

Stanovení rychlosti proudění a průtoku na malém vodním toku

Úvod do problematiky

Na místech, kde chybí hydrometrická měření, jsou často kulminační průtoky povodní odvozovány nepřímou na základě výšky vodní hladiny, kterou lze rekonstruovat podle povodňových stop. Stejný postup může být použit pro odhad průtoku při jiných vodních stavech, např. pro hloubku kapacitního průtoku nebo hloubku při základním odtoku. Nepřímé metody mohou být rovněž použity pro extrapolaci konsumpční křivky (tzn. vztahu mezi vodními stavy a průtoky).

Často používanou nepřímou metodou je výpočet průtoku z morfologických charakteristik koryta (sklon, plocha průtočného profilu). (V anglicky psané literatuře označovaná jako *slope-area method*) Nejběžnější je pro výpočet průtoku použití Manningovy rovnice:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

kde Q = průtok (m^3/s), n = Manningův drsnostní koeficient, A = plocha průtočného profilu (m^2), R = hydraulický rádius (m), a S = sklon vodní hladiny.

Pro získání korektních výsledků je zapotřebí pečlivě vybrat úsek vodního toku tak, aby byla, pokud možno, splněna podmínka rovnoměrného proudění. Tím je myšleno, že šířka, hloubka, rychlost proudění, zrnitost dnových splavenin a sklon koryta v přímém úseku toku zůstávají konstantní. Zvolen by měl být přímý, co nejvíce homogenní úsek s délkou rovnou alespoň pětinásobku průměrné šířky koryta.

Prvním krokem je identifikovat v korytě nebo nivě úroveň vodní hladiny, která nás zajímá. Může to být úroveň kapacitního průtoku, hodnota aktuálního průtoku (průtok v okamžiku, kdy se u vodního toku nacházíme) nebo stopy po hladině vody zvýšené za povodně. Zkoumaná úroveň hladiny může být v terénu vyznačena pásmem nebo sprejem jasné barvy, aby bylo možné změřit její podélný sklon. V úseku by měly být zaměřeny nejméně tři příčné profily (vedené kolmo ke směru proudnice) a zaměřen průměrný sklon dna a vodní hladiny. Zaměření více příčných profilů rozmístěných s většími rozestupy zmenšuje některé typy chyb, které jsou s touto metodou spojeny. Čím více se úsek blíží homogenním podmínkám, tím lepších výsledků bývá dosaženo. Tato podmínka však nebývá často splněna v silně turbulentních tocích a tocích s velkým sklonem. Poslední proměnnou je Manningův koeficient drsnosti (n), který odráží mnoho faktorů vytvářejících drsnost koryta a odpor vůči proudění.

Jednou z největších obtíží při aplikaci této metody je přesný odhad Manningova koeficientu drsnosti.

Cíle

1. Nepřímé určení rychlosti proudění v korytě menšího vodního toku podle hydraulických a morfologických parametrů koryta.
2. Výpočet aktuálního a kapacitního průtoku.
3. Porovnání vypočtených hodnot rychlosti proudění a průtoku s rychlostmi a průtoky stanovenými hydrometrováním.

Návod pro vypracování

Geodetické zaměření podélného a příčného profilu

A. Zaměření podélného profilu

1. Zaměření podélného profilu proveďte v úseku koryta o délce rovné alespoň 5ti násobku šířky koryta.
2. Zanivelujte podélný profil dna v proudnici, na záměrných bodech změřte aktuální hloubku vody.
3. Pro záznam údajů z nivelace použijte měřický zápisník.

- Pro zjištění délky měřeného úseku proveďte výpočet kosinovou větou (použijte údaje z nivelace). K dispozici máte vzdálenosti k záměrným bodů a horizontální úhel mezi nimi, tzn. délku dvou stran trojúhelníku a úhel, který svírají.
- Vykreslete podélný profil a vypočtete sklon dna a aktuální vodní hladiny.

B. Zaměření příčných profilů

- Na začátku, uprostřed a na konci úseku zanelovujte příčný (průtočný) profil korytem až po úroveň břehové hrany.
- V příčném profilu vyznačte úroveň aktuálního průtoku.

Vzorkování říčních sedimentů

- V úseku stanovte zrnitost dnových splavenin metodou *pebble-count*. Změřte osu b 50 valounů při cikcakovitém procházení korytem.
- Stanovte zrnitostní kategorii podle škály phi.

Stanovení drsnosti koryta (Manningova koeficientu drsnosti)

- Před výpočtem průměrné rychlosti proudění v průtočném profilu je třeba určit vliv tření o dno, břehy, případně o povrch nivy. Drsnost těchto povrchů se kvantitativně vyjádří pomocí Manningova koeficientu drsnosti n .
- Výpočet koeficientu proveďte podle následující rovnice:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

n_0 až m_5 postihují různé prvky drsnosti koryta, jejich hodnoty obsahuje následující tabulka (podle Cowan, 1956 a Jarrett, 1985):

| | |
|--|-------------|
| <i>Základní hodnota n, n_0 (zrnitost substrátu)</i> | |
| půda | 0,020 |
| skalní podloží | 0,025 |
| jemný štěrk | 0,024 |
| hrubý štěrk | 0,028 |
| kameny | 0,030-0,050 |
| balvany | 0,040-0,070 |
| <i>Nepravidelnosti povrchu, n_1</i> | |
| hladké koryto | 0,000 |
| malé (slabě erodované nebo prohloubené) | 0,005 |
| střední (slabě sesouvání) | 0,010 |
| velké (sesuvy, erodované břehy, skalní výčnělky) | 0,020 |
| <i>Variabilita tvaru průtočného profilu způsobující turbulenci, n_2</i> | |
| změna probíhá pozvolna | 0,000 |
| občasné změny z velkého na malé nebo proudnice rozkmitaná od břehu ke břehu | 0,005 |
| časté změny | 0,010-0,015 |
| <i>Působení překážek (stromy, kořeny, balvany), n_3</i> | |
| zanedbatelné (několik rozptýlených překážek) | 0,000 |
| malé (překážky izolované, 15% plochy) | 0,010-0,015 |
| podstatné (propojení překážek, které zabírají 15-50% plochy) | 0,020-0,030 |
| silné (překážky pokrývají > 50% plochy nebo způsobují na většině plochy turbulenci) | 0,040-0,060 |
| <i>Vegetace, n_4</i> | |
| žádná nebo bez efektu | 0,000 |
| ohebné semenáčky nebo hustá tráva/makrofyta | 0,005-0,010 |
| křovitý porost, žádný porost na dně koryta; makrofyta zasahující celou hloubku proudění | 0,010-0,025 |
| mladé stromy s podrostem travin a bylin; makrofyta s dvakrát vyšší než hloubka proudění | 0,025-0,050 |
| Křovitý porost na břehu, hustý porost v korytě; stromy s podrostem trav a bylin; plné olistění | 0,050-0,100 |

| | |
|------------------------------|------|
| Křivolakost, m_s | |
| malá (křivolakost 1,0 - 1,2) | 1,00 |
| podstatná (1,2 - 1,5) | 1,15 |
| silná (> 1,5) | 1,30 |

3. Pokud má inundační území více částí, které se výrazně liší svojí drsností, je třeba Manningovo n vypočítat pro každou tuto část zvlášť.

Výpočet rychlosti proudění a průtoku (Q) - aktuální a kapacitní

- Z grafů příčných profilů zjistěte následující parametry:
 - plochu průtočného profilu - zvlášť pro aktuální vodní stav, kapacitní průtok a kulminační průtok (A)
 - omočený obvod (P)
 - vypočtete hydraulický rádius ($R = A/P$)
- Z nivelace podélného profilu zjistěte sklon potočního dna a sklon aktuální vodní hladiny ($S = \Delta H/L$), H ... převýšení úseku (m), L ... délka úseku (m).
- Proveďte výpočet průtoku podle následující rovnice:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

- Pokud se Manningovo n počítalo zvlášť pro jednotlivé části koryta (segmenty nade dnem a břehy), tak se Q počítá zvlášť pro každou tuto část a pak se dílčí průtoky sečtou.

Požadované výstupy

- Podélné a příčné profily korytem.
- Tabulkový přehled zaměřených a vypočítaných morfologických charakteristik třech příčných profilů (vždy pro aktuální a kapacitní průtok): šířka koryta, maximální hloubka koryta, průměrná hloubka koryta (podíl plochy průtočného profilu a šířky), omočený obvod, zvlášť omočený obvod pro dno a břehy, plocha průtočného profilu, hydraulický rádius.
- Tabulkový přehled Manningových koeficientů drsnosti pro dno, pravý a levý břeh.
- Vypočítané hodnoty rychlosti proudění vody za aktuálního a kapacitního vodního stavu.
- Vypočítané hodnoty aktuálního a kapacitního průtoku.
- Diskuze (slovní zhodnocení) shody či rozdílu ve vypočítaných hodnotách rychlosti proudění a průtoku mezi Manningovou metodou a hydrometrováním (samozřejmě pouze pro aktuální průtok). Rozbor faktorů, které mohly ovlivnit přesnost výpočtu.

Doporučená literatura / informační materiály

- Knihy
 - Gordon, N.D. - McMahon, T.A. - Finlayson, B.L. - Gippel, C.J. - Nathan, R.J. (2005): Stream hydrology - an introduction for ecologists. Wiley, Chichester, 2. vydání; kap. 5.6.6. Slope-area method of estimating discharge, s. 101-104, kap. 6.6.5. Shear stress and the uniform flow equations of Chézy and Manning, s. 163-165.
 - Králová, H. (ed.) (2001): Řeky pro život - revitalizace řek a péče o nivní biotopy. Veronica, Brno; kap. 2.2. Průzkum morfologie řeky, s. 117-124, kap. 2.3. Průzkum říčního koridoru, s. 125-131.
 - Rosgen, D. (1996): Applied river morphology. Wildland Hydrology, Pagosa Springs; kap. 5. Level II: The morphological description, s. 5-1 až 5-34.
- Časopisecké články
 - Barnes, H.H. (1967): Roughness Characteristics of Natural Channels. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1849, 213 s.
Dostupné na http://pubs.usgs.gov/wsp/wsp_1849/html/pdf.html
 - Cowan, W.L. (1956): Estimating hydraulic roughness coefficients. Agricultural Engineering, roč. 37, s. 473-475.

- Jarrett, R.D. (1985): Determination of roughness coefficients for streams in Colorado. US Geological Survey Water-Resources Investigations Report 85-4004, 54 s.
- Webové stránky
 - Webové stránky Geologické služby Spojených států amerických (US Geological Survey) zaměřené na odhad Manningova drsnostního koeficientu na příkladu upravených a přirozených toků v Illinois.
<http://il.water.usgs.gov/proj/nvalues/>
 - Webová stránka s pokyny k průzkumu a měření příčného profilu vodního toku od pracovníků University of Canberra, Austrálie.
<http://ausrivas.canberra.edu.au/Geoassessment/Physchem/Man/Protocol/chapter5n.html>