

*Překlady vysvětlujících rámečků, čili obvykle kladených otázek a jednoduchých odpovědí („FAQ“) obsažených ve 64-stránkové zprávě **Kodaňská diagnóza** pořídili Jiří Došek a Jan Hollan v prosinci 2009. Tento text a další české informace viz <http://amper.ped.muni.cz/gw/diagnosis>. Pro lepší porozumění níže uvedeným tématům doporučujeme studium celé zprávy, česky tam dostupné od října 2010 (pak vydané i tiskem; v září 2011 byly do tohoto „FAQ“ výtahu vloženy grafy s českými popisy místo anglických originálů). Vysvětlení dalších níže užívaných termínů lze najít ve dvojjazyčném Glosáři ze čtvrtého svazku Čtvrté hodnotící zprávy IPCC v adresáři http://amper.ped.muni.cz/gw/ipcc_cz.*

Kodaňská diagnóza: často kladené otázky

1. Není už skleníkový efekt saturovaný, takže se přidáváním dalšího CO₂ nezmění?

Ne, ani vzdáleně není. Není saturovaný dokonce ani na planetě Venuši s maximalizovaným skleníkovým jevem, jejíž stokrát hmotnější atmosféra je tvořena z 96 % CO₂ a teplota na povrchu dosahuje 467 °C, což je více než na Merkuru (Weart and Pierrehumbert 2007). Důvod je jednoduchý: jak stoupáme atmosférou vzhůru, vzduch je stále řidší. Teplo uniká ze Země zářením do vesmíru většinou z vyšších hladin atmosféry, nikoli od povrchu – v průměru z výšky okolo 5,5 km. A právě tam na přidání dalšího CO₂ záleží. Když takový další oxid uhličitý přidáme, vrstva přiléhající k povrchu Země, v níž je efekt CO₂ do značné míry saturován, ztloustne – lze si to představit jako vrstvu mlhy viditelnou pouze v infračervené oblasti. Když tato „mlžná vrstva“ ztloustne, záření může do vesmíru unikat pouze z vyšších hladin atmosféry, kde atmosféra nakonec dosáhne teploty radiační rovnováhy –18 °C. Takový posun „plochy sálající do vesmíru“ směrem vzhůru znamená ve výsledku teplejší povrch, protože směrem dolů se teplota ovzduší zvyšuje průměrně o 6,5 °C na každý kilometr, jak se klesající vzduch stlačováním ohřívá. Zvětšení „mlžné vrstvy CO₂“, která obklopuje naši Zemi, o 1 km tedy vede k ohřátí podnebí na povrchu o zhruba 6,5 °C.

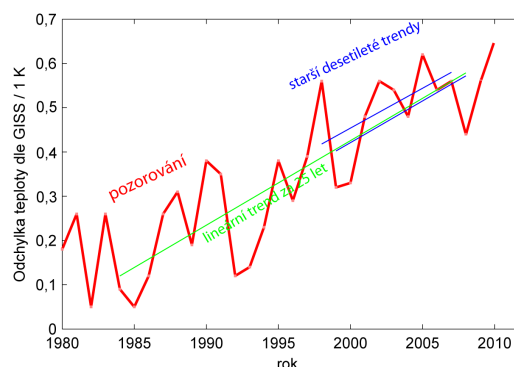
2. Nezpomalilo nebo nezastavilo se globální oteplování v poslední době?

Ne. V datech není žádná známka zpomalení ani pozastavení trendu oteplování podnebí způsobeného lidmi. Pozorované změny globální teploty jsou zcela v souladu s trendem oteplování asi o $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ za desetiletí, jak předpovídal IPCC, který je modifikován krátkodobým kolísáním (viz obrázek 4). Ke kolísání v klimatickém systému vždy docházelo a vždy docházet bude. Většina této krátkodobé proměnlivosti je dána oscilacemi samotného klimatického systému (jako je El Niño – Jižní oscilace), proměnností Slunce (převážně jedenáctiletým Schwabeho cyklem) a sopečnými erupcemi (které, jako Pinatubo v roce 1991, můžou způsobit ochlazení trvající několik let).

Pokud se podíváme na období deseti let nebo kratší, může toto krátkodobé kolísání převážit nad trendem antropogenního globálního oteplování. Například jev El Niño obvykle doprovázejí změny průměrné globální teploty až o $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ po několik let a cyklus sluneční aktivity přináší oteplení nebo ochlazení o $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu pěti let (Lean and Rind 2008). Nicméně ani El Niño, ani sluneční aktivity nebo sopečné erupce významně nepřispívají k dlouhodobějším klimatickým trendům. IPCC zvolil z dobrého důvodu 25 let jako nejkratší dobu, pro níž se uvádí trend v záznamech globální teploty. Za tento časový úsek souhlasí pozorovaný trend s očekávaným antropogenním oteplováním velmi dobře.

Ke globálnímu snížení teploty ale nedošlo ani za období posledních deseti let, v protikladu k tvrzením, která šíří lobbující skupiny a vypichují některá média. Všechny poslední desetileté trendy (tj. 1990-1999, 1991-2000 a tak dále) globální teploty dle dat NASA byly v rozmezí $0,17$ až $0,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ oteplení za desetiletí, což je blízko k očekávanému antropogennímu trendu nebo nad ním, ten úplně poslední trend (1999-2008) činil $0,19\text{ }^{\circ}\text{C}$ za deset let. Data Hadleyho centra vykazují v poslední době slabší trendy oteplování ($0,11\text{ }^{\circ}\text{C}$ za desetiletí 1999-2008) především kvůli tomu, že jejich soubor dat není plně globální, protože vynechává Arktidu, která se v posledních letech oteplovala obzvlášť silně.

Je docela pozoruhodné, že navzdory neobyčejně nízké zářivosti Slunce během uplynulých tří let (viz další odpověď) byly v tomto období překonány teplotní rekordy (viz NOAA, State of the Climate, 2009). Například březen 2008 byl co do globální teploty pevniny nejteplejší ze všech březnů zaznamenaných za dobu přístrojového měření. V červnu a srpnu 2009 byly teploty na pevnině i na oceánu jižní polokoule nejvyšší, jaké kdy byly v těchto měsících zaznamenány. Globální teploty povrchu oceánu překonaly v roce 2009 všechny předchozí rekordy ve třech po sobě jdoucích měsících: červnu, červenci a srpnu. V letech 2007, 2008 a 2009 dosáhla plocha mořského ledu v letní Arktidě historicky nejnižší hodnoty a v roce 2008 byly, až kam paměť lidí sahá, poprvé současně bez ledu severozápadní i severovýchodní mořská cesta. To se opakovalo i v roce 2009. (A 2010, kdy jimi poprvé za jedno léto [obepluly dvě plachetnice](#) severní pól; podobný byl i rok 2011). Každý rok tohoto století (2001-2010) je mezi deseti nejteplejšími roky za dobu přístrojového měření.

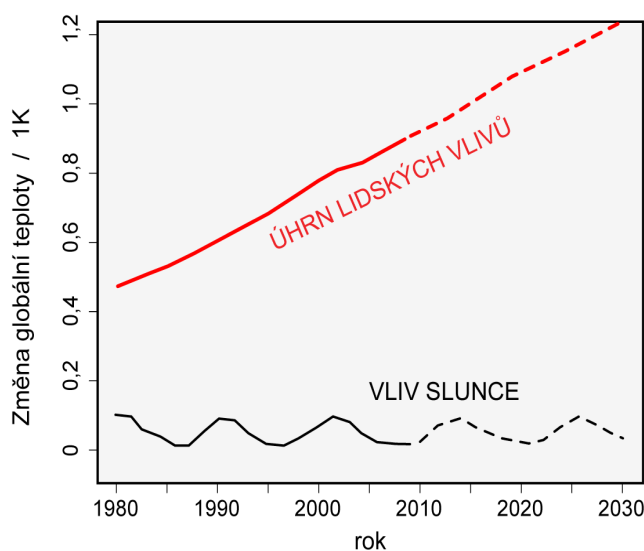


Obrázek 4. Globální teplota podle údajů NASA GISS od roku 1980. Červená čára vyjadřuje roční údaje. Zelená čára vyznačuje pětadvacetiletý lineární trend ($0,19\text{ }^{\circ}\text{C}$ za desetiletí). Modré linky vyjadřují dva poslední desetileté trendy ($0,18\text{ }^{\circ}\text{C}$ za desetiletí 1998-2007, $0,19$ za desetiletí 1999-2008) a ukazují, že tyto nejnovější desetileté trendy jsou zcela v souladu s dlouhodobým trendem a s předpověďmi IPCC. Nedorozumění ohledně trendů oteplování může nastat, pokud ukážeme jen vybranou část těchto dat, např. roky 1998 až 2008, a soustředíme se na extrémy nebo koncové body (např. 2008, jež byl chladnější než 1998) spíše než na objektivní výpočet trendu. Dokonce i zvláště účelově vybrané jedenáctileté období začínající teplým rokem 1998 a končící chladným rokem 2008 stále vykazuje trend oteplování o $0,11\text{ }^{\circ}\text{C}$ za desetiletí.

3. Lze globální oteplování vysvětlit pomocí sluneční aktivity nebo jiných přirozených procesů?

Ne. Dopadající sluneční záření bylo během posledních 50 let téměř konstantní, kromě dobře známého jedenáctiletého slunečního cyklu (Obrázek 5). Ve skutečnosti za tuto dobu lehce pokleslo. Kromě toho v uplynulých třech letech dosáhla zářivost Slunce minima za celou dobu od začátku družicových měření v 70. letech 20. století (Lockwood and Fröhlich 2007, 2008). Ale tento přirozený ochlazující efekt byl více než desetkrát slabší než účinek rostoucí koncentrace skleníkových plynů, takže globální oteplování zřetelně nezpomalilo. Dále, zimy se oteplují rychleji než léta a noční minimální teploty rostou rychleji než denní maxima – přesný opak toho, jak by to bylo, kdyby oteplování způsobovalo Slunce.

Další přirozené faktory jako sopečné erupce nebo jev El Niño způsobily pouze krátkodobé výkyvy teploty v délce trvání několika let, ale nemůžou vysvětlit žádný dlouhodobější klimatický trend (např., Lean and Rind 2008).



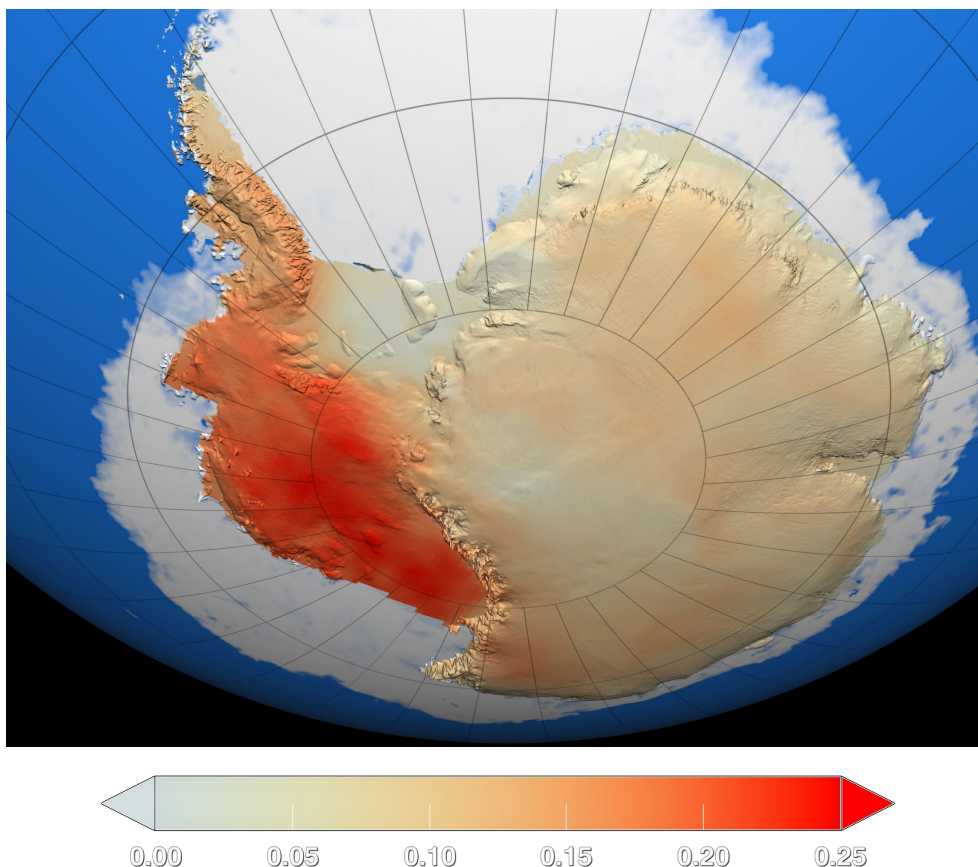
Obrázek 5. Časové řady oslunění Země spolu s celkovým účinkem emisí skleníkových plynů (ten je vztažen k roku 1880; podle Meehl et al. 2004) znázorněné ve formě celkového odhadovaného vlivu na globální teplotu vzduchu: pozorovanou v letech 1970-2008 a projektovanou na roky 2009-2030 (upraveno z Lean a Rind 2009).

4. Neochlazuje se Antarktida a nepřibývá v ní mořského ledu?

Antarktida se neochlazuje: celkově se za posledních přinejmenším 50 let oteplila. Třebaže meteorologická stanice na jižním pólu vykazuje za tuto dobu ochlazování, tato samotná stanice není reprezentativní. Například Vostok, jediná další dlouhodobě pracující stanice ve vnitrozemí kontinentu, udává trend oteplování. Několik nezávislých analýz (Chapman and Walsh 2008; Monaghan et al. 2008; Goosse et al. 2009; Steig et al. 2009) ukazuje, že se Antarktida od roku 1957, kdy byla v Mezinárodním geofyzikálním roce zahájena rozsáhlý měření, oteplila v průměru o zhruba 0,5 °C a že k obzvláště rychlému oteplování dochází po celé oblasti Antarktického poloostrova a na Zápa-doantarktickém ledovém příkrovu (obrázek 14 ukazuje střední trend v letech 1957-2006). Kromě toho existují přímé důkazy z měření ve vrtech o tom, že oteplování v Západní Antarktidě začalo nejpozději ve 30. letech 20. století (Barrett et al. 2009).

Od doby, kdy se v 70. letech 20. století nad Antarktidou vytvořila ozónová díra, došlo k zesílení cirkumpolárních větrů okolo Antarktidy, které mají tendenci snižovat množství teplejšího vzduchu, který pronikne do nitra kontinentu. Silnější větry jsou důsledkem ochlazení horních vrstev atmosféry, které je způsobeno úbytkem ozónu vyvolaným freony. Následkem toho se většina Východní Antarktidy v období léta a podzimu od konce 70. let ochlazovala. Je ironií, že emise freonů pomáhají částečně kompenzovat oteplování antarktického vnitrozemí. Obdobná je role síranových aerosolů při snižování oslunění zemského povrchu. S tím, jak se během století bude ozónová díra zacelovat, její ochlazující vliv pravděpodobně poklesne.

Faktory, které určují rozlohu mořského ledu kolem Antarktidy, jsou velmi odlišné od těch v Arktidě. Antarktida je kontinent ležící okolo pólu a obklopený vodou, což je pravý opak geografie Arktidy. Rozloha mořského ledu okolo Antarktidy silně závisí na cirkumpolárních větrech, které rozšiřují led dále od pevniny, a na poloze polární fronty, na níž se led setkává s teplejšími vodami oceánu. Plocha mořského ledu v Antarktidě vykazuje slabý rostoucí trend, což je v souladu s již zmíněným zesílením cirkumpolárních větrů. V Západní Antarktidě, kde je růst teploty největší, ubývá mořského ledu statisticky významným tempem nejméně od 70. let 20. století.



Obrázek 14. Trend průměrné roční teploty vzduchu ve °C/desetiletí v období let 1957-2006 ze Steig et al. 2009.

5. Nemění se podnebí neustále i bez zásahů člověka?

Samozřejmě. Změny klimatu v minulosti ale nejsou důvodem k uspokojení; vlastně nám říkají, že podnebí na Zemi je velmi citlivé na změny [radiačního působení](#). Z historie klimatu lze získat dva hlavní závěry:

Pokud se někdy radiační rovnováha Země narušila, reakce podnebí byla vždy silná. To svědčí pro to, že k tomu dojde i nyní, když lidé mění radiační bilanci zvyšováním koncentrace skleníkových plynů. Ve skutečnosti se údaje o změnách klimatu v minulosti Země používají ke stanovení toho, jak moc se změní globální teplota v důsledku určité změny radiační bilance (tj. k určení [citlivosti klimatu](#)). Data potvrzují, že náš klimatický systém je tak citlivý, jak naznačují naše klimatické modely, a možná ještě citlivější.

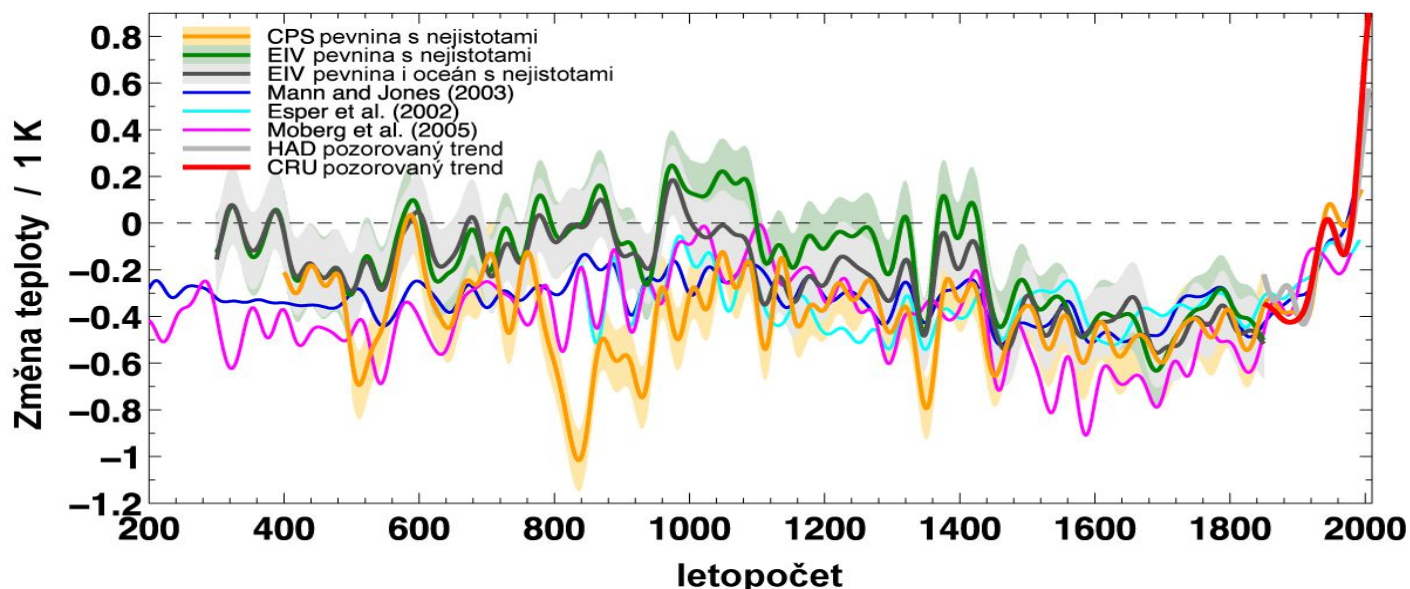
Dopady změn klimatu v minulosti byly vážné. V poslední době ledové, kdy bylo celosvětově o 4 °C až 7 °C chladněji než nyní, se zcela proměnil povrch Země a její ekosystémy a hladina moře byla o 120 metrů níže. Když byla Země naposledy o 2-3 °C teplejší než nyní, během pliocénu před 3 miliony let, sahala hladina moře o 25-35 metrů výše – vlivem menšího objemu ledových příkrovů v teplejším podnebí.

Navzdory velkým přirozeným změnám klimatu, současné globální oteplování mezi nimi již vyniká. Rekonstrukce klimatu nasvědčují tomu, že se během posledních dvou tisíc let globální teploty nikdy nezměnily o více než 0,5 °C za století (např. Mann et al. 2008 a odkazy tam uvedené).

6. Jsme pouze v přirozené fázi oteplování, zotavující se z „malé doby ledové“?

Ne. „Zotavení“ klimatu není vědecký pojem, jelikož podnebí nereaguje jako kyvadlo, které se zhoupne zpět poté, co bylo vychýleno stranou. Klima se chová spíše jako hrnec s vodou na kamnech: může se ohřát jedině, pokud se mu dodá teplo, podle nejzákladnějšího fyzikálního poznatku, zákona zachování energie. Tepelný rozpočet Země (její *radiační bilance*) je věc, které velmi dobře rozumíme. Ke zdaleka největší změně radiační bilance za posledních 50 let, během kterých se udály tři čtvrtiny globálního oteplování, došlo v důsledku lidmi způsobeného nárůstu koncentrací skleníkových plynů. Přirozené faktory měly v tomto období slabý účinek opačný, ochlazující.

Globální teploty jsou nyní nejen vyšší než v 16.–19. století, době někdy přezdívané jako „malá doba ledová“ (termín poněkud zavádějící, jelikož tento do značné míry regionální fenomén má málo co společného s opravdovými dobami ledovými). Teploty jsou nyní ve skutečnosti vyšší než kdykoli za posledních 2000 let – teplejší i než ve „středověkém optimu“ před tisícem let (viz obrázek 19). To je věc, na které se shodnou všechny rekonstrukce globálního klimatu od různých skupin výzkumníků vycházejících z odlišných dat a metod.



Obrázek 19. Rekonstrukce změn teploty severní polokoule od roku 200. U některých jsou uvedeny intervaly 95% spolehlivosti (z Mann et al. 2008).

7. Neměnilo se v historii klimatu množství CO₂ v důsledku změn teploty, místo aby tomu bylo naopak?

Funguje to oběma způsoby: změny CO₂ ovlivňují teplotu skrze skleníkový jev, zatímco změny teploty mají vliv na koncentrace CO₂ prostřednictvím odezvy uhlíkového cyklu. Takovou závislost vědci nazývají zpětnovazební smyčkou.

Pokud se změní globální teploty, dojde k reakci uhlíkového cyklu (typicky se zpožděním několika staletí). To lze vidět v cyklech dob ledových za poslední 3 miliony let, které byly způsobeny změnami oběžné dráhy Země (takzvané [Milankovičovy cykly](#)). Zpětná vazba CO₂ zesílila a globalizovala tyto orbitálně vyvolané změny klimatu: bez snížení koncentrací CO₂ a oslabení skleníkového efektu nelze vysvětlit ani plný rozsah ledových dob, ani skutečnost, že k dobám ledovým docházelo současně na obou polokoulích. Detaily prodelevy mezi teplotou a CO₂ v záznamech z Antarktidy se nedávno podařilo reprodukovat v pokusech s klimatickými modely (Ganopolski and Roche 2009) a jsou zcela v souladu s hlavní rolí CO₂ při změně klimatu. Během oteplování na konci dob ledových se CO₂ uvolňoval z oceánů – pravý opak toho, co pozorujeme dnes, kdy množství CO₂ roste jak v oceánu, tak v atmosféře.

Změní-li se koncentrace CO₂ v atmosféře, pak následuje změna teploty z důvodu skleníkového jevu. To je to, co se děje v současnosti, když lidé uvolňují CO₂ z fosilních zdrojů. Ale k tomu také v historii Země došlo mnohokrát. Koncentrace CO₂ se měnily po miliony let v důsledku přirozených změn uhlíkového cyklu spojených s deskovou tektonikou (kontinentálním driftem) a klima tyto změny CO₂ sledovalo (např. pozvolné ochlazování do klimatu dob ledových během posledních 50 milionů let).

K prudkému uvolnění uhlíku, ne nepodobnému tomu, jaké způsobují dnes lidé, také v minulosti klimatu alespoň jednou došlo, jak ukazují data ze sedimentů z doby před 55 miliony let. „Teplotní maximum paleocén-eocén“ bylo způsobeno velkým globálním oteplením asi o 5 °C, které bylo doprovázeno zhoubným okyselením oceánů a masovým vymíráním. Dnes nám slouží jako veliké varování.