

# Tekutiny

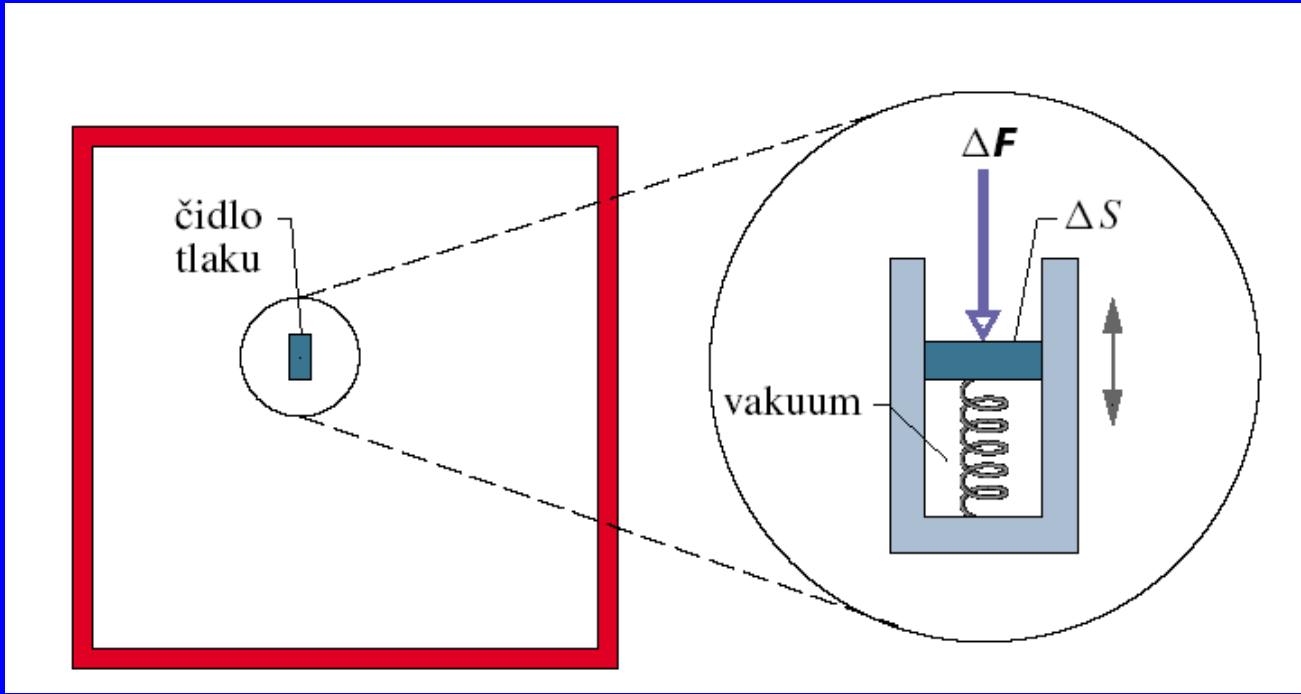


**Tabulka 15.1 Hustoty  $\rho$  některých látek a objektů**

LÁTKA NEBO OBJEKT	$\frac{\rho}{\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}}$
mezihvězdný prostor	$10^{-20}$
nejlepší vakuum dosažené v laboratoři	$10^{-17}$
vzduch: 20 °C, 1 atm <sup>a</sup>	1,21
20 °C, 50 atm <sup>a</sup>	60,5
pěňný polystyren	$1\cdot 10^2$
voda: 20 °C, 1 atm <sup>a</sup>	$0,998\cdot 10^3$
20 °C, 50 atm <sup>a</sup>	$1,000\cdot 10^3$
mořská voda 20 °C, 1 atm <sup>a</sup>	$1,024\cdot 10^3$
krev	$1,060\cdot 10^3$
led	$0,917\cdot 10^3$
železo	$7,9\cdot 10^3$
rtuť	$13,6\cdot 10^3$
Země: průměrná hodnota	$5,5\cdot 10^3$
jádro	$9,5\cdot 10^3$
kůra	$2,8\cdot 10^3$
Slunce: průměr	$1,4\cdot 10^3$
jádro	$1,6\cdot 10^5$
bílý trpaslík — hvězda (jádro)	$10^{10}$
jádro uranu	$3,0\cdot 10^{17}$
neutronová hvězda (jádro)	$10^{18}$
černá díra (s hmotností našeho Slunce)	$10^{19}$

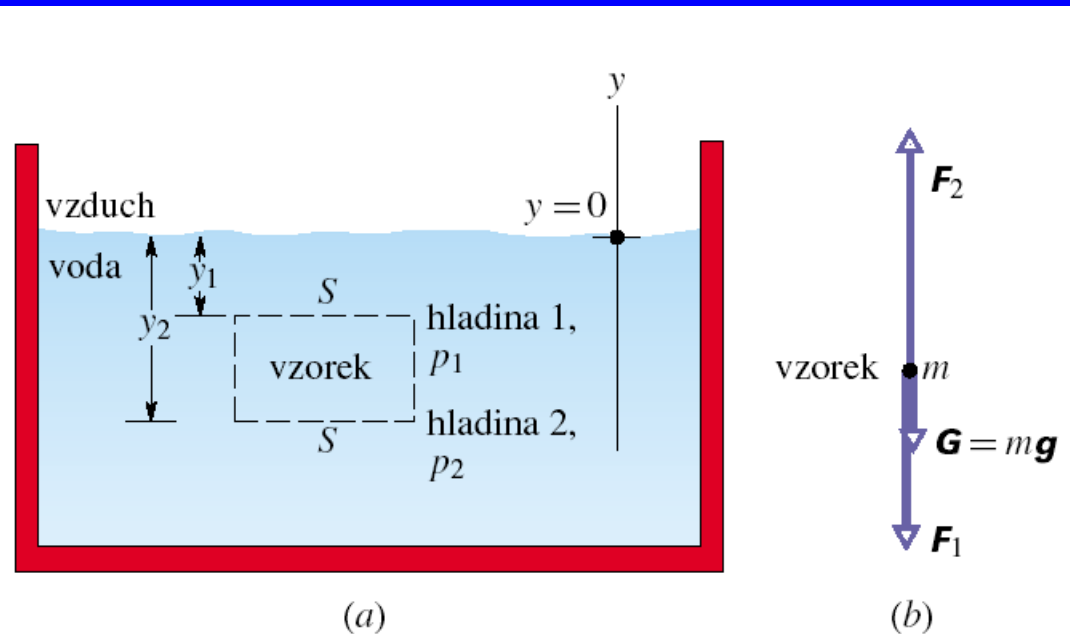
<sup>a</sup> atm je fyzikální atmosféra (normální atmosféra), dříve často užívaná jednotka tlaku 1 atm = 101 325 Pa je rovna normálnímu atmosférickému tlaku.

# Čidlo tlakové



**Tabulka 15.2 Tlaky ve vybraných systémech**

SYSTEM	$\frac{p}{\text{Pa}}$
střed Slunce	$2 \cdot 10^{16}$
střed Země	$4 \cdot 10^{11}$
nejvyšší tlak dosažený v laboratoři	$1,5 \cdot 10^{10}$
tlak v největší hloubce oceánu	$1,1 \cdot 10^8$
tlak jehlového podpatku na taneční parket	$1 \cdot 10^6$
tlak v pneumatice <sup>a</sup>	$2 \cdot 10^5$
atmosférický tlak u hladiny moře	$1,0 \cdot 10^5$
normální krevní tlak <sup>a,b</sup>	$1,6 \cdot 10^4$
nejvyšší vakuum dosažené v laboratoři	$10^{-12}$

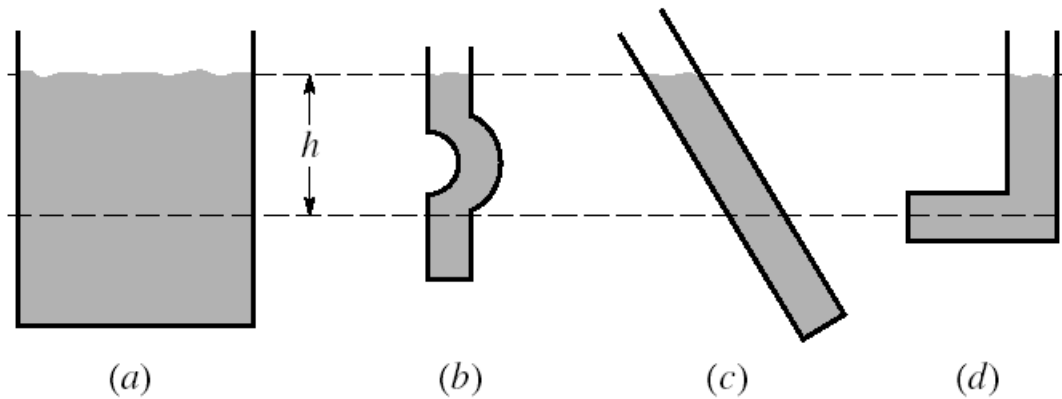


**Obr. 15.2** (a) Nádoba s vodou, ve které si představíme vzorek vody ve válci (na obrázku vyčárkován) se základnou o obsahu  $S$ . (b) Silový diagram pro vzorek vody. Vzorek je ve statické rovnováze, tíhová síla je vyvážena vztlakovou.

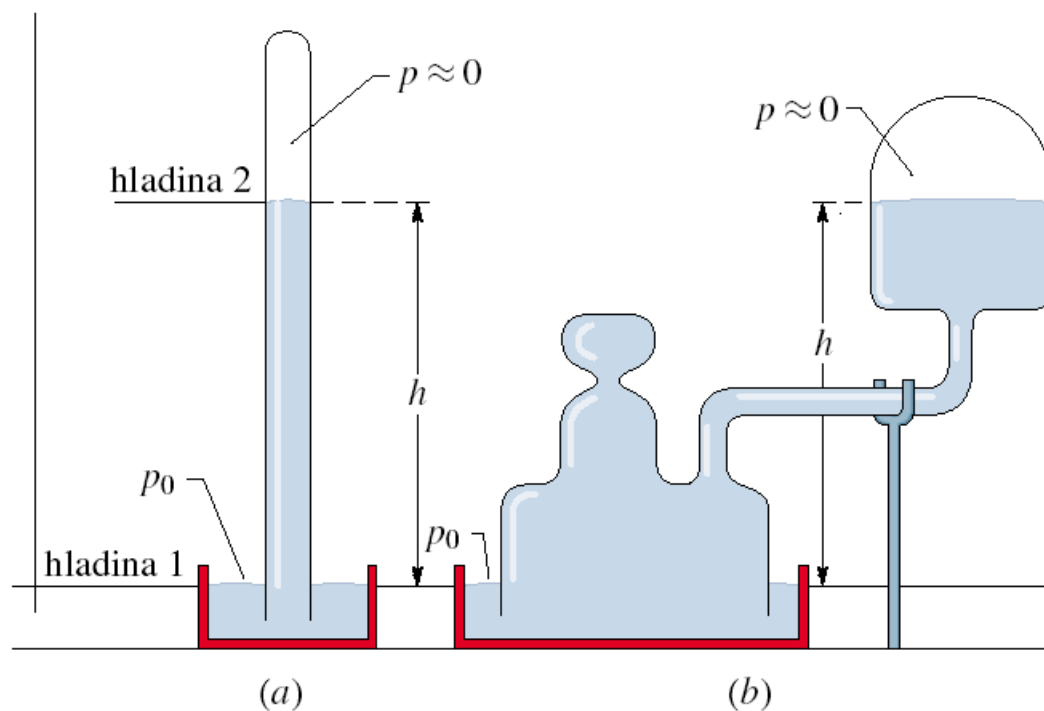
$$p_2 = p_1 + \rho g(y_1 - y_2).$$

$$p = p_0 + \rho gh \quad (\text{tlak v hloubce } h).$$

**KONTROLA 1:** Na obrázku jsou čtyři nádoby s olivovým olejem. Seřadte je podle velikosti tlaku v hloubce  $h$ .



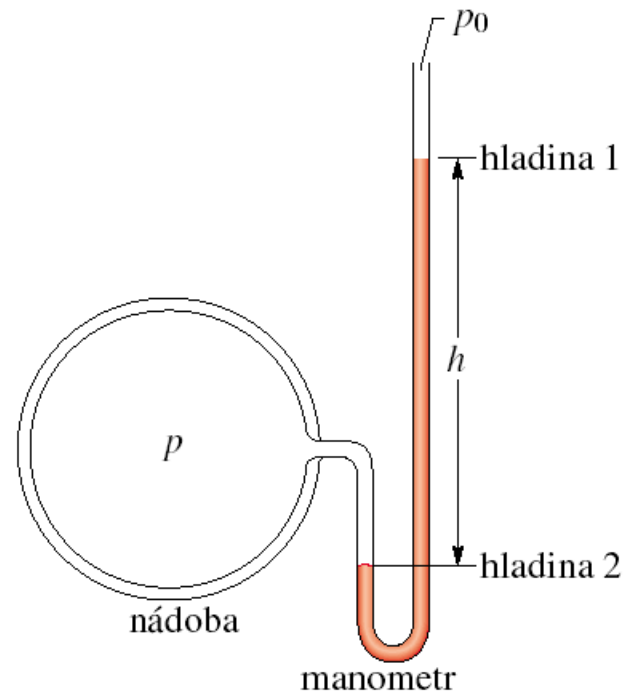
# Měření tlaku



**Obr. 15.6** (a) Rtuťový barometr. (b) Rtuťový barometr v jiném provedení. Vzdálenost  $h$  je pro oba barometry stejná.

# Měření tlaku

**Obr. 15.7** Otevřený manometr, jehož levé rameno je připojeno k nádobě s plynem, jehož přetlak  $p - p_0$  má být měřen. Pravé rameno U-trubice je otevřeno do atmosféry.



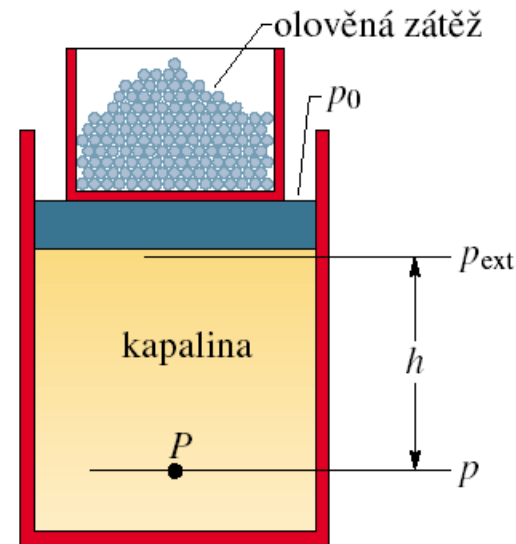


# Pascalův zákon

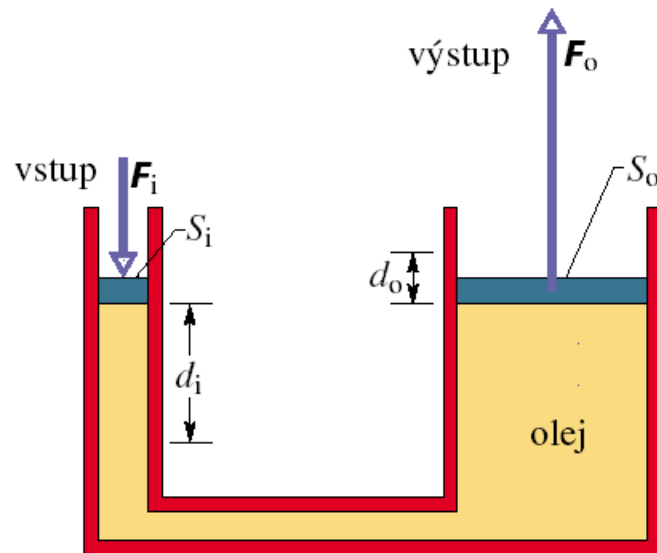
Změníme-li tlak v jednom místě tekutiny, objeví se táž změna prakticky ihned v každé části této tekutiny i na stěnách nádoby, ve které je tekutina uzavřena.

## Demonstrace Pascalova zákona

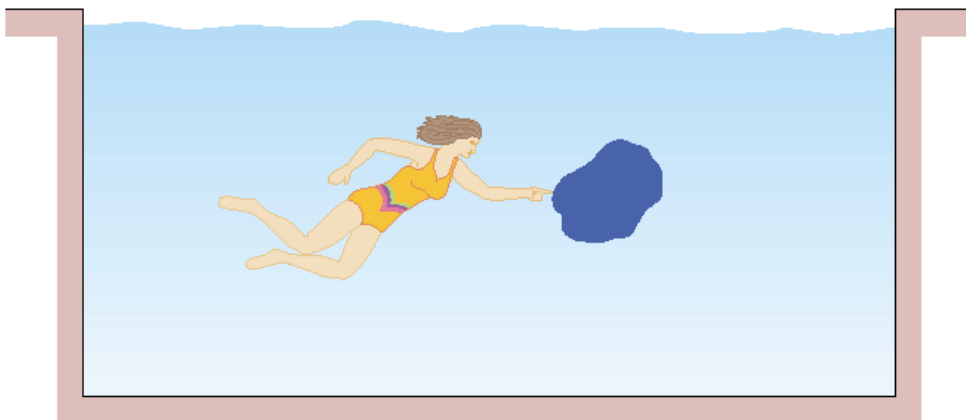
**Obr. 15.8** Závaží položená na píst vytvoří tlak  $p_{\text{ext}}$  na vrchní hladině uzavřené kapaliny. Když tlak  $p_{\text{ext}}$  zvýšíme přidáním dalších závaží, zvýší se tlak ve všech bodech kapaliny o stejnou hodnotu  $p_{\text{ext}}$ .



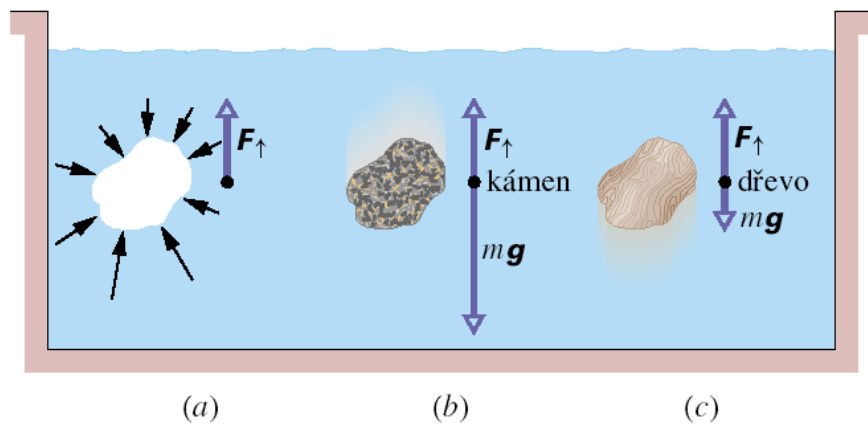
# Hydraulický převod



**Obr. 15.9** Hydraulické zařízení, které se užívá k převodu síly  $F_i$  na vyšší hodnotu  $F_o$ . Vykonaná práce se však zvětšit nedá a je stejná pro obě síly, vstupní i výstupní.



**Obr. 15.10** Tenkostěnný pytlík z plastické hmoty plný vody, který se vznáší v bazénu, je ve statické rovnováze. Váha pytlíku je vyvážena výslednicí sil, kterými na pytlík působí okolní voda.



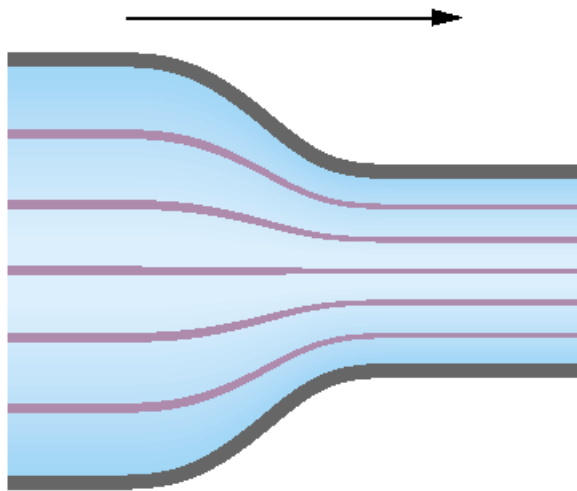
**Obr. 15.11** (a) Voda obklopující dutinu v kapalině na ni působí vztlakovou silou, jejíž velikost ani směr nezávisí na tom, čím je dutina vyplněna. (b) Je-li v dutině kámen, je velikost tíhové síly větší, než je velikost vztlakové síly. (c) Je-li v dutině dřevo, je velikost tíhové síly menší, než je velikost vztlakové síly.

## 15.8 TEKUTINY V POHYBU — DYNAMIKA

---



**Obr. 15.12** V určitém bodě změní stoupající proud kouře a ohřátého vzduchu charakter proudění z laminárního na turbulentní.



**Obr. 15.17** V místě zúžení trubice se proudnice dostanou blíže k sobě a proud se zrychlí. Šipka nad obrázkem ukazuje směr proudění.

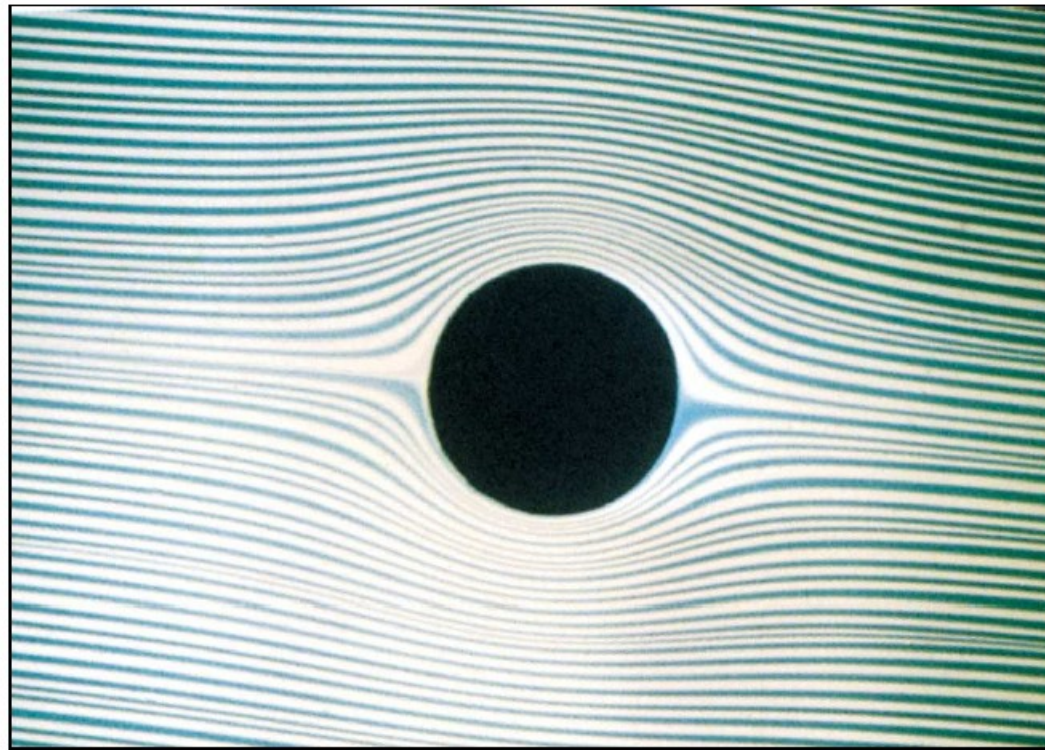


**Obr. 15.14** Kouřem zviditelněné proudnice, které obtékají automobil umístěný v aerodynamickém tunelu.

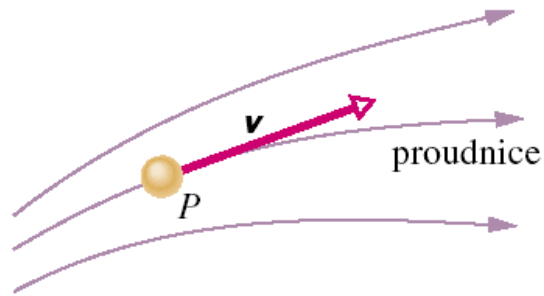
## 15.9 PROUDNICE A ROVNICE KONTINUITY

---

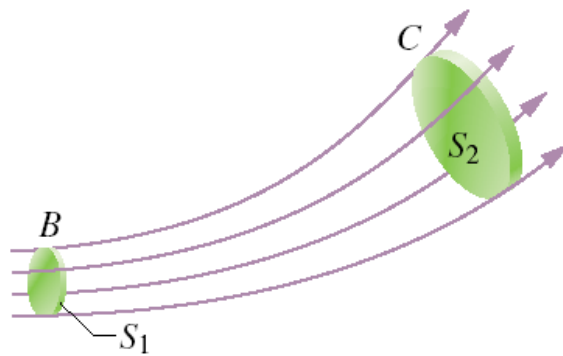
Na obr. 15.13 jsou zobrazeny proudnice vzniklé tím, že na řadě nesousedících míst je do proudící tekutiny vpraveno



**Obr. 15.13** Laminární obtékání válce. Proudnice jsou zviditelněny barevnými částicemi, které zanechávají stopu.

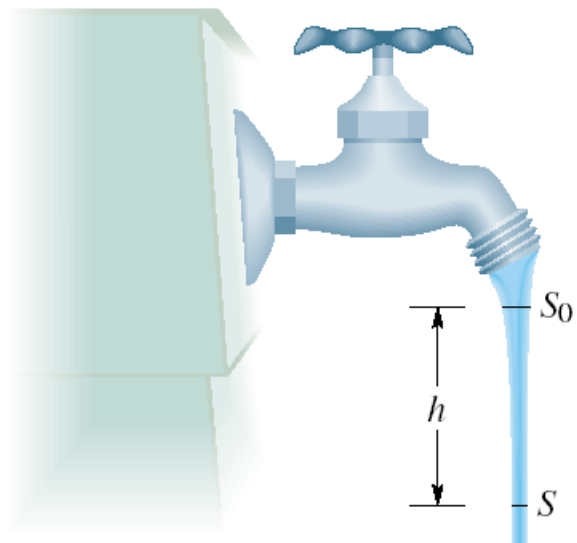


**Obr. 15.15** Stopa pohybu částice tekutiny  $P$  vytváří proudnici. Vektor rychlosti  $\mathbf{v}$  částice má v každém bodě směr tečny k proudnici.

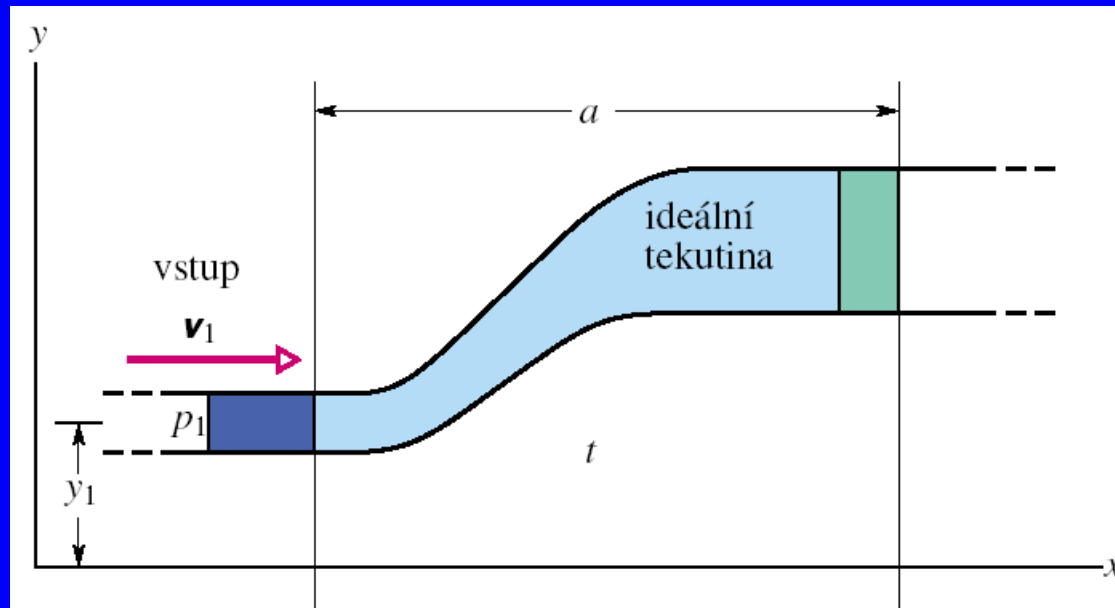


**Obr. 15.16** Proudová trubice je vytvořena proudnicemi, které tvoří její hranici. Stejný objemový tok musí procházet všemi průřezy proudové trubice.

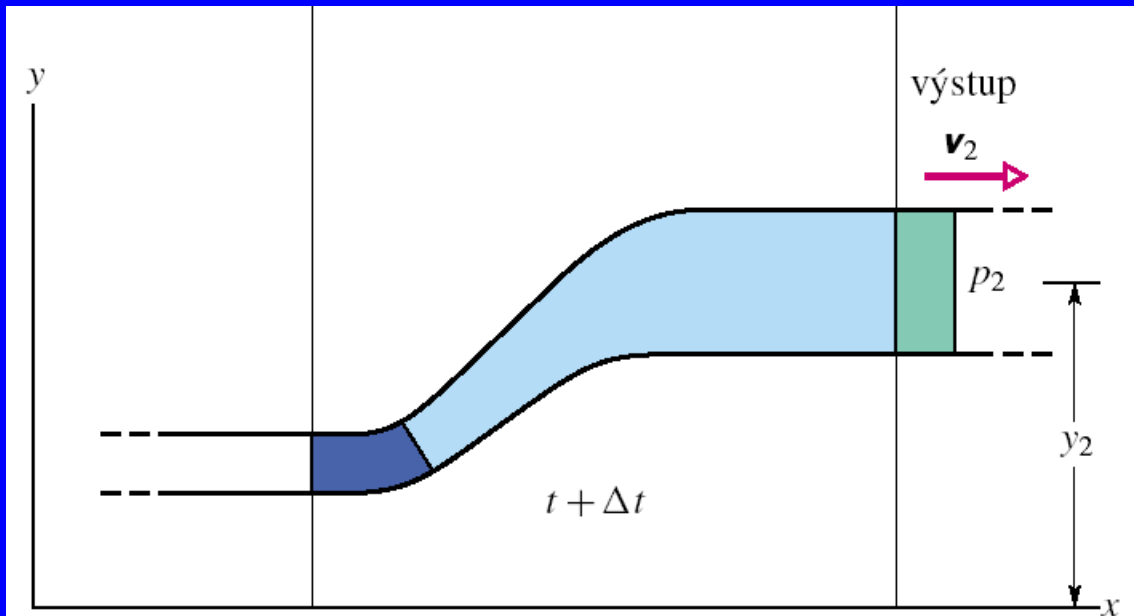




**Obr. 15.18** Příklad 15.8. Když proud vody opustí kohoutek, roste jeho rychlost. Protože množství vody proteklé každým průřezem musí být stejné, bude se proud po výtoku z kohoutku zužovat, „zaškrcuje se“.



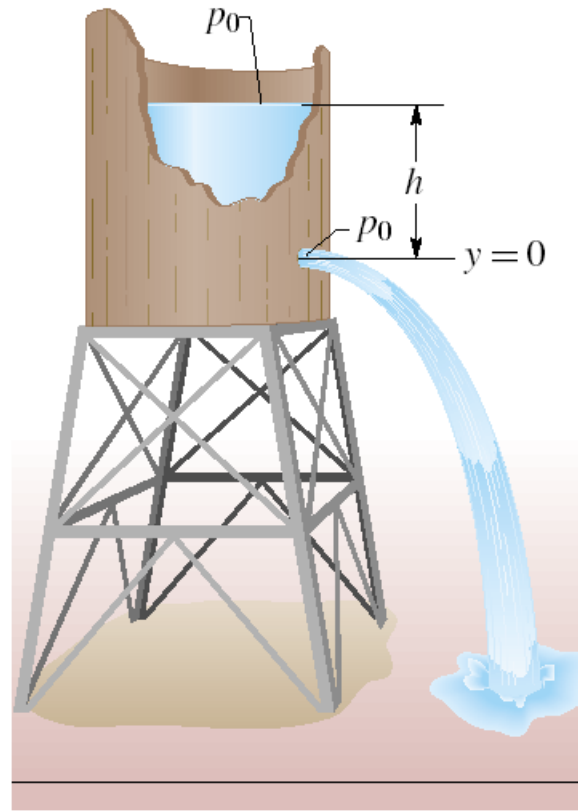
Bernoulliova rovnice



(b)

**Obr. 15.19** Tekutina teče stacionárně trubicí mezi vstupním průřezem na levé straně a výstupním průřezem na pravé straně. Průřezy jsou horizontálně vzdáleny o délku  $a$ . V době mezi okamžikem  $t$  (stav znázorněn v části (a) obrázku) a okamžikem  $t + \Delta t$  (stav znázorněn v části (b) obrázku) množství tekutiny vybarvené purpurově projde vstupním průřezem do trubice a stejné množství vybarvené zeleně projde výstupním průřezem.

Bernoulliova rovnice



**Obr. 15.20** Příklad 15.10. Voda vytéká dírou v nádrži, která je v hloubce  $h$  pod povrchem (volnou hladinou) vody. Tlak vody na povrchu a v díře je roven atmosférickému tlaku  $p_0$ .

## ***Hustota***

*Hustota*  $\rho$  látky je definována jako její hmotnost v jednotce objemu:

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V}. \quad (15.1)$$

Je-li těleso tvořeno látkou homogenní, můžeme rov. (15.1) přepsat na tvar  $\rho = m/V$ , kde  $m$  je hmotnost tělesa a  $V$  jeho objem.

## ***Tlak tekutiny***

*Tekutina* je látka, která může téci: kapalina, plyn, event. i plazma. Její tvar je dán tvarem nádoby, ve které se nachází, protože nepřenáší smykové napětí (přesně to platí jen pro ideální tekutinu). Napětí tedy může působit jen silou kolmou k povrchu kapaliny. *Tlak*  $p$  v tekutině zavádíme takto:

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta S}, \quad (15.2)$$

### ***Změny tlaku s výškou a hloubkou***

Tlak tekutiny, která je v klidu, se mění podél svislé souřadnice  $y$ . Když je souřadnice orientována směrem vzhůru, platí pro nestlačitelné tekutiny ( $\rho = \text{konst.}$ )

$$p_2 = p_1 + \rho g(y_1 - y_2). \quad (15.4)$$

Tlak je stejný pro všechny body ve stejné hloubce. Rov. (15.4) přejde na tvar

$$p = p_0 + \rho gh, \quad (15.5)$$

když  $h$  označíme *hloubku* v tekutině měřenou od jisté referenční hladiny, v níž má tlak hodnotu  $p_0$ .

### ***Pascalův zákon***

*Pascalův zákon* stanoví, že změna tlaku působící v jedné části tekutiny se přenesou do všech míst vyplněných touto tekutinou a to i na stěny nádoby, která tekutinu vymezuje.

### ***Archimedův zákon***

Na těleso ponořené do tekutiny působí síly vyvolané tlakem tekutiny. Vektorový součet těchto sil — říká se mu *vztlaková síla* nebo stručně *vztlak* — působí svisle vzhůru. Působišťem vztlakové síly je těžiště vytlačené tekutiny, které se nazývá *vztlakový střed*. Archimedův zákon stanoví, že vztlaková síla působící na těleso je stejně velká jako tíhová síla tekutiny tělesem vytlačené. Když těleso plove na volné hladině, je jeho tíhová síla co do velikosti rovna vztlakové síle, která na něj působí.

### ***Proudění ideální tekutiny***

*Ideální kapalina* je nestlačitelná a není viskózní. Předpokládáme navíc, že její proudění je stacionární a nevírové. *Proudnice* je dráha částice tekutiny. Proudová trubice obaluje svazek proudnic. Z principu zachování hmotnosti plyne, že pro proudění v proudové trubici je *hmotnostní tok*  $Sv\rho$  konstantní. Je-li navíc kapalina nestlačitelná, tedy je-li hustota  $\rho$  konstantní, platí *rovnice kontinuity*:

$$R = Sv = \text{konst.}, \quad (15.13)$$

kde  $R$  je *objemový tok*,  $S$  obsah příčného průřezu trubice v libovolném bodě a  $v$  rychlost tekutiny v tomto bodě. Předpokládáme, že tato rychlost má stejnou hodnotu v každém bodě plochy  $S$ .

### ***Bernoulliova rovnice***

Použijeme-li zákon zachování mechanické energie na proudění ideální kapaliny, získáme *Bernoulliovu rovnici*:

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gy = \text{konst.}, \quad (15.17)$$

která platí podél každé proudnice.



