

# EROSION PROCESSES IN SLOVENE ISTRIA – PART 2: BADLANDS

## EROZIJSKI PROCESI V SLOVENSKEJ ISTRI – 2. DEL: EROZIJSKA ŽARIŠČA

Matija Zorn



MATIJA ZORN

Talus slopes form below bare flysch walls, for example, in the Mrtvec badlands along the Dragonja River (photograph: Matija Zorn).

Pod golimi flišnimi stenami nastajajo melišča, kot na primer na erozijskem žarišču Mrtvec ob Dragonji (fotografija: Matija Zorn).

## Erosion processes in Slovene Istria – part 2: Badlands

DOI: 10.3986/AGS49203

UDC: 911.2:631.459(497.4Istra)

COBISS: 1.01

**ABSTRACT:** This article is a continuation of the article on soil erosion in submediterranean Slovene Istria from the first issue of the 2009 (49-1) journal. In this article we present geomorphic processes in the badlands of the same area (Dragonja River basin, SW Slovenia): sediment production from steep bare (Eocene) flysch slopes (rockwall retreat), movements of flysch debris along erosion gullies, and geomorphic processes on talus slopes. Sediment production of flysch rocks was determined by measurements on erosion plots and totals around 80 kg/m<sup>2</sup> per year on average, which means that steep bare flysch rockwalls retreat at a speed of 35 to 50 mm per year.

The badlands not only contain flysch walls but also slopes already eroded by erosion rills and gullies. A dam in one of the erosion gullies with the catchment area of 0.1 ha captured 20 tons of debris in fourteen months.

Monitoring on talus slopes of the badlands revealed their dual character because erosion here alternates with accumulation.

**KEYWORDS:** geomorphology, erosion processes, badlands, rockwall retreat, erosion gullies, talus slope, flysch, Dragonja river basin, Istria, Slovenia

The article was submitted for publication on October 15, 2008.

**ADDRESS:**

**Matija Zorn, Ph. D.**

Anton Melik Geographical Institute

Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts

Gospodsk ulica 13, SI – 1000 Ljubljana, Slovenia

E-mail: matija.zorn@zrc-sazu.si

### Contents

1	Introduction	293
2	Sediment production from steep bare flysch slopes	295
2.1	Previous studies in flysch Istria	295
2.2	Measurement methodology	296
2.3	Weekly measurements	299
2.4	Measurements by months and seasons	300
2.5	Correlation with weather conditions	300
3	Movements of flysch debris along erosion gullies	309
3.1	Weekly measurements	311
3.2	Measurements by months and seasons	311
3.3	Correlation with weather conditions	314
4	Geomorphic processes on talus slopes	320
5	Conclusion	323
6	References	324

# 1 Introduction

The first part of the article on erosion processes in Slovene Istria (SW Slovenia) published in the previous issue of this journal (49-1; Zorn 2009) treated soil erosion. Here we present geomorphic processes

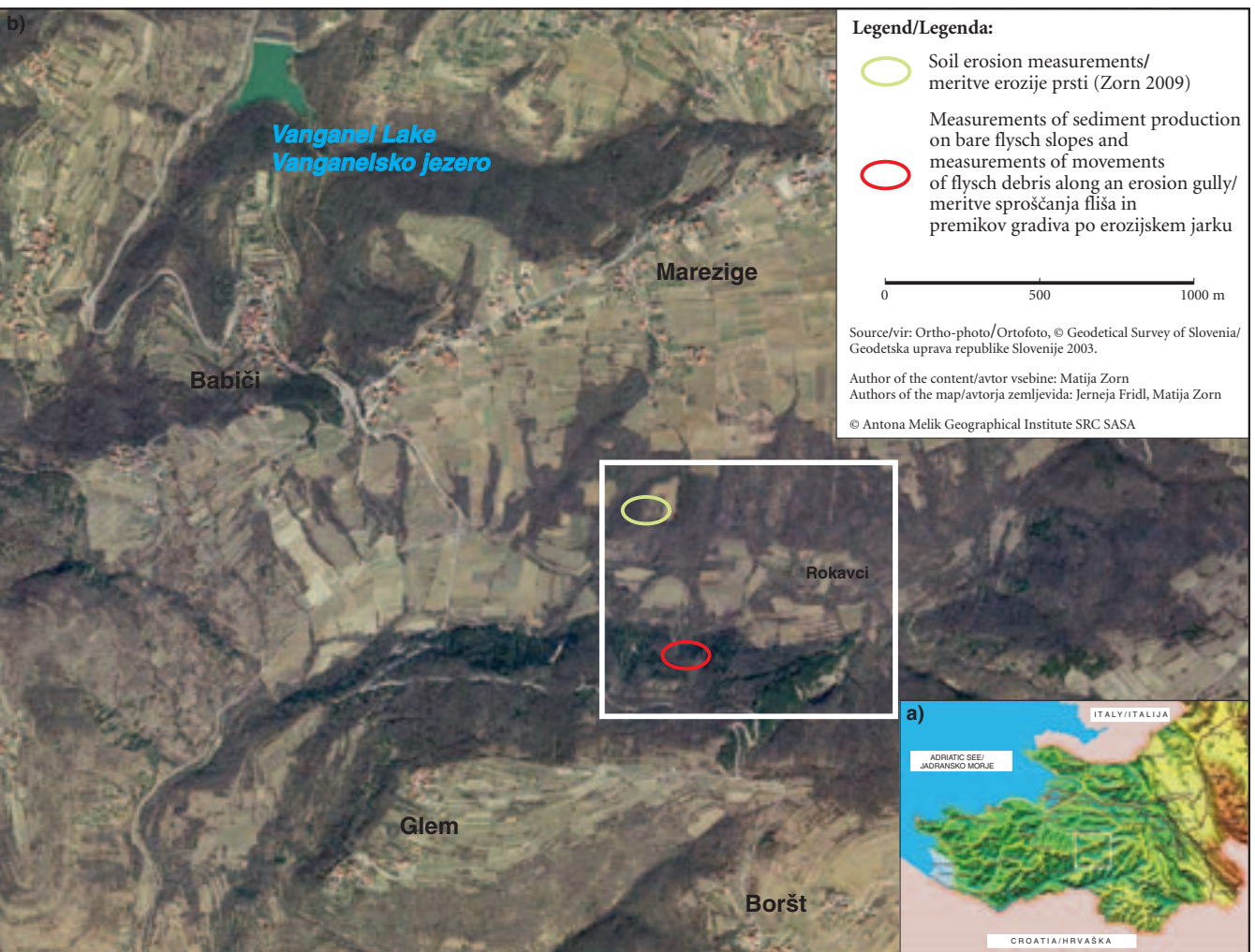


Figure 1: Slovene Istria (a) with an enlarged broader area where measurements took place (b).

in the badlands of the same area (Dragonja River basin; Figure 1). We conducted measurements of these processes simultaneously with the soil erosion measurements between 2005 and 2006 (Zorn 2007a; 2007b; 2008a; Zorn and Mikoš 2008).

We studied the following geomorphic processes: sediment production from steep bare flysch slopes (rockwall retreat; Chapter 2), movements of flysch debris along erosion gullies (Chapter 3), and geomorphic processes on talus slopes (Chapter 4).

Badlands are a morphogenetic feature of the flysch part of Istria. There are linear forms such as erosion gullies or torrent beds and plane forms in the shape of steep walls (Jurak and Fabič 2000, 606). The people living in the area between the Dragonja and Rokava rivers have their own local name, »bržine,« for the badlands (Kodarin 1998, 2).

Major badlands occur in the area where »soft, predominantly horizontally bedded, relatively impermeable rocks are exposed to rapid fluvial erosion,« and their formation can be hastened by accelerated erosion (Campbell 1997, 261–262). Natural preconditions (erodible rock and dissected surface) are essential for the formation of badlands, but human activity can also be held responsible for their formation (Harvey 2004, 45). The microrelief features that occur on them have a relatively short life span because erosion processes are rapid. The rate of erosion processes on the same badlands can differ significantly from year to year. In the Canadian province of Alberta where surface lowering measurements have been made for ten years, the lowering ranged from 7.4 mm to 83.6 mm/year (Campbell 1997, 262–265).

It is the badlands where the most material is eroded. Here the bedrock is directly exposed to changes in temperature and moisture as well as to raindrops and erosion. On the windward side the badlands are additionally exposed to wind erosion, in particular when the slope is made of marl (as in our case) that decomposes into small particles. The consequence of such conditions are cone-shaped accumulations (fans; Figure 2) below erosion gullies or talus slopes (Figure on the cover page of the article) below bare rock walls along the foot of the badlands (Jurak and Fabič 2000, 608). It is characteristic that even minor differences in lithology, inclination, or aspect can have major effects on the »behaviour« of badlands (Campbell 1997, 265). On steep badlands in Istria, we can observe selective erosion because the mechanically more resistant beds of sandstone protrude from the slope (Jurak and Fabič 2000, 608; Figure 5).

Erosion in badlands is caused in particular by surface runoff, rock weathering due to the changes in the moisture in the rock, and frost weathering. Badlands play two essential roles in the geomorphic sys-

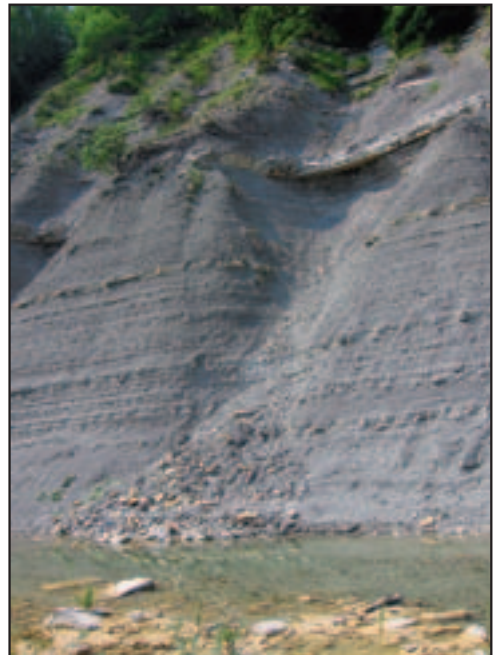


Figure 2: Fans of eroded material form below erosion gullies, for example, in the Mrtvec badlands along the Dragonja River.

tem: on one hand they are an abundant source of eroded material, and on the other they are an important factor in slope formation (Harvey 2004, 45–47).

Measurements of erosion processes in Mediterranean badlands showed values between 5 t/ha/year (0.45 mm/year) and from 220 to 330 t/ha/year (from 20 to 30 mm/year) depending on the climate, lithology, and relief characteristics, as well as differences on the time and space scales. According to Poesen and Hooke (1997, 162), badlands occupy up to 5% of the surface of southern Europe. According to Staut and Mikoš (2008), the badlands in the Dragonja River basin spread over 0.37% of the surface. Despite their relatively small surface areas in the river basin, the badlands contribute the most eroded material. It was determined that in the Red Deer River basin in Alberta (Canada) badlands constitute 2% of the river basin surface area and contribute as much as 80% of annual eroded suspended material (Campbell 1997, 265).

## 2 Sediment production from steep bare flysch slopes

### 2.1 Previous studies in flysch Istria

Erosion processes in the badlands in the interior of Slovene Istria were studied by Ogrin (1988; 1992) and Petkovšek (2002a, 63; 2002b, 35; Petkovšek and Mikoš 2003, 49–50), and erosion processes on the coastal cliffs of Slovene Istria were studied by Gams (1970/71, 57), Radinja (1973), Šriбар (1967), and Žumer (1990). In the area of Valdoltra near Ankaran, Žumer (1990) estimated that in the last 900 years the rockwall has been retreating at a rate of 6 mm per year, at the western end beside the buttresses below the Piran church at 2 cm per year in the last 300 years (Figure 3), and at the eastern end beside the buttresses at 1 cm per year in the last 200 years. He also cites data showing that the edge of the cliff near the rectory of the Piran church retreated by two meters between 1901 and 1990 (Žumer 1990, 144–145), which is more than 2.2 cm per year.



MATIJA ZORN, 17.8.2005

Figure 3: Cliff below the Piran church.

Gams (1970/71, 57) writes that »in some places the root network of the rare trees hangs up to one meter over the upper edge of the cliff, indicating the distance the cliff retreated during the period of the growth of the tree.« On the basis of a reconstruction or extension of the slopes to the sea level, Radinja (1973, 85) estimated the rate of rockwall retreat to 1 to 2 cm per year. With the help of archeological finds, Šribar (1967, 272) estimated that since Roman times the eastern coast of Simonov zaliv Bay has retreated sixty meters or by around 3 cm/year, and using topographical analyses he established a 15 to 20 meter rock-wall retreat between 1922 and 1958, or 0.42 to 0.56 m/year according to recalculations using Šribar's figures done by Gams (Gams 1970/71, 59).

Ogrin (1992, 116, 118) determined the rockwall retreat in two badlands at Bržanija in the interior of Slovene Istria using dendrochronology. On the first badlands he established rockwall retreat of 1.45 cm/year at a 70° inclination and 0.8 cm/year at a 30° to 34° inclination, and on the second badlands a retreat of 2 cm/year at a 51° inclination and from 0.75 to 0.78 cm/year at a 30° to 40° inclination.

Petkovšek (2002a, 63; 2002b, 35) measured rockwall retreat in a badlands in the Rokava River basin (a right tributary of the Dragonja River) using terrestrial photogrammetry, a method used on a number of badlands in Croatian Istria as well (Table 1).

Table 1: Comparison of measurements of sediment production from steep bare flysch slopes (Petraš, Kunštek, and Gajski 1999, 1035; Petkovšek 2002a, 57, 63; Jurak, Petraš, and Gajski 2002, 57; \*on the basis of 158 erosive precipitation events, \*\*period between 10.2.2005 and 8.2.2006, \*\*\*period between 28.4.2005 and 26.4.2006).

erosion plot	method	measurement period	eroded material (m <sup>3</sup> )	area – front view (m <sup>2</sup> )	area – plan view (m <sup>2</sup> )	average annual sediment production (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /year)	
						front view	plan view
Abrami* – erosion plot 1 (Croatian Istria)	capture of eroded material	1970–1976; 76 months	~ 1.024	~ 30	15.08	~ 2,690	5,380
Abrami* – erosion plot 1 (Croatian Istria)	terrestrial photogrammetry	1995–1997; 30 months	0.445	8.9	3.7	20,000	48,108
Sveti Donat (Croatian Istria)	terrestrial photogrammetry	1995–1997; 30 months	215	3,856	2,191	22,303	39,251
Sveti Donat (Croatian Istria)	terrestrial photogrammetry	1997–2001; 38 months	361	4,239	2,292	26,890	49,733
Rokava – Škrlina (Slovene Istria)	terrestrial photogrammetry	27.9.2001–27.8.2002; 11 months	–	3,685	2,682	40,000	50,000
Rokava – Marezige (Slovene Istria; in this article)	capture of eroded material	10.2.2005–26.4.2006; ~ 15 months	0.43	11.34	–	45,205.67**	–
						49,215.11***	

## 2.2 Measurement methodology

We measured the sediment production from steep bare (Eocene) flysch slopes using four half-open erosion plots (Figures 6 and 7) located in the lower part of a bare flysch rockwall. We selected the lower part of the wall because this allowed us to construct relatively small erosion plots where we were able to control the amount of eroded material. On this part of the wall, the thickness of the flysch sequences was similar to the entire wall (or other walls of badlands in the river basin); they were from a few centimeters to around 15 cm thick. The upper sides of the erosion plots were bordered by the edge of a badlands, and their sides were open. The basic data on erosion plots is presented in Table 2. We constructed barriers, one meter in width, on the talus slope under a rockwall, 0.5 meter from the wall to retain the eroded particles. During the period of our measurements we fixed a plastic sheet between the wall and the barriers to prevent the eroded material from mixing with the older material on the talus slope. We placed large chunks of sandstone on the edges of the sheet between the barrier and the wall to stop the material deposited at the edges from escaping from the erosion plot. We collected the material behind the barriers on a weekly basis and dried and weighed it in the laboratory.



Figure 4: Badlands on the left bank of the Rokava River where measurements of sediment production from flysch slopes and the movements of flysch debris along erosion gullies were made. The blue arrow indicates the area of erosion plots 1, 2, 3, and 4 for measuring sediment production, and the red arrow indicates the barrier of erosion plot 5 for measuring the movement of debris along the erosion gully.

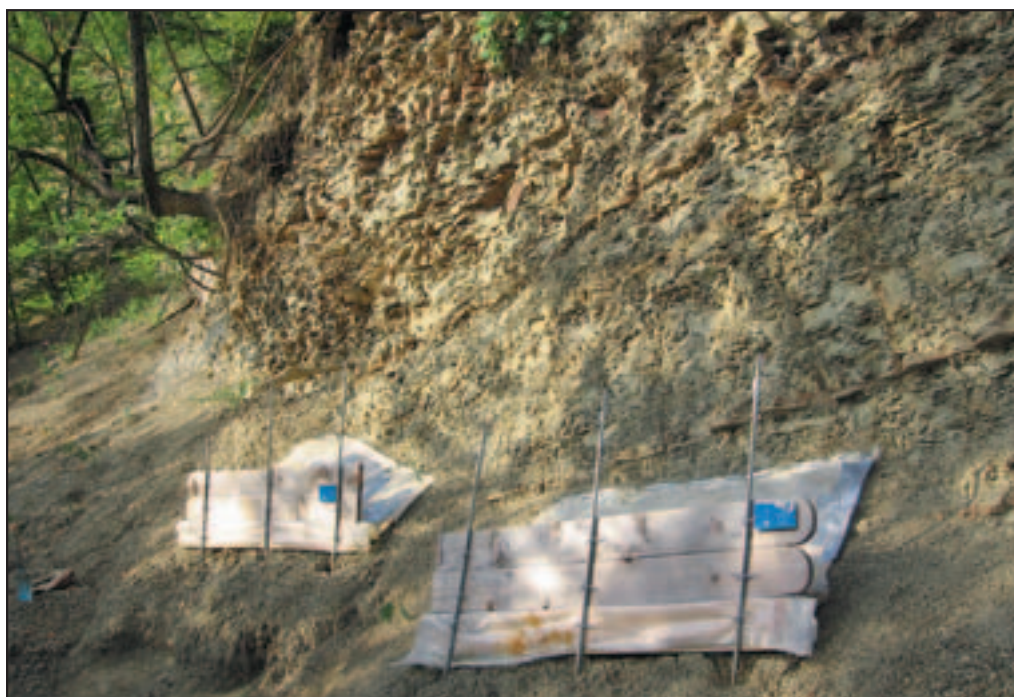


Figure 5: A view of the flysch wall where measurements took place. The measurements were done at the extreme right section of the wall. The wall shows clearly visible Eocene flysch sequences and the fine indentation of the wall that is the result of selective erosion.



MATIJA ZORN, 1.3.2006

Figure 6: Erosion plots 1 (right) and 2 (left).



MATIJA ZORN, 8.9.2005

Figure 7: Erosion plots 1 (right) and 2 (left).



Near the erosion plots we set up an automatic rain gauge (ONSET RG2-M) to monitor the amount and intensity of precipitation. Regrettably we were unable to monitor the temperatures and the wind in the same way, so we had to be satisfied with data from the meteorological station in the port of Koper. Using the work of Ogrin (1995, 166) we adapted the acquired temperature parameters to the weather conditions in the valleys in the hinterland of Koper where our measurements were made.

Table 2: Basic information about erosion plots for measuring sediment production from bare flysch slopes.

erosion plot	catchment area – front view (m <sup>2</sup> )	measurement period	captured amount of material during measurement period (kg)	Gauss-Krüger plot coordinates	altitude of barrier (m)	inclination of erosion plot (°)
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	203.0	80–90

## 2.3 Weekly measurements

We measured sediment production from steep bare flysch slopes on a weekly basis in the period between 10.2.2005 and 26.4.2006. Table 3 presents averages per week and total values for all 15 months and for two 12-month periods (Figures 10 and 11). On average the sediment production totals between 77.39 and 84.26 kg/m<sup>2</sup> per year, meaning that the rockwalls retreat at the rate of 35 mm to 50 mm/year.

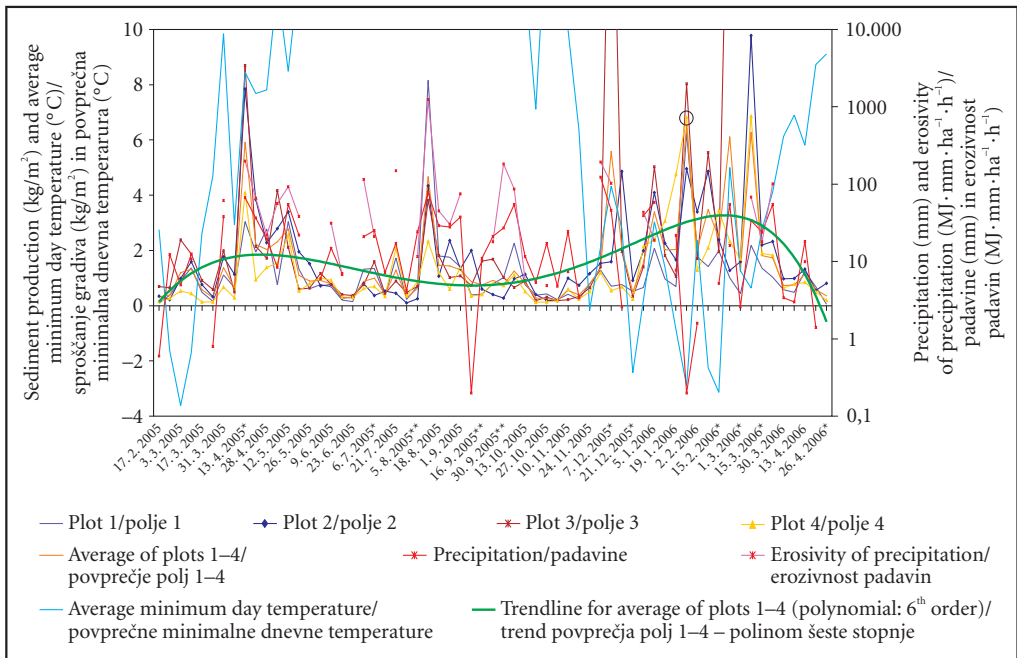


Figure 8: Weekly measurements of sediment production on steep bare flysch walls between 10.2.2005 and 26.4.2006 and selected weather conditions (\*measurement a day before the regular weekly measuring, \*\*measurement a day after the regular weekly measuring). The black circle marks the measurement shown in Figure 9.

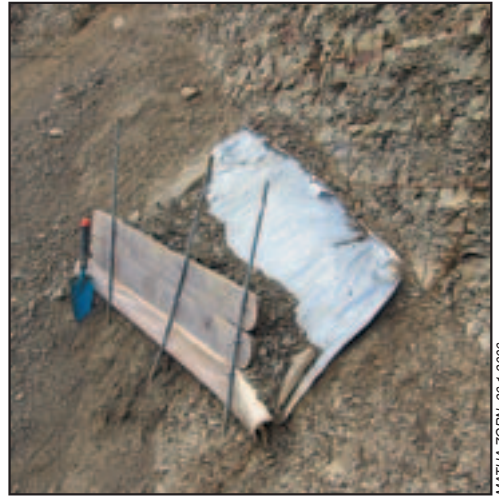


Figure 9: The debris (30.8 kg) captured behind the barrier of erosion plot 4 in the week between 19.1.2006 and 26.1.2006. The measurement is marked in Figure 8 with a black circle.

During our measurement period we observed three sediment production peaks (Figure 8). The first two peaks are related to heavy precipitation in the spring and summer, and the third peak to the alternation of negative and positive temperatures during the day in the colder part of the year. In the Pyrenees (Catalonia, Spain), similar studies were performed by Regüés, Pardini, and Gallart (1995) and Regüés, Guàrdia, and Gallart (2000).

## 2.4 Measurements by months and seasons

To establish more general trends in sediment production from steep bare slopes throughout the year, we compiled our measurements by months and seasons.

The highest sediment production occurred in the winter months and in the spring, with a secondary peak in August (Figure 12). August was the month with the highest erosivity of precipitation, and according to the amount of sediment production it ranked after the primary peak in January. January stands out due to the numerous alterations of positive and negative temperatures that caused major sediment production. The same applies for the other winter months. We recorded similar trends in sediment production among individual erosion plots with only erosion plot 3 standing out in particular with higher February and December values. The high February value is the consequence of a larger sandstone stone fall that destroyed the barrier of erosion plot 3 in the week between 15.2.2006 and 23.2.2006. Almost 49 kg of material ( $19.81 \text{ kg/m}^2$ ) were released. The high December value is also the consequence of a similar sandstone stone fall (just over 48 kg or  $19.49 \text{ kg/m}^2$ ) in the week between 1.12.2005 and 7.12.2005, but this time the barrier held.

The data by seasons (Table 4, Figure 13) shows a regressive tendency of sediment production from winter toward fall. Erosion is most intensive in the winter, followed by spring with almost half the amount, and summer and fall are last with almost identical amounts of sediment production. This clearly shows a relationship between sediment production and the colder part of the year. The smaller amount of sediment production in summer and fall is related particularly to the lower intensity of weathering which results in the production of smaller amounts of sediment. With less weathered material available, even more intensive precipitation cannot erode as much material as frost weathering in the winter.

## 2.5 Correlation with weather conditions

Using Pearson's Correlation Coefficient ( $r$ ) we tried to find linear statistical correlations between sediment production and individual weather parameters and also to calculate the multiple linear correlation coefficient ( $R$ ) between sediment production and all the applied weather parameters together. We used

Table 3: Sediment production from steep bare flysch slopes and rockwall retreat (average per week and total; \*bulk density of flysch 2,300 kg/m<sup>3</sup> (Miščević, Števanic, and Štambuk–Cvitanović 2009), \*\*bulk density of flysch 1,712.04 kg/m<sup>3</sup> (our measurements; similar also Petkovšek, Klopčič, and Majes 2008)).

	measurement period	erosion plot 1				erosion plot 2				erosion plot 3				erosion plot 4				average of erosion plots			
		kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm*	mm**	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm*	mm**	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm*	mm**	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm*	mm**	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm*	mm**
average per week (15 months)	10.2.2005–24.6.2006	1.20	11,986.81	0.52	0.70	1.74	17,424.75	0.76	1.02	2.28	22,772.90	0.99	1.33	1.26	12,590.38	0.55	0.74	1.60	15,960.17	0.69	0.93
total of 15 months	10.2.2005–26.4.2006	75.52	755,168.98	32.83	44.11	109.78	1,097,759.03	47.73	64.12	122.97	1,229,736.84	53.47	71.83	79.32	793,193.80	34.49	46.33	100.55	1,005,490.75	43.72	58.73
average per week (12 months)	10.2.2005–8.2.2006	1.24	12,393.88	0.54	0.72	1.65	16,458.84	0.72	0.96	1.95	19,464.96	0.85	1.14	1.12	11,215.95	0.49	0.66	1.49	14,883.41	0.65	0.87
total (12 months)	10.2.2005–8.2.2006	64.45	644,481.99	28.02	37.64	85.59	855,859.50	37.21	49.99	101.22	1,012,178.14	44.01	59.12	58.32	583,229.24	25.36	34.07	77.39	773,937.22	33.65	45.21
average per week (12 months)	28.4.2005–26.4.2006 23.2.2006 *24.2.2005–	1.20	12,039.42	0.52	0.70	1.71	17,053.87	0.74	1.00	2.34 <sup>a</sup>	23,390.92 <sup>a</sup>	1.02 <sup>a</sup>	1.37 <sup>a</sup>	1.35	13,519.64	0.59	0.79	1.62	16,203.47	0.70	0.95
total (12 months)	28.4.2005–26.4.2006 *24.2.2005–23.2.2006	62.60	626,049.86	27.22	36.57	88.68	886,801.41	38.56	51.80	121.63 <sup>a</sup>	1,216,327.94 <sup>a</sup>	52.88 <sup>a</sup>	71.05 <sup>a</sup>	70.30	703,021.04	30.57	41.06	84.26	842,580.20	36.63	49.22

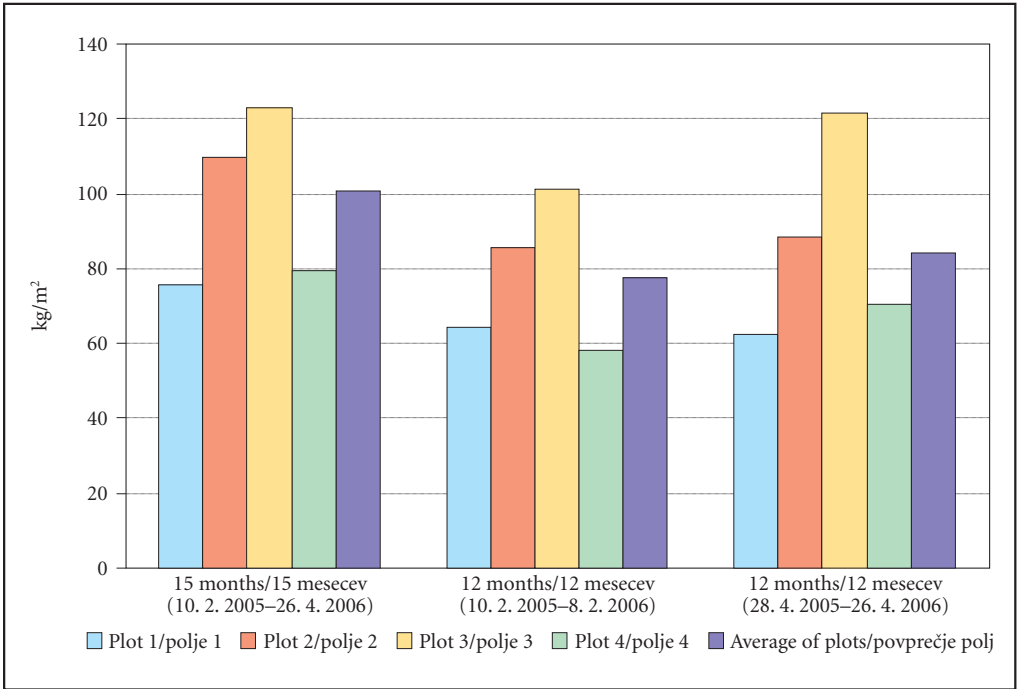


Figure 10: Amount of sediment production by erosion plots.

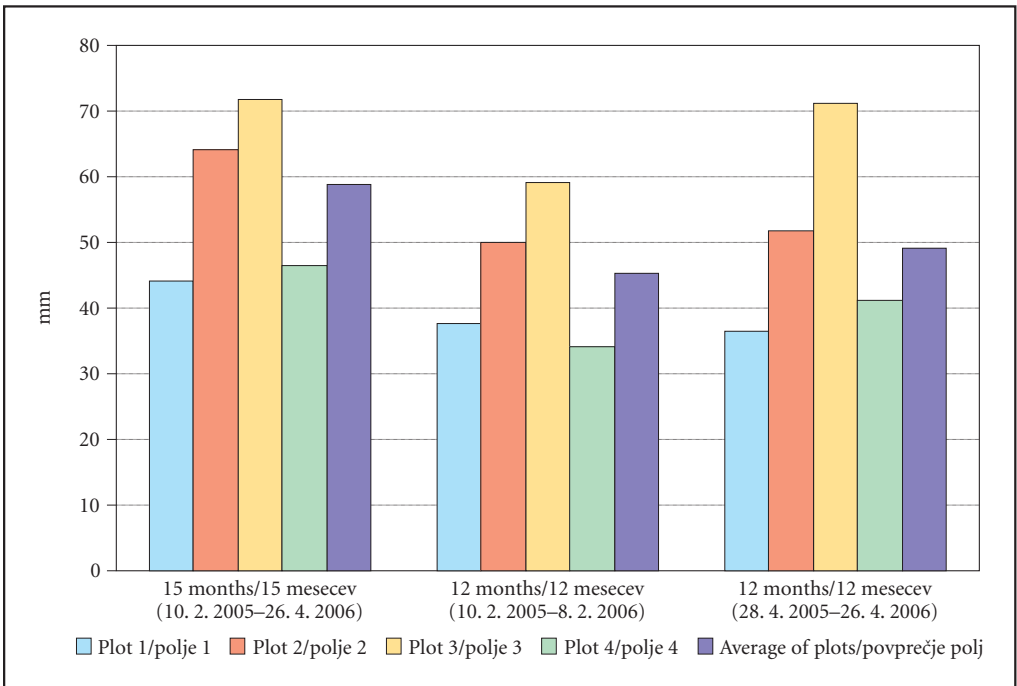


Figure 11: Rockwall retreat by erosion plots with bulk density of flysch 1,712.04 kg/m<sup>2</sup>.

Table 4: Sediment production from steep bare flysch slopes on erosion plots 1, 2, 3, and 4 by seasons (\*between 24.2.2005 and 24.3.2005, and between 21.12.2005 and 23.2.2006; \*\*bulk density of flysch 2,300 kg/m<sup>3</sup> (Miščević, Števanic, and Štambuk-Cvitanović 2009), \*\*\*bulk density of flysch 1,712.04 kg/m<sup>3</sup> (our measurements; similar also Petkovšek, Klopčič, and Majes 2008)).

season	measurement period		erosion plot 1				erosion plot 2				erosion plot 3				erosion plot 4				average of erosion plots			
			kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm**	mm***	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm**	mm***	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm**	mm***	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm**	mm***	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm**	mm***
winter	21.12.2005– 23.3.2006	average per week	1.68	16,809.72	0.73	0.98	3.29	32,893.07	1.43	1.92	4.01*	40,063.84*	2.24	2.34*	3.12	31,235.37	1.36	1.82	3.13	31,271.92	1.36	1.83
		total in season	21.85	218,526.32	9.50	12.76	42.76	427,609.89	18.59	24.98	52.08*	520,829.96*	20.14	30.42*	40.61	406,059.80	17.65	23.72	40.65	406,534.99	17.68	23.75
spring	24.3.2005– 23.6.2005	average per week	1.31	13,122.52	0.57	0.77	2.20	21,984.97	0.96	1.28	1.94	19,448.46	0.85	1.14	1.18	11,784.82	0.51	0.69	1.66	16,585.19	0.72	0.97
		total in season	17.06	170,592.80	7.42	9.96	28.58	285,804.55	12.43	16.69	25.28	252,829.96	10.99	14.77	15.32	153,202.66	6.66	8.95	21.56	215,607.49	9.37	12.59
summer	23.6.2005– 22.9.2005	average per week	1.57	15,698.70	0.68	0.92	1.12	11,223.28	0.49	0.66	1.28	12,792.90	0.56	0.75	0.92	9,221.74	0.40	0.54	1.22	12,234.16	0.53	0.71
		total in season	20.41	204,083.10	8.87	11.92	14.59	145,902.67	6.34	8.52	16.63	166,307.69	7.23	9.71	11.99	119,882.61	5.21	7.00	15.90	159,044.02	6.91	9.29
fall	22.9.2005– 21.12.2005	average per week	0.75	7,507.35	0.33	0.44	1.15	11,520.35	0.50	0.67	2.13	21,258.49	0.92	1.24	0.52	5,230.09	0.23	0.31	1.14	11,379.07	0.49	0.66
		total in season	9.76	97,595.57	4.24	5.70	14.98	149,764.52	6.51	8.75	27.64	276,360.32	12.02	16.14	6.80	67,991.14	2.96	3.97	14.79	147,927.89	6.43	8.64

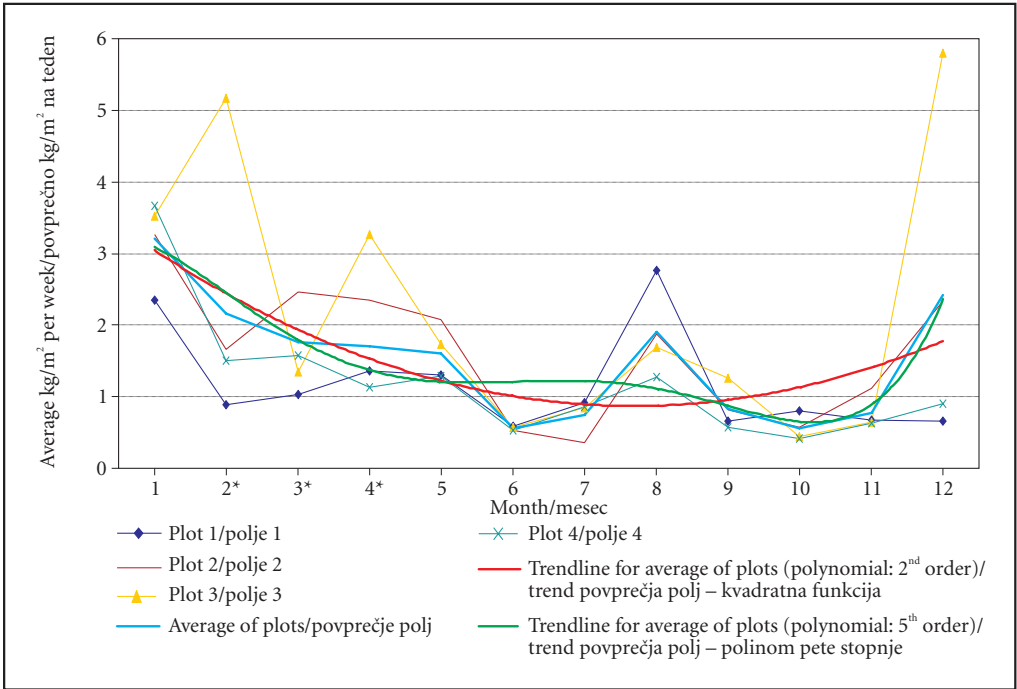


Figure 12: Sediment production from steep bare flysch slopes by months (\*average of two-year measurements).

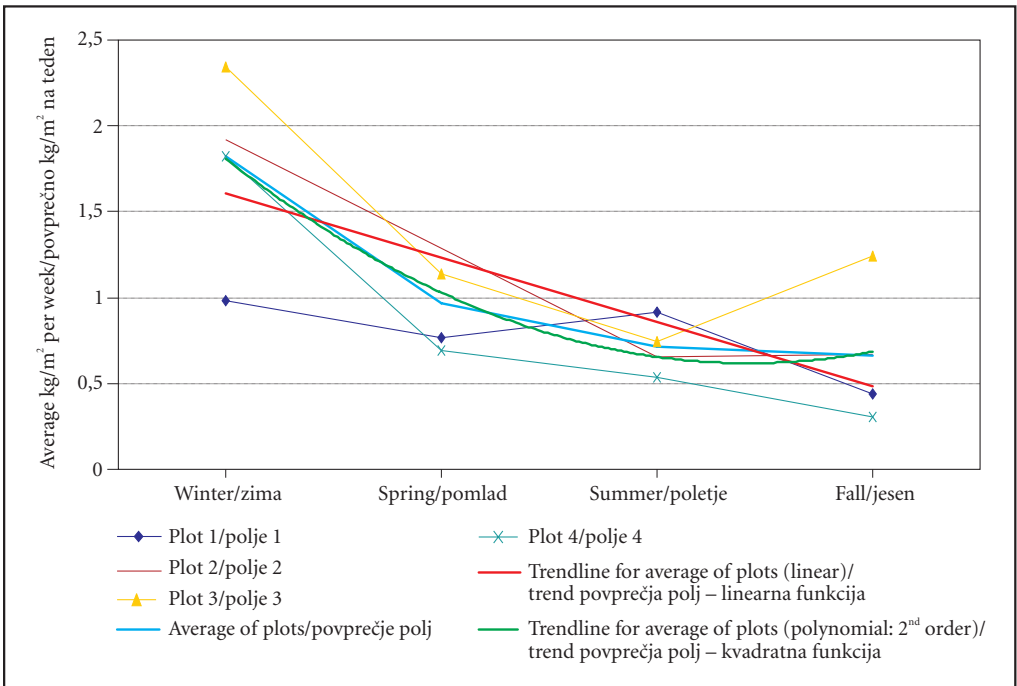


Figure 13: Sediment production from steep bare flysch slopes by seasons.

the latter to calculate the determination multiple linear correlation coefficient ( $R^2$ ) as well. For our variables the proportion of explained variance for the average of erosion plots lies between 0.7697 ( $n = 63$ ;  $p < 0.0000$ ;  $R = 0.8773$ ) or 76.97% and 0.7982 ( $n = 42$ ;  $p < 0.0586$ ;  $R = 0.8934$ ) or 79.82%.

The temperature parameters (Table 5) indicate mostly small negative statistical correlation with sediment production. We were somewhat surprised by the low statistical correlation because in the field we observed that low temperatures in the cold part of the year caused major sediment production (Figures 8 and 13) and we assumed there would be higher statistical correlations between low temperatures and sediment production in the cold part of the year (Table 6); however, it turned out there is hardly any statistical correlation.

The same can be said for statistical correlations between precipitation parameters (Table 5) and sediment production which show only a low statistical correlation, although in the field we observed that heavy precipitation eroded a large amount of material (Figure 8). The only parameter that stands out is the amount of precipitation (Figure 16), which shows a medium positive statistical correlation.

If we were surprised by the relatively modest statistical correlation between temperature and precipitation parameters and sediment production, it was the opposite for the wind parameter (Table 5) with its relatively significant small to medium positive statistical correlations. We attribute this relatively high statistical correlation especially to the fact that the strong bora wind blows as much during erosive precipitation events as it does in periods of very low temperatures when the most material was eroded.

Table 5: Correlations between sediment production from steep bare flysch slopes and weather conditions for the average of erosion plots (between 10.2.2005 and 26.4.2006) (\*adaptation of temperatures measured in Koper (Environmental Agency of the Republic of Slovenia 2006) to the temperature conditions in the valleys in the hinterland (according to Ogrin 1995, 166), \*\*Miko 2006, 48).

correlation between sediment production and ...	Pearson's correlation coefficient (r)	determination coefficient ( $r^2$ )	t-test n=63 *n=42
maximum daily temperature	-0.2932	0.0860	-2.3955
average maximum daily temperature	-0.3468	0.1203	-2.8878
minimum daily temperature	-0.3286	0.1080	-2.7172
average minimum daily temperature	-0.3093	0.0957	-2.5405
number of days with negative temperatures	0.2463	0.0607	1.9846
*corrected average minimum daily temperatures	-0.3093	0.0957	-2.5405
*corrected number of days with negative temperatures	0.2517	0.0633	2.0308
amount of precipitation	0.4349	0.1891	3.7721
maximum 10-minute precipitations	0.2123	0.0451	1.6964
maximum 30-minute precipitations	0.2564	0.0657	2.0714
maximum 60-minute precipitations	0.2471	0.0610	1.9913
average 10-minute precipitations	0.0514	0.0026	0.4023
erosivity of precipitation**	0.3485	0.1215	2.3516 <sup>a</sup>
average wind speed	0.3406	0.1160	2.8296
maximum wind gusts	0.4218	0.1779	3.6329
average maximum wind gusts	0.3908	0.1527	3.3162

Table 6: Correlations between sediment production from steep bare flysch slopes and temperature conditions in the cold part of the year for the average of erosion plots (measurements: between 17.2.2005 and 24.3.2005, and between 24.11.2005 and 23.3.2006) (\*adaptation of temperatures measured in Koper (Environmental Agency of the Republic of Slovenia 2006) to the temperature conditions in the valleys in the hinterland (according to Ogrin 1995, 166)).

correlation between sediment production and ...	Pearson's correlation coefficient (r)	determination coefficient ( $r^2$ )	t-test n=24
maximum daily temperature	0.1337	0.0179	0.6326
average maximum daily temperature	-0.1219	0.0148	-0.5759
minimum daily temperature	0.0085	0.0001	0.0401
average minimum daily temperature	0.0783	0.0061	0.3684
number of days with negative temperatures	0.0193	0.0004	0.0904
*corrected average minimum daily temperatures	0.0783	0.0061	0.3684
*corrected number of days with negative temperatures	-0.1025	0.0105	-0.4833

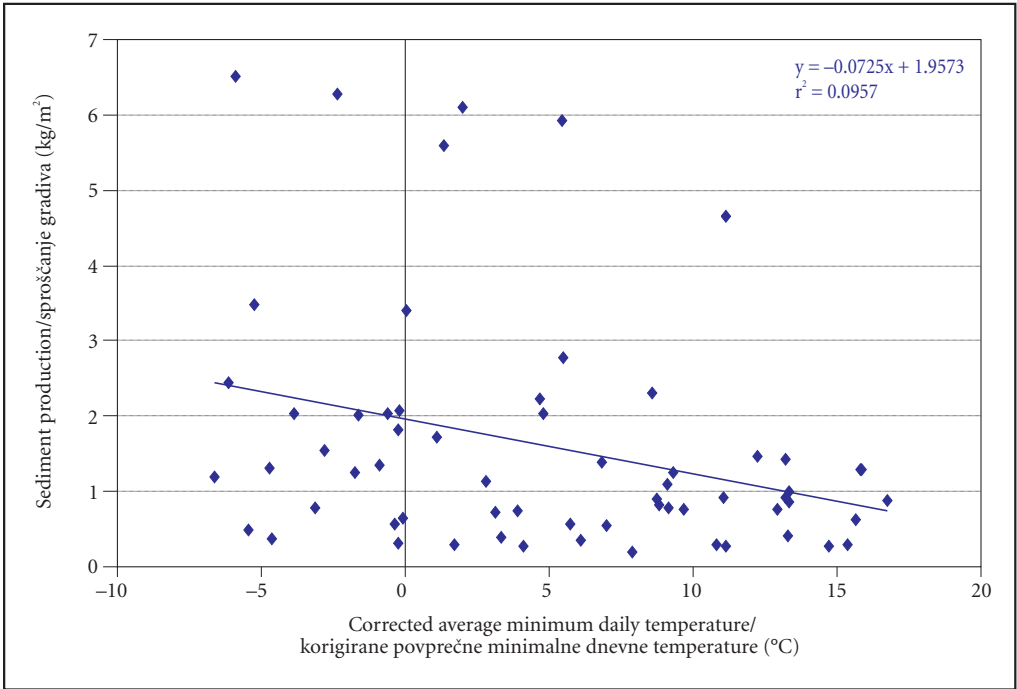


Figure 14: Correlation between sediment production and corrected average minimum daily temperature ( $r = -0.3093$ ).

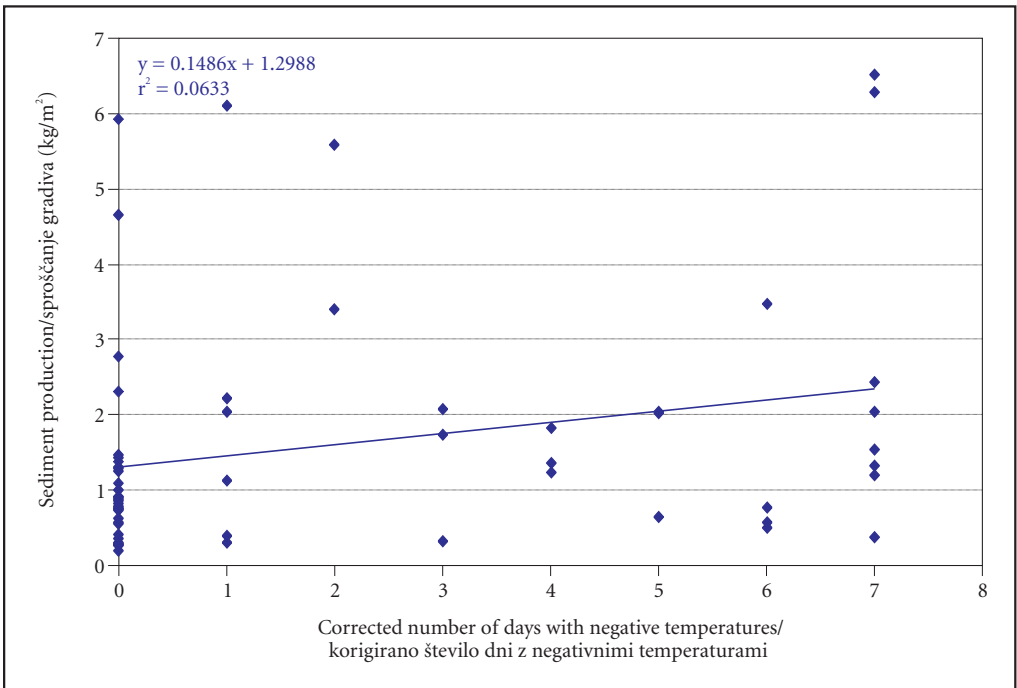


Figure 15: Correlation between sediment production and corrected number of days with negative temperatures ( $r = 0.2517$ ).



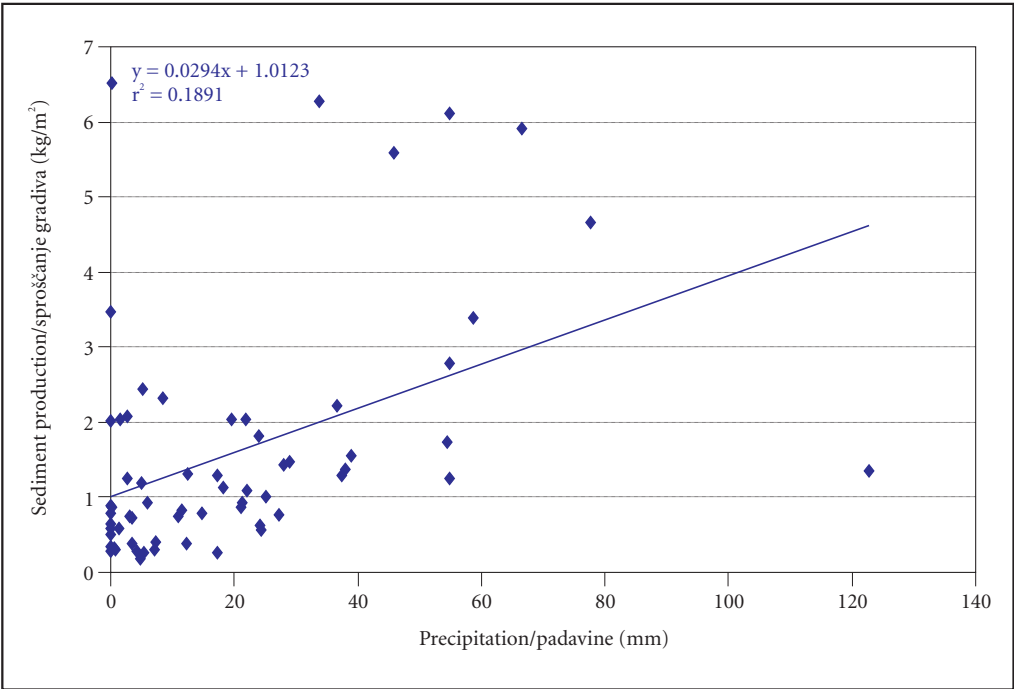


Figure 16: Correlation between sediment production and amount of precipitation ( $r=0.4349$ ).

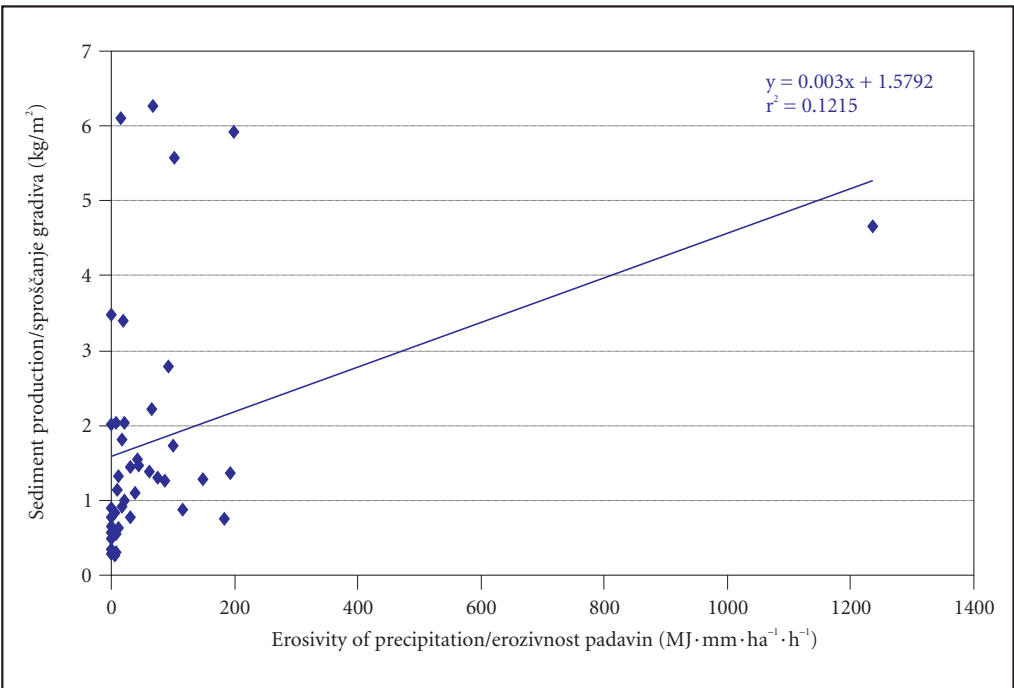


Figure 17: Correlation between sediment production and erosivity of precipitation ( $r=0.3485$ ).

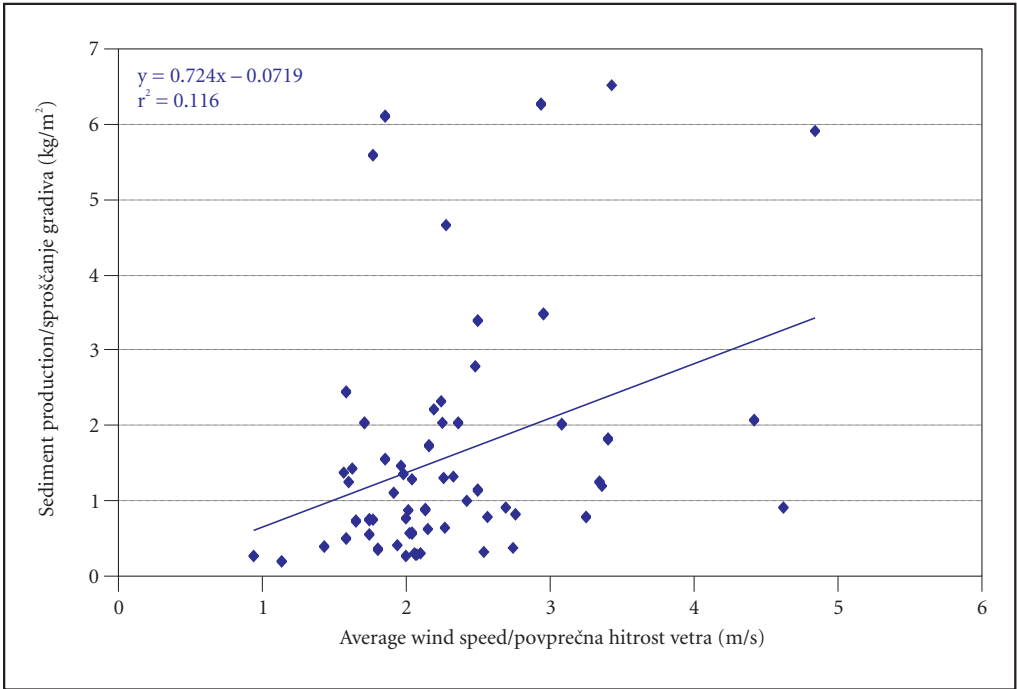


Figure 18: Correlation between sediment production and average wind speed ( $r=0.3406$ ).

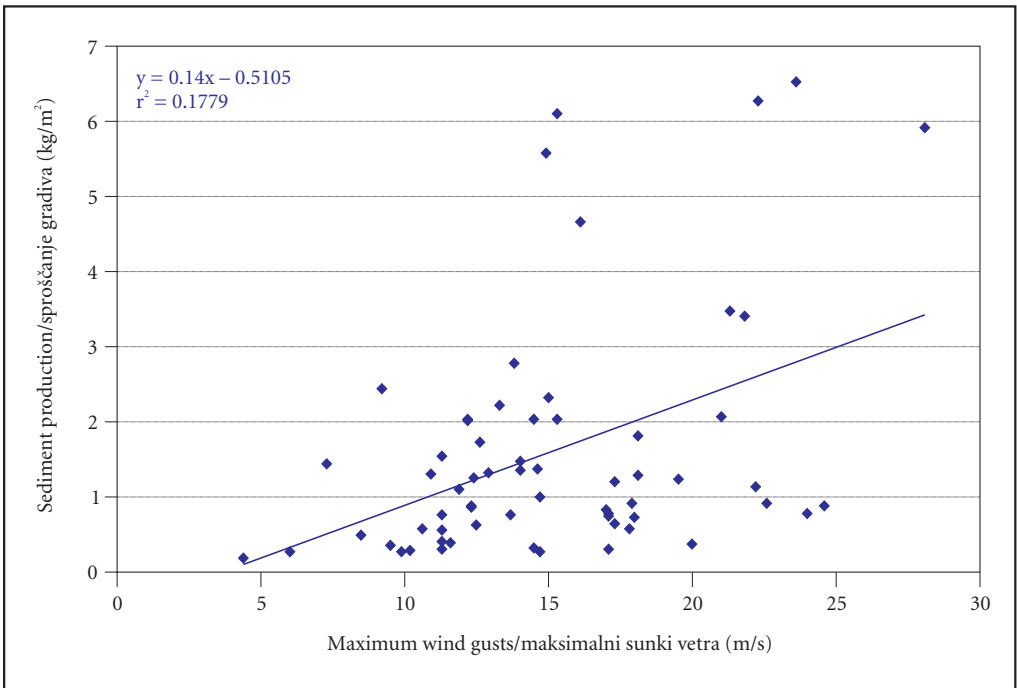


Figure 19: Correlation between sediment production and maximum wind gusts ( $r=0.4218$ ).

Table 7: Changing of Pearson's Correlation Coefficient on the basis of monthly and seasonal data – average of erosion plots 1, 2, 3, and 4 (\*adaptation of temperatures measured in Koper (Environmental Agency of the Republic of Slovenia 2006) to the temperature conditions in the valleys in the hinterland (according to Ogrin 1995, 166)).

correlation between sediment production and ...	by months			by seasons		
	Pearson's correlation coefficient (r)	determination coefficient (r <sup>2</sup> )	t-test n = 12	Pearson's correlation coefficient (r)	determination coefficient (r <sup>2</sup> )	t-test n = 4
average minimum daily temperature	-0.5477	0.3000	-2.0703	-0.8657	0.7494	-2.4454
number of days with negative temperatures	0.7271	0.5287	3.3495	0.8744	0.7645	2.5480
*corrected average minimum daily temperatures	-0.5477	0.3000	-2.0703	-0.8657	0.7494	-2.4454
*corrected number of days with negative temperatures	0.6931	0.4804	3.0404	0.8922	0.7961	2.7942
amount of precipitation	0.1950	0.0380	0.6288	-0.1977	0.0391	-0.2853
erosivity of precipitation	0.1232	0.0152	0.3925	-0.5896	0.3476	-1.0323
average wind speed	0.5575	0.3108	2.1237	0.8965	0.8038	2.8621
maximum average wind speed	0.3795	0.1440	1.2972	0.9849	0.9700	8.0360

Table 7 present the changing of Pearson's Correlation Coefficient for some selected weather parameters with the generalization of measurements by months and seasons. It is clear that statistical correlation between temperature and wind parameters and sediment production increases with the generalization of data and shows (almost) very high statistical correlation on the season scale. In contrast, the correlation between precipitation and sediment production is increasingly smaller and even goes from positive on the week scale to negative on the season scale, and for erosivity of precipitation even goes to a medium negative statistical correlation.

### 3 Movements of flysch debris along erosion gullies

The steep bare slopes of the badlands include not only flysch walls with a 70° to 90° inclination but also slopes with 40° to 60° inclinations already eroded by erosion rills and gullies.

Erosion gullies form with the channelling of the surface flow, particularly where runoff lines follow relief (natural) features and various anthropogenic forms such as excavations, furrows in cultivated fields, parcel boundaries, trails, and roads. Unlike interrill erosion and rill erosion where material is deposited on the slope itself or at its foot, gully erosion offers more opportunities for eroded material to reach water-courses at the bottom of valleys. Erosion gullies are thus a very important source of eroded material (Poesen and Hooke 1997, 172).

Campbell (1997, 276, 278) points out that gully erosion in badlands has not been as intensively studied as gully erosion in soils or regolith, in particular on agricultural land (for example Poesen et al. 2006). Campbell (1997, 279) links this to the fact that badlands are not interesting from the agricultural aspect and have no economic value despite the fact that they are »highly visible« in the landscape.

According to Poesen and Hooke (1997, 174), there is no standardized methodology for measuring gully erosion or any universal model for studying it. The problem arises already in defining the size of erosion gullies because according to Wainwright and Thornes (2004, 178) they are »partly subjective«, but in most cases their lowest limit is the cross section area of a gully of 900 cm<sup>2</sup> or with 30 cm × 30 cm sides.

For our measurements we constructed a barrier in an erosion gully (Figures 20 and 21) and took measurements on a weekly basis.

Table 8: Basic data on measurements in erosion gully (\*inclination between barrier and upper end of erosion gully).

erosion plot	catchment area (m <sup>2</sup> )	measurement period	amount of debris captured during measurement period (kg)	Gauss-Krüger barrier coordinates	altitude of barrier (m)	inclination of erosion plot (°)*
5	994.28	24.2.2005–26.4.2006	19,997.57	X 5406254 Y 5039573	203	46



MATIJA ZORN, 31.3.2006

Figure 20: Erosion gully with marked spot where barrier was constructed.



MATIJA ZORN, 7.12.2005

Figure 21: Barrier in erosion gully.

### 3.1 Weekly measurements

We measured movements of flysch debris along the erosion gully between 24.2.2005 and 26.4.2006. Weekly averages and total values for all 14 months and for two 12-month periods are presented in Table 9 where we can see that the movement of flysch debris in the gully amounts to between 14.46 and 18.83 kg/m<sup>2</sup> per year. Over the entire 14-month period of measurements, 19,997.57 kg or 11.68 m<sup>3</sup> of debris was deposited behind the barrier with a catchment area of 994.28 m<sup>2</sup>. In the first 12-month period, some 38% of the total 18,717.45 kg of debris was captured in the week between 19.1.2006 and 26.1.2006, and another 40% in the six weeks when more than 3% of the annual debris was captured. In the remaining 45 weeks only 22% of the annual amount of debris was captured (Figure 24).

An even larger extreme occurred in the second one-year period when as much as 52% of the annual amount of debris was captured in the week between 19.1.2006 and 26.1.2006, while another 30% was captured in the seven weeks with more than 3% of the annual debris. In the remaining 44 weeks, only 18% of the annual amount of debris was captured (Figure 25).

The two extreme values were the consequence of dry rock (debris) flows that were triggered in the gully in these weeks. The preconditions for such extremes are a sufficient quantity of debris in the gully and a wind that completely dries the debris to a certain depth. Moist clayey debris is harder to move and moves only with heavy precipitation.

Comparisons between the movement of flysch debris in the gully and precipitation or temperature conditions at the time are presented in Figures 22 and 23.

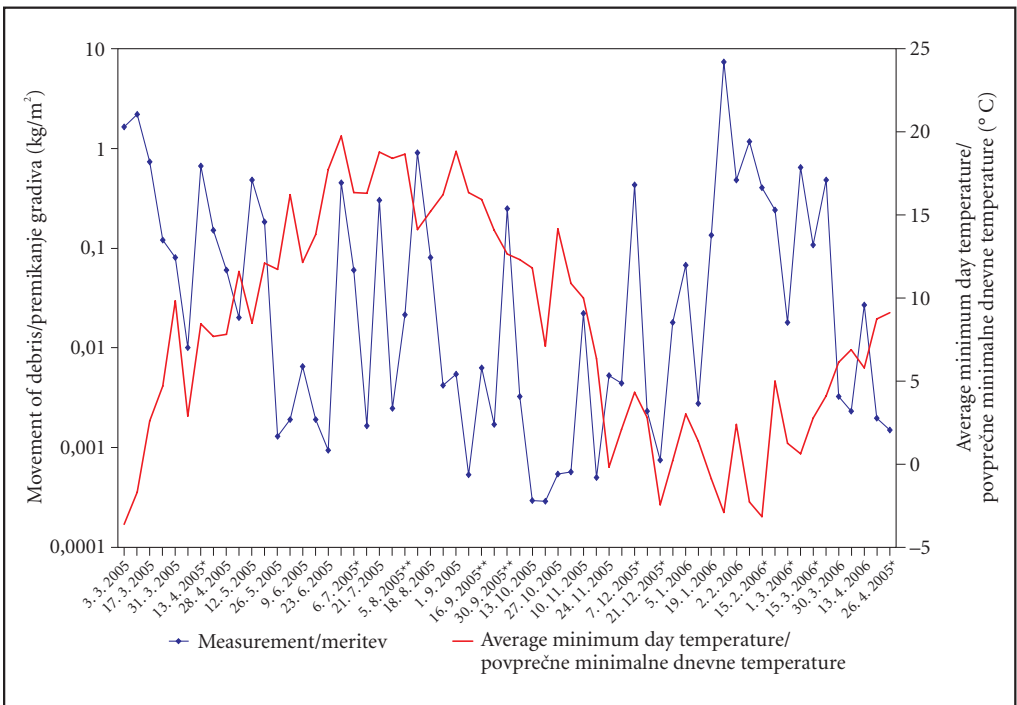
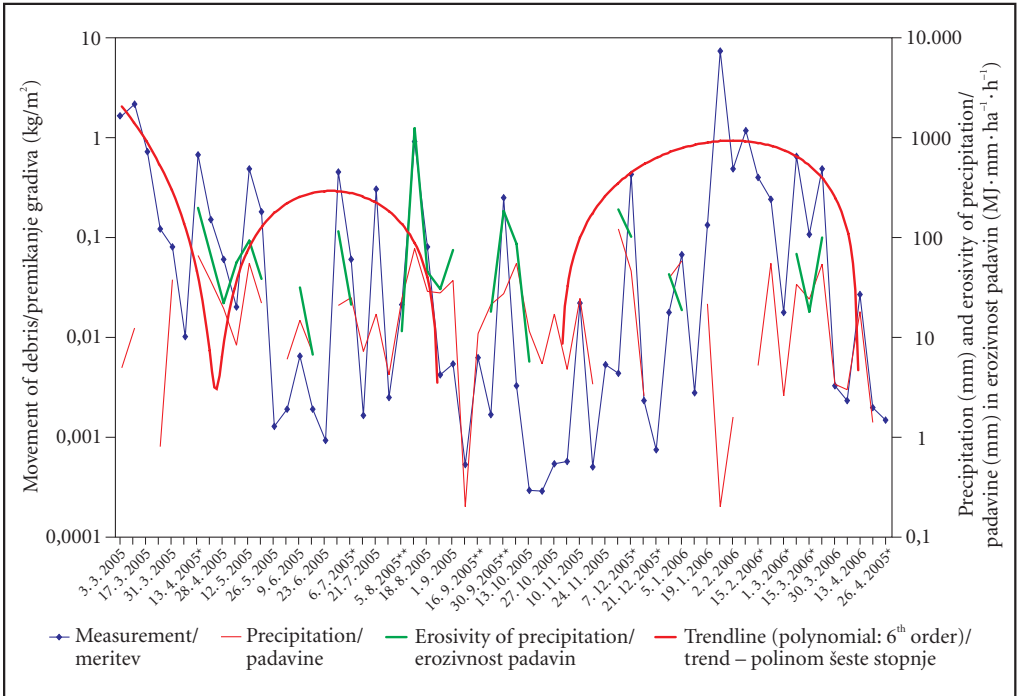
Table 9: Movement of flysch debris along erosion gully – average per week and total; (\*bulk density of flysch 2,300 kg/m<sup>3</sup> (Miščević, Števančić, and Štambuk-Cvitanović 2009), \*\*bulk density of flysch 1,712.04 kg/m<sup>3</sup> (our measurements; similar also Petkovšek, Klopčič, and Majes 2008)).

	measurement period	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	rockwall retreat (mm)*	rockwall retreat (mm)**
average per week (14 months)	28.2.2005–26.4.2006	0.33	3,297.15	0.14	0.19
total (14 months)	28.2.2005–26.4.2006	20.11	201,126.12	8.74	11.75
average per week (12 months)	24.2.2005–23.2.2006	0.36	3,555.28	0.15	0.21
total (12 months)	24.2.2005–23.2.2006	<b>18.83</b>	188,430.08	<b>8.19</b>	<b>11.01</b>
average per week (12 months)	28.4.2005–26.4.2006	0.28	2,738.86	0.12	0.16
total (12 months)	28.4.2005–26.4.2006	<b>14.46</b>	145,159.70	6.31	8.48

### 3.2 Measurements by months and seasons

To establish more general trends in the movement of debris along the erosion gully throughout the year, we compiled our measurements by months and seasons.

The most debris moved along the erosion gully in the first three months of the year, and the secondary peak occurred in August (Figure 26). August was the month with the highest erosivity of precipitation, but relative to the amount of debris captured it is far behind the first three months of the year. January stands out due to the dry rock (debris) flows in the week before 26.1.2006. Dry rock (debris) flows also occurred in the same conditions in February and March, but there was less debris available in the gully. The effect of the amount of debris on movements along the gully is shown in the comparison between the week before 23.3.2006 and the week before 12.8.2005. In the March week the erosivity of precipitation was around 100 MJ · mm · ha<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>, and the moved debris totaled 3.34% of the annual captured debris. In the August week the erosivity of precipitation was as high as 1,235.91 MJ · mm · ha<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup>, more than ten times higher, but only twice the amount of debris was captured. In the first case there was a lot of debris in the gully because numerous alterations between positive and negative temperatures caused much greater sediment production on the gully slopes. By summer the sediment production from the slopes had slowed (see Chapter 2.4), and from week to week there was less debris in the gully. The lack of debris in the gully is even more evident in the fall months when the least debris was captured in spite of the fall (November's in particular) precipitation.



Figures 22 and 23: Weekly measurements of movement of flysch debris along erosion gully between 24.2.2005 and 26.4.2006 and selected weather parameters (\*measurement a day before regular weekly measuring, \*\*measurement a day after regular weekly measuring).

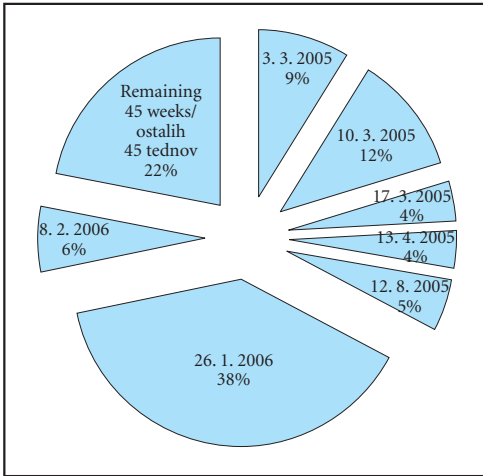


Figure 24: Weeks in the measurement period between 24.2.2005 and 23.2.2006 with more than 3% of the annual movement of flysch debris along erosion gully.

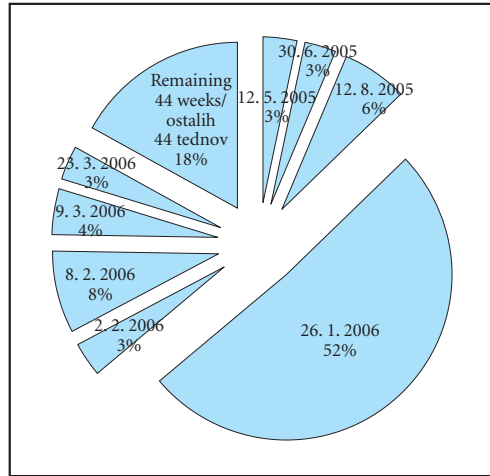


Figure 25: Weeks in the measurement period between 28.4.2005 and 26.4.2006 with more than 3% of the annual movement of flysch debris along erosion gully.

A similar difference in the movement of debris shown in the data by months appears in the data by seasons; movements of debris are most intensive in winter. A major regression and approximately the same amount of debris moved follows in the spring and summer with absolute low values in the fall, which is undoubtedly related to the slowing of sediment production from the slopes in the summer and the correspondingly lack of debris in the erosion gully (Table 10 and Figure 27).

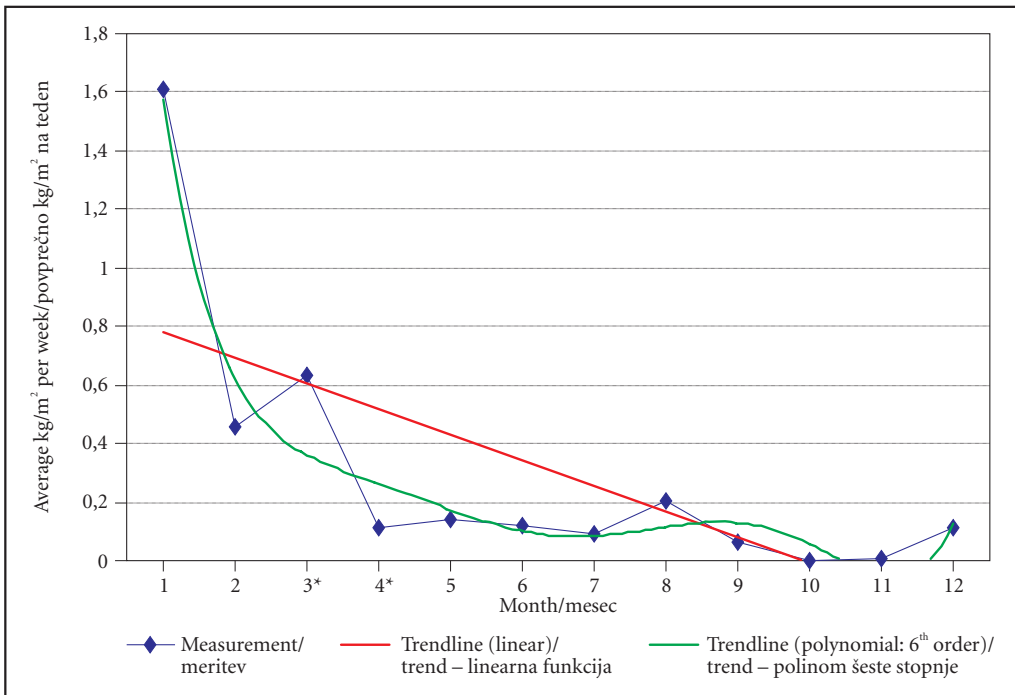


Figure 26: Movement of flysch debris along the erosion gully by months (\*average of two-year measurements).

Table 10: Movement of flysch debris along the erosion gully by seasons (\*bulk density of flysch 2,300 kg/m<sup>3</sup> (Miščević, Števanic, and Štambuk-Cvitanović 2009), \*\*bulk density of flysch 1,712.04 kg/m<sup>3</sup> (our measurements; similar also Petkovšek, Klopčič, and Majes 2008)).

season	measurement period	average per week (kg/m <sup>2</sup> )	total in season (kg/m <sup>2</sup> )	average per week (kg/ha)	total in season (kg/ha)	rockwall retreat (average per week in mm)*	rockwall retreat (average in season in mm)*	rockwall retreat (average per week in mm)**	rockwall retreat (average in season in mm)**
winter	21.12.2005–23.3.2006	0.86	11.14	8,571.99	111,435.90	0.37	4.85	0.50	6.51
spring	24.3.2005–23.6.2005	0.13	1.67	1,285.84	16,715.90	0.06	0.73	0.08	0.98
summer	23.6.2005–22.9.2005	0.14	1.86	1,427.30	18,554.86	0.06	0.81	0.08	1.08
fall	22.9.2005–21.12.2005	0.06	0.72	553.75	7,198.70	0.02	0.31	0.03	0.42

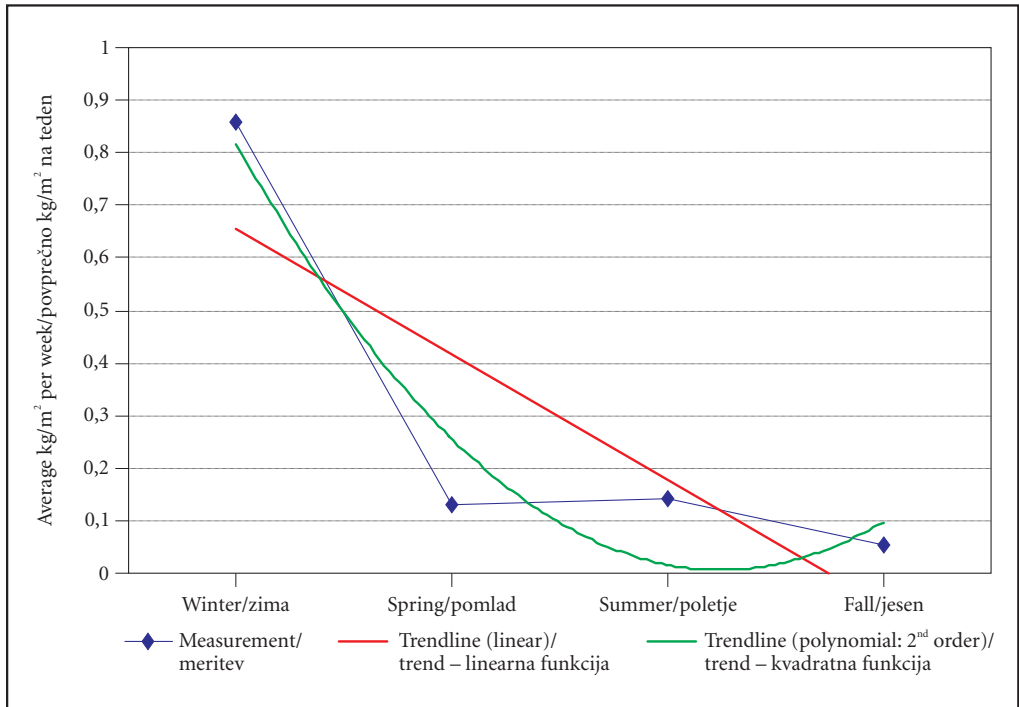


Figure 27: Movement of flysch debris along the erosion gully by seasons.

### 3.3 Correlation with weather conditions

As for flysch sediment production (Chapter 2.5), we correlated the movement of flysch debris along the erosion gully with selected weather data. Using Pearson's Correlation Coefficient ( $r$ ) we looked for linear statistical correlations between the movement of debris and individual weather parameters and also calculated the multiple linear correlation coefficient ( $R$ ) and the determination coefficient of multiple linear correlation ( $R^2$ ) between the movement of flysch debris and all the weather parameters together. For the selected variables the proportion of explained variance for data by weeks lies between 0.5201 ( $n = 61$ ;  $p < 0.0009$ ;  $R = 0.7212$ ) or 52.01% and 0.5495 ( $n = 42$ ;  $p < 0.0586$ ;  $R = 0.7413$ ) or 54.95%.



The temperature parameters (Table 11) show mostly a small negative statistical correlation with the movement of flysch debris along the erosion gully with the exception of the number of days with negative temperatures, which shows a medium-positive statistical correlation. To facilitate the assessment of the correlation between low temperatures and movement of flysch debris, we correlated the movement of flysch debris with temperature parameters in the cold part of the year (Table 12); however, the correlations showed no substantial differences (with the exception of maximum daily temperatures with a slightly higher statistical correlation).

Table 11: Correlations between the movement of flysch debris along the erosion gully and weather parameters (between 28.2.2005 and 26.4.2006) (\*adaptation of temperatures measured in Koper (Environmental Agency of the Republic of Slovenia 2006) to the temperature conditions in the valleys in the hinterland (according to Ogrin 1995, 166), \*\*Miko 2006, 48).

correlation between movement of flysch debris and ...	Pearson's correlation coefficient (r)	determination coefficient (r <sup>2</sup> )	t-test n=61 <sup>a</sup> n=42
maximum daily temperature	-0.2394	0.0573	-1.8939
average maximum daily temperature	-0.3055	0.0934	-2.4647
minimum daily temperature	-0.3103	0.0963	-2.5076
average minimum daily temperature	-0.3501	0.1226	-2.8712
number of days with negative temperatures	0.4921	0.2422	4.3420
*corrected average minimum daily temperatures	-0.3501	0.1226	-2.8712
*corrected number of days with negative temperatures	0.4145	0.1718	3.4983
amount of precipitation	-0.0652	0.0043	-0.4621
maximum 10-minute precipitations	-0.0110	0.0001	-0.0779
maximum 30-minute precipitations	0.0110	0.0001	0.0779
maximum 60-minute precipitations	0.0015	0.000002	0.0105
average 10-minute precipitations	-0.0154	0.0002	-0.1088
erosivity of precipitation**	0.2761	0.0762	1.5735 <sup>a</sup>
average wind speed	0.2582	0.0667	2.0527
maximum wind gusts	0.2842	0.0808	2.2772
average maximum wind gusts	0.2681	0.0719	2.1377

Table 12: Correlations between movement of flysch debris along the erosion gully and temperature parameters in the cold part of the year (between 17.2.2005 and 24.3.2005 and between 24.11.2005 and 23.3.2006) (\*adaptation of temperatures measured in Koper (Environmental Agency of the Republic of Slovenia 2006) to the temperature conditions in the valleys in the hinterland (according to Ogrin 1995, 166).

correlation between movement of flysch debris and ...	Pearson's correlation coefficient (r)	determination coefficient (r <sup>2</sup> )	t-test n=22
maximum daily temperature	-0.0075	0.0001	-0.0336
average maximum daily temperature	-0.3579	0.1281	-1.7140
minimum daily temperature	-0.3280	0.1076	-1.5525
average minimum daily temperature	-0.4454	0.1984	-2.2249
number of days with negative temperatures	0.4111	0.1690	2.0169
*corrected average minimum daily temperatures	-0.4454	0.1984	-2.2249
*corrected number of days with negative temperatures	0.3555	0.1264	1.7009

The precipitation parameters show almost no statistical correlation with the movement of flysch debris along the erosion gully with the exception of erosivity of precipitation, which shows a small positive statistical correlation (Figure 32). In spite of the calculations, during the period of our measurements it was possible to observe that heavy enough precipitation resulting in a sufficiently strong surface runoff can move more than 3% of the annual captured debris (Figures 24 and 25 for dates in the warmer part of the year).

The wind parameters show a greater statistical correlation with the movement of flysch debris along the erosion gully than most of the precipitation parameters, and we established a small positive statistical correlation. The role of the wind is related to the observed dry rock (debris) flows described at the beginning of Chapter 3.

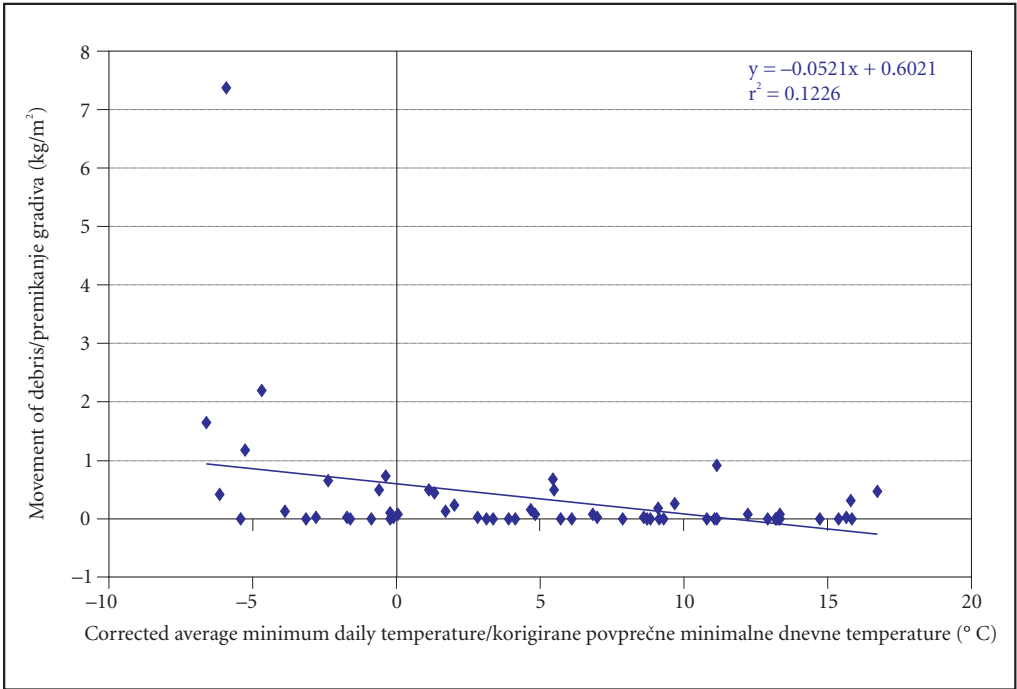


Figure 28: Correlation between movement of flysch debris and corrected average minimum daily temperature ( $r = -0.3501$ ).

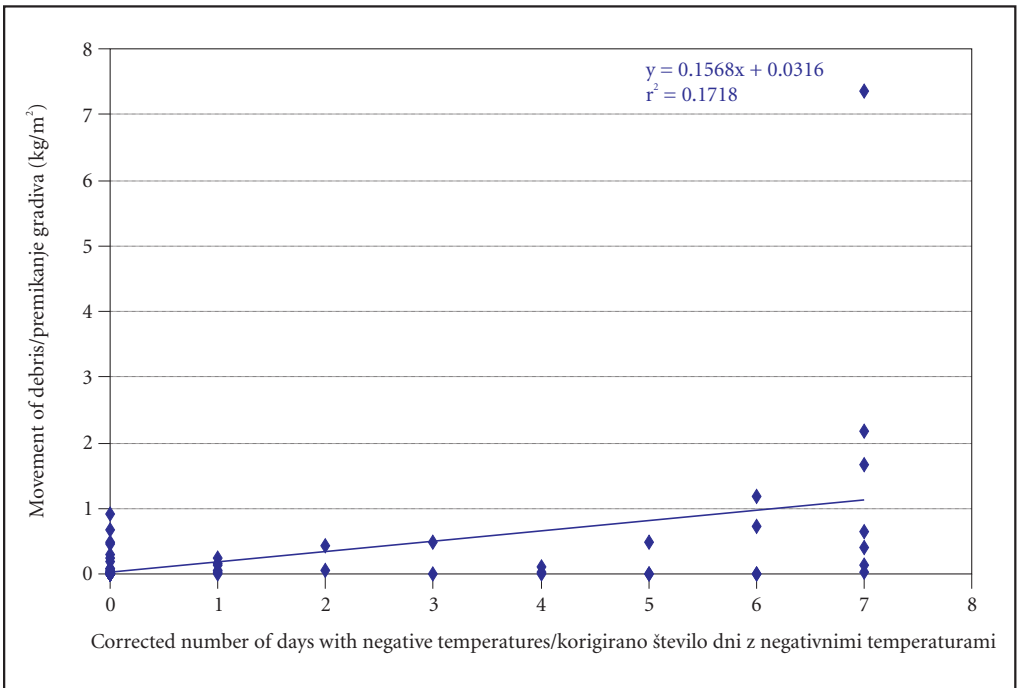


Figure 29: Correlation between movement of flysch debris and corrected number of days with negative temperatures ( $r = 0.4145$ ).

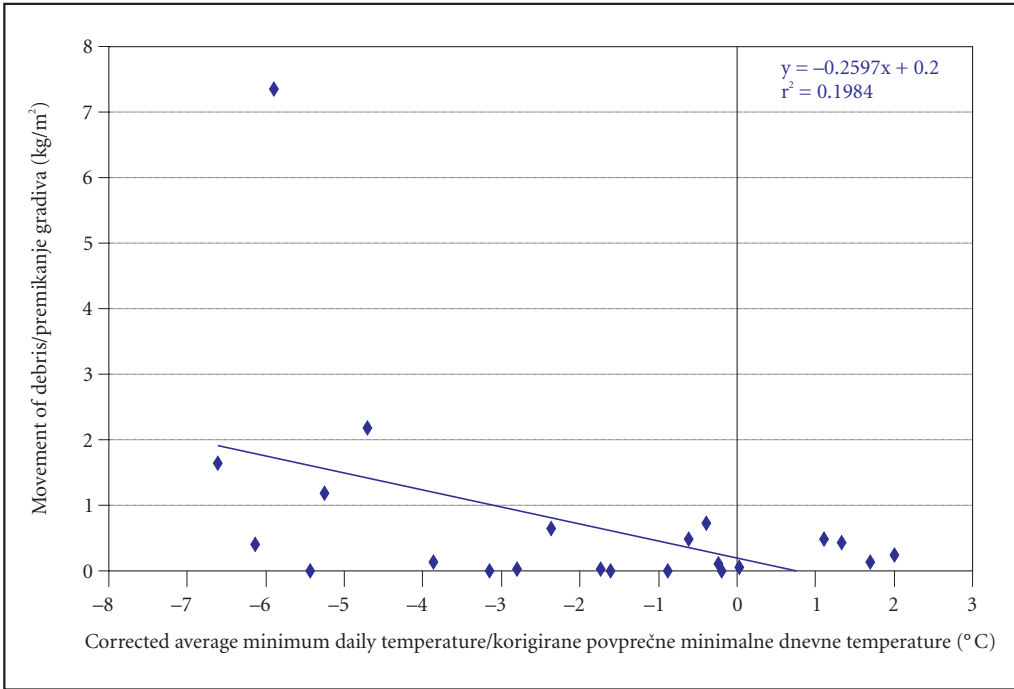


Figure 30: Correlation between movement of flysch debris and corrected average minimum daily temperature in the cold part of the year ( $r = -0.4454$ ).

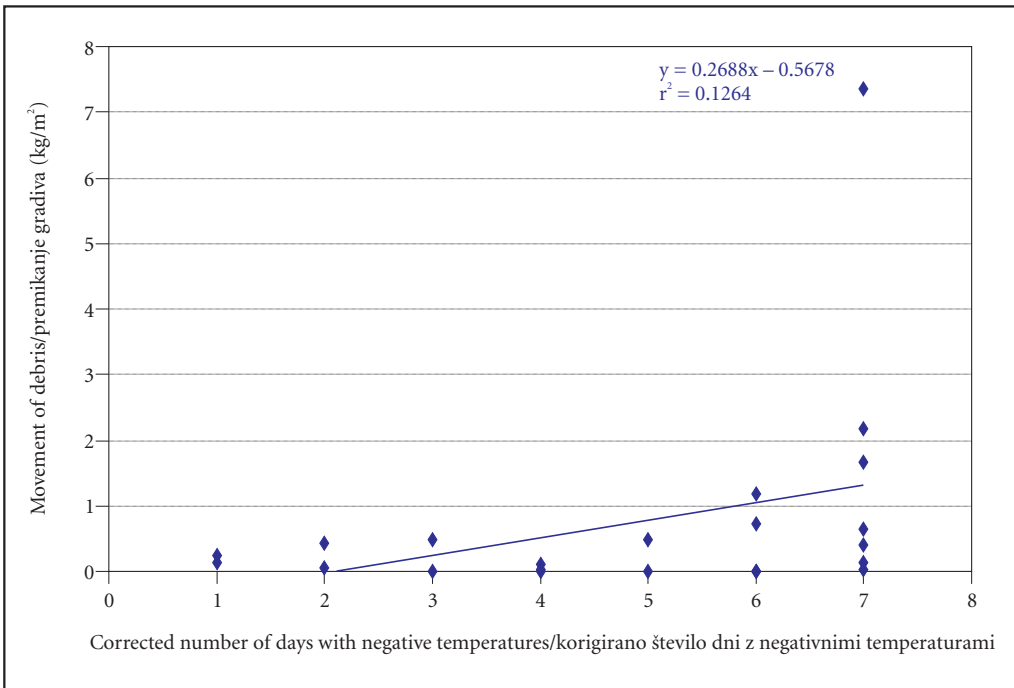


Figure 31: Correlation between movement of flysch debris and corrected number of days with negative temperatures in the cold part of the year ( $r = 0.3555$ ).

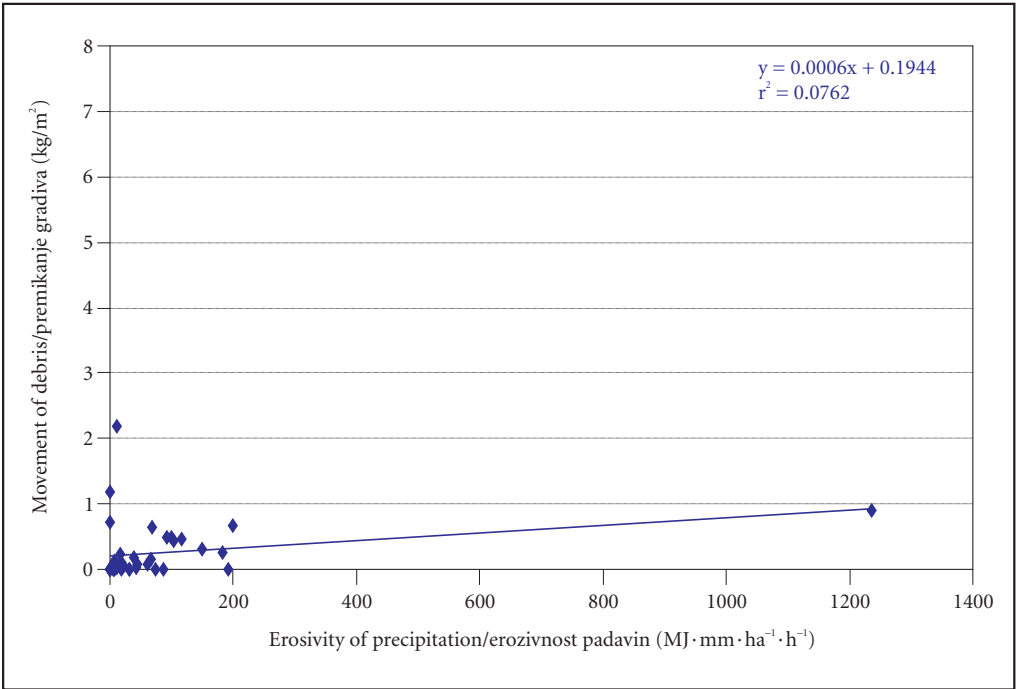


Figure 32: Correlation between the movement of flysch debris and erosivity of precipitation ( $r=0.2761$ ).

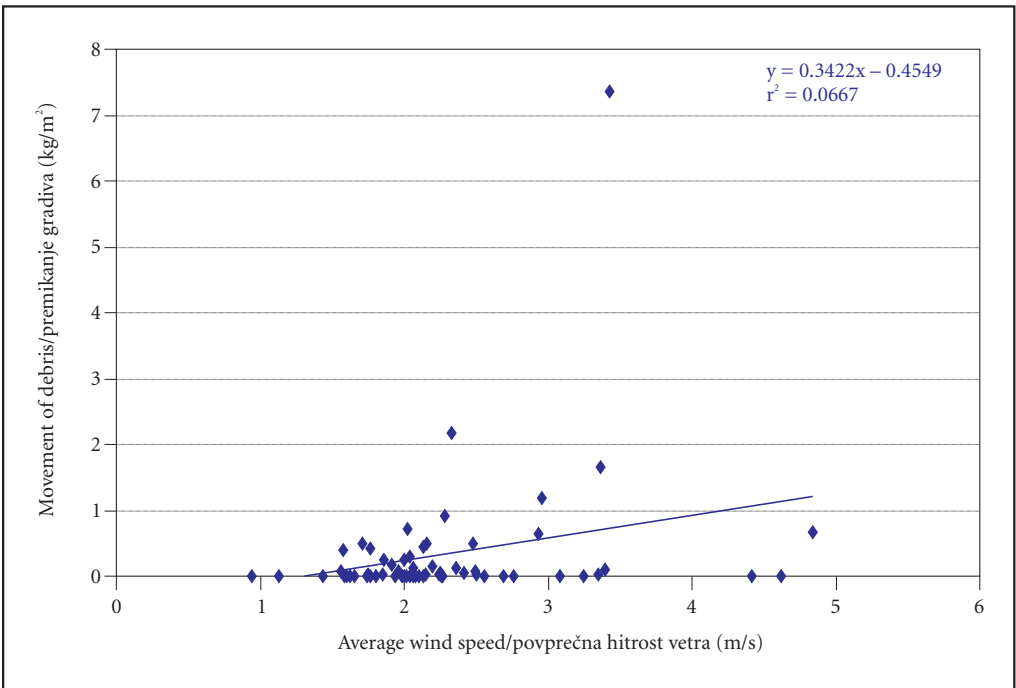


Figure 33: Correlation between the movement of flysch debris and average wind speed ( $r=0.2582$ ).

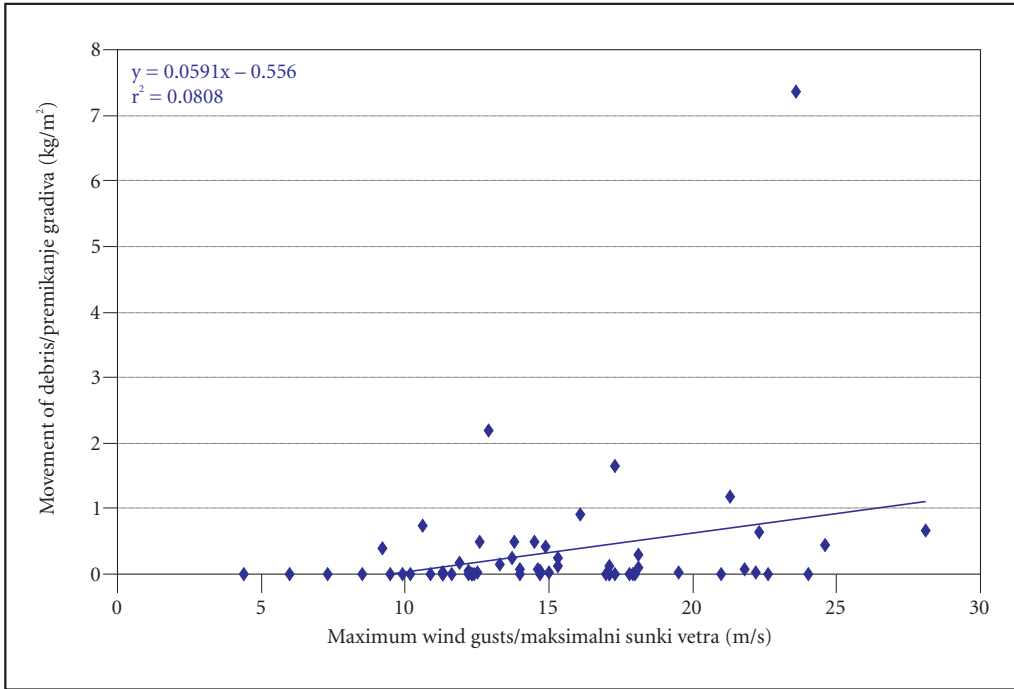


Figure 34: Correlation between the movement of flysch debris and maximum wind gusts ( $r=0.2842$ ).

Temperature parameters exhibit the highest statistical correlation with the movement of flysch debris along the erosion gully, followed by wind parameters; precipitation parameters are in last place and exhibit almost no statistical correlation, with the exception of erosivity of precipitation.

Table 13: Changing of Pearson's Correlation Coefficient on the basis of monthly and seasonal data (\*adaptation of temperatures measured in Koper (Environmental Agency of the Republic of Slovenia 2006) to the temperature conditions in the valleys in the hinterland (according to Ogrin 1995, 166)).

correlation between movement of flysch debris and ...	by months			by seasons		
	Pearson's correlation coefficient (r)	determination coefficient ( $r^2$ )	t-test n=12	Pearson's correlation coefficient (r)	determination coefficient ( $r^2$ )	t-test n=4
average minimum daily temperature	-0.5087	0.2588	-1.8687	-0.8231	0.6775	-2.0496
number of days with negative temperatures	0.7051	0.4972	3.1443	0.9156	0.8384	3.2210
*corrected average minimum daily temperatures	-0.5087	0.2588	-1.8687	-0.8231	0.6775	-2.0496
*corrected number of days with negative temperatures	0.7212	0.5202	3.2926	0.9126	0.8328	3.1567
amount of precipitation	-0.0501	0.0025	-0.1587	-0.0095	0.0001	-0.0135
erosivity of precipitation	-0.1546	0.0239	-0.4949	-0.4662	0.2174	-0.7453
average wind speed	0.4733	0.2240	1.6992	0.7833	0.6136	1.7822
maximum average wind speed	0.3736	0.1396	1.2735	0.9265	0.8583	3.4809

Table 13 present the changing of Pearson's Correlation Coefficient for some selected weather parameters with the generalization of measurements by months and seasons. It is clear that the statistical correlation between temperature and wind parameters and the movement of flysch debris along the erosion gully increases greatly with the generalization of data. On the season scale the correlation is high, in some places even very high. On the other hand, the correlation of precipitation with the movement of

flysch debris further decreases, and erosivity of precipitation moves from a positive statistical correlation on the week scale to a medium-negative correlation on the season level. The reason for this reversal is the extensive movements of flysch debris in periods without intensive precipitation since the largest amounts of flysch debris moved in winter when the erosivity of precipitation was the lowest. In summer, the gully contained less flysch debris and when intensive (erosive) precipitations occurred, they moved a relatively small amount of flysch debris.

## 4 Geomorphic processes on talus slopes

»*The Double Life of Talus Slopes*« is the title Gams (1991, 299) gave his article about talus slopes to highlight the fact that in certain conditions material is deposited on talus slopes while in others it is eroded. In addition to Gams (1991), Kladnik's studies (1980; 1981) also appear in Slovenia's geographical literature on talus slopes.

Changes in the thickness of the material on talus slopes under bare flysch walls in the Rokava river basin was measured by Petkovšek (2002a, 67; 2002b, 37; Petkovšek and Mikoš 2003, 51–52). He established that in the period between May and July there are almost no changes in the thickness of material on the talus slope. Erosion occurs late in the summer and in the fall with more intensive precipitation, and sedimentation occurs in the colder part of the year (Figure 35).

Our measurements on the talus slope took place after major erosive precipitations when erosion rills formed on the talus slope. Today the talus slope we monitored is located some distance from the river so the Rokava River cannot directly (through lateral erosion) erode talus material. Talus material can only reach the river during intensive precipitations when the erosive power of surface runoff is large enough to wash talus material to the river. In such conditions the largest part of the material on the talus slope moves along the erosion rills.

Between major precipitation events, only sedimentation occurs on the talus slope, filling erosion rills (Figures 36 and 37) so that during the next heavy precipitation new erosion rills do not necessarily form

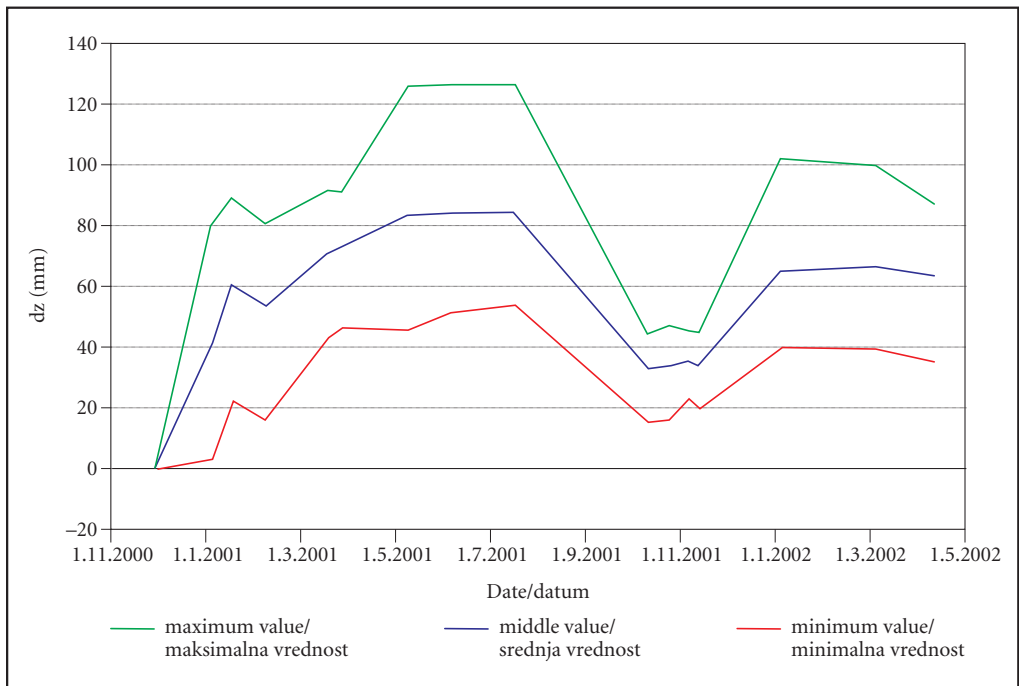


Figure 35: Sedimentation and erosion of material on talus slopes measured with erosion pins (according to Petkovšek 2002a, 67).

in the same places. During the period of our measurements new erosion rills formed on the talus slope on two occasions, after precipitations on 11.8.2005 and 22.2.2006 (Table 14).

Table 14: Data on erosion rills formed on the talus slope during major precipitation events on 11.8.2005 and 22.2.2006 (\*talus material that reached the Rokava River, \*\*surface area of talus slope 0.81 ha).

date of erosive event	11.8.2005	22.2.2006
daily erosivity of precipitation ( $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	1,110.50	90.02
total length of rills (m)	118.1	58.0
average width of rills (m)	0.28	0.77
average depth of rills (m)	0.10	0.24
total volume of rills ( $\text{m}^3$ )*	5.74	12.18
eroded material ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )**	7.06	14.96
lowering of entire talus slope due to rill erosion (mm)	0.71	1.50

Despite the substantially less intensive precipitation, the great difference in the amount of eroded material in favour of the later date is probably related to vegetation. On the first occasion (11.8.2005), heavy precipitation occurred during a period of lush vegetation that prevented a stronger surface runoff from occurring in the forest above the badlands and reaching the badlands. On the second occasion (22.2.2006) when there was no vegetation, a strong runoff must have occurred above the badlands that created large erosion rills on the talus slope and even an erosion gully (Figure 38).

A characteristic of the newly formed erosion rills is that not all of the talus material was washed from the talus slope: some of it was redeposited along the rills. Of the entire amount of moved talus material in the larger erosion rills, between 45% and 65% was washed out while the remaining material was redeposited along them.



MATLJA ZORN, 26.8.2005

Figure 36: Erosion rill with a volume of around  $4.4 \text{ m}^3$  developed on 11.8.2005. The total amount of moved talus material was about  $7.8 \text{ m}^3$ , 56% of which was washed away while the remaining material was deposited along the rill.



MATLJA ZORN, 2.2.2006

Figure 37: Less than six months after its formation, the erosion rill was completely filled.



MATIJA ZORN, 23.3.2006

Figure 38: The erosion gully that developed on 22.2.2006 directly below the wall was 2.8 meters wide and 1.5 meters deep. At the time the picture was taken, it was already partly filled.

On the basis of data on the measured erosion rills we compared the amount of talus material that was washed from the talus slope and reached the Rokava River with the amount of the sediment production from the entire badlands wall deposited on the talus slope (Table 15). During erosive precipitation on 11.8.2005, talus material amounting to between 50% and 70% of the sediment production reached the Rokava River in the week between 5.8.2006 and 12.8.2006. During the 22.2.2006 precipitation, this proportion was between 85% and 114% relative to the amount of sediment production in the week between 15.2.2006 and 23.2.2006. On the annual scale the proportion of talus material washed into the Rokava

Table 15: The amount of sediment production from the entire wall of the badlands in the weeks when erosion rills occurred on the talus slope, and the annual amount of sediment production from the wall (\*average of erosion plots 1, 2, 3, and 4; surface area of the wall estimated at 0.3\*\* and 0.4\*\*\* ha).

5–12.8.2005				15–23.2.2006			
specific sediment production and rockwall retreat in a week*		sediment production from entire wall in a week*		specific sediment production and rockwall retreat in a week*		sediment production from entire wall in a week*	
kg/m <sup>2</sup>	mm	t	m <sup>3</sup>	kg/m <sup>2</sup>	mm	t	m <sup>3</sup>
4.66	2.72	13.98**	8.17**	6.11	3.57	18.32**	10.70**
		18.65***	10.89***			24.42***	14.27***
10.2.2005–8.2.2006				28.4.2005–26.4.2006			
specific sediment production and rockwall retreat in the entire year*		annual sediment production from entire wall		specific sediment production and rockwall retreat in the entire year*		annual sediment production from entire wall	
kg/m <sup>2</sup>	mm	t	m <sup>3</sup>	kg/m <sup>2</sup>	mm	t	m <sup>3</sup>
77.39	45.21	232.18**	135.62**	84.26	49.22	252.77**	147.65**
		309.57***	180.82***			337.03***	196.86***



River was between 3% and 4% relative to the amount of sediment production in the period between 10.2.2005 and 8.2.2006, and between 9 and 12% (Table 16) relative to sediment production in the period between 28.4.2005 and 26.4.2006.

Table 16: Comparison between talus material washed from talus slope and material deposited on the slope in the weeks when erosion rills occurred on the talus slope and in the entire year (\*5–12.8.2005; \*\*15–23.2.2006).

	11.8.2005	22.2.2006	10.2.2005– 8.2.2006	28.4.2005– 26.4.2006
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
amount of talus material that reached Rokava River	5.74	12.18	5.74	17.92
sediment production from the entire wall (from Table 15)	8.17*	10.70**	135.62	147.65
	10.89*	14.27**	180.82	196.86
ratio between talus material washed from talus slope and material deposited on talus slope	0.70	1.14	0.04	0.12
	0.53	0.85	0.03	0.09

## 5 Conclusion

Young (1969; 1974) and Saunders and Young (1983; Young and Saunders 1986) collected data on rock-wall retreat in various climate zones, on various lithology, and on various inclinations. In the latest literature, such data is available for polar and mountain areas in particular, for example, André (1997; 2003, 153), Sass and Wollny (2001, 1085), Curry and Morris (2004), and Glade (2005, 206). For polar and mountain areas, Curry and Morris (2004) cite a maximum value of 4.5 mm/year (for the Swiss Alps). However, as mentioned above, measurements of erosion processes in the Mediterranean badlands produced values between 5 t/ha/year (0.45 mm/year) and between 220 and 330 t/ha/year or from 20 to 30 mm/year (Poesen and Hooke 1997, 162).

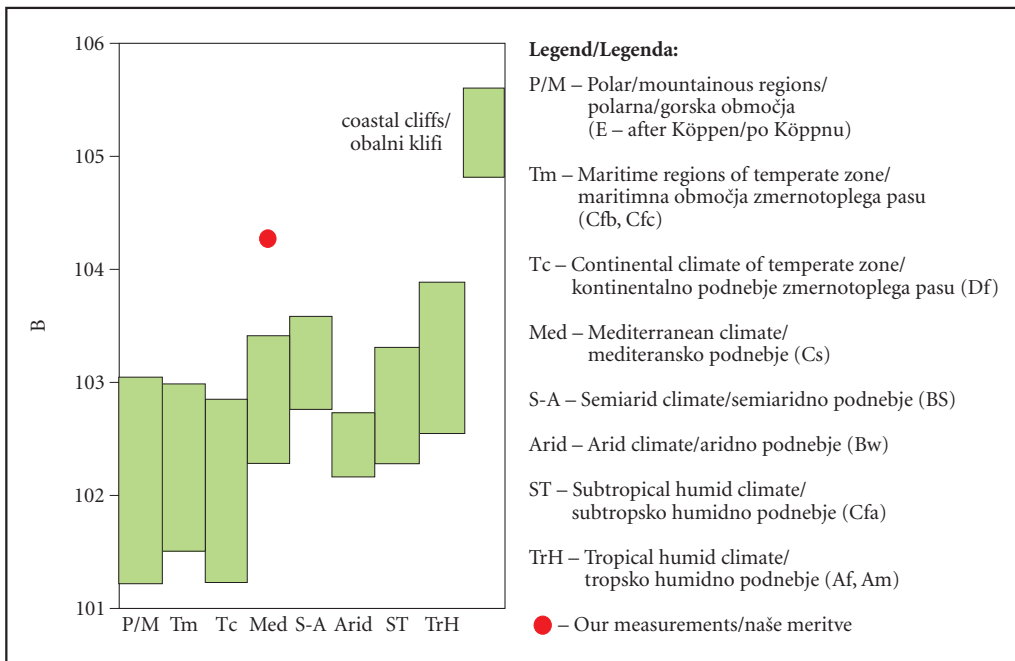


Figure 39: Rockwall retreat in various climate zones (1 B (Bubnoff) = 1 mm/1000 years = 1 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/year = 0.026 t/ha/year; Saunders and Young 1983; Young and Saunders 1986).

Figure 39 compares rockwall retreat in various climate zones with rockwall retreat in the Dragonja River basin. Compared with the figures given by Young and Saunders (1986, 7), our values are considerably higher. They are also higher than the figures of Poesen and Hooke (1997) mentioned above.

Geomorphic processes in the badlands of flysch Istria are relatively rapid since their steep walls retreat at the rate of 35 to 50 mm per year and up to 18 kg of debris per square meter is eroded annually along their erosion gullies. The speed of these processes undoubtedly means that the badlands in the Dragonja River basin and in flysch Istria in general are an important source of eroded material (Zorn 2008a; 2008b) and an important factor in slope formation, as Harvey (2004) among others has concluded about badlands elsewhere.

Now that we are more familiar with erosion processes and how rapid they are, we can for the first time in Slovenia begin to address one of geomorphology's basic questions, slope morphogenesis (see for example Penck 1924 and Burt 2003 for references on this topic), using process geomorphology.

## 6 References

- André, M.-F. 1997. Holocene rockwall retreat in Svalbard: a triplerate evolution. *Earth Surface Processes and Landforms* 22-5. Chichester. doi:10.1002/(SICI)1096-9837(199705)22:5<423::AID-ESP706>3.0.CO;2-6
- André, M.-F. 2003: Do periglacial landscapes evolve under periglacial conditions? *Geomorphology* 52, 1-2. Amsterdam. doi:10.1016/S0169-555X(02)00255-6
- Burt, T. P. 2003: Some observations on slope development in South Wales: Savigear and Kirkby revisited. *Progress in Physical Geography* 27-4. London. doi:10.1191/0309133303pp396xx
- Campbell, I. A. 1997: Badlands and badland gullies. *Arid Zone Geomorphology: Process, Form and Change in Drylands*. Chichester.
- Curry, A. M., Morris, C. J. 2004: Lateglacial and Holocene talus slope development and rockwall retreat on Mynydd Du, UK. *Geomorphology* 58, 1-4. Amsterdam. doi:10.1016/S0169-555X(03)00226-5
- Gams, I. 1970/71: Severna obala Strunjanskega polotoka. *Proteus* 33-2. Ljubljana.
- Gams, I. 1991: Dvojno življenje melišč. *Proteus* 53-8. Ljubljana.
- Glade, T. 2005: Linking debris-flow hazard assessments with geomorphology. *Geomorphology* 66, 1-4. Amsterdam. doi:10.1016/j.geomorph.2004.09.023
- Harvey, A. 2004: Badland. *Encyclopedia of Geomorphology, Volume 1*. London.
- Jurak, V., Fabić, Z. 2000: Erozija kišom u slivu bujičnog vodotoka u središnjoj Istri. *Zbornik radova: 2. hrvatski geološki kongres*. Zagreb.
- Jurak, V., Petraš, J., Gajski D. 2002: Istraživanje ekscesivne erozije na ogoljelim flišnim padinama u Istri primjenom terestrične fotogrametrije. *Hrvatske vode* 10-38. Ljubljana.
- Kladnik, D. 1980: Možnost uporabe poskusnih modelov v fizični geografiji na primeru proučevanja melišč. *Geografski vestnik* 52. Ljubljana.
- Kladnik, D. 1981: Melišča v Kamniško-Savinjskih Alpah. *Gorenjska: referati in gradivo na 12. zborovanju slovenskih geografov*. Ljubljana.
- Kodarin, D. 1998: Med Rokavama: v besedi in sliki. Boršt.
- Miko, M. 2006: Analiza erozije prsti na poskusnih ploskvah v povodju Dragonje. *Diplomsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani*. Ljubljana.
- Miščević, P., Števančić, D., Štambuk-Cvitanović, N. 2009: Slope instability mechanisms in dipping conglomerates over weathered marls: Bol landslide, Croatia. *Environmental Geology* 56-7. Berlin. doi: 10.1007/s00254-008-1236-x
- Ogrin, D. 1988: Zgodovina enega od erozijskih žarišč v Bržaniji. *Proteus* 50-5. Ljubljana.
- Ogrin, D. 1992: Dendrogeomorphological analysis of erosion processes – two case studies from Koprsko primorje (Slovenia). *Proceedings of the International Symposium »Geomorphology and Sea« and the Meeting of the Geomorphological Commission of the Carpatho-Balkan Countries*. Zagreb.
- Ogrin, D. 1995: Podnebje slovenske Istre. *Knjižnica Annales* 11. Koper.
- Penck, W. 1924: *Die Morphologische Analyse: ein Kapitel der Physikalischen Geologie*. Stuttgart.
- Petkovšek, A., Klopčič, J., Majes, B. 2008: Terraced landscapes and their influence on the slope stability. *Living terraced landscapes: perspectives and strategies to revitalise the abandoned regions*. Ljubljana.

- Petkovšek, G. 2002a: Kvantifikacija in modeliranje erozije tal z aplikacijo na povodju Dragonje. Doktorško delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Petkovšek, G. 2002b: Meritve sproščanja in odplavljanja zemljin na povodju Rokave. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2002: zbornik predavanj. Ljubljana.
- Petkovšek, G., Mikoš, M. 2003: Meritve erozijskih procesov v eksperimentalnem povodju Dragonje, IZ Slovenija. Acta hydrotechnica 21-34. Ljubljana.
- Petraš, J., Kunštek, D., Gajski, D. 1999: Primjena terestričke fotogrametrije u istraživanju ekscisivnih erozijskih procesa. Hrvatske vode od Jadrana do Dunava. Zbornik radova: 2. hrvatska konferencija o vodama. Dubrovnik.
- Poesen, J. W. A., Hooke, J. M. 1997: Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environments of southern Europe. Progress in Physical Geography 21-2. London. doi:10.1177/030913339702100201
- Poesen, J., Vanwalleghe, T., de Vente, J., Knapen, A., Verstraeten, G., Martínez-Casasnovas, J. A. 2006: Gully erosion in Europe. Soil Erosion in Europe. Chichester. doi:10.1002/0470859202.ch39
- Radinja, D. 1973: Prispevek k spoznavanju recentnega abrazijskega reliefa na primeru Strunjanske obale. Mednarodni mladinski raziskovalni tabori 1971–1972. Ljubljana.
- Regúés, D., Guàrdia, R., Gallart, F. 2000: Geomorphic agents versus vegetation spreading as causes of badland occurrence in a Mediterranean subhumid mountainous area. Catena 40-2. Amsterdam. doi:10.1016/S0341-8162(99)00045-4
- Regúés, 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 25, 1-4. Amsterdam. doi:10.1016/0341-8162(95)00010-P
- 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 26-10. Chichester. doi:10.1002/esp.254
- Saunders, I., Young, A. 1983: Rate of surface processes on slope, slope retreat and denudation. Earth Surface Processes and Landforms 8-5. Chichester. doi:10.1002/esp.3290080508
- Staut, M. 2004: Recentni erozijski procesi v porečju Dragonje. Diplomsko delo. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Staut, M., Mikoš, M. 2008: Spremembe intenzivnosti erozije v porečju Dragonje v drugi polovici 20. stoletja. Annales: Series historia naturalis 18-1. Koper.
- Šribar, V. 1967: Nekatere geomorfološke spremembe pri Izoli, dokumentirane z arheološkimi najdbami. Geologija 10. Ljubljana.
- Wainwright, J., Thornes, J. B. 2004: Environmental issues in the Mediterranean: processes and perspectives from the past and present. London.
- Young, A. 1969: Present rate of land erosion. Nature 224. London.
- Young, A. 1974: The rate of slope retreat. Institute of British Geographers Special Publication 7. Oxford.
- Young, A., Saunders, I. 1986: Surface processes and denudation. Hillslope Processes. Boston.
- Zorn, M. 2007a: Recentni geomorfni procesi na rečno-denudacijskem reliefu na primeru porečja Dragonje. Doktorško delo. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Zorn, M. 2007b: Ali se zavedamo hitrosti erozijskih procesov – primer iz slovenske Istre. Dela 28. Ljubljana.
- Zorn, M. 2008a: Erozijski procesi v slovenski Istri. Geografija Slovenije 18. Ljubljana.
- Zorn, M. 2008b: Erozijski procesi v hrvaški »Sivi Istri«. Geografski vestnik 80-2. Ljubljana.
- Zorn, M. 2009: Erosion processes in Slovene Istria – part 1: Soil erosion. Acta geographica Slovenica 49-1. Ljubljana. doi:10.3986/AGS49102
- Zorn, M., Mikoš, M. 2008: Umikanje skalnih pobočij na erozijskih žariščih v slovenski Istri. Geologija 51-1. Ljubljana.
- Žumer, J. 1990: Recentni razvoj klifov na obalah Istrske Slovenije. Geomorfologija in geokologija: Zbornik referatov 5. znanstvenega posvetovanja geomorfologov Jugoslavije. Ljubljana.

## Erozijski procesi v slovenski Istri – 2. del: erozijska žarišča

DOI: 10.3986/AGS49203

UDK: 911.2:631.459(497.4Istra)

COBISS: 1.01

**IZVLEČEK:** Članek je nadaljevanje članka iz prve revijine številke leta 2009 (49-1), v katerem je bila obravnavana erozije prsti v slovenski Istri. Tokrat je na istem območju (porečje Dragonje), predstavljeno geomorfno dogajanje na erozijskih žariščih.

Predstavljene so: sproščanje flišnih kamnin s strmih golih pobočij (umikanje pobočij), premikanja flišnega drobirja po erozijskih jarkih in geomorfno dogajanja na meliščih. Sproščanje flišnih kamnin je bilo določeno z meritvami na erozijskih poljih in v povprečju znaša okrog 80 kg/m<sup>2</sup> na leto, kar pomeni, da se strma gola flišna pobočja umikajo s hitrostjo od 35 do 50 mm letno.

Erozijska žarišča pa ne predstavljajo le flišne stene, pač pa tudi že razjedena pobočja z erozijskimi žlebiči in jarki. Za pregrado v enem izmed erozijskih jarkov s prispevno površino 0,1 ha se je v štirinajstih mesecih ujelo 20 t gradiva.

Opazovanja na meliščih erozijskih žarišč so pokazala njihovo dvojnost, saj se na njih izmenjujeta erozija in akumulacija.

**KLJUČNE BESEDE:** geomorfologija, erozijski procesi, erozijska žarišča, umikanje pobočij, erozijski jarki, melišča, fliš, Dragonja, Istra, Slovenija

Prispevek je prispel v uredništvo 15. oktobra 2008.

**NASLOV:**

**dr. Matija Zorn**

Geografski inštitut Antona Melika

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti

Gosposka ulica 13, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: matija.zorn@zrc-sazu.si

### Vsebina

1	Uvod	327
2	Sproščanje flišnih kamnin s strmih golih pobočij	327
2.1	Dosedanje raziskave v flišni Istri	327
2.2	Metodologija meritev	328
2.3	Tedenske meritve	329
2.4	Meritve po mesecih in letnih časih	331
2.5	Korelacija z vremenskimi vplivi	331
3	Premikanja flišnega drobirja po erozijskih jarkih	334
3.1	Tedenske meritve	335
3.2	Meritve po mesecih in letnih časih	336
3.3	Korelacija z vremenskimi vplivi	336
4	Geomorfno dogajanja na meliščih	338
5	Sklep	340
6	Viri in literatura	341

# 1 Uvod

V prvem delu članka o erozijskih procesih v slovenski Istri, objavljenega v prejšnji številki te revije (49-1; Zorn 2009), smo obravnavali erozijo prsti. Tokrat na istem območju (porečje Dragonje; slika 1) predstavljamo geomorfno dogajanje na erozijskih žariščih. Meritve teh procesov so potekale hkrati z meritvami erozije prsti, t. j. v letih 2005 in 2006 (Zorn 2007a; 2007b; 2008a; Zorn in Mikoš 2008).

Preučevani geomorfni procesi so: sproščanje flišnih kamnin s strmih golih pobočij (umikanje pobočij; poglavje 2), premikanja flišnega drobirja po erozijskih jarkih (poglavje 3) in geomorfno dogajanje na meliščih (poglavje 4).

Erozijska žarišča so morfogenetska posebnost flišnega dela Istre. Obstajajo linijske oblike, to so erozijski jarki ali struge hudournikov in ploskovne oblike v obliki strmih sten (Jurak in Fabič 2000, 606). Prebivalci območja med Dragonjo in Rokavo erozijska žarišča imenujejo »bržine« (Kodarin 1998, 2).

Večja erozijska žarišča oziroma tako imenovani badlands nastajajo v svetu, kjer so »... mehke, zvečine horizontalno skladovite, razmeroma slabo prepustne kamnine, izpostavljene močni fluvialni eroziji...«, njihov nastanek pa lahko pospeši pospešena erozija (Campbell 1997, 261–262). Za nastanek erozijskih žarišč so tako potrebni naravni predpogoji (erodibilna kamnina in razčlenjeno površje), lahko pa je za njihov nastanek odgovoren tudi človek (Harvey 2004, 45). Mikroreliefne oblike na njih imajo razmeroma kratko življenjsko dobo, saj so erozijski procesi hitri. Hitrost erozijskih procesov na istih erozijskih žariščih se lahko iz leta v leto močno razlikuje. V kanadski provinci Alberti, kjer so meritve zniževanja površja potekale 10 let, je bil njihov razpon med 7,4 mm in 83,6 mm/leto (Campbell 1997, 262–265).

Prav v erozijskih žariščih se sprosti največ gradiva. Tu je matična kamnina neposredno izpostavljena spremembam temperature, vlage, udarcem dežnih kapljic in spiranju. Na privetni strani so erozijska žarišča izpostavljena še vetrni eroziji, posebno, če je na pobočju lapor (kot v našem primeru), ki razpada v majhne delce. Posledica so stožčaste nasutine (vršaji; slika 2) pod erozijskimi jarki ali melišča (naslovnica članka) pod golimi stenami ob vznožju erozijskih žarišč (Jurak in Fabič 2000, 608). Značilno je, da na »obnašanje« erozijskih žarišč lahko močno vplivajo že majhne razlike v kamninski sestavi, naklonu ali ekspoziciji (Campbell 1997, 265). Na strmih erozijskih žariščih v Istri opazujemo selektivno erozijo, saj iz pobočja izstopajo mehansko bolj odporne plasti peščenjaka (Jurak in Fabič 2000, 608; slika 5).

Slika 1: Slovenska Istra (a) s povečanim širšim območjem, kjer so potekale meritve (b). Glej angleški del prispevka.

Slika 2: Pod erozijskimi jarki nastajajo vršaji erodiranega gradiva, kar se dogaja tudi na erozijskem žarišču, imenovanem Mrtev ob Dragonji. Glej angleški del prispevka.

Erozijo na erozijskih žariščih povzročajo zlasti površinski odtok, preperevanje kamnine zaradi sprememb vlage v njej in zmrzalno preperevanje. Erozijska žarišča imajo dve poglavitni vlogi v geomorfnem sistemu. Na eni strani so izdaten vir erodiranega gradiva, na drugi pa pomemben dejavnik oblikovanja pobočij (Harvey 2004, 45–47).

Meritve erozijskih procesov v sredozemskih badlandsih so dale vrednosti med 5 t/ha/leto (0,45 mm/leto) in od 220 do 330 t/ha/leto (od 20 do 30 mm/leto), odvisno od podnebnih, kamninskih in reliefnih značilnosti ter razlik v prostorskem in časovnem merilu. Po Poesnu in Hookeu (1997, 162) badlandsi zavzemajo 5 % površja južne Evrope. V porečju Dragonje se po Stautu in Mikošu (2008) erozijska žarišča raztezajo na 0,37 % površja. Kljub razmeroma majhnim površinam v porečju erozijska žarišča prispevajo največ odplavljenega gradiva. V porečju reke Red Deer River v Alberti (Kanada) so ugotovili, da erozijska žarišča, ki sestavljajo 2 % površine porečja, prispevajo kar 80 % letnega odplavljenega suspendiranega gradiva (Campbell 1997, 265).

## 2 Sproščanje flišnih kamnin s strmih golih pobočij

### 2.1 Dosedanje raziskave v flišni Istri

Erozijske procese na erozijskih žariščih v notranjosti slovenske Istre sta obravnavala Ogrin (1988; 1992) in Petkovšek (2002a, 63; 2002b, 35; Petkovšek in Mikoš 2003, 49–50). Erozijske procese na obalnih kličih

slovenske Istre pa so preučevali Gams (1970/71, 57), Radinja (1973), Šribar (1967) in Žumer (1990). Slednji je pri Valdoltri ocenil, da v zadnjih okrog 900 letih poteka umikanje pobočja vsaj s hitrostjo 6 mm na leto, ob obokih pod piransko cerkvijo (slika 3) pa v zahodnem kotu v zadnjih 300 letih 2 cm letno, v vzhodnem kotu pa v zadnjih 200 letih 1 cm letno. Navaja tudi podatek, da se je med letoma 1901 in 1990 rob klifa v bližini župnišča piranske cerkve umaknil za 2 m (Žumer 1990, 144–145), kar je več kot 2,2 cm letno.

Slika 3: Klif pod Piransko cerkvijo.  
Glej angleški del prispevka.

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, 85) je na podlagi rekonstrukcije oziroma podaljšanja pobočij do morske gladine ocenil hitrost umikanja pobočij na 1 do 2 cm/leto. Šribar (1967, 272) je s pomočjo arheoloških najdb ocenil, da se je vzhodna obala Simonovega zaliva od rimskih časov odmaknila za 60 m oziroma okrog 3 cm/leto, s pomočjo topografskih analiz pa je med letoma 1922 in 1958 ugotovil umik pobočij za kar 15 do 20 m oziroma od 0,42 do 0,56 m/leto (Gams 1970/71, 59).

Ogrin (1992, 116, 118) je na dveh erozijskih žariščih v Bržaniji v notranjosti slovenske Istre 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 od 30 do 34°, na drugem pa 2 cm na leto pri naklonu 51° in od 0,75 do 0,78 cm na leto pri naklonu od 30 do 40°.

S pomočjo terestrične fotogrametrije je umikamnje pobočij na erozijskem žarišču v porečju Rokave meril Petkovšek (2002a, 63; 2002b, 35). Takšno metodo so v več erozijskih žariščih uporabili tudi v hrvaški Istri (preglednica 1).

Preglednica 1: Primerjava meritev sproščanja flišnih kamnin na golih in strmih pobočjih (Petraš, Kunštek in Gajski 1999, 1035; Petkovšek 2002a, 57, 63; Jurak, Petraš in Gajski 2002, 57; \*na podlagi 158 erozijskih padavinskih dogodkov, \*\*obdobje od 10. 2. 2005 do 8. 2. 2006, \*\*\*obdobje od 28. 4. 2005 do 26. 4. 2006).

erozijsko polje	metoda	obdobje meritev	sproščeno gradivo (m <sup>3</sup> )	površina v pogledu (m <sup>2</sup> )	tlorisna (reducirana) površina (m <sup>2</sup> )	povprečno letno sproščanje gradiva (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /leto)	
						površina v pogledu	tlorisna površina
Abrami* – erozijsko polje 1 (hrvaška Istra)	lovljenje sproščene gradiva	1970–1976; 76 mesecev	~ 1,024	~ 30	15,08	~ 2690	5380
Abrami – erozijsko polje 1 (hrvaška Istra)	terestrična fotogrametrija	1995–1997; 30 mesecev	0,445	8,9	3,7	20.000	48.108
Sveti Donat (hrvaška Istra)	terestrična fotogrametrija	1995–1997; 30 mesecev	215	3856	2191	22.303	39.251
Sveti Donat (hrvaška Istra)	terestrična fotogrametrija	1997–2001; 38 mesecev	361	4239	2292	26.890	49.733
Rokava – Škrline (slovenska Istra)	terestrična fotogrametrija	27. 9. 2001–27. 8. 2002; 11 mesecev	–	3685	2682	40.000	50.000
Rokava – Marezige (slovenska Istra; v tem članku)	lovljenje sproščene gradiva	10. 2. 2005–26. 4. 2006; ~ 15 mesecev	0,43	11,34	–	45.205,67** 49.215,11***	–

## 2.2 Metodologija meritev

Sproščanje (eocenskih) flišnih kamnin smo merili s pomočjo štirih polodprtih erozijskih polj (sliki 6 in 7). Njihova lokacija je bila na nižjem delu gole flišne stene. Nižji del stene smo izbrali zato, ker smo na ta

način dobili razmeroma majhna erozijska polja, na katerih smo še lahko obvladovali količino sproščene-ga gradiva. Debelina flišnih sekvenc se na tem delu stene ni mnogo razlikovala od celotne stene (ali od ostalih sten erozijskih žarišč v porečju); njihova debelina je od nekaj centimetrov pa do okrog 15 cm. Polja so bila zgoraj omejena z robom erozijskega žarišča, ob straneh pa so bila odprta. Temeljni podatki o erozijskih poljih so podani v preglednici 2. Na melišče pod steno smo postavili meter široke pregrade, ki smo jih postavili okrog 0,5 m od stene, da sproščeni delci ne bi leteli prek njih. Med steno in pregradami smo pritrdili trdno plastično folijo, da se v času meritev sproščeno gradivo ne bi mešalo s starejšim gradivom na melišču. Na robove folije smo med pregrado in steno namestili večje kose peščenjaka, ki so preprečevali, da bi na robu odloženo gradivo uhajalo iz erozijskega polja. Gradivo za pregradami smo pobirali tedensko. Sušili in tehtali smo ga v laboratoriju.

V bližino erozijskih polj smo postavili avtomatski dežemer (ONSET RG2-M), s katerim smo spremljali količino in intenziteto padavin. Žal na enak način nismo mogli spremljati tudi temperatur in vetra, zato smo se morali zadovoljiti s podatki z meteorološke postaje v Kopru. Tako pridobljene temperaturne parametre smo s pomočjo dela Ogrina (1995, 166) prilagodili na temperaturne razmere v dolinah v zaledju Kopra, kjer so potekale meritve.

Preglednica 2: Temeljni podatki o erozijskih poljih za merjenje sproščanja flišnih kamnin.

erozijsko polje	prispevna površina v pogledu (m <sup>2</sup> )	obdobje meritev	ujeta količina gradiva v času meritev (kg)	Gauss-Krügerjeve koordinate pregrade	nadmorska višina pregrade (m)	naklon erozijskega polja (°)
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	203,0	80–90

Slika 4: Erozijsko žarišče na levem bregu Rokave, kjer so potekale meritve sproščanja fliša in premikanja gradiva po erozijskem jarku. Modra puščica kaže območje erozijskih polj 1, 2, 3 in 4 za meritve sproščanja fliša, rdeča puščica pa pregrado erozijskega polja 5 za merjenje premikanja gradiva po erozijskem jarku.

Glej angleški del prispevka.

Slika 5: Pogled na flišno steno, kjer so potekale meritve. Meritve so potekale na skrajno desnem delu stene. Na steni so lepo vidne flišne sekvence in drobna nazobčanost stene kot posledica selektivne erozije.

Glej angleški del prispevka.

Slika 6: Erozijski polji 1 (desno) in 2 (levo).

Glej angleški del prispevka.

Slika 7: Erozijski polji 1 (desno) in 2 (levo).

Glej angleški del prispevka.

## 2.3 Tedenske meritve

Sproščanje flišnih kamnin smo tedensko merili od 10. 2. 2005 do 26. 4. 2006. Povprečja na teden in skupne vrednosti za vseh 15 mesecev in za dve 12-mesečni obdobji podaja preglednica 3 (skupne vrednosti podajata tudi sliki 10 in 11). V povprečju znaša sproščanje gradiva med 77,39 in 84,26 kg/m<sup>2</sup> na leto, kar pomeni, da se pobočja umikajo s hitrostjo od 35 mm do 50 mm/leto.

V času naših meritev smo opazili tri viške sproščanja (slike 8). Prva dva sta povezana z močnejšimi padavinami spomladi in poleti, tretji pa z izmenjavanjem negativnih in pozitivnih temperatur prek dneva v hladnejšem delu leta. V Pirenejih (Katalonija, Španija) so podobne raziskave opravljali Regüés, Pardini in Gallart (1995) oziroma Regüés, Guàrdia in Gallart (2000).

Preglednica 3: Sproščanje flišnih kamnin in umikanje pobočja (povprečno na teden in skupaj; \*specifična masa fliša 2300 kg/m<sup>3</sup> (Miščević, Števanic in Štambuk-Cvitanović 2009), \*\*specifična masa fliša 1712,04 kg/m<sup>3</sup> (naše meritve; Petkovšek, Klopčič in Majes 2008)).

	obdobje meritev	erozijsko polje 1				erozijsko polje 2				erozijsko polje 3				erozijsko polje 4				povprečje erozijskih polj 1, 2, 3 in 4			
		kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm*	mm**	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm*	mm**	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm*	mm**	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm*	mm**	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm*	mm**
povprečno na teden (15 mesecev)	10.2.2005– 26.4.2006	1,20	11.986,81	0,52	0,70	1,74	17.424,75	0,76	1,02	2,28	22.772,90	0,99	1,33	1,26	12.590,38	0,55	0,74	1,60	15.960,17	0,69	0,93
skupaj (15 mesecev)	10.2.2005– 26.4.2006	75,52	755.168,98	32,83	44,11	109,78	1.097.759,03	47,73	64,12	122,97	1.229.736,84	53,47	71,83	79,32	793.193,80	34,49	46,33	100,55	1.005.490,75	43,72	58,73
povprečno na teden (12 mesecev)	10.2.2005– 8.2.2006	1,24	12.393,88	0,54	0,72	1,65	16.458,84	0,72	0,96	1,95	19.464,96	0,85	1,14	1,12	11.215,95	0,49	0,66	1,49	14.883,41	0,65	0,87
skupaj (12 mesecev)	10.2.2005– 8.2.2006	64,45	644.481,99	28,02	37,64	85,59	855.859,50	37,21	49,99	101,22	1.012.178,14	44,01	59,12	58,32	583.229,24	25,36	34,07	77,39	773.937,22	33,65	45,21
povprečno na teden (12 mesecev)	28.4.2005– 26.4.2006 24.2.2005– 23.2.2006 <sup>a</sup>	1,20	12.039,42	0,52	0,70	1,71	17.053,87	0,74	1,00	2,34 <sup>a</sup>	23.390,92 <sup>a</sup>	1,02 <sup>a</sup>	1,37 <sup>a</sup>	1,35	13.519,64	0,59	0,79	1,62	16.203,47	0,70	0,95
skupaj (12 mesecev)	28.4.2005– 26.4.2006 24.2.2005– 23.2.2006 <sup>a</sup>	62,60	626.049,86	27,22	36,57	88,68	886.801,41	38,56	51,80	121,63 <sup>a</sup>	1.216.327,94 <sup>a</sup>	52,88 <sup>a</sup>	71,05 <sup>a</sup>	70,30	703.021,04	30,57	41,06	84,26	842.580,20	36,63	49,22



Slika 8: Tedenske meritve sproščanja flišnih kamnin s strmih golih pobočij od 10. 2. 2005 do 26. 4. 2006 in izbrane vremenske razmere (\*meritev dan pred običajnim rednim tedenskim merjenjem, \*\*meritev dan po običajnem rednem tedenskem merjenju). Črn krogec označuje meritev, ki jo kaže slika 9.

Glej angleški del prispevka.

Slika 9: Gradivo (30,8 kg), ujetjo za pregrado erozijskega polja 4 v tednu med 19. 1. in 26. 1. 2006. Meritev je na sliki 8 označena s črnim krogcem.

Glej angleški del prispevka.

Slika 10: Količina sproščenega gradiva po erozijskih poljih.

Glej angleški del prispevka.

Slika 11: Umikanje pobočij po erozijskih poljih ob specifični masi fliša 1712,04 kg/m<sup>2</sup>.

Glej angleški del prispevka.

## 2.4 Meritve po mesecih in letnih časih

Da bi ugotovili splošnejše zakonitosti 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 (slika 12). Avgust je bil mesec z največjo erozivnostjo padavin, a je po količini sproščenega gradiva za primarnim viškom v januarju. Izstopajoč januar gre pripisati številnim prehodom iz pozitivnih v negativne temperature, kar je povzročilo veliko sproščanje gradiva. Podobno velja za ostale zimske mesece. Med posameznimi erozijskimi polji beležimo podobne težnje v sproščanju gradiva, zlasti s februarско in decembrsko vrednostjo izstopa le erozijsko polje 3. Visoka februarška vrednost je posledica obilnega odloma peščenjaka, ki je v tednu med 15. 2. 2006 in 23. 2. 2006 porušil pregrado erozijskega polja 3. Sprostilo se je skoraj 49 kg gradiva (19,81 kg/m<sup>2</sup>). Prav tako je visoka decembrska vrednost posledica podobno zajetnega odloma peščenjaka (dobrih 48 kg oziroma 19,49 kg/m<sup>2</sup>) v tednu med 1. 12. 2005 in 7. 12. 2005, ki pa ga je pregrada zdržala.

Podatki po letnih časih (preglednica 4, slika 13) prikazujejo težnjo nazadovanja sproščanja gradiva od zime proti jeseni. Sproščanje je najintenzivnejše pozimi, spomladi sledi zmanjšanje za skoraj polovico in nato skoraj enaka količina sproščenega gradiva poleti in jeseni. To kaže na povezanost sproščanja gradiva s hladnim delom leta. Manjše sproščanje gradiva poleti in jeseni je povezano zlasti z manjšo intenzivnostjo preperevanja, ki povzroča sproščanje manjših količin gradiva. Ker je na razpolago manj preperelega gradiva, tudi intenzivnejše padavine ne sprožijo toliko gradiva kot zmrzalno preperevanje pozimi.

Slika 12: Sproščanje flišnih kamnin po mesecih (\*povprečje dvoletnih meritev).

Glej angleški del prispevka.

Slika 13: Sproščanje flišnih kamnin glede na letni čas.

Glej angleški del prispevka.

## 2.5 Korelacija z vremenskimi vplivi

S pomočjo Pearsonovega koeficienta korelacije ( $r$ ) smo iskali linearne statistične povezave med sproščanjem gradiva in posameznimi vremenskimi parametri, izračunali pa smo tudi koeficient multiple linearne korelacije ( $R$ ) med sproščanjem gradiva in vsemi uporabljenimi vremenskimi parametri skupaj. Iz slednjega smo izračunali še determinacijski koeficient multiple linearne korelacije ( $R^2$ ). Za naše spremenljivke je delež pojasnjene variance za povprečje erozijskih polj med 0,7697 ( $n = 63$ ;  $p < 0,0000$ ;  $R = 0,8773$ ) oziroma 76,97 % in 0,7982 ( $n = 42$ ;  $p < 0,0586$ ;  $R = 0,8934$ ) oziroma 79,82 %.

Temperaturni parametri (preglednica 5) kažejo večinoma majhno negativno statistično povezanost s sproščanjem gradiva. Tako majhna statistična povezanost nas je deloma presenetljiva, saj so nizke temperature v hladnem delu leta povzročile veliko sproščanje (sliki 8 in 13). Domnevali smo, da bodo statistične

Preglednica 4: Sproščanje flišnih kamnin na erozijskih poljih 1, 2, 3 in 4 glede na letni čas (\*od 24. 2. 2005 do 24. 3. 2005, od 21. 12. 2005 do 23. 2. 2006, \*\*specifična masa fliša 2300 kg/m<sup>3</sup> (Miščević, Števanic in Štambuk-Cvitanović 2009), \*\*\*specifična masa fliša 1712,04 kg/m<sup>3</sup> (naše meritve; Petkovšek, Klopčič in Majes 2008)).

letni čas	obdobje meritev		erozijsko polje 1				erozijsko polje 2				erozijsko polje 3				erozijsko polje 4				povprečje erozijskih polj 1, 2, 3 in 4			
			kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm**	mm***	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm**	mm***	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm**	mm***	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm**	mm***	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	mm**	mm***
zima	21. 12. 2005– 23. 3. 2006	povprečno na teden	1,68	16,809,72	0,73	0,98	3,29	32,893,07	1,43	1,92	4,01*	40,063,84*	2,24	2,34*	3,12	31,235,37	1,36	1,82	3,13	31,271,92	1,36	1,83
		skupaj v letnem času	21,85	218,526,32	9,50	12,76	42,76	427,609,89	18,59	24,98	52,08*	520,829,96*	20,14	30,42*	40,61	406,059,80	17,65	23,72	40,65	406,534,99	17,68	23,75
pomlad	24. 3. 2005– 23. 6. 2005	povprečno na teden	1,31	13,122,52	0,57	0,77	2,20	21,984,97	0,96	1,28	1,94	19,448,46	0,85	1,14	1,18	11,784,82	0,51	0,69	1,66	16,585,19	0,72	0,97
		skupaj v letnem času	17,06	170,592,80	7,42	9,96	28,58	285,804,55	12,43	16,69	25,28	252,829,96	10,99	14,77	15,32	153,202,66	6,66	8,95	21,56	215,607,49	9,37	12,59
poletje	23. 6. 2005– 22. 9. 2005	povprečno na teden	1,57	15,698,70	0,68	0,92	1,12	11,223,28	0,49	0,66	1,28	12,792,90	0,56	0,75	0,92	9,221,74	0,40	0,54	1,22	12,234,16	0,53	0,71
		skupaj v letnem času	20,41	204,083,10	8,87	11,92	14,59	145,902,67	6,34	8,52	16,63	166,307,69	7,23	9,71	11,99	119,882,61	5,21	7,00	15,90	159,044,02	6,91	9,29
jesen	22. 9. 2005– 21. 12. 2005	povprečno na teden	0,75	7,507,35	0,33	0,44	1,15	11,520,35	0,50	0,67	2,13	21,258,49	0,92	1,24	0,52	5,230,09	0,23	0,31	1,14	11,379,07	0,49	0,66
		skupaj v letnem času	9,76	97,595,57	4,24	5,70	14,98	149,764,52	6,51	8,75	27,64	276,360,32	12,02	16,14	6,80	67,991,14	2,96	3,97	14,79	147,927,89	6,43	8,64

povezave med nizkimi temperaturami in sproščanjem gradiva v hladnem delu leta (preglednica 6) višje, a se je pokazalo, da statističnih povezav skorajda ni.

Podobno lahko trdimo tudi za statistične povezave med padavinskimi parametri (preglednica 5) in sproščanjem gradiva, ki izkazujejo le majhno pozitivno statistično povezanost, medtem ko smo na terenu opazovali, da močne padavine sprostijo veliko gradiva (slika 8). Izstopa le parameter količine padavin (slika 16), ki kaže srednjo pozitivno statistično povezanost.

Če nas je pri temperaturnih in padavinskih parametri presenetila razmeroma skromna statistična povezanost s sproščanjem gradiva, nas je pri vetru (preglednica 5) presenetila sorazmerno pomembna, to je majhna do srednja pozitivna statistična povezanost. Razmeroma visoko stopnjo statistične povezanosti pripisujemo zlasti dejstvu, da močan veter (burja) piha tako ob erozivnih padavinah kot tudi pri zelo nizkih temperaturah, ko se je prožilo največ gradiva.

Preglednica 5: Korelacije med sproščanjem flišnih kamnin in vremenskimi razmerami za povprečje erozijskih polj (od 10. 2. 2005 do 26. 4. 2006) (\*prilagoditev temperatur izmerjenih v Kopru (Agencija Republike Slovenije za okolje 2006) na temperaturne razmere v dolinah v zaledju (po Ogrinu 1995, 166), \*\*Miko 2006, 48).

korelacija med sproščanjem gradiva in ...	Pearsonov koeficient korelacije (r)	determinacijski koeficient ( $r^2$ )	t-test n = 63, <sup>a</sup> n = 42
maksimalno dnevno temperaturo	-0,2932	0,0860	-2,3955
povprečno maksimalno dnevno temperaturo	-0,3468	0,1203	-2,8878
minimalno dnevno temperaturo	-0,3286	0,1080	-2,7172
povprečno minimalno dnevno temperaturo	-0,3093	0,0957	-2,5405
Številom dni z negativnimi temperaturami	0,2463	0,0607	1,9846
*korigiranimi povprečnimi minimalnimi dnevnimi temperaturami	-0,3093	0,0957	-2,5405
*korigiranim številom dni z negativnimi temperaturami	0,2517	0,0633	2,0308
količino padavin	0,4349	0,1891	3,7721
maksimalnimi 10-minutnimi padavinami	0,2123	0,0451	1,6964
maksimalnimi 30-minutnimi padavinami	0,2564	0,0657	2,0714
maksimalnimi 60-minutnimi padavinami	0,2471	0,0610	1,9913
povprečnimi 10-minutnimi padavinami	0,0514	0,0026	0,4023
erozivnostjo padavin**	0,3485	0,1215	2,3516 <sup>a</sup>
povprečno hitrostjo vetra	0,3406	0,1160	2,8296
maksimalnimi sunki vetra	0,4218	0,1779	3,6329
povprečnimi maksimalnimi sunki vetra	0,3908	0,1527	3,3162

Preglednica 6: Korelacije med sproščanjem flišnih kamnin in temperaturnimi razmerami v hladnem delu leta za povprečje erozijskih polj (meritve: od 17. 2. 2005 do 24. 3. 2005 in od 24. 11. 2005 do 23. 3. 2006) (\*prilagoditev temperatur izmerjenih v Kopru (Agencija Republike Slovenije za okolje 2006) na temperaturne razmere v dolinah v zaledju (po Ogrinu 1995, 166)).

korelacija med sproščanjem gradiva in ...	Pearsonov koeficient korelacije (r)	determinacijski koeficient ( $r^2$ )	t-test n = 24
maksimalno dnevno temperaturo	0,1337	0,0179	0,6326
povprečno maksimalno dnevno temperaturo	-0,1219	0,0148	-0,5759
minimalno dnevno temperaturo	0,0085	0,0001	0,0401
povprečno minimalno dnevno temperaturo	0,0783	0,0061	0,3684
Številom dni z negativnimi temperaturami	0,0193	0,0004	0,0904
*korigiranimi povprečnimi minimalnimi dnevnimi temperaturami	0,0783	0,0061	0,3684
*korigiranim številom dni z negativnimi temperaturami	-0,1025	0,0105	-0,4833

Slika 14: Korelacija med sproščanjem gradiva in korigirano povprečno minimalno dnevno temperaturo ( $r = -0,3093$ ).  
Glej angleški del prispevka.

Slika 15: Korelacija med sproščanjem gradiva in korigiranim številom dni z negativnimi temperaturami ( $r = 0,2517$ ).  
Glej angleški del prispevka.

Slika 16: Korelacija med sproščanjem gradiva in količino padavin ( $r = 0,4349$ ).  
Glej angleški del prispevka.

Slika 17: Korelacija med sproščanjem gradiva in erozivnostjo padavin ( $r=0,3485$ ).

Glej angleški del prispevka.

Slika 18: Korelacija med sproščanjem gradiva in povprečno hitrostjo vetra ( $r=0,3406$ ).

Glej angleški del prispevka.

Slika 19: Korelacija med sproščanjem gradiva in maksimalnimi sunki vetra ( $r=0,4218$ ).

Glej angleški del prispevka.

Preglednica 7: Spreminjanje Pearsonovih koeficientov korelacije na podlagi mesečnih podatkov in podatkov po letnih časih – povprečje erozijskih polj 1, 2, 3 in 4 (\*prilagoditev temperatur izmerjenih v Kopru (Agencija Republike Slovenije za okolje 2006) na temperaturne razmere v dolinah v zaledju (po Ogrinu 1995, 166)).

korelacija med sproščanjem gradiva in ...	po mesecih			po letnih časih		
	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	-0,5477	0,3000	-2,0703	-0,8657	0,7494	-2,4454
število dni z negativnimi temperaturami	0,7271	0,5287	3,3495	0,8744	0,7645	2,5480
*korigiranimi povprečnimi minimalnimi dnevnimi temperaturami	-0,5477	0,3000	-2,0703	-0,8657	0,7494	-2,4454
*korigiranim številom dni z negativnimi temperaturami	0,6931	0,4804	3,0404	0,8922	0,7961	2,7942
količino padavin	0,1950	0,0380	0,6288	-0,1977	0,0391	-0,2853
erozivnostjo padavin	0,1232	0,0152	0,3925	-0,5896	0,3476	-1,0323
povprečno hitrostjo vetra	0,5575	0,3108	2,1237	0,8965	0,8038	2,8621
maksimalno povprečno hitrostjo vetra	0,3795	0,1440	1,2972	0,9849	0,9700	8,0360

V preglednici 7 za nekaj izbranih vremenskih parametrov prikazujemo spreminjanje Pearsonovega koeficienta korelacije s posploševanjem meritev po mesecih in letnih časih. Opazno je, 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 se povezanost padavin in sproščanja gradiva še bolj zmanjša oziroma celo premakne iz pozitivne na tedenski ravni in negativno na ravni letnih časov, pri erozivnosti padavin celo v srednjo negativno statistično povezanost.

### 3 Premikanja flišnega drobirja po erozijskih jarkih

Strma gola pobočja niso le flišne stene z od 70 do 90° naklona, pač pa tudi razjedena pobočja z erozijskimi žlebiči in jarki z nakloni med 40 in 60°.

Erozijski jarki nastajajo s kanaliziranjem površinskega toka zlasti tam, kjer so linije odtoka reliefno (naravno) zasnovane, pa tudi ob raznih antropogenih oblikah, na primer izkopih, njivskih brazdah, mejah parcel, poteh in cestah. V nasprotju s površinskim spiranjem in žlebično erozijo, pri katerih se gradivo večinoma odlaga že na pobočju samem ali ob njegovem vznožju, je pri jarkovni eroziji več možnosti, da erodirano gradivo doseže vodotoke v dnu dolin. Zato so erozijski jarki zelo pomemben vir erodiranega gradiva (Poesen in Hooke 1997, 172).

Campbell (1997, 276, 278) ugotavlja, da jarkovna erozija v erozijskih žariščih ni bila tako intenzivno preučevana kot jarkovna erozija v prsteh oziroma preperini, še zlasti na kmetijskih zemljiščih (na primer Poesen in ostali 2006). Campbell (1997, 279) to povezuje z dejstvom, da so erozijska žarišča kmetijsko nezanimiva in brez vsakršne gospodarske vrednosti, kljub temu, da so v pokrajini »močno vidna«.

Po Poesnu in Hookeu (1997, 174) za meritve jarkovne erozije ni standardizirane metodologije, kot tudi ne univerzalnega modela. Težave so že pri določitvi velikosti erozijskih jarkov, saj so te, kot pišeta Wainwright in Thornes (2004, 179), »... deloma subjektivne ...«, še največkrat pa se za njihovo spodnjo mejo jemlje ploščina preseka jarka s površino 900 cm<sup>2</sup> oziroma stranicama 30 krat 30 cm.

Pri naših meritvah smo v erozijski jarek postavili pregrado (sliki 20 in 21). Meritve smo izvajali tedensko.

Preglednica 8: Temeljni podatki o meritvah v erozijskem jarku (\*naklon med pregrado in zgornjim robom erozijskega jarka).

erozijsko polje	prispevna površina (m <sup>2</sup> )	obdobje meritev	ujeta količina gradiva v času meritev (kg)	Gauss-Krügerjeve koordinate pregrade	nadmorska višina pregrade (m)	naklon erozijskega polja* (°)
5	994,28	24. 2. 2005–26. 4. 2006	19.997,57	X 5406254 Y 5039573	203	46

Slika 20: Erozijski jarek z označenim mestom, kjer je stala pregrada.  
Glej angleški del prispevka.

Slika 21: Pregrada v erozijskem jarku.  
Glej angleški del prispevka.

### 3.1 Tedenske meritve

Premikanje gradiva po erozijskem jarku smo merili od 24. 2. 2005 do 26. 4. 2006. Tedenska povprečja in skupne vrednosti za vseh 14 mesecev ter za dve 12-mesečni obdobji podaja preglednica 9, na podlagi katere vidimo, da premiki gradiva v jarku znašajo med 14,46 in 18,83 kg/m<sup>2</sup> na leto. V vsem 14-mesečnem obdobju meritev se je za pregrado erozijskega jarka s prispevno površino 994,28 m<sup>2</sup> odložilo 19.997,57 kg oziroma 11,68 m<sup>3</sup> gradiva. V prvem enoletnem obdobju se je od 18.717,45 kg ujetega gradiva kar 38 % sprožilo v tednu med 19. 1. 2006 in 26. 1. 2006, še 40 % pa v šestih tednih, ko se je sprožilo več kot 3 % celoletnega gradiva. V preostalih 45 tednih se je skupaj ujelo le 22 % celoletnega gradiva (slika 24).

Še večji ekstrem je bil v drugem enoletnem obdobju, ko se je v tednu med 19. 1. 2006 in 26. 1. 2006 ujelo kar 52 % celoletnega gradiva, še 30 % pa se ga je ujelo v sedmih tednih z več kot 3 % ujetega celoletnega gradiva. V preostalih 44 tednih se je ujelo le 18 % gradiva (slika 25).

Skrajni vrednosti sta posledica suhih kamnitih tokov, ki so se v jarku prožili v tistem tednu. Predpogoja zanje sta zadostna količina gradiva v jarku in veter, ki do določene globine popolnoma posuši gradivo. Vlažno glineno gradivo je namreč težje mobilno oziroma se premika le ob močnejših padavinah.

Primerjavo med premikanjem gradiva v jarku in padavinami oziroma temperaturami podajata sliki 22 in 23.

Preglednica 9: Premikanje flišnega drobirja po erozijskem jarku – povprečje na teden in skupaj (\*specifična masa fliša 2300 kg/m<sup>3</sup> (Miščević, Števančić in Štambuk-Cvitanović 2009), \*\*specifična masa fliša 1712,04 kg/m<sup>3</sup> (naše meritve; Petkovšek, Klopčič in Majes 2008)).

	obdobje meritev	kg/m <sup>2</sup>	kg/ha	umikanje pobočja (mm)*	umikanje pobočja (mm)**
povprečno na teden (14 mesecev)	28. 2. 2005–26. 4. 2006	0,33	3297,15	0,14	0,19
skupaj (14 mesecev)	28. 2. 2005–26. 4. 2006	20,11	201.126,12	8,74	11,75
povprečno na teden (12 mesecev)	24. 2. 2005–23. 2. 2006	0,36	3555,28	0,15	0,21
skupaj (12 mesecev)	24. 2. 2005–23. 2. 2006	<b>18,83</b>	188.430,08	<b>8,19</b>	<b>11,01</b>
povprečno na teden (12 mesecev)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	0,28	2738,86	0,12	0,16
skupaj (12 mesecev)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	<b>14,46</b>	145.159,70	<b>6,31</b>	<b>8,48</b>

Sliki 22 in 23: Tedenske meritve premikanja sproščenih flišnih kamnin po erozijskem jarku od 24. 2. 2005 do 26. 4. 2006 in izbrane vremenske razmere (\*meritev dan pred običajnim rednim tedenskim merjenjem, \*\*meritev dan po običajnem rednem tedenskem merjenju).  
Glej angleški del prispevka.

Slika 24: Tedni v meritvenem obdobju od 24. 2. 2005 do 23. 2. 2006 z več kot 3 % celoletnega premika sproščenih flišnih kamnin po erozijskem jarku.  
Glej angleški del prispevka.

Slika 25: Tedni v meritvenem obdobju od 28. 4. 2005 do 26. 4. 2006 z več kot 3 % celoletnega premika sproščenih flišnih kamnin po erozijskem jarku.  
Glej angleški del prispevka.

### 3.2 Meritve po mesecih in letnih časih

Da bi ugotovili splošnejše zakonitosti v premikanju gradiva po erozijskem jarku prek leta, smo meritve združili po mesecih in letnih časih.

Po erozijskem jarku se je največ gradiva premikalo v prvih treh mesecih leta, sekundarni višek pa je bil avgusta (slika 26). Avgust je bil mesec z največjo erozivnostjo padavin, a je po količini premaknjene gradiva daleč za prvimi tremi meseci v letu. Izstopajoč januar gre na račun suhih kamnitih tokov v tednu pred 26. 1. 2006. V enakih razmerah so nastajali tudi februarja in marca, vendar v jarku ni bilo več na razpolago toliko gradiva. Vpliv količine gradiva na premikanje v jarku pokaže primerjava med tednom pred 23. 3. 2006 in tednom pred 12. 8. 2005. V marčevskem tednu je bila erozivnost padavin okrog  $100 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , premaknjena pa je bilo 3,34 % celoletnega gradiva. V avgustovskem tednu pa je bila erozivnost padavin kar  $1235,91 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , premaknjena pa je bilo enkrat več gradiva. V prvem primeru je bilo v jarku veliko gradiva, saj so številni prehodi iz pozitivnih v negativne temperature povzročili veliko sproščanje gradiva z njegovih pobočij. Do poletja se je sproščanje s pobočij umirilo (glej poglavje 2.4) in v jarku je bilo iz tedna v teden manj gradiva. Primanjkljaj gradiva v jarku je še bolj opazen v jesenskih mesecih, ko je bilo kljub jesenskim (zlasti novembrskim) padavinam premaknjena najmanj gradiva.

Slika 26: Premikanje sproščenih flišnih kamnin po erozijskem jarku po mesecih (\*povprečje dvoletnih meritev). Glej angleški del prispevka.

Podobno razliko v premikanju gradiva kot podatki po mesecih kažejo tudi podatki po letnih časih; premikanje gradiva je najintenzivnejše pozimi. Sledi veliko nazadovanje ter približno enaka količina premaknjene gradiva spomladi in poleti, z absolutnim nižkom jeseni, ki je nedvomno povezan z umiritvijo sproščanja gradiva s pobočij poleti in s tem ustreznim pomanjkanjem gradiva v erozijskem jarku (preglednica 10 in slika 27).

Preglednica 10: Premikanje sproščenih flišnih kamnin po erozijskem jarku glede na letni čas (\*specifična masa fliša  $2300 \text{ kg/m}^3$  (Mišćević, Števanin in Štambuk-Cvitanović 2009), \*\*specifična masa fliša  $1712,04 \text{ kg/m}^3$  (naše meritve; Petkovšek, Klopčič in Majes 2008)).

letni čas	obdobje meritev	povprečno na teden ( $\text{kg/m}^2$ )	skupaj v letnem času ( $\text{kg/m}^2$ )	povprečno na teden ( $\text{kg/ha}$ )	skupaj v letnem času ( $\text{kg/ha}$ )	umikanje pobočja (povprečno na teden v mm)*	umikanje (skupaj v letnem času v mm)*	umikanje pobočja (povprečno na teden v mm)**	umikanje (skupaj v letnem času v mm)**
zima	21. 12. 2005– 23. 3. 2006	0,86	11,14	8571,99	111.435,90	0,37	4,85	0,50	6,51
pomlad	24. 3. 2005– 23. 6. 2005	0,13	1,67	1285,84	16.715,90	0,06	0,73	0,08	0,98
poletje	23. 6. 2005– 22. 9. 2005	0,14	1,86	1427,30	18.554,86	0,06	0,81	0,08	1,08
jesen	22. 9. 2005– 21. 12. 2005	0,06	0,72	553,75	7198,70	0,02	0,31	0,03	0,42

Slika 27: Premikanje sproščenih flišnih kamnin po erozijskem jarku glede na letni čas. Glej angleški del prispevka.

### 3.3 Korelacija z vremenskimi vplivi

Tako kot pri sproščanju flišnih kamnin (poglavje 2.5) smo tudi premike gradiva po erozijskem jarku korelirali z izbranimi vremenskimi podatki. Tudi tu smo s pomočjo Pearsonovega koeficienta korelacije ( $r$ ) iskali linearne statistične povezave med premikanjem gradiva in posameznimi vremenskimi parametri, izračunali pa smo tudi koeficient multiple linearne korelacije ( $R$ ) in determinacijski koeficient multiple linearne korelacije ( $R^2$ ) med premikanjem gradiva in vsemi vremenskimi parametri skupaj. Za izbrane

spremenljivke je delež pojasnjene variance za podatke po tednih med 0,5201 ( $n=61$ ;  $p < 0,0009$ ;  $R=0,7212$ ) oziroma 52,01 % in 0,5495 ( $n=42$ ;  $p < 0,0586$ ;  $R=0,7413$ ) oziroma 54,95 %.

Temperaturni parametri (preglednica 11) kažejo večinoma majhno negativno statistično povezanost s premikanjem gradiva po erozijskem jarku, izstopa le število dni z negativnimi temperaturami, ki kaže srednje pozitivno statistično povezanost. Da bi lažje ugotavljali povezanost med nizkimi temperaturami in premikanjem gradiva, smo premikanje gradiva korelirali še s temperaturnimi parametri v hladnem delu leta (preglednica 12), vendar kakšnih bistvenih razlik (z izjemo maksimalnih dnevnih temperatur z rahlo večjo statistično povezanostjo) v korelacijah nismo ugotovili.

Preglednica 11: Korelacije med premikanjem gradiva po erozijskem jarku in vremenskimi razmerami (od 28. 2. 2005 do 26. 4. 2006) (\*prilagoditev temperatur izmerjenih v Kopru (Agencija Republike Slovenije za okolje 2006) na temperaturne razmere v dolinah v zaledju (po Ogrinu 1995, 166), \*\*Miko 2006, 48).

korelacija med premikanjem gradiva in ...	Pearsonov koeficient korelacije (r)	determinacijski koeficient ( $r^2$ )	t-test $n=61$ , $n=42$
maksimalno dnevno temperaturo	-0,2394	0,0573	-1,8939
povprečno maksimalno dnevno temperaturo	-0,3055	0,0934	-2,4647
minimalno dnevno temperaturo	-0,3103	0,0963	-2,5076
povprečno minimalno dnevno temperaturo	-0,3501	0,1226	-2,8712
število dni z negativnimi temperaturami	0,4921	0,2422	4,3420
*korigiranimi povprečnimi minimalnimi dnevnimi temperaturami	-0,3501	0,1226	-2,8712
*korigiranim številom dni z negativnimi temperaturami	0,4145	0,1718	3,4983
količino padavin	-0,0652	0,0043	-0,4621
maksimalnimi 10-minutnimi padavinami	-0,0110	0,0001	-0,0779
maksimalnimi 30-minutnimi padavinami	0,0110	0,0001	0,0779
maksimalnimi 60-minutnimi padavinami	0,0015	0,000002	0,0105
povprečnimi 10-minutnimi padavinami	-0,0154	0,0002	-0,1088
erozivnostjo padavin**	0,2761	0,0762	1,5735 <sup>a</sup>
povprečno hitrostjo vetra	0,2582	0,0667	2,0527
maksimalnimi sunki vetra	0,2842	0,0808	2,2772
povprečnimi maksimalnimi sunki vetra	0,2681	0,0719	2,1377

Preglednica 12: Korelacije med premikanjem gradiva po erozijskem jarku in temperaturnimi razmerami v hladnem delu leta (od 17. 2. 2005 do 24. 3. 2005 in od 24. 11. 2005 do 23. 3. 2006; \*prilagoditev temperatur izmerjenih v Kopru (Agencija Republike Slovenije za okolje 2006) na temperaturne razmere v dolinah v zaledju (po Ogrinu 1995, 166)).

korelacija med premikanjem gradiva in ...	Pearsonov koeficient korelacije (r)	determinacijski koeficient ( $r^2$ )	t-test $n=22$
maksimalno dnevno temperaturo	-0,0075	0,0001	-0,0336
povprečno maksimalno dnevno temperaturo	-0,3579	0,1281	-1,7140
minimalno dnevno temperaturo	-0,3280	0,1076	-1,5525
povprečno minimalno dnevno temperaturo	-0,4454	0,1984	-2,2249
število dni z negativnimi temperaturami	0,4111	0,1690	2,0169
*korigiranimi povprečnimi minimalnimi dnevnimi temperaturami	-0,4454	0,1984	-2,2249
*korigiranim številom dni z negativnimi temperaturami	0,3555	0,1264	1,7009

Slika 28: Korelacija med premikanjem gradiva in korigirano povprečno minimalno dnevno temperaturo ( $r=-0,3501$ ).  
Glej angleški del prispevka.

Slika 29: Korelacija med premikanjem gradiva in korigiranim številom dni z negativnimi temperaturami ( $r=0,4145$ ).  
Glej angleški del prispevka.

Slika 30: Korelacija med premikanjem gradiva in korigirano povprečno minimalno dnevno temperaturo v hladnem delu leta ( $r=-0,4454$ ).  
Glej angleški del prispevka.

Slika 31: Korelacija med premikanjem gradiva in korigiranim številom dni z negativnimi temperaturami v hladnem delu leta ( $r=0,3555$ ).  
Glej angleški del prispevka.

Padavinski parametri ne izkazujejo skoraj nobene statistične povezanosti s premiki gradiva po erozijskem jarku, z izjemo erozivnosti padavin, ki kaže majhno pozitivno statistično povezanost (slika 32). Ne glede na izračune pa je bilo v času meritev mogoče opazovati, da dovolj močne padavine, ki imajo za posledico dovolj močan površinski odtok, lahko premaknejo tudi več kot 3 % celoletnega prenesenega gradiva (sliki 24 in 25 za datume v toplejšem delu leta).

Vetрни parametri izkazujejo večjo statistično povezanost s premikanjem gradiva po erozijskem jarku od večine padavinskih parametrov. Ugotovili smo majhno pozitivno statistično povezanost. Vloga vetra je povezana z opazovanjem suhih kamnitih tokov, opisanih na začetku poglavja 3.

Najvišjo statistično povezanost s premikanjem gradiva po erozijskem jarku imajo temperaturni parametri, sledijo jim vetrni, na koncu pa so skoraj brez sleherne povezanosti padavinski parametri, med katerimi je izjema erozivnost padavin.

Slika 32: Korelacija med premikanjem gradiva in erozivnostjo padavin ( $r=0,2761$ ).

Glej angleški del prispevka.

Slika 33: Korelacija med premikanjem gradiva in povprečno hitrostjo vetra ( $r=0,2582$ ).

Glej angleški del prispevka.

Slika 34: Korelacija med premikanjem gradiva in maksimalnimi sunki vetra ( $r=0,2842$ ).

Glej angleški del prispevka.

Preglednica 13: Spreminjanje Pearsonovih koeficientov korelacije na podlagi mesečnih podatkov in podatkov po letnih časih (\*prilagoditev temperatur izmerjenih v Kopru (Agencija Republike Slovenije za okolje 2006) na temperaturne razmere v dolinah v zaledju (po Ogrinu 1995, 166)).

korelacija med premikanjem gradiva in ...	po mesecih			po letnih časih		
	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 številom dni z negativnimi temperaturami	-0,5087	0,2588	-1,8687	-0,8231	0,6775	-2,0496
*korigiranimi povprečnimi minimalnimi dnevnimi temperaturami	0,7051	0,4972	3,1443	0,9156	0,8384	3,2210
*korigiranimi številom dni z negativnimi temperaturami	-0,5087	0,2588	-1,8687	-0,8231	0,6775	-2,0496
količino padavin	0,7212	0,5202	3,2926	0,9126	0,8328	3,1567
erozivnostjo padavin	-0,0501	0,0025	-0,1587	-0,0095	0,0001	-0,0135
povprečno hitrostjo vetra	-0,1546	0,0239	-0,4949	-0,4662	0,2174	-0,7453
maksimalno povprečno hitrostjo vetra	0,4733	0,2240	1,6992	0,7833	0,6136	1,7822
	0,3736	0,1396	1,2735	0,9265	0,8583	3,4809

V preglednici 13 za nekaj izbranih vremenskih parametrov prikazujemo spreminjanje Pearsonovega koeficienta korelacije s posploševanjem meritev po mesecih in letnih časih. Vidimo, da se statistična povezanost temperaturnih in vetrnih parametrov s premikanjem gradiva po erozijskem jarku s posploševanjem podatkov močno poveča. V merilu letnih časov je povezanost visoka, ponekod celo zelo visoka. Nasprotno pa se povezanost padavin s premikanjem gradiva še zmanjša, erozivnost padavin pa se iz pozitivne statistične povezanosti na tedenski ravni premakne celo v srednjo negativno povezanost na ravni letnih časov. Vzrok za ta zasuk so obsežni premiki gradiva v času brez intenzivnih padavin, saj so se največje količine gradiva premakale pozimi, ko je bila erozivnost padavin najmanjša. Ko pa so poleti nastale intenzivne (erozivne) padavine, je bilo v jarku manj razpoložljivega gradiva in premaknila se je razmeroma majhna količina gradiva.

## 4 Geomorfno dogajanja na meliščih

»Dvojno življenje melišč« je Gams (1991, 299) naslovil svoj članek o meliščih. Na meliščih namreč ob določenih razmerah poteka odlaganje gradiva, ob določenih pa njegovo odnašanje. Poleg Gamsa (1991) je v slovenski geografski literaturi o meliščih pisal še Kladnik (1980; 1981).



V porečju Rokave je meril spremembe v debelini gradiva na melišču pod golimi flišnimi stenami Petkovšek (2002a, 67; 2002b, 37; Petkovšek in Mikoš 2003, 51–52). Ugotovil je, da v obdobju od maja do julija skoraj ni sprememb v debelini gradiva na melišču. Do odnašanja (erozije) gradiva pride pozno poleti in jeseni z intenzivnejšimi padavinami, v hladnejšem delu leta pa poteka odlaganje gradiva (slika 35).

Slika 35: Odlaganje in odnašanje gradiva na melišču, merjeno z erozijskimi žlebičji (po Petkovšku 2002a, 67).

Glej angleški del prispevka.

Naša merjenja na melišču so potekala ob večjih erozivnih padavinah, ko so na melišču nastali erozijski žlebiči. Melišče, ki smo ga opazovali je danes oddaljeno od rečne mreže, tako da Rokava neposredno (z bočno erozijo) z njega ne odnaša gradiva. To doseže rečno mrežo le ob močnejših padavinah, ko je erozivna moč površinskega odtoka na melišču tako velika, da gradivo lahko odplavi do Rokave. V takšnih razmerah se na melišču največji del gradiva premika po erozijskih žlebičjih.

Med dvema večjima padavinskima dogodkoma poteka na melišču le odlaganje, ki ponovno zasuje erozijske žlebiče (sliki 36 in 37), tako da ob naslednjih močnih padavinah novi žlebiči ne nastanejo nujno na istih mestih. V času naših meritev so na melišču erozijski žlebiči nastali dvakrat, po padavinah 11. 8. 2005 in 22. 2. 2006 (preglednica 14).

Preglednica 14: Podatki o erozijskih žlebičjih, nastalih na melišču ob padavinskih dogodkih 11. 8. 2005 in 22. 2. 2006 (\*gradivo, ki je doseglo Rokavo, \*\*površina melišča 0,81 ha).

datum erozivnega dogodka	11. 8. 2005	22. 2. 2006
dnevna erozivnost padavin ( $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	1110,50	90,02
skupna dolžina žlebičev (m)	118,1	58,0
povprečna širina žlebičev (m)	0,28	0,77
povprečna globina žlebičev (m)	0,10	0,24
skupna prostornina žlebičev ( $\text{m}^3$ )*	5,74	12,18
odnašanje gradiva ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )**	7,06	14,96
znižanje celotnega melišča zaradi žlebične erozije (mm)	0,71	1,50

Kljub očitno manj intenzivnim padavinam je velika razlika v količini odplavljenega gradiva v korist poznejšega datuma verjetno povezana z rastlinstvom. Prve močnejše padavine so nastale v obdobju bujnega rastlinja, ki je preprečilo, da bi v gozdu nad erozijskim žariščem nastal močnejši površinski odtok in dosegel erozijsko žarišče. V drugem primeru, ko ni bilo rastlinja, je nad erozijskim žariščem zagotovo nastal močnejši odtok, ki je na melišču ustvaril večje erozijske žlebiče in celo erozijski jarek (slika 38).

Preglednica 15: Količina sproščene gradiva s celotne stene erozijskega žarišča v tednih, ko so na melišču nastali erozijski žlebiči, in celoletno sproščeno gradivo s stene (\*povprečje erozijskih polj 1, 2, 3 in 4; površino stene ocenjujemo na  $0,3^{**}$ – $0,4^{***}$  ha).

5.–12. 8. 2005				15.–23. 2. 2006			
specifično sproščanje in umik pobočja v tednu*		sproščeno gradivo s celotne stene v tednu		specifično sproščanje in umik pobočja v tednu*		sproščeno gradivo s celotne stene v tednu	
$\text{kg}/\text{m}^2$	mm	t	$\text{m}^3$	$\text{kg}/\text{m}^2$	mm	t	$\text{m}^3$
4,66	2,72	13,98**	8,17**	6,11	3,57	18,32**	10,70**
		18,65***	10,89***			24,42***	14,27***
10. 2. 2005–8. 2. 2006				28. 4. 2005–26. 4. 2006			
specifično sproščanje in umik pobočja v celem letu*		celoletno sproščeno gradivo s celotne stene		specifično sproščanje in umik pobočja v celem letu*		celoletno sproščeno gradivo s celotne stene	
$\text{kg}/\text{m}^2$	mm	t	$\text{m}^3$	$\text{kg}/\text{m}^2$	mm	t	$\text{m}^3$
77,39	45,21	232,18**	135,62**	84,26	49,22	252,77**	147,65**
		309,57***	180,82***			337,03***	196,86***

Slika 36: Erozijski žlebič s prostornino okrog  $4,4\text{ m}^3$  je nastal 11. 8. 2005. Skupaj je bilo premaknjenega okrog  $7,8\text{ m}^3$  gradiva; 56 % je bilo odnesenega, ostalo gradivo pa je bilo odloženo ob žlebiču.

Glej angleški del prispevka.

Slika 37: Pol leta po nastanku je bil erozijski žlebič popolnoma zasut.

Glej angleški del prispevka.

Za nastale erozijske žlebiče je značilno tudi, da vse gradivo ni bilo odneseno z melišča, pač pa ga je bilo del presedimentiranega ob žlebiče. Od skupaj premaknjenega gradiva je bilo pri večjih erozijskih žlebičih odnesenega od 45 do 65 % gradiva, ostalo gradivo pa je bilo odloženo ob žlebiče.

Slika 38: Erozijski jarek, ki je nastal 22. 2. 2006 je bil neposredno pod steno širok 2,8 m in globok 1,5 m. Ob nastanku fotografije je že deloma zasut.

Glej angleški del prispevka.

Preglednica 16: Razmerje med odplavljenim gradivom iz melišča in odloženim gradivom na melišču v tednih, ko so na melišču nastali erozijski žlebiči in v celem letu (\*5.–12. 8. 2005; \*\*15.–23. 2. 2006).

	11. 8. 2005	22. 2. 2006	10. 2. 2005– 8. 2. 2006	28. 4. 2005– 26. 4. 2006
	$\text{m}^3$	$\text{m}^3$	$\text{m}^3$	$\text{m}^3$
količina gradiva, ki je dosegla Rokavo	5,74	12,18	5,74	17,92
sproščeno gradivo s celotne stene (po preglednici 15)	8,17* 10,89*	10,70** 14,27**	135,62 180,82	147,65 196,86
razmerje med odplavljenim gradivom z melišča in odloženim gradivom na melišču (sproščanje s celotne stene)	0,70 0,53	1,14 0,85	0,04 0,03	0,12 0,09

Na podlagi podatkov o izmerjenih erozijskih žlebičih smo z melišča odplavljeno količino gradiva, ki je doseglo Rokavo, primerjali s količino gradiva, ki se je sprostil s celotne stene erozijskega žarišča in odložilo na melišču (preglednica 15). Ob erozivnih padavinah 11. 8. 2005 je Rokavo dosegla količina gradiva, ki je ustrezala od 50 do 70 % sproščene gradiva v tednu med 5. in 12. 8. 2006. Ob padavinah 22. 2. 2006 je bil ta delež glede na sproščeno gradivo v tednu med 15. in 23. 2. 2006 od 85 do 114 %. Na letni ravni je bil delež odplavljenega gradiva, ki je dosegel Rokavo, glede na sproščeno gradivo v obdobju med 10. 2. 2005 in 8. 2. 2006 od 3 do 4 % in glede na sproščeno gradivo v obdobju med 28. 4. 2005 in 26. 4. 2006 od 9 do 12 % (preglednica 16).

## 5 Sklep

Podatke o umikanju pobočij v različnih podnebnih pasovih, na različnih kamninah in na različnih naklonih sta zbrala Young (1969; 1974) ter Saunders in Young (1983; Young in Saunders 1986). V novejši literaturi so tovrstni podatki na razpolago zlasti za polarna in gorska območja, na primer André (1997; 2003, 153), Sass in Wollny (2001, 1085), Curry in Morris (2004) ter Glade (2005, 206). Curry in Morris (2004) za polarna in gorska območja navajata maksimalno vrednost  $4,5\text{ mm/leto}$  (za švicarske Alpe). Kot že omenjeno pa so meritve erozijskih procesov v sredozemskih badlandsih dale vrednosti med  $5\text{ t/ha/leto}$  ( $0,45\text{ mm/leto}$ ) in od  $220$  do  $330\text{ t/ha/leto}$  (od  $20$  do  $30\text{ mm/leto}$ ) (Poesen in Hooke 1997, 162).

Na sliki 39 primerjamo umikanje pobočij v različnih podnebnih pasovih z umikanje pobočij v porečju Dragonje. To je v primerjavi z navedbami Younga in Saundersa (1986, 7) precej višje, višje pa je tudi od omenjenih navedb Poesena in Hooke (1997).

Geomorfni procesi na erozijskih žariščih v flišni (Sivi) Istri so hitri, saj se njihove strme stene umikajo od  $35$  do  $50\text{ mm}$  na leto, po njihovih erozijskih jarkih pa se letno prenaša do  $18\text{ kg}$  gradiva s  $\text{m}^2$ . Hitrost teh procesov nedvomno pomeni, da so erozijska žarišča v porečju Dragonje in v flišni (Sivi) Istri na sploh (Zorn 2008a; 2008b) pomemben vir erodiranega gradiva ter pomemben dejavnik oblikovanja pobočij, kot je za erozijska žarišča drugje zapisal Harvey (2004).

Sedaj, ko poznamo erozijske procese in njihovo hitost, pa se v Sloveniji lahko prvič s pomočjo procesne geomorologije lotimo enega osnovnih geomorfoloških vprašanj, t. j. vprašanja oblikotvornosti pobočij (na primer Penck 1924; Burt 2003).

Slika 39: Umikanje pobočij v različnih podnebnih pasovih (1 B (Bubnoff) = 1 mm/1000 let = 1 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/leto = 0,026 t/ha/leto; Saunders in Young 1983; Young in Saunders 1986).

Glej angleški del prispevka.

## 6 Viri in literatura

Glej angleški del prispevka.