

POSOUZENÍ STABILITY REVITALIZOVANÉHO KORYTA TOKU

J. Synková

Došlo: 16. září 2008

Abstract

SYNKOVÁ, J.: *Evaluation of stream stability after revitalization*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2009, LVII, No. 1, pp. 105–114

The aim of presented project is to execute an analysis and evaluation of stream-bed conditions for streams after revitalisation measures. Revitalisation of stream T12 in Orlické Záhoří has been comprehensive, included changes of stream line and longitudinal and transversal profile. The evaluation was so provided in two absolutely different stream-beds.

The evaluation was focused on stream-bed ground and slopes stability, which were established on the base of tangential stress, scouring and nonscouring velocity and of mean velocity in vertical calculation. Then the individual methods of calculation were compared and the results were faced with actual status of stream-bed and supposed development of stream-bed morphology.

revitalization, stream-bed, stability, flow

Voda je nedílnou součástí naší krajiny, ve které se vyskytuje v mnoha podobách a ve všech skupenstvích. Nás, s ohledem na téma, zajímala především voda ve skupenství kapalném, a to konkrétně voda povrchová tekucí. Voda, respektive vodní toky v krajině jsou páteří ekologické stability.

Dnes dochází k nápravě stavu vodních toků v rámci krajinotvorných a revitalizačních programů a také velmi aktuální protipovodňové prevenci a ochraně. Úprava toků, dnes spíše hovoříme o revitalizaci, tedy návratu k „přírodním podmínkám“, je velmi náročná a vyžaduje spolupráci řady odborníků z různých oborů.

Při projektování a realizaci revitalizací toků musíme mít na zřeteli, že tok se neustále vyvíjí a že jej nemůžeme posuzovat bez návazností, ale že je vždy nedílnou součástí okolí, do kterého zapadá a s kterým je propojen řadou přírodních vazeb. Vzhledem k tomu, že žijeme v kulturní krajině, není dnes už možný návrat k čistě přírodním podmínkám, tok už neplní funkci čistě ekologickou, ale i společenskou, estetickou, krajinotvornou a rekreační. Proto je projekt revitalizace toku vždy výsledkem řady kompromisů všech zainteresovaných stran. Účelem revitalizací říčních systémů je odstranit nebo změnit negativní důsledky dřívějších nevhodných „regulačních“ úprav vodních toků v otevřené krajině, obnovit jejich ekologickou funkci, avšak při zachování účelových funkcí toku, pro které byl upraven.

V této práci byl hodnocen tok, který byl v minulosti regulován a následně revitalizován, posouzen byl stav koryta a jeho stabilita, případně změny, které zde nastaly vlivem provedené revitalizace.

MATERIÁL A METODY

Pro získání jak aktuálních, tak i historických podkladů byly osloveny příslušné instituce a organizace. Vzhledem k tomu, že vybraný tok je ve správě zemědělské vodohospodářské správy, byla tato organizace oslovena prvotně.

Terénní šetření, měření a sběr materiálů

Terénní šetření se soustředí na úsek toku, kde již byla realizována revitalizace. Tok byl v rámci terénního průzkumu podrobně zaměřen, zaměřeny byly veškeré příčné objekty na toku. Průzkum se soustředil na tvar příčného profilu, šířku koryta, sklon břehů. V případě objektu se jednalo především o dřevěné prahy a kamenné skluzy.

V korytě byly odebrány vzorky zemin a to ze dna toku, dále ze břehu v korytě.

Laboratorní zkoušky

Vzorky zemin odebrané v korytě toků byly vyhodnoceny v laboratoři Ústavu tvorby a ochrany krajiny na LDF v Brně. Byl proveden rozbor zrnitosti na sítech a hustoměrnou metodou a následně byly vy-

neseny křivky zrnitostí. Na základě rozborů bylo u každého vzorku stanoveno efektivní zrno, veličina charakterizující danou zeminu. Dále byla stanovena charakteristika d_{50} – střední zrno, která byla stanovena z křivek zrnitosti.

Vytvoření modelu koryta toku

Pro modelování nerovnoměrného proudění v korytě toku byl použit program HYDROCHECK verze 5.0.

Trasa toku byla do programu vložena pomocí funkce import trati a to z textového souboru souřadnic 381 zaměřených bodů. Celkem bylo zadáno 108 příčných profilů, podrobné zaměření toku v r. 2007. V místě kamenných skluzů, kterých je ve sledovaném úseku celkem 20 ks, byla zadána drsnost dna 0,05, v běžné trati byla drsnost dna zvolena (materiál štěrk) 0,033. Břehy toku jsou hustě zarostlé vegetací, drsnost břehu v modelu byla zadána 0,055. V místě mostů km 0,045–0,053 a km 0,508–0,516, které jsou tvořeny benešovými rámy, byla zadána drsnost 0,03.

Výpočet úrovně hladin a svislicových rychlostí byly za pomoci programu spočítány pro $Q_5 = 4,7 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_1 = 1,36 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{355} = 0,008 \text{ m}^3/\text{s}$ resp. $Q_a = 0,057 \text{ m}^3/\text{s}$.

Trat koryta před revitalizací byla do programu vkládána ručně, na základě projektové dokumentace, vloženo bylo 23 příčných profilů. Koryto vzhledem ke svému prismatickému tvaru, pravidelný jednoduchý lichoběžník s konstantní šířkou dna (1m) a sklonem svahů (1:1,5), bylo zadáno čtyřmi body. Drsnost v korytě byla zadána pro zarostlé svahy 0,055; neopevněné štěrkovité dno 0,033 a pro dno opevněné lomovým kamenem 0,035.

Posouzení stability koryta toku

Posouzení stability na základě nevymílacích a nezanášecích rychlostí v korytě

Pro posouzení stability koryta pomocí výpočtu nevymílacích rychlostí byly použity vztahy:

$$v_{v1} = 5,88 \cdot h^{1/6} \cdot d_{ef}^{1/3} \text{ (m/s)}; \text{ dle Šamova: } v_{v2} = 3,7 \cdot d_s^{1/3} \cdot h^{1/3} \text{ (m/s)}.$$

Ze zjištěných nevymílacích rychlostí pak jejich přenásobením hodnotou 0,7, byly spočítány nezanášecí rychlosti:

$$v_{n1} = 0,7 \cdot v_{v1} \text{ (m/s)}; v_{n2} = 0,7 \cdot v_{v2} \text{ (m/s)}.$$

Výpočet v_{v1} vychází z hloubky v korytě a velikosti efektivního zrna, nevymílací rychlost v_{v2} vychází z hloubky v korytě, ale jako charakteristika materiálu koryta sem vstupuje střední zrno.

Pokud $v_n < v < v_v$... koryto je stabilní
 $v > v_v$... koryto je nestabilní
 v ... střední profilová rychlost.

Jednotlivé rychlosti byly pro porovnání vyneseny do grafu v programu Excel.

Posouzení odolnosti koryta na základě výpočtu tangenciálních napětí

a) Posouzení dna

Smykové napětí vyvolané prouděním vody, které působí na dno (τ_0), lze vypočítat pomocí vztahu:

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot R_d \cdot i,$$

kde ρ ... hustota vody (m^3/s)

g ... gravitační zrychlení (m^2/s)

R_d ... $R_d = 0,95 \cdot R$

R ... hydraulický rádius (m)

i ... sklon hladiny.

Hodnoty pro hydraulický rádius a sklon hladiny byly odečteny z programu Hydrocheck, z modelu toků a proudění v korytě.

Výpočet kritického tečného napětí pro lichoběžníkové koryto:

$$\tau_c = 760,8 \cdot d_e,$$

kde d_e ... efektivní zrno.

Pokud $\tau_c > \tau_0$... dno je stabilní

$\tau_c < \tau_0$... dno je nestabilní.

b) Posouzení svahů v korytě

Posouzení odolnosti svahů v korytě vychází z výpočtu tečných napětí (obdobně jako u posouzení dna).

Výpočet tangenciálního napětí způsobeného vodou na vodorovnou plochu: $\tau_0 = \rho \cdot g \cdot h \cdot i$

Dle poměru b/h určíme bezrozměrný koeficient ϵ , pro přepočtení na tečné napětí působící na svahu $\tau_{0s} = \epsilon \cdot \tau_0$.

Číslo stability η pro částici na rovném dně

$$\eta = \frac{21\tau_{0s}}{(\rho_s - \rho) \cdot d_s \cdot g}.$$

Číslo stability na částice na svahu je

$$\eta_s = \eta \left[\frac{1 + \sin(\lambda + \beta)}{2} \right],$$

λ ... úhel mezi podélným prouděním a směrem vektoru rychlosti (0)

$$\text{tg}\beta = \frac{\cos\lambda}{\frac{2\sin\gamma}{\eta \cdot \text{tg}\phi} + \sin\lambda}$$

γ ... úhel sklonu svahu; ϕ ... přirozený úhel sklonitosti zeminy (dle ČSN 731001)

$$\text{stupeň bezpečnosti SF: } SF = \frac{\cos\gamma \cdot \text{th}\phi}{\eta_s \cdot \text{tg}\phi + \sin\gamma \cdot \cos\beta},$$

podmínka bezpečnosti stability svahu, jestliže:

$SF > 1$... svah je stabilní

$SF = 1$... mezní stav

$SF < 1$... svah je nestabilní (Mareš, 1997).

Posouzení stability koryta na základě vyhodnocení svislicových rychlostí v korytě

Třetí možností vyhodnocení stability koryta vybraných toků byla zvolena metoda porovnání svislicových rychlostí v konkrétních místech v korytě s tabulkovými hodnotami dovolených rychlostí

pro danou zrnitost materiálu dna/svahu a střední hloubku v korytě při zvoleném průtoku.

Hodnoty svislicových rychlostí byly získány z výpočtu proudění korytem v programu Hydrocheck, pro průtoky Q_5 , Q_{10} , Q_{355} (Q_a). Byly vyhodnoceny rychlosti na svahu koryta, v patě svahu a maximální rychlost na dně koryta. Tyto rychlosti pak byly porovnávány s hodnotami dovolených (nevymílacích) rychlostí (Krešl, Bartůňková; 1993).

Statistické zpracování rychlostí v korytech toků

Zpracováváný statistický soubor je soubor dat maximálních svislicových rychlostí na dně v profilech toků. Tento soubor byl vybrán, jelikož se jedná o data významně charakterizující možnou změnu proudění v korytě, tvoří dostatečně velký homogenní soubor dat vhodný pro statistické zpracování.

Data byla porovnávána Párovým T-testem, který umožňuje ověřit následující hypotézu: zda dvě normální rozdělení mající stejný (byť neznámý) rozptyl, z nichž pocházejí dva nezávislé náhodné výběry, mají stejné střední hodnoty (resp. rozdíl těchto středních hodnot je roven určitému danému číslu).

V našem konkrétním případě by hodnoty porovnávání rychlostí před a po revitalizaci neměly být stejné (nulové rozdíly), ale žádoucí je, aby došlo k poklesu rychlostí.

VÝSLEDKY

Vyhodnocení terénního průzkumu a měření Orlické Záhoří T12

Zájmový tok pramení na severo-východním svahu Orlických hor a poměrně ve vysokém spádu protéká lesními porosty. Následně vtéká do oblasti Orlického Záhoří, která je typická dlouhými pozvolnými zatravněnými svahy směrem k toku Divoké Orlice. Tok T12 je pravostranným přítokem Divoké Orlice v jejím 120,8 km.

Plocha povodí $Sp = 2,74 \text{ km}^2$; délka toku $Lt = 3,93 \text{ km}$; spád $I = 7,7\%$.

Průměrný dlouhodobý průtok $Q_a = 571 \text{ l/s}$.

V rámci terénního šetření proběhlo podrobné zaměření trasy toku T 12 v Orlickém Záhoří. Geodetické měření bylo provedeno pomocí přístroje THEOMAT WILD T 1000. Měření bylo připojeno na JTSK a zaměřeny byly především veškeré objekty na toku (mostky, skluzy, prahy); celkem bylo zaměřeno cca 390 bodů. Hlavním cílem zaměření bylo získat digitální podklady pro posouzení stávající situace, tedy podélného sklonu, příčného profilu a trasy toku. Zaměření bylo vloženo jako podklad pro vynešení koryta toku v programu HYDROCHECK.

Cílem revitalizace, provedené v roce 2004, bylo zajištění stabilizovaného stavu, pokud možno formou přírodě blízkého stavu. Revitalizován byl úsek od křížení se silnicí Orlické Záhoří-Bartošovice směrem k ústí do Divoké Orlice. Niveleta dna byla zvýšena na hl. 0,4–0,6 m, což odpovídá hloubce v přirozených úsecích toku. Střídavě byly strženy le-

vobřežní a pravobřežní břehové hrany. Byla tak vytvořena údolní niva se šířkou ve dně 8 m a v koruně 10 m. Vložením příčných stabilizačních objektů dna byly vytvořeny přirozené tůňe. V korytě se usazují náplavy a v letních měsících dochází ke značnému zarůstání koryta. Místy je patrné postupující větvení hlavního toku. Koryto toku kříží dva mosty, první v km 0,6112–0,6192 a druhý v km 0,7696–0,7766, oba mosty jsou tvořeny Benešovými rámy obdélníkového profilu 200/100 cm, z pohledové strany je obklad z kamenného zdiva.

V rámci terénního šetření byly odebrány vzorky sedimentů ze dna a z paty svahu koryta. Vzorky byly odebrány na třech místech ve zkoumaném revitalizovaném úseku, v dolní části toku km 0,000–km 0,121.

Celkově lze zhodnotit, že nadále probíhá usazování splavenin v korytě, tvoří se ostrůvky zarůstající vegetací. V korytě není patrná eroze břehů, pod skluzy se tvoří hlubší rozšířené tůňe. Objekty na toku jsou v dobrém stavu, kamenné skluzy a dřevěné prahy nevykazují známky poškození.

Výsledky rozborů zrnitosti

Na toku T12 v Orlickém Záhoří byly provedeny rozbor zrnitosti odebraných vzorků a to ze dna a v patě svahu, jak v revitalizované části, tak v části nad revitalizací.

Materiál v korytě je štěrkovitý, často s příměsí jemnějších frakcí. Dno je nejčastěji tvořeno dobře zrněným štěrkem, v patě svahu je pak štěrk s příměsí jemnější frakce. Vzorky odebrané v horní části toku (nad revitalizací) vykazují více hrubších částic, na dolním toku už je ve vzorcích příměs jemnějších částic.

Na základě rozborů zrnitostí, získaných procentických zastoupení jednotlivých frakcí, byla stanovena velikost **efektivního zrna** pro výpočet tangenciálního napětí dna.

- Vzorek č. 1 dno (ve spodní sledované části toku) je $d_e = 35,42$; L.B. je $d_e = 14,14 \text{ mm}$; pro P.B. je $d_e = 27,28 \text{ mm}$.
- Vzorek č. 2 dno (ve střední sledované části, pod skluzem) je $d_e = 16,02 \text{ mm}$; L.B. je $d_e = 25,73 \text{ mm}$; pro P.B. je $d_e = 12,89 \text{ mm}$.
- Vzorek č. 3 dno (ve střední sledované části, nad skluzem) je $d_e = 11,19 \text{ mm}$; L.B. je $d_e = 33,14 \text{ mm}$; pro P.B. je $d_e = 14,03 \text{ mm}$.

Dále byla zjištěna hodnota **středního zrna** d_s (d_{50}), hodnota vstupuje do výpočtu tangenciálních napětí na svahu a také do výpočtu nevymílací rychlosti v korytě dle Šamova. Hodnota středního zrna byla odečtena z křivek zrnitosti.

- Vzorek č. 1 dno (ve spodní sledované části toku) je $d_{50} = 24 \text{ mm}$; L.B. je $d_{50} = 3,5 \text{ mm}$; pro P.B. je $d_{50} = 8 \text{ mm}$.
- Vzorek č. 2 dno (ve střední sledované části, pod skluzem) je $d_{50} = 7 \text{ mm}$; L.B. je $d_{50} = 7 \text{ mm}$; pro P.B. je $d_{50} = 8 \text{ mm}$.
- Vzorek č. 3 dno (ve střední sledované části, nad skluzem) je $d_{50} = 3 \text{ mm}$; L.B. je $d_{50} = 12 \text{ mm}$; pro P.B. je $d_{50} = 6 \text{ mm}$.

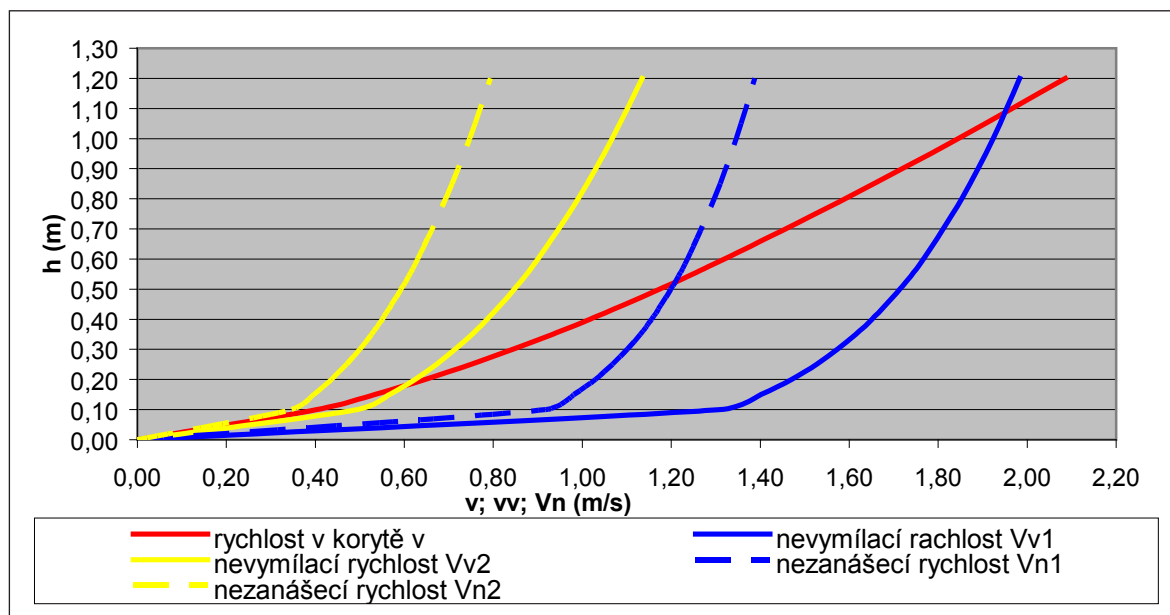
Výsledky posouzení stability dna a svahů koryt toků

Výpočet nevymílacích rychlostí

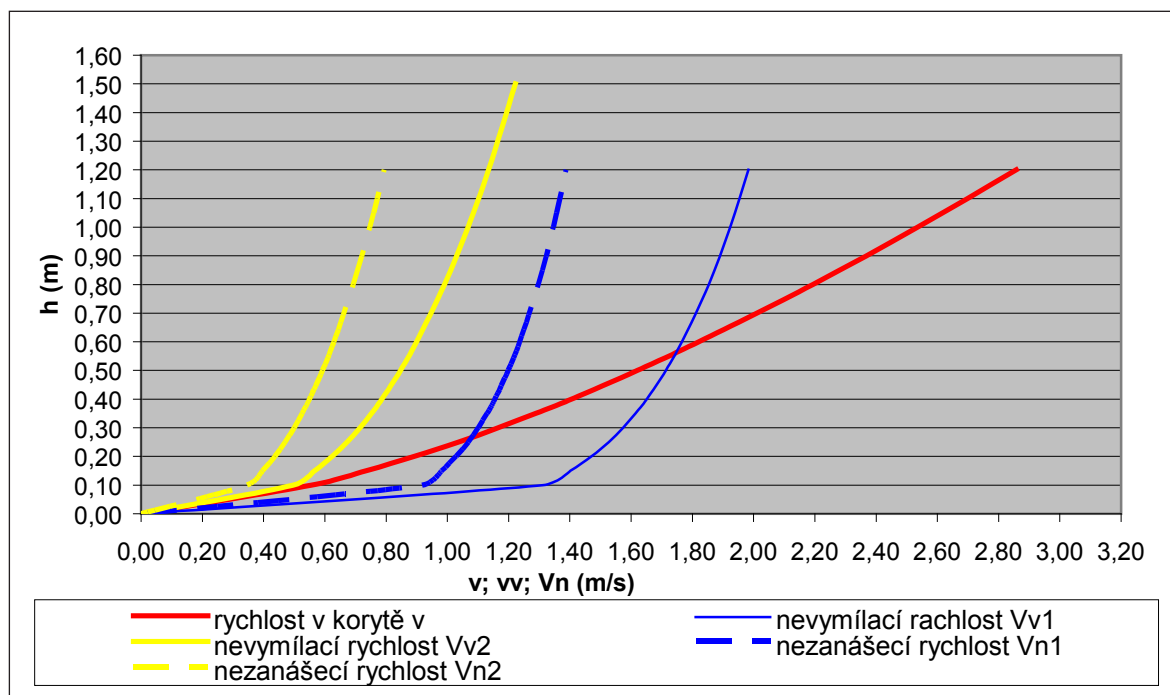
Výpočet nevymílacích a nezanášecích rychlostí v programu Excel lze považovat za orientační, jelikož zde nejsou zohledněny jednotlivé příčné objekty, v tomto konkrétním případě především skluzy.

Drsnost v korytě je zadávána jako průměrná stejně jako sklon jednotlivých dílčích úseků.

Následující grafy pro 1. úsek sledované trasy, zobrazují závislost nevymílacích rychlostí V_{n1} , V_{n2} a nezanášecích rychlostí V_{v1} a V_{v2} na hloubce v korytě. Grafy a výpočty byly provedeny pro všechny úseky sledované trasy, pro ukázkou jsou předkládány grafy pro 1. úsek (viz obr. 1 a obr. 2).



1: Orlické Záhroří–T12, nevymílací a nezanášecí rychlosti km 0,00–0,203



2: Orlické Záhroří–T12, nevymílací a nezanášecí rychlosti km 0,000–0,121

Na základě provedených výpočtů a vynesení grafů nevymílacích nezanášecích rychlostí můžeme konstatovat, že použití vzorců pro nevymílací rychlosti s charakteristikou d_e (nevymílací rychlost Vv1) a d_s (nevymílací rychlost dle Šamova Vv2) dává velmi odlišné výsledky.

Pro původní koryto jsou stabilní průtoky v rozmezí hloubek 0,4–0,9 m, dle nevymílací rychlosti Vv1 (d_e), v horním úseku je koryto stabilní při hloubkách 0,25–0,5 m. Dle nevymílací rychlosti Vv2 je koryto stabilní při mnohem menších průtocích, a to při hloubkách cca 0,05–0,15 m. V horním úseku (km 0,552–0,653) je koryto dle Vv2 nestabilní i při minimálních hloubkách průtoku. Nižší stabilita koryta v horním úseku byla nejspíše zapříčiněna vyšším podélným sklonem oproti nižším částům toku.

Koryto po revitalizaci je dle Vv1 stabilní při hloubkách protékající vody v rozmezí 0,25–0,55 m v dolním posuzovaném úseku (km 0,0–0,121). V úseku km 0,121–0,665 je koryto stabilní při hloubkách protéka-

jící vody v rozmezí 0,1–0,2 m. Dle výpočtu Vv2 je koryto po revitalizaci v celé sledované trase nestabilní.

Výsledná tečná napětí v korytě

Pro koryto toku T12 byla spočítána tečná napětí a to na dně a na břehovém svahu. Výsledné hodnoty byly uspořádány do tabulek. Výpočet byl proveden pro jednotlivé úseky a pro průtoky Q_5 , Q_1 a Q_{355} pro posouzení dna před revitalizací, stav dna po revitalizaci byl posuzován na průtoky Q_5 , Q_1 a Q_a . Program HYDROCHECK nebyl schopen spočítat průtok a vykreslit hladinu pro průtok Q_{355} v korytě po revitalizaci, průtok Q_{355} je příliš malý. Stabilita svahů byla posuzována pro kapacitní průtok, tedy při Q_5 , resp. Q_1 .

Výsledné hodnoty tečných napětí byly uspořádány do tabulek, dle jednotlivých úseků na sledované trase, hodnoty zvýrazněné tučně jsou hodnoty, kde došlo ke zlepšení stability oproti stavu před revitalizací, hodnoty v modrém poli jsou hodnoty splňující kritérium pro stabilitu (viz tab. I–V).

I: Tečná napětí na dně koryta toku T12 při Q_5

Úsek	0,00–0,203	0,203–0,332	0,332–0,552	0,552–0,653
Krit, napětí dna	25,057	11,32	11,32	11,32
Napětí způsobené vodou– Q_5 (před rev.)	89,89	128,49	121,56	190,37
Úsek	0,00–0,121	0,121–0,508		0,508–0,665
Napětí způsobené vodou– Q_5 (po rev.)	68,20	115,40		101,4

II: Tečná napětí na dně koryta toku T12 při Q_1

Úsek	0,00–0,203	0,203–0,332	0,332–0,552	0,552–0,653
Krit, napětí dna	25,057	11,32	11,32	11,32
Napětí způsobené vodou– Q_5 (před rev.)	46,41	60,61	68,81	113,65
Úsek	0,00–0,121	0,121–0,508		0,508–0,665
Napětí způsobené vodou– Q_5 (po rev.)	10,42	13,68		15,32

III: Tečná napětí na dně koryta toku T12 při Q_a

Úsek	0,00–0,203	0,203–0,332	0,332–0,552	0,552–0,653
Krit, napětí dna	25,057	11,32	11,32	11,32
Napětí způsobené vodou– Q_5 (před rev.)	16,11	53,06	3,99	7,27
Úsek	0,00–0,121	0,121–0,508		0,508–0,665
Napětí způsobené vodou– Q_5 (po rev.)	8,72	3,56		7,62

IV: Stabilita levého břehového svahu toku T12 při Q_5 (Q_1)

Úsek	0,00–0,203	0,203–0,332	0,332–0,552	0,552–0,653
d_s (d_{50}) mm	3,5	9,5	9,5	9,5
φ°	32	35	35	35
SF (před rev.)	0,011	0,024	0,022	0,014
Stabilita svahu	ne	ne	ne	ne
Úsek	0,00–0,121	0,121–0,508		0,508–0,665
SF (po rev.)	0,056	0,046		0,067
Stabilita svahu	ne	ne		ne

V: Stabilita pravého břehového svahu toku T12 při Q5 (Q1)

Úsek	0,00–0,203	0,203–0,332	0,332–0,552	0,552–0,653
ds (d_{50}) mm	8	7	7	7
φ°	32	35	35	35
SF (před rev.)	0,025	0,017	0,017	0,010
Stabilita svahu	ne	ne	ne	ne
Úsek	0,00–0,121	0,121–0,508		0,508–0,665
SF (po rev.)	0,124	0,034		0,050
Stabilita svahu	ne	ne		ne

Při průtoku Q_5 ($4,7 \text{ m}^3/\text{s}$) došlo ke snížení namáhání dna v celém sledovaném úseku toku oproti stavu před revitalizací. Nicméně dno po revitalizaci nesplňuje podmínky stability. Napětí způsobené proudící vodou je větší než kritické napětí dna.

Pro průtok Q_1 ($1,36 \text{ m}^3/\text{s}$) je úsek km 0,000–0,121 po revitalizaci stabilní, ve zbývajících částech došlo k výraznému zmenšení namáhání dna oproti stavu před revitalizací. Můžeme říci, že dno je téměř stabilní.

Při průtoku Q_a ($0,008 \text{ m}^3/\text{s}$) je dno koryta toku T12 po revitalizaci stabilní v celé délce sledovaného úseku, horní část (km 0,332–0,653) vykazuje stabilitu již před revitalizací.

Svahy koryta toku T12 jsou nestabilní po celé délce sledovaného úseku, ovšem po revitalizaci koryta došlo ke zvýšení jejich stability.

Výsledky posouzení stability koryta na základě svislicových rychlostí v korytě

Pro původní koryto toku T12 bylo vyhodnoceno celkem 23 profilů, materiál dna dle průměru zrna (d_{50}) 24 mm byl brán pro celý sledovaný úsek.

Svahy mají průměr zrna: levý břeh 3,5 mm; pravý břeh 8 mm.

Limitní rychlost pro odolnost dna byla při průtoku Q_5 ($4,7 \text{ m}^3/\text{s}$) protékajícím za hloubky cca 1 m, $v = 0,18 \text{ m/s}$; pro levý svah $v = 0,15 \text{ m/s}$; pravý svah $v = 0,16 \text{ m/s}$.

Pro posouzení při průtoku Q_1 ($1,36 \text{ m}^3/\text{s}$), hloubce cca 0,55 m, byla rychlost pro dno $v = 0,18$; levý svah $v = 0,14 \text{ m/s}$; pravý svah $v = 0,15 \text{ m/s}$.

Při průtoku Q_{355} ($0,008 \text{ m}^3/\text{s}$) byly limitní nevymílací rychlosti pro hloubku cca 0,15 m, na dně 0,15 m/s; levý svah 0,12 m/s; pravý svah 0,13 m/s.

Koryto bylo vyhodnoceno jako nestabilní a to v celé sledované trase pro průtok Q_5 , průtok Q_1 , při průtoku Q_{355} jsou místy stabilní svahy, dno a pata svahů je nestabilní.

V rámci vyhodnocení svislicových rychlostí revitalizovaného koryta bylo posouzeno 39 profilů z celkem 108 profilů, vybrány byly profily po cca 30 m.

Z provedených výpočtů rychlostí je patrné, že při průtoku Q_5 a Q_1 je koryto nestabilní, při Q_a jsou již některé profily stabilní jak ve dně, tak na svazích.

Pokud ovšem vezmeme v úvahu, že svah je pokryt travním drnem, zvedne se dovolená rychlost při

průtoku Q_5 na 1,2 m/s, při Q_1 pak na 0,9 m/s, svahy jsou pak na toku stabilní.

Výsledky statistického vyhodnocení rychlostí

Na toku T12 byly maximální svislicové rychlosti vyhodnoceny ve 23 profilech. Jedná se o profily v původním korytě, ke kterým byly pro soubor rychlostí po revitalizaci přiřazeny profily v odpovídajícím staničení nového koryta.

U toku T12 statistický test prokázal změnu maximálních rychlostí v korytě před a po revitalizaci. Nulová hypotéza není splněna, znamená to, že $T > T_{\text{krit}}$, tedy posuzované rychlosti nejsou stejné.

Souhrn výsledků

Cílovým záměrem bylo vyhodnotit stav a stabilitu koryta toků, toku T12 v Orlickém Záhoří, před a po revitalizaci. Provedená revitalizace na tomto toku byla revitalizací komplexní, tedy s úpravou jak příčného, tak podélného profilu.

Po zjištění charakteristik profilu koryt toků a materiálu dna a na svazích bylo přistoupeno k hodnocení stability koryta toků na základě výpočtů.

V rámci metodiky byly zvoleny tři přístupy k hodnocení stability v korytech vybraných toků.

Vyhodnocení jednotlivých metod posuzování stability na toku T12 po revitalizaci udává tabulka č. VI. Metoda výpočtu stability dle nevymílacích/nezanášecích rychlostí ($Vv1/Vn1$) dává podobné výsledky jako posouzení tangenciálních napětí dna koryta. Metoda posouzení svislicových rychlostí hodnotí koryto (až na jednotlivé výjimky) jako nestabilní, metoda dle výpočtu nevymílacích/nezanášecích ($Vv2/Vn2$) rychlostí má velmi podobné výsledky.

Na základě terénního průzkumu lze konstatovat, že provedená revitalizace díky vytvoření nového mělkého koryta s vloženými kamennými skluzy nastartovala přirozené korytotvorné procesy. Na dně koryta je patrný proces ukládání splavenin (čemuž odpovídá i posouzení stability dle $Vv2/Vn2$), těsně pod skluzy se vytvářejí zahloubené a rozšířené tůně.

Každá ze zvolených metod pro posouzení stability má svá úskalí. Jak bylo prokázáno v případě výpočtu nevymílacích rychlostí, velmi záleží na výběru vzorce, odborná literatura jich udává velmi

mnoho. Metoda výpočtu tečných napětí může poněkud zkreslovat výsledky a to zvláště pro stabilitu svahů, kde nezohledňuje možné zpevnění vlivem

vegetace, do výpočtu vstupuje sklon svahu a zrnitost materiálu na svahu. Pro tangované závěry jsou však použité metody dostatečně verifikantní.

VI: Přehled výsledků posouzení stability koryta dle jednotlivých metod – tok T12 po revitalizaci

úsek	stabilita											
	1. Vv1, Vn1/Vv2, Vn2						2. τ (dno)			3. (dno)		
	Q_5		Q_1		Q_a		Q_5	Q_1	Q_a	Q_5	Q_1	Q_a
km 0,00–0,121	ne	ne	ano	ne	ne	ano	ne	ano	ano	ne	ne	ne
km 0,121–0,508	ne	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ano	ne	ne	ne
km 0,508–0,665	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	ne	ne	ne

■ vymílání ■ zanášení

DISKUSE

Tok T12 v Orlickém Záhoří je tok, který byl revitalizován v poměrně nedávné době, revitalizace byla komplexní, tedy změna příčného i podélného profilu a také změna směrových poměrů. Tok ve sledovaném úseku protéká luční trati, nejsou zde žádné omezující podmínky, které by limitovaly přirozený vývoj toku. Koryto toku je velmi plytké a široké, svahy jsou mírné a hustě zarostlé travou. Na základě terénního šetření můžeme konstatovat, že v korytě nejsou patrné výrazné erozní jevy, s výjimkou tůní pod skluzy. V trase koryta dochází spíše k sedimentaci neseného materiálu, vytvářejí se ostrůvky, které postupně zarůstají vegetací. Změny v trase toku jsou zatím jen velmi pozvolné, koryto se drží v ose vytvořené při realizaci revitalizace. Tento stav ale můžeme přisoudit skutečnosti, že zde od provedené revitalizace nedošlo prozatím k průtoku extrémnějších vod. Dle výsledků výpočtu stability je v případě této revitalizace koryto nestabilní, patrně ani nešlo o to navrhnout koryto stabilní, ale provedeným zásahem vytvořit podmínky pro další, co nejpřirozenější vývoj toku a to jak v příčném profilu, tak směrových poměrech. Proto má tok mělké široké koryto s mírnými svahy. V případě průtoku větších povodňových stavů dojde patrně v místech vnějších oblouků k destrukci svahu a jinde k sedimentaci většího množství neseného materiálu. Zde je ale tento stav naprosto žádoucí, tok má prostor v plytké nivě vytvářet vlastní koryto.

V dnešní době je možnost provedení kompletní revitalizace toku velmi ovlivněna majetkoprávními vztahy na pozemcích v bezprostředním okolí toku; pokud nemáme k dispozici dostatečně široký pás pro realizaci, jsme odkázáni jen na stávající upravené koryto a tedy i na značně omezené možnosti revitalizačních opatření.

ZÁVĚR

V rámci předkládané práce byl podrobně hodnocen tok T12 v Orlickém Záhoří, po provedených revitalizacích. Na základě získaných podkladů (pro-

jektových dokumentací) byl zjištěn stav tok před revitalizací. Na toku T12 proběhlo podrobné geodetické zaměření koryta a všech objektů na sledované části toku. Při terénním šetření byly také odebrány vzorky materiálů dna a svahů v korytě.

Po získání dostatečných informací o stavu koryta toku před a po revitalizaci byly spočítány geometrické a hydraulické charakteristiky koryta. Odebrané vzorky zemin byly na základě zrnitostních rozborů zatříděny dle ČSN 731001.

Po zjištění charakteristik profilu koryta toku a materiálu dna a na svazích bylo přistoupeno k hodnocení stability koryta toků na základě výpočtů, nevymílacích/nezanášecích rychlostí, výpočtu tangenciálních napětí na dně a na svazích a v poslední řadě pak hodnocení rychlostí v konkrétním místě příčného profilu porovnáním s dovolenou rychlostí (namáháním) daného materiálu dle tabulek (Krešl, Bartůňková; 1993).

Pro podrobný přehled o proudění v korytě sledovaného toku byl využit program HYDROCHECK. Zde byly vloženy trasa toku před a po revitalizaci a modelováno proudění zadaných průtoků Q_5 , Q_1 , Q_{355} (Q_a). V programu byly vyneseny hladiny při proudění těchto průtoků, zjištěné hloubky při daném průtoku a sklony hladin byly dále využity při výpočtech stability. Podrobné svislicové rychlosti v jednotlivých profilech, které byly v programu spočítány, byly dále posuzovány v rámci hodnocení stability koryta toku.

Výsledné výpočty stability prokázaly, že jednotlivé metody mohou dávat rozdílné výsledky. Zvláště patrné je to u výpočtu nevymílacích rychlostí, kde výsledek velmi ovlivní výběr použitého vzorce. Materiál v korytě toku nezaručuje stabilitu profilu při průtocích Q_5 či Q_1 . Pokud ovšem bude na svazích zachován travní drn, pak proudění vody při kapacitních průtocích odolají. U toku T12, kde byla provedena kompletní revitalizace toku, došlo k výraznému posílení stability, výsledky výpočtu tečných napětí se velmi blíží stabilnímu stavu.

Revitalizace na toku T12 přispěla ke zlepšení stavu koryta a to jak vzhledem k jeho oživení, tak i stabi-

litě. V korytě se střídají úseky s rychle proudící vodou (na stabilizovaných skluzích) a úseky s pomalým proudem.

Realizace komplexních revitalizačních opatření přispívá ke zlepšení stavu toku a jeho okolí, přispěje

k vytvoření a rozvoji nových habitatů (rozčleněním trasy toku a koryta jak v podélném, tak příčném profilu) a tím také k biologickému oživení toku.

revitalizace, dno toku, stabilita, proudění

SUMMARY

In this project, an evaluation of stream after revitalization measures – stream T12 in Orlické Záhoří was done. It was determined status of stream before revitalization on the base of obtained project documents. Actual status of stream-beds was evaluated by way of particular terrain reconnaissance. Stream-bed and all structures at chosen part of the stream T12 was geodetically located in detail and soil samples from stream-bed ground and slopes were taken.

When it was obtained sufficiency of information about stream-bed status before and after revitalization, geometric and hydraulic characteristics of stream-bed was calculated. Taken soil samples were classified on the base of grain size and Czech standard CSN 731001.

Evaluation of stream-bed stability came next determination of stream-bed profiles and stream-bed ground material characteristics. Evaluation was based on calculations, nonscouring velocities, calculation of tangential stress and evaluation of velocities at concrete position of transversal profile and their comparison with tabular permissible velocity for stream-bed material.

For detailed summary about flows in chosen stream a computer program HYDROCHECK was used. By this program the location of stream before and after revitalization was inserted and discharges Q_5 , Q_1 , Q_{355} (Q_a) were graphically created. So there were created water levels of these discharges, determined depths for each discharge and next, level slopes were used for stability calculation. In Hydrocheck the mean velocities in vertical for individual profiles too were calculated. They were considered next in the frame of stream-bed stability evaluation.

Resulting calculations of stability show, that several methods can give different results. It is evident especially by calculation of nonscouring velocities, where the selection of formula mostly affects the result. Material in stream-bed can't warrant profile stability for discharges Q_5 or Q_1 . But if there is a grass sod at slopes, stream bed will resist the water flow in these discharges. Stream T12, where revitalization was comprehensive, improvement of stability is significant. Results of tangential stress calculation are close to stabile status.

Revitalization of stream T12 certainly achieves an improvement of stream-bed. It caused improvement of stream-bed status appearance, revival and stability. There are alternated sections with quick flowing water (at stabilized chutes) and sections with slow flows in the stream bed.

Práce byla zpracována za finanční podpory výzkumného záměru č. 6215648902, dílčího úkolu Revitalizační opatření vodních toků, niv a pramenných vývěrů 2/6/2, uděleného MŠMT ČR.

LITERATURA

- AGROPROJEKT, 1986: Odvodnění pozemků Orlické Záhoří III. Projektová dokumentace, Závod Pardubice
- EHRLICH, P., GERGEL, J., ZUNA, J., NOVÁK, L., MERUŇKA, K., 1996: Metodické pokyny pro revitalizaci potoků. Metodika 20, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 70 pp.
- EHRLICH, P., ZUNA, J., NOVÁK, L., ŠLECHTA, V., KŘOVÁK, F., 1994: Revitalizační úpravy potoků – objekty. Metodika 14, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 80 pp.
- GERGEL, J., EHRLICH, P., 1999: Možnosti hodnocení účinnosti revitalizace drobných vodních toků. Krajínově programy 1999, Příbram, 55–57.
- HANNSMANN, J., 1978: Co jsou malé vodní toky. Informační zpravodaj Povodí Vltavy, ročník III, č. 4: 7–9.
- HODOVSKÝ, J. et al., 1998: Metodika hodnocení revitalizačních úprav povrchových tekoucích vod. Státní meliorační správa, Brno, 37 pp.
- JANDA, J., 1978: Zvláštnosti povodňové služby na malých tocích. Informační zpravodaj Povodí Vltavy, ročník III, č. 4: 33–34.
- JŮVA, K., HRABAL, A., TLAPÁK, V., 1984: Malé vodní toky. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 256 pp.
- JŮVA, K., TLAPÁK, V., 1975: Úpravy toků. Vysoká škola zemědělská v Brně, 213 pp.
- KLÍVAR, D., 2002: Ověření vhodnosti opatření používaných v revitalizaci říčních systémů pro rozvoj bentosu. Brno, 128 pp.
- KREŠL, J., BARTŮŇKOVÁ, P., 1993: Lesnické meliorace (cvičení). Vysoká škola zemědělská v Brně, 144 pp.

- MAREŠ, J., 2001: Revitalizace toku T12 – Orlické Záhoří, Projektová dokumentace, Bolehošť, nestránkováno.
- MAREŠ, K., 1997: Úpravy toků (Navrhování koryt, ČVUT Praha).
- ŠINDLAR, M., 1999: Revitalizace toků a jejich niv jako součást protipovodňové ochrany. Krajino-
tvorné programy 1999, Příbram, 29–37.
- ŠLEZINGR, M., 1998: Vliv vegetačního doprovodu na obnovu a stabilizaci říčních ekosystémů. Mezinárodní konference: Kvalita vod '98, Luhačovice, 105–109.
- TLAPÁK, V., PRUDIL, S., 1985: Charakteristika, význam a využívání malých toků. In: Kolektiv autorů, 1985: Inženýrská výstavba a voda v zemědělských soustavách, díl VI., Ediční středisko VŠZ v Brně, Brno, 54–84.
- TLAPÁK, V., ŠÁLEK, J., LEGÁT, V., 1992: Voda v zemědělské krajině. Zemědělské nakladatelství Brázda, Praha, 320 pp.
- ZUNA, J., 1984: Úpravy toků s malým povodím v rámci meliorační výstavby. In: Kolektiv autorů, 1984: Inženýrská výstavba a voda v zemědělských soustavách, díl III., Ediční středisko VŠZ v Brně, Brno, 36–62.
- ZUNA, J., 1999: Vliv úprav toků a revitalizací potoč-
ních koryt a niv na odtok velkých vod. Krajino-
tvorné programy 1999. Příbram, 38–41.

Adresa

Ing. Jana Synková, Ústav tvorby a ochrany krajiny, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: synkova@mendelu.cz

