

## Vpliv vremenskih razmer na pogostost padanja kamenja v Baški grapi

*The Effect of Weather Conditions on Rockfall Frequency in Baška Grapa*

Blaž REKANJE<sup>1</sup>, Milan KOBAL<sup>2</sup>

### Izvleček:

Rekanje B., Kobal M.: Vpliv vremenskih razmer na pogostost padanja kamenja v Baški grapi; Gozdarski vestnik, 78/2020, št. 10. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 23. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic

Na podlagi terenskih popisov na treh testnih območjih v Baški grapi ter merjenj meteoroloških spremenljivk smo analizirali vpliv vremena na pogostost padanja kamenja. Za poenotenje podatkov smo v ArcMap za vsak testni objekt (Klavže, Loje 1 in Loje 2) izračunali prispevno območje in površino morebitnih izvorov kamenja. Rezultati linearnega regresijskega modela niso pokazali statistično značilnih odvisnosti med pogostostjo padanja kamenja in meteorološkimi spremenljivkami na enem testnem območju. Količina padavin pozitivno vpliva na pogostost padanja kamenja na dveh testnih območjih ter v vseh kategorijah izvora (iz brežine, od daleč). Z višanjem temperature zraka in tal se na dveh testnih območjih in vseh kategorijah izvora manjša pogostost padanja kamenja. Količina padavin ter temperature zraka in tal bolj vplivajo na pogostost padanja kamenja z brežine kot višje iz izvorov. V raziskavi nismo potrdili statistično značilnega vpliva vetra na pogostost padanja kamenja.

**Gljučne besede:** Padajoče kamenje, vreme, linearna regresija, Baška Grapa

### Abstract:

Rekanje B., Kobal M.: The Effect of Weather Conditions on Rockfall Frequency in Baška Grapa; Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry), 78/2020, vol 10. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 23. Translated by Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

We analysed the connection between weather and the frequency of rockfall based on field inventory on three test sites. To standardize the data, we calculated watershed and area of possible rockfall sources (Klavže, Loje 1 and Loje 2) in ArcMap for each test site. The results of the linear regression test showed no statistical significance between the frequency of rockfall and weather variables at one test site. Precipitation is positively linked with the frequency of rockfall at two test sites and all categories of the source. With the rise of air and ground temperatures the frequency of rockfall at two test sites and all categories of source declines. Precipitation, air and ground temperature have a greater effect on the frequency of rockfall from the strand than from higher source areas. No statistically significant correlation was found between the wind and rockfall frequency.

**Keywords:** rockfall, weather, correlation, linear regression, Baška Grapa

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Padajoče kamenje je naraven in dinamičen proces, ki zajema odlom in padanje skal različnih velikosti po pobočju (National ..., 2019). Razlikujemo med primarnim padanjem kamenja, kjer se premikajo sveže odlomljeni deli kamnin, ter med sekundarnim padanjem že prej odlomljenih in premaknjenih delov hribin (Skaberne, 2001). Posebnost padajočega kamenja je, da gre za

hipen dogodek, ki pa po navadi vpliva na manjše površine (Volkwein in sod., 2011).

Območje padajočega kamenja lahko razdelimo na tri dele: območje izvora, območje premeščanja in območje odlaganja. Najstrmejši del je največkrat območje izvora, kjer se del kamnine odlomi in začne padati, poskakovati, drseti ali se kotaliti. Območje premeščanja je del, kjer kamen pridobi največje hitrosti in višine odbojev od tal in ima zato najbolj uničevalne učinke. Če kamen ne

<sup>1</sup> Klavže 1, 5216 Most na Soči, Slovenija

<sup>2</sup> Biotehniška fakulteta. Oddelek za gozdarstvo, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, Slovenija

\* dopisni avtor: [blaz.rekanje@gmail.com](mailto:blaz.rekanje@gmail.com)

izgubi svoje kinetične energije ob trku z različnim ovirami, se ustavi zaradi manjšega naklona na območju odlaganja (Dorren in sod., 2007).

Drevesa različno vplivajo na padajoče kamenje. Na območju izvora so drevesa velikokrat sprožilni dejavnik, saj zaradi rasti korenin nastajajo in se širijo že obstoječe razpoke v hribini. Premikanje krošenj in debel v vetru še dodatno vpliva na premikanje korenin in s tem na proženje kamnov (Slika 1). Drevesne korenine v razpokah pospešujejo kemično preperevanje. Na območjih premeščanja in odlaganja je vloga dreves in gozda zaščitna. Debla dreves, grmovni sloj ter podrast delujejo na padajoče kamenje kot ovira in lahko ustavijo skalo s prostornino do 10 m<sup>3</sup>, a bodo pri tem verjetno popolnoma uničena (Dorren in sod., 2007). Poškodbe na drevesih se lahko pojavijo vse do višine devetih metrov (Stoffel, 2005).

Pri zaščiti pred manjšim padajočim kamenjem ima višja gostota sestoja pomembnejšo vlogo od debeline dreves, saj se tako poveča možnost trka in zaustavitve (Jahn, 1988; Omura & Marumo 1988; Cattiau in sod., 1995, cit. po Dorren in sod., 2007). Za najučinkovitejše sestoje so se izkazali raznomerni in raznodobni gozdovi, saj se sestoj hitreje pomladi (Dorren in sod., 2004, O'Hara,

2006, cit. po Dorren in sod., 2007). Jancke in sod. (2009) v svoji raziskavi potrjujejo učinkovitost panjevskih gozdov in drugih sestojev mlajših razvojnih faz z veliko gostoto dreves pri zagotavljanju varovalne in zaščitne funkcije. Največjo zaščito pred padajočim kamenjem zagotavljajo drevesa s prsnim premerom do 20 cm, zadovoljivo zadržijo kamenje velikosti do 50 cm, kamenja s premerom več kot meter pa ne morejo zaustaviti.

Vpliv vremena na pojavljanje padajočega kamenja je kompleksen in obsežen, različne vremenske spremenljivke delujejo na proženje v medsebojnih odnosih, ugotovitev pa ne smemo prenašati na druga območja. Delonca in sod. (2013) so v svoji raziskavi uporabili analizo časovnih vrst. Kot možne sprožilce padajočega kamenja so upoštevali količino padavin na določen dan ali vsoto padavin zadnjih deset dni, nihanje zračne temperature čez dan ter čas, ko so bile dnevne temperature zraka pod 0 °C. Na dveh izmed treh testnih območjih v Franciji je analiza pokazala značilen vpliv količine padavin in minimalnih temperatur s povečanim pojavljanjem kamenja na cesti. Na preostalem območju niso dokazali povezav. Z uporabo kumulativnih histogramov Macciotta in sod. (2015) ugotavljajo, da na proženje kamenja v



**Slika 1:** Med koreninami ukleščeno kamenje je lahko nov mogoč izvor padajočega kamenja (foto: B. Rekanje)  
**Figure 1:** Stones, wedged between roots, can be a new potential rockfall source (photo: B. Rekanje)

Kanadskih Kordiljerah značilno vplivajo predvsem količina padavin in cikli zmrzali in odtajanja: 85 % vseh kamnov se je sprožilo, ko je bila tedenska količina padavin večja od 50 mm oz. ko je bilo v tednu vsaj šest ciklov zmrzali in otoplitve.

Regresijska analiza ni pokazala jasnih povezav oz. vplivov v raziskavi, ki jo je izvedel Sass (2005) v Bavarskih Alpah. V severnih stenah se število zabeleženih kamnov rahlo poveča v času ciklov zmrzali in odtajanja v poletnih mesecih. Več kamnov je zabeležil v času nadpovprečnih padavin. Matsuoka in Sakai (1999) sta v gorovju na jugu Japonske zabeležila največje pojavljanje skalnih podorov v obdobju 5–15 dni v pomladanskih mesecih, vendar dogodki ne korelirajo z obilnejšimi padavinami ali cikli zmrzali in otoplitve. Največja intenzivnost padanja skal se pojavi, ko se tla odtalijo do globine enega metra.

Amato in sod. (2016) so v svoji raziskavi v francoskih Alpah ugotovili sedemkratno povečanje frekvence pojavljanja padajočega kamenja v obdobjih zmrzali in odtajanja ter 26-kratno povečanje v obdobju, ko v eni uri pade več kot 5 mm padavin.

## 2 METODE

### 2 METHODS

#### 2.1 Opis območja

##### 2.1 Area description

Raziskava je potekala na območju GGE Baška grapa, ki spada pod GGO Tolmin. Gozdnatost v enoti je 79,9 %. Več kot polovica (53,7 %) gozdov je varovalnih gozdov, celoten gozdni prostor ima poudarjeno funkcijo varovanja gozdnih zemljišč in sestojev, zaščitna funkcija gozdov je poudarjena na 17,2 % gozdov (Gozdnogospodarski načrt ..., 2016).

Dolina Bače je ogrožena zaradi padajočega kamenja zaradi več razlogov. Na nevarnost najbolj vpliva topografija terena, saj so tam strma pobočja s številnimi hudourniškiimi grapami. V spodnjih delih pobočij prevladujeta breča in konglomerat, višje pa apnenec in dolomit, kar še dodatno poveča ogroženost. Za proženje kamenja sta pomembna tudi številčna populacija divjadi, ki proži kamenje, ter dejstvo da so bila pobočja nad Bačo v prvi in drugi svetovni vojni večkrat bombardirana (Rak in sod., 2012).

Podnebje Baške grape zajema značilnosti submediteranskega, alpskega in celinskega podnebja. Povprečne letne padavine znašajo okoli 2000 mm, z viškom jeseni (oktober in november) ter spomladi (april in maj). Za omenjeno območje so značilni tudi močni nalivi, ko lahko v 24 urah pade do 200 mm padavin. Temperature so zelo odvisne od nadmorske višine, lege in drugih lokalnih vplivov. Vpliv Sredozemlja zvišuje povprečno letno temperaturo, ki v povprečju znaša okrog 10 °C, globoko po dolini do vznožij Tolminsko-Bohinjskih gora (Gozdnogospodarski načrt ..., 2016).

## 2.2 Zajem podatkov

### 2.2 Data gathering

Testna območja smo izbrali na mestih, kjer je padajoče kamenje že opaziti ter kjer je mogoče spremljanje vseh ustavljenih kamnov.

Testno območje Klavže leži v naselju Klavže ob 430 m dolgem odseku železniške proge Nova Gorica–Jesenice na nadmorski višini 190 m. Matična podlaga so ploščati mikritni in kalkarenitni volčanski apnenci z roženci (Osnovna ..., 2019). Nakloni območij izvorov in premeščanja so od 25 ° do 35 °, pojavljajo pa se tudi prepadne stene. Prevladuje severna lega. Kamnitost površja je 30 %, skalnatost pa 20 %. V večnamenskih raznomernih gozdovih na testnem območju prevladuje bukev s 34 % deležem v lesni zalogi, 23 % je plemenitih listavcev, 27 % je trdih listavcev ter 10 % mehkih listavcev. Sestoji niso negovani, lesna zaloga znaša 238,4 m<sup>3</sup>/ha (Pregledovalnik ..., 2019).

Testni območji Loje 1 in Loje 2 ležita ob lokalni cesti Kneža–Loje na nadmorski višini 400 m in sta na območju, kjer smo izvajali popise, dolžine 15 m in 200 m. Pobočja nad cesto so iz ploščatih mikritnih in kalkarenitnih volčanskih apnencev z roženci (Osnovna ..., 2019). Nakloni na vzpetini se gibljejo od 30 ° do 40 ° z vmesnimi prepadnimi stenami. Lega območja je jugovzhodna. Površinska kamnitost znaša 70 %, skalnatost pa 10 %. Gre za varovalni panjevski gozd, kjer s 67 % lesne zaloge prevladujejo trdi listavci, sledi bukev s 24 %, 6 % je plemenitih listavcev in 3 % hrastov. Lesna zaloga sestojja znaša 243,8 m<sup>3</sup>/ha (Pregledovalnik ..., 2019). Loje 1 in Loje 2 se poleg dolžine razlikujeta tudi po območju premeščanja kamenja. Loje 1 so pod strmim, 10 m širokim jarkom, napolnjenim

z manjšim kamenjem, Loje 2 pa so na pobočju brez večjih jarkov in grap.

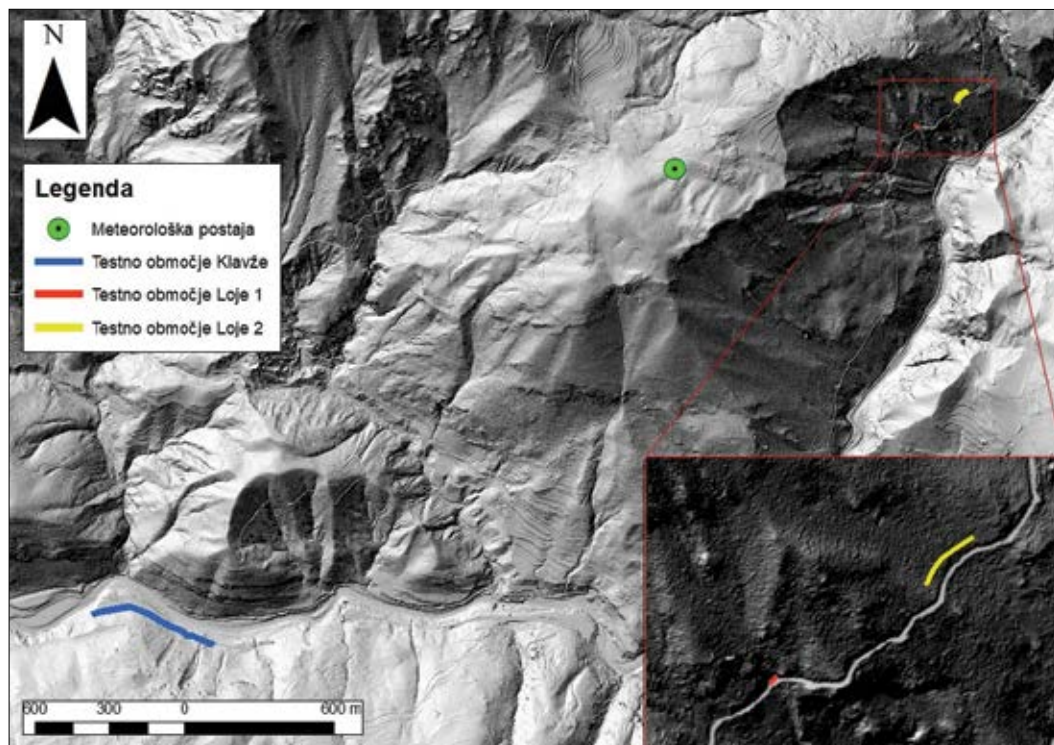
Na izbranih tesnih območjih smo zajemali podatke o novih primerih kamnov, na Selih pa smo beležili meteorološke spremenljivke. V Klavžah smo kamne popisovali na travniku in v jarku ob železnici, v Lojah 1 za leseno zaščitno ograjo, v Lojah 2 pa za togo železno zaščitno mrežo. Zabeležili smo čas popisa, lokacijo, izmerili velikost kamnov (x, y, z) v centimetrih ter vsakemu kamnu določili predvideni izvor (iz brežine, od daleč). Kamni, ki so padli iz odkopne brežine ob ograji, so bili brez sledi večjih udarcev in pogosto še prekrti z zemljo, kamni od daleč so zaradi padanja imeli sledi udarcev. Na koncu popisa smo kamne označili z barvo (Slika 2). Skupno smo naredili 45 terenskih popisov.

Z namenom pridobivanja čim bolj reprezentativnih vremenskih podatkov za območje vseh treh testnih območij smo na Selih nad Podmelcem postavili samodejno meteorološko postajo HOBO RX 3000 in od 3. marca 2018 do 3. marca 2019 spremljali meteorološke spremenljivke. Postaja je



Slika 2: Izmera novega kamna za zaščitno ograjo na testnem območju Loje 2 (foto: B. Rekanje)

Figure 2: Measuring the new stone for the protection fence on the test area Loje 2 (photo: B. Rekanje)



Slika 3: Lokacije testnih območji in meteorološke postaje

Figure 3: Locations of the test areas and meteorological station

bila na nadmorski višini 860 m, kilometer zračne razdalje od testnih območji v Lojah in 2,7 km od testnega območja Klavže (Slika 3). Podatke o temperaturi zraka na višini 2 m, temperaturi tal na globini 0,2 m, količini padavin, hitrosti in smeri vetra in relativni zračni vlagi smo izmerili vsako minuto ter vsakih 10 min preko 3G-omrežja poslali v spletni oblak. S spletne strani HOBOLink (HOBOLink, 2019) smo podatke preko uporabniškega profila naložili na računalnik.

## 2.4 Priprava in obdelava podatkov

### 2.4 Data preparation and processing

Za statistično analizo podatkov smo v programskem orodju MS Excel pripravili bazo, kjer nam je vzorčno enoto predstavljalo obdobje med obhodi. Za posamezna obdobja smo izračunali naslednje vrednosti:

- skupno količino padavin (v mm),
- povprečno temperature zraka (v °C),
- povprečno temperaturo tal (v °C),
- povprečno hitrost vetra (v m/s),
- najvišjo hitrost sunkov vetra (v m/s).

Da bi določili dejanske površine potencialnih izvorov kamenja, smo v programu ArcMap 10.5 (ArcGIS Desktop, 2019) za vsa tri testna območja izračunali prispevno območje; prispevno območje je del pobočja, s katerega vsa voda odteče v eno točko oz. odtok (How..., 2019). V našem primeru predstavlja površino, s katere se na testno območje lahko skotali kamen. Vhodni podatki za izračun prispevnega območja so digitalni model reliefa (DMR) z velikostjo celice  $1 \times 1$  m ter vektorska karta testnih območji.

DMR smo izdelali iz podatkov laserskega skeniranja površja Slovenije (GURS, 2014), testna

območja smo digitalizirali na senčenemu modelu reliefa, ki smo ga naredili iz DMR. Karto morebitnih izvorov padajočega kamenja v Baški grapi smo povzeli po Kobalu (2018), ki jo je izdelal na podlagi dekompozicije porazdelitve naklonov, kjer se obstoječo porazdelitev naklonov razdeli na več normalnih porazdelitev, vsota pa je obstoječa porazdelitev naklonov (2018). Dejansko površino izvorov padajočega kamenja smo pridobili z upoštevanjem morebitnih izvorov padajočega kamenja znotraj prispevnega območja za vsako testno območje posebej.

Na podlagi števila dni med posameznimi obhodi in površino potencialnih izvorov smo za vsako testno območje izračunali število kamnov na dan na hektar izvorov ( $n/\text{dan}/\text{ha}$  izvorov). Skupne padavine posameznega obdobja smo delili s številom dni v obdobju, da smo izračunali povprečno količino padavin na dan ter povprečno temperaturno amplitudo na dan. V programu MS Excel smo izračunali tudi porazdelitev števila kamnov v posameznih letnih časih. V programu RStudio smo za vsako meteorološko spremenljivko in lokacijo izrisali raztreseni grafikoni in izračunali linearno regresijo.

## 3 REZULTATI

### 3 RESULTS

#### 3.1 Splošni podatki

##### 3.1 General data

Od 3. marca 2018 do 3. marca 2019 smo na terenu opravili 45 obhodov, povprečno vsakega 8,8 dneva (min. = 6, max = 22). Skupno smo popisali 690 kamnov s skupno prostornino  $0,83 \text{ m}^3$ . V Lojah 1 in Lojah 2 smo zabeležili

**Preglednica 1:** Površine prispevnih območij in izvorov padajočega kamenja ter število in volumen zabeleženih kamnov po posameznih testnih območjih

*Table 1: The surfaces of the rockfall contribution areas and sources and number and volume of the recorded stones by the individual test areas*

Območje	Površina prispevnega območja (ha)	Površina izvorov padajočega kamenja (ha)	Število kamnov (n)	Volumen
kamnov ( $\text{m}^3$ )				
Klavže	44,49	0,97	24	0,18
Loje 1	3,49	0,59	424	0,31
Loje 2	3,44	0,23	242	0,34

kamenje, ki je padlo iz brežine in višje iz izvorov, v Klavžah kamenja iz brežine ni bilo. Največ kamnov smo zabeležili v Lojah 1 (424), najmanj pa v Klavžah (24). Izračunane prostornine kamnov kažejo na povprečno največje kamne, zabeležene v Klavžah, in najmanjše v Lojah 1 (Preglednica 1).

### 3.2 Analiza po letnih časih

#### 3.2 Analysis by the seasons

V Klavžah in v Lojah 1 smo največ kamenja zabeležili pozimi, ko je padlo 38 % vseh kamnov. V Lojah 2 je spomladi padlo za 0,1 % več kamnov kot pozimi. Nekaj manj kamenja smo v Klavžah in Lojah 2 zabeležili spomladi (27,6 % in 22,6 % vseh kamnov), poleti pa je na vseh območjih padlo od 20,1 % do 22,5 % kamenja. Na vseh treh testnih območjih je pogostost padajočega kamenja najmanjša v jesenskih mesecih (Slika 4).

### 3.3 Vpliv meteoroloških spremenljivk na pojavljanje padajočega kamenja

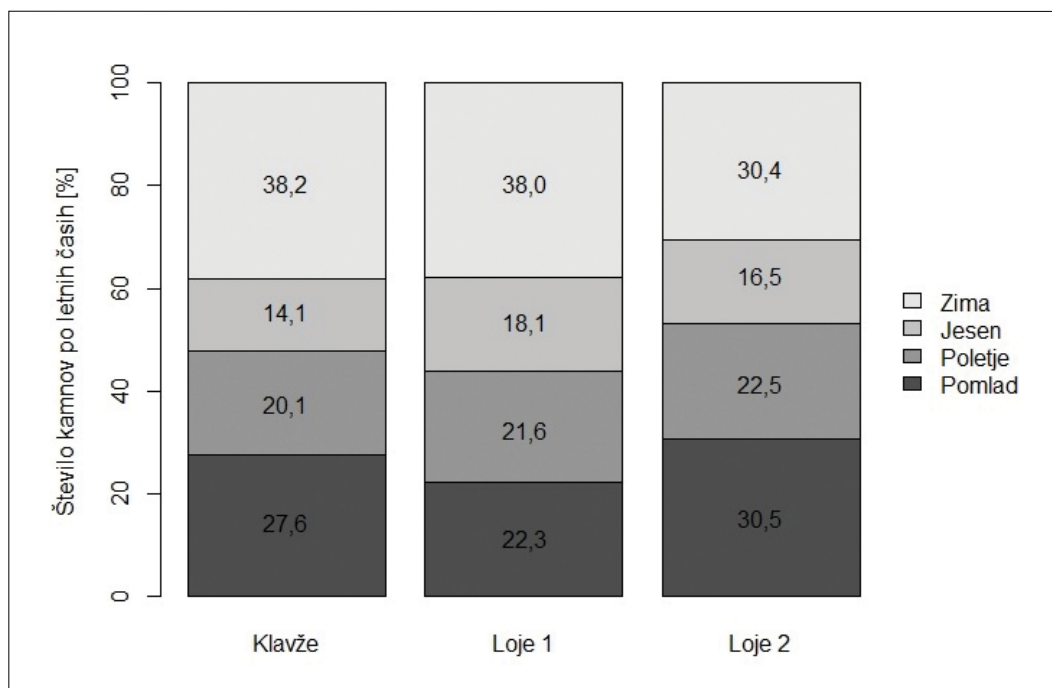
#### 3.3 Impact of the meteorological variables on the occurrence of the rockfall

##### 3.3.1 Vpliv padavin

##### 3.3.1 Impact of precipitation

Rezultati kažejo (Slika 5) na statistično značilen pozitiven vpliv količine padavin na testnih območjih Loje 1 ( $p < 0,05$ ) ter Loje 2 ( $p < 0,001$ ), na testnem območju Klavže pa vpliv količine padavin na padanje kamenja ni statistično značilen ( $p > 0,05$ ). Na objektu Loje 1 lahko glede na enačbo regresijske premice ob povečani dnevni količini padavin za 10 mm pričakujemo 3,8 več kamnov na dan na ha izvorov ( $\beta_1 = 0,38$ ), na objektu Loje 2 pa 1,4 ( $\beta_1 = 0,14$ ).

Količina padavin je povečala možnost pojavljanja padajočega kamenja iz izvorov iz odkopnih brežin v Lojah 1 ( $p < 0,001$ ) in v Lojah 2 ( $p < 0,05$ ). Pozitiven trend velja tudi za proženje kamenja z višjih predelov prispevnega območja v Lojah 1 ( $p < 0,01$ ), kar ne velja za Loje 2, kjer trend ni statistično značilen (Preglednica 2).



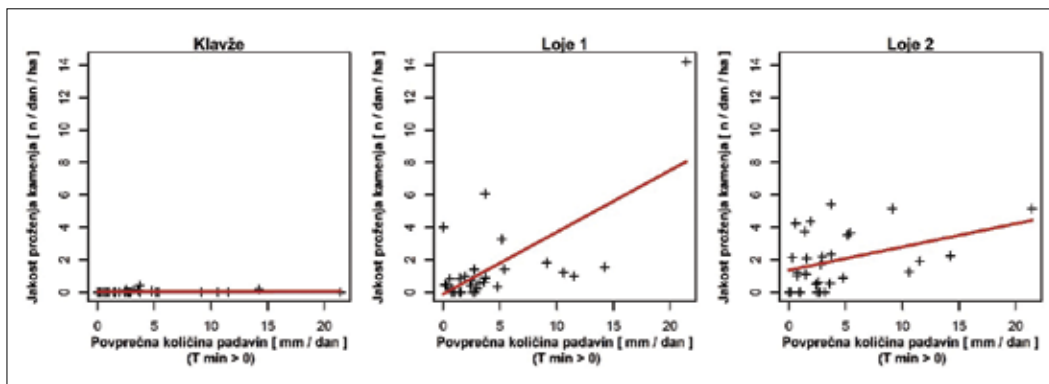
Slika 4: Odstotki števila popisanih kamnov po posameznih letnih časih in območjih

Figure 4: Percentage of the number of recorded stones by the seasons and areas

**Preglednica 2:** Enačbe regresijske premice, stopnja značilnosti ( $p$ ) ter koeficient determinacije ( $R^2$ ) za odvisnost pogostosti proženja kamenja s povprečno količino padavin po posameznih območjih in kategorijah območja

*Table 2: Regression line equations, level of characteristics ( $p$ ), and determination coefficient ( $R^2$ ) for the dependence of rockfall with the mean precipitation quantity by the individual areas and area categories*

Območje	Izvor	Enačba regresijske premice	$p$	$R^2$
Klavže	skupaj	-	$> 0,05$	-
Loje 1	skupaj	$y = 0,381 \times \text{KolP} + 0,105$	$< 0,001$	0,42
Loje 2	skupaj	$y = 0,143 \times \text{KolP} + 1,362$	$< 0,05$	0,10
Loje 1	iz brežine	$y = 0,262 \times \text{KolP} + 0,023$	$< 0,001$	0,48
Loje 1	od daleč	$y = 0,127 \times \text{KolP} + 0,101$	$< 0,01$	0,30
Loje 2	iz brežine	$y = 0,122 \times \text{KolP} + 0,639$	$< 0,05$	0,19
Loje 2	od daleč	-	$> 0,05$	-



**Slika 5:** Primerjava pogostosti proženja kamenja glede na povprečno dnevno količino padavin, ko je bila temperatura zraka višja od  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  za posamezna testna območja v Baški grapi

*Figure 5: Comparison of the rockfall frequency regarding mean daily precipitation quantity, when the air temperature was higher than  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  for the individual test areas in Baška grapa*

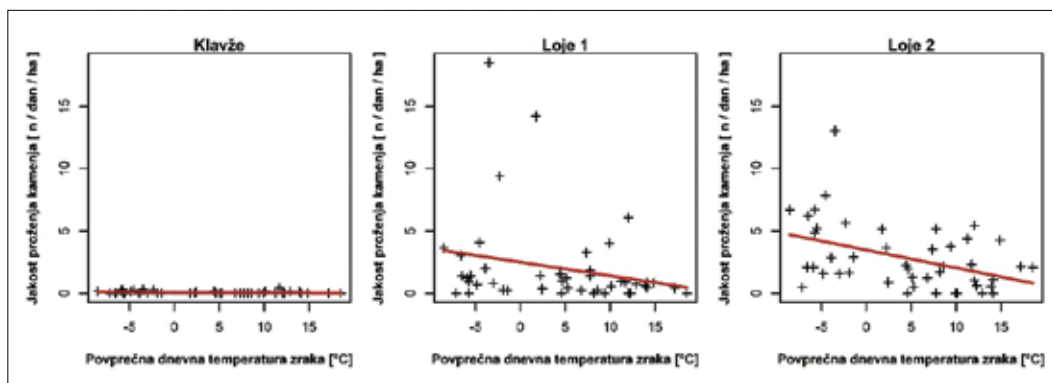
### 3.3.2 Vpliv temperature zraka

### 3.3.2 Impact of air temperature

Najvišja dnevna temperatura zraka ne kaže statistično značilnega vpliva na pojavljanje padajočega kamenja na testnem območju Klavže ( $p > 0,05$ ). Pojavljanje padajočega kamenja na objektih Loje 1 in Loje 2 pa kaže statistično značilno negativno povezavo z najvišjo dnevno temperaturo ( $p < 0,05$ ). V Lojah 1 ob povišanju najvišje dnevne temperature zraka za  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  pričakujemo 1,8 kamna manj na dan na hektar izvorov ( $\beta_1 = -0,18$ ), v Lojah 2 pa 1,6 ( $\beta_1 = -0,16$ ). Pogostost proženja kamenja v Lojah 2 je statistično značilno negativno povezana tudi s povprečno dnevno temperaturo zraka (PovpTZ) ter najnižjo dnevno

temperaturo zraka. Ko se povprečna ali najnižja temperatura zraka poviša za  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , bo v Lojah 2 padlo 1,4 kamna manj na dan na hektar izvorov ( $\beta_1 = -0,14$ ) (Slika 6, Preglednica 3).

Ob povišanju temperature zraka za  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  se je število kamnov, ki so padli iz izvorov iz brežine v Lojah 1, zmanjšalo za 1,1 ( $\beta_1 = -0,11$ ) na dan na hektar izvorov, število kamnov iz izvorov iz brežine v Lojah 2 za 1,6 ( $\beta_1 = -0,16$ ), v kategoriji od daleč Loje 1 pa za 0,7. V kategoriji izvorov od daleč v Lojah 2 nismo ugotovili povezav (Preglednica 3).



Slika 6: Primerjava pogostosti proženja kamenja s povprečno zračno temperaturo po posameznih območjih  
 Figure 6: Comparison of the rockfall frequency with mean air temperature by the individual areas

Preglednica 3: Enačbe regresijske premice, stopnje značilnosti (p) ter koeficienti determinacije (R<sup>2</sup>) za odvisnost pogostosti proženja kamenja s povprečno dnevno temperaturo zraka po posameznih območjih in kategorijah izvora  
 Table 3: Regression line equations, level of characteristics (p), and determination coefficient (R<sup>2</sup>) for the dependence of rockfall with the mean daily air temperature by the individual areas and area categories

Območje	Izvor	Enačba regresijske premice	p	R <sup>2</sup>
Klavže	skupaj	-	> 0,05	-
Loje 1	skupaj	-	< 0,05	-
Loje 2	skupaj	$y = -0,144 \times \text{PovpT}Z + 3,472$	< 0,01	0,16
Loje 1	iz brežine	$y = -0,110 \times \text{PovpT}Z + 3,374$	< 0,05	0,10
Loje 1	od daleč	$y = -0,067 \times \text{PovpT}Z + 1,888$	< 0,05	0,11
Loje 2	iz brežine	$y = -0,160 \times \text{PovpT}Z + 4,909$	< 0,001	0,31
Loje 2	od daleč	-	> 0,05	-

### 3.3.3 Vpliv temperature tal

#### 3.3.3 Impact of soil temperature

Povprečna temperatura tal ne vpliva statistično značilno na pogostost proženja kamenja na testnem območju v Klavžah ( $p > 0,05$ ). Na pojavljanje padajočega kamenja so statistično značilno ( $p < 0,05$ ) negativno vplivale povprečne temperature tal (PovpTT) v Lojah 1 ter Lojah 2. Če se povprečna dnevna temperatura tal poviša za 10 °C, lahko v Lojah 1 pričakujemo 1,6 manj kamenja na dan na hektar izvorov ( $\beta_1 = -0,16$ ), v Lojah 2 pa 1,7 ( $\beta_1 = -0,17$ ) (Slika 7). Iz regresijskega koeficienta  $\beta_1$  lahko sklepamo, da se bo ob povišanju povprečne temperature tal za 10 °C iz izvorov iz brežine v Lojah 1 sprožilo 1,0

kamna na dan na hektar izvorov manj, iz izvorov iz brežine v Lojah 2 1,6 manj, od daleč v Lojah 1 pa 0,5 manj (Preglednica 4).

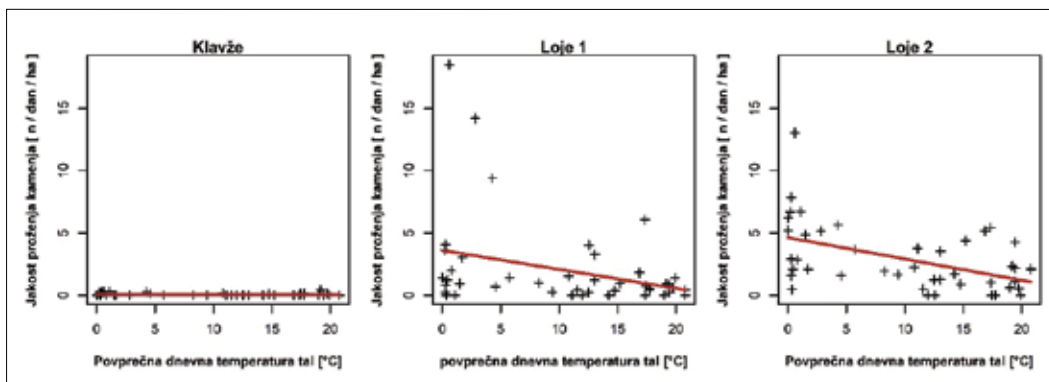
Preglednica 4: Enačbe regresijske premice, stopnje značilnosti (p) ter koeficienti determinacije (R<sup>2</sup>) za odvisnost pogostosti proženja kamenja od povprečne temperature tal po posameznih območjih in kategorijah izvora

### 3.3.4 Vpliv vetra

#### 3.3.4 Impact of the wind

V raziskavi nismo dokazali statistično značilnega vpliva povprečne hitrostjo vetra in najmočnejših sunkov vetra na pogostostjo proženja kamenja.





Slika 7: Vpliv povprečne temperature tal po posameznih območjih na pogostosti proženja kamenja  
 Figure 7: Impact of the mean temperature by the individual areas and rockfall frequency

Preglednica 4: Enačbe regresijske premice, stopnje značilnosti (p) ter koeficienti determinacije (R<sup>2</sup>) za odvisnost pogostosti proženja kamenja od povprečne temperature tal po posameznih območjih in kategorijah izvora  
 Table 4: Regression line equations, level of characteristics (p), and determination coefficient (R<sup>2</sup>) for the dependence of rockfall on the mean soil temperature by the individual areas and area categories

Območje	Izvor	Enačba regresijske premice	p	R <sup>2</sup>
Klavže	skupaj	-	> 0,05	-
Loje 1	skupaj	-	< 0,05	-
Loje 2	skupaj	$y = -0,144 \times \text{PovpTZ} + 3,472$	< 0,01	0,16
Loje 1	iz brežine	$y = -0,110 \times \text{PovpTZ} + 3,374$	< 0,05	0,10
Loje 1	od daleč	$y = -0,067 \times \text{PovpTZ} + 1,888$	< 0,05	0,11
Loje 2	iz brežine	$y = -0,160 \times \text{PovpTZ} + 4,909$	< 0,001	0,31
Loje 2	od daleč	-	> 0,05	-

#### 4 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI 4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Rezultati raziskave so pokazali, da pogostost padajočega kamenja ni odvisna izključno od površine mogočih izvorov. Na pogostost padanja kamenja vplivajo tudi geološki dejavniki, morfološki ter sončno obsevanje, požari, potresi, gibanje živali, podrto drevje ter človeški dejavniki (Rozina, 2006). Površinska kamnitost prispevnih območji v Lojah je opazno večja kot v Klavžah, zato na primer premikanje divjadi po pobočjih pomeni večjo nevarnost za sprožitev manjšega kamenja.

Količina padavin statistično značilno vpliva na pogostost proženja kamenja, kar smo potrdili na dveh območjih od treh testnih. Količina padavin

bolj vpliva na proženje kamenja na brežinah. Drevesa s svojimi listi zadržijo del padavin (intercepcija) in tako zmanjšujejo namočenost gozdnih tal. Krošnje dreves zmanjšujejo sončno obsevanje tal, zato je vlažnost v tleh bolj konstantna (Ansari, 2003). Poleg tega je naklon brežin večji od naklona pobočij. Našteti dejavniki bi lahko vplivali na manjšo pogostost proženja kamenja, kar pa lahko pojasni manj očitno povezavo v kategoriji od daleč. V nalogi smo torej potrdili ugotovitve nekaterih drugih raziskav. Vplive padavin na povečanje pogostosti padanja kamenja so dokazali tudi Delonca in sod. (2013) Macciotta in sod. (2015), Sass (2005) ter Amato in sod. (2016).

Na dveh lokacijah smo potrdili, da se z višanjem temperature zraka manjša pogostost padanja

kamenja. Ugotovitev se sklada z večjim številom zabeleženih kamnov ob intenzivnejših padavinah, saj se z vremenskimi poslabšanji po navadi zniža tudi temperatura.

Na dveh lokacijah smo potrdili negativen vpliv temperature tal na pogostost pojavljanja kamenja. Vpliv temperature tal je večji pri pojavljanju kamnov iz brežine, zato lahko sklepamo, da temperatura bolj vpliva na proženje kamenja, ki ni zaščiteno z gozdom, saj ima gozd zmožnost zmanjšanja amplitud temperature zraka in tal (Ansari, 2003).

Iz rezultatov lahko sklepamo, da povprečna hitrost vetra in najhitrejši sunki vetra na območju raziskave značilno ne vplivajo na proženje kamenja na nobenem izmed treh testnih območij. Veter je meteorološka spremenljivka, ki se lokalno zelo razlikuje zaradi oblike površja in pokrovnosti tal. Merjenje vetra neposredno na območju izvorov bi dalo zanesljivejše rezultate.

Na splošno so podatki o pogostosti pojavljanja kamenja v Lojah 1 in Lojah 2 pokazali statistično značilnejše povezave z obravnavanimi spremenljivkami kot v Klavžah. Razloge za to lahko iščemo v relativno majhnem številu popisanih kamnov na območju Klavž. Iz rezultatov lahko sklepamo, da so za proučevanje korelacij števila kamnov z meteorološkimi spremenljivkami primernejše lokacije, kjer vsak dan beležimo več kamnov.

V prihodnosti predlagamo nadaljevanje spremljanja pojavljanja padajočega kamenja na istih ali še na dodatnih območjih. Namestitev sistemov za avtomatsko zaznavanje kamenja (periodično fotografiranje, terestrično lasersko skeniranje, laserske zavese) bi pripomoglo k natančnejši določitvi časa sprožitve, kar bi omogočalo učinkovitejše iskanje sprožilnih dejavnikov (Amato in sod., 2016). Predlagamo tudi uporabo drugih matematičnih metod za iskanje korelacij. Podatke bi lahko transformirali (log transformacija, kvadratna transformacija, transformacija arcsin) in tako iskali boljše koeficiente determinacije ter statistične značilnosti (McDonald, 2014). Baška grapa je ugodno testno območje za raziskovanje razlik med osojnimi in prisojnimi pobočji v pogostosti proženja kamenja, saj so razlike v času sončnega obsevanja zaradi orientacije doline še posebno pozimi tod velike (Rak in sod., 2012).

## 5 POVZETEK

Padajoče kamenje je pobočni proces, ki se zgodi hipno in največkrat prizadene majhno površino. Baška grapa je zaradi strmih pobočij, kompleksne geološke zgradbe, ostrih podnebnih razmer ter številčne populacije divjadi zelo ogroženo območje. Za učinkovito preventivo je poleg poznavanja ogroženih območij potrebno prepoznavanje obdobji, ko je nevarnost za proženje kamenja večja.

V raziskavi smo analizirali vplive meteoroloških spremenljivk na pogostost proženja kamenja na treh testnih lokacijah v Baški grapi. Izvedli smo periodične terenske popise novega kamenja. Za vsako območje smo izračunali prispevno območje in površino morebitnih izvorov padajočega kamenja. Zbrane in poenotene podatke o številu kamenja smo analizirali z linearno regresijo in jih predstavili grafično in v preglednici.

Ugotovili smo, da na testnem območju Klavže na pogostost proženja kamenja ni značilno vplivala nobena meteorološka spremenljivka. Količina padavin poveča možnost proženja kamenja na testnih območjih Loje 1 in Loje 2 ter v obeh kategorijah izvora. Bolj vpliva količina padavin na proženje iz brežine. Trend vpliva temperature zraka in tal na pogostost padanja kamenja je negativen. Vpliv najvišje dnevne temperature na proženje iz brežine je večji kot iz višjih izvorov. V raziskavi veter ni pokazal značilnih povezav s proženjem kamenja.

## 5 SUMMARY

Rockfall is a slope process occurring momentarily and most often affecting a small area. Due to its steep slopes, complex geological structure, harsh climatic conditions and numerous game population, Baška grapa is highly endangered area. For effective prevention, in addition to knowing the endangered areas, also identifying the periods when the rockfall danger is increased is needed.

In our research, we analyzed the impacts of the meteorological variables on the rockfall frequency on three test locations in Baška grapa. We performed periodical field inventories of the new stones. For every area; we calculated the contribution area and the surface of the potential rockfall sources. We analyzed the collected and unified data on

the number of stones using linear regression and presented them with graphs and in a table.

We stated that the rockfall on the test area Klavže no meteorological variable significantly affected rockfall frequency. Precipitation quantity increases the rockfall possibility on the test areas Loje 1 and Loje 2 and in both source categories. Precipitation quantity exerts an increased impact on rockfall from the slope. The trend of the air and soil temperature impact on the rockfall frequency is negative. The impact of the highest daily temperature on the rockfall from the slope is bigger than the one from the higher sources. In our research, the wind did not display significant connections with the rockfall.

## 6 ZAHVALA

## 6 ACKNOWLEDGEMENT

Zahvala velja podjetju Pileus, Okoljske rešitve, Iztok Miklavčič, s. p., in Zdenku Rejcu za pomoč in nasvete pri postavitvi meteorološke postaje.

## 7 VIRI

## 7 REFERENCES

- Amato J., Hantz D., Guerin A., Jaboyedoff M., Baillet L., Marsical A. 2016. Influence of meteorological factors on rockfall occurrence in a middle mountain limestone cliff. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16, 719–735.
- Ansari A. S. 2003. Influence of forest on environment. V: Québec city, XII World Forestry Congress. <http://www.fao.org/3/XII/1018-B2.htm> (29. 8. 2019).
- ArcGIS desktop. 2019. <http://desktop.arcgis.com/en/> (13. 8. 2019).
- Delonca A., Gunzburger Y., Verdel T. 2014. Statistical correlation between meteorological and rockfall databases. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14: 1953–1964.
- Dorren L., Berger F., Jonsson M., Krautblatter M., Mölk M., Stoffel M., Wehrli A. 2007.
- State of the art in rockfall – forest interactions. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 158, 6: 128–141.
- Gozdnogospodarski načrt Gozdnogospodarske enote Baška grapa 2016–2025. 2016. Tolmin, Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Tolmin
- HOBOLink. 2019. <https://www.hobolink.com/> (13. 8. 2019).
- How watershed works. 2019. ArcGIS for Desktop. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-watershed-works.htm> (14. 8. 2019).
- Jancke O., Dorren L. K. A., Berger F., Fuhr M., Köhl M. 2009. Implications of coppice stand characteristics on the rock fall protection function. *Forest ecology and management*, 251, 1: 124–131.
- Kobal M. 2018. Karta možnih izvorov padajočega kamenja v Baški grapi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Katedra za krajinsko znanost in geoinformatiko (neobjavljeno, 13. avg. 2019)
- Lidar podatki po listih v projekciji D48GK. 2014. Geodetska uprava Republike Slovenije. [http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas\\_voda\\_Lidar@Arso](http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso) (14. 8. 2019)
- Macciotta R., Edwards, T., Hendry M., Martin C. D., Heilman J. 2015. Weather-based rockfall hazard criteria along a railway corridor in the Canadian Cordillera. *Georisk*, 11: 272–284.
- Matsuoka N., Sakai H. 1999. Rockfall activity from an alpine cliff during thawing periods. *Geomorphology*, 28: 309–328.
- National Park Service. 2019. Rockfall. Yosemite National Park. California. <https://www.nps.gov/yose/learn/nature/rockfall.htm> (22. 7. 2019).
- Osnovna geološka karta. 2019. Geološki zavod Slovenije. <https://biotit.geo-zs.si/ogk100/> (29. 7. 2019).
- Pregledovalnik podatkov o gozdovih. 2019. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije. <https://prostor.zgs.gov.si/pregledovalnik/> (29. 7. 2019).
- Rak G., Zupančič G., Papež J., Kozelj D. 2012. Izdelava kart nevarnosti, ranljivosti in ogroženosti zaradi snežnih plazov in padajočega kamenja na odseku Bohinjske proge. *Ujma*, 26: 130–137.
- Rozina D. 2016. Analiza padanja kamenja na odseku ceste Renke – Zagorje: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta). Ljubljana, samozal.
- Sass O. 2005. Temporal Variability of Rockfall in the Bavarian Alps, Germany. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 37, 4: 564–573.
- Skaberne D. 2001. Predlog slovenskega izrazoslovja pobočnih premikanj – pobočnega transporta. *Geologija*, 44, 1: 89–100.

- Stoffel M. 2005. Assessing the vertical distribution and visibility of rockfall scars in trees. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 156, 6: 195–199.
- Stokes A., Salin F., Kokutse A. D., Berthier S., Jeannin H., Mochan S., Dorren L., Kokutse N., Ghani M. A., Fourcaud T. 2005. Mechanical resistance of different tree species to rockfall in the French Alps. *Plant and Soil*, 278: 107–117.
- Volkwein A., Schellenberg K., Labiouse V., Agliardi F., Berger F., Bourrier F., Dorren L. K. A., Gerber W., Jaboyedoff M. 2011. Rockfall characterisation and structural protection - a review. *Natural Hazards and Earth System Sciences, European Geosciences Union*, 11: 2617–2651.