



Európsky **sociálny** fond

Názov projektu: CIV – Centrum Internetového vzdelávania FMFI

Číslo projektu: SOP LZ 2005/1-046

ITMS: 11230100112

Ako funguje tlak vzduchu (závislosť tlaku od výšky)?

Matúš Lazúr

FMFI UK

V nasledovných riadkoch sa pokúsime vysvetliť priebeh zmeny tlaku so vzrastajúcou nadmorskou výškou. Ukážeme si, ako jednoducho aj bez použitia zložitejších matematických metód môžeme vypočítať pomerne presne priebeh tlaku s narastajúcou nadmorskou výškou.

Začneme prvým priblížením, a totižto použijeme ten najjednoduchší vzťah aký pre tlak poznáme, a to vzťah pre tlak hydrostatický. Ten predpokladá, že kvapaliny majú konštantnú hustotu ktorá sa s tlakom nemení. Pre vzduch tento predpoklad neplatí a preto o chvíľu použijeme presnejšie predpoklady a prestaneme vzduch považovať za kvapalinu. Klasický vzťah pre kvapalinu vyzerá takto:

$$P = \rho h g$$

Pre počiatočnú hodnotu hustoty vzduchu $1,29 \text{ kg.m}^{-3}$ by potom normálna hodnota atmosférického tlaku pri hladine mora bola spôsobená stĺpcom vzduchu s výškou rovnou

$$h = \frac{P}{\rho g} = \frac{100000}{1,29 \times 9,81} \approx 7900$$

Vidíme, že ak by sme predpokladali rovnakú závislosť ako pri hydrostatickom tlaku pod povrchom kvapaliny, vzduchová vrstva nad povrchom zeme by končila vo výške asi 8 kilometrov nad povrchom. Samozrejme, že to tak nie je. Kôli stlačiteľnosti vzduchu sa má rovnaké množstvo vzduchu pri nižšom tlaku vo väčšej výške väčší objem a tým samozrejme nižšiu hustotu. Tá sa s rastúcou výškou spolu s klesajúcim tlakom znižuje.

Musíme teda nejako zapojiť do našich úvah aj závislosť hustoty vzduchu od tlaku. Budeme predpokladať nasledovné:

1. Vo výške 0 metrov má hustota vzduchu hodnotu asi $1,29 \text{ kg.m}^{-3}$ pri tlaku P_0 asi $100\,000 \text{ Pa}$.

2. Tlak P_1 vo výške h_1 je nižší o tlak vzduchového stĺpca ktorý je pod ním. Hustotu a tlak vzduchu v oblasti od h_0 po h_1 budeme považovať za rovnakú ako v h_0 .
3. Teplota vzduchu sa so vzrastajúcou výškou nebude meniť.

Potom pre tlak vzduchu vo výške h_1 bude platiť $P_1 = P_0 - (\rho_0 \Delta h g)$, kde g je hodnota gravitačnej konštanty. Pre hustotu v nasledujúcom intervale výšky h_1 až h_2 bude platiť

$$\rho_1 = \rho_0 \frac{P_1}{P_0} \text{ t:}$$

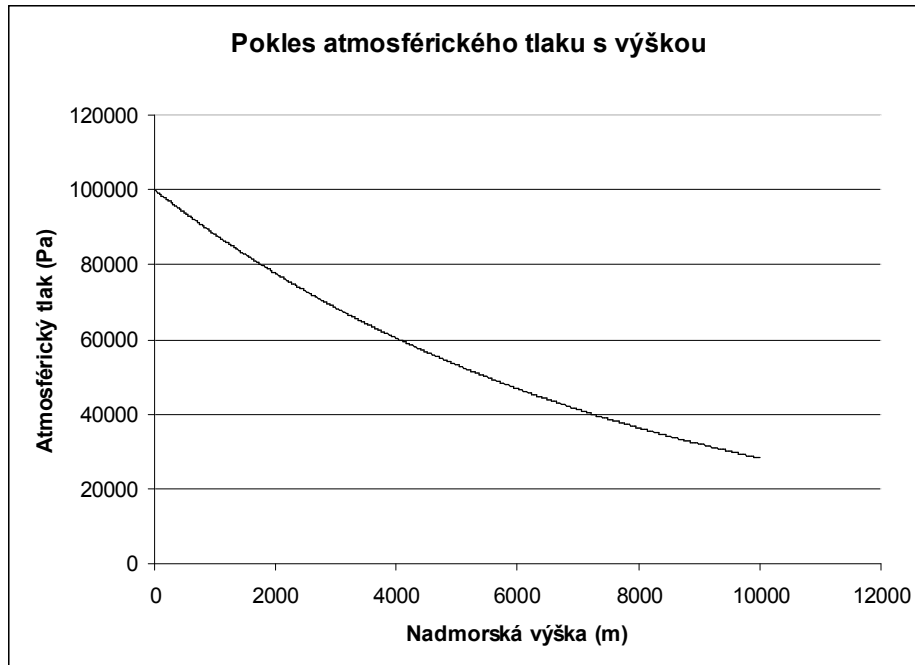
(použijeme stavovú rovnicu pre výpočet tlaku a vzťah pre hustotu) a dostávame hustotu pri tlaku P_1 ktorý budeme považovať za konštantný v celom intervale (stĺpci vzduchu s výškou 10 metrov).

Teraz postačí rozdeliť vzduchový stĺpec vertikálne na rovnaké úseky a postupne prepočítať hodnoty tlaku a hustoty vzduchu až do požadovanej hodnoty výšky h_n . Manuálne prepočítavať hodnoty tlaku a hustoty by bolo veľmi prácne lebo výpočet sa tým viac približuje skutočnému priebehu, čím je menší zvolený interval výšky Δh . S výhodou tu môžeme použiť funkcie tabuľkového kalkulátora. Tam nám postačí vyplniť začiatkové hodnoty výšky, hustoty a tlaku. Požadované vzťahy zadáme do vzorcov pre výpočet P_1 a ρ_1 . Potom jednoduchým automatickým kopírovaním vzťahov (vzorce sú zadávané relatívne polohou bunky v tabuľke ktorá obsahuje hodnotu použitú vo výpočte), dostávame hodnoty tlaku v jednotlivých výškach h_n . Zadané hodnoty si ľahko zobrazíme graficky. Môžeme sledovať ako sa nanmi vypočítaná hodnota približuje ku skutočnej, keď meníme hodnotu intervalu Δh .

My sme použili interval 10 metrov, pri tlaku 100 000 Pa a hustote vzduchu $1,29 \text{ kg.m}^{-3}$ v nulovej výške. V nasledujúcej tabuľke sú hodnoty prvých riadkov nášho výpočtu.

vyska v m	hustota	tlak vzduchu v Pa
0	1.29	100000
10	1.288367518	99873.451
20	1.286737102	99747.06215
30	1.285108749	99620.83324
40	1.283482456	99494.76407
50	1.281858222	99368.85444
60	1.280236044	99243.10415
70	1.278615918	99117.51299
80	1.276997842	98992.08077
90	1.275381814	98866.80728
100	1.273767831	98741.69233

Vypočítali sme hodnoty tlaku vzduchu až do výšky 10000 metrov ktoré sú v nasledujúcom grafe.



Nasledujúca tabuľka ukazuje nami získané hodnoty tlaku v nadmorských výškach od jedného do desiatich kilometrov. Skúste si ju porovnať s hodnotami v tabuľkách alebo na internete a sami môžete posúdiť presnosť použitej metódy.

1000	1.136567866	88106.03613
2000	1.001384895	77626.73603
3000	0.882280537	68393.84009
4000	0.777342409	60259.10146
5000	0.684885584	53091.9057
6000	0.60342554	46777.17362
7000	0.531654324	41213.51349
8000	0.468419551	36311.59309
9000	0.412705899	31992.70532
10000	0.363618808	28187.50451

Postup, ktorý sme použili predpokladá konštantnú teplotu vzduchu v rôznych nadmorských výškach, čo samozrejme nie je pravda. Teplota so vzrastajúcou nadmorskou výškou postupne klesá, čo má taktiež vplyv na výsledný tlak vzduchu v danej výške. To, prečo sme tento vplyv mohli pomerne bezbolestne zanedbať, nechávame ako úlohu pre vás. Rovnako ako prenechávame podrobnejšie vysvetlenie presného zákona popisujúceho pokles atmosférického tlaku s výškou v prípade záujmu na vašich učiteľoch fyziky.

