

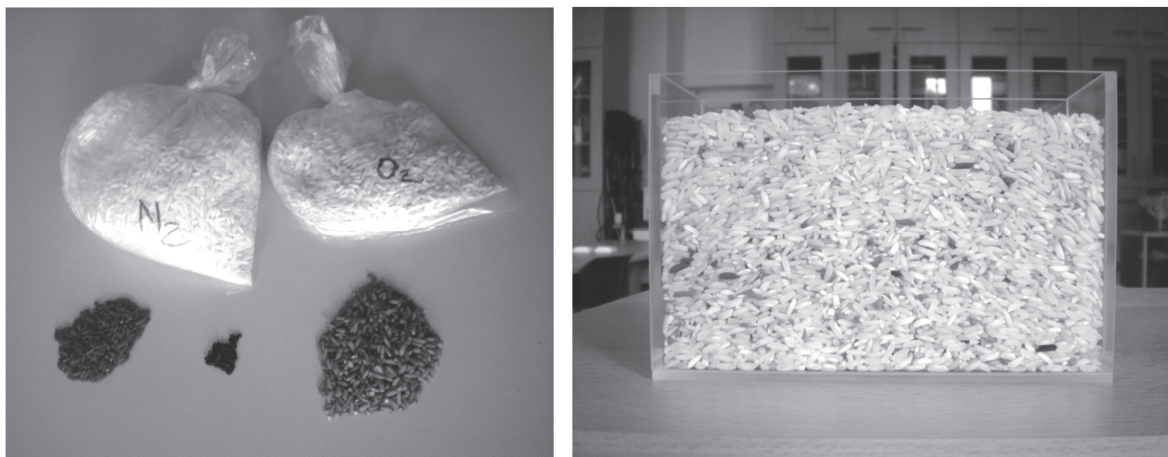
## Modely atmosférických jevů

TOMÁŠ MILÉŘ  
KF PdF MU

Příspěvek představuje 7 vybraných modelů, které zjednodušeně znázorňují konkrétní jevy v zemské atmosféře nebo vlastnosti atmosféry samé: 1. složení atmosféry, 2. vertikální rozložení hmoty atmosféry, 3. lom slunečních paprsků v atmosféře, 4. polarizace oblohy, 5. tornádo, 6. atmosférické fronty a 7. statistický vztah extrémů počasí a globální změny klimatu.

### Model 1. - Složení atmosféry

Zastoupení hlavních složek atmosféry můžeme ztvárnit pomocí obarvené rýže [1]. Pro model na obr. 1 bylo použito 0,5 kg rýže a potravinářské barvivo. Nejpočetnější dusík (asi 78 %) znázorňuje neobarvená bílá rýže, pro kyslík (asi 21 %) byla zvolena žlutá barva, argon (asi 1 %) je červený a oxid uhličitý (asi 0,04 %) je černý. Černá barva vznikla smícháním různých barev. Model zahrnuje i přízemní vodní páru (asi 2 %), která se obvykle v tabulce složení atmosféry neuvádí, protože množství páry je velmi proměnlivé. Součet složek suché atmosféry tedy dává přibližně 100 %, s párou je součet 102 %. V našem modelu je pára reprezentována modrou rýží. Naváženou a obarvenou rýží usušíme. Všechny pět hromádek smícháme a vystavíme v transparentní nádobě s co největší plochou.



Obr. 1. Model složení atmosféry.

### Model 2. – Vertikální rozložení atmosférické hmoty

Žijeme na dně vzdušného oceánu. Na rozdíl od vody je vzduch dobře stlačitelný, proto jeho hustota s výškou klesá a tlak vzduchu klesá dle barometrické rovnice (za definovaných podmínek [2]). Troposféra obsahuje asi 80 % atmosférické hmoty, a 99 % vodní páry a aerosolů [3]. Vertikální rozložení atmosférické hmoty můžeme znázornit pomocí magické pružiny (viz obr. 2). Při zemi jsou závitové pružiny zhuštěné podobně jako molekuly vzduchu v atmosféře. Na pružinu i na molekuly působí gravitační síla

Země. Asi nejnápadnější rozpor je v tom, že molekuly vzduchu jsou stlačovány, zatímco pružina je natahována.



Obr. 2. Model vertikálního rozložení atmosférické hmoty.

### Model 3. – Lom paprsků

Index lomu vzduchu je sice blízký hodnotě indexu lomu vakua, ale přece jen je větší než 1. Závisí na teplotě a obsahu vodní páry. Index lomu vzduchu v atmosféře proto s výškou klesá a paprsky světla procházející atmosférou se zakřivují směrem k zemskému povrchu. V podstatě jde o mnohonásobný lom světelných paprsků. V prostředí, jehož index lomu se plynule mění, čára lomeného paprsku přechází v plynulou křivku [4]. Mluvíme pak o „atmosférické refrakci“ [5], „astronomické refrakci“ [6], „zakřivení paprsku“ [6] nebo „ohybu paprsku“ [7] (v jiném smyslu než např. ohyb na štěrbině, kapičkách vody [8] nebo na gravitační čočce [9]).

Tento jev lze modelovat v akváriu, které napustíme čistou vodou a na dno pomocí trychtýře opatrně nalijeme vodu s velkým množstvím rozpuštěného cukru. Při posvícení laserovým ukazovátkem ve vodorovném směru na rozhraní oslazené a čisté vody se paprsek ohne směrem ke dnu. Zelené světlo se lomí více než červené (disperze), proto je pokus se zeleným ukazovátkem efektnější.



Obr. 3. Model lomu slunečních paprsků při průchodu atmosférou.

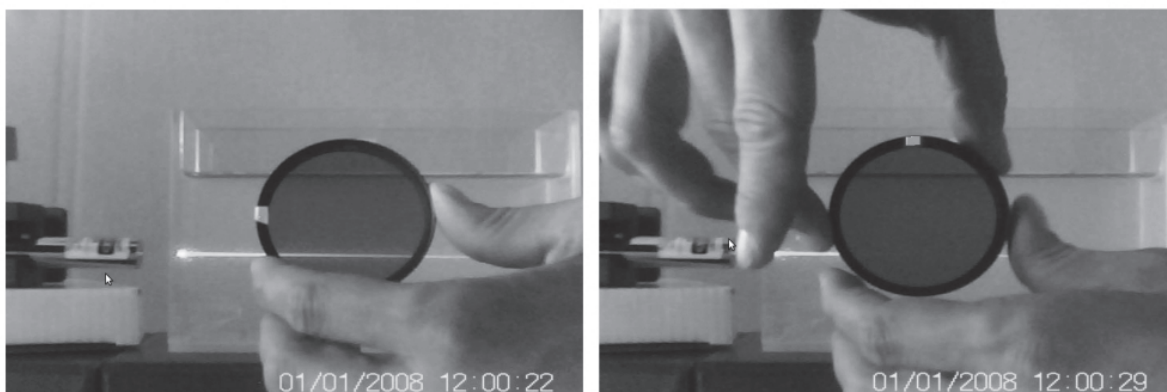
#### Model 4. – Polarizace oblohy

Při pohledu na oblohu ve směru kolmém na sluneční paprsky je světlo zcela polarizované. Fotografové někdy používají polarizační filtry ke ztmavení oblohy, čímž vyniknou mraky rozptylující světlo bez polarizace. Na obrázku 4 je pohled na oblohu přes rybářské polarizační brýle orientované pro polarizované světlo propustně (vlevo) a nepropustně (vpravo, brýle pootočený o  $90^\circ$ ).



Obr. 4. Polarizovaná obloha při pohledu rybářskými polarizačními brýlemi.

Tento jev můžeme modelovat v akváriu s vodou [10]. Pro výraznější rozptyl je vhodné do vody kápnout trochu mléka. Pokus je zachycen na obr. 5. Polarizované světlo laseru pozorujeme v kolmém směru přes polarizační filtr, kterým pomalu otáčíme. Intenzita propuštěného světla závisí podle Malusova zákona [11] na druhé mocnině kosinu úhlu pootočení filtru vůči rovině elektrické složky elektromagnetické vlny polarizovaného světla.



Obr. 5. Model polarizace oblohy s laserovým paprskem a akváriem. Na snímku vlevo je polarizační filtr orientován tak, aby polarizované světlo propouštěl. Na snímku vpravo filtr při pootočení o  $90^\circ$  polarizované světlo laseru pohltí.

### **Model 5. – Tornádo**

Ve dvou PET lahvích se spojenými hrdly (viz obr. 6) můžeme vytvořit vodní vír tvarem připomínající tornádo [11]. Aby voda mohla přetéct z horní do dolní lahve, je potřeba vodu roztočit, čímž vznikne uprostřed víru prostor pro přepuštění vzduchu do horní lahve. Spíše než vodní vír je tornádo podobný vzestupný proud vzduchu, který ovšem při pokusu nevidíme. Skutečné tornádo má ale složitější strukturu. Po obvodu oka se točí několik savých vírů, které tropí na zemi největší škody [12]. Tento zajímavý jev však model tornáda v PET lahvi neukáže.

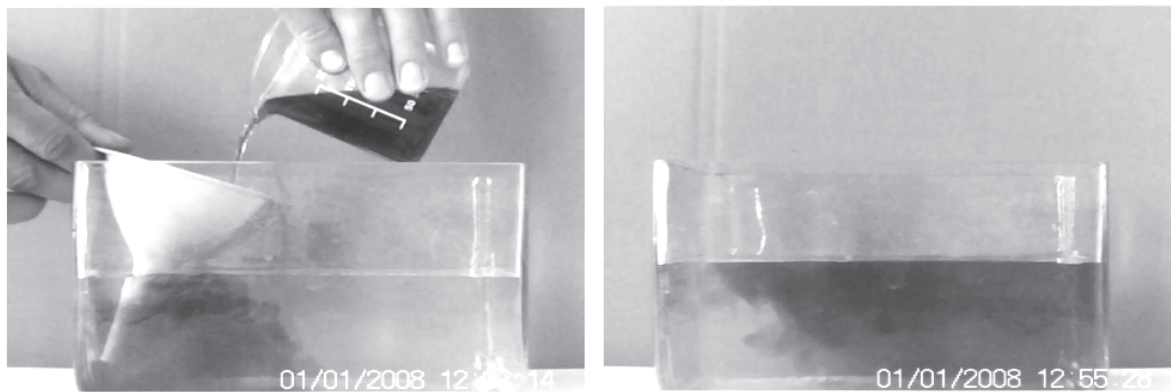


Obr. 6. Model tornáda v PET lahvích.

### **Model 6. – Atmosférické fronty**

Atmosférická fronta je rozhraní mezi studenou a teplou vzduchovou hmotou. Schémata atmosférických front lze nalézt v mnoha knihách a internetových zdrojích (např. [13]). Ve školní výuce je vhodné pro větší názornost předvést žákům model postupu atmosférických front. Připravíme si akvárium s vlažnou vodou, kádinku s chladnější vodou obarvenou modře (potravinářským barvivem) a kádinku s teplejší vodou obarvenou červeně. Optimální rozdíl teplot se ukázal být asi 2 °C až 3 °C. Je-li rozdíl teplot větší, chladná voda se rozlije po dně, resp. teplá voda se rozlije po hladině. Chladnou vodu pomalu nalijeme na dno akvária tak, aby se voda příliš nezvířila. Chladná voda vytvoří klín, který pomalu postupuje z jedné strany akvária na druhou (viz obr. 7 vlevo). U skutečné studené fronty studená masa vzduchu vytlačuje teplejší masu, ale v našem modelu je příčinou postupu modrého klínu difúze v kapalině. Podobně postupujeme při znázornění teplé fronty pomocí teplejší červené vody (viz obr. 7 vpravo). Je potřeba žáky upozornit, že úhel klínu v akváriu neodpovídá skutečnosti. Šířka oblačného pásu bývá u studené fronty 200–300 km, v případě teplé fronty dokonce až 1000 km [13].





Obr. 7. Model studené (vlevo) a teplé (vpravo) atmosférické fronty.

### Model 7. – Statistický vztah extrémů počasí a globální změny klimatu

Užitečnou pomůcku na objasnění vztahu klimatu a počasí vymyslel Dr. James Hansen – hlavní klimatolog NASA a ředitel GISS [14]. Hansen byl v roce 2008 oceněn Americkou meteorologickou společností za to, jak prezentuje veřejnosti vědecké poznatky o klimatu. V roce 1988 svědčil před americkým kongresem o globálním oteplováním, čímž se na tento problém připoutala pozornost laické veřejnosti. Hansen si tehdy uvědomil, že lidé často zaměňují klima a počasí. Jestliže se někdy objeví neobvykle chladný den, lidé dělají ukvapený závěr, že žádné globální oteplování není. Změna globální teploty je relativně malá ve srovnání se změnami denní teploty na určitém místě. Pravděpodobnosti výskytu dnů chladných, normálních a teplých jsou tedy vyrovnané. Proto je třeba sledovat četnost, s jakou se vyskytují dny teplé, dny chladné a dny s normální teplotou. J. Hansen se to pokusil vysvětlit pomocí dvou hracích kostek. Jedna kostka představuje počasí v třicetiletém období 1951–1980. Kostka má dvě bílé strany pro dny s normální teplotou, dvě modré strany pro chladné dny a dvě červené strany pro teplé dny. Posun klimatu při oteplení reprezentuje druhá kostka. Ta má podle původní klasifikace jednu stranu bílou pro normální teplotu, jednu modrou pro chladné dny a čtyři červené strany pro dny teplé. Když druhou kostkou hodíme, může padnout normální nebo chladný den, ale výskyt teplých dní je mnohem pravděpodobnější. V roce 2012 Hansen tento model poopravil tak, aby lépe popisoval současné pozorované projevy počasí. Jednu ze čtyř červených stran je potřeba přetříť novou barvou, protože představuje bezprecedentní vedra [15].

Analogii hracích kostek použili také Coumou a Rahmstorf ve svém článku shrnujícím významné extrémní události 1. desetiletí 21. století [16]. Článek uzavírají následujícím textem: „Po výskytu extrémní události mnoho vědců (nás nevyjímaje) odpovídá na dotazy médií rutinní frází, že určitou událost nelze přímo vztahovat ke globálnímu oteplováním. To je často špatně pochopeno veřejností ve smyslu, že ona událost s globálním oteplováním nesouvisí, ačkoliv souviset může – jen si nemůžeme být jisti. Jestliže hodíme falešnou (zatíženou) kostkou a padne šestka, nelze říci, že tento konkrétní výsledek vznikl díky manipulaci – takto otázka nestojí. Můžeme ale říct, že počet šestek hozených falešnou kostkou je větší (možná i mnohem větší). Zrovna tak počet určitých typů extrémů počasí vzrůstá v oteplujícím se klimatu (možná i hodně). Vztah není ano nebo ne, jak očekávají média, ale je to otázka pravděpodobnosti. Je

*velice pravděpodobné, že několik bezprecedentních extrémů posledního desetiletí by nenastalo bez antropogenního globálního oteplování. Detailní analýza může dát konkrétní čísla (procenta) pro určité typy extrémů, jak jsme diskutovali výše. V roce 1988 James Hansen ve svém slavném projevu pro Kongres řekl: "Je na čase přestat mlžít a říct, že máme velice jasné doklady o přítomnosti skleníkového efektu." My nyní uzavíráme, více než 20 let poté: máme jasné doklady, že lidmi způsobené bezprecedentní extrémy veder a dešťů jsou zde – a způsobují lidem intenzivní utrpení."*

Výše popsanou analogii lze také využít ve výuce. Dané vysvětlení je poměrně srozumitelné, takže není nezbytné házení kostkami skutečně realizovat. Z pedagogického hlediska by bylo samozřejmě lepší, kdyby žáci dostali falešnou a poctivou kostku, zkusili několik hodů a výsledky vyhodnotili. Učitel se však vystavuje riziku obvinění, že děti učí podvádět při hře v kostky. Kupované falešné kostky bývají tak dobře provedeny, že s nimi šestka padne téměř vždy [17].

Příspěvek byl napsán v rámci řešení operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost: Moduly jako prostředek inovace v integraci výuky moderní fyziky a chemie, Reg.č.: CZ.1.07/2.2.00/28.0182

## Literatura

- [1] <http://www.exo.net/~pauld/workshops/weather/earthatmcompositionrice.htm>
- [2] [http://en.wikipedia.org/wiki/Barometric\\_formula](http://en.wikipedia.org/wiki/Barometric_formula)
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Troposphere>
- [4] <http://www.mike-willis.com/Tutorial/refraction.htm>
- [5] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Lom\\_vln%C4%9Bn%C3%AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Lom_vln%C4%9Bn%C3%AD)
- [6] Bednář, J.: Pozoruhodné jevy v atmosféře. Academia. Praha 1989
- [7] <http://fykos.cz/rocnik24/reseni/reseni6-6.pdf>
- [8] <http://www.kof.zcu.cz/st/dp/hosnedl/html/pohybov.html>
- [9] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Gravita%C4%8Dn%C3%AD\\_%C4%8Do%C4%8Dka](http://cs.wikipedia.org/wiki/Gravita%C4%8Dn%C3%AD_%C4%8Do%C4%8Dka)
- [10] [http://www.exploratorium.edu/snacks/blue\\_sky](http://www.exploratorium.edu/snacks/blue_sky)
- [11] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Polarizace\\_%28elektrodynamika%29#Malus.C5.AF\\_v\\_z.C3.A1kon](http://cs.wikipedia.org/wiki/Polarizace_%28elektrodynamika%29#Malus.C5.AF_v_z.C3.A1kon)
- [11] <http://fyzweb.cuni.cz/piskac/pokusy/www/mechtek/tornado.htm>
- [12] <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/tornada/poznamky/save-viry.html>
- [13] Bednář, J.: Meteorologie – Úvod do studia dějů v zemské atmosféře. Portál. Praha 2003
- [14] <http://dotearth.blogs.nytimes.com/2008/06/23/nasas-hansen-humans-still-loading-climate-dice/>
- [15] <http://climatecrocks.com/2012/08/05/hansen-on-the-new-math-of-extreme-events>
- [16] <http://sciences.blogs.liberation.fr/files/10-ans-dextremes-climatiques.pdf>
- [17] <http://www.fantasyobchod.cz/falesna-kostka-p-1280.html>