenerja	360°
Število laserskih pulzov v sekundi	600.000
Inercijska merilna naprava IMU	Applanix APX-15 UAV
Masa	1,7 kg (z baterijo)

Obdelava opazovanj GNSS

Ker smo v raziskavi želeli ugotoviti vpliv uporabe različnih opazovanj GNSS na premik trajektorije pri kinematični metodi izmere z naknadno obdelavo (PPK) in posledično na točnost izračunov, smo datoteke z opazovanji GNSS v RINEX obliki za naknadno obdelavo pridobili iz:

1. stalno delujoče GNSS postaje SIGNAL v Bovcu (CORS Bovec),
2. virtualne referenčne postaje na območju snežnega plazu Zvirnik (VRS Zvirnik) ter
3. lastne bazne postaje (Leica Zeno + GNSS sprejemnik GG04 plus Smart Antenna), ki smo jo postavili na območju snežnega plazu Zvirnik na odrtem in nezasenčenem območju (BS Zvirnik).



Slika 3: Skeniranje snežnega plazu Skok v Lepeni (26. 1. 2021) z laserskim skenerjem YellowScan Surveyor Ultra, integriranim na daljinsko vodeni letalnik DJI M600 Pro.

Oddaljenost stalno delujoče GNSS postaje SIGNAL v Bovcu od snežnega plazu Zvirnik znaša 14,47 km (dolžina baznega vektorja). Čas GNSS opazovanj na točki BS Zvirnik je trajal 30 min (hitra statična metoda izmere). Obdelavo GNSS opazovanj smo opravili v programskem paketu Leica Infinity 3.6, kjer smo pretvorili tudi surova opazovanja BS Zvirnik v RINEX obliko. Trajektorijo smo obdelali v programu Applanix POSPac 8.7 UAV in sicer glede na različna opazovanja GNSS:

- rešitev **PPK₁**: opazovanja GNSS CORS Bovec (BOVC – stalna postaja SIGNAL)
- rešitev **PPK₂**: opazovanja GNSS VRS Zvirnik
- rešitev **PPK₃**: opazovanja GNSS BS Zvirnik (položaj smo določili z navezavo na VRS Zvirnik).

V Applanix POSPac smo za obdelavo trajektorije uporabili koordinatni sistem ETRS89 Universal Transverse Mercator UTM North 33 (12E to 18E) ter referenčni elipsoid GRS80. Na koncu obdelave smo višine trajektorije transformirali v SLOVRP2016-Koper, ki se nanaša na državni višinski sistem SVS2010 v datumu Koper.

Obdelavo podatkov laserskega skenerja smo izvedli v programu YellowScan CloudStation 2110, kjer smo določili snemalne redove, kot skeniranja ($-28^{\circ}/+28^{\circ}$), določili izhodni koordinatni sistem (Slovenia 1996 / Slovene National Grid) ter izvozili *.las datoteke. Poravnave snemalnih redov nismo izvedli.

Analiza podatkov

V prvem koraku smo primerjali položaj trajektorije glede na tri različne rešitve PPK (PPK₁, PPK₂, PPK₃). V prvem delu smo za izbran odsek trajektorije naredili vizualno primerjavo po koordinatnih komponentah e , n , H , v drugem delu pa smo na območju celotne trajektorije naključno izbrali 52 registracij položaja v času trajanja snemalne misije in izračunali povprečno razliko po koordinatnih komponentah e , n in H .

V drugem koraku smo na 52 naključno razporejenih celicah digitalnega modela višin (0,5 m × 0,5 m) vzdolž državne ceste Trenta – Bovec primerjali ujemanje digitalnega modela višin laserskega skeniranja Slovenije (DMV_{LSS}) z digitalnimi modeli višin, ki smo jih izdelali iz podatkov laserskega skeniranja površja s skenerjem YellowScan Surveyor Ultra (DMV_{YellowScan}) pri različnih rešitvah PPK (PPK₁, PPK₂, PPK₃). Predpostavili smo, da se nadmorska višina ceste ni spremenila, DMV_{LSS} pa kot najbolj točen (čeprav Blok 37 – tehnično poročilo o izdelavi izdelkov navaja RMS nadmorskih višin 0,11 m). Naredili smo tako vizualno primerjavo oblakov točk, kot tudi DMV. Primerjali smo raztros točk po *H* koordinatni komponenti znotraj izbranih celic ter izračunali koren srednjega kvadratnega pogreška RMSE:

$$RMSE_H = \sqrt{\frac{\sum(DMV_{LSS} - DMV_{YellowScan})^2}{n}}$$

kjer je:

- *RMSE_H* koren srednjega kvadratnega pogreška po koordinatni komponenti *H*
- *DMV_{LSS}* koordinatna komponenta *H* izbrane celice
- *DMV_{YellowScan}* koordinatna komponenta *H* izbrane celice
- *n* število izbranih celic.

V tretjem koraku smo primerjali izračunano akumulacijo snega iz podatkov laserskega skeniranja glede na različno rešitev PPK (PPK₁, PPK₂, PPK₃) kot razliko med DMV_{YellowScan} in DMV_{LSS}. Analizo smo naredili v programu CloudCompare.

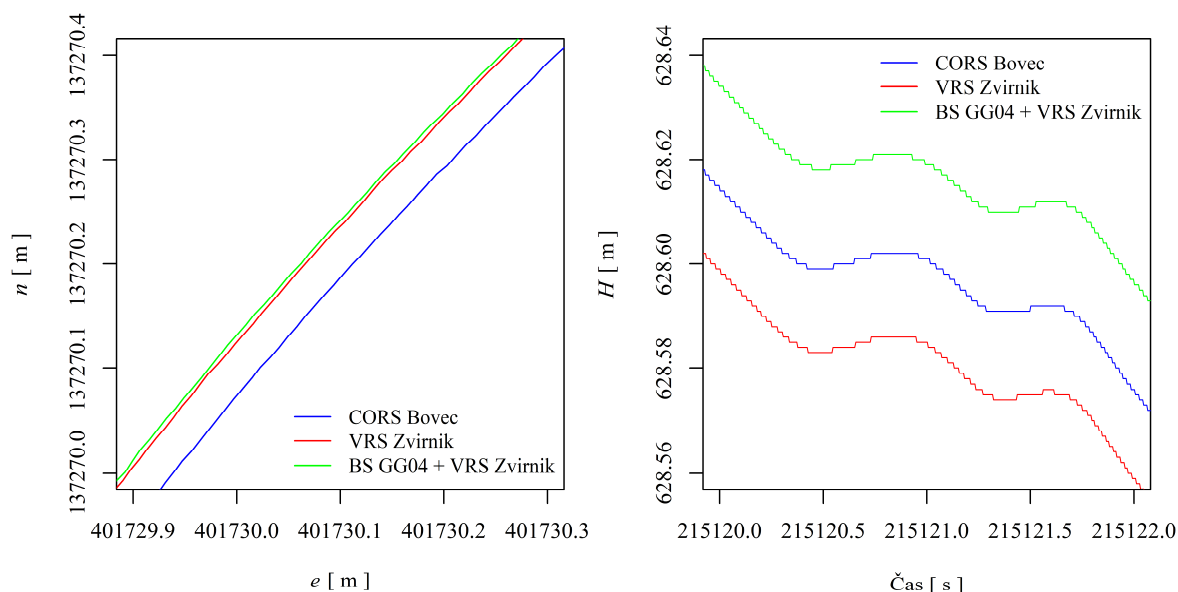
Obdelavo podatkov in statistično analizo smo opravili v programu R. Normalnost porazdelitve razlik smo testirali s Shapiro-Wilk testom. Če je bila porazdelitev normalna (*p* > 0,05), smo uporabil parni Student t-test, sicer pa neparametrični Wilcoxon signed-rank test. V programu R smo izdelali tudi grafikone, karto pa programu ArcGis Pro 2.7.

Rezultati

Območje skeniranja je velikosti 2,88 ha, snemalna misija je trajala 7 min : 35 s (vključno s časom, porabljenim za kalibracijo IMU). Skeniranje z laserskim skenerjem je trajalo 3 min : 35 s. Skupno smo posneli 16.384.186 laserskih točk, povprečna gostota laserskih točk znaša 568 točk/m², prekrivanje med snemalnimi redovi pa 50 %. Dolžina leta znaša 1.940,5 m. Območje skeniranja ne zajema celotnega območja akumulacije snega.

Primerjava trajektorije glede na rešitev PPK

Vizualna primerjava položaja trajektorije glede različne rešitve PPK kaže na razlike med izbranimi rešitvami (Slika 4). V horizontali je opazen odmik trajektorije, obdelane glede na rešitev PPK₁ (CORS Bovec), po vertikali pa je razlika največja med trajektorijo, obdelano glede na rešitev PPK₂ (VRS Zvirnik) in PPK₃ (BS GG04 + VRS Zvirnik).



Slika 4: Razlike po e , n in H koordinatnih komponentah glede na različno rešitev PPK.

Statistična analiza razlik po e in n koordinatnih komponentah glede na različne rešitve PPK (Preglednica 2) ne kaže na statistično značilne razlike ($p > 0,05$) pri primerjavi PPK₂ (VRS Zvirnik) in PPK₃ (BS GG04 + VRS Zvirnik). Med ostalimi primerjavami so razlike statistično značilne ($p < 0,05$).

Preglednica 2: Ujemanje e , n in H koordinatnih komponent glede na različno rešitev PPK v naključno izbranih registracijah položaja ($n = 52$).

Koordinatnakomponenta e [m]		...komponenta n [m]		...komponenta H [m]	
	PPK1	PPK2	PPK1	PPK2	PPK1	PPK2
PPK2	-0,026		0,008		-0,029	
PPK3	-0,024	0,002	0,011	0,003	-0,007	0,022

Po H koordinatni komponenti so razlike statistično značilne v vseh primerjavah ($p < 0,05$), največja razlika pa v povprečju znaša -0,029 m in sicer v primeru primerjave višine, ki jo dobimo pri rešitvi PPK₁ (CORS Bovec) in rešitvi PPK₂ (VRS Zvirnik).

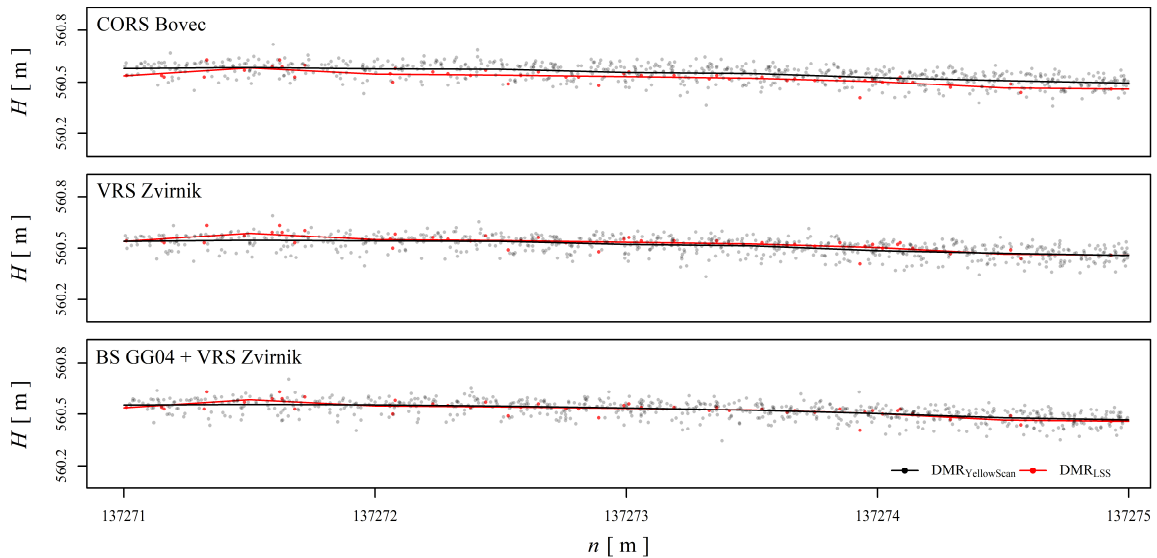
Primerjava digitalnih modelov višin glede na različne rešitve PPK in ujemanje s podatki laserskega skeniranja površja Slovenije

Digitalni modeli višin, ki smo jih izdelali iz oblakov točk, kjer je bila trajektorija različno naknadno obdelana DMV_{YellowsScan}, se med seboj razlikujejo (Preglednica 3). Največja povprečna razlika v višini naključno izbranih celicah DMV znaša -0,035 m in sicer pri primerjavi rešitve PPK₁ (CORS Bovec) in rešitve PPK₂ (VRS Zvirnik).

Preglednica 3: Ujemanje H koordinatne komponenti na izbranih celicah DMV vzdolž državne ceste Trenta - Bovec glede na različne rešitve PPK ter oblak točk LSS.

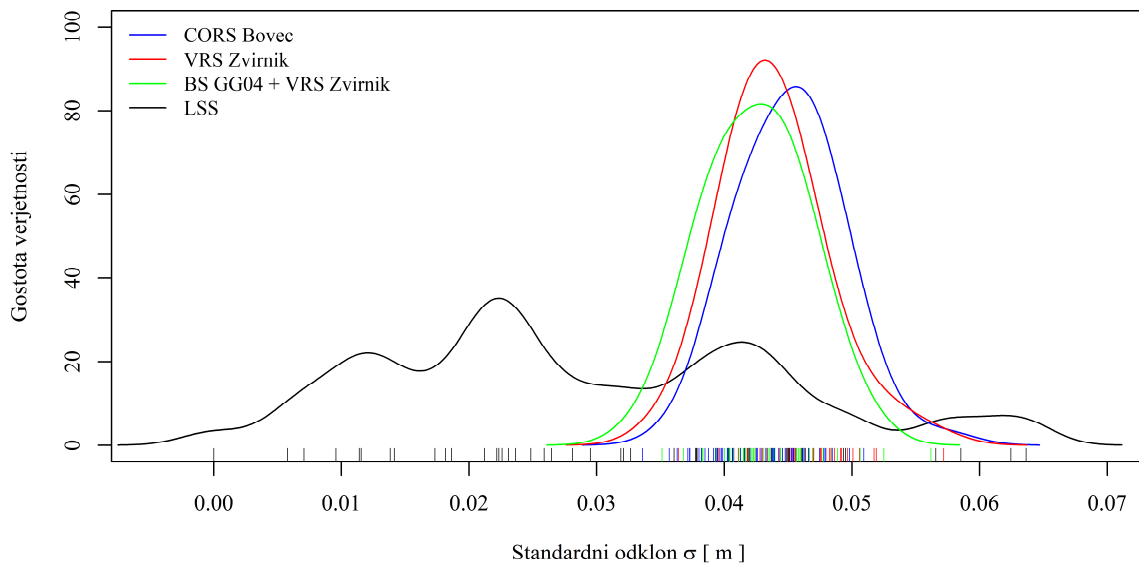
Koordinatna...	...komponenta H [m]		
Rešitev PPK	LSS	PPK1	PPK2
PPK1	0,033		
PPK2	-0,001	-0,035	
PPK3	0,015	-0,018	0,016

Statistična analiza razlik po H koordinatni komponenti na izbranih celicah DMV kaže na statistično značilne razlike ($p < 0,05$) pri vseh primerjavi, le pri primerjavi med podatki LSS in obdelavo trajektorije, pri kateri smo uporabili GNSS-opazovanja na VRS Zvirnik (rešitev PPK₂). Koren srednjega kvadratnega pogreška RMSE znaša v primeru rešitve PPK₁ = 0,040 m, v primeru rešitve PPK₂ = 0,021 m ter v primeru rešitve PPK₃ = 0,026 m.



Slika 5: Primer raztrosa laserskih točk na prerezu ceste Trenta - Bovec.

Standardni odklon σ višine znotraj izbranih celic znaša v primeru podatkov LSS v povprečju 0,028 m (od 0,006 do 0,064 m) in je najnižji. V primeru oblaka točk, obdelanega glede na rešitev PPK₁, povprečna σ višine znaša 0,045 m (od 0,037 m do 0,057 m), v primeru oblaka točk, obdelanega glede na rešitev PPK₂, znaša povprečna σ višine 0,044 m (od 0,035 m do 0,056 m), v primeru oblaka točk, obdelanega glede na rešitev PPK₃, pa je povprečna σ višine 0,042 m (od 0,034 m do 0,051 m).



Slika 6: Standardni odklon σ višine znotraj izbranih celic glede na različno rešitev PPK.

Izračun akumulacije snega glede na različne rešitve PPK

Izračunan volumen akumuliranega snega znaša v primeru izdelave DMV glede na rešitev PPK₁ največ in sicer 30.437,5 m³. Če uporabimo DMV, ki ga izdelamo glede na PPK₂, je izračunan volumen akumulacije snega najnižji in znaša 30.276,0 m³. V primeru rešitve PPK₃ znaša izračunan volumen akumuliranega snega 30.355,3 m³.

Razprava

Namen prispevka je prikazati možnosti in omejitve uporabe laserskega skeniranja površja z daljinsko vodenim letalnikom na območju akumulacije snega, kjer pogoji za kakovostna GNSS opazovanja niso izpolnjeni (zaprte in ozke doline). Tak primer predstavlja tudi območje snežnega plazu Zvirnik, ki v primeru te raziskave predstavlja testni objekt. Raziskav o laserskem skeniranju z daljinsko vodenimi letalniki na območju Slovenije pri pregledu literature nismo našli, tudi v tujini so tovrstne raziskave še vedno redke.

Rezultati višinske točnosti na primeru snežnega plazu Zvirnik so primerljivi rezultatom, ki jih za YellowScan Surveyor Ultra navajata Lee in Park (2019) in sicer znaša razlika DMV od izmerjene vrednosti do 0,05 m - v našem primeru se RMSE giblje med 0,021 m (PPK₂) in 0,040 m (PPK₁). Nekoliko slabše ugotovitve (RMSE = 0,070 m) za snemalno višino 70 m, kakršna je bila tudi v našem primeru, poročajo Štroner in sod. (2021) za DJI Zenmuse L1. Boljše rezultate (sicer na snemalni višini 10 m oz. 25 m) za Riegl miniVUX-SYS poročajo Dreier in sod. (2021), kjer se RMSE_z giblje med 0,012 m in 0,017 m.

V nasprotju z ugotovitvami Dreier in sod. (2021) je (presenetljivo) ne najvišja točnost DMV (če predpostavimo, da je DMV iz podatkov LSS točen) pri najkrajši dolžini baznega vektorja - če trajektorijo obdelamo iz GNSS opazovanj lastne bazne postaje na območju plazu, njen položaj pa določimo s hitro statično metodo izmere (čas opazovanja je 30 min) in naknadno obdelavo (PPK₃). Razlog za nižjo točnost tega DMV je najverjetneje netočno določen položaj bazne postaje, saj je povprečna vrednost PDOP v tem času znašala 7,0 (od 2,9 do 16,8).

Volumni akumuliranega snega se glede na rešitev PPK razlikujejo za 161,5 m³ oz. 0,5 %. Arbitrarno določiti sprejemljivo mejo seveda ni smiselno, poudariti pa velja prednost, ki ga ima UAV lasersko skeniranje pred UAV fotogrametrijo na območju tistih snežnih plazov, ko se sneg odloži tudi pod krošnje dreves, kjer fotogrametrično izdelan oblak točk ne daje pravih rezultatov, zlasti če so tam prisotni iglavci.

Literatura

- Dreier A., Janßen J., Kuhlmann H., Klingbeil L. 2021. Quality Analysis of Direct Georeferencing in Aspects of Absolute Accuracy and Precision for a UAV-Based Laser Scanning System. *Remote Sensing* 13(18), 3564, <https://doi.org/10.3390/rs13183564>
- Lee K. W., Park J. K. 2019. Comparison of UAV Image and UAV LiDAR for Construction of 3D Geospatial Information. *Sensors and Materials*, 31(10), str. 3327–3334.
- PUH 2004. Izdelava ocene ogroženosti s snežnimi plazovi in ukrepov zaščite in reševanja ob povečani ogroženosti s snežnimi plazovi - na vzorčni občini Bovec, končno poročilo, 61 str.
- PUH, 1994. Ogroženost Slovenije s snežnimi plazovi. Podjetje za urejanje hudournikov, Ljubljana, april 1994, študija.
- PUH, 1999. Zagotovitev varnosti pred snežnimi plazovi na državnih cestah Republike Slovenije. Študijska naloga, št. projekta IV-108/1999, DARS, Ljubljana.
- Rainer F. 1952. Iz zgodovine borbe proti snežnim plazovom, *Gozdarski vestnik, letnik X*, str. 39-64.

- Štroner M., Urban R., Línková L. 2021. A New Method for UAV Lidar Precision Testing Used for the Evaluation of an Affordable DJI ZENMUSE L1 Scanner. *Remote Sensing*, 13(23), 4811; <https://doi.org/10.3390/rs13234811>
- Tregubov V. 1952. Plazovi in zaščita zemljišča v Soški dolini, *Gozdarski vestnik*, letnik X, str. 65-74.
- Uradni list RS 2002. Zakon o vodah. Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdrI-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15 in 65/20
- Žagar B. 1952. O snežnih plazovih LRS, *Gozdarski vestnik*, letnik X, str. 289-298.