

Rozhledy matematicko-fyzikální

Petr Volf; Ivo Volf

Ohrožuje i nás tající ledovcová pokrývka?

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 84 (2009), No. 2, 17–22

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146297>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2009

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

Ohrožuje i nás tající ledovcová pokrývka?

Petr Volf, Ivo Volf, První soukromé jazykové gymnázium Hradec Králové

Abstract. In recent years, scientists and politicians have discussed who or what is responsible for global warming. In the paper based on the facts of reducing ice cover around the poles, we create various scenarios (model situations) and look for consequences to which the observed phenomena may lead. Does global warming threaten humanity?

V několika posledních letech se výrazněji projevují jevy, jež spojujeme s tzv. globálním oteplováním. To se projevuje například snižováním rozlohy ledovcových ploch, ať už jsou v polárních oblastech či na jiných místech na Zemi. Mezi odborníky se diskutuje, do jaké míry se podílí na globálním oteplování lidské působení. Pro tuto práci jsou podstatná nejen obecná tvrzení, která vycházejí z krátkodobého či dlouhodobého pozorování a jejichž výsledky byly publikovány, ale daleko podstatnější jsou konkrétní měření nebo alespoň hodnověrné odhady. Řadu jevů lze totiž zjednodušit a vytvořit k nim jednoduché modely, které je možno dále fyzikálně a matematicky zpracovat. Potom by každý středoškolák – s ohledem na získané vzdělání a informace – měl být schopen udělat si svůj vlastní odhad o tom, jak se tyto jevy a jejich změny projeví. Uvedeme tedy dále několik zjednodušených výpočtů, kterými bychom chtěli podpořit obavy, jež vyslovují vědci o nejbližší i vzdálenější budoucnosti ledovcové pokrývky na povrchu planety Země.

Úvodní poznámka: Pro vytváření vyhovujících modelů, které potřebujeme pro výpočty a pro další zpracování, se opíráme o údaje z různých zdrojů. Pečlivým porovnáváním pak zjišťujeme, že tyto údaje se někdy méně, někdy významně odlišují. Proto naše výpočty je třeba brát s rezervou, odhady se mohou provádět na dvě platné číslice a teprve potom porovnávat. Avšak ani přesnost navržených modelů není příliš vysoká.

Problém 1. Bylo zjištěno, že se grónské ledovce průběžně zmenšují, takže část jich roztaje a během zimy se do ledovcového stavu v letech 2002 až 2006 každoročně nevrátilo 240 km³ ledu. Jak tato nerovnováha ovlivňuje hladiny moří?

Řešení: Objem ledu je $V = 240 \text{ km}^3 = 2,40 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$. To představuje po roztátí vodu o stejné hmotnosti, jako je hmotnost tohoto ledu:

$$m = \rho_e \cdot V = 910 \cdot 2,40 \cdot 10^{11} \text{ kg} \doteq 2,2 \cdot 10^{14} \text{ kg}$$

Tato hodnota je v přepočtu rovna $220 \cdot 10^9$ tunám vzniklé vody, jejíž objem je $V_1 = 220 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

Kdyby se podařilo tuto vodu rovnoměrně rozptýlit do všech oceánů a moří, jejichž rozloha činí 71 % povrchu Země, potom by se pochopitelně hladina oceánů zvýšila. Protože povrch Země je roven 510 miliard km^2 , plošná rozloha oceánů činí

$$S_m = 0,71 \cdot 510 \cdot 10^6 \text{ km}^2 \doteq 362 \cdot 10^6 \text{ km}^2.$$

Zvýšení hladiny všech oceánů je

$$\Delta x = \frac{V_1}{S_m} \doteq 0,6 \text{ mm}.$$

Závěr: Tato hodnota je tak nepatrná, že nás všechny zatím ponechává v klidu. Dokonce ani za $1\,000$ let nepřesáhne globální zvýšení hladiny oceánů 60 cm, jestliže se však nerovnováha neurýchlí. Proto optimisté nevěří skeptikům a tyto nepatrné změny příliš nezvažují.

Problém 2. Jiné zprávy upozorňují, že současně intenzivně roztává ledová pokrývka v oblasti kolem Severního pólu. Plocha mořského ledu mívá koncem léta rozlohu $9 \cdot 10^6 \text{ km}^2$, koncem zimy rozlohu $12 \cdot 10^6 \text{ km}^2$. Průměrná tloušťka ledu je odhadována na 3 m až 5 m. Jaké důsledky mají tyto změny na výšku hladiny oceánů?

Řešení: Objem arktického ledu odhadneme koncem léta (kdy uvažujeme menší rozlohu i menší tloušťku ledové pokrývky) na hodnotu $V_1 = 27\,000 \text{ km}^3$, koncem zimy (vezmeme proto větší rozlohu a větší tloušťku ledové pokrývky) vychází $V_2 = 60\,000 \text{ km}^3$. Již ze základní školy víme, že když led, který díky své menší hustotě pluje u hladiny, roztaje, změní se na vodu o větší hustotě, téže hmotnosti, ale menšího objemu, což se projeví tak, že „zaplní“ objem ponořené části ledu do vody.

Závěr: Vyplývá z toho, že táním ledu plujícího na hladině moří se výška hladiny moře nezmění. Z hlediska lodní dopravy však podle mapky vidíme, že nejen v létě budou severní cesty kolem Sibíře a Kanady zcela volné, lodní doprava tam bude možná po většinu roku.

Problém 3. Co by se však stalo, kdyby zcela roztály grónské pevninské ledovce? Ze studia literatury víme, že v současné době více než 80 % povrchu ostrova (povrch Grónska je $S_G = 2\,130\,750\text{ km}^2$) pokrývá ledovec s největší tloušťkou 3 400 m, která se směrem ke břehům zmenšuje asi na 100 m; průměrnou tloušťku vezmeme 2 100 m.

Řešení: Plocha ledovce v Grónsku je $S_1 = 0,80S_G \doteq 1\,705\,000\text{ km}^2$, objem ledu v ledovcové pokrývce Grónska $V_1 = 3\,580\,000\text{ km}^3$ a hmotnost tohoto ledu přibližně $3,2 \cdot 10^{15}$ tun. Kdyby tento led zcela roztál, vzniklo by $3,2 \cdot 10^{15}$ tun vody, tedy objem této vody, která oteče do okolí Grónska, by byl $3,2 \cdot 10^{15}\text{ m}^3 = 3,2 \cdot 10^6\text{ km}^3$.

Určíme zvýšení hladiny oceánů $\Delta x = \frac{V_1}{S_m}$, kdyby se voda vzniklá při tání (bez regelace grónských ledovců) rovnoměrně rozptýlila do všech oceánů. Vypočteme, že zvýšení hladiny vody činí necelých 9 m. Musíme však vzít v úvahu, že by se voda z moří vylila na pobřeží, a tak by se plošná rozloha moří zvětšila např. o 10 %, potom lze uvažovat o zvýšení hladiny jen asi o 8 m. Tak by zmizely některé ostrovy celé, jiné by asi značně zmenšily svůj plošný obsah. Hranice kontinentů by se změnily, jejich plošná rozloha také.

Závěr: Při globálním oteplování tedy kromě plujících ker, tzv. „icebergs“, jež se uvolňují např. na březích Grónska a ohrožují lodní dopravu (viz Titanic), jsou velkým nebezpečím i pevninské ledovce, tzv. „glaciers“, jejichž postupným táním se zvyšuje hladina oceánů. Globální oteplování je tedy velkým nebezpečím nejen pro Grónsko a jiná zaledněná území, ale také pro řadu přímořských území – např. Nizozemí, Belgie, severní Německo, severní Polsko, jižní Švédsko, jižní Finsko, severní část Sibiře a Kanady aj.

Problém 4. Rozloha kontinentálního ledu v Antarktidě je několikrát větší než rozloha grónského ledovce ($S_e = 13\,802\,000\text{ km}^3$), maximální tloušťka ledovcové pokrývky je 4 776 m, odhadovaná průměrná tloušťka ledu je 2 200 m. Kolik vody by vzniklo táním ledu v důsledku globálního oteplování nebo např. po náhodném dopadu kosmického tělesa?

Řešení: Objem kontinentálního ledu v Antarktidě činí

$$V_1 = 13,8 \cdot 10^6 \cdot 2,2\text{ km}^3 \doteq 30,4 \cdot 10^6\text{ km}^3.$$

Po jeho roztátí vznikne $V_e = 27,6 \cdot 10^6\text{ km}^3$ vody. Kdyby se tato voda rovnoměrně rozlila do všech oceánů, jejich výška by se zvětšila

o $\Delta x = \frac{V_e}{S_m} \doteq 76$ m. Protože by však voda vystoupila z břehů a zalila asi 10 % pevniny, byla by rozloha oceánů větší o $15 \cdot 10^6$ km², měla by tedy hodnotu $377 \cdot 10^6$ km² a výsledná hladina by byla pouze o 72 m výše.

Závěr: Oproti předcházejícímu problému by byla situace na povrchu Země v důsledku roztátí ledovcové pokrývky Antarktidy již katastrofální. Stačí pohlédnout na družicové mapy www.Googleearth.org, kde je pro každé místo monitorována nejen zeměpisná šířka a délka, ale také nadmořská výška. Zmizela by celá Florida, mnoho polynézských ostrovů by zůstalo pod hladinou, ústí řek by se rozšířila a hranice moří by postoupila daleko na pevninu.

Problém 5. Naše Země je geofyzikálně aktivní – kromě zemětřesení, jež by vedla ke značné nestabilitě pevninských ledovců, je nutno uvážit i sopečnou činnost. V lednu 2008 na britské antarktické základně skupina vědců, již vedli Hugh Corr a David Vaughan, zjistila podle radarových snímků, že asi před 2 200 lety nastala erupce sopky pod antarktickou ledovcovou pokrývkou, největší v posledních 10 000 letech. Jaké důsledky taková erupce má?

Řešení: Protože se obtížně získávají údaje týkající se sopečných plynů, lávy a vyvřelého magmatu, budeme tento problém řešit jen logickou úvahou. Horké plyny přinášejí teplo, které se využije na roztátí ledovců. Vyvřelá láva nebo vyvřené magma je v tekutém stavu a jeho teplota dosahuje hodnot více než 1 000 °C, jsou tedy značným zdrojem tepla, které způsobí další tání. Toto teplo je důsledkem jednak tuhnutí magmatu a lávy, jednak snižování teploty vyvřelin. Na spodní části ledovce vzniká voda, která musí odtékat a způsobuje povodně.

Závěr: Mnohé vysokohorské sopky mají na vrcholku nebo v jeho blízkosti ledovcová pole a v principu mohou dosáhnout sopečného výbuchu. Vzniklá voda způsobuje povodně a bahnotoky, které jsou ještě nebezpečnější než povodně. Ledovce v blízkosti činné sopky (některé vysokohorské ledovce, ledovce v Severní Americe, na Islandu a v Antarktidě) jsou velmi nebezpečné. Takové události v historii Země byly zřejmě četné.

Problém 6. Stanovme ještě, kolik tepla bychom museli dodat, aby nastalo tání ledu v Grónsku, v Arktidě či Antarktidě? Je známo, že led má skupenské teplo tání 330 kJ/kg, a budeme předpokládat, že led má teplotu tání 0 °C.

Řešení: Určíme tedy hmotnost ledu na jednotlivých místech (použijeme dříve určené hodnoty):

Grónsko: $V_G = 3,5 \cdot 10^{15} \text{ m}^3$, $m_G = 3,2 \cdot 10^{15} \text{ t}$, $Q_G = 1,06 \cdot 10^{24} \text{ J}$

Arktida: $V_{AR} = 2,75 \cdot 10^{13} \text{ m}^3$ až $6,0 \cdot 10^{13} \text{ m}^3$, $m_{AR} = 2,5 \cdot 10^{13} \text{ t}$ až $5,5 \cdot 10^{13} \text{ t}$, $Q_{AR} = 8,25 \cdot 10^{21} \text{ J}$ až $1,8 \cdot 10^{22} \text{ J}$

Antarktida: $V_{AN} = 30,4 \cdot 10^{15} \text{ m}^3$, $m_{AN} = 30,4 \cdot 10^{15} \text{ t}$, $Q_{AN} = 1,0 \cdot 10^{25} \text{ J}$

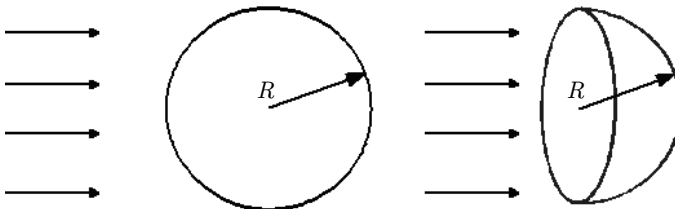
Na roztátí ledu (již zahřátého na $0 \text{ }^\circ\text{C}$) bychom potřebovali nejméně $1,2 \cdot 10^{25} \text{ J}$.

Skutečnost je však taková, že led má zpravidla teplotu nižší a k tomu, aby začal tát, nestačí jen tlaková síla, kterou působí horní vrstvy ledu na ty dolní, ale led je nutno postupně ohřívat.

Závěr: Ze Slunce na povrch Země přichází ročně záření, které při dokonalém pohlcení přináší teplo $3,3 \cdot 10^{24} \text{ J}$. Tedy jenom proto, aby zcela roztály ledovce v Grónsku, v Arktidě a Antarktidě, bychom museli čekat několik let, ale tím by se narušila podstatně celková tepelná rovnováha na celé Zemi. Na plochu, kterou ledovcová pokrývka představuje, dopadá tedy podstatně méně slunečního záření, takže postupné roztávání ledu se vlivem nižšího přísunu tepla musí rozložit na podstatně delší dobu.

Problém 7. Na povrch Země dopadá sluneční záření o různých vlnových délkách, jež má na hranici atmosféry hustotu výkonu 1 370 W/m^2 ; této hodnotě se říká solární (sluneční) konstanta. Ověřte údaje o výkonu slunečního záření, jež se uvádějí v literatuře.

Řešení: Celkový výkon záření dopadajícího na povrch Země závisí nejen na plošném obsahu přivrácené části Země, ale i na úhlu dopadu (když dopadají sluneční paprsky příliš šikmo, záření poskytuje málo tepla). Protože tento postup výpočtu vyžaduje integrování, což je dnes pro většinu středoškoláků mimo obsah jejich výuky, pokusíme se myšlenkově odstranit přivrácenou polokouli a určit výkon dopadajícího záření na rovinu řezu (obr. 1):



Obr. 1

$$P_c = 1 \text{ 370 W/m}^2 \cdot \pi \cdot (6,37 \cdot 10^6 \text{ m})^2 = 1,75 \cdot 10^{17} \text{ W}$$

Celkově však na povrch Země dopadne jen 60 % záření. Další část se odrazí od atmosféry a nebo je v ní pohlceno. Výkon záření, s nímž bychom mohli počítat při našich výpočtech, je tedy asi $1,05 \cdot 10^{17}$ W. Za rok to představuje teplo asi $3,3 \cdot 10^{24}$ J.

Celkový závěr: I když údaje, které jsou zatím k dispozici, nezahrnují dlouhá časová období (nebo pokud údaje existují, jsou na hranici hodnověrných odhadů či hypotéz), jasné je, že během historie Země se střídala období s postupujícími ledovci s obdobími, v nichž ledovce zase ustupovaly. Není možné tvrdit, že lidská bytost je příčinou změn, které nazýváme globální oteplování nebo je s ním spojujeme. Na druhé straně život a práce šesti miliard lidí nutně významně narušuje staletou či tisíciletou rovnováhu v přírodě, a to značným způsobem. Náš článek měl ukázat jen jednu stránku, spojenou s táním ledovců. I když nejmenší nadmořská výška České republiky je v Hřensku na Labi asi 130 m a v Lanžhotu na soutoku Dyje a Moravy asi 150 m, odhadované změny hladiny oceánů by naše území zasáhnout neměly – ale co zbytek Evropy?

Literatura

- [1] Čeman, R.: *Rekordy. Neživá příroda*. Mapa Slovakia plus, Bratislava, 2004.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Ice_sheet
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Polar_ice_packs
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Greenland_ice_sheet

Podivná voda

Jana Kalová, VŠTE České Budějovice

Abstract. The progress in investigation of ordinary water in several last years is discussed in the article. The water can exist in liquid state also in temperatures below 0°C , but the state is metastable. Supercooled water might be able to exist as either a high-density liquid (HDL) or as a low-density liquid (LDL). The dividing line between these two liquids might end in a “critical point”.

Voda je jedním ze čtyř Aristotelových elementů, po tisíciletí je ve středu vědeckého zájmu. Přesto k sobě stále přitahuje pozornost vědců a zdá se, jako by záhad kolem ní neubývalo. Desítky anomálních vlastností vody lze najít na <http://www.lsbu.ac.uk/water/anmlies.html>.