



**FAKULTA  
STAVEBNÍ**

**ústav vodních staveb**

**BR51**

# **Hydraulika a hydrologie**

1. numerické cvičení

# Program numerických cvičení

- **Hydrostatika, základy hydrodynamiky**
- Proudění vody v potrubí, výtok otvorem, přepad
- Proudění vody v korytech, hydrologie, zápočet

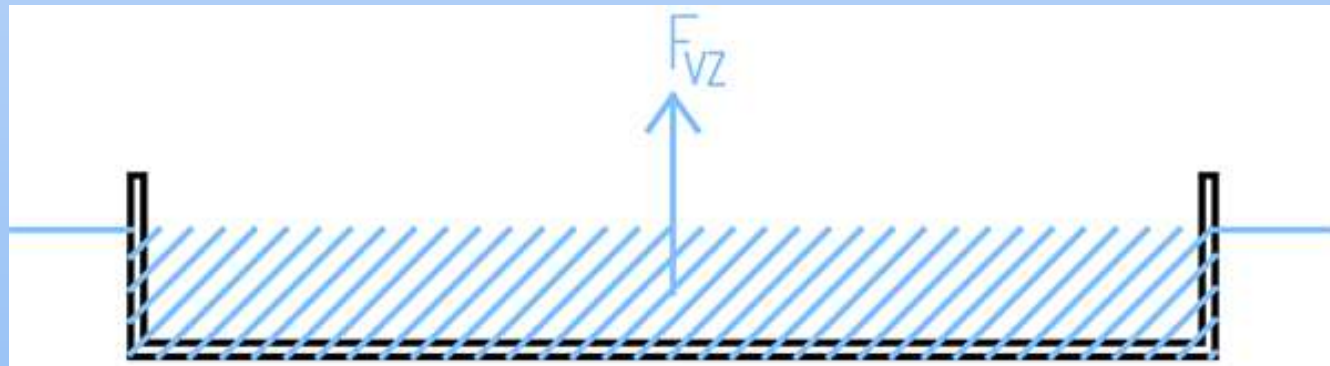
Web cvičení: <https://www.fce.vutbr.cz/VST/zubik.p/>

# Plování těles, Archimédův zákon

*„těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou, která se rovná tíze kapaliny tělesem vytlačené“*

## Vztlaková síla $F_{vz}$

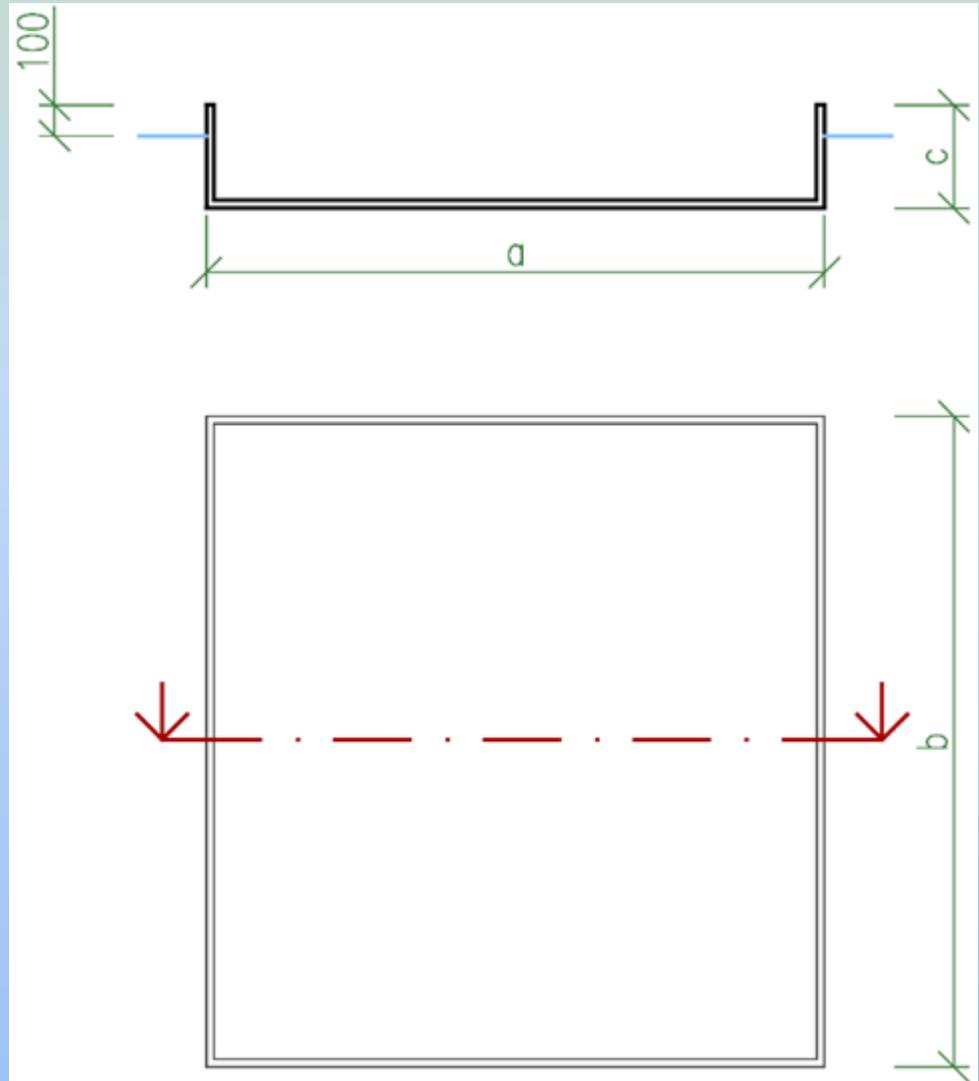
- Působí proti tíhové síle
- Působí v těžišti vytlačeného objemu kapaliny
- $F_{vz} = \rho g V$ 
  - $V$  - objem vytlačené kapaliny (ponořené části tělesa)
  - $\rho$  - hustota kapaliny [ $\text{kg}\cdot\text{m}^3$ ]
  - $g$  - tíhové zrychlení



# Příklad A.1

Určete nosnost  $m_N$  voru o hmotnosti  $m_V$  a rozměrech dle obrázku tak, aby byl horní okraj právě 10 cm nad hladinou.

- $a = (5 + 0,1N)$  [m]
- $b = (4 + 0,1M)$  [m]
- $c = (2 + 0,1N)$  [m]
- $m_V = (M + N)$  [t]
- $m_N = ?$  [t]



# Příklad A.1

$$F_{VZ} = F_G$$

$$F_{VZ} = \rho g V$$

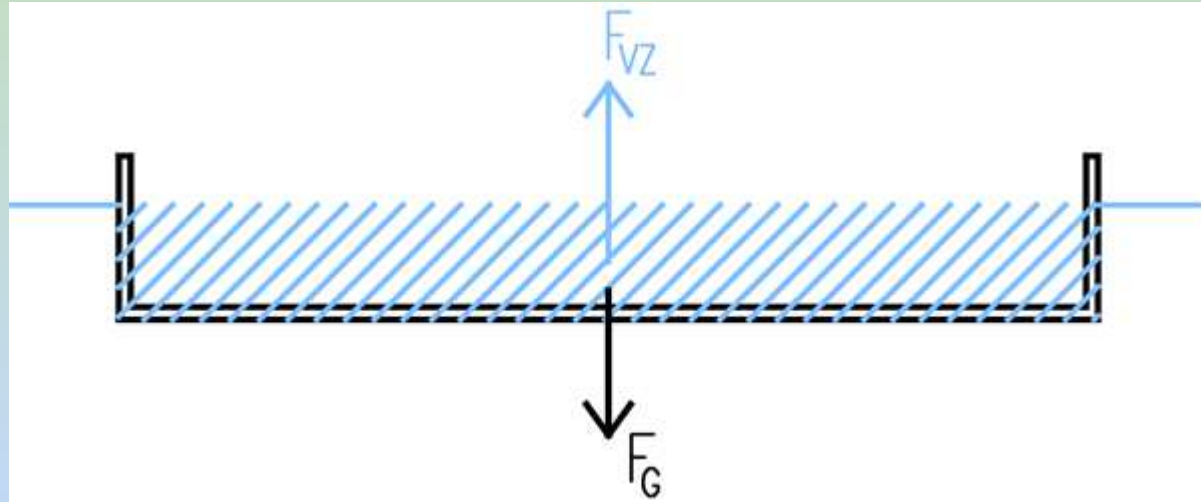
$$V = ab(c - 10\text{cm})$$

$$F_G = m_V g + m_N g$$

$$\rho g V = m_V g + m_N g$$

$$\rho V = m_V + m_N$$

$$m_N = \rho V - m_V$$



# Hydrostatika

Hydrostatický tlak  $p$  [Pa]

$$p = \rho g H$$

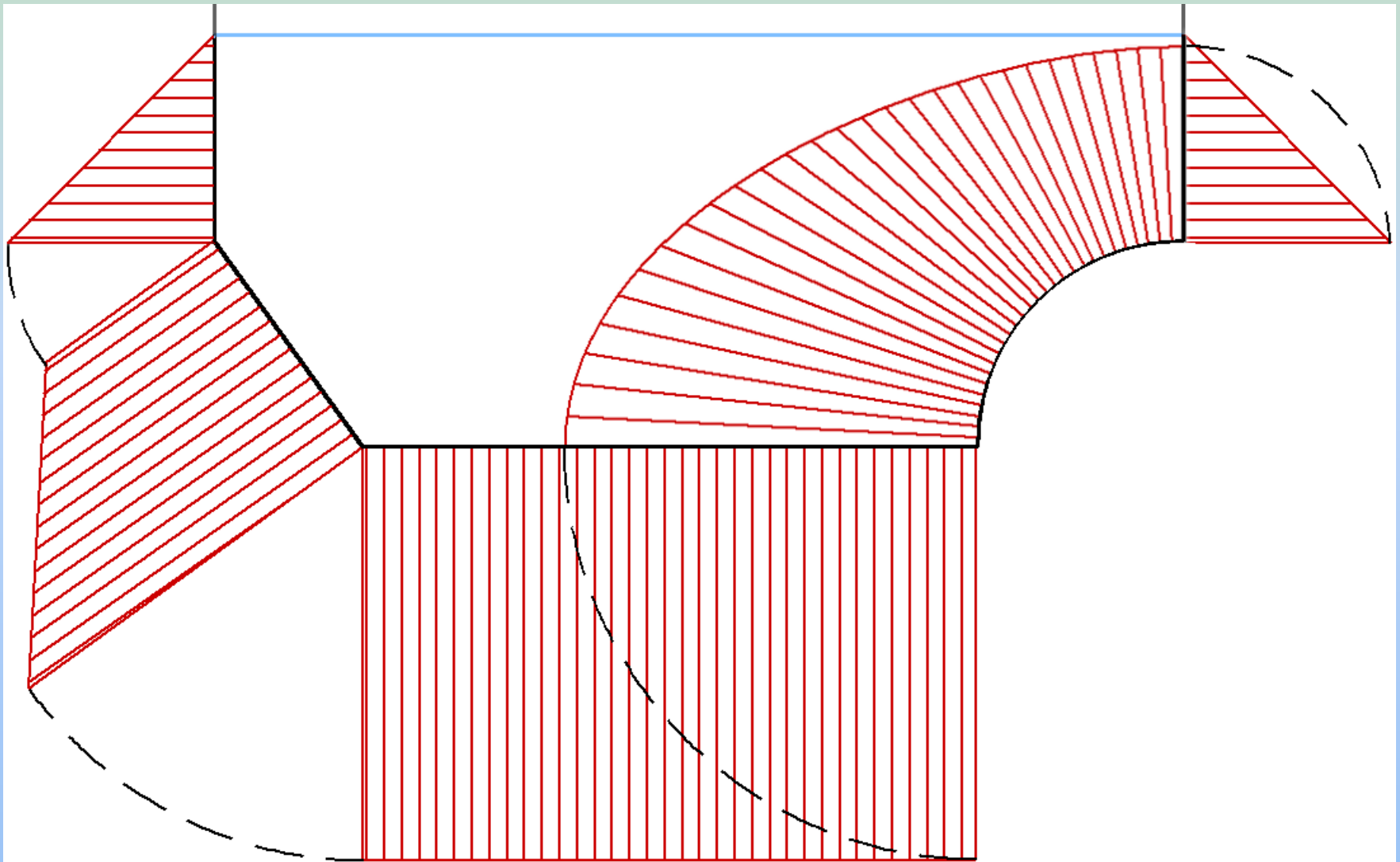
- $\rho$  – hustota kapaliny [ $\text{kg}\cdot\text{m}^3$ ]
- $g$  – tíhové zrychlení ( $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ )
- $H$  – hloubka [m]

Hydrostatická síla  $F$  [ $\text{N} = \text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]

$$F = pA$$

- $A$  – plocha [ $\text{m}^2$ ]

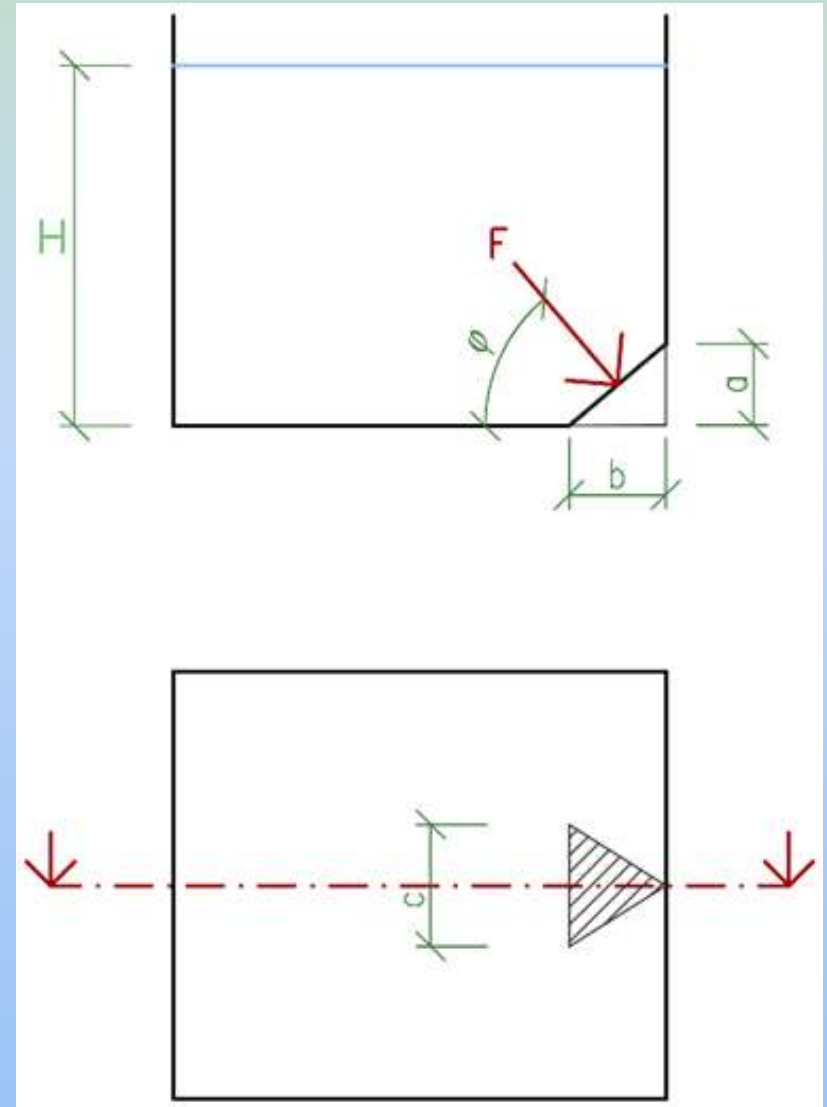
# Schematické zobrazení rozložení hydrostatických sil



# Příklad A.2

Určete velikost a směr hydrostatické síly  $F$ , která působí na poklop na obrázku.

- $H = (M + N)$  [m]
- $a = 0,1N$  [m]
- $b = 0,1M$  [m]
- $c = 0,1(M+N)$  [m]
- $F = ?$  [kN]
- $\varphi = ?$  [°]





# Příklad A.2

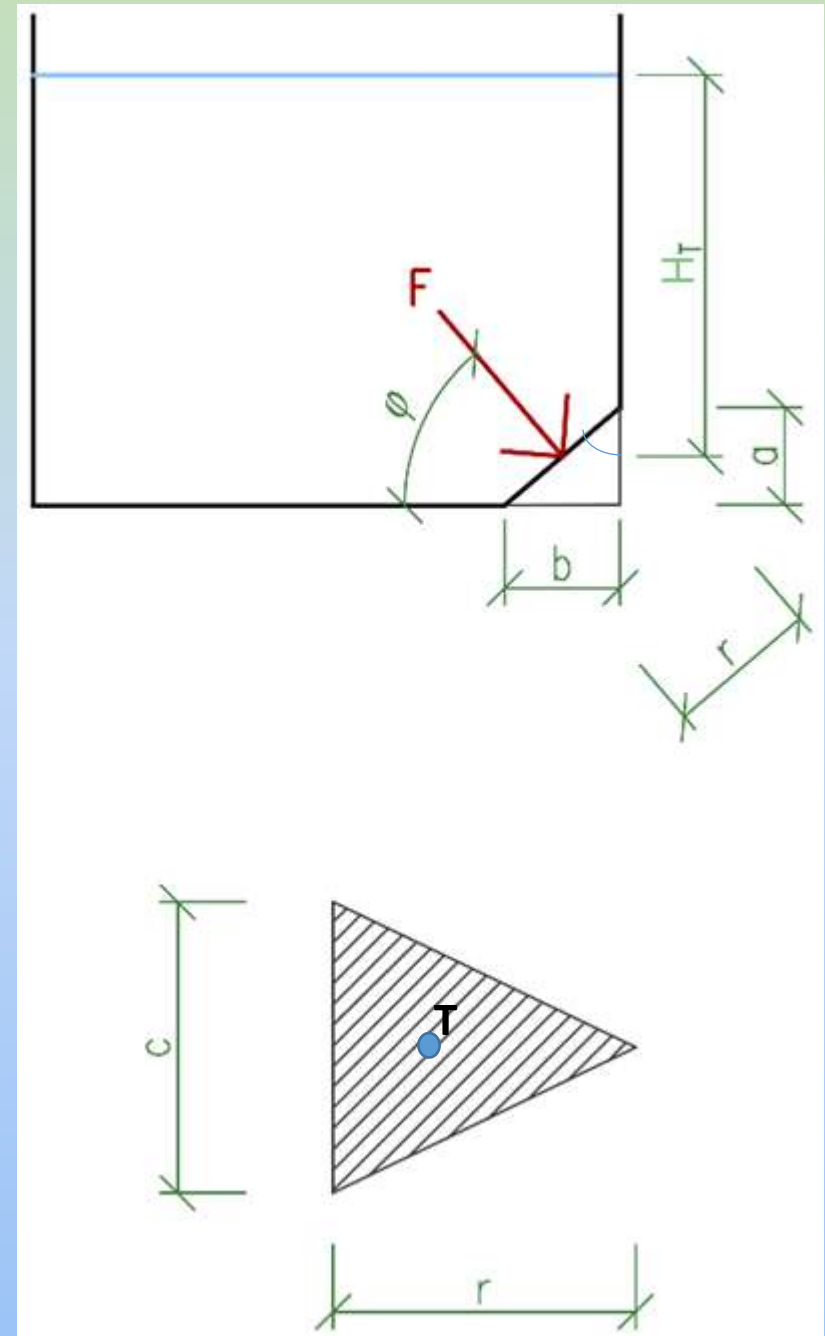
- $F = \rho g H_t A$

$H_t$  = hloubka těžiště plochy [m]

- $H_t = H - \frac{a}{3}$

- $A = \frac{1}{2} cr = \frac{1}{2} c \sqrt{a^2 + b^2}$

- $\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{b}{a} \right)$



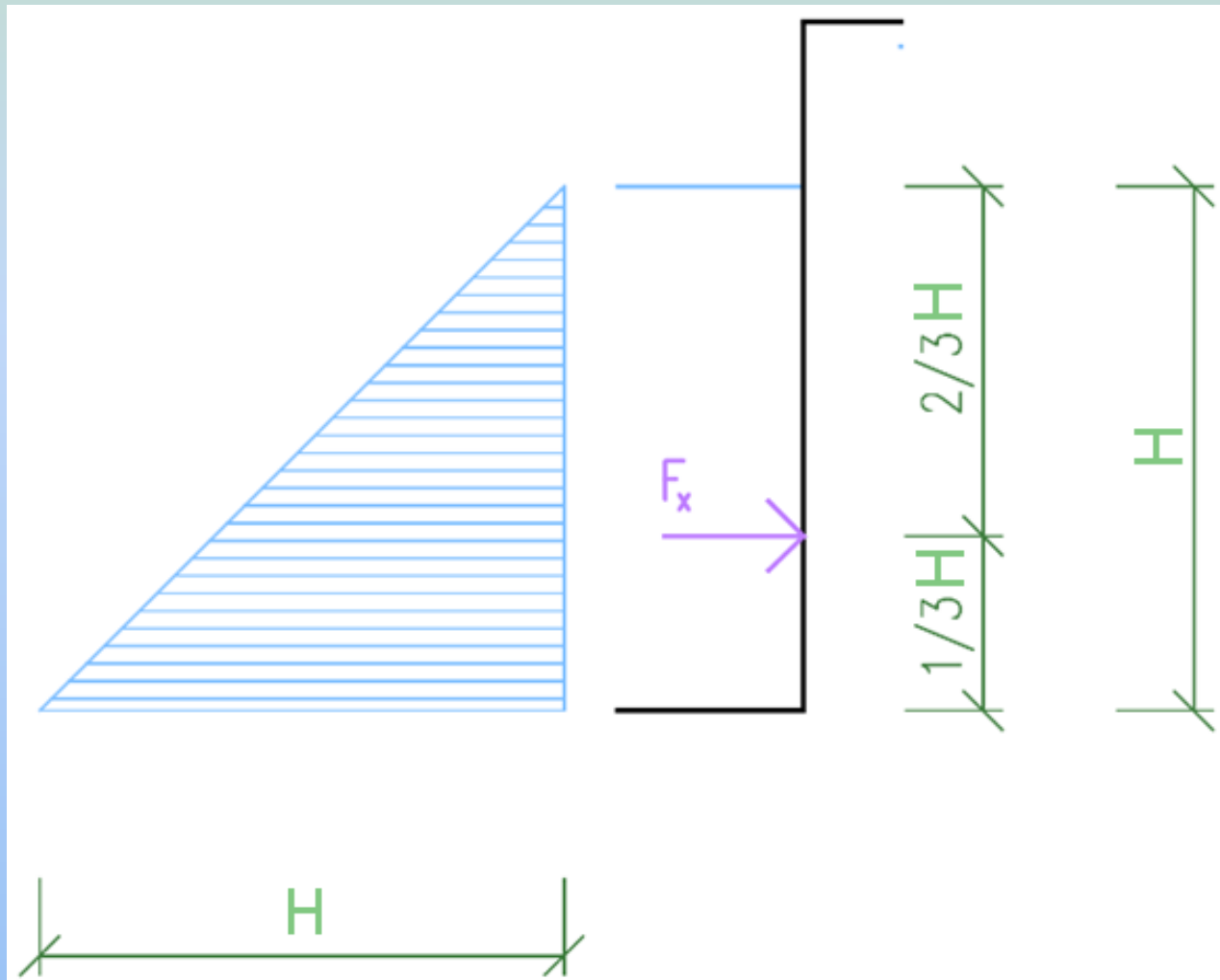
# Výpočet tlakové síly pomocí zatěžovacích obrazců

- Lze použít pouze pro konstrukce s konstantním příčným profilem (prizmatický tvar)
  - Jez
  - Přehrada
  - Klapka
  - Segment
- Grafická metoda,  
**samostatně se určuje vodorovná (horizontální) ( $F_x$  nebo  $F_H$ ) a svislá (vertikální) ( $F_y$  nebo  $F_V$ ) složka síly**

# Postup vytváření zatěžovacích obrazců

## Vodorovná složka

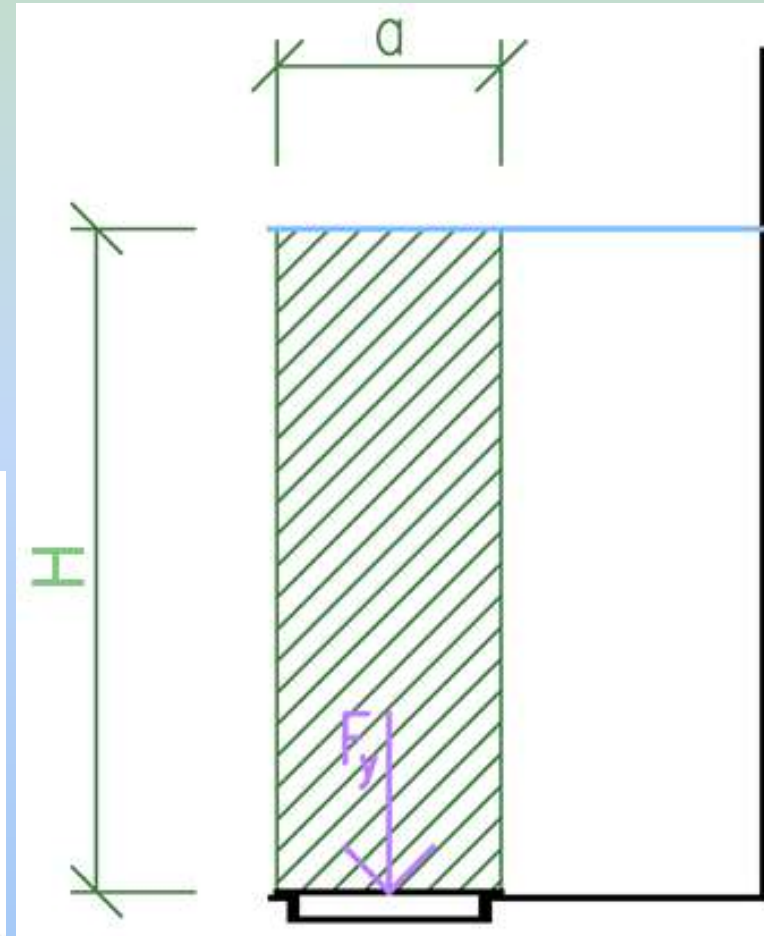
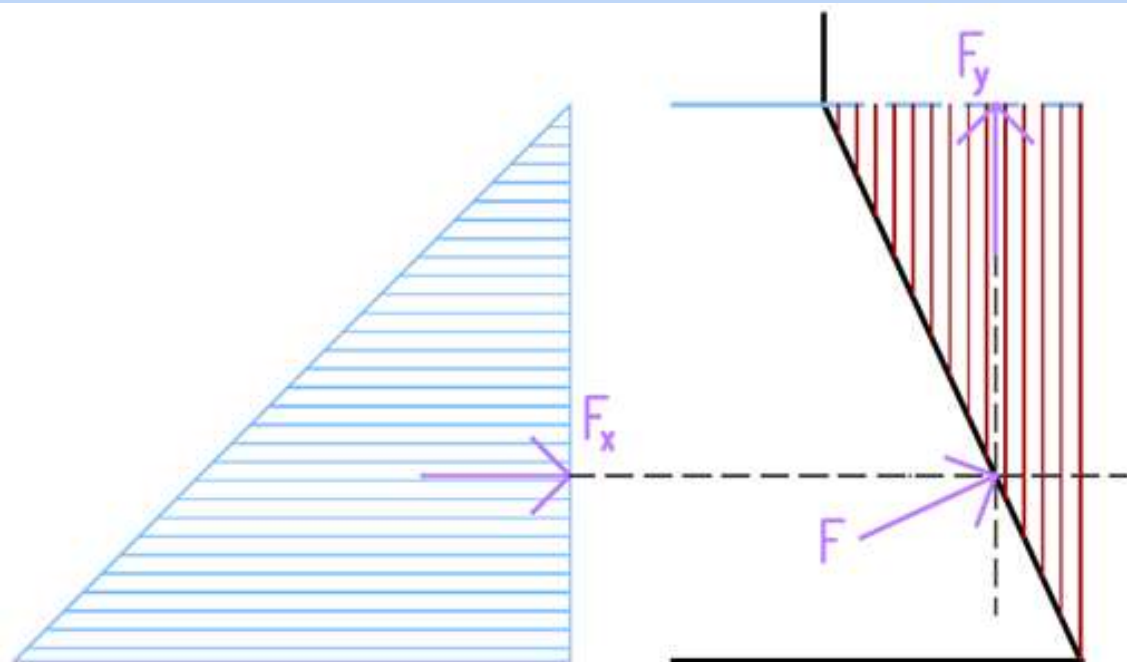
- s hloubkou se lineárně zvětšuje

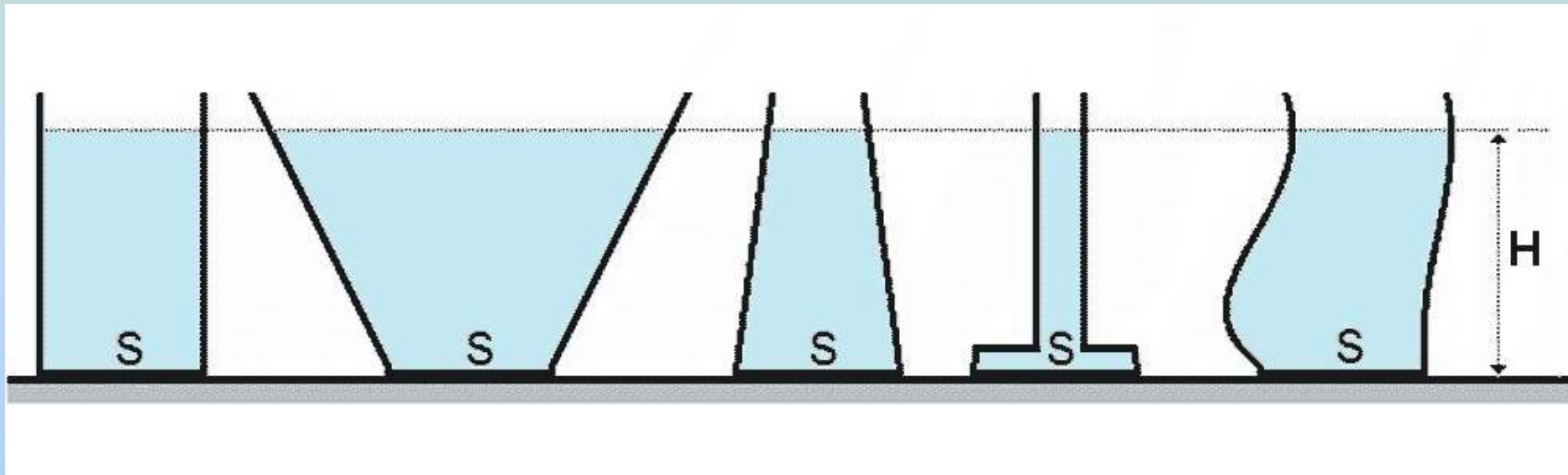


# Postup vytváření zatěžovacích obrazců

## Svislá složka

- Tíha kapaliny nad zatěžovanou plochou
- Může vytvářet
  - Tlak
  - Vztlak





# Postup vytváření zatěžovacích obrazců

$$F_x = \rho g b A_x$$

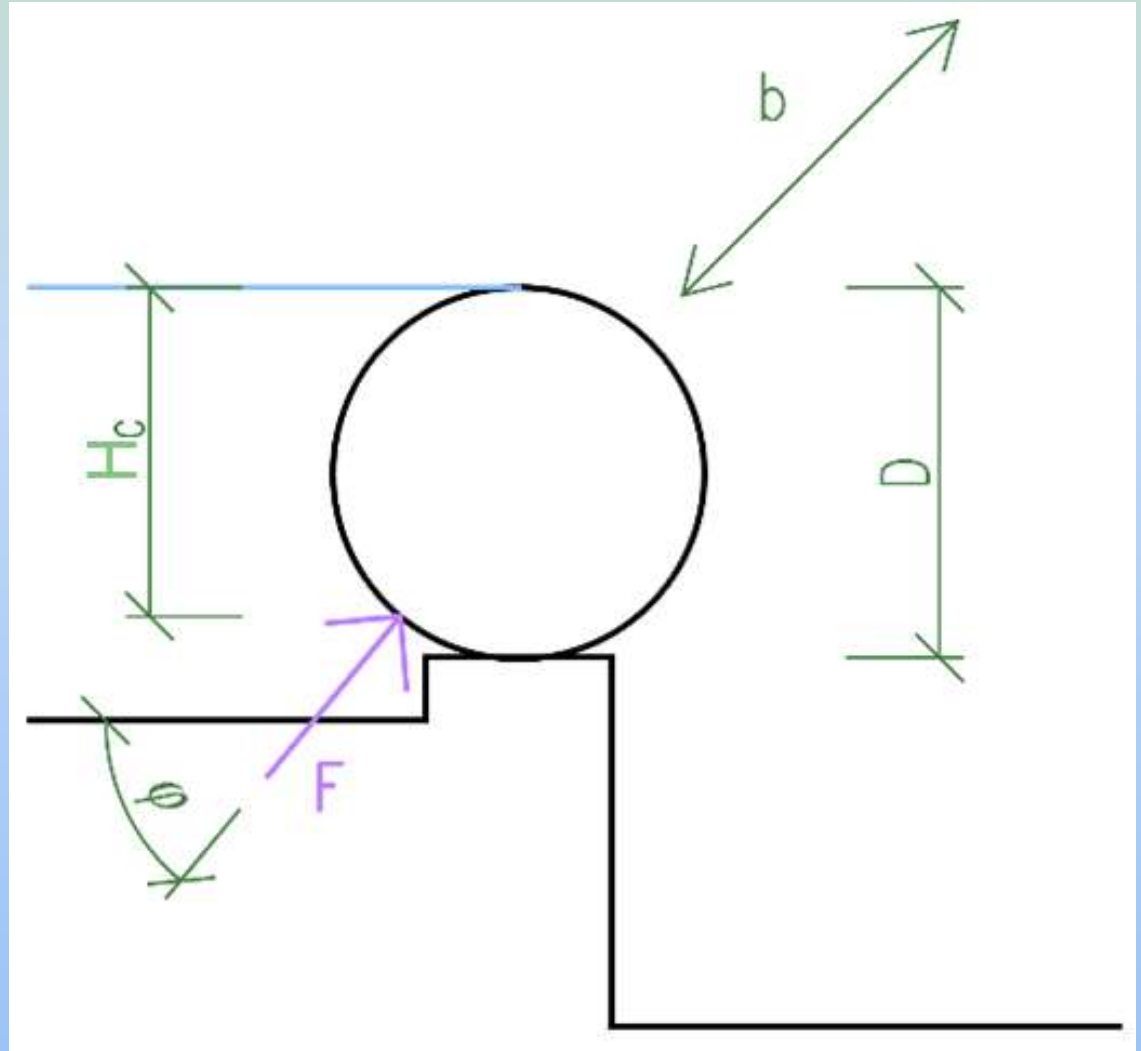
$$F_y = \rho g b A_y$$

- $\rho$  - hustota kapaliny
- $g$  – tíhové zrychlení
- $b$  – šířka konstrukce
- $A$  – plocha zatěžovacího obrazce
- Velikost výsledné síly:  $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$
- Úhel s vodorovnou rovinou  $\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{F_y}{F_x} \right)$

# Příklad A.3

Na válcový uzávěr o průměru  $D$  a šířce  $b$  působí voda, stanovte velikost tlakové síly  $F$ , její směr a hloubku působišť  $H_C$ .

- $D = (0,5 + 0,1N)$  [m]
- $b = M$  [m]
- $F = ?$  [kN]
- $H_C = ?$  [m]
- $\varphi = ?$  [°]



# Příklad A.3

$$A_x = \frac{1}{2} D^2$$

$$A_y = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{4} \pi D^2 \right) = \frac{1}{8} \pi D^2$$

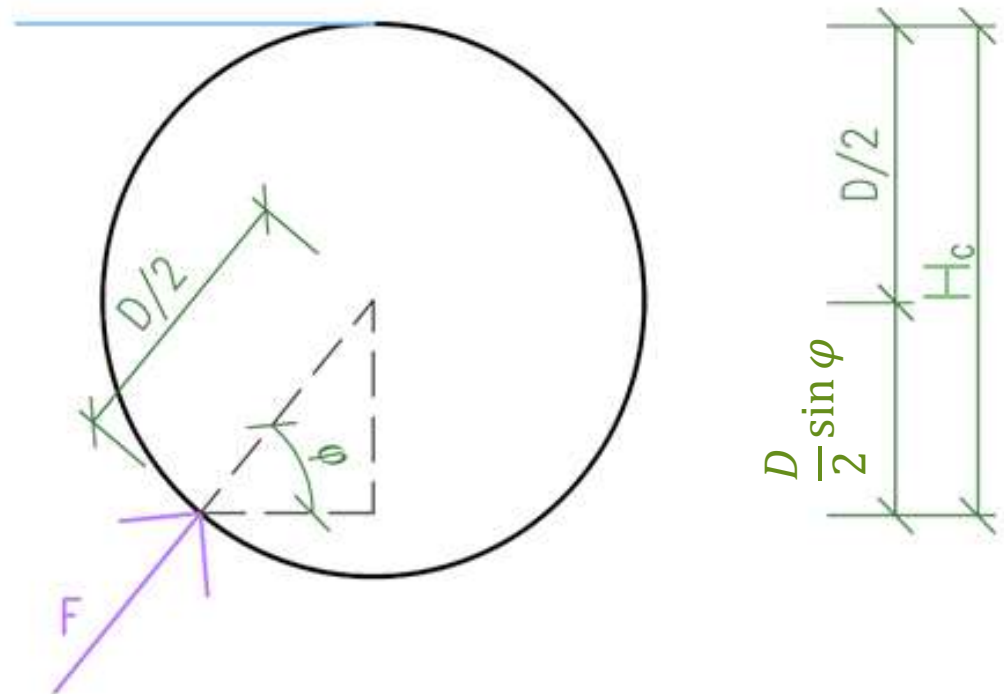
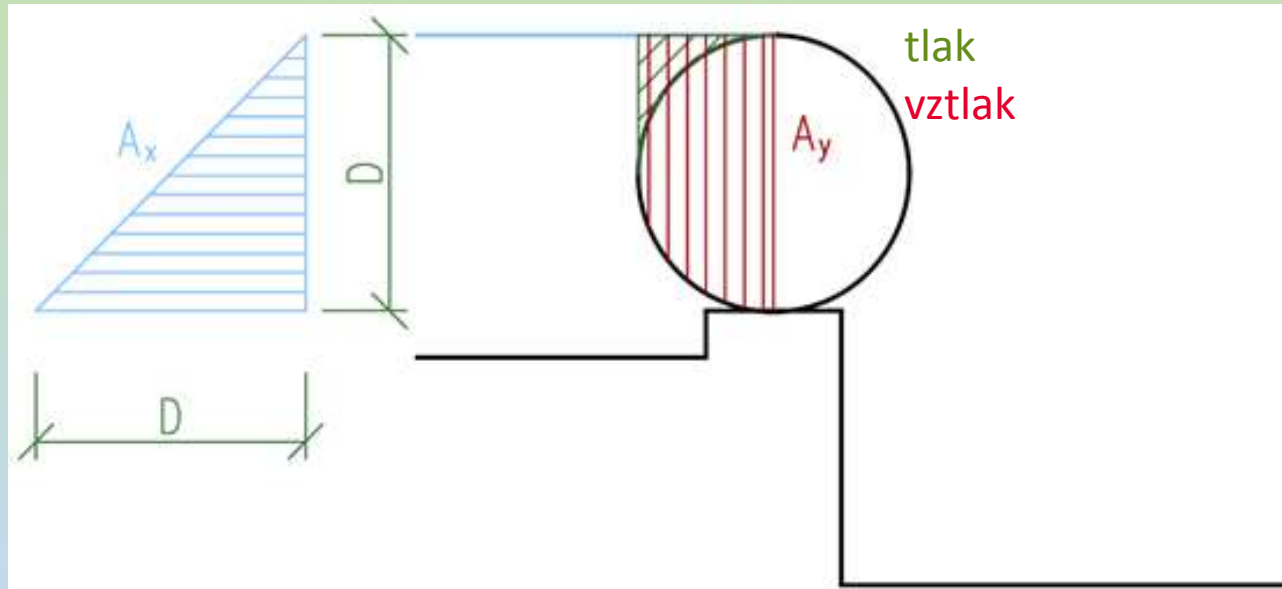
$$F_x = A_x b \rho g$$

$$F_y = A_y b \rho g$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{F_y}{F_x} \right)$$

$$H_C = \frac{D}{2} + \frac{D}{2} \sin \varphi$$





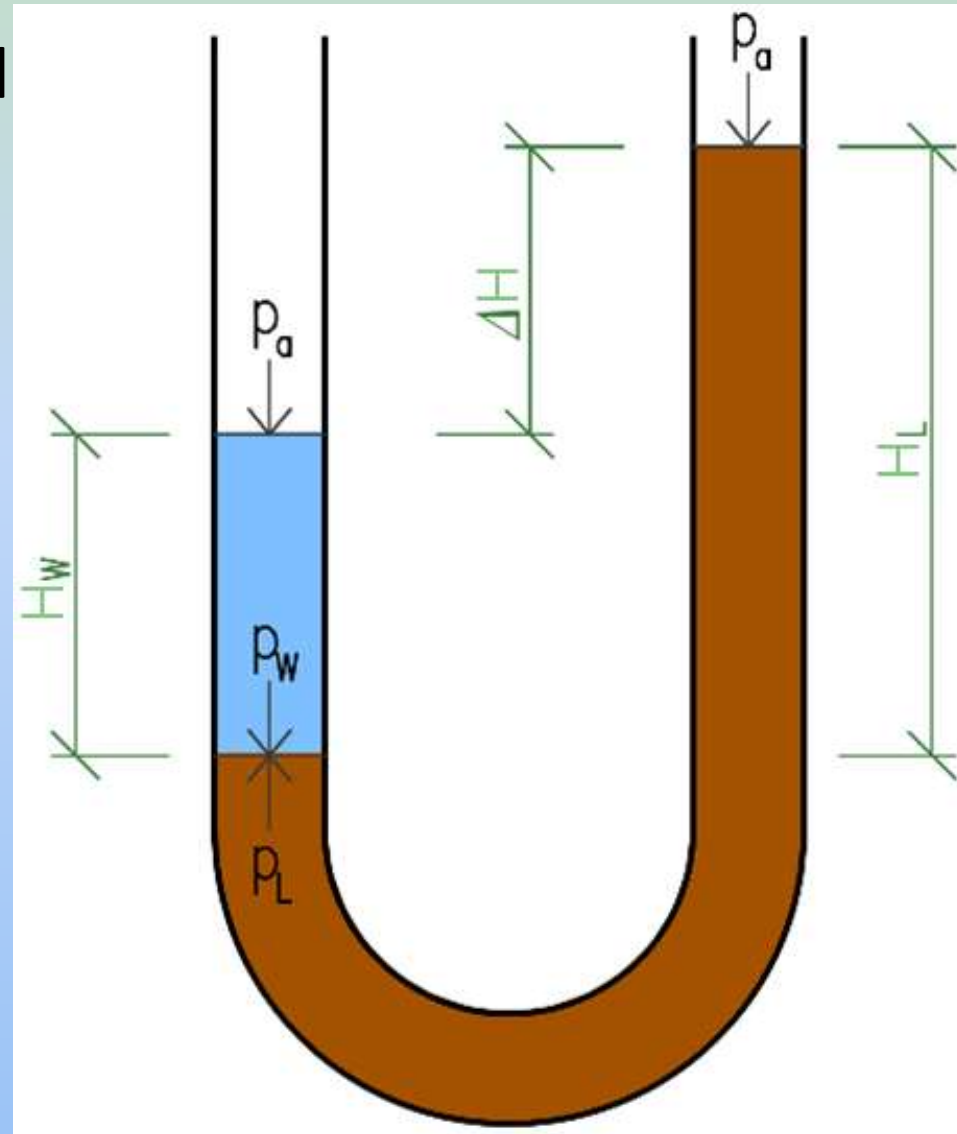
# Rovňové plochy

- Rovňová plocha je tvořena body se stejným statickým tlakem
- V každém bodě je kolmá na směr výsledného zrychlení
- Volná hladina je rovňová plocha
- Na styku dvou nemísících se kapalin platí  $p_1 = p_2$

# Příklad A.4

Jakou hustotu má kapalina v **U** trubici jestliže přidání vody do jednoho ramene způsobí rozdíl hladin v ramenech  $\Delta H$  a sloupec vody má výšku  $H_W$ ?

- $\Delta H = (0,2M + 2)$  [cm]
- $H_W = (0,1N + 10)$  [cm]
- $\rho_W = 1000$  [kg·m<sup>-3</sup>]
- $\rho_L = ?$  [kg·m<sup>-3</sup>]



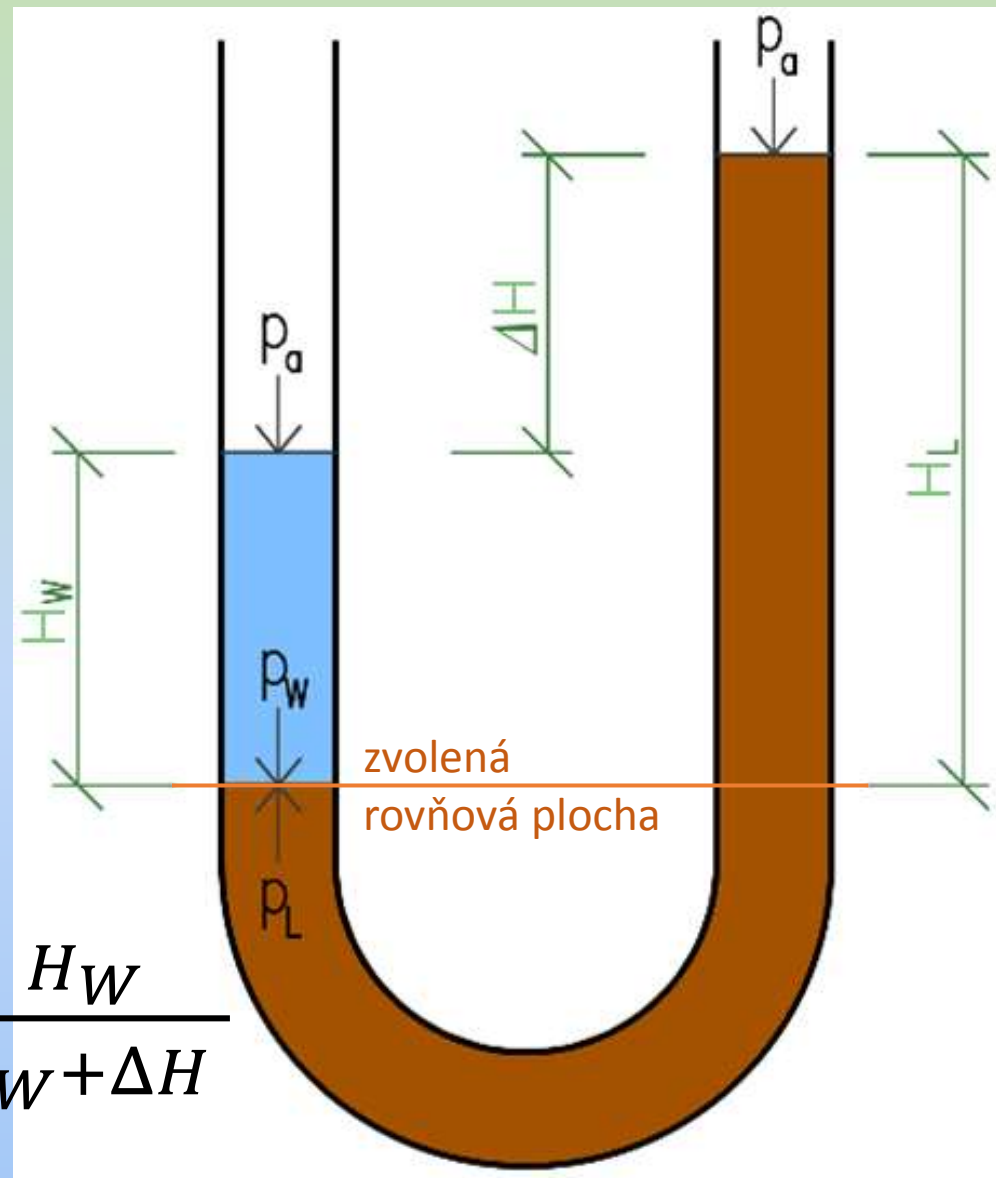
# Příklad A.4

- $p_a + p_w = p_a + p_L$

- $\rho_w g H_w = \rho_L g H_L$

- $H_L = H_w + \Delta H$

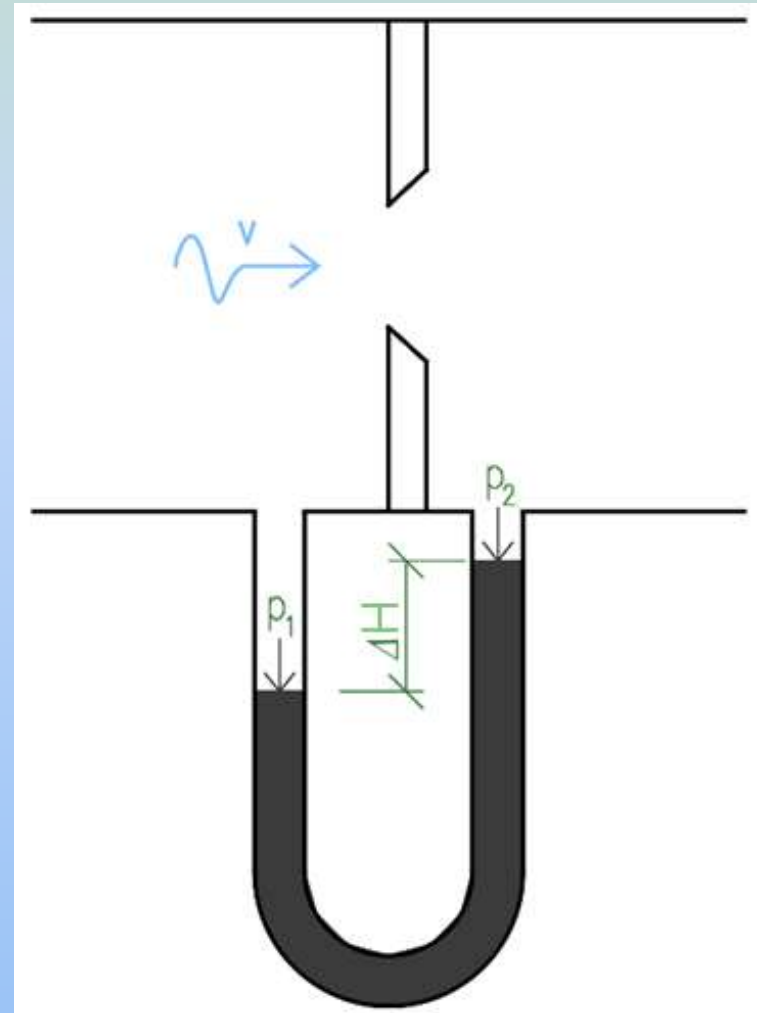
- $\rho_L = \rho_w \frac{H_w}{H_L} = \rho_w \frac{H_w}{H_w + \Delta H}$



# Příklad A.5

Vypočtete rozdíl tlaků  $\Delta p$  v proudící kapalině před a za měrnou clonou; tlaky jsou měřeny diferenciálním rtuťovým manometrem. Rozdíl hladin v manometru je  $\Delta H$ .

- $\rho_{Hg} = 13\,550 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
- $\Delta H = (N + 0,1M) \text{ [mm]}$
- $\Delta p = p_1 - p_2 = ? \text{ [Pa]}$

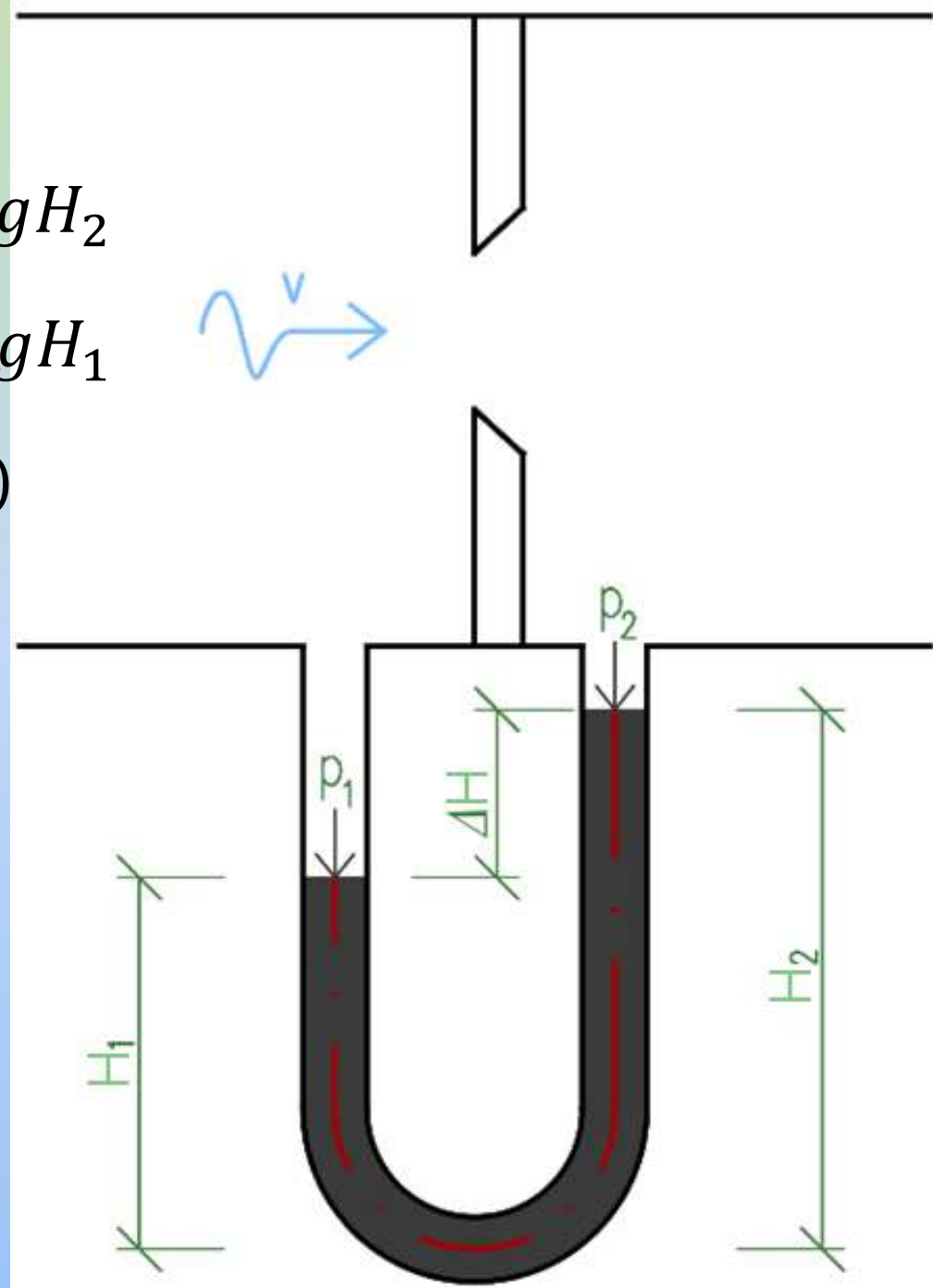


# Příklad A.5

- $p_1 + \rho_{Hg}gH_1 = p_2 + \rho_{Hg}gH_2$
- $p_1 - p_2 = \rho_{Hg}gH_2 - \rho_{Hg}gH_1$
- $p_1 - p_2 = \rho_{Hg}g(H_2 - H_1)$
- $\Delta p = \rho_{Hg}g\Delta H$

nebo

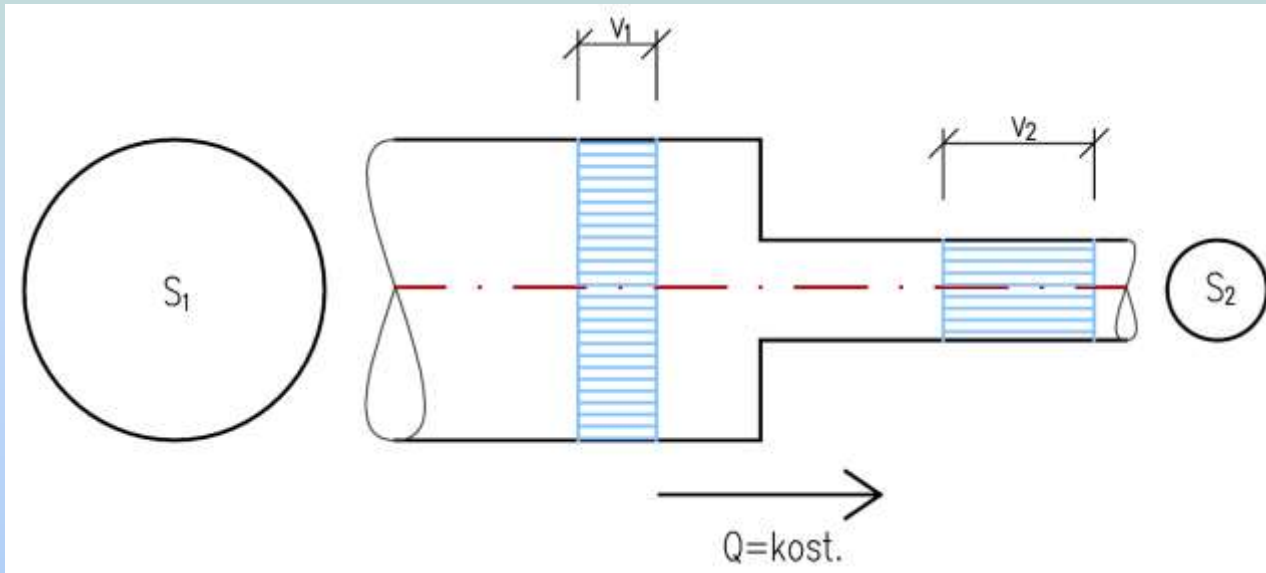
- $p_1 = \rho_{Hg}g\Delta H + p_2$
- $p_1 - p_2 = \rho_{Hg}g\Delta H$
- $\Delta p = \rho_{Hg}g\Delta H$



# Rovnice kontinuity

- Vychází ze zákona zachování hmoty

*„co přiteče, musí odtéct“*



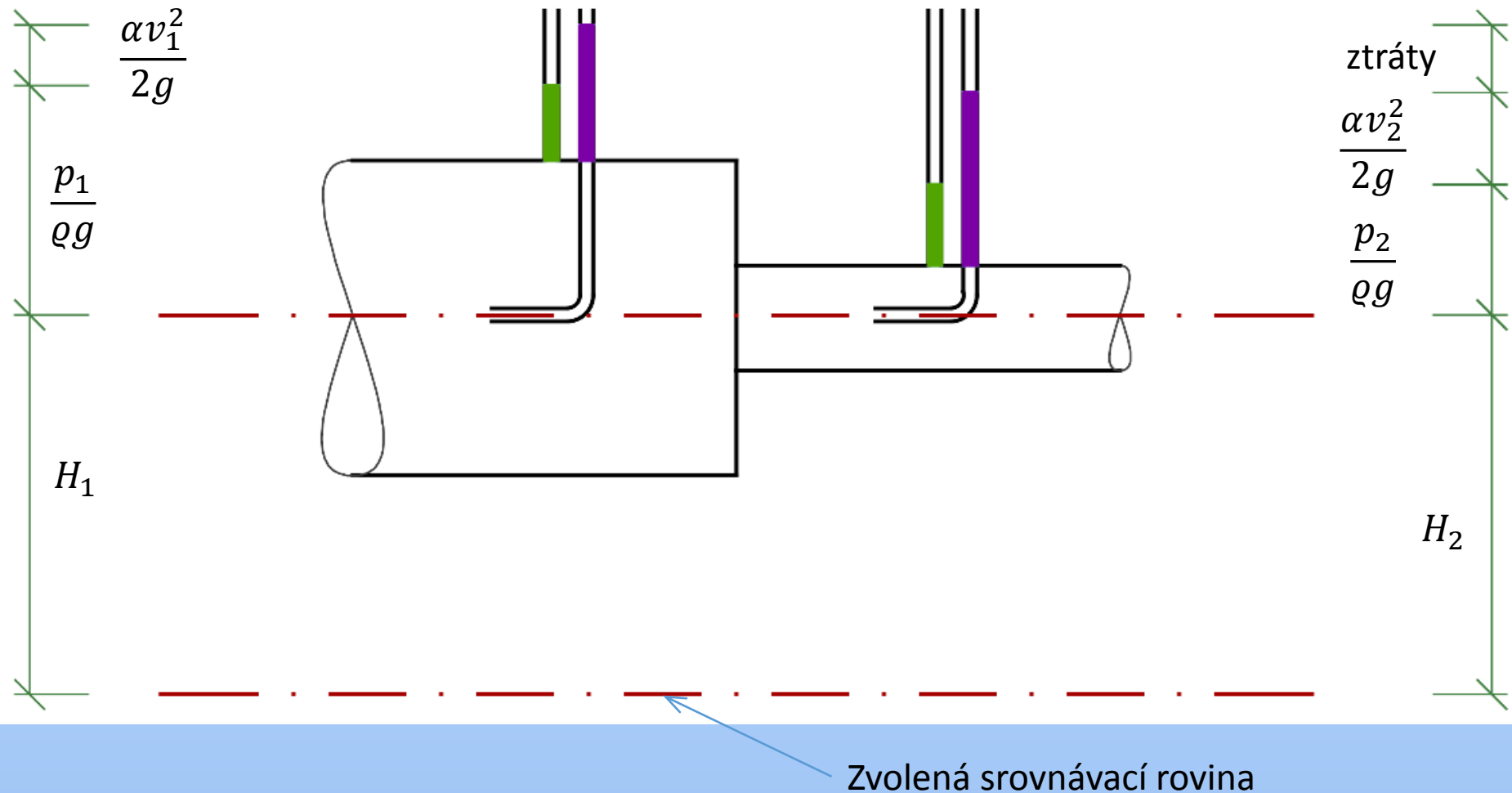
hmotnostní průtok:  $S_1 v_1 \rho_1 = S_2 v_2 \rho_2$        $Q_m = \text{konst.}$

jeli tekutina nestlačitelná, tedy  $\rho_1 = \rho_2$

potom vystačíme s objemovým průtokem:  $S_1 v_1 = S_2 v_2$        $Q = \text{konst.}$

# Bernoulliho rovnice

- Vychází ze zákona zachování energie



# Příklad A.6

Vykreslete čáru tlaku a čáru energie při odtoku vody potrubím z nádrže a stanovte průtok. Ve výpočtu uvažujte ideální kapalinu.

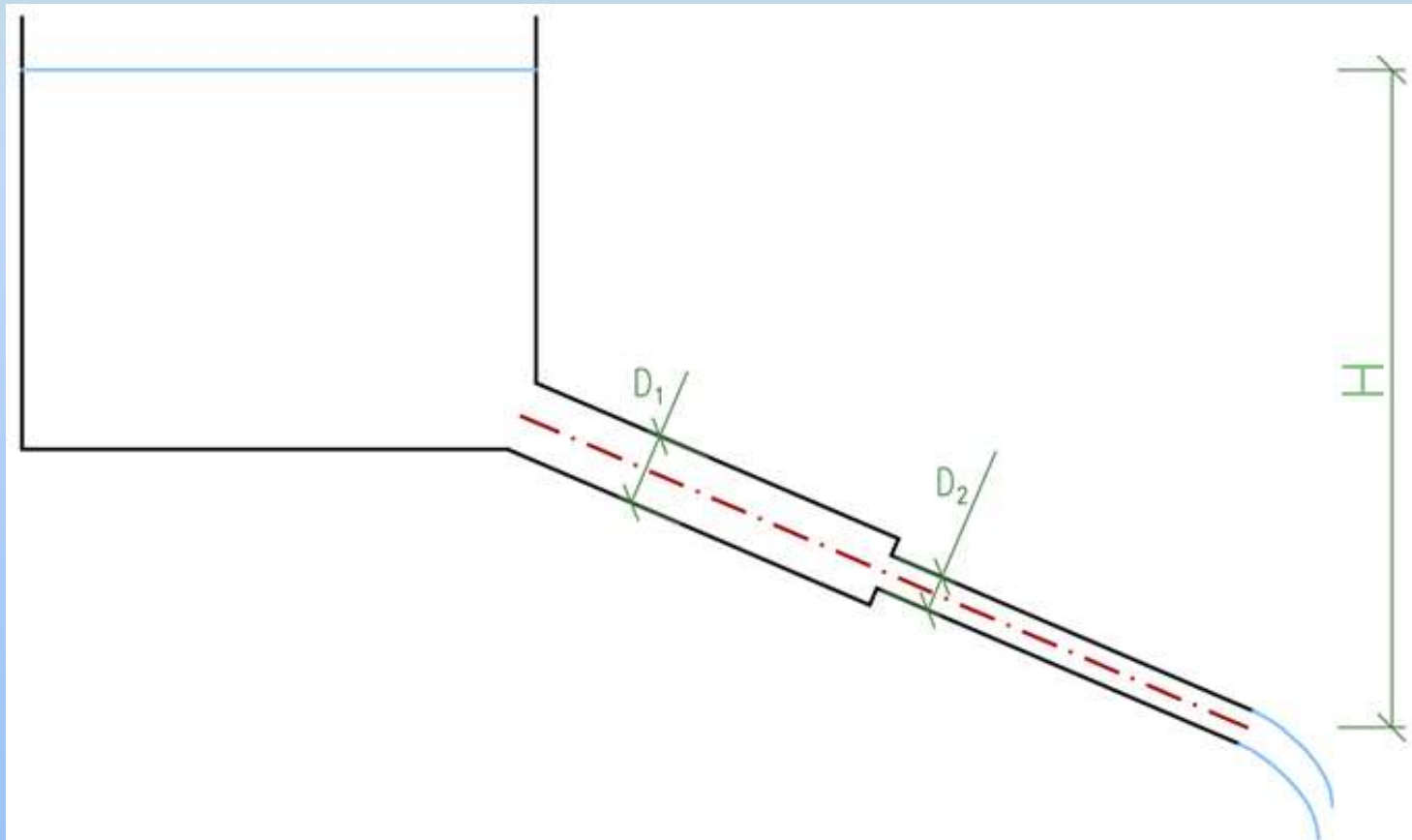
$$H = 0,1(N + M) \text{ [m]}$$

$$D_1 = 0,5 \text{ [m]}$$

$$D_2 = 0,2 \text{ [m]}$$

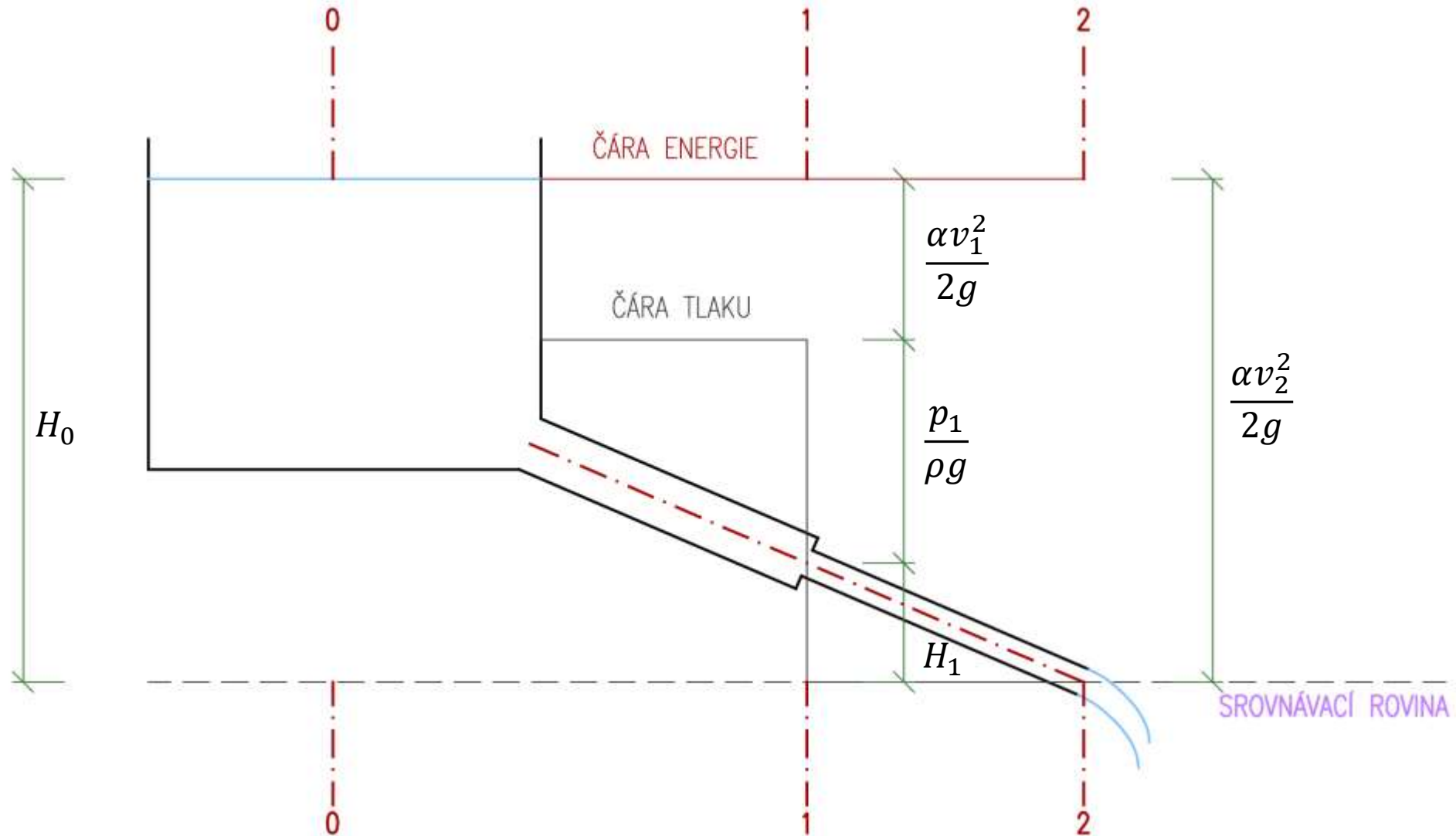
$$\alpha = 1$$

$$Q = ? \text{ [m}^3\text{s}^{-1}\text{]}$$





# Příklad A.6



$$H_0 = \frac{\alpha v_2^2}{2g} \Rightarrow v_2 ; Q = v_2 S_2$$

# Konec

Děkuji za pozornost