ACTA HYDROLOGICA
SLOVACA

Ročník 16, Tematické číslo, 2015, 132 - 141

VPLYV POVODŇOVÝCH PRIETOKOV NA STABILITU BREHU VODNÉHO TOKU

Mariana Jakubisová

V posledných rokoch sme svedkami často sa opakujúcich extrémnych hydrologických situácií s dopadom na zvyšovanie frekvencie povodní a súvisiacich prejavov škodlivej erózie vo vodných tokoch. Erózne poškodenia a následná strata stability brehov vodných tokov počas povodňových prietokov sa priamo podieľajú na enormnom zvyšovaní devastačných účinkov a škodlivosti povodní. V príspevku hodnotíme prostredníctvom matematicko – grafického modelu BSTEM (Bank Stability and Toe Erosion Model) potenciálnu eróziu a stabilitu brehu v závislosti od výšky prietoku na referenčnom profile toku Železnobreznický potok v geomofologickom celku Kremnické vrchy. Modelovaním sme potvrdili, že so zvyšovaním prietoku stúpa erózia brehu a klesá jeho stabilita.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: povodňové prietoky, brehová stabilita, erodibilita, tangenciálne napätie

INFLUENCE OF FLOOD DISCHARGES ON THE STABILITY OF BANKS OF WATERCOURSE. In the last years we are witnessing of recurrence of extreme hydrological situations with the impact of increasing the frequency of floods and related erosion impacts with influences on degradation of watercourses. Erosion damages and the subsequent loss stability of the banks of watercourses during flood discharges directly influences to enormous increase of devastating effects of floods and its harmfulness. In this paper we evaluate using a mathematical - graphical model BSTEM (Bank Stability and Toe Erosion Model) the potential erosion and bank stability in dependence on the discharge of reference profile of Železnobreznický potok in geomorphological unit Kremnické vrchy. Through of modeling we confirmed that with the increasing discharge increases erosion and decreases of bank stability.

KEY WORDS: flood discharges, bank stability, erodibility, shear stress

Úvod

Klimatické zmeny vo forme extrémnych javov a udalostí s extrémnymi dopadmi na krajinu a rôzne činnosti človeka sa prejavujú v rôznych oblastiach života a ich extrémnosť vedie k fatálnym situáciám. Neočakávané disturbancie, ich počet a intenzita sú výsledkom extrémnych poveternostných, klimatických aj hydrologických javov prebiehajúcich v krajine, ktoré znižujú bezpečnosť existencie živých organizmov. Ľudská činnosť kontinuálne a významne ovplyvňuje tieto javy produkciou emisií a atmosférických radiačných plynov a aerosolov, ktoré majú dopad na zmeny vlastností zemského povrchu a života vôbec. Životný štýl človeka a exploatácia krajiny priniesli so sebou negatívne javy prejavujúce sa okrem iného aj zrážkami v podobe dlhotrvajúcich alebo prívalových dažďov a následnými extrémnymi prietokmi s nadmernými prejavmi erózie v korytách vodných tokov. Vedecké výsledky dokumentované v IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) potvrdzujú, že vplyvom ľudskej činnosti sa bude naďalej otepľovať Zem s dramatickými dopadmi na klímu a s tým súvisiacimi environmentálnymi a klimatickými dôsledkami v krajine. Súhrnná medzinárodná správa o zmene klímy, prijatá v Štokholme 110 vládami z 27. septembra 2013, poskytuje presvedčivé nové vedecké dôkazy, že ľudské aktivity sú príčinou bezprecedentných zmien klímy Zeme.

Problematika

Extrémne prietoky v prirodzených korytách sú dôsledkom extrémnych prírodných hydrologických javov, charakterizovaných ako povodne (prírodné katastrofy), ktoré predstavujú podľa koncepcie integrovaného manažmentu povodňového rizika ohrozenie – riziko. Solín,

Skubinčan (2013) uvádzajú, že povodeň je prírodný hydrologický jav a od tohto hydrologického základu je odvodená aj koncepcia povodňového rizika, ktorá definuje riziko ako pravdepodobnosť F, s akou maximálny prietok Q_{max} neprekročí špecifikovanú hodnotu q. Majerčáková et al. (2013) uvádza, že hydrologické extrémy, ak presiahnu hranicu, ktorá predstavuje únosnú mieru pre ochranu, sú pre dnešnú spoločnosť rizikovejšie ako kedykoľvek v minulosti. Postupne narastá citlivosť a zraniteľnosť kultúrnej krajiny voči akýmkoľvek extrémom, a to nielen hydrologickým. Extrémne prietoky sú však prirodzenou súčasťou obehu vody v prírode a môžeme ich aj paradoxne chápať ako jeden z prostriedkov sanácie prírodnej krajiny. Jakubis (2013) hodnotil skutočnosť, že oveľa viac pozornosti sa v minulosti venovalo rozsiahlym regionálnym povodniam v urbanizovanej krajine po dlhotrvajúcich dažďoch na veľkých riekach, ktoré postihovali rozsiahle územia ako povodniam v prírodnej krajine v malých horských povodiach, ktoré môžu byť rýchle, nebezpečné a ničivé. Varovný systém a prognostika sú pri takýchto povodniach problematické, pretože sú náhle a neočakávané. Jedným zo znakov takýchto extrémnych prietokov, nielen pri lokálnych prívalových, tzv. bleskových povodniach, sú prebiehajúce sprievodné extrémne až deštruktívne erózne procesy. Analýzou viacerých prívalových (náhlych, bleskových, flash floods) povodní v malých povodiach SR, boli potvrdené opakujúce sa znaky takýchto povodní, t.z. pravdepodobnosť ich výskytu bola vyššia v letných mesiacoch (jún – august), teda z mimoriadne intenzívnych zrážok z tepla; riziko nebezpečnosti ich výskytu je vyššie po intenzívnych prívalových zrážkach; vysoké zrážkové úhrny vznikli v krátkom čase, v priebehu niekoľkých hodín (napr. 1,5 až 3 hodiny), alebo išlo o vysoké denné zrážkové úhrny, resp. zrážkové úhrny za 24 hodín; nie je ich možné presnejšie predvídať, atď. Súčasťou takýchto extrémnych prietokov je aj extrémne ohrozenie vodných tokov nadmernou eróziou.

Kulminačný prietok (prietok plným prietokovým profilom), chápaný aj ako extrémny prietok, má pre úlohy v rámci starostlivosti o vodné toky, projektovania úprav (dimenzovania prietokových profilov), revitalizácie vodných tokov, protipovodňovej a protieróznej ochrany krajiny zásadný význam. Všeobecne, extrémnymi prietokmi sú najčastejšie ohrozené tie úseky toku, ktorých prietokové profily (PP) majú najnižšiu kapacitu. V týchto úsekoch sa pri zvýšení prietokov vylieva voda z koryta najskôr a teda aj najčastejšie. Prietok plným PP je blízky tzv. korytotvornému prietoku, t. j. prietoku, ktorý v porovnaní s inými prietokmi vykoná v určitom časovom intervale v danom prietokovom profile najväčšiu prácu (Jakubis 2009a, 2010). V SR výskumom dosiahnutia alebo prekročenia extrémneho prietoku na malých VT a jeho intervalom sa zaoberali viacerí domáci autori (Grešková, Lehotský 2007, Jakubis 2007, 2009b, Jakubis, Jakubisová 2012a, 2012b, 2012c, Jakubis 2011, Jakubisová 2013 a ďalší). V zahraničí sa touto problematikou zaoberali Wiliams (1978), Lawler et al. (2005), Sherwood, Huitger (2005) a ďalší). Hodnotením extrémnych prietokov v súvislosti s brehovou stabilitou a s tým súvisiacou vodnou eróziou v korytách VT sa zaoberali mnohí zahraniční autori (Pfankuch 1975, Harmel et al. 1999, Rosgen 2001, 2002, Pollen et al. 2004, Wynn, Mostaghimi 2006, Clark, Wynn 2007 a ďalší). V súvislosti s extrémnymi prietokmi hodnotíme aj pôdnodeštrukčné procesy vyvolané vodnou eróziou v korytách VT a ich blízkom okolí.

Problematikou korytovej erózie a odnosom pôdy sa detailne zaoberali Hession et al. (2003) a Allmendinger et al. (2005). Z literatúry (Murgatroyd, Ternan 1983, Darby, thorn 1996, Rosgen 1994, Hupp, Osterkamp 2006 a iní) je známy vplyv rôznych faktorov na brehovú stabilitu a eróziu pôdy. V súvislosti s citovanou literatúrou je možné vysloviť názor, že erózia brehov korýt VT a rozdelenie tangenciálnych napätí v súvislosti s brehovou protieróznou ochranou má významný vplyv na výslednú hodnotu stupňa stability brehov a brehovej erózie. Výsledky výskumu objektívne potvrdzujú, že priame úseky korýt vodných tokov bez brehovej ochrany a s nižším koeficientom drsnosti boli viacnásobne vyššie poškodzované eróziou, ako s brehovou ochranou. Toto sa prejavuje viacnásobne extrémnejšie v oblúkoch korýt VT. Vo výsledkoch niektorých prác zahraničných autorov existujú rozpory, prípadne rozdiely, ktoré sú zdôvodňované odlišnými charakteristikami povodia a koryta toku, rozdielnymi lokálnymi podmienkami, ktoré charakterizujú skúmanú oblasť.

Materiál a metodika

Modelovanie a hodnotenie brehovej stability a erózie koryta vodného toku v závislosti od prietoku plným prietokovým profilom sme vykonali na modelovom referenčnom profile (ďalej RP) založenom na referenčnom úseku (ďalej RÚ) Železnobreznického potoka (ďalej ŽBP) v geomorfologickom celku Kremnické vrchy. Charakteristiky experimentálneho toku a povodia sme podrobne spracovali v Tabuľke 1.

Najnovšia metóda na výskum recentného stavu brehovej erózie vodných tokov a jej predikcie, ktorá je na Slovensku v stave overovania, je IT metóda stanovenia brehovej stability a erózie päty svahu BSTEM - Bank Stability and Toe Erosion Model (Simon Et Al. 2009). Model bol vyvinutý v USA (v Oxforde) Národným sedimentačným laboratóriom pre výskum fyzikálnych procesov v povodiach (USDA-ARS-NSL Watershed Physical Processes Research Unit, Oxford).

Metodika modelu vychádza z kategorizácie pokusných úsekov VT na základe vypočítaného faktora stability (F_s) a koeficienta erodibility. Model umožňuje vypočítať, modelovať a predikovať existujúcu a potenciálnu stabilitu a brehovú eróziu koryta VT na základe meraných, prípadne volených vstupných údajov v súvislosti s ochranou brehu alebo bez nej v kontexte spolupôsobiacich faktorov.

Tabuľka 1. Charakteristiky povodia Železnobreznický potok
Table 1. Characteristics of the watershed Železnobreznický potok

Názov	Označ.	Železnobreznický potok
Geomorfologický celok:	GMC	Kremnické vrchy
Podcelok	-	Flochovský chrbát,Túrovské predhorie
Hlavné povodie	-	SVP-IX-Hron
Hydrologické poradie	-	4-23-04-026
Koeficient bystrinnosti pov.	K_b	0,191
Charakter toku	-	Bystrina
Uzavierajúci profil povodia	r_{km}	0,200
Plocha povodia:	S_{pov}	23,50 km^2
Dĺžka rozvodnice	O	28,97 km
Dĺžka hlavného toku	L	12,500 km
Dĺžka prítokov.	L_p	17,280 km
Celková dĺžka tokov	L_c	29,780 km
Hustota tokov v povodí	r	1,27 km/km^2
Dĺžka údolnice	L_u	13,12 km
Stredná šírka povodia	B_p	1,79 km
Pomer šírky ku dĺžke pov.	š : d	1:7,33
Absolútny spád toku	ΔH_t	544 m
Priemerný sklon toku	I_t	4,35 %
Absolútny spád povodia	ΔH_p	685 m
Absolútny spád údolnice	ΔH_u	670 m
Priem. nadm. výška pov.	$H_{\Phi pov}$	595 m n. m.
Stredný sklon svahov pov.	$I_{sv\,pov}$	27,11 %
Priemerný sklon údolnice	I_u	5,11 %
Plocha lesa v povodí	S_{LES}	16,92 km^2
Lesnatosť povodia	l %	72,00 , %
Luky a TTP	S_{LP}	5,070 km^2
Orná pôda	S_{OP}	0,990 km^2
Zastavaná plocha +spev.cesty	S_{ZAST}	0,410 km^2
Záhrady - ovocné sady	S_{ZAHR}	0,110 km^2
Max. nadm. výška povodia	H_{max}	960 m n.m.
Min. nadm. výška povodia	H_{min}	275 m n.m.
Max. nadm. výška toku	H_{maxt}	819 m n.m.
Max. nadm. výška údol.	H_{maxu}	945 m n.m.
Priemerná ročná teplota	T	5,9 ^0C
Priemerný roč. zráž. úhrn	Z	905 mm
Priemerná roč. odtok. výška	O	457 mm
Priemerný roč. klim. výpar	E	448 mm
100-ročný prietok	Q_{100}	19,66 $m^3.s^{-1}$
50 – ročný prietok	Q_{50}	16,8 $m^3.s^{-1}$
20 – ročný prietok	Q_{20}	13,4 $m^3.s^{-1}$
10 – ročný prietok	Q_{10}	10,9 $m^3.s^{-1}$
5 – ročný prietok	Q_5	8,7 $m^3.s^{-1}$
2 – ročný prietok	Q_2	5,9 $m^3.s^{-1}$
1 – ročný prietok	Q_1	3,8 $m^3.s^{-1}$
364 – denný prietok	$Q_{364\,d}$	0,027 $m^3.s^{-1}$
Maximálny špecif. odtok	q_{max}	0,836 $m^3.s^{-1}.km^{-2}$
Geologické podložie	-	Neovulkanity (pyroxénické andezity, amfibolicko-biotitické andezity)
Pôdne typy	-	Kambizem mod. nasýtená (85%), Ranker mod., Kambizem ando-zemná, Ranker mod., Fluvizem mod.
Pôdne druhy	-	Hlinité (97%), Piesočnato-hlinité Hlinito-piesočnaté, Ílovito-hlinité
Dreviny (listnaté/ihličnaté)	-	Listnaté (75%), Ihličnaté (25%)
Lesné vegetačné stupne	-	1. – 5. lvs
Klimatické oblasti a okrsky	-	T – teplá, s okrskom T7-teplým, mierne vlhkým, s chladnou zimou, M – mierne teplá, s okrskami M3-mierne teplým, mierne vlhkým, pahorkatinovým až vrchovinovým, M6-mierneteplým,vlhkým,vrcho-vinovým; C – chladná, s okrskom C1- mierne chladným

Modelovaním vstupných údajov (geometrických, hydraulických, hydrologických a pôdnych), vrátane hodnotenia brehovej ochrany, je možné hodnotiť stabilitu brehov VT a eróziu, vrátane erózie päty svahu, kde vzniká najväčšie tangenciálne napätie a ohrozenie eróziou. Model ponúka hodnotenie brehovej ochrany s rozčlenením na technickú a biologickú ochranu brehov korýt VT. Vegetačné spevnenie, ako forma biologickej ochrany brehov, je hodnotené Rip-Root modelom (Run Root-Reinforcement Model), prostredníctvom tzv. prídavnej kohézie koreňov - c_r (kPa).
Výpočet faktora stability (F_s) prebieha podľa vzťahu 1 (Simon et al 2000):

$$F_s = \frac{\sum_{i=1} \left(c_i' L_i + (\mu_a - \mu_w)_i L_i \tan\phi_i^b + \left[W_i \cos\beta - \mu_{ai} L_i + P_i \cos(\alpha - \beta)\right] \tan\phi_i'\right)}{\sum_{i=1} \left(W_1 \sin\beta - P_i \sin[\alpha - \beta]\right)} \quad (1)$$

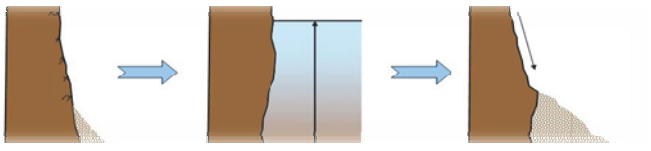
kde

c_i' - efektívna súdržnosť *i* [tej] vrstvy (Pa);
L_i - dĺžka poškodenej roviny *i* [tej] vrstvy (m);
μ_a - sací tlak v kapilárach (Pa);
μ_{ai} - sací tlak v kapilárach *i* [tej] vrstvy (Pa);
μ_w - sací tlak pôdnej vody (celkový potenciál pôdnej vody) (Pa);
φ_i - efektívny uhol vnútorného trenia *i* [tej] vrstvy (°);
φ_i^b - efektívny uhol vnútorného trenia závislý od druhu pôdy a saturácie
W_i - hmotnosť *i* [tej] vrstvy (kN);
P_i - podiel hydrostatickej-hraničnej sily (kN/m) pôsobiacej na *i* [tú] vrstvu
β - uhol poškodenej roviny (°) od horizontálnej roviny;
α - uhol sklonu brehu (°);
i - číslo vrstvy.

Hodnotenie brehovej stability je založené na výpočte tzv. faktora stability (F_S - Factor of Safety) a klasifikačnej stupnice v Tab. 2.
Modelom BSTEM na základe vstupných údajov (pozri Tab. 3, Obr. 2) sme vygenerovali vstupné súradnice pre výslednú geometriu referenčného profilu (pozri Tab. 4). V časti pre vstupné údaje brehového materiálu sme zvolili podľa skutočného pôdneho zloženia druh pôdy na svahu (hlinitá pôda) a na päte svahu (štrk) a výstupným modelom BMO (Bank Model Output) sme kvantifikovali faktor stability F_s. V prípade nestabilného svahu (F_s = 0,6) model BMO vypočíta aj výstupné hodnoty ohrozenia brehu a päty svahu eróziou (pozri Tab.5, Tab.6). Vo výpočte boli zohľadnené geometrické, hydraulické, hydrologické a pôdne charakteristiky. Vykonali sme modelovanie faktora stability F_s v závislosti od výšky prietoku (pozri Obr. 3) na vybranom vzorovom RP a simuláciu priebehu faktora stability v rozpätí výšok od maximálneho prietoku plným prietokovým profilom (v našom prípade je H_{max} = 1 m) po výšku minimálneho prietoku (H_{min} = 0,05 m). Identifikovali sme F_s - faktor stability a S_TS - stupeň stability (pozri Tab. 8) pri rôznych výškach prietoku na základe klasifikačnej stupnice podľa BSTEM (pozri Tab.2). Modelom TMO (Toe Model Output) sme vypočítali výstupné parametre erózneho ohrozenia päty svahu s kvantifikáciou jej erózneho ohrozenia na modelovom RP (pozri Tab. 6). Modelom TMO (Toe Model Output) sme stanovili hodnoty kritického tangenciálneho napätia a koeficienta erodibility v súvislosti s prítomným brehovým materiálom (pozri Tab. 7) a stupňom drsnosti podľa Manninga (n = 0,0303). Mechanizmus poškodenia brehu pri zvýšených prietokoch simuluje Obr. 1 (Simon et al. 2009).

Tabuľka 2. Klasifikačná stupnica faktora stability podľa BSTEM
Table 2. Classification scale of factor stability by BSTEM

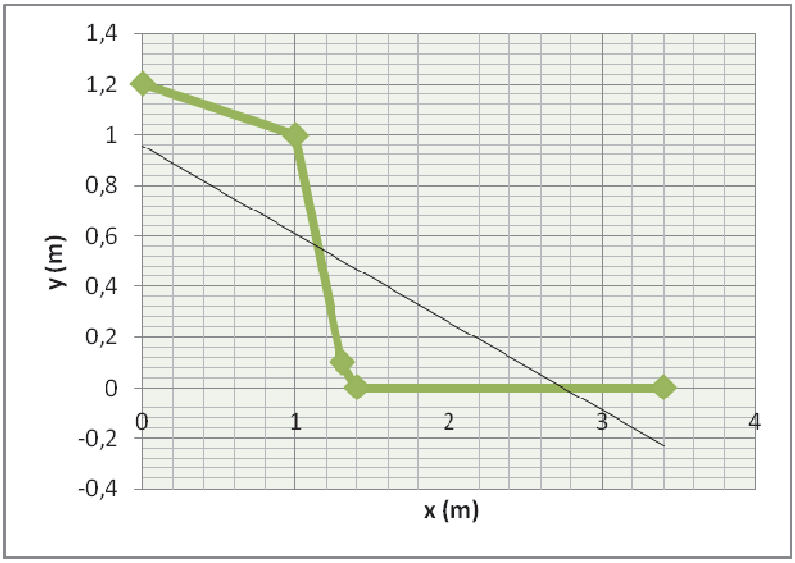
Faktor stability (Fs)	>1,3	1,0 - 1,3	< 1,0
Stupeň stability brehu	Stabilný – S	prechodne stabilný - PS	Nestabilný - N



Obr. 1. Mechanizmus poškodenia brehu pri zvýšených prietokoch (Simon et al. 2009).
Fig. 1. The mechanism of bank damage at the higher discharges (Simon et al. 2009).

Tabuľka 3. Vstupné údaje pre výpočet brehovej stability a erózie pre RP
Table 3. Input data for the calculation of bank stability and erosion for the RP

X (súradnica geometrie brehu, RP)	0,00	1,00	1,30	1,40	3,40
Y (súradnica geometrie brehu, RP)	1,20	1,00	0,10	0,00	0,00
dĺžka referenčného úseku (m)	10				
ø sklon referenčného úseku (m/m)	0,015				
výška referenčného prietokového profilu (m)	1,0				
trvanie prietoku (h) RP	3				
mocnosť pôdnej vrstvy (m) RP	1,0				
druh pôdy/breh RP	hlinitá pôda				
druh pôdy/päta svahu RP	hrubý štrk s prímesou piesku				
ø rozmer nesúdržnej častice (mm) RP	0,5				
tangenciálne napätie - τ_c (Pa) RP	0,36				
koeficient erodibility (cm^3 / Ns) RP	0,167				
F_s pri plnom prietokovom profile RP	0,6				
ø rozmer efektívneho zrna na päte svahu RP	6,3				
koeficient drsnosti na päte svahu	0,0303				



Obr. 2. Geometrické charakteristiky RP.
Fig 2. Geometric characteristics of RP.

Tabuľka 4. Geometria RP (súradnice x, y) vygenerovaná modelom BSTEM
Table 4. Geometry (coordinates x, y) of RP generated by model BSTEM

súradnice	x	y		x	y		x	y	Vrchol
body	(m)	(m)	body	(m)	(m)	body	(m)	(m)	päty svahu
A	0,00	1,20	I	1,15	0,55	Q	1,30	0,10	☑
B	1,00	1,00	J	1,17	0,49	R	1,31	0,09	
C	1,02	0,94	K	1,19	0,44	S	1,33	0,08	
D	1,04	0,89	L	1,21	0,38	T	1,35	0,05	
E	1,08	0,78	M	1,23	0,33	U	1,38	0,03	
F	1,09	0,72	N	1,24	0,27	V	1,40	0,00	
G	1,11	0,66	O	1,26	0,21	W	3,40	0,00	
H	1,13	0,61	P	1,28	0,16				

Tabuľka 5. Výstupné hodnoty F_s a brehovej erózie
Table 5. Output values of F_s and bank erosion

Faktor stability (F_s) RP pri PPP	0,6
Stupeň stability brehu (S_TS) RP pri PPP	nestabilný
Šírka poškodenia (m)	1,29
Objem poškodenia (m^3)	4
Hmotnosť sedimentov (kg)	7210

Legenda: RP - referenčný profil, PPP - plný prietokový profil (discharge), S_TS – stupeň stability

Tabuľka 6. Výstupné hodnoty erózie päty svahu
Table 6. Output values of toe erosion

n (bezrozmerné)	aplikované τ_c (Pa)	LU_{max} (cm)	EP_{brehu} (m^2)	$EP_{päty\ svahu}$ (m^2)	EP_{dna} m^2	$\sum EP$ m^2
0,0303	23,23	9,729	0,052	0,002	0,000	0,054

Legenda: n - koeficient drsnosti; τ_c (Pa) – aplikované kritické tangenciálne napätie (podľa koeficienta drsnosti); LU_{max} (cm) - maximálny laterálny ústup; EP_{brehu} (m^2) - plocha erózie brehu; $EP_{päty\ svahu}$ (m^2) - plocha erózie päty svahu; EP_{dna} (m^2) - plocha erózie dna koryta; $\sum EP$ (m^2) - celková plocha erózie; RP ŽBP – referenčný profil Železnobreznického potoka

Tabuľka 7. Výstupné hodnoty τ_c a koeficienta erodibility podľa pôdneho materiálu v TMO
Table 7. Output values of τ_c and erodibility coefficient by soil material in TMO

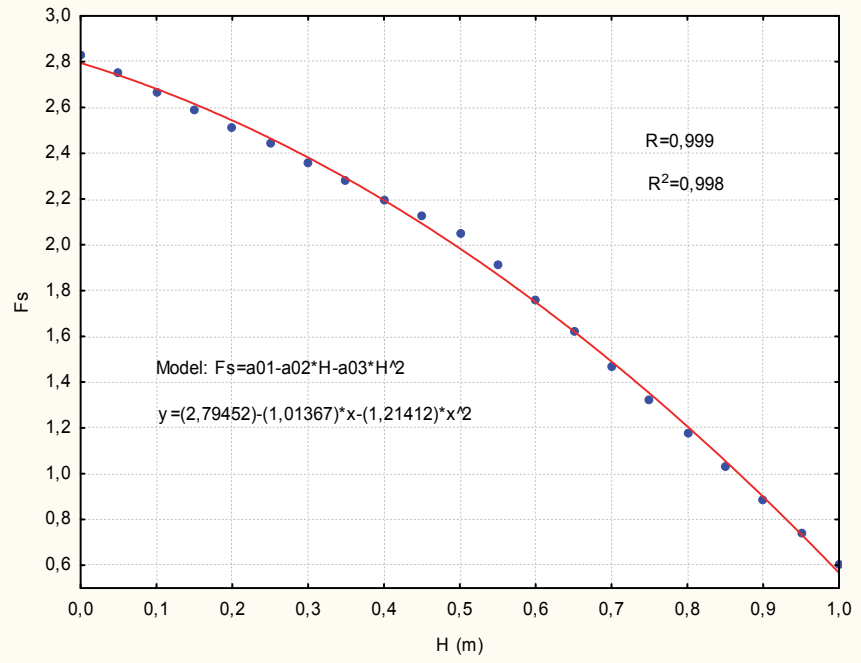
Lokalizácia pôdneho materiálu	Svah	Päta svahu
Druh materiálu	hlina/piesok	štrk
Kritické tangenciálne napätie τ_c (Pa)	0,13	11,00
Koeficient erodibility(cm^3/Ns)	0,282	0,030
ø rozmer efektívneho zrna na päte svahu RP	-	6,3
koeficient drsnosti na päte svahu	-	0,0303

Legenda: TMO – výstupný model (Toe Model Output)

Tabuľka 8. Výstupné hodnoty F_s a S_TS (stupeň stability) v závislosti od výšky vodnej hladiny
Table 8. Output values of F_s and S_TS (degree of stability) depending on the water level

P.č.	$H_{(m)}$	F_s	S_TS	P.č.	$H_{(m)}$	F_s	S_TS
1	1,00	0,60	N	11	0,50	2,05	S
2	0,95	0,74	N	12	0,45	2,13	S
3	0,90	0,89	N	13	0,40	2,20	S
4	0,85	1,03	PS	14	0,35	2,28	S
5	0,80	1,18	PS	15	0,30	2,36	S
6	0,75	1,32	S	16	0,25	2,44	S
7	0,70	1,47	S	17	0,20	2,51	S
8	0,65	1,62	S	18	0,15	2,59	S
9	0,60	1,76	S	19	0,10	2,67	S
10	0,55	1,91	S	20	0,05	2,75	S

Legenda: P. č. – poradové číslo; H (m) – výška vodnej hladiny v metroch; Fs – faktor stability; S_TS – stupeň stability: N – nestabilný, PS – prechodne stabilný, S – stabilný



Obr. 3. Závislosť faktora stability (F_s) od výšky vodnej hladiny (H), $F_s = f(H)$.
Fig. 3. Dependence of stability factor (F_s) to water level (H), $F_s = f(H)$.

Výsledky a diskusia

Problematika brehovej stability a s ňou súvisiaca brehová erózia VT nadobúda čoraz väčší význam hlavne z dôvodov možných negatívnych dopadov na človeka a spoločnosť. Simon et al. (2009) uvádzajú, že pôdne straty z brehov VT môžu tvoriť až 90% z celkového objemu erodovaného riečneho materiálu za rok. Rosgen (2002) uvádza, že v niektorých prípadoch môžu tvoriť pôdne straty vyvolané eróziou brehov vodných tokov až 80% z celkových ročných pôdnych strát v povodí. Pollen et al. (2004) zistili, že tento podiel môže tvoriť viac ako 50% z celkových ročných pôdnych strát v povodí. Simon et al. (2011) uvádzajú, že následkom brehovej erózie zlyháva priemerne až 50% všetkých brehov VT. Tieto hodnoty citovaní autori uvádzajú v súvislosti s rôznymi lokálnymi podmienkami a faktormi vplyvu. Výskumom však potvrdzujú, že význam problematiky, vzhľadom na reálne pôdne straty, narastá. V súvislosti s citovanou literatúrou je možné vysloviť názor, že erózia brehov korýt VT a rozdelenie tangenciálnych napätí v súvislosti s brehovou protieróznou ochranou má významný vplyv na výslednú hodnotu stupňa stability brehov a brehovej erózie. Výsledky výskumu objektívne potvrdzujú, že priame úseky korýt vodných tokov bez brehovej ochrany boli viacnásobne vyššie poškodzované eróziou. Toto sa prejavuje extrémnejšie v oblúkoch korýt VT (Jakubisová 2011). Vo výsledkoch niektorých prác autorov existujú rozpory, prípadne rozdiely, ktoré sú zdôvodňované odlišnými charakteristikami povodia a koryta toku, rozdielnymi lokálnymi podmienkami, ktoré charakterizujú skúmanú oblasť.

Z analyzovaných parametrov vyplýva, že brehová stabilita a intenzita brehovej erózie súvisí s lokálnymi charakteristikami RP (RU): geometrickými (tvar prietokového profilu), pedologickými (druh pôdy, existencia alebo absencia pôdnych vrstiev, skeletnatosť, pôdna vlhkosť, saturácia), brehovou ochranou (nezohľadňovali sme brehovú ochranu), hydraulickými atď. Potvrdili sme fakty, uvádzané v literatúre (Simon et al. 2000, Simon, Pollen-Bankhead 2011), že stupeň poškodenia brehu závisí od výšky vodnej hladiny, ďalej pôdneho druhu, typu svahu, stratifikácie a ďalších zohľadnených faktorov v modelovaní. Mechanizmy poškodenia brehu pri zvýšených prietokoch súvisia s teóriou poškodení tzv. horizontálnych a vertikálnych vrstiev na svahu a jeho päte, ktoré model BSTEM podrobne popisuje a vo výpočtoch zohľadňuje. Vo výstupnom modely BMO pri $F_s = 0,6$ a maximálnom prietoku je predpokladaná šírka poškodenia brehu 1,29 m, objem poškodenia 4 m^3 a hmotnosť erodovaných sedimentov 7210 kg na priamom RU s dĺžkou 10 m. V rámci analýzy a hodnotenia reálneho stavu na RU s odkazom na literatúru (Simon et al., 2000, Simon, Collison, 2002) predpokladáme prevládajúce rotačné zosuvy svahov pri zvýšených prietokoch a previsové poškodenia brehov v dôsledku podmytia päty svahu pri maximálnych prietokoch (Thorne et al. 1981). Erodujúca bazálna vrstva päty svahu spôsobuje v extrémnych prípadoch

rúcanie svahov a vznik extrémnej erózie pri maximálnych prietokoch, typických pre rýchle povodne. Z porovnania závislosti brehovej stability od výšky hladiny prietoku (F_s = f (H)) vyplýva, že so zvyšujúcou sa hladinou prietoku faktor stability klesá, teda poškodenie brehu a päty svahu stúpa. Pri prietokoch plným prietokovým profilom sa stupeň ohrozenia brehu eróziou zvyšuje, čo dokumentuje údaj o faktore stability brehu (F_s = 0,6) a breh je vyhodnotený v rámci metodiky ako nestabilný. Pri prietoku plným prietokovým profilom v trvaní 3 hodiny (pozri Tab. 3) je stupeň poškodenia brehu a päty svahu eróziou významný, čo dokumentujú kvantifikované údaje o brehovej erózii a potvrdzujú predpoklady o pôdnych stratách dokumentované v literatúre. RP vykazuje reálnu ohrozenosť pri zvýšených prietokoch s výškou vodnej hladiny 0,75 m a vyššou a podľa klasifikačnej stupnice podľa BSTEM (pozri Tab. 2) ho zaraďujeme do kategórie nestabilných brehov. Faktor stability sa mení podľa dosiahnutej výšky vodnej hladiny v rozpätí hodnôt od Fs=0,6 do Fs=2,75 (zo stupňa nestabilného cez prechodne stabilný až k stabilnému), teda stabilita alebo labilita korešponduje s vypočítaným faktorom stability brehu. Rozhodujúci vplyv na erodibilitu brehov a ich stabilitu má kritické tangenciálne napätie. Pri aplikovanom tangenciálnom napätí na päte svahu, ktorý model vypočítal pri prietoku plným prietokovým profilom a na základe zadanej hodnoty stupňa drsnosti podľa Manninga, maximálny laterálny ústup brehu (LU_{max}) v dôsledku erózie päty svahu je 9,729 cm, čo predstavuje plochu erózie brehu na RP: EP_{brehu}= 0,052 m^2 a päty svahu: $EP_{päty\ svahu}$ = 0,002 m^2. Plocha celkovej erózie na päte svahu RP je 0,054 m^2. Na celom RU s dĺžkou 10 m, by bola potenciálna erózia na päte svahu 0,54 m^3. Objem brehového poškodenia vypočítaný podľa BMO je 4 m^3. Predpokladaná celková erózia RU predstavuje hodnotu 4,54 m^3. Modelovaním sme potvrdili priamu závislosť stability svahu od výšky prietoku a kvantifikáciou brehovej erózie sme stanovili potenciálnu eróziu RU, ktorá môže vzniknúť pri prietoku plným prietokovým profilom.

Záver

V problematike posudzovania brehovej stability a erózie korýt VT v súvislostiach s extrémnymi prietokmi sme analyzovali vzťahy medzi faktorom stability brehu F_s, ktorý bol vypočítaný modelom BSTEM a výškou prietoku s dôrazom na prietok plným prietokovým profilom, pričom hodnoty faktora stability F_s sme považovali za nezávisle premenné. Analyzovali sme závislosť F_s = f(H). Zistili sme potenciálnu eróziu na brehu RU, ktorá predstavovala hodnotu 4,54 m^3 na priamom úseku dĺžky 10 m. Výsledky sme porovnali s reálnymi výsledkami z predchádzajúceho výskumu podľa metodiky BEHI Bank Erosion Hazard Index (ROSGEN 2002) a potvrdili relevantnosť výsledkov podľa metodiky BSTEM. Na základe analýzy na viacerých vodných tokoch SR sme zistili, že model BSTEM je možné uplatniť pri posudzovaní stability brehov, kvantifikácii a predikcii ich eróznej ohrozenosti aj pre podmienky Slovenska. Použitie modelu BSTEM je uplatniteľné v praxi v otázkach posudzovania brehovej stability a erózie brehov VT za predpokladu odbornej spôsobilosti používateľa.

Literatúra

Allmendinger, N. F., Pizutto, J. E., Potter, N., Johnson, T. E. and Hession, C. W. (2005): The influence of riparian vegetation on stream width, eastern Pennsylvania, USA. The Geological Society of America Bulletin, Vol. 117, No. 1-2, pp. 229-243.

Clark, L. A., Wynn T. M. (2007): Methods for determining streambank critical shear stress and soil erodibility: implications for erosion rate predictions. Amrican Society of Agricultural and Biological Engineers, 50, No. 1, pp. 95-106.

Darby, S. E. and Thorne, C. R. (1996): Development and testing of riverbank – stability analysis. Journal of Hydraulic Engineering, 122, No. 8, pp. 443-454.

Grešková, A., Lehotský, M. (2007): Vplyv lesných brehových porastov na správanie a morfológiu riečneho koryta. Geomorphologia Slovaca et Bohemica, 7, č. 1, s. 36-42

Harmel, R. D., Haan, C. T., Dutnell, R. C. (1999): Evaluation of Rosgen´ streambank erosion potential assessment in Northeast Oklahoma. Journal of the American Water Ressources Association, Vol. 35, No. 1, pp. 113-121.

Hession, W. C., Pizzuto, J. E., Johnson, T. E., Horwitz, R. I. (2003): Influence of bank vegetation on channel morphology in rural and urban watersheds. Geology, 31, pp. 147-150.

Hupp, C. R., Osterkamp, W. R. (1996). Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. Geomorphology, Vol. 14, pp. 277-295.

Jakubis, M. (2007): Analýza kapacity prirodzených prietokových profilov a možnosti využitia výsledkov v procesoch preventívnej starostlivosti o bystriny. In: Klč, P., Zajacová, J. (eds.): Zborník referátov MVK Lesnické stavby a jejich perspektivy. Praha: ČZU, Fakulta lesnická a environmentální, s. 29-36.

Jakubis, M. (2009a): Prietoková kapacita prirodzených malých tokov a jej význam protipovodňovej ochrane krajiny. In: Dreslerová, J. (ed.): Venkovská krajina 2009. Zborník zo 7. ročníka medzinárodnej medziodborovej konferencie. Brno: Česká společnost pro krajinnou ekologii, s. 61-69.

Jakubis, M. (2009b): Interval opakovania prietoku plným prietokovým profilom v prirodzených korytách vodných tokov v malých povodiach. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, XLXI, s.77-87.

Jakubis, M. (2011): Povodňové prietoky a interval ich opakovania v prirodzených korytách horských tokov. In: Plechatá, S. (ed.) Zborník referátov medzinárodnej odbornej konferencie Vodní toky 2011. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, s.r.o., s. 161-167.

Jakubisová, M. (2011): Výskum pôdoochrannej funkcie brehových porastov. Dizertačná práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, 159 s.

Jakubisová, M. (2011): Predikcia stability a erózneho ohrozenia brehov v prítokoch vodárenských nádrží modelom BSTEM. In: Buchlovičová, J. (ed.): Zborník

prednášok z konferencie s medzinárodnou účasťou PITNÁ VODA. Bratislava: VÚVH, s. 283-292.

Jakubis, M., Jakubisová, M. (2012 a): Analýza závislostí základných geometrických charakteristík prietokových profilov prirodzených bystrín Západných Tatier. In: Ondrejka-Habuľáková, V. (ed).: Zborník prác IX. International Scientific Conference FCE TUKE, Košice, 7 s.

Jakubis, M., Jakubisová, M. (2012 b): Frekvencia výskytu prietoku plným prietokovým profilom v prirodzených korytách bystrín Západných Tatier pod zdrojovými zónami. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, 54 (3), s. 121-134.

Jakubis, M., Jakubisová, M. (2012 c): Význam brehovej vegetácie vodných tokov v ochrane vidieckej krajiny pred eróziou. In: Drobilová, L. (ed.): Venkovská krajina 2012. Zborník z 10. ročníka medzinárodnej medziodborovej konferencie. Brno: MZLU, LDF, s. 89-94.

Jakubisová, M. (2013): Brehové porasty a povodňové prietoky. In: Jakubis, M., Podkonický, L. (eds.) Zborník vedeckej konferencie Súčasný stav a východiská protipovodňovej ochrany v SR – technické a biotechnické opatrenia v povodiach. Zvolen: TU vo Zvolene, s. 69-76.

Jakubis, M. (2013): K problematike prívalových povodní na Slovensku a k úlohám lesníkov v ochrane krajiny pred povodňami. In: Jakubis, M., Podkonický, L. (eds.) Zborník vedeckej konferencie Súčasný stav a východiská protipovodňovej ochrany v SR – technické a biotechnické opatrenia v povodiach. Zvolen: TU vo Zvolene, s. 42-50.

Lawler, D. M., Thorne, C. R. and Hooke, J. M. (2005): Bank erosion and Instability. In: Thorne, C.R., Hey, R. D., Newson, M. D. (Eds.): Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management. Cichester: John Wiley & Sons Ltd., pp. 137-172.

Majerčáková, O., Majerčák, J., Lešková, D. (2013): Ak je vody priveľa. In: Jakubis, M., Podkonický, L. (eds.) Zborník vedeckej konferencie Súčasný stav a východiská protipovodňovej ochrany v SR – technické a biotechnické opatrenia v povodiach. Zvolen: TU vo Zvolene, s. 6-14.

Murgatroyd, A. L. and Ternan, J. L. (1983): The impact of afforestation on stream bank erosion and channel form. Earth Surface Processes and Landforms, 8, pp. 357-369.

Pfankuch, D. J. (1975): Stream reach invertory and channel stability evaluation. Washington, D. C.: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, R1-75-002, 26 p.

Pollen, N., Simon, A. and Collison, A. J. C. (2004): Advances in Assessing the Mechanical and Hydrologic Effects of Riparian Vegetation on Streambank Stability, In: Bennet S., Simon A. (eds): Riparian Vegetation and Fluvial Geomorfology, Water Science and Applications 8, AGU, pp. 125-139.

Rosgen, D. L. (1994): A classification of Natural Rivers. Catena, Vol. 22. Elsevier Science, B. V. Amsterdam, pp. 169-199.

Rosgen, D. L. (2001): A stream channel stability assessment methodology. In: Proceedings of the 7th federal interagency sedimentation conference, Vol. II, Pagosa Springs, CO: Wildland Hydrology, 2001, pp. 18-26.

Rosgen, D. L. (2002): A practical method of computing streambank erosion rate. Pagosa Spring, Colorado: Wildland Hydrology, 10 p.

Sherwood, J. M., Huitger, C. A. (2005): Bankfull characteristics of Ohio streams and their relation to peak streams-flows. U. S. Geological Survey Scientific Investigation report 2005-5153, s. 38

Simon, A., Curini, A., Darby, S. E., Langendoen, E. J. (2000): Bank and near-bank processes in an incised. Geomorphology, 35, pp. 183-217.

Simon, A., Thomas, R., Curini, A., Bankhead, N. (2009): Bank stability and toe erosion model (BSTEM) Static version 5.2. Oxford: USDA ARS - National Sedimentation Laboratory, 54 p.

Simon, A., Pollen-Bankhead, N., Thomas, R., E. (2011): Ebookbrowse.com/bstem-pdf-d233769994 - pp Application of BSTEM 012811. 23 p.

Solín, Ľ., Skubinčan, P. (2013): Preventívna protipovodňová ochrana v SR: inžiniersky alebo integrovaný prístup? In: Jakubis, M., Podkonický, L. (eds.) Zborník vedeckej konferencie Súčasný stav a východiská protipovodňovej ochrany v SR – technické a biotechnické opatrenia v povodiach. Zvolen: TU vo Zvolene, s. 15-25.

Thorne, C. R., Tovey, N. K. (1981): Stability of Composite river banks. Earth Surface Processes and Landforms, 6, pp. 469-484.

Williams, P. G. (1978): Bankfull discharge of rivers. Water Resources Research, 14, No 6, s. 1141-1154

Wynn, T., Mostaghimi, S. (2006): The effect of vegetation and soil type on streambank erosion, Southwestern Virginia, USA. Journal of the American Water Resources Association, 42, pp. 69-82.

INFLUENCE OF FLOOD DISCHARGES ON THE STABILITY OF BANKS OF WATERCOURSE

In the context of climate change increases the frequency of occurrence of extreme hydrological situations with the consequence of floods and phenomenons of harmful erosion. In the paper we deal with the modeling and evaluation of bank stability and erosion in dependence on the discharge of experimental profile (RP) Železnobreznický potok in the geomorphological unit Kremnické vrchy with focusing on the bankfull discharges. Through the BSTEM (Bank Stability and Toe Erosion Model) which was developed on this purpose in the U.S. we quantify the factor of stability F_s and menace of bank erosion. Through the modeling on the reference section (RU), we confirmed the dependence between the discharge and factor of stability F_s. The factor of stability F_s decreases with increasing discharges and increases the erosion hazard on the bank of water flow.

Mechanism of banks damages at the higher discharges are associated with the so-called theory damages of horizontal and vertical layers on the bank-slope and its toe which describes in detail model BSTEM and this takes into account in the calculations. In extreme cases the eroding basal layer on toe of the slope is causes of the extreme erosion at maximum flow which is typical for flash floods. According to analysis we found that when Fs = 0.6 and at the bankfull discharges, the width of bank damage is 1.29 m; volume of damaging is 4 m^3 with the mass of eroded sediments 7210 kg in direct RU with a length of 10 m. Decisive influence on the banks erodibility and stability has the critical shear stress. According to applied shear stress on the toe slope, with regards on the bankfull discharges and degree of roughness by Manning, the maximum lateral retreat of the bank is equal 9.729 cm. This represents an area of bank erosion on RP: RP_{bank} = 0.052 m^2 and on toe of slope: RP_{toe} = 0.002 m^2. The total area of erosion on the bank toe of RP is 0.054 m^2. On RU (10 m) is the value of potential erosion on the toe 0.54 m^3. Volume of bank damage is 4 m^3. Estimated total erosion on RU is 4.54 m^3. By the modeling we confirmed direct dependence of bank stability on the height of discharge.

Mariana Jakubisová
Arborétum Borová hora Technickej univerzity vo Zvolene
Borovianska cesta 66
960 53 Zvolen
Slovenská republika
Tel.: +421 455 206 904
E-mail: jakubisova@tuzvo.sk