

Umikanje skalnih pobočij na erozijskih žariščih v slovenski Istri

Rockwall retreat on badlands in Slovene Istria

Matija ZORN¹ & Matjaž MIKOŠ²

¹Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Novi trg 2, SI-1000 Ljubljana;
e-mail: matija.zorn@zrc-sazu.si

²Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana;
e-mail: matjaz.mikos@fgg.uni-lj.si

Ključne besede: umikanje pobočij, erozijski procesi, fliš, erozijska žarišča, slovenska Istra
Key words: rockwall retreat, erosion processes, flysch, badlands, Slovene Istria

Izvleček

Strma gola skalna pobočja, ki so hkrati tudi erozijska žarišča, so morfogenetska posebnost flišnega dela Istre. Na njih imajo mikroreliefne oblike relativno kratko življenjsko dobo, saj so erozijski procesi hitri. V članku, na podlagi meritev sproščanja flišnih kamnin na štirih erozijskih poljih v porečju Rokave južno od vasi Marezige, predstavljamo, kako hitri so ti procesi. Sproščanje flišnih kamnin v povprečju znaša okoli 80 kg/m² na leto, kar pomeni, da se pobočje umika s hitrostjo približno 35 mm/leto.

Nadalje so predstavljene tedenske meritve sproščanja flišnih kamnin za obdobje 15 mesecev (februar 2005–april 2006), kot tudi mesečna povprečja in povprečja po letnih časih. Predstavljene so še linearne statistične povezave med sproščanjem flišnih kamnin in vremenskimi vplivi.

Abstract

Steep bare rocky slopes that are badlands at the same time, are a morphogenetic particularity of the flysch part of the Istrian Peninsula. On them, microrelief forms are of a short life cycle, since erosion processes are fast. On the basis of measurements of sediment production in flysch rocks on four erosion plots in the Rokava watershed situated south of the village of Marezige, we show in this paper how fast these processes are. The annual sediment production in flysch rocks is on average around 80 kg/m², which means that the slope retreat rate is about 35 mm/year.

Furthermore, weekly measurements of sediment production in flysch rock for the period of 15 months (from February 2005 till April 2006) are shown, as well as weekly and seasonal averages. Linear statistical correlations between sediment production in flysch rocks and weather conditions are also presented.

Uvod

Strma gola pobočja, ki so hkrati tudi erozijska žarišča, so morfogenetska posebnost flišnega dela Istre. Obstajajo linijske oblike (erozijski jarki, struge hudournikov) in ploskovne oblike (strme stene, rebrast relief na položnejših pobočjih) (JURAK & FABIĆ, 2000). Prebivalci med Dragonjo in Rokavo takšna erozijska žarišča imenujejo »bržine« (KODARIN, 1998, 2).

Za nastanek erozijskih žarišč na nagnjenih pobočjih so nujni naravni predpogoji (npr. erodibilna kamnina, razčlenjeno površje). Pomembno vlogo pri aktivnosti erozijskih žarišč imajo litološke značilnosti, v primeru flišnih kamnin predvsem njihova pretrtost in hitro preperevanje.

Za njihov nastanek je lahko odgovoren tudi človek (HARVEY, 2004). Njihov nastanek v antični Grčiji npr. povezujejo z uničenjem rastja. Ne glede na njihov nastanek so povsod brez rastja

in razčlenjeni z erozijskimi žlebiči in jarki. Na njih imajo mikroreliefne oblike relativno kratko življenjsko dobo, saj so erozijski procesi hitri. Hitrost erozijskih procesov se lahko na istih erozijskih žariščih iz leta v leto močno razlikuje. V Alberti (Kanada), kjer so potekale meritve zniževanja površja 10 let, je bil njihov razpon med 7,4 mm in 83,6 mm/leto (CAMPBELL, 1997).

V erozijskih žariščih je kamnina neposredno izpostavljena spremembam temperature, vlage, vetra, udarcem dežnih kapljic in spiranju. Posledica so stožčaste nasutine (podžlební vršaji) pod erozijskimi jarki ali melišča pod golimi stenami ob vznožju erozijskih žarišč (JURAK & FABIĆ, 2000).

Erozijska žarišča imajo dve poglavitni vlogi v geomorfnem sistemu: so velik vir erodiranega gradiva in pomemben dejavnik oblikovanja pobočij (HARVEY, 2004).

Meritve erozijskih procesov v Sredozemskih »badlandih« so dale vrednosti med 5 t/ha/leto

(0,45 mm/leto) in 220–330 t/ha/leto (20–30 mm/leto), odvisno od podnebnih, kamninskih in reliefnih značilnosti ter razlik v prostorskem in časovnem merilu. Po POESNU in HOOKEU (1997, 162) zavzemajo »badlandi« 5 % površja južne Evrope. Na območju naših preučevanj v porečju Dragonje pa po STAUTU (2004) predstavljajo 0,61 % površja, leta 1955 pred močnim pogozdovanjem v drugi polovici 20. stoletja pa so bili na 2,91 % površin. Kljub relativno majhnim površinam v porečjih pa erozijska žarišča prispevajo največ odplavljenega gradiva. V porečju reke Red Deer River (Alberta, Kanada) so ugotovili, da erozijska žarišča, ki predstavljajo 2 % porečja, prispevajo kar 80 % letno odplavljenega suspendiranega gradiva (CAMPBELL, 1997).



Slika 1. Erozijski polji 1 in 2 (fotograf: Matija Zorn)

Figure 1. Erosion plots 1 and 2 (photographer: Matija Zorn)

Metode in meritve

Sproščanje fliša smo merili s pomočjo štirih polodprtih erozijskih polj v porečju Rokave južno od vasi Marezige. Meritve umikanja pobočij so bile del obsežnejših meritev erozijsko-denudacijskih procesov v porečju Dragonje, pri katerih smo merili še erozijo prsti/tal na različnih rabah tal in kemično denudacijo (ZORN 2007a; 2007b; ZORN & PETAN 2007; ZORN & PETAN 2008).

Erozijska polja smo postavili na nižjem delu gole flišne stene (slika 1), ki je bila izbrana kot dovolj tipični primer za flišne stene v Istri, to



Slika 2. Gradivo (30,8 kg) ujeta za pregrado erozijskega polja 4 v tednu med 19. 1.–26. 1. 2006 (fotograf: Matija Zorn)

Figure 2. Material (30.8 kg) captured behind the barrier of erosion plot 4 in the week between January 19 and January 26, 2006 (photographer: Matija Zorn)

je z razmeroma hitrim izmenjavanjem flišnih sekvenc, z veliko pretrstostjo kamnin in s prevlado glinavca nad peščenjakom. Flišne sekvence so na opazovani steni skoraj horizontalne in so bile debele od nekaj centimetrov do največ 15 cm. Ker namen terenskega opazovanja ni bila analiza vpliva geoloških parametrov na intenziteto sproščanja flišnih kamnin, nismo opravili primerjave sproščanja med erozijskimi žarišči z različno geološko sestavo in lego plasti, temveč smo izbrali dovolj tipično (reprezentativno) steno in na njej analizirali vpliv drugih (vremenskih) dejavnikov na sproščanje.

Nižji del stene smo zbrali zato, ker smo na ta način dobili relativno majhna erozijska polja, pri katerih smo še lahko obvladovali količino sproščenega gradiva. Polja so bila zgoraj omejena z robom erozijskega žarišča, ob straneh pa so bila odprta. Osnovni podatki o erozijskih poljih so podani v preglednici 1. Na melišče pod steno smo postavili pregrade širine 1 m. Pregrade smo postavili okrog 0,5 m od stene, da sproščeni delci ne bi leteli prek pregrade. Med steno in pregradami smo pritrdili trdno plastično folijo, da se sproščeno gradivo v času meritev ni mešalo s starejšim gradivom na melišču. Na robove folije smo med pregrado in steno namestili večje kose peščenjaka, ki so preprečevali, da bi gradivo odloženo na robu uhajalo iz polja. Gradivo

Preglednica 1. Osnovni podatki o erozijskih poljih

Table 1. Basic data on erosion plots

erozijsko polje	prispevna površina v pogledu	obdobje meritev	ujeta količina gradiva v času meritev	Gauss-Krügerjeve koordinate pregrade	nadmorska višina pregrade	naklon erozijskega polja
	m ²		kg		m	(°)
1	1,805	10. 2. 2005–26. 4. 2006	136,31	X 5406155 Y 5039638	198,5	80–90
2	2,548	10. 2. 2005–26. 4. 2006	109,78	X 5406154 Y 5039637	198,9	80–90
3	2,470	10. 2. 2005–23. 2. 2006	122,97	X 5406157 Y 5039632	200,1	60–90
4	4,515	10. 2. 2005–26. 4. 2006	358,13	X 5406160 Y 5039627	203	80–90

za pregradami smo pobirali tedensko, sušili in tehtali pa smo ga v laboratoriju.

Pregled terenskih metod za meritve umikanja pobočij sta naredila KRAUTBLATTER in DIKAU (2007).

Dosedanje raziskave

Erozijske procese na erozijskih žariščih v notranjosti slovenske Istre je s pomočjo dendrokronologije preučeval OGRIN (1988; 1992), s pomočjo terestične fotogrametrije pa PETKOVŠEK (2002a; 2002b; PETKOVŠEK & MIKOŠ, 2003). Erozijske procese na obalnih klifih so preučevali GAMS (1970/71), RADINJA (1973) in s pomočjo arheoloških ter zgodovinskih virov ŠRIBAR (1967) in ŽUMER (1990). Slednji je pri Valdoltri ocenil, da poteka umikanje pobočja najmanj 6 mm na leto (v zadnjih okrog 900 letih), ob obokih pod piransko cerkvijo pa v zahodnem kotu 2 cm letno v zadnjih 300 letih, v vzhodnem kotu pa 1 cm letno v zadnjih 200 letih. Navaja tudi podatek, da se je med letoma 1901 in 1990 rob klifa v bližini župnišča umaknil za 2 m (ŽUMER, 1990), kar je prek 2,2 cm letno. GAMS (1970/71, 57) piše, da na »nekaterih mestih visi koreninski splet redkih dreves do enega metra čez zgornji rob klifa, ki se je za toliko odmaknil v času rasti drevesa«. RADINJA (1973) je na podlagi rekonstrukcije oziroma podaljšanja pobočij do morske gladine ocenil umikanje pobočij na 1–2 cm/leto. ŠRIBAR (1967) je s pomočjo arheoloških najdb ocenil, da se je vzhodna obala Simonovega zaliva od rimskih časov odmaknila za 60 m (okrog 3 cm/leto), s pomočjo topografskih analiz pa je med letoma 1922 in 1958 ugotovil umik pobočij za kar 15–20 m (0,42–0,56 m/leto) (GAMS, 1970/71).

OGRIN (1992) je na dveh erozijskih žariščih v Bržaniji ugotavljal umikanje pobočij s pomočjo dendrokronologije. Na prvem je ugotovil umikanje pobočij 1,48 cm na leto pri naklonu 70° in 0,8 cm na leto pri naklonu 30–34°, na drugem pa 2

cm na leto pri naklonu 51° in 0,75–0,78 cm na leto pri naklonu 30–40°. OGRIN in MUŽINA (2005, 300) nastanek erozijskih žarišč povezujeta z odstranitvijo naravne vegetacije. »Obseg teh površin je bil v preteklosti precej večji kot je danes. S propadanjem kulturne pokrajine, zlasti z opuščanjem kmetovanja na pobočjih in opustitvi paše ter širjenjem grmovnega in drevesnega rastja, so se erozijski procesi umirili«.

S pomočjo terestrične fotogrametrije so erozijske procese na erozijskih žariščih preučevali v hrvaški Istri. Meritve so potekale na štirih erozijskih žariščih: na erozijskem polju 1 v Abramih, pri Sv. Donatu, v Medveji pri Sv. Petru in dolvodno od pregrade Butoniga (JURAK et al., 2002). V slovenski Istri je v porečju Rokave (na erozijskem žarišču na Škrlineh) s pomočjo terestične fotogrametrije erozijo meril PETKOVŠEK (2002a; 2002b). Primerjava med našimi meritvami in meritvami s pomočjo terestrične fotogrametrije je v preglednici 2. Naše vrednosti so zelo podobne podatkom PETKOVŠKA (2002a).

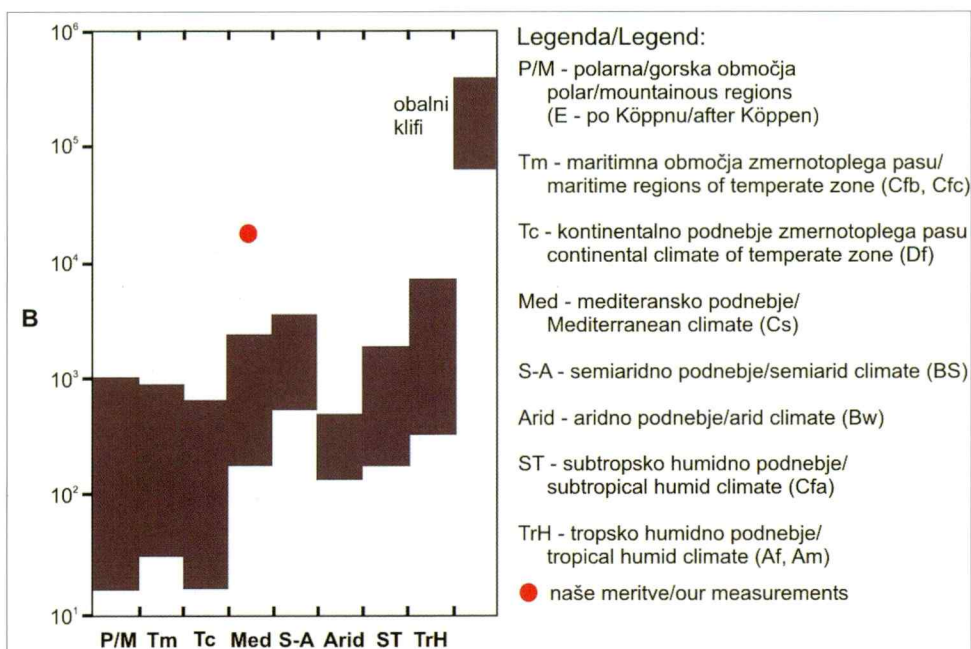
Podatke o umikanju pobočij v različnih podnebnih pasovih, na različnih kamninah in na različnih naklonih sta zbrala YOUNG (1969; 1974), SAUNDERS in YOUNG (1983) ter YOUNG in SAUNDERS (1986). V novejši literaturi najdemo tovrstne podatke predvsem za polarna in gorska območja, npr. ANDRÉ (1997; 2003), SASS in WOLLNY (2001), CURRY in MORRIS (2004) ter GLADE (2005). Tudi SAUNDERS in YOUNG (1983) sta zbrala največ podatkov za polarna in gorska območja, njihov razpon pa je med 20–1000 B (1 B [Bubnoff] = 1 mm/1000 let = 1 m³/km²/leto = 0,026 t/ha/leto; SAUNDERS & YOUNG, 1983; YOUNG & SAUNDERS, 1986), s srednjo vrednostjo blizu 100 B. CURRY in MORRIS (2004) navajata za polarna in gorska območja maksimalno vrednost 4,5 mm/leto (za švicarske Alpe). Vrednosti v drugih podnebnih območjih so nekoliko višje in se gibljejo med 100–10.000 B (YOUNG & SAUNDERS, 1986).

Preglednica 2. Primerjava meritev sproščanja gradiva na golih in strmih flišnih pobočjih (PETRAŠ et al., 1999; PETKOVŠEK, 2002a; JURAK et al., 2002).

Table 2. Comparison of measurements of sediment production on bare steep flysch slopes (PETRAŠ et al., 1999; PETKOVŠEK, 2002a; JURAK et al., 2002).

erozijsko polje	metoda	obdobje meritev	sproščeno gradivo (m ³)	površina v pogledu (m ²)	tlorisna (reducirana) površina (m ²)	povprečno letno sproščanje gradiva (m ³ /km ² /leto)	
						površina v pogledu	po tlorisni površini
Abrami – erozijsko polje 1	terestična fotogrametrija	(1995–1997) (30 mesecev)	0,445	8,9	3,7	20.000	48.108
Sv. Donat	terestična fotogrametrija	(1995–1997) (30 mesecev)	215	3856	2191	22.303	39.251
Sv. Donat	terestična fotogrametrija	(1997–2001) (38 mesecev)	361	4239	2292	26.890	49.733
Rokava – Škrline	terestična fotogrametrija	27. 9. 2001–27. 8. 2002 (11 mesecev)	-	3685	2682	40.000	50.000
Rokava – Marezige (naše meritve)	lovljenje sproščenega gradiva	10. 2. 2005–26. 4. 2006 (~ 15 mesecev)	0,43	11,34	-	45.205,67* 49.215,11**	-

* obdobje: 10. 2. 2005–8. 2. 2006
* period: 10. 2. 2005–8. 2. 2006
** obdobje: 28. 4. 2005–26. 4. 2006
** period: 28. 4. 2005–26. 4. 2006



Slika 3. Umikanje pobočij v različnih podnebnih pasovih in naše meritve (SAUNDERS & YOUNG, 1983; YOUNG & SAUNDERS, 1986).

Figure 3. Rockwall retreat in different climates and our measurements (SAUNDERS & YOUNG, 1983; YOUNG & SAUNDERS, 1986).

Rezultati meritev v porečju Rokave po tednih

Sproščanje flišnih kamnin smo merili tedenko od 10. 2. 2005 do 26. 4. 2006. Povprečja na teden in skupne vrednosti za vseh 15 mesecev ter za dve 12 mesečni obdobji so predstavljena v preglednici 3. Dve 12 mesečni obdobji predstavljamo zato, ker nam dolžina meritev ne omogoča primerjave sproščanja v različnih letih, lahko pa s trimesečnim zamikom naših meritev že ponazorimo variabilnost meritev, ki bi bila z daljšim nizom meritev še večja.

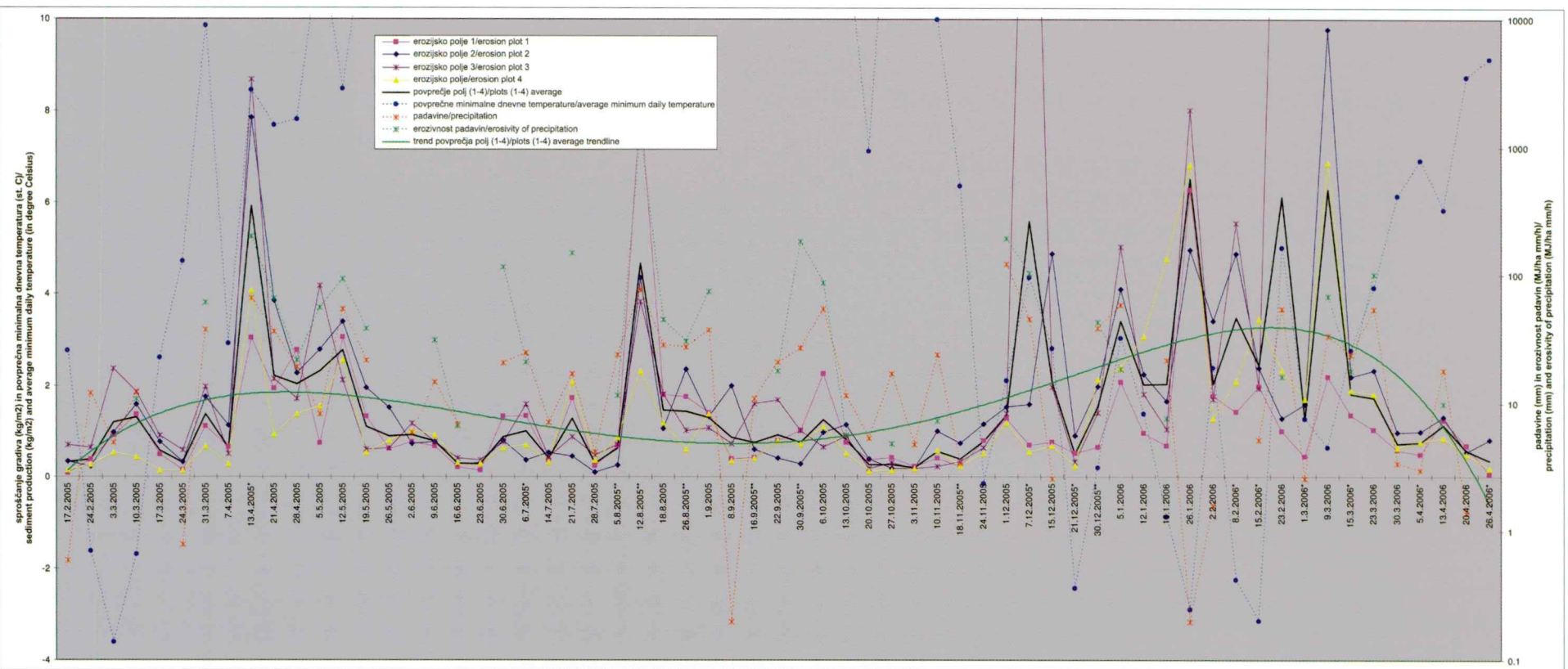
Sproščanje gradiva v povprečju znaša med 77,39 in 84,26 kg/m² na leto, kar pomeni, da se pobočje umika približno 35 mm/leto, upoštevajoč gostoto flišnih kamnin 2300 kg/m³ (po MIŠČEVIĆ et al. (2008) za flišne kamnine na Bolu na Braču (Hrvaška); to vrednost smo uporabili za izračun umika pobočja v preglednicah 3–5 – umik pobočja

je bil lahko tudi dobrih 10 mm večji (skoraj 5 cm/leto), če uporabimo podatek PETKOVŠKOVE et al. (2008), ki za flišne kamnine v Goriških Brdih navajajo suho prostorninsko težo 1680 do 1700 kg/m³). Ekstrapolacija meritev na 10 oziroma 1000 let kaže na umikanje pobočij približno 0,35 m oziroma 35 m.

V času naših meritev smo opazili tri viške sproščanja (slika 3). Prva dva sta povezana z močnejšimi padavinami spomladi in poleti, tretji pa z izmenjavanjem negativnih in pozitivnih temperatur prek dneva v hladnejšem delu leta. Podobno so ugotovili v Pirenejih (Španija) (REGÜES et al., 1995; 2000) in sicer, da je za del leta z negativnimi temperaturami značilno močno preperevanje, za toplejši del leta pa dežna (vodna) erozija. Trdijo, da je količina sproščenega gradiva odvisna od hitrosti preperevanja (REGÜES et al., 1995). REGÜES et al. (2000, 184) ugotav-

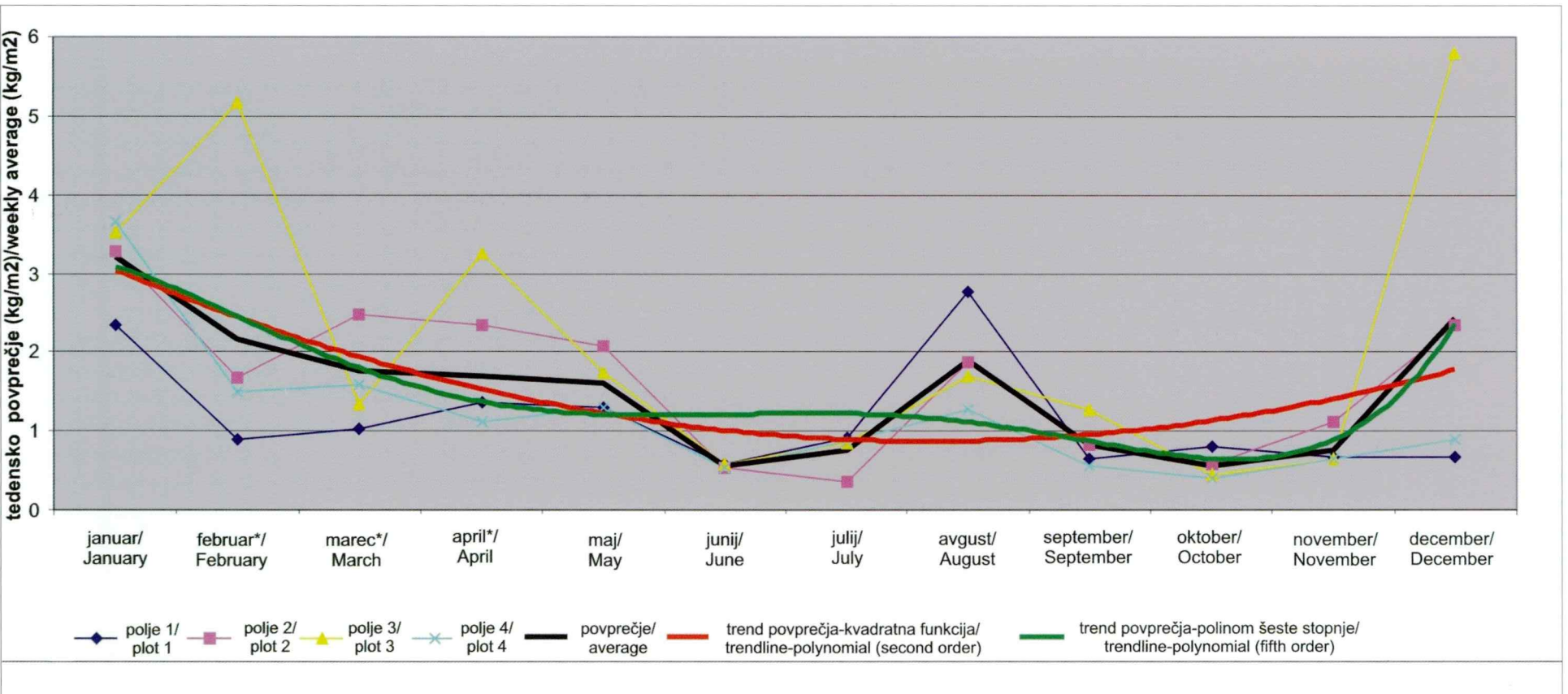
	obdobje meritev	polje 1		polje 2		polje 3		polje 4		povprečje polj 1–4	
		kg/m ²	mm	kg/m ²	mm	kg/m ²	mm	kg/m ²	mm	kg/m ²	mm
povprečno na teden (15 mesecev)	10.2.2005–26.4.2006	1,20	0,52	1,74	0,76	2,28	0,99	1,26	0,55	1,60	0,69
skupaj (15 mesecev)	10.2.2005–26.4.2006	75,52	32,83	109,78	47,73	122,97	53,47	79,32	34,49	100,55	43,72
povprečno na teden (12 mesecev)	10.2.2005–8.2.2006	1,24	0,54	1,65	0,72	1,95	0,85	1,12	0,49	1,49	0,65
skupaj (12 mesecev)	10.2.2005–8.2.2006	64,45	28,02	85,59	37,21	101,22	44,01	58,32	25,36	77,39	33,65
povprečno na teden (12 mesecev)	28.4.2005–26.4.2006 *24.2.2005–23.2.2006	1,20	0,52	1,71	0,74	2,34*	1,02	1,35	0,59	1,62	0,70
skupaj (12 mesecev)	28.4.2005–26.4.2006 *24.2.2005–23.2.2006	62,60 27,22		88,68 38,56		121,63* 52,88		70,30	30,57	84,26	36,63

Preglednica 3. Sproščanje flišnih kamnin in umikanje skalnega pobočja – povprečno na teden in skupaj. Table 3. Sediment production in flysch rocks and rockwall retreat – weekly average and total.



Slika 4. Tedenske meritve sproščanja flišnih kamnin s strmih golih pobočij od 10. 2. 2005 do 26. 4. 2006 in izbrane vremenske razmere

Figure 4. Weekly measurements of sediment production in flysch rocks on bare steep slopes (from February 2, 2005 to April 26, 2006) and selected weather conditions



Slika 5. Sproščanje flisnih kamnin po mesecih

Figure 5. Sediment production of flysch rocks per month

*povprečje dvoletnih meritev; razen polja 3, ki ga je februarja 2006 uničila večja količina sproščenega gradiva.

* two years average; except for plot 3, which was destroyed in February 2006 by a large amount of sediments

Preglednica 4. Sproščanje flišnih kamnin po mesecih.

Table 4. Sediment production in flysch rocks per month.

mesec	povprečje polj 1–4					
	povprečno na teden	skupaj mesec	povprečno na teden	skupaj mesec	povprečno na teden	skupaj mesec
	kg/m ²	kg/m ²	kg/ha	kg/ha	mm/ teden	mm/ mesec
januar	3,20	16,02	32.037,72	160.188,59	1,39	6,96
februar*	2,17	7,58	21.660,31	75.811,09	0,94	3,30
marec*	1,77	7,07	17.665,33	70.661,30	0,77	3,07
april*	1,70	6,82	17.038,98	68.155,93	0,74	2,96
maj	1,60	8,00	16.003,60	80.018,00	0,70	3,48
junij	0,56	2,24	5.592,28	22.369,13	0,24	0,97
julij	0,75	2,99	7.480,02	29.920,06	0,33	1,30
avgust	1,90	9,49	18.985,43	94.927,14	0,83	4,13
september	0,83	3,30	8.260,01	33.040,03	0,36	1,44
oktober	0,56	2,80	5.604,28	28.021,39	0,24	1,22
november	0,77	3,08	7.693,40	30.773,59	0,33	1,34
december	2,42	9,70	24.244,05	96.976,19	1,05	4,22

* povprečje dvoletnih meritev

* two years average

lajo, da je sproščanje gradiva zaradi intenzivnega preperevanja pozimi za »dva reda velikosti« večje od sproščanja zaradi dežne (vodne) erozije. Poleg tega ugotavljajo, da se večina erozijskih žarišč pojavlja na pobočjih s severno (osojno) ekspozicijo (REGÜES et al., 2000, 173, 181–182), kjer je »energija vključena v zmrzovanje dvakrat večja« kot na južnih pobočjih. Poleg tega večja vlažnost severnih pobočij poveča učinkovitost zmrzovanja (REGÜES et al., 2000). Za porečje

Dragonje je STAUT (2004, 119) ugotovil »izrazito skoncentriranost erozijskih žarišč na pobočjih z vzhodno ekspozicijo«. Naše meritve so potekale na pobočju s severno ekspozicijo.

Meritve po mesecih in letnih časih

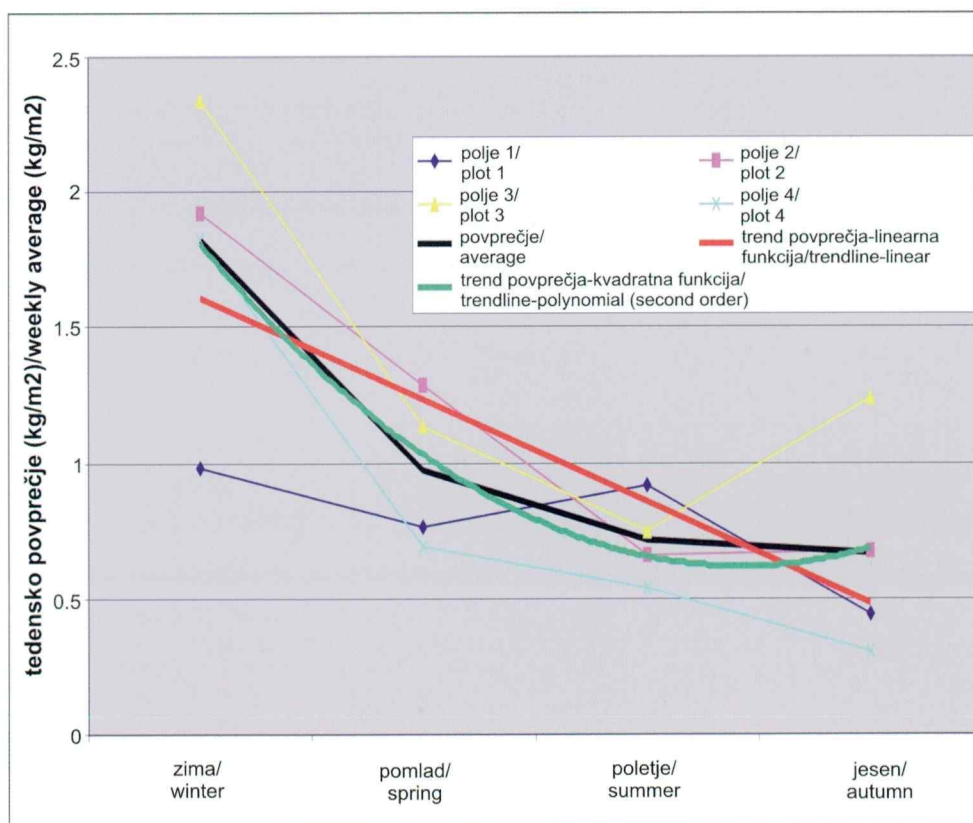
Da bi ugotovili splošnejše trende v sproščanju gradiva s strmih golih pobočij prek leta, smo meritve združili po mesecih in letnih časih.

Največ gradiva se je sprostil v zimskih mesecih in spomladi, s sekundarnim viškom avgusta. Avgust je bil mesec z največjo erozivnostjo padavin, a je po količini sproščenega gradiva za primarnim viškom v januarju. Izstopanje januarja gre na račun številnih prehodov iz pozitivnih v negativne temperature, kar je povzročilo veliko sproščanje gradiva. Podobno velja za ostale zimske mesece.

Preglednica 5. Sproščanje flišnih kamnin glede na astronomski letni čas.

Table 5. Sediment production in flysch rocks per astronomic seasons.

letni čas		povprečje polj 1–4		
		kg/m ²	kg/ha	mm
zima	povprečno na teden	3,13	31.271,92	1,36
	skupaj letni čas	40,65	406.534,99	17,68
pomlad	povprečno na teden	1,66	16.585,19	0,72
	skupaj letni čas	21,56	215.607,49	9,37
poletje	povprečno na teden	1,22	12.234,16	0,53
	skupaj letni čas	15,90	159.044,02	6,91
jesen	povprečno na teden	1,14	11.379,07	0,49
	skupaj letni čas	14,79	147.927,89	6,43



Slika 6. Sproščanje flišnih kamnin glede na astronomski letni čas
Figure 6. Sediment production of flysch rocks per astronomic season

V obdobju meritev je bila v Kopru povprečna letna minimalna temperatura zraka za 1,4 °C nižja, povprečna zimska minimalna temperatura pa kar za 2,4 °C nižja od dolgoletnega povprečja (1961–1990; KLIMATOGRAFIJA 1995). V Portorožu pa je bila povprečna minimalna letna temperatura za 0,6 °C nižja od večletnega povprečja (1991–2005; POVZETKI 2007), povprečna zimska minimalna temperatura pa za 1,3 °C. Bilo je tudi kar 18 dni več (skupaj 64 dni) z negativnimi minimalnimi temperaturami kot v večletnem povprečju.

Količina padavin je bila na Portoroškem letališču v času meritev višja od večletnega povprečja (1991–2005; POVZETKI 2007) za skoraj 60 mm (oziroma 6 %) v obdobju februar 2005–april 2006 oziroma za slabih 85 mm (oziroma 8,2 %) v referenčnem letu maj 2005–april 2006. Območje naših meritev na podlagi padavinskega zemljevida Istre (OGRIN 1995) spada v pas s 1100–1200 mm padavin letno; v referenčnem letu maj 2005–april 2006 je padlo 1040,8 mm padavin.

Podatki po letnih časih lepo kažejo trend (slika 6) upadanja sproščanja gradiva od zime proti jeseni. Sproščanje je najintenzivnejše pozimi, spomladi sledi padec skoraj za polovico in nato skoraj poravnana količina sproščenega gradiva poleti in jeseni. To kaže na tesno povezanost sproščanja gradiva z mrzlim delom leta. Manjše sproščanje gradiva poleti in jeseni, je povezano predvsem z manjšo intenzivnostjo preperevanja, ki manj gradiva »privede« do sprožitve oziroma v labilno stanje. Ker je na razpolago manj preperelega gradiva, tudi intenzivnejše padavine ne sprožijo toliko gradiva, kot zmrzalno preperevanje pozimi.

Korelacije med sproščanjem flišnih kamnin in vremenskimi vplivi

S pomočjo Pearsonovega koeficienta korelacije (r) smo iskali linearne povezave med sproščanjem gradiva in posameznimi vremenskimi parametri.

Sproščanje smo korelirali z: maksimalno dnevno temperaturo, povprečno maksimalno dnevno temperaturo, minimalno dnevno temperaturo, povprečno minimalno dnevno temperaturo, številom dni z negativnimi temperaturami, korigiranimi (ker meritve nekajkrat niso bile izvedene na določen merilni dan v tednu, smo podatke preračunali tako, kot da so bile vse meritve izvedene na isti dan v tednu) povprečnimi minimalnimi dnevnimi temperaturami, korigiranim številom dni z negativnimi temperaturami, količino padavin, maksimalnimi 10-minutnimi padavinami, maksimalnimi 30-minutnimi padavinami, maksimalnimi 60-minutnimi padavinami, povprečnimi 10-minutnimi padavinami, erozivnostjo padavin, povprečno hitrostjo vetra, maksimalnimi sunki vetra, povprečnimi maksimalnimi sunki vetra.

Izračunali smo tudi koeficient multiple linearne korelacije (R) in determinacijski koeficient multiple linearne korelacije (R^2) med vsemi uporabljenimi vremenskimi parametri in sproščanjem. Za uporabljene vremenske spremenljivke je delež pojasnjene variance za povprečje polj med 0,770 ($n = 63$; $p < 0,0000$; za 15 parametrov, brez podatka o erozivnosti padavin, ki zaradi pragu v izračunu zmanjša število upoštevanih meritev) in 0,798 ($n = 42$; $p < 0,0586$; za 16 parametrov, vključujoč erozivnost padavin).

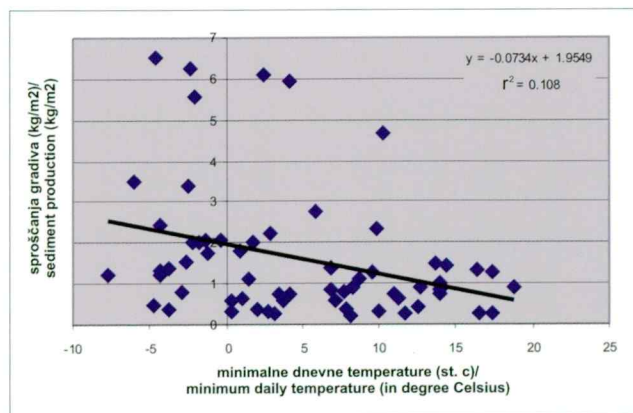
Temperaturni parametri kažejo večinoma majhno negativno statistično povezanost s sproščanjem gradiva (slika 7). Tako majhna statistična povezanost nas je deloma presenetila, saj so nizke temperature v hladnem delu leta povzročile veliko sproščanje.

Podobno lahko trdimo za statistične povezave med padavinskimi parametri in sproščanjem gradiva, ki izkazujejo le majhno pozitivno statistično povezanost, čeprav močne padavine sprostijo veliko gradiva. Zanimivo je tudi, da je sama količina padavin (slika 8) kazala višjo statistično povezanost kot njihova intenzite-

Preglednica 6. Primerjava korelacij med sproščanjem flišnih kamnin in izbranimi vremenskimi vplivi po tednih, mesecih in letnih časih za povprečje polj.

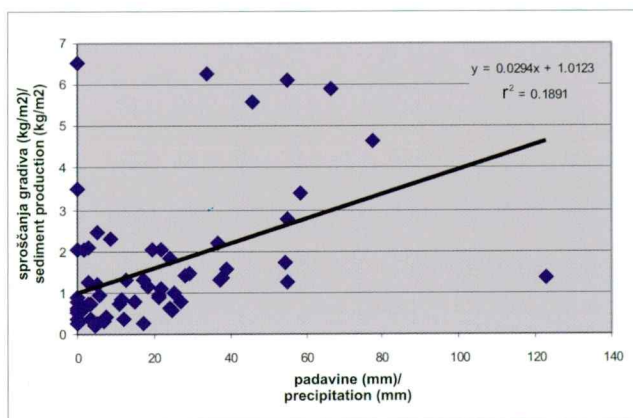
Table 6. Comparison of correlations between sediment production in flysch rocks and selected weather conditions per week, month and seasons, given for erosion plot averages.

Korelacija med premikom gradiva in ...	po tednih (na merilni dan)			po mesecih			po letnih časih		
	Pearsonov koeficient korelacije (r)	determinacijski koeficient (r^2)	t-test ($n=63$, $n=42$)	Pearsonov koeficient korelacije (r)	determinacijski koeficient (r^2)	t-test ($n=12$)	Pearsonov koeficient korelacije (r)	determinacijski koeficient (r^2)	t-test ($n=4$)
povprečno minimalno dnevno temperaturo	-0,3093	0,0957	-2,5405	-0,5477	0,3000	-2,0703	-0,8657	0,7494	-2,4454
številom dni z negativnimi temperaturami	0,2463	0,0607	1,9846	0,7271	0,5287	3,3495	0,8744	0,7645	2,5480
količino padavin	0,4349	0,1891	3,7721	0,1950	0,0380	0,6288	-0,1977	0,0391	-0,2853
erozivnostjo padavin	0,3485	0,1215	2,3516*	0,1232	0,0152	0,3925	-0,5896	0,3476	-1,0323
povprečno hitrostjo vetra	0,3406	0,1160	2,8296	0,5575	0,3108	2,1237	0,8965	0,8038	2,8621
maksimalno povprečno hitrostjo vetra	0,3908	0,1527	3,3162	0,3795	0,1440	1,2972	0,9849	0,9700	8,0360



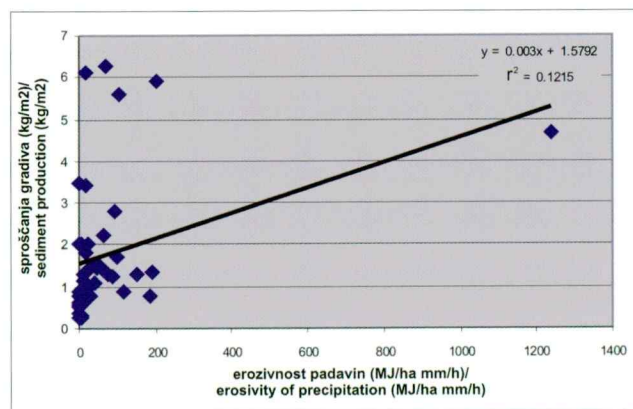
Slika 7. Korelacija med sproščanjem gradiva in minimalno dnevno temperaturo ($r = -0,3286$)

Figure 7. Correlation between sediment production and minimum daily temperature ($r = -0,3286$)



Slika 8. Korelacija med sproščanjem gradiva in količino padavin ($r = 0,4349$)

Figure 8. Correlation between sediment production and precipitation ($r = 0,4349$)

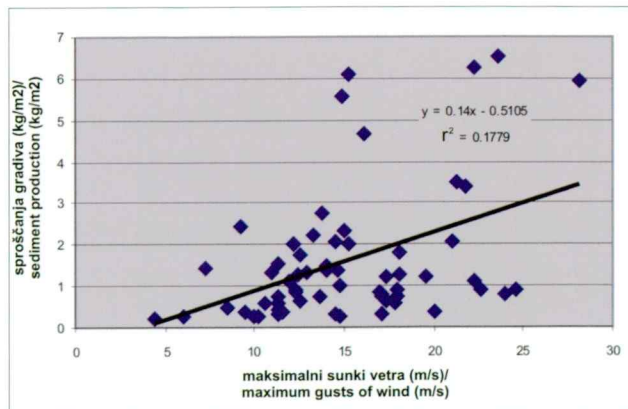


Slika 9. Korelacija med sproščanjem gradiva in erozivnostjo padavin ($r = 0,3485$)

Figure 9. Correlation between sediment production and erosivity of precipitation ($r = 0,3485$)

ta (slika 9). To je presenečenje, saj v splošnem velja, da je za erozijo od same količine padavin pomembnejša njihova intenzivnost.

Če nas je pri temperaturnih in padavin-skih parametrih presenetila relativno majhna statistična povezanost s sproščanjem gradiva, pa nas je pri vetru presenetila relativno visoka, t. j. majhna do srednja pozitivna statistična povezanost (slika 10). Močni sunki vetra gotovo



Slika 10. Korelacija med sproščanjem gradiva in maksimalnimi sunki vetra ($r = 0,4218$)

Figure 10. Correlation between sediment production and maximum gusts of wind ($r = 0,4218$)

povzročajo sproščanje gradiva. Relativno visoko stopnjo statistične povezanosti pripisujemo predvsem dejstvu, da veter piha tako ob erozivnih padavinah kot tudi pri zelo nizkih temperaturah, ko se proži največ gradiva.

V preglednici 6 in na sliki 12 prikazujemo za nekaj izbranih vremenskih parametrov spreminjanje Pearsonovega koeficienta korelacije s posploševanjem meritev po mesecih in letnih časih. Vidimo, da statistična povezanost temperaturnih in vetrnih parametrov s sproščanjem gradiva s posploševanjem podatkov narašča in je v merilu letnih časov že (skoraj) zelo visoko statistično korelirana. Nasprotno pa se povezanost padavin s sproščanjem gradiva še zmanjša oziroma se celo premakne iz pozitivne statistične povezanosti na tedenski ravni, v negativno povezanost na ravni letnih časov (pri erozivnosti padavin celo v srednje negativno statistično povezanost).

Zaključek

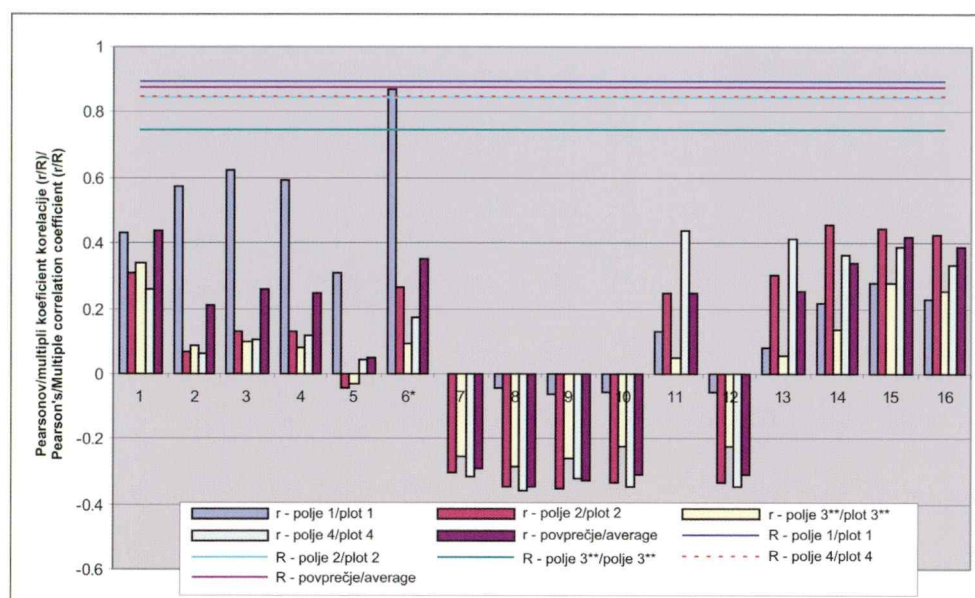
Predstavljene meritve kažejo, da so erozijsko-denudacijski procesi na erozijskih žariščih v slovenski Istri zelo hitri, saj se njihova vertikalna pobočja lahko umikajo tudi več decimetrov na leto. Značilno je upadanje te hitrosti od zimskih proti jesenskim mesecem, kar kaže na povezanost z intenzivnim preperevanjem v mrzlem delu leta.

Hitrost umikanja pobočij v flišnih kamninah na območju s Sredozemskim podnebjem je v primerjavi s podatki od drugod velika. Od najvišje vrednosti za gorska in polarna območja, kjer so klimatski vplivi še intenzivnejši, ki jo navajata CURRY in MORRIS (2004), je na primer za skoraj red velikosti višja. To kaže na veliko erodibilnost flišnih kamnin.

Literatura

ANDRÉ, M.-F. 1997: Holocene rockwall retreat in Svalbard: a triplate evolution. *Earth Surface Processes and Landforms* (Chichester) 22/5: 423–440.

ANDRÉ, M.-F. 2003: Do periglacial landscapes evolve under periglacial conditions? *Geomor-*



Slika 11. Pearsonovi koeficienti korelacije in koeficienti multiple korelacije med sproščanjem gradiva in vremenskimi vplivi

Figure 11. Pearson correlation coefficients and multiple correlation coefficients between sediment production and weather conditions

Legenda:

- 1 = korelacija med sproščanjem gradiva in količino padavin,
- 2 = korelacija med sproščanjem gradiva in maksimalnimi 10 minutnimi padavinami,
- 3 = korelacija med sproščanjem gradiva in maksimalnimi 30 minutnimi padavinami,
- 4 = korelacija med sproščanjem gradiva in maksimalnimi 60 minutnimi padavinami,
- 5 = korelacija med sproščanjem gradiva in povprečnimi 10 minutnimi padavinami,
- 6 = korelacija med sproščanjem gradiva in erozivnostjo padavin,
- 7 = korelacija med sproščanjem gradiva in maksimalno dnevno temperaturo,
- 8 = korelacija med sproščanjem gradiva in povprečno maksimalno dnevno temperaturo,
- 9 = korelacija med sproščanjem gradiva in minimalno dnevno temperaturo,
- 10 = korelacija med sproščanjem gradiva in povprečno minimalno dnevno temperaturo,
- 11 = korelacija med sproščanjem gradiva in številom dni z negativnimi temperaturami,
- 12 = korelacija med sproščanjem gradiva in korigiranimi povprečnimi minimalnimi dnevnimi temperaturami,
- 13 = korelacija med sproščanjem gradiva in korigiranim številom dni z negativnimi temperaturami,
- 14 = korelacija med sproščanjem gradiva in povprečno hitrostjo vetra,
- 15 = korelacija med sproščanjem gradiva in maksimalnimi sunki vetra,
- 16 = korelacija med sproščanjem gradiva in povprečnimi maksimalnimi sunki vetra.

* $n = 42$ za polja 1, 2, 4 in povprečje polj; $n = 37$ za polje 3

** $n = 54$

Legend:

- 1 = correlation between sediment production and precipitation,
- 2 = correlation between sediment production and maximum 10 minutes precipitation,
- 3 = correlation between sediment production and maximum 30 minutes precipitation,
- 4 = correlation between sediment production and maximum 60 minutes precipitation,
- 5 = correlation between sediment production and average 10 minutes precipitation,
- 6 = correlation between sediment production and erosivity of precipitation,
- 7 = correlation between sediment production and maximum daily temperature,
- 8 = correlation between sediment production and average maximum daily temperature,
- 9 = correlation between sediment production and minimum daily temperature,
- 10 = correlation between sediment production and average minimum daily temperature,
- 11 = correlation between sediment production and number of days with temperatures below zero,
- 12 = correlation between sediment production and corrected average minimum daily temperature,
- 13 = correlation between sediment production and corrected number of days with temperatures below zero,
- 14 = correlation between sediment production and average gusts of wind,
- 15 = correlation between sediment production and maximum gusts of wind,
- 16 = correlation between sediment production and average maximum gusts of wind.

* $n = 42$ for plots 1, 2, 4 and for the average of plots; $n = 37$ for plot 3

** $n = 54$

phology (Amsterdam) 52/1-2: 149–164.

CAMPBELL, I. A. 1997: Badlands and badland gullies. In: THOMAS, D. S. G. (ed.): *Arid Zone Geomorphology: Process, Form and Change in Drylands*. John Wiley & Sons (Chichester): 261–291.

GAMS, I. 1970/71: Severna obala Strunjanskega polotoka. *Proteus* (Ljubljana) 33/2: 56–62.

GLADE, T. 2005: Linking debris-flow hazard assessments with geomorphology. *Geomorphology* (Amsterdam) 66/1-4: 189–213.

HARVEY, A. 2004: Badland. In: GOUDIE, A. S. (ed.): *Encyclopedia of Geomorphology*, Volume 1. Routledge (London): 45–48.

JURAK, V. & FABIĆ, Z. 2000: Erozijska kišom u slivu bujičnog vodotoka u središnjoj Istri. In:

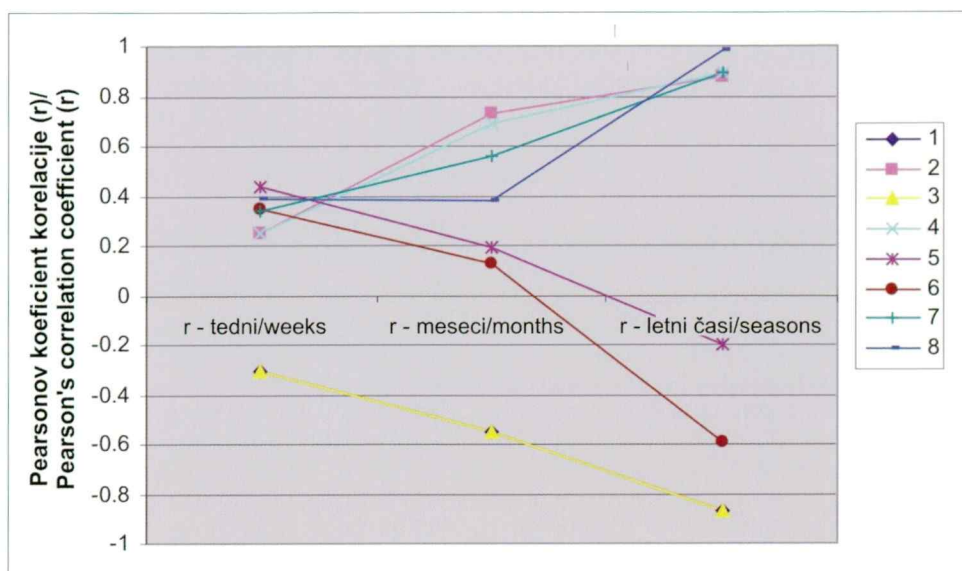
VLAHOVIĆ, I. & BIONDIĆ, R. (eds.): *Zbornik radova: 2. hrvatski geološki kongres*. Institut za geološka istraživanja (Zagreb): 603–612.

JURAK, V., PETRAŠ, J. & GAJSKI D. 2002: Istraživanje ekscesivne erozije na ogoljelim flišnim padinama u Istri primjenom terestrične fotogrametrije. *Hrvatske vode* (Zagreb) 10/38: 49–58.

KLIMATOGRAFIJA SLOVENIJE 1961–1990: Temperatura zraka. 1995. Hidrometeorološki zavod republike Slovenije (Ljubljana): 1–356.

KODARIN, D. 1998: Med Rokavama: v besedi in sliki. Turistično, kulturno in rekreacijsko društvo Kosir (Boršt): 1–23.

KÖPPEN, W. 1931: *Klimakarte der Erde*. Grun-



Slika 12. Spreminjanje Pearsonovih koeficientov korelacije s posploševanjem podatkov za povprečje polj

Figure 12. Changing of Pearson correlation coefficients with generalization of measured data for erosion plot averages

Legenda:

- 1 = korelacija med sproščanjem gradiva in povprečno minimalno dnevno temperaturo,
- 2 = korelacija med sproščanjem gradiva in številom dni z negativnimi temperaturami,
- 3 = korelacija med sproščanjem gradiva in korigiranimi povprečnimi minimalnimi dnevnimi temperaturami.
- 4 = korelacija med sproščanjem gradiva in korigiranim številom dni z negativnimi temperaturami.
- 5 = korelacija med sproščanjem gradiva in količino padavin,
- 6 = korelacija med sproščanjem gradiva in erozivnostjo padavin,
- 7 = korelacija med sproščanjem gradiva in povprečno hitrostjo vetra,
- 8 = korelacija med sproščanjem gradiva in povprečno maksimalno hitrostjo vetra.

Legend:

- 1 = correlation between sediment production and average minimum daily temperature,
- 2 = correlation between sediment production and number of days with temperatures below zero,
- 3 = correlation between sediment production and corrected average minimum daily temperature,
- 4 = correlation between sediment production and corrected number of days with temperatures below zero,
- 5 = correlation between sediment production and precipitation,
- 6 = correlation between sediment production and erosivity of precipitation,
- 7 = correlation between sediment production and average gusts of wind,
- 8 = correlation between sediment production and average maximum gusts of wind.

driss der Klimakunde. W. de Gruyter (Berlin, Leipzig).

KRAUTBLATTER, M. & DIKAU, R. 2007: Towards a uniform concept for the comparison and extrapolation of rockwall retreat and rockfall supply. *Geografiska Annaler* (Stockholm) 89 A/1: 21–40.

MIŠČEVIĆ, P., ŠTEVANIĆ, D., ŠTAMBUK-CVITANOVIĆ, N. 2008: Slope instability mechanisms in dipping conglomerates over weathered marls: Bol landslide, Croatia. *Environmental Geology* (Berlin) DOI: 10.1007/s00254-008-1236-x.

OGRIN, D. 1992: Dendrogeomorphological analysis of erosion processes – two case studies from Koprsko primorje (Slovenia). In: BOGNAR, A. (ed.): *Proceedings of the International Symposium »Geomorphology and Sea« and the Meeting of the Geomorphological Commission of the Carpatho-Balkan Countries*. Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odjel (Zagreb): 115–118.

OGRIN, D. 1995: Podnebje slovenske Istre. *Knjižnica Annales* 11. Zgodovinsko društvo za južno Primorsko (Koper): 1–381.

OGRIN, D. 1998: Zgodovina enega od erozijskih žarišč v Bržaniji. *Proteus* (Ljubljana) 50/5: 205–206.

OGRIN, D. & MUŽINA, D. 2005: Pokrajinsko-ekološke značilnosti območja med Kavčičem in Tinjanom. In: ROŽANČ DAROVEC, V. (ed.): *Meje in konfini: Rakitovec, vas kulturnih, družbenih in naravnih prepletanj*. Založba Annales (Koper): 289–332.

PETKOVŠEK, A., KLOPČIČ, J. & MAJES, B. 2008: Ter-

raced landscapes and their influence on the slope stability. In: AŽMAN MOMIRSKI, L. & ČERNIČ MALI, B. (eds.): *Living terraced landscapes: perspectives and strategies to revitalise the abandoned regions*. Fakulteta za arhitekturo (Ljubljana): 1–6.

PETKOVŠEK, G. 2002a: Kvantifikacija in modeliranje erozije tal z aplikacijo na povodju Dragonce. *Doktorsko delo*. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (Ljubljana): 1–205.

PETKOVŠEK, G. 2002b: Meritve sproščanja in odplavljanja zemljin na povodju Rokave. In: KUCHAR, M. & BRILLY, M. (eds.): *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2002: zbornik predavanj*. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (Ljubljana): 27–38.

PETKOVŠEK, G. & MIKOŠ, M. 2003: Meritve erozijskih procesov v eksperimentalnem povodju Dragonje, JZ Slovenija. *Acta hydrotechnica* (Ljubljana) 21/34: 37–56.

PETRAŠ, J., KUNŠTEK, D. & GAJSKI, D. 1999: Primjena terestričke fotogrametrije u istraživanju ekscesivnih erozijskih procesa. In: GEREŠ, D. (ed.): *Hrvatske vode od Jadrana do Dunava. Zbornik radova: 2. hrvatska konferencija o vodama*. Hrvatske vode (Dubrovnik): 1029–1036.

POVZETKI klimatoloških analiz; letne in mesečne vrednosti za nekatere postaje v obdobju 1991–2005: Portorož. 2007. Agencija Republike Slovenije za okolje (Ljubljana). Internet: http://www.arso.gov.si/podro~cja/vreme_in_podnebje/podnebje/Portoroz.pdf (8. 1. 2007).

RADINJA, D. 1973: Prispevek k spoznavanju recentnega abrazijskega reliefa na primeru Strunjanske obale. In: PLAČ, T. & PRVINŠEK, L. (eds.): Mednarodni mladinski raziskovalni tabori 1971-1972. Republiški koordinacijski odbor gibanja »Znanost mladini« (Ljubljana): 72-94.

REGÜÉS, D., GUÁRDIA, R. & GALLART, F. 2000: Geomorphic agents versus vegetation spreading as causes of badland occurrence in a Mediterranean subhumid mountainous area. *Catena* (Amsterdam) 40/2: 173-187.

REGÜÉS, D., PARDINI, G. & GALLART, F. 1995: Regolith behaviour and physical weathering of clayey mudrock as dependent on seasonal weather conditions in a badland area at Vallcebre, Eastern Pyrenees. *Catena* (Amsterdam) 25/1-4: 199-212.

SASS, O. & WOLLNY, K. 2001: Investigations regarding Alpine talus slopes using ground-penetrating radar (GPR) in the Bavarian Alps, Germany. *Earth Surface Processes and Landforms* (Amsterdam) 26/10: 1071-1086.

SAUNDERS, I. & YOUNG, A. 1983: Rate of surface processes on slope, slope retreat and denudation. *Earth Surface Processes and Landforms* (Chichester) 8/5: 473-501.

STAUT, M. 2004: Recentni erozijski procesi v porečju Dragonje. Diplomsko delo. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo (Ljubljana): 1-135.

ŠRIBAR, V. 1967: Nekaterne geomorfološke spremembe pri Izoli, dokumentirane z arheološkimi najdbami. *Geologija* (Ljubljana) 10: 271-277.

YOUNG, A. & SAUNDERS, I. 1986: Surface processes and denudation. In: ABRAHAM, A. D. (ed.): *Hill-slope Processes*. Alleen & Unwin (Boston): 3-27.

YOUNG, A. 1969: Present rate of land erosion. *Nature* (London) 224: 851-852.

YOUNG, A. 1974: The rate of slope retreat. Institute of British Geographers Special Publication (Oxford) 7: 65-78.

ZORN, M. & PETAN, S. 2007: Meritve medžlebične erozije na različnih rabah zemljišč v slovenski Istri. In: KNAPIČ, M. (ed.): *Strategija varovanja tal v Sloveniji*. Pedološko društvo Slovenije (Ljubljana): 51-61.

ZORN, M. & PETAN, S. 2008: Interrill soil erosion on flysch soil under different land use in Slovene Istria. In: BRILLY, M. & ŠRAJ, M. (eds.): *Conference papers: XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. Slovenian National Committee for the IHP Unesco (Ljubljana): 1-10.

ZORN, M. 2007a: Recentni geomorfni procesi na rečno-denudacijskem reliefu na primeru porečja Dragonje. Doktorsko delo. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo (Ljubljana): 1-463.

ZORN, M. 2007b: Ali se zavedamo hitrosti erozijskih procesov – primer iz slovenske Istre. *Dela* (Ljubljana) 28: 183-194.

ŽUMER, J. 1990: Recentni razvoj klifov na obalah Istrske Slovenije. In: NATEK, K. (ed.): *Geomorfologija in geoekologija: zbornik referatov 5. znanstvenega posvetovanja geomorfologov Jugoslavije*. ZRC SAZU (Ljubljana): 143-147.