
GEOGRAFICKÝ ČASOPIS

58

2006

4

*Anna Grešková, Milan Lehotský**

STAV PLNÉHO KORYTA A JEHO VÝZNAM PRE POZNÁVANIE A MANAŽMENT MORFOLÓGIE VODNÝCH TOKOV

A. Grešková, M. Lehotský: The bankfull stage and its importance for the recognition and management of river channel morphology. Geografický časopis, 58, 2006, 4, 1 fig., 1 tab., 35 refs.

The paper is devoted to explanation of some theoretical and methodological aspects of the bankfull concept. The present world fluvial geomorphology is focused on the analysis of „physical condition“ of the riverbed, which is determined and controlled by combination of global, general laws and relationships mostly independent on time and/or place factors. The key concept of bankfull and its parameters are considered relevant water stream characteristics not only in hydrological and morphological terms. Knowing them is crucial for applications in a wide spectrum of problems starting with the solutions involved with the balanced state of fluvial systems including their development, behaviour and changes and ending with improvement of the river ecosystems and water stream management. The aim of the paper is to explain the meaning of basic terms, to describe the methods and procedures applied to identification, computation or estimation of bankfull and to point to their applicability in research into the behaviour, changes and development of riverbed morphology.

Key words: bankfull stage, bankfull discharge, bankfull hydraulic geometry, channel adjustment, changes of channel morphology

ÚVOD

Riešenie problematiky rovnovážneho stavu fluvialných systémov, a teda aj ich vývoja, správania a zmien, založené na množstve experimentálnych meraní

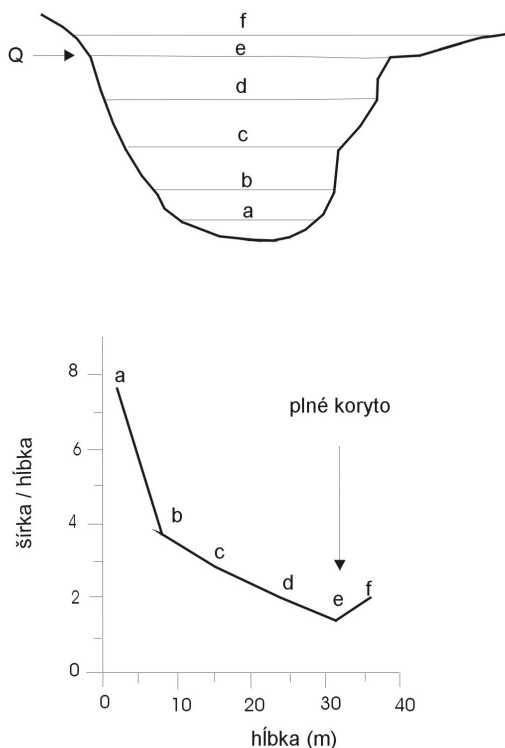
*Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava

v laboratóriách, ako aj v teréne získaných dát a poznatkov, vyústilo v ostatnom období do tvorby uceleného systému poznatkov, formulovania kľúčových otázok zmien časového a priestorového statusu parametrov riečnych systémov a do koncipovania základných princípov správania a zmien morfológie riečnych koryt (Schumm a Litchy 1965). Koryto každého vodného toku má tendenciu postupného prirodzeného ustáľovania sa a počas svojho vývoja, za stáleho prispôsobovania sa určitému pretekajúcemu množstvu vody a sedimentov smeruje k dosiahnutiu rovnovážneho stavu (*equilibrium*). Tento stav ako produkt evolúcie koryta by nemal byť chápaný ako „konečný stav“, ale ako procesne podmienený stav dynamickej rovnováhy. Všeobecne môžeme konštatovať, že koryto daného riečného úseku sa nachádza v stave dynamickej rovnováhy, keď si zachováva v geomorfologickom čase (Lehotský 2005) kvázi rovnakú formu a nedochádza k výrazným morfológickým zmenám, t. j. zmeny v hydrologickom režime alebo režime sedimentov nevedú ku kvantifikovateľnej odozve koryta v zmysle progresívnej erózie alebo depozície.

K riešeniu načrtnutého širokého spektra problémov nesporne prispela postúľacia stavu plného koryta (*bankfull*). Súčasná svetová fluvialná geomorfológia zameriava morfológickú analýzu na „fyzický stav“ koryta, ktorý je ovládaný a riadený kombináciou globálnych, všeobecných zákonov a vzťahov, ktoré sú z veľkej časti nezávislé od času a daného miesta a lokálnych s časom a/alebo miestom súvisiacich faktorov. Kľúčový pojem „bankfull“, ako aj jeho parametre sú považované za relevantné charakteristiky vodného toku nielen v hydrologickom a morfológickom zmysle, ale ich poznanie a aplikácia má svoj opodstatnený význam pre široké spektrum aktivít zameraných od zachovania a zlepšenia stavu riečnych ekosystémov až po manažment vodných tokov a environmentálne plánovanie riečnej krajiny. Preto považujeme za potrebné a užitočné venovať pozornosť tejto problematike podrobnejšie, objasniť význam kľúčových odborných termínov, priblížiť metódy, postupy a okruh problémov s tým súvisiacich a sprostredkovať ich komunite slovenských fluvialných geomorfológov.

DEFINOVANIE ZÁKLADNÝCH POJMOV GEOMETRIE PLNÉHO KORYTA

Všeobecne sa termín „bankfull“ používa k opisu stavu koryta vodného toku tesne pred vybrežením a rozliatím sa do okolia, resp. k opísaniu miesta zmeny (*breakpoint*) kde končí aktívne koryto vodného toku a korytotvorné procesy sú vystriedané procesmi nívňovými, resp. svahovými. Najjednoduchšie objasnenia termínu „bankfull“ sú založené na definovaní hornej úrovne brehu (*top of the channel bank*), prekročením ktorej sa začína voda vylievať z koryta do okolia a vzniká povodeň (Williams 1978, Leopold et al. 1964). Wolman a Leopold (1957) ju kládli na úroveň aktívnej nivy, Schumm (1960) na úroveň nízkeho povodňového stupňa, zatiaľ čo Woodyer (1968) na úroveň stredného povodňového stupňa pre rieky s tromi až štyrmi povodňovými stupňami. Ešte raz Wolman, ako aj ďalší (Wolman a Leopold 1957, Lewis a McDonald 1973), za ňu považujú priemernú výškovú úroveň najvyšších povrchov lavíc v koryte. Inú definíciu, opierajúcu sa o úroveň od ktorej nastupuje pereniálna vegetácia, podal Schumm (1960) a Bray (1972). Niektorí autori spájajú stav plného koryta so zmenou priečného profilu koryta, napr. Wolman (1955) a Knighton (1998) ho definujú ako úroveň, na ktorej pomer šírky a hĺbky priečného profilu koryta je minimálny (*width/depth ratio*, obr. 1).



Obr. 1. Identifikácia plného koryta pomocou pomeru šírky a hĺbky priečného profilu (Pyrce 2003, modifikované)

Napriek tomu, že definícia tohoto pojmu je problematická, všeobecne je zaužívaný k popisu stavu, ktorý nastáva pri naplnení prietokového profilu a v hydrologickom zmysle môže byť definovaný tomu odpovedajúcim prietokom alebo úrovňou hladiny v plnom prietokovom profile. Pre stav plného koryta sú odvodené a definované základné *charakteristiky opisujúce profilovú geometriu koryta*, a to šírka a hĺbka plného koryta, plocha plného prietokového profilu.

Hĺbka plného koryta (bankfull depth) je meraná pri prietoku plným prietokovým profilom (môže sa stanoviť priemerná, maximálna a stredová hĺbka plného prietokového profilu). Maximálna je nameraná ako vertikálna vzdialenosť v najnižšej časti dna koryta a priemerná sa vypočíta z viackrát nameraných hodnôt (napr. v 10 rovnomerných vzdialenostiach) na priečnom profile.

Šírka plného koryta, šírka plného prietokového profilu (bankfull width) je šírka koryta nameraná na priečnom profile medzi hranami brehov, resp. hranou jedného brehu a svahom protiľahlého brehu v čase prietoku plným prietokovým profilom. Je charakteristikou, ktorú možno opakovateľne zmerať, ale často je ťažko identifikovateľná v teréne, najmä v prípade plytko vnoreného koryta vodného toku (*channel entrenchment*).

Plocha plného koryta, plocha plného prietokového profilu (bankfull cross-section area) je plocha priečneho profilu, ktorú uzatvára šírka plného prietokového profilu a jej prislúchajúci omočený obvod koryta.

Uvedené parametre profilovej geometrie plného koryta slúžia k stanoveniu a odvodeniu ďalších charakteristík (Lehotský a Grešková 2005) akými sú: potenciálne zaplavované územie (*flood prone area*), miera zarezania koryta (*incision ratio*), hydraulický rádius (*hydraulic radius*), pomerná šírka plného prietokového profilu (*relative width*) a relatívna drsnosť dna (*relative roughness*). Názorné postupy zisťovania základných geometrických charakteristík sú uvedené v citovanej práci.

Prietok odpovedajúci stavu plného koryta, nazývaný ako *prietok plným korytom*, resp. *prietok plným prietokovým profilom (bankfull discharge, bankfull flow)*, je definovaný ako množstvo vody pretekajúce za jednotku času plochou plného prietokového profilu. Všeobecne sa považuje za prietok, ktorý je „zodpovedný“ za formovanie morfológického stavu koryta a ktorý dáva základnú pečať jeho tvaru a veľkosti. Vo svetovej odbornej literatúre nachádzame viacero definícií termínu „*bankfull discharge*“, z ktorých uvádzame aspoň niektoré. Podľa autorov Wolmana a Millera (1960) môže byť opísaný ako objem vody, ktorým je transportovaná najväčšia časť splavenín v roku, podľa Olsena et al. (1997) je to prietok, ktorý dáva do pohybu väčšiu časť dnového materiálu a utvára korytovú morfológiu, resp. sa opakuje raz za 1,5-2,5 roka (Bray 1982, Sear et al. 2003). V súčasnosti za všeobecne akceptovateľnú a univerzálne aplikovateľnú definíciu termínu „*bankfull*“ sa považuje definícia, ktorú podali Dunne a Leopold (1978): “The bankfull stage corresponds to the discharge at which channel maintenance is the most effective, that is, the discharge at which moving sediment, forming or removing bars, forming or changing bends and meanders, and generally doing work results in the average morphologic characteristics of channels.”

Z empirických poznatkov vyplýva, že na formovaní koryta sa podieľajú všetky prietoky, pri ktorých nastáva pohyb splavenín (s výrazným podielom splavenín pôvodom z koryta). Avšak nie všetky prietoky sa rovnakou mierou podieľajú na procese formovania koryta. Veľké prietoky majú síce veľký výkon (*stream power*¹), intenzitu, vymieľaciu schopnosť a pri veľkom objeme vody transportujú veľké množstvo materiálu, avšak vyskytujú sa zriedkavo a trvajú spravidla krátko, preto nemajú dostatočný čas na pretváranie koryta, resp. spôsobujú iba epizodické pretvorenie koryta. Naproti tomu druhý extrém, malé prietoky vyskytujúce sa oveľa častejšie a pretrvávajúce dlhšie, nemajú na výraznejšie pretváranie morfológie koryta dostatok energie. Je to práve prietok pl-

¹ Výkon rieky (*stream power*) sa zvykne počítat' pre podmienky plného koryta a je definovaný ako množstvo práce vykonanej riekou: „The rate of doing work, or a measure of the energy available for moving rock, sediment particles, or woody or other debris in the stream channel, as determined by discharge, water surface slope, and the specific weight of water“ (Sear et al. 2003, p. 124)

Celkový výkon rieky na jednotku dĺžky (*total stream power per unit channel length*) $\Omega = \gamma Qs$ ($W \cdot m^{-1}$)

γ – špecifická tiaž vody ($= 9810 \text{ N} \cdot \text{m}^{-3}$), Q – prietok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), s – sklon ($\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$)

Špecifický výkon rieky (*specific stream power*) $\omega = \Omega / W_{bf}$ pre jednotku korytovej šírky ($W \cdot \text{m}^{-2}$)

W_{bf} – šírka plného koryta (m)

ným korytom, ktorý sa vyskytuje dostatočne často a je dostatočne účinný na to, aby vykonal najväčší objem geomorfologickej práce pri utváraní tvaru a veľkosti koryta v porovnaní s ostatnými prietokmi. Často sa označuje aj ako *efektívny prietok* (*effective discharge*) alebo *korytotvorný prietok* (*channel-forming discharge*), čo však platí iba pre aluviálne rieky v kvázi rovnovážnom stave. Tu považujeme za potrebné upozorniť na malé, ale existujúce diferencie. Wolman a Miller (1960) ho nazývajú efektívnym prietokom, lebo vykoná v porovnaní s inými prietokmi najväčšiu geomorfologickú prácu.

Mnohé súčasné výskumy spájajú „*bankfull discharge*“ s dominantným prietokom, ktorý využíva teória režimu (ustálenosti), a efektívny prietok s prietokom, ktorý je najúčinnnejší z hľadiska transportu sedimentov, pretože dáva do pohybu najviac zo sedimentovej záťaže (*sediment load*).

PRIESKUM A IDENTIFIKÁCIA PLNÉHO KORYTA

Ako vyplýva z vyššie uvedeného, termín plné koryto, resp. stav plného koryta má hydrologický aj morfológický význam. V hydrologickom zmysle sa zaň všeobecne považuje úroveň hladiny dosahovaná v priemere raz za 1,5-2,5 roka. Laboratórne experimenty, ako aj v teréne získané poznatky a dáta potvrdili existenciu tesnej korelácie medzi stavom plného koryta a morfológickými parametrami koryta. Morfológicky je stav plného koryta identifikovateľný v teréne, pričom k hlavným indikátorom patria najčastejšie: úroveň aktívnej nivy, povrch dobre vyvinutej bočnej lavice, resp. vrcholovej lavice, zmeny brehovej vegetácie, sklonu brehu, zmena textúry sedimentov atď. (tab. 1). Viacerí autori (Williams 1978, Knighton 1998) upozorňujú na skutočnosť, že korektná identifikácia úrovne plného koryta v teréne môže byť problematická a zaťažená subjektívnosťou. Tak ako existuje určitá nejednotnosť v definovaní termínu „*bankfull*“, tak isto sa stretávame s rôznorodými metódami identifikácie v teréne (napr. Wolman a Leopold 1957, Schumm 1960). Správna identifikácia plného koryta je nesporne základným problémom ekologicky akceptovateľného tvaru a dimenzií priečných profilov, ako aj akéhokoľvek revitalizačného plánu rieky. Potrebné je zdôrazniť, že plné koryto môže byť na základe skúseností a praxe správne a dôsledne identifikované iba pre stabilné a mierne nestabilné riečne, resp. korytové úseky.

V odbornej literatúre existujú aj ďalšie príklady doložené praktickými poznatkami získanými v teréne. Príkladom môže byť zmienka v práci Harmana et al. (1999) o tom, že najviac konzistentným morfológickým indikátorom plného koryta vodných tokov v Severnej Karolíne sú najvyššie vybrúsené erózne línie pri základni (na zadnej strane) vrcholovej lavice. Takéto indicie sme mali možnosť pozorovať aj my napríklad na vrcholovej lavici na Dunaji v Hainburgu. Problematike identifikácie plného koryta v teréne sú venované viaceré práce a odborné príručky (Leopold 1994, Kline 2003, Pyrcie 2003, Powell et al. 2004). Aj z vyššie uvedeného je zrejmé, že identifikácia plného koryta si vyžaduje individuálny prístup ku každej rieke. Najlepším výsledkom pracovných postupov v teréne je rozpoznanie viacerých, resp. všetkých indikátorov úrovne plného koryta, ktoré sa dajú nájsť v danom riečnom úseku.

Tab. 1. Metódy identifikácie plného koryta (modifikované a doplnené podľa Pyrcce 2003)

Metódy	Spôľahlivosť	Poznámky
1. hrana brehu	vysoká	U plytko zarezaných koryt s malým sklonom môže byť úroveň plného koryta na úrovni hrany brehu.
2. inflexné body profilu brehu	vysoká	Pri zvýšených prietokoch prebieha vertikálna a laterálna erózia koryta s následkom vzniku zálomov v profile brehu, čo indikuje na stav plného koryta. Najlepšie sú rozpoznateľné na úsekoch bez brehovej vegetácie, resp. s riedkou vegetáciou.
3. zmeny v materiáli brehu	vysoká	Zmena fácie brehových sedimentov z jemnejších na hrubšie môže naznačovať stav plného koryta, musí sa ale zohľadniť zrnitosť charakter podloží fácií. Prechod brehového materiálu môže byť od súdržného k nesúdržnému, alebo od organického k neorganickému.
4. vegetácia	stredná	Väčšina rastlín (najmä korene stromov a kríkov) buď vodu toleruje, alebo nie a stav plného koryta môžu indikovať odhalené korene. Určitým rastlinným druhom sa najlepšie darí nad stavom plného koryta. Hĺbka, do akej na brehu prenikajú korene je tiež jedným z indikátorov.
5. maximálna výška povrchu vrcholovej lavice	vysoká	Úroveň povrchu vrcholovej lavice, ktorá býva obvyčajne zaplavená iba pri prietoku plným korytom, môže byť spoľahlivým indikátorom plného koryta.
6. línia odpadu, usadené povlaky suspenzie	nízka	Jemné zvyšky dreva, tráv a usadené povlaky suspenzie na povrchu vegetácie (kmeňov, listov) môžu slúžiť ako indikátory nedávnej hladiny toku, ale nemusia naznačovať stav plného koryta. Sú dobrým indikátorom povodňových stavov.
7. prítomnosť nôr alebo hniezd	stredná	Zvieratá majú sklon robiť si nory a hniezda tesne nad stavom plného koryta

SPÔSOBY ODHADU A VÝPOČTU PRIETOKU PLNÝM KORYTOM

Ak sme konštatovali, že definíciu prietoku plným prietokovým profilom podáva iba niekoľko autorov, treba dodať, že ešte menej ich popisuje postup, ako vypočítať túto hodnotu. Presné meranie jeho hodnoty je veľmi ťažké, pretože sa vyskytuje veľmi zriedkavo. Časový výskyt týchto prietokov, ich krátke trvanie, ako aj nebezpečenstvá súvisiace s meraním týchto hodnôt v čase vyšších prietokov však limitujú možnosti ich získania. Ak bol stav plného koryta určený expertne v teréne, potom môžeme prietok plným korytom odhadnúť pomocou hydrometrovania, metódy, ktorá spočíva v meraní rýchlosti prúdenia vody a v zameraní plochy plného prietokového profilu. Ak nemáme k dispozícii terénne merania, existuje niekoľko možností odhadu prietoku plným prietokovým profilom. Jednou z možností je napr. využitie regionálnych kriviek, ktoré sa využívajú aj ako pomôcka pri verifikácii, či danú, v teréne identifikovanú morfo-

logickú charakteristiku môžeme/nemôžeme považovať za indikátor plného koryta. Ak je k dispozícii vodomerná stanica, môže byť jeho hodnota získaná (stanovená) na základe vzájomných vzťahov medzi vodným stavom (H) a prietokom Q, kde $Q = f(H)$, pričom konzumčná (merná) krivka prietokov (*rating curve*) má zväčša tvar paraboly. Ak nemáme terénne merania, ale sú k dispozícii dlhšie pozorované rady prietokov (historické záznamy), môžeme prietok plným prietokovým profilom odhadnúť pomocou nich, využívajúc publikované intervaly pravdepodobnosti opakovania sa ich výskytu. Pre rieky bez hydrologických pozorovaní sa môže prietok plným korytom vypočítať pomocou Manningovej rovnice. Spôsob výpočtu (platí pre anglické dĺžkové miery – ft) približuje napr. práca Harmana et al. (1999), kde sa plocha prietokového profilu a hydraulický rádius vypočítajú na základe dát z terénneho prieskumu a údaje o koeficiente drsnosti sa odhadujú pomocou priemernej hĺbky plného koryta a charakteru materiálu dna koryta.

$$Q = 1,4865 AR^{2/3} S^{1/2} / n$$

kde R = hydraulický rádius (ft), A = plocha prietokového profilu (ft²), S = priemerný sklon koryta (ft/ft), n = Manningov koeficient odhadnutý pomocou priemernej hĺbky plného koryta a charakteru materiálu dna koryta.

Nové a široké možnosti odhadu a výpočtu prietoku plným korytom nám v súčasnosti poskytujú viaceré „softvérové balíky“, ktoré využívajú morfológické parametre koryta získané terénnym meraním.

KONCEPT HYDRAULICKEJ GEOMETRIE PLNÉHO KORYTA

K výrazným a podstatným zmenám morfológie koryta dochádza najmä v čase akcelerácie erózných a depozitných procesov, ktoré nastávajú za iných vodných stavov a prietokov. Pre erózne a depozitné procesy spôsobujúce morfológické zmeny koryta predstavuje stav plného koryta maximálnu diskontinuitu. Ako uvádza Lehotský (2005), hlavné erózne a depozitné procesy, vyvolávajúce zmeny morfológie, prebiehajú za iných vodných stavov, avšak základné atribúty morfológie koryta riečného úseku, resp. korytového úseku sa utvárajú za stavu plného koryta. Rovnovážny, ustálený stav nastáva, ak objem vody a množstvo sedimentov v koryte rieky sú v dynamickej rovnováhe za neustáleho pohybu po toku (*downstream*). Ako to názorne zobrazujú Laneho váhy (Lane 1955) zmena jedného vyvoláva odozvu, ktorá sa prejaví v zmene druhého. Zmeny v sklone, zrnitosti sedimentov a drsnosti dna koryta, v množstve sedimentov a vody môžu rozkolísať rovnováhu a iniciovať procesy smerujúce od agradácie k degradácii, resp. od degradácie k agradácii, čo v konečnom dôsledku vyústí do zmien morfológie koryta a formovania nového stavu rovnováhy v závislosti na stupňoch voľnosti (*degrees of freedom*). Rieky majú z hľadiska ich prispôsobovania, a tým aj smerovania k ustálenému stavu pri stave plného koryta najmenej osem závisle premenných, a tým aj osem stupňov voľnosti (Hickin 1983, Hey 1997). Štandardne sa za stupne voľnosti považujú: šírka koryta, hĺbka prietokového profilu, sklon koryta, rýchlosť prúdenia, zrnitosť dnových sedimentov, stupeň kľukatosti koryta, prietok sedimentov a drsnosť dna. Macura et al. (2002) uvádza, že k tomu, aby nastal v koryte vodného toku ustálený stav (rozumej equilib-

rium), musí rýchlosť vody a jej unášacia sila (*drag power*)² klesnúť pod hodnotu rovnajúcu sa odporu koryta proti vymieľaniu. Keďže rýchlosť vody a jej unášacia sila sú ovplyvňované pozdĺžnym sklonom toku, vytvára sa sklon podľa odplaviteľnosti, resp. neodplaviteľnosti dnového materiálu.

Napriek širokej rôznorodosti morfológických charakteristík (časovej aj priestorovej), vyskytujúcich sa v rámci jedného konkrétneho toku, či medzi viacerými tokmi, existujú určité všeobecné zákonitosti v prirodzenom vývoji morfológie koryt a v správaní sa vodných tokov. Tieto sú formulované v regionálnych rovniciach a režimových rovniciach (rovnice ustálenosti). Základy teórie ustálenosti riečnych koryt (Kennedy 1906, Lacey 1934) vyústili a umožnili skoncipovať koncepciu *hydraulickej geometrie plného koryta* (*bankfull hydraulic geometry*), za základy ktorej sú považované práce Leopolda a Maddocka (1953) a Leopolda et al. (1964). Leopold et al. (1964) opísali dva typy zmien hydraulickej geometrie, a to profilovú (*at-a-station*) a úsekovú (*downstream*). Tieto sú za stavu plného koryta vyjadrené vzťahmi:

1. medzi prietokom plného koryta a dimenziami koryta (šírkou, priemernou hĺbkou, priemernou rýchlosťou prúdenia, sklonom vodnej hladiny, kritickou drsnosťou dna a množstvom splavenín) a sú opísané režimovými rovnicami (režimovými krivkami),
2. medzi dimenziami koryta a príslušnou plochou povodia a sú opísané regionálnymi rovnicami (regionálnymi krivkami).

U nás problematike uštalovania riečnych koryt venovali pozornosť Macura, (1987), Macura et al. (2002) a Jakubis (2002, 2004 a 2005), ktorý sa zaoberal vzťahmi hydraulickej geometrie v prirodzene ustálených korytách, ako aj problematikou aplikácie regionálnych a režimových rovníc (kriviek) v posudzovaní vývoja koryta. Na príklade Vajsovho potoka stanovil (Jakubis 2005) regionálne rovnice pre charakteristiky plného koryta a kvantifikoval regresné a korelačné závislosti: medzi prislúchajúcou plochou povodia – S_p (*watershed drainage area*) a šírkou plného koryta – B (*bankfull width*), medzi S_p a plochou plného prietokového profilu – S_{pp} (*bankfull cross sectional area*), medzi S_p a priemernou hĺbkou plného koryta – H (*bankfull mean depth*) a medzi S_p a prietokom plným korytom – Q_b (*bankfull discharge*).

Treba mať na pamäti, že nie pre všetky rieky je definovateľná geometria plného koryta (napr. pre rieky zahĺbené v skalnom podloží, ktoré nemajú aktívnu nivu, alebo pre silne narušené a degradované, zarezané rieky, ktoré už nie sú v interakcii s nivou). Koncept hydraulickej geometrie je dobre aplikovateľný pre kvázi rovnovážne aluviálne korytá utvárané prúdiacou vodou, ale nie je aplikovateľný pre korytové úseky, kde dominujú erózne alebo depozitné procesy, ako sú napríklad aluviálne vejáre, delty a zdrojové zóny.

Vzťahy hydraulickej geometrie plného koryta sú cenné tak pre hydrológov a morfológov, ako aj pre inžinierov, biológov a ekológov zapojených do revitalizácie a ochrany vodných tokov. Veľký význam a využitie majú pre predikciu morfológických zmien a odhad dimenzií plného koryta a prietoku pre povodia

² Unášacia sila (*drag power*) – sila vodného prúdu, ktorou pôsobí na dno koryta. Množstvo, veľkosť a hmotnosť splavenín, ktoré sa pohybujú na dne koryta, závisí od veľkosti unášacej sily. Pohyb splavenín určitej veľkosti je možný iba po dosiahnutí určitej hodnoty unášacej sily.

bez hydrologických pozorovaní, napomáhajú napr. pri hodnotení stability dna a brehov koryta, poskytujú cenné podklady pre prírode blízke úpravy vodných tokov, pre návrh prietokových profilov upravovaných vodných tokov a pre revitalizáciu koryt vodných tokov narušených extrémnymi hydrologickými javmi (povodňami), resp. eróznymi procesmi, ako aj nevhodne upravených a modifikovaných koryt vodných tokov. Režimová teória a jej „následník“ hydraulická geometria plného koryta vytvorili bázu pre veľké množstvo prác vo fluvialnej geomorfológii, zameraných na identifikáciu a definovanie geometrických vlastností rovnovážnych aluviálnych koryt a ich adjustácií k prietokovému režimu a režimu transportu sedimentov.

ZÁVER

Poznanie a osvojenie si vyššie uvedených skutočností zaiste pomôže k lepšiemu pochopeniu vzájomných vzťahov, príčin a účinkov, ktoré ovládajú a riadia vývoj morfológie riečnych koryt. Skutočnosťou však zostáva, že aj napriek dlhoročným snahám o formalizáciu zložitých procesných vzťahov sa dodnes nepodarilo jednoznačne opísať tieto zložité a premenlivé procesy a závislosti (Lehotský 2005).

Ako upozorňujú vo svojej práci Powell et al. (2004), napr. v USA sa pri tvorbe revitalizačných plánov (*restoration designs*) využívajú v súčasnosti rovnice hydraulickej geometrie, ktoré sú staré niekoľko dekád a nereflektujú lokálne a regionálne podmienky a v konečnom dôsledku môžu vyústiť do projekčných chýb. Snahy predpovedať a plánovať (dizajnovat') stabilné charakteristiky koryta boli spojené s nedostatkom regionálnych rovníc, ktoré definujú vzťahy medzi veľkosťou povodia, prietokom plného koryta a premennými hydraulickej geometrie, ako sú priemerná hĺbka, šírka a plocha prietokového profilu pri prietoku plným prietokovým profilom. Tieto vzťahy sú relatívne konštantné pre ustálené toky daného typu a v rámci daného hydrofyziografického regiónu (Rosgen 1996). Ako uvádzajú Powell et al. (2004), Rosgenov klasifikačný systém (1994), podobne ako aj iné, poskytuje konzistentný, reprodukovateľný opis riek pre hodnotenie stability koryt a/alebo výpočet a projektovanie stabilných hydraulických podmienok pre rieky bez hydrologických pozorovaní. Niektoré charakteristiky korytovej morfológie, odpovedajúce plnému korytu sú kľúčovými parametrami v Rosgenovom klasifikačnom systéme, pretože majú relatívne konštantné vzťahy s plochou povodia v prípade stabilných riek v danom regióne. Takýmto parametrom je index vnorenia, index šírka/hĺbka, sklon dna koryta, stupeň kľukatosti a charakter dnového materiálu (Rosgen 1996).

Aplikácia načrtnutých postupov napomáha hlbšie pochopiť nielen správanie riečnych systémov, ale aj predpovedať zmeny a odozvu ako procesov, ako aj morfológie riečnych systémov vo vzťahu ku klimatickým a environmentálnym zmenám.

Príspevok bol riešený za finančnej podpory grantovej agentúry VEGA v rámci projektu 2/6040/26.

LITERATÚRA

- BRAY, D. I. (1982). Flow resistance in gravel-bed rivers. In Hey, R. D., Bathurst, J. C., Thorn, C. R., eds. *Gravel Bed Rivers*. Chichester (Wiley), pp. 109-133.
- CHURCH, M. (2002). Geomorphic thresholds in riverine landscape. *Freshwater Biology*, 47, 541-557.
- DUNNE, T., LEOPOLD, L. B. (1978). *Water in environmental planning*. New York (Freeman).
- HICKIN, E. (1983). River channel changes: retrospect and prospect. *Special Publications of International Association of Sedimentologists*, 6, 61-83.
- HEY, R., D. (1997). Stable river morphology. In Thorne, R. C., Hey, R. D., Newson, M. D., eds. *Applied fluvial geomorphology for river engineering and management*. Chichester (Wiley), pp. 222-236.
- HARMAN, W. H., JENNINGS, G. D., PATTERSON, J. M., CLINTON, D. R., SLATE L. O., JESSUP, A. G., EVERHART, J. R., SMITH, R. E. (1999). Bankfull hydraulic geometry relationships for North Carolina Streams. In Olsen, D. S., Potyondy, J. P., eds. *AWRA wildland hydrology symposium proceedings*. Bozeman (Montana), pp. 401-408.
- JAKUBIS, M. (2002). Analýza vzájomných závislostí geometrických charakteristík prirodzene ustálených koryt bystrín na neovulkanitoch. *Acta Facultatis Forestalis*, 44, 281-295.
- JAKUBIS, M. (2004). K zákonitostiam morfogenézy bystrinného koryta. *Acta Facultatis Forestalis*, 46, 305-314.
- JAKUBIS, M. (2005). Analýza vývoja koryta bystriny metódou regionálnych rovníc. *Acta Facultatis Forestalis*, 47 (v tlači).
- KENNEDY, R. C. (1906). On the distribution of water for irrigation by measurement. *Punjab Irrigation Paper*, 12.
- KLINE, M., JAQUIT, S., SPRINGSTON, G., CAHOON, B., BECKER, L. (2003). *Vermont stream geomorphic assessment*. Vermont Agency of Natural Resources, Phase 1, 2, 3. (www.vtwaterquality.org)
- KNIGHTON, D. (1998). *Fluvial forms and processes, a new perspective*. New York (Wiley).
- LACEY, G. (1934). Uniform flow in alluvial rivers and canals. *Proceedings of Institute of Civil Engineering*, 239, 1933-1934.
- LANE, E. W. (1955). The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 81, 1-17.
- LEHOTSKÝ, M. (2005). Metodologické aspekty správania a zmien korytovo-nivných geosystémov. *Geomorfológia Slovaca*, 5(1), 34-50.
- LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A. (2005). Základné klasifikačné systémy a morfometrické charakteristiky korytovo-nivných geosystémov. *Geomorfológia Slovaca*, 5(1), 5-20.
- LEOPOLD, B. L. (1994). *A view of the river*. Cambridge (Harvard University Press).
- LEOPOLD, B. L., MADDOCK, T., Jr. (1953). *The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications*. U.S. Geological Survey Professional Paper, 252. Washington, D.C. (U.S. Government Printing Office).
- LEOPOLD, B. L., WOLMAN, G. M., MILLER, J. P. (1964). *Fluvial processes in geomorphology*. San Francisco (Freeman).
- LEWIS, C. P., McDONALD, B. C. (1973). Rivers of the Yukon north slope. In *Fluvial processes and sedimentation. Proceedings of hydrology symposium, University of Alberta, 8-9 May 1973*. Edmonton (University of Alberta and National Research Council of Canada), pp. 251-271.
- MACURA, V. (1987). Príspevok k určeniu a využitiu parametrov stabilného režimu koryt tokov. *Vodní hospodářství*, A 6/87, 152-154.

- MACURA, V., SZOLGAY, J., KOHNOVÁ, S. (2002). *Úprava tokov*. Bratislava (ES STU).
- OLSEN, D. S., WHITAKER, A. C., POTTS, D. F. (1997). Assessing stream channel stability thresholds using flow competence estimates at bankfull stage. *Journal of American Water Resources Association*, 33, 1197-1207.
- POWELL, R. O., MILLER, S. J., WESTERGARD, B. E., MULVIHILL, C. I., BALDIGO, B. P., GALLAGHER, A. S., STARR, R. R. (2004). Guidelines for surveying bankfull channel geometry and developing regional hydraulic-geometry relations for streams of New York State U.S. *Open-File Report 03-92*. New York (Geological Survey).
- PYRCE, R. S. (2003). Field measurement of bankfull stage and discharge. *Waterpower Project Science Transfer Report 2.0*. Toronto (Ontario Ministry of Natural Resources).
- ROSGEN, D. L. (1994). A classification of natural rivers. *Catena*, 22, 169-199.
- ROSGEN, D. L. (1996). *Applied river morphology*. Colorado (Wildland Hydrology).
- SCHUMM, S. A. (1960). The shape of alluvial channels in relation to sediment type. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 352-B, 17-30.
- SCHUMM, S. A., LITCHY, R. W. (1965). Time, space and causality in geomorphology. *American Journal of Sciences*, 263, 110-119.
- SEAR, D. A., NEWSON, M. D., THORNE, C. R. (2003). *Guidebook of applied fluvial geomorphology*. London (Defra).
- WILLIAMS, P. G., 1978. Bankfull discharge of rivers. *Water Resources Research*, 14, 1141-1154.
- WOLMAN, M. G. (1955). The natural channel of Brandywine Creek, Pennsylvania. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 282, 86-109.
- WOLMAN, M. G., LEOPOLD, L. B. (1957). River floodplains: some observations on their formation. *USGS Professional Paper 282-C*. U.S. Washington, DC (Geological Survey).
- WOLMAN M. G., MILLER J. P. (1960). Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. *Journal of Geology*, 68, 54-74.
- WOODYER, K. D., 1968. Bank full frequency in rivers. *Journal Hydrological*, 6, 114-142.

Anna Grešková, Milan Lehotský

THE BANKFULL STAGE AND ITS IMPORTANCE FOR THE RECOGNITION AND MANAGEMENT OF RIVER CHANNEL MORPHOLOGY

One of the most influential paradigms of fluvial geomorphology is that of the bankfull stage and discharge. The channel of any water stream tends towards gradual stabilization and adaptation to a certain discharge and sedimentation while during its development it proceeds towards a balanced state (equilibrium), which is interpreted as the process determined condition of dynamic balance. The dynamically balanced water stream channel preserves an unchanged form and it is subject to no morphological changes – in other words, changes in hydrological regime and in sedimentation regime do not lead to quantifiable response of the channel as far as progressive erosion or deposition are concerned. Bankfull concepts that had their origin in the 1950s contribute to the solution of the outlined wide spectrum of problems. Dunne and Leopold (1978) presented the generally acceptable and universally applicable definition of the term bankfull: “The bankfull stage corresponds to the discharge at which channel maintenance is the most effective, that is, the discharge at which movement of sediment, formation or

removal of bars, formation or changing of bends and meanders, and generally doing work results in the average morphological characteristics of channels.”

Generally, an approach to estimating the bankfull stage and bankfull discharge includes: i) The field assessment of bankfull morphological indicators, ii) A calculation of river discharge using field methods, and iii) A calculation of bankfull discharge using other methods outlined above.

The bankfull concept is important for forecasts of morphological changes and the dimension estimates of the bankfull stage and discharge for ungauged basins, for assessment of bottom bank stability, environmentally friendly adaptations of streams, proposals of discharge profiles and for design of stable river channel characteristics.

Translated by H. Contrerasová