

## DOLOČANJE POTENCIALNIH OBMOČIJ PROŽENJA SNEŽNIH PLAZOV Z ANALIZO RELIEFA

**dr. Manca Volk Bahun, dr. Mauro Hrvatin, dr. Blaž Komac**

ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika

manca.volk@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4720-9541>

mauro.hrvatin@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6021-8736>

blaz.komac@zrc-sazu.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4205-5790>

DOI: [https://doi.org/10.3986/9789610506683\\_07](https://doi.org/10.3986/9789610506683_07)

UDK: 911.2:551.4:551.578.48(234.323.6)

### IZVLEČEK

#### **Določanje potencialnih območij proženja snežnih plazov z analizo reliefa**

V članku predstavljamo metodo za določanje območij proženja snežnih plazov. Izračune na plazovnih območjih smo najprej opravili v posoških Julijskih Alpah in na območju Begunjščice v Karavankah, za katere imamo na razpolago zanesljive podatke lavinskega katastra. Pri izračunu smo upoštevali naklon, vektorsko mero hrapavosti površja, indeks vetrne izpostavljenosti, večlestvični topografski pozicijski indeks in višino rastja. Vrednosti smo razvrstili v pet razredov, jih sešteli in izpostavili območja z najvišjimi vrednostmi. Z modelom smo za Kamniško-Savinjske Alpe ocenili, kje se glede na reliefne značilnosti lahko prožijo plazovi. Rezultati omogočajo kasnejše podrobno kartiranje lavinske nevarnosti in pomembno dopolnjujejo poznavanje gorskih pokrajin v Sloveniji.

### KLJUČNE BESEDE

geografija, GIS, lavinska nevarnost, modeliranje, relief, Julijske Alpe, Kamniško-Savinjske Alpe, Karavanke

### ABSTRACT

#### **Determining potential snow avalanche release areas by relief analysis**

The paper presents a method for determining snow avalanche release areas. We performed the calculations of potential avalanche release areas in the Soča Julian Alps and in the Begunjščica (Western Karawanks), for which we have reliable data from the avalanche cadaster. Slope gradient, vector ruggedness measure, wind exposure index, multiscale topographic position index, and vegetation height were considered in the calculations. The values were divided into five classes, summed, and the areas with the highest values were highlighted. We performed the assessment for the Kamnik–Savinja Alps. The results enable subsequent detailed mapping of avalanche hazard and contribute significantly to the knowledge of mountain landscapes in Slovenia.

### KEY WORDS

geography, GIS, avalanche hazard, modeling, relief, Julian Alps, Kamnik–Savinja Alps, Karawanks

## 1 Uvod

Snežni plazovi so značilen, vsakoletni pojav v visokogorju in vršnih delih sredogorja, ob obilnih snežnih padavinah pa tudi nižje. Ponekod lahko občasno povzročijo veliko škodo in so neposredna grožnja obiskovalcem gora (Vrhovec 2002). Čeprav ogrožajo le 0,7 % Slovenije, so problematični zaradi krajevne in časovne spremenljivosti, saj spomin nanje hitro zbledi (Komac 2009).

Sprožijo se lahko povesod, kjer je dovolj snega in dovolj strmo (Burkeljca 2021). Čeprav je to pravilo preprosto, je identifikacija območij sproščanja zelo zahtevna. Proženje je namreč odvisno od številnih snežnih, vremenskih in reliefnih dejavnikov ter njihovega težko izmerljivega součinkovanja. Najbolj zanesljiv način identifikacije območij proženja plazov so terenske raziskave ter zgodovinski zapisi.

Z razvojem računalništva se je razvijalo tudi modeliranje potencialnih plazovitih območij. Začetni poskusi so sledili metodologiji preučevanja zemeljskih plazov (Carrara in Guzetti 1995), prvi avtomatizirani pristopi z uporabo GIS-ov pa so nastali pred dvema desetletjema (Maggioni s sodelavci 2002; Maggioni in Gruber 2003; Maggioni 2005). Sprva precej grobe digitalne modele višin so kasneje nadomestili modeli z ločljivostjo med 1 in 10 m, ki omogočajo natančne analize ukrivljenosti in hrapavosti površja (McClung 2001; Schweizer s sodelavci 2003; van Herwijnen in Heierli 2009; Bühler s sodelavci 2013; Veitinger s sodelavci 2016; Bühler s sodelavci 2018; Brožová s sodelavci 2021). V študijah so najpogosteje uporabili naslednje morfometrične kazalnike:

- naklon površja (Voellmy 1955; Maggioni s sodelavci 2002; Ghinoi in Chung 2005; Barbolini s sodelavci 2011; Andres in Chueca Cía 2012; Pistocchi in Notarnicola 2013; Bühler s sodelavci 2013; Chueca Cía s sodelavci 2014; Veitinger s sodelavci 2016),
- vodoravna ukrivljenost površja (Maggioni s sodelavci 2002; Barbolini s sodelavci 2011; Andres in Chueca Cía 2012; Pistocchi in Notarnicola 2013; Bühler s sodelavci 2013; Chueca Cía s sodelavci 2014),
- ekspozicija površja (Maggioni s sodelavci 2002; Ghinoi in Chung 2005; Bühler s sodelavci 2013; Veitinger s sodelavci 2016),
- hrapavost površja (Ghinoi in Chung 2005; Bühler s sodelavci 2013; Veitinger s sodelavci 2016),
- nadmorska višina površja (Ghinoi in Chung 2005; Andres in Chueca Cía 2012; Chueca Cía s sodelavci 2014),
- oddaljenost od slemena oziroma grebena (Maggioni s sodelavci 2002; Ghinoi in Chung 2005; Pistocchi in Notarnicola 2013),
- navpična ukrivljenost površja (Pistocchi in Notarnicola 2013) in
- topografski indeks vlažnosti (Pistocchi in Notarnicola 2013).

Morfometrične kazalnike so kombinirali še s podatki o rastlinski odeji (Ghinoi in Chung 2005; Barbolini s sodelavci 2011; Andres in Chueca Cía 2012; Pistocchi in Notarnicola 2013; Chueca Cía s sodelavci 2014; Veitinger s sodelavci 2016) in vetrnem zavetju (Veitinger s sodelavci 2016).

Izredno pomembna zbirka podatkov o snežnih plazovih je lavinski kataster, ki je začel nastajati na Hidrometeorološkem zavodu Republike Slovenije in pozneje v Podjetju za urejanje hudournikov s sodelovanjem Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU. Poudarek je bil na že znanih plazovih, ki ogrožajo človeka, njegove dobrine in druge pokrajinske sestavine, omogoča pa tudi opredelitev potencialno ogroženih območij (Pavšek 2002). V katastru je zabeleženih 1257 plazov, od tega jih je 556 v Julijskih Alpah, 66 v Karavankah in 21 v Kamniško-Savinjskih Alpah. Preostalih 614 plazov leži v alpskem hribovju (Pavšek 2002).

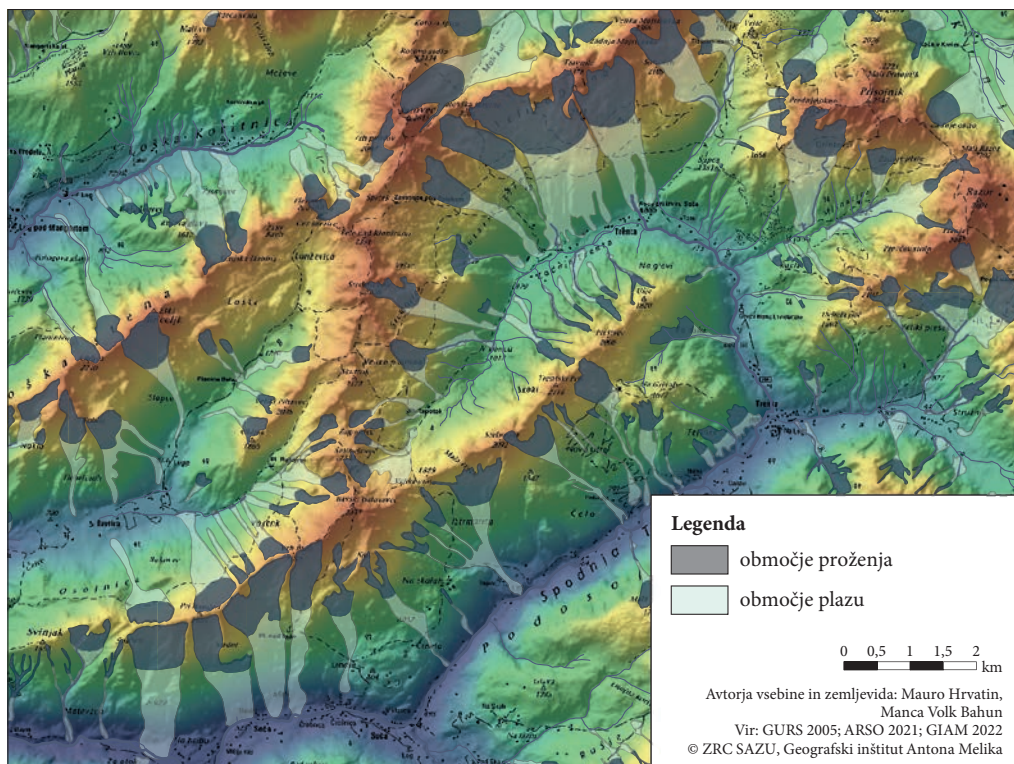
Pri izdelavi katastra so bili upoštevani najbolj problematični snežni plazovi, zato je ostalo neobdelano sorazmerno veliko območje. Zaradi širjenja naselij, gradnje novih komunikacijskih objektov, predvsem pa zaradi povečanega obiska gora pozimi bi bilo treba razmišljati o razširitvi lavinskega katastra tudi na ta območja. Ker njegova dopolnitev kratkoročno ni mogoča, smo poskušali to rešiti v okviru GIS-a.

## 2 Izbrana območja

V prispevku predstavljamo analizo, ki smo jo opravili na primeru Julijskih Alp, Karavank in Kamniško-Savinjskih Alp. Spoznanja, ki smo jih pridobili z analizo znanih območij proženja snežnih plazov v Zgornjem Posočju (Komac s sodelavci 2021) in na Begunjsčici (Volk 2011), kjer so lavinski podatki najbolj kakovostni, smo uporabili za določanje potencialnih območij proženja snežnih plazov v osrednjem delu Kamniško-Savinjskih Alp, kjer je lavinski kataster izredno pomanjkljiv.

Obravnavane gorske pokrajine imajo nad gozdno mejo gorsko podnebje s povprečno julijsko temperaturo pod 12 °C in povprečno januarsko temperaturo pod -4 °C. Prejmejo povprečno 2540 mm padavin. V Julijskih Alpah letno zapade več kot 5 m snega, v Karavankah in Kamniško-Savinjskih Alpah pa 3–5 m. Snežna odeja traja na obrobju alpskih visokogorskih pokrajin od 100 do 150 dni letno, okrog najvišjih vrhov prek 200, na Kredarici (2515 m) pa že prek 250 dni (Kozjek s sodelavci 2017).

Zaradi velikih višinskih razlik in dolgih skladnih pobočij so snežni plazovi največji v Julijskih Alpah, kjer je le tretjina plazov krajših od 500 m, več kot polovica pa meri od 500 do 1300 m (Pavšek 2002). S strmih pobočij in sten sneg plazi sproti in prevladujejo pršni plazovi. Plazovi mokrega snega se prožijo na položnejših odsekih in se v nadaljevanju premikajo po žlebovih in drugih vdolbenih reliefnih oblikah. Plazovina med potjo po grapi kljub zavojem, skokom in zožitvam ohranja ali celo povečuje energijo, zato takšen plaz pogosto doseže dolinsko dno in celo rečno strugo. Široka ploska pobočja plazovni tok razpršijo, kar zmanjša energijo in plaz zaustavi na pobočju. Na meliščih so snežni plazovi poleg skalnih podorov in hudournikov (Gams 1991) z dotokom gradiva in udarno močjo (Corner 1980) pomemben preoblikovalni dejavnik (Jomelli in Bertran 2004; Komac in Zorn 2022). Tu ima precejšnje protiplazovno vlogo rastje.



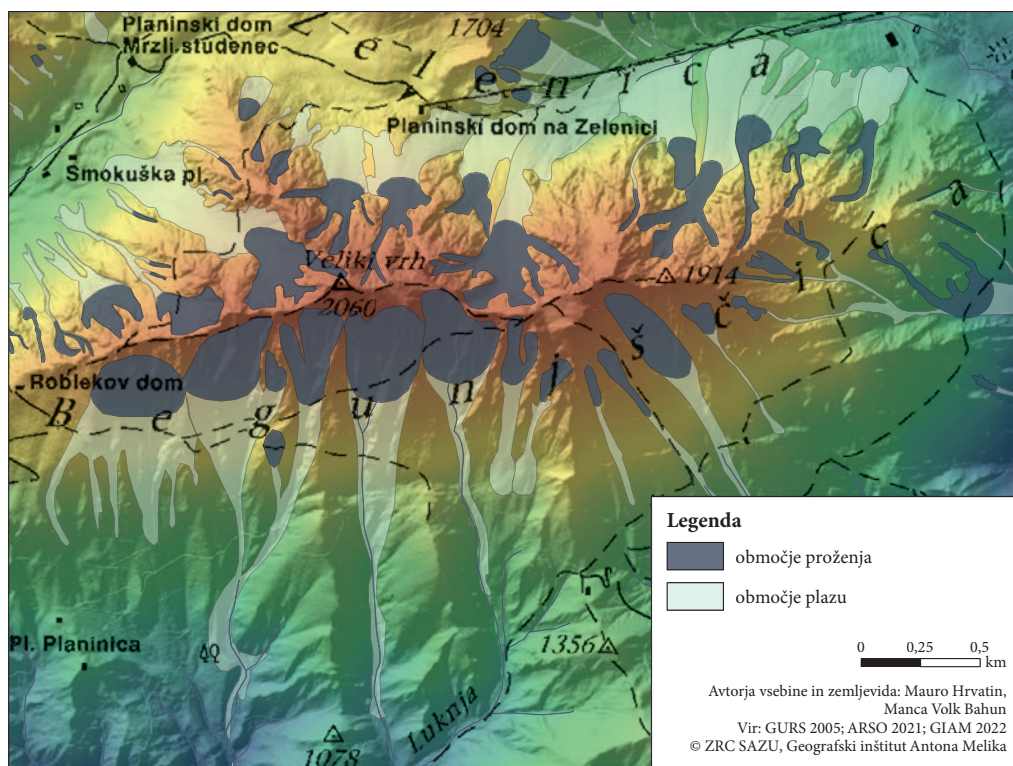
Slika 1: Obravnavano območje Zgornjega Posočja.

V naših Alpah je na apnencu »*mного več neizglajenih strmin in tudi več prepadnih sten*« (Gams 1983), površje visokogorskega krasa pa poleg vzdolžnih grap, grbin in skokov prepredajo tudi manjše reliefne oblike, ki zmanjšujejo možnost plazjenja, čeprav bi ga naklon pobočja že omogočal. Sicer pa obilnejša snežna odeja sčasoma tudi na bolj razčlenjenih pobočjih zgledi in izravna hrapavost površja ter zaviralni učinek nizkega rasti. Tako »*je na travnem pobočju z izgajeno strmino naklon okoli 15–28° najugodnejši za katastrofalne plazove*« (Gams 1983).

Julijske Alpe so s 1542 km<sup>2</sup> največja gorska pokrajina v Sloveniji. Imajo povprečno nadmorsko višino 1108 m in naklon 25,5°, 59 % površja v nižjih legah prerašča gozd. Povirje Soče in Save zaznamujejo stene na severu in gola travnata skladna južna pobočja, ki segajo do grebenov. Takšna so pobočja pod grebenom od Vrha Krnice prek Briceljka do Plešivca ter od Svinjaka prek Bavškega Grintavca in Trentskega Pelca do Ušja, kjer se prožijo največji plazovi v Sloveniji (Gams 1955; Lipušček 1988; Pavšek 2002). V poglavju obravnavamo 184 km<sup>2</sup> veliko območje med Sočo (483 m) na jugu do prelaza Vršič (1611 m) na severu ter od Svinjaka (1653 m) na zahodu do Kriških podov (2052 m) na vzhodu (slika 1), kjer je znanih 199 snežnih plazov.

Zahodne Karavanke merijo 331 km<sup>2</sup> in imajo povprečno nadmorsko višino 1187 m ter naklon 25,5°. Gozd prerašča kar štiri petine površja. So kamninsko pestre in reliefno bolj razgibane od Julijcev. V njih je desetina zabeleženih snežnih plazov v Sloveniji. Na severnih pobočjih Begunjščice (slika 2) so plazovi stalnica, na jugu pa se stekajo po grapah (Pavšek 2002; Pavšek s sodelavci 2010; Volk Bahun 2016). Na 16 km<sup>2</sup> velikem območju je znanih 63 snežnih plazov.

Kamniško-Savinjske Alpe merijo 889 km<sup>2</sup>, imajo povprečno nadmorsko višino 958 m in naklon 23,2°. Gozd prekriva tri četrtine površja. Najvišje predele zaznamuje visokogorski kras, na jugu in vzhodu



Slika 2: Obravnavano območje Begunjščice.



pa jih obdajajo planote. Deli dolin, ki jih dosežejo plazovi, za razliko od Posočja niso stalno naseljeni in tudi »snežni plazovi v glavnem obstanejo pod pobočji« (Gams 1983). Na območju med dolino Korošice in Mokrico nas na velike plazove opozarjajo ledinska imena: Veliki plaz, Beli plaz, Mihcov plaz, Farjev plaz, Markov plaz in Jerinov plaz. Na obravnavanem območju, ki meri 118 km<sup>2</sup>, je znanih 59 snežnih plazov (slika 4).

### 3 Metode

V prispevku smo v delu Zgornjega Posočja in na Begunjščici ugotavljali morfolometrične značilnosti območij proženja snežnih plazov ter spoznanja prenesli na Kamniško-Savinjske Alpe. Uporabili smo lavinski kataster (Volk Bahun 2020), lidarski digitalni model reliefa ločljivosti 0,5 m (GD i d.o.o. 2021) in digitalni model krošenj ločljivosti 1 m (Kobler 2016). Podatke smo prevzorčili na ločljivost 2 m ter za izračune uporabili programa ArcMap (različica 10.8.1) in SAGA (različica 8.2.0).

Na plaznicah Zgornjega Posočja in Begunjščice smo določili območja proženja snežnih plazov, tako da smo izločili in za pripravo kazalnikov in analize uporabili zgornjo tretjino plaznic. V naslednjem koraku smo opravili izbor morfolometričnih kazalnikov. Naklonu površja, vektorski meri hrapavosti, indeksu vetrne izpostavljenosti in večlestvičnemu topografskemu pozicijskemu indeksu, ki temeljijo na digitalnem modelu višin, smo dodali višino rastja, saj tudi odsotnost gozda pomembno vpliva na proženje in potek snežnih plazov (slika 3).

Vsak kazalnik smo razdelili na pet razredov na temelju aritmetične sredine in standardnega odklona, vsakemu razredu pa pripisali oceno lavinske ogroženosti (od 1 do 5), pri čemer pomeni višja ocena večjo možnost proženja plazov. Širina vsakega razreda je bila dvakratna polovična vrednost standardnega odklona. Povprečna vrednost naklona na območjih proženja snežnih plazov je bila na primer 41,5°, standardni odklon pa 12,4°. Najvišjo oceno (5) lavinske ogroženosti smo pripisali naklonom v razponu 41,5° ± 6,2° oziroma od 35,3° do 47,7°. Razred naklona z naslednjo oceno (4) je bil za polovico standardnega odklona nižji od spodnje meje predhodnega razreda (od 29,1° do 35,3°) in hkrati za polovico standardnega odklona višji od zgornje meje predhodnega razreda (od 47,7° do 53,9°) itd.

Podatke o višini rastja smo razdelili na pet razredov po metodologiji snežnih zemljevidov v okviru projekta CROSSRISK (Medmrežje 1).

V nadaljevanju na kratko predstavljamo uporabljene kazalnike in njihovo členitev na razrede.

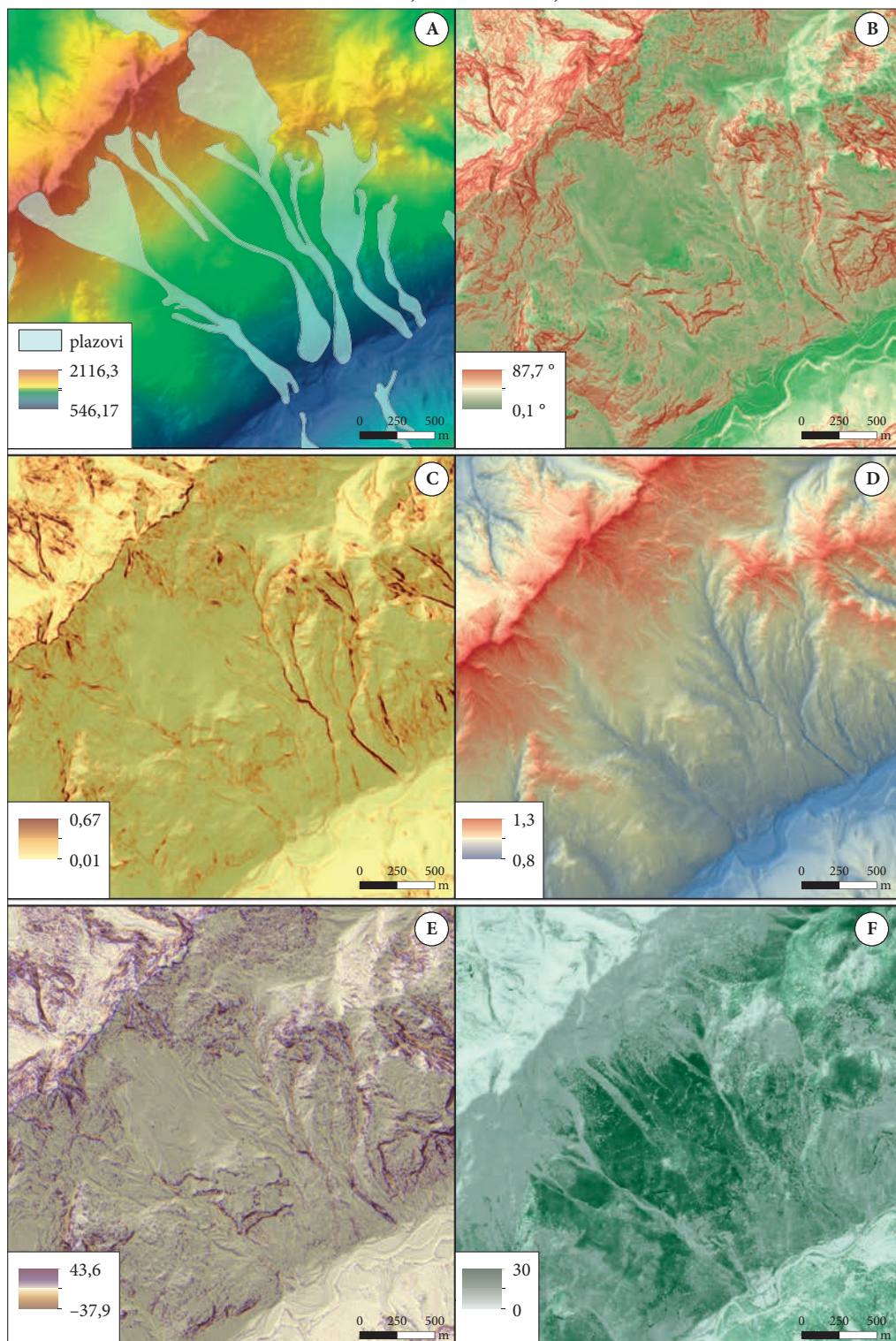
Naklon površja spada med najpomembnejše dejavnike proženja snežnih plazov. Vsaka vrsta snega ima različne meje naklonskih vrednosti statičnega in kinetičnega kota trenja. Svež sneg ima največji statični kot, ki pa se med preobrazbo snega zmanjšuje (Pavšek 2002; Volk Bahun 2020).

Oblikovanost tal vpliva na proženje snežnih plazov na začetku zime, ko hrapavost površja odloča o tem, kolikšna mora biti debelina snežne odeje, da prekrije površje. Razčlenjen teren je manj prikladen za proženje plazov. S skalnimi bloki pokrito površje postane nevarno potem, ko ga snežna odeja povsem prekrije, na travnatih pobočjih, meliščih in predelih z gladkim strmim skalovjem se snežna odeja splazi vse do tal (Šegula 1986).

Hrapavost površja smo določili z vektorsko mero hrapavosti (Sappington s sodelavci 2007), ki učinkovito zajame variabilnost naklona in ekspozicije. Vrednosti se gibljejo od 0 (brez hrapavosti) do 1 (popolna hrapavost) in običajno kolebajo med 0 in 0,4 (preglednica 1).

Veter je glavni gradnik snežnih plazov, saj prelaga sneg ter gradi zamete in klože (Mair in Nairz 2012; Tremper 2015). Privetrna območja imajo praviloma manj snega, a v bolj utrjeni, zbiti snežni odeji nastaja za plazove nevaren globinski srež. Odvetrna območja so prekomerno in neenakomerno

*Slika 3: Uporabljeni podatki in izdelani podatkovni sloji: A – lidarski digitalni model višin in lavinski kataster, B – naklon površja, C – vektorska mera hrapavosti površja, D – indeks vetrne izpostavljenosti, E – večlestvični topografski pozicijski indeks in E – digitalni model krošenj oziroma višina rastja. ► (str. 100)*



obložena z gostim in krhkim snegom, na grebenih in slemenih nastajajo nevarne opasti (Šegula 1986). Kazalnik indeks vetrne izpostavljenosti predstavlja povprečno vrednost indeksa vetrnega učinka (Böhner in Antonić 2009; Gerlitz s sodelavci 2015), ki je izračunan za vse smeri s kotnim presledkom 15°. Vrednosti pod 1 označujejo zavetrna območja, vrednosti nad 1 pa vetru izpostavljena območja (preglednica 1).

Topografski pozicijski indeks (Guisan s sodelavci 1999; Weiss 2001; Hrvatini in Perko 2012) predstavlja razliko med nadmorsko višino površja posamezne celice digitalnega modela višin in aritmetično sredino njenega poljubno obsežnega in poljubno oblikovanega sosledstva. Pozitivne vrednosti so tam, kjer so višine površja središčnih celic višje od povprečnih višin površja njihovega sosledstva ter označujejo vrhove vzpetin in njihove grebene oziroma slemena. Negativne vrednosti označujejo grape, doline in kotanje. Vrednosti blizu ničle označujejo ravnine ali nerazgibana, enakomerno nagnjena pobočja. Uporabili smo večlestvični topografski pozicijski indeks izračunan v programu SAGA, pri katerem je v enem samem rastru po Zimmermannovi integracijski shemi (Medmrežje 2) vključenih več izračunov topografskega pozicijskega indeksa v različnih merilih (preglednica 1).

Rastje, še posebej gozd, se pogosto izpostavlja kot pomembna ovira in tudi zaščita pri pojavljanju snežnih plazov. Najbolj nevarna so območja z nizkim in skromnim rastjem, mlad gozd za plazenje že deluje zaviralno. Rastline predstavljajo sidra v snežni odeji in preprečujejo plazenje, ko jih sneg prekrije pa te vloge nimajo več (preglednica 1). Plazovi se večinoma prožijo nad gozdno mejo, v nižje ležečem gozdu pa pogosto povzročijo škodo (Šegula 1986; Pavšek 2002; Volk Bahun 2020), kar je mogoče analizirati z dendrokronološkimi metodami (Stoffel in Bollschweiler 2008; Šilhán in Tichavský 2017).

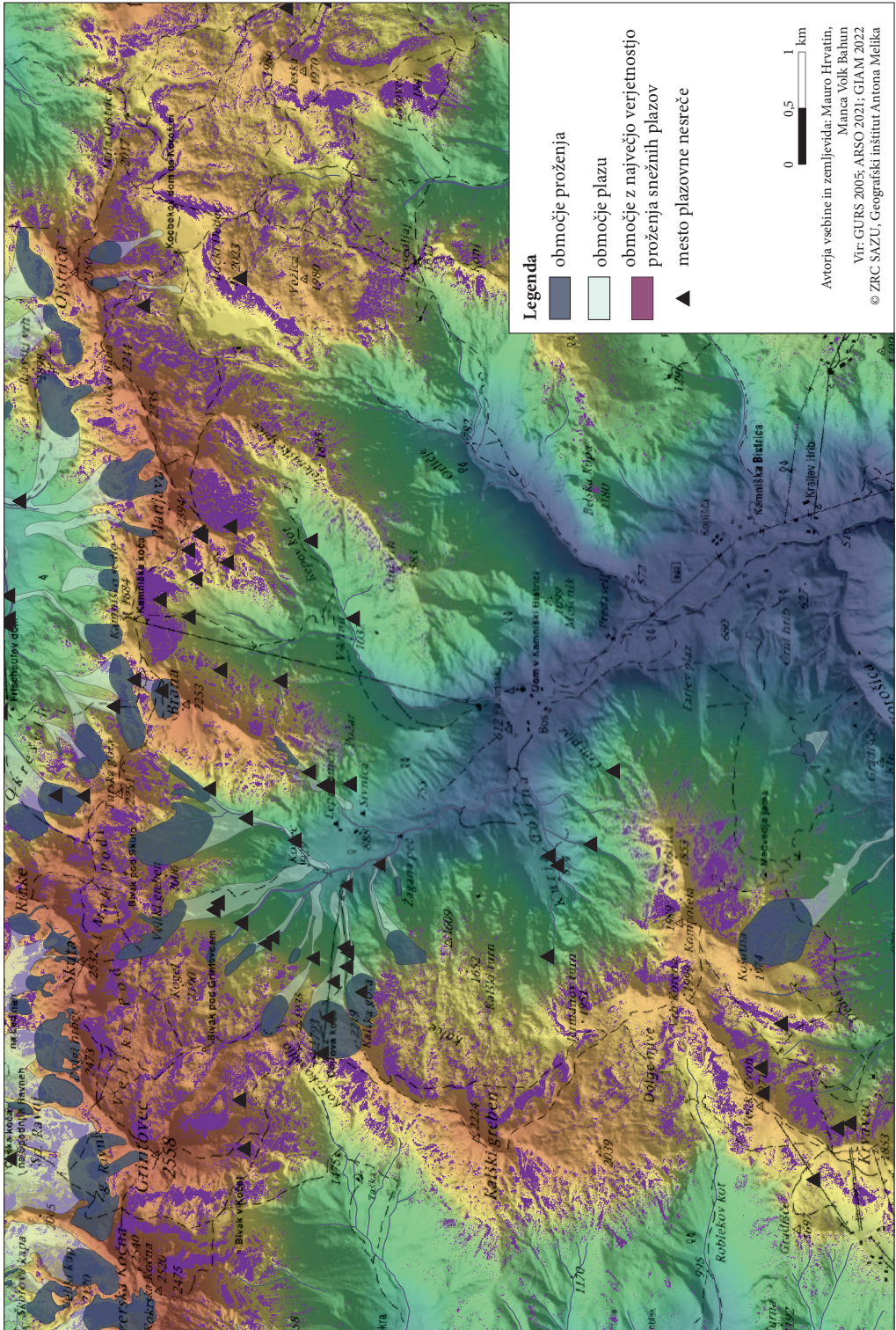
Nazadnje smo v ocene lavinske ogroženosti reklasificirali kazalnike za Kamniško-Savinjske Alpe in vseh pet slojev seštelili. Rezultat je rastrski sloj z vrednostmi od 5 do 25, kjer višja vrednost pomeni večjo možnost proženja plazov na določeni lokaciji.

*Preglednica 1: Pripisane vrednosti ocen lavinske ogroženosti z vrednostmi od 1 do 5 za izbrane podatkovne sloje (prvi stolpec).*

	5	4	3	2	1
naklon ( <sup>o</sup> )	35,3–47,7	29,1–35,3 in 47,7–53,9	22,9–29,1 in 53,9–60,1	16,7–22,9 in 60,1–66,3	do 16,7 in nad 66,3
vektorska mera hrpavosti površja	0,00–0,05	0,05–0,10	0,10–0,15	0,15–0,20	nad 0,20
indeks vetrne izpostavljenosti	1,045–1,095	1,020–1,045 in 1,095–1,120	0,995–1,020 in 1,120–1,145	0,970–0,995 in 1,145–1,170	do 0,970 in nad 1,170
večlestvični topografski pozicijski indeks	(–1,17)–0,43	(–1,97)–(–1,17) in 0,43–1,23	(–2,77)–(–1,97) in 1,23–2,03	(–3,57)–(–2,77) in 2,03–2,83	do –3,57 in nad 2,83
digitalni model krošenj (m)	0–1 m (območje skalnatih površin in travnikov)	1–3 m (območje ruševja)	3–5 m (območje mladega gozda)	5–15 m (območje nizkega gozda)	nad 15 m (območje visokega gozda)

*Slika 4: Območje Kamniško-Savinjskih Alp z izpostavljenimi območji z največjo verjetnostjo proženja snežnih plazov, plazovi lavinskega katastra in lokacijami lavinskih nesreč. ► (str. 102)*







## 4 Rezultati

Kamniško-Savinjske Alpe so obsežne in raznolike, zato predstavljamo rezultate po šestih manjših območjih. Na sliki 4 smo kot območja z največjo verjetnostjo proženja plazov izpostavili razrede od 23 do 25, ki prekrivajo 11,25 % ozemlja.

**Na območju med Krvavcem in Mokricco** so najbolj plazovita strma vzhodna pobočja Krvavca ter južna in vzhodna, v manjši meri pa tudi severna pobočja Kompotele. Izstopajo tudi vzhodna pobočja Vrh Korena, severna pobočja Velikega Zvoha in južna pobočja pod Košutno. Veliki plazovi dosežejo Roblekov kot, po strmih južnih pobočjih pa celo strugo Bistričice. S severnih pobočij Kompotele se v Kurjo dolino steka več grap, kjer se je že zgodilo več nesreč. Pod Mokricco so zabeležena ledinska imena Črni plaz, Beli plaz, Veliki plaz in Farjev plaz (Gams 1955).

Z obronkov Vrh Korena sega proti severu sprva široko sleme, ki se v **Kalškem Grebenu in Kalški gori** povzpne na dobrih 2200 m. Najbolj plazovita so vzhodna in severna pobočja, ki so razčlenjena s skoki in prepadi (Gams 1955). Izstopa tudi vzhodno ostenje med Kalškim Grebenom in Kalško goro, kjer plazovi pogosto ogrožajo pohodnike, ki se iz Kamniške Bistrice vzpenjajo na Kokrsko sedlo. S plazenjem je povezano ledinsko ime Neškarjev plaz.

**Na območju od Kočen do Grintovca** po naši analizi najbolj izstopajo okrog 600 m visoka južna pobočja Kočne, od koder se sneg v dolino steka po grapah. Plazovita so tudi južna pobočja Grintovca, začeni s strmino pod Streho nad Suhim dolom, na vzhodu so plazovite Dolge stene. Severna pobočja, ki jih pokriva tudi kataster, so plazovita pod glavnim grebenom in na obrobju krnic, v nižjih legah pa vzdolž grap. Plazovi po Ponovi dolini se običajno končajo na pragu, čezenj pa sežejo veliki plazovi



BLAŽ KOMAC

*Slika 5: Toplejšemu podnebnju navkljub snežni plazovi ponekod v slovenskih Alpah ogrožajo prometnice in stavbe v dnu dolin, ponekod pa celo dosežejo rečno strugo in za krajši čas zajezijo reko.*

suhega snega. Izpod Malega kupa prihaja plaz v Široki dolini, Zeleni plaz pa ostaja že više v kotanji (Gams 1955). Ledinska imena, povezana s plazovi, so Rjavi plaz, Rdeči plaz, Kratki plaz, Plaze, Dovški plaz in množinsko ime Zeleni plazovi.

Na **območju med Dolгим hrbtom, Skuto in Brano** je naša analiza pokazala, da so lavinsko najbolj ogrožena območja pod vršnim grebenom Dolgega hrbta, severna pobočja pod Skuto, pobočja v okolici Kogla in jugozahodna pobočja Turske gore. Izstopa tudi ostenje na območju Požara južno od Brane. Plazovi izpod Dolgega hrbta se zadržijo na podih in niso zabeleženi v katastru, v doline pa segajo plazovi z roba podov, z višine pod 2000. Konec, zatrep Kamniške Bistrice, dosežejo po grapah, kot so Veliki in Mali hudi graben, Gamsov skret, Žmavcarji in Kotliški graben. Najdaljši plazovi, ki dosežejo dolinsko dno, se prožijo južno od Skute in Turske gore. Tudi na severu plazovi dosežejo dno Ravenske kočne. Na severu zbira plazove z območja med Mrzlo goro, Rinko in Brano Okrešelj, kjer je leta 1907 v zelo plazoviti zimi plaz porušil dve planinski koči (Gams 1955; 1983). Plaz izpod Ledin na jezerski strani doseže postajo tovarne žičnice, kot leta 2006. S plazovi povezana ledinska imena so Bobnarjev, Košen in Kaptanski plaz v ostenju Brane.

Na območju med **Kamniškim sedlom in Ojstrico** so potencialna območja proženja na Planjavskih zelenicah, od koder se plazovi po grapah stekajo v Repov kot. Plazovita so tudi severovzhodna pobočja Zeleniških špic in zatrep med Lučko Babo, Ojstrico in Lučkim Dedcem, zlasti njegovo zahodno ostenje. V Logarski dolini se ob visokem snegu plazovi stekajo v grape in dosežejo dolinsko dno, kjer so leta 2006 povzročili škodo. V Robanovem kotu so s plazovi povezana ledinska imena Dolgi plaz, Škrbinski plaz, Slatinski plaz, Brezovički plaz in Novi plaz. Na tem območju se je zgodilo veliko lavinskih nesreč.

Planote spadajo med plazovno najbolj varna visokogorska območja in so praviloma ogrožene le na stiku z višjimi slemenami (Gams 1983). Na Dleskovški planoti so območja proženja plazov na zahodnih in južnih pobočjih Lastovca, na planoti pa predvsem strmejša zahodna pobočja ali manjše stene pod grebeni med Dedcem ter Belim, Črnim in Tolstim vrhom, izraziteje pa pod vršnim grebenom med Malo Ostrico, Velikim vrhom in Dleskovcem, ki na severu omejujejo najvišje dele planote. Plazovita so tudi strma vzhodna pobočja Dleskovca. Sicer so na tem območju iz snežno bogatih zim znane tri plaznice, ki se stekajo v Lučko Belo izpod Lastovca in čez strmo ostenje zatrep (Gams 1955).

## 5 Sklep

V prispevku smo predstavili metodo za določanje območij proženja snežnih plazov, ki pretežno temelji na uporabi reliefnih kazalnikov. Na proženje snežnih plazov namreč poleg meteoroloških dejavnikov, kot so razporeditev in višina snežne odeje, vetrovnost in temperatura, pomembno vpliva izoblikovanost površja.

Snežni plazovi so povezani z naklonom pobočja, njihovo spremenljivost pa poleg meteoroloških dejavnikov povečujejo ekspozicija, ukrivljenost ter hrapavost površja. Z uporabo digitalnega modela reliefa visoke prostorske ločljivosti in informacij o višini rastja je mogoče pridobiti prostorsko neprekinjene relevantne podatke tudi za najteže dostopna območja.

Pri analizi potencialnih območij proženja snežnih plazov smo upoštevali naklon, vektorsko mero hrapavosti površja, indeks vetrne izpostavljenosti, večlestvični topografski pozicijski indeks in višino rastja. Vrednosti za posamezna območja smo na podlagi statističnih značilnosti razvrstili v pet razredov in izpostavili območja z najvišjimi vrednostmi. Model smo izdelali za Kamniško-Savinjske Alpe na temelju podatkov o območjih proženja snežnih plazov v učnih regijah Zgornje Posočje in Begunjščica.

Prostorska natančnost rezultatov dokazuje pomen reliefa za proženje plazov. Metoda omogoča identifikacijo območij, ki so v določenih meteoroloških okoliščinah občasno, glede na značilnosti reliefa pa stalno potencialno nevarna za proženje plazov. To je pomembno za upravljanje gorskih pokrajin,

kamor segata prometna in energetska infrastruktura, v njih pa se odvijajo različne dejavnosti, kot je na primer turizem (slika 5). Rezultati so tudi dober temelj za podrobne analize območij in validiranje podatkov o plaznicah, pomembno dopolnjujejo poznavanje gorskih pokrajin v Sloveniji in za visokogorske predele slovenskih Alp prinašajo povsem nove prostorske informacije.

*ZAHVALA: Delo je nastalo v okviru raziskovalnega programa/projekta Geografija Slovenije (P6-0101) in temeljnega projekta Upravljanje lavinske nevarnosti s pomočjo klasifikacije reliefa (J6-2591), ki ju sofinancira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.*

## 6 Literatura

- Andres, A. J., Chueca Cía, J. 2012: Mapping of avalanche start zones susceptibility: Arazas basin, Ordesa and Monte Perdido National Park (Spanish Pyrenees). *Journal of Maps* 8. DOI: <https://doi.org/10.1080/17445647.2012.668414>
- Barbolini, M., Pagliardi, M., Ferro, F., Corradeghini, P. 2011: Avalanche hazard mapping over large undocumented areas. *Natural Hazards* 56. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9434-8>
- Böhner, J., Antonić, O. 2009: Land-surface parameters specific to topo-climatology. *Geomorphometry - concepts, software, applications. Developments in Soil Science* 33. Amsterdam.
- Brožová, N., Baggio, T., D'Agostino, V., Bühler, Y., Bebi, P. 2021: Multiscale analysis of surface roughness for the improvement of natural hazard modelling. *Preprint* 24. 3. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-2021-85>
- Burkeljca, J. 2021: Plazovi. Temeljni vodnik o nevarnosti snežnih plazov. Maribor.
- Bühler, Y., Kumar, S., Veitinger, J., Christen, M., Stoffel, A., Snehmani, S. 2013: Automated identification of potential snow avalanche release areas based on digital elevation models. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13-5. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1321-2013>
- Bühler, Y., von Rickenbach, D., Stoffel, A., Margreth, S., Stoffel, L., Christen, M. 2018: Automated snow avalanche release area delineation – validation of existing algorithms and proposition of a new object-based approach for large-scale hazard indication mapping. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 18. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-3235-2018>
- Carrara, A., Guzetti, F. 1995: Geographical information systems in assessing natural hazards. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-015-8404-3>
- Chueca Cía, J., Andrés, A. J., Montañés Magallón, A. 2014: A proposal for avalanche susceptibility mapping in the Pyrenees using GIS: the Formigal-Peyreget area 145-I (scale 1:25.000). *Journal of Maps* 10. DOI: <https://doi.org/10.1080/17445647.2013.870501>
- Corner, G. D. 1980: Avalanche impact landforms in Troms, north Norway. *Geografiska Annaler A* 62,1–2. DOI: <https://doi.org/10.1080/04353676.1980.11879994>
- Gams, I. 1955: Snežni plazovi v Sloveniji v zimah 1950–1954, *Geografski zbornik* 3.
- Gams, I. 1983: Ogroženost zaradi snežnih plazov. *Naravne nesreče v Sloveniji*. Ljubljana.
- Gams, I. 1991: Dvojno življenje melišč. *Proteus* 53–8.
- GDi d.o.o., Ljubljana: DMR Slovenije za ArcGIS Desktop/PRO, različica 2021.
- Gerlitz, L., Conrad, O., Böhner, J. 2015: Large scale atmospheric forcing and topographic modification of precipitation rates over High Asia – a neural network based approach. *Earth System Dynamics* 6. DOI: <https://doi.org/10.5194/esd-6-61-2015>
- Ghinoi, A., Chung, C. J. 2005: STARTER: A statistical GIS-based model for the prediction of snow avalanche susceptibility using terrain features – application to Alta Val Badia, Italian Dolomites, *Geomorphology* 66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.09.018>
- Guisan, A., Weiss, S. B., Weiss, A. D. 1999: GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology* 143. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1009841519580>

- Hrvatin, M., Perko, D. 2012: Uporabnost topografskega pozicijskega indeksa za morfološko analizo površja. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2011–2012, GIS v Sloveniji 11. Ljubljana.
- Kobler, A. 2016: Digitalni model krošenj Slovenije. Gozdarski inštitut Slovenije.
- Komac, B. 2009: Družbenogeografski spomin in naravnogeografski spomin na naravne nesreče. *Acta geographica Slovenica* 49-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS49107>
- Komac, B., Pavšek, M., Volk Bahun, M., Tičar, J. 2021: Snežni plazovi v dolini Soče 22. in 23. januarja 2021. Elaborat. ZRC SAZU, Geografski inštitut Antona Melika, Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2022: Impact of climate on snowpack and avalanches in Slovenia: The Soča Valley case study. *Geographica Polonica*, v tisku.
- Kozjek, K., Dolinar, M., Skok, G. 2017: Objective climate classification of Slovenia. *International Journal of Climatology* 37-S1. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5042>
- Lipušček, R. 1988: Snežni plazovi in nekatere druge fizičnogeografske značilnosti Bovškega. Pokrajina in ljudje na Bovškem. Ljubljana.
- Maggioni, M. 2005: Avalanche release areas and their influence on uncertainty in avalanche hazard mapping. Zurich.
- Maggioni, M., Gruber, U. 2003: The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency. *Cold Regions Science and Technology* 37. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(03\)00080-6](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(03)00080-6)
- Maggioni, M., Gruber, U., Stoffel, A. 2002: Definition and characterisation of potential avalanche release areas, ESRI International User Conference. San Diego.
- Mair, R., Nairz, P. 2012: Lawine. Die 10 entscheidenden Gefahrenmuster erhenen. Praxis-Handbuch. Innsbruck.
- McClung, D. M. 2001: Characteristics of terrain, snow supply and forest cover for avalanche initiation caused by logging, *Annals of Glaciology* 32. DOI: <https://doi.org/10.3189/172756401781819391>
- Medmrežje 1: <https://snowmaps.org/si> (21. 4. 2022).
- Medmrežje 2: [https://www.wsl.ch/staff/niklaus.zimmermann/programs/aml4\\_1.html](https://www.wsl.ch/staff/niklaus.zimmermann/programs/aml4_1.html) (13. 4. 2022).
- Pavšek, M. 2002: Snežni plazovi v Sloveniji. *Geografija Slovenije* 6. Ljubljana.
- Pavšek, M., Komac, B., Zorn, M. 2010: Ugotavljanje lavinske nevarnosti s pomočjo GIS-a. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010. GIS v Sloveniji 10. Ljubljana.
- Pistocchi, A., Notarnicola, C. 2013: Data-driven mapping of avalanche release areas: A case study in South Tyrol, Italy. *Natural Hazards* 65. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0410-3>
- Sappington, J. M., Longshore, K. M., Thomson, D. B. 2007: Quantifying landscape ruggedness for animal habitat analysis: A case study using bighorn sheep in the Mojave Desert. *Journal of Wildlife Management* 71-5. DOI: <https://doi.org/10.2193/2005-723>
- Schweizer, J., Jamieson, J. B., Schneebeili, M. 2003: Snow avalanche formation. *Review of Geophysics* 41. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002RG000123>
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., Hassler, G.-R. 2006: Differentiating past events on a cone influenced by debris-flow and snow avalanche activity – a dendrogeomorphological approach. *Earth Surface Processes and Landforms* 31. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.1363>
- Šegula, P. 1986: Sneg, led, plazovi. Priročnik za planince, smučarje in druge. Ljubljana.
- Šilhán, K., Tichavský, R. 2017: Snow avalanche and debris flow activity in the High Tatras Mountains: New data from using dendrogeomorphic survey. *Cold Regions Science and Technology* 134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2016.12.002>
- Tremper, B. 2015: Avalanche essentials. A step-by-step system for safety and survival. Seattle.
- van Herwijnen, A., Heierli, J. 2009: Measurement of crack-face friction in collapsed weak snow layers. *Geophysical Research Letters* 36. DOI: <https://doi.org/10.1029/2009GL040389>
- Veitinger, J., Purves, R. S., Sovilla, B. 2016: Potential slab avalanche release area identification from estimated winter terrain: a multiscale, fuzzy logic approach. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2211-2016>



- Voellmy, A. 1955: Über die Zerstörungskraft von Lawinen. Schweizerische Bauzeitung 73.
- Volk Bahun, M. 2016: Ocena in prikaz nevarnosti zaradi snežnih plazov. Ujma 30.
- Volk Bahun, M. 2020: Mehanizmi pojavljanja snežnih plazov v slovenskih Alpah. Doktorska disertacija, Fakulteta za humanistične študije Univerze na Primorskem. Koper.
- Volk, M. 2011: Lavinski kataster in zemljevidi nevarnosti zaradi snežnih plazov s poudarkom na primerih z območja osrednjih Karavank. Naravne nesreče 2. Neodgovorna odgovornost.
- Vrhovec, T. 2002: Snežni plazovi. Nesreče in varstvo pred njimi. Ljubljana.
- Weiss, A. 2001: Topographic position and landforms analysis. ESRI user conference. San Diego.