

Proměny Slunce a změna klimatu

Jan Hollan, Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně

koncept 6. března 2006

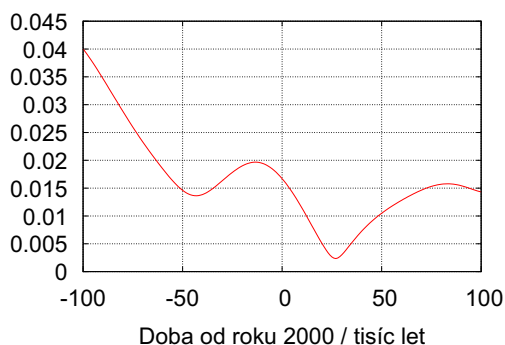
V nedávné době se opět objevily různé zprávy, zdůrazňující roli změn Slunce při současném oteplování. Protože mi připadaly velmi přehnané, prostudoval jsem dnešní stav poznání v tomto oboru. Zde jej populárně reprodukuji (koncept mi pomohli opravit kolegové R. Novák a P. Gabzdyl, kterým děkuji).

1 Slunce jako proměnná hvězda

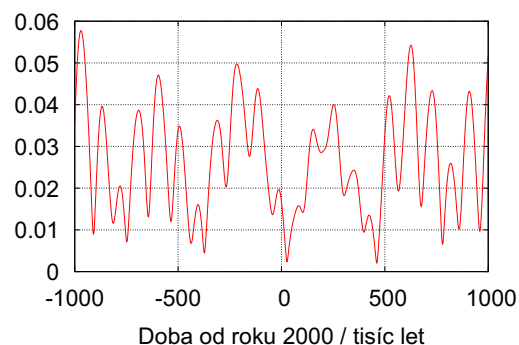
Když jsem se před více než třiceti lety seznamoval s astronomií, existovaly hvězdy obyčejné a proměnné, těch druhých bylo oproti prvním známo velice málo. Proměnné hvězdy jsou takové bodové objekty (bod berme jako věc, která nemá geometrické podrobnosti), které na Zemi nesvítí pořád stejně, tedy dají se u nich vidět či zjistit (fotometry, obecně různými radiometry) nějaké změny jasnosti (hustoty světelného, obecně zářivého toku). Aby si změn někdo všiml, musely tehdy být většinou dost velké, pokud možno aspoň o desítky procent (v astronomickém logaritmickém vyjadřování o několik desetin magnitudy).

Slunce klasickou proměnnou hvězdou vlastně také bylo, i když za to nemohlo: jeho vzdálenost se mění, a v lednu (Země je v přísluní) tak ozařuje Zemi o sedm procent silněji než v červenci. Tento rozsah se během desítek tisíc let zmenšuje (to zrovna teď) a pak zase zvětšuje, jak se mění excentricita elipsy, po níž Země obíhá. Jednoduše vzato, činí čtyřnásobek excentricity (relativní rozdíl odsluní a přísluní je dvojnásobek excentricity, a jasnost je úměrná druhé mocnině vzdálenosti) – svislou osu následujících grafů si pro tento účel vynásobte čtyřmi.

Excentricita orbity Země +/- 100 000 let



Excentricita orbity Země +/- milión let



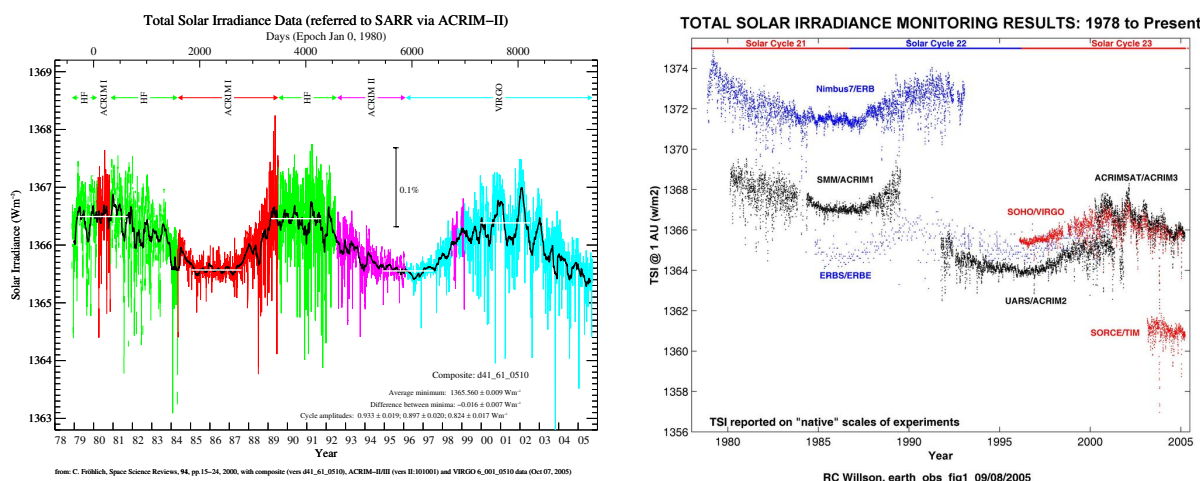
Tahle proměnnost, kombinovaná se změnou toho, kdy nastává přísluní (to je dáno precesí) a i změnou náklonu osy Země, je příčinou začátků a konců ledových dob. Její dnešní vývoj, jak je ještě pořád málo známo, na nejbližší desítky tisíc let znemožňuje nastartování další ledové doby, česky viz např. článek *Ledová doba je vyloučena „s astronomickou přesností“* (též jako vysázený, pdf), případně aktuálnější odkaz *Jak dlouho bude trvat interglaciál* vedoucí na článek *How long will global warming last?*

Přepočítáno na jednotkovou vzdálenost od nás se ale Slunce měřitelně téměř neměnilo, pokud jde o viditelný či celkový tok energie z něj. Snad se daly změřit poklesy, které byly způsobeny velkými skvrnami. Dobře známá proměnnost byla omezena na ty obory spektra, kde je zářivost Slunce nízká (hlavně rádiové vlny), a ovšem na proud plazmatu z něj (některá maxima se projevují jako polární záře).

Samozřejmě, nejpozději od prvních pohledů na Slunce dalekohledy bylo známo, že Slunce proměnlivé je, ovšem ne jako hvězda, ale v geometrických detailech. Jestli takové proměny Slunce mohou mít vliv na počasí, nebo alespoň na klima, zajímalo lidi už dávno. Z toho důvodu sledoval skvrny na Slunci meteorolog Johan Gregor Mendel – když žádnou souvislost nenašel, nechal toho.

Od roku 1978 je Slunce měřeno skutečně jako proměnná hvězda, postupně řadou družic. Ukazuje se, že i po přepočtu na vzdálenost jedné astronomické jednotky proměnné je, a to možná překvapivě: v průměru je výkonnější, když je na něm hodně skvrn. Shrnutí znalostí k roku 2000 poskytuje kapitola 6.11.1.1 *The observational record* zprávy [2].

Nejlepší přehled novějších měření dává stránka *Solar Constant*. Jak je vidět z jejího závěru (zobrazte si graf jako pdf, níže jej reprodukuje zmenšeně) skupinky let v maximech a v minimech výkonu se liší až o sedm desetin promile (rozmezí pro krátkodobé výkyvy je až tři promile).¹ Surový přehled dat, jdoucí až ke dnešku, je vidět na www.acrim.com, zmenšeně jej reprodukuje na druhém z obrázků:

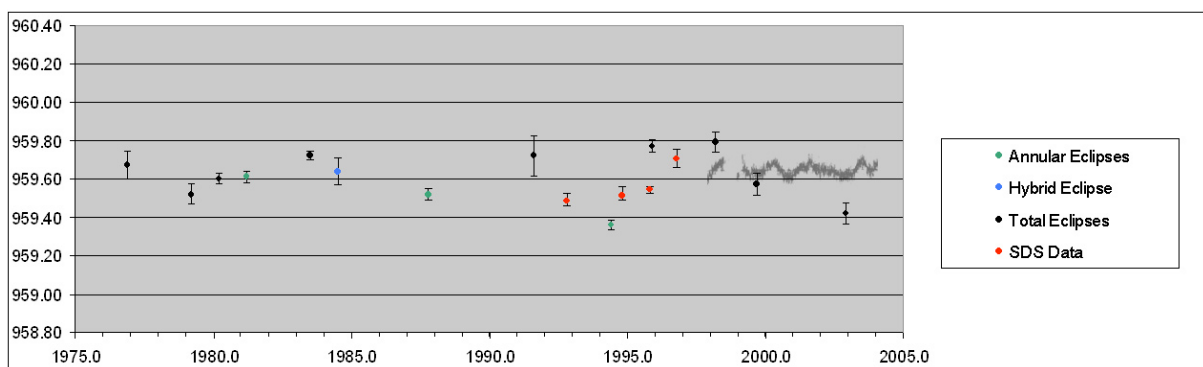


O sluneční proměnnosti v dřívějších dobách nemáme žádné přímé informace. Víme ale, že skutečně měřené změny jeho zářivosti korelují se změnami jiných slunečních charakteristik, které jsou známé i z dávnějších dob. A dnes jsou kromě Slunce sledovány (z pozemských observatoří) i spousty jiných hvězd podobných vlastností, z čehož jsme se dozvěděli, že některé se mění i více než Slunce. To vede přirozeně k myšlence, že se třeba zářivost Slunce měnila v minulosti také výrazněji, nejen dnešním kolísáním v oněch cyklech délky kolem jedenácti let, ale i na delší období. A že např. v době, kdy na něm nebyly skoro žádné skvrny (tzv. Maunderovo minimum na přelomu sedmnáctého a osm-

¹Proč tehdy více září? Snad proto, že patřičně větší plochu než nápadné tmavé skvrny zabírávají tehdy světlé fakule. Nad fotosférickými fakulemi pak ještě chromosférické (tj. viditelné jen přes vhodné barevné filtry, konkrétně v centrech spektrálních čar) flokule. To větší záření slunce je asi zprostředkováno podobným transportem energie z hloubky, který udržuje nad chladnou fotosférou teplejší chromosféru a mnohem teplejší koronu: ne elektromagnetickým zářením či prouděním plazmatu, ale zvukově-magnetickými vlnami, které se jím pohybují. Skvrny jsou projevem magnetických překážek, které brání proudění plynu z hloubky – povrch fotosféry se pak vysvítlí – takové překážky pak z konvekce generují „rámus“, šířící se naopak mnohem rychleji vzhůru. Tolik alespoň má představa, kterou jsem s vědeckými články dávno nekonfrontoval.

náctého století) zářilo o cosi méně – soudilo se, že možná až o tři promile (viz část 6.11.1.2 *Reconstructions of past variations of total solar irradiance* zprávy [2]), novější odhad se kloní k hodnotě pod jedno promile [9].

Změny výkonu Slunce o jedno promile trvajících léta nebo desetiletí nesouvisejí s vývojem jeho centra, ale s se zvýšeným transportem tepla z mnohem menších hloubek. Vrstvy atmosféry, ze kterých se odebrává více tepla, by se měly přitom „sesedat“, a v dobách, kdy výkon Slunce poklesne, zase „dofukovat“. To by se mělo projevit na viditelném poloměru Slunce. Bohužel, ač pozorování naznačují, že se poloměr skutečně mění, o tom, jak se mění doopravdy, nevíme stále téměř nic, natož o změnách v minulých staletích (ze kterých by pak šlo usuzovat na změny výkonu), viz [3]. Jednou dvou metod, které lze považovat za spolehlivé, je měření poloměru Slunce z videozáznamů „Bailyho perel“ pořízených na okrajích pásu totality během slunečních zatmění – nejnovější výsledky viz [4] a reprodukovatě (úhlový poloměr ve vteřinách, s podloženými variacemi dle měření z družice SOHO, [5]) zde (je to vlastně i výzva k pozorování):



2 Jak moc mohou změny Slunce působit na teplotu Země

Zásadním vlivem je proměnnost „sluneční konstanty“ probraná výše. Uvádějí se ale ještě dva další možné sluneční mechanismy.

Prvním jsou *změny množství ultrafialového záření*, které dává vznik ozónu a přímo se v něm pohlcuje, tedy zahřívá stratosféru místo povrchu Země. Změny UV toku se časově shodují se změnami výkonu, jen mají mnohem větší rozkmit (ne jedno promile, ale až několik procent). Změny teploty stratosféry mohou trochu posouvat hranice různých vzdušných mas v troposféře, a tím i měnit klima v přízemní vrstvě ovzduší, alespoň v některých oblastech na Zemi.

Druhým možným mechanismem je zvýšený přítok kosmického záření do ovzduší v dobách slabé aktivity Slunce² – více kosmického záření může zvýšit *počet zvláště drobných částic aerosolu* a tím např. změnit charakteristiky oblačnosti (větší odrazivost, delší doba, než vzniknou srážky). Viz podrobněji [10].

Obě tato působení mohou teplotu povrchu Země ovlivňovat jen nepřímo. Jejich možný dopad lze zkoumat empiricky, porovnáním vývoje globálních teplot a různých ukazatelů aktivity Slunce v minulosti. To je provedeno přesvědčivě v práci [11]: vlivy Slunce se tam berou jako maximální možné, tj. různé ukazatele jsou naškálovány tak, aby co nejvíce

²Magnetické pole, zakotvené ve slunečním větru, snižuje pronikání částic kosmického záření do nitra Sluneční soustavy. Při silnější sluneční činnosti je silnější i magnetické pole v meziplanetárním prostoru a jeho okolí (uvnitř tzv. heliosféry) a cloní nás od kosmického záření lépe.

kopírovaly průběh teplot (s ev. zpožděním, neb ovzduší se prohřívá rychle, ale povrch Země už ne). Od roku 1850 až do roku 1970 je tam dost dobrá shoda.

Ta ale končí zhruba rokem 1980. Následující oteplování probíhalo bez důvodu, pokud bychom ten důvod hledali v parametrech charakterizujících Slunce nebo meziplanetární prostor. Autoři tak stanovili horní možnou hranici podílu Slunce na oteplení od roku 1970 do roku 1999 na třicet procent. Jde skutečně o *horní* hranici. Pravděpodobný podíl je tak poloviční – to proto, že změny teplot do roku 1970 byly působeny jistě i vulkanismem, rostoucí koncentrací skleníkových plynů a také růstem emisí oxidů síry a aerosolů vůbec (v dobách, kdy pro ně ani v Evropě a USA neplatila žádná omezení).

Pro období 1980 až 2005 je horní možná hranice vlivu proměn Slunce na oteplení, které v tomto intervalu proběhlo, nepochybně ještě menší. Je přitom jedno, jaké parametry aktivity Slunce přitom uvažujeme.

3 Proměnnost Slunce a dnešní vývoj teplot

Průměrné teploty Země se mění i vlivem náhodných výkyvů proudění ovzduší a oceánů. Nebýt změn „vnějších“, jsou ale v posledních tisíciletích stabilní, bráno coby průměr přes desítky let. Jako „vnější“, na počasí či klimatu nezávislé, lze označit dva přírodní vlivy: výbuchy sopek a proměny Slunce a meziplanetárního prostředí.

Mají-li se modely klimatu (zahrnující proudění atmosféry a oceánů i změny odrazivosti Země a vlhkosti ovzduší) uvést do souladu se skutečností, změny toků z vesmíru a změny složení ovzduší po velkých vulkanických explozích je do nich nutné započítat. Pak už dobře „sedí“ s pozorováním.

Velké sopečné exploze jsou daleko nejvýraznějším přírodním vlivem. Vliv proměn Slunce je oproti nim obtížněji zjiřitelný, zejména pokud jde o nejobecnější parametr, totiž průměrnou teplotu celého povrchu Země. Přesto je dnes považován za prokázaný, a pro dlouhodobé přirozené změny v řádu staletí (řekněme před rokem 1800, a určitě před deseti tisíci lety a dříve) možná i rozhodující.

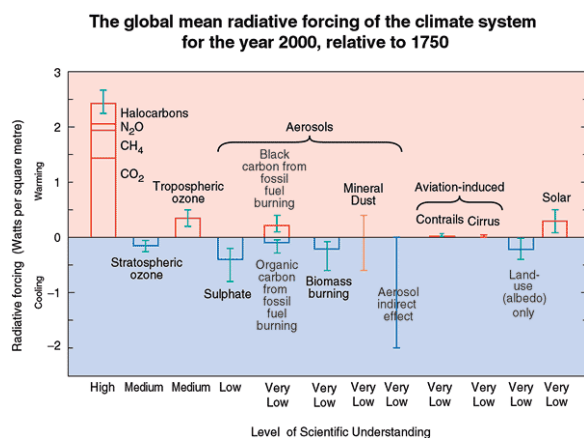
V poslední čtvrtině dvacátého století začaly být oba tyto přírodní vlivy, solární a vulkanické, malé oproti vlivu změn složení ovzduší způsobeného lidstvem. Projevují se jen jako modulace trendu růstu teplot. Velká vulkanická exploze dokáže na pár let i obrátit trend změny teplot Země jako celku, pokles „sluneční činnosti“ jej dokáže jen pozastavit. To je případ posledních let, kdy se Slunce stalo velmi klidné – lze očekávat, že až se aktivita zvýší, oteplování se dále trochu zrychlí.

Přesto se o vlivu proměnnosti Slunce na klima stále hodně mluví. Jedním z důvodů je pozoruhodné zjištění, že sluneční aktivita byla během uplynulého století asi vyšší než kdykoliv za minulých osm tisíc let: tak dlouhé období vysoké aktivity se předtím nevykytlo (to je právě na začátku zmíněná práce [1]). Laiky to může vést k ukvapenému závěru, že tedy oteplení, kterého jsme svědky, bude jistě způsobeno právě tím.

Jenže aktivita Slunce v posledním čtvrtstoletí nevzrůstá (nebo nanejvýš málo, a to pouze ve smyslu jeho zářivého výkonu, taková „růstová“ kalibrace [6] je navíc z různých důvodů nepravděpodobná). Zato oteplování celé Země se zrychlilo na tempo, které dosud nebylo zaznamenáno. Zatímco dříve byly proměny toku záření a částic z vesmíru na Zemi dominantním vlivem na klima, dnes se staly vlivem, který lze v prvním přiblížení zanedbat.

Jak to víme? Pomocí výpočtu veličiny zvané *radiative forcing* (česky snad „zářivé pužení“). Ta udává, zhruba řečeno, jaký by byl rozdíl zářivého příkonu a výkonu Země před

staletími (v době, kdy vliv lidstva na teplotu Země byl zanedbatelný), kdybychom skokem změnili složení atmosféry na současné [7]. Dnes je to už *dva watty na metr čtvereční zemského povrchu* (viz např. „Summary for Policymakers“ v [2]). Přebytkem roste teplota Země, tj. jejího (lehkého) ovzduší, povrchu pevnin (a pomalu se prohřívajících hloubek desítek metrů), a ovšem oceánů: ty se vlivem promíchávání vody ohřívají i v hloubkách kilometrových (a v nich se proto schovává naprostá většina tepelných přebytků). Velikost antropogenního forcingu vyplývá z modelů toků energie ovzduším – je to složitější obdoba modelování atmosfér hvězd. (Skutečný dnešní rozdíl měrného příkonu a výkonu Země je menší než forcing, protože teploty povrchu už vzrostly a Země více vyzařuje do vesmíru – přebytek se odhaduje na necelý jeden watt na metr čtvereční, viz podrobně [8], kde je též ukázáno, že táž hodnota vyplývá i z měření teplot oceánů.)



Forcing ze změn složení ovzduší, změn odrazivosti povrchu způsobených změnou užití pozemků a změn ve výkonu Slunce. Záporný forcing ze sopek, trvající vždy jen několik let, není zahrnut. Nepřímým vlivem aerosolů se rozumí jejich vliv na velikost a počet kapek v oblacích. Druhý nepřímý vliv, na délku života oblaků, není zobrazen. Svislé úsečky na horním okraji obdélníků naznačují rozmezí odhadů dle publikovaných hodnot a dle fyzikálního poznání. Někde lze udat jen rozmezí odhadů. (Podle obr. 3 ze „Summ. for Policymakers“ [2].)

Stejně tak můžeme udat velikost „zářivého puzení“ slunečního. Jak už víme, v rámci slunečního cyklu je rozdíl výkonů mezi maximem a minimem aktivity na úrovni jednoho wattu na metr čtvereční (při průměru asi 1367 W/m^2), tedy rozkyv činí necelé jedno promile. Co to znamená pro „radiative forcing“? To zjistíme, když průřez Země přepočítáme na obsah (πr^2 na $4\pi r^2$), tedy sluneční konstantu vydělíme čtyřmi, a ještě vynásobíme albedem Země (0,7). Ze 1367 tak dostaneme asi 240. Necelé promile z toho jsou dvě desetiny wattu na metr čtvereční. To sice není nijak málo, ale je to *desetkrát méně*, než činí „radiative forcing“ daný změnou složení ovzduší.

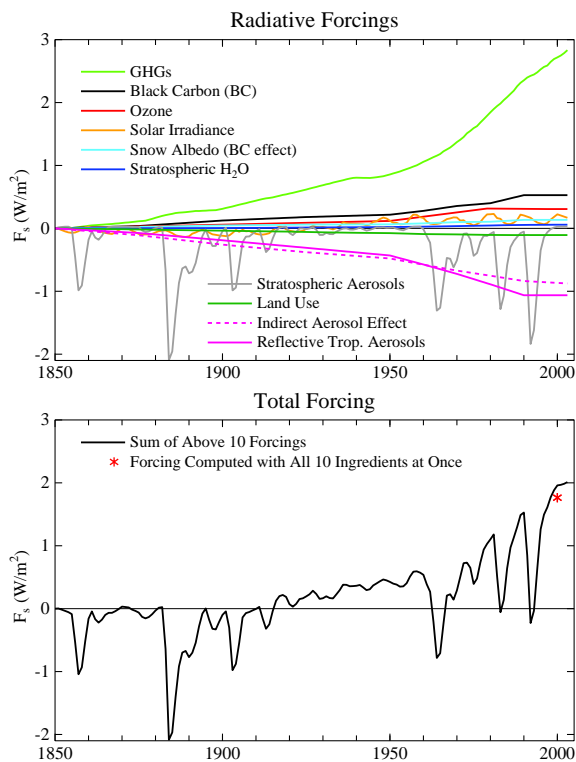
Průměr „konstanty“ přes celý sluneční cyklus zůstal v posledních dvou cyklech pravděpodobně stejný (jen [6] soudí, že se o půl promile zvýšil). Předtím satelitní (jediná jakžtakž přesná) měření neexistují, a možný výkon Slunce se extrapoluje z dnešních hodnot dle jiných parametrů Slunce, jako jsou různé statistiky skvrn, měření toku kosmických částic na Zemi, či měření magnetického pole. „Zářivé puzení“ oproti sedmnáctému století (kdy byl asi výkon Slunce zvláště malý) může být dnes větší o jednu až tři desetiny wattu na metr čtvereční, oproti většině tisíciletí asi ne více než o $0,1 \text{ W/m}^2$.

Výborný stručný aktuální přehled možného vlivu změn výkonu Slunce viz [9], rozsáhlé shrnutí o chlup starších znalostí viz [10].

Podle změn Slunce v minulosti se soudí, že takto zvýšený příkon na metr čtvereční zemského povrchu nevydrží už dlouho, velmi pravděpodobně ne více než několik desítek let [1]. To je ale jen malá útěcha: takový malý pokles jedné složky celkového „forcingu“ může dokázat jediné, totiž částečně kompenzovat snížení koncentrací jedovatého aerosolu, hlavně oxidů síry v troposféře. Ty dnešní totiž působí negativní forcing, a průmyslové země se jich zbavují (možná si pamatujete na reklamu ČEZ, že má odsířeno). Snad se

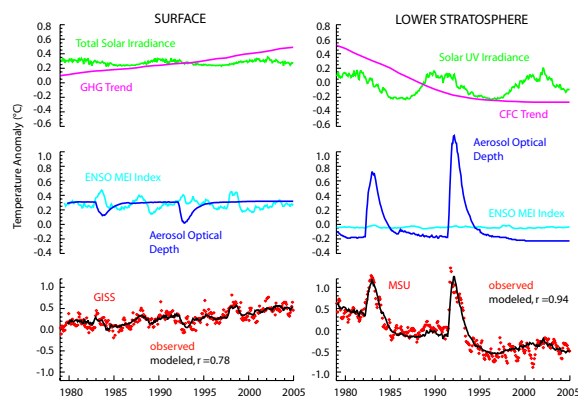
jich do poloviny století všechny zbaví, ono to totiž stojí za to i ekonomicky: když jsou lidé méně nemocní a neumírají předčasně, hospodářství lépe funguje.

Shrnuto: od změn na Slunci už nemůžeme nic významného čekat, pokud jde o teplotu Země. Relativní mizivost slunečního vlivu je patrná jak z úvodního obrázku v [8], který zde reprodukuje (je převzat z www.giss.nasa.gov/data/simodel), tak i závěrečného přehledu v [9] (reprodukováného i s popisem vpravo). Na tom nic nemění ani to, že o Slunci jako proměnné hvězdě jsou naše znalosti dosud překvapivě malé.



2004' 08' 22

Srovnání různých zdrojů proměnnosti současných teplot zemského povrchu a spodní stratosféry odvozené vícedimenzionální lineární regresí. U povrchových teplot se uvažují vulkanické aerosoly a ENSO indexy se zpožděním 6 měsíců, oslunění se zpožděním jeden měsíc. U stratosférických teplot se počítá s nulovým zpožděním:



4 Vliv v minulosti

Za pravděpodobné se bere, že snížený výkon Slunce v době Maunderova minima sluneční činnosti byl příčinou chladnějšího období v druhé polovině minulého tisíciletí oproti jeho začátku (existence takového období je pravděpodobná pro Evropu, nejistá v měřítku globálním). Tehdejší výkyv i pouhých hemisférických teplot (směrem dolů) byl ale mnohem menší než ten dnešní (směrem nahoru). Ilustraci změn teplot za tisíc či více let viz *1000 Year Temperature Comparison*.

Před dvacátým stoletím, během celého holocénu (současného teplého období trvajícího už deset tisíc let) bylo klima hodně stabilní, i když výkon Slunce možná kolísal ve škálách sta let i více než o jedno promile.

Jinak tomu bylo v glaciálu, během ledové doby. Zejména ve středních a vysokých severních šířkách se klima hodně a rychle měnilo. Nejnápadnější jsou tzv. Dansgaard-Oeschgerovy události, rychlá oteplení (během stovek let) následována pomalejšími ochlazeními. Svědectví o nich podávají vzorky ledu z hloubky grónského ledového příkrovu. Práce [12] ukazuje, že s jednou výjimkou všechny nastaly v takových okamžicích, že jde o dosti přesné násobky periody 1470 let (v některých násobcích nastaly, v jiných ne). Tak dost přesně a dlouhodobě dodržovanou frekvenci lze těžko vysvětlit nějakým vnitřním

rytmem klimatického systému. Další práce [13] proto hledala nějaký metronom vnější. Orbitálně-rotační změny s takovou periodou známy nejsou (a tedy asi ani nebudou, to je věc dostatečně probádaná). Možností by asi mohly být snad právě proměny Slunce, u nichž jsou (ze záznamů koncentrace radioaktivního ^{14}C a ^{10}Be v ledu) známy cykly s délkou 87 let a 210 let. 1470 je jedním z jejich dost dobrých společných násobků, a je to možná ten, který vyhovuje vlastnímu rytmu glaciálního klimatického systému. Jinými slovy, popud k překlopení klimatu do stavu, kdy teplá voda v horní vrstvě Atlantiku proudí dál na sever, jaký se předpokládá během tzv. interstadiálů (či naopak do stavu, kdy vyhřívání tak daleko na sever nesáhá, do stadiálu)³ mohl vždy dát sluneční „forcing“.

Tato hypotéza má daleko do dnešní jistoty Milankovičovy teorie, totiž že nástupy a konce ledových dob jsou vyvolávány změnami orbitálně-rotačními (ty mají vesměs škály větší než několik tisíciletí). Je to ale zajímavá pracovní domněnka jak pro astronomy, tak pro paleoklimatologů. Nepomůže nám chránit klima, ale může pomoci tomu, abychom lépe rozuměli změnám klimatu v minulosti, a je pěkným, poctivým motivem zkoumat Slunce coby pomalu proměnnou hvězdu.

Václav Cílek (soukr. sdělení) v reakci na můj komentář[14] ke svému článku [15] zmínil, že změnám Slunce se připisují i (asi chladná) období, kdy došlo k tzv. Heinrichovým událostem.⁴ To by samozřejmě bylo také možné, ale už jen jako výpomoc *deus ex machina* – neznáme-li příčinu nějaké události, pak prohlásit „za to asi může Slunce“ není uspokojivou odpovědí. Už proto, že Slunce je opravdu jen málo proměnnou hvězdou. „Heinrich events“ kromě toho žádnou kloudnou pravidelnost nejeví, ostatně i jejich datování je zatím velmi nepřesné. Článek, který by i pro ně navrhoval astronomické příčiny, jsem zatím nenašel.

Reference

- [1] Solanki, S.K., Usoskin, I.G., Kromer, B., Schüssler, M., Beer, J., 2004: Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. *Nature* **431**, 1084-1087. Online: cc.oulu.fi/~%7Eusoskin/personal/nature02995.pdf – 4, 5
- [2] Intergovernmental Climate Change Panel: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Online: www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/ – 2, 3, 5
- [3] Thuillier, G., Sofia, S., Haberreiter, M., 2005: Past, present and future measurements of the solar diameter. *Advances in Space Research* **35**, 329-340. Online: www.pmodwrc.ch/solar_uv/ThuillierSabHab2005ASpR.pdf – 3
- [4] Dunham, D. W., et al, 2005: *Accuracy of Solar Radius Determinations from Solar Eclipse Observations, and Comparison SOHO Data*. Presentation at 2005 SORCE Science Meeting September 14-16, Durango, Colorado. Online: lasp.colorado.edu/sorce/2005ScienceMeeting/posters/Dunhams.pdf – 3

³Interstadiál je teplejší období během glaciálu, stadiál naopak období studenější. Interglaciál je teplé období mezi ledovými dobami, postglaciál je vhodné označení holocénu, s ohledem na jeho neobyčejně dlouhé trvání zaručené na desítky tisíc dalších let.

⁴Jako „Henrich event“ se označuje vznik vrstvy hrubých (klastických) sedimentů na dně oceánu. Ten se interpretuje jako spád z roztátých ledovců, kterých tedy muselo v dané době plout mnohem více než jindy

- [5] Kuhn, J. R., Bush, R. I., Emilio, M., Scherrer, P. H., 2004: On the Constancy of the Solar Diameter. II. *Astrophys. J.* **613**, 1241-1252. Online: www.journals.uchicago.edu/cgi-bin/resolve?id=doi:10.1086/423301 – 3
- [6] Willson, R. C., Mordinov, A. V., 2003: Secular total solar irradiance trend during solar cycles 21 and 22. *Geophys. Res. Letts.* **30**, 1199-1202. Online: www.acrim.com/Reference/%20Files/Secular/%20total/%20solar/%20irradiance/%20trend/%20during/%20solar/%20cycles/%2021/%E2%80%9323.pdf – 4, 5
- [7] Intergovernmental Climate Change Panel: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Part 6.1 Radiative Forcing Online: www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/214.htm – 5
- [8] Schmidt, G., 2005: Planetary energy imbalance? Článek z 5. května na blogu *RealClimate*. Online: www.realclimate.org/index.php?p=148 – 5, 6
- [9] Lean, J., 2005: Solar forcing of climate change: Current status. *Past Global Changes News* **11**, 1, 13-15. Online: www.pages-igbp.org/products/newsletters/NL2005_3low_res.pdf – 3, 5, 6
- [10] Gray, L. J., Haigh, J. D., Harrison, R. G., 2005: *The Influence of Solar Changes on the Earth's Climate*. Hadley Centre technical note 62. Online: www.metoffice.com/research/hadleycentre/pubs/HCTN/HCTN_62.pdf – 3, 5
- [11] Solanki, S. K., Krivova, N. A., 2003: Can solar variability explain global warming since 1970? *J. Geophys. Res.* **108**, A5, 1200, doi:10.1029/2002JA009753. Online: www.linmpi.mpg.de/~natalie/PAPERS/warming.pdf – 3
- [12] Rahmstorf, S., 2003: Timing of abrupt climate change: A precise clock. *Geophys. Res. Lett.* **30**, 10, 1510, doi:10.1029/2003GL017115. Online: www.pik-potsdam.de/~stefan/Publications/Journals/rahmstorf_grl_2003.pdf – 6
- [13] Braun, H. M. et al, 2005: Solar forcing of abrupt glacial climate change in a coupled climate system model. *Nature* **438**, 208-211. Online: www.pik-potsdam.de/~stefan/Publications/Nature/Braun_etal_Nature_2005.pdf – 7
- [14] Hollan, J., 2006: komentář Solární oteplování. Online: amper.ped.muni.cz/glot/a/msg00047.html – 7
- [15] Cílek, V., 2006: Solární oteplování. *Vesmír* **85**, 12-13. Online: www.vesmir.cz/clanek.php3?CID=6589 – 7