

Klimatická změna minulé, současná i budoucí: Příčiny a projevy

Radan HUTH

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy

Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i.

Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.



O čem to bude?

- 1) skleníkový jev
 - 2) jak se klima měnilo a mění
 - 3) proč se klima mění
 - 4) jak se klima bude měnit
- ★ většina informací pochází z hodnotících zpráv IPCC (Mezivládní panel pro klimatickou změnu)
 - 4. zpráva: 2007
 - 5. zpráva: 2013
 - ★ IPCC
 - neprovádí vlastní výzkum
 - vychází z informací, publikovaných v odborné literatuře
 - z nich sestavuje metaanalýzy; ty vydává ve formě zpráv





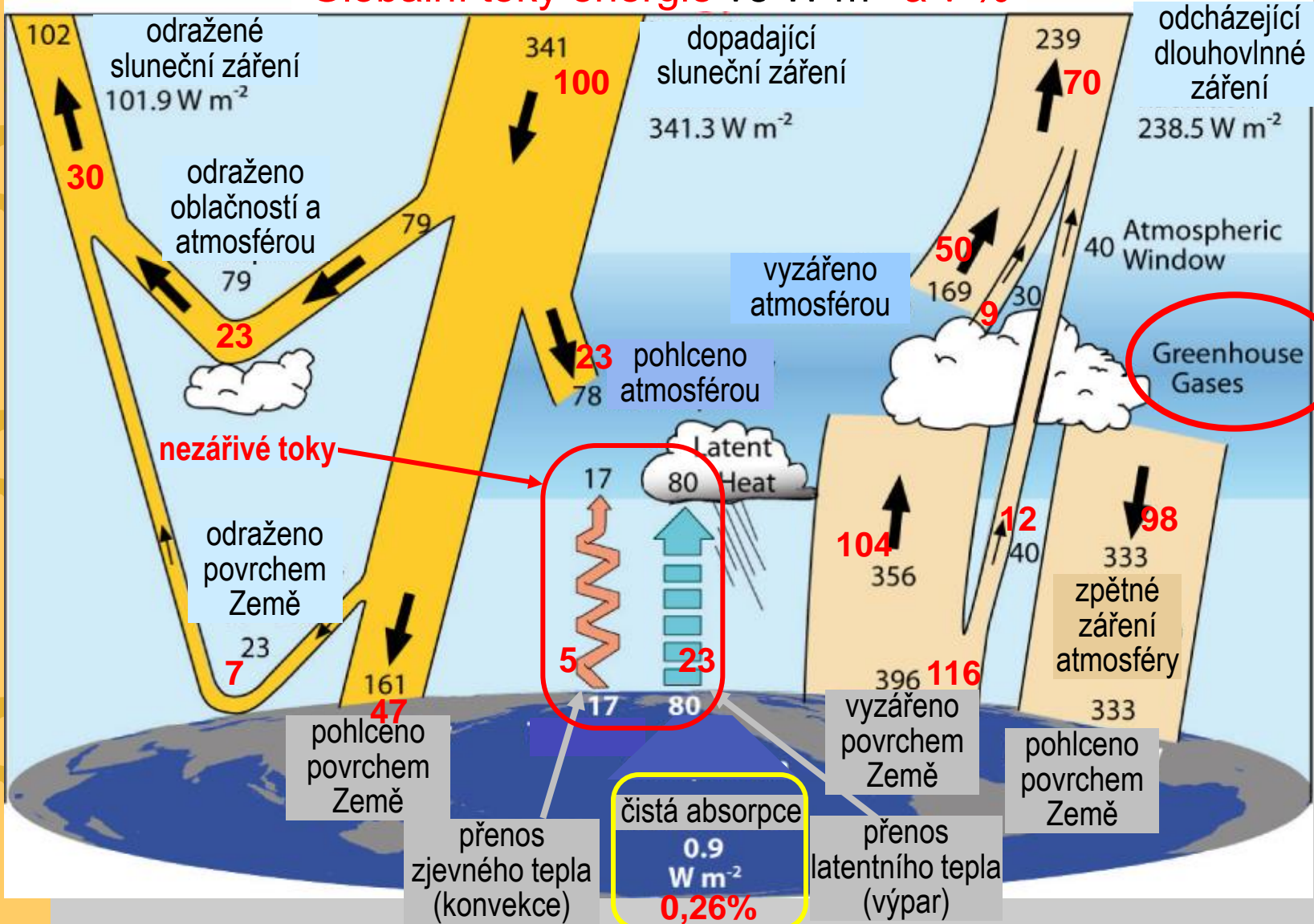
1. Skleníkový jev





Skleníkový jev

Globální toky energie ve W m^{-2} a v %





Skleníkový jev

★ podstata:

- atmosféra je dobře propustná pro dopadající krátkovlnné sluneční záření
- atmosféra je téměř nepropustná pro dlouhovlnné vyzařování Země

★ důsledek: průměrná teplota povrchu Země je o $\sim 33^{\circ}\text{C}$ vyšší, než odpovídá radiační rovnováze





Radiačně aktivní (skleníkové) plyny



★ oxid uhličitý

★ metan



★ oxid dusný

★ freony

★ ozón



★ vodní pára

★ ...



2. Jak se klima měnilo a mění



Globální průměrná teplota



... ale co to vlastně je ?

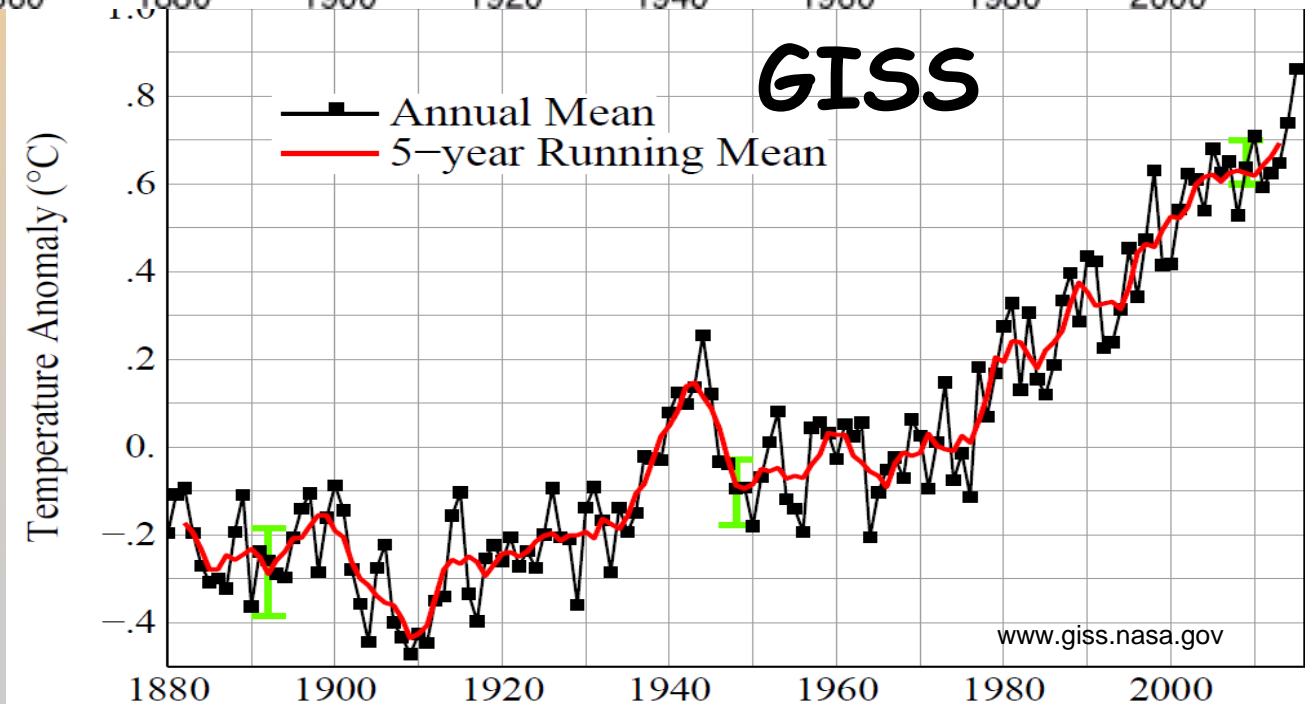
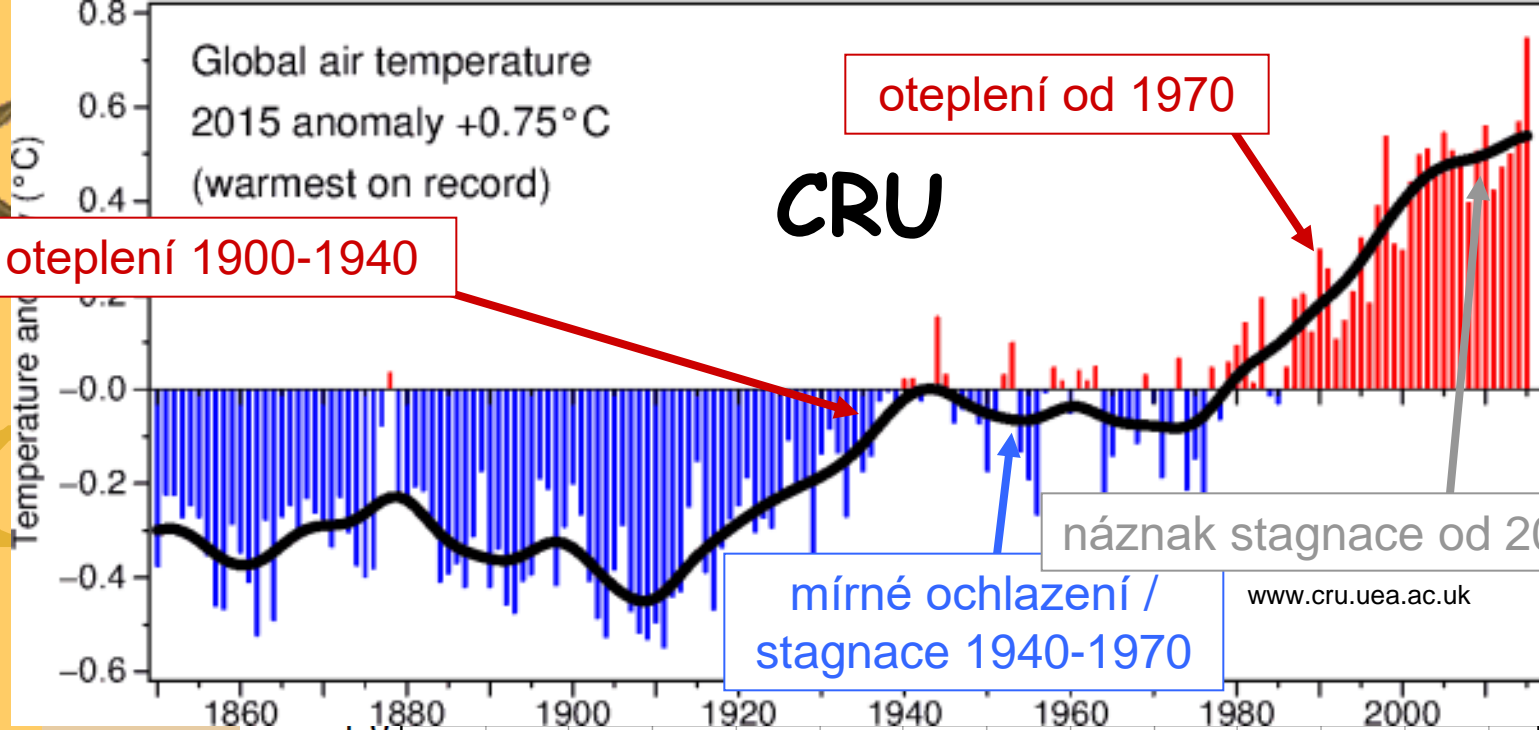




Globální průměrná teplota

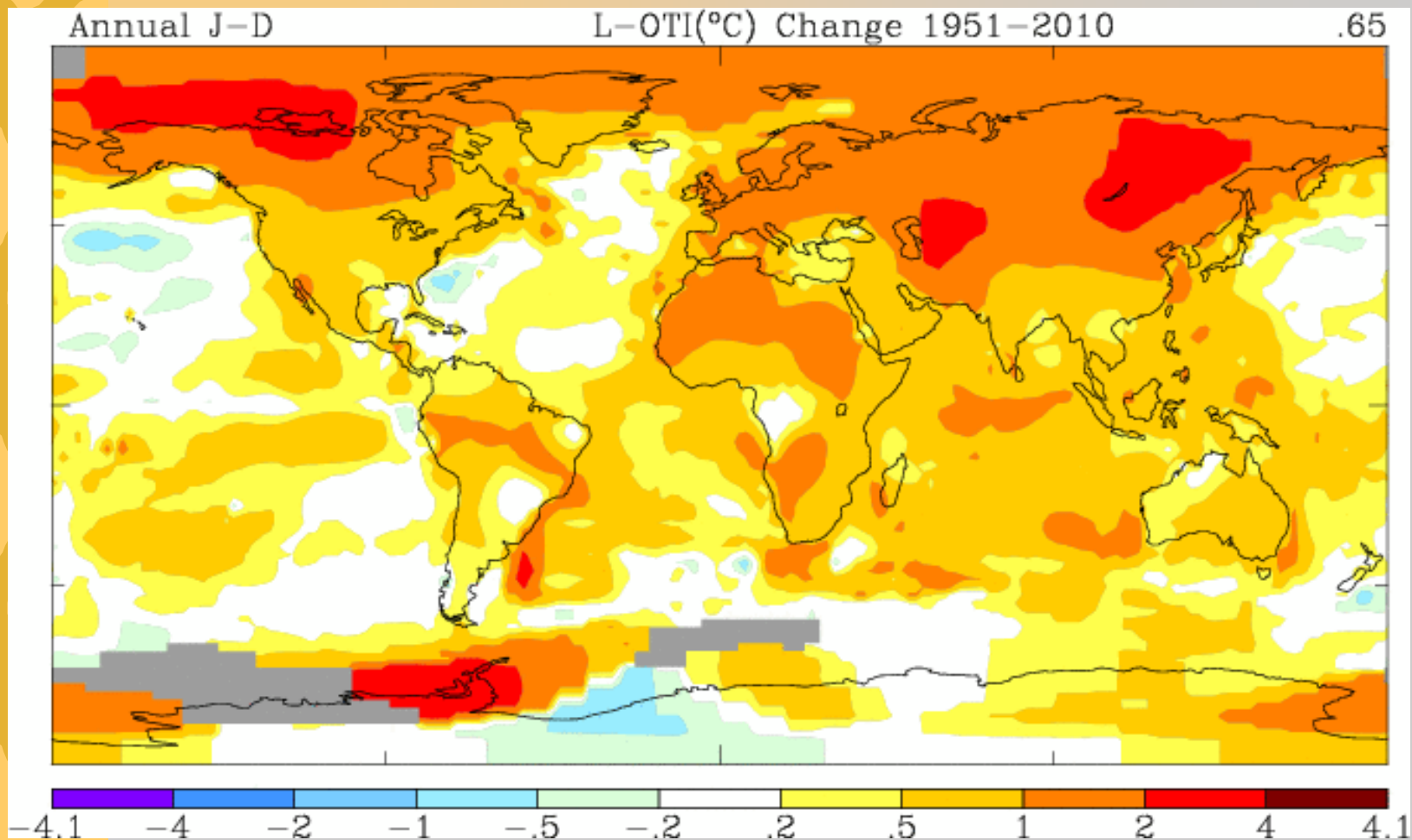


- průměrná teplota povrchu celé Země
- nelze bezprostředně změřit
- musí se spočítat z dostupných měření
 - kontinenty – měsíční průměry teploty vzduchu (ve 2 m) na stanicích (> 3000 stanic koncem 20. stol.)
 - oceány: teplota povrchu moře (měřená z lodí)

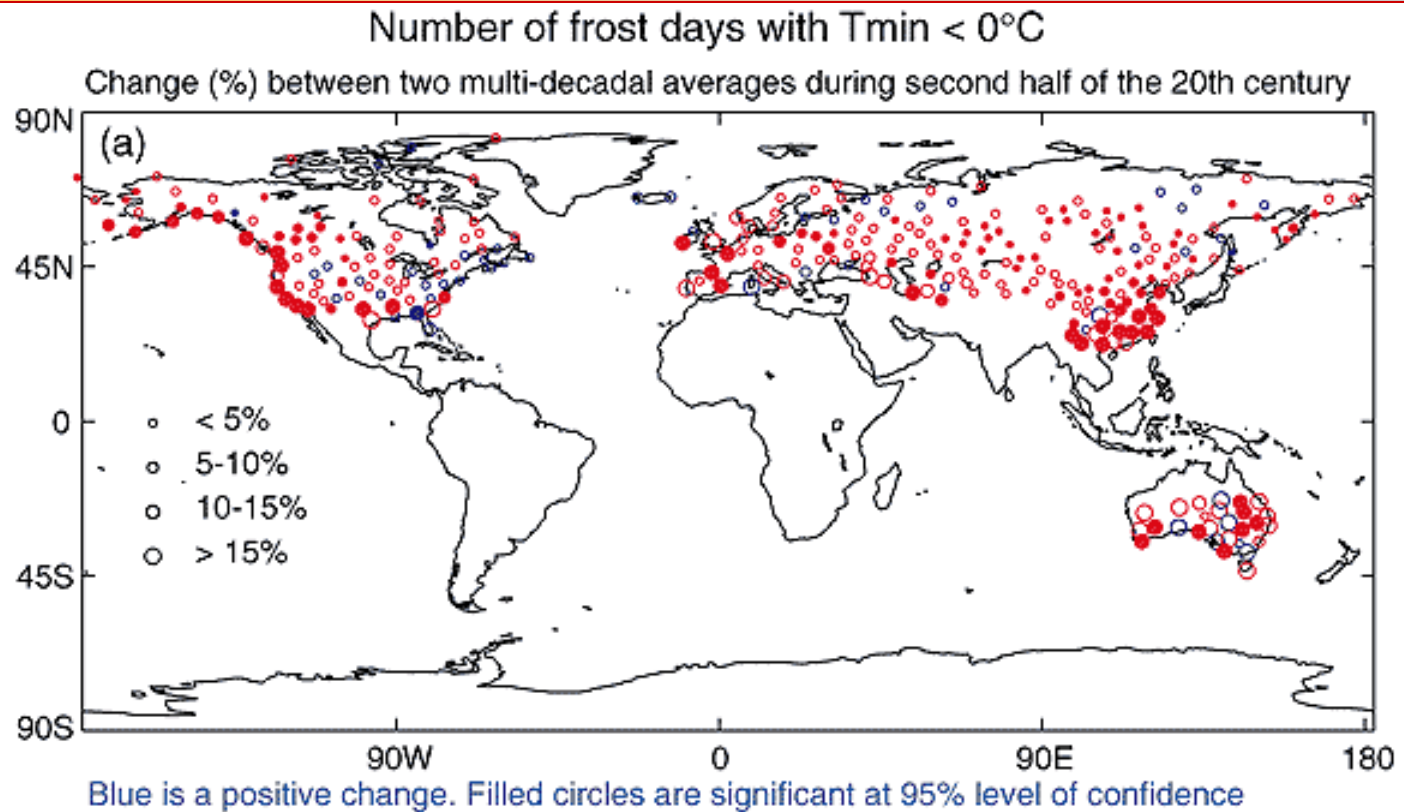




Změny teploty 1951-2010

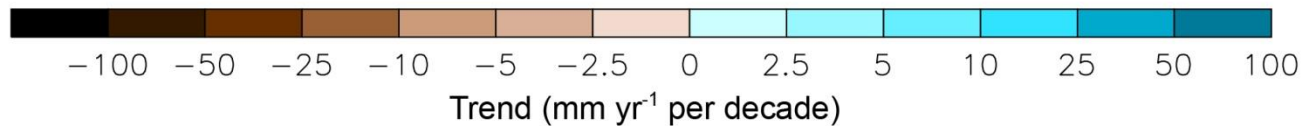
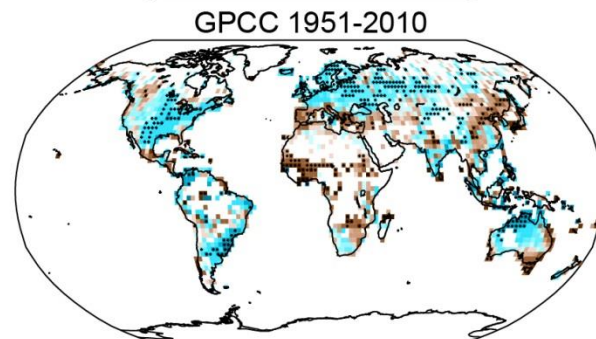
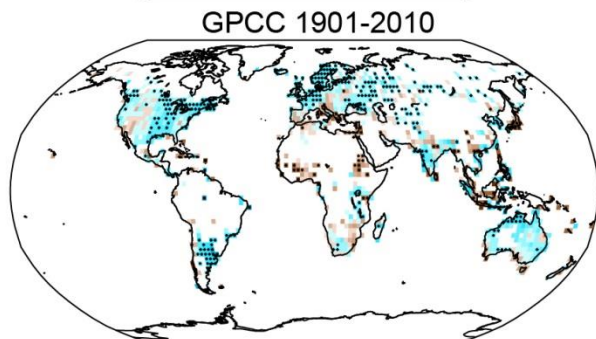
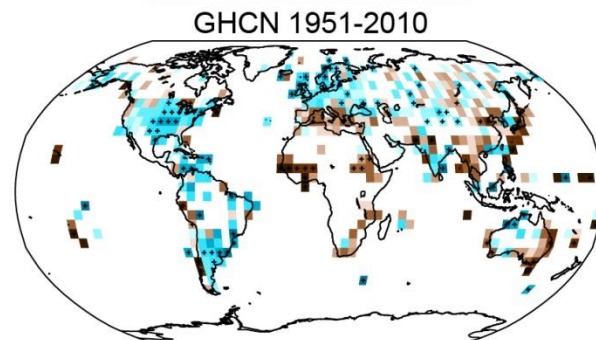
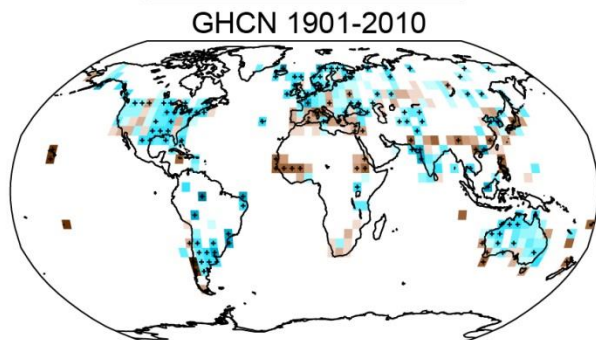
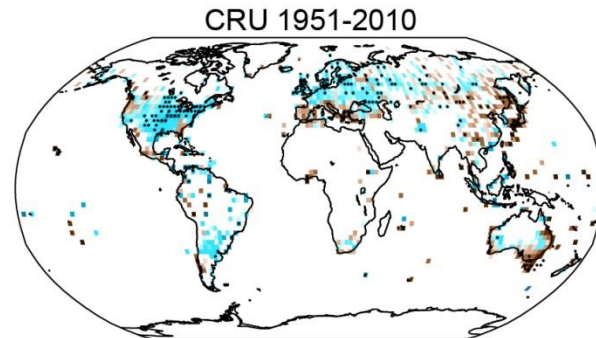
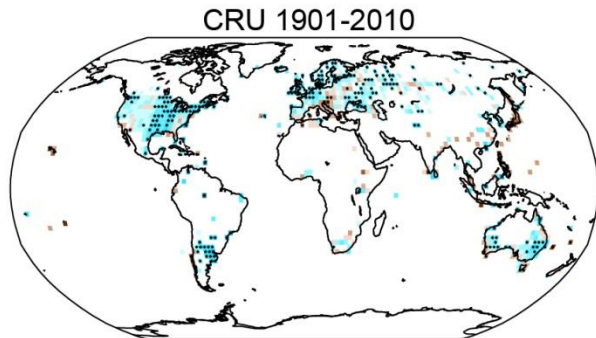


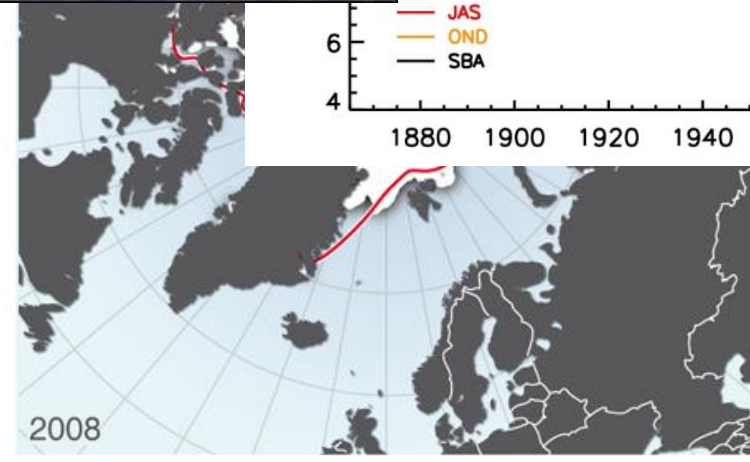
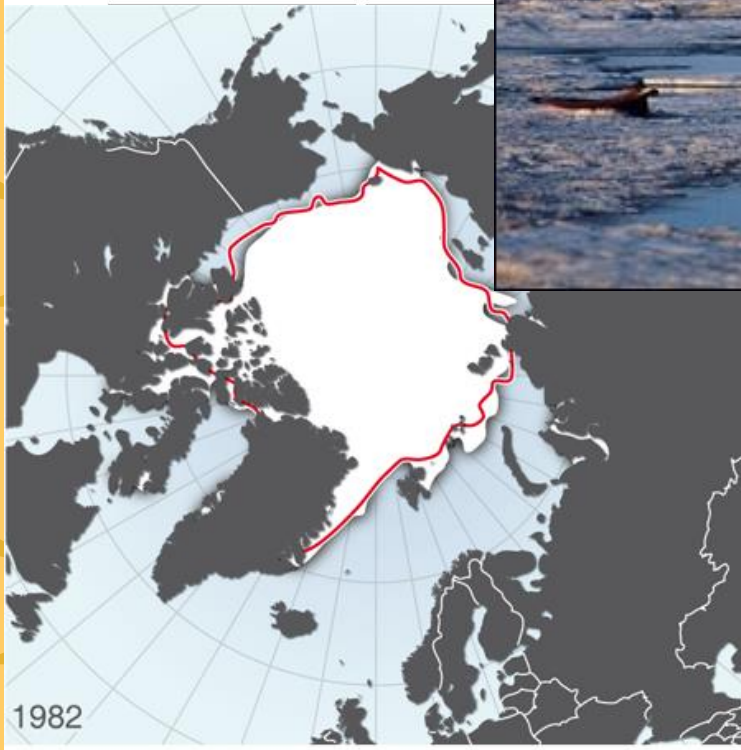
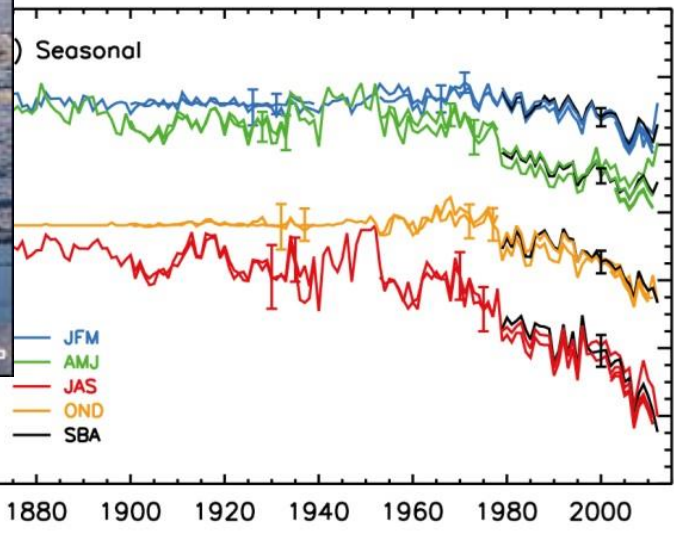
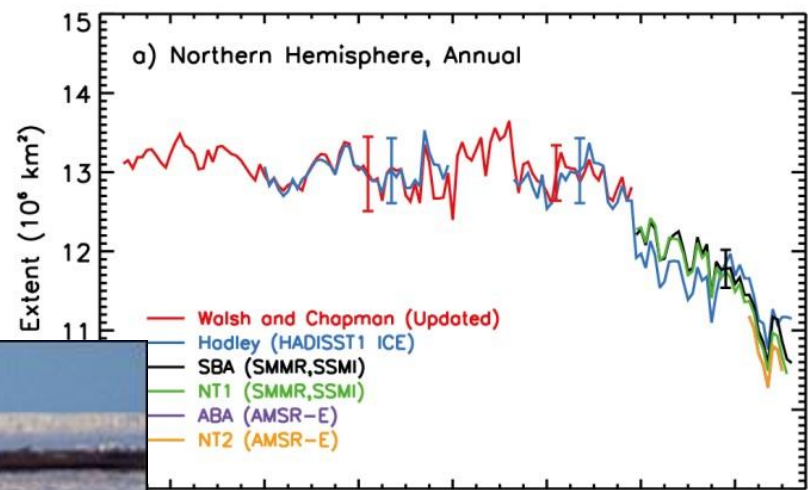
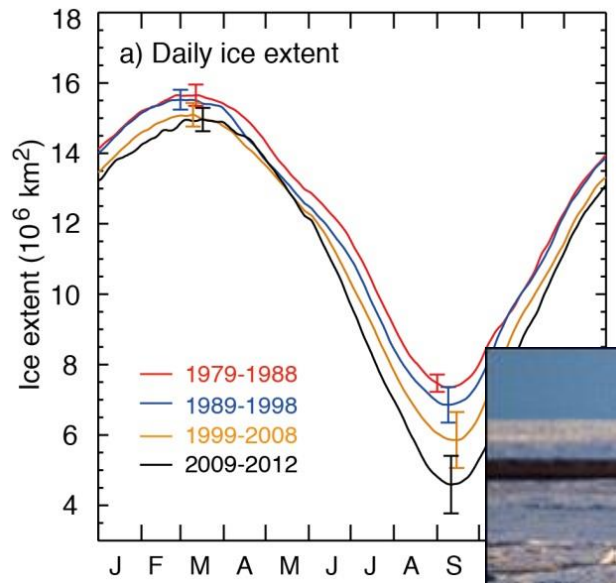
TRENDY POČTU MRAZOVÝCH DNŮ ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$), 1946-99





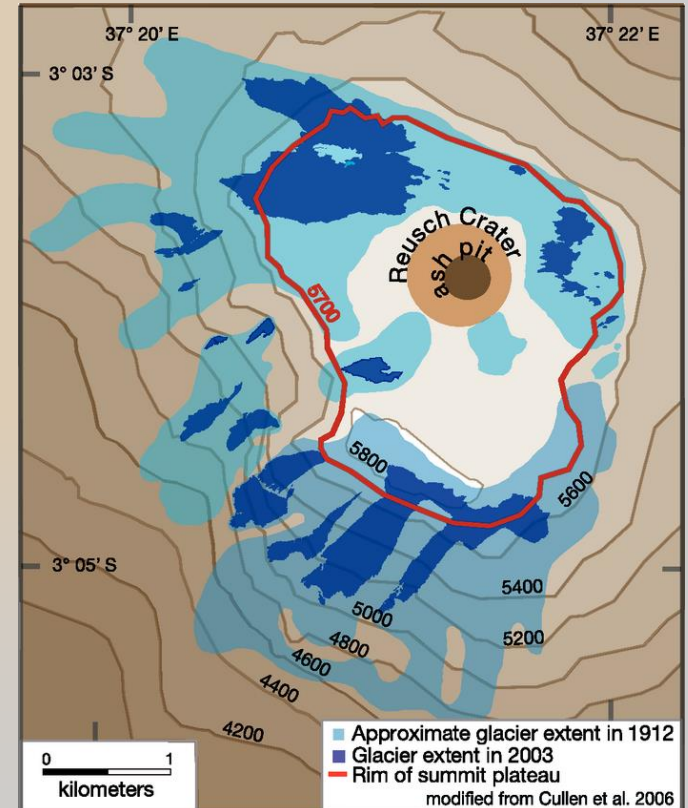
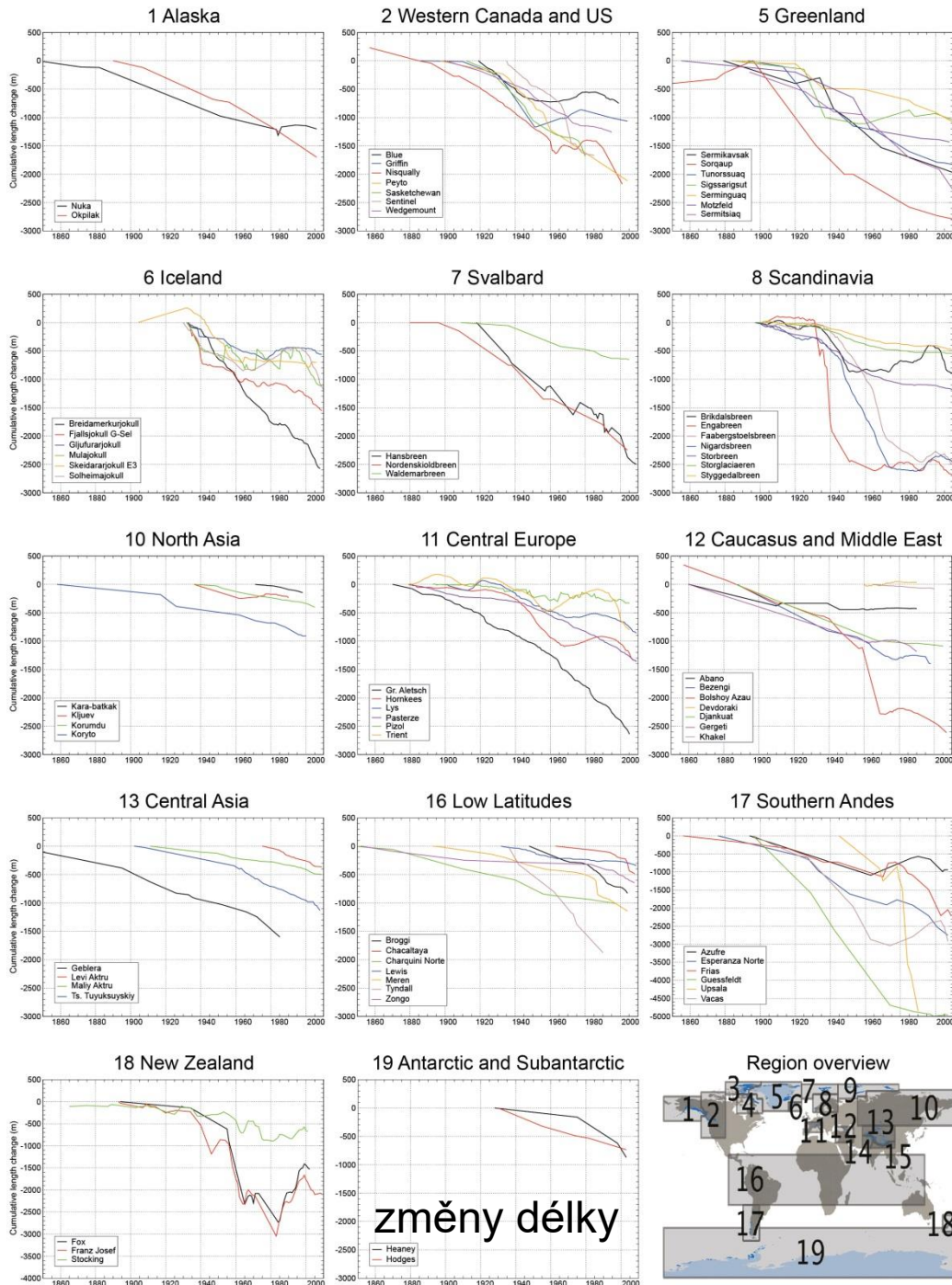
Změny srážek 1951-2010





Median minimum extent of ice cover (1979-2000)

Ústup ledovců

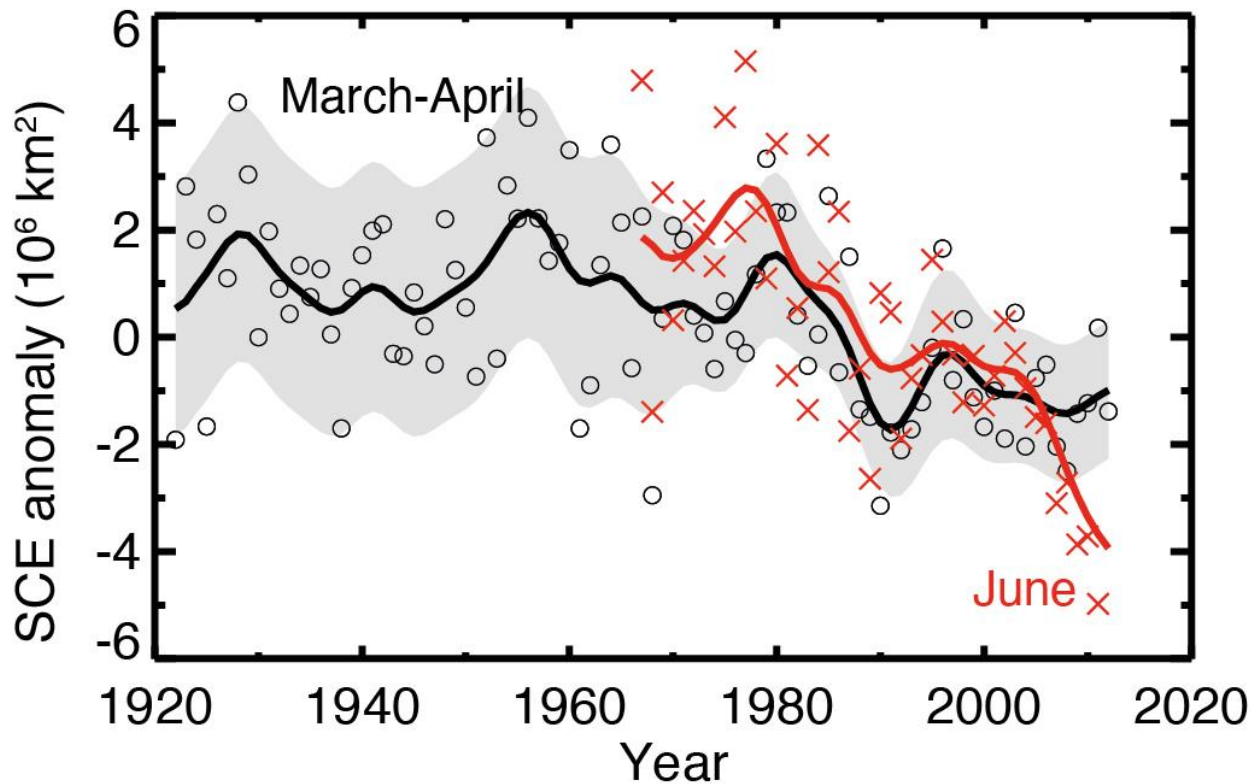


ledovce na Mt. Kilimanjaro



Snih

Pokrytí sev. polokoule sněhem,
III-IV; VI (v mil. km²)
stř.hodnota = 37 mil. km²

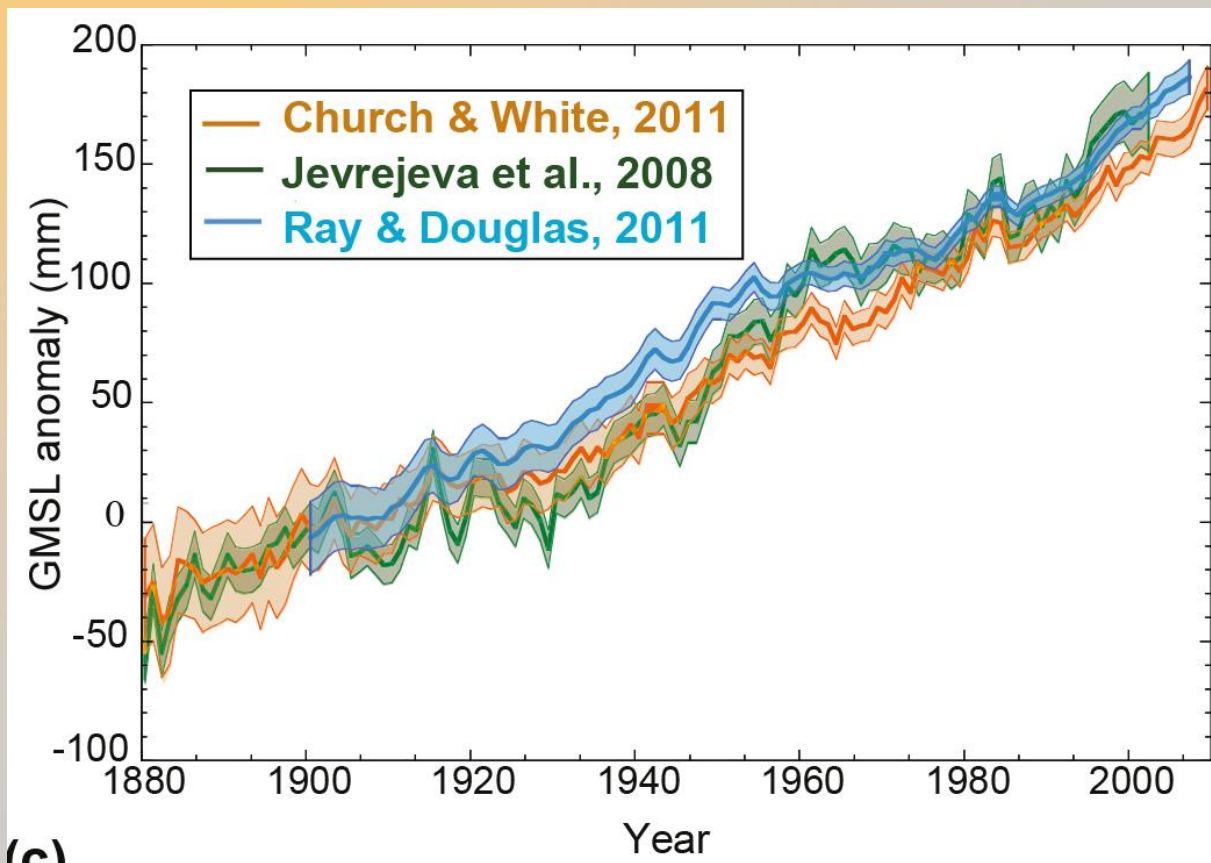


Trendy pokrytí sev. polokoule
sněhem
(v mil. km² / 10let)

Years	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Ann
1967–2012	0.03	-0.13	-0.50	-0.63	-0.90	-1.31	n/a	n/a	n/a	n/a	0.17	0.34	-0.40
1922–2005	n/a	n/a	-0.25	-0.35	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	0.24	n/a	n/a	n/a



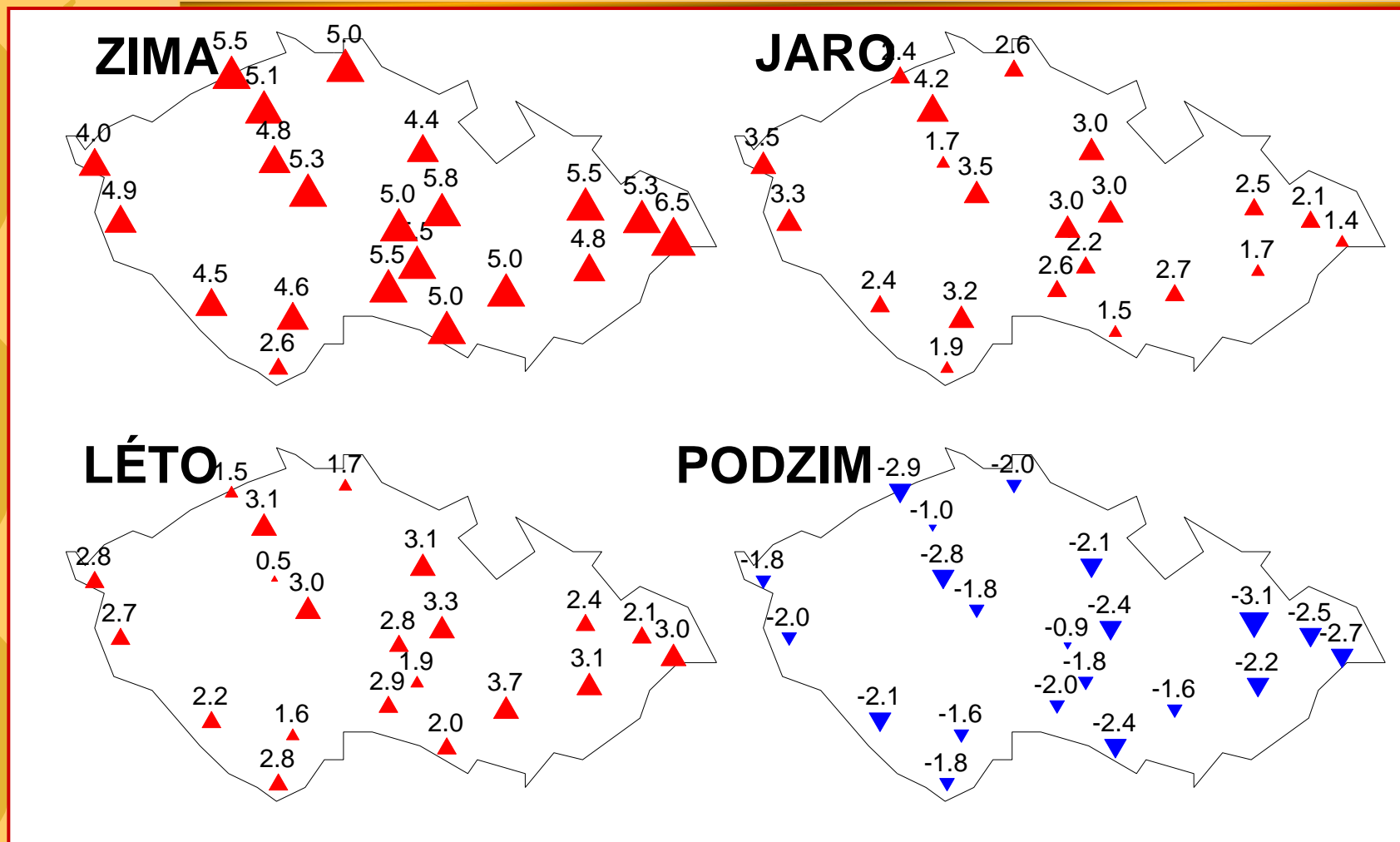
Výška hladiny moře

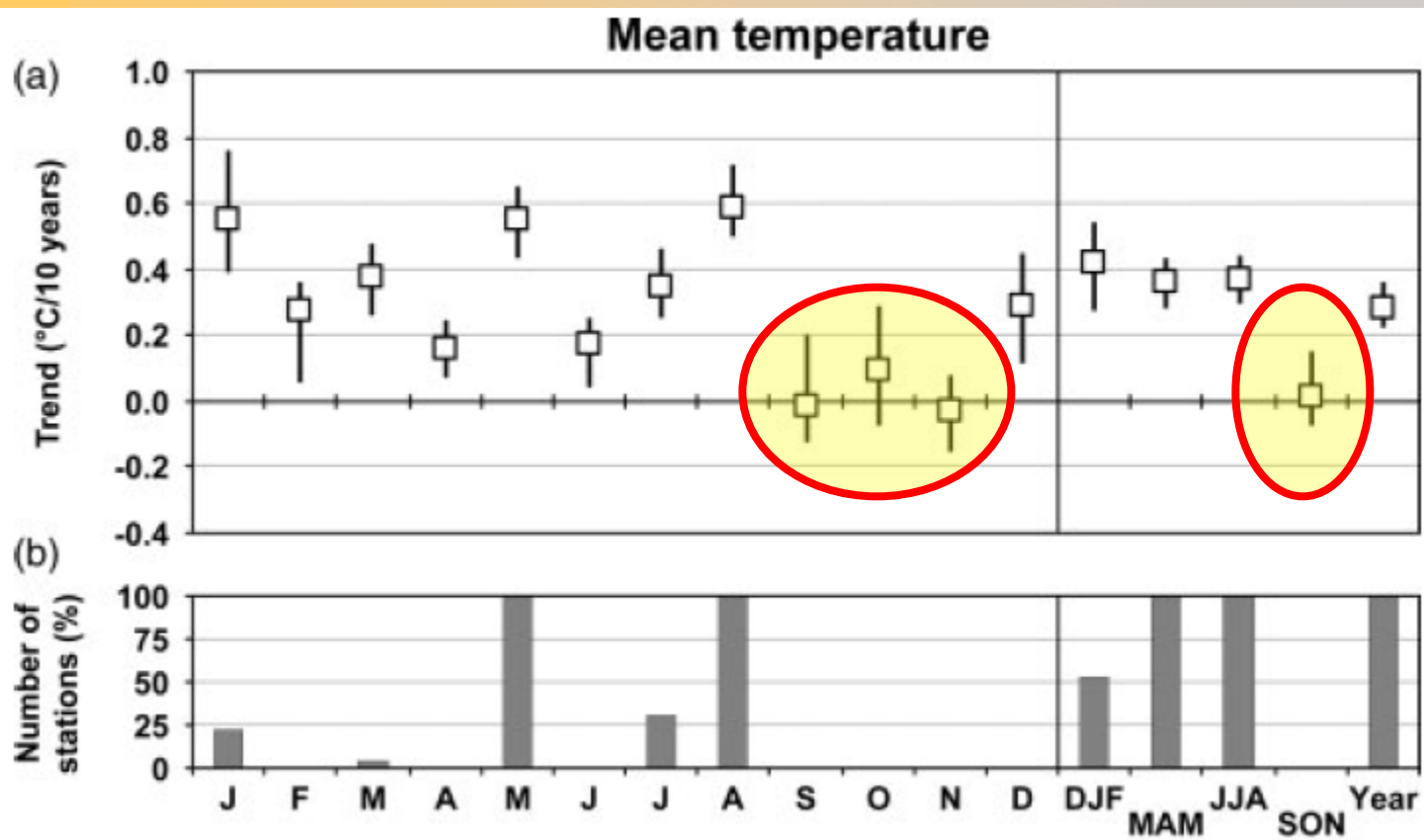


(c)



Změny teploty, 1961-2000 (ve °C/100 let)





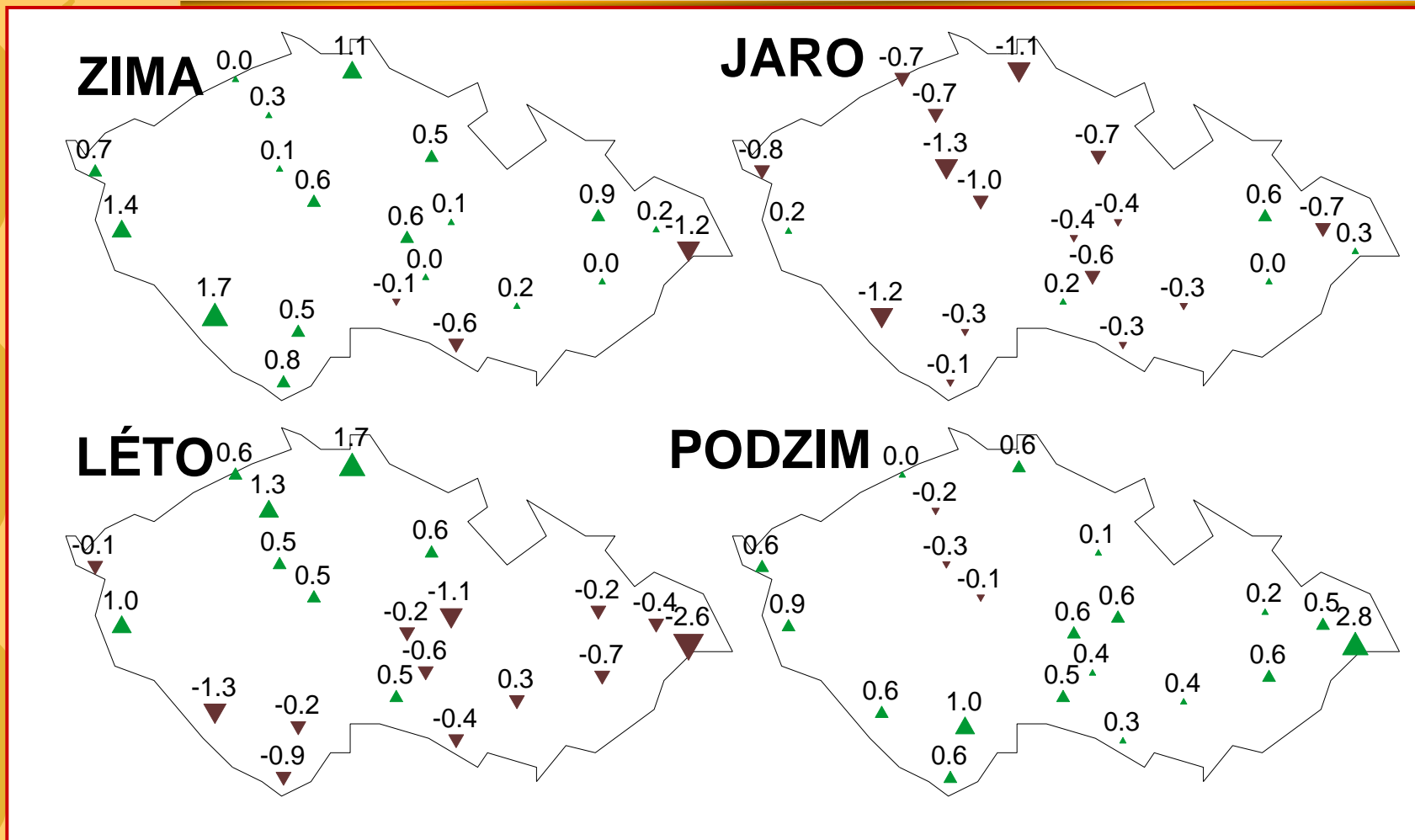
Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961–2005

Rudolf Brázdil,^{a*} Kateřina Chromá,^a Petr Dobrovolný^a and Radim Tolasz^b

INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY
Int. J. Climatol. 29: 223–242 (2009)



Změny prům. denního úhrnu srážek, 1961-2000 (v mm/100 let)





3. Proč se klima mění?



Možné vlivy na klima

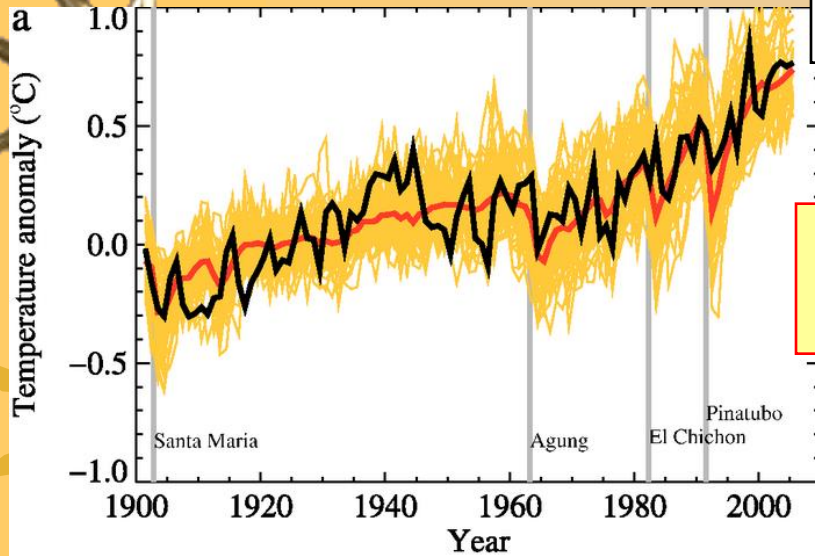
★ přirozené

- proměnlivost sluneční aktivity
- sopečné erupce

★ antropogenní

- změny složení atmosféry
 - radiačně aktivní (skleníkové) plyny
 - aerosoly

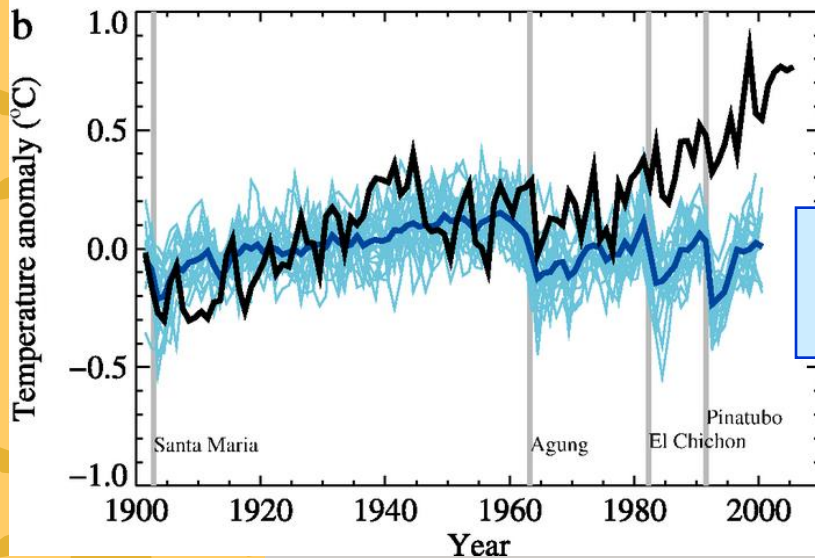
★ které z těchto vlivů jsou zodpovědné za změny klimatu, jež pozorujeme?



skutečnost

**modely: všechny vlivy
(přirozené i antropogenní)**

globální průměrná
přízemní teplota



**modely: jen přirozené
vlivy (slunce + sopky)**

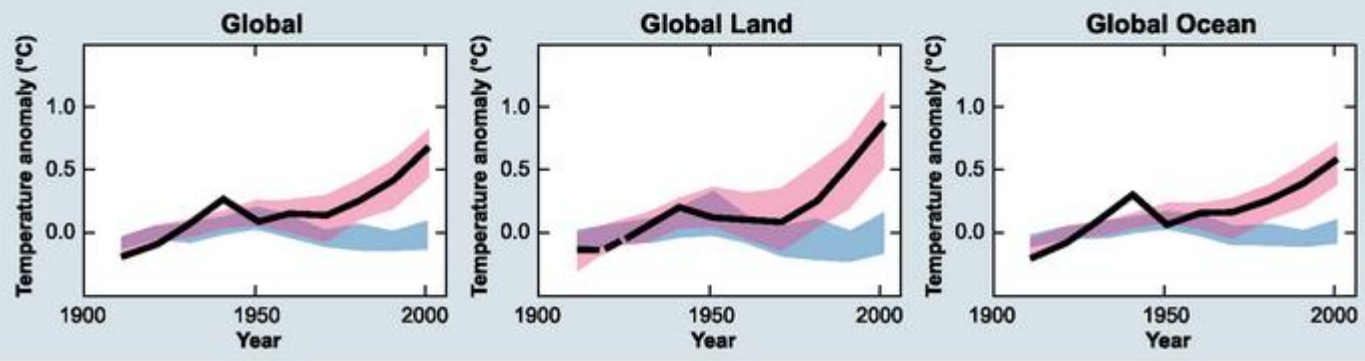
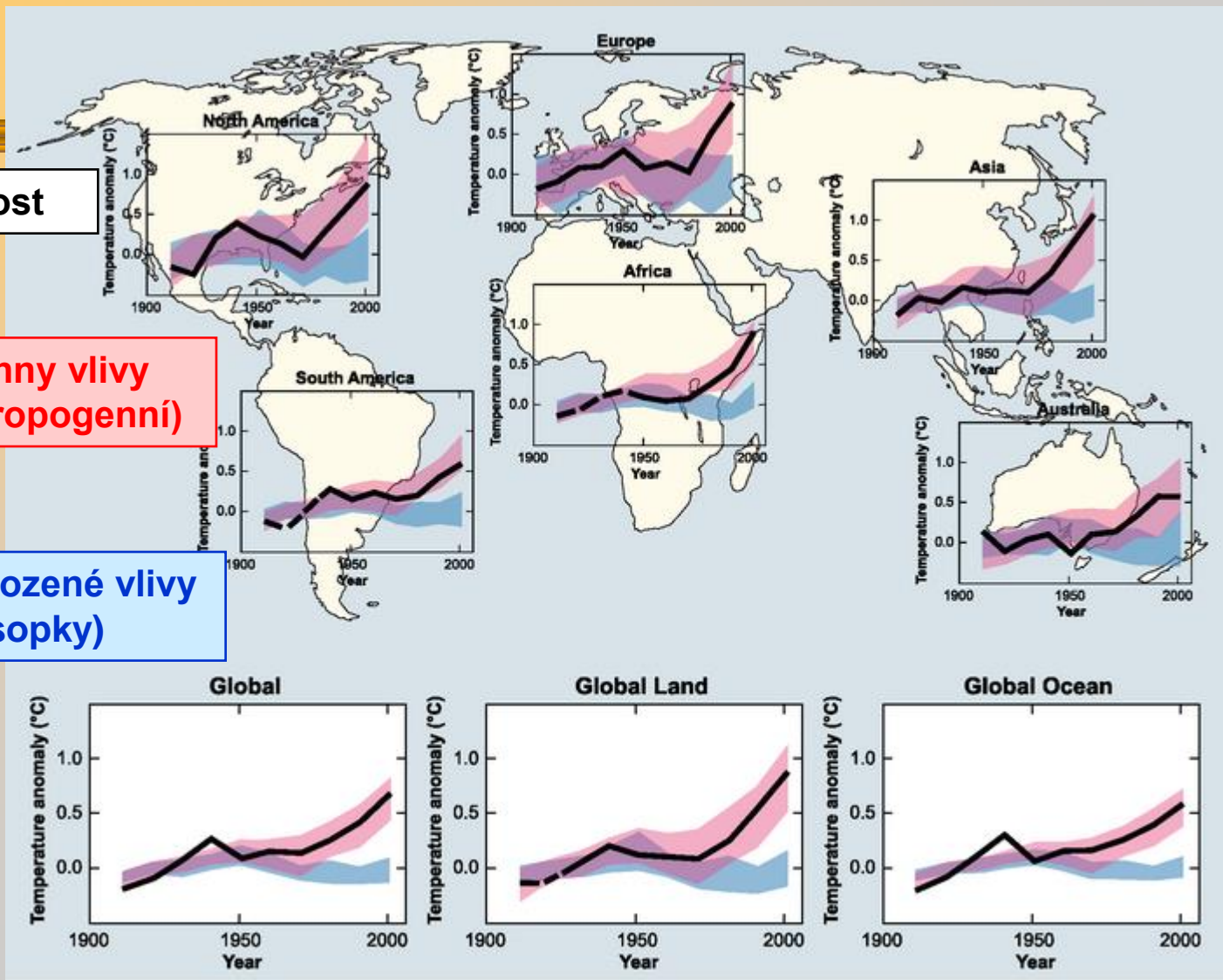


kontinentální průměrná přízemní teplota

skutečnost

modely: všechny vlivy
(přirozené i antropogenní)

modely: jen přirozené vlivy
(slunce + sopky)



models using only natural forcings observations
models using both natural and anthropogenic forcings

©IPCC 2007: WG1-AR4



4. Jak se klima bude měnit



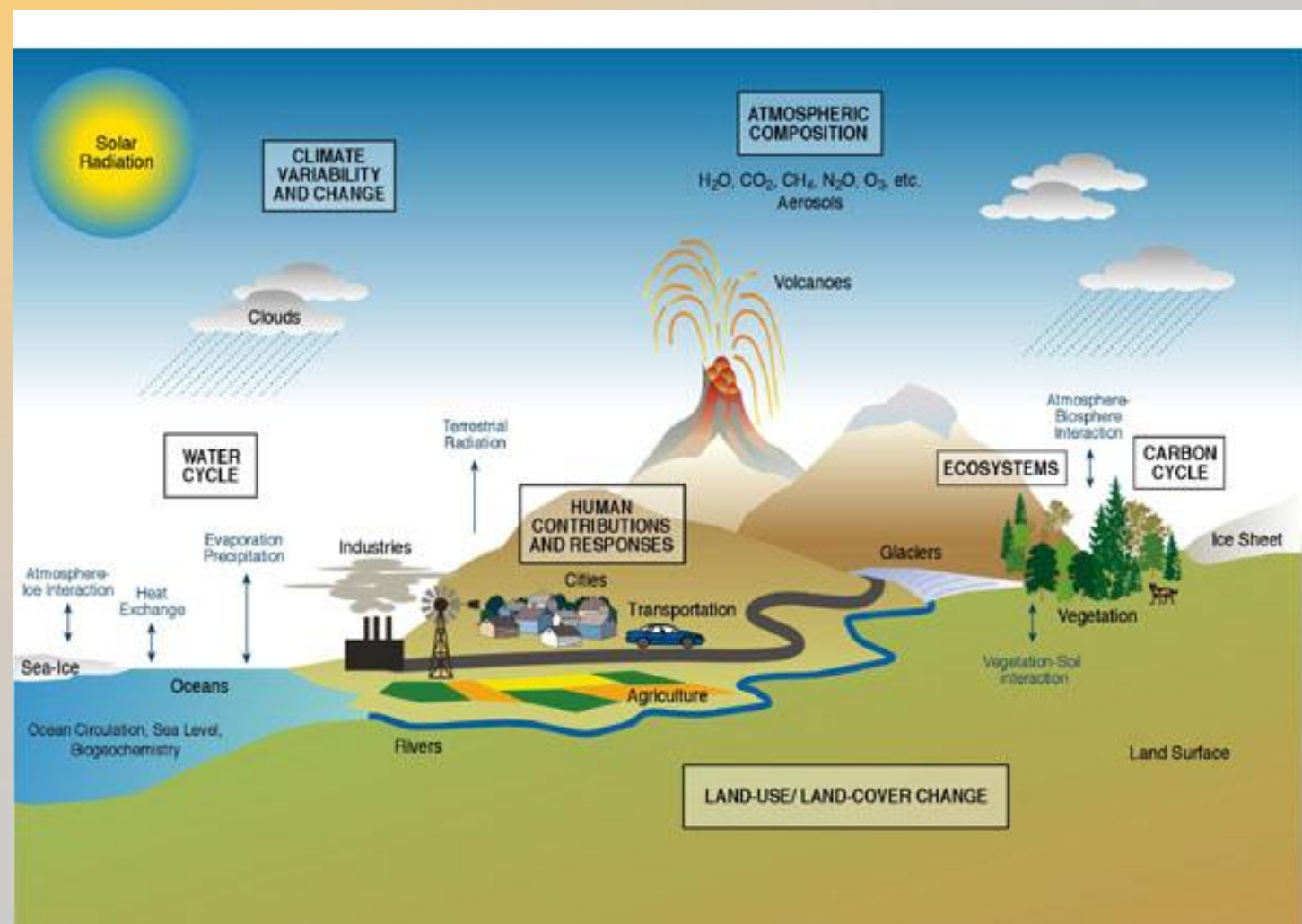
Emisní scénáře



- ★ emisní scénář:
 - odhad budoucího vývoje emisí radiačně aktivních (skleníkových) plynů
 - založený na odhadu budoucího socio-ekonomického vývoje
- ★ socio-ekonomický vývoj neznáme → větší množství různých scénářů
- ★ jednotlivé scénáře popisují „alternativní budoucnosti“
- ★ standardní časový horizont: do r. 2100



Klimatický systém





Globální klimatický model



- ★ cíl: co nejpřesněji simulovat klima Země
- ★ počítačový program
- ★ numerické řešení soustavy diferenciálních rovnic, popisujících základní fyzikální aj. zákony pro
 - atmosféru
 - oceán
 - kryosféru
 - ...

různé emisní scénáře



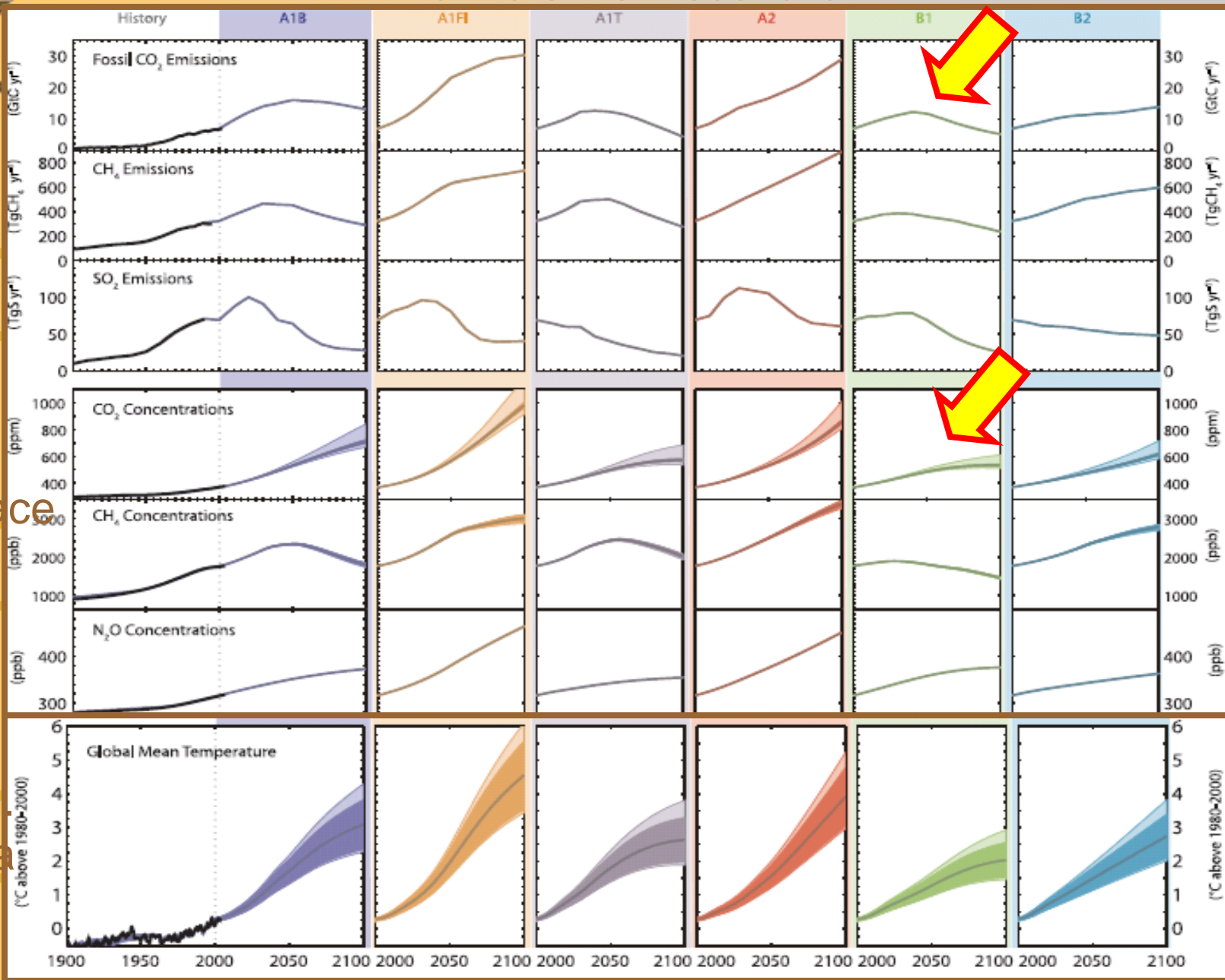
emise



koncentrace

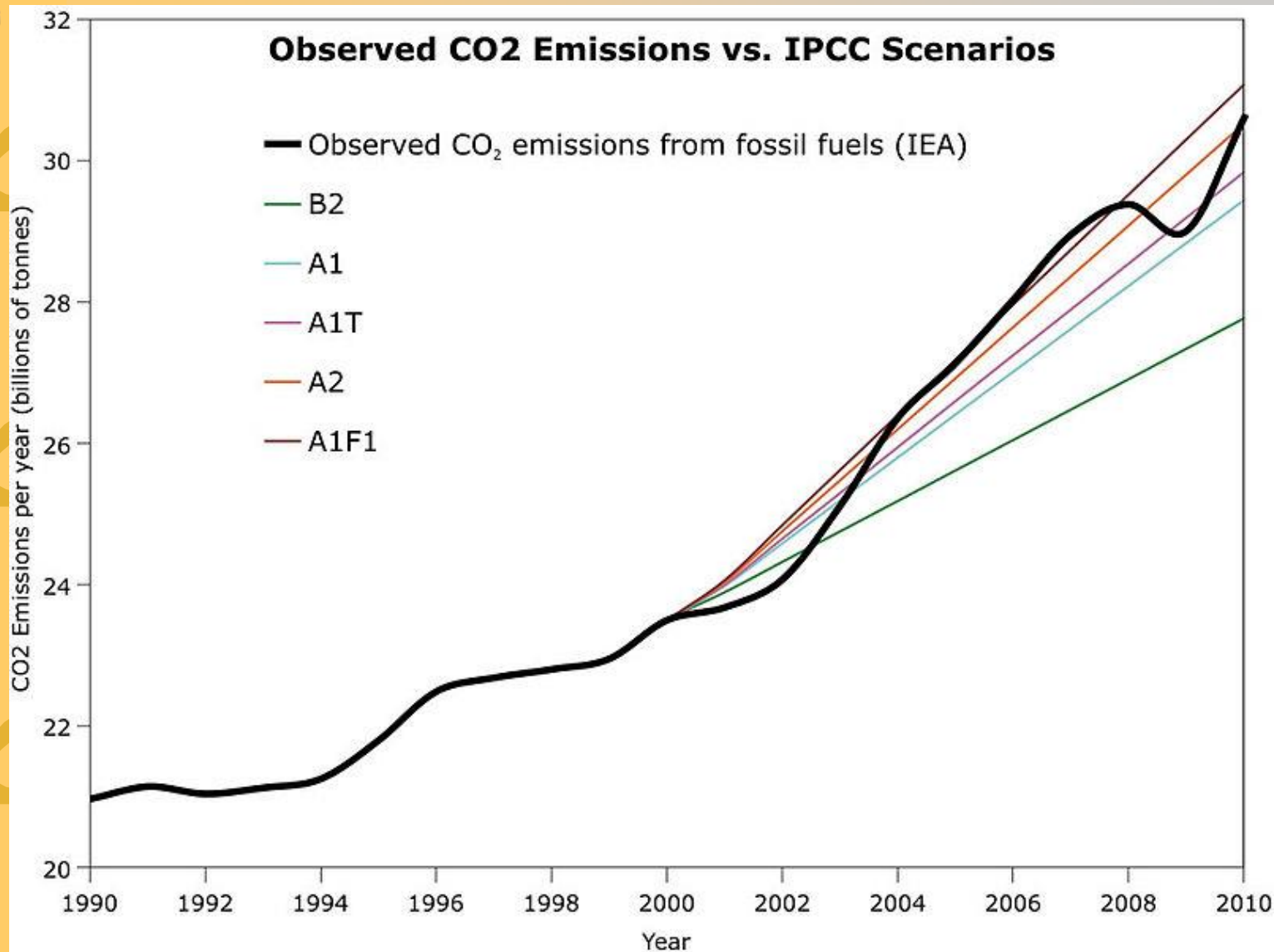


glob. prům.
teplota





Reálné emise CO₂ vs. emisní scénáře

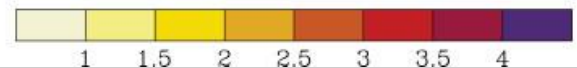
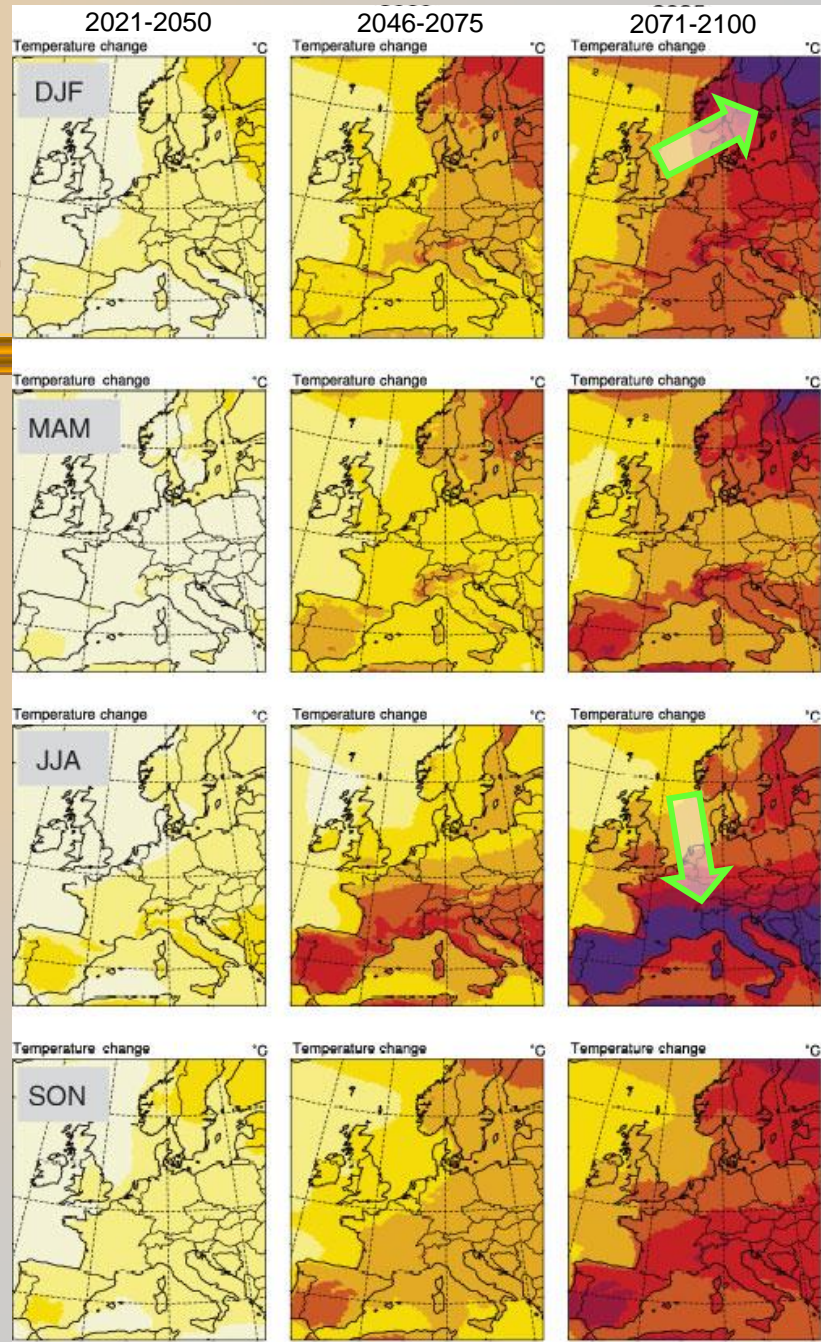




Budoucí změny klimatu – přízemní teplota, Evropa



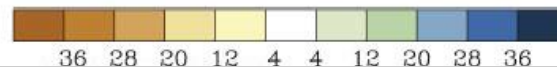
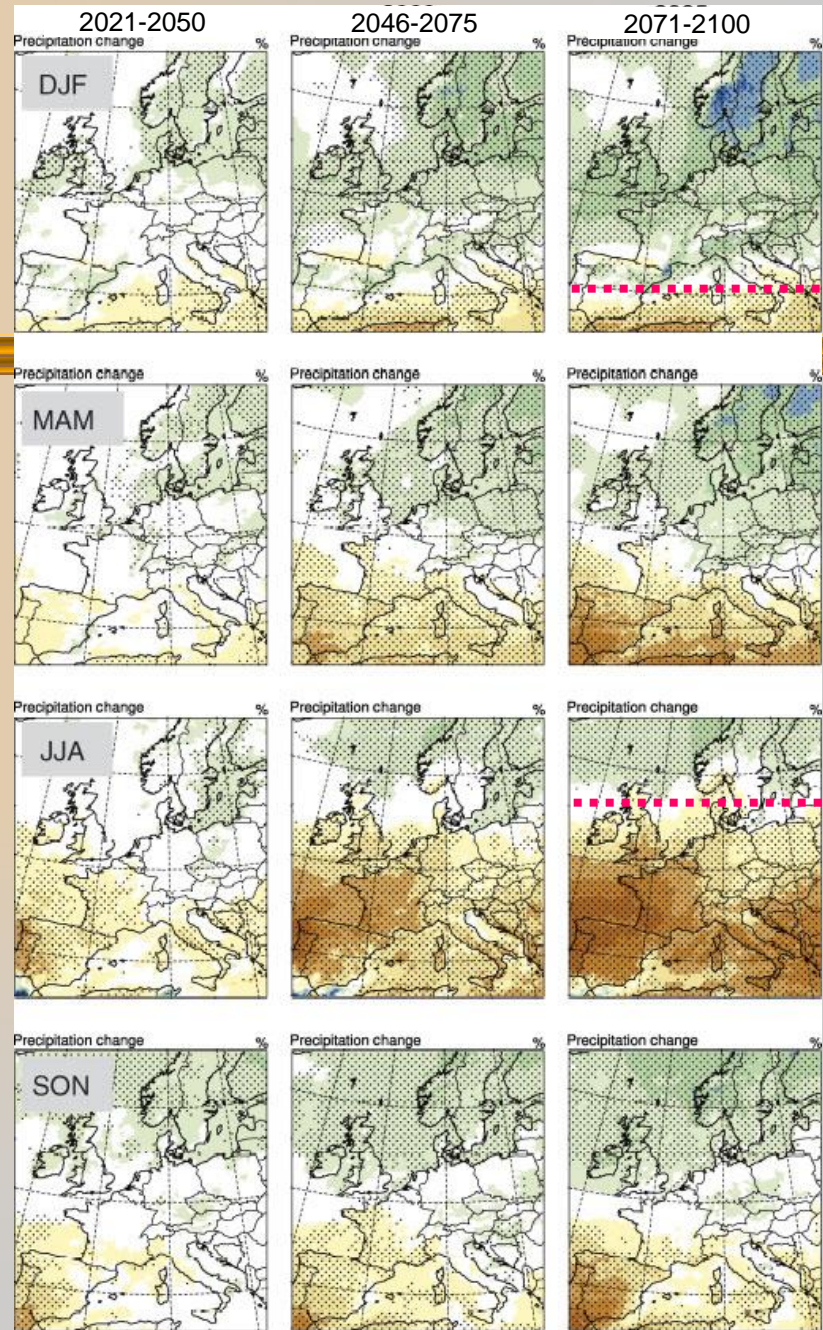
rozdíl (oteplení) oproti 1980-2009
(ve °C)
průměr z ensamble RCMs





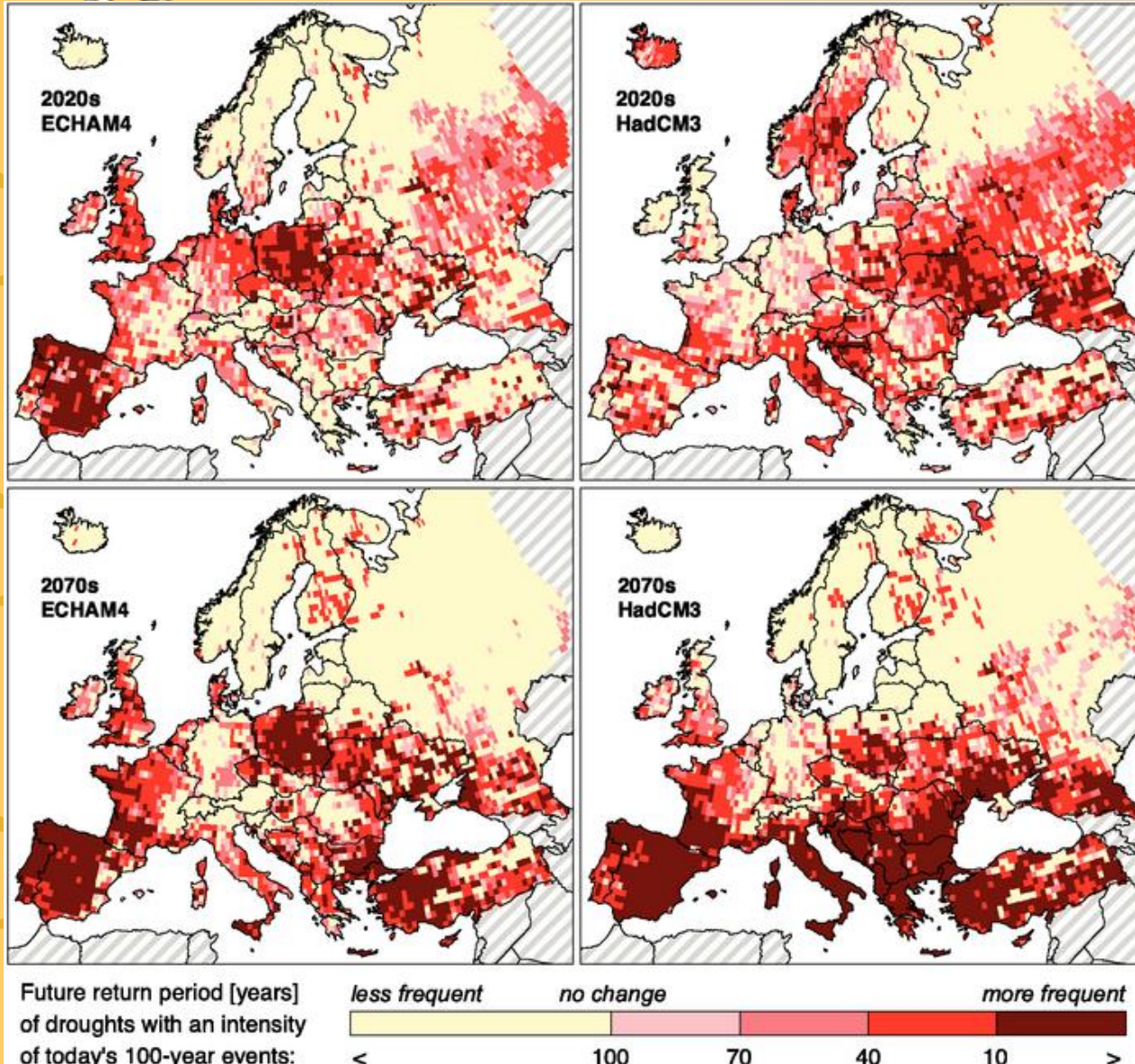
Budoucí změny klimatu – srážky, Evropa

rozdíl oproti 1980-2009 (v %)
průměr z ensamble RCMs
tečky: znaménko změny souhlasí
v $\geq 80\%$ modelů





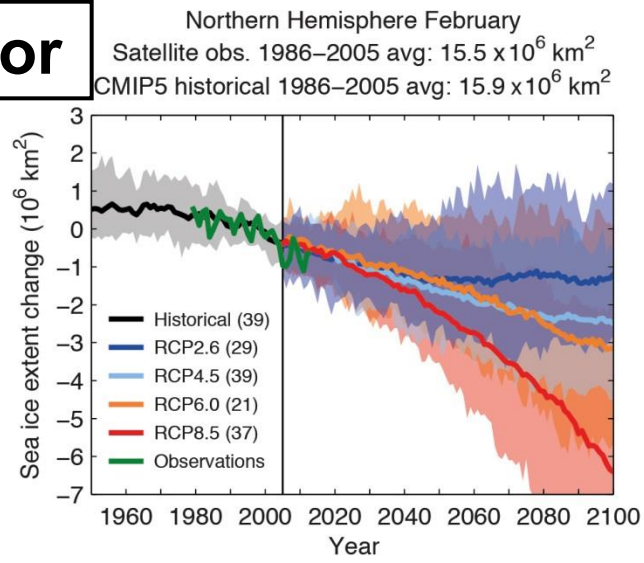
změna doby opakování 100-letého sucha proti 1961-90



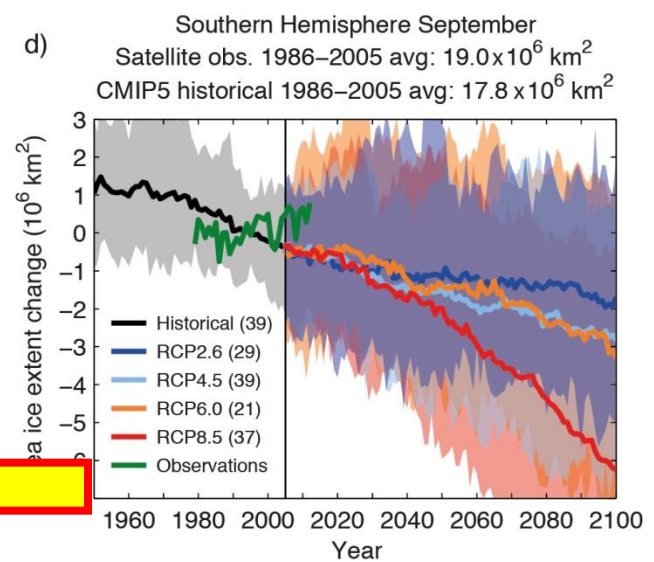
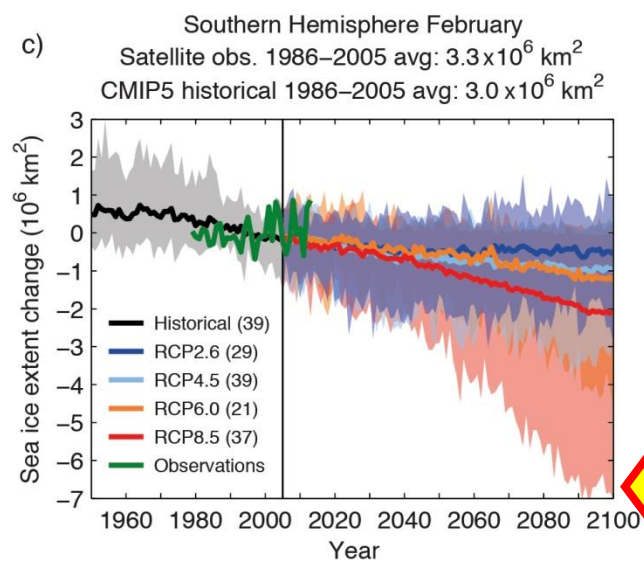
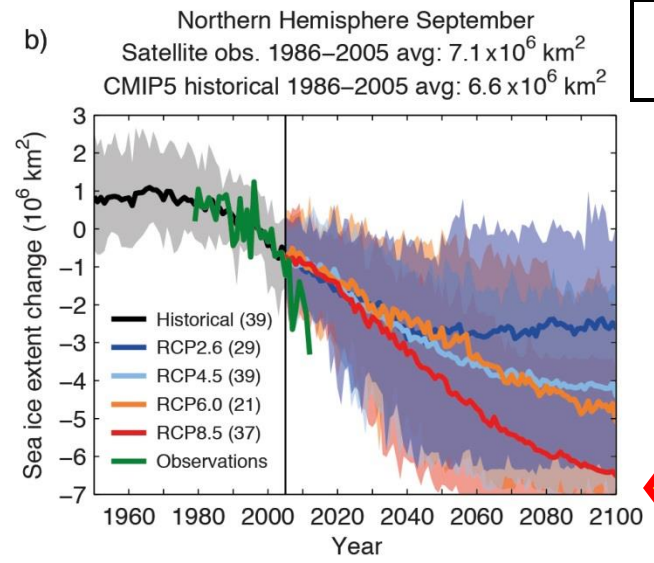


Budoucí změny klimatu – mořský led

únor

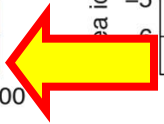
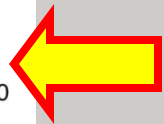


září



SP

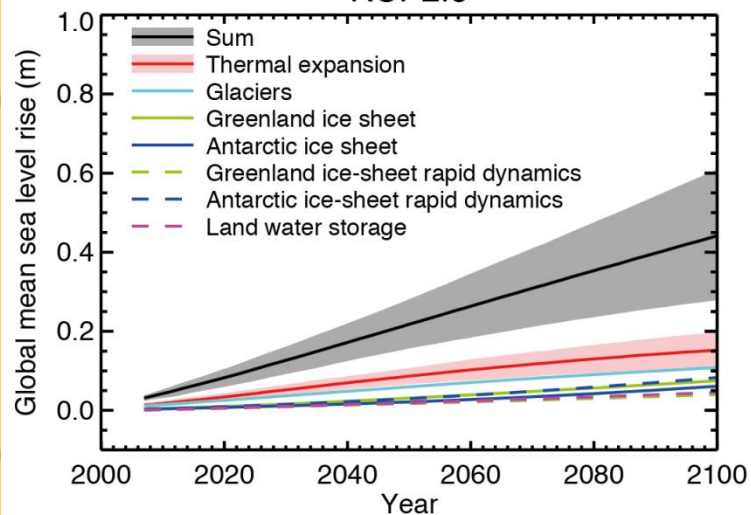
JP



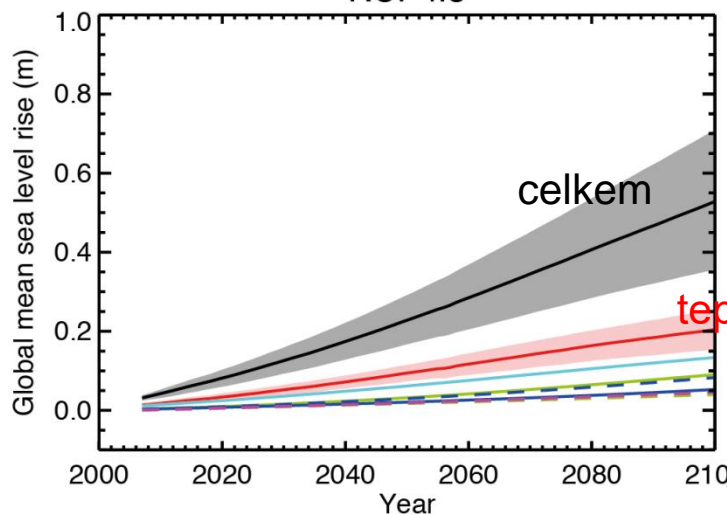


Budoucí změny klimatu – výška hladiny moře

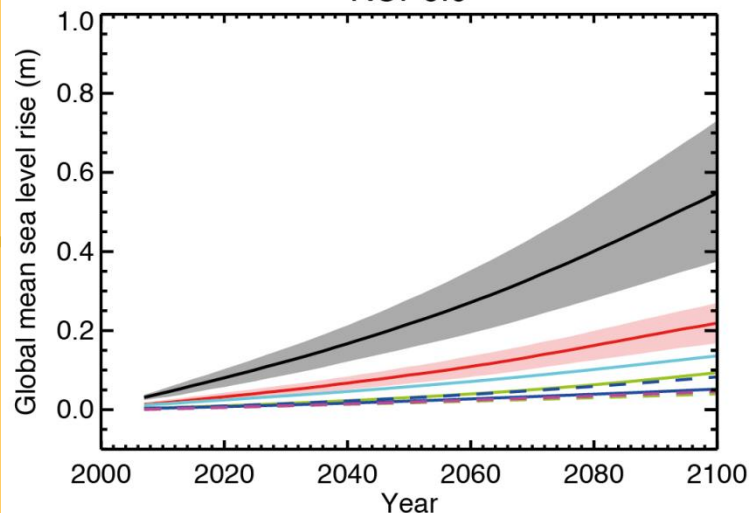
RCP2.6



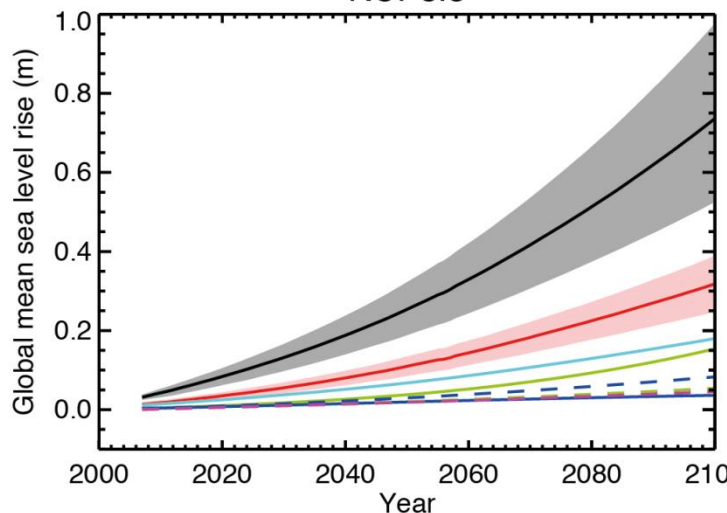
RCP4.5



RCP6.0

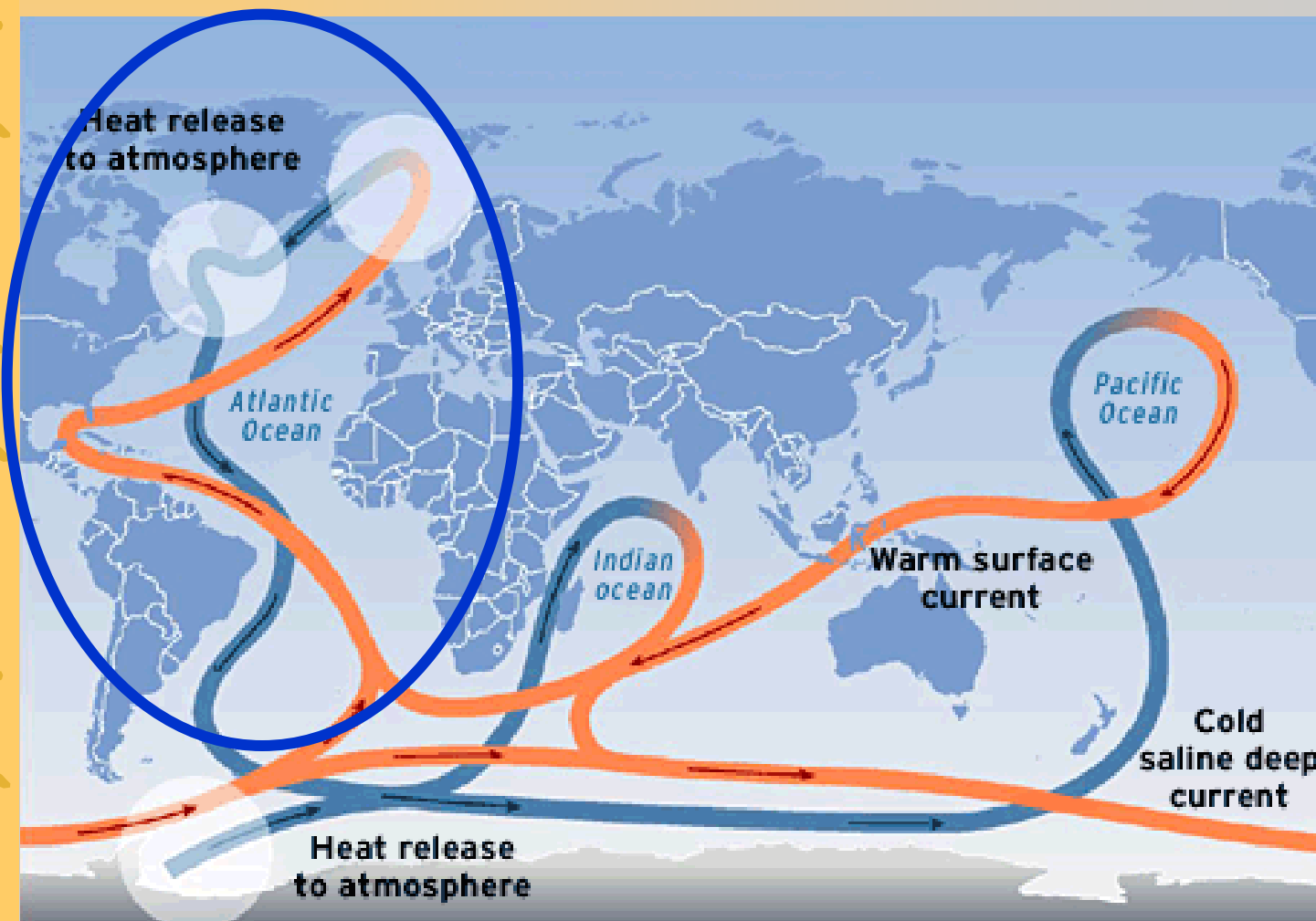
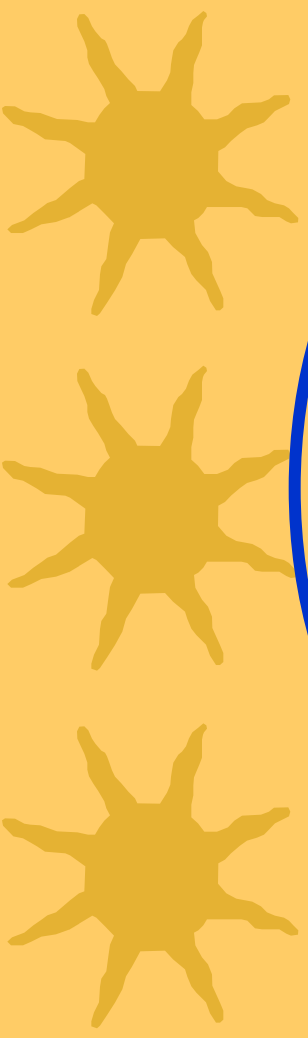


RCP8.5





Budoucí změny klimatu – atlantická „overturning“ (termohalinní) cirkulace





Budoucí změny klimatu – atlantická „overturning“ (termohalinní) cirkulace



★ všechny modely: zeslabení

★ → zeslabení přenosu tepla do vyšších zem. šířek v atl. oblasti



★ kolaps (zastavení)

– do r. 2100 žádný model neukazuje

– nelze jej vyloučit po r. 2100

– dramatické důsledky na klima Evropy

– nevratnost !!!





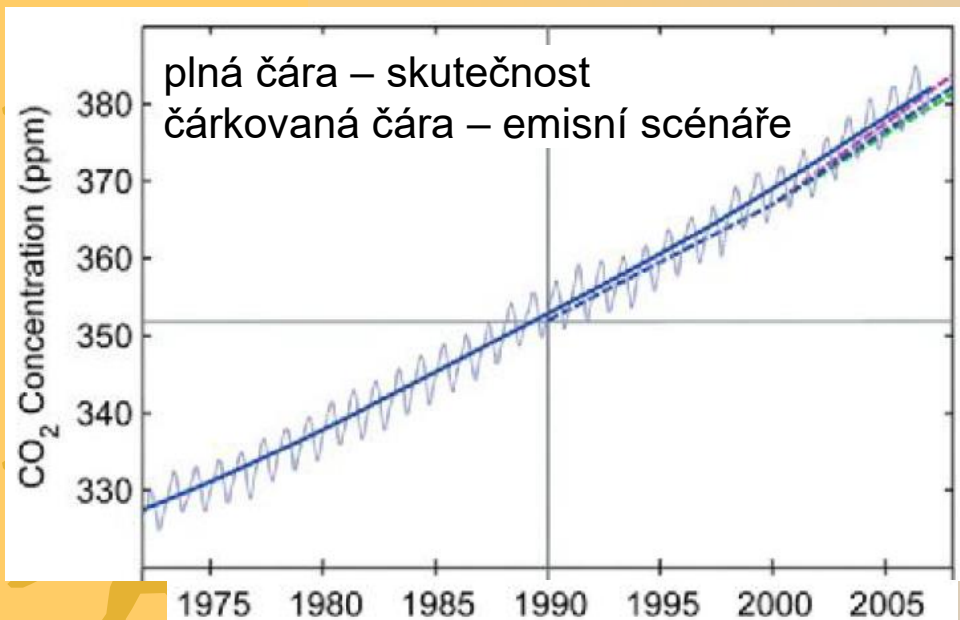
Souhlas projekcí změny klimatu se skutečností



- ★ porovnání projekcí ZK pro l. 1990-2010
- ★ emisní scénáře a projekce podle 3. hodnotící zprávy IPCC
- ★ růst koncentrací CO₂ – v souladu s emisními scénáři (vzájemné rozdíly velmi malé)
- ★ růst
 - glob.prům.teploty – v souladu s projekcemi
 - výšky hladiny moře – na horní hranici projekcí

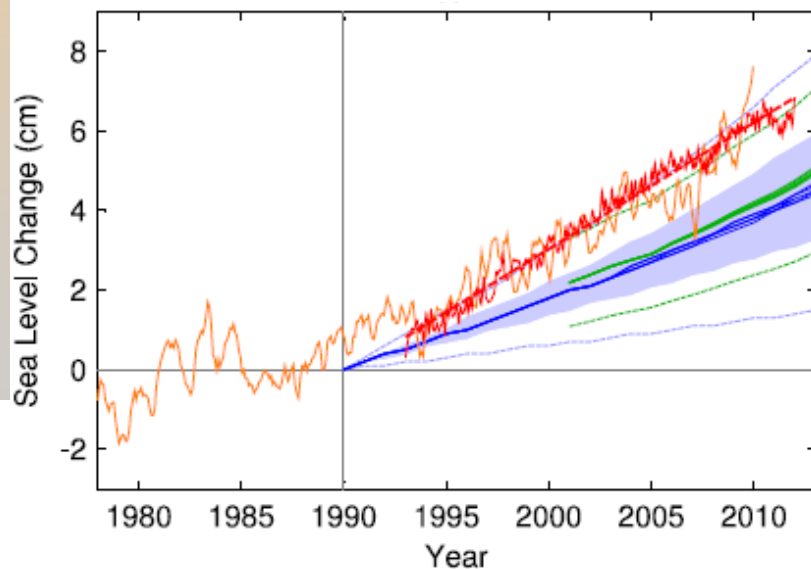
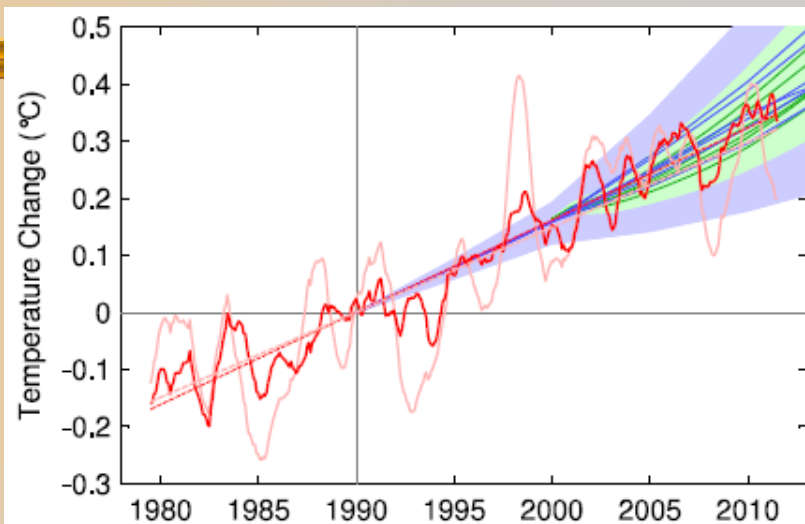


Souhlas projekcí změny klimatu se skutečností



Rahmstorf et al., *Science*, 2007;
Environ. Res. Lett., 2012

červená, oranžová – skutečnost
modrá, zelená (+ šrafování) –
projekce podle 3. a 4. zprávy IPCC





Budoucí změny klimatu – ČR



teplota

- nárůst po celý rok, větší spíše v zimě
- → prodloužení vegetačního období
- proměnlivost
 - nárůst v létě (častější a prudší změny teploty)
 - spíše pokles v zimě (možná souvislost se zeslabením / snížením počtu vpádů studeného vzduchu)



srážky

- nárůst množství srážek v zimě
- v zimě méně sněžení, více deště
- v létě spíše pokles



denní amplituda teploty

- zima, jaro – spíše pokles
- léto, podzim – spíše nárůst



Co se s tím dá dělat?

- ★ **adaptační opatření:** odpověď na změnu klimatu (cílená opatření) s cílem snížit zranitelnost konkrétního systému / sektoru (přizpůsobení se změně)
- ★ **mitigační opatření:** cílená změna radiační bilance Země s cílem snížit možné dopady (projevy) změny klimatu
 - snížení emisí CO₂
 - zvýšení ukládání CO₂
 - snížení absorpce (příkonu) slunečního záření

