

## MEHANIČKA VODNA EROZIJA U SLIVU CRNICE

Tanja Dobrosavljević<sup>1</sup>, Sanja Manojlović,  
Milena Gocić, Milan Srejić

**Apstrakt:** Održivo korišćenje resursa lokalne sredine je moguće samo uz identifikaciju glavnih faktora njihove degradacije. Jedan od glavnih faktora degradacije celokupne životne sredine je erozija i transport nanosa. Rad se bavi procesom mehaničke vodne erozije u slivu Crnice sa stanovišta njegove prostorno-vremenske varijabilnosti. Empirijski metod Gavrilović, u kombinaciji sa savremenim programskim paketima i teledetekcionim metodama, omogućio je precizno utvrđivanje uticaja glavnih fizičko-geografskih faktora na proces erozije u slivu. Rezultati istraživanja su pokazali da je u periodu 1971-2011. godine došlo do smanjenja erozije za 13%. Sklop fizičko-geografskih i antropogenih faktora je doveo do specifične prostorne raspodele produkcije nanosa u slivu Crnice. Karte produkcije nanosa u slivu Crnice za 1971. i 2011. godinu, mogu biti osnova za rešavanje ključnih problema grada Paraćina i njegove okoline.

**Ključne reči:** mehanička vodna erozija, metod Gavrilović, koeficijent erozije (Z), produkcija nanosa (W), Crnica, Srbija

## MECHANICAL WATER EROSION IN THE CRNICA RIVER BASIN

**Abstract:** Sustainable use of resources from the local environment is possible only if the main factors of their degradation are identified. Some of the main factors of environmental degradation are soil erosion and sediment transport. This paper is concerned with the process of mechanical water erosion in the Crnica River basin from the perspective of its spatial-temporal variability. The empirical method Gavrilović together with modern software packages and remote sensing methods has enabled precise detection of the main physical-geographic factors that affect the process of erosion in the basin. The results of the research have shown that the period from 1971 to 2011 has seen a decrease in soil erosion by 13%. The combination of physical-geographic and anthropogenic factors has led to a specific spatial distribution of sediment yield in the Crnica basin. The maps showing sediment yield in the Crnica River basin for 1971 and 2011 can be a foundation for the solution of crucial problems in Paraćin and its surroundings, and the interdisciplinary approach in geographic science.

**Key words:** mechanical water erosion, Gavrilović method, erosion coefficient (Z), sediment yield (W), Crnica, Serbia

### UVOD

Degradacija životne sredine, izazvana sve većom potrebom čoveka za energijom, sirovinama i prostorom dovodi u pitanje održivo korišćenje strateški važnih resursa svake lokalne sredine, vode i zemljišta. Upravljanje ovim resursima zahteva identifikaciju glavnih faktora

---

<sup>1</sup> Geografski fakultet, Studentski trg 3/3, Beograd, tanja.dobrosavljevic@gmail.com

njihove degradacije i preduzimanje adekvatnih mera zaštite (Vorosmarty C. et al., 2010). Jedan od glavnih faktora degradacije celokupne životne sredine je erozija i transport nanosa.

Problem erozije zemljišta je veoma aktuelna i važna tema, kome se posvećuje velika pažnja. Naučnici se zbog toga trude da definišu što objektivnije modele za kvantitativno izražavanje erozivnog procesa, kako bi se sprečio gubitak zemljišta. Međutim, veoma je teško pronaći jedan univerzalan erozioni model kako zbog složene prirode erozionog procesa, tako i zbog nedostataka relevantnih ulaznih podataka koji se koriste u erozionim modelima (Tošić M., Dragičević S., 2012). U cilju rasvetljavanja i objašnjavanja mehaničke vodne erozije, mnoge studije pokušavaju da determinišu faktore koji na nju utiču. Pepin et al. (2010) pokušavaju da mehaničku vodnu eroziju povežu sa klimatskim uslovima i vegetacionim pokrivačem. Aalto et al. (2006) objašnjavaju topografske uslove. Pepin et al. (2010) su došli do visoke korelacije između specifičnog oticaja, ugla nagiba i produkcije nanosa u Andima, na teritoriji Čilea. Konačno, povezanost ovog procesa i ostalih faktora su testirani primenom više regresivnih modela, a rezultati širom sveta su veoma različiti, i naravno uslovljeni različitim prostornim i vremenskim okvirom (Pepin et al., 2013). Zato i postoje primeri istovremene primene različitih modela nad istim prostorom, pri čemu se dobijaju različiti rezultati (Tošić R., 2012).

U Srbiji je najpoznatiji metod Gavrilović, na osnovu koga je od 1966. godine do 1971. godine rađena Karta erozije. Realizacija ovakvog pristupa našla je uporište i na primerima ne samo slivova (Kolubara, Ljig, Nišava, Rasina, Crnica), već i administrativnih jedinica kao što su opština Zaječar, Ub i sl. (Dragičević S., Novković I., Prica M., 2009; Mustafić S., 2012; Dobrosavljević T., 2014; Dragičević S., Novković I., Milutinović M., 2009). Cilj je bio da se utvrdi prostorna distribucija mehaničke vodne erozije, ali i da se poređenjem dva vremenska perioda (1971/2011.) utvrdi dinamika tog procesa, uz sagledavanje dominantnih faktora koji na nju utiču.

## METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Primena metoda Gavrilović se zasniva na kartiranju erozivnih procesa, odnosno određivanju koeficijenta erozije, kao i poznavanju određenih klimatskih elemenata i morfoloških karakteristika terena.

Produkcija nanosa ( $W$ ) izračunava se prema sledećoj formuli:

$$W_{god} = T \times H_{god} \times \pi \times \sqrt{Z^3} \times F$$

- $W_{god}$  - ukupna produkcija nanosa ( $m^3/god$ ),
- $T$  - temperaturni koeficijent sliva,
- $H_{god}$  - srednja godišnja količina padavina u mm,
- $Z$  - koeficijent erozije,
- $F$  - površina sliva u  $km^2$ .

Temperaturni koeficijent ( $T$ ):

$$T = \sqrt{\frac{t}{10}} + 0.1$$

$t$  - srednja godišnja temperatura

Koeficijent erozije (Z) dobija se na osnovu obrasca

$$Z = Y \times X (\varphi + I)$$

Y - koeficijent otpora zemljišta od atmosferilija i erozije,

X - način korišćenja zemljišta

$\varphi$  - koeficijent vida erozije,

I - pad topografske površine.

Obradom geoloških, geomorfoloških i klimatoloških podataka su dobijeni podaci za izračunavanje koeficijenta erozije i produkcije nanosa.

Prilikom obrade svih relevantnih parametara, korišćen je GIS orijentisan programski paket Geomedia 6.0 (Intergraf). To je omogućilo unakrsnu matematičko-logičko-statističku analizu proizvoljnog broja parametara.

Kako su brzina erozivnih procesa, kao i oblici u reljefu koji nastaju njihovim delovanjem, u znatnoj meri predisponirani karakteristikama geološke podloge, pristupilo se digitalizaciji geoloških karata razmere 1:100000 (OGK, listovi Paraćinu i Boljevac).

Analiza morfometrijskih elemenata sliva je obuhvatila obradu uglova nagiba sa topografskih karata u razmeri 1:25000, sa definisanom mrežom jediničnih polja 0,1×0,1 km. Za svako jedinično polje je određena minimalna, maksimalna nadmorska visina, rastojanje između njih i srednja nadmorska visina. Ovako uspostavljeni "grid sistem" pružio je mogućnost detaljnijeg sagledavanja prostornih razlika proučavanog procesa.

Podaci o stanju erozije iz 1971. godine već postoje (Grupa autora, 1983), tako da je prvi korak u rešavanju ove problematike bio da se po ugledu na postojeći model utvrdi stanje erozije u slivu Crnice za prvi period. Za određivanje načina korišćenja zemljišta i tipa vegetacije, odnosno vida erozije u prvom periodu korišćene su topografske karte, dok je Karta erozije za 2011. godinu rezultat kombinacije terenskog rada i satelitskih snimaka nove generacije (Google).

Količina padavina je obrađena u dva pomenuta perioda za stanice Čuprija i Crni Vrh. Za I period korišćeni su podaci za padavine od 1931-1970. godine. Oni su dobijeni na osnovu Atlasa klime SFRJ za tridesetogodišnji period (1931-1960), koji je dopunjen adekvatnim podacima za desetogodišnji period 1961-1970. godine. Količina padavina za II period dobijena je na osnovu dvodimenzionalnog modela sa količinom padavina kao zavisno promenljivom, i nadmorskom visinom kao nezavisno promenljivom veličinom:

$$Y = 0,1954 \times H + 635,77$$

Rezultati ranijih istraživanja ove vrste su pokazali da su razlike u temperaturi u periodu od 40 godina beznačajni sa aspekta produkcije nanosa, tako da je za izračunavanje ovog parametra za oba perioda korišćen model (Živković N., Smiljanić, S., 2005):

$$t (^{\circ}\text{C}) = -0,0060 \times H + 11,47$$

## **FIZIČKO-GEOGRAFSKE KARAKTERISTIKE**

Crnica je desna pritoka Velike Morave. Površina sliva Crnice je 293,3 km<sup>2</sup> (Mustafić S., Dobrosavljević T., Manojlović P., Srejić M., 2012) U slivu Crnice dominiraju dva petrološka kompleksa, koji čine preko polovine teritorije. Najzastupljenije stene su krečnjaci, sa udelom od 31% površine sliva. Sledi formacija crvenih permskih peščara, zastupljena na 26 % površine sliva. Srednja nadmorska visina sliva je 447 m. Raspon između najniže i najviše tačke se kreće od 120 m n.v. (ušće Crnice u Veliku Moravu) do 1005 m n.v. (vrh Debelo brdo na Kučaju). Približno 45% površine sliva čine visine do 400 m. Najdominantnija visinska zona je od 200-300 m (20,5% ukupne površine). Srednji ugao nagiba je 9°. Na najvećem delu teritorije dominiraju nagibi od 5° do 10°. Oni zauzimaju 112,3 km<sup>2</sup>, odnosno 38% površine sliva. Najmanja količina padavina se izluči do 200 mm nadmorske visine i njena vrednost se kreće od 657 mm do 668 mm. To su najzapadniji delovi. Idući ka istoku raste nadmorska visina pa tako najviši delovi (> 900 mm visine) primaju preko 800 mm padavina. Sa porastom nadmorske visine od zapada ka istoku temperature u slivu opadaju. Srednja godišnja temperatura za sliv Crnice je 8,8° C. Visinska zona do 200 mm ima najviši temperaturu (10,5° C), dok delovi sliva preko 900 mm visine imaju temperaturu od 5,9° C.

## **EROZIJA ZEMLJIŠTA**

Koeficijent erozije, kao i produkcija nanosa, su dobijeni na osnovu kartiranja celokupnog sliva. Srednji koeficijent erozije u slivu Crnice 1971. godine sa vrednošću od 0,39, pripadao je kategoriji slabe erozije. Naime, više od polovine sliva je tada pripadala kategoriji vrlo slabe i slabe erozije. Vrlo slaba erozija je zauzimala 34,6% ukupne površine sliva, a slaba erozija 28,6% ukupne površine. Srednjom erozijom bilo je zahvaćeno 14,1% površine sliva, a jakim erozijom 12% površine sliva. Ekscesivna erozija je zahvatila svega 7,3% Sliva Crnice.

Sagledavanje vremenske komponente erozije ima smisla kroz poređenje različitih perioda. Zato je za sliv Crnice urađen presek stanja 2011. godine. Komparativna analiza ova dva perioda je ključna u tumačenju promena nastalih tokom 40 godina. U 2011. godini srednji koeficijent erozije je 0,36, tako da Sliv Crnice i dalje pripada kategoriji slabe erozije. Najveće promene su nastale u kategoriji vrlo slabe erozije, koja se povećala 1,5 puta, pa sada zahvata polovinu sliva (51,6%). Površine pod slabom erozijom su se smanjile 3 puta. Smanjene je nastupilo i u kategoriji ekscesivne erozije (1,5 puta), dok u kategoriji srednje i jake erozije nije bilo značajnijih promena.

Kao i za koeficijent erozije, tako je i za produkciju nanosa urađena komparativna analiza dva perioda. Tokom četrdeset godina došlo je do smanjenja produkcija nanosa za 13%. Ukupna produkcija nanosa u slivu Crnice 1971. godine bila je 156237,9 m<sup>3</sup>/god., a 2011. godine 135893,6 m<sup>3</sup>/god. To znači da je u prvom periodu prosečna specifična produkcija nanosa iznosila 532,8 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/god., a u drugom periodu 463,4 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/god.

Radi detaljnije analize, potrebno je najpre uporediti kategorije erozije. 1971. godine, u kategoriji od 0-400 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/god. na površini od 61%, ostvareno je 13,7% od ukupne produkcije nanosa. 2011. godine ova kategorija je zahvatala približno istu površinu, ali je produkcija nanosa povećana na 15,4%. U kategoriji od 400-800 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/god. evidentirano je neznatno smanjenje produkcije nanosa. Povećanje količine nanosa beleži se u kategoriji od 800-1200 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/god. Naime, ona je ranije činila 11,4%, a sada 18,9% od ukupne produkcije nanosa. Ipak, dominantna kategorija produkcije nanosa je od 1200-3000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/god. U oba perioda, ova kategorija čini polovinu ukupne produkcije nanosa, a zastupljena je na 18% površine sliva. U poslednjoj klasi su se desile najveće promene, pošto je produkcija nanosa smanjena 2,2 puta, a površine koje su bile pod ovom klasom su smanjene skoro 3 puta.

**Lokalna samouprava u planiranju i uređenju prostora i naselja, Vršac, 2016.**

Tabela 1. Koeficijent erozije u slivu Crnice i njegovo učešće u ukupnoj površini sliva (1971/2011)

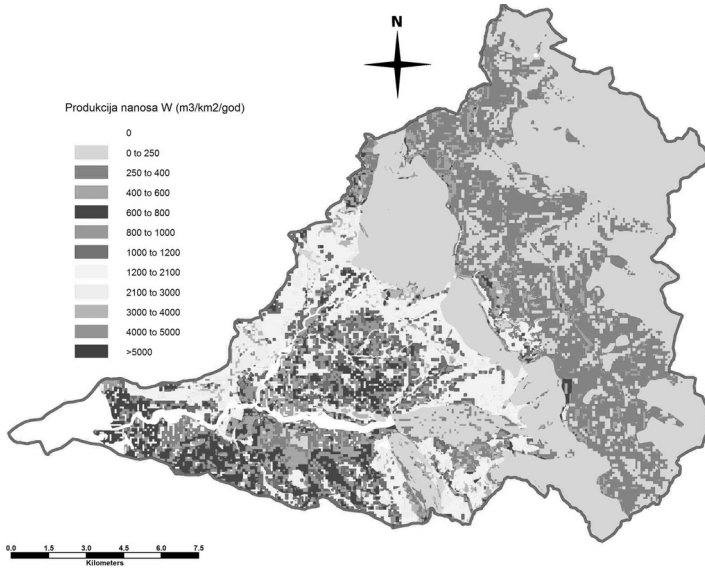
Kategorija	Jačina erozivnih procesa	Koeficijent erozije	F (km <sup>2</sup> )	Udeo u ukupnoj površini u %
<b>1971.</b>				
<b>I</b>	<b>Ekscesivna erozija</b>	1.01-1.4	21.5	7.3
<b>II</b>	<b>jaka erozija</b>	0.86-1.00	12.8	4.4
		0.71-0.85	22.5	7.7
<b>III</b>	<b>srednja erozija</b>	0.56-0.70	17.8	6.1
		0.41-0.55	23.6	8.1
<b>IV</b>	<b>slaba erozija</b>	0.31-0.40	23.5	8.0
		0.21-0.30	60.3	20.6
<b>V</b>	<b>vrlo slaba erozija</b>	0.11-0.20	28.7	9.8
		0.01-0.10	72.9	24.9
	<b>akumulacija</b>		9.6	3.3
		Z=0.39	293.3	100.0
<b>2011.</b>				
<b>I</b>	<b>ekscesivna erozija</b>	1.01-1.4	14.2	4.9
<b>II</b>	<b>jaka erozija</b>	0.86-1.00	16.3	5.6
		0.71-0.85	21.7	7.4
<b>III</b>	<b>srednja erozija</b>	0.56-0.70	23.1	7.9
		0.41-0.55	28.3	9.7
<b>IV</b>	<b>slaba erozija</b>	0.31-0.40	13.1	4.5
		0.21-0.30	15.5	5.3
<b>V</b>	<b>vrlo slaba erozija</b>	0.11-0.20	66.3	22.6
		0.01-0.10	85.1	29.0
	<b>akumulacija</b>		9.6	3.3
		Z=0.36	293.3	100.0

Tabela 2. Produkcija nanosa u slivu Crnice (1971/2011.)

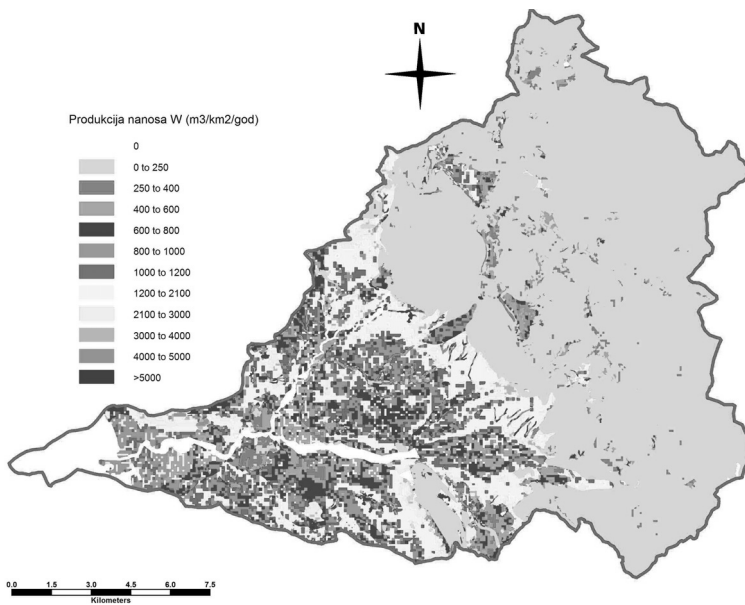
Količina nanosa W(m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /god)	Produkcija nanosa W (m <sup>3</sup> /god)	Udeo u ukupnoj produkciji (%)	Površina F (km <sup>2</sup> )	Udeo u ukupnoj površini (%)
<b>1971.</b>				
<b>&gt;3000</b>	23917.3	15.3	8.0	2.7
<b>1200-3000</b>	78864.0	50.5	52.8	18.0
<b>800-1200</b>	17873.5	11.4	22.2	7.6
<b>400-800</b>	14222.6	9.1	31.5	10.8
<b>0-400</b>	21360.5	13.7	178.8	61.0
<b>ukupno</b>	156238.0	100	293.3	100
<b>2011.</b>				
<b>&gt;3000</b>	9313.1	6.9	2.8	1.0
<b>1200-3000</b>	66515,8	49.0	52.5	17.9
<b>800-1200</b>	25743.2	18.9	32.5	11.1
<b>400-800</b>	13393.9	9.9	27.9	9.5
<b>0-400</b>	20927,6	15.4	177.5	60.5
<b>ukupno</b>	135893.6	100	293.3	100

## Mehanička vodna erozija u slivu Crnice

Karta 1. *Produkcija nanosa u slivu Crnice 1971. godine*



Karta 2. *Produkcija nanosa u slivu Crnice 2011. godine*



## ZAKLJUČAK

Glavna tema ovog rada je bila prostorno-vremenska distribucija erozije u slivu Crnice. Empirijski metod je u kombinaciji sa savremenim metodama dao sledeće rezultate.

Prema podacima iz tumača Karta erozije SR Srbije produkcija nanosa za sliv Crnice je iznosila 155207 m<sup>3</sup>/god., a specifična produkcija nanosa je bila 544 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/god. Prema podacima dobijenim u ovom radu ta vrednost iznosi 156237,9 m<sup>3</sup>/god., odnosno 532,8 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/god. Dakle, razlike između navedenih vrednosti su skoro zanemarljive, šta govori o ispravnosti u radu sprovedenog postupka.

Ukupna produkcija nanosa u slivu Crnice 2011. godine je 135893,6 m<sup>3</sup>/god., odnosno specifična produkcija nanosa je 463,4 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/god. Dakle, evidentno je došlo do smanjenja intenziteta mehaničke vodne erozije (za 13%), koje nije veliko u poređenju sa drugim slivovima (Sliv Temštica-35%, sliv Nišave-30%, sliv Rasine-32%) (Mustafić S., 2006; Mustafić S., 2012; Kostadinov S. et al., 2014). Ovaj sliv sa urbanim naseljem Paraćinom, zauzima centralni položaj u Srbiji i deo je Moravske osovine razvoja, pa se u tom pogledu razlikuje od brdsko-planinskih delova naše zemlje zahvaćenih izrazitom depopulacijom.

Koeficijent erozije i produkcija nanosa su dovedeni u vezu sa odgovarajućim fizičko-geografskim faktorima. Svaki taj faktor se mora posmatrati u jednom širem kontekstu, tj. u sadejstvu sa drugim.

Činjenica je da je najveća produkcija nanosa u nižim visinskim zonama (do 400 m), ne samo zbog toga šta one zauzimaju veću površinu u slivu. To su uglavnom zapadni delovi sliva, u kojima je skoncentrisana skoro celokupna poljoprivredna proizvodnja. Iako su tu manji uglovi nagiba, kojima odgovara i slabija erozija, mora se uzeti u obzir i geološka građa terena. Neogeni sedimenti i aluvijum, uz kombinaciju sa crvenim peščarima, pogoduju pojavi veće produkcije nanosa. Nasuprot tome, viši istočni krečnjački delovi su nenastanjeni, pokriveni šumama dobrog sklopa, pa bez obzira na veće uglove nagiba, količina produkovanog materijala je znatno manja nego u zapadnim delovima. Pošto se radi o malom prostoru, gde ne postoje velike varijacije u padavinama i temperaturama, onda se ovi faktori ne mogu smatrati odgovornim za ovakvu prostornu distribuciju produkcije nanosa. Karte produkcije nanosa u slivu Crnice za 1971. i 2011. godinu, mogu biti osnova za rešavanje ključnih problema grada Paraćina i njegove okoline, a samo interdisciplinarni pristup u geografskoj nauci dovodi i do njegovog konačnog razrešavanja.

## LITERATURA

1. Aalto, R., Dunne, T., & Guyot, J. (2006). Geomorphic controls on Andean denudation rates. *The Journal of Geology*, 114, 85-99.
2. Dobrosavljević T. (2014): Promene intenziteta mehaničke vodne erozije u slivu Crnice. Master rad. Beograd.
3. Dragičević, S., Novković, I., & Prica, M. (2009). Rizik od padinskih procesa na teritoriji opštine Ub. *Glasnik srpskog geografskog društva*, 89 (3), 147-164.
4. Dragičević, S., Novković, I., & Milutinović M. (2009). Promena intenziteta erozije na teritoriji opštine Zaječar. *Glasnik srpskog geografskog društva*, 89 (4), 3-16.
5. Živković, N., & Smiljanić, S. (2005). Izotermna karta Istočne Srbije. *Glasnik srpskog geografskog društva*, 85 (1), 31-38.

6. Karta erozije SR Srbije (1983). Institut za šumarstvo i drvnu industriju, Odeljenje za eroziju i melioracije, Beograd.
7. Kostadinov, S., Zlatić, M., Košanin, O., Dragičević, S., Lakićević, M., Novković, I., & Mladan, D. (2014). Anthropogenic influence on erosion intensity changes in the Rasina river watershed-Central Serbia. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23 (1).
8. Mustafić S. (2006). Erozija u slivu Temštica. Magistarski rad. Geografski fakultet. Beograd.
9. Mustafić S. (2012). Geografski faktori kao determinante intenziteta erozije na primeru sliva Nišave. Doktorska disertacija. Beograd.
10. Mustafić S., Dobrosavljević T., Manojlović P., Srejić M. (2012). Pronos hemijski rastvorenog nanosa u hidrološki ekstremnim uslovima u slivu Crnice. *Glasnik srpskog geografskog društva*, sveska 92 (4), 17-30.
11. Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Boljevac i Paraćin, Savezni geološki zavod, Beograd, 1970.
12. Pepin, E., Carretier, S., Guyot, J., & Escobar, F. (2010). Specific suspended sediment yields of the Andean rivers of Chile and their relationship to climate, slope and vegetation. *Hydrological Sciences Journal* 55 (7), 1190-1205.
13. Pepin, E., Guyot, J.L., Armijos, E., Bazan, H., Fraizy, P., Moquet, J.S., Noriega, L., Lavado, W., Pombosa, R., & Vauchel, P. (2013). Climatic control on eastern Andean denudation rates (Central Cordillera from Ecuador to Bolivia). *Journal of South American Earth Sciences* 44, 85-93.
14. Tošić, R. (2012). Sliv akumulacije Drenova-erozioni procesi i zasipanje akumulacije. Geografsko društvo Republike Srpske, Banja Luka.
15. Tošić R., Dragičević S. (2012). Inoviranje metodologije za određivanje koeficijenta erozije. *Glasnik srpskog geografskog društva*, sveska 92 (1), 11-26.
16. Vorosmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., & Glidden, S. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555-561.