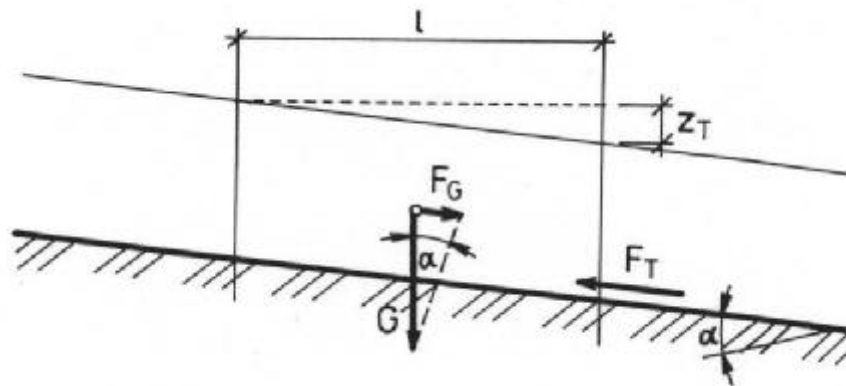


POHYB VODY V TOCÍCH

$\frac{\partial Q}{\partial t} = 0$	ustálený:	$\frac{\partial v}{\partial t} = 0,$	$\frac{\partial v}{\partial x} = 0$	rovnoměrný
		$\frac{\partial v}{\partial t} = 0,$	$\frac{\partial v}{\partial x} \neq 0$	nerovnoměrný

Rovnoměrný ustálený pohyb

$$J = \operatorname{tga} = \frac{z_T}{l}$$



Odvození tangenciálního napětí:

$$F_G = F_T$$

$$F_G = G \cdot \sin a = \Delta m \cdot g \cdot \sin a = S \cdot l \cdot r \cdot g \cdot \sin a$$

$$F_T = t_0 \cdot O \cdot l$$

$$S \cdot l \cdot r \cdot g \cdot \sin a = t_0 \cdot O \cdot l$$

$$t_0 = \frac{S}{O} \cdot g \cdot \sin a \qquad \sin a \cong \operatorname{tga}$$

$$t_0 = R \cdot g \cdot J \quad (\text{Pa})$$

Fyzikální definice tangenciálního napětí:

$$t_0 = e \cdot v^2 \cdot g$$

$$g \cdot R \cdot J = e \cdot v^2 \cdot g$$

$$v = \sqrt{\frac{1}{e}} \cdot \sqrt{R \cdot J} = C \sqrt{R \cdot J} \qquad \text{Chézyho rovnice}$$

Jiné odvození:

Protože

$$J = \frac{Z_T}{l} \quad \text{a} \quad Z_T = x \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{l \cdot l}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$\left(R = \frac{S}{O} = \frac{p \cdot D^2}{4} \cdot \frac{1}{p \cdot D}, \quad R = \frac{D}{4} \Rightarrow D = 4R \right)$$

Takže:

$$J = \frac{l}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Dosazením za J v rovnici: $t_0 = g \cdot R \cdot J$

$$t_0 = r \cdot g \cdot R \cdot \frac{l}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g} = r \cdot l \cdot \frac{v^2}{8}$$

Odkud rychlost v :

$$v = \sqrt{\frac{8}{l} \cdot \frac{t_0}{r}} = \sqrt{\frac{8}{l}} \cdot \sqrt{\frac{r \cdot g \cdot R \cdot J}{r}}$$

po úpravě:

$$v = \sqrt{\frac{8g}{l}} \cdot \sqrt{R \cdot J}$$

Zavedeme-li $\sqrt{\frac{8g}{l}} = C$

$$v = C \sqrt{R \cdot J} \quad (\text{Chézyho rovnice})$$

$$C \left[m^{\frac{1}{2}} \cdot s^{-1} \right] \quad \text{rychlostní součinitel}$$

Definice rychlosti tření (třecí rychlosti) v_*

$$v_* = \sqrt{\frac{t_0}{r}} \quad (\text{fyzikální definice})$$

$$v_* = \sqrt{\frac{r \cdot g \cdot R \cdot J}{r}} = \sqrt{g \cdot R \cdot J} \quad (\text{m.s}^{-1})$$

Vztahy mezi v a v_* :

$$v_* = \sqrt{g \cdot R \cdot J}$$

$$v_* = \sqrt{g} \cdot \sqrt{R J} \quad / \cdot C$$

$$C \cdot v_* = \sqrt{g} \cdot v$$

$$\boxed{\begin{aligned} v_* &= \sqrt{g} \cdot \frac{v}{C} \\ v &= C \cdot \frac{v_*}{\sqrt{g}} \end{aligned}}$$

Rozbor Chézyho rovnice

$$v = C\sqrt{R \cdot J}$$

Rychlostní součinitel $C [m^{1/2} \cdot s^{-1}]$

1. $C = f(n, R)$

Manning: $C = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}}$

Pavlovskij: $C = \frac{1}{n} \cdot R^y \quad (R < 1m : y = 1,5\sqrt{n})$

$$(R > 1m : y = 1,3\sqrt{n})$$

2. $C = f(n, \log R)$

Agoskin: $C = 17,72 (k + \log R)$

$$k = \frac{0,0564}{n}$$

3. $C = f(d_s, R)$ důležité pro M.V.T. (!)

Strickler: $C = 21,1 \left(\frac{R}{d_s} \right)^{\frac{1}{6}}$

Müller: $C = 26,0 \left(\frac{R}{d_{90}} \right)^{\frac{1}{6}}$

4. $C = f(\log d_s, \log R)$

Martinec (VÚV): $C = 17,72 \left(0,77 + \log \frac{R}{d_s} \right)$

Colebrook-White: $C = 18 \log \frac{12 R}{d_s}$

Změny drsnosti (podél omočeného obvodu)

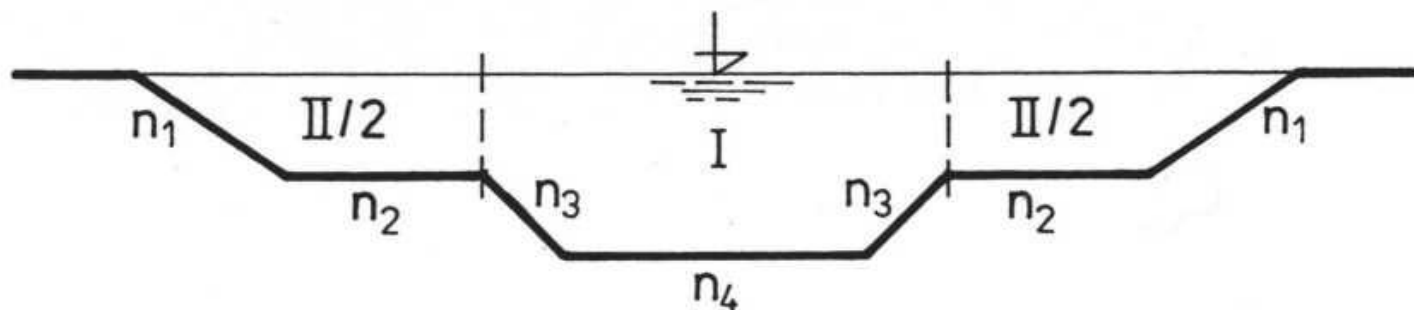
Kališ:

$$n = \left(\frac{O_1 n_1^{\frac{3}{2}} + O_2 n_2^{\frac{3}{2}} + \dots + O_i n_i^{\frac{3}{2}}}{O_1 + O_2 + \dots + O_i} \right)^{\frac{2}{3}}$$

nebo prostý vážený průměr:

$$n = \frac{O_1 n_1 + O_2 n_2 + \dots + O_i n_i}{O_1 + O_2 + \dots + O_i}$$

Hydraulický způsob řešení složeného profilu



Sekce I: Plocha sekce: S_I

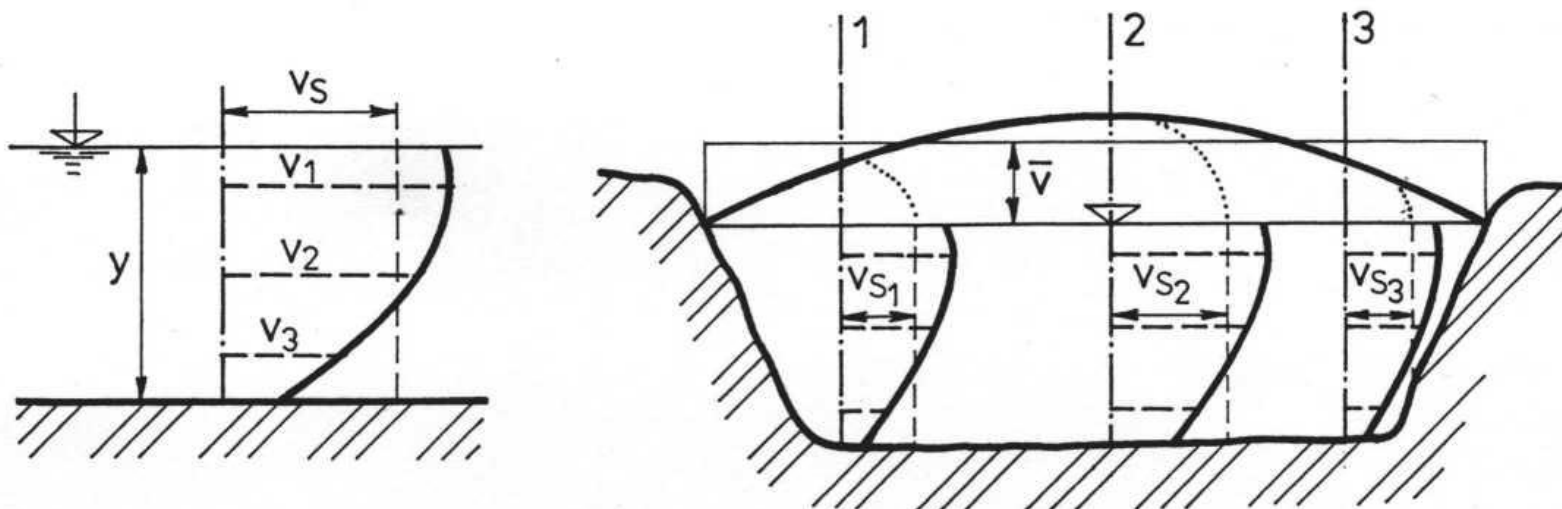
Omočený obvod sekce: započtení délek svislic

Sekce I: Plocha sekce: $S_{II} \cdot ((S_{II} / 2) \cdot 2)$

Omočený obvod sekce: nezapočtení délek svislic

Zdůvodnění: vyšší rychlost proudu v: S_I – tření ve svislicích

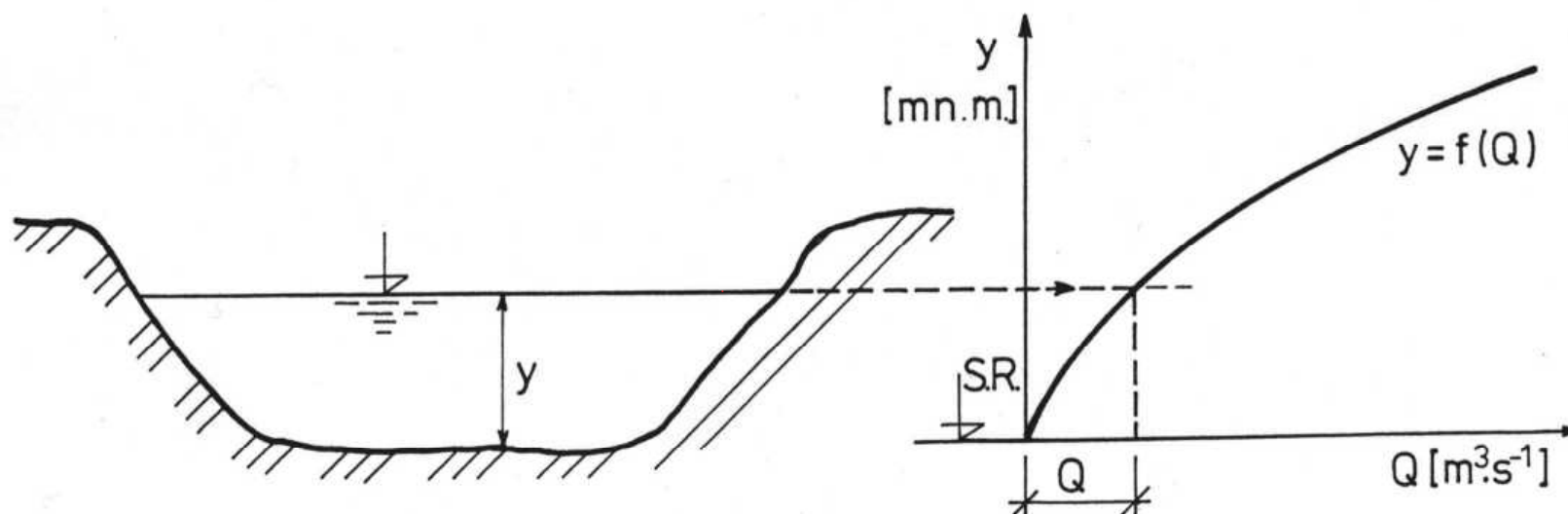
PODÉLNÉ PROUDĚNÍ VODY V KORYTĚ



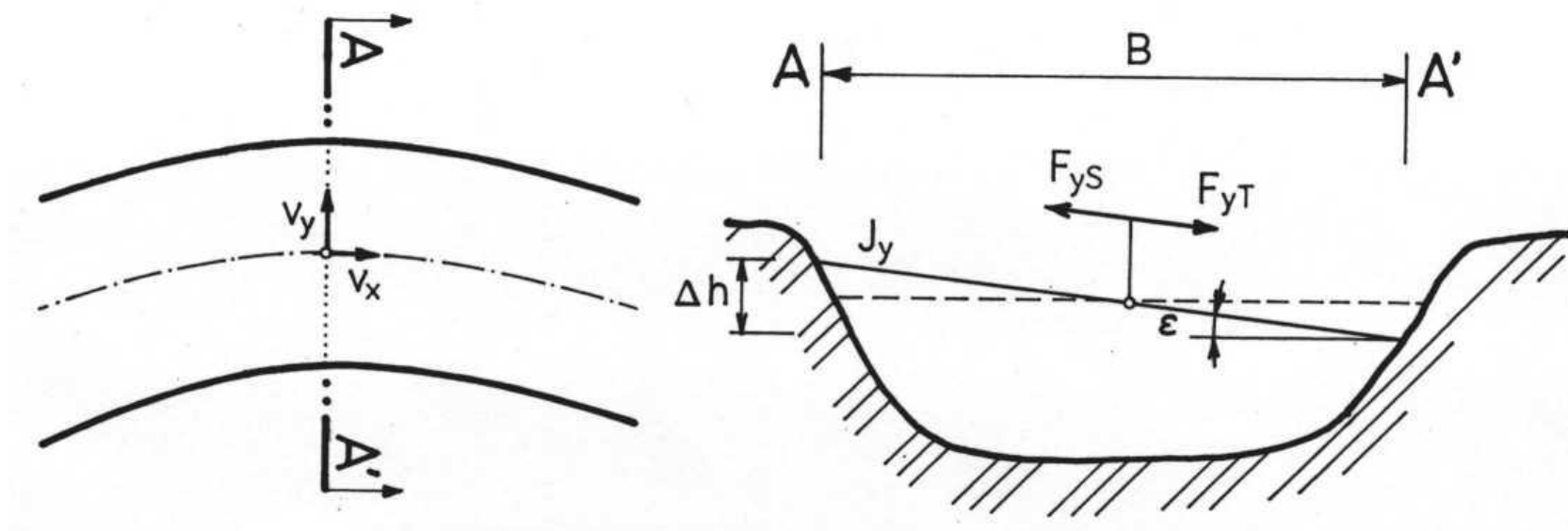
Bodové rychlosti (hydromet. vrtule) $\rightarrow$ svislicové rychlosti $\rightarrow$ střední profilová rychlost (Harlacherova grafická integrace)

Vodočty, automatické limnigrafy

Měrné křivky profilu (= konsumpční křivky): $y = f(Q)$



PŘÍČNÉ PROUDĚNÍ



$$\Delta m = r \cdot \Delta V$$

Síla tíže:

$$F_{yT} = \Delta m \cdot g \cdot \sin e$$

jestliže ε je malý (do 5°): $\sin \varepsilon \div \operatorname{tg} \varepsilon$

$$F_{yT} = \Delta m \cdot g \cdot J_y$$

Síla setrvačnosti:

$$F_{yS} = \Delta m \cdot \frac{v_x^2}{r_y}$$

Z rovnosti sil:

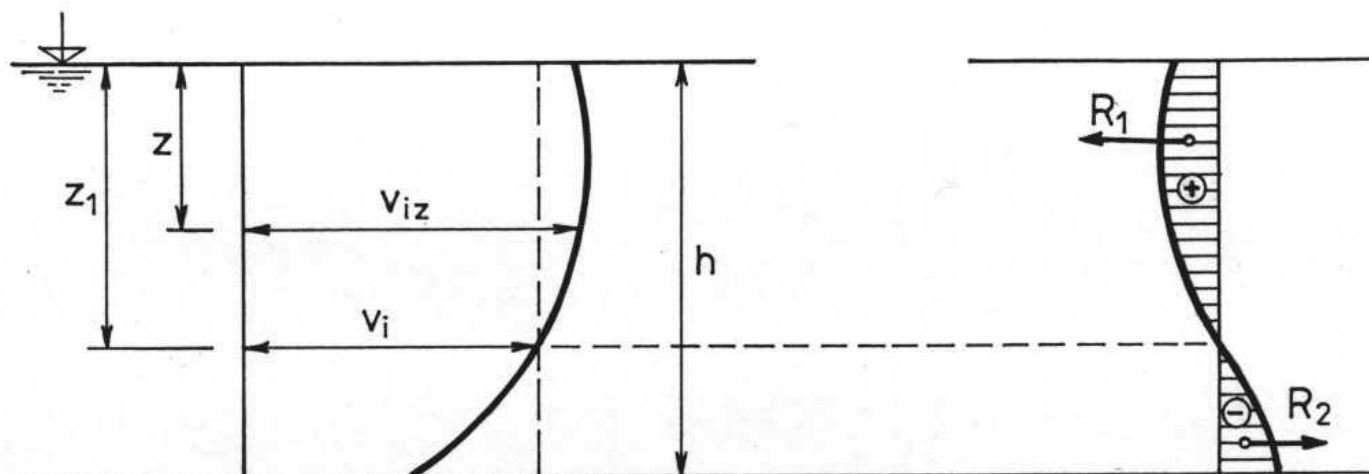
$$F_{yT} = F_{yS} = \Delta m \cdot g \cdot J_y = \Delta m \cdot \frac{v_x^2}{r_y}$$

Příčný sklon hladiny:

$$J_y = \frac{\Delta h}{B} = \frac{v_x^2}{g \cdot r_y}$$

$$\Delta h = \frac{B \cdot v_x^2}{g \cdot r_y}$$

Rozdíly rychlostí v různých částech svislice:



$$R = F_{yS} - F_{yT}$$

$$R = \Delta m \left(\frac{v_{iz}^2}{r_i} - g \cdot J_i \right)$$

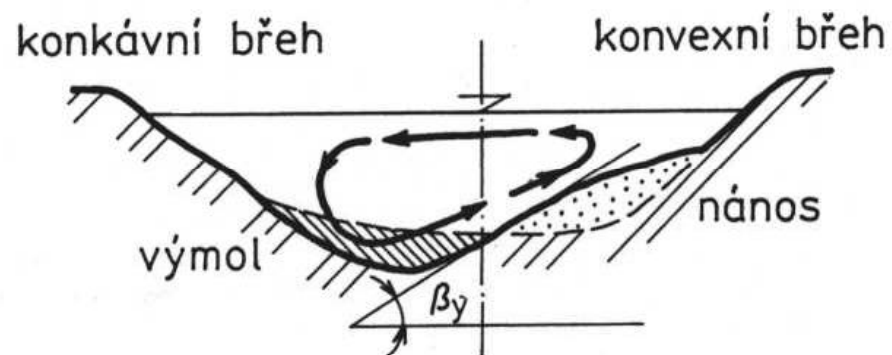
$z < 0, z_1 >$ převládá $\overleftarrow{R_1}$

$z < z_1, h >$ převládá $\overrightarrow{R_2}$

Příčný sklon dna

$$\sin b_y = \frac{12 h^2 \cdot J_x}{\Delta \cdot r \cdot d_s}$$

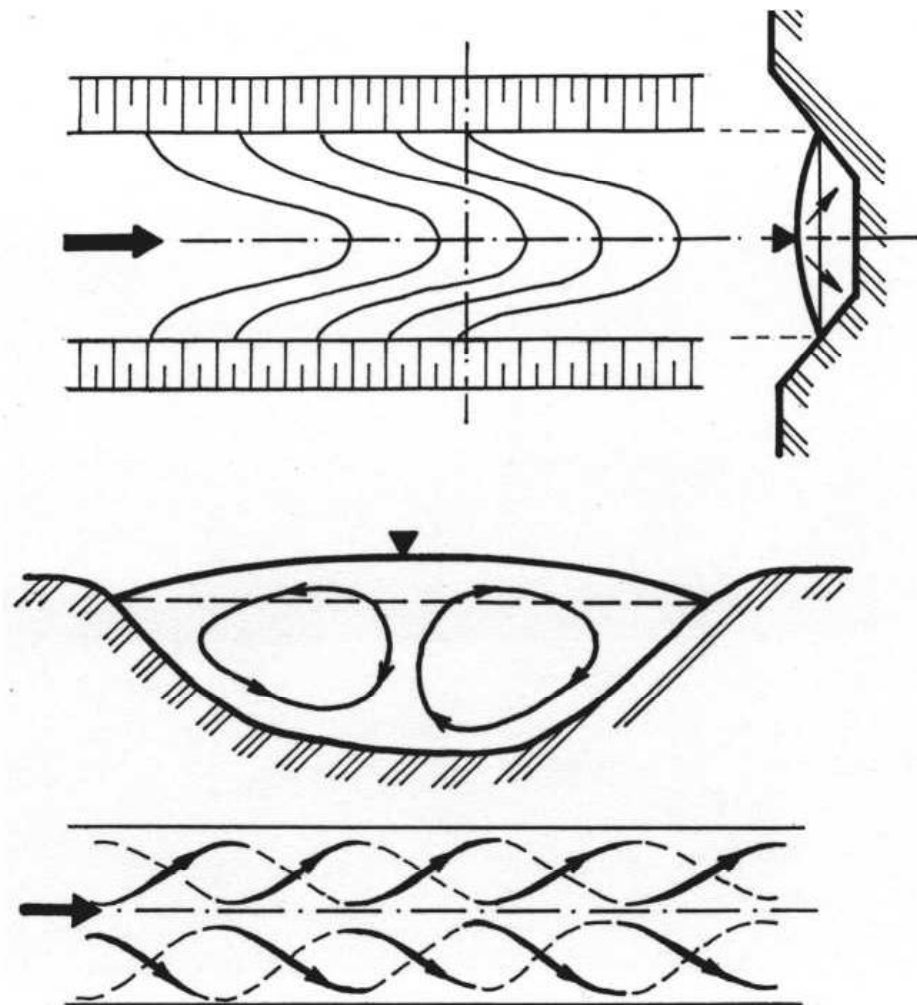
$$\Delta = \frac{r_s - r}{r}$$



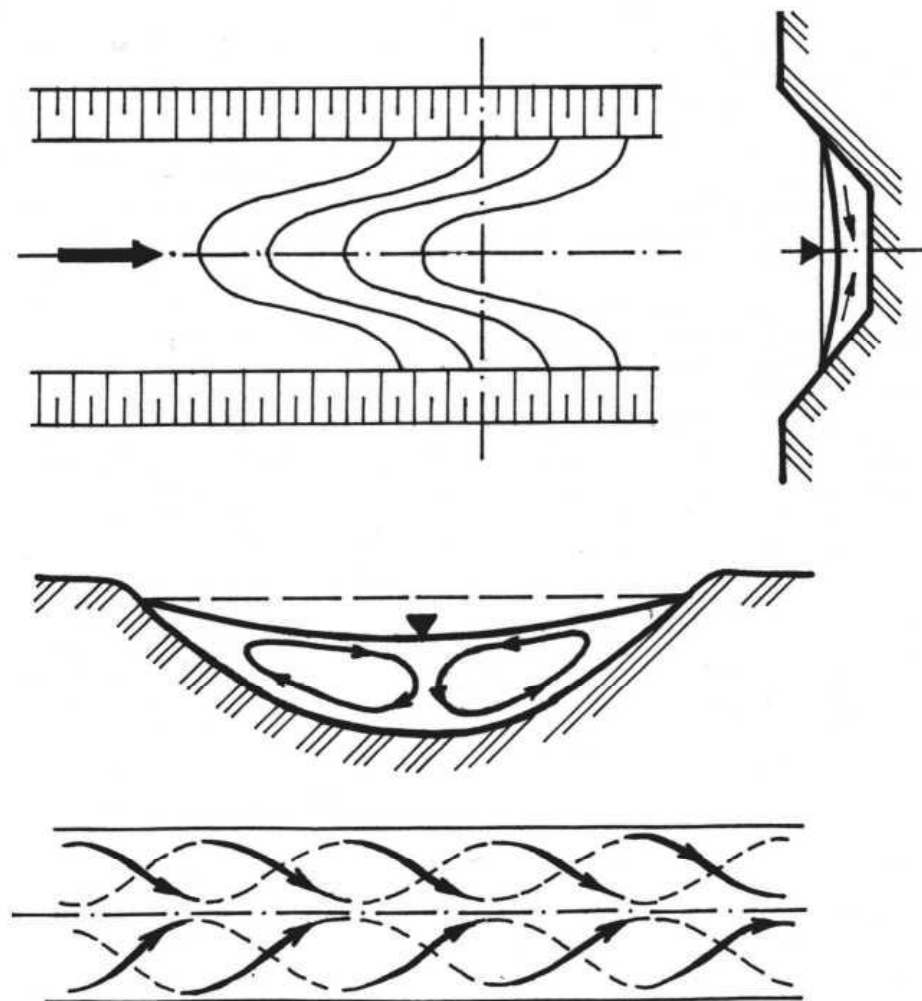
d_s = střední efektivní zrno

SLOŽENÉ PŘÍČNÉ PROUDĚNÍ

Nárůst povodňové vlny:

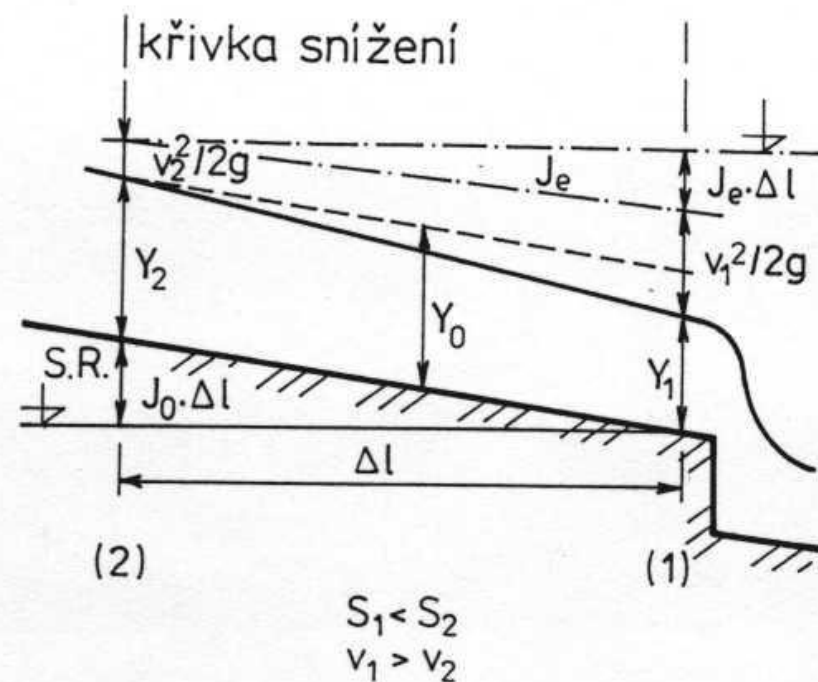
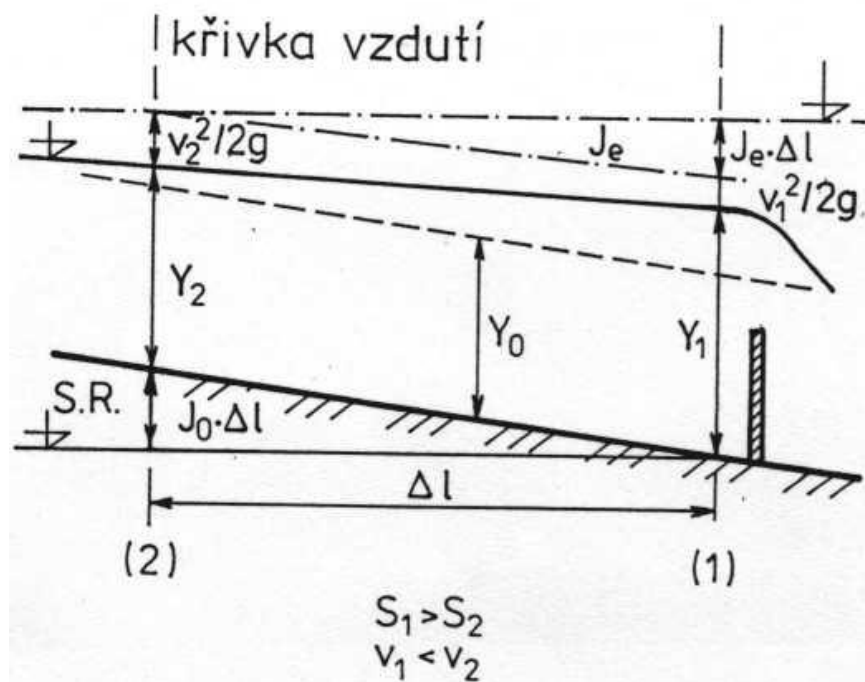


Pokles povodňové vlny:



NEROVNOMĚRNÝ POHYB

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial x} \neq 0$$



Bernoulliova rovnice:

$$J_o \cdot \Delta l + y_2 + \frac{v_2^2}{2g} = y_1 + \frac{v_1^2}{2g} + J_e \cdot \Delta l$$

$$Q = S_p \cdot C_p \cdot \sqrt{R_p \cdot J_e}$$

$$J_e = \frac{Q^2}{S_p^2 \cdot C_p^2 \cdot R_p}$$

$$\Delta y = y_1 - y_2$$

$$J_o \cdot \Delta l - J_e \Delta l + \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} = y_1 - y_2$$

$$\Delta l (J_o - J_e) + Q^2 \left[\frac{1}{2g} \left(\frac{1}{S_2^2} - \frac{1}{S_1^2} \right) \right] = \Delta y$$

$$S_p = \frac{S_1 + S_2}{2}$$

$$C_p = \frac{C_1 + C_2}{2}$$

$$R_p = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

$$v_1 = \frac{Q}{S_1}$$

$$v_2 = \frac{Q}{S_2}$$

$$\Delta l \left[J_0 - \frac{Q^2}{S_p^2 \cdot C_p^2 \cdot R_p} \right] + Q^2 \left[\frac{1}{2g} \left(\frac{1}{S_2^2} - \frac{1}{S_1^2} \right) \right] = \Delta y$$

Jestliže $v < 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$:

Druhý sčítanec $l \cdot s$ rovnice možno zanedbat, potom:

$$\Delta y = (J_0 - J_e) \cdot \Delta l = \Delta l \cdot \left(J_0 - \frac{Q^2}{S_p^2 \cdot C_p^2 \cdot R_p} \right)$$

takže postupně:

$$y_2 = y_1 - \Delta l \left(J_0 - \frac{Q^2}{S_p^2 \cdot C_p^2 \cdot R_p} \right)$$

Volíme-li krátké délky úseků ($l \approx 100 \text{ m}$)

van Bendegom:

$$y_{n+1} = y_n \cdot \exp \left(\frac{3 J_0 \cdot \Delta l}{y_0} \right)$$

J_0 sklon hladiny při rovnoměrném pohybu (= sklon dna)

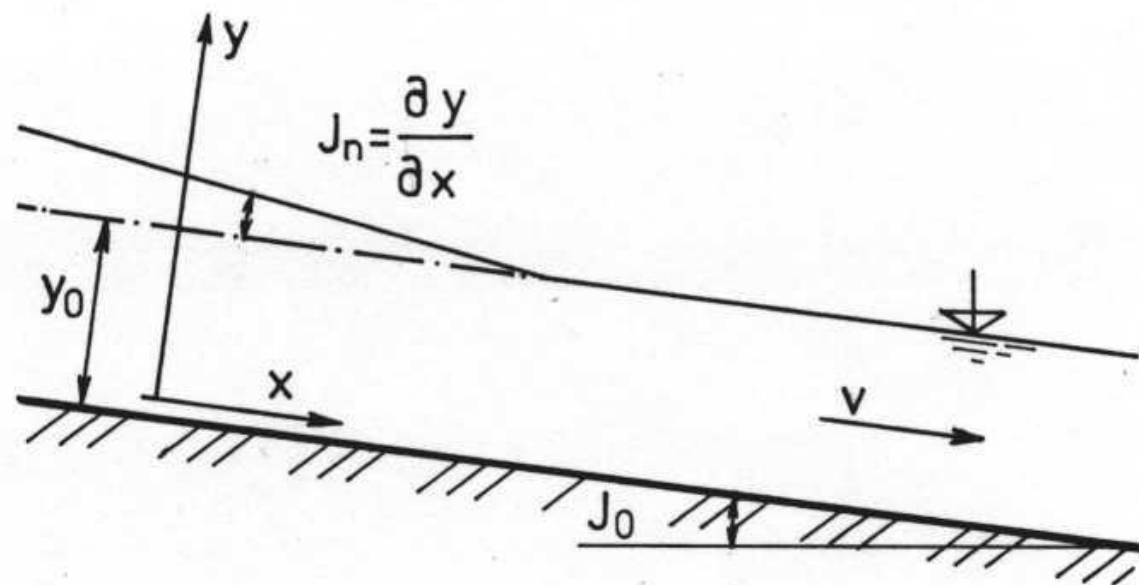
y_0 hloubka vody při rovnoměrném pohybu

NEUSTÁLENÝ POHYB

$$\frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial x} \neq 0$$

Časová i pohybová změna vodních stavů

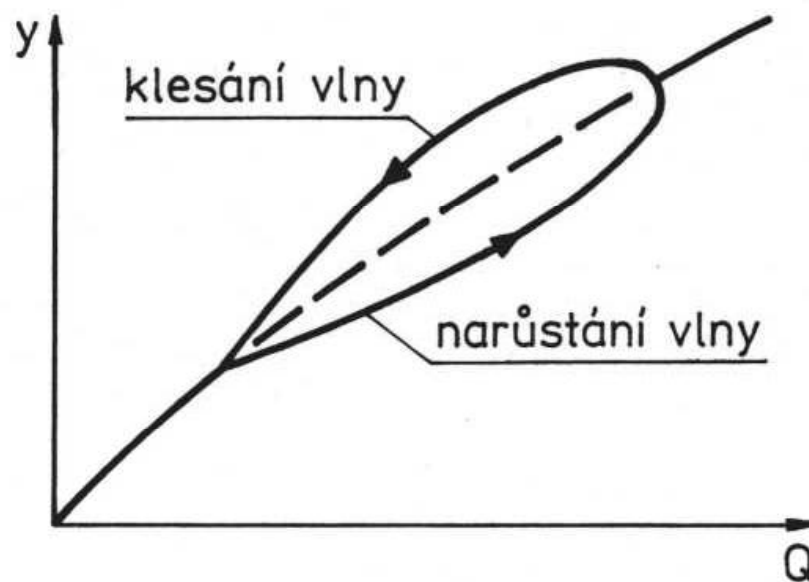
$$\frac{\partial y}{\partial t} \neq 0 \quad \frac{\partial y}{\partial x} \neq 0$$



$$Q = S \cdot v = S \cdot C \sqrt{R \left(J_0 + \frac{\partial y}{\partial x} \right)}$$

- vliv gradientu čela sklonu povodňové vlny $\partial y / \partial x$
- vliv změn drsnosti při narůstání a klesání povodňové vlny

Hystereze měrné křivky: (koryto versus inundace)



ŘEŠENÍ TRANSFORMACE PRŮTOKŮ

$$W = K \cdot Q(t)$$

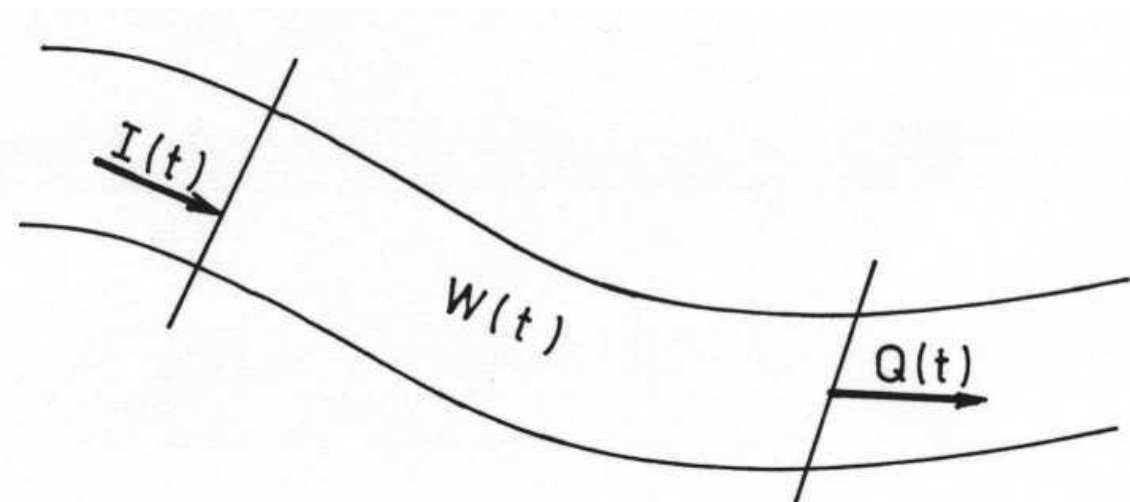
W objem vody v říčním úseku (m^3)

K časová konstanta transformace (s)

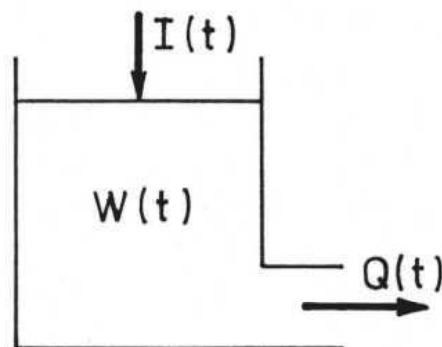
$Q(t)$ výtok z říčního úseku ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

$I(t)$ přítok do říčního úseku ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

TRANSFORMACE PRŮTOKŮ



ÚSEK TOKU: Reprezentace nádrží



Po derivaci (v čase):

$$\frac{dW}{dt} = K \frac{dQ(t)}{dt} \quad \text{linearita}$$

$$\frac{dW}{dt} = Q(t) - I(t) \quad \text{kontinuita}$$

$$\boxed{K \frac{dQ(t)}{dt} + Q(t) = I(t)}$$

tj. řešení transformace matematickým modelem

Analytické řešení:

$$Q(t) = I(t) \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{K}} \right) + Q(t-1) \cdot e^{-\frac{1}{K}}$$

čili

$$Q(N) = I(N) \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{K}} \right) + Q(N-1) \cdot e^{-\frac{1}{K}}$$

Numerické řešení:

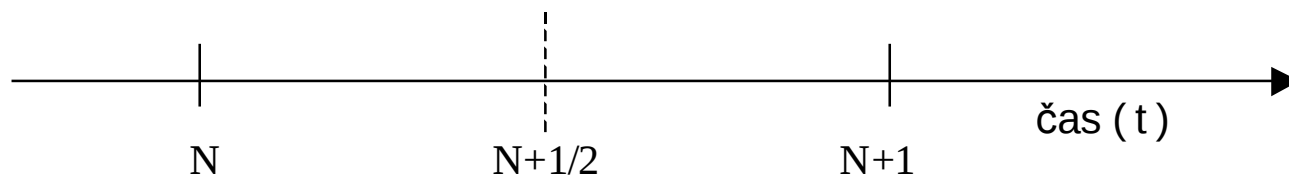
$$\frac{dW(t)}{dt} + Q(t) = I(t)$$

$$W(t) = h(t) \cdot A(t)$$

(prizmatická nádrž)

$$\frac{dh(t)}{dt} \cdot A(t) + Q(t) = I(t)$$

Časová osa numerických schémat:



Implicitně:

$$\frac{h(N+1) - h(N)}{\Delta t} \cdot A(N+1/2) = I(N+1/2) - Q(N+1/2)$$

Explicitně:

$$h(N+1) = \frac{\Delta t [I(N+1/2) - Q(N+1/2)]}{A(N+1/2)} + h(N)$$