

Hydraulická funkce mostních objektů a propustků

Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc.
Ing. Tomáš Pícek, Ph.D.

Mosty

**výška a šířka mostního otvoru převládá nad délkou,
významné energetické ztráty: vtokem, výtokem**

Propustky

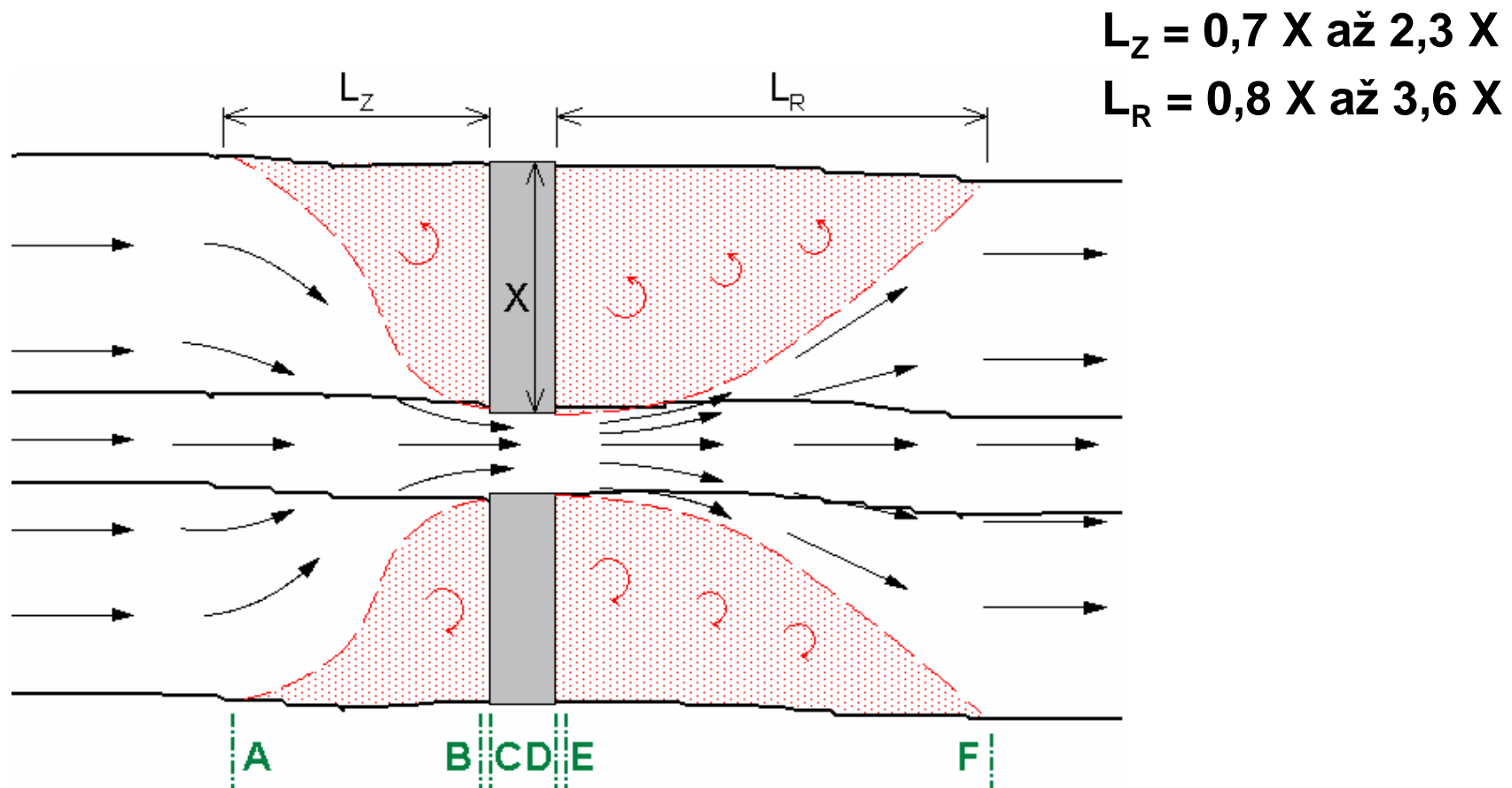
délka - významný rozměr →

→ rozvinutí průběhu hladin v propustku

významné energetické ztráty: vtokem, výtokem, třením

Vybřežení vody z koryta

• významné zúžení proudu před objektem, rozšíření za objektem
postupné řešení průběhu hladiny (Ř.P.): F → E → objekt → B → A



MOSTY

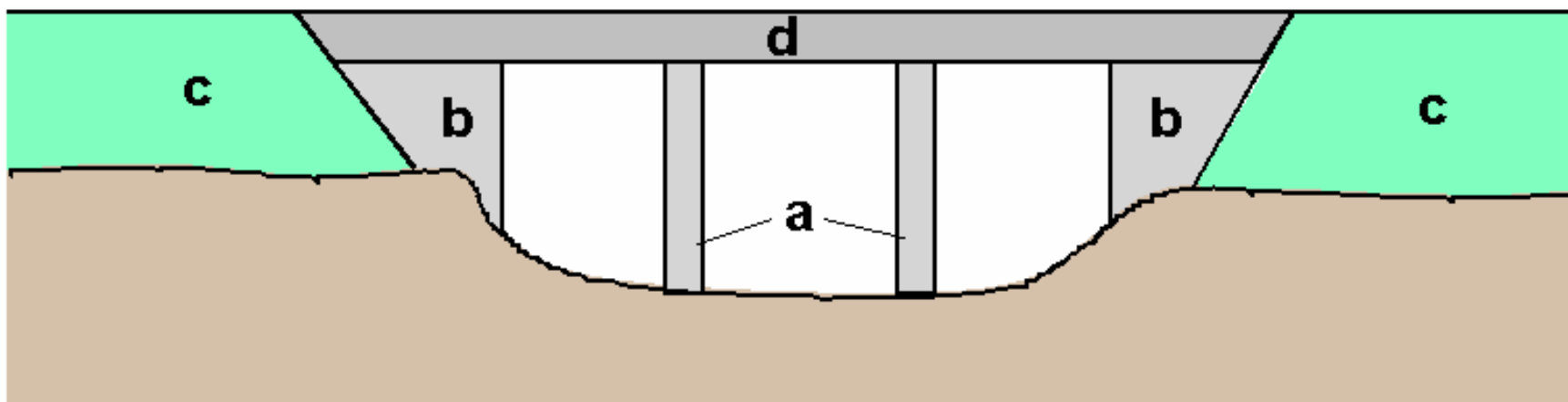
překážku v proudu mohou tvořit:

a) středové pilíře

b) boční pilíře

c) zemní těleso silniční (železniční) komunikace - při vybřežení
vody z koryta

d) mostovka \bar{P} tlakové proudění mostním otvorem,
přelévané mosty



Proudění mostním otvorem o volné hladině, říční proudění

- řešení průběhu hladiny aplikací Bernoulliho rovnice
 - řešení průběhu hladiny aplikací rovnice hybnosti
 - využití schématu přepadu přes širokou korunu
 - metoda Escandova
 - Rehbockův výraz
- } převládající vliv středových pilířů
- další metody: Yarnellova (vliv pilířů),
Biery&Delleur (obloukové mosty), ...

Proudění mostním otvorem o volné hladině, bystřinné proudění

Proudění tlakové

- schéma výtoku pod stavidlem
- schéma výtoku zatopeným otvorem
- přelévaná mostovka

Řešení průběhu hladiny aplikací rovnice zachování hybnosti

řešení rovnice hybnosti pro úseky E-D, D-C, C-B

$$\begin{aligned}
 \text{E-D: } & \underbrace{S_D z_{tD} \times r \times g}_{\text{tlaková síla}} + \underbrace{b_D \times r \times Q \times v_D}_{\text{průtoková síla}} + \underbrace{S_{pD} z_{tpD} \times r \times g}_{\text{tlaková síla od pilířů}} + W_{E-D} = \\
 & = \underbrace{S_E z_{tE} \times r \times g}_{\text{tlaková síla}} + \underbrace{b_E \times r \times Q \times v_E}_{\text{průtoková síla}} + F_{tE-D}
 \end{aligned}$$

Q ... průtok [m^3s^{-1}]

v_i ... průřezová rychlost v profilu i [$m \cdot s^{-1}$]

S_i ... aktivní průtočná plocha v profilu i [m^2]

S_{pi} ... čelní plocha pilířů pod hladinou v profilu i [m^2]

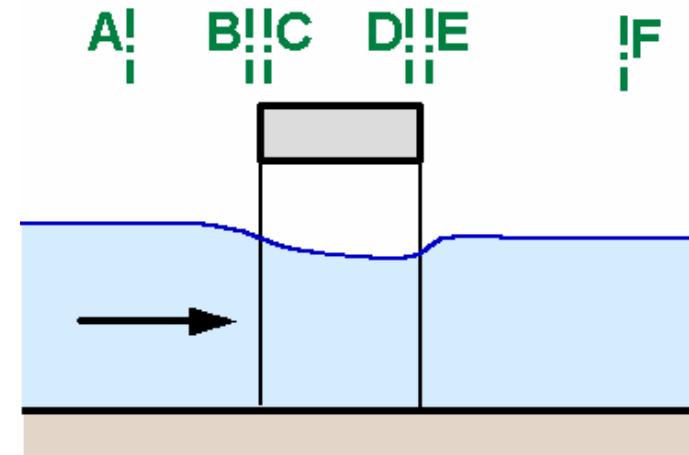
z_{ti} ... hloubka těžiště plochy S_i pod hladinou [m]

b_i ... Boussinesqovo číslo pro profil i [-]

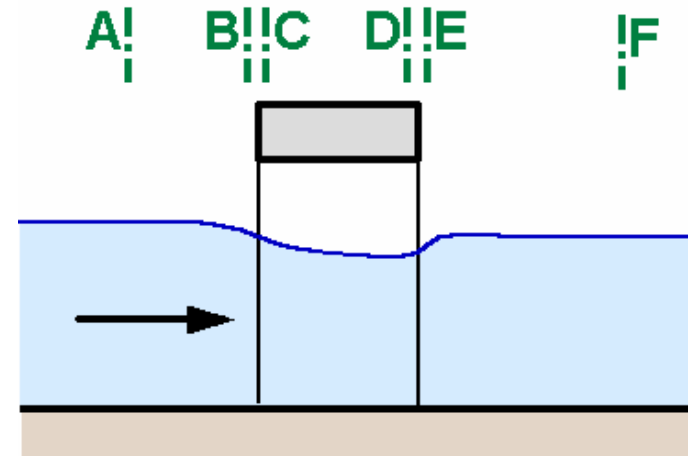
F_t ... vnější třecí síla v příslušném úseku [N]

W ... složka tíhy vody v příslušném úseku ve směru proudění [N]

C_D ... odporový součinitel závislý na tvaru pilíře [-]



$$\begin{aligned}
 & \text{tlaková síla} \quad \text{průtoková síla} \\
 \text{D-C:} \quad & \underbrace{S_C z_{tC} \times r \times g}_{\text{tlaková síla}} + \underbrace{b_C \times r \times Q \times v_C}_{\text{průtoková síla}} + W_{D-C} = \\
 & = \underbrace{S_D z_{tD} \times r \times g}_{\text{tlaková síla}} + \underbrace{b_D \times r \times Q \times v_D}_{\text{průtoková síla}} + F_{tD-C}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 & \text{tlaková síla} \quad \text{průtoková síla} \\
 \text{C-B:} \quad & \underbrace{S_B z_{tB} \times r \times g}_{\text{tlaková síla}} + \underbrace{b_B \times r \times Q \times v_B}_{\text{průtoková síla}} + W_{C-B} = \\
 & = \underbrace{S_C z_{tC} \times r \times g}_{\text{tlaková síla}} + \underbrace{b_C \times r \times Q \times v_C}_{\text{průtoková síla}} + \underbrace{S_{pC} z_{tpC} \times r \times g}_{\text{tlaková síla od pilířů}} + F_{tC-B} + \underbrace{\frac{1}{2} C_D \times r \times v_B^2 \times S_{pC}}_{\text{reakce k hydrodynamické síle působící na pilíře}}
 \end{aligned}$$

Q ... průtok [m³s⁻¹]

v_i ... průřezová rychlost v profilu i [m·s⁻¹]

S_i ... aktivní průtočná plocha v profilu i [m²]

S_{pi} ... čelní plocha pilířů pod hladinou v profilu i [m²]

z_{ti} ... hloubka těžiště plochy S_i pod hladinou [m]

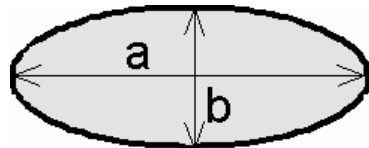
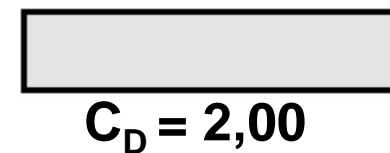
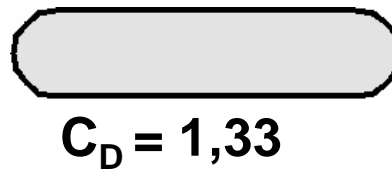
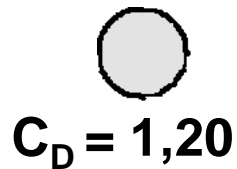
b_i ... Boussinesqovo číslo pro profil i [-]

F_t ... vnější třecí síla v příslušném úseku [N]

W ... složka tíhy vody v příslušném úseku ve směru proudění [N]

C_D ... odporový součinitel závislý na tvaru pilíře [-]

hodnoty odporového součinitele dle tvaru pilíře C_D



$a:b = 2 \rightarrow C_D = 0,60$

$a:b = 4 \rightarrow C_D = 0,32$

$a:b = 8 \rightarrow C_D = 0,29$



$a = 30^\circ \rightarrow C_D = 1,00$

$a = 60^\circ \rightarrow C_D = 1,39$

$a = 90^\circ \rightarrow C_D = 1,60$

$a = 120^\circ \rightarrow C_D = 1,72$

Vnější třecí síla F_t - odvození na základě rovnoměrného proudění

$F_t = t \cdot O \cdot L, \quad t = r \cdot g \cdot R \cdot i$

$v = C \times \sqrt{R \times i} \quad \text{P} \quad i = \frac{v^2}{C^2 R}$

$\text{P} \quad F_t = r \times g \times \frac{v^2}{C^2} \times O \times L$

R ... hydraulický poloměr [m]

O ... omočený obvod [m]

L ... délka úseku [m]

C ... Chézyho rychlostní součinitel [$m^{0,5}s^{-1}$]

Řešení průběhu hladiny aplikací Bernoulliho rovnice

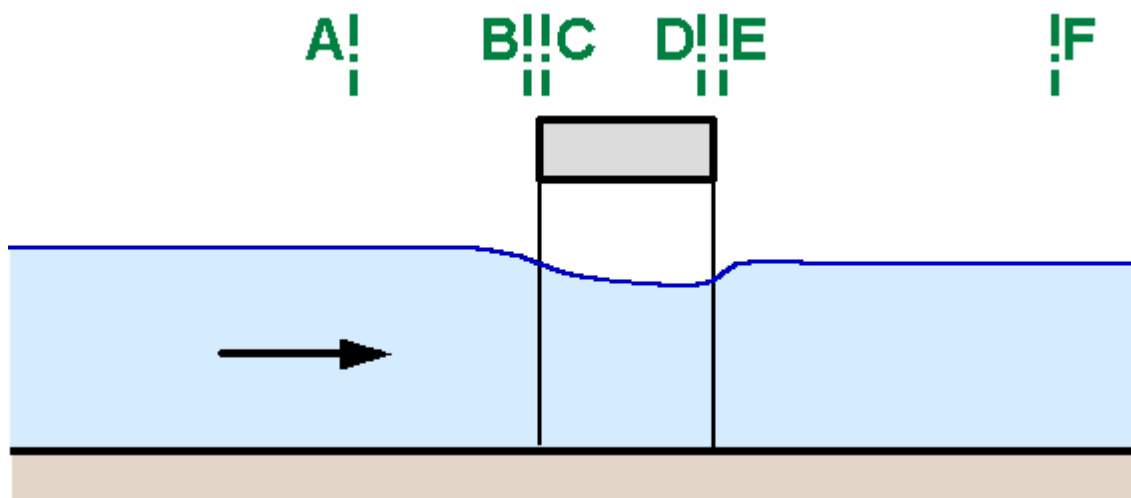
využití standardního postupu řešení průběhu hladiny v otevřeném korytě (metoda "po úsecích")

(říční proudění \mathcal{P} řešení proti proudu)

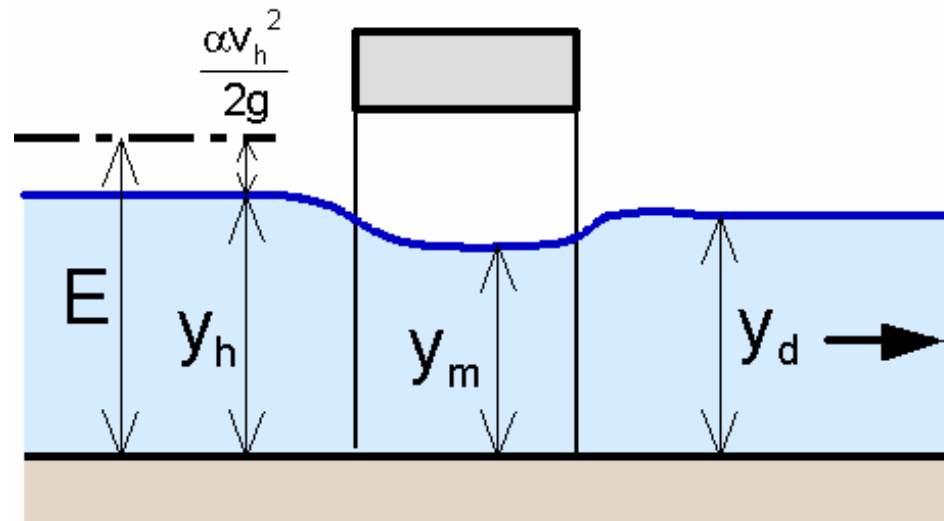
energetické ztráty: zúžením (B-C)

třením (C-D)

rozšířením (D-E)



Ovlivnění proudění ve mostním profilu „dolní“ vodou



Proudění mostním profilem

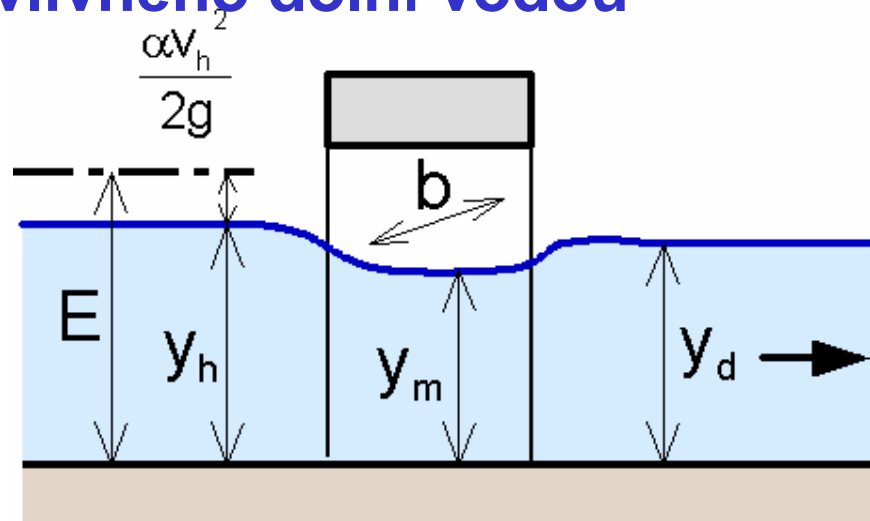
- neovlivněno hladinou v korytě za mostem
- ovlivněno hladinou v korytě za mostem

kritérium zatopení: $y_d < k \cdot E$ \Rightarrow neovlivněno dolní vodou
 $y_d > k \cdot E$ \Rightarrow ovlivněno dolní vodou

Proudění v profilu mostu neovlivněno dolní vodou

$$(y_d < k \cdot E)$$

$$Q = S_m \times j \times \sqrt{2 \times g \times (E - y_m)}$$



$$E = y_h + \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} = y_m + \frac{a \times v_m^2}{2 \times g} + \frac{x \times v_m^2}{2 \times g} = y_m + \frac{v_m^2}{j^2 \times 2 \times g} = y_m + \frac{Q^2}{j^2 \times 2 \times g \times S_m^2}$$

j ... rychlostní součinitel pro obdélníkový mostní: otvor $S_m = y_m \cdot b$

Aplikace rovnice přepadu

$$Q = m \times b \times \sqrt{2 \times g} \times E^{3/2} \quad m \dots \text{součinitel přepadu}$$

Stanovení y_m :

dle Belangera pro obdélníkový otvor $y_m = \frac{2}{3}E$

(při dané hodnotě E se vytvoří taková hloubka y_m , při níž bude protékat maximální průtok Q)

dle Bachmětěva $y_m = y_k$ (y_k ... kritická hloubka)

pro reálnou kapalinu ($j < 1$) P $y_k < \frac{2}{3}E$, dle experimentů: $y_m < y_k$

Proudění v profilu mostu ovlivněno dolní vodou

$$(y_d > k \cdot E)$$

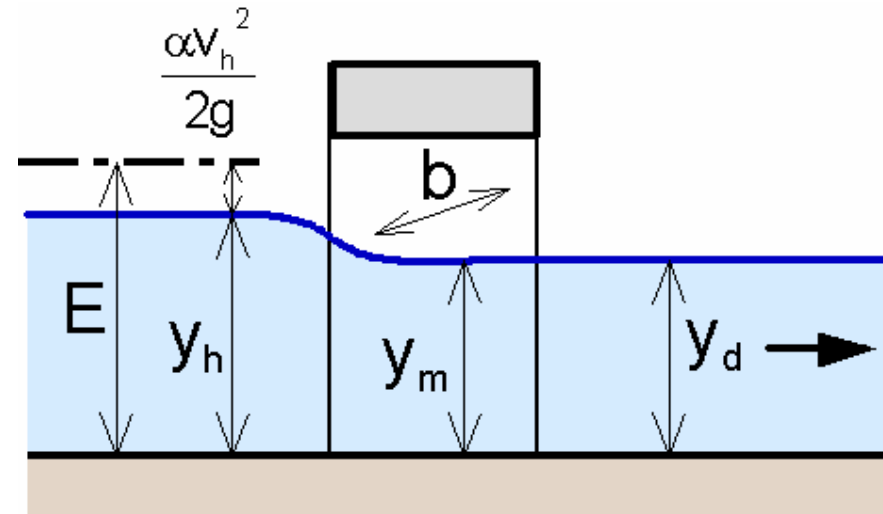
$$y_m = y_d$$



$$Q = S_m \times j \times \sqrt{2 \times g \times (E - y_d)}$$



$$E = y_h + \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} = y_d + \frac{a \times v_m^2}{2 \times g} + \frac{x \times v_m^2}{2 \times g} = y_d + \frac{v_m^2}{j^2 \times 2 \times g} = y_d + \frac{Q^2}{j^2 \times 2 \times g \times S_m^2}$$



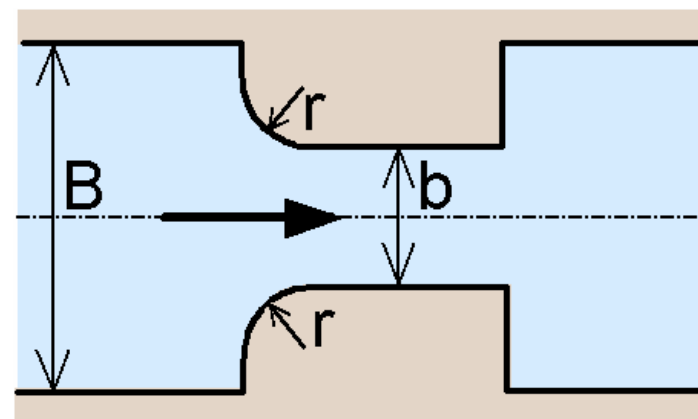
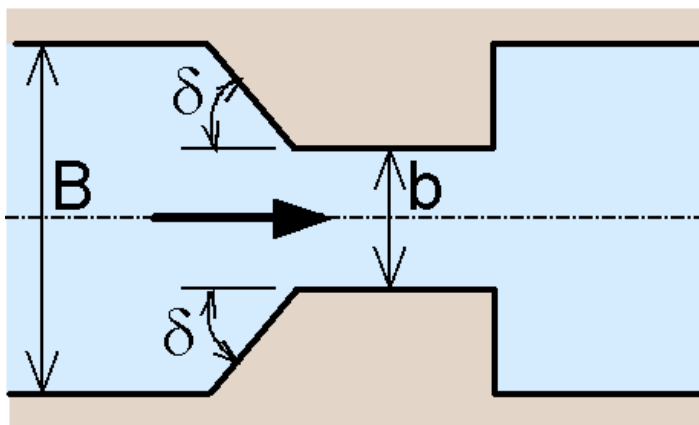
pro obdélníkový mostní otvor $S_m = y_m \cdot b$

využití rovnice zatopeného přečpu:

$$Q = S_z \times m \times b \times \sqrt{2 \times g \times E^{3/2}}$$

S_z ... součinitel zatopení (závislý na poměru y_m/y_h a tvaru pilířů)

Ukázka hodnot součinitele přepadu m (vliv poměrného zúžení b/B , tvaru nátokových hran)



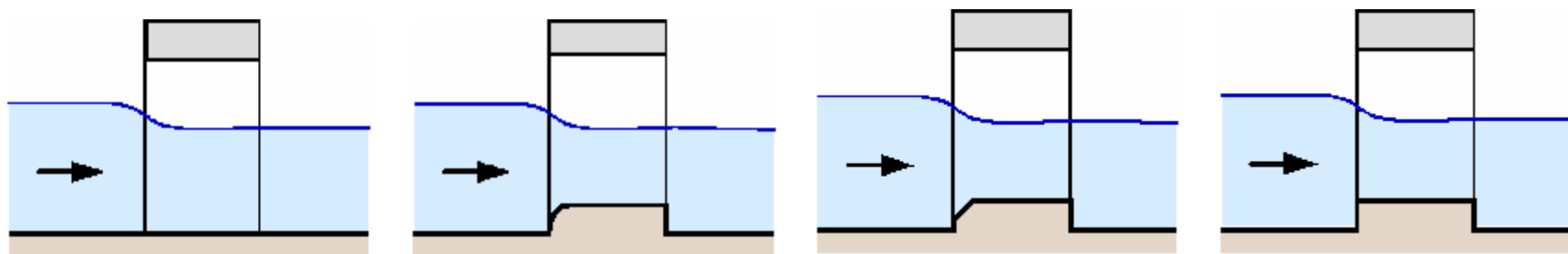
b/B	úhel d	
	90°	45°
@ 0	0,320	0,350
0,3	0,327	0,354
0,6	0,340	0,361
0,9	0,367	0,375

b/B	poměr r/b	
	0,1	≈ 5
@ 0	0,342	0,360
0,3	0,347	0,363
0,6	0,354	-
0,9	0,365	-

Orientační hodnoty součinitelů m, j, k

(vliv poměrného zúžení b/B , tvaru nátokových hran prahu ve dně)

práh ve dně	plynulé boční připojení			zaoblená boční křídla			šikmá boční křídla			pravoúhlá boční křídla		
	m	j	k	m	j	k	m	j	k	m	j	k
a	0,36	0,96	0,72	0,36	0,95	0,73	0,36	0,95	0,74	0,35	0,94	0,75
b	0,35	0,94	0,75	0,35	0,93	0,76	0,34	0,92	0,78	0,33	0,91	0,79
c	0,33	0,91	0,79	0,32	0,90	0,81	0,30	0,88	0,83	0,28	0,87	0,85
d	0,32	0,90	0,81	0,30	0,88	0,83	0,29	0,87	0,85	0,27	0,86	0,87



Doporučený postup

Předpoklad – proudění v mostním profilu ovlivněno dolní vodou

$$y_m = y_d, \text{ pro obdélníkový mostní otvor } S_m = y_m \cdot b$$

Výpočet úrovně hladiny nad mostem

$$y_h = y_d + \frac{Q^2}{j^2 \times 2 \times g \times S_m^2} - \frac{a \times v_h^2}{2 \times g}$$

Ověření předpokladu $y_d > k \cdot E$ $E = y_h + \frac{a \times v_h^2}{2 \times g}$

V případě nesplnění předpokladu použití rovnice pro nezatopený přepad :

$$y_h = \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{Q}{m \times b \times \sqrt{2 \times g}} \frac{\theta^{2/3}}{\theta} - \frac{a \times v_h^2}{2 \times g}$$

Stanovení y_h s využitím iteračního postupu:

1.krok $y_{h1} \gg E$ $S_{h1} = f(y_{h1})$ $v_{h1} = \frac{Q}{S_{h1}}$

2.krok $y_{h2} \gg E - \frac{a \times v_{h1}^2}{2 \times g}$ $S_{h2} = f(y_{h2})$ $v_{h2} = \frac{Q}{S_{h2}}$

Opakování až $y_{hi} @ y_{hi-1}$

S_h
Průřezová plocha
koryta nad mostem
při hloubce y_h

Pilíře mostů na Vltavě v Praze



Karlův most



Železniční most na Výtoni



Jiráskův most

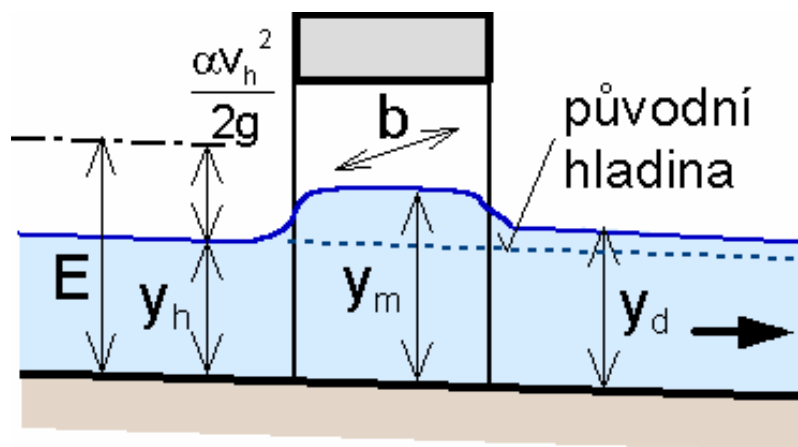


most Svatopluka Čecha

Most v bystrinném proudu

bystrinné proudění:

v místě bočního zúžení proudu \textcircled{R} zvýšení hladiny
propagace rozruchu ve směru proudění
zmenšení mechanické energie (vlivem ztrát) při daném průtoku v
daném profilu koryta \textcircled{R} zvětšení hloubky



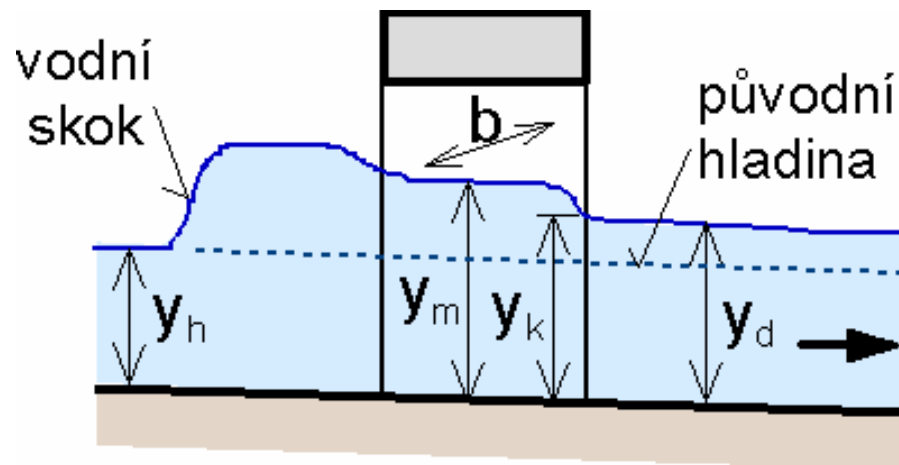
↓
v profilu mostu boční zúžení,
ale větší hloubka

↓
 $V_h @ V_m$

ztrátová výška: $Z @ 0,3 \times \frac{V_h^2}{2 \times g}$

výrazné zúžení proudu [®]

vznik říčního proudění v mostním otvoru,
kritická hloubka y_k na výstupním profilu mostu,
vodního skok VS v korytě před mostem



řešení průběhu hladiny:

- z y_k ve směru proudu (bystřinné proudění)
- hladina před mostem - výpočtem nezatopeného přepadu při ŘP,
dále přechod VS do BP

Tlakové proudění mostním otvorem

Schéma výtoku pod stavidlem

Z Bernoulliho rovnice pro profily 1 - 2

$$y_h + \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} = y_c + \frac{a \times v_c^2}{2 \times g} + x \times \frac{v_c^2}{2 \times g}$$

$$v_c = \frac{Q}{y_c \times b}, \quad y_c = e \times a, \quad \frac{1}{\sqrt{a + x}} = j, \quad j \times e = m_v$$



rovnice výtoku pod stavidlem: $Q = m_v \times a \times b \times \sqrt{2 \times g \times \frac{a}{e} \times y_h + \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} - e \times a}$

m_v ... součinitel výtoku
 e ... součinitel kontrakce

fce (y_h/a , tvar nátokových hran)

tab.,
 grafy

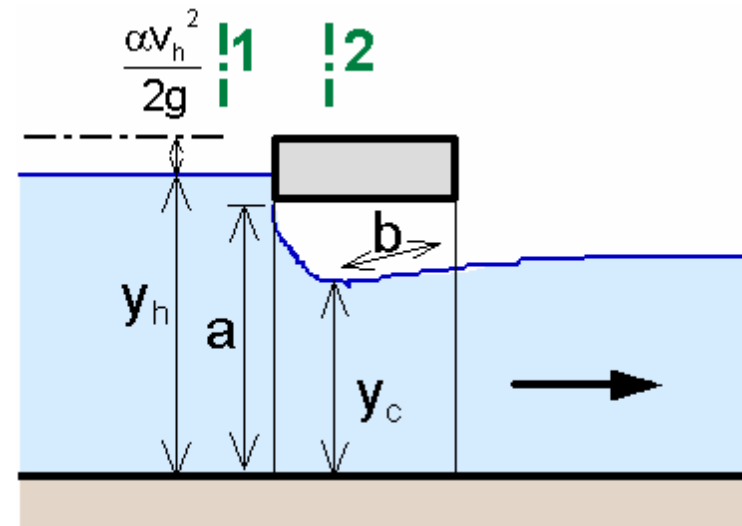


Schéma zatopeného výtoku otvorem

Z Bernoulliho rovnice (RB) pro profily 1 - 2

$$y_h + \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} = y_d + \frac{a \times v_a^2}{2 \times g} + x \times \frac{v_a^2}{2 \times g}$$

$$v_a = \frac{Q}{S_a}, \quad \frac{1}{\sqrt{a+x}} = C_{d0}$$



rovnice pro výtok
zatopeným otvorem

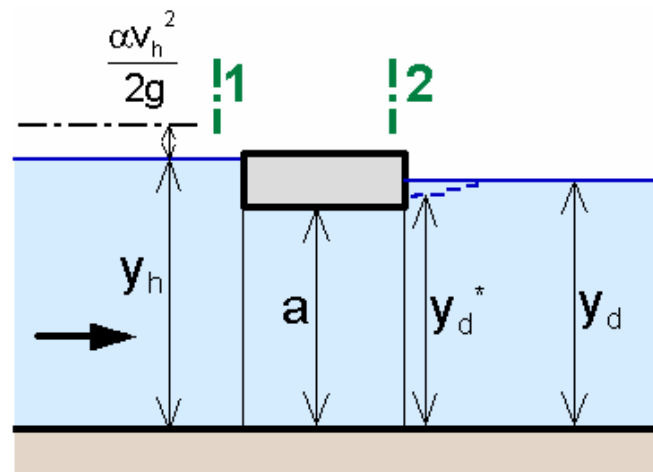
$$Q = C_{d0} \times S_a \times \sqrt{2 \times g \times \left(y_h + \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} - y_d \right)}$$

C_{d0} ... součinitel průtoku pro výtok zatopeným otvorem
fce (y_h/a , tvar nátokových hran)

tab.,
grafy

pozn.: správně má v BR místo y_d být y_d^* ($y_d^* < y_d$)

při uvažování $y_d^* = y_d$ P nadhodnocení počítaného vzduť mostem



Přeléváná mostovka

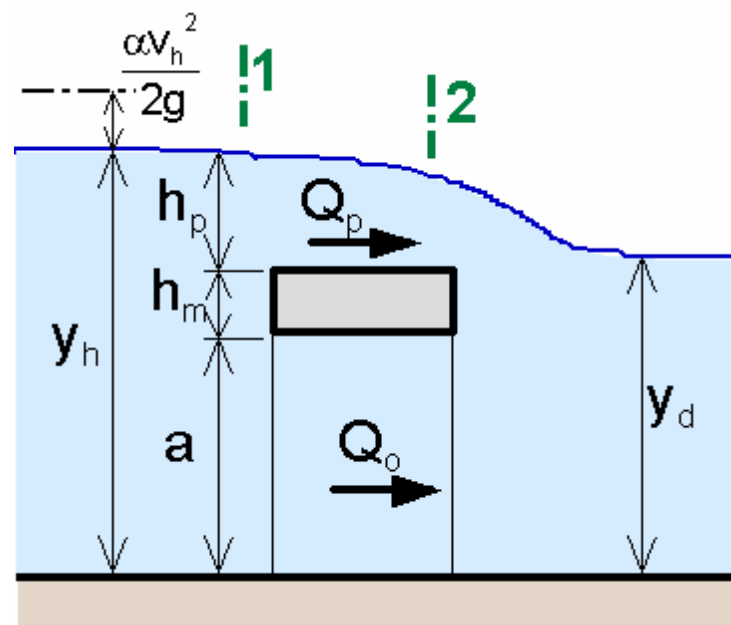
průtok pod mostovkou - rovnice zatopeného výtoku otvorem

$$Q_o = C_{d0} \times S_a \times \sqrt{2 \times g \times \left(y_h + \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} - y_d \right)}$$

průtok nad mostovkou -
- rovnice přepadu

$$Q_p = S_z \times m \times b_p \times \sqrt{2 \times g \times \left(h_p + \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} \right)}$$

celkový průtok $Q = Q_o + Q_p$

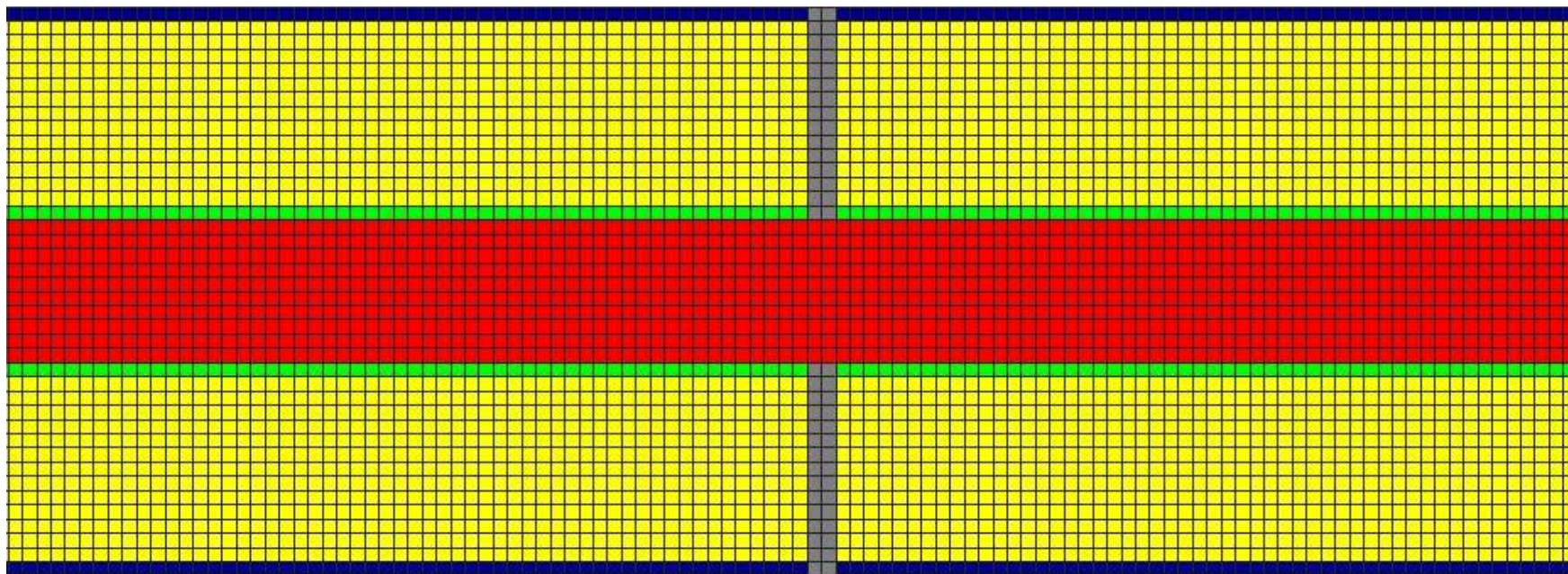


S_z ... součinitel zatopení
 m ... součinitel přepadu
 b_p ... šířka přepadového paprsku

2D modelování prostorového proudění mostním objektem

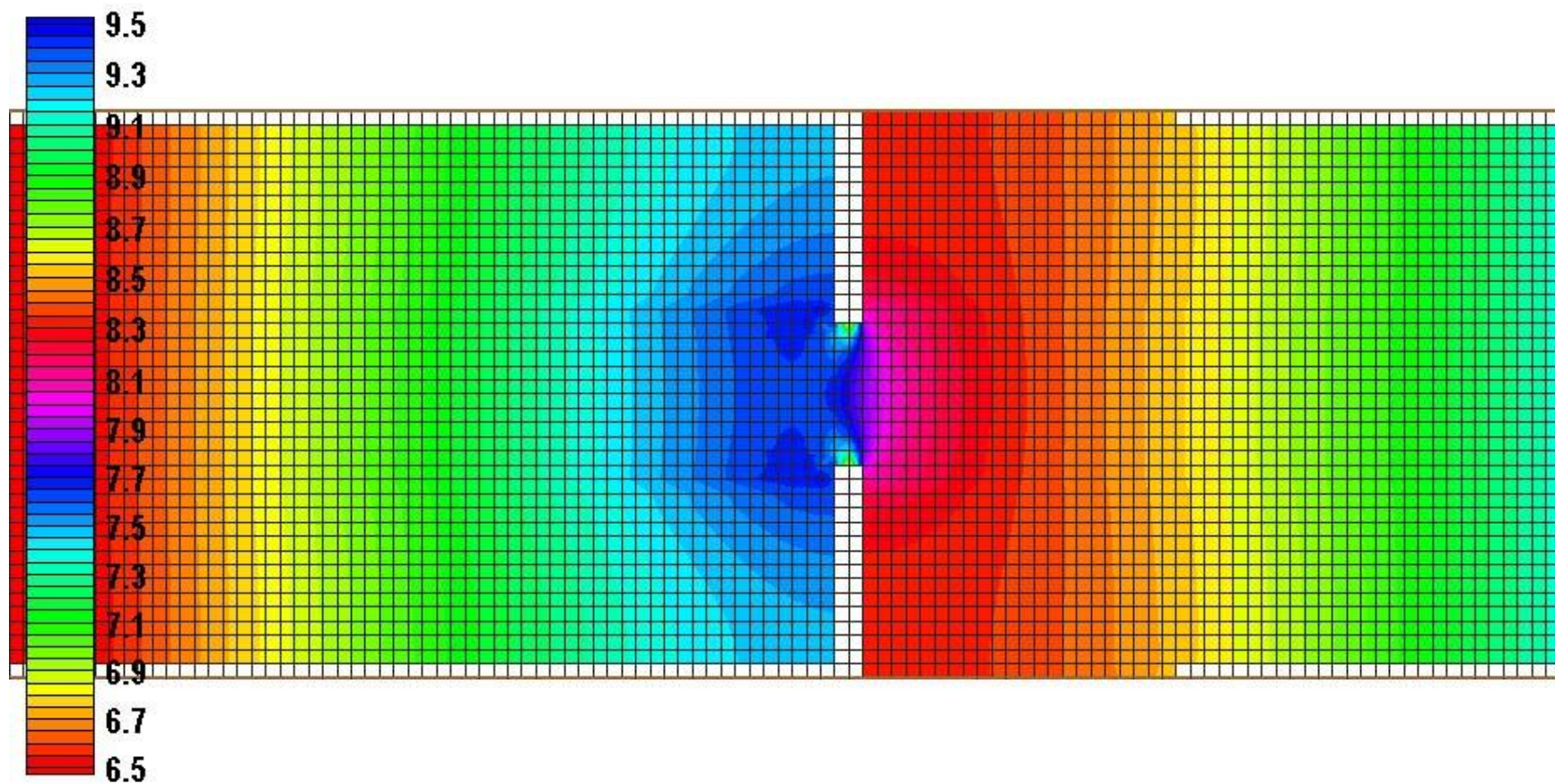
Materials Legend

	Disable
	Břeh
	Koryto
	Berma
	Svah

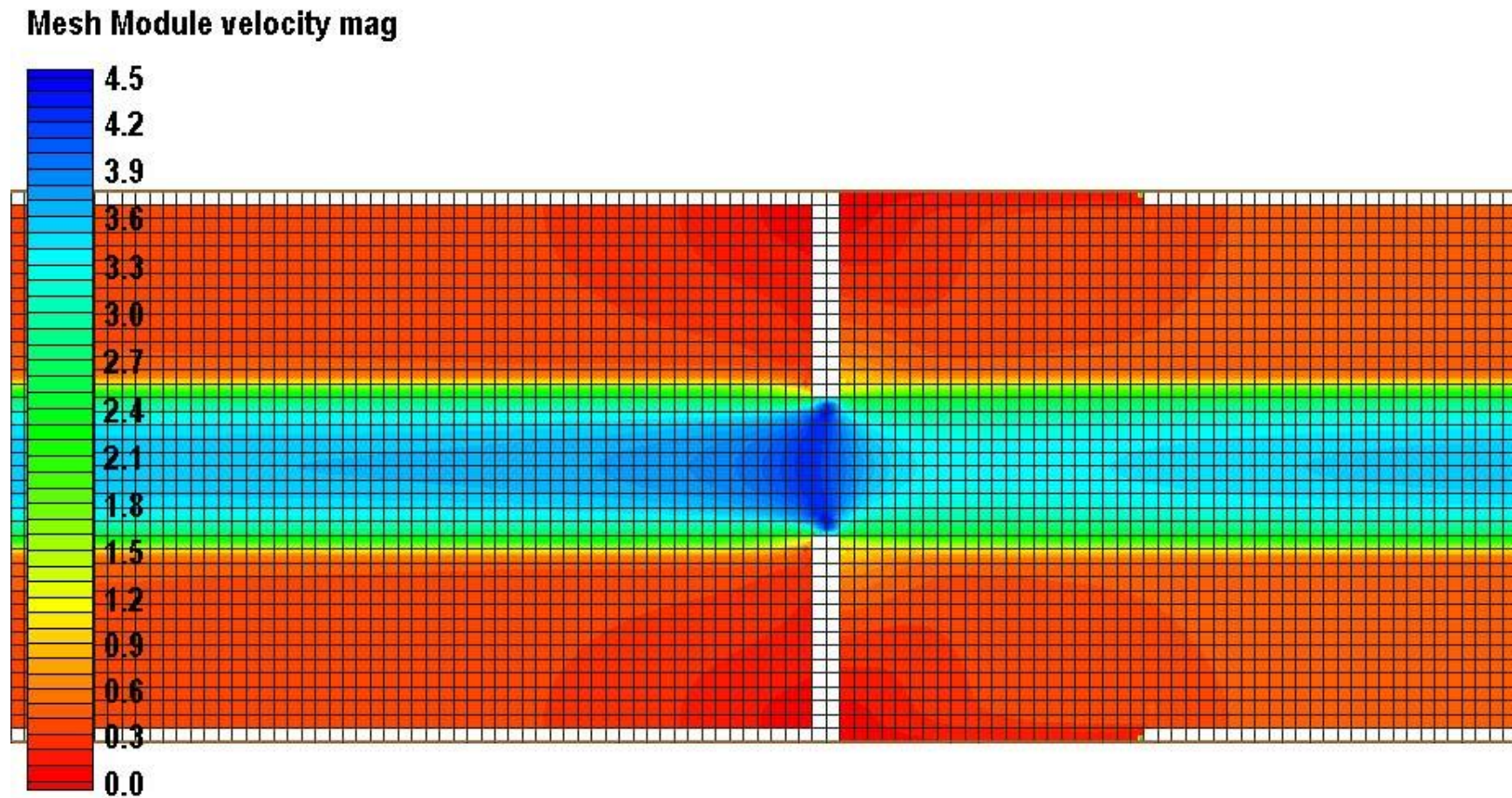


Prostorový průběh hladiny

Mesh Module water surface



Prostorový průběh velikostí svislicových rychlostí



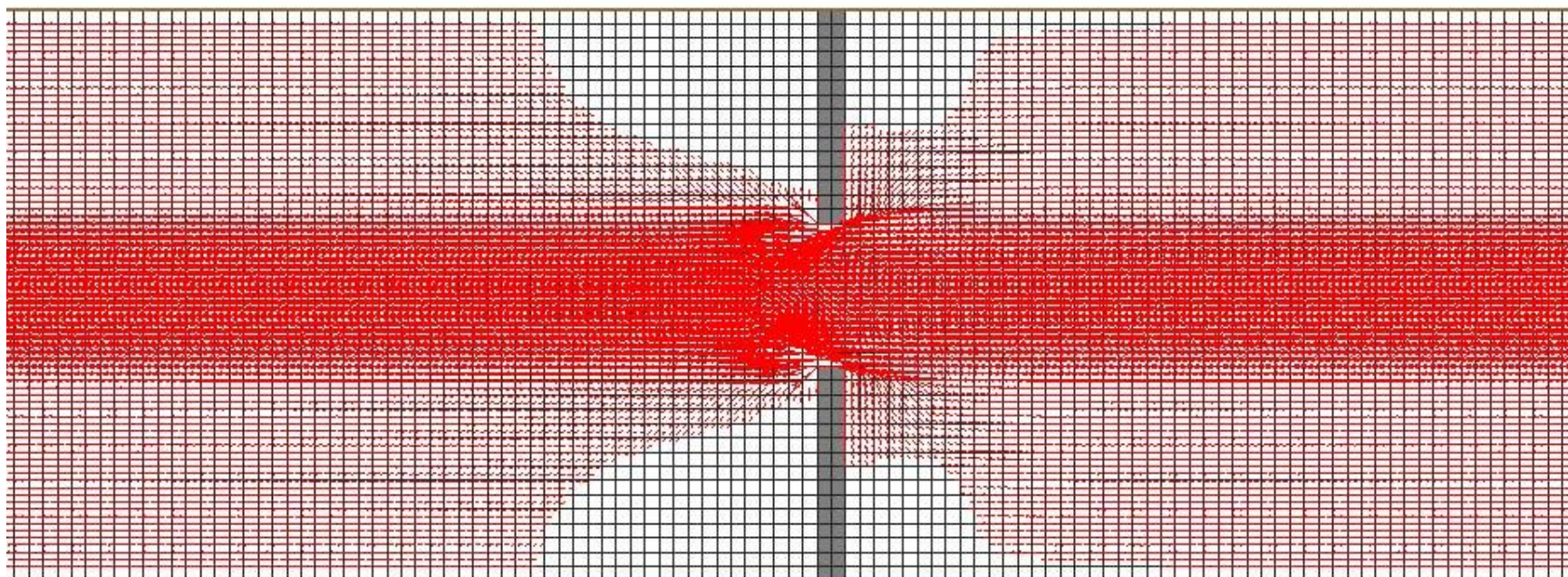
Prostorové průběh vektorů rychlostí

Materials Legend

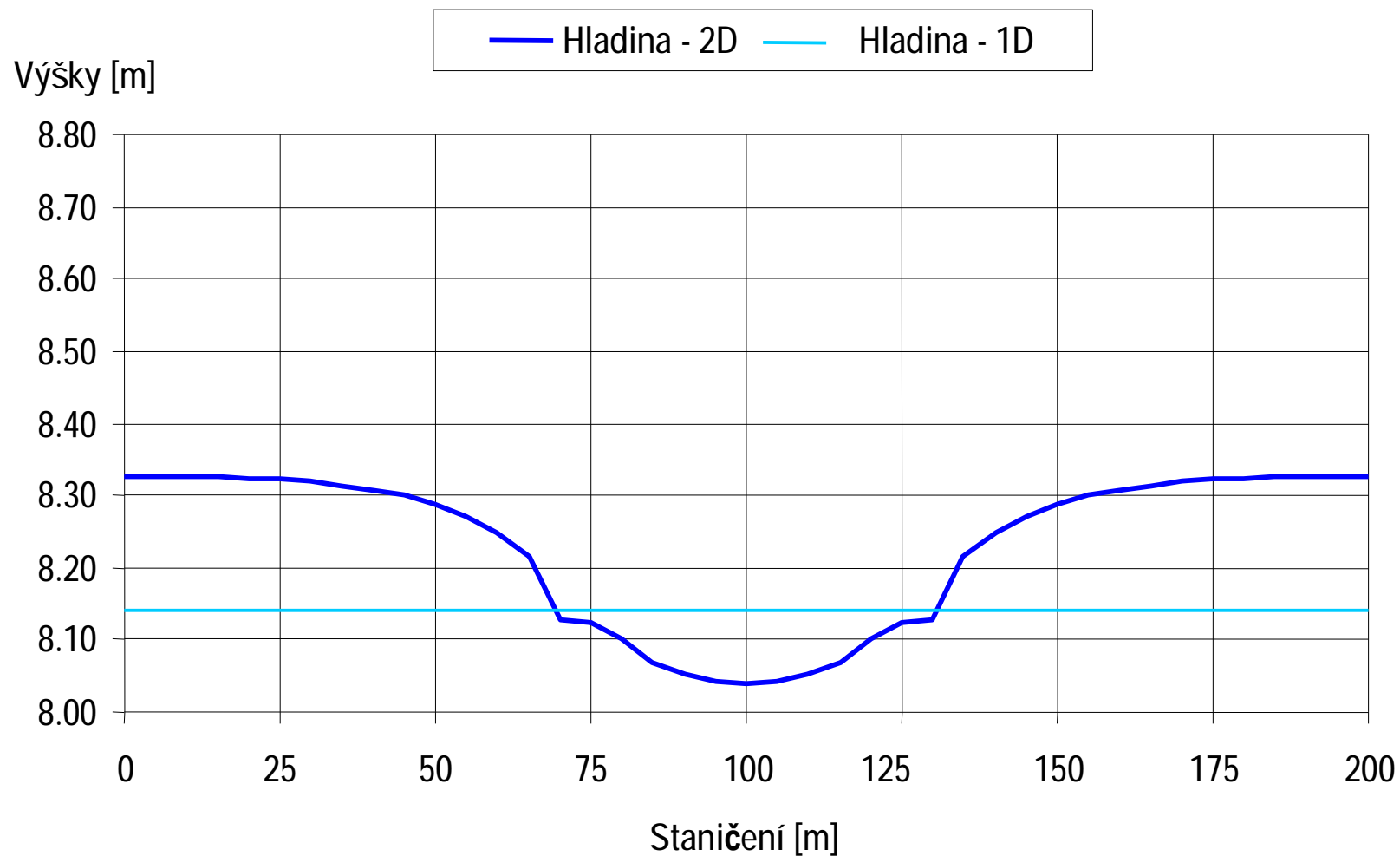
■ Disable

Vector Legend

4.50 m/s
4.50 m/s →
0.10 m/s
0.10 m/s



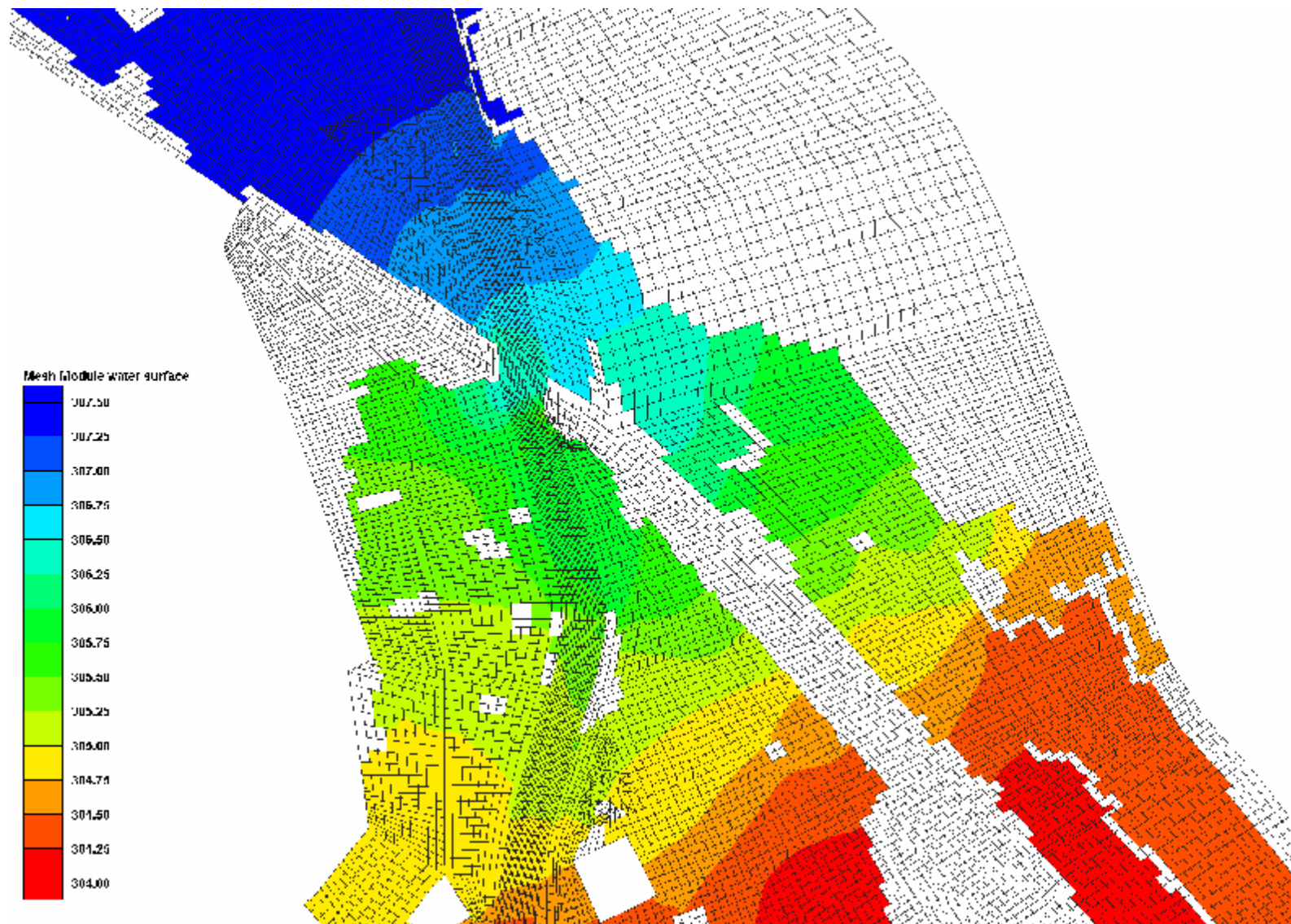
Příčný sklon hladiny v profilu nad mostním objektem



Násep komunikace – staničení 0 až 75 m a 125 až 200 m

Mostní otvor – staničení 75 až 125 m

Prostorový průběh hladiny při proudění průtoku Q100 v okolí silničního mostu přes Odru v Loučkách nad Odrami

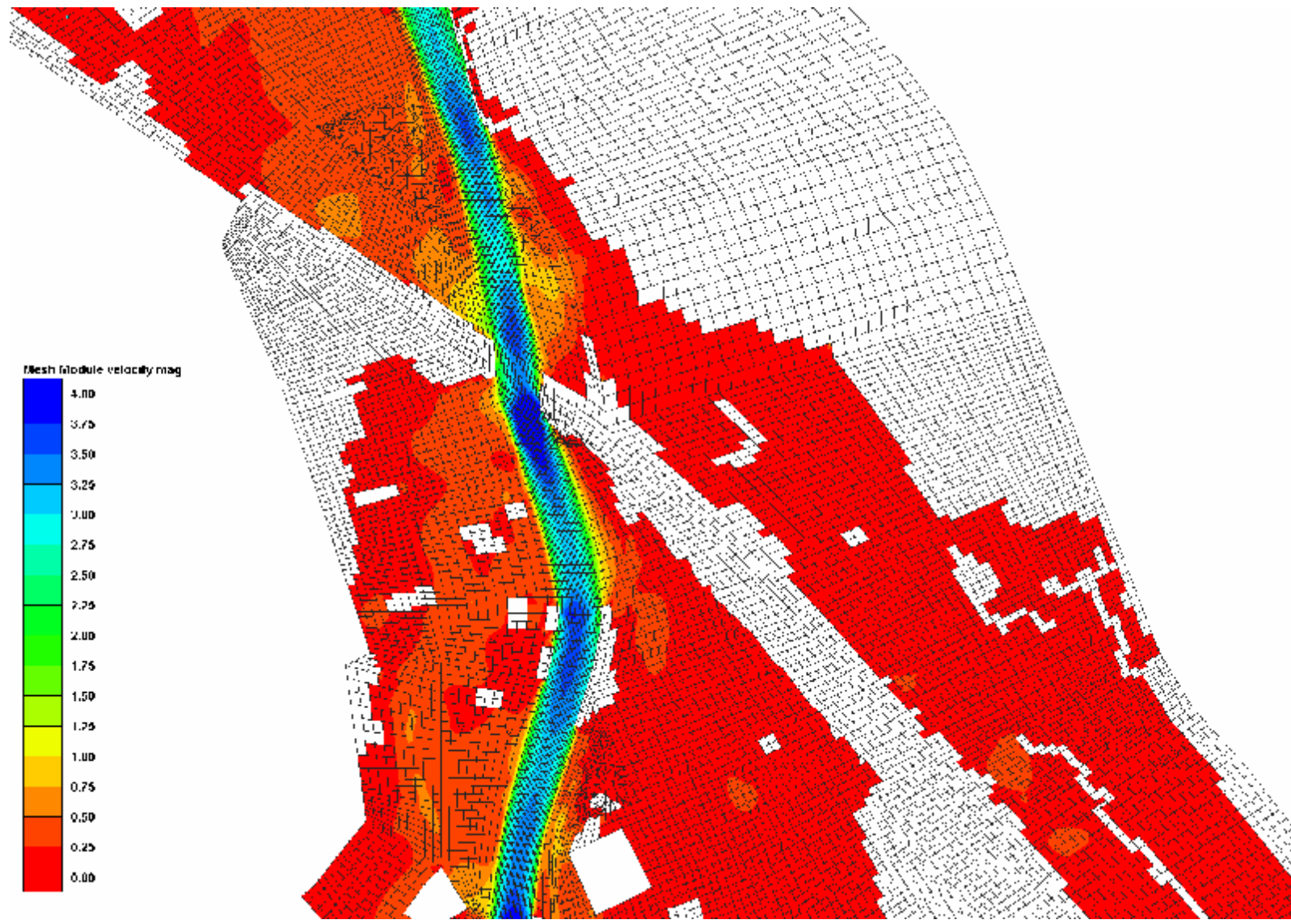


K141 VIN

Hydraulická funkce mostních objektů a propustků

27

Prostorový průběh svislicových rychlostí při proudění průtoku Q_{100} v okolí silničního mostu přes Odru v Loučkách nad Odrami



K141 VIN

Hydraulická funkce mostních objektů a propustků

28

Praha - srpen 2002



K141 VIN

Hydraulická funkce mostních
objektů a propustků

29

Poškození mostních objektů za povodní



**Blanice - silniční
most mezi Vodňany
a Bavorovem**

**podemletí
středního
pilíře při povodni v
srpnu 2002**

K141 VIN

Hydraulická funkce mostních
objektů a propustků

30



**Silniční most na přítoku Blanice
podemletí břehových pilířů při povodni v srpnu 2002**

Blanice – silniční most mezi Vodňany a Bavorovem

poškození břehového opevnění
při povodni v srpnu 2002



K141 VIN



Hydraulická funkce mostních
objektů a propustků



**Blanice - železniční most na trati Vodňany-Bavorov
protržení náspu železniční trati při povodni v srpnu 2002**

K141 VIN

Hydraulická funkce mostních
objektů a propustků

33



**Malše – silniční most v Pořešíně
protržení náspu silnice při povodni v srpnu 2002**

K141 VIN

Hydraulická funkce mostních
objektů a propustků

34



**Desná – silniční most v Šumperku
zmenšení průtočného profilu zachycením spláví na
středním pilíři mostu**

K141 VIN

Hydraulická funkce mostních
objektů a propustků

35

Odhad velikosti výmolů u středních pilířů

Rovnice CSU
$$y_v = 2 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times B_p^{0.65} \times y_1^{0.35} \times Fr_1^{0.43}$$

y_v – hloubka výmolu [m]

K_1 – součinitel vyjadřující vliv tvaru horního ohlaví pilíře [-]

K_2 – součinitel vyjadřující vliv směru pilíře [-]

K_3 – součinitel vyjadřující vliv dnových útvarů [-]

K_4 – součinitel vyjadřující vliv zrnitostního složení materiálu dna [-]

B_p – šířka pilíře [m]

y_1 – hloubka vody těsně před pilířem [m]

Fr_1 – Froudovo číslo pro proudění těsně před pilířem [-]

Rovnice Froelicha
$$y_v = 0.32 \times f \times B_{pr}^{0.62} \times y_1^{0.47} \times Fr_1^{0.22} \times d_{50}^{-0.09} + y_B$$

f – opravný faktor vyjadřující vliv tvaru horního ohlaví pilíře [-]

B_{pr} – průmět šířky pilíře do směru proudění [m]

d_{50} – velikost zrna čáry zrnitosti [m]

y_B – přídatná hodnota jako bezpečnostní faktor

Odhad velikosti výmolů u břehových pilířů

Rovnice HIRE
$$y_v = 4 \times y_1 \times \frac{K_1}{0.55} \times K_2 \times Fr_1^{0.33}$$

y_v – hloubka výmolu [m]

K_1 – součinitel vyjadřující vliv tvaru břehového pilíře [-]

K_2 – součinitel vyjadřující vliv směru břehového pilíře [-]

y_1 – hloubka vody těsně před pilířem [m]

Fr_1 – Froudovo číslo pro proudění těsně před pilířem [-]

Rovnice Froelicha
$$y_v = 2.27 \times K_1 \times K_2 \times L_p^{0.43} \times y_1^{0.57} \times Fr_1^{0.61} + y_p$$

L_p – délka břehového pilíře [m]

y_p – průměrná hloubka proudění v profilu před mostem [m]

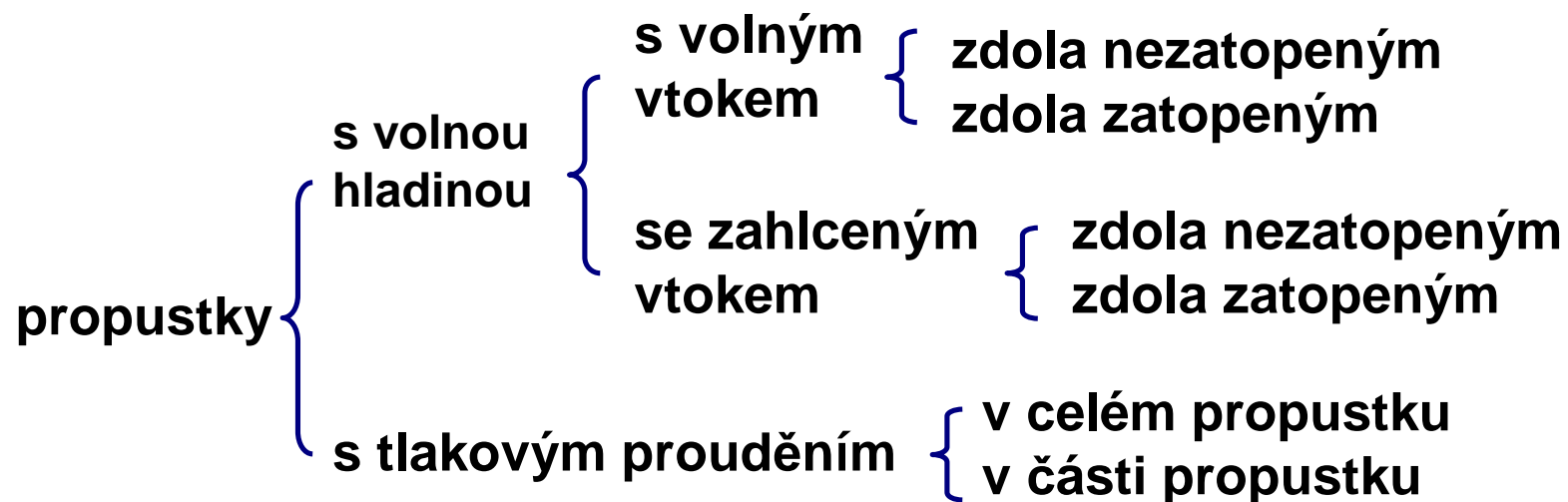
PROPUSTKY



K141 VIN

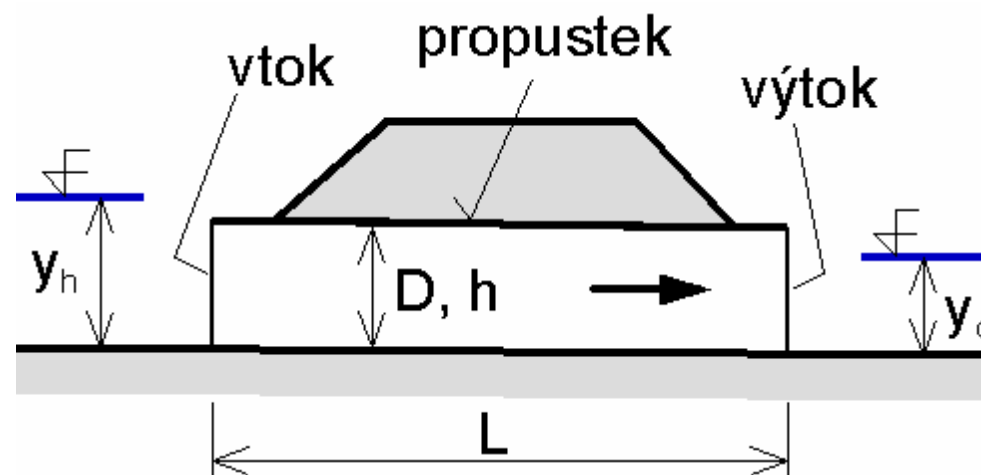
Hydraulická funkce mostních objektů a propustků

PROPUSTKY



Problematika:

vtoku do propustku
proudění v propustku
výtoku z propustku



kruhový propustek průměru D ,
obdélníkový propustek výšky h

Vtok do propustku

1) nezahlcený vtok při proudění s volnou hladinou ($y_h < b \times D$, $y_h < b \times h$):

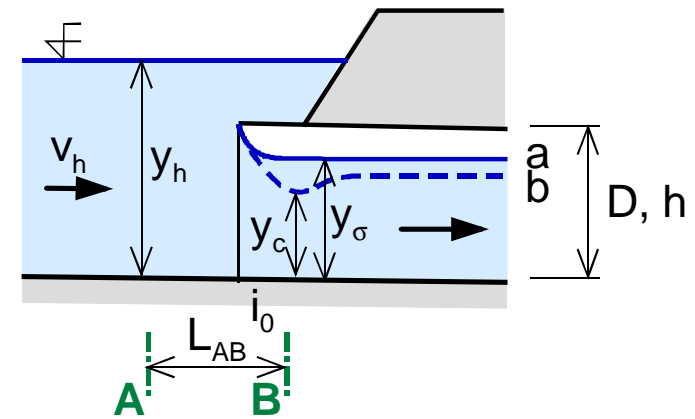
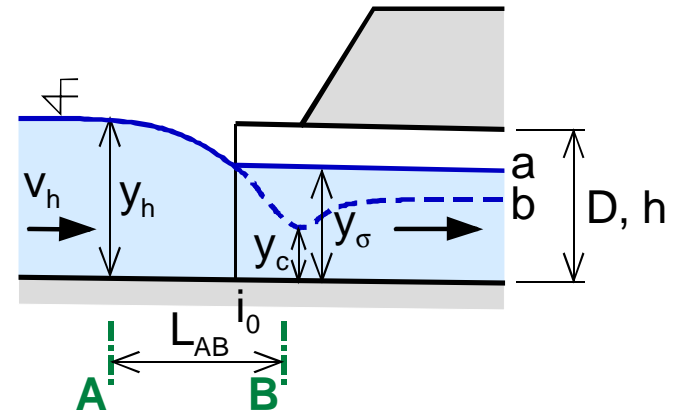
y_c zatopeno (a)

y_c nezatopeno (b): $y_c = k \times y_k$

2) zahlcený vtok při proudění s volnou hladinou ($y_h > b \times D$, $y_h > b \times h$):

y_c zatopeno (a)

y_c nezatopeno (b): $S_c = 0,62 \times S_{D,h}$
 ($y_c = 0,62 \times h$, $y_c = 0,60 \times D$)



RB pro profily A - B:

$$E_h = i_0 \times L_{AB} + y_h + \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} = y_B + \frac{a \times v_B^2}{2 \times g} + \frac{x \times v_B^2}{2 \times g} = y_B + \frac{Q^2}{2 \times g \times j^2 \times S_B^2}$$

pro y_c nezatopeno: $y_B = y_c$, $v_B = v_c$, $S_B = S_c$

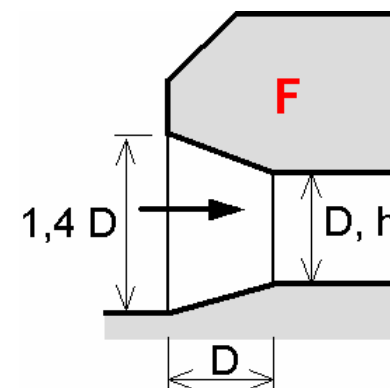
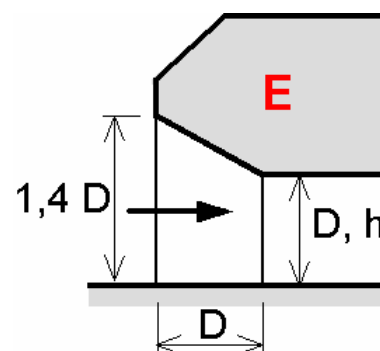
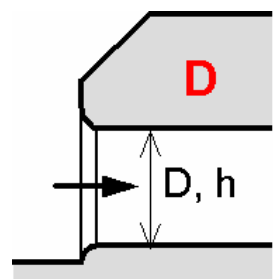
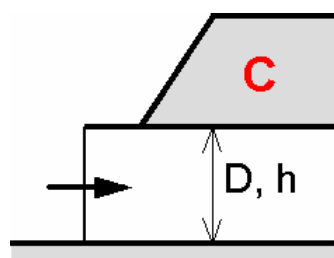
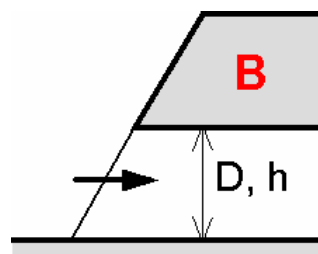
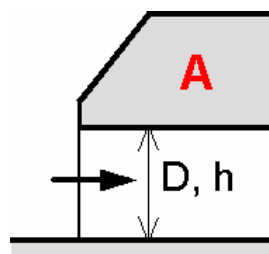
y_c zatopeno: $y_B = y_s$, $v_B = v_s$, $S_B = S_s$

$$j = \frac{1}{\sqrt{a + x}}$$

pozn.: většinou $i_0 \cdot L_{AB} @ 0$

hodnoty součinitelů pro řešení proudění vtokem do propustku

typ vtoku	součinitel ztráty vtokem x	součinitel rychosti j	součinitel výškového zúžení k	součinitel zatopení vtoku b
A	0,40 - 0,50	0,85 - 0,82	0,90	1,20 - 1,16
B	0,70 - 0,80	0,77 - 0,75	0,87	1,10 - 1,09
C	0,80 - 0,90	0,75 - 0,73	0,86	1,09 - 1,08
D	0,05 - 0,10	0,98 - 0,95	0,97	1,45 - 1,40
E	0,10 - 0,15	0,95 - 0,93	0,95	1,40 - 1,33
F	0,30 - 0,40	0,88 - 0,85	0,94	1,40 - 1,36

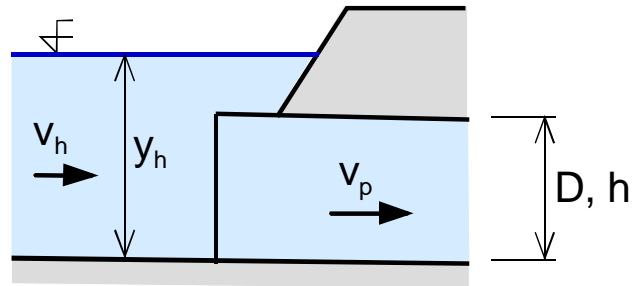


K141 VIN

Hydraulická funkce mostních objektů a propustků

41

3) vtok do propustku při tlakovém proudění propustkem



vtok se řeší jako součást tlakového proudění \mathcal{P}

\mathcal{P} místní ztráta zúžením průřezu

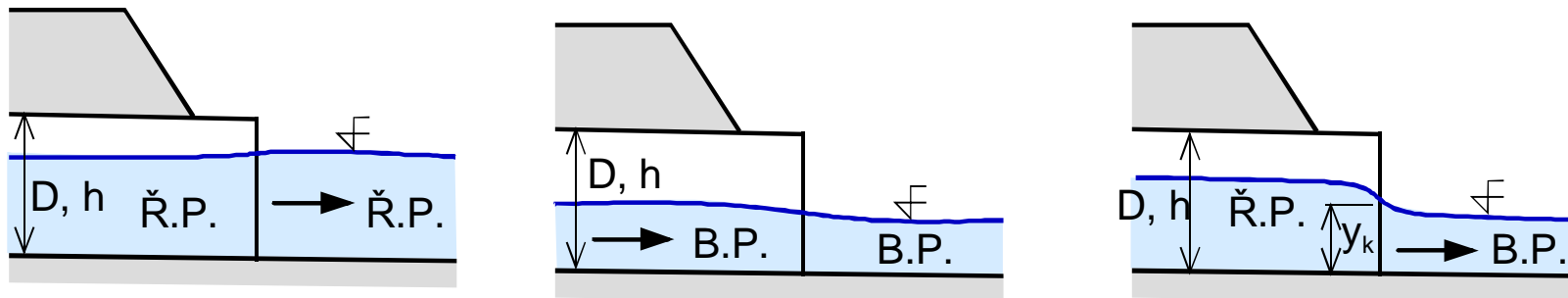
pozn.: u vtoků zahlcených a tlakových -
možnost vzniku vtokového víru \mathcal{P}
menší kapacita propustku oproti
výpočtu



Výtok z propustku

1) proudění o volné hladině na konci propustku P

P řešení průběhu hladiny s náhlým rozšířením proudu



poznámka k řešení průběhu hladiny:

říční proudění (Ř.P.) P směr výpočtu "proti proudu"

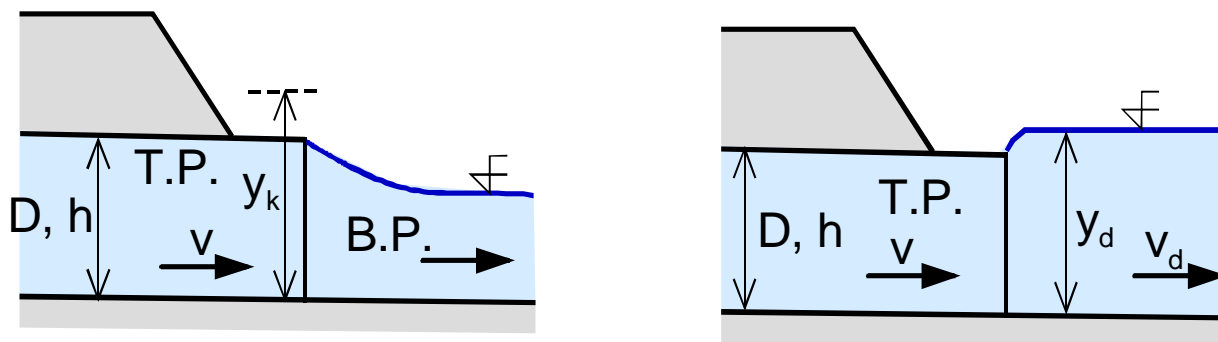
bystřinné proudění (B.P.) P směr výpočtu "po proudu"

Ř.P. R B.P. P přechod přes kritickou hloubku y_k

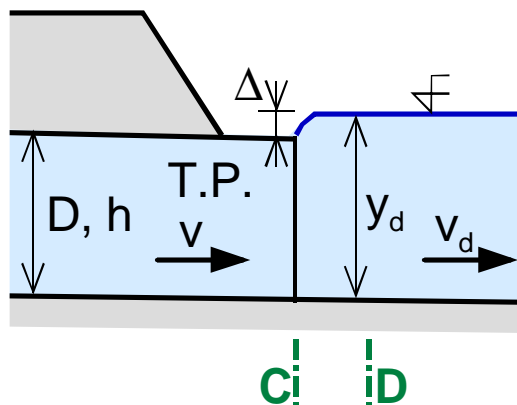
2) tlakové proudění u konce propustku \mathfrak{P}

\mathfrak{P} přechod z proudění tlakového na proudění o volné hladině

a) výtok plným profilem bez vlivu dolní hladiny na proudění v propustku ("natlakování" propustku od horní hladiny)



stanovení maximálního převýšení dolní hladiny nad propustkem D_{\max} , kdy výtok není zatopen dolní vodou



RB pro profily **C** - **D** (v profilu **C** je přetlak $p_{pC} = 0$):

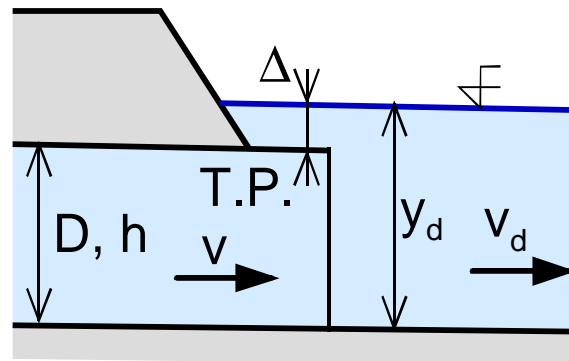
$$D + \frac{a \times v^2}{2 \times g} = y_d + \frac{a \times v_d^2}{2 \times g} + z_r, \quad y_d = D + D_{\min}$$

Bordova ztráta náhlým rozšířením: $z_r = \frac{(v - v_d)^2}{2 \times g}$

→ $D_{\min} = \frac{v_d \times (v - v_d)}{g}$

b) výtok zatopen dolní vodou

$$D > \frac{v_d \times (v - v_d)}{g}$$



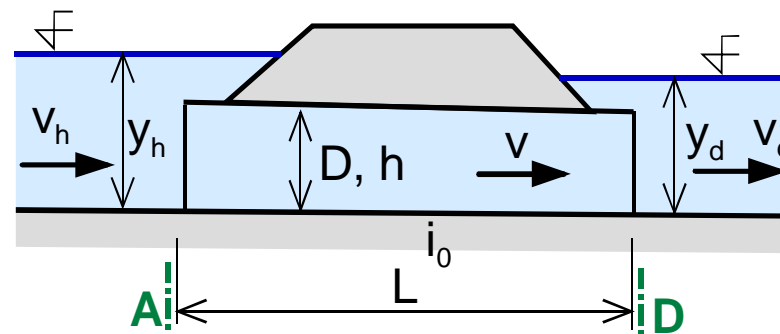
výtok se řeší jako součást tlakového proudění \mathcal{P}

\mathcal{P} místní ztráta rozšířením průřezu

Proudění v propustku

- o volné hladině \mathcal{P} řešení průběhu hladiny (metoda "po úsecích")
- tlakové proudění - na celé délce propustku
 - v části propustku

Tlakové proudění na celé délce propustku, výtok zatopen dolní vodou



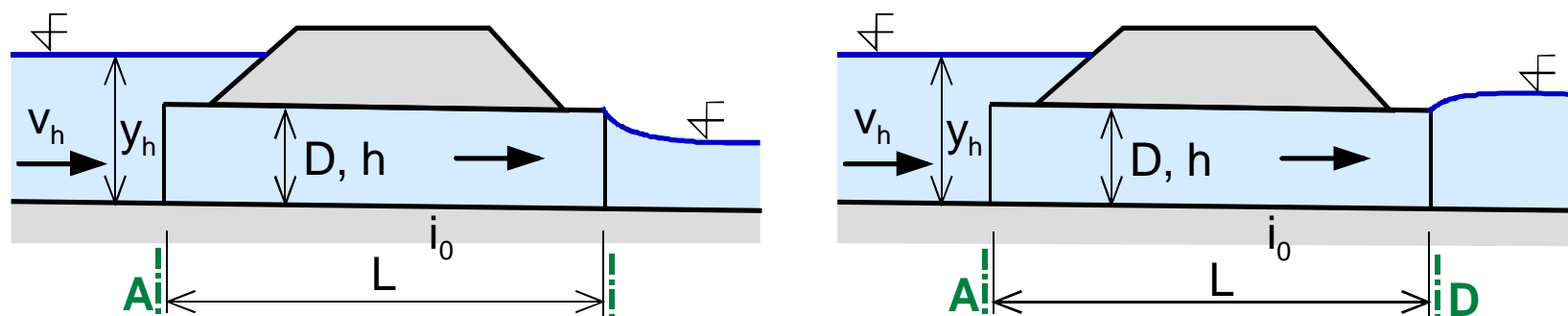
RB pro profily **A - D**:

$$E_h = i_0 \times L + y_h + \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} = y_d + \frac{a \times v_d^2}{2 \times g} + z_z + l \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} + z_r$$

Bordova ztráta náhlým rozšířením:
$$z_r = \frac{(v - v_d)^2}{2 \times g}$$

ztráta zúžením:
$$z_z = x \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

Tlakové proudění na celé délce propustku, výtok nezatopen dolní vodou



RB pro profily **A - D**:

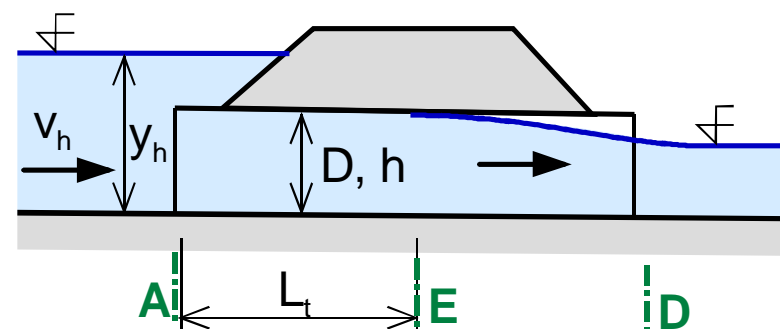
$$E_h = i_0 \times L + y_h + \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} = D + \frac{a \times v^2}{2 \times g} + Z_z + l \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

Tlakové proudění v přední části propustku

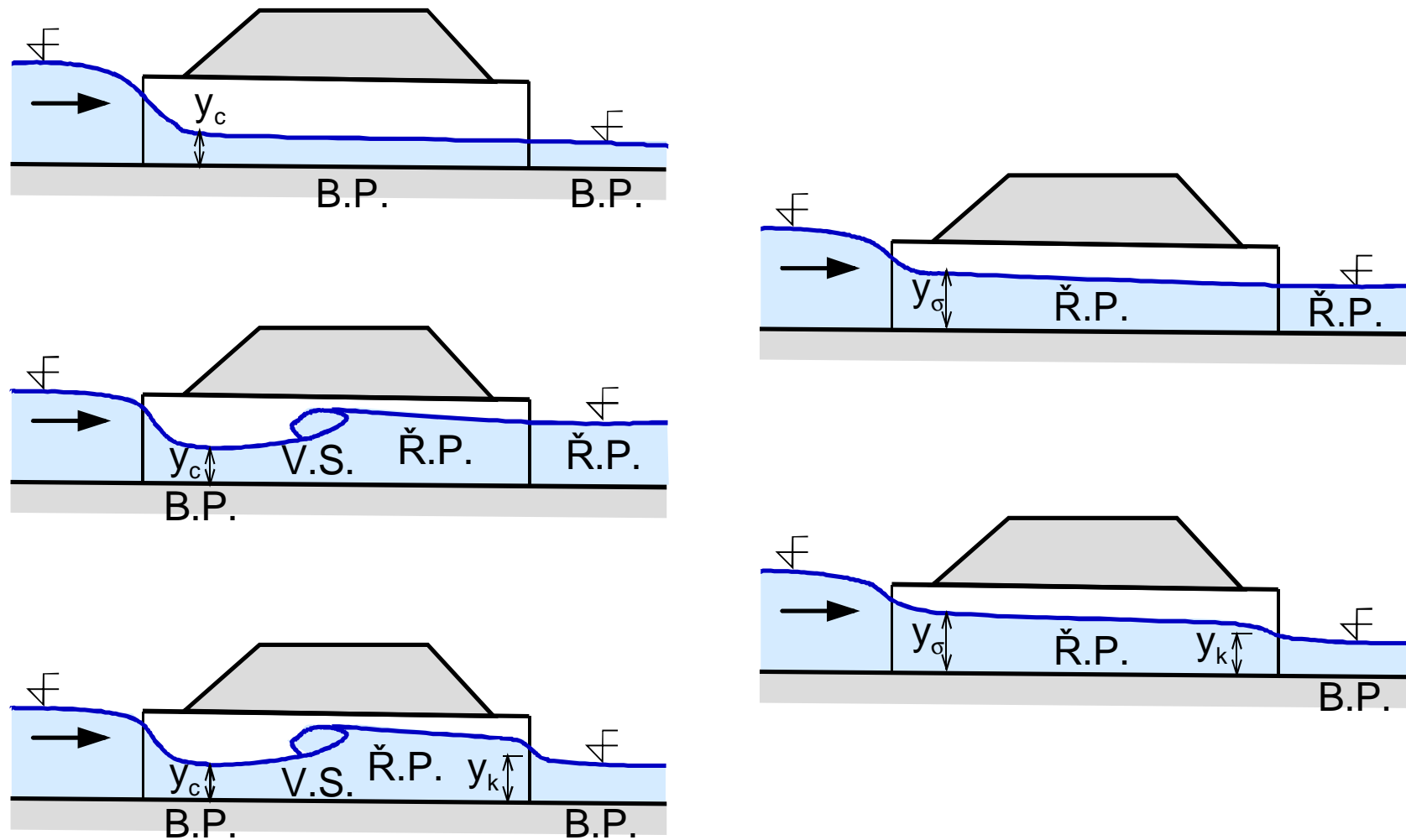
v úseku **E - D**:

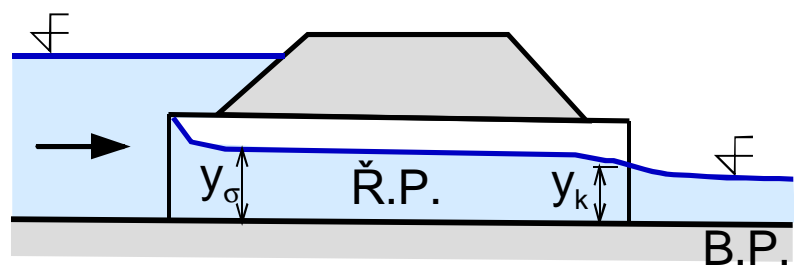
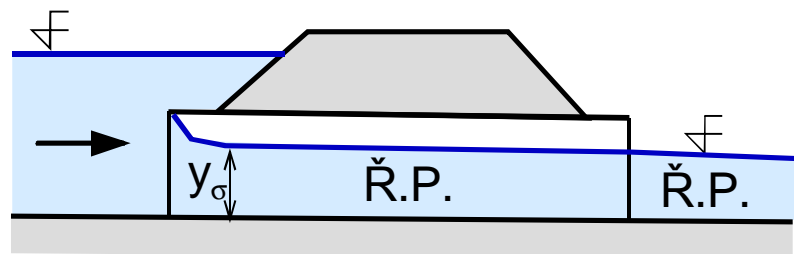
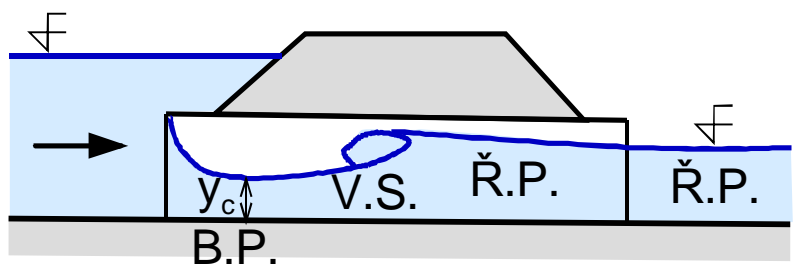
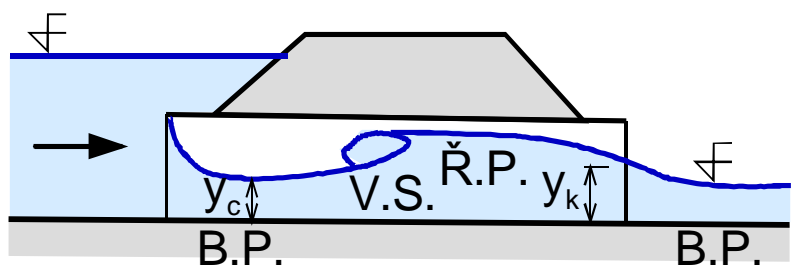
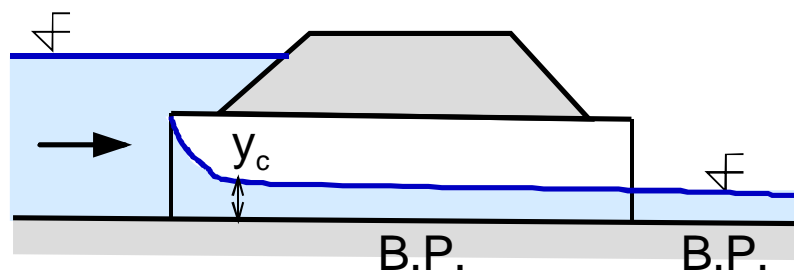
proudění o volné hladině

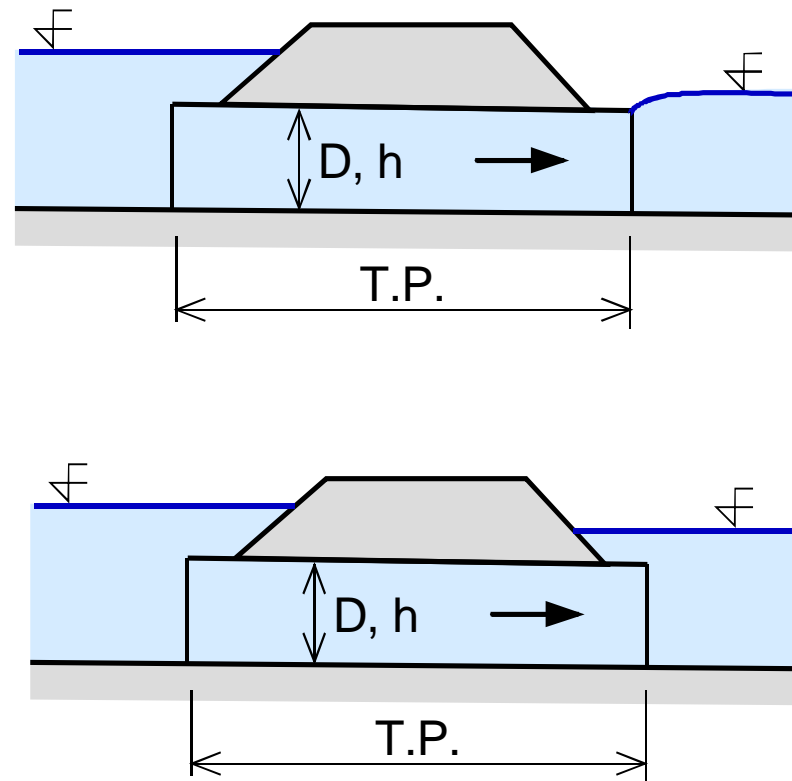
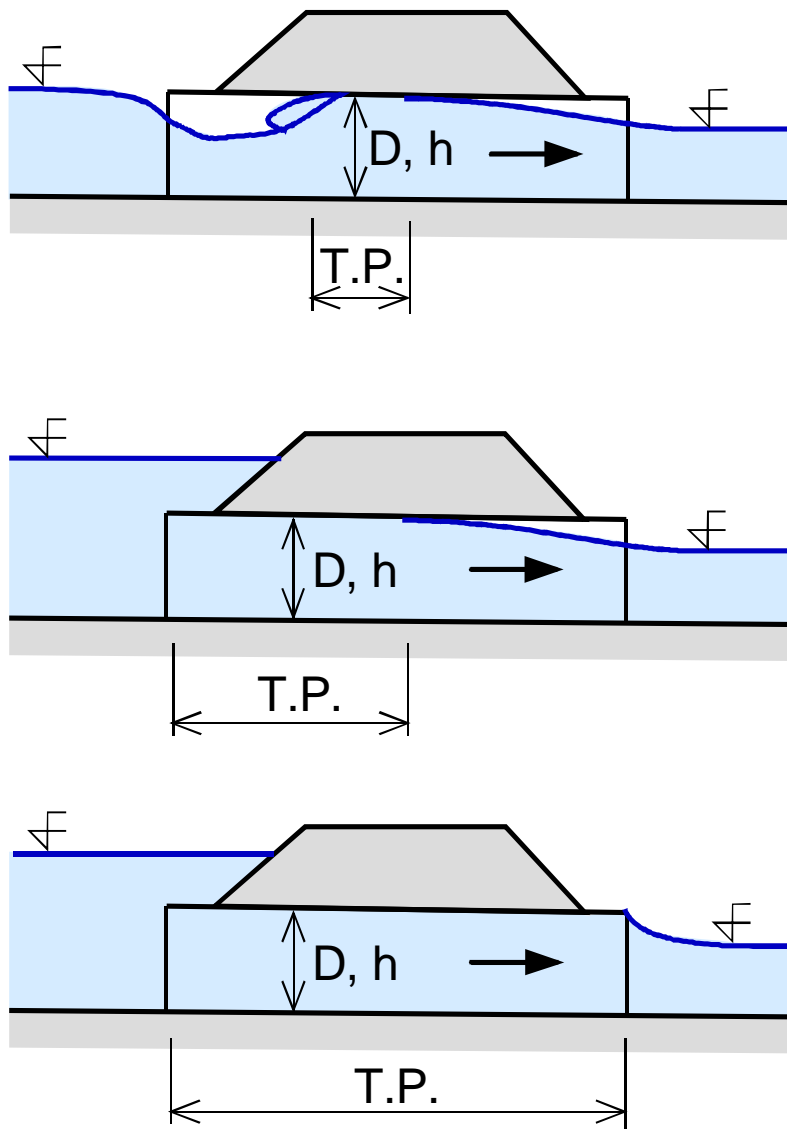
v úseku **A - E**: tlakové proudění



Ukázka podélných profilů hladin při proudění propustkem









K141 VIN

Hydraulická funkce mostních objektů a propustků

52

Zjednodušené řešení propustků

Posouzení základního režimu proudění v propustku

Zjednodušení \longleftrightarrow rovnoměrné proudění \longrightarrow Chezyho rovnice

$$Q = C \times S \times \sqrt{R \times i_0} \quad C = \frac{R^{1/6}}{n}$$

Pro plné potrubí platí

$$S = \frac{p \times D^2}{4} \quad O = p \times D \quad R = 4 \times D$$

Pro betonové potrubí za předpokladu kvadratické oblasti ztrát třením

$$n = 0.013$$


Kapacitní průtok kruhovým betonovým propustkem $Q_D = 24 \times D^{8/3} \times \sqrt{i_0}$

Podmínka proudění v propustku s volnou hladinou $Q < Q_D$

Podmínka tlakového proudění v propustku $Q \geq Q_D$

Posouzení charakteru proudění na vtoku do propustku při proudění v volnou hladinou

Podmínka volného vtoku do propustku $E_h < b \times D$

Podmínka zahlceného vtoku do propustku $E_h \geq b \times D$

Posouzení charakteru proudění v průřezu za vtokem do propustku při říčním proudění ve zbývající části propustku s volnou hladinou

Odhad hloubky proudění v propustku $Q = C \times S \times \sqrt{R \times i_0} \Rightarrow y_s$

Zúžená hloubka za vtokem $y_c = y_1 < y_k \Rightarrow y_2$

y_1, y_2 – vzájemné hloubky vodního skoku

Zúžený průřez za vtokem není ovlivněn dolní vodou $y_2 \geq y_s$

Zúžený průřez za vtokem je ovlivněn dolní vodou $y_2 < y_s$

Volný vtok do propustku $y_2 \gg 1.25 \times y_k$ pro kruh, $y_2 \gg 1.1 \times y_k$ pro obdélník

Výpočet zúžené hloubky za vtokem do propustku při proudění s volnou hladinou v případě, že tento průřez není ovlivněn dolní vodou

Volný vtok do propustku

$$y_c = k \times y_k$$

Zatopený vtok do propustku

$$y_c = 0.6 \times D$$

pro kruhový propustek

$$y_c = 0.62 \times h$$

pro obdélníkový propustek

Výpočet úrovně hladiny před propustkem při proudění s volnou hladinou a neovlivněným zúženým průřezem z vtokem dolní vodou

$$y_h = y_c + \frac{Q^2}{j^2 \times 2 \times g \times S_c^2} - \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} \quad (i_0 \times L \gg 0)$$

Často $D \ll$ rozměry koryta $\Rightarrow \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} \gg 0 \Rightarrow y_h = y_c + \frac{Q^2}{j^2 \times 2 \times g \times S_c^2}$

Výpočet úrovně hladiny před propustkem při proudění s volnou hladinou a ovlivněným zúženým průřezem z vtokem dolní vodou

$$y_h = y_s + \frac{Q^2}{j^2 \times 2 \times g \times S_s^2} - \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} \quad \frac{a \times v_h^2}{2 \times g} \gg 0 \Rightarrow y_h = y_s + \frac{Q^2}{j^2 \times 2 \times g \times S_s^2}$$

Výpočet tlakového proudění v propustku v případě, že hladina dolní vody je rovná nebo větší než průměr propustku

Podmínka zatopeného výtoku dolní vodou $D > D_{\min}$ $D = y_d - D$

Podmínka nezatopeného výtoku dolní vodou $D \leq D_{\min}$ $D_{\min} = \frac{v_d \times (v - v_d)}{g}$

Výpočet úrovně hladiny před propustkem při tlakovém proudění propustkem se zatopeným výtokem

$$y_h = y_d + \frac{a \times v_d^2}{2 \times g} + x_{vt} \times \frac{v^2}{2 \times g} + \frac{\alpha}{e} \times \frac{1}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} - i_0 \times \frac{\ddot{\theta}}{\theta} \times L + \frac{(v - v_d)^2}{2 \times g} - \frac{a \times v_h^2}{2 \times g}$$

$$y_h = D + (1 + x_{vt}) \times \frac{v^2}{2 \times g} + \frac{\alpha}{e} \times \frac{1}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} - i_0 \times \frac{\ddot{\theta}}{\theta} \times L + D - D_{\min} - \frac{a \times v_h^2}{2 \times g}$$

často $\frac{a \times v_h^2}{2 \times g} \gg 0$ \rightarrow

$$y_h = y_d + \frac{a \times v_d^2}{2 \times g} + x_{vt} \times \frac{v^2}{2 \times g} + \frac{\alpha}{e} \times \frac{1}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} - i_0 \times \frac{\ddot{\theta}}{\theta} \times L + \frac{(v - v_d)^2}{2 \times g}$$

$$y_h = D + (1 + x_{vt}) \times \frac{v^2}{2 \times g} + \frac{\alpha}{e} \times \frac{1}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} - i_0 \times \frac{\ddot{\theta}}{\theta} \times L + D - D_{\min}$$

totožné

Výpočet úrovně hladiny před propustkem při tlakovém proudění propustkem se zatopeným výtokem

$$y_h = D + (1 + X_{vt}) \times \frac{v^2}{2 \times g} + \frac{\alpha}{\epsilon} \times \frac{1}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} - i_0 \times L - \frac{a \times v_h^2}{2 \times g}$$

často $\frac{a \times v_h^2}{2 \times g} \gg 0 \rightarrow$

$$y_h = D + (1 + X_{vt}) \times \frac{v^2}{2 \times g} + \frac{\alpha}{\epsilon} \times \frac{1}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} - i_0 \times L$$

Výpočet ztrát třením v propustku

Pro betonové potrubí za předpokladu kvadratické oblasti ztrát třením

$$l = \frac{0.01668}{D^{0.281}}$$

Výpočet kritické hloubky v propustku

Obdélníkový profil $y_k = \sqrt[3]{\frac{a \times Q^2}{g \times b^2}} = \sqrt[3]{\frac{a \times q^2}{g}}$

Kruhový profil $y_k = D \times \frac{0.513}{\sqrt[5]{\frac{a \times Q}{g \times D^5}}}$ nebo $y_k = \frac{\sqrt{0.32 \times Q}}{\sqrt[4]{D}}$

Výpočet vzájemných hloubek vodního skoku v propustku

Obdélníkový profil $y_2 = \frac{y_1}{2} \times \sqrt[3]{1 + \frac{8 \times q^2}{g \times y_1^3}} - 1$

Kruhový profil

