

# HYDROMECHANIKA

Rozsah : 2/1 z, zk, semestr: 3

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Garant předmětu: Radek Roub

FŽP – MCEV II, D439

Tel.: 224 382 153, 737 483 840, e-mail: [roub@fzp.czu.cz](mailto:roub@fzp.czu.cz)

Konzultační hodiny: středa 11:00 - 12:00

Cvičení: Radek Roub

Požadavky ke zkoušce:

- zápočet

Zkouška: písemný test (příklady) + ev. ústní

## Hladinové (rovňové) plochy

Plochy, ve kterých je stálý statický tlak. Při posunu po takové ploše je přírůstek tlaku  $dp = 0$ . Hladinová plocha musí být všude kolmá ke směru výsledného zrychlení.

## Tlak v kapalině, na niž působí pouze gravitační síla země

### Hydrostatický tlak v hloubce $h$

$$p = \rho gh$$

### Celkový statický tlak v hloubce $h$

$$p_s = p_{v0} + \rho gh$$

kde  $p_v$  je vnější tlak na hladinu. Vydělením rov.  $\rho g$  dostaneme vyjádření v

$$\frac{p_s}{\rho g} = \frac{p_{v0}}{\rho g} + h$$

Veličina  $p/\rho g$  má délkový rozměr a nazývá se tlaková výška; tlak lze převést na výšku sloupce kapaliny a tím ho graficky znázornit, nebo je možné ho sloupcem kapaliny měřit. Při volné hladině vnější tlak  $p_{v0} = p_a$ , kde  $p_a$  je atmosférický tlak, což je nejčastější tlak okolního prostředí.

### Normální atmosférický tlak

smluvená střední hodnota atmosférického tlaku na mořské hladině:

$$p_n = 1,0132472 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

### Přetlak $p_p$

rozdíl tlaku statického a atmosférického:

$$p_p = p_s - p_a, \text{ když } p_s > p_a$$

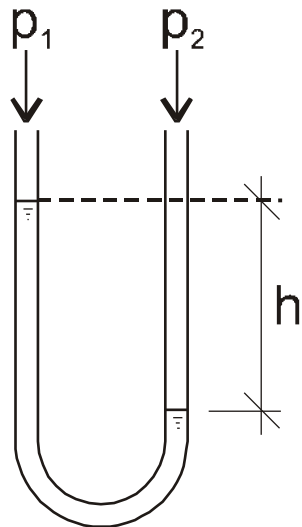
### Podtlak $p_{va}$

rozdíl tlaku atmosférického a statického:

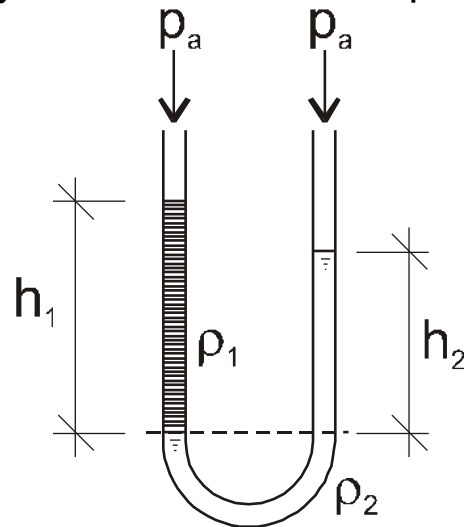
$$p_{va} = p_a - p_s, \text{ když } p_s < p_a$$

## Spojité nádoby

Spojité nádoby se řeší sestavením rovnice tlakové rovnováhy ke zvolené rovnové ploše



$$p_1 + \rho g h = p_2$$



$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$$

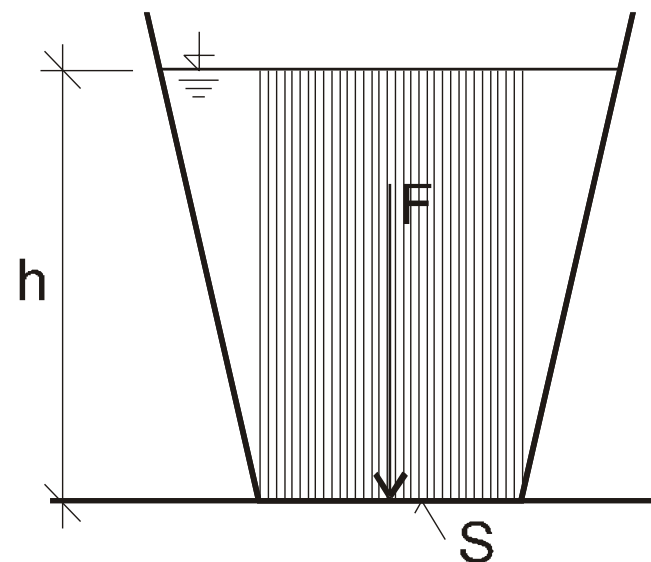
## Hydrostatická síla

Hydrostatická síla vzniká působením hydrostatického tlaku na plochu. Na tuto plochu působí vždy kolmo.

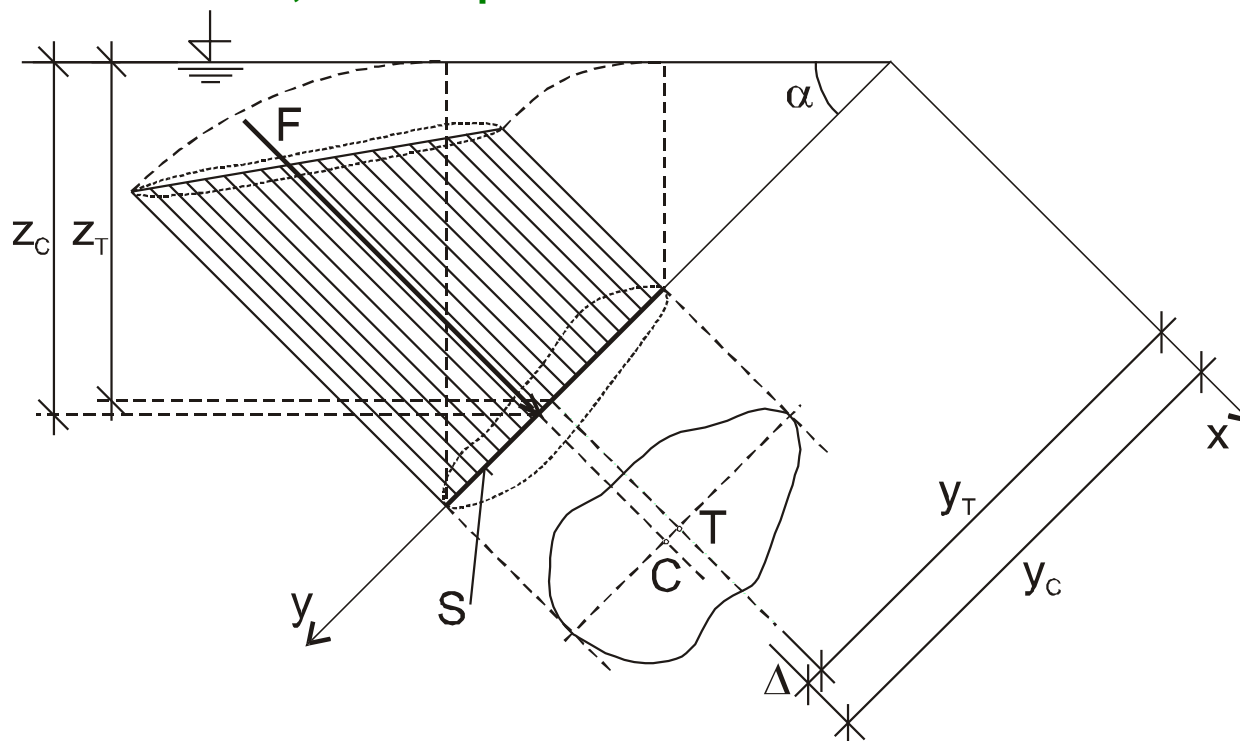
### Hydrostatická síla na rovinnou, vodorovnou plochu

$$F = \rho g h S = \rho g V_{ZT}$$

kde  $V_{ZT}$  je objem zatěžovacího tělesa a  $S$  je tlačená plocha. **Hydrostatická síla se rovná tíze sloupce kapaliny, jehož základnou je tlačená plocha a výškou hloubka plochy pod hladinou**, tj. rovná se tíze zatěžovacího tělesa. Hydrostatická síla působí vždy v těžišti zatěžovacího tělesa.



## Hydrostatická síla na rovinnou, šikmou plochu



$$F = \rho g z_T S$$

kde  $z_T$  je hloubka těžiště zatěžované plochy pod hladinou. **Hydrostatická síla je opět dána tíhou zatěžovacího tělesa, tj. tíhou sloupce kapaliny, jehož základnou je zatěžovaná plocha a jeho výška vyplývá ze znázornění průběhu hydrostatického tlaku.**

Hydrostatická síla opět působí v těžišti zatěžovacího tělesa, tj. působíště hydrostatické síly C je pod těžištěm zatěžované plochy T ve vzdálenosti:

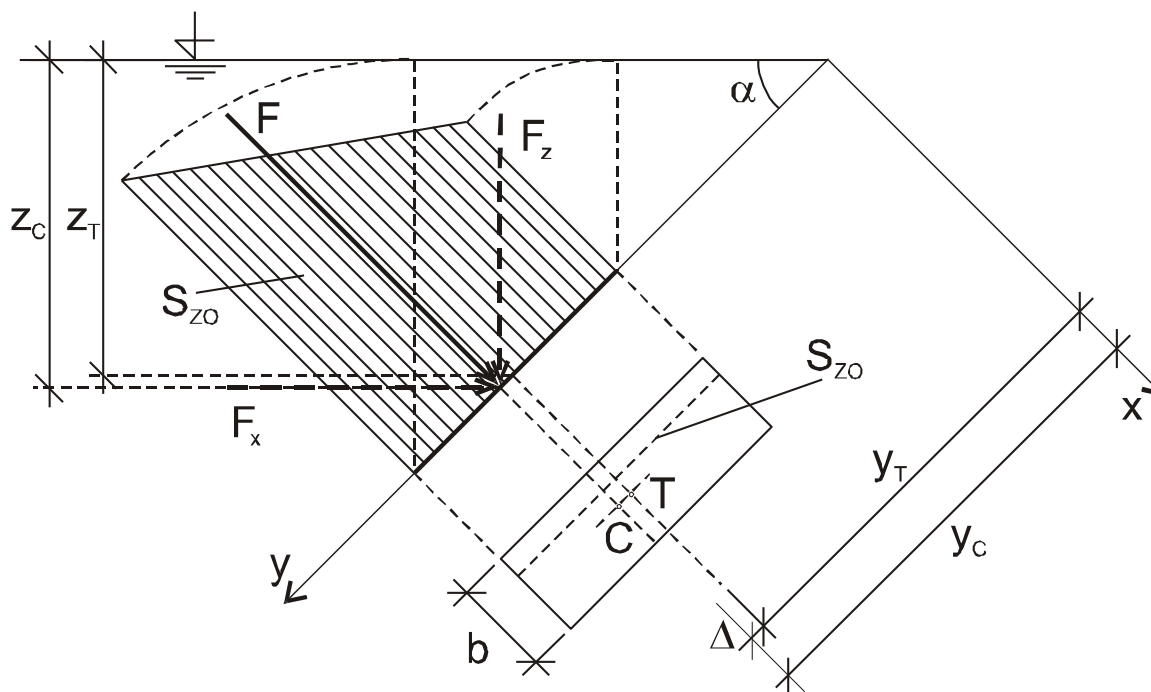
$$\Delta = \frac{I_0}{S y_T}$$

kde  $I_0$  je moment setrvačnosti k těžišťové ose o (u pravidelných obrazců).

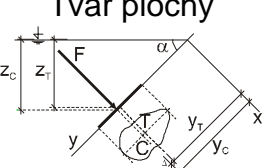
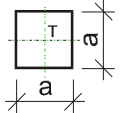
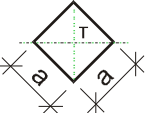
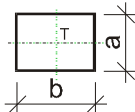
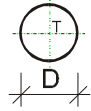
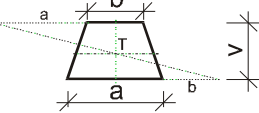
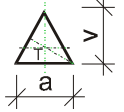
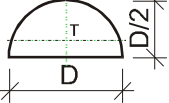
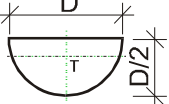
Je-li zatěžovanou plochou obdélník nebo čtverec, je možné objem zatěžovacího tělesa počítat jako součin řezu tímto tělesem a šířky tohoto tělesa. Hydrostatická síla pak je

$$F = \rho g b S_{z0}$$

kde  $b$  a  $S_{z0}$  jsou patrné z obr. Řez zatěžovacím tělesem je tzv. **zatěžovací obrazec** a  $S_{z0}$  je **plocha zatěžovacího obrazce**. Hydrostatická síla působí v jeho těžišti.



### Veličiny k výpočtu hydrostatické síly

|  <p>Tvar plochy</p> | <p>Obsah plochy<br/><math>S \text{ (m}^2\text{)}</math></p> | <p>Moment setrvačnosti<br/><math>I_0 \text{ (m}^4\text{)}</math></p> | <p>Hloubka působíště síly<br/><math>y_c \text{ (m)}</math></p>                            |
|--|---|--|---|
|                     | $a^2$   | $\frac{1}{12}a^4$  | $h + \frac{a}{2} + \frac{a^2}{6(2h+a)}$   |
|                     | $a^2$   | $\frac{1}{12}a^4$  | $h + \frac{\sqrt{a}}{2} + \frac{a^2}{6(2h + \sqrt{a})}$                                   |
|                     | $a^2$   | $\frac{1}{12}ba^3$   | $h + \frac{a}{2} + \frac{a^2}{6(2h+a)}$   |
|                     | $\frac{\pi D^2}{4}$   | $\frac{\pi D^4}{64}$   | $h + \frac{D}{2} + \frac{D^2}{8(2h+D)}$   |
|                    | $\frac{v}{2}(a+b)$  | $v^3 \frac{(a+b)^2 + 2ab}{36(a+b)}$                                  | $h + \frac{vk'}{3k} + \frac{v^2(k^2 + 2ab)}{6k(3k + vk')}$ $k = a + b$ ,<br>$k' = 2a + b$ |
|                   | $\frac{av}{2}$  | $\frac{1}{36}av^3$   | $h + \frac{2}{3}v + \frac{v^2}{6(3h+2v)}$   |
|                   | $\frac{\pi D^2}{8}$   | $\left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi}\right) \frac{D}{16}$           | $h + 0,288D + \frac{0,0175D^2}{h + 0,228D}$   |
|                   | $\frac{\pi D^2}{8}$   | $\left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi}\right) \frac{D}{16}$           | $h + 0,212D + \frac{0,0175D^2}{h + 0,212D}$   |



U některých příkladů je výhodné rozložit výslednou hydrostatickou sílu do dvou směrů, na vodorovnou a svislou složku.

**Vodorovná složka hydrostatické síly  $F_x$  se rovná hydrostatické síle působící na průmět zatěžované plochy do svislé roviny kolmé k uvažovanému směru.**

$$F_x = \rho g S z_T \sin \alpha$$

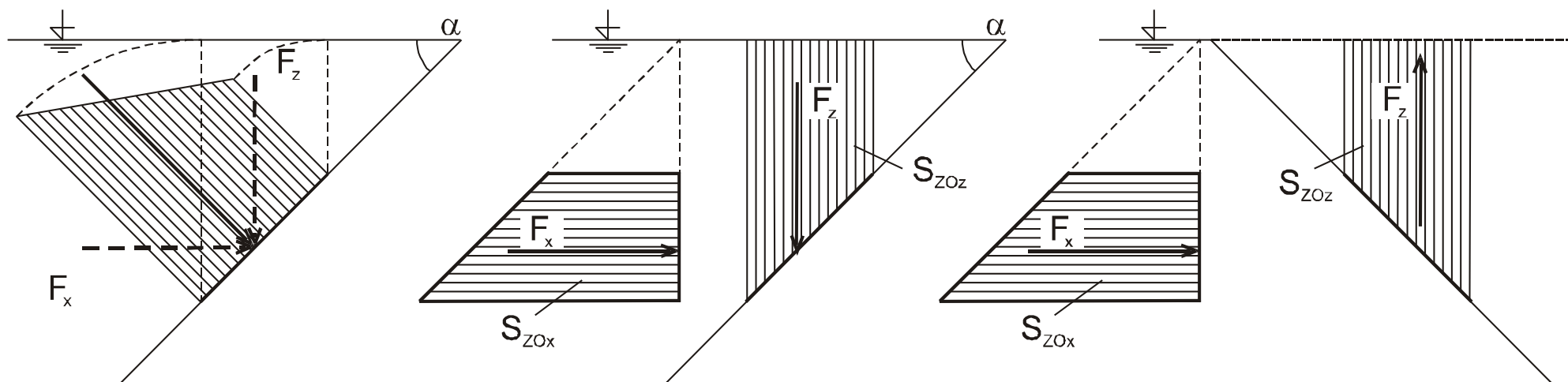
$\alpha$  ... úhel sklonu zatěžované plochy od vodorovné roviny

$S \cdot \sin \alpha$  ... průmět zatěžované plochy do svislé roviny

**Svislá složka hydrostatické síly  $F_z$  se rovná tíze svislého sloupce kapaliny nad zatěžovanou plochou až ke hladině**

$$F_z = \rho g S z_T \cos \alpha$$

$S \cdot \cos \alpha$  ... průmět zatěžované plochy do vodorovné roviny



**V případě, že zatěžované plochy jsou obdélníkové nebo čtvercové, můžeme sestavit příslušné zatěžovací obrazce pro jednotlivé složky hydrostatické síly  $F_x$  a  $F_z$ :**

**Zatěžovacím obrazcem vodorovné složky hydrostatické síly** je zatěžovací obrazec na průmět zatížené plochy do vodorovné roviny.

**Zatěžovacím obrazcem svislé složky hydrostatické síly** je sloupec nad zatěžovanou plochou až po hladinu. Síly  $F_x$ ,  $F_z$  působí v těžištích příslušných zatěžovacích obrazců - obr. 2.2.4. Působí-li složka  $F_z$  dolů, jedná se o tlak, působí-li  $F_z$  vzhůru, jedná se o vztlak.

Velikosti složek hydrostatických sil  $F_x$  a  $F_z$  jsou podle rovnice (2.2.4) počítány jako

$$F_x = \rho g b S_{zox} \quad F_z = \rho g b S_{zoz}$$

Celková hydrostatická síla je dána vztahem:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_z^2} \quad (2.2.9)$$

*Řešení hydrostatické síly ze zatěžovacího obrazce pro celkovou hydrostatickou sílu a ze zatěžovacích obrazců pro složky hydrostatické síly je ekvivalentní. Zvolíme vždy ten způsob, který je v daném případě vhodnější a jednodušší.*

**Hydrostatická síla na rovinnou, svislou plochu ( $\alpha = 90^\circ$ )**

$$F_x = \rho g S z_T \sin \alpha \quad F_z = \rho g S z_T \cos \alpha$$