

## Globální teplota roste nepravidelně

J. STŘEŠTÍK

Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Praha, Česká republika (e-mail: jstr@ig.cas.cz)

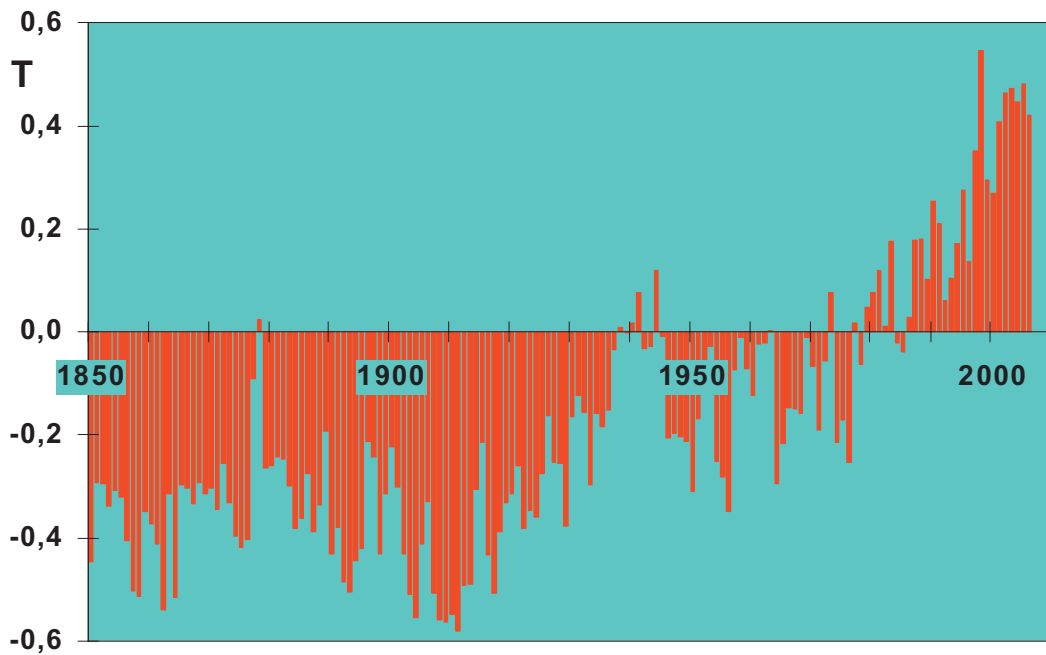
**Abstract** Global temperature has increased rapidly during the last 100 years. The increase can be approximated by a polynomial of second order. Moreover, there are some periods when the temperature increased more rapidly and other ones, when only slow increase has been observed. After removing the polynomial from the observed data it appears that intervals with more rapid increase repeat every 60 years. This period appears also in the spectra, together with a less pronounced 20-yr wave. The same regularity is valid for North and South Hemisphere temperatures but not for temperatures on individual stations. Introducing a sine wave (or a superposition of both sine waves) to the observed data a better approximation has been obtained then using the polynomial itself. The origin of the 60-yr wave is not clear. But the same wave can be found in spectra of some climatologic indices as ENSO or AO. In any case, supposing that the 60-yr wave will be present also in future and no other factors will affect the increase, one can expect that the temperature will increase more slowly during the next 15-20 years and then more rapid increase will continue.

**Key words:** *global warming, global temperature, periodicities*

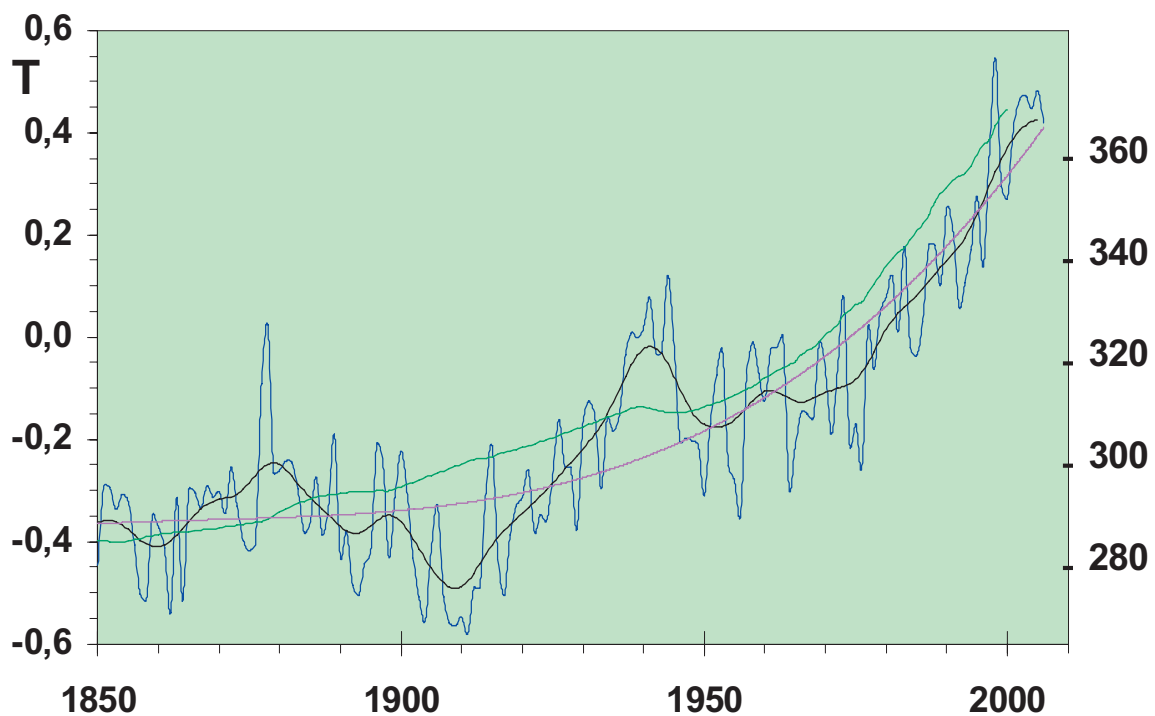
V poslední době se opět stala velmi aktuální otázka klimatické změny, jmenovitě globálního oteplení. Skutečně, globální teploty, tj. teplota spočtená jako průměrná teplota na Zemi, stále roste a tento růst se zrychluje. Číselné hodnoty globální teploty podle nejnovějších a aktualizovaných výpočtů jsou k dispozici od roku 1850 (Brohan et al., 2006) a lze je najít pro jednotlivé měsíce až do dneška na internetu. Hodnoty jsou přepočteny tak, aby průměr za 30-leté období 1961-1990 byl roven nule. Graficky se prezentují obvykle v podobě sloupcového grafu, kde záporné hodnoty jsou směřovány dolů a kladné nahoru. Takový graf je zobrazen na obr. 1. Tento graf je současně ukázkou, jak volba typu grafu může ovlivnit dojem, který tento graf vyvolá. V tomto případě přímo bije do očí červená plocha vlevo dole a rychlý růst výšky sloupců zcela vpravo.

Pokud však graf překreslíme do podoby grafu bodového, kde hodnoty teploty jsou vyneseny jako body a jsou spojeny hladkou čarou, bude první dojem jiný. Dopředí vynikne značné kolísání hodnot z roku na rok. Ovšem i přes tento velký rozptyl je celkový růst teploty zřejmý. Na obrázku je aproximován polynomem druhého stupně, tj. parabolou. Vyšší stupeň by byl neúčelný, naopak aproximace přímkou nevyhovuje. Korelace mezi pozorovanými hodnotami a touto aproximací je 0,82, mezi vyhlazenými teplotami a aproximací

dokonce 0,92, což naznačuje, že podstatnou část změn tvoří právě tento růst a jen menší část je krátkodobé kolísání. Aproximace ukazuje, že v druhé polovině 19. století se teploty držely téměř na stejné úrovni, případně se měnily jen málo, zatímco v průběhu 20. století nastal růst, který je stále rychlejší. Z průběhu aproximačního polynomu lze odhadnout číselné hodnoty růstu globální teploty: od  $-0,35$  oC v roce 1850 do  $+0,40$  oC v roce 2005. Podobný průběh, tedy stále se zrychlující růst, má také koncentrace antropogenních plynů v atmosféře, ať už jde o CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O aj. Číselné hodnoty lze najít na internetu. Koncentrace všech skleníkových plynů mírně roste od poloviny 19. století a tento růst se začíná rychle zvyšovat po roce 1960. Průběh pro CO<sub>2</sub> je také dokreslen na obr. 2. Tato křivka se velmi blíží aproximačnímu polynomu, i když není s ním zcela totožná, avšak odchylky jsou malé. Proto lze také tento polynom považovat za jakési vyjádření podílu antropogenních faktorů na celkovém růstu globální teploty. Krátkodobé odchylky od tohoto průběhu pak budou mít původ jiný. Korelace mezi koncentrací CO<sub>2</sub> a aproximačním polynomem je 0,97, proto také korelace mezi koncentrací CO<sub>2</sub> a pozorovanou globální teplotou (také vyhlazenou) se prakticky rovná hodnotám uvedeným výše (0,82 a 0,92).



Obr. 1. Roční globální teplota vzduchu 1850-2006 vztážená k období 1961-1990.



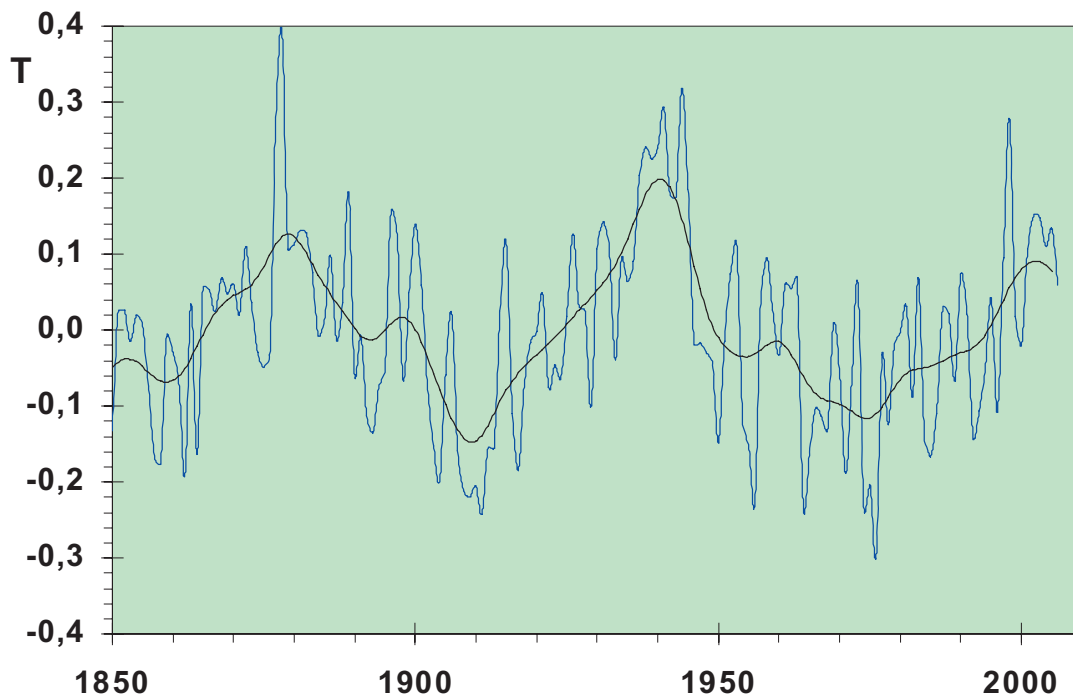
Obr. 2. Průběh globální teploty vzduchu 1850-2006 (modře) s aproximací polynomem druhého stupně (červeně), a průběh koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře (tmavě zeleně, stupnice vpravo). Doplňena data globální teploty vyhlazená 21-bodovým binomickým filtrem (černě).

Úplně stejný průběh lze pozorovat u průměrných teplot pro severní nebo pro jižní polokouli. Tyto teploty jsou k dispozici na stejné internetové adrese jako globální teploty a jsou rovněž uváděny po měsících od roku 1850. Číselně je růst teploty pro severní polokouli o něco vyšší (asi 0,80 °C) než

pro jižní (asi 0,65 °C). Korelace mezi těmito teplotami je ovšem vysoká: 0,97 mezi globální teplotou a teplotami pro každou polokouli, 0,88 mezi oběma polokoulemi.

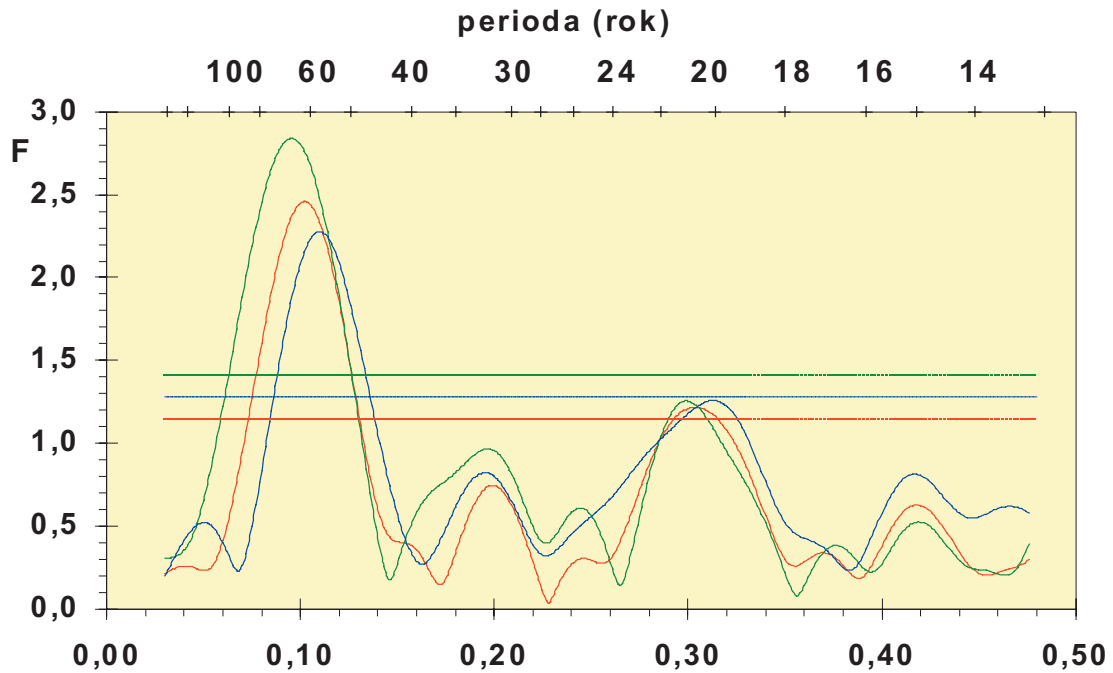
Při podrobnějším pohledu na obr. 2. si všimneme, že kolísání globální teploty je jednak krátkodobé, v dimenzích několika málo let, jednak střednědobé, v dimenzích desetiletí. Lze vypořádat období, kdy pozorované teploty byly po určitou dobu vyšší, než by činil pravidelný růst (na obrázku jsou nad červenou, resp. tmavě zelenou čarou), a v jiných obdobích nižší (pod čarou). V současné době jsou pozorované teploty vyšší než je spočtený aproximační polynom.

Překreslíme nyní graf z obr. 2. tak, aby byl odstraněn růst vyjádřený polynomem, tj. odečteme hodnoty příslušející polynomu od hodnot pozorovaných. Takto upravená (vyrovnaná) data vidíme na obr. 3. Zcela jasně vynikají období, kdy teploty byly vyšší a kdy byly nižší. Tato období se pravidelně opakují: maxima, tedy rychlejší růst globální teploty, byla kolem r. 1880, 1940 a 2000. Obdobně je možné od pozorovaných hodnot odečíst hodnoty nakreslené na obr. 2 zelenou čarou, tedy hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> přepočtené na teplotní škálu na obr. 2. Rozdíly mezi oběma křivkami jsou velmi malé, hlavní rysy průběhu jsou stejné, a proto je nebudeme uvažovat zvlášť. Toto vše platí také pro hodnoty teplot na jednotlivých polokoulích, pouze časové polohy maxim a minim se liší o několik málo let a amplituda je na severní polokouli vyšší než na jižní. Pro časové řady na jednotlivých stanicích to však neplatí. Tam je obvykle krátkodobé kolísání, tedy šum, daleko vyšší než u teploty globální nebo pro polokouli, a uvedené rozdíly mezi maximy a minimy se ztrácejí.

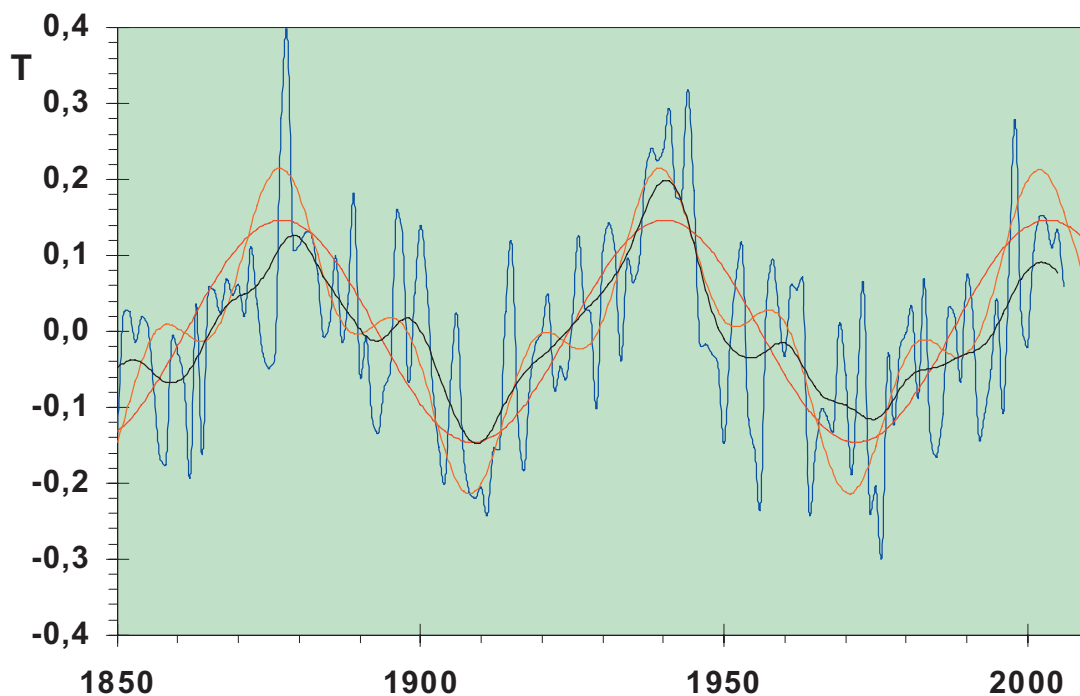


Obr. 3. Průběh globální teploty vzduchu 1850-2006 po odečtení aproximace polynomem druhého stupně (modře). Doplněn průběh vyhlazený 21-bodovým binomickým filtrem (černě).

Přesněji určíme periodickou změnu a časovou polohu maxim a minim pomocí spekter. Ta jsou uvedena na obr. 4 pro globální teplotu po odečtení polynomu (z modrého grafu na obr. 3) a stejně tak pro teploty na obou polokoulích. Zcela jasně převládá maximum v hodnotě 61,5 let (resp. 66,9 let pro severní a 57,1 let pro jižní polokouli), doprovázené podružným maximem v hodnotě 20,7 let (resp. 21,0 let a 20,1 let pro polokoule). Ostatní maxima nemají dostatečnou významnost. Mimo rozsah period zakreslený na obr. 4 již nejsou žádná významná maxima, ani pro delší periody, ani pro kratší. V oboru period pod 10 let se najde velký počet vrcholů blízko sebe, avšak žádný nesplňuje požadavek významnosti a tedy jim nepřísluší žádná reálná vlna, navíc jsou různé pro jednotlivá tři spektra. Tedy krátkodobé kolísání, i když podle obr. 2 nebo 3 se zdá, že jsou přítomny periody v délce několika let, je ve skutečnosti nepravidelné (periody nejsou stálé) a lze je tedy opravdu považovat za šum.



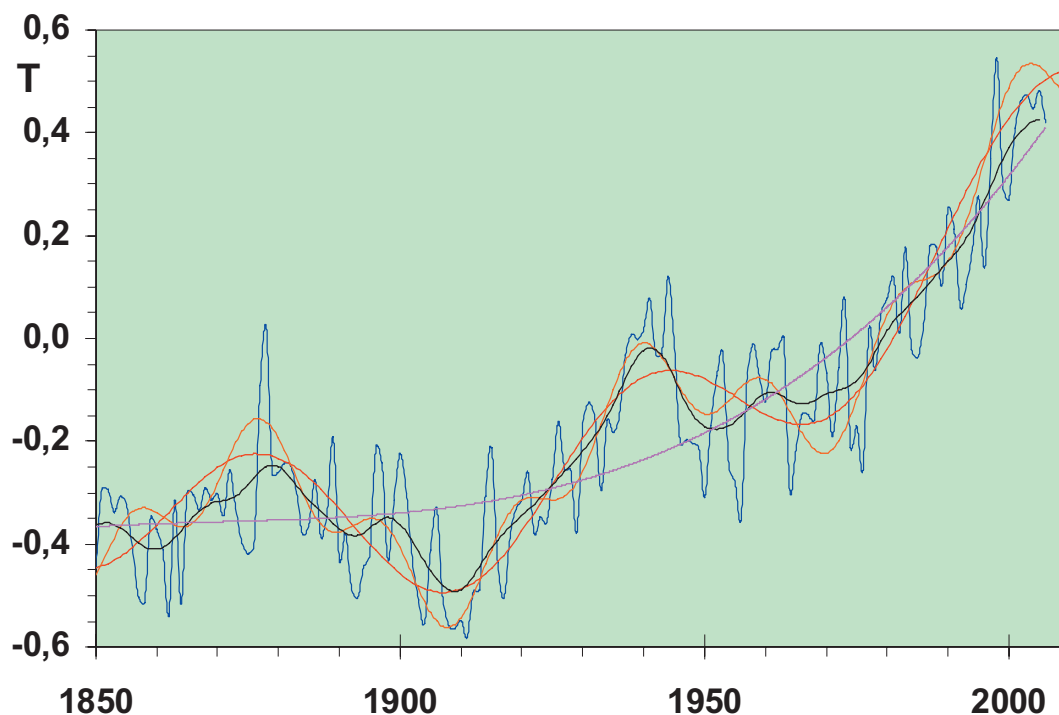
Obr. 4. Spektra řady ročních globálních teplot 1850-2006 po odečtení polynomu (červeně, z modrého grafu na obr. 3), a obdobně řady ročních teplot pro severní polokouli (zeleně) a pro jižní polokouli (modře) za stejné období. Vodorovnými čarami stejné barvy je vyznačena hranice 95% významnosti.



Obr. 5. Průběh globální teploty vzduchu 1850-2006 po odečtení aproximace polynomem druhého stupně (modře). Doplněn průběh vyhlazený 21-bodovým binomickým filtrem (černě), aproximace sinusovou funkcí s periodou 61,5 let (červeně) a superpozice dvou sinusových funkcí s periodami 61,5 let a 20,7 let (světle hnědě).

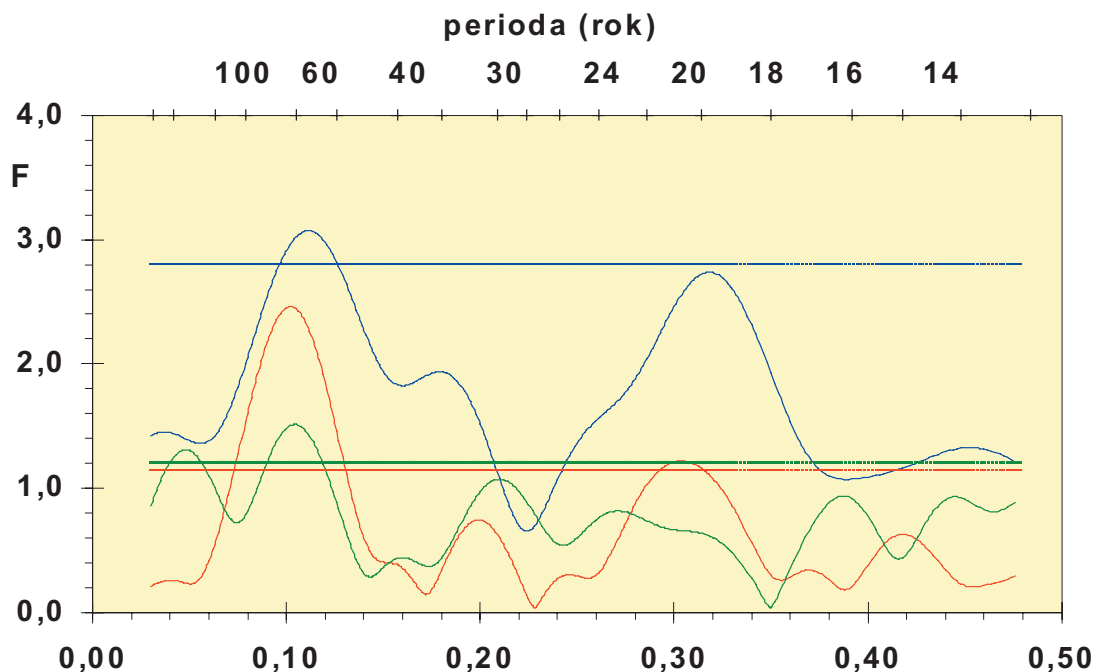
Na základě údajů ze spekter sestavíme jednak sinusovou křivku pro základní periodu, jednak superpozici dvou nejvýznamnějších sinusových křivek a zakreslíme je obě do grafu spolu s vyrovnanými teplotami. Takto jsou předvedeny společně na obr. 5 pro teploty globální po odečtení polynomu. Z grafu lze odečíst přesnou polohu maxim v letech 1877, 1940 a 2003, a minim v letech 1909 a 1972 (pro globální teploty). Přidáním vlny s periodou kolem 21 let (superpozice dvou sinusových křivek) se na těchto polohách nic nezmění. V současné době jsme již za maximem, což je vidět také z toho, že maximální pozorovaná hodnota v r. 1998 nebyla dosud překročena. Korelace mezi globální teplotou po odečtení polynomu a sinusovkou je 0,58, mezi touto teplotou a superpozicí obou sinusovek je 0,64. Pro teploty na severní polokouli připadají maxima na roky 1985, 1941 a očekávané 2008, minima na roky 1908 a 1974, pro jižní polokouli jsou maxima 1979, 1937 a 1994, minima 1908 a 1965. Výše uvedené korelace pro severní polokouli činí 0,56 a 0,63, pro jižní 0,54 a 0,64.

Nakonec se vrátíme k pozorovaným hodnotám globální teploty a překreslíme celý obr. 5 tak, že do něj zahrneme i aproximační polynom, který jsme dříve vyloučili. To jsme učinili mj. proto, že jeho přítomnost by zkreslovala výpočet spektra, hodnoty period pro konstrukci obou sinusovek by byly velmi nepřesné. Výsledek vidíme na obr. 6. Je na první pohled zřejmé, jak přidáním sinusové křivky, či ještě lépe superpozice dvou sinusových křivek k polynomu získáme křivku, která poměrně dobře vystihuje pozorovaný průběh globální teploty. Zachycuje tak všechna období, kdy byl růst globální teploty rychlejší nebo naopak, kdy docházelo k určité stagnaci. Největší růst byl tedy pozorován před rokem 1877, dále 1909-1940 a opět 1972-2003, přičemž v každém z následujících intervalů byl růst rychlejší. Naopak v mezidobí, tj. 1887-1909 a 1940-1972, docházelo k jisté stagnaci či dokonce k mírnému poklesu. Také korelační koeficienty vyjadřují, jak přidání sinusové vlny (nebo dvou) lépe vystihuje průběh pozorovaných teplot. Koeficienty jsou podstatně vyšší než pro křivky na obr. 5, neboť polynom zachycuje významnou část změny globální teploty. Korelace mezi pozorovanými teplotami a samotným polynomem je 0,82, mezi teplotami a polynomem se sinusovkou stoupne na 0,91 a mezi teplotami a superpozicí sinusovek na 0,92. Pro vyhlazené teploty stoupne z 0,92 na 0,98 v obou variantách.



Obr. 6. Průběh pozorované globální teploty vzduchu 1850-2006 (modře). Doplněna aproximace polynomem druhého stupně (fialově), polynomem a sinusovou funkcí s periodou 61,5 let (červeně) a polynomem a superpozicí dvou sinusových funkcí s periodami 61,5 let a 20,7 let (světle hnědě) a pozorovaná data vyhlazená 21-bodovým binomickým filtrem (černě).

Čím je způsobena nalezená perioda kolem 60 roků, není zatím jasné. Určitě není její původ mimozemský. Tato perioda se nevyskytuje nikde ve sluneční ani v geomagnetické aktivitě a neodpovídá jí žádná perioda jinde ve sluneční soustavě (např. v postavení planet – zde by se však těžko našel vhodný mechanismus, který by vysvětloval případnou spojitost). Podobná perioda se však pozoruje v některých jevech na Zemi. Schlesinger a Ramankutty (1994) našli v globálních teplotách do roku 1992 periodu kolem 65-70 let (ne však tu podružnou kolem 20 let) s maximem před r. 1950 a minimem kolem r. 1910, což vcelku odpovídá hodnotám uváděným zde. V jednotlivých regionech (nezkoumali polokoule) se periody i polohy maxim navzájem poněkud liší, v regionech na jižní polokouli nenalezli žádné. Perioda blízká hodnotě 60-65 let se vyskytuje i na Zemi poměrně zřídka. Nalezena byla pouze v regionálním klimatickém indexu ENSO (El Nino Southern Oscillation), který popisuje interakci oceán – atmosféra v jižních oblastech Pacifiku a dále u indexu AO (Arctic Oscillation). Číselné hodnoty indexů ENSO a AO lze najít na internetu. Spektra ENSO a AO jsou uvedena na obr. 7 spolu se spektrem globální teploty z obr. 4. Vrcholy v periodě kolem 60-65 let si vcelku dobře odpovídají, ve spektru AO také vrcholy v periodě kolem 20 let. V obou spektrech, především ve spektru ENSO, jsou však přítomny další významné vrcholy (též mimo obrázky), které ve spektru globální teploty chybí. Proto je také významnost vrcholů těchto spekter na obr. 6 nižší než významnost vrcholu ve spektru teploty. V časové doméně je pak shoda podstatně horší, navíc v hodnotách ENSO existuje značný rozptyl, takže odpovídající sinusová vlna má jen malou amplitudu.



Obr. 7. Spektra řady ročních globálních teplot 1850-2006 po odečtení polynomu (červeně, z modrého grafu na obr. 3), a obdobně řady indexů AO (1899-2002, modře) a ENSO (1850-2002, tmavě zeleně). Vodorovnými čarami stejné barvy je vyznačena hranice 95% významnosti.

Křivky na obr. 6 naznačují možnou extrapolaci růstu globální teploty do blízké budoucnosti. Číselné hodnoty ovšem budou záviset na použitém modelu a především na odhadu, jak v dalších desetiletích poroste koncentrace skleníkových plynů v atmosféře. V každém případě vychází růst teploty vzduchu rychlejší než jaký byl pozorován ve 20. století. Variace s periodou kolem 60 let (a také kolem 20 let) může znamenat určitou korekci očekávaného stálého růstu. Předpokládáme-li, že tyto periodické složky budou přítomny i nadále, pak by se měl růst globální teploty na krátkou dobu (nejvýše do roku 2015-2020) poněkud zpomalit, jak naznačují červená a světle hnědá křivka na obr. 6. Nastala by podobná stagnace jako kolem roku 1950. Její trvání by však bylo kratší, protože růst vyjádřený na grafu polynomem je, a v nejbližším desetiletí bude, rychlejší než jaký byl před 60 lety (tj. sklon křivky vyjadřující polynom). Maximum v roce 1998 by pak zůstalo jako izolovaný vrchol podobně jako maxima v letech 1878 a 1944, která byla překonána až o desítky let později. Po roce

2015-2020 by měl opět nastat rychlejší růst. To ovšem jen v případě, že se do té doby nepodaří zpomalit růst koncentrace skleníkových plynů v atmosféře a tím potlačit hlavní příčinu růstu globální teploty. Změna v růstu koncentrace skleníkových plynů v následujících cca 20 letech by znamenala jiný průběh globální teploty ve stejném období, změnu parametrů aproximačního polynomu pro řadu cca o 20 roků delší a tím i jiný odhad dalšího vývoje. Z filozofického pohledu se dá říci, že příroda nám dává ještě určitý čas, určitou šanci, abychom alespoň snížili antropogenní příčinu globálního oteplování. Když tak neučiníme, bude růst v dalších letech rychlejší a naplní se scénáře spíše pesimistické.

### Poděkování

Tento výzkum je podporován Grantovou Agenturou AV ČR, grantem č. A 300 12 06 08.

### Literatura

- [1] Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D., 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature change: A new data set from 1850. *J. Geophys Res.* 111, D12106, doi: 10.1029/2005JD006548 .
- [2] Schlesinger M.E., Ramankutty N., 1994. An oscillation in the global climate system of period 65-70 years. *Nature* 367, 723-726.

### Zdroje dat

Globální teplota, NH a SH	<a href="http://hadobs.metoffice.com/hadcrut3/diagnostics/index.html">http://hadobs.metoffice.com/hadcrut3/diagnostics/index.html</a>
Koncentrace CO <sub>2</sub> aj.	<a href="http://data.giss.nasa.gov/modelforce/ghgases/GCM.html">http://data.giss.nasa.gov/modelforce/ghgases/GCM.html</a>
Index ENSO	<a href="http://jisao.washington.edu/data/globalsteno/index2.html">http://jisao.washington.edu/data/globalsteno/index2.html</a>
Index AO	<a href="http://jisao.washington.edu/data/aots/index2.html#data">http://jisao.washington.edu/data/aots/index2.html#data</a>