

doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.
Katedra hydrauliky a hydrologie
ČVUT v Praze
Thákurova 7, Praha 6, 166 29

Posudek

doktorské disertační práce Ing. Lukáše Smelíka

Návrh metodiky stanovení součinitele drsnosti otevřených koryt

Autor předkládané práce si jako hlavní cíl zvolil zpracování metodiky pro stanovení nejpravděpodobnější hodnoty Manningova součinitele drsnosti otevřených koryt zejména na základě měřených parametrů konkrétního vodního toku. Dílčími cíly potom bylo shrnutí a podrobná analýza přístupů ke stanovení součinitele drsnosti dle současného stavu poznání, získání vlastních dat vybraných úseků toků a srovnání jednotlivých přístupů. Cílem vlastní tvůrčí části je pak vytvoření rozšířené Cowanovy metody a sestavení algoritmu pro doporučenou hodnotu součinitele drsnosti.

V kapitole Teoretický rozbor se disertant věnuje nejprve historickému vývoji vedoucími ke stanovení průřezové rychlosti proudění v otevřených korytech, faktorům ovlivňujících součinitel drsnosti koryta, drsnosti povrchu, dnovým útvarům, zanášení a vymílání materiálu dna, časové proměnlivosti, rozměrům a nepravidelnosti koryta a vegetaci. V navazujícím textu uvádí autor možnosti stanovení součinitele drsnosti od empirických rovnic, přes dostupné tabulky, fotografické katalogy až po Cowanovu metodu. V závěru kapitoly jsou uvedeny přístupy k vyjádření drsnosti od již uvedeného Malinova součinitele n , přes absolutní drsnost k , různé formy relativní drsnosti, Stricklerovu drsnost až po součinitel ztrát třením λ ,

V souvislosti s rozvojem výpočetních modelů se část práce zabývá možnostmi simulování proudění v otevřených korytech od 1D přístupu až po 3D řešení. Zatímco v případě 1D výpočtů jsou veškeré ztráty mechanické energie popsány pomocí Manningova součinitele drsnosti, u 2D výpočtů se kromě součinitele drsnosti, který má vyjadřovat vliv mikro a makro drsnosti, zadávají zpravidla i parametry využívané v různých modelech turbulence. Ing. Smelik zde uvádí doporučení pracovníků DHI, a.s. používat v případě 2D modelování hodnoty součinitele drsnosti o 20 až 40 % nižší než v případě 1D výpočtů. Z mých vlastních výpočtů na řekách, kde jsem měl k dispozici výsledky 1D i 2D řešení (jednalo se o úseky Odry a Olše), však takové závěry nevyplývají. Při kalibraci modelů na povodňové značky jsem překvapivě musel k dosažení stejných úrovní hladin použít u 2D modelu srovnatelné nebo i mírně větší hodnoty součinitele drsnosti. Vzhledem k malému počtu srovnání však není možné tento závěr zatím zevšeobecnit.

Pro svou analýzu potřeboval autor získat řadu vlastních údajů pro vybrané úseky vodních toků. Celkem se jednalo o 27 měrných tratí vesměs moravských řek. Tato databáze byla následně rozšířena o 1685 externích měření. Pro vlastní tratě byly zvoleny úseky v blízkosti limnigrafických stanic, které nebyly ovlivněny překážkami, oblouky ani spádovými objekty. Po každý úsek bylo zaměřeno minimálně 5 průběhů hladin, a to pro minimální, běžné i zvýšené průtoky. Způsobu

stanovení podélného sklonu hladiny a čáry energie, který je pro vyhodnocení odporů koryta zcela zásadní, je věnován bohužel jen krátký text, zcela jsem postrádal jednoznačnou metodiku pro nezbytné parametry měrných tratí. Naopak dostatečně podrobně je rozebrána problematika zrnitosti materiálu dna. Kromě síťového rozboru a Wolmanovy metody je citován i subjektivní odhad, porovnání všech přístupů je doloženo na ukázce lokalit řek Ostravice a Morávky. Průtoky v době měření úrovní hladin na měrných tratích byly odvozeny z měrných křivek blízkých limnigrafických stanic poboček Českého hydrometeorologického ústavu v Brně a Ostravě.

V závěru kapitoly 3 je publikována závislost vyhodnocených hodnot součinitele drsnosti na průtoku respektive na průměrné hloubce. Prakticky u všech 27 lokalit je patrný nezanedbatelný pokles hodnoty součinitele drsnosti zejména s růstem průtoku. Této závažné skutečnosti je bohužel věnována jen 1 stránka disertační práce, věcnému zhodnocení pouhý jen odstavec.

Vlastní výzkumný přínos práce je publikován v kapitole 4 Metody pro stanovení součinitele drsnosti. Její úvod se zabývá stanovením součinitele drsnosti empirickými rovnicemi. Vytvořená metodika pro výpočet nejvhodnější hodnoty součinitele drsnosti je názorně přiblížena na diagramu uvedeném na obrázku 21 na straně 50. Pro potřebu analýzy byly dostupné empirické rovnice zaříděny dle tabulky 12 do vybraných typů. Skupina A se 4 podskupinami obsahuje rovnice pro výpočet hodnoty Manningova součinitele drsnosti n , skupina B se 3 podskupinami rovnice pro výpočet Chezyho rychlostního součinitele C , skupina C se 4 podskupinami vztahy pro výpočet průřezové rychlosti v a konečně skupina D rovněž se 4 podskupinami výrazy pro určení hodnoty součinitele tření λ . Ze všech uvedených podskupin pouze A2, A3 a dále C1 a C2 nejsou funkcí nějakého parametru vyplývajícího ze zrnitostního složení materiálu dna. Tato skutečnost není náhodná. Autoři v minulosti provedených výzkumů si logicky vybírali takové tratě, u kterých bylo možné co nejobjektivněji popsat nebo dokonce přesně stanovit či změřit faktory ovlivňující odpory koryta a najít tak publikovatelné závislosti.

Naprostá většina těchto empirických rovnic se proto hodí pro takové stavy, kdy se na odporech dominantním způsobem podílí dno tvořené zrnitým materiálem. I řada rovnic tak zvaných bezdrsnostních (například rovnice Jarretta) jsou určeny pro štěrkové toky. S nárůstem průtoku a tedy i hloubky proudění pochopitelně roste i vliv břehových svahů s různými formami vegetačního doprovodu, jehož vliv na odpory koryta nelze snadno vyjádřit pomocí nějakého snadno definovatelného geometrického rozměru, jako tomu tak je u zrnitostního složení materiálu dna. S růstem průtoku a zejména pak pro průtoky povodňové může z tohoto důvodu přesnost uvedených rovnic možná poklesávat.

Kapitola 4.1.3. je zaměřena na podmínky použití rovnic, jejichž kompletní přehled je předložen v příloze 7. U řady rovnic je uvedena podmínka jen slovní, u dalších jsou podmínky již velmi přesně definovány, některé byly přitom tak tvrdé, že nevyhověly žádnému vlastnímu měření. U přibližně poloviny rovnic pak autor v dostupné literatuře nenašel podmínky použití žádné. Tyto rovnice jsou zatíženy velkou nejistotou, protože není jasné pro jaké typy koryta a za jakých podmínek autoři k rovnicím dospěli.

Pro vlastní analýzu zavedl disertant celkem 9 kategorií popisných parametrů (B , R , i_H , v , Q , d_{50} , d_{84} , R/d_{50} a R/d_{84}), v každé kategorii pak byly stanoveny 3 podkategorie s malými, středními a velkými hodnotami uvedených veličin. Rozmezí

podkategorií bylo voleno s ohledem na rovnoměrné zastoupení dat v každé podkategorii. Mezní hodnoty použité v analýze jsou uvedeny v tabulce 14.

Způsob stanovení součinitele drsnosti z vlastních měření velmi podobně popisuje kapitola 4.1.5. K výpočtu průběhu hladin nerovnoměrného proudění byl použit matematický model HEC-RAS v.4.1. Pozornost je věnována statistickému vyhodnocení odchylek mezi zaměřenými a vypočítanými úrovněmi hladin a návrhu případného vyloučení problematických profilů. V dalším postupu autor správně upřednostňuje stanovení úsekového součinitele drsnosti nad profilovým.

Na straně 61 autor připouští, že použitím jiného softwaru by mohlo dojít ke stanovení mírně odlišných hodnot součinitele drsnosti, přičemž uvádí výchozí hodnoty součinitelů místní ztráty náhlého rozšíření a zúžení. S tímto názorem bych polemizoval. Všechny 1D modely nerovnoměrného ustáleného proudění vychází vždy z aplikace tak zvané metody po úsecích založené na platnosti Bernoulliho rovnice vyjadřující zákon zachování mechanické energie. Při užití stejných hodnot uvedených součinitelů, což většina modelů nepochybně umožní, lze očekávat stejný výsledek vypočtených úrovní hladin.

Stěžejní část práce je věnována popisu postupu výpočtu hodnoty součinitele drsnosti z empirických rovnic. Metoda je založena na statistickém vyhodnocení relativních a absolutních rozdílů mezi hodnotami součinitelů drsnosti vyhodnocených z měření a vypočtených z dostupných empirických rovnic. Pro výběr vhodných empirických rovnic byl v dalším postupu použit medián hodnot relativních rozdílů dané podkategorie a zdroje a výběrová směrodatná odchylka. Konkrétně byl postup rozdělen na 3 fáze, kterými byly výběr 30 nejvhodnějších empirických rovnic v každé z 27 podkategorií, odstranění rovnic vybraných jen v jedné z 27 podkategorií a na závěr stanovení nejvhodnějších empirických rovnic jednotlivých podkategorií.

Předložený výpočetní program, zpracovaný pomocí nástroje MS Excel, je velmi komplikovaný. V dalším postupu se objevuje 5 typů výběrových podmínek (1A, 2A, 2B, 3A a 3B) a 6 popisů seřazení (Z1 až Z6). Vzhledem ke složitosti řešení připojil autor v tabulce 25 praktickou ukázkou příkladu 3 vybraných empirických rovnic a několika podkategorií. Ani tento popis však významně porozumění složité metody nepomohl. Všechny rovnice byly v další části rozděleny dle typového zařazení do 3 tříd kvality. V této souvislosti považuji za chybu, že v příloze 7 nebylo kromě uvedení pořadí dle parametrů Z1 a Z4 u každé rovnice uvedeno rovněž to, zda byla zařazena do I. třídy kvality.

Metoda přináší nový pohled na stanovení hodnoty součinitele drsnosti. Výsledkem Metodiky stanovení součinitele drsnosti z empirických rovnic jsou zejména histogram rozložení četnosti a nejčastější hodnota vypočtených součinitelů drsnosti, graf všech vypočtených hodnot doporučený součinitel drsnosti stanovený Metodikou a minimální, průměrná a maximální hodnota součinitele drsnosti stanovená pro prvních 10 nejvhodnějších empirických rovnic způsoby Z1 a Z4. Vzhledem ke své složitosti však nepředpokládám její praktické využití širokou vodohospodářskou veřejností, pokud nebude mít konkrétní řešitel k dispozici výše uvedený program.

Pro praktické využití v praxi je naopak velmi cenná část práce, která se zabývá rozšířením Cowanovy metody o koeficient m_6 , který vyjadřuje vliv hloubky. K jeho stanovení je potřeba 4 faktorů, postup však není oproti předchozí metodě příliš náročný. Zpřesnění výsledků metody je doloženo na příkladu všech 27 experimentálních úseků autora. Vzhledem k tomu, že se Cowanova metoda v běžně

inženýrské praxi používá, doporučuji závěry publikovat v některém z odborných časopisů.

Kromě 30 obrázků a 41 tabulek je součástí práce celkem 8 rozsáhlých příloh uvedených v závěru práce. Z nich bych vyzvedl zejména velmi podrobné informace o vlastních měřeních a jejich vyhodnocení ve sledovaných lokalitách, mimořádně obsáhlý seznam empirických rovnic a rozšířenou Cowanovu metodu

Připomínky a dotazy k disertační práci:

Podle jakého kritéria jste volil minimální délku měrných tratí, abyste minimalizoval vliv chyby při měření úrovně hladiny na sklon hladiny nebo čáry energie. Úrovně hladiny byly měřeny v příčných profilech u obou břehů?

Při výpočtech průběhů hladin v jednotlivých tratích jste důsledně jako dolní okrajovou podmínku používal změřenou úroveň hladiny? Jak významně se případná změna úrovně hladiny v dolním profilu projevovala ve vypočtené úrovni hladiny v horním profilu.

Jaké máte zkušenosti se subjektivním odhadem středního zrna?

Při porovnání obrázků 19 a 20 se zdá těsnější závislost změny součinitele drsnosti na průtoku než na hloubce vody. Čím si to vysvětlujete.

V čem spočívají rozdíly v jednotlivých řádcích v tabulce 25. jedná se postupně o veličiny B pro podkategorie malá, střední a velká?

Proč nejsou u popisů jednotlivých lokalit v Příloze 1 uvedeny i malé grafy závislosti součinitele drsnosti na průtoku, k dispozici jsou na většině stránek prázdná místa. Rovněž mohly být uvedeny i N-leté průtoky, pokud byly k dispozici.

Naprostá většina měrných tratí byla tvořena relativně mělkými koryty s miskovitým nebo lichoběžníkovým tvarem příčného profilu. Jedinou výjimkou byla trať na Svratce v Brně Poříčí, kde byl břehový svah na převážné délce opevněn kamennou dlažbou a spodní část profilu měla obdélníkový tvar. Koryto však bylo velmi široké. Myslíte si, že bude metodika přinášet dobré výsledky i pro typické úseky městských tratí s úzkými a hlubokými obdélníkovými koryty?

Jaké výsledky je možné očekávat v případech koryt, kdy jen malá část omočeného obvodu je tvořena zrnitým materiálem?

Závěr

I přes uvedené připomínky splňuje posuzovaný text svým rozsahem, členěním i odborným obsahem veškeré nároky na disertační práci. Proto doporučuji, aby byla práce přijata k obhajobě a po jejím úspěšném zvládnutí byl Ing. Lukáš Smelíkovi udělen patřičný vědecký titul Ph.D.

V Praze dne 11. 5. 2015



Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.