

Úloha V.2 ... vodotah

3 body; (chybí statistiky)

Hadici naplníme vodou – jeden konec necháme v rezervoáru vody, druhý hermeticky uzavřeme – a začneme vytahovat svisle nahoru. Jaký bude rozdíl výšek, do kterých se nám takto podaří vytáhnout vodu, pokud použijeme vodu o teplotě 20 °C a 90 °C?

Nápověda: Zamyslete se, jak dobré vakuum se v uzavřeném konci vytvoří.

Jarda přemýšlel nad experimentálkou.

Voda bude v hadici zůstat, protože na hladinu rezervoáru působí atmosférický tlak p_a , který působí proti tíze vody. Situaci můžeme dobře porovnat na hladině rezervoáru, kde musí být rovnost tlaků $p_a = H\rho g$, kde H je maximální výška vodního sloupce, který může být nad hladinu vytáhnout, ρ hustota vody a g tíhové zrychlení. Mohlo by se zdát, že v této rovnici není nic, co by se měnilo s teplotou, a maximální výška je tak vždy stejná.

Co když ale posuneme uzavřený konec hadice nad výšku H ? Voda nevystoupá výše, takže se nad její hladinou vytvoří vakuum. To ale nebude dokonalé, protože se z hladiny vody v hadici budou vypařovat molekuly vody a vytvoří tak sytou vodní páru v tomto prostoru. Ta ale bude mít tlak p_{vap} , který musíme přičíst k hydrostatickému tlaku na hladině rezervoáru! Navíc, tlak sytých vodních par je funkcí teploty, takže výška opravdu začne záviset na teplotě. Dostáváme tedy

$$p_a = h\rho g + p_{\text{vap}} \Rightarrow h = \frac{p_a - p_{\text{vap}}}{\rho g}.$$

V rovnici je ale stále ještě jedna veličina, jejíž hodnota závisí na teplotě, a to hustota vody. Potřebné hodnoty dohledáme na internetu. Při $T = 20\text{ °C}$ je hustota vody $\rho_{20\text{ °C}} \doteq 998\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, při 90 °C pak $\rho_{90\text{ °C}} \doteq 965\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ¹. Podobně musíme v tabulkách vyčíst tlak vodních par, a to $p_{\text{vap},90\text{ °C}} \doteq 70\text{ kPa}$ při vyšší teplotě a $p_{\text{vap},20\text{ °C}} \doteq 2,3\text{ kPa}$ ². Vidíme, že při pokojové teplotě bychom mohli tento tlak oproti atmosférickému zanedbat, což ale rozhodně není možné pro vyšší teploty.

Po číselném dosazení

$$h_{20\text{ °C}} = \frac{p_a - p_{\text{vap},20\text{ °C}}}{\rho_{20\text{ °C}} g} \doteq 10,1\text{ m},$$

$$h_{90\text{ °C}} = \frac{p_a - p_{\text{vap},90\text{ °C}}}{\rho_{90\text{ °C}} g} \doteq 3,3\text{ m},$$

$$\Delta h = h_{20\text{ °C}} - h_{90\text{ °C}} = 6,8\text{ m}.$$

Při 20 °C dokážeme tímto způsobem vytáhnout vodu o 6,8 m výše než když má 90 °C, tedy přibližně do trojnásobné výšky.

Jaroslav Herman
jardah@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.

Pro zobrazení kopie této licence navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.

¹https://www.engineeringtoolbox.com/water-density-specific-weight-d_595.html

²<https://www.omnicalculator.com/chemistry/vapour-pressure-of-water>