

**DYNAMICS OF SUSPENDED SEDIMENT LOAD  
IN THE UPPER PART OF THE RASINA RIVER BASIN IN 2010**

SANJA MUSTAFIĆ<sup>1\*</sup>, PREDRAG MANOJLOVIĆ<sup>1</sup>, PREDRAG KOSTIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *University of Belgrade-Faculty of Geography, Studentski trg 3/3, Belgrade, Serbia*

**Abstract:** The paper treats the issue of the suspended sediment load transport in the upper part of the Rasina River Basin, upstream from the "Ćelije" reservoir during the year of 2010. Measurements of the suspended sediment concentrations were being done at two hydrological profiles Brus and Ravni. Total quantity of the suspended sediment load that was transported at the profile of Brus in 2010 amounted to 3,437.3 t, which gave the specific transport of 16.4 t/km<sup>2</sup>/year. At the downstream profile of Ravni, 43,165 t of the suspended sediment load was transported, that is, 95.7 t/km<sup>2</sup>/year. The basin on the whole is characterized by the existence of two seasons, which by their characteristics in the load transport represent the extreme variants. During the winter-spring season, 74-85.8 % of the total annual load was transported, and during the summer-autumn season between 14.2 and 26 %.

**Key words:** suspended sediment, seasonal variability, extreme hydrological conditions, Rasina, Serbia.

**Introduction**

Soil erosion falls into the group of processes that has direct repercussions on the dynamics of siltation of water reservoirs. In addition to siltation of reservoirs with suspended sediment load and deterioration of water quality, erosion and suspended sediment load transport may be limiting factors for development of area which gravitates towards the reservoir (Mustafić S., Kostadinov S., Manojlović P., 2008). Therefore, the study of soil erosion is imposed as a fundamental problem which solving implies determination of all of its forms: chemical erosion, mechanical water erosion, mapping of degraded areas and the like. Taking into account the importance of the water reservoir "Ćelije" and its role in water supply, previous researches have established the amount and spatial distribution of water capacities (Manojlović P et. al., 2013), analysed the changes in erosion intensity in the period 1971-2011 (Kostadinov S. et al., 2014), as well as the condition and quality of soil resources (Belanović S. et. al., 2012, Kadović R. et al., 2012). In this paper the problems related to dynamics and suspended sediment load transport were treated. Considering that during 2010, the area of Central and Eastern Europe was under the influence of extreme climate events that strongly reprecussed on the condition and quality of the environment (Loczy D., 2012), the researches presented in this paper offered the possibility of determining the suspended sediment load transport during extreme hydrological conditions.

---

\* E-mail: sanjam@gef.bg.ac.rs

This paper is part of the project "The Research on Climate Change Influences on Environment: Influence Monitoring, Adaptation and Mitigation" (43007), subproject No. 9: "Torrential Floods Frequency, Soil and Water Degradation as the Consequence of Global Changes", financed by Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia

### **Physical and geographical characteristics of the basin**

The Rasina River is the right tributary of the Zapadna Morava (West Morava). The basin covers an area of 1,054 km<sup>2</sup>, and 611,3 km<sup>2</sup> to the "Ćelije" reservoir. In the Rasina River Basin, 744 mm of precipitation is excreted on the average, which is a slightly higher value than the average value for Serbia which amounts to 739 mm (Bajat et al. 2012). The seasonal distribution of precipitation is such that the maximal amount is excreted during summer (30.1 %), while only June participates with 12.3 % of the annual distribution. Spring follows with 27.1 %, with a dominant month of May, within which 11.6 % of the annual precipitation amount is excreted. Autumn months participate with 23.8 % and winter with 19.5 % of the annual distribution of precipitation. By increasing the altitude, the average increase in precipitation is 77 mm/100 m (Živković N., Anđjelković G., 2004).

The average weighted specific runoff in the Rasina River Basin to the "Ćelije" reservoir is higher than the average for Serbia (7,06 l/s/km<sup>2</sup>, Manojlović P., Živković N., 1997 ) and amounts to 9 l/s/km<sup>2</sup>. The specific runoff values range from 3 l/s/km<sup>2</sup> in the most downstream sector at the dam, to 27.9 l/s/km<sup>2</sup> which is the value in the highest mountainous part of the basin. The greatest abundance of water in the basin, with the participation of 65.3 % in the total runoff formation, is located at the altitude of 700 m (Manojlović P. et. al., 2013).

The largest area cover the flysch rocks with 41 %, which are the most common in the middle part of the basin in the altitudinal zone between 300 and 900 m. This rocky complex participates with 39.6 % in the total water runoff in the basin. The second by representation are the magmatites and metamorphites, which cover 39 % of the basin area, with 42.8 % of the total runoff. 16.5 % of the basin area belong to the unbound sediments, sands and alluvium, and the least distributed (3.5 %) are the limestones and dolomites (Manojlović P et. al., 2013).

### **Methodology**

Water sampling for the use of determining the concentration of suspended sediment load was carried out on two hydrological profiles Brus and Ravni. The samples were being taken during the calendar year of 2010. The concentration of suspended sediment load in the water was being determined by filtration of the liter samples with the aid of a vacuum pump Sartorius, and then by measuring the weight of a filter paper on the digital scale after drying in the dryer at 105 °C, and the desiccator before and after decantation. A filter paper Whatman 359 was used. All analytical procedures were done in the Laboratory of Physical Geography, Faculty of Geography, Belgrade.

Daily discharge values on the hydrological profiles of Brus and Ravni, as well as the data on the amount of precipitation at the stations Kopaonik and Brus, were obtained from the Republic Hydrometeorological Service of Serbia (RHSS, 2010).

### **Results and Researches**

#### **Basic characteristics of runoffs, suspended sediment concentrations and suspended sediment load transport**

The average annual value of the suspended sediment concentration (SSC) at the hydrological station of Brus is 0.0215 g/l at the average annual discharge of 2.24 m<sup>3</sup>/s (q= 10.6 l/s/km<sup>2</sup>). The minimal daily measured SSC was only 0.0001 g/l and was determined over several days in late August and early September. This coincides with the period of the

lowest discharge values. The maximal recorded value of the SSC was 0.2726 g/l and was measured after the July showery precipitation. The ratio between the daily extremes is 1:2726.

On a monthly level, the large differences and deviations of one month in respect to the other are observed, as well as in respect to the annual average. The lowest average monthly value by far had September with 0.0004 g/l, at the average monthly discharge of 0.37 m<sup>3</sup>/s ( $q= 1,73$  l/s/km<sup>2</sup>). The average monthly maximum was recorded in December with 0.0493 g/l, at the average monthly discharge of 3.15 m<sup>3</sup>/s ( $q= 7,65$  l/s/km<sup>2</sup>). Thus, the ratio between the extreme average monthly suspended sediment concentrations is 1:12.

At first glance, it can be seen that the values of both, the discharges and the concentration, are significantly higher on the hydrological profile of Ravni than at Brus. The average annual value of the SSC on the more downstream profile, at the average annual discharge of 6.7 m<sup>3</sup>/s ( $q= 14.84$  l/s/km<sup>2</sup>), is 0.0604 g/l. The daily maximum was as high as 1.2927 g/l, and that was even during February, at the discharge of 80.4 m<sup>3</sup>/s ( $q= 41.66$  l/s/km<sup>2</sup>), while the daily minimum of the SSC was recorded in June, when it amounted 0.0003 g/l, at the discharge of 1.39 m<sup>3</sup>/s ( $q= 3.08$  l/s/km<sup>2</sup>). The ratio between the daily extremes was 1:4,309.

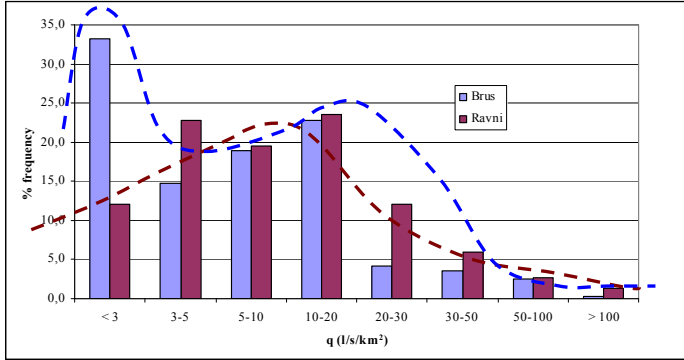
The average monthly values of the SSC were in the range from 0.067 g/l in May ( $Q= 5.35$  m<sup>3</sup>/s;  $q=11.85$  l/s/km<sup>2</sup>) to 0.1453 g/l which was the amount in February ( $Q= 18.79$  m<sup>3</sup>/s;  $q=41.66$  l/s/km<sup>2</sup>), so the ratio between the average monthly concentrations was 1:22.

The distribution of specific runoffs according to established classes is given in Figure 1. The comparative analysis of the hydrological profiles shows the dominance of low waters on the upstream profile of Brus: 33.2 % belong to the runoffs up to 3 l/s/km<sup>2</sup>. The distribution of runoffs on the downstream profile of Ravni has the characteristics of a normal distribution. The runoffs in the class 10-20 l/s/km<sup>2</sup> are dominant, which lasted for nearly a quarter of the time period. The extreme conditions of runoffs, i.e., the runoffs greater than 50 l/s/km<sup>2</sup> were recorded on the profile of Brus for 10 days, and 15 days at Ravni.

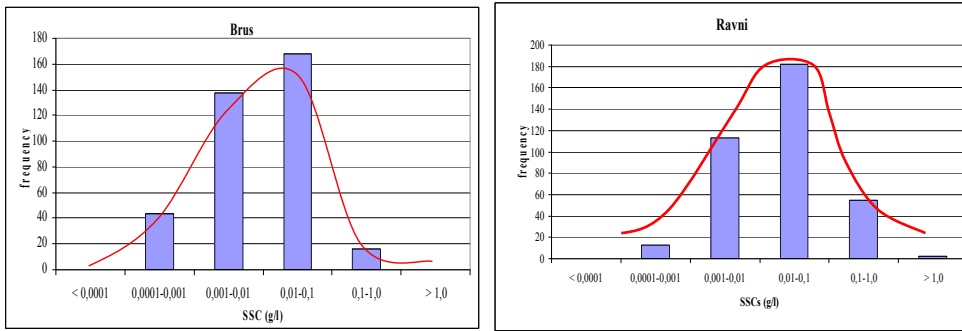
The distribution of suspended sediment concentration is divided into five, that is, six classes (Figure 2). For the most part of the year (46 % of the time at Brus, 50 % of the time at Ravni), the suspended sediment concentrations were in the range from 0.01 to 0.1 g/l. Then, the suspended sediment concentrations in the class from 0.001 to 0.01 g/l were dominant, which lasted for 38 % of the time at the upstream profile, and 31 % at the downstream profile. The dominance of low waters on the profile of Brus reflected in the fact that in this sector, the SSC in the class from 0.0001 to 0.001 g/l was 3.3 times higher than in the more downstream station. On the other hand, two times higher dominance of runoffs in the classes over 20 l/s/km<sup>2</sup> on the downstream profile of Ravni, influenced the three times greater emergence of the suspended sediment concentrations larger than 0.1 g/l. On this profile, also one case (February 20th) of the suspended sediment concentrations of 1.2927 g/l was recorded.

The total amount of suspended sediment load that was transported in 2010 at the profile of Brus was 3437.3 t, giving a specific suspended sediment load transport of 16.4 t/km<sup>2</sup>/year. The absolute daily maximum was reached on 20.04.2010., when the calculated transport was even 225.1 t, at the discharge of 22.7 m<sup>3</sup>/s (106.6 l/s/km<sup>2</sup>). The absolute minimum was measured on 31.08.2010., when only 3 kg/day of the suspended sediment load was transported. The more downstream profile of Ravni covers a larger area, and therefore much greater values of the suspended sediment load transport. For that year, 43,165 t of the suspended sediment load, that is, 95.7 t/km<sup>2</sup>/year was transported. The daily amplitudes of the suspended sediment load transport ranged from 3 kg/day to 8,980 t/day. The minimal values were recorded on 20., 21. and 22.06.2010. at the discharges of 1.39 m<sup>3</sup>/s (3.08 l/s/km<sup>2</sup>), and the maximal on 20.02.2010. at the discharge of 80.47 m<sup>3</sup>/s ( 178.3

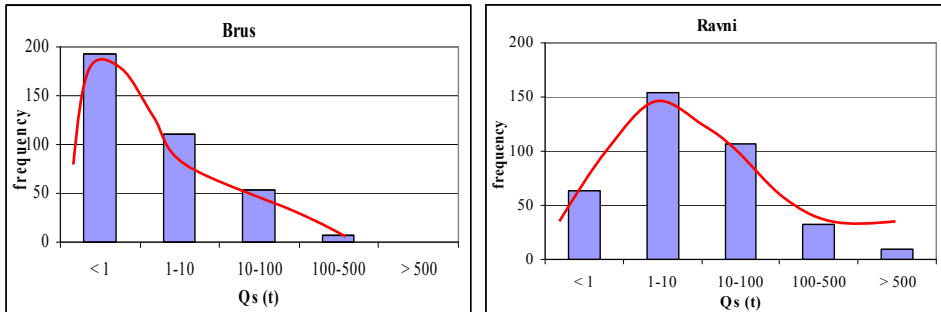
l/s/km<sup>2</sup>). According to the distinguished classes on the above mentioned profiles (Figure 3), at Brus, in the annual distribution, the load to 1 t (53 % of the time) is dominant, while at Ravni, in this class, there is three times less load. On the other hand, at Ravni, 29 % of the time belongs to the transport which is in the range from 10 to 100 t, which is two times longer period of time than on the upstream profile. Also, the extreme values of the suspended sediment load transport on the downstream profile, more than 100 t/day, lasted much longer. It was recorded 7 such days at Brus, and even 41 days at Ravni.



**Figure 1. Distribution of specific runoff (q l/s/km<sup>2</sup>) on the hydrological profiles of Brus and Ravni**



**Figure 2. Distribution of suspended sediment concentrations (SSC g/l) on the hydrological profiles of Brus and Ravni**



**Figure 3. Distribution of suspended sediment load transport (Qs t) on the hydrological profiles of Brus and Ravni**

### Monthly and seasonal distribution of runoffs, suspended sediment concentrations and suspended sediment load transport

Adequate study of the mechanical water erosion involves a comparative assessment of the runoff regime, suspended sediment concentration and suspended sediment load transport. The study of the water regime of rivers, especially the high water phases, gives a seal to that regime, and at the same time is the most important for the regime of the suspended sediment load transport. One of the simple, but also the most transparent ways, is displaying of the data shown by the ratio of the average monthly toward the average annual values (Živković N., Gavrilović Lj., 2009).

In Figures 4 and 5, the modular values of  $q$ , SSC, and  $Q_s$  are shown. Generally, for both hydrological profiles, the growing branch of the annual runoff distribution begins in October and culminates in February. From February starts declining tendency of runoffs, so in September, it reaches its lowest level. A very important indicator of the water regime is the distribution of monthly runoff values that are above, that is, below the annual average. Thus, the period of time in which the monthly values of the specific runoff are higher than its annual average at Brus 5 months (February-June), and at Ravni 4 months (April-January).

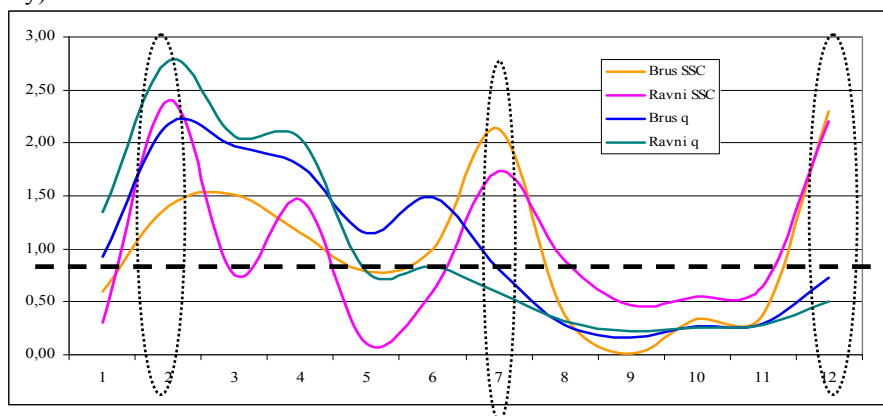


Figure 4. Average monthly suspended sediment concentrations (SSC) and average monthly specific runoffs ( $q$ ) shown modularly (av. mon./av. ann.) on the hydrological stations of Brus and Ravni

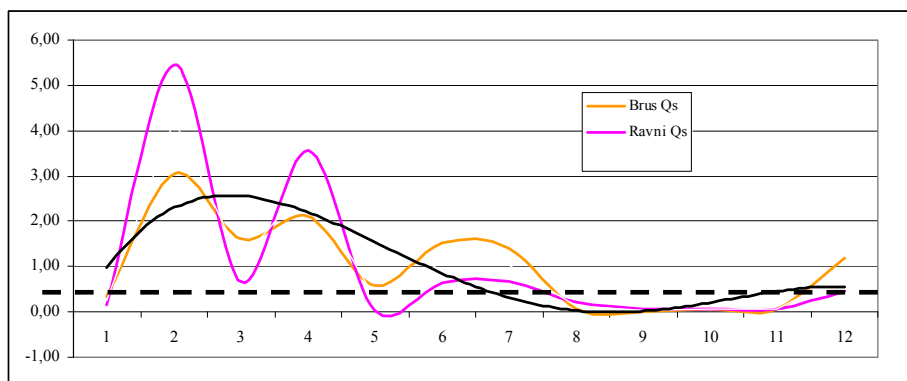


Figure 5. Monthly transport of the suspended sediment load ( $Q_s$ ) shown modularly (av. mon./av. ann.) on the hydrological stations of Brus and Ravni

The growing branch of the SSC, generally starts from October and lasts until February, when it takes the character of decline. However, the inter-annual distribution of the suspended sediment concentration does not completely follow the inter-annual distribution of the runoffs. This is especially observed in the distribution of the average monthly suspended sediment concentrations, which values are greater than the average annual. Thus, unlike the distribution of the runoffs characterized by a single period, at the inter-annual distribution of the suspended sediment concentrations this is not the case. On the hydrological profile of Brus, as above-average months, distinguish the following: February, March, April, June, July and December. At the hydrological profile of Ravni, those are February, April, June and December.

As it can be seen in Figure 4, in the area of the Rasina River Basin, there are some specificities in the regime of the suspended sediment concentrations on the distinguished profiles. The characteristic for both hydrological profiles is the existence of extreme single events related to the annual distribution of the SSC. It is the appearance of above-average values of the suspended sediment concentrations in *February, July and December*. Their extreme value is the consequence of different precipitation, temperature and vegetation conditions.

*February 2010.* High values of the suspended sediment concentrations measured during February are the consequence of the combination of precipitation and temperature conditions that occurred in the wider area of Serbia. The researches in the area of the Nišava River Basin showed the extent to which the values of the suspended sediment concentration were determined by the advent of high air temperatures during February. So, the connection between the daily idle air temperature and the discharge on one side, and the air temperature and the suspended sediment concentration on the other hand, is described by the exponential regression with the determination coefficient of 0.79 (Mustafić S. et al., 2013). Average monthly air temperature higher than 1 °C during January and February in the station of Brus (absolute maximal daily temperature of 17.2 °C recorded on February 20th), as well as the amount of precipitation of 52.6 mm (48 % larger than the fifty years' average), caused the extremely high daily suspended sediment concentrations.

*July 2010.* According to all characteristics of the monthly regimes of precipitation and runoff, the average monthly value of the SSC should be below average. In fact, the total monthly amount of precipitation measured at the precipitation stations of Kopaonik (48.9 mm) and Brus (21.9 mm), was less than the fifty years' average of 1.9, that is, 2.9 times. Also, the number of days with precipitation greater than 10 mm, which would cause the intensification of the erosion process, is not recorded at the station of Brus, while on Kopaonik only one of such days was registered. However, as the values of the slit concentrations are very sensitive to precipitation events, the relatively high average monthly suspended sediment concentrations in July can be explained by the precipitation events that occurred at the end of the previous month. In the hydrological station of Brus, the SSC value of 0.2726 g/l was measured on July 6th, as the value of 0.2655 g/l that was measured on the following day, also represented the maximum daily values of the whole research period, although measured during the runoffs which relatively were on the average annual level. In this case, the measured values of the SSC are the consequence of the large amounts of precipitation that excreted on June 28th. On that day, in the station of Kopaonik fell 28 mm of rain, which made 24 % of the monthly amount of precipitation; while at Brus, the 54 mm excreted, i.e., even 50.3 % of the monthly amount. Such high amounts of precipitation, as well as the fact that on July 2nd, 11 mm of the daily precipitation was measured in the station of Kopaonik, reflected in the rapid increase in discharge, which resulted in the formation of high suspended sediment concentrations in the coming days. In the second half of the month, the SSC recorded below average values.

*December 2010.* Although the monthly amount of precipitation recorded in this month at the station of Brus was below the long-term average, in the mountainous hinterland in December excreted 80.7 mm of precipitation (which was about 18 % higher value than the average) for 19 precipitation days, of which two days were with the precipitation of 10-12 mm. The average monthly air temperature above zero, with high maximum daily temperatures (08.12.2010. the maximal daily temperature was as high as 20 °C at the station of Brus and 8.2 °C at the station of Kopaonik) caused the rapid melting of snow cover and the occurrence of high discharges. Taking into account the state of the vegetation cover and the nakedness of the substrate and the high values of the terrain slope, the occurrence of high discharges caused the emergence of high suspended sediment concentrations.

Correspondent with the specific runoffs and the corresponding suspended sediment concentrations, generally the inter-annual distribution of the suspended sediment load transport ( $Q_s$ ) shows a certain regularity (Figure 5). The growing branch of the annual distribution of the suspended sediment load transport begins in late summer and early autumn, i.e., in October. The line of a growing trend reaches its maximum in late winter and early spring. In particular, in 2010, on both hydrological profiles, it reached a maximum in February, wherein  $Q_s$  was 5.4 times (profile of Ravni), that is, 3 times (profile of Brus) higher than the annual average. The declining branch of the annual distribution  $Q_s$  starts from March and reaches its minimum in September, when the suspended sediment load transport equals the annual average. Its duration at both measuring points is 7 months. However, in the annual distribution of  $Q_s$ , the above average values are differently represented on the hydrological profiles of Brus and Ravni. So, at Brus, a single period from February to July can be noticed (with the exception of May), as well as December with values that are above the annual average. During these six months, 90.7 % of the annual amount of the suspended sediment load was transported. On the other hand, at the hydrological station of Ravni, only two months (February and April) recorded the above average values, while during this period 75 % of the annual suspended sediment load was transported.

The suspended sediment load transport determined according to the season is given in Table 5. From the enclosed, it can be concluded that on both hydrological profiles, the largest part of the annual transport is realized during the winter, and that is 38.1 % on the profile of Brus and even 50.3 % on the downstream profile of Ravni. The spring follows, during which approximately the same amount of the load is transported on both hydrological profiles. However, the biggest difference is during the summer. In fact, in the annual distribution at the upstream profile, two times more of the suspended sediment load is transported than in the downstream part. The big difference between the profiles is also observed in the value of the specific suspended sediment load transport in the scope of all distinguished seasons. At the downstream station, the specific suspended sediment load transport is greater in comparison with the upstream profile from 3 to 8.3 times.

The influence of all direct and indirect factors that determine the suspended sediment load transport, and which are incorporated in the notion of *the season*, sum up in the fact that they are primarily determined by the amount of runoff water. The relation between specific runoffs and suspended sediment concentration, and specific runoffs and suspended sediment load transport at the level of the seasons are presented in Figures 6 and 7. In the analysis process, the average decade values of the  $q$ , SSC and  $Q_s$  were taken into account. *The upper part of the Rasina River Basin, according to the suspended sediment load transport, in general, is characterized by the existence of two seasons: hot and wet (winter-spring) and hot and dry (summer-autumn) season.*

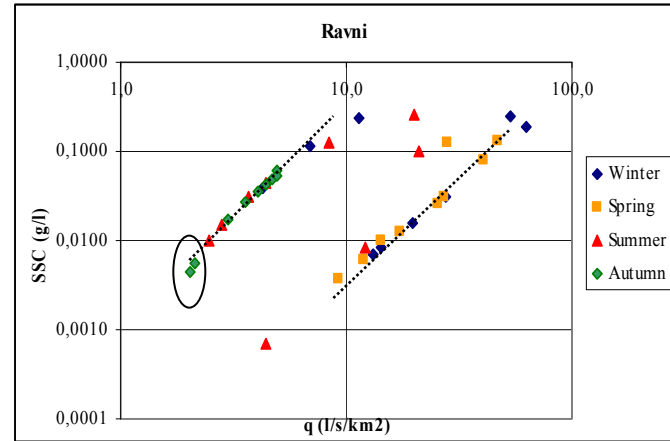
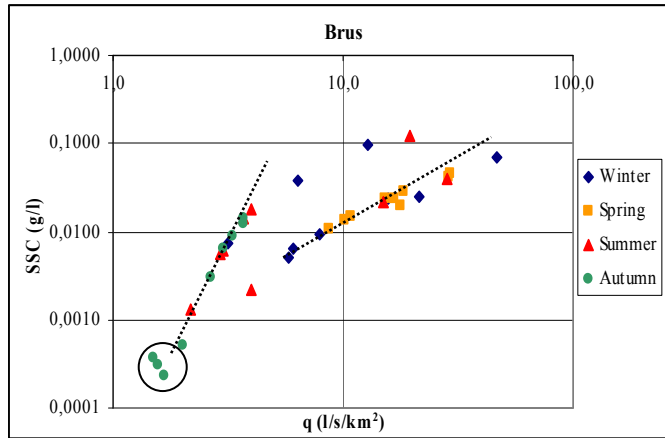


Figure 6. Relation between specific runoff ( $q$  l/s/km<sup>2</sup>) and suspended sediment concentrations (SSC g/l)

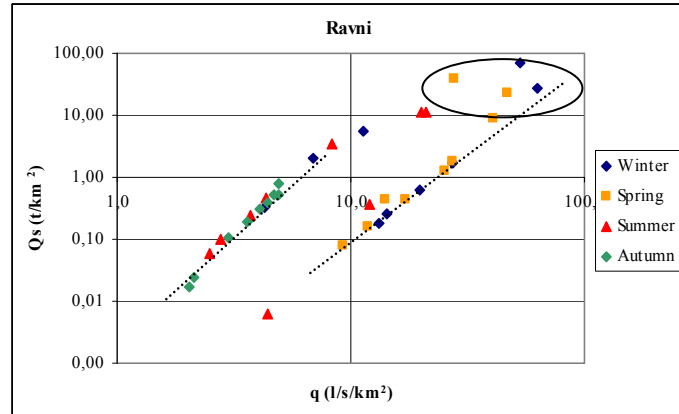
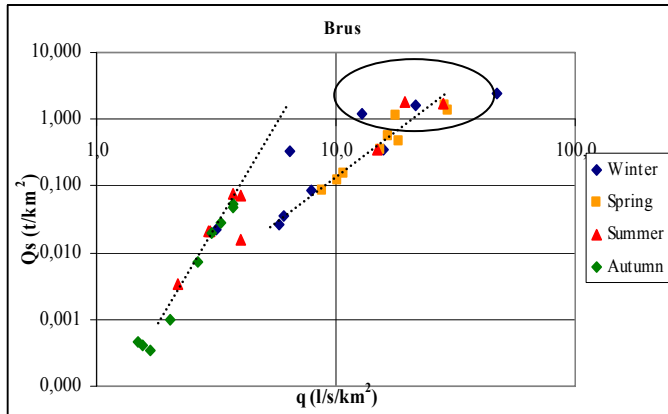




Figure 7. Relation between specific runoff ( $q$  l/s/km<sup>2</sup>) and specific suspended sediment load transport ( $Q_{ss}$  t/km<sup>2</sup>)Table 1. Average monthly specific runoff ( $q$ ) and average monthly suspended sediment concentration (SSC) on the hydrological profiles of Brus and Ravni in 2010

Hidrological Station	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<b>Brus</b>												
$q$ (l/s/km <sup>2</sup> )	9,8	23,1	20,8	18,8	12,2	15,7	8,6	3,0	1,7	2,9	3,1	7,6
SSC (g/l)	0,0129	0,0303	0,0325	0,0246	0,0168	0,0214	0,0459	0,0081	0,0004	0,0073	0,0079	0,0493
<b>Ravni</b>												
$q$ (l/s/km <sup>2</sup> )	20,3	41,7	31,0	30,7	11,9	12,5	8,8	4,8	3,3	3,8	4,2	7,6
SSC (g/l)	0,0181	0,1453	0,0452	0,0884	0,0067	0,0364	0,1046	0,0539	0,0281	0,0332	0,0388	0,1332

Table 2. Monthly suspended sediment load transport ( $Q_s$ ) and specific suspended sediment load transport ( $Q_{ss}$ ) on the hydrological profiles of Brus and Ravni in 2010

Hidrological Station	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<b>Brus</b>												
$Q_s$ (t)	96,9	875,6	461,8	604,0	170,1	436,3	403,0	19,2	0,4	16,1	16,8	337,2
$Q_{ss}$ (t/km <sup>2</sup> )	0,45	4,11	2,17	2,84	0,80	2,05	1,89	0,09	0,002	0,08	0,08	1,58
<b>Ravni</b>												
$Q_s$ (t)	518,7	19567,6	2409,2	12773,5	138,8	2338,3	2432,5	767,5	188,5	188,0	207,8	1634,9
$Q_{ss}$ (t/km <sup>2</sup> )	1,15	43,39	5,34	28,32	0,31	5,18	5,39	1,70	0,42	0,42	0,46	3,63

Table 3. Monthly and annual amount of precipitation ( $X$ ) in the stations of Kopaonik and Brus

Station	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Annual
<b>Kopaonik</b>													
$X_{an}$ (mm) 1961/2010	63,3	57,9	68,1	85,1	114,2	121,5	91,9	87,2	87,8	64,6	72,9	68,1	982,6
$X$ (mm) 2010	86,1	81,1	94,4	140,9	131,0	172,9	48,9	53,0	53,7	86,9	69,2	80,7	1098,8
<b>Brus</b>													
$X_{an}$ (mm) 1961/2010	41,1	35,4	42,4	52,6	77,1	78,9	63,8	52,4	50,8	46,0	56,2	49,7	646,3
$X$ (mm) 2010	32,2	52,6	49,8	66,4	66,2	107,4	21,9	102,8	20,5	86,5	28,8	39,8	674,9

**Table 4. Regression model of the exponential type at the level of connection  $SSC = f(q)$** 

HS	Period	Regression model	R <sup>2</sup>
<b>Brus</b>	winter-spring	$y = 0,0075e^{0,0627x}$	0,91
<b>Ravni</b>	winter-spring	$y = 0,0025e^{0,0923x}$	0,83
<b>Brus</b>	summer-autumn	$y = 0,0023e^{2,3477x}$	0,98
<b>Ravni</b>	summer-autumn	$y = 0,001e^{0,8481x}$	0,96

**Table 5. Seasonal distribution of suspended sediment load transport in 2010**

HS	Winter	Spring	Summer	Autumn	Annual	Denudation rate (mm/yr)
<b>Brus</b>						
Qs (t)	1309,7	1235,9	858,4	33,3	3437,3	0,042
Qss (t/km <sup>2</sup> )	6,1	5,8	4,0	0,2	16,4	
% Qs	38,1	36,0	25,0	1,0	100	
<b>Ravni</b>						
Qs (t)	21721,15	15321,54	5538,36	584,21	43165,3	0,254
Qss (t/km <sup>2</sup> )	48,16	33,97	12,28	1,30	95,7	
% Qs	50,3	35,5	12,8	1,4	100	

Grouping of data is defined by the regression model of the exponential type at the level of the connection  $SSC = f(q)$  (Table 4), which is characterized by a high coefficient of determination, that for the winter-spring season amounts 0.83 (profile of Ravni) and 0.91 (profile of Brus); and for the summer-autumn 0.98, i.e., 0.96 respectively. From the accompanying Figures and given exponential model, it is noticed that *the polarization of the seasons in two seasons is more pronounced on the downstream profile*, as indicated by the slope of the trend line.

In the Figure, a different position of the extreme seasonal values of the SSC and Qs for approximately the same specific runoffs on the given profiles is also observed. That is why the extreme *autumn* SSC for the discharges of 1.5- 2 l/s/km<sup>2</sup> on the hydrological profile of Brus are below the value of 0.0005 g/l, while at the hydrological profile of Ravni, for the same specific discharges, the value of the SSC is approximately 0.05 g/l, i.e., ten times higher. For the same values of the specific runoffs, also the suspended sediment load transport records big differences. So, at Brus, approximately 0.1 t of the suspended sediment load is transported, and at Ravni about 10 t.

On the other hand, the polarization of the extreme maximal seasonal SSC and Qs is more distinguished at the downstream profile, in terms of their determination to cold-wet and warm-dry period. In fact, the maximal values of the specific sediment load transport Qs for the specific runoff values higher than 10 l/s/km<sup>2</sup> at the profile of Brus are in the quadrant of 1-10 t/km<sup>2</sup>, where in that range, the extreme values of all seasons, except the autumn season, are represented. However, the extreme seasonal values of the specific suspended sediment load transport Qs at the hydrological profile of Ravni are defined by the quadrant of 10-100 t/km<sup>2</sup>, but only occur in the winter and spring season, while the maximal summer values are exactly on the limit of 10 t/km<sup>2</sup>.

The average rate of denudation is estimated through the relations that were defined by Gregory and Walling, 1973. The greatest reduction due to mechanical erosion is 0.254 mm/year in the most downstream sector, while upstream from the station of Brus is 0.042 mm/year.

## Conclusion

The total amount of the suspended sediment load that is transported in 2010 at the profile of Brus, was 3,437.3 t, giving a specific suspended sediment load transport of 16.4 t/km<sup>2</sup>/year. At the downstream profile of Ravni, 43,165 t of the suspended sediment load was transported, that is, 95.7 t/km<sup>2</sup>/year. The big difference between the profiles is also observed in the value of the specific suspended sediment load transport within all distinguished seasons. At the downstream station, the specific suspended sediment load transport is greater in comparison with the upstream profile from 3 times during the summer to 8.3 times during the winter.

The basin as a whole is characterized by the existance of two seasons, which, by their characteristics in the suspended sediment load transport, represent the extreme variants: during the winter-spring season, from 74 to 85.8 % of the total load was transported, and during the summer-autumn season from 14.2 to 26 %. The polarization of the seasons in two seasons, is more pronounced on the downstream profile of Ravni. The average rate of reduction of the topographic surface up to Brus is 0.042 mm/year, while to the profile of Ravni is significantly higher (0.254 mm/year), which is the consequence of large distribution of the flysch rocks.

## References

- Bajat, B., Pejović, M., Luković, J., Manojlović, P., Ducić, V. and Mustafić, S. (2012). Mapping average annual precipitation in Serbia (1961-1990) by regression kriging. *Theoretical and Applied Climatology*, 112 (1-2), 1-13, DOI 10.1007/s00704-012-0702-2
- Belanović, S., Beloica, J., Perović, V., Alnaass, N., Knežević, M. and Kadović, R. (2012). Current state and threats of soil resources in the catchment of the Rasina above the "Celije" water reservoir. International Conference On 'Land Conservation'-Landcon 1209: Sustainable Land Management And Climate Changes, September 17-21, 2012, Danube Region, Republic of Serbia, 28-28
- Gregory, K.J. and Walling, D.E. (1973). *Drainage Basin Form and Processes - A Geomorphological Approach*. Edward Arnold, London, UK.
- Kadović, R., Belanović, S., Kostadinov, S., Beloica J., Todosijević M. (2012). The Influence of soil organic carbon on soil erodibility of forest soils in the catchment of the Rasina. International Conference On 'Land Conservation'- Landcon 1209: Sustainable Land Management And Climate Changes, September 17-21, 2012, Danube Region, Republic of Serbia, 48-48
- Kostadinov, S., Zlatić, M., Dragičević, S., Novković, I., Košanin, O., Borisavljević, A., Lakićević, M. and Mladjan, D. (2014). Anthropogenic Influence On Erosion Intensity Changes In The Rasina River Watershed - Central Serbia. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23 (1),
- Loczy D. (2012). Geomorphological Impacts of Extreme Weather. In (ed. Loczy D), "*Geomorphological Impacts off Ekstreme Weather. Case Studies from Central and Eastern Europe*". Springer
- Manojlović, P. and Živković N., (1997). The Map of Runoff in Serbia. *Collection of the papers Faculty of Geography Universitu of Belgrade*, 48, 15-25
- Manojlović, P., Srejić, M., Djokić, I., Mustafić, S. and Dobrosavljević, T. (2013). Altitudinal Zonation Of Runoff In The Rasina River Basin. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 93 (2), 41-54
- Mustafić, S., Kostadinov, S., Manojlović, P. (2008). Risk of Artificial lake "Zavoj" to Processes of Erosion-methodological, knowing and protecting aspect. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 88 (1), 29-42
- Mustafić, S., Manojlović P. and Milošević M. (2013). Extreme Erosion Rates in the Nisava River Basin (Eastern Serbia) in 2010. In (ed. Loczy D), "*Geomorphological Impacts off Ekstreme Weather. Case Studies from Central and Eastern Europe*". Springer, 171-187
- Živković N. and Andjelković G. (2004). Altitude Precipitation Gradient in Serbia. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 84 (2), 31-36
- Živković N. and Gavrilović Lj. (2009). O režimu velikih reka Kosova i Metohije. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 89 (4), 225-253

## ДИНАМИКА ПРОНОСА СУСПЕНДОВАНОГ НАНОСА У ГОРЊЕМ ДЕЛУ СЛИВА РАСИНЕ 2010. ГОДИНЕ

САЊА МУСТАФИЋ<sup>1</sup>\*, ПРЕДРАГ МАНОЈЛОВИЋ<sup>1</sup>, ПРЕДРАГ КОСТИЋ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Универзитет у Београду-Географски факултет, Студентски трг 3/3, Београд, Србија*

**Сажетак:** Рад третира проблематику транспорта суспендованог наноса у горњем делу слива Расине у зводно од акумулације "Ћелије" током 2010. године. Мерења концентрација суспендованог наноса вршена су на два хидролошка профила Брус и Равни. Укупна количина суспендованог наноса која је транспортована код профила Брус у 2010. години износила је 3437,3 тона, што даје специфични пронос од 16,4 t/km<sup>2</sup>/год. На низводном профилу Равни прнето је 43165 t суспендованог наноса, односно 95,7 t/km<sup>2</sup>/год. Слив у целини карактерише постојање две сезоне које по својим карактеристикама у проносу наноса представљају екстремне варијанте. Током зимско-пролећне сезоне транспортовало се 74-85,8 % укупног годишњег наноса, а током летње-јесење сезоне између 14,2-26 %.

**Кључне речи:** суспендовани нанос, сезонска варијабилност, екстремни хидролошки услови, Расина, Србија.

### Увод

Ерозија земљишта спада у групу процеса која има директне репрекусије на динамику засипања водних акумулација. Поред засипања акумулација наносом и погоршања квалитета воде, ерозија и пронос наноса могу бити ограничавајући фактори развоја простора који гравитира акумулацији (Mustafić S., Kostadinov S., Manojlović P., 2008). Стога се проучавање ерозије земљишта намеће као фундаментални промбем чије решавање подразумева утврђивање свих њених видова: хемијске ерозије, механичке водне ерозије, картирање деградираних површина и сл. С обзиром на значај водне акумулације "Ћелије" и њене улоге у водоснабдевању, претходним истраживањима утврђена је количина и просторна дистрибуција водних капацитета (Manojlović P et al., 2013), анализирани су промене интензитета ерозије у периоду од 1971-2011. године (Kostadinov S. et al., 2014), као и стање и квалитет земљишних ресурса (Belanović S. et al., 2012, Kadović R. et al., 2012). У овом раду третирају се проблеми који се односе на динамику и транспорт суспендованог наноса. С обзиром да је током 2010. године простор Централне и Источне Европе био под утицајем екстремних климатских догађаја који су се снажно репрекурисали на стање и квалитет животне средине (Loczy D., 2012), истраживања која су представљена у овом раду пружају могућност утврђивања проноса суспендованог наноса за време трајања екстремних хидролошких услова.

### Физичко-географске карактеристике слива

Река Расина је десна притока Западне Мораве. Слив захвата површину од 1054 km<sup>2</sup>, а до акумулације "Ћелије" 611,3 km<sup>2</sup>. У сливу Расине просечно се излучи 744 mm, што је нешто већа вредност од просека за Србију који износи 739 mm (Вајат et al. 2012). Сезонска расподела падавина је таква да се највећа количина излучи током лета (30,1 %), при чему само јун учествује са 12,3 % годишње расподеле. Следи пролеће са 27,1 %, са доминантним месецем мајем у оквиру кога се излучи 11,6 % годишње суме падавина. Јесењи месеци учествују са 23,8 %, а зимски са 19,5 % годишње расподеле падавина. Са порастом надморске висине просечно повећање падавина износи 77 mm/100 m (Živković N., Anđjelković G., 2004).

\* E-mail: sanjam@gef.bg.ac.rs

Просечни пондерисани специфични отицај у сливу Расине до акумулације "Телије" виши је од просека за Србију ( $7,06 \text{ l/s/km}^2$ , Manojlović P., Živković N., 1997) и износи  $9 \text{ l/s/km}^2$ . Вредности специфичних отицаја крећу се у распону од  $3 \text{ l/s/km}^2$  у најнижводнијем секторку код бране, до  $27,9 \text{ l/s/km}^2$  колико износи у највишем планинском делу слива. Највеће богатство вода у сливу, са учешћем од  $65,3 \%$  у укупном формирању отицаја, налази се изнад  $700 \text{ m}$  надморске висине (Manojlović P et. al., 2013).

Највећу површину захватају флишне стене  $41 \%$ , које су најзаступљеније у средњем делу слива у висинској зони између  $300\text{-}900 \text{ m}$ . Овај стенски комплекс учествује са  $39,6 \%$  у укупном отицају воде у сливу. Други по заступљености су магматити и метаморфити, који захватају  $39 \%$  површине слива, са  $42,8 \%$  укупног отицаја. Невезаним седиментима, песковима и алувијуму припада  $16,5 \%$  површине слива, док најмање распрострањење ( $3,5 \%$ ) имају кречњаци и доломити (Manojlović P et. al., 2013).

### Методологија истраживања

Узорковање воде за потребу утврђивања концентрације суспендованог наноса вршено је на два хидролошка профила Брус и Равни. Узорци су узимани током календарске 2010. године. Концентрација суспендованог наноса у води утврђивана је филтрацијом литарских узорака уз помоћ вакуум пумпе Sartorius, а затим мерењем тежине филтер-папира дигиталном вагом након сушења у сушионици на  $105^\circ \text{ C}$  и ексикатору пре и после процеђивања. Коришћен је филтер папир Watman 359. Сви аналитички поступци урађени су у Лабораторији за физичку географију Географског факултета у Београду.

Дневне вредности протицаја на хидролошким профилима Брус и Равни, као и подаци о количини падавина на станицама Копаник и Брус, добијени су од Хидрометеоролошког завода Србије (РХМЗ, 2010).

### Резултати и истраживања

#### Основне карактеристике отицаја, концентрација суспендованог наноса и проноса суспендованог наноса

Просечна годишња вредност концентрације суспендованог наноса (SSC) на хидролошкој станици Брус износи  $0,0215 \text{ g/l}$  при просечном годишњем протицају од  $2,24 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $q= 10,6 \text{ l/s/km}^2$ ). Минимална дневна измерена SSC износила је само  $0,0001 \text{ g/l}$  и утврђена је у током више дана крајем августа и почетком септембра. То се поклапа са периодом најнижих вредности протицаја. Максимална забележена вредност SSC износила је  $0,2726 \text{ g/l}$  и измерена је након јулских пљусковитих падавина. Однос између дневних екстрема износи  $1:2726$ .

На месечном нивоу уочавају се велике разлике и одступања једног месеца у односу на други, као и у односу на годишњи просек. Убедљиво најнижу средњу месечну вредност имао је септембар -  $0,0004 \text{ g/l}$ , при средњем месечном протицају од  $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $q= 1,73 \text{ l/s/km}^2$ ). Средњи месечни максимум бележи децембар са  $0,0493 \text{ g/l}$  при средњем месечном протицају од  $3,15 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $q= 7,65 \text{ l/s/km}^2$ ). Тако је однос између екстремних средње месечних концентрација суспендованог налази у односу  $1:12$ .

На први поглед се види да су вредности и протицаја и концентрације значајно на хидролошком профилима Равни веће него код Бруса. Просечна годишња вредност SSC на низводнијем профилима, при средњегодишњем протицају од  $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $q= 14,84 \text{ l/s/km}^2$ ), износи  $0,0604 \text{ g/l}$ . Дневни максимум је износио чак  $1,2927 \text{ g/l}$  и то

током фебруара, при протицају од  $80,4 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $q=41,66 \text{ l/s/km}^2$ ), док је дневни минимум SSC забележен током јуна, када је износио  $0,0003 \text{ g/l}$ , при протицају од  $1,39 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $q=3,08 \text{ l/s/km}^2$ ). Однос између дневних екстрема износио је 1:4309.

Средње месечне вредности SSC кретале су се у распону од  $0,067 \text{ g/l}$  у мају ( $Q=5,35 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $q=11,85 \text{ l/s/km}^2$ ) до  $0,1453 \text{ g/l}$  колико су износиле у фебруару ( $Q=18,79 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $q=41,66 \text{ l/s/km}^2$ ), тако да однос између средњих месечних концентрације износи 1:22.

Расподела специфичних отицаја према утврђеним класама дата је на графику 1. Компаративна анализа хидролошких профила показује доминацију малих вода на узводном профили Брус: 33,2 % припада отицајима до  $3 \text{ l/s/km}^2$ . Дистрибуција отицаја на низводном профили Равни има обележја нормалне расподеле. Доминирају отицаји у класи  $10\text{-}20 \text{ l/s/km}^2$ , који су трајали скоро четвртину временског периода. Екстремна стања водности, тј. отицаји већи од  $50 \text{ l/s/km}^2$  забележени су на профили Брус током 10 дана, а код Равни 15 дана.

Дистрибуција концентрација суспендованог наноса расподељена је у пет, односно шест класа (график 2). Највећим делом године (46 % времена код Бруса, 50 % времена код Равни) концентрације суспендованог наноса налазиле су се у распону од  $0,01\text{-}0,1 \text{ g/l}$ . Потом доминирају концентрације наноса у класи од  $0,001\text{-}0,01 \text{ g/l}$ , које су трајале 38 % времена код узводног профила и 31 % код низводног. Доминација малих вода на профили Брус одразила се да на овом сектору SSC у класи  $0,0001\text{-}0,001 \text{ g/l}$  3,3 пута већа него на низводнијој станици. С друге стране, двоструко већа доминација отицаја у класама преко  $20 \text{ l/s/km}^2$  на низводном профили Равни утицала је на троструко већу појаву концентрација силата већих од  $0,1 \text{ g/l}$ . На овом профили забележен је и један случај (20. фебруар) концентрација суспендованог наноса од  $1,2927 \text{ g/l}$ .

Укупна количина суспендованог наноса која је транспортована код профила Брус у 2010. години износила је  $3437,3$  тона, што даје специфични пронос од  $16,4 \text{ t/km}^2/\text{год}$ . Апсолутни дневни максимум постигнут је 20.04. када је израчунат пронос од чак  $225,1 \text{ t}$ , при протицају од  $22,7 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $106,6 \text{ l/s/km}^2$ ). Апсолутни минимум је измерен 31.08. када је пронето само  $3 \text{ kg}$ /дан наноса. Низводнији профил Равни, обухвата већу површину па су због тога знатно веће вредности проноса наноса. За годину дана пронето је  $43165 \text{ t}$  суспендованог наноса, односно  $95,7 \text{ t/km}^2/\text{год}$ . Дневне амплитуде проноса суспендованог наноса крећу се у распону од  $3 \text{ kg}$ /дан до  $8980 \text{ t/dan}$ . Минималне вредности забележене су 20., 21. и 22. јуна при протицајима од  $1,39 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $3,08 \text{ l/s/km}^2$ ), а максимални 20.02. при протицају од  $80,47 \text{ m}^3/\text{s}$ , ( $178,3 \text{ l/s/km}^2$ ). Према извојеним класама на наведеним профилима (график 3), код Бруса у годишњој расподели доминира нанос до  $1 \text{ t}$  (53 % времена), док је код Равни у овој класи 3 пута мање наноса. С друге стране, код Равни 29 % времена припада проносу који се налази у распону од  $10\text{-}100 \text{ t}$ , што је два пута дужи временски период него код узводног профила. Такође, екстремне вредности проноса наноса на низводном профили, веће од  $100 \text{ t/dan}$ , трајале су знатно дуже. Таквих дана забележено је 7 код Бруса, а чак 41 дан код Равни.

**График 1. Дистрибуција специфичног отицаја ( $q \text{ l/s/km}^2$ ) на хидролошким профилима Брус и Равни.**

**График 2. Дистрибуција концентрација суспендованог наноса (SSC  $\text{g/l}$ ) на хидролошким профилима Брус и Равни.**

**График 3. Дистрибуција проноса суспендованог наноса ( $Q_s \text{ t}$ ) на хидролошким профилима Брус и Равни.**

### Месечна и сезонска расподела отицаја, концентрација силта и проноса суспендованог наноса

Адекватно проучавање механичке водне ерозије подразумева компаративно сагледавање режима отицаја, концентрације суспендованог наноса и проноса суспендованог наноса. Проучавање водног режима река, посебно фаза великих вода која даје печат том режиму, уједно је и најзначајнија за режим проноса наноса. Један од једноставних, али и најпрегледнијих начина, јесте приказивање података исказаних односом средњемесечних према средњегодишњим вредностима (Živković N., Gavrilović Lj., 2009).

На графицима 4. и 5. приказане су модулне вредности  $q$ , SSC и  $Q_s$ . Генерало за оба хидролошка профила, растућа грана годишње расподеле отицаја почиње од октобра и достиже врхунац у фебруару. Од фебруара почиње тенденција опадања отицаја, тако да он у септембру достиже најнижу вредност. Веома важан показатељ водног режима је расподела месечних вредности отицаја које су изнад, односно испод просечних годишњих. Тако је период трајања у коме су месечне вредности специфичног отицаја веће од њеног годишњег просека код Бруса 5 месеци (фебруар-јун), а код Равни 4 месеца (јануар-април).

**График 4.** Средње месечне концентрације суспендованог наноса (SSC) и средње месечни специфични отицаји ( $q$ ) исказани модулно (ср. мес / ср. год) на хидролошким станицама Брус и Равни.

**График 5.** Месечни пронос суспендованог наноса ( $Q_s$ ) исказан модулно (ср. мес. / ср. год) на хидролошким станицама Брус и Равни.

Растућа грана SSC, генерлно, полази од октобра и траје до фебруара, када заузима карактер опадања. Међутим, интрагодишња расподела концентрација суспендованог наноса не прати у потпуности интрагодишњу расподелу отицаја. То се нарочито запажа код расподеле средњемесечних концентрација силта чије су вредности веће од средње годишње. Тако, за разлику од расподеле отицаја коју карактерише јединствен период, код унутаргодишње расподеле концентрација суспендованог наноса то није случај. На хидролошком профилу Брус као надпросечни месеци издвајају се фебруар, март, април, јун, јул и децембар. Код хидролошког профила Равни то су фебруар, април, јун и децембар.

Као што се из графика 4 може видети, на простору слива Расине постоје извесне специфичности у режиму концентрација суспендованог наноса на издвојеним профилима. Карактеристика за оба хидролошка профила, јесте постојање екстремних појединачних догађаја везаних за годишњу расподелу SSC. То је појава надпросечних вредности концентрација суспендованог наноса у *фебруару, јулу и децембру*. Њихова екстремна вредност последица је различитих падавинских, температурних и вегетацијских услова.

*Фебруар 2010. године.* Високе вредности концентрације силта измерене током фебруара месеца ( последица су комбинације падавнских и температурних услова који су се десили на ширем простору Србије. Истраживања на простору слива Нишаве показала су у којој мери су вредности концентрација силта детерминисане појавом високих температура ваздуха током фебруара. Тако је веза између дневног хода температуре ваздуха и протицаја с једне стране, и температуре ваздуха и концентрације суспендованог наноса са друге стране, описана је експоненцијалном регресијом са коефицијентом детерминације од 0,79 (Mustafić S. et al., 2013). Средња месечна температура ваздуха виша од 1 °C током јануара и фебруара на станици Брус (апсолутна максимална дневна температура од 17,2 °C забележена 20. фебруара), као

и количина падавина од 52,6 mm (48 % виша од педесетогодишњег просека) условиле су изузетно високе дневне концентрације суспендованог наноса.

*Јул 2010. године.* Према свим карактеристикама месечног режима падавима и режима отицаја, средња месечна вредност SSC требало би да буде испод просечна. Наиме, укупна месечна количина падавина измерена на падавинским станицама Копаоник (48,9 mm) и Брус (21,9 mm), мања је од педесетогодишњег просека за 1,9, односно 2,9 пута. Такође, број дана са падавинама већим од 10 mm које би условиле интензивирање ерозивног процеса, није забележен на станици Брус, док је на Копаонику регистрован само један такав дан. Међутим, како су вредности концентрација силта веома осетљиве на падавинске догађаје, релативно високе средње месечне концентрације силата у јулу могу се објаснити падавинским догађајима који су се одиграли крајем претходног месеца. На хидролошкој станици Брус вредност SSC од 0,2726 g/l измерена 6. јула, као и вредност од 0,2655 g/l измерена наредног дана, уједно представљају и максималне дневне вредности целог истраживачког периода, иако су измерена за време отицаја који су релативно у нивоу средњегодишњег просека. У овом случају измерене вредности SSC последица су велике количине падавина која се излучила 28. јуна. На станици Копаоник тог дана пало је 28 mm кише, што чини чак 24 % месечне количине падавина; док је код Бруса излучено 54 mm, тј. чак 50,3 % месечне суме. Овако високе количине падавина, као и чињеница да је 2. јула измерена дневна количина падавина од 11 mm на станици Копаоник, одразиле су се на нагло повећање протицаја, што је за последицу имало појаву високих концентрација суспендованог наноса наредних дана. У другој половини месеца SSC бележи испод просечне вредности.

*Децембар 2010. године.* Иако је месечна количина падавина забележена у овом месецу на станици Брус испод вишегодишњег просека, у планинском залеђу током децембра излучено је 80,7 mm падавина (што је за око 18 % већа вредност од просечне) за 19 падавинских дана, од чега су два дана била са количином падавина од 10-12 mm. Средња месечна температура ваздуха изнад нуле, уз високе максималне дневне температуре (08.12. максимална дневна износила је чак 20 °C на станици Брус, а 8,2 °C на станици Копаоник) условиле су нагло отапање снежног покривача и појаву високих протицаја. С обзиром на стање вегетационог покривача и огољеност подлоге и велике вредности нагиба терена, појава високих протицаја условилла је појаву високих концентрација суспендованог наноса.

Коресподентна са специфичним отицајима и одговарајућим концентрацијама суспендованог наноса, генерално унутаргодишња расподела проноса суспендованог наноса (Qs) показује одређену правилност (график 5). Растућа грана годишње расподеле проноса наноса почиње крајем лета и почетком јесени, тј. почиње у октобру. Линија растућег тренда свој максимум достиже крајем зиме и почетком пролећа. Конкретно, током 2010. године на оба хидролошка профила максимум достиже у фебруару, при чему је Qs био чак 5,4 пута (профил Равни), односно 3 пута већи (профил Брус) од годишњег просека. Опадајућа грана годишње расподеле Qs почиње од марта и свој минимум достиже у септембру, када је пронос суспендованог наноса једнак годишњем просеку. Њена дужина трајања на оба мерна места износи 7 месеци. Међутим, у годишњој расподели Qs изнад просечне вредности различито су заступљене на хидролошким профилима Брус и Равни. Тако се код Бруса може уочити јединствен период од фебруара до јула (са изузетком месеца маја), као и децембар са вредностима које су изнад годишњег просека. Током ових 6 месеци транспортовано је 90,7 % годишње суме суспендованог наноса. С друге стране, код хидролошке станице Равни само два месеца (фебруар и април) бележе изнад просечне вредности, при чему се у том периоду транспортује 75 % годишњег проноса.



Пронос суспендованог наноса детерминисан према годишњем добу дат је у табели 5. Из приложеног се закључује да се на оба хидролошка профила највећи део годишњег прноса оствари током зиме, и то 38,1 % на профилу Брус и чак 50,3 % на низводном профилу Равни. Следи пролеће током кога се транспортује приближно иста количина наноса на оба хидролошка профила. Међутим, највећа разлика је током лета. Наиме, у годишњој расподели код узводног профила транспортује се два пута више суспендованог наноса него на низводном делу. Велика разлика између профила уочава се и у вредности специфичног прноса у оквиру свих издвојених сезона. На низводној станици специфични пронос суспендованог наноса већи је у односу на узводни профил од 3 до 8,3 пута.

**Табела 1. Средњи месечни специфични отицај ( $q$ ) и средња месечна концентрација суспендованог наноса (SSC) на хидролошким профилима Брус и Равни 2010.**

**Табела 2. Месечни пронос суспендованог наноса ( $Q_s$ ) и прецифични пронос суспендованог наноса ( $Q_{ss}$ ) на хидролошким профилима Брус и Равни 2010. г.**

**Табела 3. Месечна и годишња количина падавина ( $X$ ) на станицама Копаоник и Брус.**

**Табела 4. Регресиони модел експоненцијалног типа на нивоу везе  $SSC = f(q)$**

**Табела 5. Сезонска расподла прноса суспендованог наноса током 2010. године**

Утицај свих директних и индиректних фактора који детерминишу пронос суспендованог наноса, а који су инкорпорирани у појму *годишње доба*, сумирају се у чињеници да их у првом реду детерминше количина отицајне воде. Однос између специфичних отицаја и концентрације силта, и специфичних отицаја и прноса наноса на нивоу годишњих доба дати су на графицима 6 и 7. У поступку анализе узете су у обзир средње декадне вредности  $q$ , SSC и  $Q_s$ . *Горњи део слива Расине према транспорту суспендованог наноса у целини карактерише постојање две сезоне: хладна и влажна (зима-пролеће) и топла и сува (лето-јесен) сезона.*

Груписаност података дефинисана је регресионим моделом експоненцијалног типа на нивоу везе  $SSC = f(q)$  (табела 4), кога карактерише висок коефицијент детерминације, који за зимско-пролећну сезону износи 0,83 (профил Равни), односно 0,91 (профил Брус); а за летње-јесењу 0,98, тј. 0,96 респективно. Из приложених графика и датог експоненцијалног модела уочава се да је *поларизација годишњих доба на две сезоне израженија на низводном профилу*, на шта указује нагиб линије тренда.

На графику се такође, уочава различит положај екстремних сезонских вредности SSC и  $Q_s$  а за приближно исте специфичне отицаје на датим профилима. Тако се екстремне *јесење* концентрације SSC за протицаје од 1,5-2 l/s/km<sup>2</sup> код хидролошког профила Брус налазе испод вредности од 0,0005 g/l, док је код хидролошког профила Равни за исте специфичне отицаје вредност SSC приближно 0,05 g/l, тј. десет пута је већа. За исте вредности специфичних отицаја и пронос суспендованог наноса бележи велике разлике. Тако се код Бруса транспортује приближно 0,1 t суспендованог наноса, а код Равни приближно 10 t.

С друге стране, поларизација екстремних максималних сезонских SSC и  $Q_s$  израженија је код низводног профила, у смислу њихове детерминације на хладно-влажан и топао-сушни период. Наиме, максималне вредности специфичног прноса  $Q_s$  за вредности специфичног отицаја већег од 10 l/s/km<sup>2</sup> код профила Брус налазе се у квадранту од 1-10 t/km<sup>2</sup>, при чему су у том распону заступљене екстремне вредности свих сезона изузев јесење. Међутим, екстремне сезонске вредности специфичног прноса  $Q_s$  код хидролошког профила Равни дефинисане су квадрантом од 10-100

t/km<sup>2</sup>, али се јављају само у зимској и пролећној сезони, док се максималне летње вредност налазе на самој граници од 10 t/km<sup>2</sup>.

Просечна стопа денудације процењена је преко односа који су дефинисали Gregory и Walling, 1973. Највеће снижавање услед механичке ерозије износи 0,254 mm/год на најнизводнијем сектору, док узводно од станице Брус износи 0,042 mm/год.

### **Закључак**

Укупна количина суспендованог наноса која је транспортована код профила Брус у 2010. години износила је 3437,3 тона, што даје специфични пронос од 16,4 t/km<sup>2</sup>/год. На низводном профилу Равни пронето је 43165 t суспендованог наноса, односно 95,7 t/km<sup>2</sup>/год. Велика разлика између профила уочава се и у вредности специфичног проноса у оквиру свих издвојених сезона. На низводној станици специфични пронос суспендованог наноса већи је у односу на узводни профил од 3 пута током лета до 8,3 пута током зиме.

Слив у целини карактерише постојање две сезоне, које по својим карактеристикама у проносу наноса представљају екстремне варијанте: током зимско-пролећне сезоне транспортовало се 74-85,8 % укупног наноса, а током летње-јесење сезоне између 14,2-26 %. Поларизација годишњих доба на две сезоне израженија је на низводном профилу Равни. Просечна стопа снижавања топографске површине до Бруса износи 0,042 mm/год, док је до профила Равни и знатно виша (0,254 mm/год), што је последица великог распрострањења флишних стена.

### **Литература**

Литературу видети на страни 33.