

# Změna klimatu - mýty, fakta, statistika...

*Ladislav Metelka*  
*ČHMÚ, pobočka Hradec Králové*

- co je klima?
- klimatologie a statistika
- změny klimatu
- co všechno je možné
- diskuse...

### **Klima (podnebí):**

- Z fyzikálního hlediska: dlouhodobý charakteristický režim počasí, podmíněný energetickou bilancí, cirkulací atmosféry, charakterem aktivního povrchu a lidskými zásahy  
*[Meteorologický slovník výkladový a terminologický, Academia, Praha 1993]*
- Z hlediska způsobu popisu: soubor statistických charakteristik, popisujících chování a vlastnosti atmosféry za delší časové období

Už v definicích je jak fyzikální, tak statistický přístup

## **Klimatologie začíná jako popisná záležitost:**

- Konec 18.století - mannheimská síť: stejné termíny pozorování, stejné přístroje, stejný způsob zpracování dat, stejný program pozorování, výměna dat = první síť meteorologických stanic (vzájemná srovnatelnost)
- Postupně i první klimatologické (statistické) charakteristiky a analýzy (popis klimatu), změny charakteristik se zpracovaným obdobím (změny klimatu = polovina 19. století)

## **Příčiny změn klimatu:**

- vliv CO<sub>2</sub> (Svante Arrhenius – konec 19.století - GO)
- Milankovičovy cykly (Milutin Milankovič - začátek 20.století)

Pak od popisných charakteristik přes analýzy časových řad až k multivariačním metodám (variabilita dat v lokalitě – kombinace časové a prostorové variability – analýza hlavních komponent apod.) – vázáno i na rozvoj výpočetní techniky

## **Modelování:**

statistické x dynamické  
diagnostické x prognostické

## Statistické modelování

- založeno pouze na naměřených datech
- data obsahují „šumové“ složky
- vyjádřit obecné souvislosti nebo závislosti mezi nimi, potlačit vliv „šumových“ složek
- řada metod:
  - regresní metody (lineární, nelineární)
  - analýza hlavních komponent
  - autoregresní modely časových řad (Box-Jenkins)
  - analýza extrémů
  - analýza četností opakování nebo „klimatického zajištění“
  - klasifikační metody
  - neuronové sítě (perceptronové, Kohonenovy,...)
  - stochastické „generátory počasí“
  - atd. atd. atd.....
- výsledky analýzy nebo modelu je nutné konfrontovat s fyzikální realitou, představou,...

## Dynamické modelování

- založeno na fyzice atmosféry (statika, dynamika, termodynamika)

### 2. Newtonův zákon

$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$$

$$(d\mathbf{v}/dt = -1/\rho \cdot \text{grad } p + 2\mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega} + \mathbf{g} + \mathbf{f})$$

### Stavová rovnice plynu

$$p = \rho \cdot R \cdot T$$

### 1. termodynamický zákon

$$dq = c_v \cdot dT + p \cdot dV$$

(zákon zachování energie)

### Rovnice kontinuity

$$\partial \rho / \partial t = - \text{div}(\rho \cdot \mathbf{v})$$

(zákon zachování hmoty)

*Plus zákony, popisující fázové přeměny vody a jejich energetiku  
(výpar, kondenzace, sublimace, latentní teplo, ...)*

### Výsledek:

- soustava parciálních diferenciálních rovnic
- **nemá analytické řešení**
- nutno řešit metodami numerické matematiky v síti uzlových bodů – grid

### Problémy:

- Reálný vývoj spojitý v prostoru a čase, ale řešení modelu nikoli (*grid horizontálně = stovky – desítky – jednotky km, vertikálně = desítky hladin od povrchu na horní hranici atmosféry, časové kroky = desítky minut – minuty*)
- Jevy subgridového měřítka nelze takto popsat, nutné přibližné vyjádření (parametrizace)

### Důsledek:

- Modely už v principu nemohou modelovat klimatický systém přesně, vždy jen přibližně (*týká se meteorologie i klimatologie*)

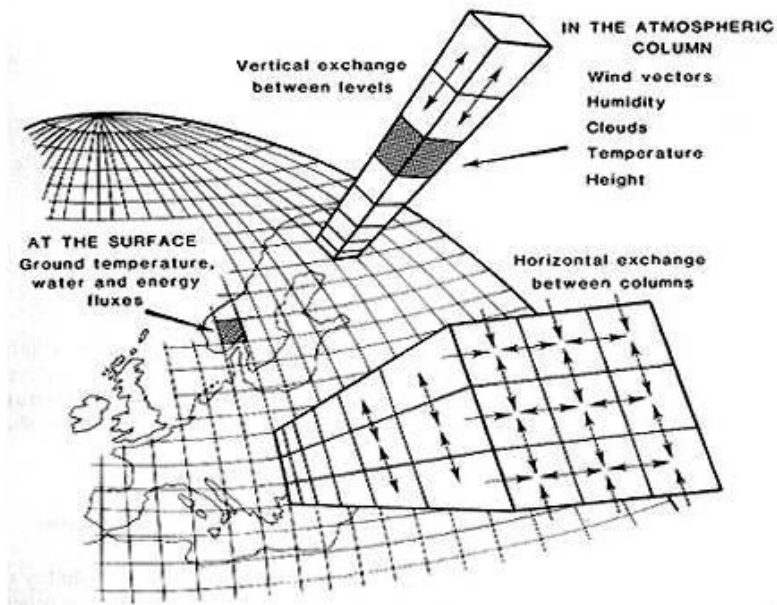
## Parametrizace

- Jevy a procesy subgridového měřítka (pod rozlišovací schopností modelu, přesto důležité pro popis atmosféry): příklad = kupovitá oblačnost → statistický popis v rámci gridového boxu (procento pokrytí boxu oblačností)



- Jevy a procesy, které jsou výpočetně extrémně náročné: příklad = radiační schema (krátkovlnné, dlouhovlnné, radiační bilance) → zjednodušení s co nejmenším snížením přesnosti (výpočet nikoli fyzikálně, ale pomocí empirických vztahů - např. neuronové sítě)



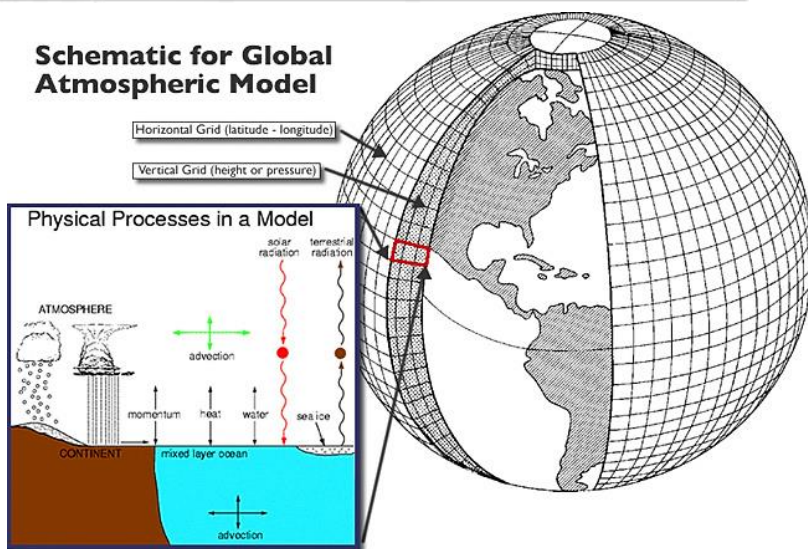


Spodní krajové podmínky –  
povrch Země

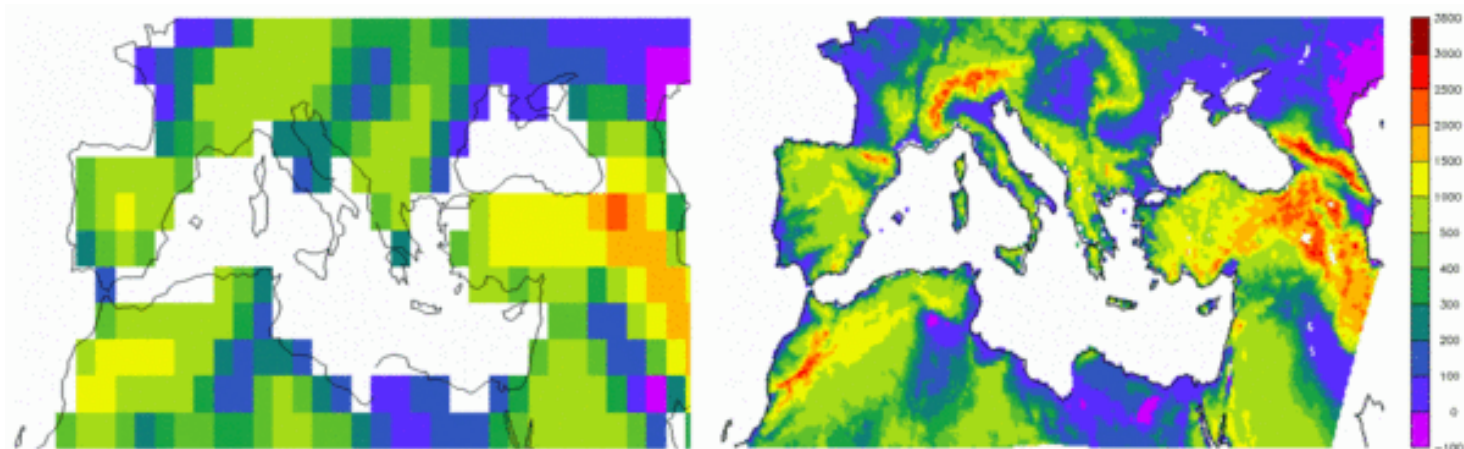
Toky tepla, hybnosti a vody  
mezi povrchem a atmosférou

Povrch = pevnina, oceán

Oceán: podobné rovnice jako  
pro atmosféru (ale  
nestlačitelné prostředí, místo  
vlhkosti = slanost vody –  
spolu s teplotou ovlivňuje  
hustotu vody) – dnes počítán  
rovněž dynamicky



## Vliv rozlišení modelu na reálnost spodních krajoých podmínek



GCM ECHAM5 (200 km)

RCM REMO (25 km)

Kompromis mezi schopnostmi výpočetní techniky a rozlišením modelu (vysoké rozlišení – přesnější, ale extrémní nároky na výpočetní techniku – někdy nelze reálně spočítat)

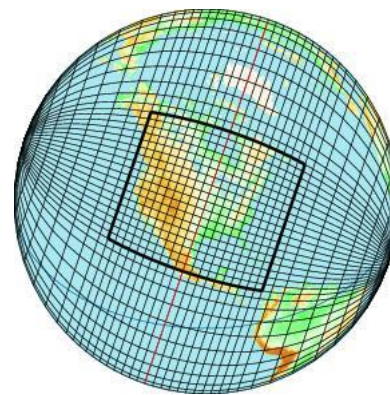
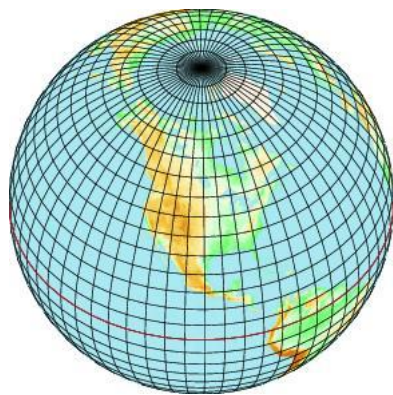
Modelování je v současné době silně limitováno schopnostmi výpočetní techniky

### **Příklad: přechod na 2x lepší rozlišení:**

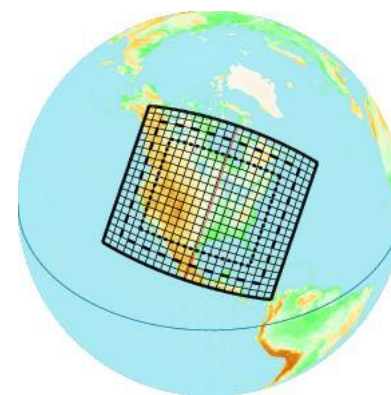
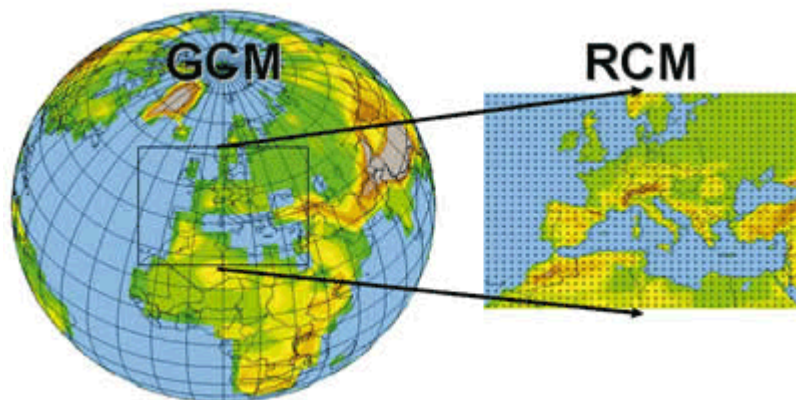
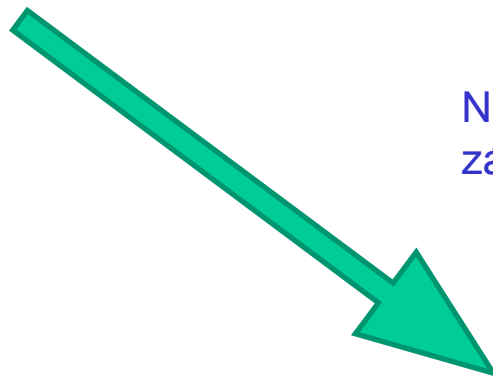
- 2x více bodů v zonálním směru (x 2)
- 2x více bodů v meridionálním směru (x 4)
- konzistence výpočtu = 2x více bodů vertikálně (x 8)
- konzistence výpočtu = zkrácení časového kroku integrace cca na polovinu (x 16)
- Některé parametrizované procesy se dostanou z oblasti subgridových měřítek do gridových měřítek – nutno začít počítat dynamicky (případně u malých měřítek i nehydrostaticky) – další zvýšení nároků na výpočetní techniku

**Výsledek: přechod na 2x lepší rozlišení vyžaduje cca o 2 řády výkonnější výpočetní techniku (rychlost výpočtů, kapacita paměti,...)**

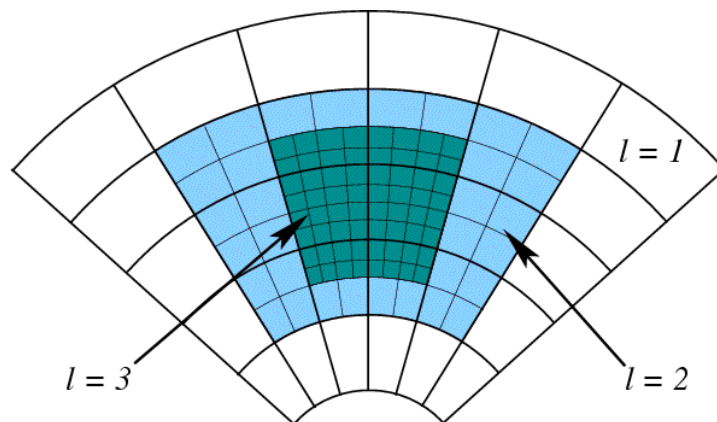
Řešení:



Nepravidelný grid (hustší v  
zájmové oblasti, řidší jinde)

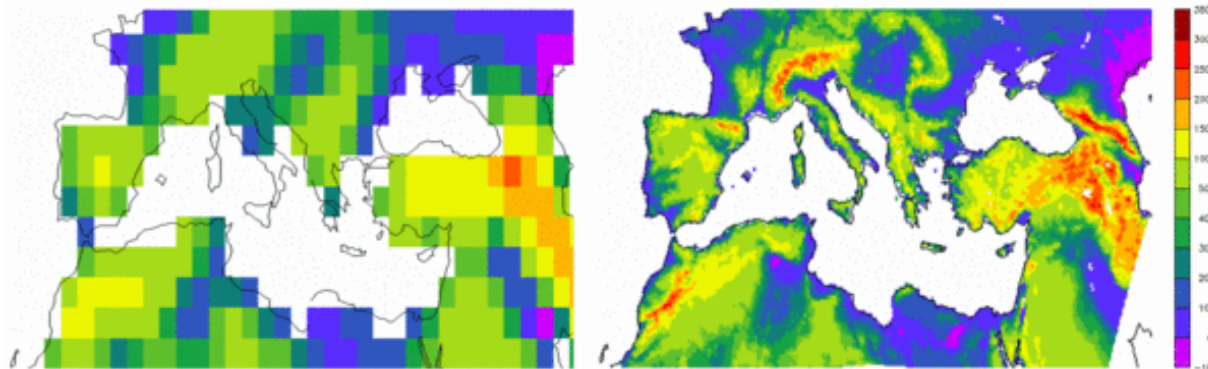


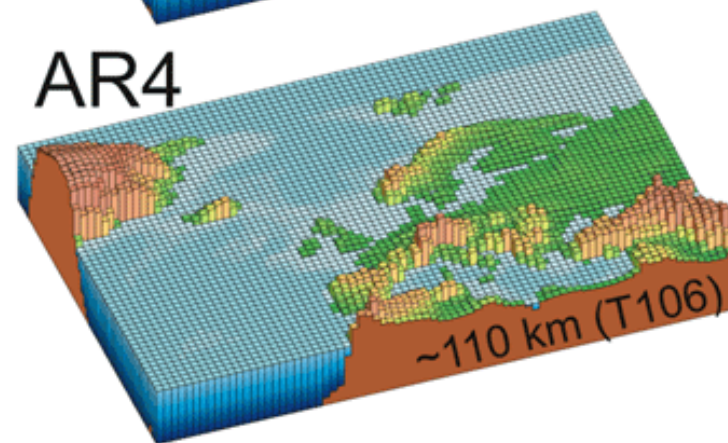
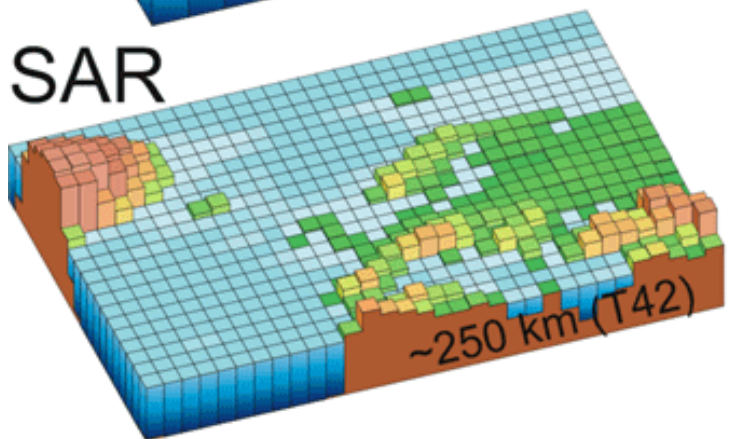
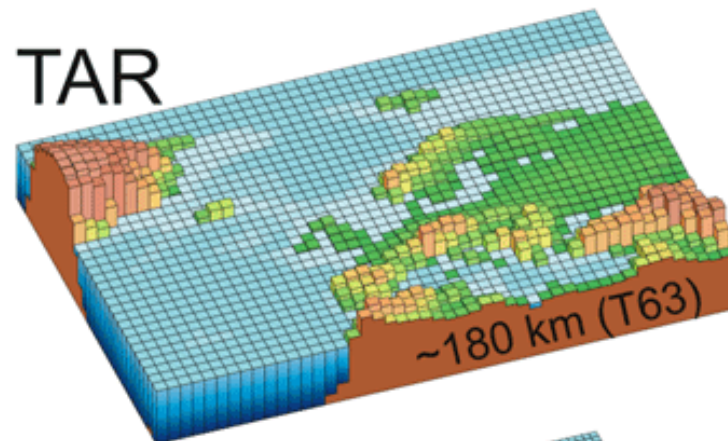
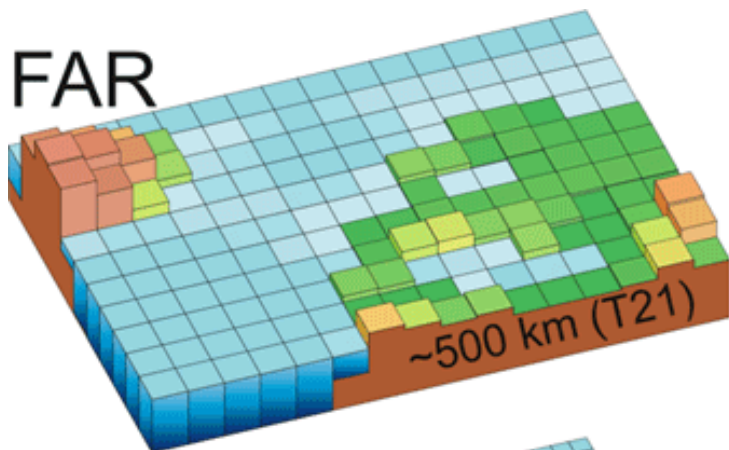
Regionální model



RCM nemůže pracovat sám, nezná „globální souvislosti“. Ty dostane z globálního modelu.

- Spočítá se GCM s nižším rozlišením.
- Z gridových bodů na hranici oblasti RCM se vezmou (pro daný časový okamžik) hodnoty meteorologických prvků (teplota, vlhkost, tlak, vorticity, ...) a toky (hmoty, hybnosti, tepla, vodní páry, ...) a ty se použijí jako boční krajové podmínky pro RCM.
- RCM pak počítá vývoj jen na určité oblasti, s vyšším rozlišením, lepší orografií, ...





## Které informace model dostane:

- velikost Země a její rotace
- rozložení pevnin a oceánů („land-sea mask“)
- vlastnosti pevného povrchu (tepelná kapacita a vodivost, schopnost absorbovat vodu, drsnost povrchu,...) – částečně pevně dány, částečně se počítá (povrch holý versus pokrytý sněhem,...)
- orografie pevného povrchu (hory)
- vlastnosti povrchu oceánu se zpravidla počítají v oceánické části modelu (na to ale nutná orografie mořského dna)
- složení atmosféry
- příkon slunečního záření
- počáteční podmínky (zpravidla pozorované hodnoty v určitém čase – konzistentní)

**Nedostane ale žádnou informaci o tom, jak klima vypadá, žádná napozorovaná data. Naopak jeho úkolem je klima „spočítat“.**

## Validace modelu

- Ověření vlastností modelu porovnáním s naměřenými daty
- Lze provést na jakémkoli období, pro které máme naměřená data s dostatečnou
  - hustotou (srovnatelná s hustotou gridových bodů modelu)
  - vertikálním rozsahem (od povrchu až do vysokých výšek)
  - časovým rozlišením (denní, ale lépe 6-hodinová data)
  - přesností (srovnatelnou s přesností samotných měření)
  - pokrytím (u GCM – globální, u RCM – zvolená oblast)
- V praxi máme taková data cca od 2.poloviny 20.století – reanalýzy („přegridovaná“ pozorování do pravidelné sítě) – NCEP/NCAR, ERA-40, ERA-Interim
- Starší období: nejsou přímo naměřená data, ale často rekonstruovaná pomocí proxy (letokruhy, sedimenty, pyl, ledovce, ...)
  - nemají dostatečnou hustotu pokrytí (spíše jen jednotlivé lokality)
  - zpravidla jen z povrchu, chybějí výšková data
  - časové rozlišení v nejlepším případě roky nebo průměry za delší období
  - přesnost výrazně horší než u měřených dat
  - jen z některých oblastí (např. ledovce – Grónsko nebo Antarktida)
- Problematická validace modelu na starších obdobích způsobena nikoli neschopností modelů, ale nedostatkem validačních dat a jejich vlastnostmi



## Validace modelu

Validují se základní charakteristiky modelu v porovnání s realitou (naměřenými daty, reanalýzami), např.:

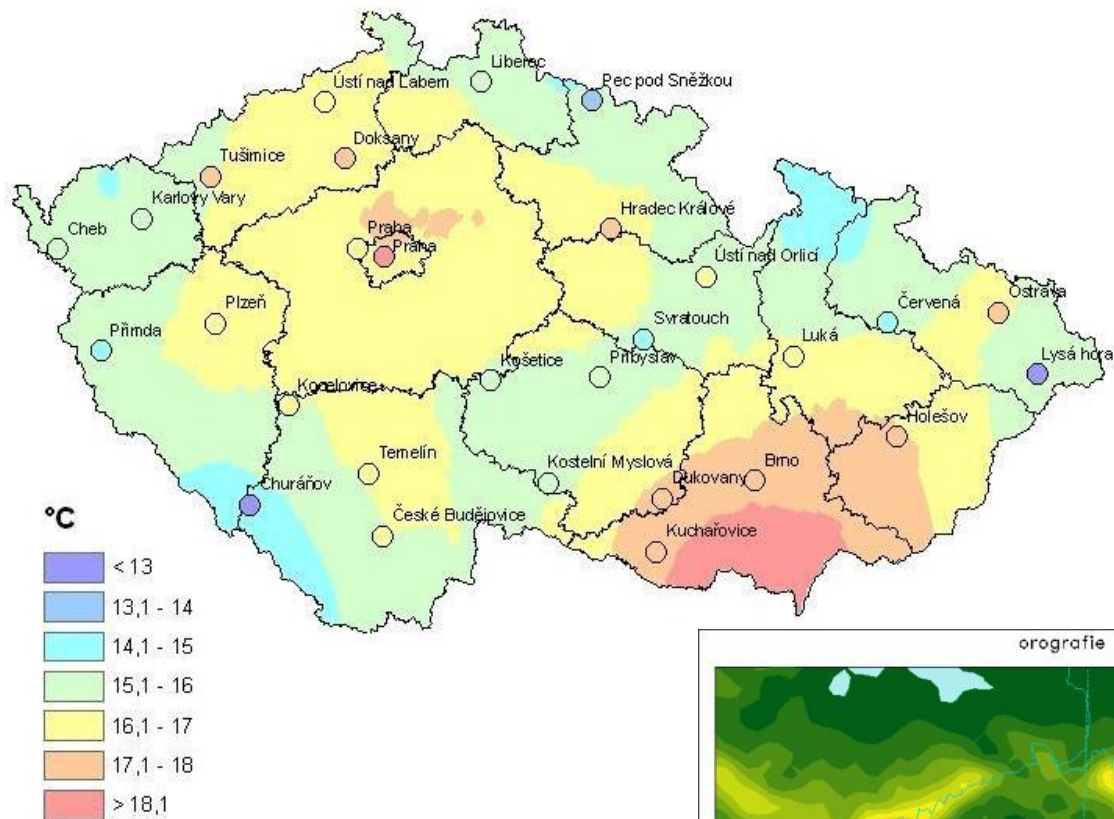
- dlouhodobé průměry
- roční chody
- trendy
- autokorelační struktura časových řad
- cirkulační charakteristiky (četnosti výskytů jednotlivých cirkulačních typů)
- extrémny
- speciální a známé lokální projevy (návětrné a závětrné efekty,...)

Statistické metody. Testování, zda namodelovaná realizace vývoje atmosféry a skutečný (napozorovaný) vývoj atmosféry mohou být dvě různé realizace téhož procesu.

Mnoho možných příčin rozdílů mezi modelovými a napozorovanými charakteristikami:

- diskrétní výpočty
- nepřesný fyzikální popis nebo parametrizace
- nepřesné krajové podmínky (orografie)

## Příklad: Aladin-Climate/CZ (25 km) – $T_{AVG}$ (JJA) 1961-1990

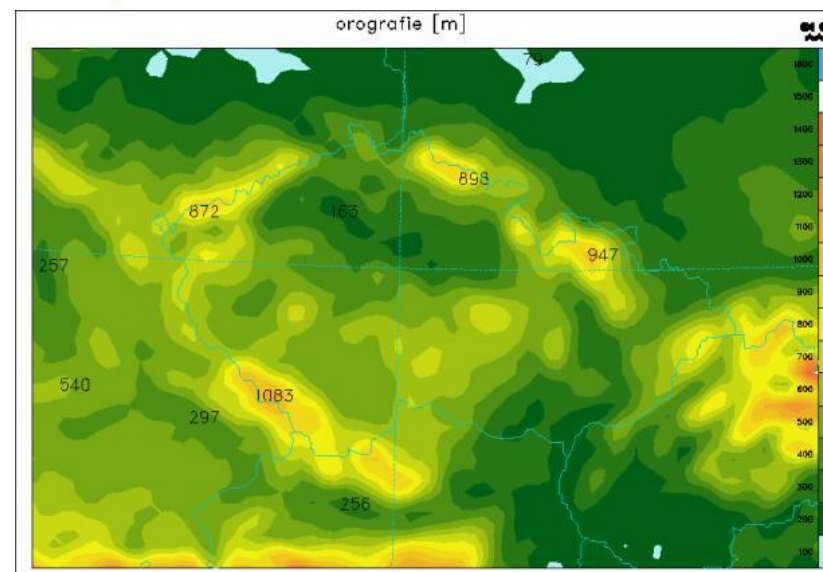


Churáňov:  
1118 m n.m.

Lysá hora:  
1324 m n.m.

Pec p.S.:  
816 m n.m.

mapa = model  
kroužky = naměřené hodnoty  
na profesionálních stanicích ČHMÚ



## Modely atmosféry – prakticky stejné pro meteorologii a klimatologii (fyzika atmosféry je jen jedna), ale různý způsob využití a interpretace

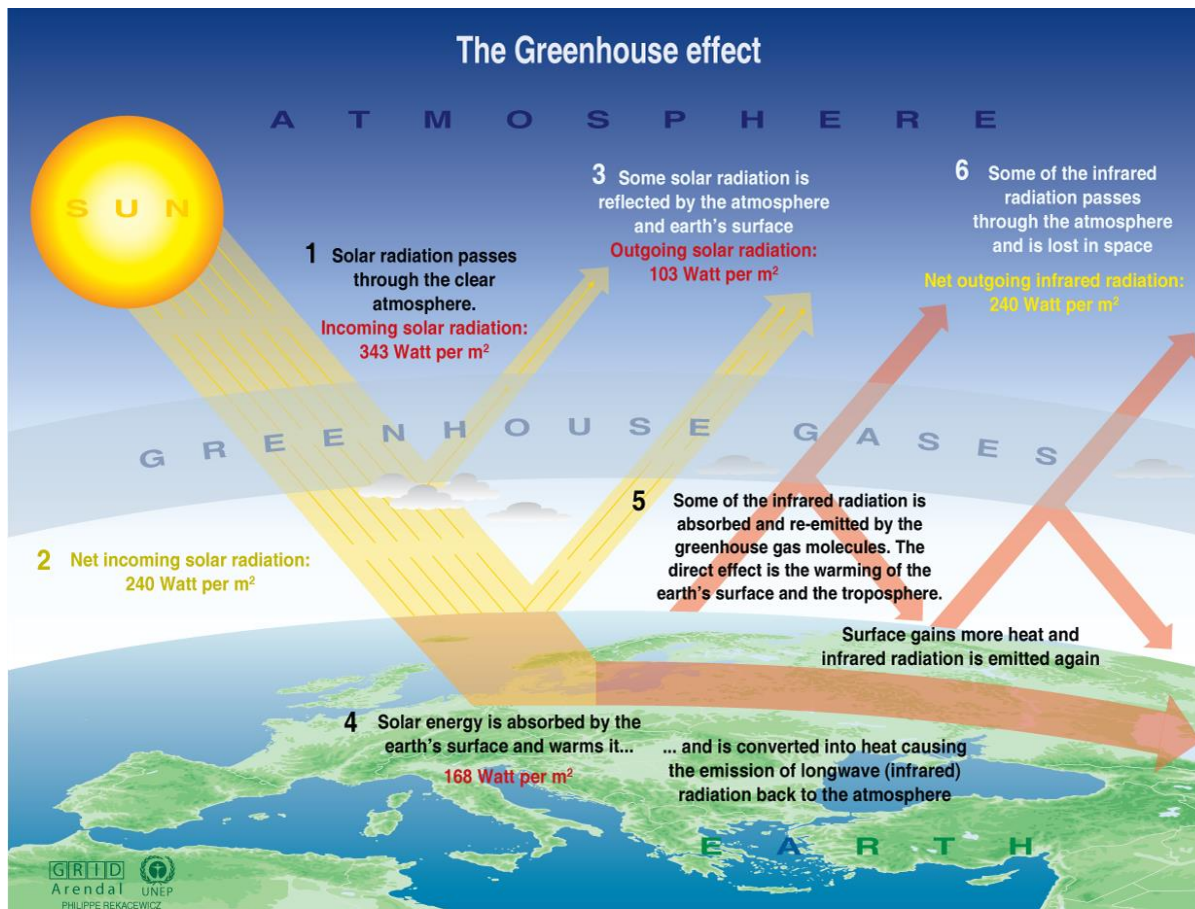
Trajektorie vývoje atmosféry:

- Fyzikálně nemožné (odporují základním fyzikálním zákonům, kterými se vývoj atmosféry řídí)
- Fyzikálně možné (v souladu s těmito zákony) – nekonečně mnoho
- Jedna jediná trajektorie je ta reálná, která popisuje skutečný vývoj počasí

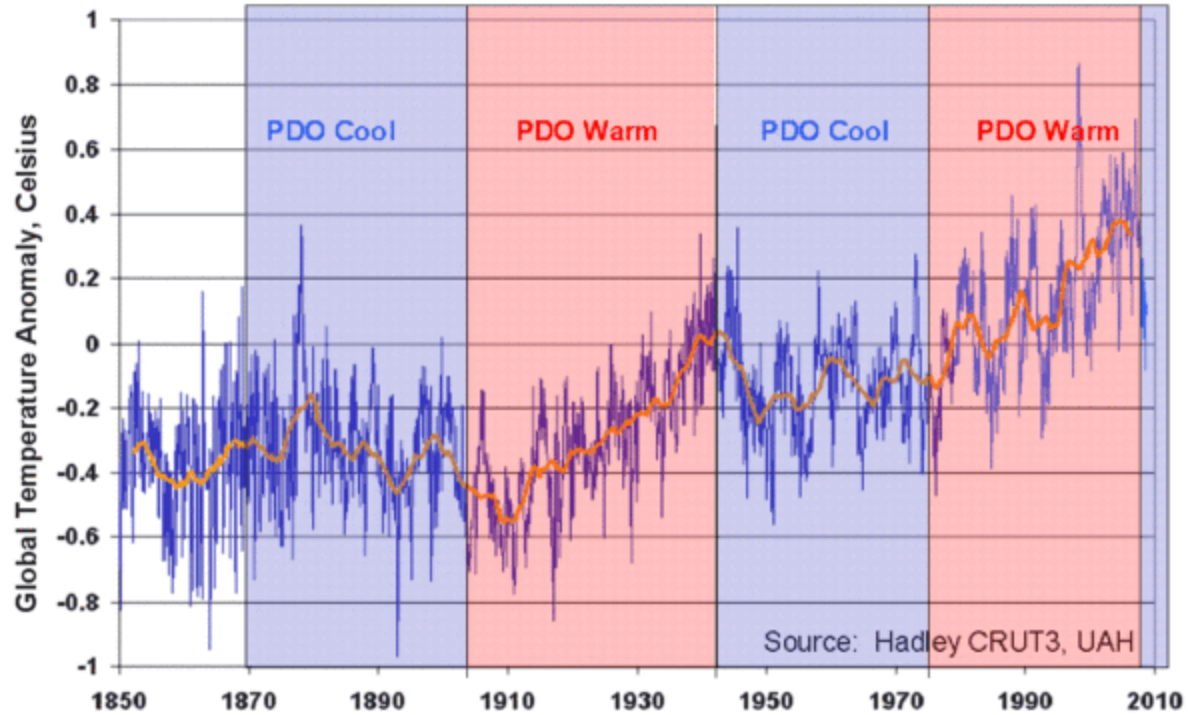
Meteorologické modely – předpověď dalšího vývoje té jediné reálné trajektorie. Je závislá na počátečních podmínkách výpočtu.

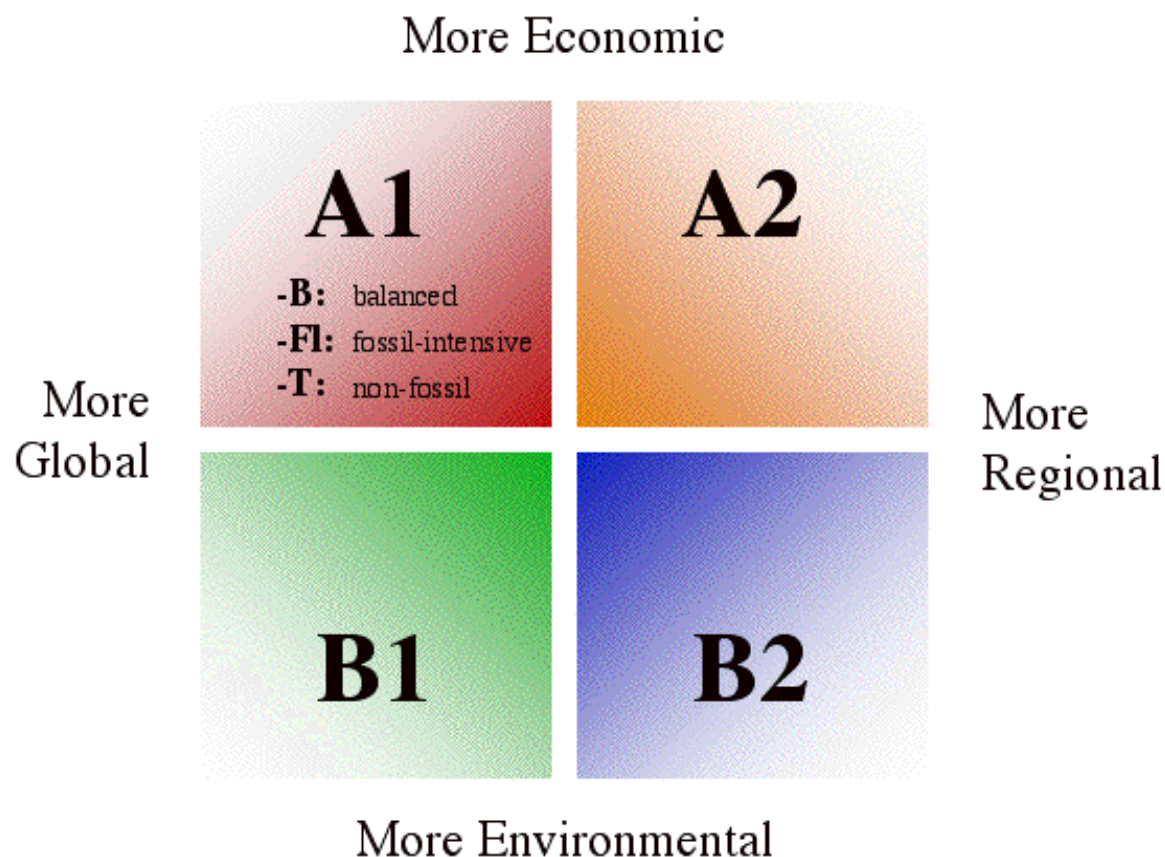
Klimatologické modely – (*definice: klima = soubor statistických charakteristik, popisujících chování a vlastnosti atmosféry za delší časové období*) – další vývoj statistických charakteristik. K tomu není třeba vědět, která z modelových trajektorií je ta jediná reálná, ale je třeba mít množinu fyzikálně možných trajektorií, ze které počítáme příslušné statistické charakteristiky (klima). Výsledné modelové klima není závislé na počátečních podmínkách.

Množina modelových trajektorií = množina integrací modelu s mírně perturbovanými počátečními podmínkami nebo parametrizacemi (starty modelu z reálných počátečních podmínek z různých dnů a podobně) – ansámblové modelování



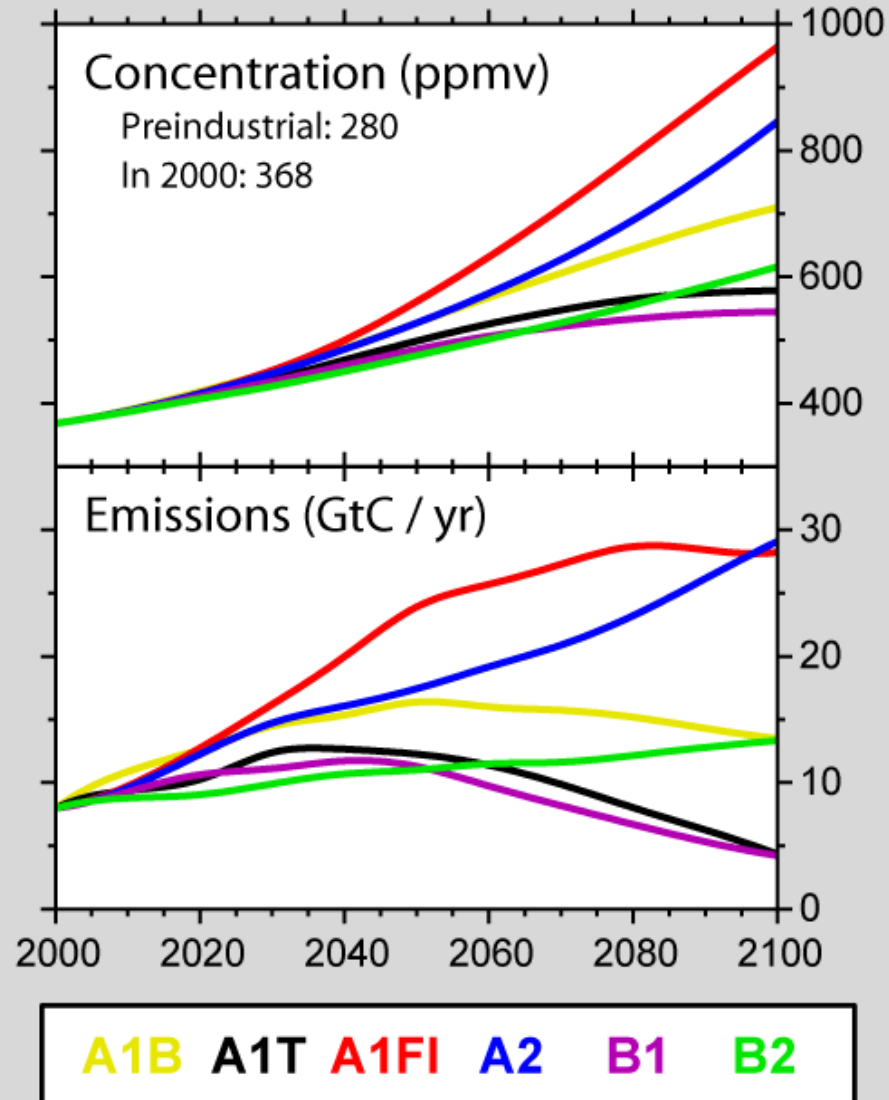
Sources: Okanagan university college in Canada, Department of geography, University of Oxford, school of geography; United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington; Climate change 1995, The science of climate change, contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge university press, 1996.



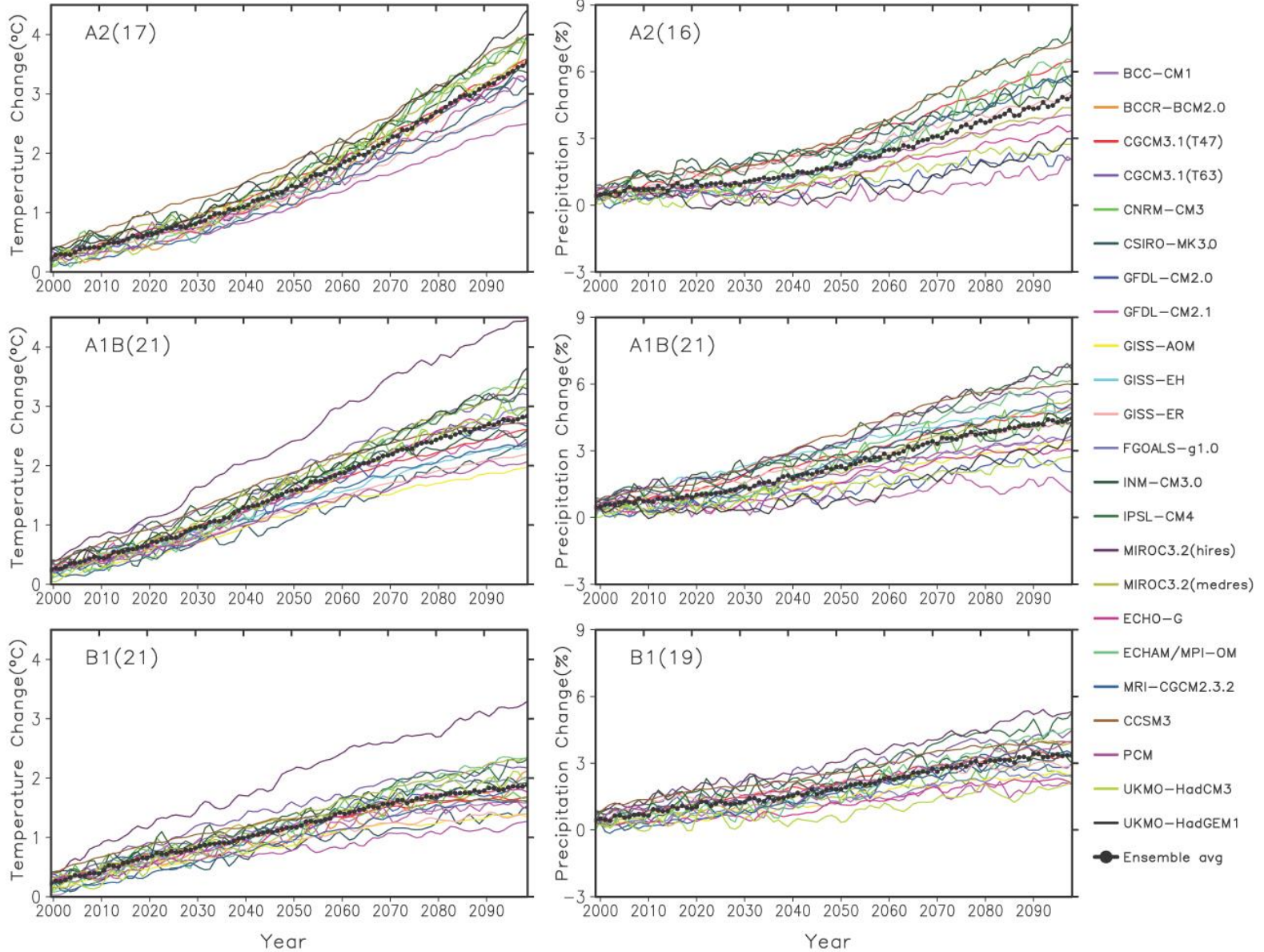


Adapted from **IPCC**, 2001: *Climate Change 2001: Synthesis Report. A contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 pp.

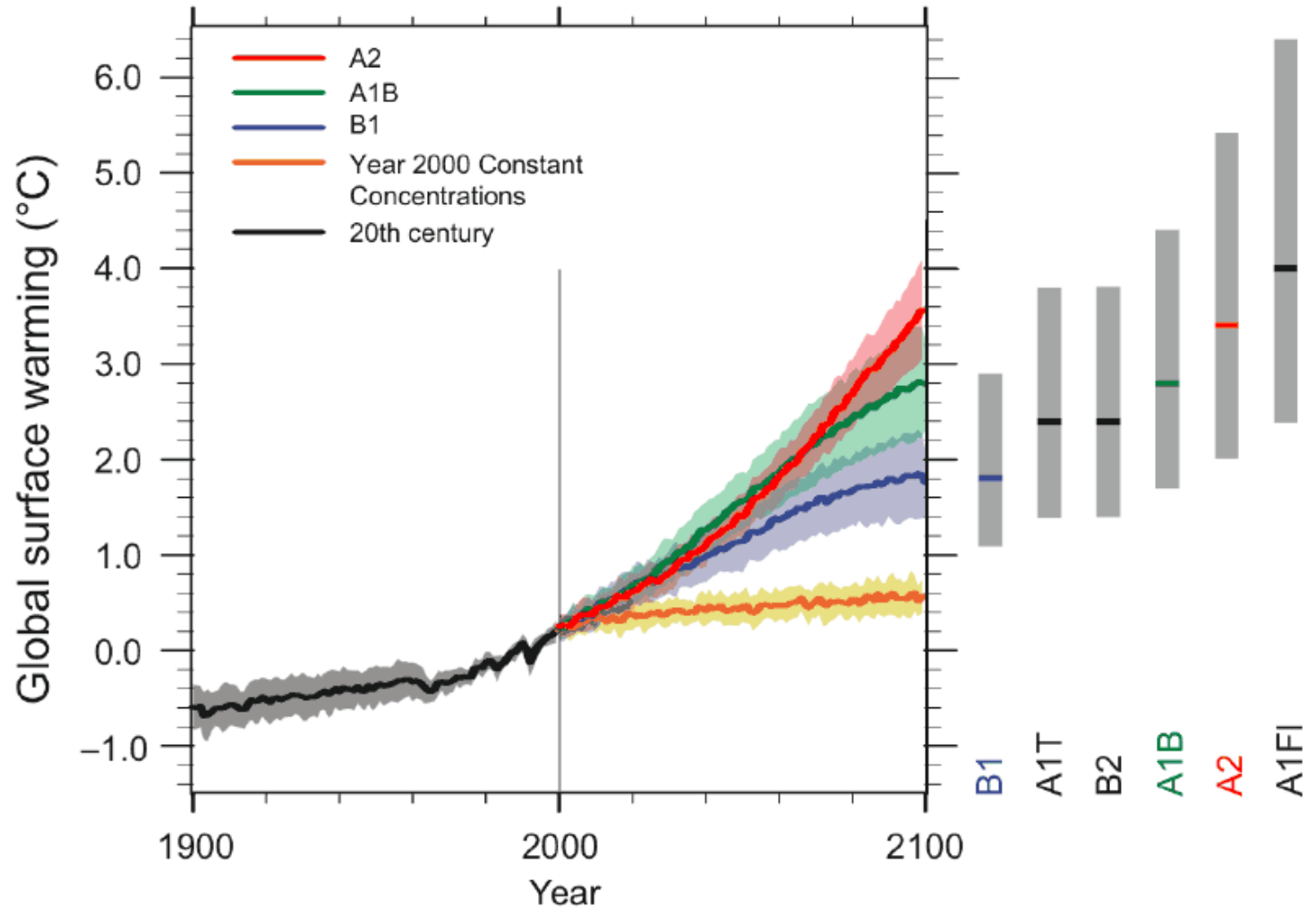
# IPCC Emissions Scenarios: Carbon Dioxide



# Ansámblý modelů







## Klimaskepticismus, klimaalarmismus

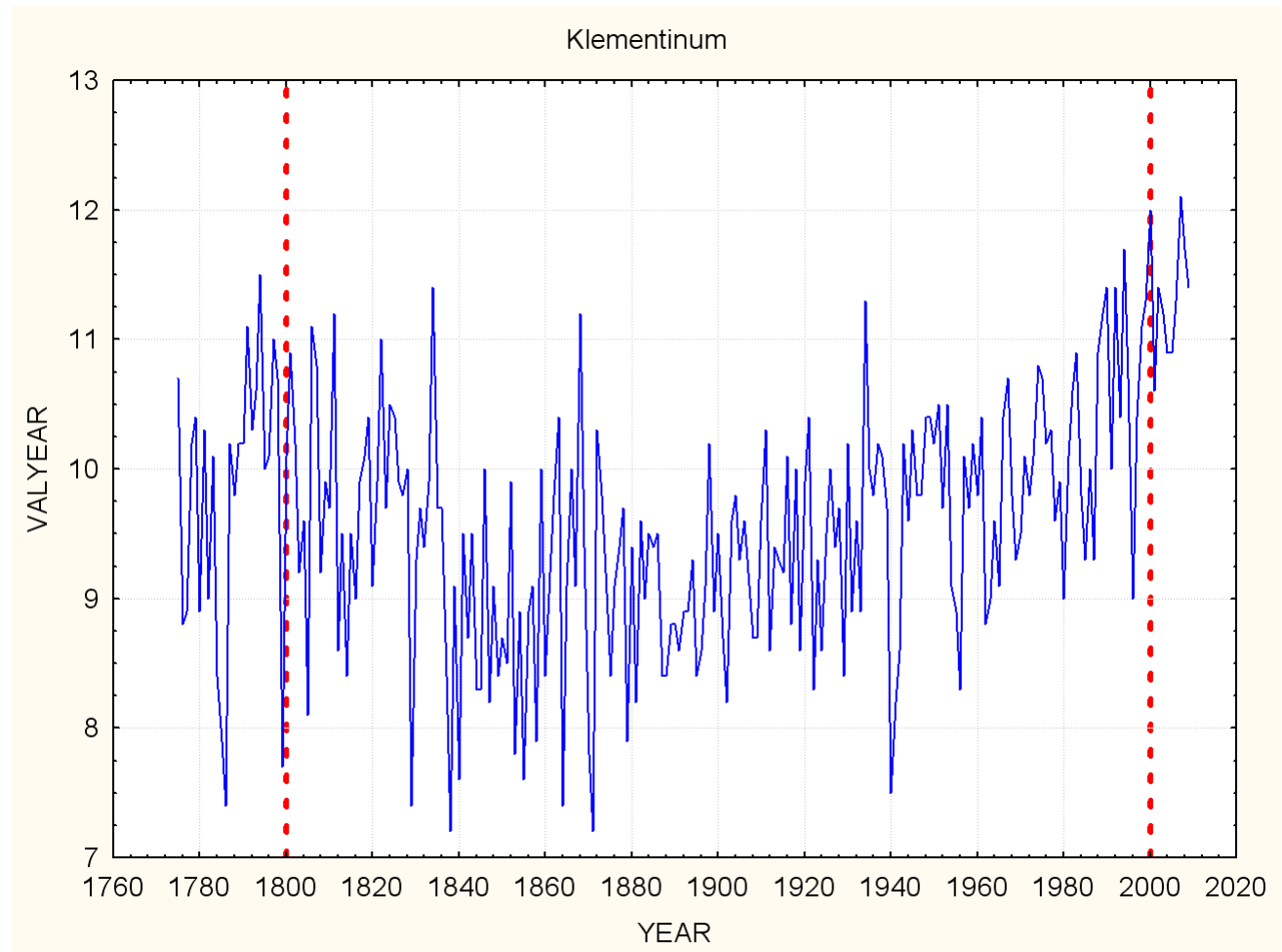
- Extrémní pozice v problematice změny klimatu a globálního oteplování
- Metody zpracování dat, dezinterpretace výsledků

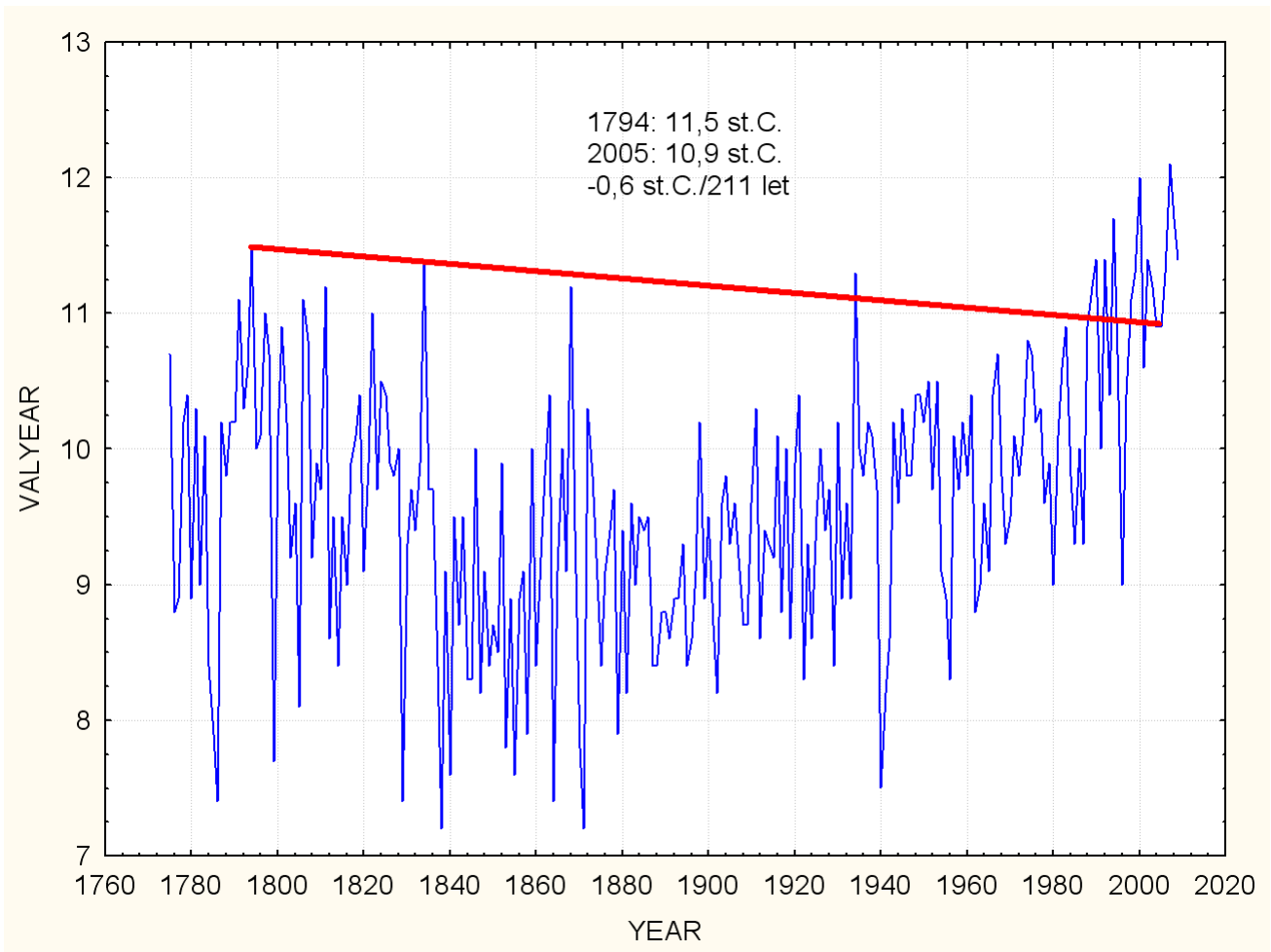
<http://kremlik.blog.idnes.cz/c/124765/Czechgate-Podle-Klementina-zadne-otepleni-od-r-1800.html>

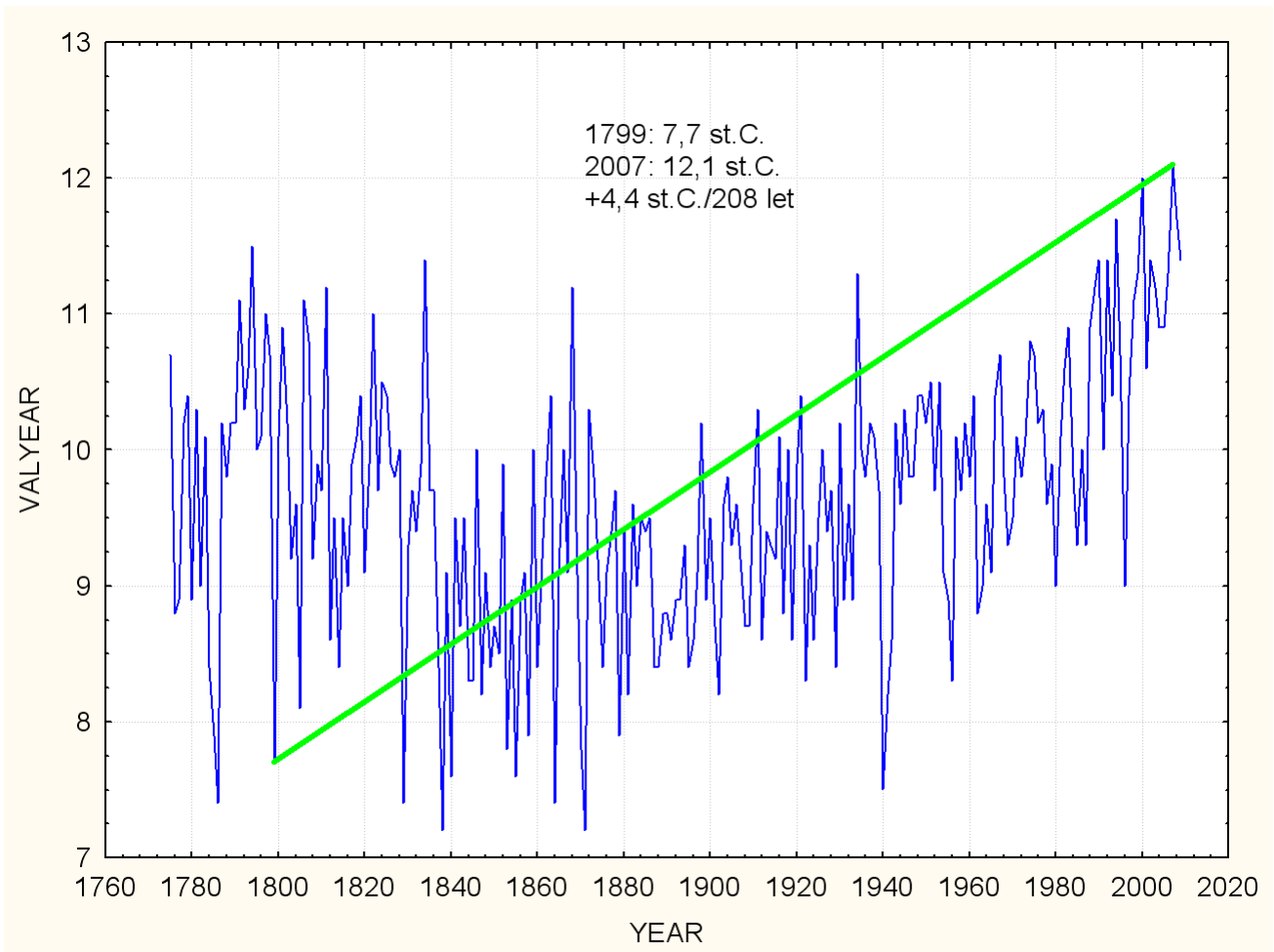
<http://www.klimaskeptik.cz/news/czechgate-podle-klementina-zadne-otepleni-od-r-1800/>

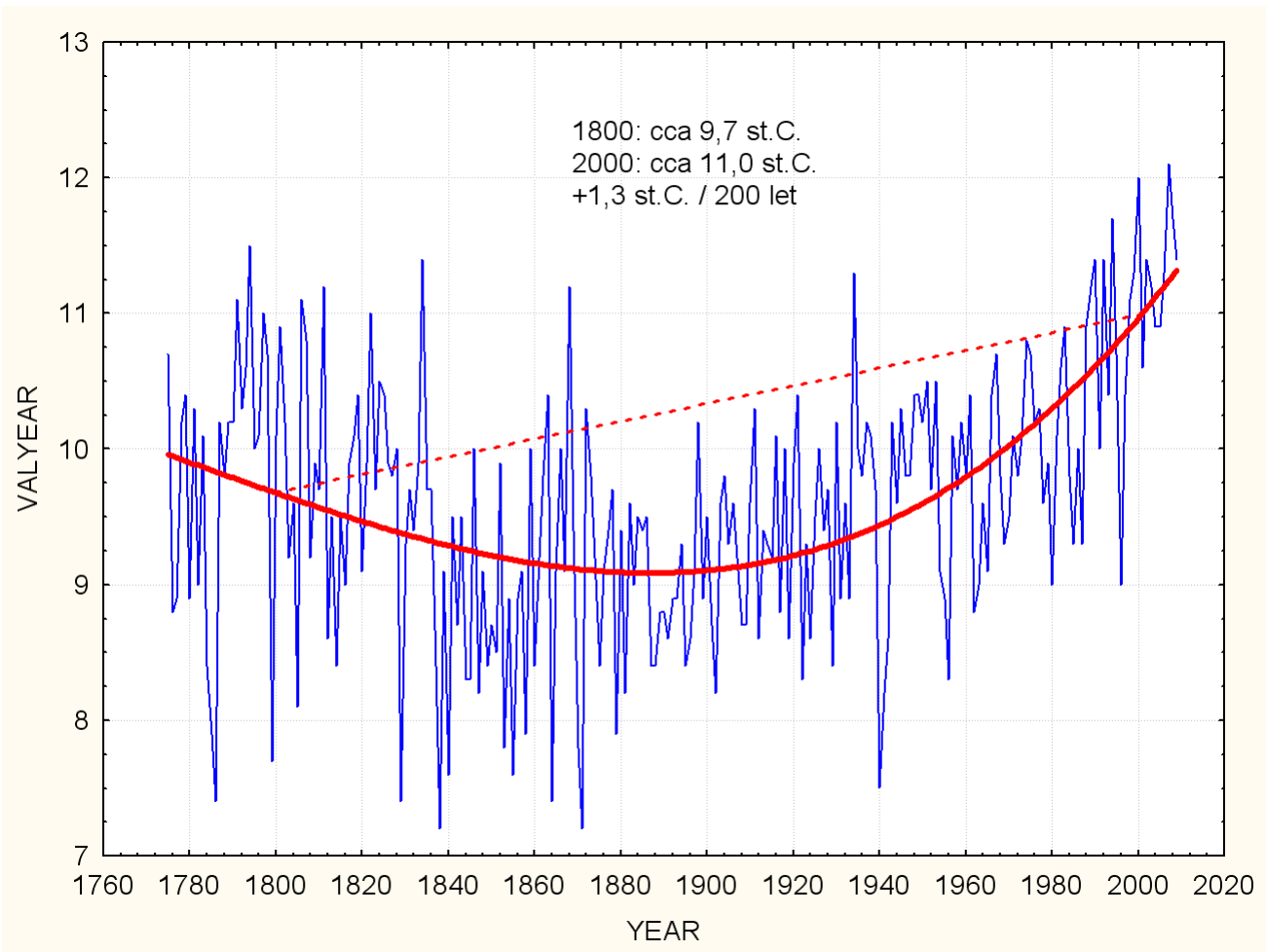
[http://neviditelnypes.lidovky.cz/czechgate-podle-klementina-zadne-otepleni-od-r-1800-f6w-/p\\_veda.asp?c=A100228\\_120852\\_p\\_veda\\_wag](http://neviditelnypes.lidovky.cz/czechgate-podle-klementina-zadne-otepleni-od-r-1800-f6w-/p_veda.asp?c=A100228_120852_p_veda_wag)

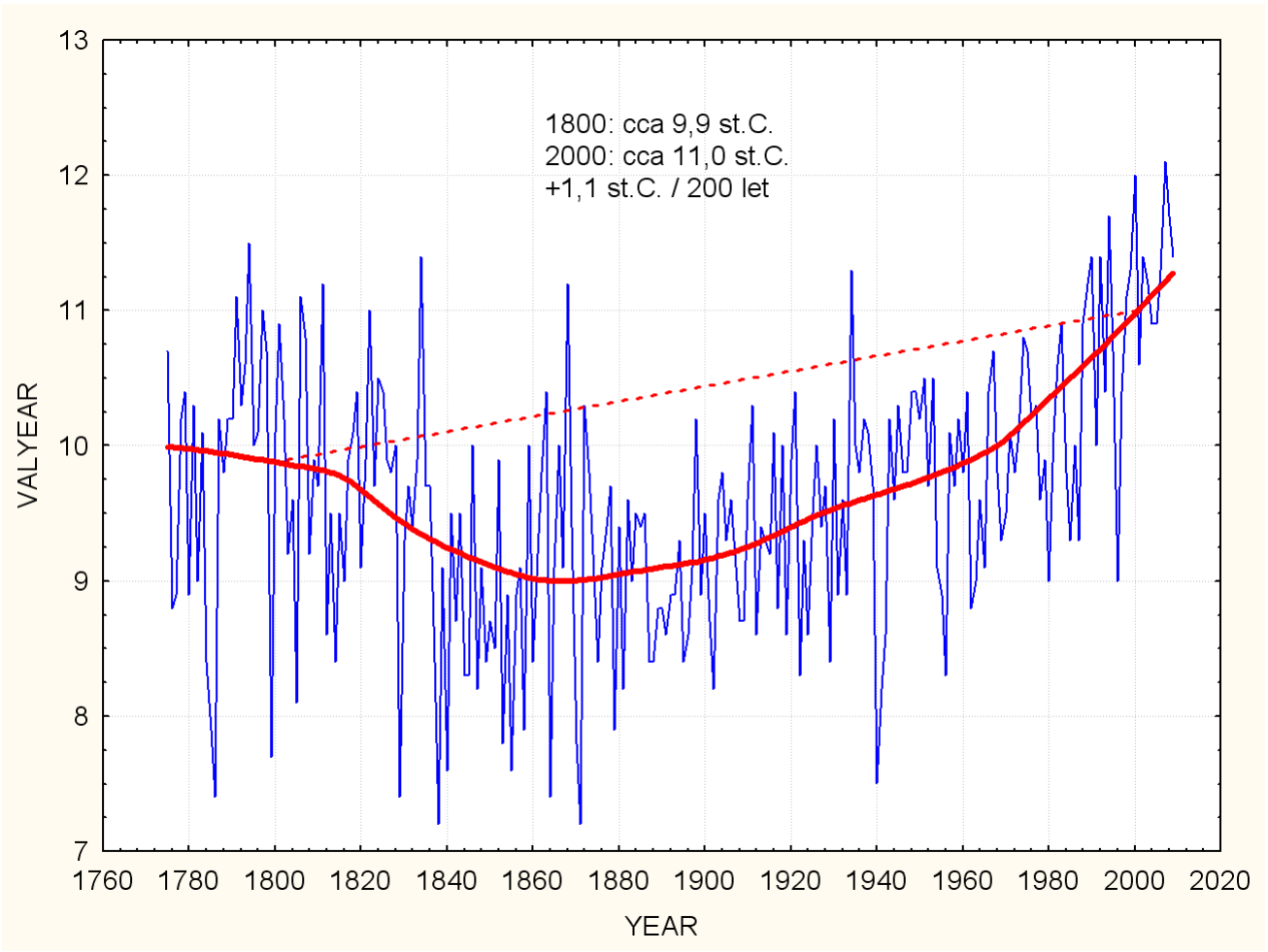
„Tak například, **roční průměrná teplota 1794 byla 11.50 °C a v roce 2005 jen 10.88 °C**. Přitom si uvědomte, že Klementinum je uprostřed hlavního města, čili teploty roku 2005 jsou uměle zkreslené nahoru kvůli efektu městského tepelného ostrova. **Ani tak tu ale není od roku 1800 žádné znatelné oteplení.**“



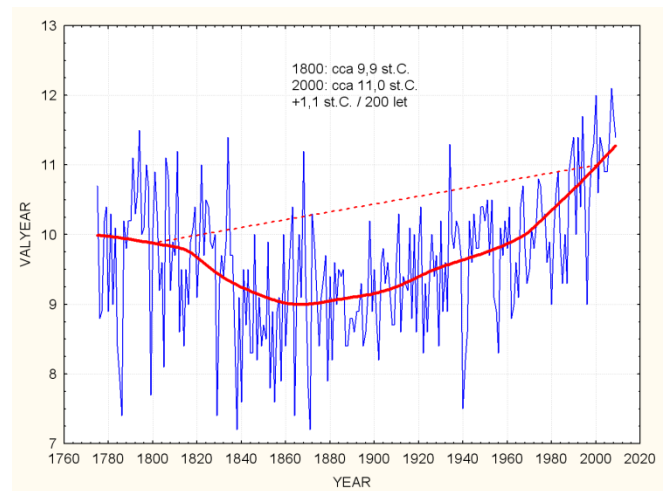
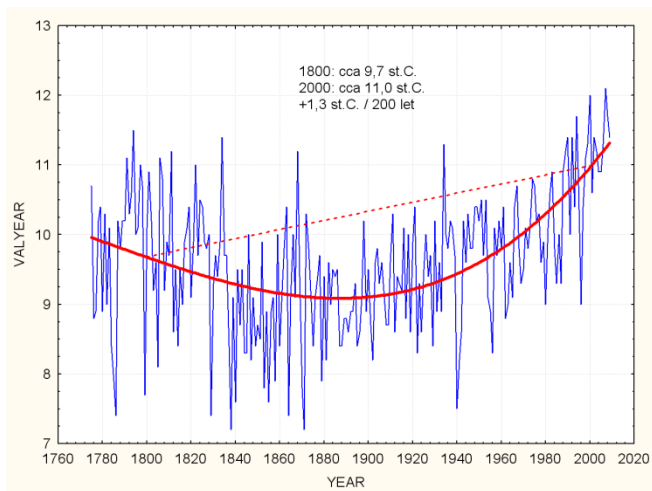
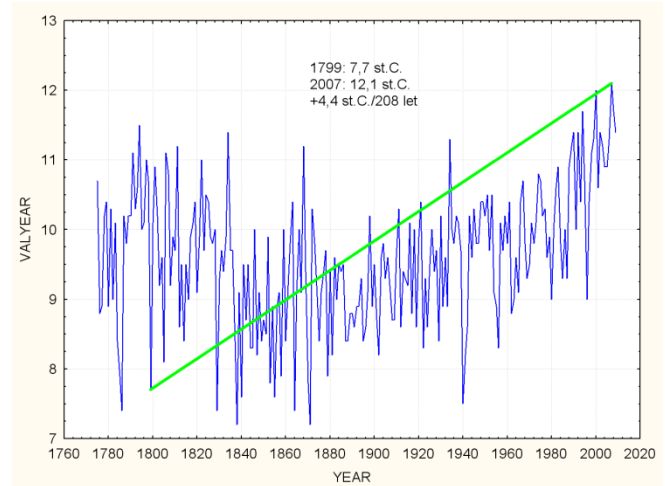
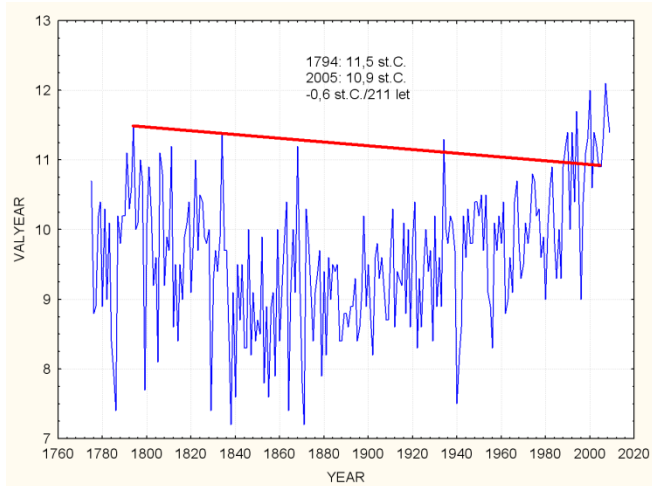








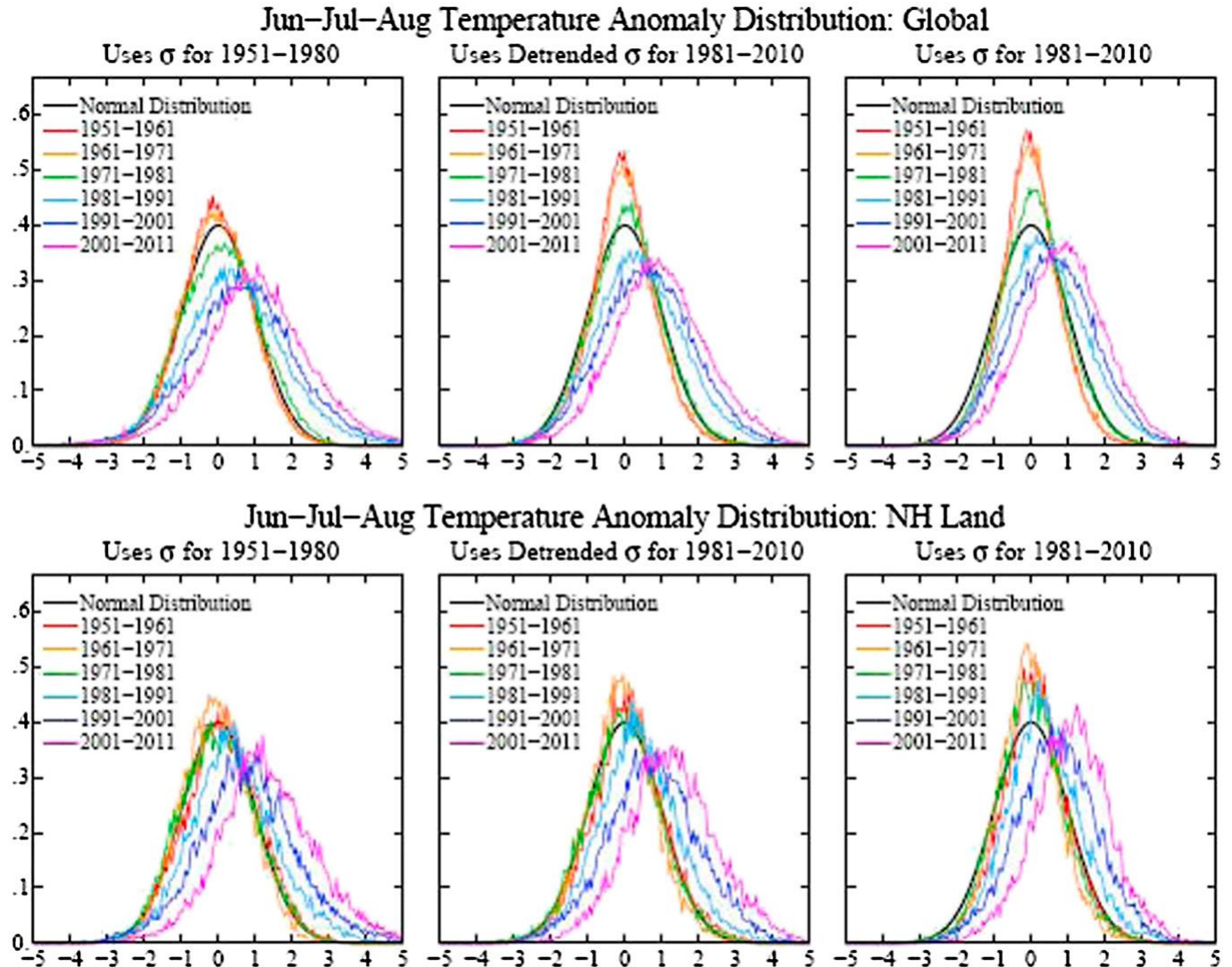




# Perception of climate change

James Hansen, Makiko Sato, and Reto Ruedy

<http://intl.pnas.org/content/early/2012/07/30/1205276109.full.pdf>



## Otázky:

- Lze teploty aproximovat normálním rozdělením, když rozdělení teplot je asymetrické (delší na „studeném“ konci)? Navíc když ta asymetrie má fyzikální důvody?
- Zaručuje celková shoda s normálním rozdělením (i kdyby byla testována) i dobrou shodu na koncích rozdělení, tedy i v oblasti extrémně teplých epizod?
- Parametry aproximace distribuční funkce normálním rozdělením (průměr, sigma) může ovlivnit každá jednotlivá hodnota, i když není „teplá“ nebo „extrémně teplá“, ale „studená“ nebo „extrémně studená“. I „studené“ nebo „extrémně studené“ hodnoty tedy ovlivní hodnocení „teplých“ nebo „extrémně teplých“ epizod. Je to logické?

# The Washington Post

*„The deadly European heat wave of 2003, the fiery Russian heat wave of 2010 and catastrophic droughts in Texas and Oklahoma last year can each be attributed to climate change. And once the data are gathered in a few weeks' time, it's likely that the same will be true for the extremely hot summer the United States is suffering through right now.*

***These weather events are not simply an example of what climate change could bring. They are caused by climate change.***

***Positive proof of global warming.***



**18th  
Century**

**1900**

**1950**

**1970**

**1980**

**1990**

**2006**