

Alternativní stanovení faktoru R (erozní účinnost deště) v povodí Husího potoka

DAVID HONEK, MARTIN CALETKA

Klíčová slova: R faktor – srážkový úhrn – Husí potok

SOUHRN

Hodnocení erozní účinnosti deště je v současnosti těžištěm výzkumu v oblasti stanovení erozního ohrožení půdy. V rámci empirického modelování pomocí modelů rodiny USLE (the Universal Soil Loss Equation) je erozní účinnost deště reprezentována tzv. R faktorem, jehož hodnotu lze stanovit řadou doporučených postupů. Tento článek představuje možné alternativní způsoby určení hodnoty R faktoru na základě ročních a měsíčních sum srážkových úhrnů. Jednotlivé metody jsou vzájemně porovnány a konfrontovány s postupy užívanými v České republice. Dále jsou diskutovány jejich výhody i nevýhody. Cílem příspěvku je prezentace relativně jednoduchých postupů výpočtu na základě standardního měření srážkových úhrnů a také nalezení vhodného postupu výpočtu R faktoru pro aplikaci na území ČR. Jako modelové území bylo vybráno povodí Husího potoka, levostranného přítoku Odry, kde probíhá dlouhodobý monitoring srážkoodtokových procesů. Výpočty hodnot R faktoru byly provedeny pro čtyři vybrané srážkoměrné stanice za období 2015 až 2019. Jako nejvhodnější alternativní postup výpočtu R faktoru se jeví metoda dle Wischmeiera a Smitha [1], která dobře zohledňuje variabilitu srážkových úhrnů v průběhu roku. Výsledky také ukazují na mnohem nižší míru erozního účinku deště v daném období ve srovnání s užívanými dlouhodobými hodnotami R faktoru stanovenými jinými autory.

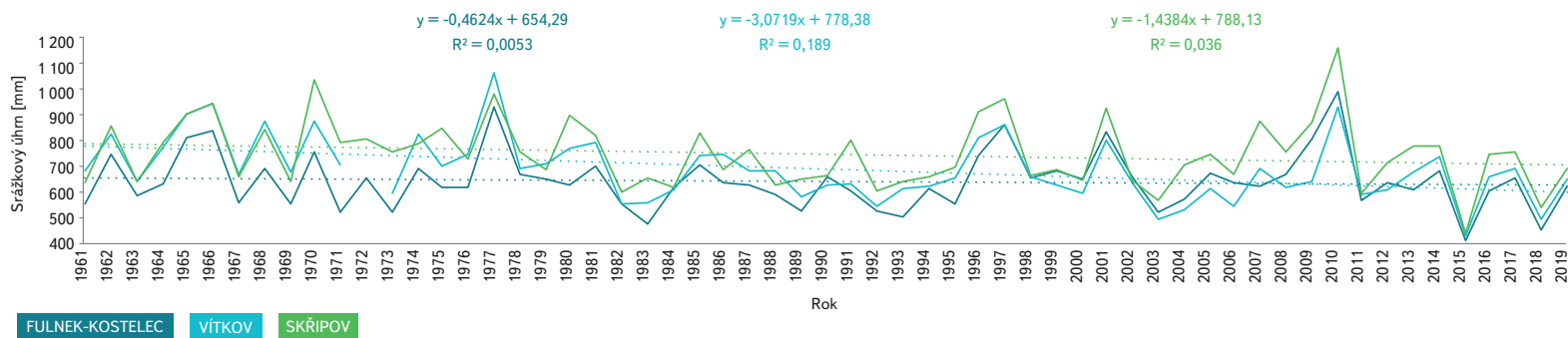
ÚVOD

Degradace a ztráta půdy patří v současnosti k největším environmentálním problémům v lokálním i globálním měřítku. K největším odnosům půdy dochází na zemědělských plochách, což se negativně odráží ve zhoršující se kvalitě půdy, a to má dále vliv na zdraví celých ekosystémů, odtokové poměry, kvalitu povrchových i podzemních vod a v neposlední řadě také na produkci potravin [2–5]. Eroze půdy – ať už vodní, nebo větrná – má různé příčiny, které jsou ve své podstatě přirozeným chováním přírodního prostředí. Od doby rozvoje zemědělství jsou však tyto přirozené procesy silně ovlivněny činností člověka. Eroze půdy je akcelerována především vlivem intenzifikace zemědělství, pěstování monokultur a velkého odlesňování [6], obecně ve snaze dosahovat co největších zisků [7–10]. V podmínkách České republiky představuje z hlediska eroze největší problém struktura půdních bloků a změny ve využívání krajiny, k nimž došlo v průběhu 20. století [11, 12].

Hodnocení erozního ohrožení půd vodní erozí se často provádí pomocí erozního modelu USLE (the Universal Soil Loss Equation), který vznikl v druhé polovině 20. století [13, 1]. Tento empiricky založený model stanovuje míru předpokládané eroze na základě hodnot šesti vstupních faktorů (R, K, L, S, C a P), reprezentujících přírodní podmínky a vliv způsobu hospodaření v daném území. Jedním z faktorů, jenž má přímý vliv na tvorbu erozní události, je faktor erozního účinku deště, tzv. R faktor. Role tohoto faktoru je velmi často diskutovaným tématem v mnoha publikacích a vznikla celá řada metodických doporučení, jak stanovit jeho hodnotu. Určení této hodnoty je dáno na základě dlouhodobého pozorování erozně účinných srážek a jejich kinetické energie [1]. Meusburger a kol. [14] poukazuje na obtížnou dostupnost potřebných dat a spolu s dalšími autory zmiňuje možnost nahrazení tohoto způsobu výpočtu odvozením na základě denních, měsíčních a ročních srážkových úhrnů [15, 16]. Bonilla a Vidal [17] dodávají, že existuje dobrá korelace mezi ročními srážkovými úhrny a hodnotami R faktoru, a to na mnoha místech ve světě.

Zvolení správné metody stanovení hodnoty R faktoru se tak stává kruciólním krokem v rámci empirického modelování erozních a sedimentačních procesů, a to zejména v období klimatické změny, projevující se změnou charakteru srážkových událostí, jež mají za následek intenzivní erozní procesy. García-Ruiz a kol. [18] odhalil významnou závislost erozních procesů na srážkách. Míra eroze půdy roste s nárůstem množství srážek a jejich intenzity, k čemuž Kozlovská a kol. [19] dodává, že extrémní projevy erozních procesů jsou úzce spjaty s extrémními srážkovými událostmi s nízkým ročním výskytem. Edwards a Owens [20] a González-Hidalgo [21] zdůrazňují, že většinu celkové degradace půdy může způsobit jen několik málo extrémních srážkových událostí v roce.

Podle posledních projekcí klimatu pro oblast střední Evropy se předpokládá mírně poklesový až stagnující trend ročních srážkových úhrnů [22, 23], čemuž odpovídají i data ze zvoleného výzkumného povodí Husího potoka, byť se jedná o krátkou časovou řadu. V posledních letech se i zde projevilo relativně dlouhé období sucha, které zasáhlo celou střední Evropu. Na obr. 1 je znázorněn chod ročních srážkových úhrnů na třech vybraných srážkoměrných stanicích (tab. 1) ve správě Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), kde je evidentní poklesový trend, ale také značná rozkolísanost (např. vláhově nadprůměrný povodňový rok 2010 a velmi suchý rok 2015). Projekce budoucího vývoje v oblasti střední Evropy předpokládají růst frekvence extrémních srážkových událostí, jež mohou mít mnohem větší účinek na půdu, která je dlouhodobě zasažena suchem [22–24].



Obr. 1. Vývoj ročních srážkových úhrnů v období 1961 až 2019 na vybraných srážkoměrných stanicích ČHMÚ v povodí Husího potoka

Fig. 1. Development of annual precipitation totals in the period from 1961 to 2019 at selected rain gauging stations operated by CHMI in the Husí creek catchment area

Tab. 1. Dlouhodobá průměrná, maximální a minimální hodnota ročních srážkových úhrnů v období 1961 až 2019 na vybraných stanicích ČHMÚ v povodí Husího potoka

Tab. 1. Long-term average, maximum and minimum value of annual precipitation totals in the period from 1961 to 2019 at selected CHMI stations in the Husí creek catchment area

Název stanice	Nadmořská výška [m n. m.]	Souřadnice (S-JTSK)		Roční srážkový úhrn (1961–2019) [mm]		
		X	Y	Průměr	Maximum	Minimum
Fulnek-Kostelec	340	-496671,3	-1111857,6	640,4	983,2	409,3
Vítkov	491	-508795,8	-1104575,7	685,3	1058,3	430,1
Skřípov	485	-497236,5	-1101170,4	745,0	1154,9	436,1

Tento příspěvek si klade za cíl představení vybraných metod stanovení hodnoty R faktoru na základě měsíčních a ročních srážkových úhrnů. Jednotlivé metody jsou srovnány mezi sebou s cílem nalezení vhodné alternativní metody pro aplikaci v České republice. Doporučená metoda bude představovat alternativní postup stanovení hodnoty R faktoru ke stávajícím postupům užívaných v České republice. Testování jednotlivých metodik je provedeno na čtyřech vybraných srážkoměrných stanicích v povodí Husího potoka, které je dlouhodobě zkoumáno právě pro výskyt intenzivních srážkoodtokových a erozních procesů [25–28].

METODIKA A POPIS ÚZEMÍ

Použité metody a vstupní data

Faktor erozní účinnosti deště R (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ rok⁻¹) reprezentuje ztrátu půdy ze zemědělské půdy, která je přímo úměrná součinu celkové kinetické energie přívalové srážky a její maximální třicetiminutové intenzity, a pro svůj výpočet vyžaduje podrobná kontinuální data srážkových úhrnů [1, 29]. Hodnota R faktoru je tedy výrazně ovlivněna objemem, intenzitou, trváním a rozložením srážek a je také silně ovlivněna strmostí daného svahu. Hodnoty R faktoru lze určit z izoerodentních map, tabulek nebo vypočítat z historických pozorování [30]. Stanovení hodnoty R faktoru lze rovněž pomoci sumy měsíčních a ročních srážkových úhrnů [15]. V následujícím textu je přehled vybraných příkladů rovnic, jež byly aplikovány v této práci.

ARNOLDUS [31]:

$$R = \left[4,17 \times \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P} \right] - 152 \quad (1)$$

BOLS [32]:

$$R = \frac{2,5 \times P^2}{100 \times (0,07 \times P + 0,73)} \quad (2)$$

DEVATHA a kol. [33]:

$$R = P \times 0,5 \quad (3)$$

EL-SWAIFY a kol. [34]:

$$R = 38,5 + 0,25 \times P \quad (4)$$

MARIA a kol. [35]:

$$R = \frac{1}{N} \times \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{12} \frac{P_{ij}^2}{P_j} \quad (5)$$

PARVEEN A KUMAR [36]:

$$R = 79 + 0,363 \times R_N \quad (6)$$

WISCHMEIER A SMITH [1]:

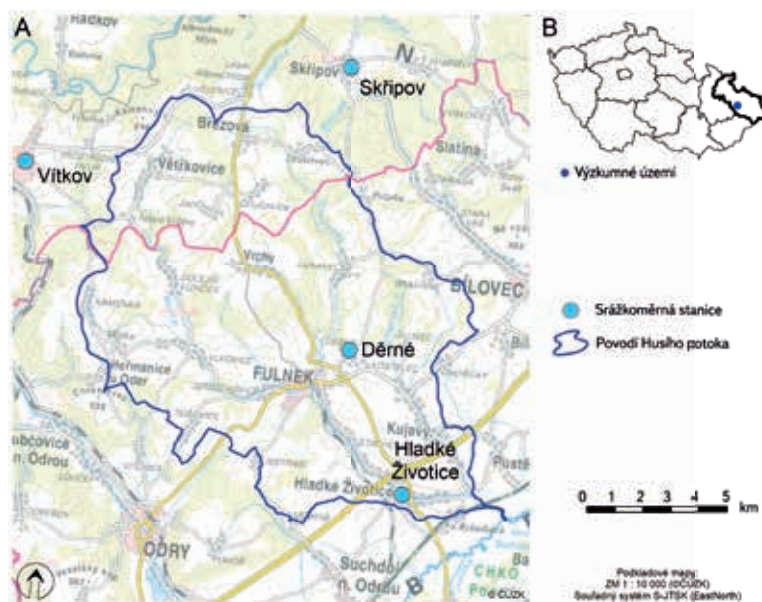
$$R = \sum_{i=1}^{12} 1,735 \times 10^{[1,5 \times \log_{10}(P_i^2/P) - 0,08188]} \quad (7)$$

kde P (P_j nebo R_N) je roční srážkový úhrn (mm)
 P_i (P_{ij}) měsíční srážkový úhrn (mm)
 N počet událostí

Jako vstupní data byla použita denní měření ze čtyř srážkoměrů v období 2015 až 2019 (období s ucelenými daty bez výpadků na stanicích) v povodí Husího potoka (podrobný popis území je v následující kapitole. Vybrané stanice patří do společné pozorovací sítě v rámci povodí Husího potoka, kterou společně spravují obce v daném území ve spolupráci s VÚV TGM, ČHMÚ a státním podnikem Povodí Odry.

Popis výzkumného území

Výzkumné území se nachází na severovýchodě České republiky (obr. 2). Husí potok je levostranným přítokem Odry. Jeho délka činí více než 27 km a odvodňuje povodí o ploše 141,9 km². Povrch se postupně svažuje jihovýchodním směrem. V severozápadní části povodí tvoří převážně mírně zvlněné plošiny Nízkého Jeseníku s nadmořskou výškou okolo 500 m, které jsou často zemědělsky využívány. Tyto plošiny postupně přecházejí do strmých svahů a údolí s větším podélným sklonem. Tato údolí a svahy ohraničující zmíněné plošiny jsou typické pro celou střední část povodí a často jsou pokryty lesními porosty. Spodní část povodí je opět rovinatější, tvořena mírně zvlněnými táhlými



Obr. 2. Výzkumné území na podkladu základní mapy 1 : 10 000 (A) a poloha v rámci ČR a Moravskoslezského kraje (B)

Fig. 2. Research area on the basis of topographic map 1 : 10 000 (A), and location in the Czech Republic and Moravian-Silesian Region (B)

svahy, intenzivně zemědělsky využívanými. Kvůli charakteru reliéfu a způsobu využívání je toto území predisponováno k výskytu přívalových povodní. Dvě významné události se zde vyskytly v létě 2009 a 2010 [37, 38].

V povodí se nachází větší množství srážkoměrných stanic ve správě VÚV TGM, ČHMÚ a Povodí Odry. Některé srážkoměry jsou i ve správě místních samospráv a byly umístěny díky spolupráci s výše zmíněnými institucemi. Pro tento výzkum byly vybrány čtyři stanice (obr. 2), které kontinuálně měří srážkové úhrny (velké množství instalovaných srážkoměrů tu funguje v sezoně duben až listopad) a zároveň reprezentují odlišné přírodní podmínky v daném území, zejména nadmořskou výškou (tab. 2). V tab. 2 je též zobrazeno rozložení srážek

Tab. 2. Základní charakteristiky vybraných srážkoměrných stanic pro výpočet R faktoru
 Tab. 2. Basic characteristics of selected rain gauges used for R factor calculation

Název stanice	Nadmořská výška [m n. m.]	Souřadnice (S-JTSK)		Roční srážkový úhrn (2015–2019) [mm]									
		X	Y	Průměr	Maximum	Minimum							
Děrné	356	-497284,3	-1111305,2	515,4	633,2	406,2							
Hladké Životice	250	-495410,1	-1116428,9	549,4	649,1	452,3							
Vítkov	491	-508796,8	-1104576,7	594,3	695,2	439,9							
Skřipov	485	-497237,5	-1101170,4	632,2	753,5	436,1							
Průměrné měsíční hodnoty srážkových úhrnů [mm] v období 2015–2019													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
Děrné	21,3	26,4	25,7	62,9	50,1	45,3	44,2	54,2	69,0	49,4	45,3	21,6	515,4
Hladké Životice	20,2	31,2	41,0	63,9	48,3	49,2	69,0	61,0	63,1	48,0	29,1	25,6	549,4
Vítkov	31,1	40,7	39,2	52,1	53,2	52,6	66,1	65,8	73,2	60,7	35,7	23,8	594,3
Skřipov	38,5	35,5	35,2	57,7	66,3	59,1	71,8	58,1	76,2	64,8	38,4	30,6	632,2

během roku pro období 2015 až 2019 a zcela jasně převážná část srážek spadne v teplých měsících roku mezi dubnem a říjnem. Co se týká průměrných ročních úhrnů srážek, je zde vidět tendence nárůstu množství srážek směrem na severozápad a do vyšších poloh. Ze srovnání s hodnotami v *tab. 1* jasně vyplývá, že období 2015 až 2019 bylo srážkově podprůměrné.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Hodnoty R faktoru na vybraných stanicích

Obecně platí – a potvrzují to i údaje z vybraných srážkoměrů –, že se vzrůstající nadmořskou výškou rostou i srážkové úhrny. S tím je logicky spojen i růst hodnoty R faktoru. Vyšší hodnoty jsou tedy vypočítány pro výše položené stanice Vítkov a Skřípov (např. nejvyšší hodnota vůbec, 5470 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹, na stanici Skřípov v roce 2017 dle metody WISCHMEIER A SMITH; *tab. 3*). Důležitou roli hraje také rozložení srážek během roku, na což silně reaguje metoda WISCHMEIER A SMITH, kdy nadprůměrný až extrémní měsíční srážkový úhrn ve srovnání s ostatními měsíci v roce generuje vysokou hodnotu R faktoru. Názorný příklad představuje srovnání roků 2015 a 2016 na stanici Děrné (*tab. 3*), kdy celkové roční sumy srážek se relativně lehce liší (406,2 mm v r. 2015 ku 466,7 mm v r. 2016), ale výsledné hodnoty R faktoru v případě metody WISCHMEIER A SMITH se liší skoro dvojnásobně (129,3 ku 246,1 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹). U všech stanic však obecně platí, že větší roční srážkový úhrn generuje vyšší hodnotu R faktoru a ve zvoleném období 2015 až 2019 jsou hodnoty výsledného R faktoru relativně nízké, což odpovídá rokům s podprůměrnými srážkovými úhrny, jak je zmíněno výše.

Srovnání metod stanovení hodnoty R faktoru

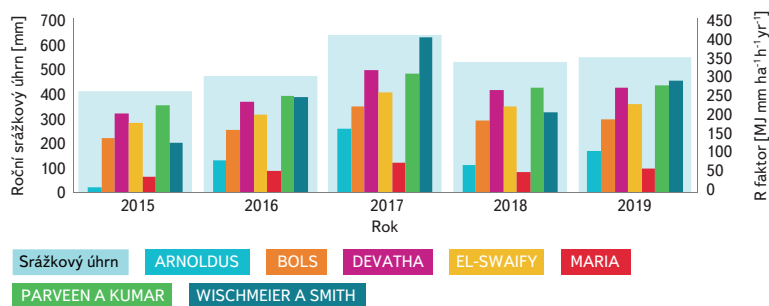
Použité metody a jejich výsledky se od sebe prokazatelně liší, jak dokládají grafy na *obr. 3* až *6*. Jednotlivé metody byly vytvořeny pro konkrétní území s velmi odlišnými přírodními podmínkami. Metody ARNOLDUS, MARIA a WISCHMEIER A SMITH vznikaly v oblastech vyšších zeměpisných šířek (Evropa, USA). Naproti tomu metody BOLS, DEVATHA, EL-SWAIFY a PARVEEN A KUMAR byly vytvořeny pro oblasti tropů jihovýchodní Asie s vyššími ročními srážkovými úhrny. Cílem autorů bylo respektovat dané klimatické (srážkové) podmínky, díky čemuž metody pro tropické oblasti pouze „upravují“ roční sumu srážek, kdežto metody vyšších zeměpisných šířek sofistikovaněji přepočítávají roční sumu srážek i s ohledem na měsíční srážkové úhrny (MARIA a WISCHMEIER A SMITH).

Tab. 3. Výsledné hodnoty R faktoru na vybraných stanicích v povodí Husího potoka podle sedmi různých metod výpočtu

Tab. 3. The resulting values of the R factor at selected stations in the Husí potok catchment according to seven different calculation methods

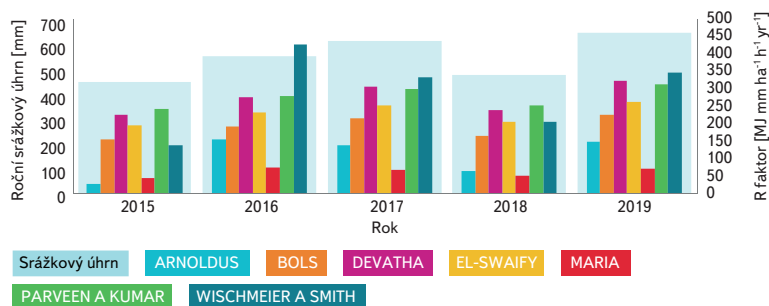
DĚRNÉ	Rok				
	2015	2016	2017	2018	2019
Roční srážkový úhrn [mm]	406,2	466,7	633,2	527,9	542,9
R faktor [MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹]					
ARNOLDUS	13,6	82,3	165,6	71,8	107,6
BOLS	141,4	163,0	222,5	184,9	190,2
DEVATHA	203,1	233,4	316,6	264,0	271,5

EL-SWAIFY	180,7	201,8	260,1	223,3	228,5
MARIA	39,7	56,2	76,2	53,7	62,3
PARVEEN A KUMAR	226,5	248,4	308,9	270,6	276,1
WISCHMEIER A SMITH	129,3	246,1	401,1	207,3	290,5
HLADKÉ ŽIVOTICE	2015	2016	2017	2018	2019
Roční srážkový úhrn [mm]	452,3	554,1	613,8	477,9	649,1
R faktor [MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹]					
ARNOLDUS	29,2	157,1	139,2	63,7	151,0
BOLS	157,9	194,2	215,6	167,0	228,2
DEVATHA	226,2	277,0	306,9	239,0	324,6
EL-SWAIFY	196,8	232,4	253,3	205,8	265,7
MARIA	43,5	74,1	69,8	51,7	72,7
PARVEEN A KUMAR	243,2	280,1	301,8	252,5	314,6
WISCHMEIER A SMITH	140,1	429,4	335,6	206,9	349,3
VÍTKOV	2015	2016	2017	2018	2019
Roční srážkový úhrn [mm]	439,9	669,7	695,2	507,9	658,8
R faktor [MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹]					
ARNOLDUS	27,3	171,8	177,9	90,9	129,3
BOLS	153,5	235,5	244,6	177,7	231,6
DEVATHA	220,0	334,9	347,6	254,0	329,4
EL-SWAIFY	192,5	272,9	281,8	216,3	269,1
MARIA	43,0	77,7	79,1	58,2	67,5
PARVEEN A KUMAR	238,7	322,1	331,4	263,4	318,1
WISCHMEIER A SMITH	142,4	395,6	419,6	270,1	293,5
SKŘIPOV	2015	2016	2017	2018	2019
Roční srážkový úhrn [mm]	436,1	742,4	753,5	540,1	688,9
R faktor [MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹]					
ARNOLDUS	22,1	191,4	225,4	102,1	153,4
BOLS	152,1	261,5	265,4	189,2	242,4
DEVATHA	218,1	371,2	376,8	270,1	344,5
EL-SWAIFY	191,1	298,3	302,2	227,5	279,6
MARIA	41,7	82,4	90,5	60,9	73,2
PARVEEN A KUMAR	237,3	348,5	352,5	275,1	329,1
WISCHMEIER A SMITH	135,9	425,2	547,0	280,2	356,6



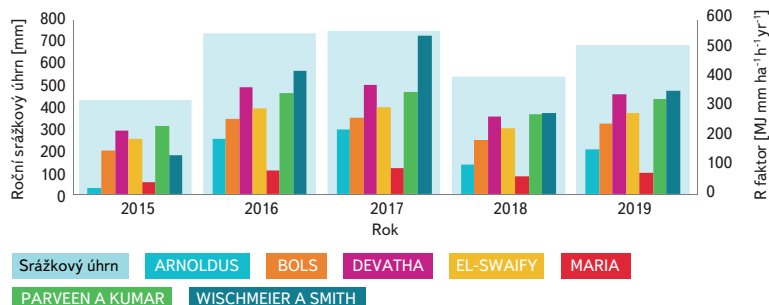
Obr. 3. Hodnoty R faktoru na stanici Děrné (VÚV TGM) stanovené pomocí sedmi vybraných metod výpočtu

Fig. 3. Values of the R factor at the Děrné station (VÚV TGM) determined using seven selected calculation methods



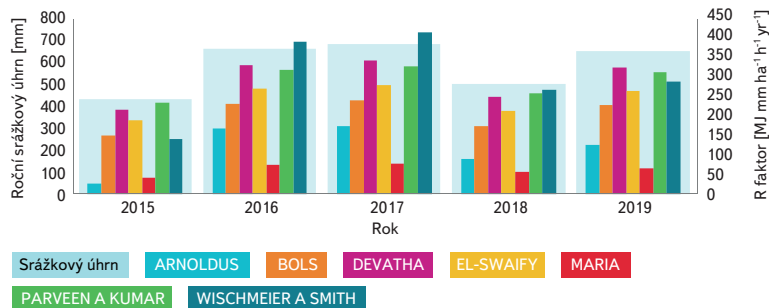
Obr. 4. Hodnoty R faktoru na stanici Hladké Životice (VÚV TGM) stanovené pomocí sedmi vybraných metod výpočtu

Fig. 4. Values of the R factor at the Hladké Životice station (VÚV TGM) determined using seven selected calculation methods



Obr. 5. Hodnoty R faktoru na stanici Vítkov (ČHMÚ) stanovené pomocí sedmi vybraných metod výpočtu

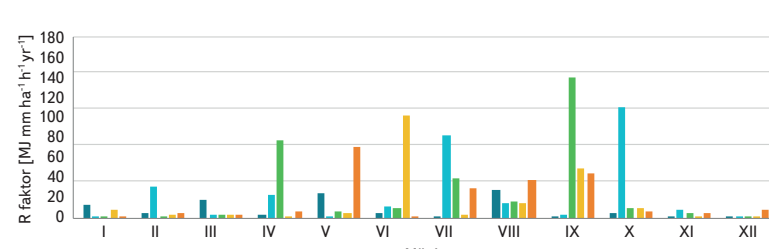
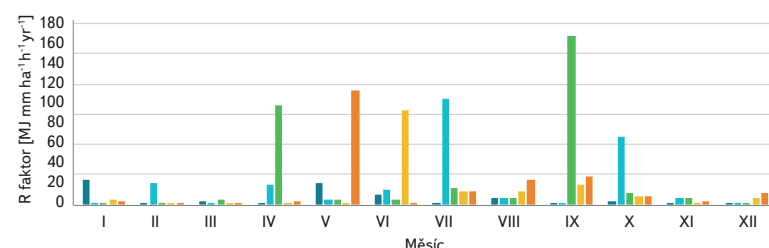
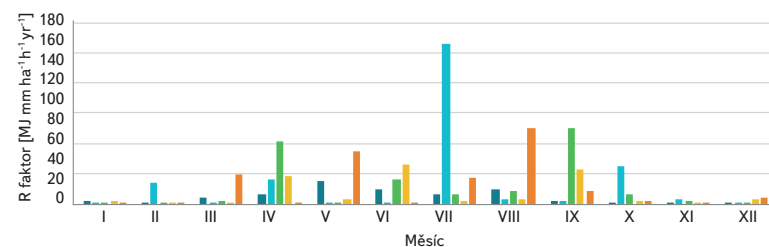
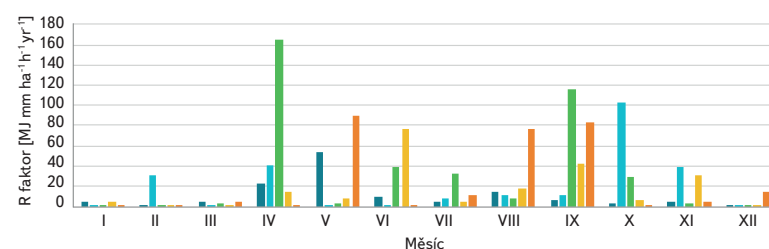
Fig. 5. Values of the R factor at the Vítkov station (CHMI) determined using seven selected calculation methods



Obr. 6. Hodnoty R faktoru na stanici Skřipov (ČHMÚ) stanovené pomocí sedmi vybraných metod výpočtu

Fig. 6. Values of the R factor at the Skřipov station (CHMI) determined using seven selected calculation methods

Výsledky v tab. 4 potvrzují rozdílnost přístupů jednotlivých metodik. Metody DEVATHA, EL-SWAIFY a PARVEEN A KUMAR dávají velmi podobné výsledky s nižší meziroční variabilitou a jejich absolutní hodnoty R faktoru se pohybují kolem průměru mezi všemi metodami. Obdobné výsledky přináší také metoda BOLS, ale s nižšími absolutními hodnotami R faktoru. Vůbec nejnižší hodnoty jsou prezentovány metodami ARNOLDUS a MARIA, přičemž metoda ARNOLDUS relativně dobře zohledňuje meziroční variabilitu srážek, což metoda MARIA téměř vůbec nereflakuje. Zcela výjimečnou mezi všemi je metoda WISCHMEIER A SMITH, která dobře zohledňuje meziroční variabilitu srážkových úhrnů, ale také samotné rozložení srážek během roku. Výsledná hodnota ročního R faktoru je silně ovlivněna maximálními či minimálními měsíčními srážkovými úhrny. Na obr. 7 je vyobrazen roční chod R faktoru na vybraných stanicích a je patrné, že některé měsíce vykazují hodnotu R faktoru odpovídající až polovině celkové roční hodnoty (např. červenec 2016 na stanici Hladké Životice s hodnotou R faktoru $264,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ vůči roční hodnotě $429,4 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ rok}^{-1}$). Naopak v některých měsících (zejména zimních) se hodnota R faktoru blíží nule. Vysoké hodnoty R faktoru odpovídají vyššímu výskytu extrémních srážkových událostí v daném měsíci, jež jsou v našich klimatických podmínkách typické pro jarní a zejména letní měsíce.



Obr. 7. Roční chod měsíčních hodnot R faktoru v letech 2015 až 2019, stanovených metodou WISCHMEIER A SMITH na čtyřech stanicích v povodí Husího potoka

Fig. 7. Annual development of monthly R factor values in the years 2015 to 2019 determined by the WISCHMEIER AND SMITH method at four stations in the Husí creek catchment

Tab. 4. Korelační koeficient a procentuální rozdíl hodnot R faktoru mezi použitými metodami
 Tab. 4. Correlation coefficient and percentage difference of R factor values between used methods

	ARN	BOL	DEV	ELS	MAR	PAR	WIS
ARN		43.4	60.3	52.5	-78.4	60.4	62.1
BOL	0.9813		29.8	15.9	-215.4	30.0	33.0
DEV	0.9813	1.0000		-19.8	-349.6	0.2	4.6
ELS	0.9813	1.0000	1.0000		-275.2	16.7	20.4
MAR	1.0000	0.9813	0.9813	0.9813		77.8	78.8
PAR	0.9813	1.0000	1.0000	1.0000	0.9813		4.4
WIS	0.9958	0.9640	0.9640	0.9640	0.9640	0.9640	

Rozdíl absolutních hodnot [%]

Korelační koeficient R

Metodická doporučení a výběr vhodného postupu stanovení R faktoru

Jak je uvedeno v předchozí kapitole, jednotlivé metody výpočtu R faktoru přináší různé hodnoty výsledného R faktoru. Jedním z cílů tohoto příspěvku je navrhnout vhodný alternativní postup stanovení hodnoty R faktoru, a bylo tedy nutné použít metody porovnat s již zaužívanými postupy, které se uplatňují v České republice, potažmo i na Slovensku. V tab. 5 jsou zobrazeny hodnoty R faktoru aproximované na povodí Husího potoka. Celkem bylo srovnáno 14 rozdílných metod (v horní polovině tab. 5 jsou doporučené metody vycházející z dlouhodobých meteorologických pozorování a v dolní polovině metody námi testované). Z doporučených metodik vyplývá, že průměrná hodnota R faktoru se pohybuje v rozmezí 600 až 700 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ rok⁻¹, zatímco hodnoty stanovené v této práci jsou výrazně nižší. Tento rozdíl je způsoben několika faktory:

1. doporučené metody stanovují hodnotu R faktoru na základě kinetické energie deště a 30minutové intenzity srážky oproti testovaným metodám založeným na ročních a měsíčních úhrnech
2. jednotlivé metody byly aplikovány pro různá období
3. hodnoty vypočítané v této studii byly stanoveny pro roky s podprůměrnými srážkovými úhrny vůči dlouhodobému pozorování (tab. 1 a 2)
4. je velký rozdíl mezi hodnotami R faktoru stanovenými jako průměry ročních hodnot R faktoru a hodnotami vypočítanými na základě průměrných ročních či měsíčních srážkových úhrnů za určité období, jak je prokázáno u metodik ARNOLDUS, MARIA a WISCHMEIER A SMITH (tab. 5)

Doporučené metodické postupy pro stanovení erozního ohrožení zejména zemědělské půdy [29, 39, 40] obecně doporučují standardizovanou hodnotu R faktoru 400 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ rok⁻¹. Ta představuje průměrnou hodnotu, která by měla být užívána ve všech výpočtech na území České republiky. Z výsledků současného monitoringu erozních událostí, jež dlouhodobě zabezpečuje Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., však vyplývá, že tato doporučená hodnota je podhodnocena oproti realitě. V poslední verzi Závěrečné zprávy monitoringu eroze na zemědělské půdě pro rok 2019 je zmíněno, že v lokalitách zasažených erozními událostmi se hodnota regionalizovaného

Tab. 5. Hodnoty dlouhodobého R faktoru v povodí Husího potoka – srovnání hodnot stanovených sedmi vybranými metodami s vypočítanými hodnotami jiných autorů
 Tab. 5. Values of the long-term R factor in the Husí creek catchment – comparison of values determined by seven selected methods with calculated values of other authors

Zdroj	R [MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ yr ⁻¹]	Období
Janeček a kol. [48]	200	–
Dostál a kol. [49]	710–800	1962–2001
Dostál a kol. [49]	610–700	2000–2005
Janeček a kol. [29]	510–800	(1961) 1971–2000
Hanel [50]	610–800	1989–2003
Rožnovský a kol. [51]	510–700	2003–2012
Panagos a kol. [45]	493.2–724.6	1961–1999
ARNOLDUS	^a 88.2–138.9 ^b 49.8–86.4	2015–2019
BOLS	180.4–222.1	2015–2019
DEVATHA	257.7–316.1	2015–2019
EL-SWAIFY	218.9–259.8	2015–2019
MARIA	^a 69.8–57.6 ^b 9.7–11.4	2015–2019
PARVEEN A KUMAR	308.5–294.7	2015–2019
WISCHMEIER A SMITH	^a 254.8–349.0 ^b 160.9–199.0	2015–2019

Pozn.: ^a hodnoty vypočteny jako průměr ročních hodnot R faktoru;
^b hodnoty vypočteny na základě průměrných měsíčních srážkových úhrnů.
 Note: ^a values calculated as the average of the annual values of the R factor;
^b values calculated on the basis of average monthly precipitation totals.

R faktoru pohybuje v rozmezí 500 až 600 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ rok⁻¹ [24]. Obdobný výsledek potvrzuje i práce Hanel a kol. [41], v níž se stanovená průměrná hodnota R faktoru pro ČR pohybuje mezi 320 až 1 520 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ rok⁻¹, respektive průměrná hodnota pro ČR 640 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ rok⁻¹. Z toho vyplývá, že doporučená hodnota R faktoru je podhodnocena a při výpočtech erozního ohrožení by bylo vhodné přistoupit k vlastní kalkulaci R faktoru pro aktuální podmínky v daném území.

V této studii testované metody představují vhodné alternativní postupy pro relativně jednoduché stanovení hodnoty R faktoru na základě dostupných měření srážkových úhrnů. Je potřeba vzít v úvahu místo vzniku jednotlivých metodik, respektive klimatické oblasti, ve kterých daná metoda vznikla. Z tohoto důvodu se jako nejslibnější postup pro naše území jeví metoda WISCHMEIER A SMITH, jejíž uplatnitelnost byla potvrzena mnohými autory [1, 42, 43]. Tato metoda dobře reflektuje meziroční, ale i roční variabilitu rozložení srážek, umožňuje rovněž výpočet měsíční hodnoty R faktoru, což je vhodné pro krátkodobé studie (např. hodnocení erozních procesů v závislosti na ročním období, fenologických fázích rostlin atd.), a je možné ji aplikovat na jakémkoli území. Metoda je vhodná pro hodnocení dopadu změny klimatu na atmosférické srážky, kdy v posledních letech dochází ke změně jejich rozložení během roku a také jejich samotného charakteru – růst intenzity a frekvence extremity [19, 44–47]. Ostatní testované metody je možné aplikovat víceméně jen v územích, pro která byla navržena, nebo v územích s obdobnými klimatickými podmínkami.

ZÁVĚR

Volba vhodné metody pro stanovení faktoru erozní účinnosti deště R představuje důležitý krok ke správnému hodnocení erozního ohrožení půdního fondu. Tento příspěvek aplikoval sedm alternativních metodik výpočtu R faktoru na základě ročních a měsíčních srážkových úhrnů na čtyřech vybraných srážkoměrných stanicích v povodí Husího potoka. Použité metody byly porovnány vzájemně i s postupy dalších autorů, které se využívají v České republice. Jako nejvhodnější alternativní metodika stanovení hodnoty R faktoru se jeví metoda WISCHMEIER A SMITH [1], jež dobře reflektuje klimatické podmínky daného území, je možné ji použít pro dlouhodobá (desítky let) i krátkodobá (měsíce) hodnocení erozních procesů a její samotný výpočet je relativně jednoduchý a aplikovatelný kdekoli. Výsledky tohoto příspěvku také poukazují na meziroční změnu srážkových úhrnů, respektive pomalý pokles ročních srážkových úhrnů v povodí Husího potoka v období 1961 až 2019.

Poděkování

Tato studie vznikla za finanční podpory Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka formou interních grantů č. 1628 a 3600.52.27/2020.

Literatura

- [1] WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. *USDA Agricultural Handbook*. 1978, 537, 63 s.
- [2] NOVOTNY, V., OLEM, H. *Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*. Wiley, 1994, 1072 s.
- [3] MORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. Essex: Longman, 1995
- [4] ONYANDO, J., KISOYAN, P., CHEMELIL, M. C. Estimation of Potential Soil Erosion for River Perkerra Catchment in Kenya. *Water Resources Management*. 2005, 19, 133–143
- [5] CHEN, L., QIAN, X., SHI, Y. Critical Area Identification of Potential Soil Loss in a Typical Watershed of the Three Gorges Reservoir Region. *Water Resources Management*. 2011, 25, 3445

- [6] SHOLAGBERU, A. T., UI MUSTAFA, M. R., YUSUF, K. W., AHMAD, M. H. Evaluation of Rainfall-Runoff Erosivity Factor for Cameron Highlands, Pahang, Malaysia. *Journal of Ecological Engineering*. 2016, 17 (3), 1–8
- [7] QUINTON, J. N., CATT, J. A., HESS, T. M. The Selective Removal of Phosphorus from Soil: is Event Size Important? *Journal of Environmental Quality*. 2001, 30 (2), 538–545
- [8] HAYGARTH, P. M. Linking Landscape Sources of Phosphorus and Sediment to Ecological Impacts in Surface Waters. *Science of the Total Environment*. 2005, 344 (1–3): 1–3
- [9] OH, J. H., JUNG, S. G. Potential Soil Prediction for Land Resource Management in the Nakdong River basin. *Journal of the Korean Society of Rural Planning*. 2005, 11(2): 9–19
- [10] DELMAS, M., PAK, L. T., CERDAN, O., SOUCHÈRE, V., BISSONNAIS, Y. L., COUTURIER, A., SOREL, L. Erosion and Sediment Budget Across Scale: A Case Study in a Catchment of the European Loess Belt. *Journal of Hydrology*. 2012, 420–421: 255–263
- [11] DEVÁTÝ, J., DOSTÁL, T., HÖSL, R., KRÁSA, J., STRAUSS, P. Effects of historical land use and land pattern changes on soil erosion – Case studies from Lower Austria and Central Bohemia. *Land Use Policy*. 2019, 82: 674–685
- [12] ŠARAPATKA, B., BEDNÁŘ, M., NETOPILOV, P. Multilevel soil degradation analysis focusing on soil erosion as a basis for agrarian landscape optimization. *Soil and Water Research*. 2018, 13: 119–128
- [13] WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. *Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains*. Washington: 1965, USDA, 44 s.
- [14] MEUSBURGER, K., STEEL, A., PANAGOS, P., MONTANARELLA, L. and ALEWELL, C. Spatial and Temporal Variability of Rainfall Erosivity Factor for Switzerland. *Hydrology and Earth System Science*. 2012, 16: 167–177
- [15] RENARD, K. G., FREIMUND, J. R. Using Monthly Precipitation Data to Estimate the R Factor in the Revised USLE. *Journal of Hydrology*. 1994, 157: 287–306
- [16] MING-HSI, L., HUAN-HSUAN, L. Evaluation of Annual Rainfall Erosivity Index Based on Daily, Monthly, and Annual Precipitation at a Rainfall Station Network in Southern Taiwan. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2015, Article ID 214708, 15 s.
- [17] BONILLA, C. A., VIDAL, K. L. Rainfall Erosivity in Central Chile. *Journal of Hydrology*. 2011, 410 (1–2): 126–133
- [18] GARCÍA-RUIZ, J. M., BEGUERÍA, S., NADAL-ROMERO, E., GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., LANARENAULT, N., SANJUAN, Y. A meta-analysis of soil erosion rates across the world. *Geomorphology*. 2015, 239, 160–173
- [19] KOZLOVSKA, S., TOMAN, F., DUFKOVA, J. K. Seasonality of the occurrence of higher precipitation sums and its influence on the soil erosion. In: *Bioklima 2010*, 182–188
- [20] EDWARDS, W. M., OWENS, L. B. Large storm effects on total soil erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1991, 46(1), 75–78
- [21] GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., BATALLA, R. J., CERDA, A., de LUIS, M. A regional analysis of the effects of largest events on soil erosion. *Catena*. 2010, 95, 85–90
- [22] EEA. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. *European Environment Agency Report*. 2017, 424 s.
- [23] IPCC. Climate Change and Land. *Summary for Policymakers*. IPCC, 2020, 41 s.
- [24] KAPIČKA, J., ŽÍŽALA, D., NOVOTNÝ, I. a kol. *Monitoring eroze zemědělské půdy – závěrečná zpráva*. Praha: 2019, VÚMOP, SPÚ, 136 s.
- [25] MATOUŠEK, P. *Vyhodnocení účinnosti komplexních ochranných opatření k. ú. Jerlechovice v povodí Husího potoka*. Diplomová práce. Brno: 2015, FS VÚT, 111 s.
- [26] UHROVÁ, J., OSIČKOVÁ, K. Hydrologické modelování srážko-odtokového procesu v povodí Husího potoka. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2016, 58(6), 19–26
- [27] CALETKA, M., HONEK, D. Improving direct runoff estimations through modifying SCS-CN initial abstraction ratio in a catchment prone to flash floods. In: *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*. 2019, 9 s.
- [28] HONEK, D., CALETKA, M. (2019): Longterm and event-based modelling of soil water erosion in small catchments. In: *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*. 2019, 8 s.
- [29] JANEČEK, M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ČZU, 2012, 113 s.
- [30] RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A., MCCOOL, D. K., YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *USDA Agricultural Handbook*. 1997, 703, 407 s.
- [31] ARNOLDUS, H. M. J. An approximation of the Rainfall Factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boodt, M. and Gabriels, D. (eds.). *Assessment of Soil Erosion*. Chichester: John Wiley and Sons, 1980, 127–132
- [32] BOLS, P. *The Is-erodent Map of Java and Madura*. Belgian Technical Assistance Project ATA 105, Soil Research Institute, Bogor. 1978
- [33] DEVATHA, C. P., DESPHANDE, V., RENUKAPRASAD, M. S. Estimation of Soil loss using USLE model for Kulhan Watershed, Chattisgarh – A case study. *Aquatic Procedia*. 2015, 4: 1429–1436
- [34] EI-SWAIFY, S. A., GRAMIER, C. L., LO, A. Recent advances in soil conservation in steeppland in humid tropics. *Proceedings of the International Conference on Steepland Agriculture in the Humid Tropics*. Kuala Lumpur, MADI, 1987. pp. 87–100

[35] MARIA, K., PANTELIS, S., FILIPPOS, V. Soil Erosion Prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environmental Geology*. 2008, 57(3): 483–497

[36] PARVEEN, R., KUMAR, U. Integrated Approach of Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for Soil Loss Risk Assessment in Upper South Koel Basin, Jharkhand. *Journal of Geographic Information System*. 2012, 4: 588–596

[37] DAŇHELKA, J., KUBÁT, J. *Vyhodnocení Povodní v červnu a červenci 2009*. Praha: MŽP, ČHMÚ, 2009, 165 s.

[38] ŠUNKA, Z. *Vyhodnocení povodní v květnu a červnu 2010*. Praha: MŽP, VÚV TGM, 2010, 172 s.

[39] DOSTÁL, T., KRÁSA, J., KAVKA, P., VRÁNA, K., DEVÁTÝ, J., KADLEC, V., NOVOTNÝ, I., KULÍŘOVÁ, P., HEŘMANOVSKÁ, D., PAPA, J., KAPÍČKA, J., VÁŇOVÁ, V. *Využití dat a nástrojů GIS a simulačních modelů k navrhování TPEO*. Praha: VÚMOP, ČVUT, 2014, 70 s.

[40] KADLEC, V., DOSTÁL, T., VRÁNA, K., KAVKA, P., KRÁSA, J., DEVÁTÝ, J., PODHRÁZSKÁ, J., POCHOP, M., KULÍŘOVÁ, P., HEŘMANOVSKÁ, D., NOVOTNÝ, I., PAPA, J., V. *Navrhování technických protierozních opatření*. Praha: VÚMOP, ČVUT, 2014, 101 s.

[41] HANEL, M. *Information of the author – not published results within the project VG 20122015092 „Erosion runoff – increased risk of the residents and the water quality exposure in the context of the expected climate change“*. Prague: T. G. Masaryk Water Research Institute, 2013

[42] GANASRI, B. P., RAMESH, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS – A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*. 2016, 7, 953–961

[43] HONEK, D., ŠULC MICHALKOVÁ, M., SMETANOVÁ, A., SOČUVKA, V., VELÍSKOVÁ, Y., KARÁSEK, P., KONEČNÁ, J., NĚMETOVÁ, Z., DANÁČOVÁ, M. Estimating sedimentation rates in small reservoirs – Suitable approaches for local municipalities in central Europe. *Journal of Environmental Management*. 2020, 261, 1–13

[44] ZOLINA, O., SIMMER, C., KAPALA, A., SHABANOV, P., BECKER, P., MÄCHEL, H., GULEV, S., GROISMAN, P. Precipitation variability and extremes in central Europe: new view from STAMMEX results. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2014, 99, 995–1002

[45] PANAGOS, P., BALLABIO, C., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., KLIK, A. a kol. Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*. 2015, 511, 801–814

[46] DOLÁK, L., ŘEZNÍČKOVÁ, L., DOBROVOLNÝ, P., ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P. Extreme precipitation totals under present and future climatic conditions according to regional climate models. In: Vačkář, D. a kol. (Eds.). *Climate Change Adaptation Pathways from Molecules to Society*. Brno: Global Change Research Institute, 2017, pp. 27–37

[47] TRNKA, M., BRÁZDIL, R., VIZINA, A., DOBROVOLNÝ, P., MIKŠOVSKÝ, J., ŠTĚPÁNEK, P., HLAVINKA, P., ŘEZNÍČKOVÁ, L., ŽALUD, Z. Droughts and drought management in the Czech Republic in a changing climate. In: Wilhite, D. A. a kol. (Eds.). *Drought and Water Crises: Integrating Science, Management, and Policy*. CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, 2017, pp. 461–480

[48] JANEČEK, M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: ISV, ÚVTIZ, 1992

[49] DOSTÁL, T., VRÁNA, K., KRÁSA, J., JAKUBÍKOVÁ, A., SCHWARZOVÁ, P., DAVID, V., NOVÁKOVÁ, H., BEČVÁŘ, M., VESELÁ, J., KAVKA, P. *Metody a způsoby predikce povrchového odtoku, erozních a transportních procesů v krajině. Dílčí zpráva projektu COST634*. Praha: CTU, 2006

[50] HANEL, M., MÁCA, P., BAŠTA, P., VLNAS, R., PECH, P. Rainfall erosivity factor in the Czech Republic and its Uncertainty. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 2016, 1–24

[51] ROŽŇOVSKÝ, J., STŘEDOVÁ, H., STŘEDA, T. *Analýza souboru podkladů k určení a výpočtu R faktoru, přehled dosavadních postupů*. Brno: ČHMÚ, 2013

THE ALTERNATIVE DETERMINATION OF R-FACTOR (RAINFALL EROSIVITY FACTOR) IN THE HUSÍ CREEK CATCHMENT

HONEK, D.; CALETKA, M.

T. G. Masaryk Water Research Institute

Key words: R factor — precipitation — Husí creek

Evaluation of rain erosion efficiency is one of the basic pillars of research in the field of soil erosion risk assessment. As part of empirical modelling using the USLE (Universal Soil Loss Equation) family models, the erosion efficiency of rain is represented by the R factor, which can be determined by a number of recommended procedures. This article presents possible alternative ways of determining the value of the R factor based on the annual and monthly sums of precipitation totals. The individual methods are compared with each other and confronted with the procedures used in the Czech Republic and their advantages or disadvantages are also discussed. The aim of the paper is to present relatively simple calculation procedures based on standard measurement of precipitation totals and also to find a suitable procedure for calculating the R factor for application in the Czech Republic. The Husí potok catchment area near the town of Fulnek was chosen as a model area, where long-term monitoring of rainfall-runoff processes takes place. Calculations of R factor values were performed for 4 selected rain-gauge stations and the period 2015 to 2019. The most promising alternative procedure for calculating the R factor appears to be the method according to Wischmeier and Smith (1978), which takes good account of the variability of precipitation totals during the year. Furthermore, the results indicate a much lower rate of rain erosion in the period compared to the long-term R-factor values used by other authors.

Autoři

Mgr. David Honek, Ph.D.

✉ david.honek@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-6957-051X

Martin Caletka

✉ martin.caletka@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-0772-3247

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka

Príspevek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.03.003