



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

CZ.1.07/2.2.00/15.0426 Posílení kvality  
bakalářského studijního programu  
Stavební Inženýrství

# Vodohospodářské stavby BS001

## Hydraulika 1/3

Fyzikální vlastnosti kapalin,  
Hydrostatika a plování těles,  
Hydrodynamika

# Harmonogram přednášek

1. Úvod a základní informace o předmětu, úvod do vodního hospodářství ČR
2. Vodní nádrže, přehrady a využití vodní energie
3. Jezy, odběry vody z vodních toků, vodní cesty a plavba
4. Vodní toky a jejich úprava, hrazení bystřin
5. Základní pojmy a vztahy hydrauliky
6. Základní pojmy a vztahy hydrauliky
7. Základní pojmy a vztahy hydrauliky
8. Hydrologie, koloběh vody v přírodě, hydrologie nádrží
9. Rybníky a účelové nádrže, ochrana před velkými vodami, ochranné hráze
10. Závlahy, odvodnění, ochrana a organizace povodí
11. Inženýrské sítě
12. Zásobování pitnou vodou, úprava a doprava vody, balneotechnika
13. Stokování a čištění odpadních vod

# Hydraulika

Teoretická mechanika



Mechanika kapalin

- Hydromechanika – fyzikálně-matematický přístup
- Hydraulika – empirie, měření in situ, měření na modelech
  - Hydor = voda; aulos = potrubí, žlab
  - Věda o zákonitostech rovnováhy pohybu tekutin a vzájemném působení tekutiny a tuhých těles
  - Hydrostatika – kapalina je vzhledem k tělesu v klidu
  - Hydrodynamika – kapalina v pohybu vzhledem k tuhým tělesům
- Tekutina – kapaliny + plyny

# 1. Fyzikální vlastnosti kapalin

Hustota; Měrná tíha; Viskozita; Stlačitelnost; Ideální kapalina

## 1.1 Hustota vody

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg/m}^3]; \quad \rho = f(T, p)$$

$$T = 10 \text{ }^\circ\text{C}; \quad p_{vo} = 101,325 \text{ kPa}; \quad \rho = 999,7 \text{ kg/m}^3 \approx \rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

## 1.2 Měrná tíha vody

$$\gamma = \rho g \quad [\text{N/m}^3]$$

Tíha kapaliny vztažená na jednotku objemu  $\gamma = 98100 \text{ N/m}^3$

# 1. Fyzikální vlastnosti kapalin

Hustota; Měrná tíha; Viskozita; Stlačitelnost; Ideální kapalina

## 1.3 Viskozita kapaliny (dynamická, kinematická)

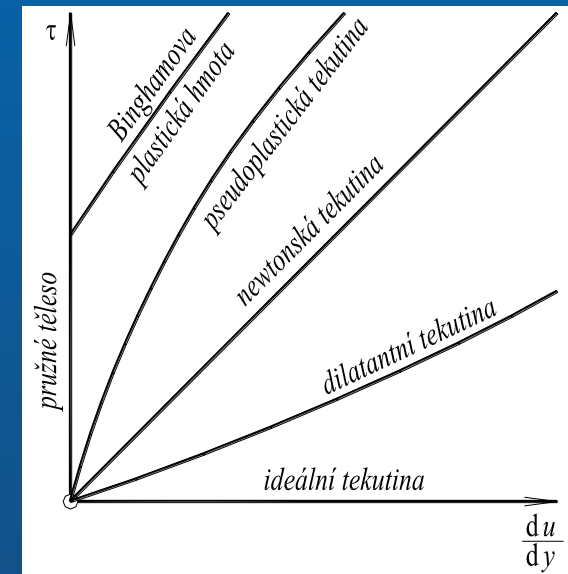
Mezi jednotlivými vrstvami proudící kapaliny vzniká tangenciální napětí  $\tau$

$$\tau = -\mu \frac{du}{dy} \quad [\text{N/m}^2]$$

$\mu$  – součinitel dynamické viskozity

$\nu$  – součinitel kinematické viskozity

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad \nu = f(T)$$



Voda –  $T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  **x**  $T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\nu = 0,48 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

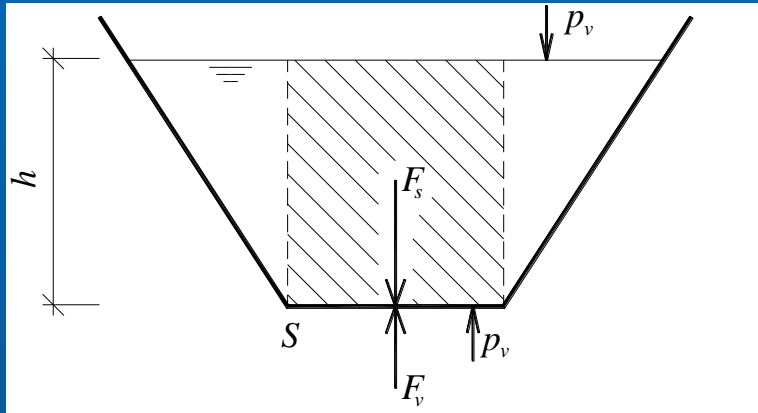
Newtonské x nenewtonské kapaliny

voda x med / kečup / barva / pasta / kal / beton / mazadlo

# 2. Hydrostatika

## 2.1 Tlaková síla kapaliny na vodorovnou plochu

K čemu mně to je? – Síla na dno nádrže nebo její část (poklop)



$$p = \rho gh + p_{v0} \quad [\text{Pa}]$$

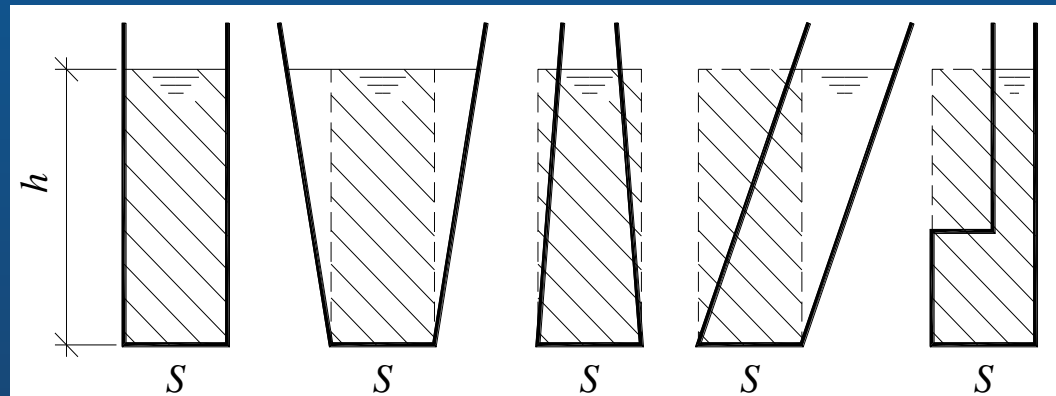
$$F = pS = (\rho gh + p_{v0})S \quad [\text{N}]$$

$$10 \text{ m v. sl.} = 1 \text{ atm} = 98100 \text{ Pa} = \\ = 0,981 \text{ bar} \cong 736 \text{ torr}$$

Síla je rovna tíze sloupce kapaliny, jejíž základnou je plocha dna a výškou je jeho hloubka pod hladinou.

## Hydrostatické paradoxon

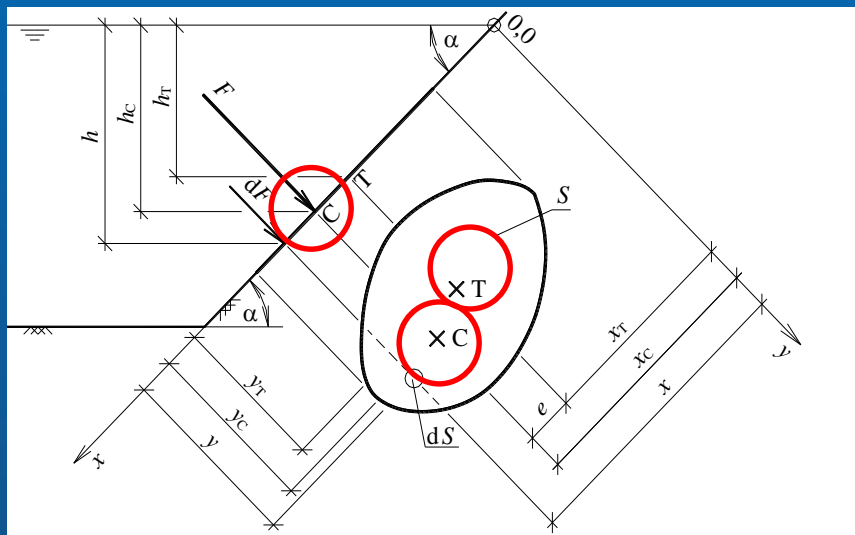
$$F = f(h) \neq f(V)$$



# 2. Hydrostatika

## 2.2 Tlaková síla kapaliny na rovinné plochy

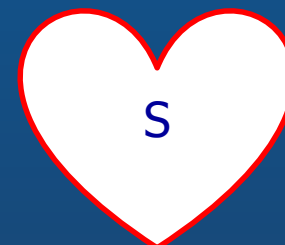
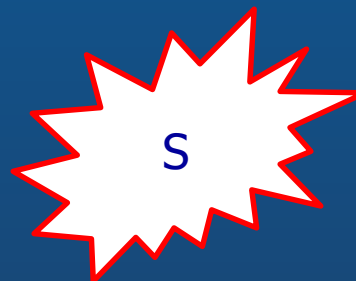
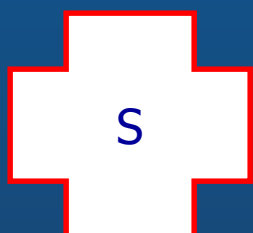
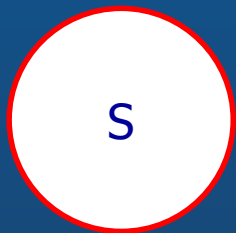
K čemu mně to je? Síla na stěny nádrží, jezy, přehrady, základy budov (podzemní voda), vše co je zaplavené při povodních.



$$F = (\rho g h_T + p_{v0})S \quad [\text{N}]$$

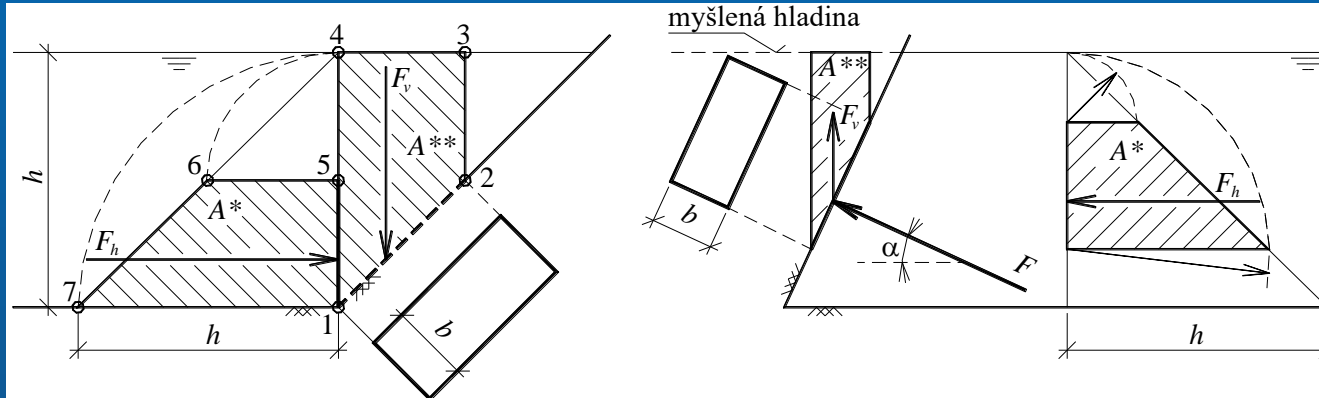
Síla je rovna součinu velikosti tlačené plochy  $S$  a hydrostatického tlaku v jejím těžišti  $T$ . Síla  $F$  působí na plochu kolmo a v působišti  $C$ .

Použitelné pro všechny rovinné plochy:



# 2. Hydrostatika

2.3 a) Horizontální a vertikální složka tlakové síly na rovinné plochy  
K čemu mně to je? Přehlednější vyjádření působící síly  $F$   
Zatěžovací obrazec:



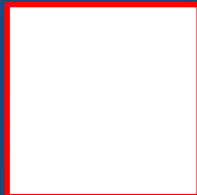
$$F_h = \rho g b A^* \quad [\text{N}]$$

$$F_v = \rho g b A^{**} \quad [\text{N}]$$

$$F = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} \quad [\text{N}]$$

Vodorovná a svislá složka hydrostatické síly se určí pomocí plochy zatěžovacího obrazce  $A^*$  a  $A^{**}$ . Síly procházejí těžišti zatěžovacích obrazců!

Použitelné pro zatíženou plochu s konstantní šířkou a s vodorovnými stranami:

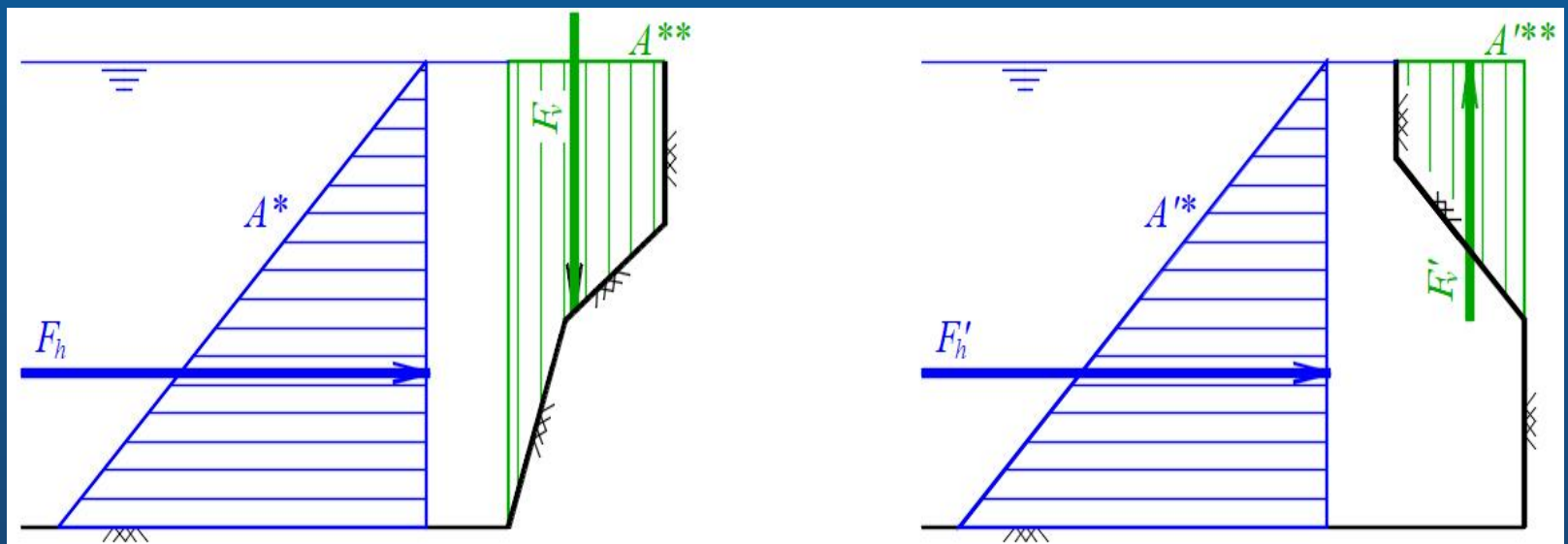
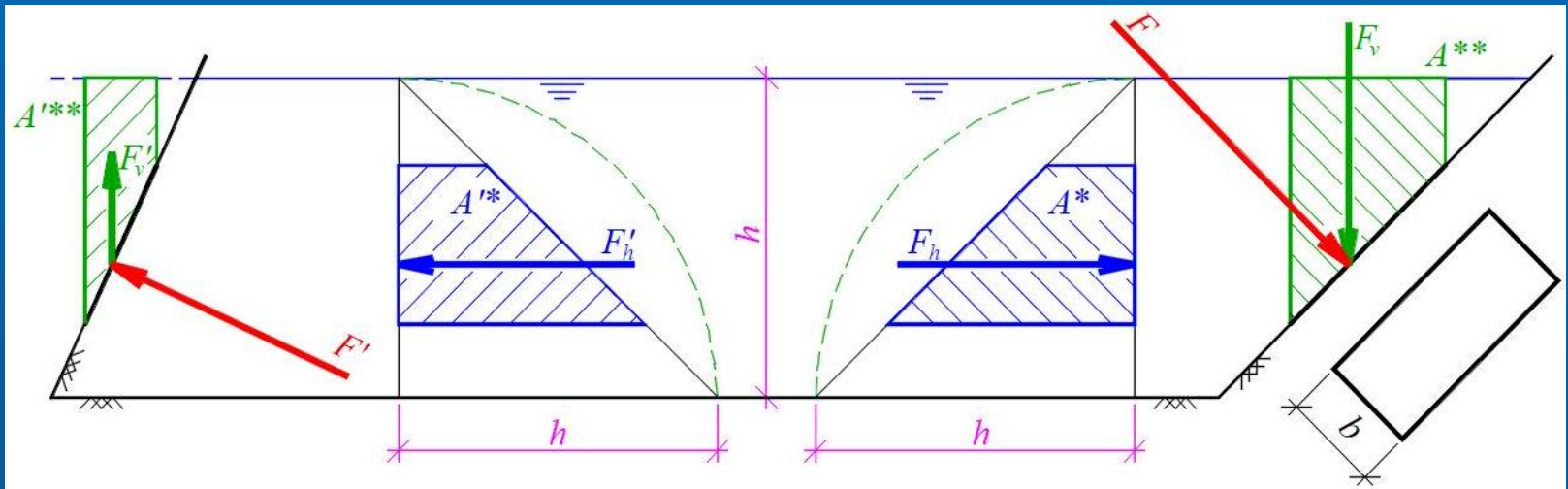




# 2. Hydrostatika

## 2.3 b) Konstrukce zatěžovacího obrazce

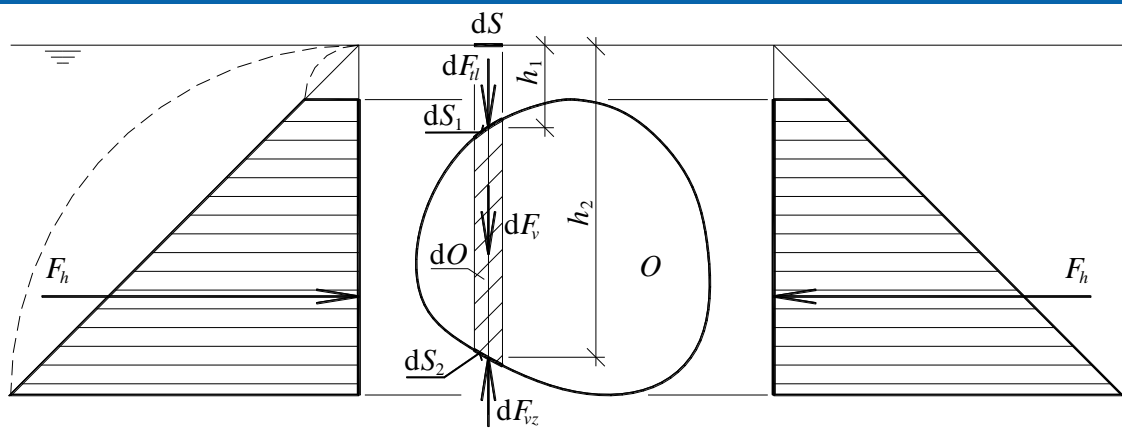
K čemu mně to je? Určím velikost, směr a působiště síly  $F$  a jejich složek



# 2. Hydrostatika

## 2.4 Plování těles

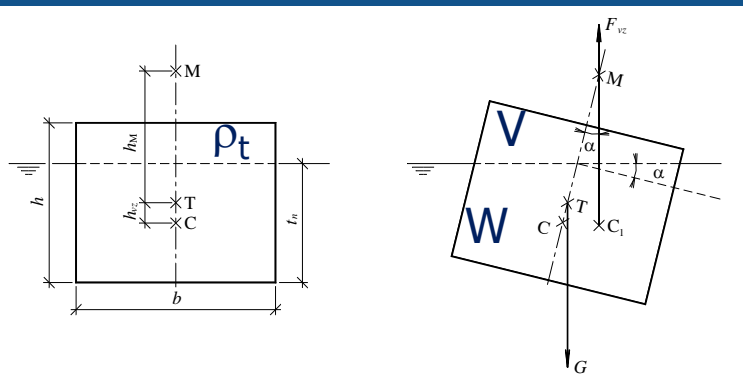
K čemu mně to je? Zakládání staveb pod hladinou podzemní vody, bezpečnost staveb proti vyplavání, stabilita plavidel



$$dF_v = \rho g dS (h_1 - h_2) = -\rho g dO$$

$$F_v = \rho g O$$

Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno vztlakovou silou, jejíž velikost se rovná tíze kapaliny o objemu ponořené části tělesa.



$$G = \rho_t g V_t$$

Těleso klesá ke dnu  $G > F_{vz}$

$$F_{vz} = \rho_W g W$$

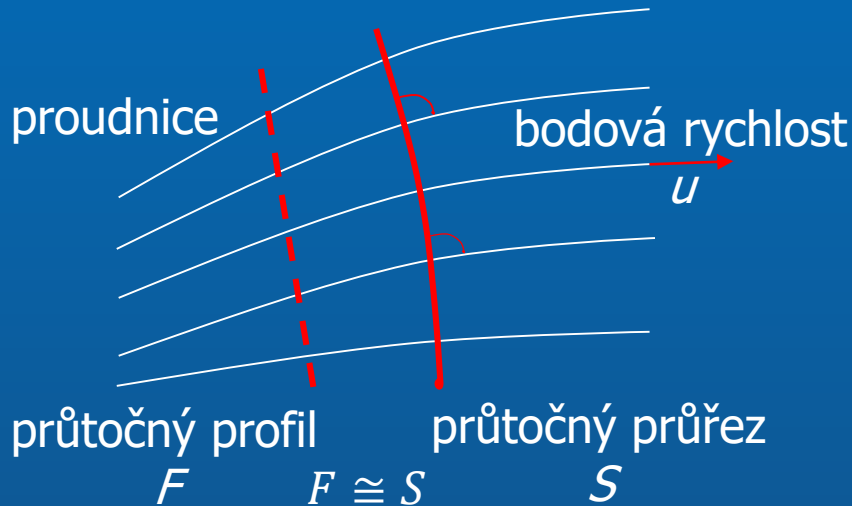
Těleso se vznáší  $G = F_{vz}$

$$G = F_{vz}$$

Těleso plave  $G < F_{vz}$

# 3. Hydrodynamika

## 3.1 Průřezové charakteristiky – průřez, rychlost, průtok



### Objemový průtok

$$Q = \int_S u dS = vS \text{ [m}^3\text{/s; m}^3\text{/h, l/s]}$$

### Hmotnostní průtok

$$Q_m = \int_S \rho u dS = \rho vS \text{ [kg/s; t/s]}$$

### Průřezová rychlost

$$v = \frac{\int_S u dS}{S} = \frac{Q}{S} \text{ [m/s]}$$

Proudění ustálené – průtok  $Q$  je konstantní

Proudění neustálené – průřezové charakteristiky jsou funkcí času a polohy

Proudění ustálené rovnoměrné – průřezové charakteristiky  $Q$ ,  $v$ ,  $S$  se nemění

Proudění ustálené nerovnoměrné – průtok  $Q$  je konstantní,  $S$  a  $v$  se mění

# 3. Hydrodynamika

## 3.2 Rovnice kontinuity



Objemový tvar rovnice kontinuity

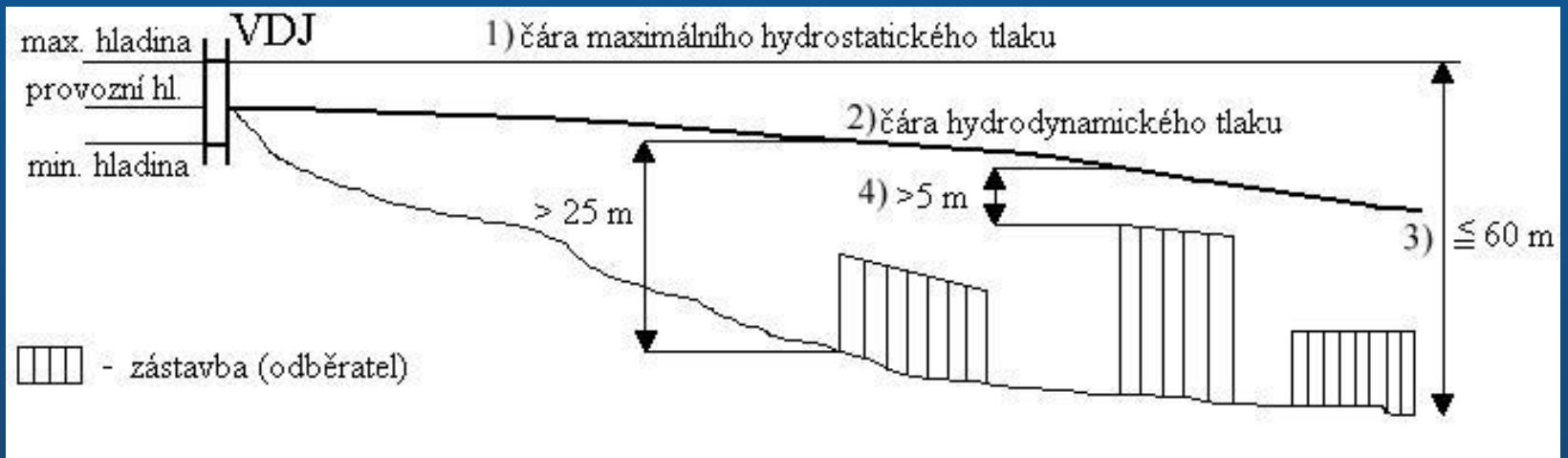
$$Q = S_1 v_1 = S_2 v_2 = konst.$$

Hmotnostní tvar rovnice kontinuity

$$Q_m = \rho_1 S_1 v_1 = \rho_2 S_2 v_2 = konst.$$

## 3.3 Bernoulliho rovnice pro skutečnou kapalinu

K čemu mně to je? Návrh a provoz vodovodů, kanalizací, plynovodů, produktovodů, topení, klimatizací, čerpadel = energetická bilance mezi polohovou energií, tlakovou energií a rychlostní energií (kinetickou)



# 3. Hydrodynamika

## 3.3 Bernoulliho rovnice pro ideální a skutečnou kapalinu

### Ideální kapalina

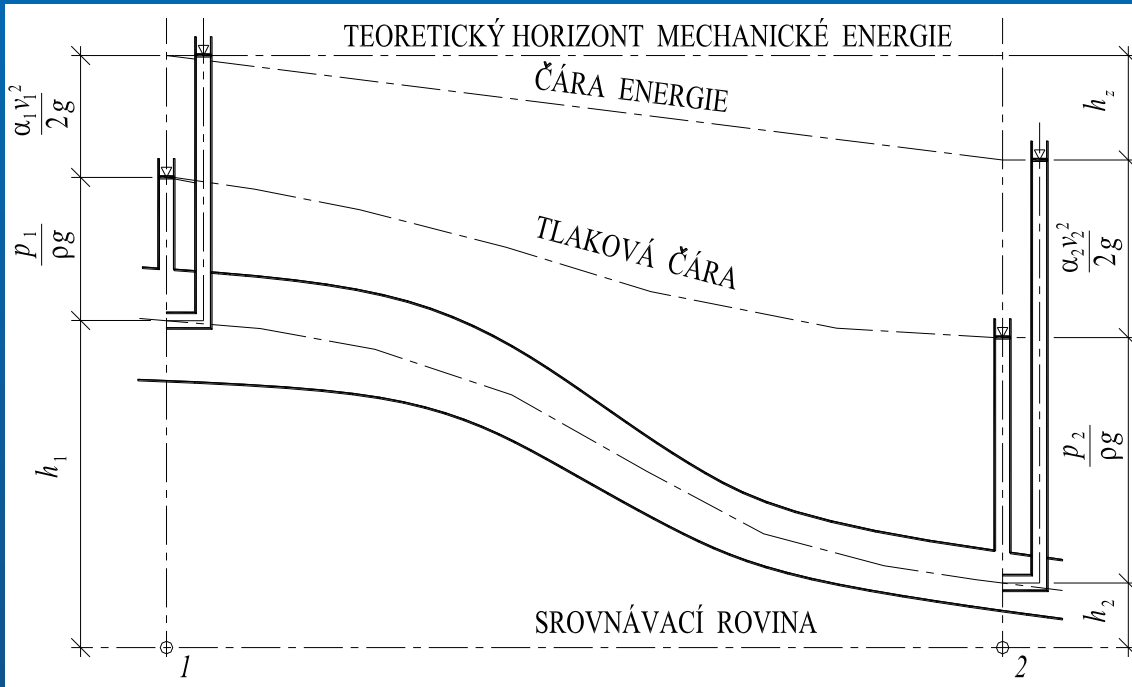
$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g}$$

### Coriolisovo číslo (od $u$ k $v$ )

$$\alpha = \frac{\int u^3 dS}{v^3 S}$$

### Skutečná kapalina

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_z$$



Geodetická výška  $h$  + tlaková výška  $p/\rho g = E_p$

Rychlostní výška  $\alpha v^2/2g = E_k$

Celková energie  $E_c = E_p + E_k + h_z$

$h_z$  - Ztráta mechanické energie třením a deformacemi rychlostního pole