

## GODIŠNJA PRODUKCIJA EROZIONOG NANOSA I MOGUĆNOST NJEGOVOG SMANJENJA NA PODRUČJU SLIVA RIJEKE BRKE

Selman Edi Kaloper<sup>1</sup>, Sabrija Čadro<sup>1</sup>

Originalni naučni rad - *Original scientific paper*

### Rezime

U uslovima klimatskih promjena koje su prisutne na području Bosne i Hercegovine (BiH) sve prisutnije su ekstremlne padavine često visokog intenziteta koje rezultirao degradacijom tla, erozijom, klizišnim pa i poplavama. Poplave u Bosni i Hercegovini dogodile su se 2004., 2006., 2009., 2010., 2014., 2020. i 2021. godine, posebno se ističu one iz 2014. godine kada je u pojedinim područjima za tri dana palo i preko 200 litara kiše. Trenutno na klimatske promjene najosjetljivije općine nalaze se na sjeveru BiH, dok osjetljivost postepeno opada idući prema centralnom, južnom i istočnom dijelu zemlje.

Cilj ovog istraživanja jeste izvršiti procijenu srednje godišnje produkcije erozionog nanosa ili sedimenta ( $W_{god}$ ) i srednje godišnja količina suspendiranog i transportiranog sedimenta ( $G_{god}$ ) na području sliva rijeke Brke u BiH, korištenjem Gavrilovićeve metode podržane GIS tehnikama. Zatim, na osnovu trenutnog stanja  $W_{god}$  i  $G_{god}$  analizirati mogućost njihovog smanjenja primjenom određenih bioloških mjera konzervacije tla.

Srednja godišnja produkcija nanosa ( $W_{god}$ ) sliva rijeke Brke iznosi 6.021,95 m<sup>3</sup> tla. Posmatrano po podslivovima srednja godišnja produkcija nanosa kretala se između 704 m<sup>3</sup> u podslivu Rahičke rijeke i 1762 m<sup>3</sup> u pod slivu Zovičice. Ukupna godišnja količina suspendiranog i transportiranog sedimenta ( $G_{god}$ ) najviša je kod podsliva rijeke Zovičice (815,09 m<sup>3</sup>/god.), a ukupno sa cijelog sliva rijeke Brke iznosi 3002,16 m<sup>3</sup>/god. U slučaju zamjene ratarskih površina kombinacijom voćarske i ratarske proizvodnje erozioni nanos bi bio smanjen za 12,23%.

Ključne riječi: *Erozija tla, Gavrilovićeva metoda; GIS, erozioni nanos*

### UVOD

Riječ erozija dolazi iz latinske riječi *erodere* što se može prevesti kao grebati, strugati (Žurovec, 2012). Primjer štetnog dejstva erozije je moguće vidjeti na područjima gdje su postojali različiti utjecaji erozije dovoljno dugo vremena (lesna područja Kine, Bliski istok, područje Sahare i sl.), uz veliku naseljenost i intenzivnu poljoprivredu,

---

<sup>1</sup>Poljoprivredno-prehrambeni fakultet, Univerzitet u Sarajevu / Faculty of Agriculture and Food Sciences, University of Sarajevo  
Korespodencija: s.cadro@ppf.unsa.ba

došlo je do nestanka prvobitnih površina tla sa Zemlje. Također i primjer kako je intenzivna poljoprivreda, naročito monokultura, štetno djelovala na plodnost tla jeste jugoistok SAD, gdje su ogromna prostranstva stepa izgubila svoj obradivi sloj uslijed uzgoja pamuka kroz jedan ili dva vijeka (Kohnke i Bertrand, 1959).

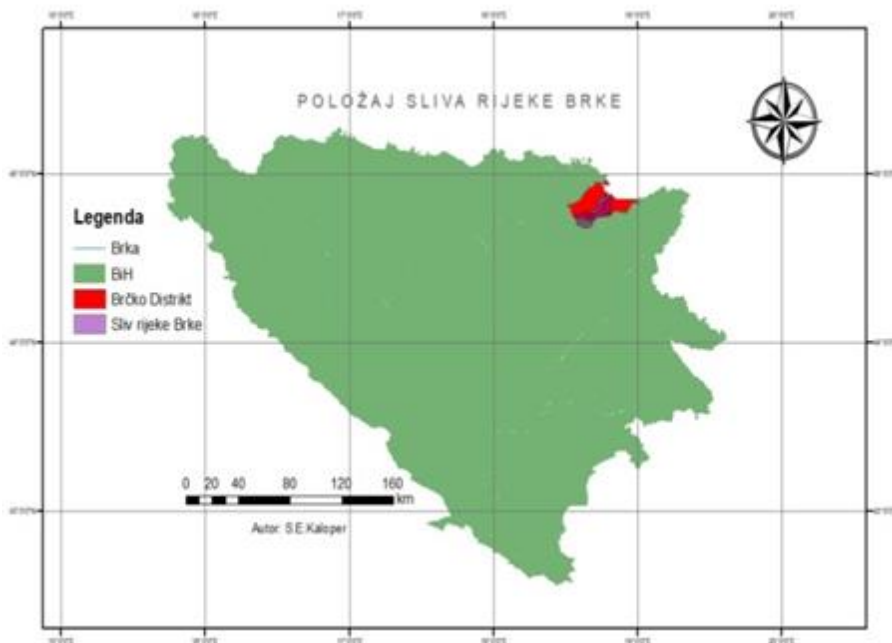
Gavrilović (1972) navodi da je mišljenje nekih historičara „*da su stare civilizacije uglavnom nestajale uslijed navala varvara i dugotrajnih ratova, kuge, požara ili suša i velikih poplava*“, uspostavilo kao pogrešno. On ukazuje na arheološka istraživanja kojima je ustanovljeno da je djelovanje srednjeg godišnjeg intenziteta erozije bio najjači činilac u uništavanju starih civilizacija. Erozioni materijal postepeno i neprekidno spiran sa većih nadmorskih visina, zamučivao je i zatrpavao izvore pitkih voda i sisteme za navodnjavanje, koji su bili „privredna baza starih civilizacija“. On objašnjava, da su erozija i erozioni nanosi uzrok zašto su skoro svi ostaci drevnih gradova najčešće zatrpani nekoliko metara pod zemljom. Određeni autori smatraju da su erozioni procesi koji obuhvataju 30-50 % zemljišta u svijetu najveći ekološki problem čovječanstva (Šarić i sar., 1999).

Bosna i Hercegovina (BiH) je vrlo osjetljiva na destruktivne procese erozije i poplave, posebno u sjevernom dijelu zemlje (Kaloper i sar., 2021; Čadro i sar., 2019; O. Žurovec i sar., 2017). Količine svučenog materijala pogađaju poljoprivredne proizvođače širom Bosne i Hercegovine. Čak 83% ukupne površine BiH ugroženo je erozijom vode (Lazarević, 1985). U BiH pored lokalnih istraživanja na nivou parcela korištena je Gavrilovićeve metoda za analizu erozije na većim površinama. Karta erozije SR Bosne i Hercegovine napravljena je u periodu 1980-1985. (Lazarević, 1985). Karta erozije bosanskohercegovačkog entiteta Republika Srpska u mjerilu 1: 25 000 napravljena je 2012 godine (Tošić i sar., 2012), a 2018. godine karta erozije sliva rijeke Vrbas na razmjeru 1: 25 000 (Lovrić i Tošić, 2018). Procjena erozije sliva rijeke Brke urađena je 2020. godine Gavrilovićevom metodom podržanom GIS tehnikama i optimizirana 2021. godine (Kaloper i sar., 2020), pri čemu je ustanovljeno da intenzivna erozija obuhvata 6,70% sliva, srednja erozija 7,20%, slaba erozija 12,70% dok veoma slaba erozija prisutna na 48,75% sliva rijeke Brke. Prema ovom istraživanju intenzitet procesa erozije u slivu Brke ima srednji erozijski karakter, sa prosječnim koeficijentom erozije od  $Z = 0,47$ .

Cilj ovog istraživanja jeste metodom po Gavriloviću procijeniti srednju godišnju produkciju erozionog nanosa ili sedimenta ( $W_{god}$ ) i srednju godišnju količinu suspendiranog i transportiranog sedimenta ( $G_{god}$ ) na području sliva rijeke Brke u BiH, te na osnovu dobivenih rezultata kao i ranijih istraživanja analizirati mogućost smanjenje negativnih posljedica erozije određenim biološkim mjerama konzervacije tla.

## MATERIJAL I METODE RADA

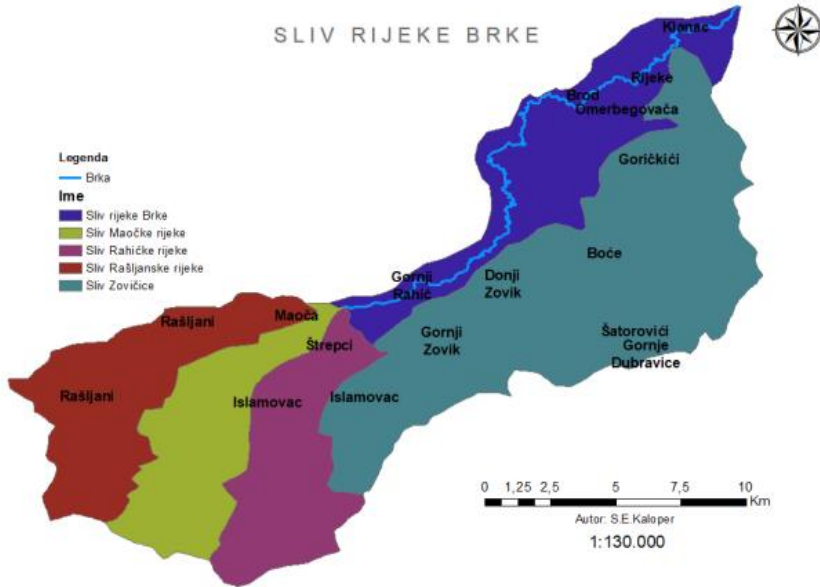
Sliv rijeke Brke nalazi se na sjeveroistoku Bosne i Hercegovine, obuhvata sjeverne padine planine Majevice i dio bosanske Posavine. Na Karti 1. je prikazan sliv rijeke Brke u odnosu na Brčko distrikt i Bosnu i Hercegovinu.



Karta 1. Položaj sliva rijeke Brke u odnosu na BiH

Ukupna površina sliva je 184 km<sup>2</sup>, a dijeli se na pet podslivova (Karta 2). Podsliv Rašljanske rijeke prostire se na 27,9 km<sup>2</sup>, Maočke rijeke 23,5 km<sup>2</sup>, Rahičke rijeke 24,2 km<sup>2</sup>, Zovičice 75,3 km<sup>2</sup> i same rijeke Brke 32,9 km<sup>2</sup> (Kaloper i Čadro, 2021).

Najviša tačka je vrh Okresanica koji se nalazi na 815 metara nadmorske visine, dok je najniža tačka ušće rijeke Brke na 84 metra nadmorske visine. Većina slivnog područja nalazi se unutar Brčko distrikta, a manji dio prema jugu nalazi se u entitetu Federacija Bosne i Hercegovine.



Karta 2. Podslivovi sliva rijeke Brke (Izvor: Kaloper i sar., 2021)

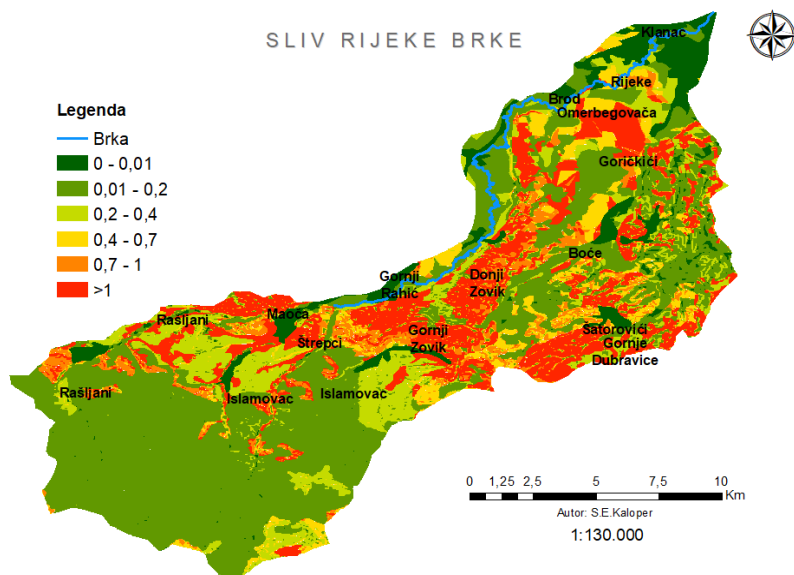
Za izračun srednje godišnje produkcije erozionog nanosa ili sedimenta ( $W_{god}$ ) u  $m^3$  tla korištena je slijedeća formula (Lazarević, 1985):

$$W_{god} = T \times H_{god} \times \pi \times \sqrt{Z^3} \times F \qquad T = \sqrt{\frac{t}{10} + 0,1}$$

Gdje su:

- $T$       Temperaturni koeficijent ( $^{\circ}C$ )
- $t$         Srednja godišnja temperatura zraka ( $^{\circ}C$ )
- $H_{god}$    Srednja godišnja suma padavina (mm)
- $F$         Površina sliva ( $km^2$ )
- $Z$         Intenzitet erozije

Digitalna karta intenziteta erozije (Karta 3) kreirana u ranijem istraživanju autora Kaloper i Čadro iz 2021. godine poslužila je za proračun i dobivanje karte  $W_{god}$  za cijeli prostor sliva rijeke Brke.



Karta 3. Intenzitet erozije ( $Z$ ) sliva rijeke Brke (Izvor: Kaloper i Čadro, 2021)

Pomnoživši srednju godišnju proizvodnju sedimenata po slivu ( $W_{god}$ ) sa koeficijentom zadržavanja sedimenata ( $R_u$ ) izračunata je srednja godišnja količina suspendiranog i transportiranog sedimenta po slivu, odnosno prinos taloga iz kompletnog sliva ( $G_{god}$ ) u  $m^3/godišnje$ . Prilikom proračuna korištene su sljedeće formule (Lazarević, 1985):

$$D_d = \frac{I_p + I_a}{F} = \frac{L}{F} \quad R_u = \frac{\sqrt{O \cdot D}}{(I_p + 10)} \cdot D_d \quad G_{god} = W_{god} \cdot R_u$$

Gdje su:

- $R_u$  Koeficijent zadržavanja taloga
- $O$  Perimetar sliva (km)
- $D$  Prosječna razlika nadmorske visine sliva (km)
- $I_p$  Dužina glavnog vodotoka (km)
- $D_d$  Gustoća riječne mreže po slivu ( $km^2$ )
- $L$  Ukupna dužina sliva (km)
- $I_a$  Dužina sekundarnog vodotoka (km)

Granica područja sliva određena je pomoću digitalnog modela terena (DEM: 25 m x 25 m) i mape hidrografske mreže BiH; Softver *Esri® ArcGIS 10.2.1* korišten je za određivanje svih potrebnih elemenata sliva ( $F$ ,  $O$ ,  $D$ ,  $I_p$ ,  $D_d$ ,  $L$  i  $I_a$ ). Alat za rasterski kalkulator korišten je za izradu  $W_{god}$  mape.

Za proračun i mapiranje klimatskih parametara u okviru Gavrilovićeve metode, a koji se odnose na srednju temperaturu zraka ( $T$ ) i sumu padavina ( $H_{god}$ ) prostora sliva rijeke

Brke, korišteni su klimatski podaci koji se odnose na cijeli prostor BiH. Mapiranje ovih parametara je izvršeno na osnovu mjesečnih klimatskih podataka za period 1961. – 2016. godina uz korištenje više od 100 javnih meteoroloških stanica diljem BiH. U tu svrhu korištena je digitalna baza podataka kreirana u sklopu doktorske disertacije „Razvoj i primjena softverskih modela u cilju održivog upravljanja vodom i povećanja produktivnosti poljoprivrednih kultura u BiH“ (Čadro, 2019).

## REZULTATI I DISKUSIJA

### Hidrografija i vodni resursi

Područje sliva rijeke Brke pripada slivnom području rijeke Save, odnosno području Crnomorskog sliva. Nalazi se na sjeveroistoku Bosne i Hercegovine, obuhvata područje Brčko distrikta i Federacije BiH (Srebrenik, Čelić). Najveći vodotok je rijeka Brka. Osim Brke površinske tokove čine različite manje rijeke i potoci koji se ulijevaju u ove rijeke. Ukupna dužina svih vodotoka iznosi 446,54 km, a rijeka Brka predstavlja najduži vodotok dug 26,5 km (Kaloper i Čadro, 2021) (Tabela 1).

Tabela 1. Hidrološke i prostorne karakteristike po podslivovima

Table 1. Hydrological and spatial characteristics by sub-basins

Ime sliva <i>Basin name</i>	$F$ (km <sup>2</sup> )	$O$ (km <sup>2</sup> )	$z_{max}$ (m)	$z_{min}$ (m)	$D$ (km)	$I_p$ (km)	$I_a$ (km)	$L$ (km)	$D_d$ (km/km <sup>2</sup> )
Rašljanska rijeka	27,99	30,764	815,0	160,0	0,655	16,461	40,712	57,172	2,043
Zovičica	75,31	53,527	698,9	88,2	0,611	24,391	185,087	209,478	2,782
Brka direktno	32,95	44,341	270,0	84,8	0,185	26,575	48,456	75,030	2,277
Rahička rijeka	24,27	28,416	699,6	153,8	0,546	13,938	37,970	51,908	2,139
Maočka rijeka	23,58	29,058	799,7	153,6	0,646	12,419	40,539	52,957	2,246
Brka	184,1	77,389	815,0	84,8	0,730	26,575	419,971	446,545	2,426

Napomena: ( $F$  - Površina sliva,  $O$  - Perimetar sliva,  $z_{max}$  - Maksimalna nadmorska visina,  $z_{min}$  - Minimalna nadmorska visina,  $D$  - Prosječna visinska razlika sliva,  $I_p$  - Dužina glavnog vodotoka,  $I_a$  - Dužina sporednih vodotoka,  $L$  - Ukupna dužina svih vodotoka,  $D_d$  - Gustina riječne mreže).

Brka kao najveći vodotok nastaje u selu Maoča spajanjem Maočke rijeke i Rašljanske rijeke, a nedaleko od mjesta spajanja uliva se i Rahička rijeka. Sav erozioni materijal biva konstantno istaložen uz korito rijeke, a velike količine finog sitnog materijala (pijeska, praha i gline) se talože na samom kraju toka rijeke Brke od naselja Klanac pa do samog ušća u Savu, gdje je uređeno korito. Taj materijal se s vremena na vrijeme čisti uz pomoć teške mehanizacije (Slika 1).



Slika 1. Stanje i čišćenje korita rijeke Brke

### Klimatske karakteristike

Područje sliva rijeke Brke pripada pojasu umjereno kontinentalne klime. Dio sliva kojeg obuhvata planina Majeвица pripada pojasu umjereno kontinentalne klime planinskog tipa, dok najviši dijelovi na jugu imaju planinsku klimu. Na jugu se zbog povećanja nadmorske visine prosječne temperature smanjuju, a padavine povećavaju (Majstorović, 2000). Karakteristike ove klime su prilično hladne zime i topla ljeta.

Na osnovu mjesečnih klimatskih podataka preuzetih od *Federalnog Hidrometeorološkog zavoda Sarajevo* (FHMZ), a za meteorološku stanicu Brčko i vremenski period od 1961. do 1990. godine (period u kojem je stanica radila), zaključuje se da prosječna temperatura zraka ( $T_{srednja}$ ) ovog područja iznosi 11,12 °C, najveća je u julu kada iznosi 21,3 °C, a najniža u januaru kada u prosjeku iznosi -0,5 °C.

Tabela 2 . Prosječni mjesečni klimatski parametri meteorološke stanice u Brčkom, razdoblje 1961. - 1990.

Table 2. Average monthly climatic parameters of the meteorological station in Brčko, period 1961 - 1990

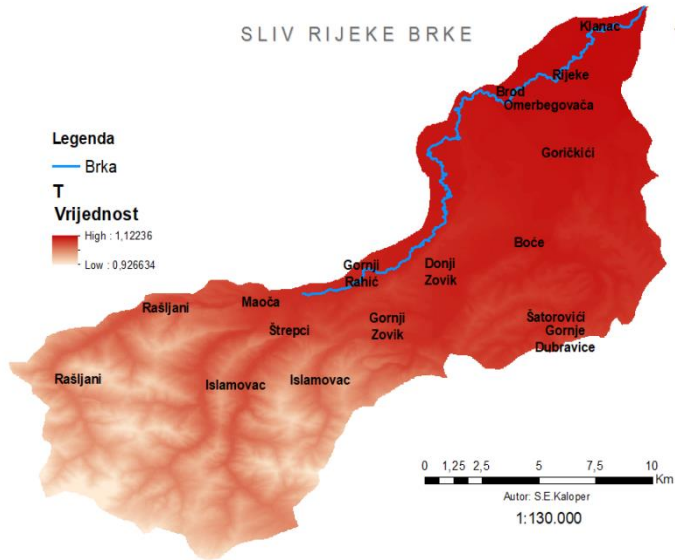
Brčko	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
$T_{max}$	2,8	6,3	12,0	17,5	22,5	25,4	27,5	27,4	23,5	17,8	10,4	5,2	16,52
$T_{srednja}$	-0,5	2,3	6,5	11,6	16,4	19,7	21,3	20,6	16,8	11,4	5,8	1,5	11,12
$T_{min}$	-4,0	-1,7	1,3	5,9	10,2	13,5	14,5	13,7	10,6	5,9	1,9	-1,7	5,83
$RH_{srednja}$	86	83	77	73	73	74	72	75	77	79	83	86	78
$u_{(2)}$	1,49	1,42	1,80	2,00	1,80	1,52	1,67	1,55	1,39	1,38	1,42	1,47	1,57
$PRCP$	53	50	56	67	76	95	73	70	55	47	70	69	780

Napomena:  $T_{max}$  – Maksimalna prosječna temperatura zraka;  $T_{min}$  - Minimalna prosječna temperatura zraka;  $T_{srednja}$  - prosječna temperatura zraka;  $RH_{srednja}$  - Prosječna relativna vlaga u %;  $u_{(2)}$  - prosječna brzina vjetra u m/s;  $PRCP$  - Prosječna suma padavina u mm.

Ukupna godišnja suma padavina iznosi 780 mm, najveće padavine ( $PRCP$ ) su u junu (95 mm), dok je najsušnji mjesec oktobar (47 mm).

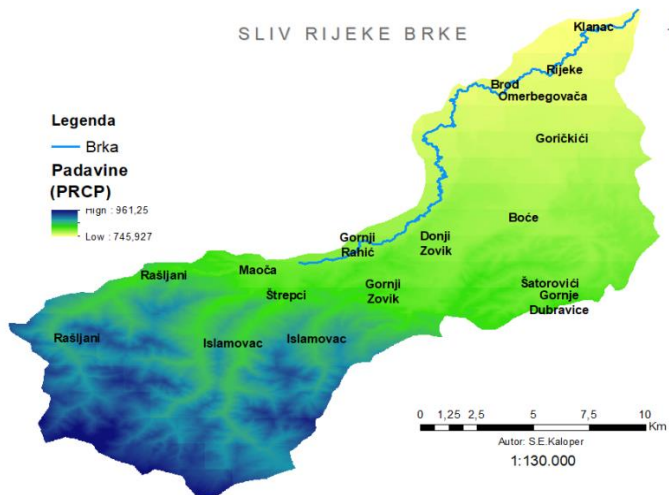
### Procijenjene vrijednosti $W_{god}$ i $G_{god}$

Za proračun i mapiranje klimatskih parametara koji se odnose na temperaturni koeficijent ( $T$ ) korišteni su klimatski podaci koji se odnose za cijeli prostor BiH (Karta 4).



Karta 4. Temperaturni koeficijent ( $T$ )

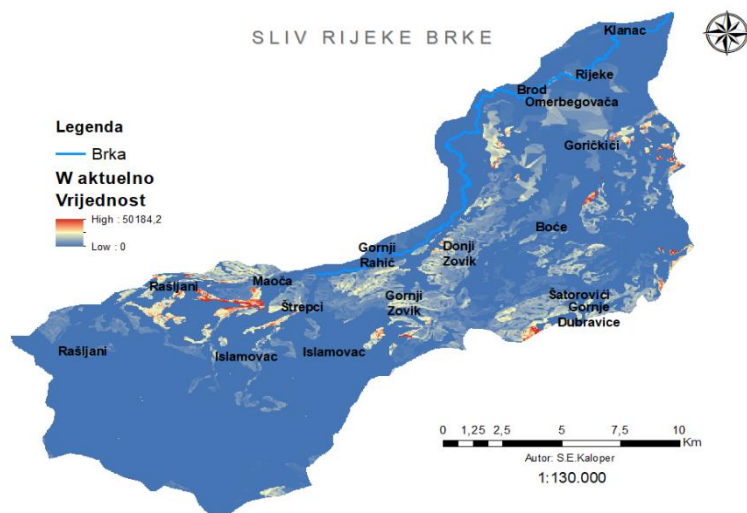
Na osnovu mjesečnih klimatskih podataka za period 1961. – 2016. godina uz korištenje više od 100 javnih meteoroloških stanica širom BiH, vršen je i proračun i mapiranje srednje godišnje sume padavina ( $H_{god}$ ) prostora sliva rijeke Brke (Karta 5).



Karta 5. Godišnje sume padavina ( $H_{god}$ )

Na području gornjeg dijela sliva rijeke Brke, oko podslivova Rašljanske, Maočke i Rahićke rijeke dobivene su najveće količine padavina. Prema ovoj raspodjeli, najniža godišnja suma padavina od 745 mm zabilježena je na području grada Brčko i ušća rijeke Brke u Savu.

Na osnovu mapa  $Z$  (intenziteta erozije),  $T$  (temperaturnog koeficijenta) i  $H_{god}$  (godišnje sume padavina) dobivena je mapa aktualne godišnje produkcije erozionog nanosa ( $W_{god}$ ).



Karta 6. Aktualna godišnja produkcija erozionog nanosa ( $W_{god}$ )

Najveće vrijednosti  $W_{god}$  su utvrđene između Rašljana, Maoče i Štrepaca (Karta 6), kao i u gornjem dijelu sliva rijeke Brke oko Gornjeg Zovika, Šatorovića, te na području Potočara i Brezika. Ukupna srednja godišnja proizvodnja sedimenta sliva rijeke brke iznosi 6021,95 m<sup>3</sup> godišnje (Tabela 3).

Tabela 3. Aktualna godišnja produkcija erozionog nanosa ( $W_{god}$ )

*Table 3. Actual annual erosion material production ( $W_{god}$ )*

Ime sliva <i>Basin name</i>	Površina <i>Area</i>	$W_{god}$	$W_{god}$ (km <sup>2</sup> )	Perimetar sliva <i>Basin perimeter</i>
	$F$ (km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /god)	(m <sup>3</sup> /god/km <sup>2</sup> )	$O$ (km <sup>2</sup> )
<b>Rašljanska rijeka</b>	27,99	1372,22	49,024	30,764
<b>Zovičica</b>	75,31	1762,67	23,406	53,527
<b>Brka direktno</b>	32,95	1261,60	38,289	44,341
<b>Rahićka rijeka</b>	24,27	704,66	29,035	28,416
<b>Maočka rijeka</b>	23,58	920,79	39,049	29,058
<b>Brka</b>	184,10	6021,95	32,710	77,389

Posmatrano po slivovima, aktualna godišnja produkcija erozionog nanosa ( $W_{god}$ ) kretala se između 704 (sliv Rahičke rijeke) i 1.762 m<sup>3</sup> (sliv Zovičice) godišnje. Po kilometru kvadratnom najveća je kod sliva Rašljanske rijeke (49.02 m<sup>3</sup>/god/km<sup>2</sup>) dok je najniža kod sliva Zovičice (23,40 m<sup>3</sup>/god/km<sup>2</sup>).

Srednja godišnja količina suspendiranog i transportiranog sedimenta ( $G_{god}$ ) koji dopijeva do ušća sliva rijeke Brke u Savu iznosi 3.002,16 m<sup>3</sup> (Tabela 4). Posmatrano prema slivovima prinos sedimenta varira od 225,10 m<sup>3</sup>/godišnje kod direktnog sliva Brke i 815.09 m<sup>3</sup>/godišnje kod sliva Zovičice.

Tabela 4. Aktualno stanje količine suspendiranog i transportiranog sedimenta ( $G_{god}$ )  
Table 4. Current state of the total annual amount of sediment ( $G_{god}$ )

Ime sliva <i>Basin name</i>	Površina <i>Area</i>	Perimetar sliva <i>Basin perimeter</i>	Koeficijent retencije erozije <i>Erosion retention coefficient</i>	Količina sedimenta $G_{god}$
	<i>F</i> (km <sup>2</sup> )	<i>O</i> (km <sup>2</sup> )	<i>Ru</i>	(m <sup>3</sup> /god)
<b>Rašljanska rijeka</b>	27,99	30,764	0,347	475,48
<b>Zovičica</b>	75,31	53,527	0,462	815,09
<b>Brka direktno</b>	32,95	44,341	0,178	225,10
<b>Rahička rijeka</b>	24,27	28,416	0,352	247,96
<b>Maočka rijeka</b>	23,58	29,058	0,434	399,69
<b>Brka</b>	184,10	77,389	0,499	3002,16

### Smanjenje erozionog nanosa primjenom mjera konzervacije tla

Na osnovu dobivenih rezultata aktuelnog stanja, možemo zaključiti da na području sliva rijeke Brke postoji potreba smanjenja erozije zemljišta. Najveće količine tla bivaju odnešene sa područja sliva Zovičice, potom sa područja sliva Rašljanske i Maočke rijeke. Najmanje količine su iz neposrednog sliva rijeke Brke.

Prema tome, potrebno je djelovati preventivno na cjelokupnom području, sa posebnom pažnjom na površine koje se kao oranice aktivno koriste u svrhu poljoprivredne proizvodnje. To djelovanje treba ići u pravcima primjene agrotehničkih mjera konzervacije na poljoprivrednim površinama, tj. konturne obrade tla, konturnog brazdanja i konzervacione obrade tla. Najpraktičnije i često najefikasnije mjere konzervacije tla jesu biološke mjere. Prosta smjena kultura može značajno uticati na smanjenje erozije.

Obavljena je analiza intenziteta erozije i mogućnosti smanjenja količine erozionog nanosa u slučaju promjene načina korištenja površina koje se trenutno koriste u ratarskoj proizvodnji i sanaciji prostora sa jasno izraženim ekstremnim erozionim procesima. Ukupno se radi o 19,5 km<sup>2</sup> ovakvih površina (Kaloper i Čadro, 2021) koje se

obrađuju u pravcu nagiba terena, a koje bi se orale po konturama i gdje bi se kombinirala voćarska i ratarska proizvodnja. U takvim uslovima, vrijednosti koeficijenta zaštićenosti zemljišta vegetacijskim pokrovom od  $x = 0,9$ , bile bi smanjene na 0,4.

Pored toga, na 29 lokacija sa ukupnom površinom od 54,7 km<sup>2</sup>, na kojima je u istraživanju autora Kaloper i Čadro (2021) utvrđena visoka vrijednost koeficijenta vidljivih i jasno izraženih procesa erozije ( $\phi$ ), bila bi obavljena sanacija i zaštita tla od daljnjeg procesa erozije. U slučaju primjene ovih mjera konzervacije tla dobivene su određene razlike u intenzitetu i kategoriji erozije (Tabela 5).

Tabela 5. Promjena kategorije erozije nakon primjene nekih mjera konzervacije  
*Table 5. Change of erosion category after application of some soil conservation measures*

Kategorija erozije <i>Erosion category</i>	Aktuelno stanje <sup>1</sup> <i>Current situation</i>		Stanje nakon mjera konzervacije <i>Situation after conservation measures</i>		Razlika <i>Difference</i>
	Površina sliva <i>Basin area</i> (km <sup>2</sup> )	Postotak sliva <i>Percentage of basins</i> (%)	Površina sliva <i>Basin area</i> (km <sup>2</sup> )	Postotak sliva <i>Percentage of basins</i> (%)	Površina sliva <i>Basin area</i> (km <sup>2</sup> )
<b>Bez erozije</b> / <i>No erosion</i>	13,30	7,23	13,30	7,23	0
<b>Veoma slaba</b> / <i>Very weak</i>	89,66	48,75	93,13	50,64	3,47
<b>Slaba</b> / <i>Weak</i>	23,36	12,70	22,65	12,31	-0,71
<b>Srednja</b> / <i>Medium</i>	13,24	7,20	15,73	8,55	2,49
<b>Intenzivna</b> / <i>Intensive</i>	12,33	6,70	13,64	7,41	1,31
<b>Ekstremna</b> / <i>Excessive</i>	32,00	17,40	25,44	13,83	-6,56

<sup>1</sup>Izvor: Kaloper i Čadro, 2021

Intenzivna erozija, srednja erozija i veoma slaba erozija bilježile bi blagi rast (1,31 – 3,47 km<sup>2</sup>). Područja bez erozije ne bi doživjela nikakve značajne promjene. Površina od 6,56 km<sup>2</sup> na kojoj je u trenutnim uslovima prisutna ekstremna erozija, predloženim mjerama konzervacije tla, najvećim dijelom bi prešla u kategoriju veoma slabe (3,47 km<sup>2</sup>) erozije.

Srednje godišnja produkcija erozionog nanosa ( $W_{god}$ ) sliva rijeke Brke trenutno iznosi 6.021,95 m<sup>3</sup> godišnje, a uz primjenu predloženih mjera konzervacije tla bi iznosila 5.285,09 m<sup>3</sup> godišnje (Tabela 6), što je evidentan pad koji iznosi 736,86 m<sup>3</sup> godišnje, odnosno 12,23%.

Tabela 6. Promjena količine erozionog nanosa i suspendiranog sedimenta nakon primjene mjera konzervacije tla

*Table 6. Change in the amount of erosional sediment and sediment after the application of soil conservation measures*

Ime sliva <i>Basin name</i>	Aktuelno stanje <sup>1</sup> <i>Current situation</i>			Stanje nakon mjera konzervacije <i>Situation after conservation measures</i>			Razlika <i>Difference</i>	
	$W_{god}$ m <sup>3</sup> /god	$W_{god}$ m <sup>3</sup> /god/k m <sup>2</sup>	$G_{god}$ m <sup>3</sup> /god	$W_{god}$ m <sup>3</sup> /god	$W_{god}$ m <sup>3</sup> /god/km <sup>2</sup>	$G_{god}$ m <sup>3</sup> /god	$W_{god}$ m <sup>3</sup> /god	$G_{god}$ m <sup>3</sup> /god
<b>Rašljanska</b>	1372,22	49,024	475,48	1365,94	48,799	473,30	6,28	2,18
<b>Zovičica</b>	1762,67	23,406	815,09	1451,94	19,280	671,40	310,73	143,69
<b>Brka direktno</b>	1261,60	38,289	225,10	814,00	24,705	145,24	447,76	79,86
<b>Rahička rijeka</b>	704,66	29,035	247,96	703,39	28,983	247,51	1,27	0,45
<b>Maočka rijeka</b>	920,79	39,049	399,69	949,83	40,281	412,29	-29,04	-12,39
<b>Brka</b>	6021,95	32,710	3002,1	5285,09	28,708	2634,81	736,86	367,35

Poštujući preporučene mjere srednji godišnji prinos sedimenta ( $G_{god}$ ) bi bio smanjen za 367,35 m<sup>3</sup> godišnje.

## ZAKLJUČAK

Utvrđena srednja godišnja produkcija erozionog nanosa sliva rijeke Brke iznosi 6.021,95 m<sup>3</sup>, dok ukupni godišnji prinos sedimenta iznosi 3.002,16 m<sup>3</sup>. Kada tome dodamo činjenicu da  $Z$  vrijednost, odnosno srednji intenzitet erozije iznosi 0,47, kao i da 44% teritorije ovog sliva prijeti vodna erozija, a od toga 17,40% su područja pogođena ekstretnom erozijom zaključujemo da su na području sliva rijeke Brke neophodne određene mjere konzervacije tla.

Većina poljoprivredne proizvodnje na ovom slivu odvija se u središnjem dijelu sliva, a to je i područje visokog rizika od erozije. Ova proizvodnja se uglavnom odvija na pseudoglejima i luvisolima, odnosno, tlima slabe erodibilnosti i loših vodno-fizičkih karakteristika. Budući da je način upotrebe zemljišta značajan faktor kojeg ljudi mogu donekle kontrolisati, neophodno je prvenstveno djelovati u smjeru promjene načina korištenja ovog tla. Uvesti mjere konzervacije, prevashodno biloške mjere koje podrazumijevaju primjenu biljnog pokrova, obaveznu primjenu plodoreda, sjetvu ili sadnju po konturnim pojasevima ili trakama, konturnu sadnju voćaka sa zatravnjivanjem i eventualno pošumljavanje najosjetljivijih terena.

Obradu na područjima sa najvećim nagibima treba zakonski onemogućiti. Te površine koristiti isključivo kao livade i pašnjake ili u slične svrhe. Treba obratiti pažnju na ilegalnu sječu šuma i sanaciju bujičnih tokova, ali i lokalnih puteva koji uslijed velikih padavina bivaju konstantno erodirani.

Zatim je potrebno uvesti zakonske akte kojim bi se zabranila zemljoradnja na većim nagibima terena (preko 20%), pogotovo oko sliva Rašljanske rijeke. Tim površinama treba promijeniti namjenu u livade i pašnjake i eventualno koristiti za stočarstvo. Vrlo bitna mjera bi podrazumijevala uvođenje programa edukacije farmera i podizanja svijesti građana o značaju erozije i konzervacije tla.

## LITERATURA

- Ali, S. S., Al-Umary, F. A., Salar, S. G., Al-Ansari, N., & Knutsson, S. (2016). GIS Based Soil Erosion Estimation Using EPM Method, Garmiyān Area, Kurdistan Region, Iraq. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 10, 291-308. doi: 10.17265/1934-7359/2016.03.004
- Amini, S., Rafiei, B., Khodabakhsh, S., Heydari, M. (2010). Estimation of erosion and sediment yield of Ekbatan Dam drainage basin with EPM, using GIS. *Iranian Journal of Earth Sciences*. Volume 2, Issue 2, October 2010, Pages 173-180
- Ananda, J. & Herath, G. (2003). Soil erosion in developing countries: A socio-economic appraisal. *Journal of Environmental Management*. No. 68
- Ballian, D. i Memišević-Hodžić, M. (2016). Varajabilnost hrasta lužnjaka (*Quercus Robur*. L.) u Bosni i Hercegovini. Udruženje inženjera i tehničara šumarstva Federacije Bosne i Hercegovine (UŠIT FBiH). Sarajevo.
- Čadro, S., Marković, M., Kaloper, S.E., Ravlić, M., Žurovec, J. (2019). *Soil water balance response to climate change in Posavina region*. Agriconference 2019. 007. v3.
- Čadro, S., Uzunovic, M., Cherni-Čadro, S., & Žurovec, J. (2019). Changes in the Water Balance of Bosnia and Herzegovina as a Result of Climate Change. *Agriculture and Forestry*, 65(3).
- Dragičević, N., Karleuša, B., Ožanić, N. (2016). Pregled primjene Gavrilovićeve metode (metoda potencijala erozije). *Građevinar* 68/9, 715-725. DOI: 10.14256/JCE.1602.2016
- Dragičević, N., Karleuša, B., & Ožanić, N. (2013). *GIS based monitoring database for Dubračina river catchment area as a tool for mitigation and prevention of flash flood and erosion*. Paper presented at the The thirteenth International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Bratislava, Slovakia.
- Gavrilović, S. (1972). Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji. Izgradnja, special issue. Beograd.
- Globevnik, L., Holjević, D., Petkovšek, G., Rubinić, J. (2003). Applicability of the Gavrilovic method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques, erosion prediction in Ungauged Basins: integrating methods and

- techniques. Proceedings of symposium HS01 held during IUGG2003 at Sapporo, July 2003). IAHS Publ. no. 279.
- Kaloper, S. E., Čadro, S., Uzunović, M., Cherni-Čadro, S. (2020): *Determination of erosion intensity in Brka watershed, Bosnia and Herzegovina*. Agriculture and Forestry, 66 (2): 79-92 DOI: 10.17707/AgricultForest.66.2.08
- Kaloper, S.E., Čadro, S. (2021). Assessment of Soil Erosion Intensity Using Erosion Potential Method: Case Study – Brka River Basin. 31st International Scientific-Expert Conference of Agriculture and Food Industry (AGRIFOOD 2021) 27-28 September 2021, Ege University, Izmir, Turkey 158.
- Kostadinov, S., Radić, B., Dragović, N., & Todosaljević, M. (2012). *Unknown soil erosion and the possibility of its control in the watershed of the water reservoir "Prvonek"*. Paper presented at the the 15th International Congress of ISCO.
- Lazarević, R. (1985). Novi postupak za određivanje koeficijenta erozije (Z). *EROZIJA, stručno-informativni bilten*. Br. 13
- Lazarević, R. (1985a). Novi postupak za određivanje koeficijenta erozije *Erozija 12*. Beograd: Društvo bujičara Jugoslavije.
- Lazarević, R. (1985b). Soil erosion map of Bosnia and Herzegovina in scale 1:25000 *Final Report for 1985 year* (pp. 2-43). Sarajevo: Institute for water management Sarajevo.
- Lovrić, N. i Tošić, R. (2018). *Assessment of soil erosion and sediment yield using erosion potential method: Case study - Vrbas river basin (B&H)*. DOI: 10.2298/GSGD180215002L
- Spalevic, V., Barovic, G., Mitrovic, M., Hodzic, R., Mihajlovic, G., & Frankl, A. (2015). *Assessment of sediment yield using the Erosion Potential Method (EPM) in the Karlicica watershed of Montenegro*. Paper presented at the International Conference on Soil, Tirana, Albania.
- Tošić, R., i Dragičević, S. (2012). Methodology update for determination of the erosion coefficient. *Glasnik Srpskog Geografskog Društva*. No. 92
- Tošić, R., Lovrić, N., & Dragičević, S. (2019). Assessment of the Impact of Depopulation on Soil Erosion: Case Study – Republika Srpska (Bosnia and Herzegovina). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 14(2), 505–518. <https://doi.org/10.26471/cjees/2019/014/099>
- Tošić, R., Dragičević, S., & Lovrić, N. (2012a). Assessment of soil erosion and sediment yield changes using erosion potential method - Case study: Republic of Srpska – BiH. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7(4), 147-154.
- Tošić, R., Dragičević, S., Zlatić, M., Todosiljević, M., & Kostadinov, S. (2012b). The impact of socio-demographic changes on land use and soil erosion (case study: Ukrina River catchment). *Geographical Reviews*, 46, 69-78.
- Tošić, R., Lovrić, N., & Dragičević, S. (2019). Assessment of the impact of depopulation on soil erosion: case study – republika srpska (bosnia and

- herzegovina). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 14(2), 505-518. doi: 10.26471/cjees/2019/014/099
- Tvica, M., Čustović, H. (2010). Uticaj načina korištenja zemljišta na sadržaj karbona u različitim fizičkim frakcijama organske materije tla. *Radovi Poljoprivredno-prehrambenog fakulteta Univerziteta u Sarajevu*. God. LV. Br. 60/1.
- Žurovec, J. (2012). *Melioracije i uređenje poljoprivrednog zemljišta*. Sarajevo: Univerzitet u Sarajevu, Poljoprivredno-prehrambeni fakultet.
- Žurovec, J., Čadro, S. (2008). Erosion Risk on the Arable Soils on the Hill Area of Canton Sarajevo. *Radovi Poljoprivrednog Fakulteta Univerziteta u Sarajevu*, 59(2), 299-310.

## **ANNUAL PRODUCTION OF EROSION SEDIMENTS AND POSSIBILITY OF REDUCING IT IN THE AREA OF THE BRKA RIVER BASIN**

### **Summary**

In the conditions of climate change that are present in the territory of Bosnia and Herzegovina, extreme precipitation usually with high intensity is present, which resulted in soil degradation, erosion, landslides and even floods. Major floods in Bosnia and Herzegovina occurred in 2004, 2006, 2009, 2010, 2014, 2020 and 2021, with largest one in 2014. Currently, the most vulnerable municipalities to climate change are in the north of BiH, while the sensitivity is gradually declining towards the central, southern and eastern parts of the country.

The aim of this study is to estimate the average annual production of erosion sediment ( $W_{god}$ ) and the total annual amount of transported sediment ( $G_{god}$ ) in the Brka River Basin in Bosnia and Herzegovina, using Gavrilovic's method supported by GIS techniques. Based on the projected current situation and soil intensity, an analysis of the possibility to reduce  $W_{god}$  and  $G_{god}$  with application of certain soil conservation measures.

The average annual production of sediment in the Brka River Basin is 6,021.95 m<sup>3</sup>. Observed by sub-basins, the average annual sediment production ( $W_{god}$ ) ranged between 704 m<sup>3</sup> in the Rahička river sub-basin and 1,762 m<sup>3</sup> in the Zovičica basin. The total annual sediment yield is highest in the Zovicica river basin (815.09 m<sup>3</sup>), and the total from the entire Brka river basin is 3,002.16 m<sup>3</sup>/year. In the case of replacing arable land with a combination of fruit and field production, the production of erosion sediments would decrease by 12.23%.

**Key words:** *Soil erosion, Gavrilović's method; GIS, erosion sediment*