

УНАПРЕЂЕНА МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ПРОРАЧУН ФАКТОРА ЕРОЗИОНЕ СНАГЕ КИШЕ (R) IMPROVED METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE RAINFALL EROSIVITY FACTOR (R)

Соња Брауновић¹, Вељко Перовић², Филип Јовановић¹, Наталија Момировић¹,
Ненад Шурјанац¹, Јована Цветковић¹, Вања Стојановић¹

¹Институт за шумарство, Београд

²Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић” Универзитет у Београду

Извод: У раду је приказана унапређена методологија за одређивање вредности фактора ерозионе снаге кише R, најзначајнијег фактора једначине USLE за прорачун губитака земљишта (Universal Soil Loss Equation). Унапређење методологије огледа се кроз увођење ерозивности падавина слабијих интензитета и дужег трајања у облику кише или снега, у периоду када не раде плувиографи (новембар – март). Вредности фактора R_{god} омогућавају поређење са резултатима добијеним у европским земљама, где се последњих 60 година интензивно ради на прилагођавању поменуте методологије локалним условима. Вредности емпиријског коефицијента b_0 који омогућава једноставнији обрачун коришћењем сума средњих месечних падавина, су у нашим истраживањима неправилно коришћене (усвајане су вредности из опсега који је дефинисан за Италију). Вредности b_0 добијене на основу података читаних са плувиографских трака и увођењем ерозивности падавина у зимским месецима за 3 климатолошке станице у Србији крећу се од 1,34 до 1,75. Правилно одређивање вредности фактора R је од изузетног значаја за примену методологије USLE у нашим условима и израду Карте ерозије Србије.

Кључне речи: R – фактор ерозионе снаге кише, емпиријски коефицијент b_0 , интензитет падавина, губици земљишта, Србија

IMPROVED METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE RAINFALL EROSIVITY FACTOR (R)

Abstract: In this paper, an improved methodology for estimating the rainfall erosivity factor (R), the most important factor in the USLE (Universal Soil Loss Equation) equation for calculating soil loss, is proposed. The improvement of the methodology is reflected in the introduction of the erosiveness of precipitation with lower intensity and longer duration in the form of rain or snow, during the period when pluviographs are not operating (November–March). The values of the R_{year} factor allow for comparison with the results obtained in European countries, where intensive work has been carried out over the past 60 years to adjust the aforementioned methodology to local conditions. On the other hand, the values of the empirical coefficient b_0 , which allows for a simpler calculation using the sum of average monthly precipitation, were incorrectly used in Serbia (i.e., values from the range defined for Italy were adopted). Based on the data read from pluviographic strips charts and the introduction of precipitation erosivity for the winter months from three climatological stations in Serbia, the b_0 values ranged from 1.34

to 1.75. The correct determination of the R-factor is of utmost importance for the application of the USLE methodology in local conditions and the preparation of the Erosion Map of Serbia.

Keywords: R – Rainfall erosivity factor, empirical coefficient b_0 , Rainfall intensity, Soil losses, Serbia

УВОД

Ерозивност падавина је динамички индикатор губитака земљишта, а њена просторна и временска расподела одређује интензитет и распрострањеност ерозионих процеса. Отицање и ерозија земљишта одређени су кинетичком енергијом падавина у облику кише, максималним тридесетоминутним интензитетом кишних епизода и сезонским распоредом падавина. Међутим, и кише са малим ерозионим индексом (EI), могу изазвати веће губитке земљишта од киша са високим (EI) које падају у периоду добре заштите вегетационог покривача или повећане стабилности земљишне структуре (Lal, 1988).

Адекватан начин за поменута истраживања представља Универзална једначина ерозије (USLE) - најпознатија методологија за прорачун губитака земљишта. Један од кључних фактора у овој једначини је фактор ерозионе снаге кише (R), који представља климатску компоненту модела и изражава укупну енергију падавина способну да иницира ерозионе процесе.

Пионирска истраживања фактора ерозионе снаге кише за Србију, читавањем интензитета падавина са плувиографских трака, урађена су за подручје Смедеревске Паланке (Stefanović, 1992), подручје Београда (Braunović, 1996) и Враћа (Braunović et al., 2010). Ови радови представљају прве покушаје емпиријске квантификације ерозивности падавина на националном нивоу и полазну основу за даље просторно моделирање фактора R у Србији.

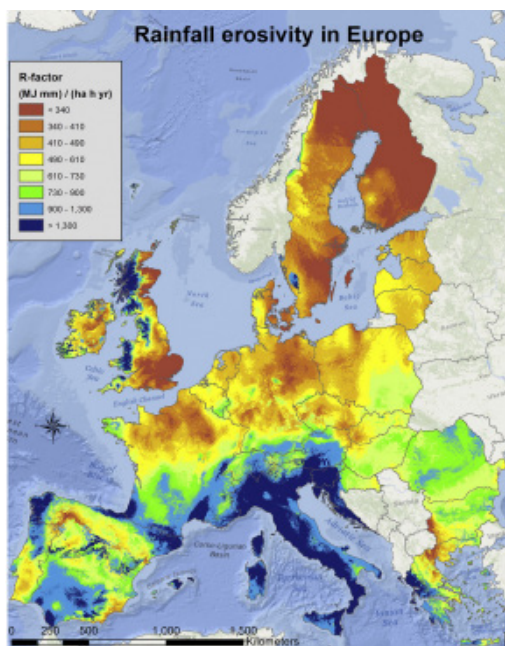
На европском нивоу, студије Panagos et al. (2015) и Ballabio et al. (2017) први пут су пружиле интегрисан приказ просторне варијабилности ерозивности падавина за државе Европске уније. Србија и земље Западног Балкана нису биле обухваћене моделом, али су ове анализе поставиле важне методолошке стандарде и референтни оквир за будућа истраживања у региону. Управо у том контексту, успостављање националне базе вредности фактора R представља кључни корак ка њиховом усклађивању са европским приступима процене ерозивности падавина.

За квантификацију ерозивности падавина најадекватнији је прорачун кишног фактора тј. средњегодишње ерозивности падавина датог подручја (Universal Soil Loss Equation). У фактору $R = EI_{30}$ садржани су кинетичка енергија (E) и максимални тридесетоминутни интензитет кише (I_{30}), чиниоци који дефинишу комбинацију утицаја кишних капи на нарушавање структуре земљишта и покретање честица.

Класичан приступ прорачуну ерозивности падавина дефинисао је Wischmeier (1959), који је предложио индекс EI_{30} као производ укупне кинетичке енергије кише и њеног максималног тридесетоминутног интензитета. Ова формула представља основу за одређивање климатског фактора R у USLE моделу и задржала је методолошки значај у савременој процени губитака земљишта. Међутим, у пракси постоје ограничења, јер само мали број метеоролошких станица у Србији располаже подацима о падавинама са довољно високом временском резолуцијом и дугим серијама запажања неопходним за прецизан прорачун овог параметра.

У почетним студијама утврђено је да највећи део губитака потиче од неколико изузетно интензивних кишних епизода (Wischmeier, 1959; Wischmeier Smith, 1958). Каснија дугорочна мерења у бројним државама показала су, међутим, да се укупан ефекат ерозивности не може приписати искључиво екстремним догађајима, већ и кумулативном утицају умерених кишних епизода које се јављају током године (Wischmeier, 1962).

Због тога фактор R представља кључну климатску компоненту у моделима ерозије, јер интегрише утицај падавина различитог интензитета и трајања у јединствен показатељ који омогућава њихову просторну и временску упоредивост.



Слика 1. Карта ерозивности падавина у Европи
Figure 1. Map of rainfall erosivity in Europe (Panagos et al., 2015)

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

Обрачун фактора ерозионе снаге кише R урађен је на основу анализе плувиографских трака за климатолошке станице (КС) Врање, период 1974–1993. године (надморска висина 458 m.n.m, географска ширина 42° 33', географска дужина 21° 55') и за Београд, период 1968–1992. године (надморска висина 132 m, географска ширина 44° 48', географска дужина 20° 28') (Braunović, 1996; Braunović et al., 2010; Perović et al., 2019).

За обрачун вредности фактора R коришћена је једначина:

$$R = \sum_{j=1}^n \frac{(210.3 + 0.89 \log I_j) I_j T_j \max I_{30}}{100} \text{ MJ cm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$$

Фактор R обрачунат је за све кишне епизоде висине преко 5 mm и минималног трајања од 30 минута, уз услов да се кише обрачунавају као посебне целине ако је интервал између њих минимум 6 часова, а висина падавина у том интервалу не прелази 1 mm. Укупно је анализирано 1018 кишних епизода које испуњавају наведене критеријуме (402. за КС Врање и 616 за КС Београд) (Braunović, 1996; Braunović et al., 2010). Обрачун је спроведен тако што је свака кишна епизода подељена на временске сегменте трајања од 5 до 10 минута, са приближно једнаким интензитетом падавина. За сваки сегмент кишне епизоде очитане су количина падавина и време трајања, на основу којих је срачуната кинетичка енергија сваког сегмента. Сума кинетичких енергија свих сегмената представља укупну кинетичку енергију кише, која помножена максималним тридесетоминутним интензитетом очитаним са плувиографских трака даје фактор ерозионе снаге кише. Збир вредности фактора R за све кише у једном месецу представља месечну вредност, а збир месечних, годишњу. Просечна вредност фактора за одређени период добијена је аритметичком средином годишњих вредности (Wischmeier, Smith, 1978).

Значајан проблем за правилан обрачун средње годишње вредности фактора R_{god} јесте чињеница да на подручју Србије плувиографи не раде током зимских месеци, што онемогућава директно праћење ерозивних процеса у овом периоду. Иако су зимске падавине углавном мањег интензитета, њихов кумулативни ефекат нарочито у условима топљења снега или продужених киша може допринети губицима земљишта. Овај недостатак је неопходно надоместити увођењем субфактора R_s (фактора киша слабог интензитета и дугог трајања или воде од топљења снега у периоду од 1. новембра до 31. марта, за период године у коме није радио плувиограф) (Wischmeier, Smith, 1978).

$$R_s = 1,5 \cdot P_m$$

P_m – просек локалних месечних падавина у виду снега или дуготрајних киша слабог интензитета.

Фактор 1.5 у једначини представља емпиријски корекциони коефицијент који компензује недостатак података о зимским падавинама, а не директно повећање њиховог енергетског ефекта. Његова примена омогућава приближно укључивање ерозивног потенцијала дуготрајних киша и падавина од топљења снега у укупну годишњу вредност фактора R . Овај приступ се показао погодним у условима умерено-континенталне климе, где се део ерозивних процеса јавља и током зимског периода, посебно на нагнутим теренима са слабо везаним површинским слојем земљишта.

Процењене средње годишње вредности фактора R (R_{god}) за климатолошке станице Београд, Врање и Смедеревска Паланка обрачунате су на основу једначине

$$R_{\text{god}} = R_s + R$$

Просечне месечне суме падавина висине преко 5 mm, минималног трајања 30 минута разликују се од укупне суме падавина за 20–35%, тако да у обрачуну фактора R падавине регистроване од 01. априла до 31. октобра треба умањити.

На основу добијених резултата усвојене су вредности емпиријских коефицијената b_0 ($\text{MJ h}^{-1} \text{month}^{-1}$) који садрже разлику месечних суме падавина и суме падавина $>5\text{mm}$, и корекциони фактор 1.5 за падавине у зимском периоду (од новембра до марта).

$$R_{\text{god}} = b_0 \cdot P_m \quad (4)$$

где је:

P_m – средња годишња количина падавина (mm)

b_0 – емпиријски коефицијент ($\text{MJ h}^{-1} \text{ month}^{-1}$), који према Grimm et al., 2003 има вредности у распону од 1.1 до 1.5.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Вредност фактора ерозионе снаге кише, за део године у коме је радио плувиограф (од 1. априла до 31. октобра), за КС Београд износи $R = 856,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$ ($85,69 \text{ MJ cm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$). Процењена вредност годишњег фактора ерозионе кише добијена увођењем субфактора R_s (фактора киша слабог интензитета и дугог трајања или воде од топљења снега у периоду од 1. новембра до 31. марта), R_{god} iznosi $1218,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$.

Вредност фактора ерозионе снаге кише, за део године у коме је радио плувиограф (1. април – 31. октобар), за КС Врање износи $R = 343,6 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$ ($34,36 \text{ MJ cm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$). Процењена вредност годишњег фактора ерозионе R_{god} iznosi $678,2 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$.

Према Стефановић, 1992, Вредност фактора ерозионе снаге кише, за део године у коме је радио плувиограф за КС Смедеревска Паланка износи $R = 842 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$ ($84,2 \text{ MJ cm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$), а процењена вредност годишњег фактора ерозионе R_{god} iznosi $1165,8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$ (Табела 1).

Табела 1: Вредности емпиријског коефицијента b_0 и процењене вредности фактора R_{god} за КС Врање, Београд и Смедеревска Паланка

Table 1. Values of the empirical coefficient b_0 and estimated values of the factor R_{year} for climate station Vranje, Beograd i Smederevska Palanka

КС	Надморска висина	Период	R	Падавине XI–III	R_s	R_{god}	P_m	b_0
Београд	132	1968–1992	856,9	241,1	361,6	1218,5	696,1	1,75
Врање	458	1974–1993	343,6	223,1	334,6	678,2	506,1	1,34
Смедеревска Паланка	121	1972–1979	842,0	215,8	328,3	1165,8	693,6	1,63

Извор: Аутор

Вредности коефицијента b_0 прате градијент континенталности и показују јасан тренд опадања са порастом надморске висине, што показује да однос између количине падавина и ерозионе енергије није линеаран, већ резултат сложене интеракције атмосферских процеса и локалних топографских услова који модификују кинетички интензитет падавина.

На основу добијених вредности R_{god} могуће је извршити калибрацију за остале климатолошке и кишомерне станице на подручју Београда и Смедеревске Паланке. За

подручје Врањске котлине је калибрација урађена на основу резултата за КС Врање и приказана у раду Perović et al., 2019.

База података о ерозивности падавина на европском нивоу (Rainfall Erosivity Database at European Scale - REDES) обухвата 1541 климатолошку станицу у 28 држава, са којих су расположиви подаци са плувиографских трака о интензитетима падавина од 3 КС у Литванији (низ 16 година, доступни I_{30}), до 251. КС у Италији (Panagos et al., 2015). У Италији, која има већи број доступних КС (>500), одабрана је 251 станица како се не би утицало на паневропске резултате. Одабран је узорак КС који покрива све климатске услове (медитерански, континентални и алпски) и све нивое надморске висине.

Развој базе података о ерозивности падавина на европском нивоу (REDES) и њено ажурирање из 2015. године са проширењем на месечну компоненту омогућили су развој месечних и сезонских мапа R фактора и процену ерозивности падавина и просторно и временски.

Током зимских месеци, значајна ерозивност падавина присутна је само у делу медитеранских земаља. Нагли пораст ерозивности јавља се у већем делу Европске уније (осим медитеранског басена, западног дела Британије и Ирске) у мају, а највише вредности су регистроване током летњих месеци. Почевши од септембра, R фактор има тренд опадања. Просечна ерозивност падавина лети је скоро 4 пута већа ($315 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$) у поређењу са зимом ($87 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$) (Panagos et al., 2015).

Према Zhu et al., 2021, просечна годишња ерозивност падавина у јужној Кини је $5130,00 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$, са распоном од $3964,24$ до $6425,87 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$, и значајно варира између различитих провинција. Ерозивност падавина такође неравномерно варира између сезона, при чему је средња ерозивност падавина током лета скоро 15 пута већа него зими. Ова студија је укључила анализу ерозивности падавина на више просторних и временских скала, на основу података о дневним падавинама посматраним на 223 метеоролошке станице, током 58 година (1960–2017).

Приликом процене ерозионе опасности падавина на основу средњих вишегодишњих вредности фактора R неопходно је познавати њихову месечну расподелу. Месечна расподела вредности фактора R значајна је нарочито у пролећним месецима, када су падине слабо заштићене вегетационим покривачем.

Месечна расподела вредности фактора R за подручје Врања показала је да се највеће вредности јављају у јуну, јулу и мају. У осталом делу вегетационог периода ниже вредности фактора ерозионе снаге кише условљене су чешћом појавом киша слабијег интензитета. На подручју Београда је нешто другачији распоред максималних вредности фактора R. Највеће вредности јављају се у јуну, мају и августу. Просечна ерозивност падавина у летњем периоду износи $298,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$ (КС Врање) и $627,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$ (КС Београд), док података за зимски период године нема, јер од 1. новембра до 31. марта плувиографи не раде.

Као што је наведено, због захтева за детаљним подацима за стандардни USLE прорачун R фактора, могу се користити и алтернативне једначине са мање детаљним подацима, у зависности од њихове доступности. Van der Knijff et al. 1999, 2002. године развили су једноставан метод за рачунање фактора R применом регресионе анализе на подацима са 47 климатолошких станица. Grimm et al. 2003. године унапредили су наведено

истраживање анализом података са 366 KC лоцираних широм Италије, тако да се приликом израчунавања фактора ерозивности често користи методолошки приступ GJRM (Grimm-Jones-Rusco-Montanarella). Према овој методи вредности средњих месечних падавина су довољан улазни податак, при чему емпиријски коефицијент b_0 има вредности од 1,1 до 1,5 и служи као корекциони фактор. Емпиријски коефицијент b_0 коришћен је у истраживачким радовима и студијама на подручју Републике Србије (нпр. Belanović-Simić et al., 2013; Miljković, Simić, 2020), али без претходних истраживања.

На основу истраживања која су спровели Braunović et al., 2010. године и касније Perović et al., 2019. године, а која су укључивала анализе плувиографских трака за метеоролошку станицу Врање, у периоду од 20 година (402 кишне епизоде висине >5 mm, минималног трајања 30 минута, интервал између две епизоде минимум 6 часова), извршена је калибрација корекционог фактора поменуте једначине за део југоисточне Србије (општина Врање). Наведена истраживања су утврдила вредност емпиријског коефицијента b_0 на 1,1 ($\text{MJ h}^{-1}\text{mesec}^{-1}$), са корекцијама за суме падавина од 20 % (разлика месечне суме падавина и суме падавина $>5\text{mm}$) и корекционим фактором 1,5 за падавине у периоду године када не ради плувиограф (од новембра до марта). На исти начин би требало урадити калибрацију корекционог фактора b_0 и за остале делове Србије.

Упоређивањем добијених вредности за Србију са резултатима савремених истраживања на европском и регионалном нивоу уочава се да домаће вредности фактора ерозионе снаге падавина (R) добро кореспондирају са опсегом карактеристичним за југоисточну Европу. Према REDES бази, просечна вредност R фактора за Европску унију и Швајцарску износи око $722 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$, уз изражену просторну хетерогеност од преко $100 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$ у северној Европи до преко $3000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$ у медитеранском појасу (Panagos et al., 2015). Допунска анализа REDES базе показала је да је највећа ерозивност регистрована у јужној Европи, нарочито у северној Италији, на Јадранској обали и у деловима Пиринејског полуострва (Ballabio et al., 2017). Недавна студија за подручје Западног Балкана (Micić Ponjiger et al., 2023) показала је да просечне вредности R фактора, израчунате на основу ERA5 анализе и вишегодишњих серија падавина, износе око $850 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$, са опсегом од приближно 300 до $1700 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$, што потврђује изражену регионалну варијабилност између приобалних и континенталних области. Аутори су показали да су највише вредности концентрисане у јадранском и динарском појасу, док су најниже у Панонској низији и југоисточној Србији. Према студији Micić Ponjiger et al. (2021), која је анализирала просторну и временску променљивост ерозивности падавина у централном и јужном делу Панонског басена, вредности R фактора варирају између 700 и $2100 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$, уз благ пораст током последње деценије посматраног периода (2010–2019), нарочито у југозападним деловима басена. У том контексту, вредности добијене у овом истраживању где је $R_{\text{god}} = 1218,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$ за Београд, $678,2 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$ за Врање и $1165,8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$ за Смедеревску Паланку, позиционирају Србију у средње-висок ерозивни режим падавина, типичан за умерено-континенталне услове југоисточне Европе. Ове вредности су упоредиве са онима за Румунију (око $785 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$), Бугарску (око $695 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$) и Мађарску (око $683 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$), али ниже од вредности карактеристичних за хрватске медитеранске и планинске регионе (више од $1200 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ god}^{-1}$) (Panagos et al., 2015) (Табела 2).

Табела 2. Средње годишње вредности фактора R у земљама у окружењу
 Table 2. Average annual R -factor values in surrounding countries

Држава	Вредности фактора R $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ god^{-1}$			Пројекција 2050. год.
	Средња	Минимална	Максимална	
Бугарска	695,0	79,8	1447,1	838,2
Хрватска	1276,2	523,4	3522,7	1297,6
Мађарска	683,3	361,4	1000,8	759,3
Румунија	785,0	462,2	1150,1	930,2

Извор: Panagos et al., 2015.

ЗАКЉУЧЦИ

Истраживања и приказани резултати представљају почетни корак ка систематском увођењу научно утемељене методологије за прорачун фактора ерозионе снаге кише (R) и његову примену у оквиру USLE модела на простору Србије. Прецизно дефинисање вредности фактора R и његово прилагођавање специфичним климатским и орографским условима наше земље захтева обимна и дугорочна истраживања, посебно имајући у виду израду нове карте ерозије Републике Србије засноване на квантитативним принципима USLE једначине. За сада је препорука да се за подручје Србије усвајају вредности емпиријског коефицијента b_0 у распону од 1,34 до 1,75.

Увођење вредности фактора R за период године када не раде плувиографи је значајан помак који омогућава поређење резултата земаља Европске уније. Постављање 27 аутоматских метеоролошких станица на територији R Србије у периоду од 2006. године до данас, отвара нове могућности за читавање максималних тридесетоминутних интензитета кишних епизода и проверу резултата добијених читавањем поменутих вредности са плувиографских трака.

Остварени резултати омогућавају реалнију процену и детаљније мапирање ерозионог потенцијала падавина, што представља значајан корак ка интегрисаном разумевању просторне динамике ерозије у Србији.

Захвалница: Истраживање је подржало Министарство за науку, технолошки развој и иновације Републике Србије (уговор бр. 451-03-136/2025-03/200027 и 451-03-136/2025-03/200007). Посебно се захваљујемо Предрагу Петровићу и Дубравки Јовановић.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ballabio, C., Borrelli, P., Spinoni, J., Meusburger, K., Michaelides, S., Beguería, S., Klik, A., Petan, S., Janecek, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Tadić, M. P., Nazzareno, D., Kostalova, J., Rousseva, S., Banasik, K., L., Alewell, C., Panagos, P. (2017): Mapping monthly rainfall erosivity in Europe, *Science of the Total Environment*, 579:1298–1315.
2. Belanović-Simić, S., Perović, V., Vidojević, D., Kostadinov, S., Knežević, M., Kadović, R., Košanin, O. (2013): Assessment of soil erosion intensity in Kolubara district, Serbia, *Fresenius Environmental Bulletin*, 22(5a):1556–1563.
3. Braunović, S. (1996): Calculation of rain erosivity in the region of Belgrade, First European Conference, and Trade Exposition on Erosion Control, IECA, Sitges, Barcelona, 29–31. May 1996.
4. Braunović, S. (1997): Determination of rainfall factor for the region of Belgrade at the application of USLE method in our conditions, The 3rd international conference on the development of forestry and Wood science/tehnology, Belgrade, 176–183.
5. Braunović S., Bilibajkić S., Ratknić M. (2009): Determination of rain erosive power factor (R) for the region of Vranje aiming at the application of USLE method in our conditions, International Conference “Land Conservation”- Landcon 0905 Global Change – Challenges for Soil Management”. 26–30. May 2009, Tara Mountain, Conference Proceedings CD ROM.
6. Braunović S., Bilibajkić S., Ratknić M. (2010): Calculation of rainfall erosivity factor in the region of Vranje (South-Eastern Serbia), in *Global Change – Challenges for Soil Management*, ed. Miodrag Zlatić, *Advances in Geoecology* 41:184–191.
7. Grimm, M., Jones, R.J.A., Rusco, E., Montanarella, L. (2003): Soil erosion risk in Italy: a revised USLE approach. European Soil Bureau Research Report No.11, EUR20677 EN, (2002). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, (28)
8. Lal, R. (1988): Soil erosion research methods. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA.
9. Micić Ponjiger, T., Lukić, T., Basarin, B., Jokić, M., Wilby, R.L., Pavić, D., Mesaroš, M., Valjarević, A., Milanović, M., Morar, C. (2021): Detailed Analysis of Spatial–Temporal Variability of Rainfall Erosivity and Erosivity Density in the Central and Southern Panonian Basin, *Sustainability*, 13(23):13355. <https://doi.org/10.3390/su132313355>
10. Micić Ponjiger, T., Lukić, T., Wilby, R.L., Marković, S.B., Valjarević, A., Dragičević, S., Gavrilov, M.B., Ponjiger, I., Durlević, U., Milanović, M. et al. (2023): Evaluation of Rainfall Erosivity in the Western Balkans by Mapping and Clustering ERA5 Reanalysis Data, *Atmosphere*, 14:104. <https://doi.org/10.3390/atmos14010104>
11. Milijkovic, P., Belanovic Simic, S. (2020): Soil loss data comparison using usle and water/sedem model in the Polomska river catchment, Serbia, *Fresenius Environ. Bull.*, 29: 5012–5020.
12. Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Perčec Tadić

- M., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Santiago Beguería, A., Alewell, C. (2015): Rainfall erosivity in Europe, *Science of The Total Environment*. 51:801–814.
13. Perović V., Kadović R., Djurdjević V., Braunović S., Čakmak D., Mitrović M., Pavlović P. (2019): Effects of changes in climate and land use on soil erosion: a case study of the Vranjska Valley, Serbia, *Regional Environmental Change* 19(4):1035–1046.
 14. Stefanović, J. (1992): Integralna istraživanja procesa geneze i transporta nanosa u malim slivovima na primeru Topčiderske reke. Magistarska teza. Šumarski fakultet, Beograd.
 15. Wischmeier, W. H., Smith, D. D. (1958): Rainfall energy and its relationship to soil loss, *American Geophysical Union Transactions* 39:285-291.
 16. Wischmeier, W. H. (1959): A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation, *Soil Science Society of America, Proceedings* 23:246-249.
 17. Wischmeier, W. H. (1962): Storms and soil conservation, *Journal of Soil Water and Conservation*, 17(2):55-59.
 18. Wischmeier, W. H., Smith, D. D. (1958): Rainfall energy and its relationship to soil loss, *Eos Trans. AGU*, 39:285-291.
 19. Wischmeier, W. H., Smith, D. D. (1978): Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. Agriculture handbook no. 537, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
 20. Zhu, D., Xiong K., Xiao, H. (2021): Multi-time scale variability of rainfall erosivity and erosivity density in the karst region of southern China, 1960–2017, *Catena*, 197.
 21. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816220305270>
 22. (1968–1993): Meteorološki godišnjak 1. Klimatološki podaci. Republika Srbija, Republički hidrometeorološki zavod, Beograd.
 23. https://www.hidmet.gov.rs/ciril/meteorologija/klimatologija_godisnjaci.php (приступљено 31. октобра 2025).
 24. (1977): Guidelines for watershed management. FAO conservation guide. Food and agriculture organization of the United nations, Rome.