

# VPLYV BREHOVEJ VEGETÁCIE NA STABILITU BREHU V PRÍTOKU VODÁRENSKEJ NÁDRŽE

**Prof. Ing. Matúš Jakubis, PhD., Ing. Mariana Jakubisová, PhD.**

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Masarykova 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika, e-mail: jakubis@vsld.tuzvo.sk

## Úvod a problematika

Brehové porasty, ktoré majú v prítokoch vodárenských nádrží zvlášť významné funkcie, sú súvislé, zapojené lesné porasty alebo ich časti, skupiny, pruhy, rady stromov, krov a bylinnej vegetácie, rastúce na brehoch tokov, nádrží alebo iných vodných plôch a v ich blízkom okolí (VALTÝNI 1981). V niektorých prácach autori používajú pojem brehová vegetácia (WYNN 2004, WYNN, MOSTAGHIMI 2006 a iní). Brehový porast je najvýznamnejším prvkom prirodzenej ochrany brehov vodných tokov pred eróziou, pomocou ktorého je tento škodlivý proces významne eliminovaný. Vo všeobecnosti je známy vplyv protierózneho pôsobenia lesného ekosystému. Práve brehový porast je posledným lesom v povodí, pomocou ktorého môžeme erózne procesy v korytách vodných tokov zmierňovať. GREŠKOVÁ, LEHOTSKÝ (2007) uvádzajú, že súvislé lesné brehové porasty a ich koreňové systémy spevňujú brehy a chránia ich pred eróznymi účinkami prúdiacej vody. VALTÝNI (1981) definuje pôdoochrannú funkciu brehových porastov ako spevňovanie brehov koreňovými sústavami, bránenie eróznemu rozrušeniu a odnosu pôdy z brehov vodných tokov a nádrží. Problematikou, ktorá sa protieróznej funkcie brehových porastov vodných tokov sa podrobne zaoberali NOVÁK ET AL. (1986), využitie jednotlivých drevín brehových porastov v rôznych ekologických podmienkach podrobne rozviedli VALTÝNI (1974) a ŠLEZINGR, ÚRADNÍČEK (2009). Význam brehovej vegetácie z hľadiska ochrany pôdy pred eróziou potvrdili SIMON ET AL. (2009). Uvádzajú, že pôdne straty z brehov vodných tokov môžu tvoriť až 90% z celkového objemu erodovaného riečneho materiálu za rok. ROSGEN (2002) zistil, že v niektorých prípadoch môžu tvoriť pôdne straty vyvolané eróziou brehov vodných tokov 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. Citovaní autori potvrdzujú, že so stúpajúcou kvalitou brehovej vegetácie narastá jej pôdoochranný – protierózny význam na brehoch tokov. WYNN, MOSTAGHIMI (2006) uvádzajú, že zmenou bylinného brehového porastu na stromový sa znížil odnos pôdy, spôsobený eróziou brehov o 39%. Problematikou vplyvu brehových porastov na rozširovanie koryt vodných tokov vplyvom erózných procesov sa zaoberali BEESON, DOYLE (1995), HUANG, NANSON (1997), HESSION ET AL. (2003), ALLMENDINGER ET AL. (2005) a iní.

## Cieľ a materiál

Cieľom príspevku je analýza vzťahu medzi percentuálnym pokrytím svahu brehovou vegetáciou VEG% a stupňom stability svahu koryta Fs. Stupeň stability svahu koryta sme vyjadrili hodnotou Fs, ktorá bola vypočítaná pomocou matematického modelu BSTEM. Výskum bol uskutočnený na vodnom toku Slatina, ktorý je prítokom Vodárenskej nádrže Hriňová. V rovnom úseku toku sme založili pokusný úsek (PU) s dĺžkou 15 m. Zároveň sme založili pokusný profil (PP) na analýzu pravého (PS) a ľavého (LS) svahu brehu v smere toku. PP, PS a LS vystihovali celkový charakter koryta a svahov na PU. Niveláciou sme zmerali geometrické charakteristiky každého PP: šírku koryta v brehoch B (m), šírku dna b (m), výšku H (m) a sklony oboch svahov PP. V rámci spracovania sme merania PP vyniesli na mm papier na stanovenie vstupných súradníc pre model BSTEM. Na PU sme niveláciou zmerali hodnotu pozdĺžneho prevýšenia na stanovenie pozdĺžneho sklonu PU (i). Ťažiskovou metódou na skúmanie recentného stavu brehovej stability a predikcie brehovej erózie vodných tokov je model BSTEM - Bank stability and toe erosion model Static Version 5.2 (SIMON ET AL. 2009), pomocou ktorého bol vypočítaný faktor stability Fs pre PS a LS. Metodika modelu BSTEM vychádza z kategorizácie

pokusných úsekov VT na základe vypočítaného faktora stability ( $F_s$ ) a koeficienta erodibility. Model umožňuje vypočítať, modelovať, predikovať a hodnotiť existujúcu a potenciálnu brehovú eróziu VT na základe meraných, prípadne volených vstupných údajov v súvislosti s ochranou brehu alebo bez nej v kontexte spolupôsobiacich faktorov. Modelovaním vstupných údajov a charakteristík brehovej vegetácie (prítomnosť alebo absencia, druh, kvalita) v modeli BSTEM je možné hodnotiť ich pôdoochranné pôsobenie na brehoch VT a vplyv na zmenu faktora brehovej stability ( $F_s$ ). Koreňové spevnenie brehov vegetáciou je hodnotené na základe Rip-Root modelu (Run Root-Reinforcement Model), prostredníctvom tzv. prídavnej kohézie koreňov –  $c_{pr}$  (kPa). Na základe výslednej hodnoty faktora stability  $F_s$  je celková stabilita svahu koryta hodnotená v troch úrovniach: Ak je hodnota  $F_s > 1,3$  je svah stabilný, ak je hodnota  $F_s$  od 1,0 do 1,3 je svah relatívne (prechodne) stabilný, ak je hodnota  $F_s < 1,0$  je svah nestabilný. Model BSTEM podrobne analyzovala JAKUBISOVÁ (2011a, 2001b, 2011c). V hodnotení stabilizačnej a protieróznej účinnosti brehovej vegetácie v sme vykonali analýzu medzi percentuálnym pokrytím svahu brehu vegetáciou (VEG%) a faktorom stability svahu ( $F_s$ ). V referáte uvádzame príklad dvoch modelových svahov (PS, LS). Stromová brehová vegetácia je v analýzach na modelových svahoch reprezentovaná v danej lokalite najviac zastúpeným druhom dreviny-jeľšou lepkavou - *Alnus glutinosa* vo veku 20 rokov. Trávnato-bylinná brehová vegetácia je v analýzach reprezentovaná druhmi bylín a tráv (vo veku 5 rokov), ktoré majú na experimentálnych PU (PP) najväčšie zastúpenie: žihľava dvojdomá (*Urtica dioica*), netýkavka nedotklivá (*Impatiens noli-tangere*), deväťsil lekársky (*Petasites hybridus*), kozonoha hostcová (*Aegopodium podagraria*), kopytník európsky (*Asarum europaeum*), udatník lesný (*Aruncus vulgaris*), iskerník chlpatý (*Ranunculus lanuginosus*), pakost smradľavý (*Geranium robertianum*), ostrica ostrá (*Carex acutiformis*), paprad' samčia (*Dryopteris filix-mas*), hluchavka purpurová (*Lamium purpureum*) záružlie močiarné (*Caltha palustris*), kýchavica biela (*Veratrum album*), praslička lesná (*Equisetum sylvaticum*), hviezdica veľkokvetá (*Stelaria holostea*), kyslička obyčajná (*Oxalis acetosela*), zbehovec plazivý (*Ajuga reptans*), starček Fuchsov (*Senecio fuchsii*). V modelovej brehovej vegetácii, resp. v uskutočnenej analýze sú obe zložky (t. j. stromy a trávnato-bylinná vegetácia) zastúpené v pomere 1:1. Vstupné charakteristiky pre vykonané analýzy obsahuje Tab. 1.

**Tabuľka 1. Charakteristiky pre analýzu závislosti  $F_s = f(\text{VEG}\%)$**

P.č.	%BV	VEG%	JLŠ 20 r.	VTBV 5 r.	Pravý svah (PS)		Ľavý svah (LS)	
					$C_{pr}$ (kPa)	$F_s$	$C_{pr}$ (kPa)	$F_s$
1	100	0	0	0	0	0,92	0	0,78
2	90	10	5	5	0,05	0,98	0,05	0,83
3	80	20	10	10	0,17	1,12	0,18	0,92
4	70	30	15	15	0,38	1,41	0,41	1,13
5	60	40	20	20	0,55	1,57	0,58	1,23
6	50	50	25	25	0,55	1,57	0,58	1,23
7	40	60	30	30	0,55	1,57	0,58	1,23
P.č.	%BV	VEG%	JLŠ 20 r.	VTBV 5 r.	Pravý svah (PS)		Ľavý svah (LS)	
					$C_{pr}$ (kPa)	$F_s$	$C_{pr}$ (kPa)	$F_s$
8	30	70	35	35	0,81	1,81	0,72	1,36
9	20	80	40	40	0,81	1,81	0,72	1,36
10	10	90	45	45	0,9	1,99	0,95	1,52
11	0	100	50	50	0,9	1,99	0,95	1,52

**Vysvetlivky k tab. 1:** %BV – plocha svahu bez vegetácie (%), VEG% - plocha svahu s vegetáciou (%), JLS 20 r. – plocha svahu s jeľšou lepkavou - vek 20 rokov (%), VTBV – plocha svahu s vlhkomilnou trávno-bylinnou vegetáciou – vek 5 rokov (%),  $C_{pr}$  – prídavná kohézia (kPa),  $F_s$  – faktor stability svahu (-).

## Výsledky

Boli zistené a štatisticky potvrdené tesné korelačné závislosti v rámci analyzovaných vzťahov:  $F_s = f(\text{VEG}\%)$ . Na obr. 1 je znázornená závislosť medzi hodnotami VEG% a  $F_s$  pre pravý pokusný svah koryta (PS), na obr. 2 je znázornená závislosť medzi hodnotami VEG% a  $F_s$  pre ľavý pokusný svah koryta (LS). Získané výsledky (regresné rovnice, indexy korelácie, indexy determinácie, absolútne a regresné koeficienty) sú uvedené v tab. 2. Štatistické testovanie sme vykonali postupom, ktorý uvádza ŠMELKO (1991).

**Tabuľka 2. Regresné rovnice a štatistické testovanie skúmaných vzťahov**

Korelačná závislosť	Regresná rovnica	$I_{yx}$	$I_{yx}^2$	$S_R$	t	> = <	$t_{0,01(9)}$
$F_{sPS} = f(\text{VEG}\%)$	$F_s = a_0 + a_1 \cdot \text{VEG}\% + a_2 \cdot \text{VEG}\%^2$ $F_s = 0,882 + 0,017 \cdot \text{VEG}\% - 0,00006 \cdot \text{VEG}\%^2$	0,983	0,966	0,061	16,11	>	3,250
$F_{sLS} = f(\text{VEG}\%)$	$F_s = a_0 + a_1 \cdot \text{VEG}\% + a_2 \cdot \text{VEG}\%^2$ $F_s = 0,764 + 0,011 \cdot \text{VEG}\% - 0,00004 \cdot \text{VEG}\%^2$	0,979	0,959	0,067	14,61	>	3,250

**Vysvetlivky k tab. 2 :**  $t_{0,01(9)}$ -kritická hodnota Studentovho t - rozdelenia,

$I_{yx}$  – index korelácie,  $I_{yx}^2$  – index determinácie,  $S_R = \sqrt{\frac{1 - I_{yx}^2}{n - 2}}$ ,  $t = \frac{I_{yx}}{S_R}$

Analýzou vzťahu medzi hodnotou Faktora stability  $F_s$  a percentuálnym pokrytím svahu koryta vegetáciou VEG% pre pravý svah koryta - PS (obr. 1), sme zistili, že medzi nimi existuje tesná korelačná závislosť. S použitím regresnej rovnice vo všeobecnom tvare:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 \quad (3.1)$$

resp. v tvare:

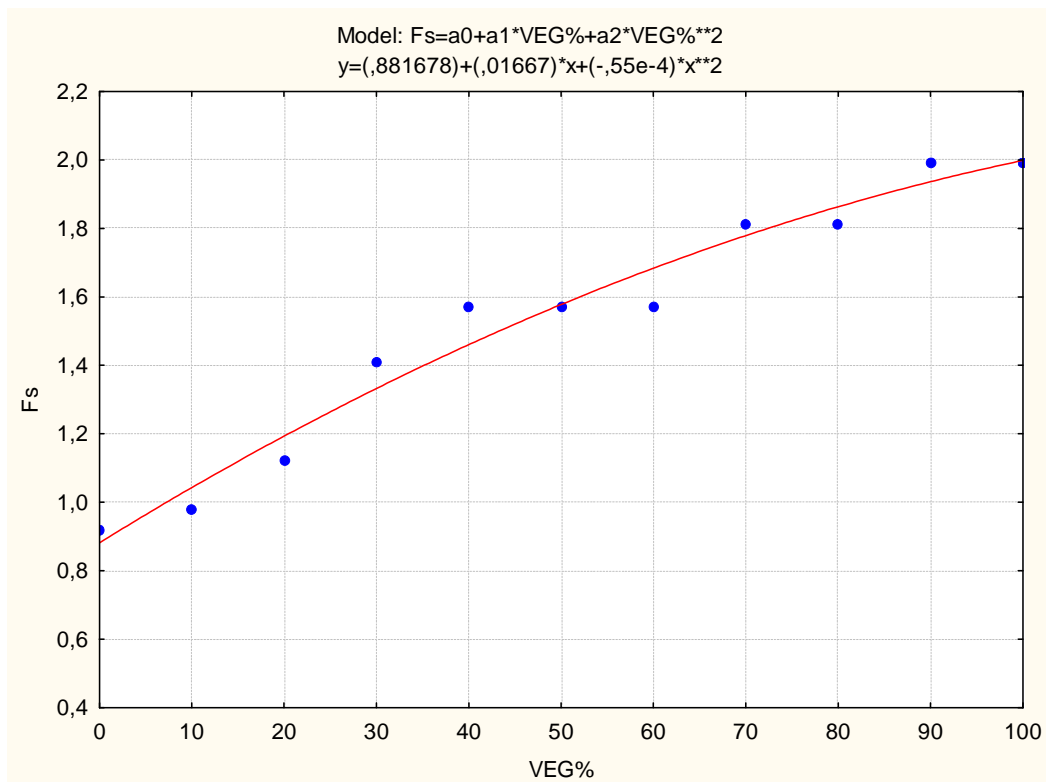
$$F_s = a_0 + a_1 \cdot \text{VEG}\% + a_2 \cdot \text{VEG}\%^2 \quad (3.2)$$

bol vypočítaný index korelácie  $I_{yx} = 0,983$  a index determinácie  $I_{yx}^2 = 0,966$ . Výsledky boli overené štatistickým testovaním. Po dosadení absolútneho a regresných koeficientov rovnica pre pravý svah nadobudne rovnica tvar:

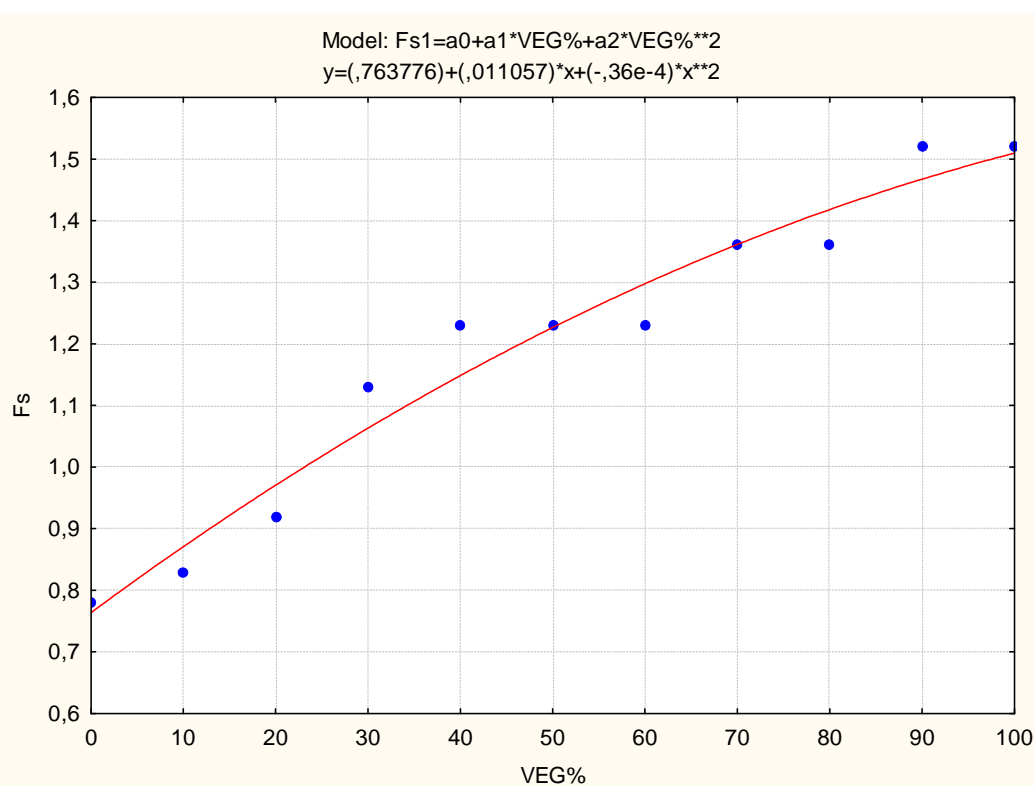
$$F_{sPS} = 0,882 + 0,017 \cdot \text{VEG}\% - 0,00006 \cdot \text{VEG}\%^2 \quad (3.3)$$

Analýzou vzťahu medzi hodnotou Faktora stability  $F_s$  a percentuálnym pokrytím svahu koryta vegetáciou VEG% pre ľavý svah koryta - LS (obr. 2), sme zistili, že medzi nimi existuje tesná korelačná závislosť. S použitím regresnej rovnice (3.1), resp. rovnice (3.2) bol pre ľavý vypočítaný index korelácie  $I_{yx} = 0,979$  a index determinácie  $I_{yx}^2 = 0,959$ . Výsledky boli overené štatistickým testovaním. Po dosadení absolútneho a regresných koeficientov rovnica pre ľavý svah nadobudne rovnica tvar:

$$F_{sLS} = 0,764 + 0,011 \cdot \text{VEG}\% - 0,00004 \cdot \text{VEG}\%^2 \quad (3.4)$$



**Obr. 1. Závislosť medzi percentuálnym pokrytím svahu koryta toku vegetáciou VEG% a faktorom stability svahu  $F_s$  – pravý svah (PS)**



**Obr. 2. Závislosť medzi percentuálnym pokrytím svahu koryta toku vegetáciou VEG% a faktorom stability svahu  $F_s$  – ľavý svah (LS)**

## Záver

Zvýšením pozornosti správcov vodohospodársky významných tokov, najmä prítokov vodárenských nádrží, v súvislosti so stabilizačnou a protieróznou funkciou brehových porastov, je možné významne prispieť k obmedzeniu zanášania vodárenských nádrží a tým aj k zlepšovaniu kvality vody v týchto nádržiach. Poznatky, vychádzajúce z uskutočneného výskumu, ktorý na KLSM LF TU vo Zvolene realizujeme už viac rokov, jednoznačne potvrdzujú význam brehovej vegetácie v súvislosti so stabilitou a protieróznym pôsobením na svahoch korýt tokov. Získané poznatky je možné využiť v praxi, predovšetkým v určení eróziou najviac ohrozených úsekov tokov a zároveň v posúdení priority a návrhoch intenzity opatrení na zmiernenie erózie v konkrétnych úsekoch skúmaných tokov prostredníctvom brehovej vegetácie. Použité metódy a postupy je potrebné výskumom overovať naďalej v rôznych prírodných podmienkach SR a ČR, čo môže v budúcnosti viesť k širším zovšeobecneniam získaných výsledkov a uľahčení ich využitia vo vodohospodárskej praxi.

**Článok vznikol s podporou grantovej agentúry VEGA v súvislosti s riešením projektu č. 1/0918/12 Kvantifikácia a predikcia erózie na brehoch malých vodných tokov.**

## 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.
- BEESON, C. E., DOYLE P. F. (1995): Comparison of bank erosion at vegetated and non-vegetated channel bends. *Water Resources Bulletin*, Vol. 31, No. 6, pp. 983-990.
- 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.
- 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.
- HUANG, H. Q., NANSON, G. C. (1997): Vegetation and channel variation – a case study of four small streams in southeastern Australia. *Geomorphology*, 18, pp. 237 – 249.
- JAKUBISOVÁ, M. (2011a): Výskum pôdochranej funkcie brehových porastov. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, Dizertačná práca, 159 s.
- JAKUBISOVÁ, M. (2011b): Príklad aplikácie modelu BSTEM na predikciu stability a erózneho ohrozenia brehov v prítokoch vodných nádrží. In: Hucko, J. (ed.): Zborník referátov vedeckej konferencie Sedimenty vodných tokov a nádrží. Bratislava: VÚVH, s. 23-34.
- JAKUBISOVÁ, M. (2011c): 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.
- NOVÁK, L., IBLOVÁ, M., ŠKOPEK, V. (1986): Vegetace v úpravách vodných toků a nádrží. Praha: SNTL, 244 s.
- 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 Geomorphology*, Water Science and Applications 8, AGU, pp. 125-139.
- ROSGEN, D. L. (2002): A practical method of computing streambank erosion rate. Pagosa Spring, Colorado: Wildland Hydrology, 10 p.
- 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.

- ŠMELKO, Š. (1991): Štatistické metódy v lesníctve. Zvolen: VŠLD, 276 s.
- ŠLEZINGR, M., ÚRADNÍČEK, L. (2009): Vegetační doprovod vodních toků. Brno: MZLU v Brně, 175 s.
- VALTÝNI, J. (1974): Vegetačné úpravy tokov. Bratislava: Príroda, 178 s.
- VALTÝNI, J. (1981): Vyčleňovanie, zakladanie a obhospodarovanie brehových porastov podľa ich funkcií. Bratislava: Príroda, 41 s.
- WYNN, T. M. (2004): The Effect of Vegetation on Stream Bank Erosion. Blacksburg, Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University, 150 p.
- 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.