

Atmosférický tlak na několik způsobů

VOJTĚCH ŽÁK

Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy

V příspěvku je popsáno několik aktivit, které se týkají měření atmosférického tlaku a uvažování o něm: např. měření tlaku v různých částech místnosti a v terénu, výpočet hustoty vzduchu a práce s webem ČHMÚ. V těchto aktivitách se propojuje provádění odhadů, měření a jednoduché výpočty. Některé z aktivit je možné pojmout jako badatelsky orientovanou výuku (IBSE). Jsou vhodné pro žáky jak 2. stupně základních škol, tak škol středních a propojují fyziku s geografii.

Úvod

Atmosférický tlak (tlak vzduchu) patří k tradičním tématům fyziky na českých základních a středních školách. Je zpracován ve starších ([1], s. 113–116, [2], s. 84–90) i novějších učebnicích fyziky ([3], s. 81–88, [4], s. 201–204). Několik příspěvků věnujících se atmosférickému tlaku najdeme také v *Souhrnném sborníku Veletrhu nápadů učitelů fyziky* [5] (i v anglicky psané době [6]), např. [7] a [8].¹ Důvodů, proč se ve výuce fyziky zabývat atmosférickým tlakem, můžeme najít několik. Zmíníme je v následujícím textu.

Náměty na aktivity s atmosférickým tlakem

Atmosférický tlak je fyzikální veličina, která je z hlediska výuky fyziky zajímavá tím, že se obecně mění v čase a v prostoru. Její měření současnými přístroji je technicky nenáročná a rychlá, takže zbývá dostatek času k další práci s naměřenými hodnotami. Tlak vzduchu souvisí také s dalšími fyzikálními veličinami, např. vzdáleností (výškou) a hustotou vzduchu, a proto je možné na základě jeho měření provádět další úvahy a výpočty. Navíc měření atmosférického tlaku je zajímavé provádět i v terénu, takže se hodí také do mimoškolní výuky a volnočasových aktivit.

Níže uvedené aktivity jsou vhodné zejména pro výuku na SŠ (většina z nich i pro 2. stupeň ZŠ) a je možné je pojmout jako badatelsky orientovanou výuku fyziky (IBSE, podrobněji [9]).

Měření atmosférického tlaku v učebně

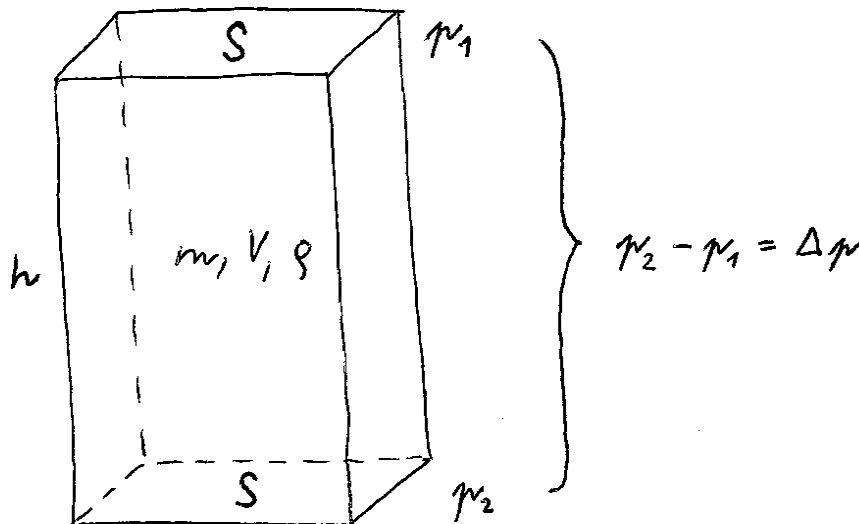
Výzkumná otázka: *Je u podlahy učebny jiný atmosférický tlak než „nad hlavou“? Žákům můžeme dát nejprve úkol, aby si udělali teoretickou předpověď, jak dopadne měření. Časté je, že žáci sice vědí, že vysoko v horách je nižší tlak, ale domnívají se, že je třeba k měřitelné změně velké převýšení. Některým přijde logické, že všude v relativně malé místnosti (např. učebně) se případné rozdíly v tlaku rychle vyrovnají.*

¹ Pod klíčovým slovem „atmosférický tlak“ najdeme celkem 12 příspěvků (resp. čtyři příspěvky uvedené pod „atmospheric pressure“).

K měření mohou žáci použít např. barometr Greisinger GPB 3300, který jako nejmenší změnu tlaku zobrazuje 0,1 hPa [10].¹ Tlak ve výšce zhruba 2 m nad podlahou bývá typicky o 0,2 hPa, tj. 20 Pa nižší než u podlahy.² Měření je vhodné opakovat v různých místech místnosti. *U podlahy učebny je tedy větší atmosférický tlak než ve výšce.* Tento závěr je logický, protože za zvýšení atmosférického tlaku v níže položeném místě může tíha vrstvy vzduchu, která je mezi těmito místy. Toho lze využít při řešení následující otázky.

Výpočet hustoty vzduchu na základě měření tlaku

Řešení výzkumné otázky – *Jaká je hustota vzduchu v učebně?* – je možné začít rozhovorem se žáky na téma, jak souvisí tlak vzduchu s dalšími jeho vlastnostmi. K úvahám je možné použít např. obrázek níže, kde je vyznačen myšlený kvádr s obsahem podstavy S a výškou h , který je „vyříznutý“ ze vzduchu. Vzduch, který ho vyplňuje, má hmotnost m , objem V , průměrnou hustotu ρ a rozdíl tlaku v dolní a horní podstavě je Δp . Vyšší tlak v dolní podstavě kvádrů oproti tlaku v horní podstavě je způsoben vzduchem, který je v kvádru (mezi podstavami).



Obr. 1. Myšlený vzduchový kvádr vhodný k úvaze o hustotě vzduchu

Pro rozdíl tlaku tedy platí, že

$$\Delta p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{V\rho g}{S} = \frac{Sh\rho g}{S} = h\rho g.$$

Odtud pro průměrnou hustotu vzduchu (s využitím výsledků z předchozí aktivity) plyne, že

¹ Lze použít i jiné barometry, např. barometr firmy Vernier [11] nebo barometry integrované v digitálních hodinkách. Je vhodné, aby barometr zobrazoval desítky Pa, tj. desetiny hPa.

² Pokles tlaku o 10 Pa na 1 m výšky je třeba brát pouze jako přibližnou hodnotu. Hustota vzduchu s výškou obecně klesá. Z hodnot hustoty vzduchu uvedených v [12], s. 157, vyplývá, že v nadmořských výškách kolem 200 m připadá na pokles tlaku o 10 Pa přibližně 86 cm, zatímco ve výšce 1 000 m n. m. přibližně 93 cm. Podrobněji k souvislosti změn tlaku a hustoty vzduchu dále.

$$\rho = \frac{\Delta p}{hg} \approx \frac{20 \text{ Pa}}{2 \text{ m} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Průměrná hustota vzduchu (za obvyklých podmínek) je tedy řádově 1 000krát menší než hustota vody, což je běžně známý fakt. Při odvozování se ukazuje, že součin $h\rho g$ se rovná rozdílu atmosférického tlaku ve dvou relativně blízkých místech vzdálených vertikálně o h , ne přímo atmosférickému tlaku.

Měření atmosférického tlaku v terénu

Obě předchozí aktivity je samozřejmě možné provádět i mimo školu. Na základě souvislosti mezi změnou nadmořské výšky a změnou atmosférického tlaku je možné v terénu, např. na výletě určovat přibližné převýšení, které výletníci zdolají. Při celkem běžném převýšení 100 m dojde ke změně atmosférického tlaku o 10 hPa, tj. asi o 1 % normálního atmosférického tlaku. Je možné využít terén, který žáci znají, a převýšení dopočítané na základě měření atmosférického tlaku mohou žáci ověřit např. pomocí mapy s vrstevnicemi.

Jako konkrétní příklad uveďme, že při jízdě pražským metrem na trase B mezi stanicemi Florenc a Zličín byl naměřen pokles tlaku o 26 hPa(!), což poměrně dobře odpovídá rozdílu v nadmořské výšce obou stanic, který je podle [13] přibližně 230 m.¹ Jako zajímavost dodejme, že převýšení na této lince pražského metra je větší než výška žižkovské věže [14]. Jako další příklad uveďme změny tlaku při jízdě „běžným vlakem“ (nikoli horskou železnicí): Během dopolední jízdy 27. června 2016 z Českých Budějovic do Prahy byl ve výchozí stanici naměřen tlak 975,9 hPa, při průjezdu stanicí Střežiměř 953,5 hPa a při příjezdu do Prahy, hl. n. 996,5 hPa. Atmosférický tlak se tedy vlivem zejména rozdílné nadmořské výšky měnil v intervalu více než 40 hPa (vlak skutečně překonává na této trati převýšení přibližně 400 m).

Z předchozího vyplývá, že při přemísťování po české krajině může snadno dojít ke změnám atmosférického tlaku o desítky hPa. Změny tlaku mohou samozřejmě nastat i v případě, že měření provádíme stále na stejném místě.

Měření atmosférického tlaku v čase

Je obecně známé, že součástí změn počasí jsou také změny atmosférického tlaku v čase (v daném místě). Jako příklad uveďme měření na jednom konkrétním místě: V obci Dubné u Českých Budějovic byl 25. června 2016 po půlnoci naměřen tlak 967,6 hPa, který během dne klesl až na 962,9 hPa a před půlnocí opět stoupl na 967,2 hPa. Je zřejmé, že během dne v daném místě (konkrétní nadmořská výška) může tlak kolísat o jednotky hPa. Lze si představit, že tomu odpovídá stoupání nebo klesání o desítky výškových metrů.

¹ Pokud bychom využili tabulkové hodnoty (viz pozn. 3) a předpokládali pokles tlaku o 10 Pa na 0,9 m, pak bychom z naměřeného poklesu tlaku o 26 hPa dostali výškový rozdíl 234 m, který velmi dobře odpovídá údajům ve [13].

Práce s webem ČHMÚ

Využitelné informace o atmosférickém tlaku je možné najít na webu Českého hydro-meteorologického ústavu (ČHMÚ). Na stránce [15] (dále pokračovat: aktuální situace → aktuální stav počasí → stanice → profesionální stanice → aktuální počasí – mapa) je možné najít aktuální hodnoty atmosférického tlaku. Otázkou pro žáky může být, *proč je hodnota tlaku na zobrazené mapě jiná než hodnota změřená v daném místě barometrem?* (K porovnání přirozeně využijeme nejbližší stanici, jejíž údaj je na mapě zobrazen.) Žáky můžeme při rozhovoru navést k tomu, aby si všimli, že zobrazená hodnota je vyšší, než je aktuální naměřený tlak. Mohla by tedy odpovídat nižší nadmořské výšce. Otázkou je, které význačné nadmořské výšce by tyto hodnoty mohly odpovídat. Jedna z rozumných možností je přímo hladina oceánu. Na jedné z map na tomto webu je dokonce uvedeno, že se jedná o tlak vzduchu přepočtený na 0 m nad mořem. Tuto informaci je možné zhruba ověřit na základě znalosti, jak klesá atmosférický tlak s výškou.

Souvislost atmosférického tlaku s výškou kapalin v trubici tvaru U

Předcházející úvahy umožňují podrobnější pohled na velmi známý fyzikální problém: *Jak vysoko nad společným rozhraním se ustálí hladiny dvou kapalin o různé hustotě v trubici tvaru U, pokud se nepromíchají?* Pokud označíme hustotu jedné kapaliny ρ_1 , výšku její hladiny nad společným rozhraním h_1 a obdobné veličiny pro druhou kapalinu opatříme indexem 2, dostáváme pro rovnost hydrostatických tlaků ve společném rozhraní $h_1\rho_1g = h_2\rho_2g$, kde g je velikost tíhového zrychlení. Odtud obdržíme pro poměr výšek jednoduchý vztah

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2}.$$

Tento vztah byl ale odvozen mimo jiné za předpokladu, že atmosférický tlak těsně nad hladinami obou kapalin je stejný. Pokud ale budeme důslední, musíme na základě předchozích výsledků (měřitelné změny atmosférického tlaku při změně výšky) připustit, že tlak vzduchu stejný není, protože hladiny jsou obecně v jiných výškách. Vyjdeme-li z přibližného empirického poznatku, že na 1 m do výšky připadá pokles atmosférického tlaku o 10 Pa, a předpokládáme-li, že $h_1' > h_2'$, dostáváme pro rovnost tlaků novou rovnici¹

$$h_1'\rho_1g = h_2'\rho_2g + \frac{(h_1' - h_2') \cdot 10 \text{ Pa}}{1 \text{ m}}.$$

Odtud dostáváme

$$\frac{h_2'}{h_1'} = \frac{\rho_1g - 10 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}}{\rho_2g - 10 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}}.$$

Lze jednoduše dosazením spočítat, že v případě rtuti a vody, kdyby byla výška rtuťového sloupce nad společným rozhraním $h_2' = 100 \text{ mm}$, by při započítání tohoto jevu

¹ Čárkovaně značíme výšky hladin po započítání úbytku atmosférického tlaku s výškou.

byl sloupec vody vyšší přibližně o 1 až 2 mm. V úvahách o výšce hladiny kapalin v trubici lze jít dále a je možné se zabývat např. vlivem kapilárních jevů.

Závěr

V tomto článku byly představeny aktivity do výuky fyziky, které se týkají atmosférického tlaku. Díky technické a časové nenáročnosti jeho měření současnými přístroji zbývá dostatek času k další práci s naměřenými hodnotami. Výhodou z hlediska výuky fyziky je fakt, že tlak vzduchu souvisí také s dalšími fyzikálními veličinami, takže je možné na základě měření tlaku vzduchu provádět další úvahy a výpočty. Navíc měření atmosférického tlaku je zajímavé provádět i v terénu, takže se hodí také do mimoškolní výuky a volnočasových aktivit (a to jak na úrovni ZŠ, tak SŠ).

Literatura

- [1] Smetana, F. J. *Počátkové silozpytu čili fysiky pro nižší gymnasia a reálky*. Kněhkupectví J. G. Calve Praha, 1852.
- [2] Vachek, J., Špaček, M. *Fyzika pro sedmý ročník základní devítileté školy*. Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1976.
- [3] Rauner, K. a kol. *Fyzika 7 – učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. Fraus Plzeň, 2005.
- [4] Svoboda, E. a kol. *Fyzika pro gymnázia: Mechanika*. Prometheus Praha, 2013.
- [5] <http://vnuf.cz/sbornik/>
- [6] <http://vnuf.cz/proceedings/>
- [7] Kazachkov, A., Salinas, A. *Atmospheric pressure in low-cost demonstrations and measurements*. Physics Teachers' Inventions Fair proceedings. <http://vnuf.cz/proceedings/papers/17-20-Kazachkov.html>
- [8] Žák, V. *Physics on Travels and in the Field*. Physics Teachers' Inventions Fair proceedings. <http://vnuf.cz/proceedings/papers/14-27-Zak.html>
- [9] Žák, V. *Zkoumání kancelářského papíru*. In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 20. Ed.: Koudelková V. Nakladatelství P3K Praha, 2015. s. 302–306.
- [10] <http://www.conrad.cz/barometr-greisinger-gpb-3300-115440.k100884?gclid=CMSj8pmTjM0CFXMz0wod2UoNuA>
- [11] <http://www.vernier.cz/produkty/podrobne-informace/kod/bar-bta>
- [12] Mikulčák, J. a kol. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. SPN Praha, 1988.
- [13] <https://www.metroweb.cz/metro/TECH/tech-trate.htm>
- [14] <http://towerpark.cz/zizkovska-vez+1>
- [15] <http://portal.chmi.cz/>