

Ekologie tekoucích vod

Základní pojmy hydrauliky otevřených koryt

Ing. Daniel Mattas, CSc.

ČVUT v Praze, Stavební fakulta
katedra hydrauliky a hydrologie

Hydraulika otevřených koryt

2

Literatura

Gordon, N.D., McMahon, T.A. a Finlayson, B.L. 1992: Stream Hydrology. An Introduction for Ecologists. John Wiley&Sons

Chang, H.H. 1988: Fluvial Processes in River Engineering. Reiss. Krieger Publishing Co., 2002

Chow, Ven Te 1959: Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill (reiss. 1988)

Henderson, F.M. 1966: Open Channel Flow. The Macmillan Co

French, R.H. 1985: Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill

Sturm, T.W. 2001: Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill

Agroskin, I.I., Dmitrijev, G.T. a Pikalov, F.I. 1955: Hydraulika I, II. SNTL, Praha

Boor, B., Kunštátský, J. a Patočka, C. 1968: Hydraulika pro vodohospodářské stavby. SNTL/ ALFA Praha

Másiar, E. a Kamenský, J. 1989: Hydraulika pre stavebných inžinierov II. ALFA Bratislava

<http://hydraulika.fsv.cvut.cz/predmety/HYA> - materiály předmětu HYA

<http://hydraulika.fsv.cvut.cz/predmety/HY2V> - materiály předmětu HY2V

Hydraulika otevřených koryt

2

Vodní toky – řeky, potoky ...



voda proudí → interakce:

- vodní částice mezi sebou
- voda a pevná hranice (koryto)
- voda a suspendované a rozpuštěné látky
- voda a biota

vše souvisí se vším

☺ všechny vztahy náležitě složité ☹

Hydraulika otevřených koryt

3

Hydrologický režim toku

Hydrologický rok – začíná 1.IX !

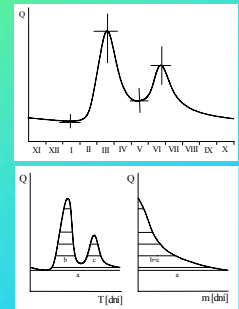
hydrogram – časová řada průtoků

↓
různé typy hydrologického režimu

hlavní charakteristiky:

- průměrný průtok Q_a
- čára překročení → m-denní průtoky
- čára opakování → N-leté průtoky

vždy za standardní časové období –
např. 1930 – 1980, časem se mění



Hydraulika otevřených koryt

4

Proudění

neustálené - $Q = f(t)$

ustálené - $Q = konst.$

nerovnoměrné - $v = f(x)$

rovnoměrné - $v = konst.$

- v přírodě -
- neustálené
 - když krátkou dobu ustálené, tak nerovnoměrné
 - rovnoměrné – prakticky není (prismatická koryta s konstantní hloubkou), užitečná abstrakce

Hydraulika otevřených koryt

5

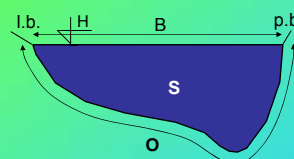
Charakteristiky koryta toku

levý břeh

pravý břeh

příčný profil

staničení – vzdálenost profilu [km] od ústí



H – vodní stav

B – šířka toku v hladině [m]

S – průtočná plocha [m²]

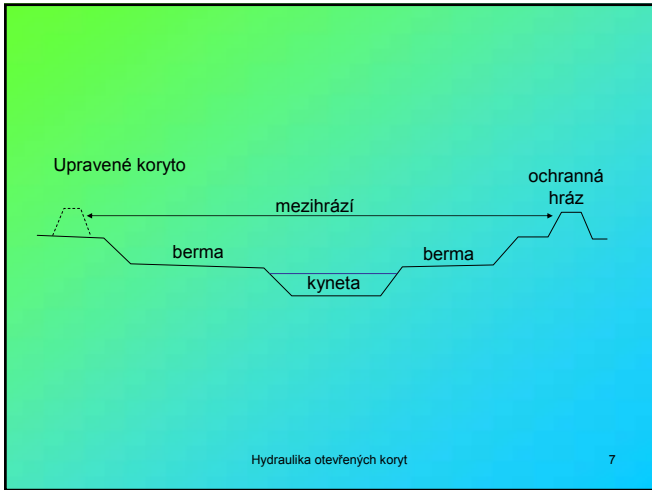
O – omočený obvod [m]

h_s – střední hloubka, $h_s = S/B$

R – hydraulický poloměr, $R = S/O$

Hydraulika otevřených koryt

6



Průtok, rychlost

průtok Q (objemový) – objem vody $[m^3]$ procházející daným profilem za jednotku času $[s]$
 průtok hmotnostní Q_m – hmotnost látky $[kg]$ procházející daným profilem za jednotku času $[s]$
 rychlost: bodová u $[ms^{-1}]$, povrchová v_p , svislicová v_s , ...

rychlost střední průřezová: $v = Q/S$

Hydraulika otevřených koryt 8

Spád, sklon

spád – rozdíl výšek H mezi dvěma profilemi 1, 2
 sklon $i = H/L$

sklon:

- dna i_0
- hladiny i
- čáry energie i_e (viz rov. Bernoulliho)

Hydraulika otevřených koryt 9

Substrát dna

Materiál nehomogenní → křivka zrnitosti

efektivní zrno d_e
 kvantily (d_{50} , d_{84} , d_{90} , ...)

hydraulické třídění materiálu
 dnová dlažba (krycí vrstva)

Problém: složení se mění napříč i podél koryta ☹

odběr vzorku + síťová analýza X Wolmannova metoda

Hydraulika otevřených koryt 10

Koryto s oblouky

odstředivá síla → převýšení hladiny → spirálový pohyb

traverzování proudnice

deformace koryta
 brody, jesepy,
 eroze konvexního běhu

změna složení materiálu koryta v příčném profilu

Hydraulika otevřených koryt 11

Turbulence, úplavy, obtékání těles

turbulence – vznik vírů na rozhraní pevného povrchu a kapaliny, jejich růst a rozpad → místní rychlost se náhodně mění ve směru i čase

Reynoldsovo číslo $Re = \frac{vh_s}{\nu}$

$Re > 580$ - turbulentní proudění

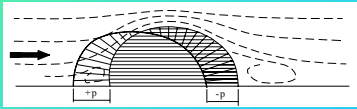
úplavy – proudění nestačí sledovat křivost pevné hranice → odtržení od stěny, vznik „stabilního“ víru

Hydraulika otevřených koryt 12

Obtékání těles
3D problém
složitá vírová oblast kolem tělesa
změna tlaku na povrchu obtékaného tělesa

↓

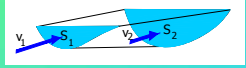
různé podmínky pro organismy
usazování jemnějších částic v úplavu za tělesem
...



Hydraulika otevřených koryt 13

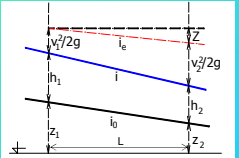
Základní rovnice proudění

rovnice spojitosti (kontinuity)
 $Q = \text{konst.} \Rightarrow v_1 S_1 = v_2 S_2$



rovnice Bernoulliho
 $Z_1 + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + Z$

↓

$$i_0 L + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + i_e L$$


rovnice Chézyho
 $v = C\sqrt{Ri_e} \Rightarrow Q = CS\sqrt{Ri_e} \Rightarrow i_e = \frac{Q^2}{C_p^2 S_p^2 R_p}$

Hydraulika otevřených koryt 14

Chézyho rychlostní součinitel C

desítky různých vztahů

podle Manninga $C = \frac{1}{n} R^{2/3}$

podle Pavlovského $C = \frac{1}{n} R^y, \quad y = 2,5n - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,10)$

podle Stricklera $C = \frac{a}{d^{1/6}} R^{1/6}$ Meyer-Peter a Müller: $a=26, d=d_{90}$

podle Heye $C = 4\sqrt{2g} \log \frac{a'R}{3,5d_{84}}, \quad a' = 11,1 \left(\frac{R}{h_{\max}}\right)^{-0,314}$

...

Hydraulika otevřených koryt 15

Problémy

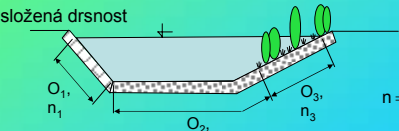
součinitel drsnosti n

- globální hodnota, zahrnující všechny vlivy - drsnost materiálu, změny tvaru koryta, vegetaci, ...
- tabulky, odhad na základě zkušenosti (chyba $20 \div n \cdot 10^2 \%$)
- měření

charakteristické zrna

- nutno jít do značného detailu
- vždy nutno pracně určit měřením
- nelze jednoduše zohlednit různou drsnost po omezeném obvodu

složená drsnost



$$n = \frac{\sum_{i=1}^N O_i n_i}{O}$$

Hydraulika otevřených koryt 16

Proudění říční, bystřinné

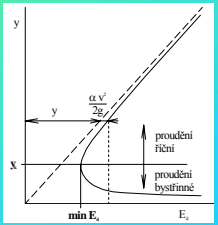
pro dané koryto a daný průtok Q

měrná energie

$$E_s = y + \frac{v^2}{2g} = y + \frac{Q^2}{2gS^2}$$

↓

$y > y_k$ - pohyb říční
 $y = y_k$ - pohyb kritický
 $y < y_k$ - pohyb bystřinný



v přírodě i v „bystřinách“ zpravidla pohyb říční, bystřinný jen lokálně nebo v mimořádných případech (povodně)

Hydraulika otevřených koryt 17

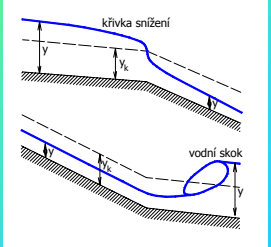
Froudeho číslo $Fr = \frac{v}{\sqrt{gh_s}}$

$Fr < 1$ říční proudění
 $Fr = 1$ kritické proudění
 $Fr > 1$ bystřinné proudění

přechod z proudění říční → bystřinné

bystřinné → říční

vždy přes vodní skok



Bystřinné proudění – řada specifických rysů:
stojaté příčné vlny, translační vlny, provzdušení proudů, velké převýšení hladiny v obloucích, namáhání koryta, ...

Hydraulika otevřených koryt 18

Tangenciální napětí, rozdělení rychlosti ve svislici

tangenciální (tečné) napětí

vždy při pohybu kapaliny. Na stěně $\tau_0 = \rho g R i_e$
 - posouzení stability koryta
 - počátek pohybu splavenin
 - vliv na benthos

tangenciální napětí \longrightarrow třecí rychlost $v_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{g R i_e}$

rozdělení rychlosti ve svislici:

Prandtl – Kármánův zákon $u = \frac{v_*}{K} \ln \frac{y}{K}$
 pro hydraulicky drsná koryta
 $K = k_s/30$

mocninný zákon $\frac{u}{u_{ref}} = \left(\frac{y}{y_{ref}} \right)^{1/n}$, $\frac{u}{v_*} = c \left(\frac{y}{k_s} \right)^{1/n}$
 n – závisí na drsnosti a tvaru koryta
 $n = 3 - 12$, běžně $n = 5-7$

Hydraulika otevřených koryt

19

Základní fyzikální parametry proudění, používané pro popis fyzického habitatu

- staničení v říčních km
- nadmožská výška
- střední hloubka, hydraulický poloměr, hloubka koryta
- šířka v hladině, šířka koryta
- průměrný průtok
- m-denní průtoky
- N-leté průtoky
- průřezová rychlost
- Reynoldsovo číslo
- Froudovo číslo
- součinitel drsnosti, Chézyho rychlostní součinitel, charakteristické zmo
- tangenciální napětí, třecí rychlost
- ...

Hydraulika otevřených koryt

20