



Kodaňská 10, 100 10 Praha 10  
tel.: +420 267 225 232  
fax: +420 271 742 306  
www.cenia.cz

## **Je skleníkový efekt atmosféry hrozbou?**

*Mgr. Jan Mertl*

Klima na Zemi závisí na křehké rovnováze mezi energií, která vstupuje do klimatického systému ve formě krátkovlnného slunečního záření a energií, která ho opouští prostřednictvím dlouhovlnného vyzařování zemského povrchu. Zemská atmosféra propouští většinu příchozí solární radiace avšak dokáže díky svému složení zadržovat a odrážet dlouhovlnné záření emitované zemí a zvyšovat tak teplotu na zemském povrchu. Tato schopnost atmosféry je nazvána skleníkovým efektem, dle analogie s mechanismy fungujícími ve skleníku, a plyny, které tuto funkci atmosféry zajišťují, skleníkovými plyny. Kdyby skleníkový efekt neexistoval, klima na Zemi by bylo pro život neúnosné – výrazně by se zvýšily denní amplitudy teploty (noční teploty by klesaly hluboko pod bod mrazu) a průměrná teplota zemského povrchu by byla asi o 33°C nižší, než je tomu v současnosti. Země by se tak stala zmrzlou planetou bez života.

Výkyvy koncentrací skleníkových plynů doprovázely klimatické změny i v minulosti bez jakéhokoli vlivu člověka. Bylo dokázáno, že během ledových dob v pleistocénu došlo k propadům koncentrací oxidu uhličitého a naopak interglaciály byly charakteristické jejich zvýšením. I když dnes víme, že příčiny ledových dob byly více komplexní ve svých příčinách, ukazuje to na velkou citlivost globálního klimatu na koncentrace skleníkových plynů v atmosféře. Není proto důvod pochybovat, že současné, člověkem způsobené zvyšování obsahu skleníkových plynů v atmosféře klimatický systém ovlivňuje. A tak i když skleníkový efekt atmosféry umožňuje život na Zemi v jeho současné podobě, následky zesilování skleníkového efektu se stávají vážnou hrozbou v globálním měřítku.

Vliv člověka na klimatický systém je možné spatřovat ve dvou rovinách – ve změně charakteru zemského (či přesněji aktivního) povrchu a změnách ve složení atmosféry. Zatímco první mechanismus působení člověka má spíše lokální dopad (např. specifické klima měst díky odlišné radiační a tepelné bilanci umělých povrchů ve městech), následky emise škodlivin do ovzduší jsou vážnou hrozbou pro lidskou civilizaci. Oba mechanismy jsou rovněž vzájemně provázány – kácení lesů, které ustupují městům, komunikacím a zemědělské půdě, vede k snížení propadů oxidu uhličitého a přispívá ke zvyšování koncentrací tohoto

plynu v atmosféře. Člověk se stává jedním z klimatotvorných faktorů v lokálním i globálním měřítku, je ovšem nesmírně obtížné vzhledem k složitosti procesů probíhajících v klimatickém systému míru podílu člověka na variabilitě klimatu (klimatických změnách) kvantifikovat.

Důsledky zesíleného skleníkového efektu není možné chápat jako pouhou změnu teplotní složky klimatu („globální oteplování“), ale jako komplexní klimatickou změnu v důsledku změněného stavu (radiační rovnováhy) klimatického systému. Zesilování skleníkového efektu přináší více energie do klimatického systému. Tato energie ohřívá přízemní atmosféru a stává se hnací silou řady dějů, při kterých se spotřebovává a distribuuje teplo (výpar, turbulence a konvekce). Lze proto předpokládat, že kromě celkového zvyšování teplot vzduchu se klima v budoucnu stane více extrémní (horko, sucho, povodně, velké výkyvy teplot), v některých lokalitách může dojít ke změně režimu a intenzity cirkulace (a s tím spojeného ročního chodu teplot vzduchu a srážek) a častěji se budou vyskytovat rizikové povětrnostní jevy, jako jsou tropické cyklóny, intenzivní srážky, bouře či krupobíjí.

Změněný stav klimatického systému spustí řadu procesů fyzikálního, biologického i chemického původu, tzv. zpětných vazeb, které budou působit jak ve směru potlačení klimatické změny (negativní zpětné vazby) tak i jejího zesílení (pozitivní zpětné vazby). Velkou část zpětných vazeb představují procesy probíhající v oceánu. Postihnout zpětné vazby klimatickými modely je velmi složité, proto je rozmezí modelovaných teplot u většiny modelů široké. Změna teploty způsobená klimatickou změnou nebude rovnoměrná, ale bude se výrazně regionálně lišit. Některé oblasti se oteplí více (obecně mírné a polární pásmo), některé méně (subtropy a tropy), v některých oblastech by dokonce mohlo dojít k ochlazení, které ovšem bude předcházeno oteplením (Evropa – viz závěr příspěvku).

### **Skleníkové plyny**

Dominantním skleníkovým plynem je vodní pára. Pokud by vodní pára byla jediným skleníkovým plynem, pak by skleníkový efekt atmosféry ve středních zeměpisných šířkách představoval 60-70% skleníkového efektu všech radiačně aktivních plynů v atmosféře. Hlavním antropogenně ovlivňovaným skleníkovým plynem je oxid uhličitý, který se podílí na skleníkovém efektu přibližně z 22%. Dalšími skleníkovými plyny je  $N_2O$ ,  $CH_4$  ozon, či freony (halogenované uhlovodíky).

Koncentrace skleníkových plynů jsou v současnosti vysoko nad předindustriální úrovní (koncentrací kolem roku 1750) a stále narůstají. Koncentrace  $CO_2$  vzrostla od roku 1750 o 31% na hodnotu 367 ppm v roce 1999 a jde tak pravděpodobně o nejvyšší hodnotu, které bylo za uplynulých 400 tisíc let dosaženo. Pouhý nárůst emisí během posledních deseti let byl přibližně poloviční ve srovnání s množstvím, které bylo za stejné období spotřebováno při fotosyntéze či absorbováno zemským povrchem a oceány. Podle numerických modelů dlouhodobého vývoje světových emisí  $CO_2$  by bylo ke stabilizaci koncentrací potřeba snížit celkové antropogenní emise o 60-80%.

Koncentrace  $CH_4$  za stejné období vzrostla o 151%. Hlavními zdroji vzrůstu koncentrací metanu jsou (v celosvětovém měřítku) pěstování rýže, živočišná výroba, spalování biomasy, důlní činnost, těžba a doprava plynu a také pokles koncentrací hydroxylových radikálů v atmosféře, které se významnou měrou podílejí na přirozeném úbytku metanu. Množství  $N_2O$  v atmosféře je nyní asi o 17% vyšší než v předindustriální době. Jeho hlavním zdrojem je zemědělská výroba, zejména zvýšené využívání umělých hnojiv s obsahem dusíku a dále spalovací procesy včetně spalování hmot biologického

původu. Fluorované uhlovodíky a fluorid sírový jsou látkami novými, které se kolem roku 1750 nevyskytovaly.

Člověk svoji činností uvolňuje do atmosféry aerosolové částice (např. sulfáty), které sluneční energii rozptylují, odrážejí ji zpět do vesmíru, čímž naopak přispívají k ochlazení atmosféry (snižují množství přichozí energie). Podobným způsobem funguje i stratosférický ozón, jehož koncentrace však v současné době klesají.

Radiační charakteristiky skleníkových plynů a tedy jejich příspěvek k celkovému skleníkovému efektu je měřen pomocí tzv. radiační účinnosti, která udává hodnotu průměrného zářivého toku na plošnou jednotku ( $m^2$ ), kterým plyn přispívá k energetickému zisku zemského povrchu. Radiační účinnost je funkcí relativní účinnosti na 1 molekulu (je nejvyšší u freonů), koncentrace plynu v atmosféře a absorpčních charakteristik (jaké vlnové délky spektra plyn absorbuje). Přehled hlavních charakteristik skleníkových plynů je uveden v tabulce 1. Radiační účinnost  $CO_2$  je odhadována na  $1,46 W/m^2$ , pro metan na  $0,48 W/m^2$ , pro  $N_2O$  na  $0,15 W/m^2$  a pro F-plyny  $0,34 W/m^2$ . Radiační účinky mají i další plyny, aerosoly a látky obsažené v atmosféře (ochlazující vliv), ale také změny využívány krajiny a přírodní vlivy (sluneční či sopečná aktivita).

### Tabulka 1

Vlastnosti skleníkových plynů

Zdroj: ČHMÚ

skleníkový plyn	vzorec	Současné procentuální zastoupení v atmosféře	relativní účinnost na molekulu	Radiační účinnost ( $W/m^2$ )	Doba setrvání v atmosféře (roky)	Nárůst od preindustriálního období (%)	Podíl na zvýšeném skleníkovém efektu	Podíl na přirozeném skleníkovém efektu
vodní pára	$H_2O$	0,2 - 3	1	?	dny až týdny	?	kolem nuly	62%
oxid uhličitý	$CO_2$	0,036	1	1,46	50-200	31%	61%	22%
metan	$CH_4$	0,00018	50	0,48	12	150%	19%	2,5%
oxid dusný	$N_2O$	0,00003	310	0,15	120	17%	6%	4%
troposférický ozón	$O_3$	Proměnlivé, epizodicky vzrůstá	?	0,35	týdny až měsíce	35%	?	7%
stratosférický ozón	$O_3$	proměnlivé		-0,15	týdny až měsíce	spíše úbytek	ochlazující vliv	0
halogenované uhlovodíky	CFC	$3 \cdot 10^{-8}$	asi 5000	0,34	50	veškeré množství v atmosféře	14%	0
	HCFC	$1 \cdot 10^{-8}$	asi 5000		12			0
	$CF_4$	$1 \cdot 10^{-8}$	6500		50 000			0
	HFC	$10^{-10}$	1300					0

### Scénáře změny klimatu

Odezvy klimatického systému na změny koncentrací radiačně aktivních plynů v atmosféře se studují pomocí globálních klimatických modelů (General Circulation Models,

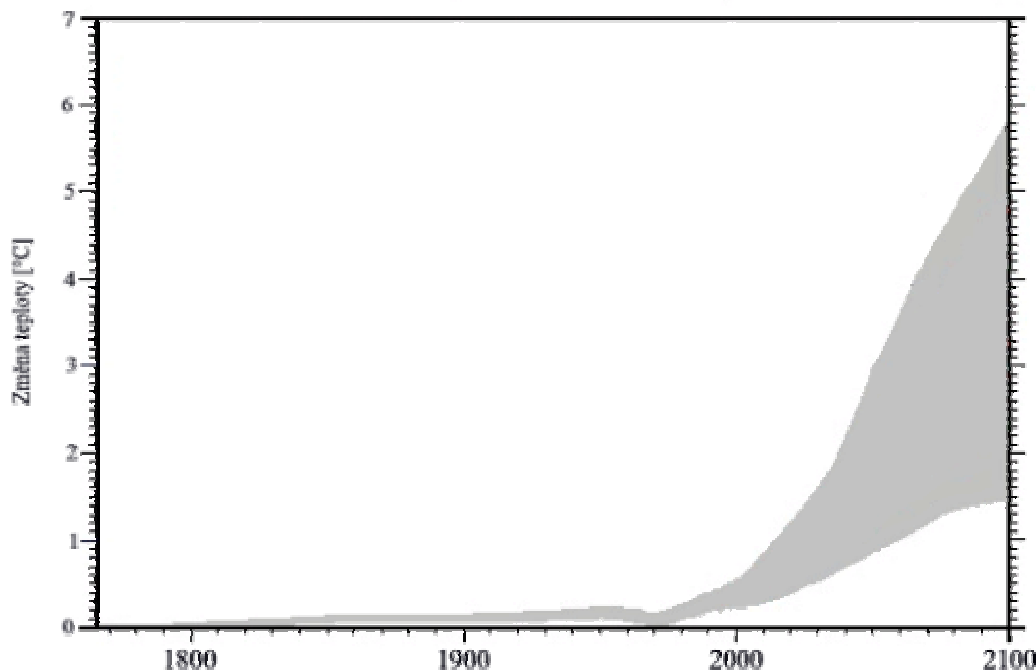
GCM). Modely zahrnují 3 modelové složky – atmosféru, oceán a kryosféru (pevninský a mořský led). Právě propojení s oceánem, který zajišťuje řadu zpětných vazeb, je jeden z nejzávažnějších problémů modelování klimatu. Výsledky globálních modelů mohou být vstupem do regionálních modelů, které upřesňují situaci v určitém regionu (pracují s větším rozlišením). V České republice je vyvíjen regionální model ALADIN-CLIMATE.

Určitým omezením klimatických modelů je, že zatím nedokáží postihnout celou šíři zpětných vazeb, přirozenou variabilitu klimatu a regionální specifika.

Modelové projekce odhadují nárůst globální teploty o 1,4 – 5,8 °C v horizontu konce 21. století (graf 1). Pokud se tyto projekce splní bude se jednat o nejvýznamnější a nejrychlejší nárůst teploty za posledních 10 000 let.

**Graf 1**  
**Odhady změny teploty do konce 21. století.**

Zdroj: IPCC, ČHMÚ



Současnou rychlost oteplování (0,1 až 0,2 °C/10let) je možno předpokládat i v dalších několika desetiletích. Modely předpokládají větší změnu teploty nad pevninou než nad oceány. Nárůst teploty bude výraznější ve vyšších zeměpisných šířkách a v chladnějším pólroce. Srážky jako celek by se měly zvýšit, v některých oblastech (např. Středomoří) i snížit. V těchto oblastech dojde k zvýraznění sezónnosti srážek, letní období budou velmi suchá. Zvýší se četnost výskytu rizikových jevů (bouřky, větrné smrště, krupobití apod.).

Na základě modelových výpočtů se pro Českou republiku se předpokládá zvýšení průměrné roční teploty do roku 2050 o 0,9-3,0 °C a malý pokles ročních úhrnů srážek o 0,2-0,6 %. Zima bude teplejší, deštivější a větrnější díky zvýraznění cyklonální činnosti nad Atlantikem a větší četnosti zonálních situací. Léto bude teplejší a sušší, neboť dojde k posunu Islandské tlakové níže a frontální zóny k severu a nad naše území bude častěji pronikat teplý vzduch z nižších zeměpisných šířek. Dopady klimatické změny v České republice byly popsány a adaptační opatření navržena v rámci projektu VaV 740/1/00, „Výzkum dopadů klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu“.

Složitost reakcí klimatického systému na změny koncentrací skleníkových plynů dokládá teorie, dle které by globální oteplování mělo paradoxně přinést ochlazení Evropského regionu. Tato teorie není v rozporu s výše uvedenými poznatky o podobě klimatických změn v Evropě a v České republice, neboť pracuje až s následky modely vypočteného globálního oteplování. Scénář je založen na možných důsledcích oteplování severních polárních oblastí a tání polárního ledu na dynamiku vod v Atlantském oceánu.

V oceánech funguje tzv. termohalinní (založená na rozdílné teplotě a slanosti) cirkulace vod, která se stává hybnou silou hlubokomořských proudů, které společně s povrchovými proudy tvoří propojený systém, který modifikuje klima území, která přiléhají k oceánu. Typickým příkladem tohoto ovlivnění je Evropa, která je v průměru teplejší, než bychom očekávali vzhledem k její vysoké zeměpisné šířce.

V Atlantském oceánu je klíčovým místem termohalinní cirkulace severní Atlantik, kde dochází k ochlazení velmi slané vody přinášené Golským proudem a k jejímu poklesu do hloubek okolo 1000 metrů (největší hustotu má voda o teplotě okolo 4°C s vysokou salinitou). Hromadění vody s vysokou salinitou na povrchu oceánu způsobuje také skutečnost, že při zamrznání oceánu se sůl hromadí pod ledem, v samotném ledu je jí velmi málo. Poklesem vody díky hustotním gradientům se uvádějí v pohyb hlubokomořské proudy, které transportují vodu k jihu. V oblastech okolo rovníku voda stoupá a vyrovnává deficit vody, způsobený značným výparem. K výstupu chladné vody z hlubin oceánu dochází také v oblastech divergence povrchových oceánských proudů (v Atlantiku je tato oblast u západního pobřeží Afriky), která jsou v důsledku toho velmi suchá. Voda z hlubin se na povrchu oceánu ohřívá a převládajícími větry je transportována od východního pobřeží Ameriky severovýchodním směrem napříč Atlantským oceánem nad evropský kontinent jako Golský proud a celý cyklus cirkulace se tak uzavírá.

Pokud globální změny klimatu zvýší průměrnou teplotu v severních polárních oblastech, zvětší se také množství sladké vody přitékající do severního Atlantiku z řek, tajících grónských ledovců a srážek. Sladká voda je lehčí než slaná, proto by se termohalinní cirkulace oslabila, v krajním případě dokonce zastavila. Golský proud by zeslábl a odklonil se více k jihu mimo severní Atlantik.

Celý proces přestavby cirkulace by mohl proběhnout i velice rychle a během 30 - 50 let by se v Evropě mohlo ochladit v průměru o 5 °C. Zajímavý je fakt, že k podobným prudkým změnám teploty v této oblasti již v minulosti prokazatelně došlo. Rozbory ledu z grónských ledovců ukazují, že na konci posledního glaciálu došlo k několika prudkým systematickým změnám teploty vzduchu i o více než 5°C za méně než 100 let. I když vezmeme v úvahu, že příčinou kolapsu termohalinní cirkulace by bylo globální oteplování a oba jevy by působily protichůdně, přinesl by kolaps Golského proudu do Evropy výrazné ochlazení, zejména zemní sezóny.

V České republice by takováto změna průměrné teploty měla nedozírné následky. Vždyť pokud by poklesla roční průměrná teplota v Praze o 5°C (Klementinum 9,8°C, Ruzyně 7,9°C), zavládlo by zde klima jako například na šumavském Churáňově (průměrná teplota za období 1961-90 je 4,2°C). V nejvyšších českých horách by se vytvořilo pásmo věčného sněhu. Zimy by byly dlouhé, poměrně suché a velmi mrazivé, léta krátká a chladná. Většinu zemědělských plodin by nebylo možné pěstovat. Ačkoli to zní absurdně, může globální změna klimatu přinést do Evropy dobu ledovou.

### **Použité prameny:**

- 1/ Kessler, A.: Heat Balance Climatology, Amsterdam, Elsevier, 1985
- 2/ Kalvová, J.: Klima a jeho změna v důsledcích emisí skleníkových plynů, Praha, 1996
- 3/ Moldan, B., Kalvová, J.: Rizika změny klimatu a strategie jejich snížení, NKP svazek 10, 1993
- 4/ Sobíšek, B. a kol.: Meteorologický slovník, Academia, MŽP, Praha 1993
- 5/ Lynch, J.: Počasí, BBC, Universum, 2002
- 6/ webová stránka ČHMÚ (<http://www.chmi.cz>)