

EROSION PROCESSES IN SLOVENE ISTRIA – PART 1: SOIL EROSION

EROZIJSKI PROCESI V SLOVENSKI ISTRI – 1. DEL: EROZIJA PRSTI

Matija Zorn



MATIJA ZORN

With intensive precipitation, rill erosion occurs on unprotected land (top); eroded material is deposited on the lower parts of the agricultural land.

Ob intenzivnih padavinah nastane na nezaščitenih zemljiščih žlebična erozija (zgoraj), odneseno gradivo pa se odlaga ob spodnjih delih zemljišč.

Erosion processes in Slovene Istria – part 1: Soil erosion

DOI: 10.3986/AGS49102

UDC: 911.2:631.459(497.4Istra)

COBISS: 1.01

ABSTRACT: In 2005 and 2006 intensive measurements were made of various erosion-denudation processes in the Dragonja River basin in Slovene Istria (SW Slovenia). The measurements included geomorphic processes in the badlands: the rockwall retreat of steep bare flysch slopes, movements of flysch debris along erosion gullies, and geomorphic processes on talus slopes. At the same time, measurements of soil erosion were made in three different land use areas: bare soil in an olive grove, an overgrown meadow, and a forest. The results are presented in two parts. Part One presents the measurements of soil erosion, and Part Two in the next issue of the journal (No. 49-2) will present geomorphic processes in the badlands.

The bedrock in Slovene Istria is Eocene flysch and the prevailing soil is carbonate rendzina. The climate of the area is submediterranean.

The measurements of soil erosion made on one-meter-square closed erosion plots south of the village of Marezige revealed that the greater part of the annual erosion was caused by only a few major erosion events. Between May 2005 and April 2006, interrill erosion amounted to 9,013 g/m² (90 t/ha) on bare soil in an olive grove with an inclination of 5.5° and an average weekly proportion of specific runoff of 23%, 168 g/m² (1.68 t/ha) on an overgrown meadow with an inclination of 9.4° and an average weekly proportion of specific runoff of 8%, and 391 g/m² (3.91 t/ha) in a forest with an inclination of 7.8° and 415 g/m² (4.15 t/ha) in a forest with an inclination of 21.4° with an average weekly proportion of specific runoff of 6% regardless of the inclination. The amount of precipitation during the reference year was slightly below the long-term average.

KEYWORDS: geomorphology, pedogeography, geomorphic processes, erosion processes, interrill soil erosion, rill soil erosion, Dragonja river basin, Istria, Slovenia

The article was submitted for publication on September 26, 2008.

ADDRESS:

Matija Zorn, Ph. D.

Anton Melik Geographical Institute

Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts

Gosposka ulica 13, SI – 1000 Ljubljana, Slovenia

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

Contents

1	Introduction	41
2	Soil erosion	41
3	Interrill erosion	41
3.1	Measurement methodology	41
3.2	Weekly measurements	45
3.3	Measurements by months and seasons	51
3.4	Correlation with weather conditions	57
4	Rill erosion	62
5	Wind erosion	64
6	Conclusion	65
7	References	66

1 Introduction

In 2005 this journal (No. 45-1) presented a detailed study of erosion processes in Slovenia with an emphasis on soil erosion on agricultural land (Komac and Zorn 2005). The article showed (see also Hrvatin et al. 2006; Hrvatin, Perko and Petek, 2006) that there is a major lack of measuring erosion processes in Slovenia, which was one of the reasons for undertaking detailed studies of erosion processes (including soil erosion) in the following years in Slovene Istria (Zorn 2007a; 2007b; 2008a; Zorn and Petan 2007; 2008).

In 2005 and 2006 we measured soil erosion and surface runoff on a weekly basis in the flysch Dragonja River basin in three different land use areas: on bare soil in an olive grove, an overgrown meadow, and forest. In addition, we also measured erosion processes in the badlands: the rockwall retreat of steep bare flysch slopes (sediment production from bare flysch slopes), the movement of flysch debris along erosion gullies, and geomorphic processes on talus slopes (see the next issue, No. 49-2, of the journal; Zorn 2009). We also measured chemical denudation monthly in the Dragonja River basin (Zorn 2007a; 2008a).

We chose Slovene Istria (SW Slovenia) and the Dragonja River basin in particular as a study area because several intensive studies of hydrological and geomorphic processes have been done here since the end of the 20th century (for example, Globevnik 2001; Petkovšek 2002; Bizjak 2003; Šraj 2003; Staut 2004; Keesstra 2006; Miko 2006; Tol 2006). We could also refer to older morphogenetic studies (for example, Kokole 1956; Melik 1960; Šifer 1965; 1997; Placer 2005a; 2005b) and several older studies on erosion processes (for example, Jež 1956/57; Paulič 1971; Wraber 1971; Natek 1990). A common feature of these studies is that the measurements of erosion processes were rare (for example, Petkovšek 2002; Keesstra 2006). The use of erosion models was more frequent, particularly for determining soil erosion (for example, Globevnik 2001; Petkovšek 2002; Staut 2004; Keesstra 2006; Miko 2006).

2 Soil erosion

Soil erosion is *»any removal of soil particles and regolith by natural agents that is often accelerated by the activity of humans (clearcutting, overgrazing, road construction) and animals, which is more intensive than soil formation«* (Komac and Zorn 2005, 75; Zorn 2008a, 26). We mainly measured the water soil erosion that occurs when the intensity of precipitation exceeds the infiltration capacity of the ground resulting in surface runoff. This usually takes place in three stages. Due to the kinetic energy of raindrops, soil particles are first separated from the ground; the water then transports them to a secondary position, where they are finally deposited after a *»reduction of the carrying capability of the water.«* The form and power of erosion depend on a number of factors: the erosivity of the precipitation or surface water flow, soil erodibility, the inclination and length of hillslopes, vegetation cover, and the method of land cultivation (Lovrenčak 1994, 161–163). Water soil erosion is divided into interrill erosion (Chapter 3) and rill erosion (Chapter 4).

3 Interrill erosion

Interrill erosion (surface wash) is the consequence of rain erosion (erosion by raindrops) and the erosion of surface water flows before the water merges into trickles and begins to erode vertically to form rills. It is difficult to observe and quantify this process without continuous measurements, and therefore its effects are frequently underestimated.

3.1 Measurement methodology

Interrill erosion was measured in just over a year-long period (from late March 2005 to late April 2006) with regular weekly measurements on closed erosion plots (Zorn 2007a; 2008a). Eight erosion plots were established in three different land use areas south of the village of Marezige in the Rokava River basin (a right tributary of the Dragonja River): on bare soil in an olive grove (2), an overgrown meadow (2), and forest (4). In the forest we measured soil erosion at two different inclinations. The erosion plots measured

Table 1: Basic information on erosion plots (* 8 weeks without erosive precipitation on plots 3 and 4; 9 weeks without erosive precipitation on plots 1, 2, 6, and 8; 10 weeks without erosive precipitation on plots 5 and 7; samplings at 14-day intervals twice because it rained during our regular weekly visit and we did not want to interrupt the erosive event; ** failures occurred when a collecting container overturned or the pipe connecting the funnel with the collecting container was disconnected; *** measurements of inclinations were made with a pantometer (Cox 1990, 94–95; Komac 2006, 33); **** the intended one square meter size of the erosion plots was reduced slightly during installation due to problems that occurred in positioning the funnel and the inclination of the slopes; ¹ 57 weeks, ² 55 weeks, ³ 56 weeks, ⁴ 52 weeks).

land use	erosion plot	measurement period	inclination***		surface area of plot**** (m ²)	Gauss-Krüger plot coordinates	altitude m	aspect azimuth (°)	number of successful measurements*	number of failed measurements**
			(°)	average (°)						
bare soil in olive grove	1	24. 3. 2005– 26. 4. 2006 ¹	6.45	5.53	0.994	X 5406103 Y 5040005	175	185	42	4
	2	24. 3. 2005– 26. 4. 2006 ¹	4.60		0.997	X 5406108 Y 5040005	175	182	46	0
overgrown meadow	3	7. 4. 2005– 26. 4. 2006 ²	9.25	9.35	0.987	X 5406103 Y 5040001	174	185	38	7
	4	7. 4. 2005– 26. 4. 2006 ²	9.45		0.986	X 5406104 Y 5039998	174	196	31	14
forest	5	31. 3. 2005– 26. 4. 2006 ³	8.88	7.76	0.988	X 5406043 Y 5040019	175	230	36	8
	6	28. 4. 2005– 26. 4. 2006 ⁴	6.65		0.993	X 5406050 Y 5040010	175	200	35	6
	7	31. 3. 2005– 26. 4. 2006 ³	22.20	21.40	0.926	X 5406034 Y 5040023	173	270	43	1
	8	28. 4. 2005– 26. 4. 2006 ⁴	20.60		0.936	X 5406034 Y 5040020	173	285	41	0

one square meter, which ranks them among erosion microplots (small) or mesoplots (medium size) according to the size classification of erosion plots by Poesen, Torri, and Bunte (1994, 141).

Comparable measurements have been made in Spain on erosion plots smaller than one square meter (Dunjó, Pardini, and Gispert 2003; 2004) and on erosion plots of the same size (Usón and Ramos 2001, 293; Boix-Fayos et al. 2007, 96).

We found a construction plan for erosion plots in an article by Vacca et al. (2000, 75; also Ollesch and Vacca 2002, 26) and information on the manner of their placement in the field in articles by Lal and Elliot (1994, 188) and Dunjó Pardini, and Gispert (2004, 104). Examining erosion plots in Abrami in Croatian Istria (12. 6. 2002) was also of great help (Rula 1972; Petraš, Holjević, and Kunštek 2007; Zorn 2008b).

To isolate the plots from the surrounding area, the erosion plots were constructed of three sheet metal plates one meter long and thirty centimeters high (one at the back and two at the sides) placed ten centimeters into the ground (the same depth stated by Ollesch and Vacca 2002, 24) and a sheet metal funnel at the front from which the runoff ran through a plastic pipe into a plastic collecting container (30l) dug



Figure 1: Erosion plot 1 on bare soil in a young olive grove and surface runoff captured in collecting container in the week between 7. 4. 2005 and 13. 4. 2005. The runoff was transferred to a 10-liter container.

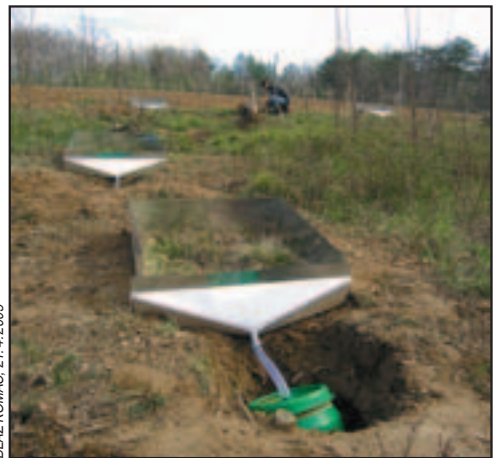


Figure 2: Erosion plots 1 to 4; plot 4 in front, plot 3 behind it, plot 1 back left, and plot 2 back right.



Figure 3: Erosion plot 5 in forest with smaller inclination; erosion plot 6 at back right marked by red arrow.



Figure 4: Erosion plot 7 in forest with larger inclination.

Table 2: Texture of upper 10 cm of soil on erosion plots. Bulk density of the soil on flysch is 1.056 g/cm³.

erosion plot	texture (international classification)				texture class of soil	organic carbon content
	coarse sand (%)	fine sand (%)	clay (%)	silt (%)		
1 and 2	2.37	33.03	30.30	34.30	IG (loamy clay)	6.33
3 and 4	2.77	40.33	26.60	30.30	IG (loamy clay)	7.67
5 and 6	3.39	37.61	30.90	28.10	IG (loamy clay)	8.31
7 and 8	12.32	35.58	29.70	22.40		12.51

into the ground. Both the funnel and the collecting container were covered in order to prevent collection of precipitation water. The plates were fixed to each other with screws, and the funnel was attached to the side plates.

The containers that collected the runoff from the erosion plots were emptied once a week. This differs from the Spanish method (Dunjó, Pardini, and Gispert 2004, 242) where the containers were emptied after every precipitation event. This is a shortcoming in our method since there can be a number of precipitation events in a single week.

Every week we collected all of the water and eroded soil mixture from the containers and the soil from the funnels that did not reach the collecting containers. At the laboratory we measured the amount of water in the collecting containers to obtain the weekly surface runoff and sent a small representative sample for analysis to the laboratory of the Institute of Sanitary Engineering of the Faculty of Civil and Geodetic Engineering of the University of Ljubljana, where the quantity of suspended (insoluble) material in the sample was established according to the DIN 38409-H2 standard. The samples were dried at a temperature between 103 °C and 105 °C (Navodila ... 2003, 5). We acquired the total amount of eroded soil by



Figure 5: Leaf area above erosion plot 5 before foliation.



Figure 6: Leaf area above erosion plot 5 in summer.



Figure 7: Leaf area above erosion plot 7 before foliation.

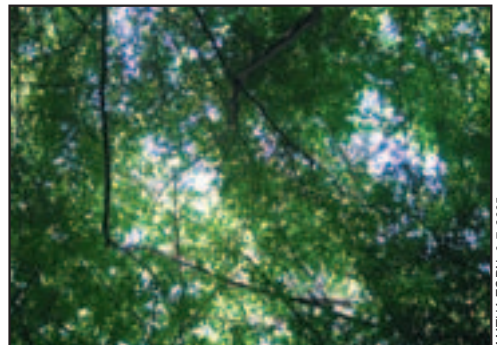


Figure 8: Leaf area above erosion plot 7 in summer.

adding the total amount of suspended material and the material captured in the funnel that was dried and weighed on electronic scales.

We set up a rain gauge with a tipping-bucket in the immediate vicinity of the erosion plots, allowing us to monitor the quantity and intensity of individual precipitation events.

3.2 Weekly measurements

Soil erosion was greatest by far on bare soil in an olive grove (Figure 9). Soil erosion in the forest with a larger inclination in the second half of the measurement period followed, and third place went to the forest with a smaller inclination that showed greater erosion than that measured in the forest with a larger inclination in the first half of the measurement period. This is because it was difficult to install the funnel

Table 3: Ratios between soil erosion in different land use areas. They are calculated on the basis of averages on plots 1 and 2, 3 and 4, 5 and 6, and 7 and 8 for the period of 24 weeks when measurements were successful in all land use areas at the same time.

n = 24	bare soil in olive grove	overgrown meadow	forest with small ler inclination	forest with larger inclination
ratio relative to bare soil	1.00	0.02	0.06	0.07
ratio relative to meadow	65.27	1.00	4.04	4.64
ratio relative to forest with smaller inclination	16.16	0.25	1.00	1.15
ratio relative to forest with larger inclination	14.06	0.22	0.87	1.00

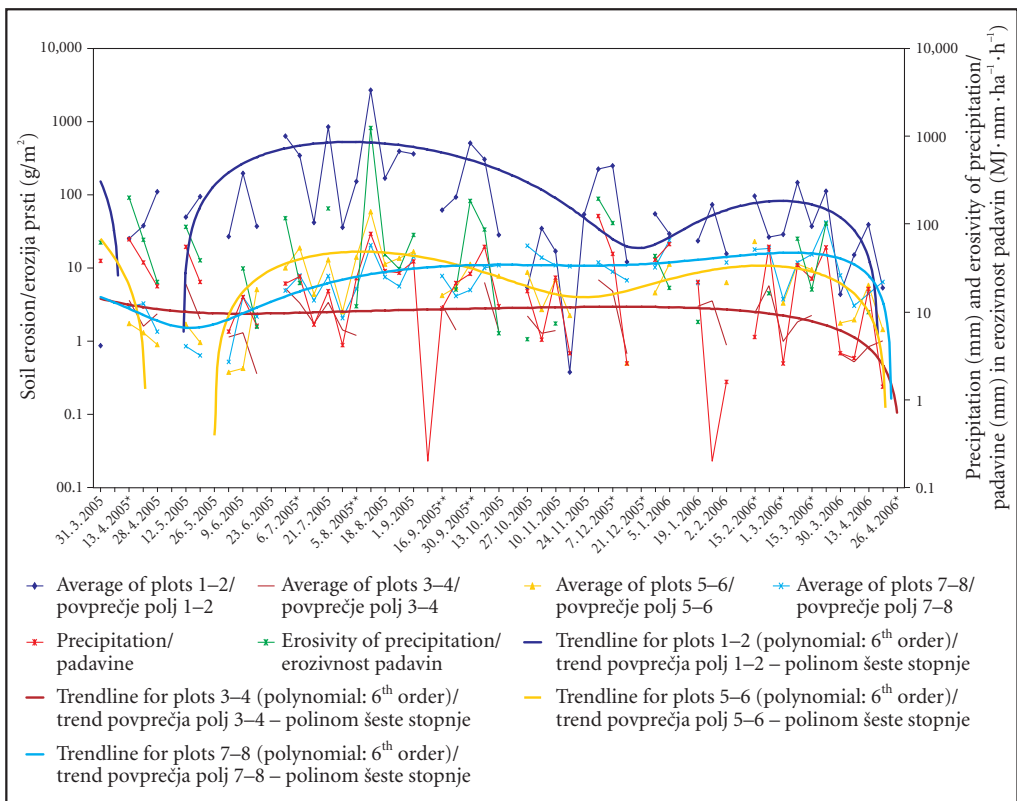


Figure 9: Comparison of weekly measurements of soil erosion in different land use areas (* measurement a day before normal regular weekly measurement, ** measurement a day after normal regular weekly measurement).

Table 4: Soil erosion, lowering of surface, and proportion of specific runoff on erosion plots 1 and 2 on bare soil in an olive grove.

	measurement period	erosion plot 1				erosion plot 2				average of erosion plots 1 and 2			
		proportion of specific runoff	soil erosion		lowering of surface	proportion of specific runoff	soil erosion		lowering of surface	proportion of specific runoff	soil erosion		lowering of surface
			%	g/m ²			kg/ha	mm			%	g/m ²	
average per week (13 months; 55 weeks)	24. 3. 2005–26. 4. 2006	21.10	176.26	1,762.61	0.17	22.39	173.78	1737.81	0.16	22.57	173.32	1,733.17	0.16
total (13 months; 55 weeks)	24. 3. 2005–26. 4. 2006	–	10,046.88	100,468.83	9.51	–	9,905.50	99,054.95	9.38	–	9,879.09	98,790.94	9.36
average per week (12 months)	24. 3. 2005–23. 3. 2006	22.34	191.87	1,918.68	0.18	23.51	189.38	1,893.85	0.18	23.49	188.76	1,887.59	0.18
total (12 months)	24. 3. 2005–23. 3. 2006	–	9,977.12	99,771.18	9.45	–	9,848.00	98,480.04	9.33	–	9,815.47	98,154.66	9.29
average per week (12 months)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	21.20	179.72	1,797.25	0.17	22.67	170.68	1,706.80	0.16	22.82	173.34	1,733.35	0.16
total (12 months)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	–	9,345.68	93,456.84	8.85	–	8,875.37	88,753.68	8.40	–	9,013.43	90,134.31	8.54

Table 5: Soil erosion, lowering of surface, and proportion of specific runoff on erosion plots 3 and 4 on overgrown meadow.

	measurement period	erosion plot 3				erosion plot 4				average of erosion plots 3 and 4			
		proportion of specific runoff	soil erosion		lowering of surface	proportion of specific runoff	soil erosion		lowering of surface	proportion of specific runoff	soil erosion		lowering of surface
			%	g/m ²			kg/ha	mm			%	g/m ²	
average per week (13 months; 55 weeks)	31. 3. 2005–26. 4. 2006	7.67	4.32	43.20	0.004	8.68	2.72	27.16	0.003	7.98	3.52	35.18	0.003
total (13 months; 55 weeks)	31. 3. 2005–26. 4. 2006	–	237.58	2,375.77	0.220	–	149.40	1,493.97	0.140	–	193.49	1,934.87	0.180
average per week (12 months)	31. 3. 2005–30. 3. 2006	7.62	4.53	45.32	0.004	8.45	2.84	28.39	0.003	7.85	3.69	36.85	0.003
total (12 months)	31. 3. 2005–30. 3. 2006	–	235.66	2,356.61	0.220	–	147.63	1,476.29	0.140	–	191.64	1,916.45	0.180
average per week (12 months)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	7,70	3.95	39.49	0.004	9.45	2.52	25.19	0.002	8.38	3.23	32.34	0.003
total (12 months)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	–	205.34	2,053.39	0.190	–	130.96	1,309.62	0.120	–	168.15	1,681.51	0.160

Table 6: Soil erosion, lowering of surface, and proportion of specific runoff on erosion plots 5, 6, 7, and 8 in the forest.

	measurement period	erosion plot 5				erosion plot 6				average of erosion plots 5 and 6			
		proportion of specific runoff	soil erosion		lowering of surface	proportion of specific runoff	soil erosion		lowering of surface	proportion of specific runoff	soil erosion		lowering of surface
			%	g/m ²			kg/ha	mm			%	g/m ²	
average per week (13 months; 56 weeks)	31. 3. 2005–26. 4. 2006	4.30	6.46	64.65	0.01	–	–	–	–	6.15	7.77	77.69	0.01
total (13 months; 56 weeks)	31. 3. 2005–26. 4. 2006	–	362.02	3,620.22	0.34	–	–	–	–	–	435.08	4,350.82	0.41
average per week (12 months)	31. 3. 2005–30. 3. 2006	4.17	6.80	68.03	0.01	–	–	–	–	6.19	8.19	81.90	0.01
total (12 months)	31. 3. 2005–30. 3. 2006	–	353.77	3,537.65	0.34	–	–	–	–	–	425.90	4,258.96	0.40
average per week (12 months)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	4.46	6.12	61.17	0.01	8.08	8.93	89.27	0.01	6.46	7.52	75.22	0.01
total (12 months)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	–	318.09	3,180.90	0.30	–	464.21	4,642.09	0.44	–	391.15	3,911.49	0.37

	measurement period	erosion plot 7				erosion plot 8				average of erosion plots 7 and 8			
		proportion of specific runoff	soil erosion		lowering of surface	proportion of specific runoff	soil erosion		lowering of surface	proportion of specific runoff	soil erosion		lowering of surface
			%	g/m ²			kg/ha	mm			%	g/m ²	
average per week (13 months; 56 weeks)	31. 3. 2005–26. 4. 2006	5.15	9.53	95.32	0.01	–	–	–	–	6.30	9.12	91.16	0.01
total (13 months; 56 weeks)	31. 3. 2005–26. 4. 2006	–	533.79	5,337.92	0.51	–	–	–	–	–	510.52	5,105.19	0.48
average per week (12 months)	31. 3. 2005–30. 3. 2006	5.18	10.18	101.82	0.01	–	–	–	–	6.43	9.55	95.51	0.01
total (12 months)	31. 3. 2005–30. 3. 2006	–	529.45	5,294.48	0.50	–	–	–	–	–	496.65	4,966.49	0.47
average per week (12 months)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	5.22	8.43	84.26	0.01	7.62	7.53	75.31	0.01	6.46	7.98	79.78	0.01
total (12 months)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	–	438.14	4,381.41	0.41	–	391.59	3,915.95	0.37	–	414.87	4,148.68	0.39

of the erosion plot in the ground properly in the larger inclination area, which resulted in the loss of a significant amount of surface runoff and eroded material under the funnel during the first half of the measurement period. The least soil was eroded on the overgrown meadow, which is not surprising given the dense vegetation inside the plots.

Weekly averages and total values for all 13 months of measurements are presented in tables 4 to 6, as well as calculations for two 12-month periods. We can see that interrill erosion removes from nine to almost ten kilograms of soil per square meter annually on bare soil due, between 170 and 190 g/m² on the meadow, between 390 and 425 g/m² in the forest with a smaller inclination, and between 415 and 496 g/m² in

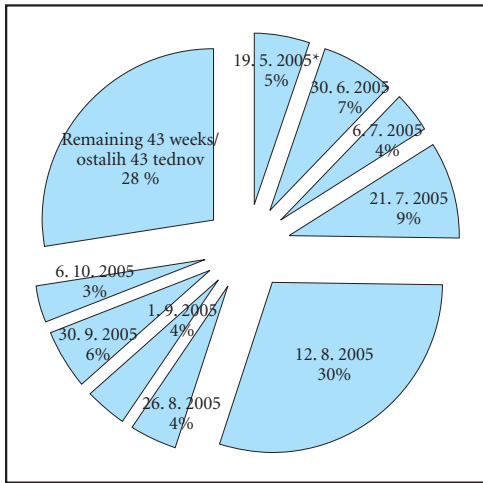


Figure 10: Average of erosion plots 1 and 2 – weeks between 28. 4. 2005 and 26. 4. 2006 with more than 3% of total annual soil erosion (* erosion is the sum of measured suspended material and the calculated value of unsuspended material, ** calculated value (measurement failure)).

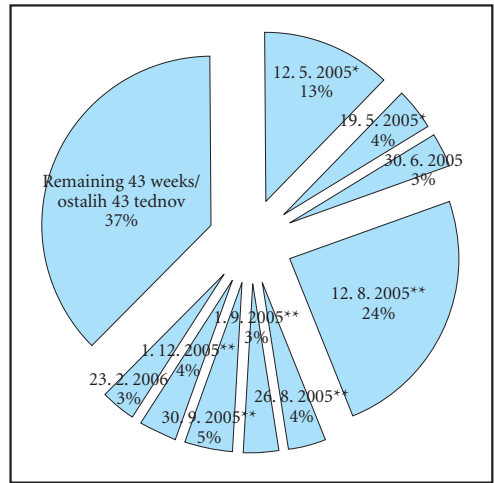


Figure 11: Average of erosion plots 3 and 4 – weeks between 28. 4. 2005 and 26. 4. 2006 with more than 3% of total annual soil erosion.

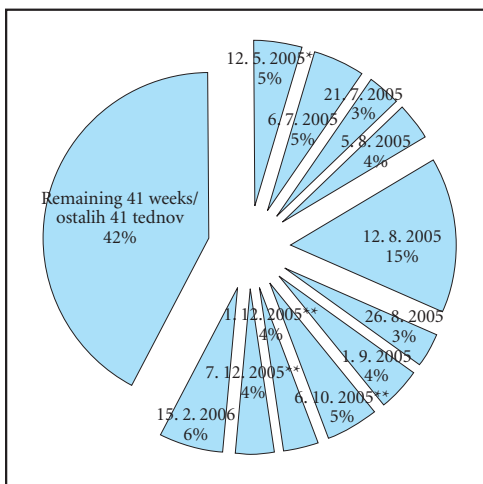


Figure 12: Average of erosion plots 5 and 6 – weeks between 28. 4. 2005 and 26. 4. 2006 with more than 3% of total annual soil erosion.

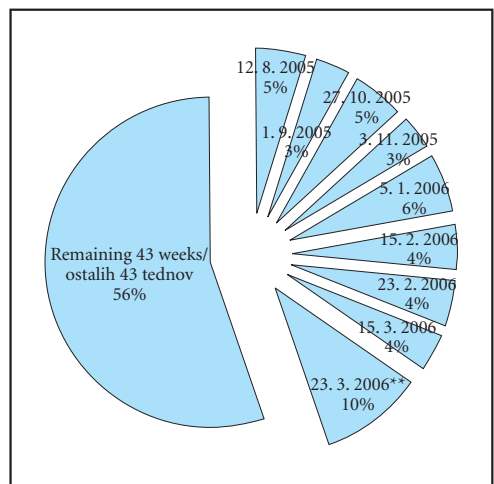


Figure 13: Average of erosion plots 7 and 8 – weeks between 28. 4. 2005 and 26. 4. 2006 with more than 3% of total annual soil erosion.

the forest with a larger inclination. The average proportion of specific weekly runoff totals around 23% on bare soil, around 8% on the meadow, and just over 6% in the forest, regardless of the inclination.

Despite the short duration of our measurements it is clear that major precipitation events contribute a considerable proportion to annual soil loss. The role of these major precipitation events in soil erosion has been described by Larson, Lindstrom, and Schumacher (1997) among others. Schumm (1977, 76–81) states that major storms only have greater significance for erosion when they exceed the threshold (in terms of system theory); otherwise, their impact on surface development is relatively small. Young and Saunders (1986, 18) write that interrill erosion increases during major precipitation events primarily due to the larger raindrops, the more rapid reduction of infiltration capacities, the rising of the groundwater, and the more than linear increase of eroded material in the runoff.

The influence of major events on interrill erosion is illustrated with pie charts (Figures 10–13) where the 12. 8. 2005 measurements on bare soil and overgrown meadow stand out in particular. Over the entire measurement period, the most erosive precipitation occurred in the week between August 5 and August 12, 2005 (weekly erosive precipitation totaled $1,235.91 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; on August 11, 2005, the maximum 30-minute precipitation totaled 42.8 mm and the daily erosive precipitation was $1,110.5 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; the erosivity of precipitation was well above the August monthly average ($507.8 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; Petkovšek and Mikoš 2004) for the Dragonja River basin). During this week, up to 30% of the entire annual amount was eroded from the bare soil in the olive grove (Figure 10) and up to 24% from the meadow (Figure 11).

In the forest, the proportion of eroded material in the week of 5–12. 8. 2005 was correspondingly smaller due to the full foliage of the trees. In the forest with a smaller inclination (Figure 12) it totaled 15%, and in the forest with a larger inclination (Figure 13) the proportion of the eroded material in that week does not rank among the extreme values and is in fact even smaller than the erosion during individual weeks in the cold part of the year when there were no leaves in the canopies and the precipitation events had substantially smaller erosive power. Here the importance of foliage relative to soil erosion is clearly evident.

3.3 Measurements by months and seasons

To establish a general trend of soil erosion throughout an entire year we compiled our measurements by months and seasons.

A common factor of the erosion on bare soil, meadow, and the forest with a smaller inclination is a primary peak of monthly erosion values in August, the month with the most intensive precipitation during the measurement period, and a peak relative to seasons in the summer. The lowest values for the erosivity of precipitation in the winter have a corresponding nadir of erosion in the winter both on bare soil (Table 7, Figure 14) and on the meadow (Table 8, Figure 16), while in the forest with the smaller inclination the

Table 7: Soil erosion and specific runoff by seasons – average of erosion plots 1 and 2.

season	measurement period	specific runoff	soil erosion				lowering of surface	
		average proportion per week %	on average per week g/m^2	total in season g/m^2	on average per week kg/ha	total in season kg/ha	on average per week mm/week	total in season mm/season
winter	21. 12. 2005– 23. 3. 2006	18.45	49.18	639.36	491.82	6,393.65	0.047	0.605
spring	28. 4. 2005– 23. 6. 2005; 23. 3. 2006– 26. 4. 2006	18.80	89.71	1,166.20	897.07	11,661.96	0.085	1.104
summer	23. 6. 2005– 22. 9. 2005	27.51	444.92	5,783.95	4,449.19	57,839.53	0.421	5.477
fall	22. 9. 2005– 21. 12. 2005	24.78	109.53	1,423.92	1,095.32	14,239.17	0.104	1.348

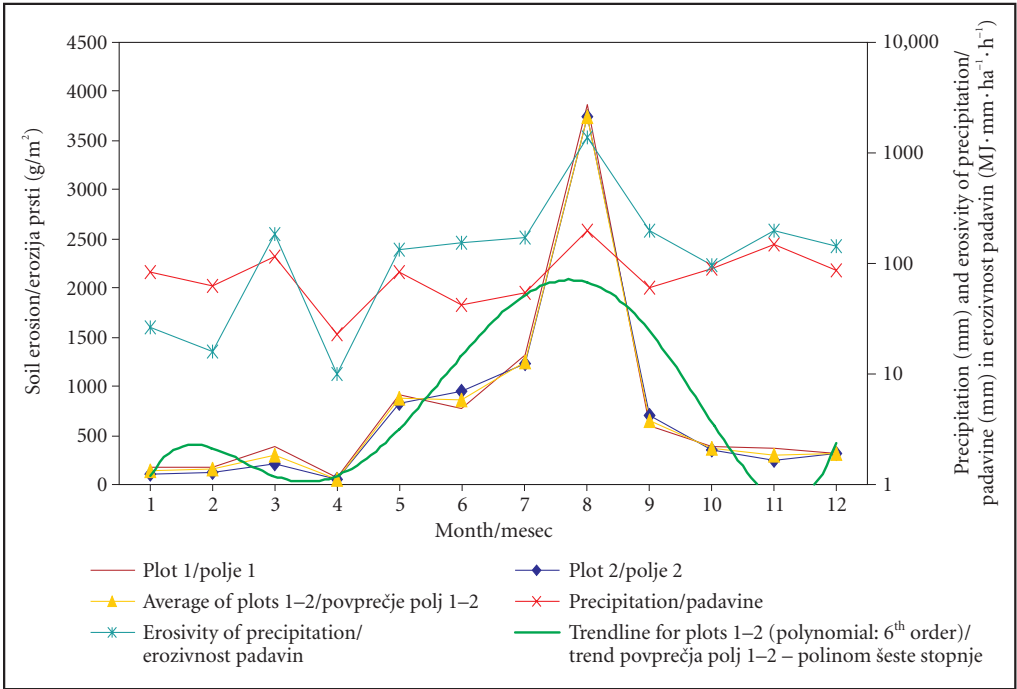


Figure 14: Soil erosion and precipitation by months on erosion plots 1 and 2.

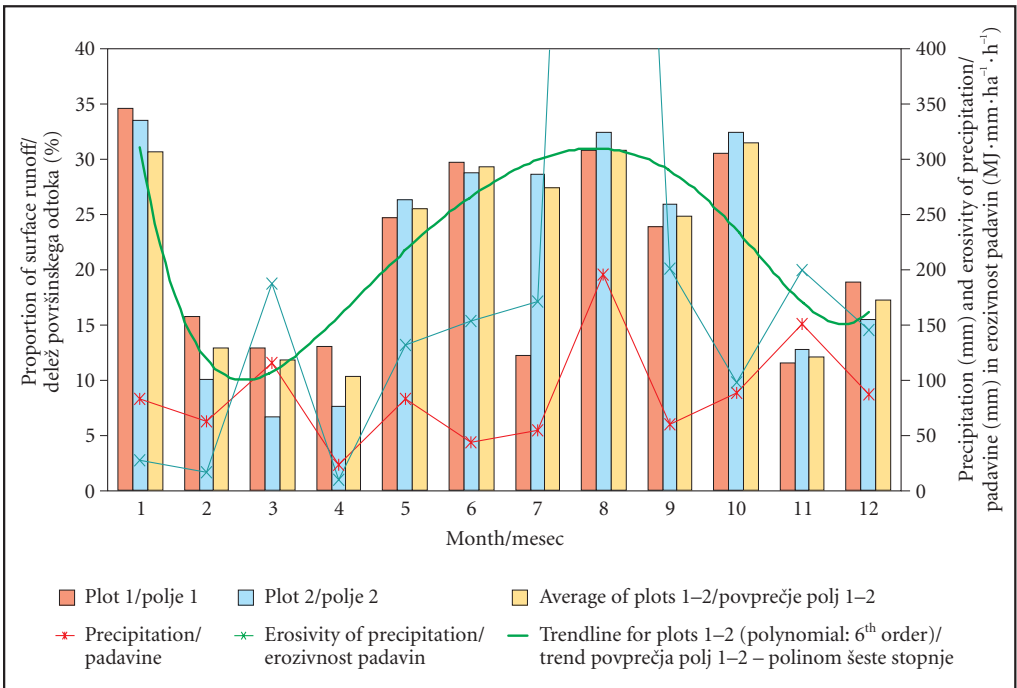


Figure 15: Proportion of surface runoff by months on erosion plots 1 and 2.

Table 8: Soil erosion and specific runoff by seasons – average of erosion plots 3 and 4.

season	measurement period	specific runoff average proportion per week %	soil erosion				lowering of surface	
			on average per week g/m ²	total in season g/m ²	on average per week kg/ha	total in season kg/ha	on average per week mm/week	total in season mm/season
winter	21. 12. 2005– 23. 3. 2006	10.81	1.82	23.62	18.17	236.24	0.002	0.022
spring	28. 4. 2005– 23. 6. 2005; 23. 3. 2006– 26. 4. 2006	7.65	3.09	40.16	30.89	401.61	0.003	0.038
summer	23. 6. 2005– 22. 9. 2005	6.67	5.89	76.61	58.93	766.13	0.006	0.073
fall	22. 9. 2005– 21. 12. 2005	8.74	2.13	27.75	21.35	277.53	0.002	0.026

primary nadir of erosion was recorded in the spring (Table 9, Figure 18). The influence of foliage on the erosivity of precipitation is most visible in the forest with a larger inclination where the primary peak was recorded in the winter and a secondary peak in the fall, because foliage canopies completely nullified the impact of the summer erosivity of precipitation. Correspondingly, the primary nadir of erosion on these erosion plots was recorded in the summer (Table 10, Figure 20).

The proportion of surface runoff on our erosion plots was by far the largest on bare soil, and in no month fell below 10% (the primary nadir value was 10.28% in April). The largest proportions of surface runoff were recorded on bare soil in August (30.75%) due to intensive precipitation that quickly saturated the

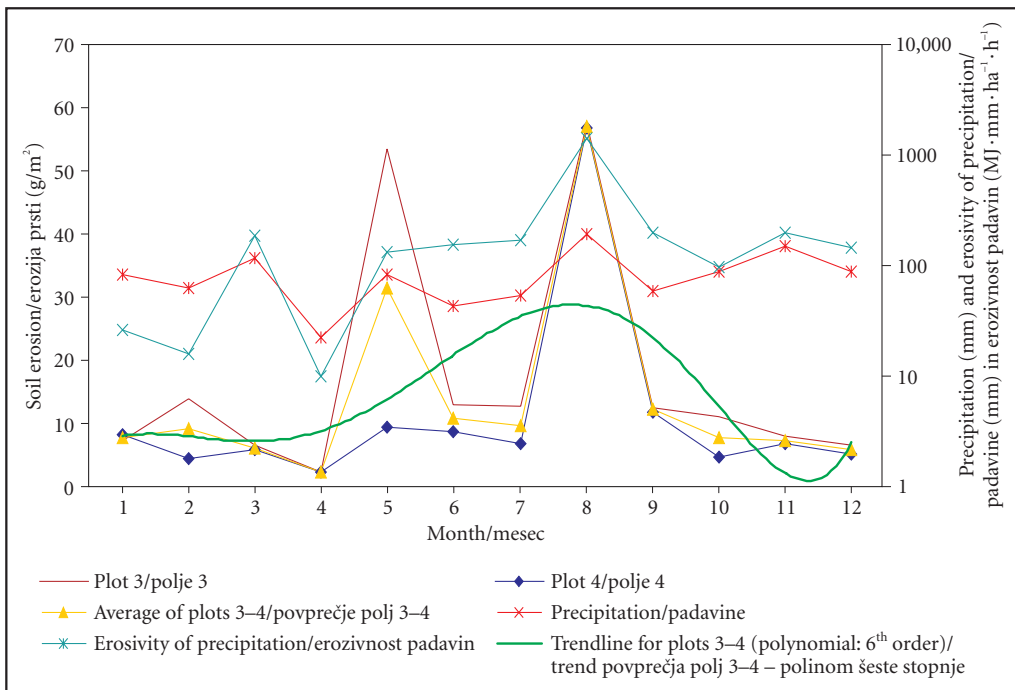


Figure 16: Soil erosion and precipitation by months on erosion plots 3 and 4.

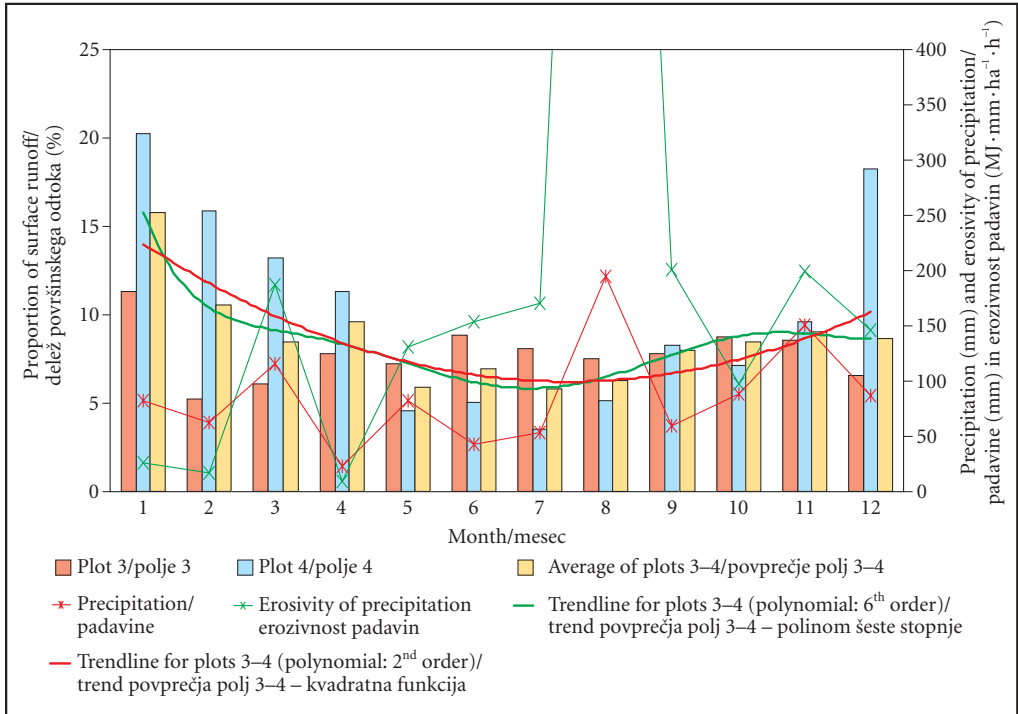


Figure 17: Proportion of surface runoff by months on erosion plots 3 and 4.

soil with water, and in January (30.60%) due to frozen soil with a reduced infiltration capacity. Despite the high January value, the primary nadir value on the seasonal scale for the proportion of surface runoff on bare soil occurred in the winter, and the primary and secondary peak values occurred in summer and fall (Table 7, Figure 15), which coincides with the erosivity of precipitation.

Table 9: Soil erosion and specific runoff by seasons – average of erosion plots 5 and 6.

season	measurement period	specific runoff		soil erosion			lowering of surface	
		average proportion per week %	on average per week g/m ²	total in season g/m ²	on average per week kg/ha	total in season kg/ha	on average per week mm/week	total in season mm/season
winter	21. 12. 2005– 23. 3. 2006	8.34	5.86	76.16	58.58	761.57	0.006	0.072
spring	28. 4. 2005– 23. 6. 2005; 23. 3. 2006– 26. 4. 2006	5.13	4.19	54.50	41.92	544.98	0.004	0.052
summer	23. 6. 2005– 22. 9. 2005	5.41	13.27	172.48	132.68	1,724.82	0.013	0.163
fall	22. 9. 2005– 21. 12. 2005	8.07	6.77	88.01	67.70	880.12	0.006	0.083

On the meadow the proportion of runoff only exceeded 10% in January (15.8%) and February (10.56%; Table 8, Figure 17), in the forest with a smaller inclination only in December (14.77%; Table 9, Figure 19), and in the forest with a larger inclination only in January (10.01%; Table 10, Figure 21). Thus unlike the

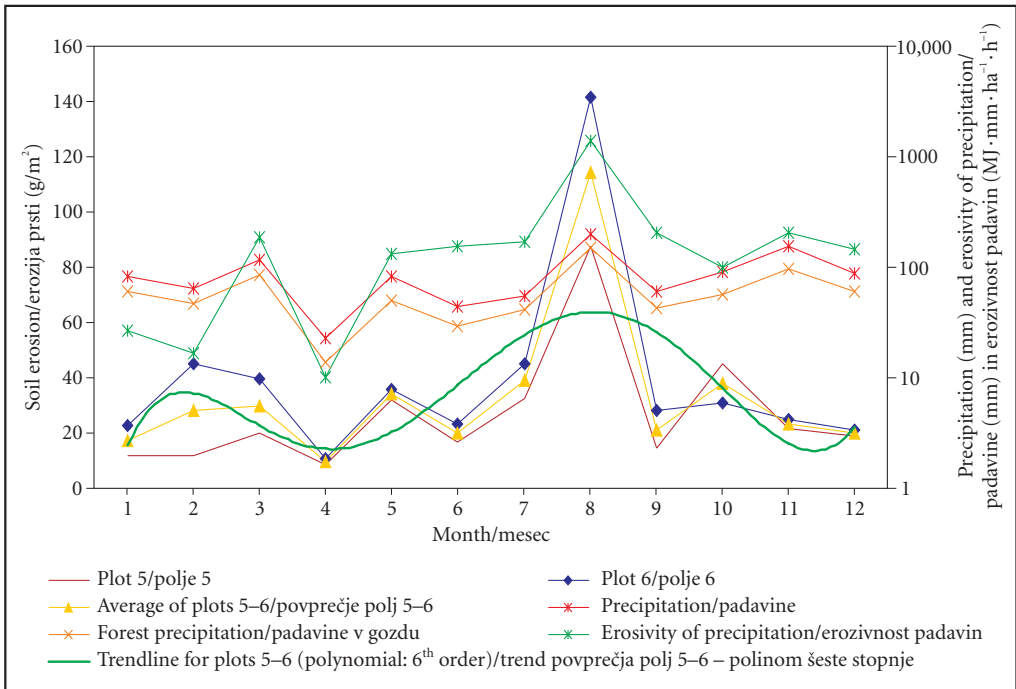


Figure 18: Soil erosion and precipitation by months on erosion plots 5 and 6.

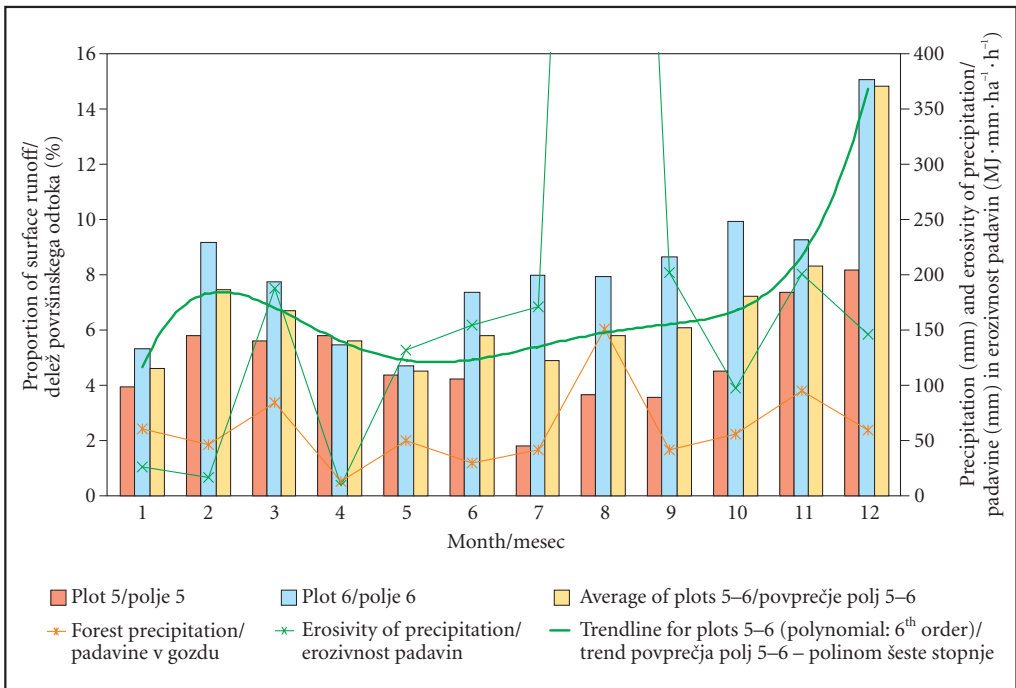


Figure 19: Proportion of surface runoff by months on erosion plots 5 and 6.

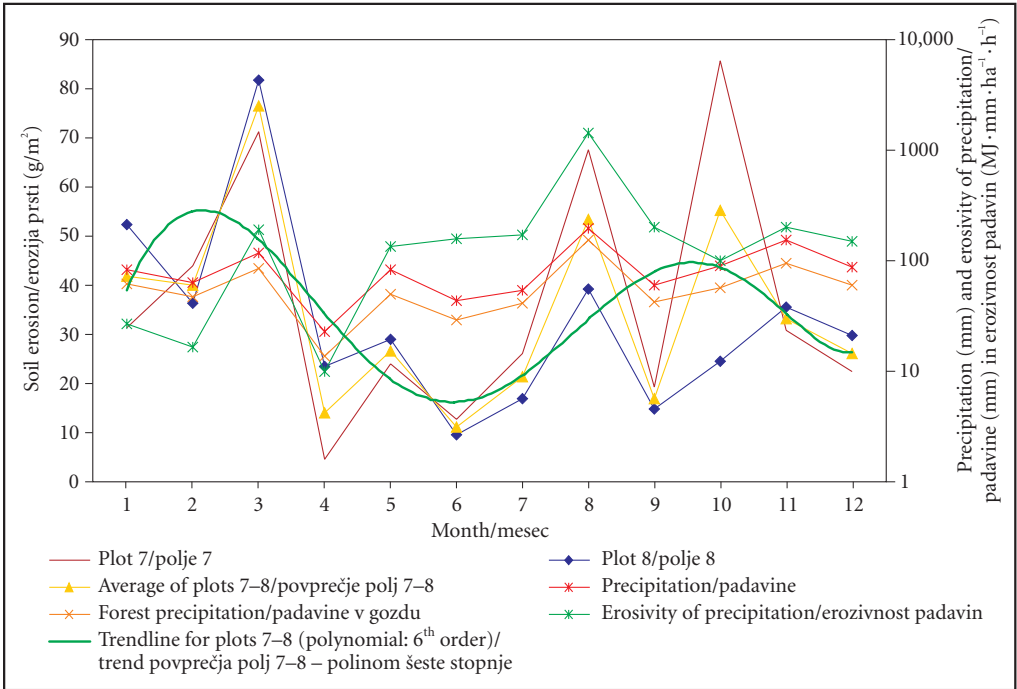


Figure 20: Soil erosion and precipitation by months on erosion plots 7 and 8.

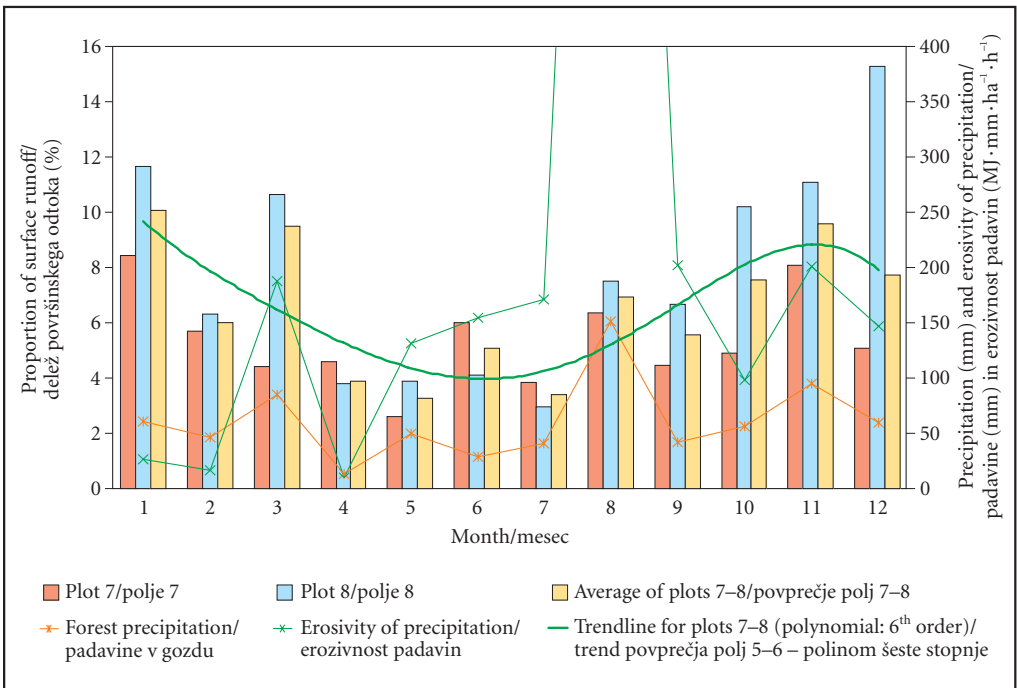


Figure 21: Proportion of surface runoff by months on erosion plots 7 and 8.

Table 10: Soil erosion and specific runoff by seasons – average of erosion plots 7 and 8.

season	measurement period	specific runoff	soil erosion				lowering of surface	
		average proportion per week %	on average per week g/m ²	total in season g/m ²	on average per week kg/ha	total in season kg/ha	on average per week mm/week	total in season mm/season
winter	21. 12. 2005– 23. 3. 2006	9.48	12.34	160.46	123.43	1,604.61	0.012	0.152
spring	28. 4. 2005– 23. 6. 2005; 23. 3. 2006– 26. 4. 2006	3.84	4.18	54.38	41.83	543.77	0.004	0.051
summer	23. 6. 2005– 22. 9. 2005	4.98	7.02	91.28	70.21	912.76	0.007	0.086
fall	22. 9. 2005– 21. 12. 2005	7.73	8.37	108.75	83.66	1,087.54	0.008	0.103

bare soil area, the primary peak of surface runoff on these three land use areas occurred in the winter, and the secondary peak in the fall (Tables 8–10). In the forest the primary nadir value was in the spring, and on the meadow in the summer, but the differences between the two nadirs were not great. On the meadow and in the forest with a larger inclination the proportion of surface runoff was lowest in July (5.76% on the meadow, 3.4% in the forest), and in the forest with a smaller inclination in January (4.6%), followed by July (4.87%).

On the meadow the proportions of surface runoff were larger than in the forest on both the monthly and the seasonal scales, but in spite of this the soil erosion on the meadow was smaller than in the forest in both time periods. On the meadow this indicates the influence of the dense vegetation (in all seasons) that prevents the precipitation and/or runoff from moving larger amounts of soil.

3.4 Correlation with weather conditions

With the help of Pearson's Correlation Coefficient (r) we sought linear statistical connections between interrill erosion or surface runoff and individual weather parameters for each type of land use. We also calculated the multiple linear correlation coefficient (R) between soil erosion or surface runoff and all the used weather parameters together. We used the latter to calculate the determination multiple linear correlation coefficient (R^2) as well. For our variables the proportion of explained variance for erosion on bare soil is between 0.9382 ($n = 55$; $p < 0.0000$) or 93.82% and 0.9784 ($n = 41$; $p < 0.0000$) or 97.84%, and for surface runoff between 0.9050 ($n = 53$; $p < 0.0000$) or 90.50% and 0.9332 ($n = 40$; $p < 0.0000$) or 93.32%. We recorded similar very high statistical correlations on other land use areas as well (Zorn 2008a, 221).

The obvious correlation between the precipitation parameters and erosion or runoff is indicated by the proportion of explained variance for precipitation parameters only. These multiple correlations are only slightly lower than those where we considered all weather parameters. The forest areas, regardless of inclination, display slightly larger differences but the positive statistical correlations with precipitation parameters are still high or quite close to very high here. For our variables the proportion of explained variance (R^2) for erosion on bare soil is between 0.9178 ($n = 55$; $p < 0.0000$) or 91.78% and 0.9677 ($n = 41$; $p < 0.0000$) or 96.77%, and for surface runoff between 0.8872 ($n = 53$; $p < 0.0000$) or 88.72% and 0.9031 ($n = 40$; $p < 0.0000$) or 90.31% (Zorn 2008a, 221).

It is characteristic for all land use areas that there is almost no statistical correlation between erosion or surface runoff and wind parameters, and the statistical correlation with temperature parameters is insignificant to low. This confirms that measurements of interrill erosion almost exclusively involve water erosion as a consequence of precipitation. Chapter 5, however, will show that water erosion is not the only factor.

On bare soil, relative to the average of erosion plots (we present correlations for averages of plots also for other land use areas), precipitation parameters that show precipitation intensity (e. g., highest maximum 30-minute precipitations; Figure 23) indicate a very high positive statistical correlation. In contrast, the

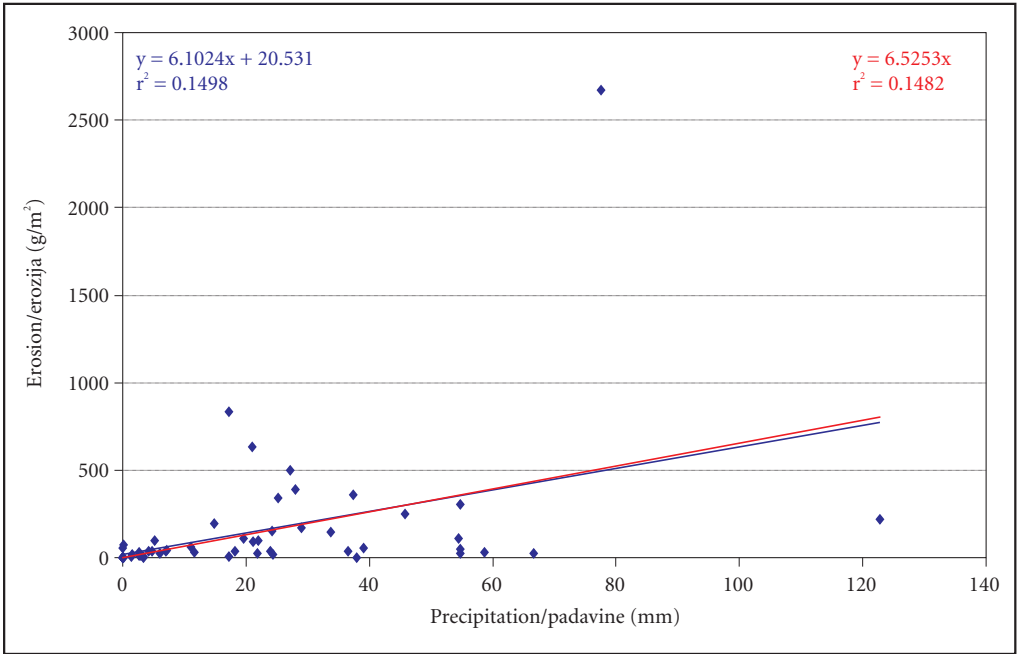


Figure 22: Average of erosion plots 1 and 2 – correlation between soil erosion and quantity of precipitation ($r = 0.3871$). (Note: the blue trend line and determination coefficient show the correlation matching the calculation in Table 11; in the red trend line the intersection is set at 0 because it is assumed that according to the very high multiple correlation of precipitation parameters with erosion and runoff there is no erosion or runoff without precipitation).

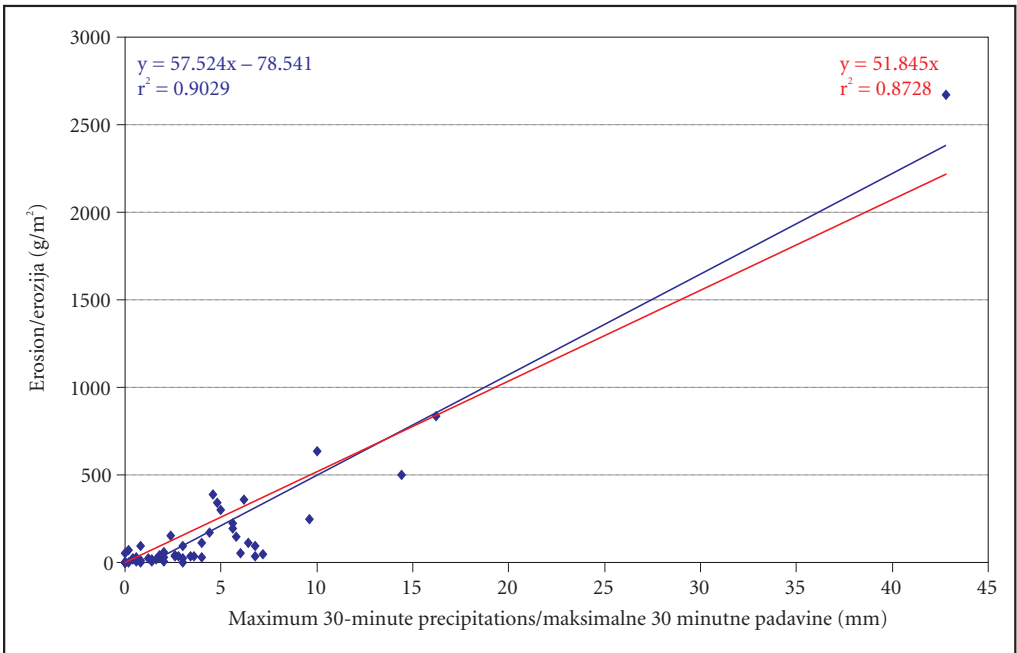


Figure 23: Average of erosion plots 1 and 2 – correlation between soil erosion and maximum 30-minute precipitations ($r = 0.9502$).

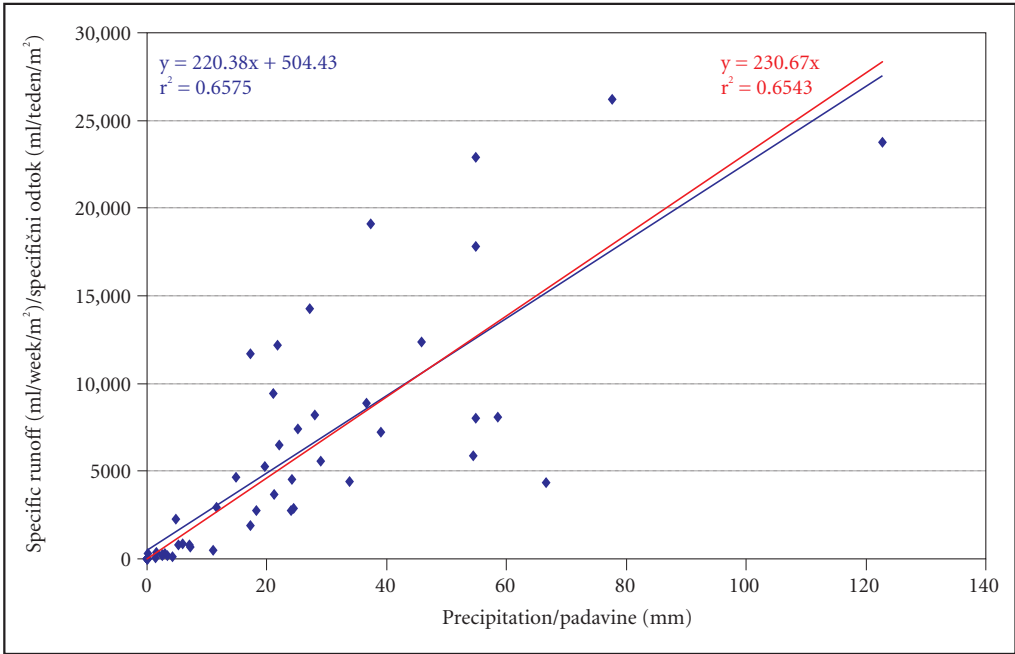


Figure 24: Average of erosion plots 1 and 2 – correlation between surface runoff and quantity of precipitation ($r = 0.8108$).

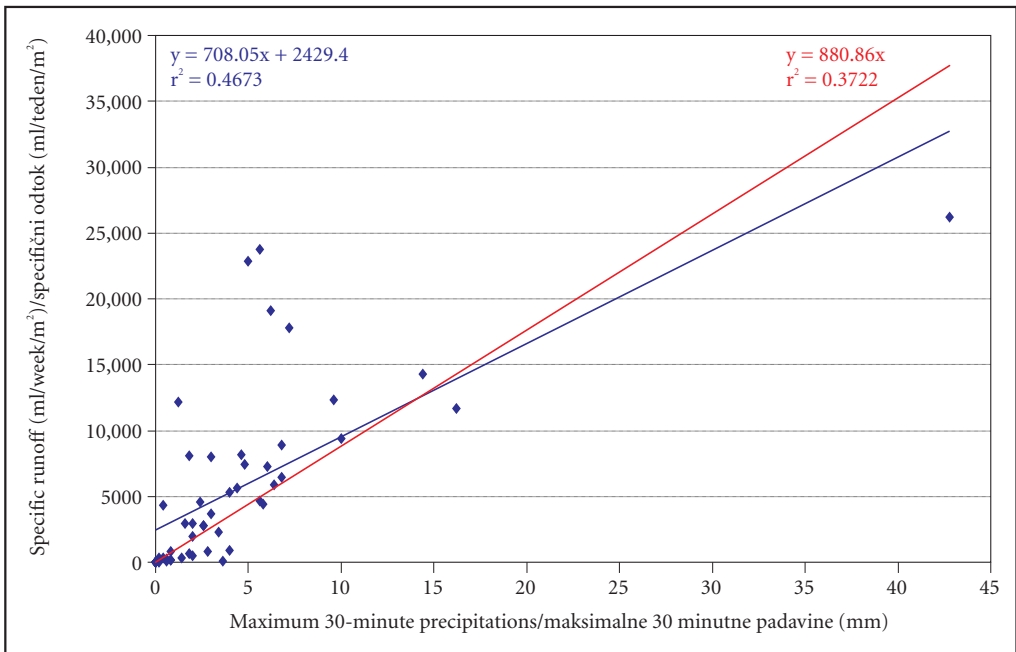


Figure 25: Average of erosion plots 1 and 2 – correlation between surface runoff and maximum 30-minute precipitations ($r = 0.6836$).

amount of precipitation indicates only a low positive statistical correlation (Figure 22), which proves that for studies of soil erosion on this type of land use, the intensity of precipitation is more important than its quantity (Table 11).

Just the opposite applies for surface runoff on bare soil. Here the quantity of precipitation indicates a high positive statistical correlation with the runoff (Figure 24), and the parameters of precipitation intensity indicate only a moderate positive statistical correlation (Figure 25).

For erosion on meadows, the quantity of precipitation is more important than its intensity. The quantity of precipitation indicates a high positive statistical correlation, while parameters of its intensity indicate a moderate positive statistical correlation; only the erosivity of precipitation almost approaches a high correlation. A similar pattern applies for surface runoff except that the correlation with the quantity of precipitation is somewhat higher and the correlation with precipitation intensity is somewhat lower while only a low positive statistical correlation appears between 10-minute maximum precipitations and the erosivity of precipitation.

For determining statistical correlations between weather parameters and soil erosion or surface runoff in forest we used an additional precipitation parameter termed »forest precipitation.« We decided to use

Table 11: Changing of Pearson's Correlation Coefficients between soil erosion or surface runoff and weather parameters by different types of land use based on weekly data (* calculated according to Ogrin 1995, 166).

Correlation between (1) Soil erosion/ (2) Surface runoff and ...	Pearson's Correlation Coefficient (r)			
	Average of erosion plots 1 and 2	Average of erosion plots 3 and 4	Average of erosion plots 5 and 6	Average of erosion plots 7 and 8
(1) amount of precipitation	0.3871	0.7821	0.5815	0.4715
(1) forest precipitation	–	–	0.6604	0.5281
(1) maximum 10-minute precipitations	0.9165	0.5103	0.7416	0.2283
(1) maximum 30-minute precipitations	0.9502	0.5397	0.8068	0.2847
(1) maximum 60-minute precipitations	0.9176	0.6002	0.7994	0.3489
(1) average 10-minute precipitations	0.6599	0.3899	0.4902	0.1481
(1) erosivity of precipitation	0.9375	0.6964	0.8572	0.2843
(1) maximum day temperature	0.2868	–0.0120	0.2061	–0.2394
(1) average maximum day temperature	0.3056	–0.0186	0.2239	–0.2133
(1) minimum day temperature	0.2681	0.0645	0.2110	–0.1369
(1) average minimum day temperature	0.2819	0.0672	0.2203	–0.1024
(1) number of days with negative temperatures	–0.1308	–0.0881	–0.0208	–0.0079
(1) *corrected average minimum day temperatures	0.2819	0.0672	0.2203	–0.1024
(1) *corrected number of days with negative temperatures	–0.1764	–0.0823	–0.0938	0.0518
(1) average wind speed	–0.0479	–0.0869	–0.1153	–0.2121
(1) maximum wind gusts	0.0607	0.0977	–0.0450	–0.1294
(1) average maximum wind gusts	–0.0099	0.1068	–0.1131	–0.1844
(1) Surface runoff	0.6173	0.7438	0.4301	0.6679
(2) amount of precipitation	0.8108	0.8332	0.6725	0.8438
(2) forest precipitation	–	–	0.7008	0.8499
(2) maximum 10-minute precipitations	0.6880	0.3457	0.3961	0.2508
(2) maximum 30-minute precipitations	0.6836	0.4285	0.4531	0.2967
(2) maximum 60-minute precipitations	0.7144	0.5107	0.5108	0.3825
(2) average 10-minute precipitations	0.4832	0.1703	0.2680	0.1222
(2) erosivity of precipitation	0.5996	0.3083	0.3030	0.2347
(2) maximum day temperature	0.0874	–0.1483	–0.0583	–0.2434
(2) average maximum day temperature	0.1067	–0.1550	–0.0334	–0.2296
(2) minimum day temperature	0.1347	–0.0407	0.0065	–0.2089
(2) average minimum day temperature	0.1668	–0.0436	0.0228	–0.1446
(2) number of days with negative temperatures	–0.1450	–0.0178	0.0341	–0.0451
(2) *corrected average minimum day temperatures	0.1668	–0.0436	0.0228	–0.1446
(2) *corrected number of days with negative temperatures	–0.1587	0.0081	0.0708	0.0881
(2) average wind speed	–0.1327	–0.0616	–0.0916	–0.1688
(2) maximum wind gusts	–0.0266	0.0735	–0.0494	–0.0772
(2) average maximum wind gusts	–0.0069	0.0342	–0.0930	–0.0436

this parameter because the rain gauge was set up in the open and we were interested in the amount of precipitation that actually lands on the ground due to its interception by the canopies. To calculate these precipitations we referred to the work of Šraj (2003, 55), who determined the interception of precipitation in the Dragonja River basin. The correlations indicated that forest precipitation showed a slightly higher positive statistical correlation with erosion than the quantity of precipitation measured in the open. Both correlations are moderate. The difference in surface runoff is smaller (in the forest with a larger inclination it is insignificant); the correlation is high positive.

Our correlations between erosion and surface runoff are moderately positive in all land use areas, while others established also high positive correlations (Vacca et al. 2000, 84). Vacca et al. (2000, 84) also similarly observed that the »*correlation coefficient between rainfall and runoff is higher than that between rainfall and erosion*«.

Table 11 presents the changing of Pearson's Correlation Coefficients between soil erosion or surface runoff and the same independent variable according to different land use areas. Evident is that relative to erosion, precipitation intensity is more important on bare soil and in the forest with a smaller inclination while the quantity of precipitation is more important on the meadow and in the forest with a larger inclination. For runoff the quantity of precipitation is more important than its intensity on all land use areas.

The changing of Pearson's Correlation Coefficient with the generalization of measurements by months and seasons for several selected precipitation parameters is presented in Table 12. The statistical correlation of the amount of precipitation with soil erosion by months is higher than weekly correlation on bare soil and in forest, and in the forest with a larger inclination it further increases on the season scale. On bare soil the correlation is moderate positive on the month scale, while on the season scale it resembles the week scale and is low positive. In the forest with a smaller inclination the correlation by months rises to high positive, and on the season scale it resembles the week scale and is moderate positive, which also applies for the forest precipitation. In the forest with a larger inclination the correlation increases continuously from a moderate correlation by weeks to a high positive correlation by months and seasons, and the same applies for the forest precipitation. In contrast, on the meadow the correlation continuously decreases with the generalization of data and is almost negligible on the season scale.

Table 12: Changing of Pearson's Correlation Coefficient by different types of land use on the basis of monthly and seasonal data.

Correlation between (1) Soil erosion/ (2) Surface runoff and ...	Pearson's Correlation Coefficient (r) by months				Pearson's Correlation Coefficient (r) by seasons			
	Average of erosion plots 1 and 2	Average of erosion plots 3 and 4	Average of erosion plots 5 and 6	Average of erosion plots 7 and 8	Average of erosion plots 1 and 2	Average of erosion plots 3 and 4	Average of erosion plots 5 and 6	Average of erosion plots 7 and 8
(1) amount of precipitation	0.6085	0.6372	0.7342	0.6132	0.3059	0.0476	0.5558	0.7062
(1) forest precipitation			0.8010	0.6296			0.6712	0.7093
(1) erosivity of precipitation	0.9542	0.8834	0.9489	0.2954	0.9901	0.9184	0.9845	-0.1849
(1) Surface runoff	0.8635	-0.1087	0.6952	0.7642	0.7470	-0.5790	0.6793	0.9261
(2) amount of precipitation	0.8268	-0.0329	0.6686	0.8654	0.7696	0.6093	0.6178	0.8387
(2) forest precipitation			0.7132	0.8362			0.8008	0.7573
(2) erosivity of precipitation	0.8929	-0.2228	0.7951	0.4351	0.8309	-0.3326	0.5591	-0.1249

The correlation between soil erosion and erosivity of precipitation on bare soil increases with the generalization of data and remains very high positive. It also increases on the meadow, changing from moderate on the week scale through high on the month scale to very high on the season scale. For erosion, the erosivity of precipitation on the month scale as well as on the season scale is more important than the amount of precipitation on bare soil and in the forest. It is also of greater importance in the forest with a smaller inclination where it rises from high positive on the week scale to very high positive on the month and season scales. With erosivity, we observed only a low positive correlation in the forest with a larger inclination on the week scale, it remains approximately the same on the month scale, and on the season scale it becomes insignificant and even negative. We can therefore conclude that erosivity of precipitation is not an appropriate parameter for soil erosion only in the forest with a larger inclination. It is interesting that in such a forest there is almost no difference in the correlation between the »amount of precipitation« and »forest precipitation« and erosion, and in the forest with a smaller inclination the differences remain similar and in favour of forest precipitation on all time period scales.

On the month scale, the correlation between erosion and surface runoff on bare soil increases from moderate to high positive, and despite a slight decrease, it remains high on the season scale as well. In contrast, on the meadow it decreases from high positive on the week scale to insignificant and even negative on the month scale, while on the season scale the negative correlation changes to moderate. The correlation between erosion and surface runoff in forest increases with the generalization of data: in the forest with a smaller inclination the correlation changes from moderate to almost high, and in the forest with a larger inclination from high to very high.

With the generalization of data, the correlation of surface runoff with the erosivity of precipitation on bare soil is somewhat higher than its correlation with the amount of precipitation, since it increases from moderate on the week scale to almost very high on the month scale or high on the season scale. The correlation with the amount of precipitation on the week and month scales is almost the same, and while it decreases slightly on the season scale it remains high positive.

With the generalization of data, the correlation between the amount of precipitation and surface runoff in forest remains high positive in the forest with a larger inclination, as well as for forest precipitation in the forest with a smaller inclination. With forest precipitation in the forest with a smaller inclination, the correlation remains moderate positive.

The erosivity of precipitation is important for surface runoff in the forest with a smaller inclination on the month scale because it increases from low on the week scale to a high positive correlation, and despite a decrease on the season scale it remains moderate positive. In the forest with a larger inclination the correlation increases on the month scale from low to moderate positive, and decreases on the season scale to insignificant and negative.

Similar statistical analyses were performed in Spain by Dunj6, Pardini, and Gispert (2004).

4 Rill erosion

Major and particularly extreme precipitation events usually mean larger quantities of erosion material. According to Larson, Lindstrom, and Schumacher (1997, 90), losses of soil are usually related to a number of severe storms and therefore they also express doubts about the applicability of the USLE and RUSLE (Petkovšek 2000) erosion models in taking anti-erosion measures. Such models predict average erosion on the basis of long-term average weather conditions, leaving the land vulnerable to serious soil erosion during severe storms.

With short-term measurements like ours, measuring the erosion caused by major precipitation events is often impossible because it is necessary to »capture« such events. Boardman and Favis-Mortlock (1999) point out that even ten-year measurements do not capture major events and fail as well to include minor events where the threshold is lower than the accuracy of the measurement technique employed.

The chapter employs the term »rill erosion,« although we could also use the term »ephemeral gully erosion«: »*Ephemeral gullies [rills] are small channels eroded by concentrated overland flow that can be easily filled by normal tillage, only to form again in the same location by additional runoff events*« (Poesen et al. 2006, 518).

During our measuring period, after intensive precipitation on August 11, 2005, a system of erosion rills developed over the entire surface area of the olive grove where erosion plots 1 and 2 were constructed. A similar system of erosion rills occurred a year later as well (4.8.2006). In both cases we were able to quantify the amount of eroded material because we knew the zero state: ploughed olive grove without erosion rills.

We measured the erosion rills using detailed geomorphological mapping by measuring the cross section of the rills at equal distances. We calculated the volume of the rill between two cross sections and acquired the total volume by summing up all the volumes according to the following equation (Casalí et al. 2006, 130):

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = \sum_{i=1}^n \frac{(A_{i-1} + A_i)}{2} \cdot s$$

where V = quantity (volume) of eroded material, n = number of measurements (volumes), V_i = quantity (volume) of eroded material between two cross sections, A_{i-1} = downstream cross section, A_i = upstream cross section, and s = distance between two cross sections.

We used a tape measure to measure the length of erosion rills and a ruler to measure cross sections. We generalized cross sections into rectangles and measured them every ten meters. Casalí et al. (2006, 137) write that for a large number of cross sections we can anticipate »*error values much higher than 10%.*«

Table 13: Data on the olive grove and two erosive precipitation events (11. 8. 2005 and 4. 8. 2006).

Surface area of olive grove (ha)	0.3
Average inclination of olive grove (°)	6.1
Aspect of olive grove, azimuth (°)	185
Precipitation – 11. 8. 2005	Maximum 30-minute precipitation: 42.8 mm Total daily precipitation: 46.8 mm Daily erosivity of precipitation: $1,110.5 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ Total weekly precipitation (5–12. 8. 2005): 77.6 mm Weekly erosivity of precipitation (5–12. 8. 2005): $1,235.91 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
Precipitation – 4. 8. 2006	Maximum 30-minute precipitation: 13 mm Total daily precipitation: 73.8 mm Total weekly precipitation (1–7. 8. 2006): 98.8 mm

Table 14: Basic data on erosion rills that occurred during intensive precipitation on 11. 8. 2005 and 4. 8. 2006.

Date of erosive event	11. 8. 2005	4. 8. 2006
Total length of rills (m)	869.00	600.20
Average width of rills (m)	0.41	0.27
Average depth of rills (m)	0.24	0.10
Total volume of rills (m ³)	84.09	16.28
Total mass of eroded material (kg)	88,798.33	17,1920.37
Eroded material (kg/m ²)	29.78	5.77
Eroded material (t/ha)	297.83	57.66



MATIJA ZORN, 12. 8. 2005

Figure 26: Erosion rills that occurred during intensive precipitation on 11. 8. 2005.

Table 15: Comparison of interrill and rill erosion during intensive precipitation on 11. 8. 2005 and 4. 8. 2006.

Precipitation period	5–12. 8. 2005	11. 8. 2005	1–7. 8. 2005	4. 8. 2006
erosion	Interrill erosion	Rill erosion	Interrill erosion	Rill erosion
Eroded material (kg/m ²)	2.67	29.78	2.09	5.77
Eroded material (t/ha)	26.73	297.83	20.87	57.66
Total (interrill + rill erosion)	32.45 kg/m ² or 324.56 t/ha		7.85 kg/m ² or 78.53 t/ha	
Proportion (%) relative to total erosion	8.24	91.76	26.57	73.43

In our measurements the proportion of rill erosion relative to the total of rill and interrill erosion was just over 90% in the first and just under 75% in the second precipitation event. The average of both proportions roughly matches the findings of Govers and Poesen (1988), who reviewed the literature and concluded that only about 20% of erosion is interrill erosion (Boardman 2006, 75). Poesen and Hooke reach a similar conclusion (1997, 172).

The total (rill and interrill) erosion amounted to 32.45 kg/m² (325.56 t/ha) in the week of 5–12. 8. 2005, and 7.85 kg/m² (78.53 t/ha) in the week of 1–7. 8. 2006.

5 Wind erosion

Wind erosion or the erosion of material due to the action of wind occurs on dry soil (Skidmore 1994, 265), for example, where large bare surfaces are exposed to the wind after ploughing. It is influenced by similar factors as for water soil erosion: soil properties (texture, moisture, and structure in particular), climate conditions, relief, and land use (Lovrenčak 1994, 165). The main difference between water and wind erosion is that for water erosion the course of runoff and the borders of the eroded area are known, while for wind erosion the area of the source of eroded material is more difficult to determine because the direction of the wind can change (Stroosnijder 2005, 164).

Soils with a large amount of silt and fine sand particles are particularly subject to wind erosion. Coarse sand particles are too heavy so it is difficult if not impossible for the wind to carry them, while clayey particles are bound in cohesive structures and are therefore more resistant to erosion. Susceptibility to erosion is also related to the proportion of moisture in the soil (moist soil is not eroded by the wind) as well as



Figure 27: In the Vipava Valley, wheat was protected from the bora by boards. In November 1993 (Kovač 1994, 92) the bora removed soil that was not protected by boards.

to the size of structural clusters (larger structural clusters are more resistant to wind erosion). The proportion of moisture in the soil, for example, decreases when dry winds such as the bora in Slovene Istria blow (Lovrenčak 1994). Fine relief dissection and vegetation can substantially reduce it. Forests provide almost perfect protection, while agricultural cultivation can greatly increase the possibility of erosion, especially during fallow periods.

According to Poesen and Hooke (1997, 160), wind erosion does not present a major problem in Europe's Mediterranean region because it is limited to sandy soils along the coastline and the deltas of major water-courses such as the Po and Rhone rivers.

Jugo (1957, 16) writes that among the winds in the area of the former Yugoslavia, »*the bora is primarily responsible for erosion activity.*« In February 1954 its erosive effects were observed in the hinterland of Koper in Slovene Istria. In places, the bora blowing at a speed of 23.7 m/s removed as much as ten centimeters of soil, in some places right to the roots of grapevines. Due to the strong wind erosion, in the past land in leeward sites in particular was cultivated while pastures and forests dominated on windward sites (Malovrh 1955, 51–52, 55).

Using erosion plots 1 and 2 employed for measuring interrill erosion, we managed to quantify the wind soil erosion in the week between 18. 11. 2005 and 24. 11. 2005 when Koper recorded a maximum daily wind speed of 24 m/s (23. 8. 2005) and its average weekly maximum daily speed reached 13.5 m/s (Environmental Agency of the Republic of Slovenia 2006). There was no precipitation during this week. The last precipitation (2 mm) occurred on 17. 11. 2005, and 3.4 mm fell in the week of 10–18. 11. 2005. During the week studied, the bora completely dried the upper parts of the soil in the olive grove, which is not protected by a vegetation cover. Another factor favouring wind erosion was that the daily temperatures during the week studied oscillated above and below freezing, which additionally loosened the soil. Material blown away was captured in the funnel of the erosion plot.

Our measurement has several methodological shortcomings since the erosion plots were built for another purpose. The erosion plots are protected up to 20 cm high on all sides against influences from the surrounding area and therefore the metal fencing around the erosion plots stopped the strongest wind gusts directly at ground level. It is also possible that the wind deposited some of the eroded material in the funnel from the surrounding area and blew some material away from the erosion plots.

Table 16: Wind erosion in the olive grove in the week between 18. 11. 2005 and 24. 11. 2005.

Unit	Material eroded from erosion plot			Material eroded from entire olive grove		
	Erosion plot 1	Erosion plot 2	Average of erosion plots 1 and 2	Based on erosion plot 1 (kg)	Based on erosion plot 2 (kg)	Based on average of both erosion plots (kg)
g/m ²	75.31	53.24	64.28	224.54	158.74	191.64
kg/ha	753.10	532.40	642.75			

On average, 64.28 g of material was eroded from one square meter in the week between 18. 11. 2005 and 24. 11. 2005. For interrill erosion a similar erosion of material occurred in the olive grove with a 2.1 to 2.5-fold weekly return period, for example, in the week before 16. 9. 2005 when the erosion totaled 61.70 g/m² and 11 mm of precipitation fell along with 2 mm of maximum 30-minute precipitation or in the following week (22. 9. 2005) when erosion totaled 92.70 g/m² with 21.2 mm of precipitation along with 3 mm of maximum 30-minute precipitation.

6 Conclusion

»*In Slovenia, the soil erosion is relatively little studied*« observed the assessment of the implementation of the United Nation's Convention on Soil Degradation in Slovenia (Ocena ... 2005). The majority of Slovenia's national publications dealing with soil certainly mention soil erosion but usually no more than that (Okolje ... 1996). In places soil loss is only mentioned in relation to urbanization (Poročilo ... 2002), and elsewhere it is described as »*overall small and even decreasing*« as a consequence of greening and afforestation (Okolje ... 2003a) or due to »*the abandoning of cultivation in vineyards (permanent green cover), changes in land use (meadows), or the abandoning of agricultural land use on a very steep relief*« (Okolje ... 2003b).

This is certainly true, but on the other hand researchers of climate change predict further increases in soil erosion as a consequence of more intensive precipitation (Kajfež-Bogataj 2005, 32).

In contrast, European Union publications attribute great importance to soil erosion: »*In Europe, soil degradation and erosion is probably the most significant environmental problem caused by conventional agriculture, seriously affecting close to 157 m ha (16% of Europe) ... In the Mediterranean regions, soil erosion is highly pronounced and may affect up to 50 to 70% of agricultural land ... Erosion has a major economic impact on the agricultural land concerned, but also on local public infrastructure because of the cost of maintaining water systems and water treatment*« (Agriculture ... 2009, II/218). According to Cerdan et al. (2006), the rate of soil erosion in Europe is around 1 t/ha/year or 1.6 t/ha/year on more erodible areas.

For some, soil erosion is even »*as big a problem as global warming*« (Randorf 2004), and its researchers themselves admit that even though it is »*one of the most important ... of today's environmental problems,*« it is »*probably the least well-known*« (Soil ... 2005).

That soil erosion in Slovenia is not negligible and requires greater attention is proven by the presented findings from Slovene Istria. All of our measurements (regardless of land use) exceed European averages in spite of the fact that we only measured interrill erosion while Cerdan et al. (2006) stated the total rill and interrill erosion. Interrill erosion in Slovene Istria totals 90 t/ha/year on bare soil and greatly exceeds the European average for the Mediterranean part of Europe where the total erosion is estimated to be around 32 t/ha/year. A similar situation applies for meadows (1.68 t/ha/year of interrill erosion in Slovene Istria versus 0.42 t/ha/year for the total soil erosion in the Mediterranean part of Europe) and forest (around 4 t/ha/year of interrill erosion in Slovene Istria versus 0.15 t/ha/year of the total soil erosion in the Mediterranean part of Europe).

7 References

- Bizjak, A. 2003: Sintezni postopek ocenjevanja hidromorfološkega stanja rečnih koridorjev, razvit z analizo stanja na reki Dragonji. Doktorsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Boardman, J. 2006: Soil erosion science: Reflections on the limitation of current approaches. *Catena* 68, 2–3. Amsterdam. doi: 10.1016/j.catena.2006.03.007
- Boardman, J., Favis-Martlock, D. 1999: Frequency-magnitude distributions for soil erosion, runoff and rainfall – a comparative analysis. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband* 115. Stuttgart.
- Boix-Fayos, C., Martínez-Mena, M., Calvo-Cases, A., Arnau-Rosalén, E., Albaladejo, J., Castillo, V. 2007: Causes and underlying processes of measurement variability in field erosion plots in Mediterranean conditions. *Earth Surface Processes and Landforms* 32-1. Chichester. doi: 10.1002/esp.1382
- Casali, J., Loizu, J., Campo, M. A., De Santisteban, L. M., Álvarez-Mozos, J. 2006: Accuracy of methods for field assessment of rill and ephemeral erosion. *Catena* 67-2. Amsterdam. doi: 10.1016/j.catena.2006.03.005
- Cerdan, O., Poesen, J., Govers, G., Saby, N., Le Bissonnais, Y., Gobin, A., Vacca, A., Quinton, J., Auerswald, K., Klik, A., Kwaad, F. F. P. M., Roxo, M. J. 2006: Sheet and rill erosion. *Soil Erosion in Europe*. Chichester. doi: 10.1002/0470859202.ch38
- Cox, N. J. 1990: Hillslope profiles. *Geomorphological Techniques*. London.
- Dunjó, G., Pardini, G., Gispert, M. 2003: Land use change effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment, NE Spain. *Catena* 52-1. Amsterdam. doi: 10.1016/S0341-8162(02)00148-0
- Dunjó, G., Pardini, G., Gispert, M. 2004: The role of land use-land cover on runoff generation and sediment yield at microplot scale, in a small Mediterranean catchment. *Journal of Arid Environments* 57-2. London. doi: 10.1016/S0140-1963(03)00097-1
- Globevnik, L. 2001: Celosten pristop k urejanju voda v povodjih. Doktorsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Govers, G., Poesen, J. 1988: Assessment of the interrill and rill contributions to total soil loss from an upland field plot. *Geomorphology* 1–4. Amsterdam. doi: 10.1016/0169-555X(88)90006-2
- Hrvatini, M., Komac, B., Perko, D., Zorn, M. 2006: Slovenia. *Soil Erosion in Europe*. Chichester. doi: 10.1002/0470859202.ch25

- Hrvatini, M., Perko, D., Petek, F. 2006: Land use in selected erosion-risk areas of Tertiary low hills in Slovenia. *Acta geographica Slovenica* 46-1. Ljubljana. doi: 10.3986/AGS46103
- Jež, L. 1956/57: Pojavi erozije v obmorski slovenski Istri. *Proteus* 19, 4–5. Ljubljana.
- Jugo, B. 1957: Uticaj klime na eroziju zemljišta. Naučne osnove borbe protiv erozije: prvo svetovanje. Beograd.
- Kajfež-Bogataj, L. 2005: Podnebne spremembe in ranljivost kmetijstva. *Acta agriculturae Slovenica* 85-1. Ljubljana.
- Keesstra, S. D. 2006: The effects of natural reforestation on the hydrology, river morphology and sediment budget of the Dragonja river SW Slovenia. Doktorsko delo. Faculteit der Aard- en Levenswetenschappen, Vrije Universiteit. Amsterdam.
- Kmetijstvo in razvoj podeželja. Uradni list Evropske unije 52/L 69 (13. 3. 2009). Internet: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:069:0738:0744:SL:PDF> (18. 4. 2009).
- Agriculture and rural development. Official Journal of the European Union 52/L 69 (13. 3. 2009). Internet: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:069:0738:0744:EN:PDF> (18. 4. 2009).
- Kokole, V. 1956: Morfologija Šavrinskega gričevja in njegovega obrobja. *Geografski zbornik* 4. Ljubljana.
- Komac, B. 2006: Dolec kot značilna oblika dolomitnega površja. *Geografija Slovenije* 13. Ljubljana.
- Komac, B., Zorn, M. 2005: Soil erosion on agricultural land in Slovenia – measurements of rill erosion in the Besnica valley. *Acta geographica Slovenica* 45-1. Ljubljana. doi: 10.3986/AGS45103
- Kovač, M. 1994: Vremenska ujma na Vipavskem 6. 9. leta 394 in 10. 9. 1953. *Ujma* 8. Ljubljana.
- Lal, R., Elliot, W. 1994: Erodibility and erosivity. *Soil Erosion Research Methods*. Delray Beach.
- Larson, W. E., Lindstrom, M. J., Schumacher, T. E. 1997: The role of severe storms in soil erosion: a problem needing consideration. *Journal of Soil and Water Conservation* 52-2. Ankeny.
- Lovrenčak, F. 1994: *Pedogeografija*. Ljubljana.
- Malovrh, V. 1955: Mikrometeorološka opazovanja vetra v Črnem Kalu. Letno poročilo meteorološke službe za leto 1955. Hidrometeorološki zavod LR Slovenije. Ljubljana.
- Melik, A. 1960: *Slovensko primorje*. Ljubljana.
- Miko, M. 2006: Analiza erozije prsti na poskusnih ploskvah v povodju Dragonje. Diplomsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Natek, K. 1990: Erozijska v porečju Dragonje. Primorje: Zbornik 15. zborovanja slovenskih geografov. Ljubljana.
- Navodila za laboratorijske vaje. Inštitut za zdravstveno hidrotehniko Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana, 2003.
- Ocena izvajanja Konvencije Združenih narodov o degradaciji tal v Sloveniji. Ljubljana, Regionalni center za okolje, 2005. Internet: http://www.rec-lj.si/projekti/NCSA/Dokumenti/NCSA_DT.pdf (10. 11. 2007).
- Okolje v Sloveniji 1996: poročilo o stanju okolja: Erozijska tal. Ljubljana, za okolje in prostor, Uprava RS za varstvo narave, 1996. Internet: <http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%C4%8Dila/poro%C4%8Dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/008f.pdf> (25. 9. 2008).
- Okolje v Sloveniji 2002: Kmetijstvo, gozdarstvo, lov in ribolov. Ljubljana, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, oktober, 2003a. Internet: http://nfp-si.eionet.europa.eu/publikacije/Datoteke/POS%202002/4_1%20Kmetijstvo.doc (25. 9. 2008).
- Okolje v Sloveniji 2002: Tla. Ljubljana, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, oktober, 2003b. Internet: http://nfp-si.eionet.europa.eu/publikacije/Datoteke/POS%202002/2_3%20Tla.doc (25. 9. 2008).
- Ollsch, G., Vacca, A. 2002: Influence of time on measurement results of erosion plot studies. *Soil and Tillage Research* 67-1. New York. doi: 10.1016/S0167-1987(02)00029-6
- Paulič, V. 1971: Erozijska tal in hudourniki: Dragonja v slovenski Istri. Diplomsko delo. Oddelek za gozdarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Petkovšek, G. 2000: Process based soil erosion modelling. *Acta hydrotechnica* 18–28. Ljubljana.
- Petkovšek, G. 2002: Kvantifikacija in modeliranje erozije tal z aplikacijo na povodju Dragonje. Doktorsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Petkovšek, G., Mikoš, M. 2004: Estimating the R factor from daily rainfall data in the sub-Mediterranean climate of southwest Slovenia. *Hydrological Sciences Journal* 49-5. Oxford. doi: 10.1623/hysj.49.5.869.55134
- Petraš, J., Holjević, D., Kunštek, D. 2007: Measurements of soil erosion production on the investigation plots »Abrami« on flysch in central Istria (Croatia). Proceedings: 10th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Zagreb.

- Placer, L. 2005a: Nekateri posebnosti hidrografske mreže v slovenski Istri. *Geološki zbornik* 18. Ljubljana.
- Placer, L. 2005b: Strukturne posebnosti severne Istre. *Geologija* 48-2. Ljubljana.
- 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. W., Torri, D., Bunte, K. 1994: Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review. *Catena* 23, 1–2. Amsterdam. doi: 10.1016/0341-8162(94)90058-2
- Poesen, J., Vanwalleghem, 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
- Poročilo o stanju okolja 2001/02: Tla. Ljubljana, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, 2002. Internet: <http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%c4%8dila/poro%c4%8dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/tla.pdf> (25. 9. 2008).
- Randorf, T. 2004: Soil erosion as a big a problem as global warming, say scientists. *The Guardian International*, 14. 2. 2004. Internet: <http://www.guardian.co.uk/international/story/0,3604,1148009,00.html> (9. 3. 2007).
- Rula, B. 1972: Prilog istraživanju intenziteta erozije na demonstracionoj površini »Abrami« kot Buzeta u Istri. *Vodoprivreda* 4, 15–16. Beograd.
- Schumm, S. 1977: *The fluvial system*. New York.
- Skidmore, E. L. 1994: Wind erosion. *Soil Erosion Research Methods*. Delray Beach.
- Soil Erosion Site. 2005. Medmrežje: <http://soilerosion.net/> (9. 3. 2007).
- Staut, M. 2004: Recentni erozijski procesi v porečju Dragonje. Diplomsko delo. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Stroosnijder, L. 2005: Measurement of erosion: Is it possible. *Catena* 64, 2–3. Amsterdam. doi: 10.1016/j.catena.2005.08.004
- Šifer, M. 1965: Nova geomorfološka dognanja v Koprskem primorju. *Geografski zbornik* 9. Ljubljana.
- Šifer, M. 1997: Površje Slovenije. Elaborat. Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Ljubljana.
- Tol, van der C. 2006: Climatic constraints on carbon assimilation and transpiration of sub-Mediterranean forests. Doktorsko delo. Faculteit der Aard- en Levenswetenschappen, Vrije Universiteit. Amsterdam.
- Usón, A., Ramos, M. C. 2001: An improved rainfall erosivity index obtained from experimental interrill soil losses in soils with a Mediterranean climate. *Catena* 43-4. Amsterdam. doi: 10.1016/S0341-8162(00)00150-8
- Vacca, A., Loddo, S., Ollesch, G., Puddu, R., Serra, G., Tomasi, D., Aru, A. 2000: Measurement of runoff and soil erosion in tree areas under different land use in Sardinia (Italy). *Catena* 40-1. Amsterdam. doi: 10.1016/S0341-8162(00)00088-6
- Wraber, M. 1971: Das Flyschgebiet im slowenischen Istrien – ein Schauplatz der Erosions- und Wildbachtätigkeit. Grenzen und Möglichkeiten der Vorbeugung vor Unwetterkatastrophen im alpinen Raum. Symposium »Interpraevent 1971«. Klagenfurt.
- Young, A., Saunders, I. 1986: *Surface processes and denudation*. Hillslope Processes. Boston.
- Zorn, M. 2007a: Recentni geomorfni procesi na rečno-denucijskem reliefu na primeru porečja Dragonje. Doktorsko 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. Ljubljana.
- Zorn, M. 2009: Erosion processes in Slovene Istria – part 2: Badlands. *Acta geographica Slovenica* 49-2. Ljubljana. doi: 10.3986/AGS49201
- Zorn, M., Petan, S. 2007: Meritve medžlebične erozije na različnih rabah zemljišč v slovenski Istri. *Strategija varovanja tal v Sloveniji*. Ljubljana.
- Zorn, M., Petan, S. 2008: Interrill soil erosion on flysch soil under different land use in Slovene Istria. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 4. London. doi: 10.1088/1755-1307/4/1/012045

Erozijski procesi v slovenski Istri – 1. del: erozija prsti

DOI: 10.3986/AGS49102

UDK: 911.2:631.459(497.4Istra)

COBISS: 1.01

IZVLEČEK: V letih 2005 in 2006 so v porečju Dragonje potekale intenzivne meritve različnih erozijsko-denudacijskih procesov. Meritve so obsegale geomorfna dogajanja v erozijskih žariščih: umikanje strmih skalnih flišnih pobočij, premikanje flišnega drobirja po erozijskih jarkih in geomorfna dogajanja na meliščih. Hkrati so potekale tudi meritve erozije prsti na treh različnih rabah tal: goli prsti v oljčniku, na travniku v zaraščanju in v gozdu. Rezultate predstavljamo v dveh nadaljevanjih. V prvem delu predstavljamo meritve erozije prsti, v naslednji številki revije (49-2) pa bomo predstavili še geomorfna dogajanja v erozijskih žariščih.

Matična kamnina v slovenski Istri je esanski fliš, prevladujoča prst pa je karbonatna rendzina. Podnebno območje sodi v submediteransko podnebje.

Meritve erozije prsti so potekale na 1 m² velikih zaprtih erozijskih poljih južno od vasi Marezige. Razkrile so, da je večino celoletne erozije povzročilo le nekaj večjih erozijskih dogodkov. Od maja 2005 do aprila 2006 je površinsko spiranje na goli prsti v oljčniku z naklonom 5,5° znašalo 9013 g/m² (90 t/ha) ob povprečnem tedenskem deležu specifičnega odtoka 23 %, na travniku v zaraščanju z naklonom 9,4° 168 g/m² (1,68 t/ha) ob povprečnem tedenskem deležu specifičnega tedenskega odtoka 8 %, v gozdu z naklonom 7,8° 391 g/m² (3,91 t/ha) in v gozdu z naklonom 21,4° 415 g/m² (4,15 t/ha) ob povprečnem tedenskem deležu specifičnega tedenskega odtoka 6 % ne glede na naklon. Količina padavin v referenčnem letu je bila nekoliko manjša od dolgoletnega povprečja.

KLJUČNE BESEDE: geomorfologija, pedogeografija, geomorfni procesi, erozijski procesi, medžlebična erozija prsti, žlebična erozija prsti, Dragonja, Istra, Slovenija

Prispevek je prispel v uredništvo 26. septembra 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	71
2	Erozija prsti	71
3	Površinsko spiranje (medžlebična erozija)	71
3.1	Metodologija meritev	71
3.2	Tedenske meritve	74
3.3	Meritve po mesecih in letnih časih	79
3.4	Korelacija z vremenskimi vplivi	81
4	Žlebična erozija	84
5	Vetrna erozija	86
6	Sklep	87
7	Viri in literatura	87

1 Uvod

Leta 2005 smo v tej reviji (letnik 45, številka 1) podrobno predstavili preučevanje erozijskih procesov v Sloveniji, s poudarkom na eroziji prsti na kmetijskih zemljiščih (Komac in Zorn 2005). Prispevek je pokazal (glej tudi Hrvatin in ostali 2006; Hrvatin, Perko in Petek, 2006), da v Sloveniji močno primanjkuje meritev erozijskih procesov. To je bil tudi eden izmed povodov za podrobnejše raziskave erozijskih procesov (tudi erozije prsti) v naslednjih letih v slovenski Istri (Zorn 2007a; 2007b; 2008a; Zorn in Petan 2007; 2008).

V letih 2005 in 2006 smo v flišnem porečju Dragonje tedensko merili erozijo prsti in površinski vodni odtok na treh različnih rabah tal: na goli prsti v oljčniku, na travniku v zaraščanju in v gozdu. Poleg tega smo merili erozijske procese tudi v erozijskih žariščih: umikanje strmih skalnih flišnih pobočij (sproščanja flišnih kamnin iz golih sten), premikanje flišnega drobirja po erozijskih jarkih in geomorfna dogajanja na meliščih (glej naslednjo številko revije; Zorn 2009). Poleg tega smo mesečno merili še kemično denucadijo (Zorn 2007a; 2008a).

Slovensko Istro oziroma podrobneje porečje Dragonje smo za območje meritev izbrali, ker so na tem območju od konca 20. stoletja potekale nekatere intenzivne raziskave hidroloških in geomorfnihi procesov (na primer Globevnik 2001; Petkovšek 2002; Bizjak 2003; Šraj 2003; Staut 2004; Keesstra 2006; Miko 2006; Tol 2006). Navezali pa smo se lahko tudi na (starejše) morfogenetske študije (na primer Kokole 1956; Melik 1960; Šifrer 1965; 1997; Placer 2005a; 2005b) in na nekatera starejša dela o erozijskih procesih (na primer Jež 1956/57; Paulič 1971; Wraber 1971; Natek 1990). Skupna značilnost teh del je, da so bile meritve erozijskih procesov redke (na primer Petkovšek 2002; Keesstra 2006). Pogostejša je bila uporaba erozijskih modelov, še posebej za ugotavljanje erozije prsti (na primer Globevnik 2001; Petkovšek 2002; Staut 2004; Keesstra 2006; Miko 2006).

2 Eroziija prsti

Eroziija prsti je »... vsako odstranjevanje delcev prsti in preperine z naravnimi agensi, marsikje pospešeno zaradi delovanja človeka (goloseki, čezmerna pašna, nadelava, gradnja poti) in živali, ki je intenzivnejše od nastajanja prsti...« (Komac in Zorn 2005, 75; Zorn 2008a, 26). Merili smo pretežno vodno erozijo prsti, ki nastopi, ko intenzivnost padavin preseže infiltracijsko sposobnost podlage in nastane površinski odtok. Običajno poteka v treh stopnjah. Najprej se delci prsti zaradi kinetične energije dežnih kapljic ločijo od podlage, nato jih voda prenese v drugotno lego, kjer se po »zmanjšanju nosilne moči vode« nazadnje odložijo. Oblika in moč erozije sta odvisna od več dejavnikov: erozivnosti padavin oziroma erozivne moči vodnega toka, erodibilnosti prsti, naklona in dolžine pobočij, rastlinstva ter načina obdelovanja zemljišč (Lovrenčak 1994, 161–163). Vodno erozijo prsti delimo na površinsko spiranje (medžlebično erozijo; poglavje 3) in žlebično erozijo (poglavje 4).

3 Površinsko spiranje (medžlebična eroziija)

Površinsko spiranje (medžlebična eroziija) je posledica dežne erozije (erozije dežnih kapljic) in ploskovne erozije površinskega vodnega toka, preden se voda združi v curke in deluje globinsko. Proces brez stalnega merjenja težko opazimo in kvantificiramo, zato njegove učinke pogosto podcenjujemo.

3.1 Metodologija meritev

Površinsko spiranje smo merili v več kot leto dolgem obdobju (od konca marca 2005 do konca aprila 2006) z rednimi tedenskimi meritvami na zaprtih erozijskih poljih (Zorn 2007a; 2008a). Južno od vasi Marezi-ge v porečju Rokave (desni pritok Dragonje) smo postavili osem erozijskih polj na tri različne rabe tal: na golo prst v mladem oljčniku (2), na travnik v zaraščanju (2) in v gozd (4). V gozdu smo erozijo prsti merili na dveh različnih naklonih. Erozijska polja so bila velika 1 m², kar jih po velikostni delitvi erozijskih polj po Poesnu, Torriju in Bunteju (1994, 141) uvršča med mikro- (majhna) oziroma mezo- (srednje velika) erozijska polja.

Preglednica 1: Temeljni podatki o erozijskih poljih (* 8 tednov brez erozivnih padavin na poljih 3 in 4; 9 tednov brez erozivnih padavin na poljih 1, 2, 6 in 8; 10 tednov brez erozivnih padavin na poljih 5 in 7; dvakratno vzorčenje na 14 dni, ker so bile v času rednega tedenskega obiska padavine in nismo prekinjali erozivnega dogodka; ** do izpadov je prihajalo zaradi prevrnjene lovilne posode ali iztaknjene cevi, ki povezuje lijak z lovilno posodo; *** meritve naklonov smo opravili s pantometrom (Cox 1990, 94–95; Komac 2006, 33); **** velikost konstrukcije erozijskih polj je 1 m², ob umestitvi pa je bila površina zaradi težav pri umeščanju pločevinastega lijaka in zaradi naklona pobočij nekoliko zmanjšana; ¹ 57 tednov, ² 55 tednov, ³ 56 tednov, ⁴ 52 tednov.

raba tal	erozijsko polje	obdobje meritev	naklon***		površina polja**** m ²	Gauss-Krügerjeve koordinate polja	nadmorska višina m	ekspozicija azimut (°)	število uspešnih meritev*	izpad meritev** (število)
			(°)	povprečje (°)						
gola prst v oljčniku	1	24. 3. 2005– 26. 4. 2006 ¹	6,45	5,53	0,994	X 5406103 Y 5040005	175	185	42	4
	2	24. 3. 2005– 26. 4. 2006 ¹	4,60		0,997	X 5406108 Y 5040005	175	182	46	0
travnik v zaraščanju	3	7. 4. 2005– 26. 4. 2006 ²	9,25	9,35	0,987	X 5406103 Y 5040001	174	185	38	7
	4	7. 4. 2005– 26. 4. 2006 ²	9,45		0,986	X 5406104 Y 5039998	174	196	31	14
gozd	5	31. 3. 2005– 26. 4. 2006 ³	8,88	7,76	0,988	X 5406043 Y 5040019	175	230	36	8
	6	28. 4. 2005– 26. 4. 2006 ⁴	6,65		0,993	X 5406050 Y 5040010	175	200	35	6
	7	31. 3. 2005– 26. 4. 2006 ³	22,20	21,40	0,926	X 5406034 Y 5040023	173	270	43	1
	8	28. 4. 2005– 26. 4. 2006 ⁴	20,60		0,936	X 5406034 Y 5040020	173	285	41	0

Primerljive meritve na erozijskih poljih manjših od 1 m² (Dunjó, Pardini in Gispert 2003; 2004) in na erozijskih poljih enake velikosti (Usón in Ramos 2001, 293; Boix-Fayos in ostali 2007, 96) so na primer potekale v Španiji.

Konstruktivsko zasnovano erozijskih polj smo našli v članku Vacca in ostalih (2000, 75; tudi Ollesch in Vacca, 2002, 26), za način njihove umestitve v pokrajino pa smo se oprli na deli Lala in Elliota (1994, 188) ter Dunja, Pardinija in Gisperta (2004, 104). V veliko pomoč nam je bil ogled (12. 6. 2002) erozijskih polj v Abramih v hrvaški Istri (Rula 1972; Petraš, Holjević in Kunštek 2007; Zorn 2008b).

Erozijska polja so bila sestavljena iz treh pločevinastih plošč dolžine 1 m in višine 30 cm (ene zadaj in dveh ob straneh), ki so bile vkopane 10 cm globoko v preperino (enako globino navajata tudi Ollesch in Vacca 2002, 24), in pločevinastega lijaka (spredaj), od katerega je bil odtok speljan po plastični cevi v plastično (lovilno) posodo (30 l), vkopano v preperino. Tako lijak kot lovilna posoda sta bila pokrita, da ne bi zbirala padavinske vode. Pločevinaste plošče so bile med seboj pritrjene z vijaki, lijak pa je bil natak-njen na stranski plošči. Vsi pločevinasti deli erozijskega polja so bili vkopani v preperino, tako da je bilo polje ločeno od okolice.

Posode, v katere se je stekal odtok iz erozijskega polja, smo praznili enkrat na teden. V tem segmentu se naša metoda razlikuje od španske (Dunjó, Pardini in Gispert 2004, 242), po kateri so posode praznili po vsakem padavinskem dogodku. V tem je pomanjkljivost naše metode, saj je lahko v tednu dni tudi več padavinskih dogodkov.

Vsak teden smo z vsakega erozijskega polja pobrali po dva vzorca. Iz lovilnih posod smo pobrali vso mešanico vode in odplavljene prsti, iz pločevinastih lijakov pa suhe vzorce prsti, ki niso dosegli lovilnih posod. V laboratoriju smo izmerili količino vode v lovilnih posodah in dobili tedenski površinski odtok, ter iz celotnega vzorca vzeli reprezentativen manjši vzorec, ki smo ga dali analizirati v laboratorij Inštituta za zdravstveno hidrotehniko Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, kjer so po standardu DIN 38409-H2 ugotavljali količino suspendiranih (neraztopljenih) snovi v njem. Vzorce so sušili pri temperaturi od 103 do 105 °C (Navodila ... 2003, 5). Skupno količino erodirane prsti smo dobili s seštevkom skupne količine suspendiranega gradiva in gradiva, ujetega v pločevinastem lijaku, ki smo ga posušena stehali z elektronsko tehtnico.

V neposredno bližino erozijskih polj smo postavili dežemer s prekucnikom, ki je omogočal spremljanje količine in intenzitete padavin v posameznih padavinskih dogodkih.

Preglednica 2: Tekstura zgornjih 10 cm prsti na erozijskih poljih. Specifična masa prsti na flišu je 1,056 g/cm³.

erozijsko polje	tekstura (mednarodna klasifikacija)				teksturni razred prsti	vsebnost organskega ogljika (%)
	grobi pesek (%)	droben pesek (%)	glina (%)	melj (%)		
1 in 2	2,37	33,03	30,30	34,30	IG (ilovnata glina)	6,33
3 in 4	2,77	40,33	26,60	30,30	IG (ilovnata glina)	7,67
5 in 6	3,39	37,61	30,90	28,10	IG (ilovnata glina)	8,31
7 in 8	12,32	35,58	29,70	22,40		12,51

Slika 1: Erozijsko polje 1 na goli prsti v mladem oljčniku in površinski odtok, ki je bil ujet v lovilno posodo v tednu med 7. 4. in 13. 4. 2005. Odtok je prelit v posodo s prostornino 10 l.

Glej angleški del prispevka.

Slika 2: Erozijska polja 1 do 4; spredaj polje 4, za njim polje 3, zadaj levo polje 1 in zadaj desno polje 2.

Glej angleški del prispevka.

Slika 3: Erozijsko polje 5 v gozdu z manjšim naklonom; zadaj desno z rdečo puščico označeno erozijsko polje 6.

Glej angleški del prispevka.

Slika 4: Erozijsko polje 7 v gozdu z večjim naklonom.

Glej angleški del prispevka.

Slika 5: Listna površina nad erozijskim poljem 5 pred olistanjem.

Glej angleški del prispevka.

Slika 6: Listna površina nad erozijskim poljem 5 poleti.

Glej angleški del prispevka.

Slika 7: Listna površina nad erozijskim poljem 7 pred olistanjem.

Glej angleški del prispevka.

Slika 8: Listna površina nad erozijskim poljem 7 poleti.

Glej angleški del prispevka.

3.2 Tedenske meritve

Erozija prsti je bila daleč največja na goli prsti v oljčniku (slika 9). V drugi polovici merilnega obdobja ji sledi erozija prsti v gozdu z večjim naklonom, na tretjem mestu pa je gozd z manjšim naklonom, ki v prvi polovici merilnega obdobja izkazuje celo večjo erozijo, kot je bila izmerjena v gozdu z večjim naklonom. To je posledica dejstva, da je bilo pri večjem naklonu težje umestiti lijak erozijskega polja v preperino in smo zato v prvem obdobju meritev pod lijakom izgubili kar nekaj površinskega odtoka in odnesenega gradiva. Najmanj prsti je bilo erodirane na travniku v zaraščanju, kar glede na gostoto poraščenost znotraj polj ni presenečenje.

Slika 9: Primerjava tedenskih meritev erozije prsti na različnih rabah tal (*meritev dan pred običajnim rednim tedenskim merjenjem, **meritev dan po običajnem rednem tedenskem merjenju).

Glej angleški del prispevka.

Preglednica 3: Razmerja med erozijo prsti na različnih rabah tal. Izračunana so na podlagi povprečij polj 1 in 2, 3 in 4, 5 in 6 ter 7 in 8 za 24 tednov, ko so bile meritve uspešne na vseh rabah tal hkrati.

n = 24	gola prst v oljčniku	travnik v zaraščanju	gozd z manjšim naklonom	gozd z večjim naklonom
razmerje glede na golo prst	1,00	0,02	0,06	0,07
razmerje glede na travnik	65,27	1,00	4,04	4,64
razmerje glede na gozd z manjšim naklonom	16,16	0,25	1,00	1,15
razmerje glede na gozd z večjim naklonom	14,06	0,22	0,87	1,00

Povprečja na teden in skupne vrednosti za vseh 13 mesecev meritev ter za dve 12-mesečni obdobji so predstavljena v preglednicah 4 do 6. Vidimo, da se na goli prsti s površinskim spiranjem letno sprosti med 9 in skoraj 10 kg prsti/m², na travniku med 170 in 190 g/m², v gozdu z manjšim naklonom med 390 in 425 g/m² ter v gozdu z večjim naklonom med 415 in 496 g/m². Povprečni delež specifičnega tedenskega odtoka je na goli prsti okrog 23 %, na travniku okrog 8 % in v gozd ne glede na naklon dobrih 6 %.

Kljub kratkotrajnosti naših meritev se je pokazalo, da večji padavinski dogodki prispevajo velik delež k letnemu sproščanju gradiva. O vlogi izjemnih padavinskih dogodkov na erozijo prsti pišejo med drugimi Larson, Lindstrom in Schumacher (1997). Schumm (1977, 76–81) navaja, da imajo »velika neurja« večji erozijski pomen le, če presežejo prag (v smislu sistemske teorije), sicer je njihov vpliv na razvoj površja razmeroma majhen. Young in Saunders (1986, 18) pišeta, da se ob velikih padavinskih dogodkih površinsko spiranje poveča zlasti zaradi večjih dežnih kapljic, hitrejšega zmanjšanja infiltracijske sposobnosti, dviga talne vode in več kot linearnega povečanja erodiranega gradiva z odtokom.

Za površinsko spiranje nam vpliv večjih dogodkov ponazarjajo tortni grafikoni (slike 10–13), kjer zlasti na goli prsti in travniku izstopa meritev 12. 8. 2005. V vsem obdobju meritev so bile najbolj erozivne padavine v tednu med 5. in 12. 8. 2005 (tedenska erozivnost padavin je bila 1235,91 MJ · mm · ha⁻¹ · h⁻¹; 11. 8. 2005 so bile maksimalne 30-minutne padavine 42,8 mm, dnevna erozivnost padavin pa 1110,5 MJ · mm · ha⁻¹ · h⁻¹), katerih erozivnost je bila krepko nad avgustovsko povprečno mesečno vrednostjo (507,8 MJ · mm · ha⁻¹ · h⁻¹) za porečje Dragonje (Petkovšek in Mikoš 2004). Na goli prsti v oljčniku se je v tem tednu sprostilo do 30 % (slika 10), na travniku pa do 24 % (slika 11) celoletnega gradiva.

Zaradi popolne olistanosti dreves je bil delež odnesenega gradiva v tednu med 5. in 12. 8. 2005 v gozdu ustrezno manjši. V gozdu z manjšim naklonom (slika 12) je znašal 15 %, v gozdu z večjim naklonom (slika 13) pa delež erodiranega gradiva v tem tednu med ekstremi niti ne izstopa oziroma je celo manjši

Preglednica 4: Erozija prsti, zniževanje površja in delež specifičnega odtoka na erozijskih poljih 1 in 2, na goli prsti v olčniku.

	obdobje meritev	erozijsko polje 1				erozijsko polje 2				povprečje erozijskih polj 1 in 2			
		delež specifičnega odtoka	erozija prsti		zniževanje površja	delež specifičnega odtoka	erozija prsti		zniževanje površja	delež specifičnega odtoka	erozija prsti		zniževanje površja
			%	g/m ²			kg/ha	mm			%	g/m ²	
povprečno na teden (13 mesecev; 57 tednov)	24. 3. 2005–26. 4. 2006	21,10	176,26	1762,61	0,17	22,39	173,78	1737,81	0,16	22,57	173,32	1733,17	0,16
skupaj (13 mesecev; 57 tednov)	24. 3. 2005–26. 4. 2006	–	10.046,88	100.468,83	9,51	–	9905,50	99.054,95	9,38	–	9879,09	98.790,94	9,36
povprečno na teden (12 mesecev)	24. 3. 2005–23. 3. 2006	22,34	191,87	1918,68	0,18	23,51	189,38	1893,85	0,18	23,49	188,76	1887,59	0,18
skupaj (12 mesecev)	24. 3. 2005–23. 3. 2006	–	9977,12	99.771,18	9,45	–	9848,00	98.480,04	9,33	–	9815,47	98.154,66	9,29
povprečno na teden (12 mesecev)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	21,20	179,72	1797,25	0,17	22,67	170,68	1706,80	0,16	22,82	173,34	1733,35	0,16
skupaj (12 mesecev)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	–	9345,68	93.456,84	8,85	–	8875,37	88.753,68	8,40	–	9013,43	90.134,31	8,54

Preglednica 5: Erozija prsti, zniževanje površja in delež specifičnega odtoka na erozijskih poljih 3 in 4, na travniku v zaraščanju.

obdobje meritev	erozijsko polje 3				erozijsko polje 4			povprečje erozijskih polj 3 in 4					
	delež specifičnega odtoka	erozija prsti		zniževanje površja	delež specifičnega odtoka	erozija prsti		zniževanje površja	delež specifičnega odtoka	erozija prsti		zniževanje površja	
		%	g/m ²			kg/ha	mm			%	g/m ²		kg/ha
povprečno na teden (13 mesecev; 55 tednov)	31. 3. 2005–26. 4. 2006	7,67	4,32	43,20	0,004	8,68	2,72	27,16	0,003	7,98	3,52	35,18	0,003
skupaj (13 mesecev; 55 tednov)	31. 3. 2005–26. 4. 2006	–	237,58	2375,77	0,220	–	149,40	1493,97	0,140	–	193,49	1934,87	0,180
povprečno na teden (12 mesecev)	31. 3. 2005–30. 3. 2006	7,62	4,53	45,32	0,004	8,45	2,84	28,39	0,003	7,85	3,69	36,85	0,003
skupaj (12 mesecev)	31. 3. 2005–30. 3. 2006	–	235,66	2356,61	0,220	–	147,63	1476,29	0,140	–	191,64	1916,45	0,180
povprečno na teden (12 mesecev)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	7,70	3,95	39,49	0,004	9,45	2,52	25,19	0,002	8,38	3,23	32,34	0,003
skupaj (12 mesecev)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	–	205,34	2053,39	0,190	–	130,96	1309,62	0,120	–	168,15	1681,51	0,160

Preglednica 6: Erozija prsti, zniževanje površja in delež specifičnega odtoka na erozijskih poljih 5, 6, 7 in 8, v gozdu.

obdobje meritev	erozijsko polje 5				erozijsko polje 6				povprečje erozijskih polj 5 in 6				
	delež specifičnega odtoka	erozija prsti		zniževanje površja	delež specifičnega odtoka	erozija prsti		zniževanje površja	delež specifičnega odtoka	erozija prsti		zniževanje površja	
		%	g/m ²			kg/ha	mm			%	g/m ²		kg/ha
povprečno na teden (13 mesecev; 56 tednov)	31. 3. 2005–26. 4. 2006	4,30	6,46	64,65	0,01	–	–	–	–	6,15	7,77	77,69	0,01
skupaj (13 mesecev; 56 tednov)	31. 3. 2005–26. 4. 2006	–	362,02	3620,22	0,34	–	–	–	–	–	435,08	4350,82	0,41
povprečno na teden (12 mesecev)	31. 3. 2005–30. 3. 2006	4,17	6,80	68,03	0,01	–	–	–	–	6,19	8,19	81,90	0,01
skupaj (12 mesecev)	31. 3. 2005–30. 3. 2006	–	353,77	3537,65	0,34	–	–	–	–	–	425,90	4258,96	0,40
povprečno na teden (12 mesecev)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	4,46	6,12	61,17	0,01	8,08	8,93	89,27	0,01	6,46	7,52	75,22	0,01
skupaj (12 mesecev)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	–	318,09	3180,90	0,30	–	464,21	4642,09	0,44	–	391,15	3911,49	0,37

obdobje meritev	erozijsko polje 7				erozijsko polje 8				povprečje erozijskih polj 7 in 8				
	delež specifičnega odtoka	erozija prsti		zniževanje površja	delež specifičnega odtoka	erozija prsti		zniževanje površja	delež specifičnega odtoka	erozija prsti		zniževanje površja	
		%	g/m ²			kg/ha	mm			%	g/m ²		kg/ha
povprečno na teden (13 mesecev; 56 tednov)	31. 3. 2005–26. 4. 2006	5,15	9,53	95,32	0,01	–	–	–	–	6,30	9,12	91,16	0,01
skupaj (13 mesecev; 56 tednov)	31. 3. 2005–26. 4. 2006	–	533,79	5337,92	0,51	–	–	–	–	–	510,52	5105,19	0,48
povprečno na teden (12 mesecev)	31. 3. 2005–30. 3. 2006	5,18	10,18	101,82	0,01	–	–	–	–	6,43	9,55	95,51	0,01
skupaj (12 mesecev)	31. 3. 2005–30. 3. 2006	–	529,45	5294,48	0,50	–	–	–	–	–	496,65	4966,49	0,47
povprečno na teden (12 mesecev)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	5,22	8,43	84,26	0,01	7,62	7,53	75,31	0,01	6,46	7,98	79,78	0,01
skupaj (12 mesecev)	28. 4. 2005–26. 4. 2006	–	438,14	4381,41	0,41	–	391,59	3915,95	0,37	–	414,87	4148,68	0,39

od erozije v posameznih tednih hladnega dela leta, ko so bile krošnje brez listja, padavine pa so imele bistveno manjšo erozivnost. Ob tem dobro vidimo pomen, ki ga ima olistanost za erozijo prsti.

Slika 10: Povprečje erozijskih polj 1 in 2 – tedni med 28. 4. 2005 in 26. 4. 2006 z več kot 3 % od skupne letne erozije prsti (* erozija je seštevek med meritvijo suspendiranega gradiva in izračunano vrednostjo nesuspendiranega gradiva, ** izračunana vrednost (izpad meritve)). Glej angleški del prispevka.

Slika 11: Povprečje erozijskih polj 3 in 4 – tedni med 28. 4. 2005 in 26. 4. 2006 z več kot 3 % od skupne letne erozije prsti. Glej angleški del prispevka.

Slika 12: Povprečje erozijskih polj 5 in 6 – tedni med 28. 4. 2005 in 26. 4. 2006 z več kot 3 % od skupne letne erozije prsti. Glej angleški del prispevka.

Slika 13: Povprečje erozijskih polj 7 in 8 – tedni med 28. 4. 2005 in 26. 4. 2006 z več kot 3 % od skupne letne erozije prsti. Glej angleški del prispevka.

3.3 Meritve po mesecih in letnih časih

Za ugotavljanje splošnejšega trenda erozije prsti prek leta smo meritve združili po mesecih in letnih časih.

Eroziji na goli prsti, travniku in v gozdu z manjšim naklonom je skupno, da imajo primarni višek mesečnih vrednosti avgusta, ko so bile najbolj intenzivne padavine, višek glede na letni čas pa poleti. Zaradi najnižjih vrednosti erozivnosti padavin pozimi temu ustreza tudi nižek erozije pozimi tako na goli prsti (preglednica 7, slika 14) kot na travniku (preglednica 8, slika 16), pri gozdu z manjšim naklonom pa smo primarni nižek erozije zabeležili spomladi (preglednica 9, slika 18). Vpliv olistanosti pride najbolj do izraza v gozdu z večjim naklonom, kjer smo primarni višek zabeležili pozimi in sekundarnega jeseni, saj so olistane krošnje vpliv erozivnosti padavin poleti povsem izničile. Ustrezno je bil na teh erozijskih poljih primarni nižek erozije zabeležen poleti (preglednica 10, slika 20).

Delež površinskega odtoka na naših erozijskih poljih je bil daleč največji na goli prsti, pri čemer v nobenem mesecu ni bil manjši od 10 % (primarni nižek 10,28 % aprila). Največja deleža površinskega odtoka na goli prsti pa smo zabeležili avgusta (30,75 %) zaradi močnih erozivnih padavin, ki so hitro zasičile prst z vodo, ter januarja (30,60 %) zaradi zamrznjenosti prsti in s tem zmanjšane njene infiltracijske sposobnosti. Kljub visoki januarski vrednosti pa je bil v merilu letnih časov na goli prsti pozimi primarni nižek v deležu površinskega odtoka, primarni in sekundarni višek pa sta bila poleti in jeseni (preglednica 7, slika 15), kar prav tako sovпада z erozivnostjo padavin.

Preglednica 7: Erozijski prsti in specifični odtok glede na letni čas – povprečje erozijskih polj 1 in 2.

letni čas	obdobje meritev	specifični odtok povprečni delež na teden %	erozija prsti				zniževanje površja	
			povprečno na teden g/m ²	skupaj v letnem času g/m ²	povprečno na teden kg/ha	skupaj v letnem času kg/ha	povprečno na teden mm/teden	skupaj v letnem času mm/letni čas
zima	21. 12. 2005– 23. 3. 2006	18,45	49,18	639,36	491,82	6393,65	0,047	0,605
pomlad	28. 4. 2005– 23. 6. 2005; 23. 3. 2006– 26. 4. 2006	18,80	89,71	1166,20	897,07	11.661,96	0,085	1,104
poletje	23. 6. 2005– 22. 9. 2005	27,51	444,92	5783,95	4449,19	57.839,53	0,421	5,477
jesen	22. 9. 2005– 21. 12. 2005	24,78	109,53	1423,92	1095,32	14.239,17	0,104	1,348

Slika 14: Erozija prsti in padavine po mesecih na erozijskih poljih 1 in 2.
Glej angleški del prispevka.

Slika 15: Delež površinskega odtoka po mesecih na erozijskih poljih 1 in 2.
Glej angleški del prispevka.

Preglednica 8: Erozija prsti in specifični odtok glede na letni čas – povprečje erozijskih polj 3 in 4.

letni čas	obdobje meritev	specifični odtok povprečni delež na teden %	erozija prsti				zniževanje površja	
			povprečno na teden g/m ²	skupaj v letnem času g/m ²	povprečno na teden kg/ha	skupaj v letnem času kg/ha	povprečno na teden mm/leden	skupaj v letnem času mm/letni čas
zima	21. 12. 2005– 23. 3. 2006	10,81	1,82	23,62	18,17	236,24	0,002	0,022
pomlad	28. 4. 2005– 23. 6. 2005; 23. 3. 2006– 26. 4. 2006	7,65	3,09	40,16	30,89	401,61	0,003	0,038
poletje	23. 6. 2005– 22. 9. 2005	6,67	5,89	76,61	58,93	766,13	0,006	0,073
jesen	22. 9. 2005– 21. 12. 2005	8,74	2,13	27,75	21,35	277,53	0,002	0,026

Slika 16: Erozija prsti in padavine po mesecih na erozijskih poljih 3 in 4.
Glej angleški del prispevka.

Slika 17: Delež površinskega odtoka po mesecih na erozijskih poljih 3 in 4.
Glej angleški del prispevka.

Preglednica 9: Erozija prsti in specifični odtok glede na letni čas – povprečje erozijskih polj 5 in 6.

letni čas	obdobje meritev	specifični odtok povprečni delež na teden %	erozija prsti				zniževanje površja	
			povprečno na teden g/m ²	skupaj v letnem času g/m ²	povprečno na teden kg/ha	skupaj v letnem času kg/ha	povprečno na teden mm/leden	skupaj v letnem času mm/letni čas
zima	21. 12. 2005– 23. 3. 2006	8,34	5,86	76,16	58,58	761,57	0,006	0,072
pomlad	28. 4. 2005– 23. 6. 2005; 23. 3. 2006– 26. 4. 2006	5,13	4,19	54,50	41,92	544,98	0,004	0,052
poletje	23. 6. 2005– 22. 9. 2005	5,41	13,27	172,48	132,68	1724,82	0,013	0,163
jesen	22. 9. 2005– 21. 12. 2005	8,07	6,77	88,01	67,70	880,12	0,006	0,083

Slika 18: Erozija prsti in padavine po mesecih na erozijskih poljih 5 in 6.
Glej angleški del prispevka.

Slika 19: Delež površinskega odtoka po mesecih na erozijskih poljih 5 in 6.
Glej angleški del prispevka.

Preglednica 10: Erozijski prsti in specifični odtok glede na letni čas – povprečje erozijskih polj 7 in 8.

letni čas	obdobje meritev	specifični odtok povprečni delež na teden %	erozijski prsti				zniževanje površja	
			povprečno na teden g/m ²	skupaj v letnem času g/m ²	povprečno na teden kg/ha	skupaj v letnem času kg/ha	povprečno na teden mm/teden	skupaj v letnem času mm/letni čas
zima	21. 12. 2005– 23. 3. 2006	9,48	12,34	160,46	123,43	1604,61	0,012	0,152
pomlad	28. 4. 2005– 23. 6. 2005; 23. 3. 2006– 26. 4. 2006	3,84	4,18	54,38	41,83	543,77	0,004	0,051
poletje	23. 6. 2005– 22. 9. 2005	4,98	7,02	91,28	70,21	912,76	0,007	0,086
jesen	22. 9. 2005– 21. 12. 2005	7,73	8,37	108,75	83,66	1087,54	0,008	0,103

Slika 20: Erozijski prsti in padavine po mesecih na erozijskih poljih 7 in 8.
Glej angleški del prispevka.

Slika 21: Delež površinskega odtoka po mesecih na erozijskih poljih 7 in 8.
Glej angleški del prispevka.

Na travniku je bil delež odtoka večji od 10 % le januarja (15,8 %) in februarja (10,56 %; preglednica 8, slika 17), v gozdu z manjšim naklonom le decembra (14,77 %; preglednica 9, slika 19) in v gozdu v večjem naklonom pa le januarja (10,01 %; preglednica 10, slika 21). Tako je bil na omenjenih treh rabah primarni višek deleža površinskega odtoka v nasprotju z golo prstjo pozimi, sekundarni pa jeseni (preglednice 8–10). Primarni nižek je bil v gozdu spomladi, na travniku pa poleti, vendar razlike med obema nižkoma niso bile velike. Na travniku in v gozdu z večjim naklonom je bil delež odtoka najnižji julija (na travniku 5,76 %, v gozdu 3,4 %), v gozdu z manjšim naklonom pa januarja (4,6 %), ki mu je sledil julij (4,87 %).

Deleži površinskega odtoka so bili na travniku večji kot v gozdu tako v mesečnem merilu kot v merilu letnih časov, kljub temu pa je bila erozijski prsti na travniku v obeh časovnih obdobjih manjša kot v gozdu. To na travniku kaže na vpliv goste podrasti (v vseh letnih časih), ki preprečuje, da bi padavine in/ali odtok premeščala večje količine prsti.

3.4 Korelacija z vremenskimi vplivi

S pomočjo Pearsonovega koeficienta korelacije (r) smo za vsako rabo tal iskali linearne statistične povezave med površinskim spiranjem oziroma površinskim odtokom in posameznimi vremenskimi parametri. Izračunali smo tudi koeficient multiple linearne korelacije (R) med erozijo prsti oziroma površinskim spiranjem 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 erozijo na goli prsti med 0,9382 ($n = 55$; $p < 0,0000$) oziroma 93,82 % in 0,9784 ($n = 41$; $p < 0,0000$) oziroma 97,84 %, za površinski odtok pa med 0,9050 ($n = 53$; $p < 0,0000$) oziroma 90,50 % in 0,9332 ($n = 40$; $p < 0,0000$) oziroma 93,32 %. Podobne zelo visoke pozitivne statistične povezave smo zabeležili tudi na ostalih rabah tal (Zorn 2008a, 221).

Očitno povezanost med padavinskimi parametri in erozijo oziroma odtokom kaže delež pojasnjene variance le za padavinske parametre. Te multiple korelacije so le neznatno manjše od tistih, pri katerih smo upoštevali vse vremenske parametre. Malo večje razlike so le v gozdu (ne glede na naklon), a so tu pozitivne statistične povezave s padavinskimi parametri še vedno visoke oziroma povsem blizu zelo visokim. Za naše spremenljivke je delež pojasnjene variance (R^2) za erozijo na goli prsti med 0,9178 ($n = 55$; $p < 0,0000$) oziroma 91,78 % in 0,9677 ($n = 41$; $p < 0,0000$) oziroma 96,77 %, za površinski odtok pa med 0,8872 ($n = 53$; $p < 0,0000$) oziroma 88,72 % in 0,9031 ($n = 40$; $p < 0,0000$) oziroma 90,31 % (Zorn 2008a, 221).

Za vse rabe tal je značilno, da skoraj ni statistične povezanosti med erozijo oziroma površinskim odtokom in vetrnimi parametri, neznatna do nizka je tudi statistična povezanost s temperaturnimi parametri. To potrjuje, da gre pri meritvah površinskega spiranja skoraj izključno za vodno erozijo kot posledico padavin. Da pa vendarle ne gre izključno za vodno erozijo, bomo videli v poglavju 5.

Na goli prsti glede na povprečje erozijskih polj (tudi pri ostalih rabah tal podajamo korelacije za povprečja polj) kažejo zelo visoko pozitivno statistično povezanost tisti padavinski parametri, ki prikazujejo intenzivnost padavin (najvišjo maksimalne 30-minutne padavine; slika 23). V nasprotju s temi količina padavin izkazuje le nizko pozitivno statistično povezanost (slika 22), kar dokazuje, da je za preučevanje erozije prsti na tej rabi pomembnejša od količine padavin njihova intenziteta (preglednica 11).

Slika 22: Povprečje erozijskih polj 1 in 2 – korelacija med erozijo prsti in količino padavin ($r = 0,3871$).

(Opomba: modra trendna črta in determinacijski koeficient prikazujeta povezavo, ki je enaka izračunu v preglednici 11; pri rdeči trendni črti je presečišče predstavljeno na 0, saj je glede na zelo visoko multiplo povezanost padavinskih parametrov z erozijo in odtokom privzeto, da erozije oziroma odtoka brez padavin ni).

Glej angleški del prispevka.

Slika 23: Povprečje erozijskih polj 1 in 2 – korelacija med erozijo prsti in maksimalnimi 30-minutnimi padavinami ($r = 0,9502$).

Glej angleški del prispevka.

Ravno obratno pa na goli prsti velja za površinski odtok. Pri njem količina padavin kaže visoko pozitivno statistično povezanost z njim (slika 24), parametri intenzivnosti padavin pa le zmerno pozitivno statistično povezanost (slika 25).

Slika 24: Povprečje erozijskih polj 1 in 2 – korelacija med površinskim odtokom in količino padavin ($r = 0,8108$).

Glej angleški del prispevka.

Slika 25: Povprečje erozijskih polj 1 in 2 – korelacija med površinskim odtokom in maksimalnimi 30-minutnimi padavinami ($r = 0,6836$).

Glej angleški del prispevka.

Na travniku je za preučevanje erozije količina padavin pomembnejša od njihove intenzitete. Količina padavin kaže na visoko pozitivno statistično povezanost, medtem ko parametri njihove intenzivnosti kažejo na zmerno pozitivno statistično povezanost, le erozivnost padavin se skoraj približa visoki povezanosti. Podobno velja tudi za površinski odtok, le da je korelacija s količino padavin še nekoliko višja, povezave z intenzivnostjo padavin pa so nekoliko nižje in pri maksimalnih 10-minutnih padavinah ter pri erozivnosti padavin kažejo le še nizko pozitivno statistično povezanost.

Pri ugotavljanju statističnih povezav med vremenskimi parametri in erozijo prsti oziroma površinskim odtokom v gozdu smo uporabili še dodatni padavinski parameter, to je 'padavine v gozdu'. Za to smo se odločili, ker je bil dežemer postavljen na planem, zanimala pa nas je tista količina padavin, ki v gozdu zaradi prestrezanja padavin v drevesnih krošnjah dejansko pade na tla. Za izračun teh padavin smo uporabili delo Šrajeve (2003, 55), ki je v porečju Dragonje ugotavljala prestrezanje padavin. Pri korelacijah se je pokazalo, da padavine v gozdu izkazujejo nekoliko višjo pozitivno statistično povezanost z erozijo od količine padavin, izmerjene na planem. Obe korelaciji sta zmerni. Manjša je razlika pri površinskem odtoku (v gozdu z večjim naklonom je neznatna); povezanost je visoko pozitivna.

Naše povezave med erozijo in površinskim odtokom so na vseh rabah tal zmerno pozitivne, drugi pa so ugotovili tudi višje t. j. visoke pozitivne povezave (Vacca in ostali 2000, 84). Vacca in ostali (2000, 84) so tudi podobno ugotovili, da je »... *povezava med padavinami in odtokom višja kot med padavinami in erozijo* ...«.

V preglednici 11 je skupaj prikazano spreminjanje Pearsonovih koeficientov korelacije med erozijo prsti oziroma površinskim odtokom in isto neodvisno spremenljivko po različnih rabah tal. Razvidno je, da je za preučevanje erozije intenziteta padavin pomembnejša na goli prsti in v gozdu z manjšim naklonom, količina padavin pa je pomembnejša na travniku in v gozdu z večjim naklonom. Na vseh rabah tal je za preučevanje površinskega odtoka količina padavin pomembnejša od njihove intenzitete.

Spreminjanje Pearsonovega koeficienta korelacije s posploševanjem meritev po mesecih in letnih časih za nekaj izbranih padavinskih parametrov prikazujemo v preglednici 12. Statistična povezanost količine padavin z erozijo prsti je po mesecih višja od tedenske povezanosti na goli prsti in v gozdu, v gozdu z več-

Preglednica 11: Spreminjanje Pearsonovih koeficientov korelacije med erozijo prsti oziroma površinskim odtokom in vremenskimi vplivi po različnih rabah tal na podlagi tedenskih podatkov (* izračunano po Ogrinu 1995, 166).

korelacija med (1) erozijo prsti/ (2) površinskim odtokom in ...	Pearsonov koeficient korelacije (r)			
	povprečje erozijskih polj 1 in 2	povprečje erozijskih polj 3 in 4	povprečje erozijskih polj 5 in 6	povprečje erozijskih polj 7 in 8
(1) količino padavin	0,3871	0,7821	0,5815	0,4715
(1) količino padavin v gozdu	–	–	0,6604	0,5281
(1) maksimalnimi 10-minutnimi padavinami	0,9165	0,5103	0,7416	0,2283
(1) maksimalnimi 30-minutnimi padavinami	0,9502	0,5397	0,8068	0,2847
(1) maksimalnimi 60-minutnimi padavinami	0,9176	0,6002	0,7994	0,3489
(1) povprečnimi 10-minutnimi padavinami	0,6599	0,3899	0,4902	0,1481
(1) erozivnostjo padavin	0,9375	0,6964	0,8572	0,2843
(1) maksimalno dnevno temperaturo	0,2868	–0,0120	0,2061	–0,2394
(1) povprečno maksimalno dnevno temperaturo	0,3056	–0,0186	0,2239	–0,2133
(1) minimalno dnevno temperaturo	0,2681	0,0645	0,2110	–0,1369
(1) povprečno minimalno dnevno temperaturo	0,2819	0,0672	0,2203	–0,1024
(1) številom dni z negativnimi temperaturami	–0,1308	–0,0881	–0,0208	–0,0079
(1) *korigiranimi povprečnimi minimalnimi dnevnimi temperaturami	0,2819	0,0672	0,2203	–0,1024
(1) *korigiranim številom dni z negativnimi temperaturami	–0,1764	–0,0823	–0,0938	0,0518
(1) povprečno hitrostjo vetra	–0,0479	–0,0869	–0,1153	–0,2121
(1) maksimalnimi sunki vetra	0,0607	0,0977	–0,0450	–0,1294
(1) povprečnimi maksimalnimi sunki vetra	–0,0099	0,1068	–0,1131	–0,1844
(1) površinskim odtokom	0,6173	0,7438	0,4301	0,6679
(2) količino padavin	0,8108	0,8332	0,6725	0,8438
(2) količino padavin v gozdu	–	–	0,7008	0,8499
(2) maksimalnimi 10-minutnimi padavinami	0,6880	0,3457	0,3961	0,2508
(2) maksimalnimi 30-minutnimi padavinami	0,6836	0,4285	0,4531	0,2967
(2) maksimalnimi 60-minutnimi padavinami	0,7144	0,5107	0,5108	0,3825
(2) povprečnimi 10-minutnimi padavinami	0,4832	0,1703	0,2680	0,1222
(2) erozivnostjo padavin	0,5996	0,3083	0,3030	0,2347
(2) maksimalno dnevno temperaturo	0,0874	–0,1483	–0,0583	–0,2434
(2) povprečno maksimalno dnevno temperaturo	0,1067	–0,1550	–0,0334	–0,2296
(2) minimalno dnevno temperaturo	0,1347	–0,0407	0,0065	–0,2089
(2) povprečno minimalno dnevno temperaturo	0,1668	–0,0436	0,0228	–0,1446
(2) številom dni z negativnimi temperaturami	–0,1450	–0,0178	0,0341	–0,0451
(2) *korigiranimi povprečnimi minimalnimi dnevnimi temperaturami	0,1668	–0,0436	0,0228	–0,1446
(2) *korigiranim številom dni z negativnimi temperaturami	–0,1587	0,0081	0,0708	0,0881
(2) povprečno hitrostjo vetra	–0,1327	–0,0616	–0,0916	–0,1688
(2) maksimalnimi sunki vetra	–0,0266	0,0735	–0,0494	–0,0772
(2) povprečnimi maksimalnimi sunki vetra	–0,0069	0,0342	–0,0930	–0,0436

jim naklonom še dodatno naraste v merilu letnih časov. Na goli prsti je v merilu mesecev povezava zmer-no pozitivna, v merilu letnih časov pa je podobna tedenski in je nizko pozitivna. V gozdu z manjšim naklonom povezanost po mesecih naraste v visoko pozitivno, v merilu letnih časov pa je podobna teden-ski in je zmerno pozitivna, kar velja tudi za padavine v gozdu. V gozdu z večjim naklonom povezanost stalno narašča iz zmerne po tednih v visoko pozitivno povezanost po mesecih in letnih časih, to pa velja tudi za padavine v gozdu. Nasprotno pa se na travniku s posploševanjem podatkov povezanost stalno zmanj-šuje in je v merilu letnih časov skoraj povsem zanemarljiva.

Povezava med erozijo prsti in erozivnostjo padavin na goli prsti s posploševanjem podatkov narašča in ostaja zelo visoko pozitivna. Narašča tudi na travniku, iz zmerne v tedenskem prek visoke v mesečnem do zelo visoke v merilu letnih časov. Tako v merilu mesecev kot letnih časov je za preučevanje erozije prsti erozivnost padavin pomembnejša od količine padavin na goli prsti in v gozdu. Pomembnejša je tudi v gozdu

Preglednica 12: Spreminjanje Pearsonovih koeficientov korelacije po različnih rabah tal na podlagi mesečnih podatkov in podatkov po letnih časih.

korelacija med (1) erozijo prsti/ (2) površinskim odtokom in ...	Pearsonov koeficient korelacije (r) po mesecih				Pearsonov koeficient korelacije (r) po letnih časih			
	povprečje erozijskih polj 1 in 2	povprečje erozijskih polj 3 in 4	povprečje erozijskih polj 5 in 6	povprečje erozijskih polj 7 in 8	povprečje erozijskih polj 1 in 2	povprečje erozijskih polj 3 in 4	povprečje erozijskih polj 5 in 6	povprečje erozijskih polj 7 in 8
(1) količino padavin	0,6085	0,6372	0,7342	0,6132	0,3059	0,0476	0,5558	0,7062
(1) količino padavin v gozdu			0,8010	0,6296			0,6712	0,7093
(1) erozivnostjo padavin	0,9542	0,8834	0,9489	0,2954	0,9901	0,9184	0,9845	-0,1849
(1) površinskim odtokom	0,8635	-0,1087	0,6952	0,7642	0,7470	-0,5790	0,6793	0,9261
(2) količino padavin	0,8268	-0,0329	0,6686	0,8654	0,7696	0,6093	0,6178	0,8387
(2) količino padavin v gozdu			0,7132	0,8362			0,8008	0,7573
(2) erozivnostjo padavin	0,8929	-0,2228	0,7951	0,4351	0,8309	-0,3326	0,5591	-0,1249

z manjšim naklonom, kjer iz visoko pozitivne v tedenskem naraste na zelo visoko pozitivno v merilu mesecev in letnih časov. Že v merilu tednov smo v gozdu z večjim naklonom pri erozivnosti ugotovili le nizko pozitivno povezanost. Ta ostaja približno enaka tudi v merilu mesecev, v merilu letnih časov pa postane neznatna in celo negativna. Sklenemo lahko, da za preučevanje erozije prsti erozivnost padavin ni ustrezen parameter le v gozdu z večjim naklonom. Zanimivo je, da v takšnem gozdu skoraj ni razlike v povezanosti med 'padavinami' in 'padavinami v gozdu' ter erozijo, v gozdu z manjšim naklonom pa razlike v vseh časovnih merilih ostajajo podobne in v korist padavinam v gozdu.

Povezanost med erozijo in površinskim odtokom na goli prsti v merilu mesecev naraste iz zmerne v visoko pozitivno, kljub rahlemu zmanjšanju pa visoka ostaja tudi v merilu letnih časov. Nasprotno se na travniku iz visoke pozitivne povezanosti v tedenskem merilu zmanjša na neznatno in celo negativno povezanost v merilu mesecev, v merilu letnih časov pa je negativna povezanost že zmerna. V gozdu povezanost med erozijo in površinskim odtokom s posploševanjem podatkov narašča, v gozdu z manjšim naklonom iz zmerne v skoraj visoko pozitivno povezanost, v gozdu z večjim naklonom pa iz visoke v zelo visoko.

Na goli prsti je s posploševanjem podatkov povezanost površinskega odtoka z erozivnostjo padavin nekoliko višja od povezanosti s količino padavin, saj naraste iz zmerne v tedenskem merilu na skoraj zelo visoko v merilu mesecev oziroma visoko v merilu letnih časov. Povezanost s količino padavin je v tedenskem in mesečnem merilu skoraj enaka, v merilu letnih časov pa se nekoliko zmanjša, a ostaja visoko pozitivna.

V gozdu povezanost med količino padavin in površinskim odtokom s posploševanjem podatkov ostaja visoko pozitivna v gozdu z večjim naklonom in v gozdu z manjšim naklonom pri 'padavinah v gozdu'. Pri padavinah v gozdu z manjšim naklonom povezanost ostaja zmerno pozitivna.

Erozivnost padavin je pomembna za preučevanje odtoka v gozdu z manjšim naklonom v mesečnem merilu, ker naraste iz nizke v tedenskem merilu v visoko pozitivno povezanost, kljub zmanjšanju v merilu letnih časov pa še ostaja zmerno pozitivna. V gozdu z večjim naklonom povezanost v mesečnem merilu naraste iz nizke v zmerno pozitivno, v merilu letnih časov pa nazaduje na neznatno negativno.

Podobne statistične analize so v Španiji delali Dunjó, Pardini in Gispert (2004).

4 Žlebična erozija

Veliki, predvsem pa ekstremni padavinski dogodki ponavadi pomenijo večje sproščanje gradiva. Larson, Lindstrom in Schumacher (1997, 90) pišejo, da »... so izgube prsti pogosto povezane z nekaj močnimi nevihtami...«, zato tudi dvomijo v uporabnost erozijskih modelov USLE in RUSLE (Petkovšek 2000) za protierozijske ukrepe. Takšni modeli namreč napovedujejo povprečno erozijo na podlagi povprečnih (dolgeletnih) vremenskih razmer, »... zemljišče pa pustijo ranljivo za resno erozijo prsti ob močnih nevihtah...« (Larson, Lindstrom in Schumacher 1997, 90).

Merjenje erozije, ki jo povzročajo večji padavinski dogodki, je pri kratkotrajnih meritvah, kakršne so bile tudi naše, mnogokrat nemogoče, saj je treba takšne dogodke »ujeti«. Boardman in Favis-Mortlock

(1999) sta zapisala, da tudi desetletne meritve ne zajamejo velikih dogodkov, tako kot izpadejo tudi najmanjši dogodki, katerih prag je nižji od natančnosti uporabljene merilne tehnike.

V poglavju govorimo o žlebični eroziji, čeprav bi lahko uporabili tudi izraz 'občasna žlebična erozija'. »... *Občasni jarki [žlebiči, opomba avtorja] so majhni kanalčki, ki jih ustvari površinski odtok in jih lahko preprosto zapolnimo z normalnim oranjem, da bi se zopet pojavili na istih mestih ob naslednjem [erozivnem, opomba avtorja] dogodku ...*« (Poesen in ostali 2006, 518).

V času naših meritev je po intenzivnih padavinah 11. 8. 2005 na površini celotnega oljčnika, kjer smo imeli postavljena erozijska polja 1 in 2, nastal sistem erozijskih žlebičev. Podoben sistem erozijskih žlebičev je nastal tudi leto dni pozneje (4. 8. 2006). V obeh primerih smo lahko kvantificirali količino odnesenega gradiva, saj smo poznali ničelno stanje – preoran oljčnik brez erozijskih žlebičev.

Erozijske žlebiče smo izmerili s pomočjo podrobnega geomorfološkega kartiranja, tako da smo prečni prerez žlebičev merili na enakomernih razdaljah. Med dvema prečnima prerezoma smo izračunali prostornino žlebiča, skupno prostornino pa smo dobili s seštevkem vseh prostornin po naslednji enačbi (Casali in ostali 2006, 130):

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = \sum_{i=1}^n \frac{(A_{i-1} + A_i)}{2} \cdot s$$

pri čemer je V = količina (prostornina) erodiranega gradiva, n = število meritev (prostornin), V_i = količina (prostornina) erodiranega gradiva med dvema prečnima prerezoma, A_{i-1} = spodnji prerez, A_i = zgornji prerez in s = razdalja med dvema prerezoma.

Merili smo z merilnim trakom (za meritve dolžine erozijskih žlebičev) in ravnilom (za meritve prerezov). Prereze smo posplošili v pravokotnike in jih merili na vsakih 10 m. Casali in ostali (2006, 137) pišejo, da pri velikem številu prerezov lahko pričakujemo »... *napake, mnogo večje od 10 %* ...«.

Preglednica 13: Podatki o oljčniku in dveh erozivnih padavinskih dogodkih (11. 8. 2005 in 4. 8. 2006).

površina oljčnika (ha)	0,3
povprečni naklon oljčnika (°)	6,1
ekspozicija oljčnika, azimut (°)	185
padavine – 11. 8. 2005	maksimalne 30-minutne padavine: 42,8 mm skupne dnevne padavine: 46,8 mm dnevna erozivnost padavin: 1110,5 MJ · mm · ha ⁻¹ · h ⁻¹ skupne tedenske padavine (5. do 12. 8. 2005): 77,6 mm tedenska erozivnost padavin (5. do 12. 8. 2005): 1235,91 MJ · mm · ha ⁻¹ · h ⁻¹
padavine – 4. 8. 2006	maksimalne 30-minutne padavine: 13 mm skupne dnevne padavine: 73,8 mm skupne tedenske padavine (1. do 7. 8. 2006): 98,8 mm

Preglednica 14: Temeljni podatki o erozijskih žlebičih, nastalih ob intenzivnih padavinah 11. 8. 2005 in 4. 8. 2006.

datum erozivnega dogodka	11. 8. 2005	4. 8. 2006
skupna dolžina žlebičev (m)	869	600,2
povprečna širina žlebičev (m)	0,41	0,27
povprečna globina žlebičev (m)	0,24	0,10
skupna prostornina žlebičev (m ³)	84,09	16,28
skupna masa odnesenega gradiva (kg)	88.798,33	17.192,37
odneseno gradivo (kg/m ²)	29,78	5,77
odneseno gradivo (t/ha)	297,83	57,66

Slika 26: Erozijski žlebiči, nastali ob intenzivnih padavinah 11. 8. 2005. Glej angleški del prispevka.

Pri naših meritvah je bil glede na celotno žlebično in mežlebično erozijo delež žlebične erozije dobrih 90 % pri prvem in slabih 75 % pri drugem padavinskem dogodku. Povprečje obeh se približno ujema s pisanjem Goversa in Poesa (1988), ki sta na podlagi pregleda literature sklenila, da le okrog 20 % erozije odpade na mežlebično erozijo (Boardman 2006, 75). Podobno ugotavljata Poesen in Hooke (1997, 172).

Preglednica 15: Primerjava medžlebične in žlebične erozije ob intenzivnih padavinah 11. 8. 2005 in 4. 8. 2006.

padavinsko obdobje	5. do 12. 8. 2005	11. 8. 2005	1. do 7. 8. 2006	4. 8. 2006
erozija	medžlebična erozija	žlebična erozija	medžlebična erozija	žlebična erozija
odneseno gradivo (kg/m ²)	2,67	29,78	2,09	5,77
odneseno gradivo (t/ha)	26,73	297,83	20,87	57,66
skupaj (medžlebična + žlebična erozija)	32,45 kg/m ² oziroma 324,56 t/ha		7,85 kg/m ² oziroma 78,53 t/ha	
delež (%) glede na celotno erozijo	8,24	91,76	26,57	73,43

Celotna (žlebična in medžlebična) erozija je v tednu med 5 in 12. 8. 2005 je znašala 32,45 kg/m² (325,56 t/ha), med 1. in 7. 8. 2006 pa 7,85 kg/m² (78,53 t/ha).

5 Vetrna erozija

Vetrna erozija, oziroma odnašanje gradiva zaradi erozijskega delovanja vetra, nastane na suhi prsti (Skidmore 1994, 265), na primer tam, kjer so vetru izpostavljene večje gole površine po oranju. Nanjo vplivajo podobni dejavniki kot pri vodni eroziji prsti: lastnosti prsti (zlasti tekstura, vlažnost in struktura), podnebne razmere, izoblikovanost površja, rastlinstvo in raba tal (Lovrenčak 1994, 165). Poglavitna razlika med vodno in vetrno erozijo je, da so pri vodni eroziji smer odtoka in meje erodiranega območja znane, pri vetrni eroziji pa območje izvora erodiranega gradiva težje določimo, saj se lahko smer vetra spreminja (Stroosnijder 2005, 164).

Vetrni eroziji so zlasti podvržene prsti z veliko meljastih in drobnih peščenih delcev. Grobi peščeni delci so pretežki in jih veter težje ali sploh ne odnaša, glinasti delci pa so kohezijsko povezani in zato odpornejši proti odnašanju. Dovzetnost zanjo je povezana tudi z deležem vlage v prsti – vlažne prsti veter ne odnaša, pa tudi z velikostjo strukturnih skupkov – večji strukturni skupki so bolj odporni na vetrno erozijo. Delež vlage v prsti se na primer zmanjšuje, če pihajo suhi vetrovi (Lovrenčak 1994), kakršen je v primeru slovenske Istre burja. Bistveno jo lahko zmanjšata drobna reliefna razčlenjenost in rastlinstvo. Skoraj popolno zaščito zagotavlja gozd, kmetijsko obdelovanje pa lahko možnosti zanjo močno poveča, zlasti v obdobju, ko kulturne rastline ne rastejo.

Po Poesenu in Hookeju (1997, 160) v evropskem Sredozemlju vetrna erozija ne predstavlja večjega problema, saj je omejena na »peščene« prsti ob obalah in na delte večjih vodotokov, na primer Pada in Rone.

Za vetrove na območju bivše Jugoslavije Jugo (1957, 16) piše, da je »... za erozijsko delovanje na prvem mestu odgovorna burja ...«. Februarja leta 1954 so njene erozijske učinke opazovali v zaledju Kopra. Burja z maksimalno hitrostjo 23,7 m/s je na nekaterih mestih odnesla tudi do 10 cm prsti, ponekod vse do korenin vinske trte. Prav zaradi močne vetrne erozije so bila nekdanja obdelana zlasti zemljišča v zatišnih legah, na privetrni strani pa so prevladovali pašniki in gozd (Malovrh 1955, 51–52, 55).

Slika 27: Pšenico so v Vipavski dolini pred burjo zaščitili z deskami. Kjer desk niso postavili, je burja novembra 1993 odnesla prst (Kovač 1994, 92).

Glej angleški del prispevka.

S pomočjo erozijskih polj 1 in 2 za merjenje površinskega spiranja smo uspeli kvantificirati vetrno erozijo prsti v tednu med 18. 11. 2005 in 24. 11. 2005, ko je bila v Kopru maksimalna dnevna hitrost vetra 24 m/s (23. 11. 2005), njegova povprečna tedenska maksimalna dnevna hitrost pa 13,5 m/s (Agencija Republike Slovenije za okolje 2006). V obravnavanem tednu ni bilo padavin. Zadnje padavine so bila 17. 11. 2005, ko je padlo 2 mm padavin, v tednu med 10. in 18. 11. 2005 pa je padlo skupaj 3,4 mm padavin. V obravnavanem tednu je burja popolnoma posušila zgornje dele prsti, ki na oljčniku ni zaščiten z rastlinskim pokrovom. Ugodno za vetrno erozijo je bilo tudi, da so v obravnavanem tednu temperature dnevno kobilele nad in pod ledišče, kar je prst še dodatno razrahljalo. Odpihnjeno gradivo se je ujelo v lijak erozijskega polja.

Naša meritev ima nekaj metodoloških pomanjkljivosti, saj so bila erozijska polja narejena za druge potrebe. Erozijska polja so namreč z vseh strani do višine 20 cm zaščiten pred vplivi iz okolice, tako da je pločevinasto ogrodje erozijskega polja zaustavljalo najmočnejše sunke vetra neposredno ob tleh. Prav

tako ni izključeno, da je veter del erodiranega gradiva v lijak prinesel iz okolice, del pa ga je odpihnil iz erozijskih polj.

Preglednica 16: Vetna erozija prsti v oljčniku v tednu med 18. 11. 2005 in 24. 11. 2005.

merska enota	odneseno gradivo z erozijskega polja			odneseno gradivo s celega oljčnika		
	erozijsko polje 1	erozijsko polje 2	povprečje erozijskih polj 1 in 2	na podlagi erozijskega polja 1 (kg)	na podlagi erozijskega polja 2 (kg)	na podlagi povprečja obeh erozijskih polj (kg)
g/m ²	75,31	53,24	64,28	224,54	158,74	191,64
kg/ha	753,1	532,4	642,75			

V tednu med 18. 11. 2005 in 24. 11. 2005 je bilo s kvadratnega metra v povprečju odnesenega 64,28 g gradiva. Pri površinskem spiranju je do podobnega odnašanja gradiva na oljčniku prihajalo z 2,1 do 2,5-kratno tedensko povratno dobo, na primer v tednu pred 16. 9. 2005, ko je bila erozija 61,70 g/m² in je padlo 11 mm padavin ob maksimalnih 30-minutnih padavinah 2 mm, ali pa teden dni pozneje (22. 9. 2005), ko je bila erozija 92,70 g/m² ob 21,2 mm padavin; maksimalne 30-minutne padavine so bile 3 mm.

6 Sklep

»Erozija tal [prsti, opomba avtorja] je v Sloveniji relativno malo raziskana ...« so zapisali pri oceni izvajanja Konvencije Združenih narodov o degradaciji tal v Sloveniji (Ocena ... 2005). V večini slovenskih državnih publikacij, ki obravnavajo prst, je erozija prsti sicer omenjena, a ponavadi ne več kot to (Okolje ... 1996). Ponekod o izgubi prsti govorijo le v povezavi z urbanizacijo (Poročilo ... 2002), drugje pa navajajo, da »... je v celoti majhna in se še zmanjšuje ...«, kot posledica ozelenjevanja in ogozdovanja (Okolje ... 2003a) oziroma zaradi »... opuščanja obdelave v vinogradih (zatravljenje), sprememb kmetijske rabe tal (travniki) ali opuščanja kmetijske rabe na zelo strmih reliefu ...« (Okolje ... 2003b). To sicer drži, a po drugi strani preučevalci podnebnih sprememb napovedujejo ponovno povečanje erozije prsti, kot posledico intenzivnejših padavin (Kajfež-Bogataj 2005, 32).

Publikacije Evropske zveze nasprotno eroziji prsti pripisujejo velik pomen: »... V Evropi sta propad in erozija tal [prsti, opomba avtorja] verjetno najpomembnejši okoljski težavi, ki ju povzročata konvencionalno kmetijstvo; prizadetih je približno 157 milijonov hektarjev (16 % Evrope) ... V sredozemskih regijah je erozija tal zelo močna in lahko prizadene do 50–70 % kmetijskih zemljišč ... Erozijska ima pomemben gospodarski vpliv na kmetijska zemljišča, vendar tudi na javno lokalno infrastrukturo zaradi stroškov vzdrževanja omrežij in ravnjanja z vodo.« (Kmetijstvo ... 2009, II/218). Po Cerdanu in ostalih (2006) je erozija prsti v Evropi okrog 1 tone/ha/leto oziroma okrog 1,6 tone/ha/leto na bolj erodibilnih območjih.

Za nekatere je erozija prsti globalno celo »... tako velik problem kot segrevanje ozračja ...« (Randorf 2004), a tudi njeni preučevalci sami priznavajo, da čeprav je v »... današnjem času ena od najpomembnejših okoljskih problemov ...«, je »... verjetno tudi najmanj splošno poznana ...« (Soil ... 2005).

Da erozija prsti v Sloveniji ni zanemarljiva in bi ji bilo treba posvečati več pozornosti, kažejo predstavljene meritve iz slovenske Istre. Vse naše meritve (ne glede na rabo tal) presega evropsko povprečje, kljub temu da smo merili le površinsko spiranje, Cerdan in ostali (2006) pa navajajo celotno žlebično in mežlebično erozijo. Naše površinsko spiranje 90 t/ha/leto na goli prsti močno presega evropsko povprečje za sredozemski del Evrope, kjer naj bi bila celotna erozija prsti okrog 32 t/ha/leto. Podobno velja tudi za travnike (1,68 t/ha/leto našega površinskega spiranja proti 0,42 t/ha/leto celotne erozije prsti v sredozemskem delu Evrope) in gozd (okrog 4 t/ha/leto našega površinskega spiranja proti 0,15 t/ha/leto celotne erozije prsti v sredozemskem delu Evrope).

7 Viri in literatura

Glej angleški del prispevka.