USTÁLENÉ PROUDĚNÍ V OTEVŘENÝCH KORYTECH

Rovnoměrné proudění

Charakteristika:
1. Hloubka vody v korytě, průtočná plocha a průřezová rychlost jsou v každém příčném řezu konstantní.
2. Čára energie, vodní hladina a dno koryta jsou rovnoběžné, takže $i_E = i = i_0$ kde i_E je sklon čáry energie, i je sklon hladiny a i_0 je sklon dna.

Rozdělení dle tvaru průtokového profilu:

1. prizmatické kanály – konst. geometrické vlastnosti po délce toku
2. neprizmatické kanály – proměnný tvar po délce, změny lze definovat jako fce S resp. O
3. přirozená koryta – nepravidelný tvar měnící se po délce toku

Dělení průřezů a koryt:

1. jednoduché (obdélník, trojúhelník, lichoběžník ...)
2. složené (kromě dna lze nalézt další vodorovnou část)
3. přirozené

Základní geometrické charakteristiky

1. rozměry průtokového profilu (šířka ve dně, sklon svahů, průměr atd.)
2. průtočná plocha ... S
3. omočený obvod ... O
4. hydraulický poloměr ... R
5. šířka v hladině ... B
6. podélný sklon ... I
7. hloubka ... y

Hydraulické charakteristiky

1. stupeň drsnosti ... n
2. rychlostní součinitel (Chezyho) ... C ($m^{1/2}$.s-1)
3. střední průřezová rychlost ... v
4. průtok ... Q

Chézyho rovnice

$$v = C\sqrt{RI_0}$$

kde

v ... průřezová rychlost

C ... rychlostní součinitel ($m^{0,5}s^{-1}$)

R ... hydraulický poloměr (m)

Průtok se spočítá z rovnice spojitosti

$$Q = vS = CS\sqrt{RI_0} = K\sqrt{I_0}$$

kde
S ... průtočná plocha (m^2),
K ... modul průtoku (m^3s^{-1}).
Modul průtoku patří k základním hydraulickým charakteristikám koryta, neboť zahrnuje jak vliv tvaru a velikosti průtočné plochy, tak i drsnost omočeného obvodu.

Vztahy pro určení rychlostního součinitele C z Chézyho rovnice.

Manning (1889)	$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$	platnost: $n > 0{,}011$ $0{,}3\,m < R < 5\,m$
Pavlovskij (1925)	$C = \frac{1}{n} R^P$ $P = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}\left(\sqrt{n} - 0{,}1\right)$	zjednodušené určení P: pro: $R < 1m$ ... $P \cong 1{,}5\sqrt{n}$ $R > 1m$ ... $P \cong 1{,}3\sqrt{n}$ $n > 0{,}025$ ... $P \cong 1{,}6\sqrt{n}$

Agroskin (1955)	$C = 17{,}72\left(\frac{0{,}05643}{n} + \log R\right)$	Pro R = 1 m platnost: $\dot{n} > 0{,}009$
Martinec (1958)	$C = 17{,}72\left(0{,}77 + \log\frac{R}{d_{50}}\right)$	odvozen z měření na českých řekách, ověřen pro: $0{,}15 < R < 2{,}25$ $0{,}004\,m < d_{50} < 0{,}25\,m$

Pro nepravidelné říční tratě Martinec doporučuje nahradit zrno d_{50} náhradní drsností $d_n = d_{50} + \Delta d$, kde $\Delta d = 0{,}0263.S_{max}/S_{min} - 0{,}322$. Hlavní vliv na změnu drsnosti je tedy přisuzován proměnlivosti průřezu. Mez použitelnosti byla stanovena poměrem $S_{max}/S_{min} = 2{,}1$.

Manningova rovnice

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I_0^{\frac{1}{2}}$$

kde

n ... Manningův drsnostní součinitel ($s.m^{-1/3}$).

V případě, že je omočený obvod složen z částí s různou drsností (např. různé typy opevnění), uvažuje se při výpočtu průměrná ekvivalentní drsnost, kterou je možné stanovit následujícími způsoby:

váženým průměrem:

$$n = \frac{\sum O_i n_i}{O}$$

podle Pavlovského:

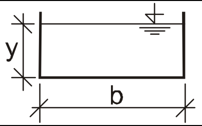
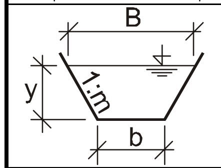
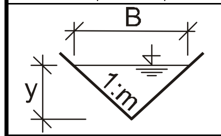
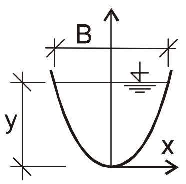
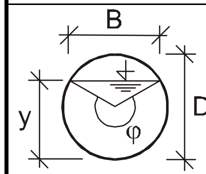
$$n = \left(\frac{\sum \left(O_i n_i^2 \right)}{O} \right)^{\frac{1}{2}}$$

podle Hortona a Einsteina a Bankse:

$$n = \left(\frac{\sum O_i n_i^{\frac{3}{2}}}{O} \right)^{\frac{2}{3}}$$

kde i jsou dílčí omočené obvody s drsnostními součiniteli n_i.

Geometrické charakteristiky příčného profilu koryta

Tvar koryta	Průtočná plocha **S**	Omočený obvod **O**	Hydraulický poloměr **R**	Šířka v hladině **B**	Střední hloubka průřezu **y = S/B**
	by	$b+2y$	$\dfrac{by}{b+2y}$	b	y
	$y(b+my)$	$b+2y\sqrt{1+m^2}$	$\dfrac{(b+my)y}{b+2y\sqrt{1+m^2}}$	$b+2my$	$\dfrac{(b+my)y}{b+2my}$
	my^2	$2y\sqrt{1+m^2}$	$\dfrac{my}{2\sqrt{1+m^2}}$	$2my$	$\dfrac{y}{2}$
	$\dfrac{2}{3}By$	$B+\dfrac{8}{3}\dfrac{y^2}{B}$ *přibližně pro* $0<\dfrac{4y}{B}<1(*)$	$\dfrac{2B^2y}{3B^2+8y^2}$	$\dfrac{3}{2}\dfrac{S}{y}$	$\dfrac{2}{3}y$
	$\dfrac{1}{8}\left(\dfrac{\pi\varphi}{180}-\sin\varphi\right)D^2$	$\dfrac{D}{2}\dfrac{\pi\varphi}{180}$	$\dfrac{D}{4}\left(1-\dfrac{\sin\varphi}{\dfrac{\pi\varphi}{180}}\right)$	$2\sqrt{y(D-y)}$	$\dfrac{1}{8}\dfrac{\left(\dfrac{\pi\varphi}{180}-\sin\varphi\right)}{\sin\dfrac{1}{2}\varphi}D$

*) *Pro* $\dfrac{4y}{B}>1$ je: $O=\dfrac{B}{2}\left(\sqrt{1+\left(\dfrac{4y}{B}\right)^2}+\dfrac{B}{4y}\ln\left[\dfrac{4y}{B}+\sqrt{1+\left(\dfrac{4y}{B}\right)^2}\right]\right)$

Základní typy úloh při řešení rovnoměrného pohybu

1. Zadáno: rozměry koryta, drsnost, hloubka vody v korytě y_0 a sklon i_0
Počítá se: rychlost a průtok

2. Zadáno: rozměry koryta, drsnost, hloubka vody v korytě y_0 a průtok Q.
Počítá se: sklon i_0

3. Zadáno: rozměry koryta, drsnost, sklon dna koryta i_0 a průtok Q.
Počítá se: hloubka y_0
a) přibližováním (s využitím výpočetní techniky) - volba několika y_0 postup výpočtu Q je stejný jako pro typ 1.
b) sestrojením konzumční křivky Q = f(y_0) a odečtením y_0 pro dané Q.

4. Zadáno: drsnost koryta, sklon dna koryta i_0, hloubka y_0 sklon svahů koryta 1:m a průtok vody Q.
Počítá se: šířka dna koryta b:
a) obdoba postupu pro typ 3, ale s volbou několika b,
b) sestrojením křivky Q = f(b) a odečtením pro dané Q.

5. Zadáno: rozměry koryta, sklon dna koryta i_0 hloubka vody y_0 a průtok Q.
Počítá se: drsnost koryta:

Nerovnoměrné proudění

Vzniká všude tam, kde nejsou zajištěny podmínky pro vznik rovnoměrného proudění, tj.:

a) v prizmarických korytech - kde se mění sklon dna, drsnost koryta, ve dně koryta jsou vytvořeny stupně, nebo je ve vodním toku nějaká překážka (překážkou se mohou rozumět např i jezy, pilíře mostů a pod.)

b) v neprizmatických korytech (např. v přirozeném korytě, nebo v korytě, které se s délkou rozšiřuje či zužuje).

Prizmatická koryta

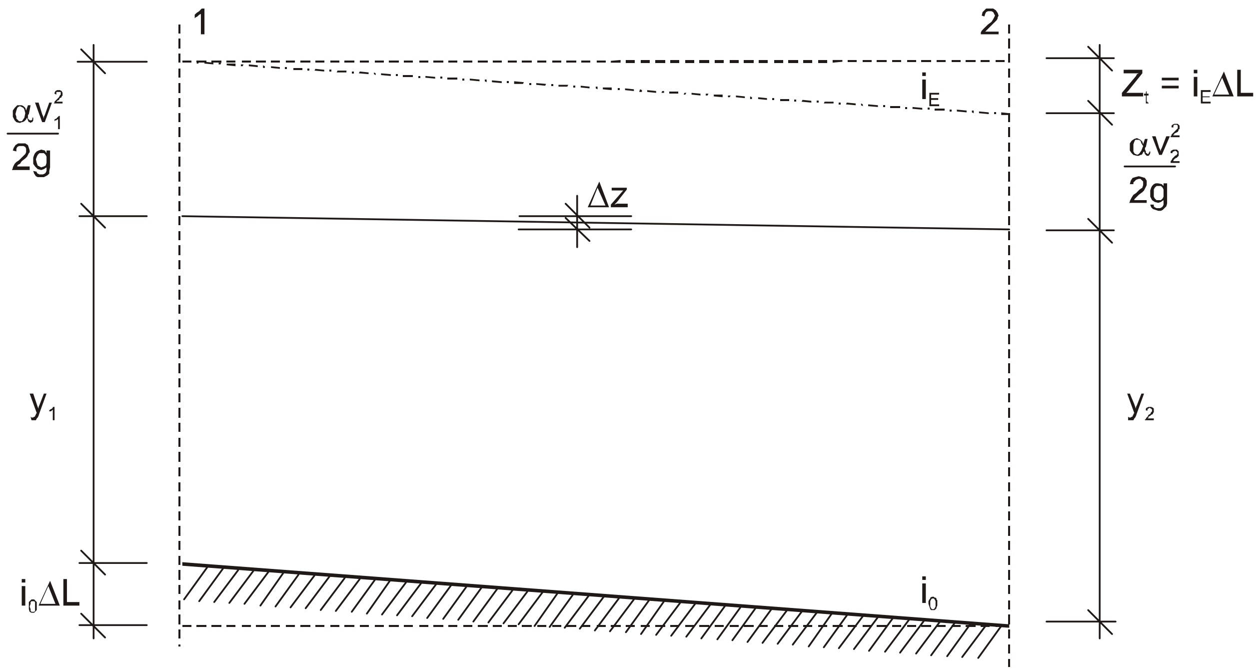
Řešení vychází z Bernoulliho rovnice pro úsek koryta o konečné délce ΔL mezi průřezy 1 a 2 (srovnávací rovina prochází dnem dolního průřezu 2):

$$i_o \Delta L + y_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = y_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + i_E \Delta L$$

Dva způsoby postupu řešení:

a) pro volený rozdíl hladin Δz hledat odpovídající ΔL

b) pro volenou ΔL hledat rozdíl hladin Δz.



Hledá se délka ΔL při známé hloubce v dolním profilu y_2 a volené hloubce y_1:

$$\Delta L(i_o - i_E) = y_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g} - \left(y_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g}\right)$$

$$i_E = \frac{Q^2}{K_p^2}$$

$$\Delta L = \frac{E_{d2} - E_{d1}}{i_o - i_E} = \frac{\left(y_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g}\right) - \left(y_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g}\right)}{i_o - \frac{Q^2}{C_p^2 S_p^2 R_p}}$$

Pro určení i_E je tedy možné uvažovat v daném úseku rovnoměrné proudění a použít rovnici spojitosti v kombinaci se Chézyho rovnicí. Pro určení průměrného hydraulického sklonu i_E a veličin C_p,S_p, R_p se užívá průřez s průměrnou hloubkou $y_p = (y_1+y_2)/2$

Postup výpočtu:

1. Vychází se ze známé hloubky y_2
2. Odhadne se hloubka y_1.
3. Vypočítají se rychlosti v_1, v_2 a všechny průměrné hodnoty
4. Odhadnutá (zvolená) hloubka y_1 je známou (výchozí) hloubkou pro řešení dalšího úseku (postup se opakuje).
5. Pro určení celkové délky vzdutí je $L = \Sigma\Delta L_i$