

## 1.8.4 Atmosférický tlak

### Předpoklady: 1803

Nad námi se nachází minimálně několik kilometrů tlustá vrstva vzduchu, na který působí gravitační síla  $\Rightarrow$  ve vzduchu musí také vznikat „hydrostatický“ tlak:

- **normální atmosférický tlak** 101325 Pa (budeme používat hodnotu 100000 Pa).

Uvedená hodnota je překvapivě vysoká, je možné nějak ukázat, že tento tlak doopravdy působí.

Vývěva: přístroj na odčerpávání vzduchu  $\Rightarrow$  z pod poklopu vývěvy odčerpáme vzduch  $\Rightarrow$  vzduchu pod poklopem přestane působit zevnitř a na poklop bude působit pouze tlak vzduchu  $\Rightarrow$  výsledná síla by měla přitlačovat poklop k podložce vývěvy a bude těžší poklop uzvednout.

Provedení pokusu: není těžší poklop nadzvednout. **Ono to vůbec nejde!**

**Pedagogická poznámka:** Pokud máte ve škole funkční vývěvu je hříchem, když ji do této hodiny nepřinesete. Žáci nemají žádnou zkušenost se silou atmosférického tlaku a skutečnost je vždy překvapuje. Navíc žádný z uvedených pokusů není náročný ani na čas ani na provedení. Vyčerpání vzduchu na úvodní pokus provádím už o přestávce se zakrytým tlakoměrem.

**Př. 1:** Urči atmosférickou tlakovou sílu, kterou působí vzduch na poklop vývěvy s vyčerpáním vzduchem. Průměr poklopu je 28 cm.

$$d = 28 \text{ cm} \Rightarrow r = 14 \text{ cm} = 0,14 \text{ m}, p = 100000 \text{ Pa}$$

$$p = \frac{F}{S} \Rightarrow F = pS = p\pi r^2 = 100000 \cdot \pi \cdot 0,14^2 \text{ N} = 6200 \text{ N}$$

Museli bychom působit silou potřebnou k uzvednutí 620 kg  $\Rightarrow$  už je jasné, proč se to nikomu nepodařilo.

**Př. 2:** Urči tlak, který bychom museli vyrobit pod poklopem vývěvy, aby ho bylo možno nadzvednout silou 200 N.

$$d = 28 \text{ cm} \Rightarrow r = 14 \text{ cm} = 0,14 \text{ m}, F = 200 \text{ N}, p = ?$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi r^2} = \frac{200}{\pi \cdot 0,14^2} \text{ Pa} = 3000 \text{ Pa}$$

Přitlačování poklopu vývěvy k podložce způsobuje rozdíl tlaků  $\Rightarrow$  tlak pod poklopem musí být  $100000 - 3000 \text{ Pa} = 97000 \text{ Pa}$ .

**Pedagogická poznámka:** Studenty výsledek předchozího příkladu opět překvapí, je dobré zastavit napouštění vzduchu na 90 kPa a opět nechat někoho zvedat. Teprve při tlaku vyšším než 95 kPa je pravděpodobné, že někdo poklop odtrhne.

**Př. 3:** Proveď následující trojpokus. Pod poklop vývěvy polož: povadlé jablko, částečně nafouknutý a zavázaný balónek a na talířek nevařené vejce s malou dírkou na uší

špičce. Pusť vývěvu a sleduj změny pod poklopem. Po dosažení nejnižšího tlaku pomalu napušť zpátky vzduch a opět sleduj změny.

#### **Povadlé jablko:**

S klesajícím tlakem se povrch jablka napíná. Po opětovném napuštění vzduchu je jablko ještě svrasklejší než na počátku pokusu.

Jablko zřejmě obsahuje vzduch o normálním tlaku. Při poklesu okolního tlaku se vzduch uvnitř rozpíná a napíná tak slupku jablka. Část vzduchu z jablka zřejmě unikne a proto je jablko po obnovení normálního tlaku ještě svrasklejší.

#### **Částečně nafouknutý balónek:**

S klesajícím tlakem se balónek zvětšuje. Po opětovném napuštění vzduchu se zmenší na původní velikost.

Objem balónku je určen rozdílem tlaku vzduchu uvnitř a vzduchu okolo  $\Rightarrow$  po snížení okolního tlaku vzduchu se tlak vzduchu uvnitř silnější a zvětší objem balónku. Když se okolní tlak vrátí na původní úroveň, objem balónku se vrátí na původní objem také.

#### **Děravé vajíčko:**

S klesajícím tlakem se vnitřek vajíčka vytlačuje na talířek. Po opětovném napuštění se obsah vajíčka vrátí opět do skořápky.

Uvnitř vajíčka (většinou na kulatějším konci) je vzduchová bublina o normálním atmosférickém tlaku. Při poklesu vnějšího tlaku se bublina rozpíná a vytlačuje obsah vajíčka na talířek. Když se okolní tlak začne opět zvyšovat přetlačí rozepnutý vzduch v bublině a vtlačí obsah vajíčka zpět.

**Př. 4:** Vysvětli, proč necítíme působení atmosférického tlaku přes jeho značnou hodnotu.

Naše tělo je stejně jako obsah jablka (nebo vajíčka) přizpůsobeno vnějšímu tlaku a samo je natlačováno na stejnou hodnotu.

**Př. 5:** Co musí zajistit skafandr kosmonauta, který vystupuje do volného prostoru? K čemu by došlo, kdyby se člověk ocitl bez takového skafandru ve vzduchoprázdnu?

Skafandr musí zajistit: přísun kyslíku, tepelnou izolaci a udržení vnějšího tlaku na dostatečné úrovni.

Ve vzduchoprázdnu by se člověk zřejmě choval jako jablko, tlak uvnitř jeho těla by se snažil jeho tělo roztrhat.

**Př. 6:** Urči výšku zemské atmosféry za předpokladu, že pro i atmosférický tlak platí vzorec  $p = h\rho g$ . Hustota vzduchu  $\rho = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

$$p = h\rho g \Rightarrow h = \frac{p}{\rho g} = \frac{100000}{1,3 \cdot 10} \text{ m} = 7700 \text{ m}$$

Evidentní nesmysl, Mount Everest má výšku 8848 m a přesto na jeho vrcholu není vzduchoprázdno.

Vzduch je na rozdíl od vody stlačitelný  $\Rightarrow$  spodní vrstvy mají větší hustotu a proto nelze použít vzorec  $p = h\rho g$  (předpokládá stálou hustotu).

Tlak vzduchu je možné určit ze vzorce:  $p = p_0 e^{-\frac{\rho_0 h g}{p_0}}$ , kde  $p_0$  tlak ve výšce  $h = 0$ ,  $\rho_0$  hustota vzduchu ve výšce  $h = 0$ ,  $h$  je výška.

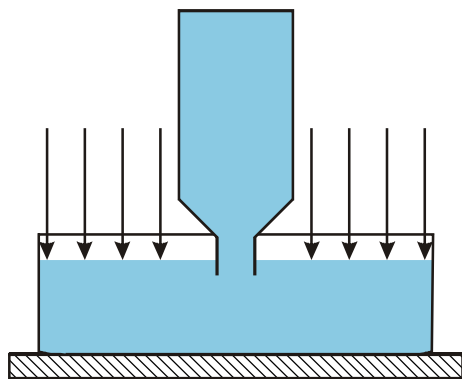
Pro nadmořské výšky běžné v České republice můžeme přibližně předpokládat, že tlak vzduchu se při výstupu o 100 m sníží přibližně o 1,3 kPa (vyžíváno v některých výškoměrech).

**Př. 7:** Pokus se vysvětlit, přibližné pravidlo „při výstupu o 100 m se atmosférický tlak sníží přibližně o 1,3 kPa“.

Přibližné pravidlo  $\Rightarrow$  zkusíme předpokládat, že hustota vzduchu se na malé hloubce 100 m nemění  $\Rightarrow$  můžeme použít vzorec  $p = h\rho g = 100 \cdot 1,3 \cdot 10 \text{ Pa} = 1300 \text{ Pa} = 1,3 \text{ kPa}$ .

Při výstupu o 100 m se sloupec vzduchu nad námi sníží o 100 m. 100 m vysoký sloupec vzduchu působí hydrostatickým tlakem přibližně 1,3 kPa a o tuto hodnotu se sníží atmosférický tlak, který na nás působí.

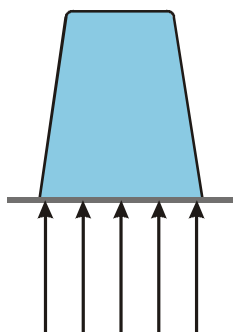
**Př. 8:** Naber plnou PET láhev vody, ucpi ji hrdlo, rychle převrať a ponoř hrdlem do vody. Láhev trochu splaskne, ale voda z ní nevyteče. Která síla drží vodu v lahvi? Jak se o tom můžeme přesvědčit?



Na všechny předměty, láhev i vodní hladinu působí atmosférický tlak. Láhev je částečně pevná  $\Rightarrow$  nepřenese veškerý atmosférický tlak na vodu uvnitř  $\Rightarrow$  ani hydrostatický tlak vody v láhvi tento rozdíl nevyrovná  $\Rightarrow$  působení atmosférického tlaku na vodní hladinu nedovolí vodě z láhve vytéci. Uděláme ve dnu láhve otvor  $\Rightarrow$  atmosférický tlak začne působit seshora i na vodu v láhvi  $\Rightarrow$  voda z láhve rychle vyteče.

Stejný pokus můžeme provést se zkumavkou nebo odměrným válcem.

**Př. 9:** Nalij plnou sklenici vody a hladinu „přikryj“ nezmuchlaným papírem. Papír přidrž a sklenici rychle obrať vzhůru nohama. Proč voda nevyteče? Jaká síla drží vodu ve sklenici? Jakou roli hraje v pokusu papír?



Na všechny předměty, sklenici i papír působí atmosférický tlak. Sklenice je pevná  $\Rightarrow$  atmosférický tlak nepůsobí vodu uvnitř ze stran ani seshora  $\Rightarrow$  působení atmosférického tlaku na papír (směrem nahoru) nedovolí vodě ze sklenice vytéci.

Papír vyrovnává nerovnosti vodní hladiny. Jakákoliv nerovnost by se ihned začala zvětšovat a voda by ze sklenice vytekla.

Jak vysoká by mohla být sklenice, aby z ní voda nevytekla? Určitě ne libovolně, čím vyšší bude sklenice, tím vyšší je hydrostatický tlak vody, který působí dolů a se snaží papír odtrhnout  $\Rightarrow$  sloupec vody musí způsobovat menší tlak než je tlak atmosférický.

**Př. 10:** Urči maximální možnou výšku vodního sloupce v převrácené skleničce (při praktické realizaci v trubici s uzavřeným horním koncem). Jaká by byla výška sloupce rtuti ( $\rho_{Hg} = 13600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )?

$$p = 100000 \text{ Pa}, \rho_v = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, \rho_{Hg} = 13600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, h_v = ?, h_{Hg} = ?$$

$$p = h\rho g \Rightarrow h = \frac{p}{\rho g}$$

$$\text{Voda: } h = \frac{p}{\rho g} = \frac{100000}{1000 \cdot 10} \text{ m} = 10 \text{ m}.$$

$$\text{Rtuť: } h = \frac{p}{\rho g} = \frac{100000}{13600 \cdot 10} \text{ m} = 0,74 \text{ m}$$

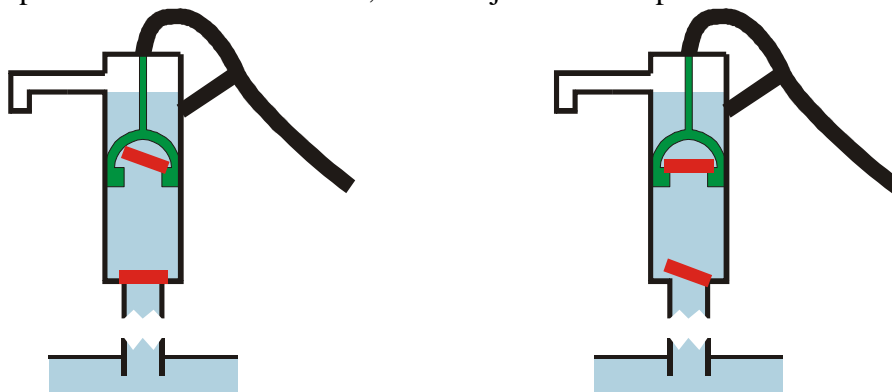
Atmosférický tlak udrží v nahoře uzavřené trubici 10 m vysoký sloupec vody nebo 0,74 m vysoký sloupec rtuti.

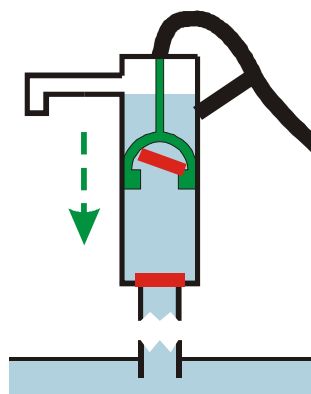
Popsaný pokus, kdy trubici naplněnou rtutí ucpeme, převrátíme a ponoříme do nádobky se rtutí, provedl poprvé v roce 1643 italský fyzik Torricelli (proto označení Torricelliho pokus). Rtuť se ustálí ve výšce přibližně 0,75 m.

**Pedagogická poznámka:** Pokusy se rtutí jsou v dnešních školách zakázány. Přesto je možné Torricelliho pokus provést a to s hadicí naplněnou vodou. Je pouze třeba najít dostatečně vysokou budovu.

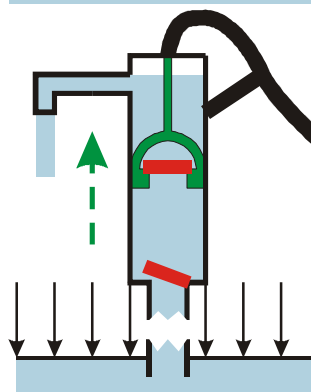
**Dodatek:** Hodnota normálního tlaku odpovídá tlaku 760 mm rtuťového sloupce. Tlak jednoho milimetru rtuťového sloupce pak definuje jednotku tlaku torr.

**Př. 11:** Na obrázcích je nakreslena pumpa. Zeleně je nakreslen píst, který se v průběhu pumpování vody pohybuje střídavě nahoru a dolů, červeně záklopký, které se střídavě otvírají. Trubka vedoucí do studny je na obrázku přerušena (ve skutečnosti je daleko delší). Jakým způsobem pumpa pracuje? Nakresli k obrázkům směr pohybu pístu a směr pohybu rukojeti. Kdy z pumpy vytéká voda? Je nějakým způsobem omezena hloubka, ze které je možné čerpat vodu?





Píst se pohybuje směrem dolů, vrchní záklopka je otevřená, voda se dostává nad píst, ale nevytéká z pumpy.  
Spodní záklopka je zavřená (tlakem vody, která se chce vrátit zpátky do studně).  
Rukojeť zvedáme nahoru.



Píst se pohybuje směrem nahoru, vrchní záklopka je zavřená, píst zvedá vodu nad sebou a tato voda vytéká z pumpy.  
Spodní záklopka je otevřená, pohyb pístu nahoru snížil tlak pod pístem a atmosférický tlak tlačí vodu ze studny do pístu.  
Rukojeť tlačíme dolů.

Pohyb vody ze studny do pístu zajišťuje atmosférický tlak  $\Rightarrow$  vzdálenost mezi hladinou vody ve studni a dolní záklopkou pístu nemůže být větší než 10 m.

**Shrnutí:** Na předměty na povrchu země působí atmosférický tlak o velikosti 100 000 Pa. Tomuto tlaku je náš organismus přizpůsoben, proto jej nepociťujeme.