

Jaká jsou ledová tělesa na Zemi a jak Antarktida přispívá vzestupu hladiny

Naše planeta se ohřívá vinou rostoucí koncentrace skleníkových plynů, které nás tepelně izolují od nesmírně chladného vesmíru. Jaký zlomek slunečního tepla si nyní Země ponechává, místo aby je všechno vrátila do kosmu, spolehlivě ukazuje měření teplot v hloubkách oceánů. Jen drobtý z toho zlomku se projevují v proměnlivých, v průměru mnohem rychleji rostoucích teplotách přízemního vzduchu a povrchů oceánů. A také v tání ledu.

Nejsou všechny ledy stejné

Nejznámějším příkladem tání ledu je úbytek ledové pokrývky Severního oceánu. Jde o led „vyrostlý na moři“ během zimy, tlustý kolem jednoho metru, s velkými krystaly, a tedy hodně pevný. Táním, větrem a vlnami se pak během roku láme na *kry*, které buďto úplně roztají, nebo je vítr může nahnat k sobě a navršit až do tloušťky několika metrů, v níž led přečká i několik let. Taková poměrně tenká ledová pokrývka tvořená zmrzlou mořskou vodou se nazývá *mořský led*. Víceletého mořského ledu bývala v Arktidě většina, nyní bývá tamní oceán koncem zimy pokryt převážně jen jednoletým, hladkým ledem.

Tisíckrát více ledu obsahují *tři ledové příkrovy* (nazývané též štíty). Největší je Východoantarktický příkrov, menší ledové štíty pokrývají většinu Západní Antarktidy a Grónska. Uprostřed jsou ony příkrovy tlusté několik kilometrů a jsou doplňovány každoroční nadílkou sněhu. Sníh z dřívějších let se pod vahou novějšího sněhu mění v souvislý led obsahující jen bublinky, zbytky vzduchu obsaženého v původní sněhové vrstvě. Led v hloubce příkrovu, složený z malých krystalů, se tlakovými silami ledových mas plasticky deformuje a je vytlačován k okrajům příkrovu. Většina pohybu ledu se děje v proudech ohraničených svahy hornin ve svém podloží či na svých bocích – takový útvar označujeme jako *ledovec*. Je-li rychleji proudící ledová masa na bocích ohraničena jen sousedním ledem, označuje se případně jako *ledový proud*, často jde o útvar větší, než bývají ledovce. Ledové proudy a ledovce na okrajích ledových příkrovů končívají v moři, jen některé malé ledovce na jihu Grónska se mění říčením a táním ve vodu už na pevnině, jako se to děje u všech ledovců v horách.

Menší obdoba ledového příkrovu, s rozlohou do 50 tisíc čtverečních kilometrů, se nazývá *ledová čepice*. Těch existuje mnohem více (většina jich je též v Antarktidě), na okrajích se vždy dělí do ledovců. A je-li vrstva ledu tenčí, takže z ní vystupují horské hřebeny, nazývá se *ledové pole* – to je vlastně soustava propojených ledovců roztékající se do všech stran.

Proč se ledovce končí v moři zrychlují

Ledovce a ledové proudy táhnoucí se až do moře nespočívají ve své koncové části na pevném podloží. Pod nimi je jen voda. Konec ledovce na ní leží jako tlustá ledová police, plovoucí jazyk ledovce, odborně zvaný *ledový šelf* (shelf – anglicky police). Stéká-li takto do moře více ledovců vedle sebe, mohou být jejich konce spojeny do společného rozlehlého ledového šelfu. Ledové šelfy jsou tlusté alespoň sto metrů, běžně několik set metrů. Led se z nich do moře odlamuje v mohutných blocích, které pak označujeme jako *eisbergy* čili ledové hory. Odlamování eisbergů se označuje jako telení (z angl. calving). Jak známo, devět desetin objemu takového eisbergu (či *icebergu*) je ponořeno pod hladinou, jen desetina vyčnívá. Eisbergy mohou oceánem cestovat tisíce kilometrů, než po měsících až letech roztají. Dokud nebyly k dispozici radary, představovaly v noci či za mlhy velké nebezpečí pro lodní dopravu, s jedním eisbergem se srazil Titanic. Mořská kra, tlustá nejvýše pár metrů, by mu neublížila, tu by prostě odrazil pryč. Narazit na eisberg je ale téměř stejné jako narazit na skálu, má příliš velkou hmotnost, neuhne. Plovoucím ledovým horám kolem Grónska a Antarktidy se samozřejmě musejí vyhýbat i ledoborce, ty se umějí probíjet jen mořským ledem, není-li navršený do výšky několika metrů.

Ledový šelf může hodně zpomalovat odtok ledu z ledového příkrovu, pokud je zapřen o ostrovy či o horninové výběžky na mořském dně. Pomáhá i tlaková síla vody opírající se o čelo šelfu. Ještě důležitější je ale tření ledovce o horninové podloží. Čára, kde se ledovec od podloží odpoutává, přestává se třít o dno a mění se v ledový šelf, se nazývá *grounding line*, česky snad *čára dotyku*

nebo *čára ukotvení*. Není snadné na povrchu ledovce poznat, kudy probíhá.

Stoupání teploty oceánu v hloubkách stovek metrů, způsobené tím, že skleníkový jev je silnější než dříve, ale vede k tomu, že se čára ukotvení posouvá směrem do vnitrozemí. Ledový šelf zesponuje a ztenčuje se, přestává narážet na ostrovy či vyvýšeniny dna, případně se i zkracuje a ztrácí oporu na březích. Síla brzdící pohyb ledu z nitra příkrovu do moře tím klesá a rychlost ledovce se zvyšuje.

Šokující zjištění v Západní Antarktídě

Takový mechanismus je známý dávno, staré jsou i obavy, že ledu z Grónska a Antarktidy bude zrychleně ubývat, což ostatně nyní pozorujeme. Nyní ale byly publikovány dvě vědecké práce, které takový děj podrobně dokumentují na příkladu ledovců, kterými odchází led ze Západoantarktického příkrovu do Amundsenova moře. Jedna mapovala horninové podloží ledovců pomocí radaru a modelovala tok ledu do budoucnosti (Joughin, Smith, and Medley 2014), druhá využila měření ze satelitů dokumentující, jak se ledové šelfy zvedají během přílivu a odlivu – tak lze odhalit, kde začínají, čili kde je ona čára ukotvení (Rignot et al. 2014). Ukázalo se, že se za dvacet let posunula až o desítky kilometrů. Tento proces bude pokračovat, neb teplota Jižního oceánu se nevrátí na úroveň, kterou měla před sto lety. Situace je o to horší, že u některých ledovců směrem do vnitrozemí hloubka horninového podloží roste, což dále usnadňuje tání ledu u čáry ukotvení (s hloubkou klesá teplota tání). Ledovce se tak budou zkracovat a jejich pohyb a tím i tempo úbytku ledu ze Západoantarktického příkrovu se tím bude zrychlovat. Je pravděpodobné, že již začal proces rozpadu tohoto ledového příkrovu, který bude pokračovat, i kdyby se globální oteplování do poloviny století zastavilo. Většina tohoto příkrovu je totiž opřena o pevninu až hluboko pod hladinou moře (i přes dva kilometry), a oceán jej bude podhlodávat, ať už bude na povrchu ledu jakkoliv zima. Překročili jsme zřejmě bod zvratu a důsledkem bude, že tání ledu ze Západní Antarktidy zásadně přispěje ke zvyšování hladiny oceánů – možná už během stovek let, rozhodně během tisíců let bude tento příspěvek činit až několik metrů. Dostaneme se tak do situace, která panovala před sto třiceti tisíci let, když byla hladina vyšší tak o osm metrů. Co to bude znamenat pro dnešní města na pobřeží, je nasnadě.

Populární zprávu k oběma pracím a výbornou animaci NASA viz http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2014/12may_noturningback/ a s českými titulky <http://goo.gl/Gj6uNW>, další animace k tématu viz <http://goo.gl/JGI7V4>. Text o jedné z prací viz <http://www.washington.edu/news/2014/05/12/west-antarctic-ice-sheet-collapse-is-under-way/> (je tam i animace s výkladem hlavního autora [Iana Joughina](#)), o obou pak <http://www.wunderground.com/blog/JeffMasters/comment.html?entrynum=2678> a <http://thinkprogress.org/climate/2014/05/13/3437033/coastal-cities-abandoned/>, kde je i animace s výkladem hlavního autora druhé z prací, Emila Rignota.

Dodejme, že Jižní oceán je v hloubkách stovek metrů kolem Antarktidy teplejší nejen v důsledku globálního ohřívání Země (činícího necelý 1 W/m^2), ale silnějšího větru ve vysokých jižních šířkách, který vede k promíchávání vod do větších hloubek. Na zesíleném větru se podílí i ozonová díra nad kontinentem.

Je to opravdu tak nečekané poznání?

Mezivládní panel pro klimatickou změnu (IPCC) vydal v září první díl své Páté hodnotící zprávy, v němž říkal, jak může stoupat mořská hladina do konce století a dál, podle ní by do konce století nemůže vzestup zůstat rozhodně pod limitem 1 m. Výzkum odhadů expertů na změny výšky mořské hladiny ale ukázal, že dvě třetiny z nich kladou horní hranici vzestupu výše než IPCC (Horton et al. 2014), viz též komentář na [realclimate](#). Ale až studie publikované 12. května ozřejmily šokující fakt, že gigantickému úbytku ze Západní Antarktidy už nezabráníme – potvrdily tak prorockou práci o tom, že rozpad štítu může začít již před zdvojnásobením koncentrace CO_2 . (Mercer 1978). Vzápětí se ukázalo (Morlighem et al. 2014), že i většina ledovců, jimiž se sune led z Grónského štítu, leží v údolích, která mají dna stovky metrů pod hladinou a pokračují pod mořem

i přes 100 km do vnitrozemí. I odtok ledu z Grónska se jimi může velmi zrychlit (komentář viz např. [Guardian](#)).

Naděje, že se snad úbytek ledu z těchto dvou nejohroženějších ledových štítů nezrychlí, snad i zpomalí, se opíraly o možnost, že dna ledovců už blízko pobřeží stoupají vzhůru nad mořskou hladinu a přímé tepelné působení oceánu na ně (ocean thermal forcing) se přestane uplatňovat, s tím počítaly i modely dynamiky oněch štítů. Bohužel, není tomu tak. Jsme odsouzeni ke staletím zvedající se mořské hladiny, a to i když bychom globální oteplování zastavili a dokonce jeho trend obrátili. Tím už můžeme ovlivnit jen tempo onoho růstu a jeho i konečnou velikost, zejména pokud zabráníme tomu, aby začal i rozpad Východoantarktického ledového příkrovu.

Abychom porozuměli, musíme věci nazývat pravými jmény

V Česku žádná výše uvedená ledová tělesa nemáme, až na obdobu mořského ledu na stojatých vodách, případně i řekách, kde se na jaře led též láme na kry (i když dnes i řeky bez přehrad zamrzají jen vzácně, ne každý rok jako před padesáti lety). Z těch na pevnině se ve střední Evropě vyskytují pouze ledovce v Alpách. A tak se v lidové mluvě jako ledovec označuje vše (podobně to dělají i Rusové). To je ovšem zcela matoucí a není divu, že je pak pro čtenáře obtížné se v rychlých, bezprecedentních změnách kryosféry vyznat. Zmatený jazyk vede ke zmatenému myšlení. Kdo si plete ledové šelfy, icebergy a kry, těžko pochopí, že ker a mořského ledu kolem Antarktidy může trochu přibývat, ale z kontinentu odchází obrovské množství ledu, který předtím sto tisíc let a déle spočíval na dně – nyní je to už na sto padesát kilometrů krychlových za rok (McMillan et al. 2014) a tempo úbytku trvale roste. Viz <http://sks.to/antarctica>. České a anglické názvosloví pro led viz společně http://amper.ped.muni.cz/gw/ipcc_cz/gloss_en_cz.html#1.

Odkazy:

- Horton, Benjamin P., Stefan Rahmstorf, Simon E. Engelhart, and Andrew C. Kemp. 2014. "Expert Assessment of Sea-Level Rise by AD 2100 and AD 2300." *Quaternary Science Reviews* 84 (January): 1–6. doi:10.1016/j.quascirev.2013.11.002.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379113004381>.
- Joughin, Ian, Benjamin E. Smith, and Brooke Medley. 2014. "Marine Ice Sheet Collapse Potentially Under Way for the Thwaites Glacier Basin, West Antarctica." *Science* 344 (6185): 735–38. doi:10.1126/science.1249055. <http://www.sciencemag.org/content/344/6185/735>.
- McMillan, Malcolm, Andrew Shepherd, Aud Sundal, Kate Briggs, Alan Muir, Andrew Ridout, Anna Hogg, and Duncan Wingham. 2014. "Increased Ice Losses from Antarctica Detected by CryoSat-2." *Geophysical Research Letters*, May, 2014GL060111. doi:10.1002/2014GL060111.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2014GL060111/abstract>.
- Mercer, J. H. 1978. "West Antarctic Ice Sheet and CO2 Greenhouse Effect: A Threat of Disaster." *Nature* 271 (January): 321–25. doi:10.1038/271321a0.
https://courses.seas.harvard.edu/climate/eli/Courses/global-change-debates/Sources/18-West-Antarctic-ice-sheets/nature_mercer_1978_wais.pdf.
- Morlighem, M., E. Rignot, J. Mouginot, H. Seroussi, and E. Larour. 2014. "Deeply Incised Submarine Glacial Valleys beneath the Greenland Ice Sheet." *Nature Geoscience* advance online publication (May). doi:10.1038/ngeo2167.
<http://www.nature.com/ngeo/journal/vaop/ncurrent/full/ngeo2167.html>.
- Rignot, E., J. Mouginot, M. Morlighem, H. Seroussi, and B. Scheuchl. 2014. "Widespread, Rapid Grounding Line Retreat of Pine Island, Thwaites, Smith and Kohler Glaciers, West Antarctica from 1992 to 2011." *Geophysical Research Letters*, May, 2014GL060140. doi:10.1002/2014GL060140.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2014GL060140/abstract>.

Jan Hollan, pracovník Centra výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., 30. května 2014
(zkrácená verze článku vyšla na České pozici, tištěně v příloze Lidových novin týž den)