

Od Samitu Zeme po Oregonskú petíciu

V súčasnosti patrí otázka globálneho otepľovania medzi najdiskutovanejšie témy. Väčšina verejnosti pozná výzvu, publikovanú roku 1992 v záverečných dokumentoch na konferencii *Samit Zeme* v Riu de Janeiro, ktorá vyzýva vlády sveta k zníženiu emisií oxidu uhličitého (CO_2), pretože tieto sú príčinou toho, že klíma našej planéty sa výrazne otepľuje, čo môže privodiť katastrofálnu klimatickú zmenu. Ďalším známym dokumentom tejto agendy je *Kjótsky protokol* z roku 1997, ktorý je vlastne doplnkom *Rámcového dohovoru OSN o zmene klímy* (UN Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) a zaväzuje krajiny, ktoré ho podpísali a ratifikovali k znížovaniu emisií oxidu uhličitého a piatich ďalších skleníkových plynov.

Roku 2001 podpísali poprední klimatológovia sveta prehlásenie o tom, že globálne otepľovanie je s pravdepodobnosťou 66 % spôsobené človekom. Naostatok, Medzivládny panel pre klimatické zmeny (IPCC), združujúci 2 500 vedcov, vydal v noci z 1. na 2. februára 2007 prehlásenie, v ktorom deklaruje, že klimatické zmeny na Zemi sú s 90 %-nou pravdepodobnosťou spôsobené človekom. Zdalo by sa, že v tejto otázke panuje medzi vedcami konsenzus. Máločo je tak blízke pravde ako táto predstava. Na rozdiel od vyššie uvedených dokumentov, verejnosť prakticky nepozná rovnako dôležité vedecké prehlásenia, vyzývajúce k opatrnosti pri akceptovaní záverov, ktoré prezentujú klimatológovia, združení okolo „agendy CO_2 “.

Už roku 1992 pred podpísaním deklarácie zo *Samitu Zeme* iniciovalo 425 vedcov takzvanú Heidelbergскую výzvu *Protest proti pseudovedeckému strašeniu globálnym oteplením*, ktorú dodnes podpísalo viac ako 4 000 vedcov, medzi nimi 72 nositeľov Nobelovej ceny. Vo výzve sa okrem iného uvádza: „*Varujeme autority, ktoré sú zodpovedné za osud planéty, pred rozhodnutiami, ktoré sú podporené pseudovedeckými argumentmi či falošnými a nerelevantnými údajmi.*“

Roku 1997 pred konferenciou v Kjóte vznikla Lipská deklarácia 1 500 vedcov, ktorá prezentuje nasledujúci názor: „*Veríme, že Kjótsky protokol, obmedzujúci emisie CO_2 je nebezpečne zjednodušujúci, celkom neefektívny a ekonomicky deštruktívny. Navyše považujeme vedecký základ zmluvy za chybný a jeho ciele za nerealistické.*“

Oregonská petícia z roku 1998, ktorú podpísalo viac než 17 000 vedcov, deklaruje: „*Neexistuje vedecký dôkaz, že ľuďmi spôsobené uvoľňovanie CO_2 , metánu, či iných skleníkových plynov, spôsobuje, alebo spôsobí katastrofálne oteplenie a narušenie zemskej klímy.*“

Vedecká komunita, sústredená okolo Oregonskej petície, spochybňuje tvrdenie, že súčasné globálne otepľovanie je sprevádzané extrémnymi poveternostnými javmi. Napríklad John Christy a Roy Spencer z Alabamskej univerzity vypracovali štatistiku hurikánov, búrok, krupobití a tornád. Žiadne zvýšenie počtu týchto katastrofických úkazov sa neprejavilo (ako príklad možno uviesť štatistiku hurikánov v severnom Atlantiku, ktoré dosiahli 5. stupeň intenzity: 1960 až 1964 - 4; 1965 až 1969 - 2; 1970 až 1974 - 1; 1975 až 1979 - 2; 1980 až 1984 - 1; 1985 až 1989 - 2; 1990 až 1994 - 1; 1995 až 1999 - 1; 2000 až 2004 - 2). Aj Christopher Landes, popredný americký odborník na problematiku hurikánov, prehlásil na zasadnutí Medzivládneho panelu



pre klimatické zmeny roku 2007: „*Výsledky, ku ktorým sa malo dospieť, boli vopred pripravené a konkrétne pôsobenie hurikánov sa bez presvedčivých dôkazov zvažuje na globálne oteplenie.*“ Jürgen Willebrandt, vedúci nemeckého vedeckého tímu, dokonca zasadnutie opustil s odôvodnením: „*Médiami prezentované zhrnutie je prácou vlád a nie vedy.*“

Veľká časť vedcov striktnie odmieta predstavu, že medzi obsahom oxidu uhličitého v ovzduší Zeme a klimatickými zmenami existuje priamočiara závislosť a predovšetkým odmieta akceptovať predstavu, že tieto zmeny sú významným dielom spôsobených aktivitami človeka: „*Je vysoko pravdepodobné, že globálna teplota bude stúpať a klesať bez ohľadu na to, čo budeme robiť.*“ komentuje problematiku globálneho otepľovania Petr Chylek, profesor fyziky na Dalhousie University.

V záujme environmentalistiky a osudov ľudstva je potrebné k problému pristupovať bez vášní, s rozvahou, kriticky a predovšetkým odmietnuť všetky politické aspekty problému. (Sám John Houghton, vedúci Medzivládneho panelu pre klimatické zmeny pri OSN, nazval problematiku globálneho otepľovania nie vedeckým problémom, ale „*morálnou záležitosťou*“). Podobne aj kanadská ministerka životného prostredia vyhlásila, že „*bez ohľadu na to, či vysvitne, že údaje o globálnom otepľovaní sú podfukom, zmena klímy poskytuje najväčšiu možnosť priniesť na svet spravodlivosť a rovnosť.*“) Takýto politicky motivovaný a nie práve vedecký prístup k problému môže spôsobiť v budúcnosti environmentalistike značné problémy. Ak sa raz ukáže, že „*cieľ svätých prostriedkov,*“ môže to viesť k znechuteniu širokej verejnosti a strate dôveryhodnosti.

Hrozí, že pokiaľ by sme bezvýhradne akceptovali model, ktorý zjednodušene prezentuje závislosť medzi klimatickými zmenami na našej planéte a obsahom oxi-

du uhličitého v atmosfére, mohlo by to z dlhodobého hľadiska: 1. spochybniť hodnovernosť environmentalistiky ako serióznej vednej disciplíny, 2. spôsobiť veľké ekonomické škody a 3. predstavou, že zníženie emisií oxidu uhličitého zabráni klimatickým zmenám, znemožní účinné opatrenia, ktoré je treba vykonať, aby ľudstvo bolo schopné prekonať (nepochybne sa dostávajúce) klimatické zmeny.

Oxid uhličitý ako skleníkový plyn

Predpoklad, že zvyšovanie obsahu CO_2 v ovzduší spôsobuje zvyšovanie teploty, čo zase vedie ku klimatickým zmenám, formuloval už roku 1903 švédsky chemik a nositeľ Nobelovej ceny Svante August Arrhenius. Významný vplyv na skleníkový efekt a ním spôsobené globálne otepľovanie majú aj koncentrácie ďalších plynov, predovšetkým metánu, halogénových uhľovodíkov, oxidu dusného, ozónu a freónov. Najvýznamnejším faktorom však nie je ani obsah CO_2 (tvorí len necelé 3 % objemu skleníkových plynov), ani koncentrácia ostatných vyššie menovaných plynov, ale koncentrácia vodnej pary (predstavuje asi 96 % skleníkových plynov), ktorá je zase závislá od klimatických podmienok. Žiaľ, žiadny model, ktorý vyhodnocuje vplyv CO_2 na klímu, nezohľadňuje adekvátne práve úlohu tohto hlavného skleníkového plynu. Práve preto nie sú „ CO_2 -modely“ dostatočne presvedčivé.

V priebehu 20. storočia sa zaznamenal nárast globálnej teploty o 0,7 °C. Oceánografické pozorovania, ktoré publikoval roku 1988 Van de Plasscheho vedecký tím, poukazujú na vzrastanie hladiny svetového oceánu. Za obdobie ostatných 100 rokov hladina oceánov stúpa v dôsledku rozpúšťania ľadovcov v priemere ročne o 1 mm (v súčasnosti sa tento proces ešte urýchljuje a niektoré merania udávajú hodnotu 2 - 3 mm/rok). Ako vo svojej štúdii z roku 1999 uvádza A. L. Wienheimer, v

Kalifornskom zálive i na iných miestach možno pozorovať zvyrazňovanie zvrstvovania odlišne teplých, teda aj rôzne hustých vodných mäs, brániacich výstupu chladných vôd obsahujúcich živiny z hĺbky ku hladine. Alfred D. Herguera a Wolf H. Berger upozorňujú, že dôsledkom tohto javu je znižovanie množstva organizmov žijúcich v teplej povrchovej vrstve vody pri hladine. Sledovanie izotopov uhlíka indikuje, že morská voda je stále viac sytá CO_2 (obr. 1, pozri prílohu, s. 5).

Dnešný znepokojujúci stav podnebia na Zemi je iba nepatrným zlomkom miliardy rokov trvajúceho vývoja. Pre poznanie trendov je preto potrebné študovať dlhodobý rytmus klimatických zmien a ich zložitú príčinnú súvislosť. Rudolph Kippenhahn, Daniel B. Karner a celý rad ďalších autorov upozorňujú, že klimatické anomálie v histórii vývoja zemskej klímy sú javmi opakujúcimi sa v cykloch (obr. 2, pozri prílohu, s. 5). Vývoj atmosféry pred 4 mld. rokov určovali dva hlavné faktory: 1. redukované slnečné žiarenie, 2. nízky obsah kyslíka. V rámci týchto predstáv v priebehu ostatných desaťročí viacerí autori publikovali rôzne modely archaickej zemskej atmosféry: Podľa prvej teórie, ktorú publikovali James F. Kasting a Alexander A. Pavlov pozostávala primitívna atmosféra zo 60 % oxidu uhličitého, 35 % sírovodíka a menších koncentrácií vodných pár, metánu, oxidu siričitého, amoniaku, fluórovodíka, kyseliny chlórovodíkovej, argónu a kyseliny boritej. Obsah hlavného skleníkového plynu, metánu, v ovzduší bol asi tisíckrát vyšší ako dnes a 90 až 95 % vodíka bolo viazaného práve v metáne (jeho koncentrácia mohla kolísať od 100 do 1 000 ppm). Jeremy Abelson zastáva názor, že archaické ovzdušie Zeme bolo tvorené prevažne z oxidu uhličitého, vodnej pary, menšieho množstva sírovodíka a dusíka. Podobne aj Minoru Ozima, Dave Lowe a Michael Tice vo svojich prácach z roku 2004 predpokladajú, že atmosféru tvoril hlavne CO_2 . Koncentrácia CO_2 bola 100 až 1 000-krát vyššia ako dnes a povrchová teplota Zeme mohla podľa Paula Knautha v dôsledku výrazného skleníkového efektu CO_2 kolísať v rozmedzí $70 \pm 15^\circ\text{C}$. Heinrich D. Holland predpokladá, že ovzdušie Zeme bolo v prvom štádiu bohaté na metán a v bezprostredne nasledujúcom druhom štádiu na dusík. Súčasná kyslíkom bohatá atmosféra predstavuje podľa tejto hypotézy tretie štádium vývoja.

Najstaršie hodnoverné informácie o klimatických podmienkach na Zemi máme k dispozícii z obdobia karbónu spreď 3,2 mld. rokov. Podľa Kennetha A. Erikssona a Edwarda L. Simpsóna bola v tomto období koncentrácia CO_2 v atmosfére 22-krát vyššia a pred 2,6 mld. rokmi 12 – 22-násobne vyššia ako v súčasnosti. Z početných vedeckých prác, napríklad z práce Juha A. Karhu a profesora Heinricha D. Hollanda z roku 1996 vyplýva, že koncom proterozoika (pred 800 miliónmi rokov) bol obsah CO_2 v ovzduší stále 10 až 20-násobne vyšší než dnes a aj za obdobia ostatných 500 miliónov rokov bol v 16 časových intervaloch podstatne vyšší ako v súčasnosti. Ako upozorňujú Lee R. Kump (1999), Jozef Michalík (2000), Harry N. A. Priem (2000) či Tim Patterson (2004), napriek tomu, že ešte aj pred 480 – 450 miliónmi rokov predstavovalo jeho množstvo 10 až 16-násobok dnešného obsahu, na južnom subkontinente Gondwana sa zachovalo zaľadnenie. Vysoký obsah CO_2 nedokázal zastaviť ani následný nástup milión rokov trvajúceho chladného obdobia, ktoré zmenilo teplý režim svetového oceánu na glaciálny a spôsobilo pokles morskej hladiny o 45 – 60 metrov.

Pred 230 – 190 miliónmi rokov v období triasu boli na

Zemi extrémne klimatické podmienky, pravdepodobne najsuššie v histórii Zeme. Ako uvádza Achim J. Kopf, bolo dôsledkom globálneho oteplenia, ku ktorému došlo na konci permu pred 250 miliónmi rokov v dôsledku erózie uhoľných paniev a značného prísunu oxidu uhličitého do atmosféry. Pred viac než miliónom rokov došlo k sformovaniu panamskej šije, ktorá uzavrela medzeru medzi Amerikami, čím narušila prísun teplých morských prúdov z Tichého do Atlantického oceánu. V dôsledku tejto prevratnej zmeny došlo ku generálnemu zvratu, nastolujúcemu v klimatických pomeroch Zeme podnebné podmienky glaciálneho typu. Geológia rozlišuje 29 glaciálnych intervalov (obr. 3, pozri prílohu, s. 5).

Pred 485 – 445 tisíc rokmi poklesla morská hladina v dôsledku zaľadnenia voči súčasnému stavu o 140 metrov a ľadovce plávali v oceánoch až do oblasti Mexického zálivu. Počas najteplejšieho interglaciálu za posledných pol milióna rokov (trval od 423 tisíc do 360 tisíc rokov) ležala morská hladina 20 m nad dnešnou úrovňou a zaľadnenie polárnych oblastí nedosahovalo dnešný rozsah. Ako uvádzajú vo svojej štúdií z roku 1999 Daniela Reháková a Jozef Michalík, resp. Robert E. Davis, v dnešnom miernom pásme vládli subtropické a tropické klimatické pomery.

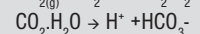
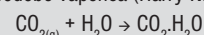
Paleoklimatické štúdie, ktoré uskutočnil celý rad vedcov (Harry N. A. Priem 2000; Ján Veizer 2000; Frank Kürschner 2001; Eric Monnin 2001; Mel A. Reasoner a Margret A. Jodry 2000 a ďalší), ukázali, že obsah CO_2 v atmosfére sa aj pri prechode z tepleho obdobia do poslednej ľadovej doby prvých niekoľko tisíc rokov podstatne nezmenil. Často možno dokonca sledovať opačný trend: zvyšovanie jeho obsahu v chladných periódach. Tak napríklad, ako uvádzajú Mel A. Reasoner a Margret A. Jodry, Jonathan Adams, Mark Maslin a Ellen Thomas a celý rad iných autorov, aj v období prudkého ochladenia v mladšom dryase pred asi 8 000 rokmi (obr. 4, pozri prílohu, s. 5) obsah CO_2 v atmosfére plynule stúpal. Ako upozorňuje Eduard Bard, v dôsledku zaľadnenia nedochádzalo k intenzívnej výmene vody medzi morskou hladinou a hlbokými oceánskymi panvami. Pomalé uvoľňovanie hydrátov metánu, ktoré sa hromadili v sedimentoch hlbokých morí, pomáhalo odčerpávať z okolia teplo a udržiavať chladné klimatické pomery.

Dlhé horúce obdobie v 4. až 1. tisícročí pr. Kr. bez výrazných klimatických výkyvov možno považovať za vyvrcholenie súčasnej medziľadovej doby. V Európe a na celom svete bolo teplejšie ako hoci kedy predtým či potom v priebehu ostatných 12 tisíc rokov. Po roku 1200 pr. Kr. nasledovalo obdobie dažďových liet a studených zím. Ľadovce sa zväčšili, morská hladina klesla, vlnič sa zo Škandinávie stiahol, „prežiaraná bronzová doba“ sa skončila. V polovici prvého tisícročia po Kr. nastalo znovu markantné ochladzovanie. Drsné klimatické pomery vyhnali z ázijských stepí celé národy a iniciovali známe sťahovanie národov.

V 11. až 13. storočí bola v Európe mimoriadne teplá klíma. Vyznačovala sa dlhými a horúcimi letami, kým zimy boli mierne, teplé a krátke. Grónsko a Island boli zelené a dnes tak drsné, veterné a chladné východné pobrežie Newfoundlandu nazvali Vikingovia Vinlandom – krajinou vína. Roku 1306 prišla prvá krutá zima po 300 rokoch. Nastalo obdobie chladu a dažďov. Letá boli chladné, sychravé a krátke (sneh odchádzal z polí neraz až koncom mája a koncom septembra znovu pokrýval celú krajinu), obilie nedozrelo a zhnulo na koreni. Otepľovať sa začalo až koncom 15. storočia. Európa si vydýchla. Po „malej dobe ľadovej“ v 17. storočí nastúpilo v 19. storočí nové otepľovanie, ktoré pretrváva dodnes.

Úloha CO_2 v procese globálneho otepľovania

Najdôležitejším faktorom, ovplyvňujúcim geochemický uhlíkový cyklus je kolobeh oxidu uhličitého v prírode, nazývaný aj „pumpa CO_2 “. Je to proces, pri ktorom sa CO_2 , uvoľnený z vulkanických plynov do ovzdušia, rozpúšťa v dažďovej a v morskej vode, je organizmami využívaný k tvorbe organických tiel, hlavne uhlíkatých sacharidov, ktoré klesajú na morské dno a hromadia sa v podobe vápenca (Harry N. A. Priem 2000):



Pri subdukcii dosiek zemskej kôry dochádza k roztraveniu subdukovanej platne a z jej hornín sa opätovne uvoľňuje CO_2 , ktorý si následne hľadá cestu na zemský povrch v podobe vulkanických plynov. Skleníkový efekt je riadený predovšetkým prostredníctvom CO_2 a



Mars

to reakciou medzi morom a atmosférou, ktorej napomáhajú fotosyntetizujúce mikroorganizmy, predovšetkým zo skupiny jednobunkových rias (*Emiliania huxleyi*). Teplota povrchu mora je vo vrstve niekoľkých desiatich milimetrov výrazne ochladená voči povrchovým vrstvám vodnej masy a to až o 0,1 až 0,2 °C. Keďže CO₂ sa lepšie rozpúšťa v chladnej vode, je táto tenká hraničná vrstvička medzi hydrosférou a atmosférou mimoriadne dôležitá pre reguláciu jeho obsahu v morskej vode i v ovzduší. Do zemskej atmosféry unikajú 3 miliardy ton uhlíka v podobe CO₂ ročne. Pochádza hlavne zo spaľovania fosílnych palív, a porušuje tak čiastočne rovnováhu uhlíkového cyklu. Existujú obavy, že môže spôsobiť výrazné otepľovanie planéty a mať negatívny dopad na zmeny v zložení atmosféry, na jej cirkuláciu, lesy, rastlinný kryt planéty, zásoby pitnej vody, poľnohospodársku produkciu, zdravie ľudí, biodiverzitu flóry a fauny a na výšku hladiny oceánov. Koncentrácia CO₂ v atmosfére pred priemyselnou revolúciou odhadujú Stephen D. Killops a Vanessa J. Killops na približne 290 ppm (0,029 %) a pred neolitom, kedy došlo k prvku závažnejšiemu zásahu človeka do rovnováhy uhlíkového cyklu v prírode, asi nepresiahla 260 ppm. V súčasnosti obsahuje atmosféra 385 ppm CO₂ a jeho ročný prírastok predstavuje 1 - 5 ppm, z čoho asi 80 % pochádza zo spaľovania fosílnych palív. Polovicu produkcie CO₂ absorbujú vody oceánu.

Nemožno jednoznačne odhadnúť všetky prejavy skleníkového efektu. Podľa všeobecne akceptovaného predpokladu by mal viesť k výraznému globálnemu otepleniu. Vznik glaciálnych podmienok v ordoviku napriek mimoriadne vysokému obsahu CO₂ v ovzduší však ukazuje, že mechanizmus regulácie teplotného režimu atmosféry Zeme je mimoriadne zložitý. Štúdium paleoklimatických pomerov Zeme za obdobie ostatného pol milióna rokov síce potvrdilo, že zvyšujúci sa obsah CO₂ v atmosfére výrazne koreluje so zvýšenou globálnou teplotou Zeme (obr. 5, pozri prílohu, s. 5), avšak neskor-

ší detailný výskum, ktorý realizovali v rokoch 2000 až 2004 napríklad Ján Veizer a Tim Patterson, ukázal, že často najprv dochádzalo k zvyšovaniu globálnej teploty a až následne s asi 800- až 1 000-ročným oneskorením začal stúpať obsah CO₂. Zvyšovanie obsahov CO₂ v ovzduší mohlo teda byť v geologickej minulosti dôsledkom zvyšovania teploty, a nie naopak.

Tim Patterson upozorňuje, že je ťažké vysvetliť rast globálnej teploty pred rokom 1940 ako dôsledok pôsobenia skleníkového efektu CO₂, pretože 80 % antropickej produkcie CO₂ sa viaže až na časový interval po druhej svetovej vojne a rovnako problematické je aj interpretovať 30 rokov trvajúce „ochladenie“ v tomto povojnovom období, počas ktorého dochádzalo k dramatickému narástaniu obsahov CO₂ v atmosfére.

Je súčasný nárast globálnej teploty bezprecedentný? Ak si uvedomíme, že napríklad pred približne 12 tisíc rokmi bol zistený v rozmedzí jediného desaťročia nárast globálnej teploty o 8 °C, súčasne zaznamenané oteplenie o 0,7 °C v priebehu minulého storočia sa nezdá byť nijako výnimočným. Ani topenie polárnych ľadovcov, a tým spôsobené stúpanie morskej hladiny, nie je ničím neobvyklým. Výška hladiny morí sa neustále mení. V histórii Zeme boli obdobia, kedy bola o 200 m nižšie i o 60 m vyššie ako dnes. Od poslednej doby ľadovej morská hladina plynuje stúpa a celkovo sa zdvihla o 120 metrov, približne o 18 cm za storočie.

Úloha organizmov a rastlinstva v procese klimatických zmien

Ak chceme komplexne zvážiť vplyv CO₂ na klimatické zmeny, je potrebné zastaviť sa aj pri úlohe organizmov a rastlinstva, pretože rastlinstvo významným spôsobom zasahuje do cyklu CO₂. Napríklad jednobunkové riasy odbúrávajú zvýšené množstvá CO₂ z atmosféry, z ktorej spočiatku čerpajú ľahký a reaktívnejší biogénny izotop uhlíka ¹²C a po vyčerpaní tohto zdroja začínajú spotrebúvať aj ťažší izotop uhlíka ¹³C. Rastliny zas viažu CO₂ z ovzdušia, aby získali uhlík, potrebný k stavbe svojich pletív. Na jednu molekulu CO₂ je potrebných tisíc molekúl vody, takže rastlina je schopná absorbovať z ovzdušia len také množstvo CO₂, koľko má k dispozícii vody na vyparovanie. Ak sa pokles obsahu CO₂ v atmosfére skombinuje s rýchlym rozvojom rastlinstva a so znížením prísunu slnečnej energie v rámci Milankovičových orbitálnych cyklov precesie zemskej osi, môže dôjsť k značnému poklesu globálnej teploty zemskeho povrchu a v sedimentoch hlbokomorských paniev ku vzniku hydrátov metánu, ktoré sú schopné na seba naviazať zbytky CO₂ z atmosféry, a tak ešte prehĺbiť proces ochladzovania.

Najväčší dopad na charakter zloženia ovzdušia

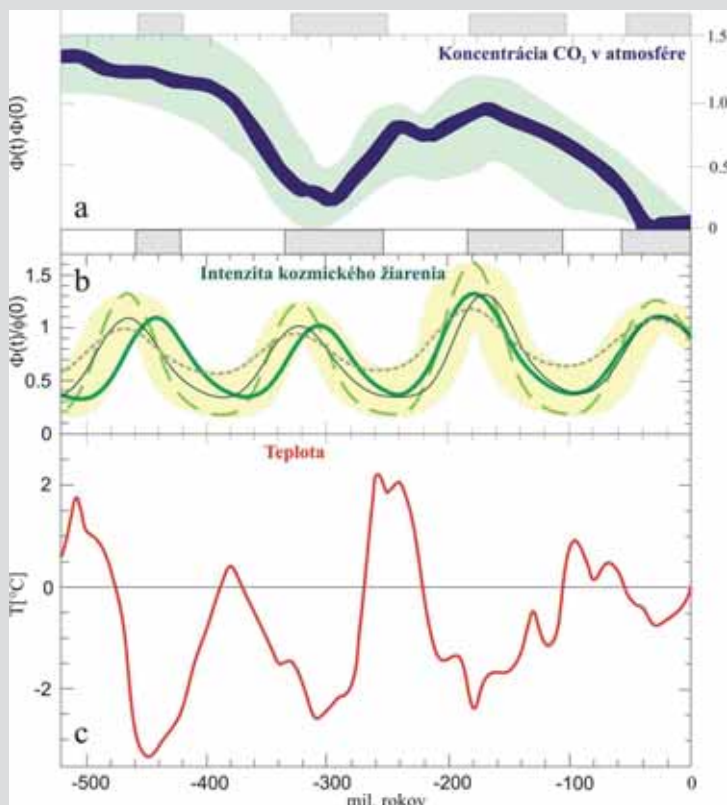
mali bochníkovité kolónie cyanobaktérií - siníc, žijúcich na morskom pobreží. Predpokladá sa, že prvé baktérie sa podobali dnešným archeobaktériám, ktoré dokážu prežiť aj v extrémnych podmienkach. Pre svoj metabolizmus spotrebúvali CO₂, H₂ a H₂S a produkovali CH₄. Za najstaršie horniny, v ktorých sa našli štruktúry pripomínajúce bunky, sa považujú nálezy stromatolitov zo severozápadného Grónska z ostrova Akilia, ktoré opísal Moyssis. Sú staré 3,85 mld. rokov. Všeobecne akceptované, hodnoverné dôkazy existencie živých organizmov, však boli opísané až v Schopfových prácach z roku 1993 v horninách starých 3,465 mld. rokov, nájdených v rohovcoch formácie Apex v západnej Austrálii. Už pred 3,5 mld. rokov začali pomocou fotosyntézy od základu meniť archaickú atmosféru – vyprodukovali voľný kyslík.

Úloha kozmického žiarenia a intenzity slnečného žiarenia

Ján Veizer a Nir J. Shaviv opísali roku 2000 vplyv slnečného žiarenia a kozmickej rádiácie na klimatické zmeny. Kozmická rádiácia predstavuje prúd neutrónov a protónov, ktoré periodicky vznikajú pri výbuchoch supernov a bombardujú solárny systém. Zistil existenciu pozitívnej korelácie na jednej strane medzi slnečným cyklom a teplotou (obr. 6, pozri prílohu s. 5). Významná korelácia sa potvrdila aj medzi kozmickou rádiáciou, ktorá funguje ako „zosilňovač“, nízkou oblačnosťou a teplotnými klimatickými zmenami (obr. 7, pozri prílohu s. 6). Táto korelácia je výrazne jednoznačnejšia ako korelácia medzi obsahom CO₂ a teplotou (obr. 6).

Ján Veizer a Tim Patterson zistili, že chladné éry v histórii Zeme odpovedajú obdobiám, počas ktorých Zem prechádza špirálami galaxie. Keďže väčšina supernov vybuchuje práve v ramenách galaxie, práve tu je najintenzívnejšie reliktne žiarenie protónov a neutrónov, ktoré ovplyvňuje aj klimatické pomery Zeme (obr. 8). Kozmické lúče narážajúce na zemskú atmosféru ionizujú jej molekuly, s ktorými sa zrážajú a podnecujú tak formovanie nízkej oblačnosti. Výsledkom je intenzívne ochladenie. Obr. 8 ukazuje, že medzi obsahom CO₂ a teplotou v priebehu ostatných 500 mil. rokov nie je žiadna výraznejšia korelácia.

Roku 2000 publikoval Ilja G. Usoskin spolu so svojím tímom z Max Planck Institut für Sonnensystemforschung (Katlenburg-Lindau, Nemecko) a Sami K. Solanki kľúčovú prácu o výrazne zvýšenej aktivite slnečného žiarenia, najvyššej za obdobie ostatných 8 000 rokov. Robert Roy Britt publikoval roku 2002 údaje o tom, že povrch planéty Pluto sa za ostatných 14 rokov ohrial o 2 °C. Podobnú udalosť zaznamenali aj Paul Joseph Watson a Sara Goudarzi. Vlni informovali o vzniku troch nových búrok v blízkosti červenej škvrny na Jupiteri, čo možno vysvetliť len prísunom (zrejme slnečnej) energie. Najzaujímavejšie sú pravdepodobne výsledky pracovníkov NASA, ktoré získali v rokoch 2000 až 2006 v rámci projektu *Mars Exploration Program*, ktorého vedúcim bol Michael Meyer. Výsledky práce zverejnili Michael Malin a celý rad ďalších vedec-kých pracovníkov, napríklad James M. Taylor roku 2005. Zaznamenali výrazné prejavy „globálneho otepľovania“ aj na Marse. Na stenách impaktných kráterov objavili početné vodné kanály a nakoniec, roku 2003, v oblasti Terra Sirenum a Centauri Montes na južnej pologuli Marsu aj vodu v tekutom stave. Zdá sa teda, že známky globálneho otepľovania, ktoré sú dôsledkom zvýšenej slnečnej aktivity, možno rozpoznať v celej Slnečnej sústave. Podľa odhadu vedcov môže tento fenomén predstavovať až 30 % dôvodov v súčasnosti diskutovaného otepľovania Zeme.



Obr. 8: Korelácia intenzity žiarenia a teploty pri prechode Zeme ramenami galaktickej špirály každých cca 147 mil. rokov (Shaviv a Veizer 2003)

Fenómén ľadových dôb

Pravidelne sa striedajú ľadové doby a interglaciály oprávňujú k zamysleniu aj nad mechanizmom, ktorý toto striedanie klimatických pomerov spôsobuje. Mohlo by práve očakávané globálne oteplenie túto viac než milión rokov sa prejavujúcu periodickú závislosť zvrátiť? K tomu, aby sme pochopili príčiny týchto zmien, významnou mierou prispel srbský vedec Milutin Milankovič, ktorý začiatkom 20. storočia venoval 30 rokov štúdiu zmien, ku ktorým dochádza v dôsledku zmeny sklonu zemskej osi. Zistil, že os Zeme nie je celkom stabilne orientovaná, ale opisuje počas svojho obehu okolo Slnka eliptický útvar (precesia zemskej osi). V dôsledku tejto zmeny dochádza k zmenám v intenzite, ktorou dopadá slnečné žiarenie hlavne na polárne oblasti, ktorých klimatické pomery zohrávajú významnú úlohu v tvorbe klimatických pomerov celej Zeme. Jeden takýto cyklus približne odpovedá jednému glaciálnemu cyklu.

Podľa úvah viacerých paleoklimatológov, napríklad Wallace Broecker, Jozefa Michalíka, alebo Václava Číleka a iných, by globálne oteplenie v dôsledku skleníkového efektu mohlo eliminovať potrebné teplotné a hustotné gradienty oceánskej vody, spôsobujúce jej prúdenie. Rozdiel medzi priemernou teplotou na rovníku a na pólach prispieva k vzniku silného atmosférického i oceánskeho prúdenia. Vody Gólfského prúdu sa v okolí ostrova Islandu ochladzujú z 12 – 13 °C na 2 – 3 °C, ich hustota sa zvyšuje, a klesajú do väčších hĺbok. K zvyšovaniu hustoty a salinity vody Gólfského prúdu prispieva aj intenzívnejšie vyparovanie tohto teplého prúdu. V hĺbke sa prúd vody stáča opačným smerom – na juh, čo spolu so zmenami salinity pôsobí ako motor systému morských prúdov. Keby teda v dôsledku skleníkového efektu a globálneho otepľovania došlo k roztápaniu grónskych ľadovcov, ľadovcová voda by zriedila hustú vodu Gólfského prúdu a ten by prestal ohrievať klímu britských ostrovov, západnej Európy a východnej Kanady. Degradácia Gólfského prúdu by potom mohla spôsobiť zaľadenie severného Atlantiku a vznik novej doby ľadovej. V dôsledku ochladenia by sa po nejakom čase roztápanie ľadovcov zastavilo a Gólfský prúd by sa postupne vrátil ku svojmu súčasnému režimu. Tento proces bol podľa Wallace Broeckera najpravdepodobnejším dôvodom striedania glaciálov a interglaciálov.

Ešte väčší význam má pre teplotnú reguláciu Zeme *hlboký slaný prúd*, ktorý predstavuje najväčší systém globálnej cirkulácie. Jeho oslabenie by malo mimoriadne dôsledky pre klímu celej planéty. V rovníkovej oblasti kumuluje teplotu i salinitu, a keď v severnej časti Atlantického oceánu medzi Hebridami a Islandom vystupuje z hĺbky 800 m, má stále teplotu 10° C. Rýchle sa ochladzuje na 2° C a stáča sa na juhozápad k Labradorskému polostrovu. Tam sa opäť ponára, tečie na juh, pod Mysom dobrej nádeje sa stáča k východu, obteká z juhu Austrálie a odtiaľ pokračuje k západnému pobrežiu Mexika. Zdá sa, že *hlboký slaný prúd* počas ľadových dôb zaniká, nezahrieva severnú Európu, v ktorej dochádza k hromadeniu snehu a rastu kontinentálnych ľadovcov. Práve „*hlboký slaný prúd*“ je podľa Eda Bolyho pravdepodobne najzraniteľnejším článkom reťaze globálnych zmien. Súčasné merania britských oceánológov z National Oceanographic Centre v Southamptone Harryho Brydena, Hannah Longworth a Stuarta Cunninghama publikované roku 2006 v časopise Nature ukázali, že v rozmedzí rokov 1957 až 2004 poklesla výkonnosť systému o približne 30 %. Tým sa výrazne oslabuje účinok severoatlantického výmenníka a v priebehu niekoľkých desaťročí môže byť dôsledkom

pokles teploty regionálne až o 10 °C. Toto zistenie spochybňuje vedecké úvahy o posune zemskej klímy ku globálnemu otepleniu, pretože takéto výrazné spomalenie prúdenia vôd v Atlantickom oceáne by mohlo naštartovať novú dobu ľadovú. Na základe extrapolácie zákonitostí geologického vývoja možno podľa lana C. Campbella, Celiny Campbell, Michaela J. Appsa, Nathanaela W. Ruttera a Andrewa B. G.

Busha predpokladať, že bez vplyvu človeka by prirodzené otepľovanie mohlo pokračovať do roku 2400, a potom možno očakávať náhle ochladenie.

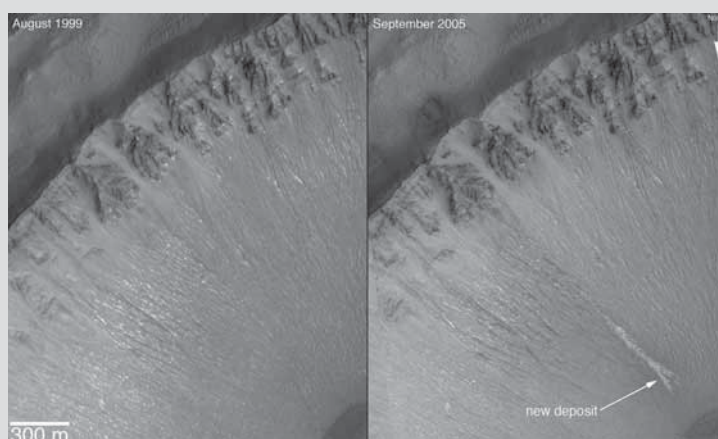
Považovať CO₂ za „*znečistenie ovzdušia*“ je nesprávne. CO₂ tvorí prirodzenú súčasť atmosféry a jeho obsah v geologickej i historickej minulosti Zeme enormne kolísal. Nemožno stanoviť žiadne „normálne“ rozpätie hodnôt CO₂.

Existujú zaručené prognózy vývoja klimatických zmien?

Názor, že sa súčasné ľudstvo sa nachádza v období mimoriadnych, v histórii Zeme a ľudstva výnimočných klimatických zmien, neodpovedá skutočnosti. Zem a dokonca aj ľudstvo bolo vo svojej histórii viackrát vystavené výrazným klimatickým zmenám, ktoré svojou rýchlosťou i výraznosťou ďaleko prevyšujú hrozby, ktoré vyplývajú z odhadov tých vedcov, ktorí na základe rôznych modelov predpokladajú možné dopady globálneho otepľovania. Napriek tomu, že význam CO₂ ako skleníkového plynu nemožno spochybniť, najnovšie výskumy v oblasti paleoklimatológie čiastočne prehodnotili priamočiaru závislosť medzi jeho obsahom v atmosfére a globálnym otepľovaním. Veria, že koncentrácia atmosférického CO₂ poukazuje skôr na príznaky ako príčiny zmeny klímy.

Medzi príčinami globálnych klimatických zmien sa uvádzajú aj zmeny v intenzite slnečného žiarenia. Hoci ešte v nedávnej minulosti väčšina vedcov predpokladala, že výkyvy v solárnej emisivite nemohli byť natoľko podstatné, aby sa stali dôvodom pre zaľadenie planéty, dnes sa mnohí z nich (napr. Geoffrey Lean, Ján Veizer a iní) prikláňajú k názoru, že väčšinu teplotných zmien na Zemi je potrebné pripisovať kolísaniu intenzity slnečného a kozmického žiarenia, ktoré pôsobí ako iniciátor mechanizmov, vedúcich ku klimatickým zmenám. Keďže, ako sa zdá, ku globálnemu otepľovaniu dochádza aj na Marse, Plute a ďalších planétach Slnečnej sústavy, je málo pravdepodobné, že by hlavným činiteľom tohto procesu mohli byť antropické aktivity.

Vývoj klimatických pomerov je bezpochyby intímne prepojený nielen s Milankovičovými cyklami, ale aj s globálnou cirkuláciou morskej vody. Dôsledkom radikálneho globálneho otepľovania by polárna voda v subpolárnej oblasti Atlantiku mohla byť v dôsledku zvyšovania zrážkovej činnosti a roztápania ľadovcov v Grónsku stále viac sytená sladkou vodou. Tým by sa menila jej hustota, čo by malo výrazný vplyv na dynamiku oceánskeho prúdenia. Nemožno podceňovať ani fenomén periodicky sa opakujúcich chladných a teplých klimatických obdo-



Výrony vody na povrchu Marsu, ktoré zaznamenala kamera sondy NASA Mars Global Surveyor roku 2000

bí vo vývoji Zeme. Mechanizmus, ktorý ich spôsobuje, disponuje pravdepodobne omnoho závažnejšími faktormi ako je antropické znečistenie atmosféry CO₂ a inými plynmi. Keby sa to potvrdilo, potom ani zníženie emisií CO₂ nemusí viesť k želanému výsledku a ľudstvo bude azda čoskoro musieť čeliť globálnym klimatickým zmenám závažného charakteru.

Početné javy naznačujú, že naša Zem pravdepodobne prekonáva štádium globálnych klimatických zmien. Bez podceňovania alarmujúcich faktorov, ktoré poukazujú na znepokojujúci stav podnebia a trestuhodné znečisťovanie ovzdušia si treba uvedomiť, že klimatické zmeny nie sú vo vývoji Zeme ničím výnimočným. Paleoklimatické údaje naznačujú, že v geologickej minulosti nebol proces ochladzovania a otepľovania zemskeho ovzdušia riadený výlučne premenlivým obsahom CO₂ a ďalších skleníkových plynov v atmosfére, čo nás pri našich prognózach nabáda k zvýšenej opatrnosti a k potrebe zohľadňovať omnoho viac faktorov než sme dosiaľ považovali za dosťujúce.

Záver

Jedným zo základných problémov chápania globálnych zmien sa zdá byť skutočnosť, že ľudstvo nevníma Zem ako živú planétu, podliehajúcu neustálým zmenám. Zem je živá planéta. Pravdepodobne prekonáva štádium globálnych klimatických zmien. Takéto zmeny boli v geologickej minulosti neustálym prirodzeným fenoménom. Nespôsobovali ich len zmeny koncentrácií CO₂ a ďalších skleníkových plynov v atmosfére. Boli prepojené s globálnou cirkuláciou morskej vody, obsahom pevných disperzných častíc v atmosfére, biologickými aktivitami flóry a fauny a početnými ďalšími faktormi. Aj mechanizmus, ktorý spôsobuje periodické opakovanie sa ľadových dôb, disponuje pravdepodobne omnoho závažnejšími faktormi ako je antropické znečistenie atmosféry. Podľa najnovších zistení zohrávajú významnú, ba pravdepodobne kľúčovú, úlohu predovšetkým zmeny v intenzite slnečného a kozmického žiarenia. Alarmujúcim výsledkom paleoklimatických výskumov je zistenie, že ku klimatickým zmenám dochádza spravidla náhle. Takéto zmeny potom majú katastrofálne dôsledky na živé organizmy, teda aj na civilizáciu. Podmienenosť pozorovaných súčasných zmien antropickou činnosťou je otázna. Ľudstvo by malo akceptovať existenciu klimatických zmien ako nevyhnutnosť. Zníženie emisií CO₂ nemusí viesť k želanému výsledku.

doc. RNDr. Peter L. András, CSc.
Geologický ústav SAV Banská Bystrica
Ilustračné foto: www.nasa.gov