

# ROZVOJ TRVALE NEUDRŽITELNÝ

## NON-SUSTAINABLE DEVELOPMENT

### Oceány – změny a důsledky

#### Oceans – changes and consequences

Lubomír Nátr

**Oceans cover some 3 quarters of the Earth's surface and play an important role in water and mineral element cycling as well as in the global climate change. The main consequences of the recent temperature increase include sea level rise due to both glacier melting and volume expansion. The role of oceans in absorbing considerable part of the CO<sub>2</sub> from the atmosphere is also important. Huge amounts of methane hydrates recently found on the seabed could contribute to the energy supply but also to an abrupt atmospheric increase in the concentration of the green house gases. Paradoxically, the potential melting of the Greenland ice sheet could reduce the import of warm waters in the Gulf stream to such an extent, that the European north-west coast could experience considerable decrease in its temperature.**

Při čtení některých příspěvků této série si může čtenář nepochybně pomyslet, že jejich obsah nemá s rámcovým tématem – rozvojem trvale neudržitelným – mnoho společného. Ale ta trvalost nebo dočasnost nejen rozvoje, ale i samotné existence lidských společností na Zemi je podmíněna řadou okolností. Jejich změnami se vyvolávají další změny – někdy předvídatelné, jindy zcela netušené, mnohdy naprosto neznámé. A svými příspěvky bych rád pomohl každému čtenáři kvalifikovaněji se orientovat v tom, co přírodě a dlouhodobě i člověku prospívá nebo naopak předstává jen krátkodobý ziskový zájem skupiny lidí s následným negativním dopadem. Proto jsem považoval za potřebné alespoň nastínit mnohé souvislosti, jejichž výsledkem je více nebo naopak méně potravin, více nebo méně vody či surovin, lepší či zhoršující se život v místním i celoplanetovém rozsahu. V tomto kontextu jsem zvolil i téma tohoto příspěvku. Jsme sice vnitrozemský stát, ale nežijeme mimo tuto planetu, jejíž skoro tři čtvrtiny povrchu tvoří vodní hladiny.

Oceány – to je hladina doslova nekonečná s hloubkami neskutečně obrovskými, v nichž by se skryla i nevyšší hora planety – Mont Everest se svými více než 8800 metry. Vždyť největší známá hloubka podmořského příkopu, Mariánského, přesahuje 11 000 metrů! Slané vody pokrývají téměř tři čtvrtiny povrchu Země. Kdyby se rovnoměrně rozlily po povrchu celé naší planety, tak by vytvořily globální moře o hloubce 2718 m (viz také *tab. 1*).

A ještě jeden údaj, který má bezprostřední návaznost na klima planety. Ze školy víme, že na ohřátí 1 ml vody je třeba dodat teplo odpovídající 4,187 J (dříve 1 kalorie). A srovnáme se vzduchem. Zvýšení teploty 1 ml vzduchu o 1 °C vyžaduje 0,001212 J, tedy asi

4000krát méně. Vzhledem k tomu, že stejný objem vody vyžaduje na ohřátí o 1 °C přibližně 4000krát více tepla (energie) než vzduch, obdobně platí, že zemská atmosféra zvýší svou teplotu o 1 °C již při dodání tepla (energie) minimálně 4000krát menším.

Zemská atmosféra a tedy i její přízemní vrstva, v níž žijeme, je na změny energetické bilance celé planety mnohem citlivější, než oceány. Ale také: při jakémkoliv vychýlení teploty atmosféry stačí velmi malé změny energetické bilance ve velmi krátké době vrátit teplotu vzduchu na původní hodnoty. Naproti tomu zvýšení teploty vod v oceánech se může zvrátit v její opětovný pokles za dobu mnohem delší: důvodem je nejen jejich vysoká tepelná kapacita, ale také skutečnost, že vyrovnávání teplot v jednotlivých plošných i hloubkových lokalitách trvá podstatně déle než ve vzduchu.

#### Paradox: oteplování Země a ochlazení severozápadní Evropy?

Vody oceánů nemají stejnou teplotu. Nejteplejší jsou v oblastech rovníkových, zatímco mnohem chladnější pak v oblastech blíže k oběma pólům. Stejně tak existuje významný gradient směrem do oceánských hlubin. Tyto rozdíly jsou podstatou nesmírně důležitých vlastností oceánských vod – totiž rozvádění tepla povrchovými i hlubinnými oceánskými proudy. V Evropě je nejznámější Golfský proud ohřívající významnou část severozápadní Evropy. Tento proud přispívá k neobvyklému rozdílu průměrné roční teploty téměř o 15 °C mezi teplým pobřežím v západní Evropě a chladným východním pobřežím Kanady ležícím na srovnatelném stupni severní zemědělské šířky.

Postupem do severních oblastí se voda ochlazuje, a tím zvyšuje svou hustotu (pro při-

pomenutí: voda má největší hustotu při teplotách kolem 4 °C). Kromě toho je obsah solí v subpolárních oblastech Atlantického oceánu mimořádně vysoký, což také přispívá ke zvýšení hustoty přicházejících a ochlazovacích vod. Zvýšená hustota povrchových vod v oblastech mezi Grónskem a Norskem pak způsobuje jejich pokles do mořských hlubin a postupný návrat do tropických oblastí. Tím se stává součástí globálních hlubinných cirkulací, které jsou označovány jako termohalinní, protože se na jejich pohybu podílí jak rozdílná teplota, tak i obsah solí (hustota).

Pokud však bude pokračovat oteplování atmosféry Země a urychlí se tání ledovců v Grónsku a Arktidě, tak se do oceánu dostane velké množství sladké vody. Tato voda by mohla zředit původní vody Golfského proudu a snížit jejich hustotu. Tím by se narušila část hnacích sil globálních proudů v oceánech. Jedním z důsledků by mohlo být i zastavení přísunu tepla do západní Evropy Golfským proudem! Takovou možnost už naznačilo i měření rychlosti mořského proudu, jehož součástí je právě i Golfský proud. Bryden et al. (2005) zjistili, že za posledních 50 let došlo ke zpomalení toku teplejších vod oceánů z rovníkových do polárních oblastí severní polokoule o 30 %.

Zatím se trend naznačující ochlazení na pobřeží severozápadní Evropy v důsledku poklesu rychlosti Golfského proudu neprojevil. Přesto je tento fenomén významný ze dvou důvodů:

- (1) I při pokračujícím oteplování planety může dojít k lokálnímu ochlazení.
- (2) Je to další doklad doslova nepředstavitelně složitých důsledků lidských aktivit.

Je potřeba připomenout také rozdíl výparu a srážek na povrchu Země (*obr. 1*). Srážky spadající do oceánů jsou menší, než odpovídá množství vody vypařené z jejich povrchů. Mraky totiž odvádějí část vodních par nad pevniny, takže zde zase srážky jsou celkově větší, než odpovídá výparu z povrchu pevnin, jejichž významnou složkou je transpirace, tedy výdej vodní páry rostlinami. Srážky a výpar jsou tak intenzivní, že se veškerá atmosférická voda vymění asi 40krát ročně. Jejich význam připomínám zejména z následujících důvodů:

- (1) Při výparu se spotřebuje velké množství tepla, které se zase uvolní při kondenzaci vodní páry. Přenosem částí mraků nad

Tab. 1 Hlavní složky veškeré vody na Zemi (údaje převzaty z Fabiana, 2002)

Složka hydrosféry	Objem (km <sup>3</sup> )	Podíl (%)
Oceány	1 338 000 000	96,540
Sladká voda (ve všech formách uvedených níže)	35 029 210	3,460
Led a sníh	24 364 100	1,760
Spodní voda	23 400 000	1,690
Povrchové vody	189 990	0,013
V atmosféře (kapky i pára)	12 900	0,001
<b>Celkem</b>	<b>1 385 984 610</b>	<b>100,000</b>

pevniny se tak přenáší i velké množství tepla.

- (2) Výparem se ze slaných vod oceánů uvolňuje čistá voda, která přispívá k zásobování pevnin.

### Zvyšování hladiny oceánů

Mezi velmi často uváděné důsledky současného oteplování povrchu Země patří také zvyšování hladiny světových oceánů. Z tab. 1 je patrné, že nemalé množství vody se vyskytuje ve formě ledu a sněhu. Z jednoduchého výpočtu vyplývá, že roztátí veškerého pevninského sněhu a ledu by výrazně zvýšilo současnou hladinu oceánů, které mají rozlohu 361 milionů čtverečních kilometrů. To by ovšem zvýšení teploty muselo být mnohem větší, než odpovídá současným předpovědím. Přesto i dnes je patrné zvyšování hladiny světových oceánů, a to zejména ze dvou příčin:

- (1) Se zvyšováním teploty vody se její objem zvětšuje. Zvýšení ze 4 °C o jediný stupeň zvětší objem stejného množství vody o 5 tisíc procenta. Není to mnoho. Ale při přepočtu na veškerou mořskou vodu by to znamenalo zvýšení hladiny stávajících oceánů o 1,8 m.
- (2) Tání pevninských ledovců, které jsou zastoupeny především ledovci v Grónsku a v Antarktidě. Uvádí se, že jejich úplné roztátí by zvýšilo výšku hladin oceánů o plných 70 m.

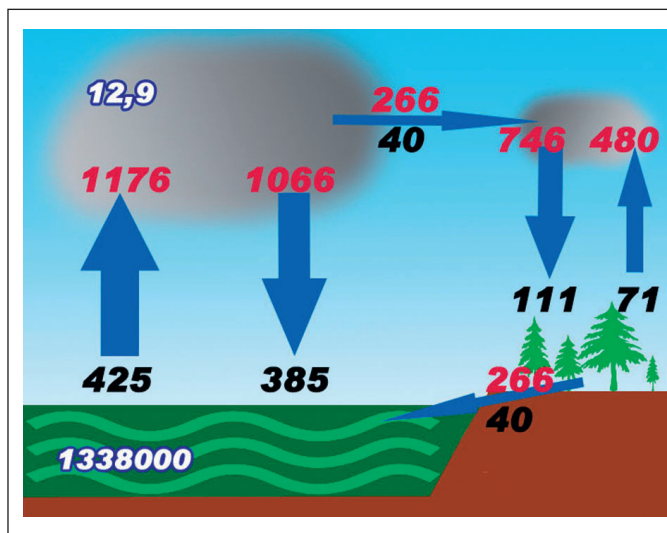
V minulém století však roční zvyšování hladin oceánů dosahovalo 1 až 2 milimetry (www.ipcc.ch). Pokračování tohoto trendu se projevuje především na mnoha ostrovech a příbřežních oblastech. Nejčastěji se připomíná Bangladéš, kde mohou být i několikacentimetrovým zvýšením mořské hladiny ohroženy oblasti až s dvaceti milióny obyvatel. Obdobně však existují studie hodnotící vliv decimetrového až metrového zvýšení mořské hladiny na přímořské oblasti Spojených států, Velké Británie a dalších.

### Oceány a atmosférická koncentrace CO<sub>2</sub>

Obrovské masy oceánů uchovávají přes 90 % veškerého uhlíku naší planety. A je snadně otázkou: mohou klimatické změny zvýšit pohlcování CO<sub>2</sub>, nebo naopak je reálné riziko, že část nahromaděného C by se mohla uvolnit do atmosféry ve formě CO<sub>2</sub>?

Je známo, že významná část CO<sub>2</sub> produkováného lidskými aktivitami je pohlcena vodami oceánů. Velká plocha povrchu vod na Zemi usnadňuje rozpouštění CO<sub>2</sub>, který pak je většinou pohlcen řasami a dalšími mikroorganismy a zabudován do organické biomasy. Její další osud je mnohotvárný: prodýcháním nebo rozkladem biomasy se může znovu uvolnit jako CO<sub>2</sub>. Část biomasy však může klesnout ke dnu do velkých hloubek a zde se uchovat po staletí.

Ani ve vztahu k pohlcování atmosférického CO<sub>2</sub> nelze oceány považovat za systém, který se na celé planetě chová stejně. Je známo, že rozpustnost plynů ve vodě se obecně zvyšuje se snížením její teploty. Proto také se předpokládá, že více než polovina absorpce z celkového množství CO<sub>2</sub> pohlcovaného oceány probíhá severněji a jižněji od 30. stupně zeměpisné šířky, a to především na jižní polokouli. Naopak v tropických oblastech je z oceánských vod část CO<sub>2</sub> zase uvolňována do vzduchu. A na většině ploch oceánů závisí okamžitá bilance pohlcování a uvolňování na řadě faktorů



Obr. 1. Schematické znázornění koloběhu vody na Zemi. Čísla nad šipkami udávají množství ročních srážek (milimetry). Čísla pod šipkami udávají objem vody v tisících kubických kilometrech. Bílá čísla pak udávají objem (tisíce krychlových kilometrů) vody v oceánech a atmosféře. Upraveno podle Fabiana (2002).

včetně teploty, obsahu solí, atmosférického tlaku atd.

Nemůžeme tedy považovat oceány za bezpečné úložiště CO<sub>2</sub> v tom smyslu, že jakmile se jednou tento plyn v jejich vodách rozpustí, tak máme po starosti. Navíc zde přistupuje interakce s živými mořskými organismy: stále větší rozpouštění CO<sub>2</sub> vede k postupnému okyselování mořské vody. A to by mohlo vést k drastickým změnám ve složení především mořského planktonu, a následně zase k nezdolným změnám v další schopnosti oceánů CO<sub>2</sub> vůbec pohlcovat.

A jako v tolika jiných případech, i zde mnozí vědci varují, že přesnější a podrobnější včlenění nových poznatků o podílu oceánů na globálním cyklu uhlíku do komplexních modelů vývoje klimatu na Zemi vede spíše k posílení pesimistických odhadů. Snížení antropogenních emisí stanovená Kjótským protokolem se jeví jako naprosto nepostačující pro stabilizaci budoucího klimatu na Zemi.

### Methan v hlubinách oceánů

V minulosti převládalo přesvědčení, že život v oceánech je omezen pouze na vrstvu do hloubky několika desítek, místy až stovek metrů. Poslední desetiletí však prokázala velmi bohatou biosféru doslova i na dnech hlubokých oceánů, tedy v oblastech nejen absolutně černých, ale také bez přístupu kyslíku. A v této souvislosti se vynořil další významný aspekt vztahující se ke změnám globálního klimatu, a to obrovské zásoby methanu na dně moří.

Methan patří mezi důležité skleníkové plyny. Jeho koncentrace v atmosféře je sice asi 200krát nižší než CO<sub>2</sub>, ale zato je tento plyn až 20krát účinnější v absorpci dlouhovlnného infračerveného záření. Je tedy velmi „silný“ skleníkový plyn. A ještě připomeneme, že z hlubin Země lidstvo čerpá tento plyn pod názvem zemní plyn. Jeho zásoby jsou větší, než tomu je u ropy. Navíc pro získání určitého množství energie spálením methanu se uvolňuje mnohem méně CO<sub>2</sub> než při adekvátním spalování ropy, nebo dokonce uhlí.

Už delší dobu je známo, že na dně moří jsou obrovské zásoby methanu v poněkud neobvyklé formě označované jako hydráty methanu, nebo nyní častěji klathráty. Tyto se vytvářejí právě v podmínkách enormních tlaků a nízké teploty na dně oceánů. Jsou to krystalické struktury, v nichž je molekula methanu uzavřena jakoby do klece tvořené molekulami

vody. Přitom tyto struktury obsahují velké množství methanu. Z jednotky objemu klathrátu se rozkladem uvolní až 170 objemů methanu. Tento rozklad je v podstatě fyzikální proces závislý jen na teplotě a tlaku, takže nevyžaduje specifické chemické či dokonce biologické mechanismy.

V tom také spočívá jedno z možných rizik: případné zvýšení teploty spodních vod oceánů by mohlo uvolnit obrovská množství methanu, jehož zvýšení koncentrace v atmosféře by takto vyvolalo zcela nepředstavitelné změny skleníkového efektu a globálního klimatu. Zatím ovšem není obdobné zvýšení teploty vod na dně oceánů vůbec pravděpodobné.

Hydráty methanu se často ukládají také na příkrých podmořských svazích vedoucích od pevninských břehů do mořských hlubin. To představuje další riziko: možné seismické otřesy mohou tak narušit struktury sedimentů, že dojde k rozložení klathrátů a uvolnění methanu. Tato představa může být také vyvolána lidskou činností, a to zejména těžbou ropy a zemního plynu v příbřežních oblastech.

Proč je vlastně methan v mořských hlubinách tak významný? Opět dva hlavní důvody:

- (1) Představuje další obrovské zásoby fosilních paliv, které by mohlo lidstvo využít jako zdroj energie.
- (2) Jejich nekontrolované uvolnění by mohlo velmi rychle zesílit skleníkový efekt na Zemi, a tím i její teplotu.

V obou případech představuje tento methan velký zdroj skleníkového plynu – ať již ve své původní podobě, nebo po spálení pak jako CO<sub>2</sub>.

A ještě malý dovětek. V souvislosti s methanem na dně oceánů vědci odhalují doslova převratné poznatky o živých organismech, které v těchto podmínkách žijí. Nejsou to tedy mrtvé temné a studené oblasti, ale i zde našel život svoje formy a způsoby úspěšného přežívání.

### Literatura

- Bryden, H. L., Longworth, H. R., Cunningham, S. A.: Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25° N. *Nature* 438, 2005, 655–657.
- Fabian, P.: *Leben im Treibhaus. Unser Klimasystem – und was wir daraus machen.* Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2002.