

Predikcia erózie brehu vodného toku metódou BANCS (BEHI – NBS)

The prediction of streambank erosion by method BANCS (BEHI – NBS)

Matúš Jakubis

*Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácií, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo
Zvolene*

Abstrakt

Práca sa zaoberá kvantifikáciou a predikciou erózie na svahu brehu vodného toku pomocou Rosgenovej výpočtovo - grafickej metódy BANCS – Bank Assesment for Non-point source Consequences of Sediment (BEHI-NBS). Metóda je založená na výpočte indexu ohrozenosti brehu eróziou (BEHI) a tangenciálneho napätia v blízkosti brehu (NBS). Výskum bol uskutočnený na experimentálnych prietokových profiloch na vodnom toku Železnobreznický potok v geomorfologickom celku Kremnické vrchy a bude pokračovať aj v budúcnosti. Použitím uvedenej metódy sme získali akceptovateľné výsledky, ktoré môžu byť využité v preventívnej starostlivosti o tento vodný tok.

Kľúčová slova:

erodovateľnosť svahov korýt, kvantifikácia, Rosgenova metóda

Abstract

The report deals with quantification and prediction of erosion on the bank of water flow by Rosgen's computational - graphical method BANCS – Bank Assesment for Non-point source Consequences of Sediment (BEHI – NBS). This method is founded on calculation of Bank Erosion Hazard Index (BEHI) and Near Bank Stress (NBS). The research was realized on the experimental cross-sections in the water flow Železnobreznický potok in the geomorphological unit Kremnické vrchy (Central Slovakia) and will be continued in next time. By using of this method, acceptable results have been achieved which can be hereafter used in preventive attendance about this water flow.

Keywords:

streambank erodibility, quantification, Rosgen's method

Úvod

Erózia na brehoch vodných tokov môže v mnohých prípadoch tvoriť väčšinu z objemu celkovej erózie v povodí. Na kvantifikáciu recentnej erózie, jej predikciu na brehoch

vodných tokov a na posúdenie ich celkovej stability existuje v zahraničí viac používaných metód (PFANKUCH 1975, COMPOSITE AUTHORS 1993, ROSGEN 2002, ROSGEN, SILVEY 1996, SIMON ET AL. 2010). Tieto metódy analyzovala pre použitie v podmienkach SR vo viacerých prácach JAKUBISOVÁ (2009A, 2009B, 2010A, 2010B, 2010C, 2010D, 2010E, 2010F). Potvrdila, že jednotlivé metódy sú použiteľné aj v našich podmienkach, avšak ich výsledky sa odlišujú v presnosti a predovšetkým v škále výsledných hodnôt. V spomínaných metódach autori používajú rôzne vstupné charakteristiky, preto je vzájomné porovnanie metód a objektívne zhodnotenie ich presnosti problematické. Metódy síce vychádzajú z konkrétnych terénnych výskumov, ale vzhľadom na enormnú variabilitu prírodných podmienok, pre ktoré boli odvodené, je ich potrebné pred prípadnou aplikáciou v rôznych podmienkach SR overovať aj naďalej.

Materiál a metódy

Výskum kvantifikácie a predikcie erózie na brehoch vodných tokov uskutočňujeme od roku 2008 na viacerých tokoch v rôznych geomorfologických celkoch SR. V predkladanom príspevku uvádzame aplikáciu metódy BANCS – Bank Assessment for Non-point source Consequences of Sediment (BEHI-NBS) Bank Erosion Hazard Index/Near Bank Stress na príklade experimentálnych prietokových profilov vo vodnom toku Železnobreznický potok. Uvedený vodný tok má charakter bystriny (koeficient bystrinnosti povodia $K_b=0,191$). Povodie s rozlohou $S_p=23,5 \text{ km}^2$ sa nachádza na južných svahoch geomorfologického celku Kremnické vrchy (stredné Slovensko) v podcelkoch Flochovský chrbát a Túrovské predhorie. Železnobrezický potok je pravostranným prítokom rieky Hron. Lesnatosť povodia $l\% = 72\%$, Dĺžka údolnice $L_u= 13,12 \text{ km}$, stredná šírka povodia $B_p = 1,79 \text{ km}$, priemerná nadmorská výška povodia $\bar{H}_{pov} = 595 \text{ m n.m.}$, absolútny spád povodia $\Delta H_{pov} = 685 \text{ m}$, dĺžka hlavného toku $L_t=12,5 \text{ km}$, priemerný sklon toku $l_t\% = 4,35\%$, prietok $Q_1 = 3,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, prietok $Q_{100}=19,66 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Geologické podložie v povodí tvoria neovulkanity (pyroxenické andezity a amfibolicko-biotitické andezity), z pôdných typov prevládajú hlinité pôdy, v bezprostrednom okolí toku hlinopiesočnaté pôdy, z pôdných typov sa vyskytuje najviac kambizem modálna nenasýtená. Priemerné ročné zrážky v povodí predstavujú $Z = 905 \text{ mm}$, priemerná ročná teplota $5,9 \text{ }^\circ\text{C}$. Vzhľadom na svoju dĺžku je povodie rozložené v troch klimatických oblastiach: v najnižších polohách T – teplej, v stredných polohách M – mierne teplej a v najvyšších polohách C – chladnej.

Na uvedenom vodnom toku boli v rôznych vzdialenostiach od ústia založené a na pevné body v okolí fixované experimentálne úseky (PU) a experimentálne prietokové profily (PP). Pri

zakladaní PU a PP sme vychádzali zo systému riffle-pool, ktorý vysvetlili ROSGEN, SILVEY (1996). Systém vychádza z poznatku, že tvar, resp. geometrické charakteristiky prirodzeného prietokového profilu sa v oblúkoch (v porovnaní s priamymi úsekmi) významne menia. Na vonkajšej strane oblúkov (konkávny breh) je prietokový profil vplyvom zmien prúdnice hlbší, na vnútornej strane oblúkov (konvexný breh) sa vytvárajú nánosy sedimentov a prietokový profil má menšiu hĺbku. Geometrické charakteristiky prietokového profilu sa pred a za oblúkom postupne a plynule menia. Medzi dvomi protismernými oblúkmi (pool) je vytvorený priamy úsek – tzv. brod (riffle).

Jednou z dôležitých úloh počas terénnych prác je určenie geometrických charakteristík prietokových profilov pre prietok plným prietokovým profilom. V riešení tejto úlohy je možné vychádzať z postupov, ktoré sú podrobne uvedené v prácach ROSGEN, SILVEY (1996), JOHNSON, HEIL (1996), PETIT, PAUQUET (1996), MC. CANDLESS, EVERET (2002), PYRCE (2003), GREŠKOVÁ, LEHOTSKÝ (2006).

Na tomto toku sme terénne práce pre Rosgenovu metódu predikcie erózneho poškodenia brehov začali realizovať v apríli – máji roku 2011 (založenie PU a PP). Niveláčnym prístrojom bol podrobne zameraný každý PP. V rámci kancelárskeho spracovania bol PP vykreslený. Na jednotlivých PP boli do päty svahu (brehu) vo vertikálnom smere osadené 40 cm dlhé kovové rúrky s priemerom 20 mm a do svahu v horizontálnom smere po 2 plastové rúrky dlhé 60 cm. Spodná rúrka bola osadená približne vo výške Q_{30d} , ktorý bol odvodený výpočtami. Osadené rúrky boli vyznačené vo vykreslenom priečnom reze (1:100). Boli zmerané vyčnievajúce časti rúrok a údaj bol zaznamenaný. PP boli následne niveláciou podrobne zmerané v apríli – máji roku 2012, čo nám umožnilo zaznamenať ústup brehov, ktorý boli spôsobený eróziou v priebehu jedného roka. Ústup brehov bol vykreslený v priečnom reze. Priebeh ústupu nebol na svahu (brehu) PP rovnomerný, priemernú hodnotu sme vypočítali ako podiel celkovej plochy ústupu (zistenú planimetrom na vykreslenom PP) a celkovej dĺžky svahu (brehu) konkrétneho vodného toku.

Stanovenie hodnôt BEHI je súčasťou metodiky, pomocou ktorej je možné informatívne predikovať priemerný ročný odnos pôdy z brehov tokov. V stanovení hodnoty BEHI sme postupovali podľa tab. 1. Na určenie tejto hodnoty je potrebné stanoviť tieto vstupné charakteristiky: pomer výšky svahu brehu H_s k priemernej výške plného prietokového profilu H_0 (H_s/H_0), hĺbku prekorenenie svahu vegetáciou K_h k výške svahu H_s (K_h/K_h), hodnotu váženej koreňovej hustoty vegetácie $K\%$, uhol sklonu svahu brehu ($S\alpha$) a percento pokrytia svahu brehu vegetáciou (VEG%). Táto výpočtovo - grafická metóda (pozri napr. ROSGEN SILVEY 1996, ROSGEN 2002, ROSGEN 2008, ROSGEN 2009, VAN EPS ET AL. 2005) vychádza

z priamych meraní ročného odnosu pôdy z brehov korýt tokov v konkrétnych regiónoch (oblastiach) a vyžaduje si okrem stanovenia hodnôt BEHI (Bank Erosion Hazard Index) a priamych meraní odnosu pôdy (ústupu brehov) aj výpočet tangenciálneho napätia v blízkosti brehu - NBS (Near Bank Stress). Na určenie hodnoty NBS existuje viac spôsobov (pozri ROSGEN SILVEY 1996, ROSGEN 2008, ROSGEN 2009, VAN EPS ET AL. 2005, SASS, KEANE 2012, MC.QUEEN ET AL. 2013). Najviac používaný spôsob je výpočet pomeru medzi maximálnou hĺbkou koryta v blízkosti posudzovaného brehu H_b (m) a priemernou hĺbkou koryta H_ϕ (m) s hodnotami podľa tab. 2.

Tab. 1 Charakteristiky na určenie indexu ohrozenia brehov eróziou metódou BANCS (ROSGEN 2002, ROSGEN, SILVEY 1996, ROSGEN 2008, ROSGEN 2009)

Index ohrozenia brehov eróziou (BEHI) kategória		Výška svahu/výška priet. profilu H_s/H_ϕ	Hĺbka prekorenenia/Výška svahu K_h/H_s	Hustota koreňov % K%	Uhol sklonu brehu ($^\circ$) $S\alpha$	% pokrytia brehu vegetáciou Veg%	Súčet Σ
Veľmi nízky	Hodnota	1.0 – 1.1	1.0 – 0.9	100 -80	0 – 20	100 – 80	
	Index	1.0 – 1.9	1.0 – 1.9	1.0 – 1.9	1.0 – 1.9	1.0 – 1.9	5 – 9.5 (VN)
Nízky	Hodnota	1.11 – 1.19	0.89 – 0.5	79 - 55	21 – 60	79 – 55	
	Index	2.0 – 3.9	2.0 – 3.9	2.0 – 3.9	2.0 – 3.9	2.0 – 3.9	10-19.5 (N)
Stredný	Hodnota	1.2 – 1.5	0.49 – 0.3	54 - 30	61 – 80	54 - 30	
	Index	4.0 – 5.9	4.0 – 5.9	4.0 – 5.9	4.0 – 5.9	4.0 – 5.9	20-29.5 (S)
Vysoký	Hodnota	1.6 – 2.0	0.29 – 0.15	29 - 15	81 - 90	29 - 15	
	Index	6.0 – 7.9	6.0 – 7.9	6.0 – 7.9	6.0 – 7.9	6.0 – 7.9	30-39.5 (V)
Veľmi vysoký	Hodnota	2.1 – 2.8	0.14 – 0.05	14 – 5.0	91 - 119	14 - 10	
	Index	8.0 – 9.0	8.0 – 9.0	8.0 – 9.0	8.0 – 9.0	8.0 – 9.0	40-45 (VV)
Extrémny	Hodnota	> 2.8	<0.05	<5	>119	<10	
	Index	10	10	10	10	10	46-50 (E)

Na základe výsledku tohto pomeru sa NBS slovne vyhodnotí (pozri tab. 2) a vynesie sa do grafu spoločne s nameraným odnosom pôdy z brehov tokov pre konkrétnu kategóriu BEHI. Pri konštrukcii grafu predikcie postupujeme tak, že na os x vynášame hodnoty brehových

ústupov (cm/rok), na os y hodnoty NBS. Hlavnou zásadou je, aby bola vyrovnávajúca priamka (krivka) predikcie konštruovaná len pre rovnakú kategóriu hodnôt BEHI (napr. VN – veľmi nízky, N – nízky, S – stredný, V – vysoký, VV – veľmi vysoký, E – extrémny). V príspevku uvádzame výsledky pre zistené kategórie – N (obr. 1) a S - (obr. 2) a V + VV – (obr. 3). Metódu BANCS (BEHI-NBS) overovať aj v iných geomorfologických celkoch SR. Na založených pokusných úsekoch prebiehajú od roku 2008 merania priemerného ročného odnosu pôdy z brehov vodných tokov. Po vyhodnotení meraní bude uskutočnené porovnanie nameraných hodnôt odnosu s hodnotami odvodenými pomocou zostrojených grafov.

Tab. 2 Klasifikácia tangenciálneho napätia v blízkosti brehu (NBS)

NBS	H_b/H_o	NBS	H_b/H_o
Veľmi nízke (VN)	<1,0	Vysoké (V)	1,81-2,5
Nízke (N)	1,0-1,5	Veľmi vysoké (VV)	2,51-3,0
Stredné (S)	1,51-1,8	Extrémne (E)	>3,0

Výsledky

Výsledky sme spracovali v tabuľkovej aj v grafickej podobe. V tab. 1 sú vstupné charakteristiky a vypočítané hodnoty BEHI, v tab. 2 sú vstupné charakteristiky a vypočítané hodnoty NBS. Na obr. 1 je znázornená priamka, ktorá vyrovnáva hodnoty ústupu brehu vplyvom erózných procesov v priebehu jedného roka pre kategóriu BEHI s označením N – nízky. Na základe konkrétnej v teréne stanovenej hodnoty NBS je možné informatívne predikovať ďalší ústup brehov spôsobený eróziou pre kategóriu BEHI – N. Na obr. 2 je znázornená priamka, ktorá vyrovnáva hodnoty ústupu brehu vplyvom erózných procesov v priebehu jedného roka pre kategóriu BEHI s označením S – stredný. Na základe konkrétnej v teréne určenej hodnoty NBS je možné informatívne predikovať ďalší ústup brehov spôsobený eróziou pre kategóriu BEHI - S. Na obr. 3 je znázornená priamka, ktorá vyrovnáva hodnoty ústupu brehu vplyvom erózných procesov v priebehu jedného roka pre kategórie BEHI s označením V a VV – vysoký a veľmi vysoký. Na základe konkrétnej v teréne určenej hodnoty NBS je možné informatívne predikovať ďalší ústup brehov spôsobený eróziou pre kategóriu BEHI – V a VV.

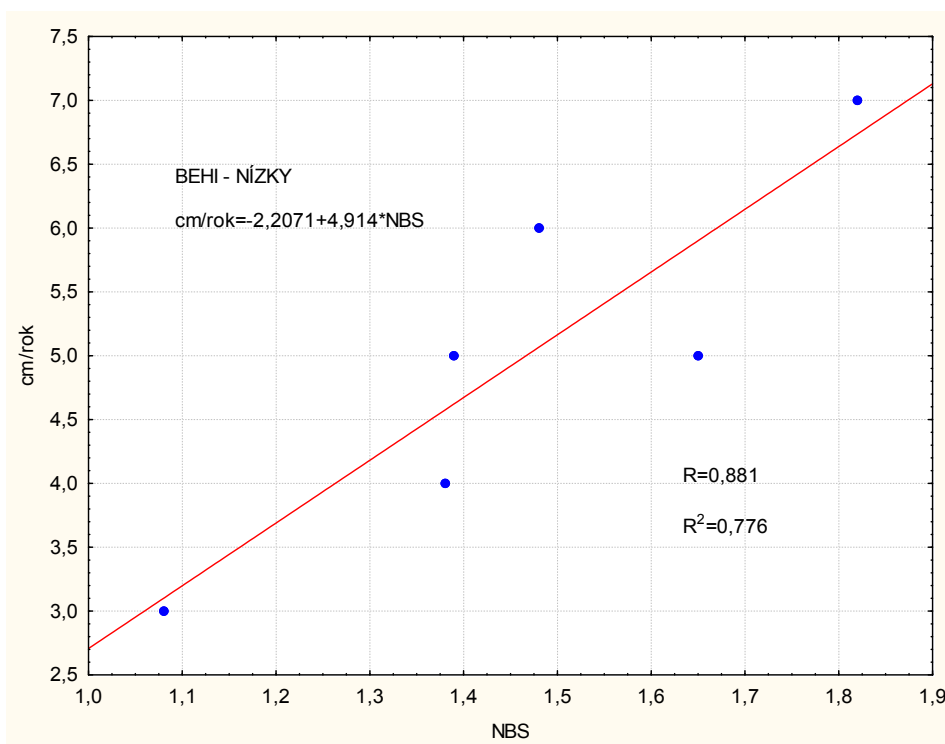
Tab. 3 Charakteristiky pre výpočet BEHI (Bank Erosion Hazard Index)

RP	Stan. (km)	Hp (m)	Hs (m)	Hs/Hø	Hk (m)	Hk/Hs	Dk %	WDk %	α (°)	V %	M	ΣI	BEHI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,210	1,20	1,3	1,08	1,0	0,77	75	58	25	90			
Index				1,72		2,58		3,66	2,19	1,45	5	16,6	N
2	0,320	1,20	1,3	1,08	1,0	0,77	75	58	24	100			
Index				1,72		2,58		3,66	2,15	1,0	5	16,1	N
3	0,410	1,15	1,3	1,13	1,0	0,77	75	58	27	85			
Index				2,48		2,58		3,66	2,29	1,68	5	17,7	N
4	0,470	1,15	1,25	1,09	1,0	0,8	60	48	30	100			
Index				1,81		2,43		4,48	2,44	1,0	5	17,2	N
5	0,510	1,15	1,3	1,13	1,0	0,77	75	58	33	95			
Index				2,48		2,58		3,66	2,58	1,23	5	17,5	N
6	0,600	1,10	1,25	1,14	0,9	0,72	60	43	30	90			
Index				2,71		2,82		4,87	2,44	1,45	5	19,3	N
7	0,880	1,10	1,3	1,18	0,9	0,69	50	34,5	35	80			
Index				3,66		2,97		5,54	2,68	1,90	5	21,8	S
8	0,950	1,10	1,25	1,14	0,9	0,72	50	36	38	70			
Index				2,71		2,82		5,42	2,83	2,71	5	21,5	S
9	1,150	1,05	1,25	1,19	0,8	0,64	50	32	40	70			
Index				3,9		3,22		5,74	2,93	2,71	5	23,5	S
10	1,300	1,05	1,25	1,19	0,8	0,64	50	32	35	75			
Index				3,9		3,22		5,74	2,68	2,32	5	22,9	S
11	1,390	1,0	1,15	1,15	0,8	0,7	60	42	38	70			
Index				2,95		2,93		4,95	2,83	2,71	5	20,9	S
12	1,490	1,0	1,20	1,20	0,6	0,5	60	30	35	75			
Index				4,0		3,9		5,9	2,68	2,32	5	23,8	S
13	1,580	1,0	1,20	1,20	0,6	0,5	30	15	50	50			
Index				4,0		3,9		7,9	3,41	4,32	5	26,4	S
14	1,660	1,0	1,30	1,30	0,8	0,61	50	30,5	45	50			
Index				4,63		3,36		5,9	3,17	4,32	5	26,4	S
15	1,750	0,9	1,20	1,33	0,8	0,67	40	27	48	40			
Index				4,82		3,07		6,27	3,32	5,11	5	27,6	S
16	1,840	0,9	1,15	1,28	0,5	0,43	40	17	45	50			
Index				4,51		4,6		7,63	3,17	4,32	5	29,2	S
17	1,910	0,9	1,20	1,33	0,5	0,42	30	12,5	50	60			
Index				4,82		4,7		8,17	3,41	3,50	5	29,6	S
18	1,990	0,9	1,15	1,28	0,5	0,43	40	17	50	40			
Index				4,51		4,6		7,63	3,41	5,11	5	30,3	V
19	2,100	0,85	1,15	1,35	0,5	0,43	50	21,5	70	25			
Index				4,95		4,6		7,02	4,9	6,54	5	33,0	V
20	2,180	0,80	1,15	1,44	0,3	0,26	30	8	70	25			
Index				5,52		6,41		8,67	4,9	6,54	5	37,0	V
21	2,250	0,8	1,15	1,44	0,3	0,26	20	5	75	30			
Index				5,52		6,41		9	5,4	5,9	5	37,2	V
22	2,330	0,8	1,25	1,56	0,3	0,24	20	5	72	25			
Index				6,0		6,68		9	5,1	6,54	5	38,3	V
23	2,400	0,8	1,20	1,50	0,3	0,25	20	5	77	10			
Index				5,9		6,54		9	5,6	9,0	5	41,0	VV
24	2,450	0,75	1,25	1,67	0,3	0,24	20	5	77	10			
Index				6,33		6,68		9	5,6	9,0	5	41,6	VV

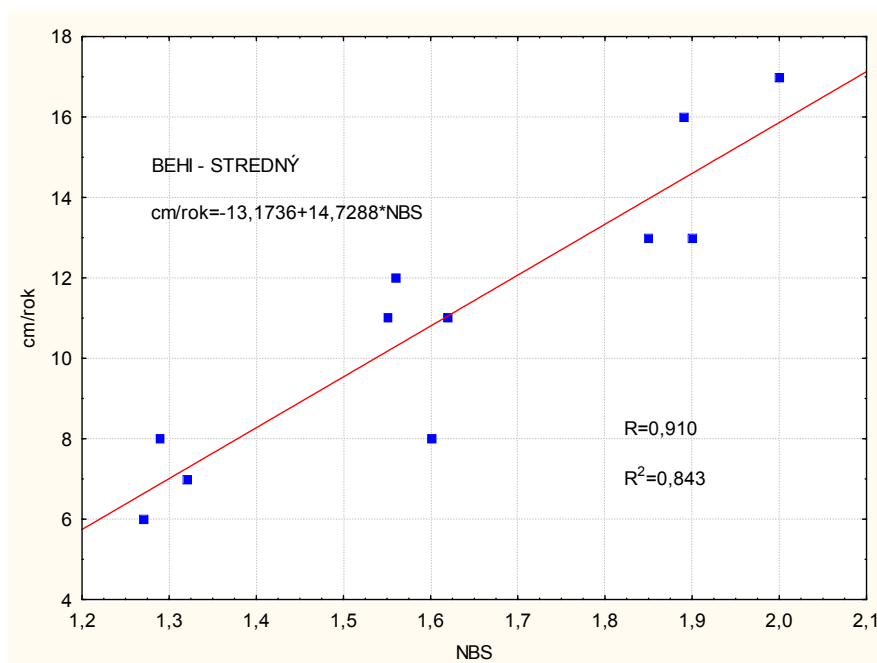
Tab. 4 Charakteristiky pre výpočet hodnoty NBS (Near Bank Stress)

RP	Stan. (km)	B (m)	Hp (m)	H _{NBS} (m)	NBS	BEHI	PredU (cm/rok)	SkutU (cm/rok)	Δ (cm)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,210	7,50	1,20	1,30	1,08	16,6	3	5	+2
2	0,320	7,45	1,20	1,65	1,38	16,1	4	1	-3
3	0,410	7,10	1,15	1,70	1,48	17,7	6	4	-2
4	0,470	7,20	1,15	1,90	1,65	17,2	5	9	+4
5	0,510	7,10	1,15	1,60	1,39	17,5	5	8	+3
6	0,600	6,70	1,10	2,00	1,82	19,3	7	3	-4
7	0,880	6,90	1,10	1,45	1,32	21,8	7	7	0
8	0,950	6,40	1,10	1,40	1,27	21,5	6	9	+3
9	1,150	6,10	1,05	1,35	1,29	23,5	8	13	+5
10	1,300	6,40	1,05	1,70	1,62	22,9	10	14	+4
11	1,390	6,05	1,0	1,60	1,60	20,9	8	7	-1
12	1,490	5,80	1,0	1,55	1,55	23,8	10	7	-3
13	1,580	6,00	1,0	1,85	1,85	26,4	13	9	-4
14	1,660	6,10	1,0	1,90	1,90	26,4	14	19	+5
15	1,750	5,80	0,9	1,80	2,00	27,6	17	13	-4
16	1,840	6,00	0,9	1,70	1,89	29,2	16	21	+5
17	1,910	5,80	0,9	1,40	1,56	29,6	12	9	-3
18	1,990	6,00	0,9	1,25	1,39	30,3	10	12	+2
19	2,100	5,90	0,85	1,30	1,53	33,0	12	7	-5
20	2,180	6,00	0,80	1,20	1,50	37,0	15	21	+6
21	2,250	5,85	0,80	1,60	2,00	37,2	22	17	-5
22	2,330	5,90	0,80	1,45	1,81	38,3	20	23	+3
23	2,400	5,70	0,80	1,55	1,94	41,0	18	11	-7
24	2,450	5,60	0,75	1,35	1,80	41,6	15	20	+5

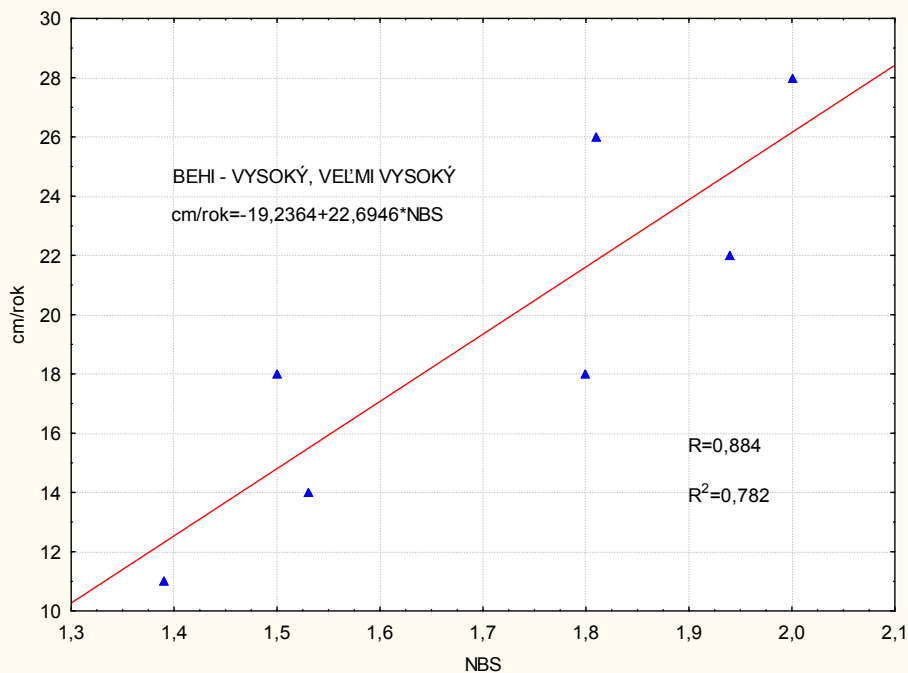
V tab. 4 sú okrem charakteristík na výpočet hodnôt NBS (Near Bank Stress) uvedené aj hodnoty predikovaných a skutočných ústupov brehov vplyvom erózie na jednotlivých PP. Z prehľadu je zrejmé, že metódou BANCS (BEHI/NBS) je možné v kvantifikácii a informatívnej predikcii erózie na brehu skúmaného toku získať vcelku vyhovujúce výsledky. Považujeme za samozrejmé, že metódu je potrebné overovať aj na iných vodných tokoch a to predovšetkým v súvislosti s prietokmi plným prietokovým profilom, resp. korytotvornými prietokmi.



Obr. 1 Graf na informatívnu predikciu brehovej erózie (cm/rok) pre nízky BEHI



Obr. 2 Graf na informatívnu predikciu brehovej erózie (cm/rok) pre stredný BEHI



Obr. 3 Graf na informatívnu predikciu brehovej erózie (cm/rok) pre vysoký a veľmi vysoký BEHI

Záver

Overovanie Rosgenovej výpočtovo - grafickej metódy predikcie erózie na brehoch vodných tokov v podmienkach SR si vyžaduje dlhšie časové obdobie. Doterajšie čiastkové výsledky je potrebné dopĺňovať a spresňovať. Zatiaľ ich nie je možné širšie zovšeobecňovať. Predpokladáme, že v budúcnosti bude potrebné rozpracovať problematiku v nadväznosti na priemernú dobu opakovania prietoku plným prietokovým profilom v súvislosti s korytotvornými prietokmi. Získané výsledky môžu platiť len pre oblasť, v ktorých bol uskutočnený výskum. V rôznych iných prírodných podmienkach (najmä geologických a pedologických) je možné predpokladať iné výsledky. V súčasnosti máme založené PU a PP aj na iných vodných tokoch v rámci SR s rôznymi kategóriami BEHI, resp. NBS. Len podrobná komparácia údajov o brehových ústupoch, ktoré boli zistené meraním v teréne s vypočítanými výsledkami za dlhšie obdobie umožnia presnejšie zhodnotenie použitej metódy.

Literatura

COMPOSITE AUTHORS 1993: *New York Processes for Calculating Streambank Erosion*. Wilsboro, New York: Boquet River Association (BRASS), pp. 59-66.

GREŠKOVÁ, A., LEHOTSKÝ, M. 2006: Stav plného koryta a jeho význam pre poznávanie manažment morfológie vodných tokov. *Geografický časopis*, 58, č. 4, s. 317-328.

JAKUBISOVÁ, M. 2009A: Posudzovanie stupňa ohrozenosti brehov eróziou na príklade prítokov VN Hriňová. In: Hucko, P. (ed): *Zborník referátov vedeckej konferencie Sedimenty vodných tokov a nádrží*. Bratislava: VÚVH, s. 211-220.

JAKUBISOVÁ, M. 2009B: Kvantifikácia vplyvu pôdoochranej funkcie brehovej vegetácie v komplexe spolupôsobiacich faktorov. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, LI, 2009, č. 1, s. 43–51.

JAKUBISOVÁ, M. 2010A: Metódy informatívnej predikcie ohrozenosti brehov eróziou a ich overovanie na prítokoch VN Hriňová. In: Bednárová, E. (ed.): XXXII. Priehradné dni 2010. *Zborník referátov z konferencie s medzinárodnou účasťou*. Banská Bystrica: SVP, š. p., OZ Banská Bystrica, s. 181–186.

JAKUBISOVÁ, M. 2010B: Kvantifikácia erózie na brehoch vodných tokov a jej význam pre ochranu krajiny. In: Drobilová, L. (ed.): *Venkovská krajina 2010*. Zborník zo 8. ročníka medzinárodnej medziodborovej konferencie. Brno: MZLU, LDF, s. 54-59.

JAKUBISOVÁ, M. 2010C: Kvantifikácia erózneho ohrozenia brehov vodných tokov a jej využitie v protipovodňovej ochrane. In: *Zborník referátov konferencie Vodní toky 2010*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, ČVTVHS, s. 125–130.

JAKUBISOVÁ, M. 2010D: Využitie informatívnych metód na predikciu erózneho ohrozenia brehov v prítokoch VN Hriňová. In: Kalousková, N., Dolejš, P. (eds.): *Pitná voda 2010*. České Budějovice: W&ET Team, s. 289–284.

JAKUBISOVÁ, M. 2010E: Kvantifikácia erózie na brehoch vodných tokov a jej význam pre ochranu krajiny. In: Drobilová, L. (ed.): *Venkovská krajina 2010*. Zborník z 8. ročníka medzinárodnej medziodborovej konferencie. Brno: MZLU, LDF, s. 54-59.

JAKUBISOVÁ, M. 2010F: Kvantifikácia erózneho ohrozenia brehov vodných tokov a jej využitie v protipovodňovej ochrane. In: *Zborník referátov konferencie Vodní toky 2010*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, ČVTVHS, s. 125–130.

JOHNSON, P. A. - HEIL, T. M. 1996: Uncertainty in Estimating Bankfull Conditions. *Water Resources Bulletin Journal of the American Water Resources Association*, 32, 6: 1283-1292.

- MC.CANDLESS, T. L., EVERET, R. A. 2002: Maryland Stream Survey: Bankfull Discharge and Channel Characteristics of Streams in the Piedmont Hydrologic Region. Annapolis: U. S. Fish & Wildlife Service, 40 p.
- MC.QEEN, A. L., ZÉGRE, N. P., WELSCH, D. L. 2013: A West Virginia case study: does erosion differ between streambanks clustered by the bank assesment of nonpoint source consequences of sediment (BANCS) model parameters? In: Miller, G. W. et al. (eds.), Proceedings of the 18th Central Hardwood Forest Conference 2012, Morgantown: WV, Gen. Tech. Rep. NRS-P-117, pp. 242-251.
- PETIT, F., PAUQUET, A. 1997: Bankfull discharge recurrence interval in gravel – bed rivers. Earth Surface Processes and Landforms, 22, pp. 685-693.
- PFANKUCH, D. J. 1975: Stream reach inventory and channel stability evaluation. Washington, D. C.: USDA Forest Service, R1-75-002, 26 p.
- PYRCE, R. S. 2003: Field Measurement of Bankfull Stage and Discharge. Waterpower Project Science Transfer Report 2.0, Ontario: Ministry of Natural Resources, Watershed Science Centre, 17 p.
- ROSGEN, D., SILVEY, H. L. 1996: Applied River Morphology. Pagosa Spring, Colorado: Wildland Hydrology, 396 p.
- ROSGEN, D. L. 2002: A practical method of computing streambank erosion rate. Pagosa Spring, Colorado: Wildland Hydrology, 10 p.
- ROSGEN, D. L. 2008: River stability – Field Guide. Fort Collins, Colorado: Wildland Hydrology, 248 p.
- ROSGEN, D. L. 2009: Watershed assessment of River Stability and Sediment Supply. Fort Collins, Colorado: Wildland Hydrology, 684 p.
- SIMON, A., THOMAS, R., CURINI, A., BANKHEAD, N. 2010: Development of the Bank-Stability and Toe-Erosion Model (BSTEM Version 5.4. Oxford, Mississippi: U. S. Department of Agriculture (USDA), National Sedimentation Laboratory, 90 p.
- SASS, C. K., KEANE, T. D. 2012: Application of Rosgen's BANCS Model for NE Kansas and the Development of Predictiva Streambank Erosion Curves. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), 48, 4, pp. 774-787.
- STARR, R. 2013: Maryland Trust Fund Geomorphic Monitoring. Annapolis, MD: U. S. & Wildlife Service – Chesapeake Bay Field Office, 46 s.
- VAN EPS, M. A., FORMICA, S. J., MORRIS, J. M., BECK, J. M., COTTER, A. S. 2005: Using Bank Erosion Hazard Index (BEHI) to estimate annual sediment loads form streambank

erosion in the West Fork White River Watershed. Little Rock, AR: Arkansas Department of Environmental Quality, Environmental Preservation Division, 26 p.

WILLIAMS, G. P. 1978: Bankfull Discharge of Rivers. Water Resources Research, 14, 6, pp. 1141-1154.

PodĎakovanie

Príspevok vznikol s finančnou podporou Vedeckej grantovej agentúry (VEGA) pri MŠVVaŠ SR v súvislosti s riešením projektu č. 1/0918/12 Kvantifikácia a predikcia erózie na brehoch vodných tokov. Autor vyslovuje grantovej agentúre poďakovanie.

Kontakt:

prof. Ing. Matúš Jakubis, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta

T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovensko

tel.: +421 45 520 6272, e-mail:jakubis@tuzvo.sk