

OPAZOVANJE POBOČNIH PROCESOV Z BREZPILOTNIM LETALNIKOM NA PRIMERU PLAZOV V SLOVENSКИH GORICAH

dr. Rok Ciglič, dr. Mateja Ferk

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

rok.ciglič@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3517-3780>

mateja.ferk@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0145-7590>

Gábor Nagy

University of Pécs, Faculty of Sciences, Institute of Geography and Earth Sciences

gnagy@gamma.ttk.pte.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1755-9719>

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_08

UDK: 911.2:551.435.62(497.41)

528.8:551.435.62(497.41)

IZVLEČEK

Opazovanje pobočnih procesov z brezpilotnim letalnikom na primeru plazov v Slovenskih goricah

V prispevku predstavljamo prve rezultate analize manjšega plazovitega območja z dvema plazovoma v Slovenskih goricah s pomočjo brezpilotnega letalnika. Namen prispevka je analizirati pobočne procese ter določiti obseg in osnovne značilnosti plazov na območju. Avgusta 2019 in januarja 2020 smo na območju izvedli snemanje plazov z letalnikom, nato pa smo z obdelavo posnetkov pripravili digitalni model površja in izpeljane podatkovne sloje, kot so naklon, senčen relief, delež vidnega neba in ortorektificiran posnetek. Z interpretacijo omenjenih slojev smo določili obseg plazov ob zadnjem snemanju (januar 2020), s primerjavo višin površja ob obeh snemanjih pa smo za obdobje zadnjih 6 mesecev zaznali tudi nekaj manjših sprememb na površju.

KLJUČNE BESEDE

geografija, geomorfologija, plazovi, erozija, geografski informacijski sistemi, daljinsko zaznavanje, brezpilotni letalnik, Šentilj v Slovenskih goricah

ABSTRACT

Observation of slope processes using an unmanned aerial vehicle at the landslide sites in Slovenske Gorice Hills

The paper reports preliminary results of measurements with an UAV of an area with two landslides in the Slovenske Gorice Hills. The main aim of the chapter is to analyse the slope processes in order to determine the extent and main characteristics of the landslide area. The measurements of the landslides with an UAV were carried out in August 2019 and January 2020. Based on the aerial images digital surface models and additional digital data layers were created, i.e. slope inclination, hill-shade and sky view factor maps, and orthophotos. The current extent and characteristics of the landslides were determined based on the measurements in January 2020. The comparison of both measurements enabled us to identify minor landmass movements in the period of 6 months.

KEY WORDS

geography, geomorphology, landslides, erosion, geographic information systems, remote sensing, unmanned aerial vehicle, Šentilj v Slovenskih goricah

1 Uvod

Zemeljsko površje se nenehno prilagaja razmeram in spremembam okoljskih dejavnikov. Opazovanje pobočnih procesov, na primer plazov (Komac in Zorn 2007; Zorn in Komac 2008), zahteva beleženje dogodkov v preteklosti (Bevan s sodelavci 2017; Cignetti s sodelavci 2019; Józsa s sodelavci 2019) ter kontinuirano oceno obsega nestabilnih pobočij, oceno premikanja, značilnosti oblikovanosti površja in njegovega preoblikovanja, na primer zaznavo razpok. Ustrežno raziskovanje pobočnih procesov, kot so na primer plazovi, lahko pripomore k učinkovitemu ukrepanju v času, ko pride do neželenega pojava, ter opozori na najbolj prizadeta območja (Cignetti s sodelavci 2019).

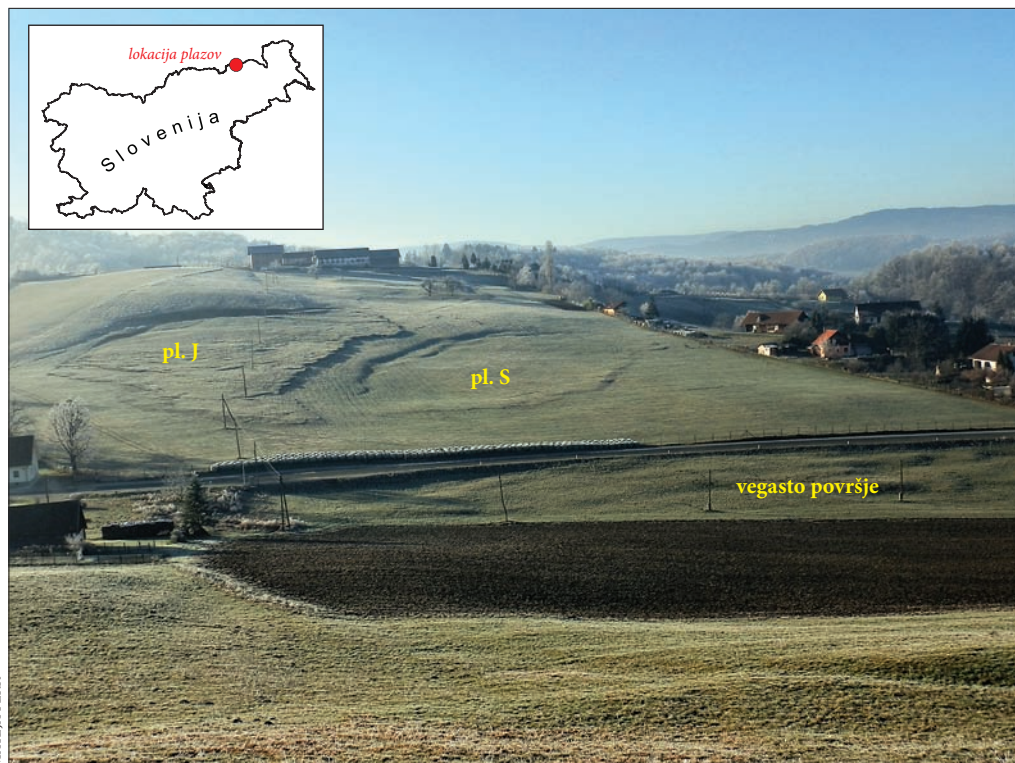
Vede, ki preučujejo okolje, za modeliranje pokrajine uporabljajo daljinsko zaznavanje ter postopke, kot sta metodi grajenja strukture iz gibanja (angleško *Structure-from-Motion* – SfM) in stereo z več pogledi (angleško *Multi-View Stereo* – MVS), s katerima računalniško obdelajo posnetke pokrajine z raznih terestičnih ali zračnih vozil, na primer brezpilotnih letalnikov (Meinen in Robinson 2020). S pomočjo teh tehnik lahko pripravimo oblak točk in analiziramo aktivne plazove z zmernim finančnim vložkom (Carrivick in Smith 2019; Cignetti s sodelavci 2019). Podatki, pridobljeni s pomočjo letalnika na neporaslem območju, kot je na primer kamnolom, so v primerjavi z laserskim skeniranjem primerljive kakovosti (Beretta s sodelavci 2018). Prednost letalnikov so hitra priprava na let, visoka ločljivost fotografij in uporabnost na težje dosegljivih terenih (Rossi s sodelavci 2018). Letalniki so posebej primerni, ko potrebujemo produkte, na primer model površja, v ločljivosti nekaj decimetrov ali centimetrov (Cignetti s sodelavci 2019). Letalniki so manj primerni pri zajemanju podatkov na obsežnem območju (Giordan s sodelavci 2015 navaja velikost območij do 0,5 km²), saj imajo krajši čas letenja zaradi omejitev baterije, letalnik pa mora biti znotraj dovoljene oddaljenosti od operaterja. Pri letalnikih, ki so opremljeni s fotoaparatom, moramo upoštevati, da rastje zastira relief, zato v primerih bujnega rastja pogosto ne moremo pridobiti kakovostnih podatkov o samem reliefu.

Objavljenih je več primerov opazovanja plazov oziroma erozije (Stumpf s sodelavci 2013; Lucieer s sodelavci 2014; Peterman 2015; Dugonjić Jovančević s sodelavci 2016; Fernández s sodelavci 2016; Bevan s sodelavci 2017; Gupta in Shukla 2017; Peternel s sodelavci 2017; Rossi s sodelavci 2018; Cignetti s sodelavci 2019) ter tudi drugih pokrajinskih elementov, na primer vodnih teles (Carrivick in Smith 2019) in rastja (Fawcett s sodelavci 2019). Pregled nad uporabo daljinsko vodenih zračnih plovil na področju naravnih nesreč je pripravil Giordan s sodelavci (2018), širši razvoj in zgodovino uporabe letalnikov pri daljinskem zaznavanju pa Colomina in Molina (2014). Casagrande, Sik in Szabó (2018) so predstavili še dodatne možnosti uporabe letalnikov v geografiji. Nekatere od omenjenih študij so na podlagi posnetkov analizirale trenutno stanje in opravile vizualno interpretacijo obsega in reliefnih značilnosti plazu (na primer Bevan s sodelavci 2017; Gupta in Shukla 2017), nekatere pa so tudi opravile več snemanj in tako zabeležile premike s pregledom ortofoto posnetkov (na primer Lucieer s sodelavci 2014). Pogosto opazovanja kontrolirajo s tahimetričnimi meritvami pritrjenih oznak, uporabo računskega določanja premikov in/ali korelacijo posnetkov (Lucieer s sodelavci 2014; Peterman 2015; Fernández s sodelavci 2016; Peternel s sodelavci 2017).

V prispevku predstavljamo prve rezultate zajema zračnih posnetkov z brezpilotnim letalnikom na manjšem območju Slovenskih goric, s katerimi smo v okviru projekta *Primerni ekološki ukrepi na področju poplavne nevarnosti v hribovitem območju Madžarske in Slovenije* analizirali pobočne procese ter z njimi povezani erozijo in odtokanje vode. V sorodnih raziskavah je bilo opozorjeno na velik vpliv erozije in plazov na pokrajino ter pomen preventivnega zadrževanja vode v povirnih delih. Celotna pokrajina je namreč zelo dovzetna za pojavljanje plazov in hitro odtokanje vode (Pipan in Kokalj 2017; Deriaz s sodelavci 2019; Ferk s sodelavci 2020). Namen prispevka je preveriti uporabnost zajema podatkov z letalnikom pri opazovanju pobočnih procesov ter določiti obseg in osnovne značilnosti plazenja, kjer so v preteklosti že zaznali očitne premike gradiva na pobočju.

2 Raziskovalno območje

Slovenske gorice so gričevnata pokrajina med rekama Dravo in Muro na severovzhodu Slovenije ter predstavljajo del zahodnega roba Panonske kotline (Perko 1998). Najvišji vrhovi gričevja segajo do nadmorske višine okoli 400 m. Kamninska podlaga so miocenske sedimentne kamnine (Kert 1959; Žnidarčič in Mioč 1987; Pleničar, Ogorelec in Novak 2009), zlasti lapor, ki se menjava z glinavci, peščenjaki in konglomerati; ponekod se pojavlja litotamnijski apnenec. V dolinskih dneh so nasipane kvartarne rečne naplavine, ki oblikujejo široke naplavne ravnice. Zaradi slabe odpornosti kamnin na preperevanje so erozija in pobočni procesi intenzivni. Po izračunih Hrvatina s sodelavci (2019), ki so uporabili enačbo po Pintarju, Mikošu in Verbovšku (1986), se na območju Slovenskih goric letno v povprečju na vsakem km² sprosti 1032 m³ sedimenta oziroma 16,5 t/ha. Padavin je glede na slovenske razmere malo; v tej celinski regiji (Ogrin 1996) je po podatkih Agencije Republike Slovenije za okolje v obdobju 1981–2010 padlo okoli 980 mm padavin na leto, povprečna temperatura za januar in julij pa sta bili –1,1 °C oziroma 20,1 °C. Vodni odtok skozi leto variira, najvišji je med močnimi nalivi in taljenjem snega (Kert 1998), v času manjše količine padavin in večje evapotranspiracije pa manjši vodotoki tudi presahnejo (Kolbezen 1998). Hudourniške poplave so značilne med močnimi nalivi poleti in jeseni (Trobec 2016). V obdobju 1961–2016 se je količina padavin v jesenskih in zimskih mesecih rahlo povečevala, število dni s snegom pa zmanjšalo (Žiberna 2017); to ob manjši evapotranspiraciji pomeni večjo nevarnost za poplave (Ferk s sodelavci 2020) in zmanjšano stabilnost pobočij oziroma pospeševanje pobočnih procesov.



Slika 1: Stanje plazovitega pobočja jugovzhodno od Šentilja decembra 2012 (južni plaz – pl. J, severni plaz – pl. S). Stojišče fotografiranja je severovzhodno od pobočja.

Panonska gričevja, tudi Slovenske gorice, imajo delež gozda pod slovenskim povprečjem. Gozd obsega približno tretjino površja, nekaj odstotkov pa je površin v zaraščanju (Kert 1998; Ciglič in Nagy 2019). Velik del je namenjen kmetijstvu. Nekateri vinogradi na najbolj strmih pobočjih se zaraščajo (Deriaz s sodelavci 2019), kar zmanjšuje erozijo, ponekod pa lastniki ne vzdržujejo ali celo opuščajo terasirane vinograde in jih spreminjajo v vertikalne, kar erozijo povečuje (Pipan in Kokalj 2017).

Slaba odpornost kamnin na preperevanje (Hrvatina s sodelavci 2019), neugodna raba tal (Kert 1998; Pipan in Kokalj 2017; Ciglič in Nagy 2019; Deriaz s sodelavci 2019), pojav intenzivnih kratkotrajnih padavin (Kert 1998; Trobec 2016) ter spreminjanje podnebnih razmer (Žiberna 2017) so dejavniki, ki pospešujejo odtokanje vode, erozijo in s tem tudi bolj aktivne pobočne procese (na primer plazove).

V raziskavi smo opravili analizo pobočnih procesov v severozahodnem delu Slovenskih goric, kjer smo izbrali nestabilno pobočje z dvema plazovoma (slika 1; južni plaz – pl. J in severni plaz – pl. S). Območje se uporablja kot pašnik in je poraslo s travo, kar je za opazovanje z letalnikom, ki je opremljen s fotografskim aparatom, pomembno, saj za razliko od tehnologije laserskega skeniranja takšen zajem podatkov (fotografiranje) ne more prodreti skozi rastje do tal. Opazovano pobočje je približno kilometer jugovzhodno od naselja Šentilj. Ima severno ekspozicijo in se razteza na nadmorskih višinah med 310 in 360 m. Povprečen naklon pobočja je približno 8°.

V 20. stoletju je bilo preučevano pobočje zasajeno s sadnim drevjem. Sadje so v sokove, žgane pijače in kis predelovali v Šentilju (Jelenko 2009; Oset, Berberih Slana in Lazarevič 2010). Po propadu sadno-predelovalne industrije v 90. letih 20. stoletja sta se prodaja in odvzem sadnih pridelkov drastično zmanjšala, zato so bili sadovnjaki večinoma posekani. Tudi na preučevanem pobočju, ki je v lasti Kmetijsko gozdarskega zavoda Maribor, je bil med leti 2004 in 2005 posekan sadovnjak. Na pobočju so nameravali sprva urediti njivo, a se je po odstranitvi sadnega drevja sprožil zemeljski plaz, zato je pobočje primerno le za pašniško rabo. Nestabilno in plazovito pa bi naj bilo pobočje že v času, ko je tam še rasel sadovnjak, na kar so kazali zamiki v vrstah sadnega drevja, ki so bile ponekod zamaknjene za okoli 4 m (Bratkovič 2020).

Plazova smo analizirali med 20. 8. 2019 in 31. 1. 2020. V tem obdobju so na postaji Agencije Republike Slovenije za okolje na Šentilju zabeležili 352 mm padavin, ob tem so zabeležili 14 dni s prek 10 mm padavin, od tega štirikrat celo prek 20 mm. Vsaj en mm padavin je padlo še 24 krat (medmrežje 1).

3 Metode

3.1 Analiza plazanja in primerjava stanj

V prvi fazi smo na letalskih posnetkih, pripravljenih digitalnih modelih višin laserskega skeniranja (slika 2) in fotografijah iz lastnega arhiva (slika 1) določili osnovne geomorfološke in morfometrične značilnosti plazovitega pobočja.

Na podlagi snemanja z brezpilotnim letalnikom smo za podrobnejše geomorfološke analize ter ugotavljanje hitrosti pobočnih procesov izdelali lastne digitalne modele površja (glej poglavje 3.2) in vizualno določili obseg zemeljskega plazu (podoben pristop so uporabili Fernández s sodelavci 2016 ter Cignetti s sodelavci 2019). Z nadaljnjo analizo smo izmerili morfometrične značilnosti plazovitega dela pobočja. V ta namen smo iz nadmorske višine izračunali ukrivljenosti površja (vzdolžno, prečno, skupno), naklon ter izvedli analitično senčenje površja. S pomočjo programa RVT (Zakšek, Oštir in Kokalj 2011; Kokalj in Somrak 2019) smo pripravili tudi prikaz površja z izračunom deleža vidnega neba. Oba posnetka smo med seboj primerjali tudi tako, da smo izračunali razliko med višino površja leta 2020 in višino leta 2019. Za posnetek iz leta 2020 smo preizkusili tudi določitev smeri površinskega vodnega toka, pri tem pa smo uporabili standarden postopek, ki vsebuje pripravo ustreznega digitalnega modela površja ali reliefa ter določanje smeri in akumulacije toka (Zhou, Wei in Fu 2019). Uporabili smo *ArcGIS Desktop*, in sicer orodji za določitev smeri toka (angleško *flow direction*) in akumulacijo toka (angleško *flow accumulation*). Pred tem izračunom smo zapolnili vse depresije, ki so bile manjše kot ocenjena natančnost modela.

3.2 Priprava podatkov fotografiranja z brezpilotnim letalnikom

Terenski zajem podatkov smo opravili 20. 8. 2019 ter 31. 1. 2020. Pri vsakem snemalnem dogodku smo opravili fotografiranje s pomočjo brezpilotnega letalnika, *DJI Phantom 4 Pro*, s katerim smo na izbranem plazovitem pobočju (celotno območje, ki smo ga posneli je veliko približno 7 ha) posneli več sto fotografij. Posnetki so bili opravljeni s kamero, ki je del standardnega modela letalnika (FC6310; 8,8 mm), pod kotom 90° (preglednica 1). Giordan s sodelavci (2015) je predlagal, da se pri blagih naklonih pobočja (do 40°) uporablja navpične posnetke. Za izboljšanje natančnosti umestitve posnetkov v prostor je treba na območju snemanja postaviti oslonilne točke (angleško *ground control points*) in jim odmeriti natančno lokacijo (Cignetti s sodelavci 2019). Po celotnem območju smo zato ob vsakem snemanju razmestili oslonilne in kontrolne točke ter določili njihovo lokacijo s sprejemnikom GNSS Leica Zeno 20 in anteno AS10. Omenjena oprema s povezavo RTK (angleško *real-time kinematic*) nam je omogočila beleženje lokacij točk na terenu z natančnostjo 1 cm.

Zbrane posnetke smo nato obdelali v programu *Metashape Professional*, po postopku, ki so ga opravili tudi v drugih raziskavah (Bevan s sodelavci 2017). Najprej smo posnetke neustrezne kakovosti izločili. Opravili smo tudi kalibracijo kamere s pomočjo črno-bele šahovnice ter izmerjene vrednosti upoštevali pri obdelavi posnetkov. Posnetke smo postavili v prostor ter določili ključne točke oziroma izdelali surov oblak točk (angleško *sparse cloud*). Nato smo vnesli koordinate (x, y, z) izmerjenih oslonilnih in kontrolnih točk ter nato vsako točko na vsakem posameznem posnetku, na kateri je vidna oslonilna ali kontrolna točka, poravnali na središče izmerjenih koordinat. Tako poravnani posnetki in surov oblak točk se uporabijo pri metodi stereo z več pogledi za pripravo gostega oblaka točk (angleško *dense cloud*) in nadalje digitalnega modela površja (DMP) in ortorektificiranega posnetka oziroma ortofota (Peternel s sodelavci 2017; Cignetti s sodelavci 2019). Izraz digitalni model površja uporabljamo, ker nismo izločili sloja trave na območju, zato ne moremo sloja označiti kot digitalni model reliefa. Beleženje točk na terenu in končni produkti so bili pripravljene v koordinatnem sistemu D96.

Preglednica 1: Podatki snemanj z brezpilotnim letalnikom.

datum snemanja	20. 8. 2019	31. 1. 2020
tip letalnika	DJI Phantom 4 Pro	DJI Phantom 4 Pro
število fotografij	487	251
ocenjena višina leta	116 m	109 m
ločljivost	2,9 cm/piksl	2,76 cm/piksl
število fotografij na posamezno celico	> 9	> 9
število oslonilnih točk (ocenjena napaka)	10 (10,12 cm)	10 (4,28 cm)
število kontrolnih točk (ocenjena napaka)	2 (6,27 cm)	2 (6,51 cm)

4 Rezultati in razprava

4.1 Analiza geomorfoloških značilnosti zemeljskih plazov

Iz podatkov laserskega skeniranja leta 2014 (slika 2c) in ortofota iz obdobja 2009–2011 (slika 2b) je razvidno, da na pobočju obstajata dve izrazitejši območji plazenja, hkrati pa je vegasto površje opazno tudi severno od plazov in severno od ceste. Nestabilno, vegasto površje je opazno tudi že na letalskih posnetkih iz leta 2006 (slika 2a), še preden je prišlo do sprožitve zemeljskega plazov. To potrjuje opažanja domačinov, da je bilo pobočje podvrženo polzenju tal že v času, ko ga je še preraščal sadovnjak

(Bratkovič 2020). Nekdanje visokostebelno sadno drevje so v 2. polovici 20. stoletja nadomestili z nizko stebelnimi drevesi in na njih pridelovali sadje za sadno industrijo Slovenskih goric (Oset s sodelavci 2010; Bratkovič 2020). Vendar imajo nizko stebelna sadna drevesa plitvejšo korenine, ki so manj učinkovite za črpanje vode iz tal in stabilizacijo zemljine kot višja drevesa. Po raziskavi Sidleja in Terryja (1992) se zaradi odstranjenih dreves in propadajočih korenin stabilnost pobočij močno spremeni po 2 do 12 letih, kar se povsem ujema s procesi na opazovanem pobočju. Po odstranitvi sadovnjaka v letih 2004 in 2005, so se pobočni procesi še pospešili in prerasli v zemeljski plaz. Leta 2008, 3 leta po odstranitvi sadnega drevja, sta se na pobočju sprožila dva plazova, ki ju je najemnik zemljišča poskušal sanirati. Plazini so strojno prekopali in izravnali ter vstavili drenažne cevi 7 m globoko pod glavo južnejšega plazua (Bratkovič 2020). Sanacija ni bila uspešna, saj je bila usmerjena v zgolj manjši del plazua. Že v naslednjem letu je najemnik opazil nove premike zemljine. Južnejši plaz (slika 2; pl. J) je višje na pobočju, globlji in obsežnejši (okoli 12.000 m²). Severnejši plaz (slika 2; pl. S) je manj izrazit in manj obsežen (okoli 7500 m²). Vizualna analiza geomorfoloških značilnosti plazua po fotografijah iz leta 2012 (slika 1) kaže, da gre v obeh primerih za translacijski tip zemeljskega plazua (Varnes 1978). Zdrsnilo je zgornjih nekaj metrov preperine v enem kosu, ki predvidoma drsita vzporedno s pobočjem po neprepustni lapornati podlagi (Žnidarčič in Mioč 1987; Pleničar, Ogorelec in Novak 2009) z minimalnim krožnim gibanjem.

Zajem posnetkov plazov z letalnikom in njihova pretvorba v DMP je omogočila nadaljnje podrobnejše geomorfološke in morfometrične analize. S pomočjo vizualizacije – prikazom senčenege površja in izračunanih podatkovnih slojev, predvsem ukrivljenosti, naklona in deleža vidnega neba – smo lahko natančno zamejili območji plazov. Ob zadnjem snemanju (januarja 2020) je južnejši plaz meril 12.354 m², severnejši pa 7493 m². Na prikazu senčenega površja in naklonov je na obeh zemeljskih plazovih možno ločiti med različnimi deli plazua ter identificirati značilne pojave na plazinah samih (sliki 3 in 4). Večji, južnejši plaz je kompleksnejši z bolj razgibano površino plazine (slika 4). Zgornji odlomni rob plazua je dolg 136 m in visok 3 m, širina zdrsne ploskve pa v najvišjem delu plazua meri 9 m. Telo plazine je dolgo do 150 m. Zlasti v spodnji polovici plazua se pojavljajo številne prečne razpoke, kotanje, grude in narivne gube. Manjši, severnejši plaz je enostavnejši zdrs preperine, ki je ostala v enem kosu (slika 4). Zgornji odlomni rob plazua je dolg 180 m in visok 1,6 m. Širina zdrsne ploskve ob čelu plazua zelo variira in je največ do 4 m široka. Telo plazine je dolgo do 75 m. Na površini plazua se pojavlja le nekaj prečnih razpok, kotanj in grud, le ob peti narivanja je oblikovana izrazitejša narivna guba.

Pridobljene podatkovne sloje smo za zadnje stanje uporabili tudi na primeru uporabe bolj naprednih geoinformacijskih analiz, s katerim smo ocenili pot oziroma stekanje površinske vode (slika 5). Princip akumuliranja vodnega toka na podlagi seštevanja je preprost način simulacije stekanja vode v naravi, a je lahko uporaben za oceno erozije oziroma služi kot vreden podatek za modeliranje erozije in hidroloških procesov (Meijerink, van Lieshout in Rahnama Mobareke 1996; Zhou, Wei in Fu 2019). Daljše linije stekanja in zato tudi močnejšo erozijo je mogoče pričakovati ob jugovzhodnem robu vsakega od obeh plazov. Sicer pa je stekanje na plazua dokaj enakomerno porazdeljeno brez vidnega večjega stekanja vodnih poti in oblikovanja erozijskih jarkov.

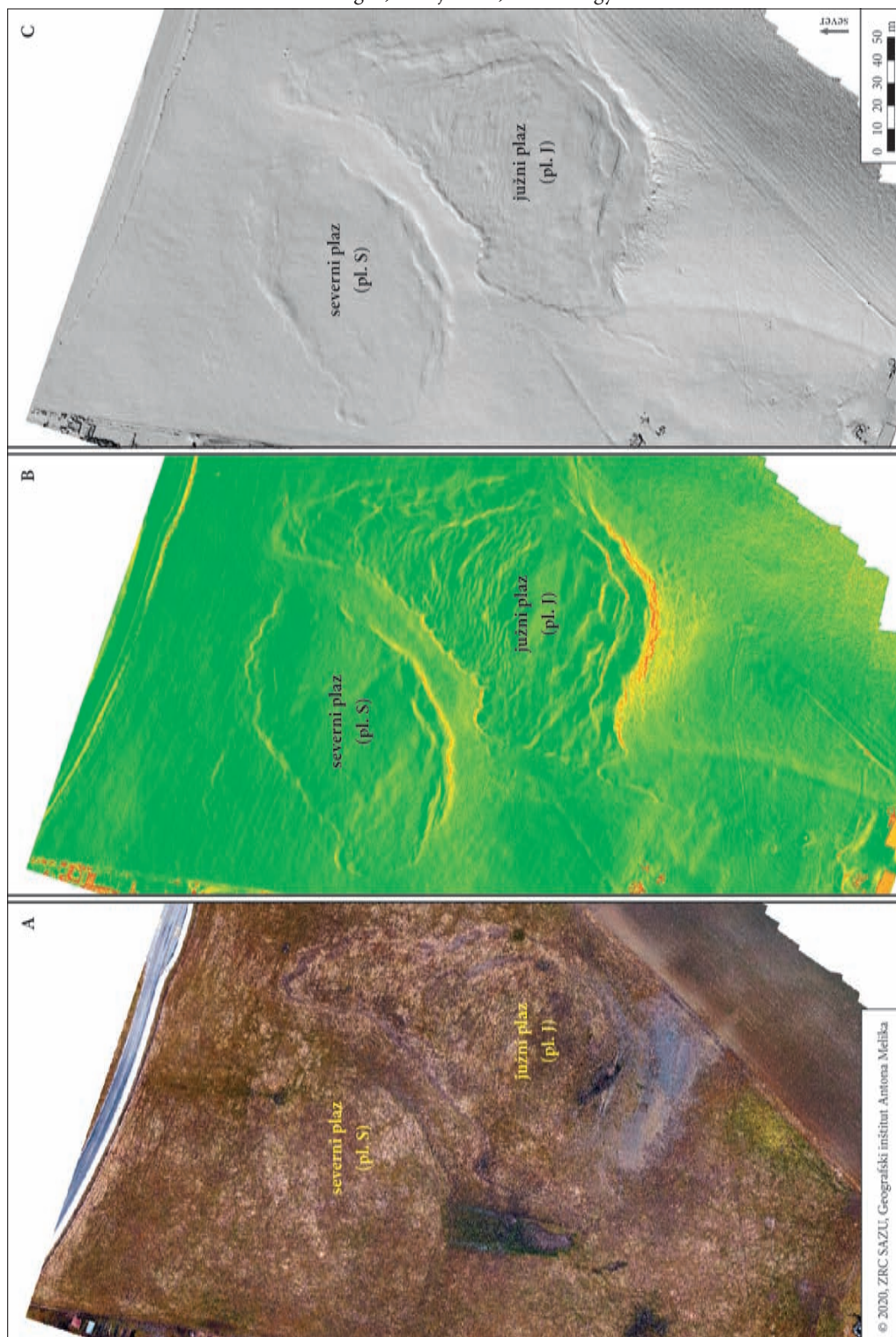
Slika 2: Prikazi preučevanega pobočja v preteklosti (južni plaz – pl. J, severni plaz – pl. S): a) pobočje pred sprožitvijo plazov (ortofoto iz snemanja v letu 2006), b) pobočje po sprožitvi plazov (ortofoto iz snemanja v letih 2009–2011), c) senčen relief (lasersko skeniranje iz leta 2014). ►

Slika 3: Prikazi plazov na dan 31. 1. 2020 (južni plaz – pl. J, severni plaz – pl. S): a) ortofoto, b) zemljevid naklonov v stopinjah, legenda je prikazana na sliki 5, c) senčeno površje. ► (str. 114)

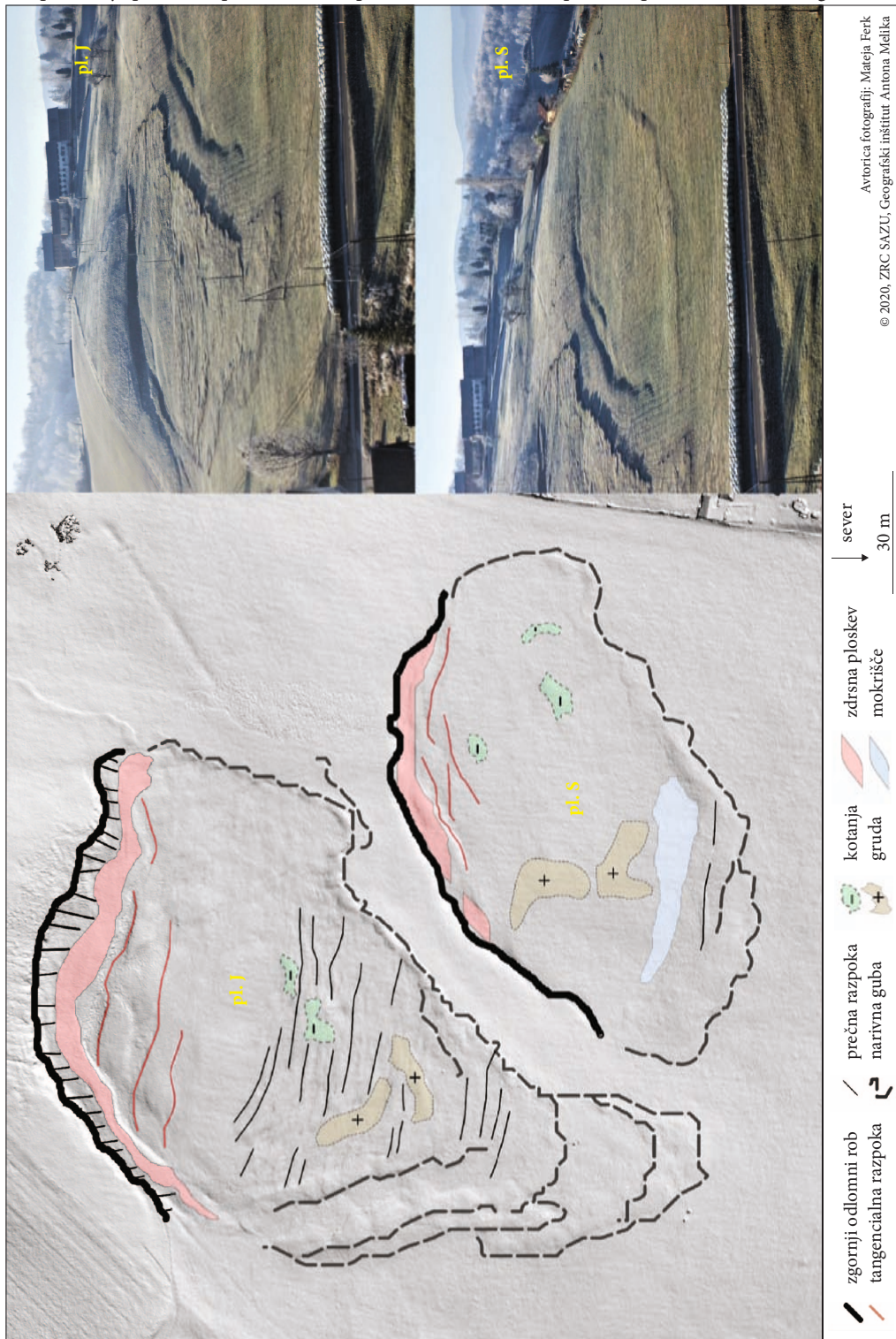
Slika 4: Geomorfološka karta na temelju podatkov leta 2020 ter fotografiji plazov iz leta 2019 in 2020. Karta je obrnjena za 180° zaradi primerjave plazov na fotografijah. ► (str. 115)

Opazovanje pobočnih procesov z brezpilotnim letalnikom na primeru plazov v Slovenskih goricah

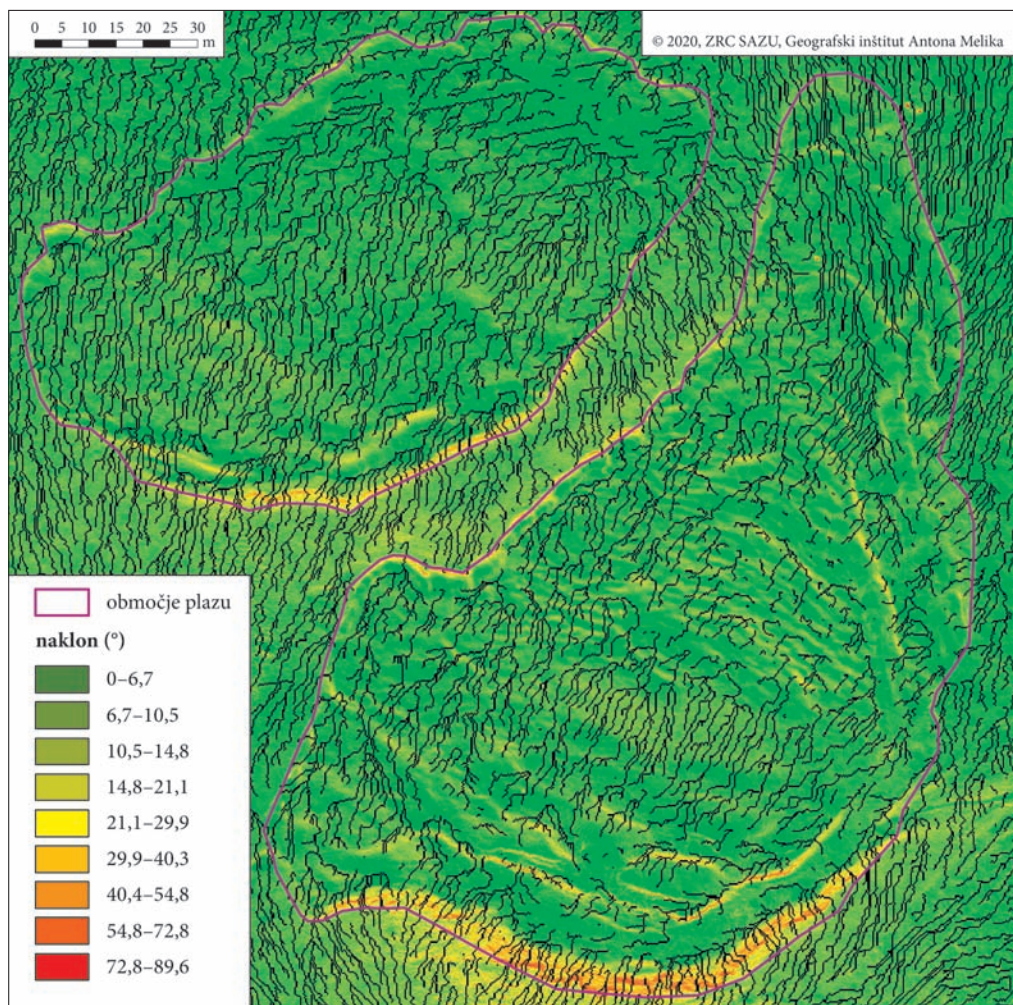




Opazovanje pobočnih procesov z brezpilotnim letalnikom na primeru plazov v Slovenskih goricah



Avtorica fotografij: Mateja Ferik
© 2020, ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

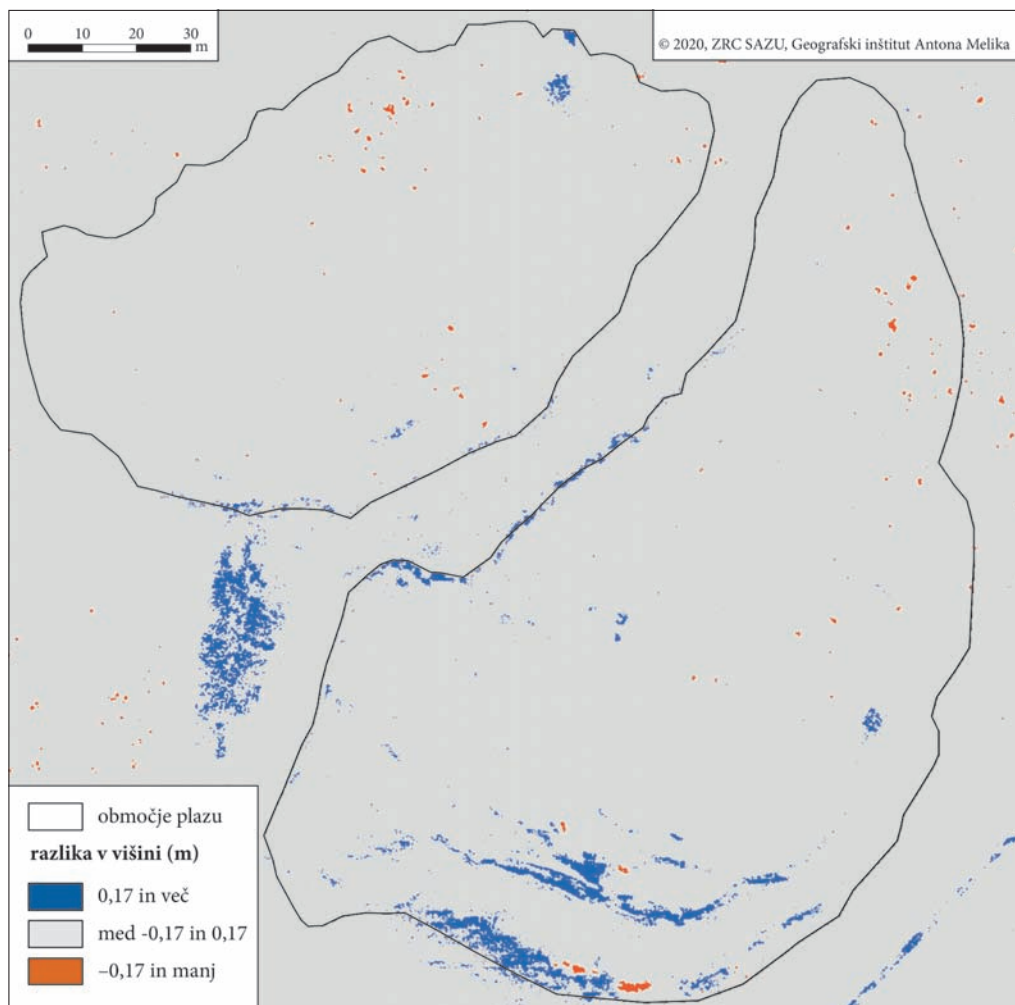


Slika 5: Prikaz ocene stekanja vode na območju plazov za posnetek dne 31. 1. 2020. Linije stekanja vode so določene na podlagi največjih vrednosti akumulacije vodnega toka. V podlagi je prikazan naklon površja.

4.2 Analiza sprememb površja med avgustom 2019 in januarjem 2020

Glede na primerjavo dveh časovnih situacij (avgust 2019 in januar 2020) je bilo ugotovljeno, da je plaz aktiven, saj smo zabeležili manjša odstopanja v višinah, ki presegajo mejo napake modelov, razlike pa so bile opazne tudi pri primerjavi ortofoto posnetkov, naklona in senčenega površja. Ugotovili smo, da je šlo v izbranem časovnem obdobju pri opazovanem pobočju z vidika merilnih zmožnosti za zelo majhne premike, večinoma največ nekaj decimetrov. Zato smo prikazali le največja odstopanja (slika 6), ki presegajo seštevek napak obeh modelov (preglednica 1).

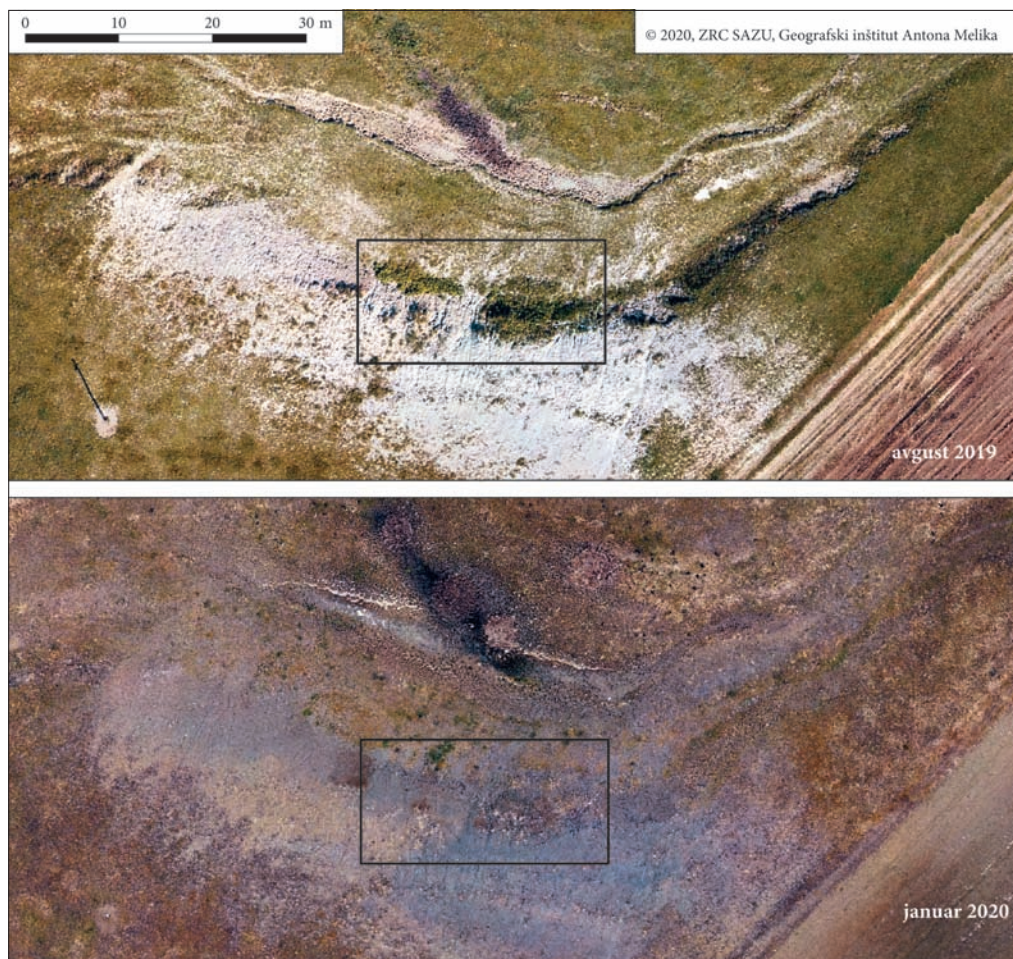
Na dobljene vrednosti vpliva tudi rastje (trava), kljub temu, da smo v obeh obdobjih snemanje opravili, ko je bila trava nizka (avgusta 2019 po košnji, januarja 2020 pred začetkom intenzivne rasti). Na južnem robu južnega plazu nekoliko izstopa območje negativne razlike ravno zaradi rasti – v avgu-



Slika 6: Razlika v nadmorski višini pri primerjavi površij med januarjem 2020 in avgustom 2019 (od stanja leta 2020 smo odšteli stanje leta 2019).

stu je tam rasel šop trave oziroma manjšega grmičja, ki pa je bil do januarja odstranjen (slika 7). Težave s točnimi vrednostmi zaradi prisotnosti rastja so imeli tudi pri drugih raziskavah (na primer Fernández s sodelavci 2016). Nasploh so položajne točnosti in vertikalne točnosti v raziskavah zelo različne, izsledke je zato težko primerjati, tudi zaradi pomanjkanja poenotene protokola poročanja (za primere glej Szabo in Schlosser 2019 ter Meinen in Robinson 2020).

Največje spremembe so bile opazne na območju zdrsne ploskve in glave južnejšega plazua, ki je povsem brez vegetacije in najbolj dovzetno za vpliv eksogenih sil ter posledično nastanek erozije. Pozitivne vrednosti kažejo na akumulacijo gradiva, ki je sprano z nekoliko širšega območja nad skrajnim južnim obrobjem, kjer so spremembe na m² očitno manjše in jih zato nismo zabeležili. Spremembe so opazne tudi na čelu severnega plazua, kjer pozitivne vrednosti kažejo na aktivno premikanje plazine, ki se kaže v višanju narivne gube na peti plazua.



Slika 7: Prikaz razlike v rastju na ortofotu pri obeh snemanjih (zgoraj avgust 2019, spodaj januar 2020).

5 Sklep

V prispevku smo prikazali prve izsledke opazovanja plazovitega pobočja pri Šentilju v Slovenskih goricah. Pobočje je podvrženo plazanju, ki je po odstranitvi sadnega drevja v letih 2004 in 2005 preraslo v dva zemeljska plazova. Na podlagi starejših letalskih snemanj (2006 in 2009–2011), podatkov laserskega skeniranja (2014) in lastnih arhivskih fotografij (2012), smo oba plaza interpretirali kot translacijski tip zemeljskega plazu in jima določili osnovne morfometrične značilnosti. Leta 2019 in 2020 smo na območju izvedli snemanje plazov z letalnikom. Z obdelavo posnetkov smo pripravili digitalni model površja in izpeljane podatkovne sloje, kot so naklon, senčen relief in delež vidnega neba, ter ortofoto posnetek. Z interpretacijo omenjenih slojev smo določili natančen obseg plazov ob zadnjem merjenju (januar 2020), s primerjavo višin DMP-jev ob obeh snemanjih pa smo zaznali tudi spremembe med stanji in smer plazenja. Pripravljen DMP smo uporabili tudi za prikaz stekanja površinskega vodnega toka. Spremembe v slabe pol leta so na večini pobočja v rangu napake naših meritev, zato povsem točnih

podatkov o premikih še ne moremo podati. Pridobljeni podatki nam sicer omogočajo določitev osnovnih lastnosti plazov in geomorfološke analize posameznih stanj, na primer smer odtekanja vode po površju, kar nam omogoča nadaljnje analize in oceno, kje lahko pride do povečane erozije. Za podrobnejšo analizo hitrosti premikanja gradiva bodo potrebna nadaljnja ciklična snemanja z brezpilotnim letalnikom (na primer vsakih 6 mesecev).

ZAHVALA: Prispevek je nastal v okviru mednarodnega raziskovalnega projekta Primerni ekološki ukrepi na področju poplavne nevarnosti v hribovitem območju Madžarske in Slovenije (N6-0070; SNN 125727), ki sta ga sofinancirali Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in madžarska Nacionalna agencija za raziskave, razvoj in inovacije, ter v okviru raziskovalnega programa Geografija Slovenije (P6-0101), ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

6 Viri in literatura

- Beretta, F., Shibata, H., Cordova, R., de Lemos Peroni, R., Azambuja, J., Costa, J. F. C. L. 2018: Topographic modelling using UAVs compared with traditional survey methods in mining. REM – International engineering journal 71-3. DOI: <https://doi.org/10.1590/0370-44672017710074>
- Bevan, D. J., Brook, M. S., Tunncliffe, J., Richards, N. P., Prebble, W. M. 2017: Use of UAV mounted /Structure-from-Motion (SfM) data capture for engineering geological landslide mapping. 20th NZGS Geotechnical Symposium. Wellington.
- Bratkovič, I. 2020: Nastanek plazov pri Šentilju. Osebni vir (21. 4. 2020).
- Carrivick, J. L., Smith, M. W. 2019: Fluvial and aquatic applications of Structure from Motion photogrammetry and unmanned aerial vehicle/drone technology. Wires Water 6-1. DOI: <https://doi.org/10.1002/wat2.1328>
- Casagrande, G., Sik, A., Szabó, G. (ur.) 2018: Small Flying Drones. Applications for Geographic Observation. New York. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-66577-1>
- Ciglič, R., Nagy, G. 2019: Naturalness level of land use in a hilly region in north-eastern Slovenia. Geografski vestnik 91-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV91101>
- Cignetti, M., Godone, D., Wrzesniak, A., Giordan, D. 2019: Structure from motion multisource application for landslide characterization and monitoring: The Champlas du Col case study, Sestriere, North-Western Italy. Sensors 19-10. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19102364>
- Colomina, I., Molina, P. 2014: Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing 92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- Cruden, D. M., Varnes, D. J. 1996: Landslide types and processes. Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247.
- Deriaz, J., Ciglič, R., Ferk, M., Lóczy, D. 2019: The influence of different levels of data detail on land use change analyses: a case study of Franciscan Cadastre for a part of the Pannonian Hills, Slovenia. European Countryside 11-3. DOI: <https://doi.org/10.2478/euco-2019-0019>
- Dugonjić Jovančević, S., Peranić, J., Ružić, I., Arbanas, Ž. 2016: Analysis of a historical landslide in the Rječina River Valley, Croatia. Geoenvironmental Disasters 3-1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40677-016-0061-x>
- Fawcett, D., Azlan, B., Hill, T. C., Kho, L. K., Bennie, J., Anderson, K. 2019: Unmanned aerial vehicle (UAV) derived structure-from-motion photogrammetry point clouds for oil palm (*Elaeis guineensis*) canopy segmentation and height estimation. International Journal of Remote Sensing 40-19. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1591651>
- Ferk, M., Ciglič, R., Komac, B., Lóczy, D. 2020: Management of small retention ponds and their impact on flood hazard prevention in the Slovenske Gorice Hills. Acta geographica Slovenica 60-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.7675>

- Fernández, T., Pérez, J., Cardenal, J., Gómez, J., Colomo, C., Delgado, J. 2016: Analysis of landslide evolution affecting olive groves using UAV and photogrammetric techniques. *Remote Sensing* 8-10. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8100837>
- Giordan, D., Hayakawa, Y. S., Nex, F., Tarolli, P. 2018: Preface: The use of remotely piloted aircraft systems (RPAS) in monitoring applications and management of natural hazards. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 18-11. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-3085-2018>
- Giordan, D., Manconi, A., Tannant, D. D., Allasia, P. 2015: UAV: Low-cost remote sensing for high-resolution investigation of landslides. 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Milano.
- Gupta, S. K., Shukla, D. P. 2017: 3D Reconstruction of a landslide by application of UAV & Structure from Motion. *AGILE 2017*. Wageningen. Medmrežje: https://agile-online.org/conference_paper/cds/agile_2017/shortpapers/124_ShortPaper_in_PDF.pdf (20. 3. 2020).
- Hrvatini, M., Ciglič, R., Lóczy, D., Zorn, M. 2019: Določanje erozije v gričevjih severovzhodne Slovenije z Gavrilovičevo enačbo. *Geografski vestnik* 91-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV91206>
- Jelenko, B. 2009: 680 let Šentilja. *Glasilo Občine Šentilj* 13-2.
- Józsa, E., Lóczy, D., Soldati, M., Drágut, L. D., Szabó, J. 2019: Distribution of landslides reconstructed from inventory data and estimation of landslide susceptibility in Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin* 68-3. DOI: <https://doi.org/10.15201/hungeobull.68.3.4>
- Kert, B. 1959: Geomorfologija severozahodnih Slovenskih Goric. *Geografski zbornik* 5.
- Kert, B. 1998: Slovenske gorice. Slovenija: pokrajine in ljudje. Ljubljana.
- Kokalj, Ž., Somrak, M. 2019. Why not a single image? Combining visualizations to facilitate fieldwork and on-screen mapping. *Remote Sensing* 11-7. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11070747>
- Kolbezen, M. 1998: Kopenske vode. *Geografski atlas Slovenije*. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2007: Pobočni procesi in človek. *Geografija Slovenije* 15. Ljubljana.
- Lucieer, A., de Jong, S. M., Turner, D. 2014: Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 38-1. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F0309133313515293>
- Medmrežje 1: <http://meteo.ars.gov.si/> (23. 3. 2020).
- Meijerink, A. M. J., van Lieshout, A. M., Rahnama Mobareke, F. 1996: Comparison of approaches for erosion modelling using flow accumulation with GIS. *HydroGIS 96: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management*. IAHS 235. Dunaj.
- Meinen, B. U., Robinson, D. T. 2020: Mapping erosion and deposition in an agricultural landscape: Optimization of UAV image acquisition schemes for SfM-MVS. *Remote Sensing of Environment* 239. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111666>
- Ogrin, D. 1996: Podnebni tipi v Sloveniji. *Geografski vestnik* 68.
- Oset, Ž., Berberih Slana, A., Lazarevič, Ž. 2010: Mesto in gospodarstvo, Mariborsko gospodarstvo v 20. stoletju. Ljubljana.
- Perko, D. 1998: The regionalization of Slovenia. *Geografski zbornik* 38.
- Peterman, V. 2015: Landslide activity monitoring with the help of unmanned aerial vehicle. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XL-1/W4. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-215-2015>
- Peternel, T., Kumelj, Š., Oštir, K., Komac, M. 2017: Monitoring the Potoška planina landslide (NW Slovenia) using UAV photogrammetry and tachymetric measurements. *Landslides* 14-1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-016-0759-6>
- Pintar, J., Mikoš, M., Verbovšek, V. 1986: Elementi okolju prilagojenega urejanja vodotokov: alternativa utesnjevanju živih naravnih procesov v toge objekte. *Drugi kongres o vodama Jugoslavije*. Beograd.
- Pipan, P., Kokalj, Ž. 2017: Transformation of the Jerusalem Hills cultural landscape with modern vineyard terraces. *Acta geographica Slovenica* 57-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS.4629>
- Pleničar, M., Ogorelec, B., Novak, M. (ur.) 2009: *Geologija Slovenije*. Ljubljana.

- Rossi, G., Tanteri, L., Tofani, V., Vannocci, P., Moretti, S., Casagli, N. 2018: Multitemporal UAV surveys for landslide mapping and characterization. *Landslides* 15-5. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-018-0978-0>
- Sidle, R. C., Terry, P. K. K. 1992: *Shallow landslide analysis in terrain with managed vegetation. Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions.* Wallingford.
- Stumpf, A., Malet, J.-P., Kerle, N., Niethammer, U., Rothmund, S. 2013: Image-based mapping of surface fissures for the investigation of landslide dynamics. *Geomorphology* 186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.12.010>
- Szabo, G., Schlosser, A. D. 2019: Fotogrammetriai felszínmodell pontosságvizsgálata RTK-UAV alkalmazásával. Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában X. *Theory Meets Practice in GIS.* Debrecen.
- Trobec, T. 2016: Spatio-temporal distribution of flash floods in Slovenia. *Dela* 46. DOI: <https://doi.org/10.4312/dela.46.1.5-39>
- Varnes, D. J. 1978: *Slope movements types and processes.* Landslides – Analyses and Control. Transportation Research Board Special Report 176.
- Zakšek, K., Oštir, K., Kokalj, Ž. 2011: Sky-View Factor as a relief visualization technique. *Remote Sensing* 3-2. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs3020398>
- Zhou, G., Wei, H., Fu, S. 2019: A fast and simple algorithm for calculating flow accumulation matrices from raster digital elevation. *Frontiers of Earth Science* 13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11707-018-0725-9>
- Zorn, M., Komac, B. 2008: *Zemeljski plazovi v Sloveniji.* Georitem 8. Ljubljana.
- Žiberna, I. 2017: Trendi vodne bilance v severovzhodni Sloveniji v obdobju 1961–2016. *Geografije Podravja.* Maribor. DOI: <https://doi.org/10.18690/978-961-286-074-5.1>
- Žnidarčič, M., Mioč, P. 1987: *Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Maribor.* Zvezni geološki zavod. Beograd.