

# 3. Teplota vzduchu

- **teplota** – střední kinetická energie molekul tělesa (míra úrovně zjevného tepla v tělese)
- jestliže těleso přijímá tepelnou energii, jeho teplota roste; vydává-li ji, jeho teplota klesá
- povrch během dne dostává více krátkovlnného záření než ztrácí dlouhovlnným vyzařováním - jeho teplota roste; v noci, kdy tok krátkovlnného záření ustává a převažuje dlouhovlnné vyzařování, teplota klesá
- teplota tělesa se vedle **pohlcování a vyzařování** může měnit těmito procesy:
  - a) **vedením** – tok tepla mezi dvěma dotýkajícími se tělesy od teplejšího ke chladnějšímu (aktivní povrch – atmosféra)
  - b) **výparem** – změna skupenství vody z kapalného na plynné za pohlcování energie – pokles teploty vypařujícího povrchu
  - c) **konvekcí** – přenos tepla promícháváním při výstupném pohybu vzduchu



## 3.1 Měření teploty vzduchu

- teplotní **stupnice Celsiova** ( $^{\circ}\text{C}$ ) – bod mrazu  $0^{\circ}\text{C}$ , bod varu  $100^{\circ}\text{C}$
- teplotní stupnice Fahrenheitova ( $^{\circ}\text{F}$ ) – bod mrazu  $32^{\circ}\text{F}$ , bod varu  $212^{\circ}\text{F}$
- **teploměr** – přístroj pro měření teploty vzduchu (rtuť nebo líh v kapiláře reaguje na změnu teploty různou objemovou změnou, tj. roztažením či stlačením) v bílé žaluziové meteorologické budce ve výšce 2 m nad zemí, která brání přímému dopadu slunečních paprsků a umožňuje cirkulaci vzduchu kolem teploměru
- dnes jsou kapalinové skleněné teploměry nahrazeny **odporovými teploměry** (termistory), které měří automaticky změny elektrického odporu s teplotou
- **průměrná denní teplota vzduchu**:  $(t_{07} + t_{14} + 2t_{21})/4$ , v řadě zemí ale průměr  $t_{\max}$  a  $t_{\min}$  ( $t_{07}$  značí teplotu v 7 hodin středního místního času atd.)
- z denních průměrných teplot se počítají **průměrné měsíční teploty** a z nich **průměrné roční teploty**

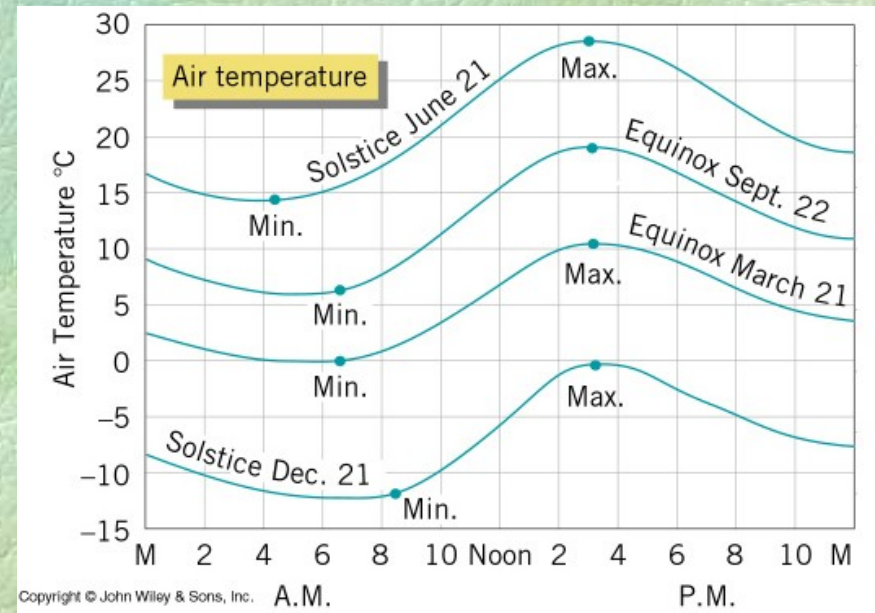
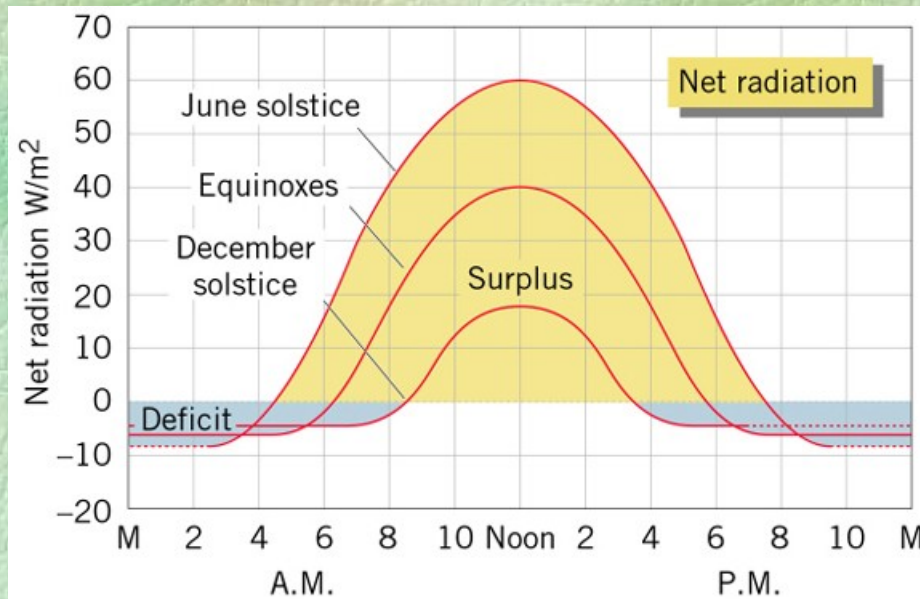
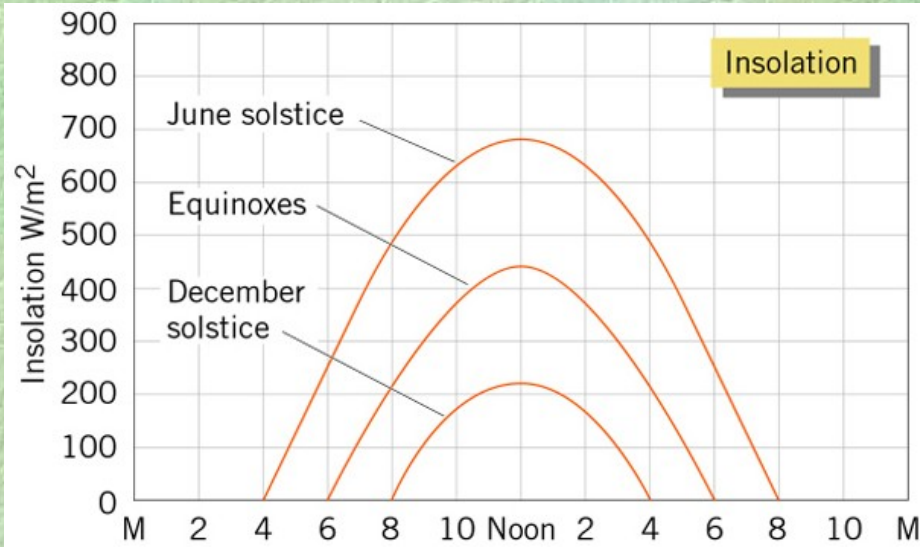
## 3.2 Denní chod teploty vzduchu

- denní změny radiační bilance (přes den pozitivní, v noci negativní) se projevují v denním chodu teploty vzduchu



## 3.2.1 Denní chod insolace a radiační bilance

- insolace → radiační bilance  
→ teplota vzduchu





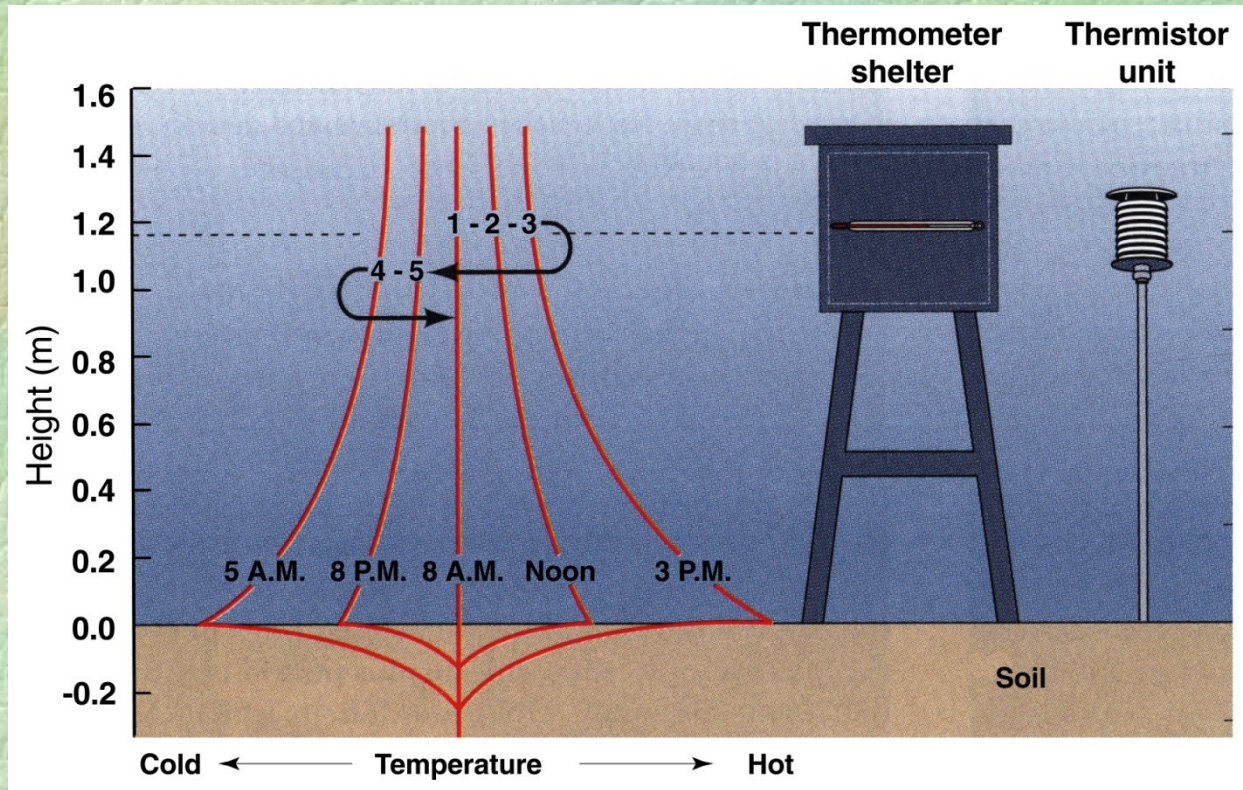
## 3.2.2 Denní teplota

- **minimum teploty** asi půl hodiny po východu Slunce – důsledek ochlazování povrchu dlouhovlnným vyzařováním v období negativní radiační bilance
- po východu Slunce (kladná radiační bilance) výrazný vzestup teploty vzduchu do **maxima** mezi 13.-16. hodinou (promíchávání vzduchu a odvod tepla nahoru, jinak by při kladné bilanci měla teplota ještě dále vzrůstat)
- po maximu opět pokles teploty vzduchu k rannímu minimu (vzestupná část křivky kratší než sestupná)
- úroveň teploty a denní amplituda ovlivněny sezónně



### 3.2.3 Teplota při povrchu

- při povrchu je chod teploty extrémnější – povrch se slunečním zářením více zahřívá a více se ochlazuje dlouhovlnným vyzařováním než vzduch ve výšce 2 m nad zemí
- v noci aktivní povrch chladnější než podloží aktivního povrchu a teplota nad ním, ve dne naopak





### 3.2.4 Kontrast teploty mezi městem a venkovskou krajinou

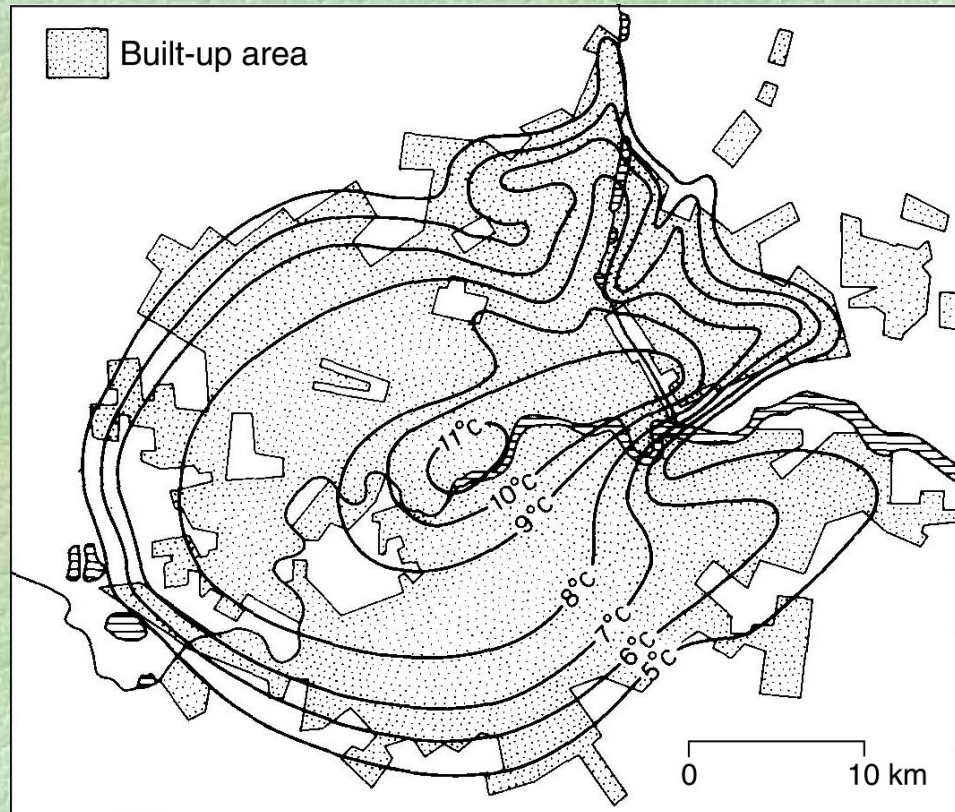
- charakter aktivního povrchu je měněn lidskou aktivitou, zvláště ve městech (zástavba, vozovky, chodníky aj.)
- venkovská krajina – vegetace – transpirace (výpar z povrchu rostlin) – odnímání tepla, povrch chladnější (výraznější ochlazující vliv v případě lesního porostu)
- půdní povrch je vlhčí, při výparu jeho ochlazování
- ve městě je srážková voda odváděna mimo město, povrch je sušší, insolací se otepluje povrch (teplota vyšší než v okolní venkovské krajině)
- stavební materiály ve městě pohlcují a uchovávají zářivou energii, v noci ji vyzařují (noční teploty vyšší než v okolní venkovské krajině)
- pohlcování tepla je posíleno několikerým odrazem záření mezi různými vertikálními povrchy ve městě



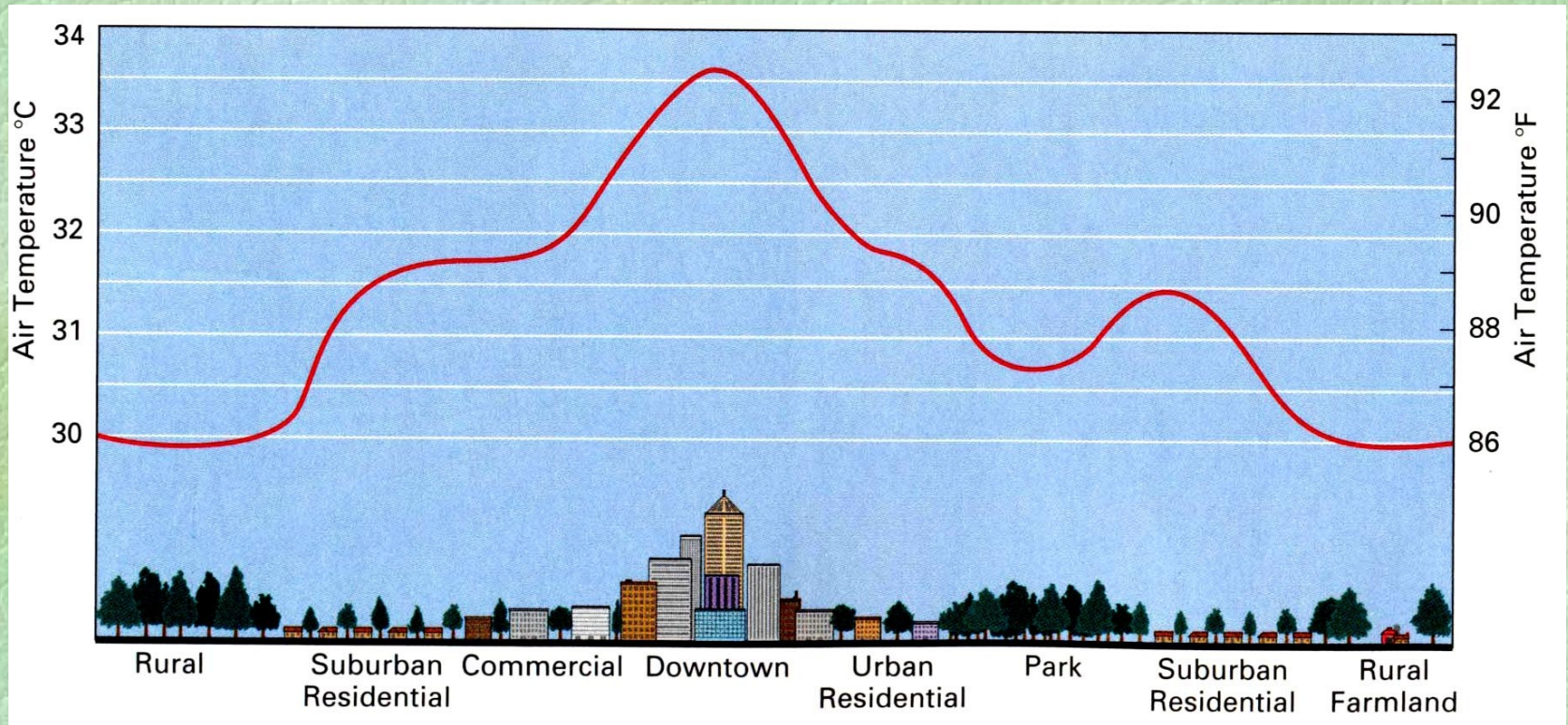
### 3.2.5 Tepelný ostrov města

- teplota ve městě je vyšší než v okolí (příčiny viz 3.2.4) – **tepelný ostrov města** – existuje během noci díky záření pohlcenému během dne
- odpadní teplo ve městě (topení aj.) – tepelný ostrov nejintenzivnější v zimě
- pouštní oblasti – evapotranspirace zavlažované vegetace ve městě může držet teplotu níže než v okolí

Rozložení minimální teploty vzduchu (°C) v Londýně dne 14.5.1959.



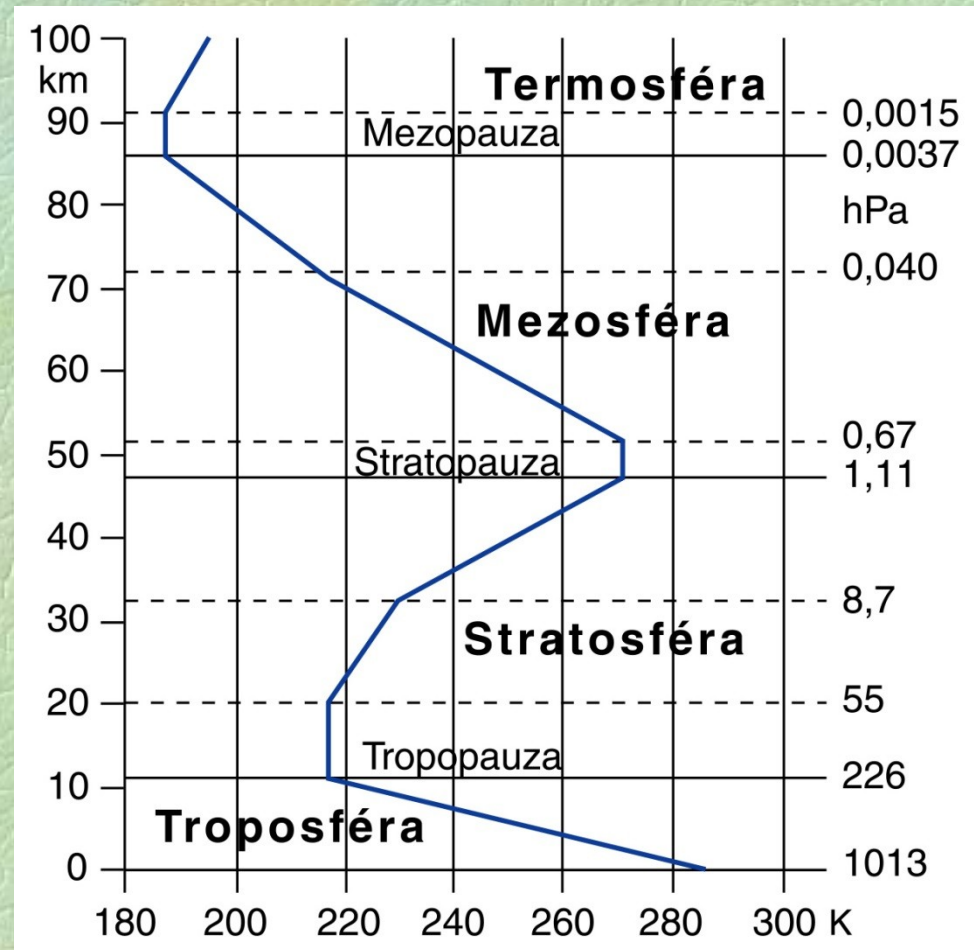






## 3.3 Teplotní zvrstvení atmosféry

- teplota vzduchu klesá s výškou – pokles lze popsat **vertikálním teplotním gradientem** ( $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ )
- vzduch se otepluje od aktivního povrchu, tedy čím je od povrchu dále, tím je chladnější
- průměrný vertikální teplotní gradient  $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$
- od určité úrovně ale průměrná teplota roste, což umožnilo rozlišit dvě části spodní atmosféry – troposféru a stratosféru





### 3.3.1 Troposféra

- nejnižší vrstva atmosféry, v níž teplota vzduchu klesá s výškou, aréna povětrnostních jevů (oblaka, bouřky atd.)
- **vodní pára** v troposféře ve významném množství: kondenzace – nízká oblaka, mlha; sublimace nebo usazování na ledových krystalcích – vysoká oblaka; zdroj vypadávání srážek; význam vodní páry pro skleníkový efekt
- **atmosférické aerosoly** – pevné a tekuté příměsi v troposféře:
  - a) **přírozené aerosoly**
    - kosmický prach ( $1,4 \cdot 10^{10}$  kg ročně)
    - vulkanický prach (vulkanické erupce, vliv na intenzitu přímého záření)
    - kouřové částice (lesní a rašeliništní požáry)
    - částice z povrchu půdy a moře (zvednuty větrem – písečné a prachové bouře, vlnění)
    - aeroplankton (např. pyl, bakterie)
  - b) **antropogenní aerosoly**
    - asi 10 %, toxické účinky, dálkový přenos, kondenzační jádra, rozložení s výškou; pevné a kapalné příměsi - sedimentace na povrchu, plynné příměsi –  $\text{SO}_2$ , halogenované uhlovodíky aj.



- aerosoly jako **kondenzační jádra** (zárodky pro vznik oblaků a mlh)
- aerosoly způsobují **aerosolový rozptyl** dopadajícího záření – největší pro delší vlnové délky viditelného záření (např. červená barva při západu a východu Slunce)
- **tropopauza** – přechodná vrstva mezi troposférou a stratosférou (teplota se v ní s výškou nemění – izotermie, nebo roste – inverze)

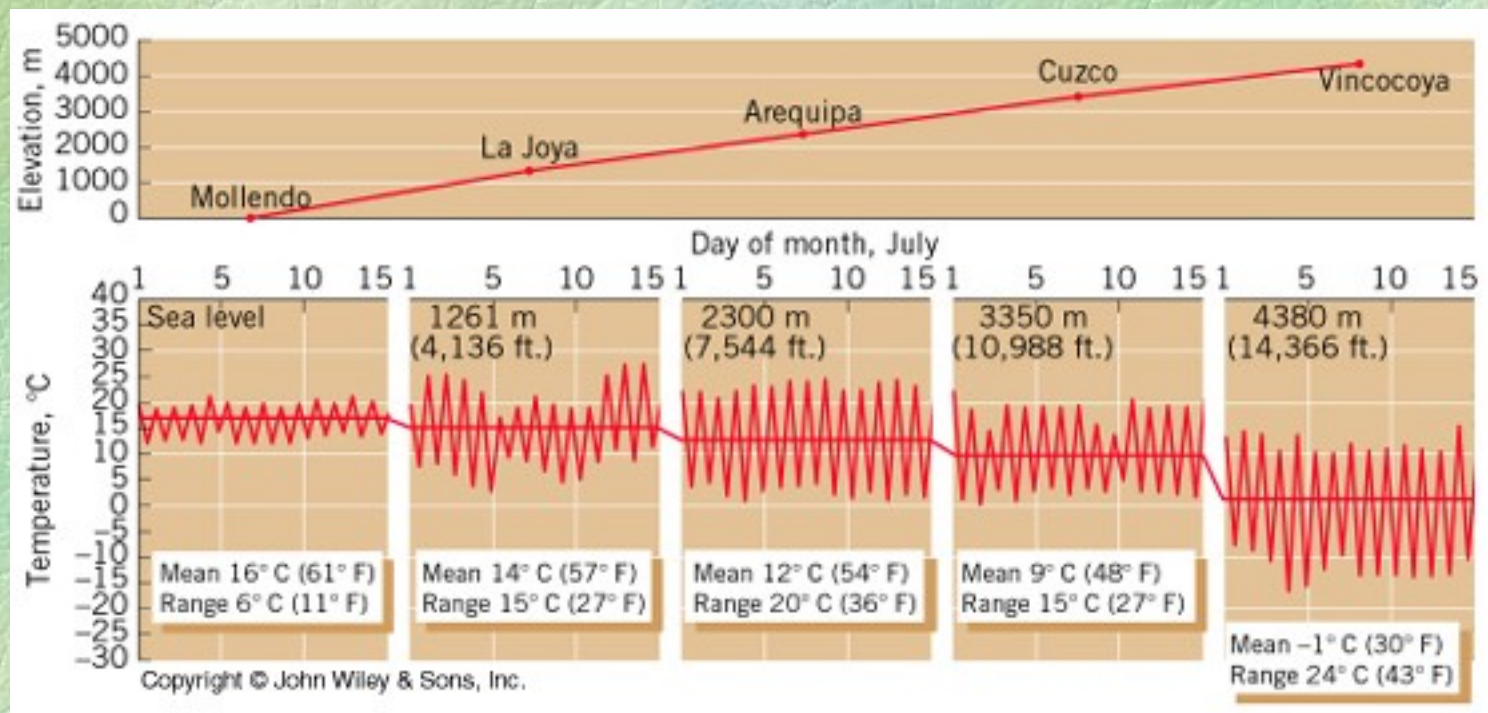
### 3.3.2 Stratosféra

- růst teploty vzduchu s výškou, hlavně v důsledku pohlcování slunečního záření ozonem
- sahá do výšky asi 50 km, slabá výměna vzduchu s troposférou – obsahuje málo vodní páry a aerosolů



### 3.3.3 Prostředí vysokých hor

- pokles hustoty vzduchu s výškou – řídký vzduch (menší počet molekul v jednotkovém objemu vzduchu)
- menší obsah vodní páry a CO<sub>2</sub> – větší pokles nočních teplot
- denní teploty vzduchu klesají s rostoucí výškou a mají větší denní amplitudu



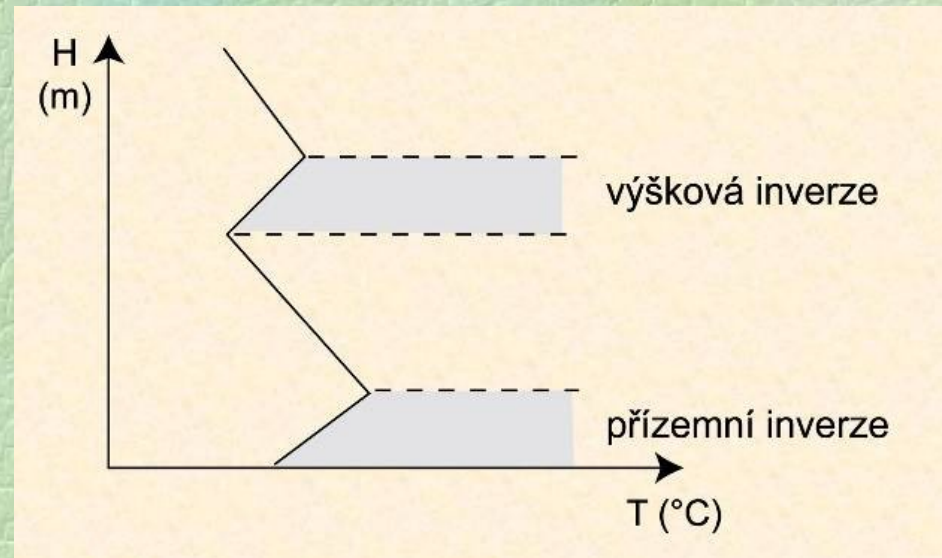


### 3.3.4 Teplotní inverze a mráz

- jasná noc, bezvětrí: povrch se ochlazuje dlouhovlnným zářením → radiální bilance negativní → ochlazuje se vzduch při povrchu → intenzita ochlazení klesá s výškou → teplota vzduchu s výškou roste – **teplotní inverze**
- teplota při povrchu může v takovýchto případech klesnout pod nulu – **mráz** (killing frost) – ochrana: vrtule - promíchávání vzduchu, oteplování přízemní vrstvy spalováním paliv
- **přízemní (radiální) inverze** – nejčastější v zimě

nad povrchem se sněhovou pokrývkou, kdy se tvoří během několika dnů (výrazně vertikálně vyvinuty) nebo v průběhu noci jako slaběji vyvinuté noční inverze

- **advekční inverze** – nasouvání teplejší vrstvy vzduchu nad chladnější povrch

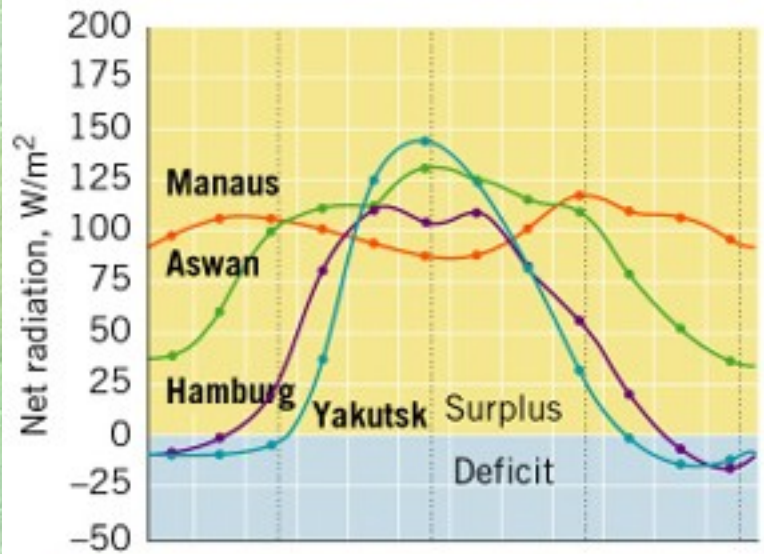




# 3.4 Roční chod teploty vzduchu

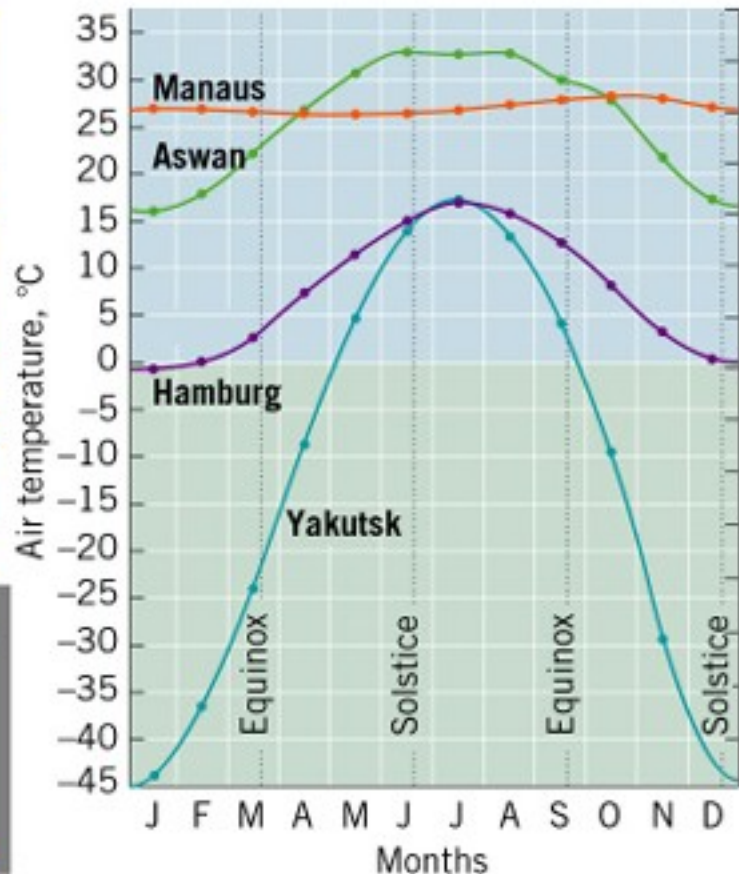
## 3.4.1 Radiační bilance a teplota

- sklon zemské osy k rovině ekliptiky a oběh Země kolem Slunce podmiňují roční chod radiační bilance, který ovlivňuje roční cyklus teploty vzduchu



| Place   | Lat  | Annual avg $W/m^2$ |
|---------|------|--------------------|
| Yakutsk | 62°N | 42                 |
| Hamburg | 54°N | 47                 |
| Aswan   | 24°N | 98                 |
| Manaus  | 3°S  | 87                 |

(a)

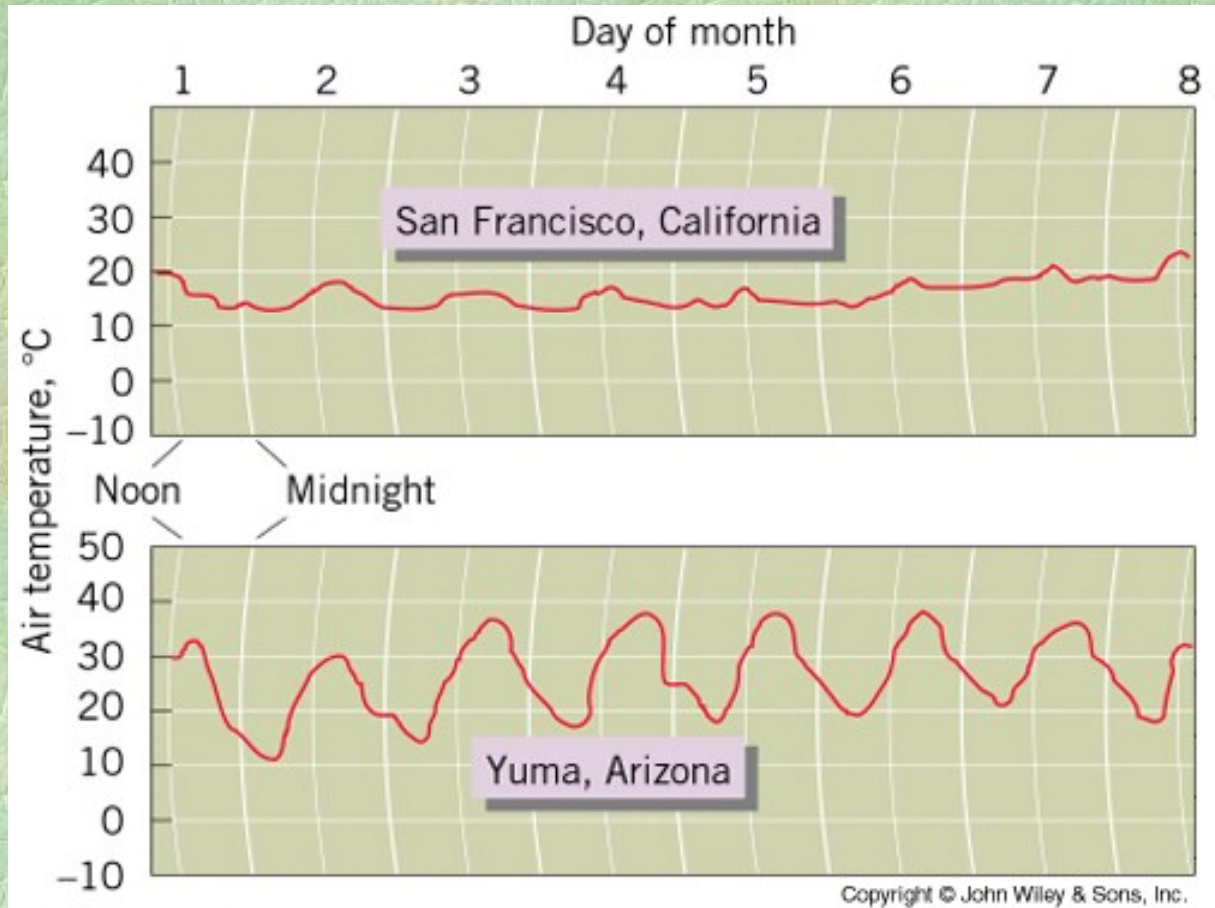


(b)



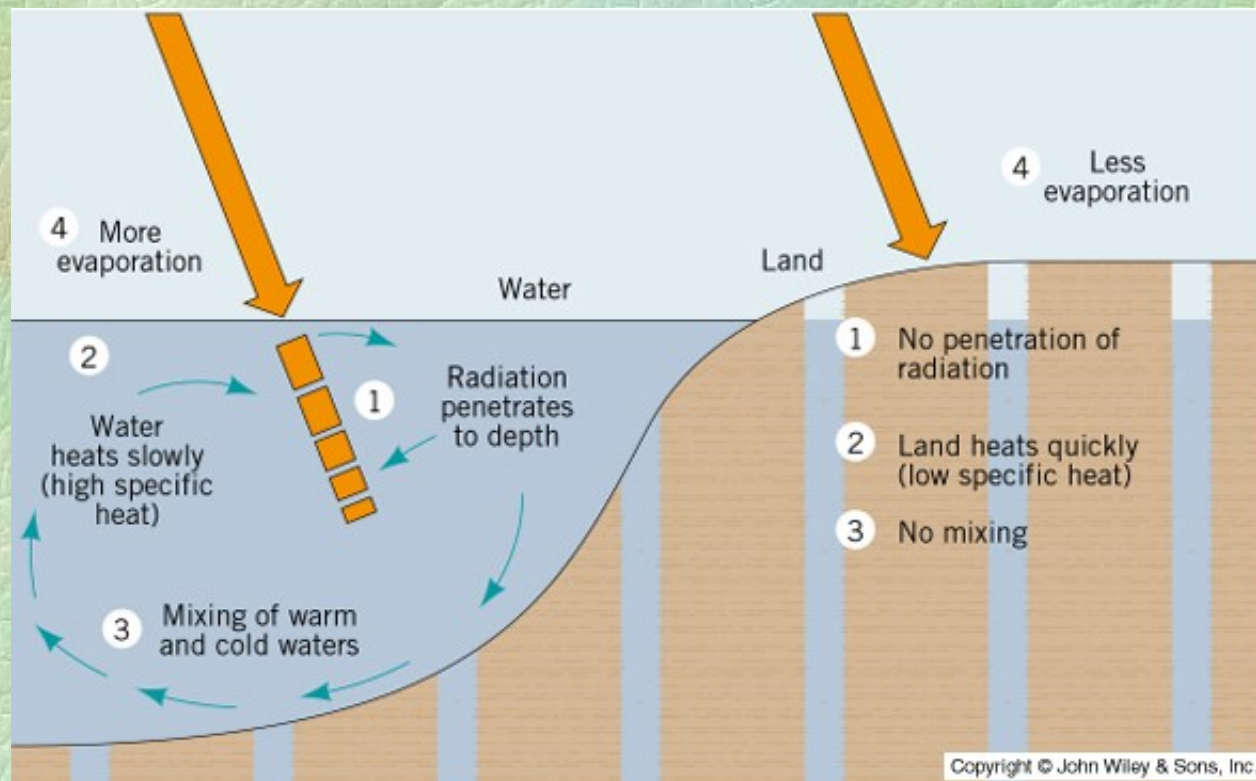
### 3.4.2 Kontrast mezi pevninou a oceánem

- stanice při pobřeží v porovnání s vnitrozemím jsou chladnější v létě a teplejší v zimě a mají menší teplotní amplitudu (denní i roční)





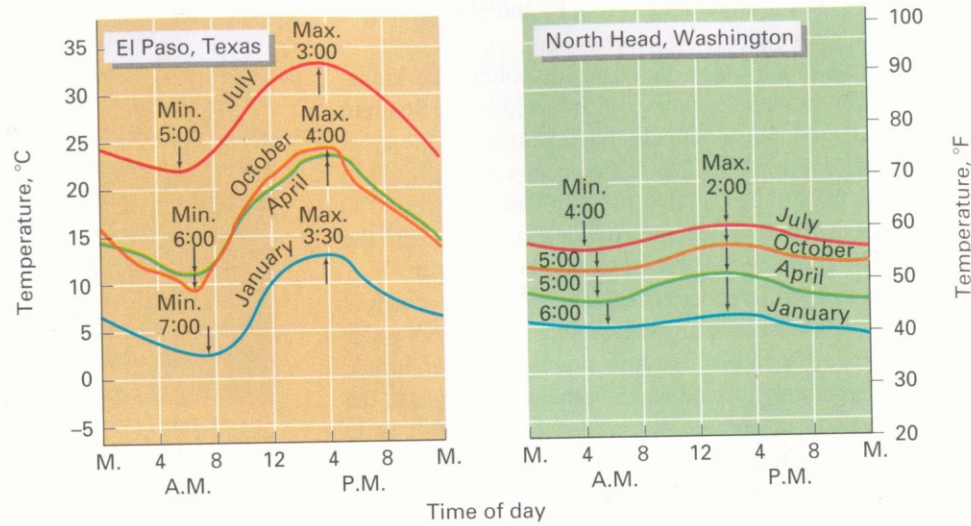
- vodní plochy se při stejné insolaci ohřívají a ochlazují pomaleji než povrch souše z následujících příčin:
  - a) sluneční záření proniká ve vodě do větší hloubky v porovnání se souší, kde dopadá na povrch
  - b) voda se ohřívá pomaleji než povrch souše (např. specifické teplo vody je asi pětkrát větší než u skalního povrchu)
  - c) promíchávání teplejší a chladnější vody v zahřívané vrstvě
  - d) větší výpar nad vodní plochou než nad souší, kde může při suchém povrchu i ustát



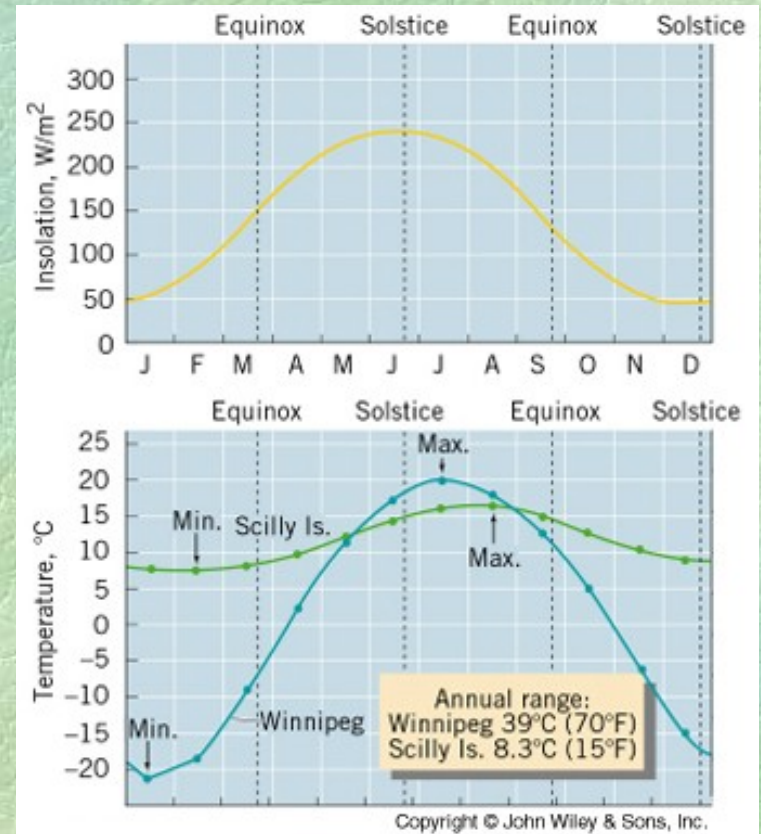


### 3.17 Continental and maritime daily air temperature cycles

The average cycle of air temperature throughout the day for four different months shows the effect of continental and maritime location. Daily and seasonal ranges are great at El Paso, a station in the continental interior, but only weakly developed at North Head, Washington, a station on the Pacific coast. The seasonal effect on overall temperatures is stronger at El Paso.



- v denním chodu teploty vzduchu na stanicích s oceánským klimatem je denní amplituda teploty menší než na stanicích s kontinentálním klimatem
- v ročním chodu dochází k opoždování extrémů (např. přesun minima z ledna na únor a maxima z července na srpen)



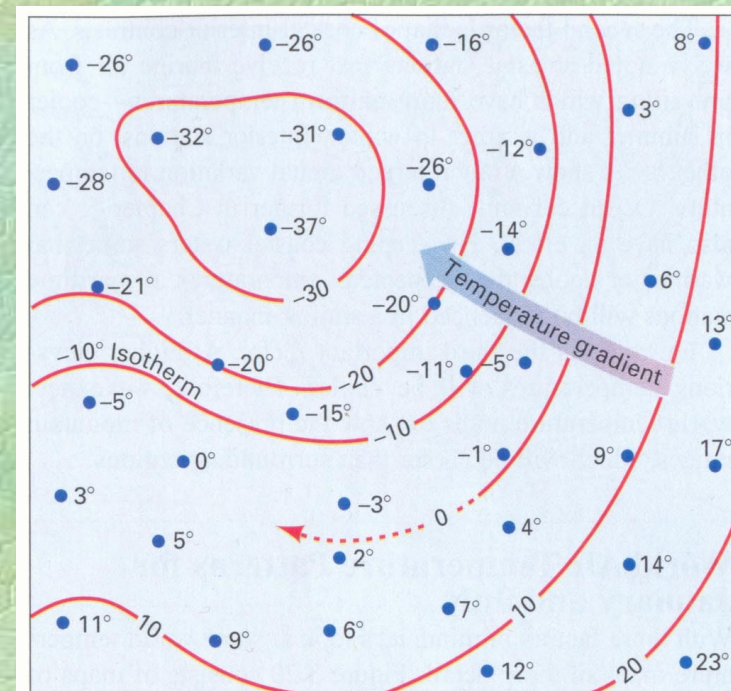


## 3.5 Geografické rozložení teploty vzduchu

- rozložení teploty vzduchu ukazují **mapy izoterem** – tj. čar spojujících místa se stejnou teplotou vzduchu
- mapy ukazují centra vysokých a nízkých teplot a horizontální teplotní gradient, tj. směr změny (poklesu) teploty vzduchu

### 3.5.1 Faktory ovlivňující rozložení teploty vzduchu

- **zeměpisná šířka** – s jejím růstem klesá průměrná roční insolace a tedy i teplota (pokles teploty od rovníku k pólům – při letním slunovratu dostává pól více sluneční energie než rovník)
- **oceanita a kontinentalita** – viz 3.4.2; vliv teplých a studených mořských proudů na pobřežní oblasti
- **nadmořská výška** – pokles teploty vzduchu s výškou

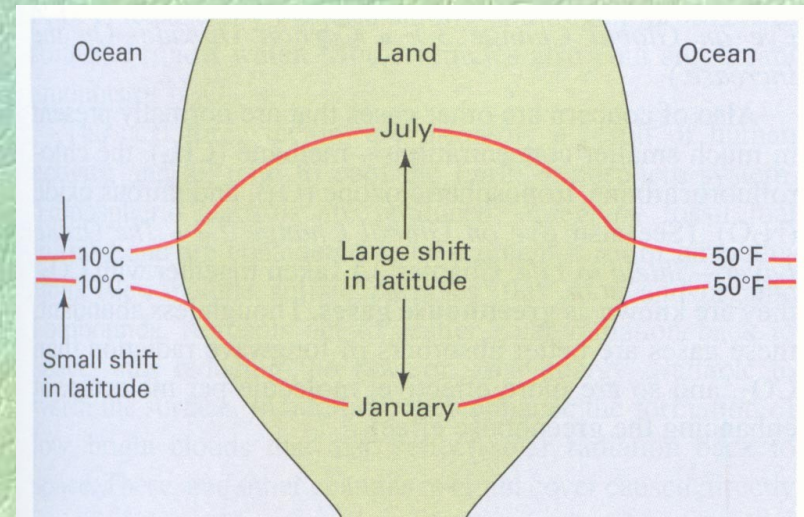


**3.19 Isotherms** Isotherms are used to make temperature maps. Each line connects points having the same temperature. Where temperature changes along one direction, a temperature gradient exists. Where isotherms close in a tight circle, a center exists. This example shows a center of low temperature.



## 3.5.2 Rozložení teplot vzduchu v lednu a v červenci

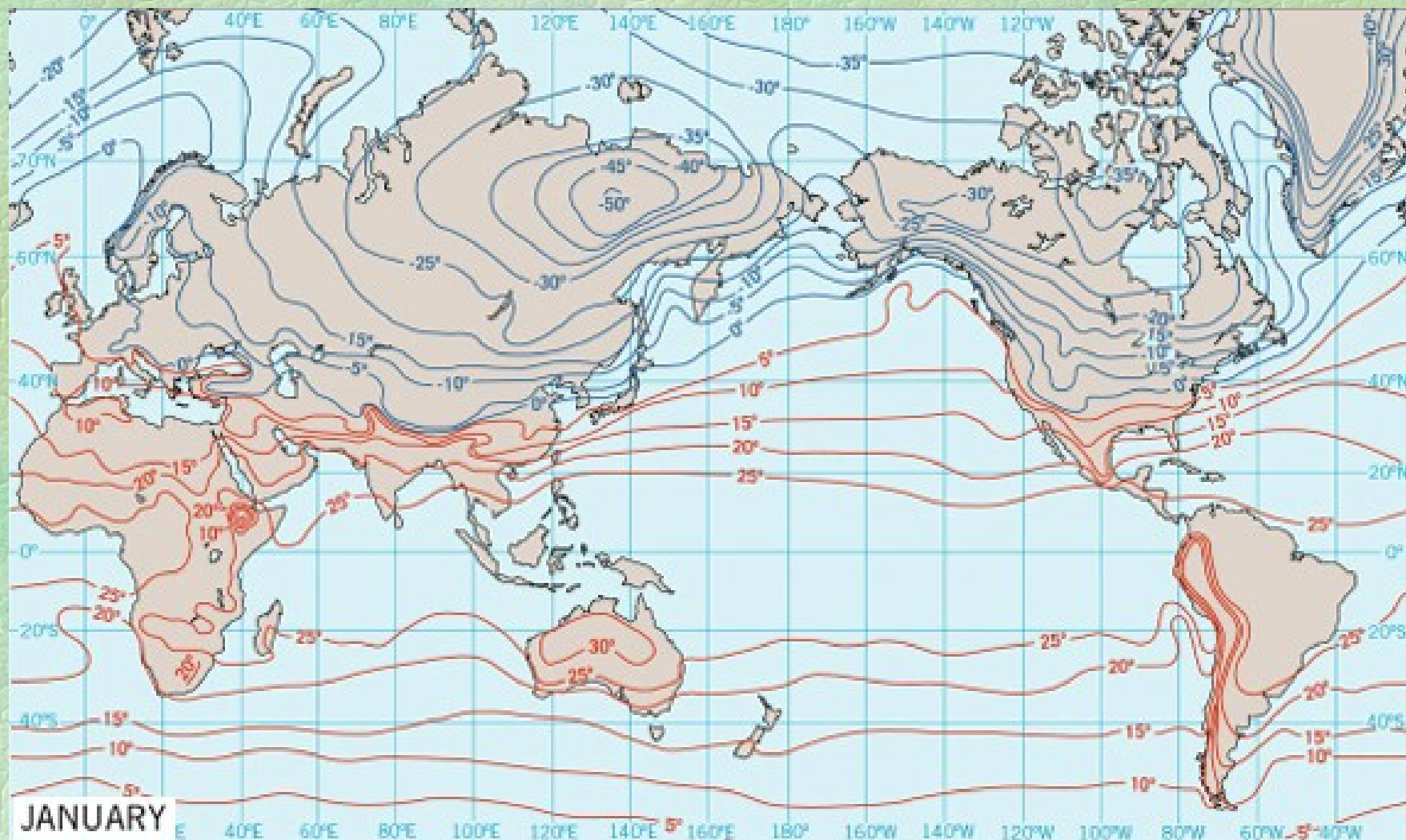
- a) **pokles teploty vzduchu od rovníku k pólům** – lépe vyjádřený na jižní polokouli, na severní komplikován rozložením pevnin
- b) **centra extrémně nízkých teplot v zimě na pevninách v subpolárních a polárních šířkách** – Sibiř kolem  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , severní Kanada kolem  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  (velké albedo nad zasněženým povrchem), Grónsko kolem  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (ledovcový štít)
- c) **malá změna teploty vzduchu v ekvatoriální oblasti mezi lednem a červencem** – insolace se výrazněji nemění v průběhu roku
- d) **velký severo-jížní posun izoterem mezi lednem a červencem nad kontinenty ve středních a subarktických šířkách** – pevnina: leden – posun k jihu, červenec – posun k severu (v důsledku rozdílného ohřívání a ochlazování pevnin a oceánů)



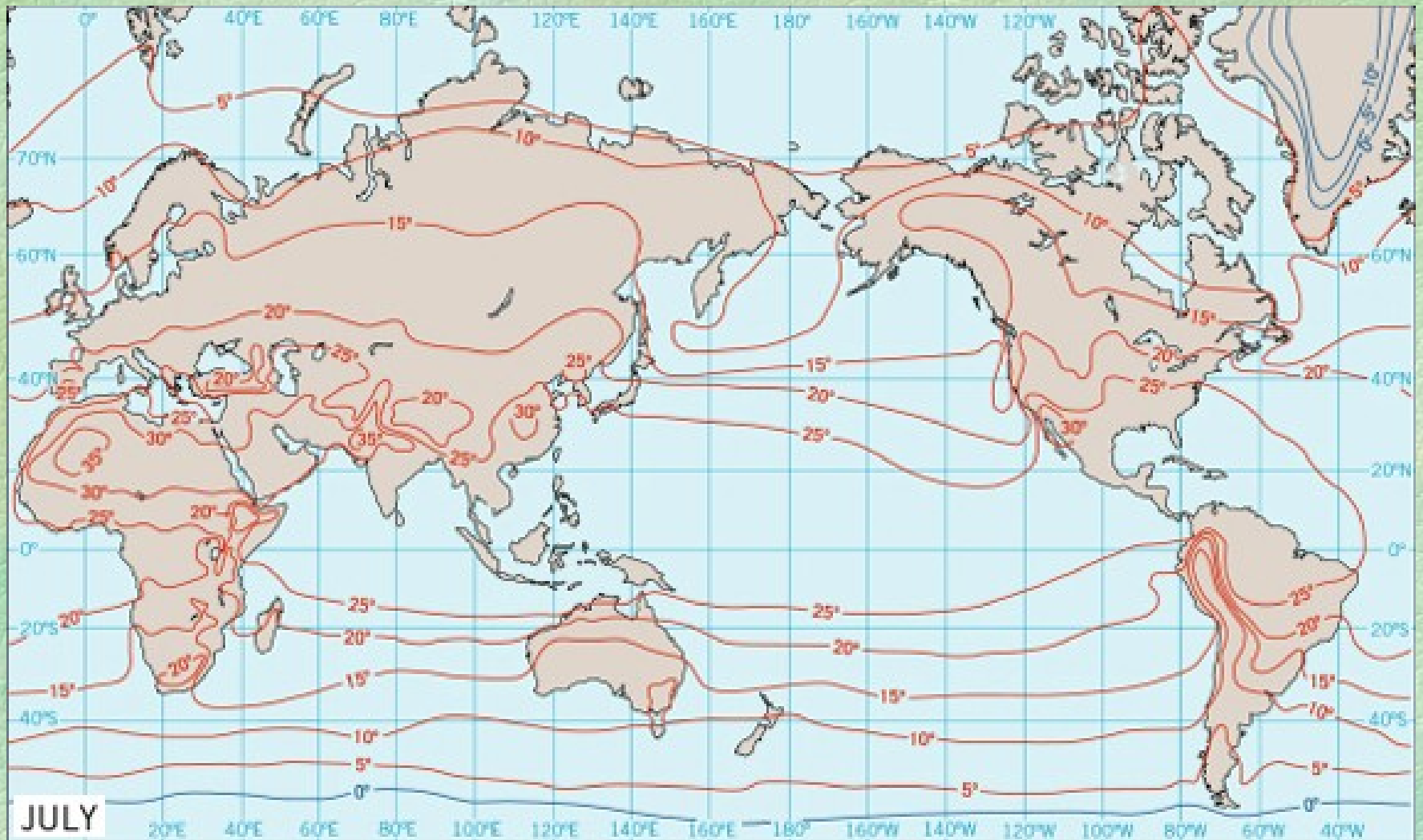
**3.21 Seasonal migration of isotherms** Continental air temperature isotherms shift over a much wider latitude range from summer to winter than do oceanic air temperature isotherms. This difference occurs because oceans heat and cool much more slowly than continents.



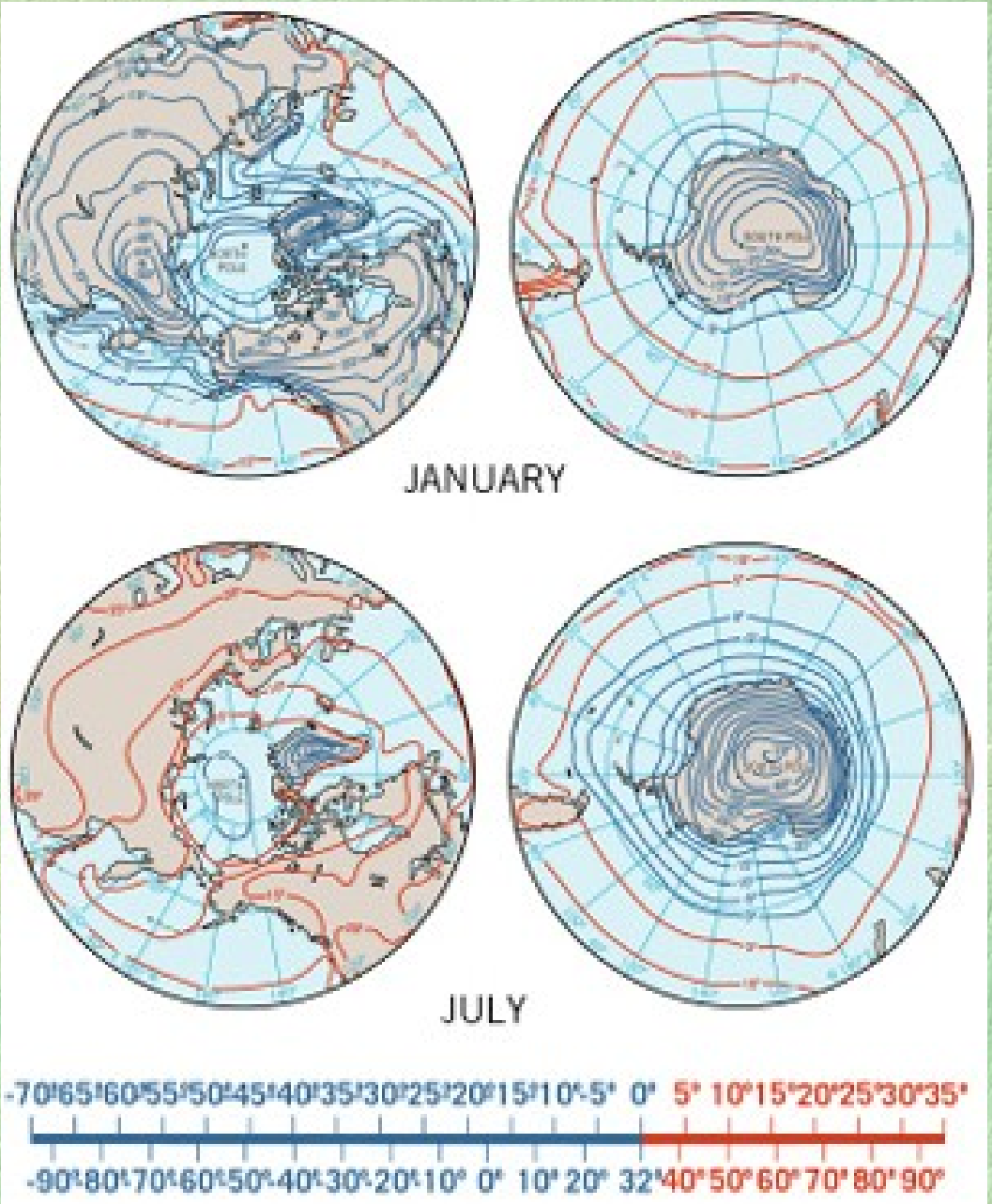
- e) výše ležící polohy jsou vždy chladnější než nížiny v okolí  
f) zaledněné oblasti nebo oblasti se stálou sněhovou pokrývkou jsou vždy velmi chladné – Antarktida a Grónsko: značná nadmořská výška, velké albedo









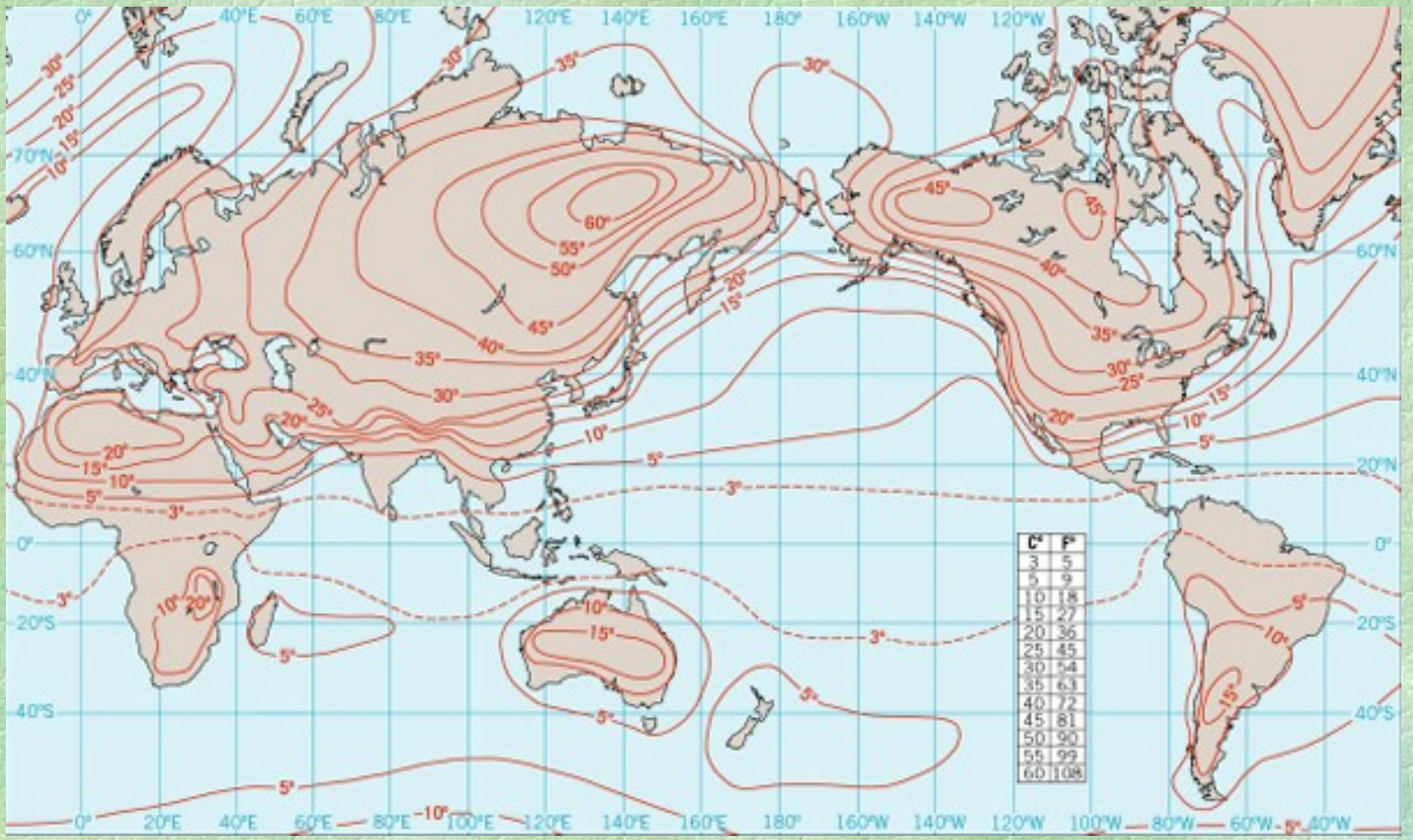




### 3.5.3 Roční amplituda teploty vzduchu

- a) **roční teplotní amplituda roste se zeměpisnou šířkou**, hlavně na kontinentech severní polokoule (hlavně Asie a Severní Amerika, kontrast zimní a letní insolace)
- b) **největší roční teplotní amplituda v subarktické a arktické zóně Asie a Severní Ameriky** (letní insolace porovnatelná s rovníkem, zimní velmi nízká)
- c) **roční teplotní amplituda je poměrně vysoká v oblasti pouští** (Sahara, Kalahari, střední část Austrálie – suchý vzduch, malá oblačnost)
- d) **roční teplotní amplituda nad oceány je menší než nad pevninou v téže zeměpisné šířce** (kontrast pevnina – oceán)
- e) **roční teplotní amplituda je velmi malá nad oceány v tropické zóně** (méně než 3 °C – malé sezónní změny insolace)

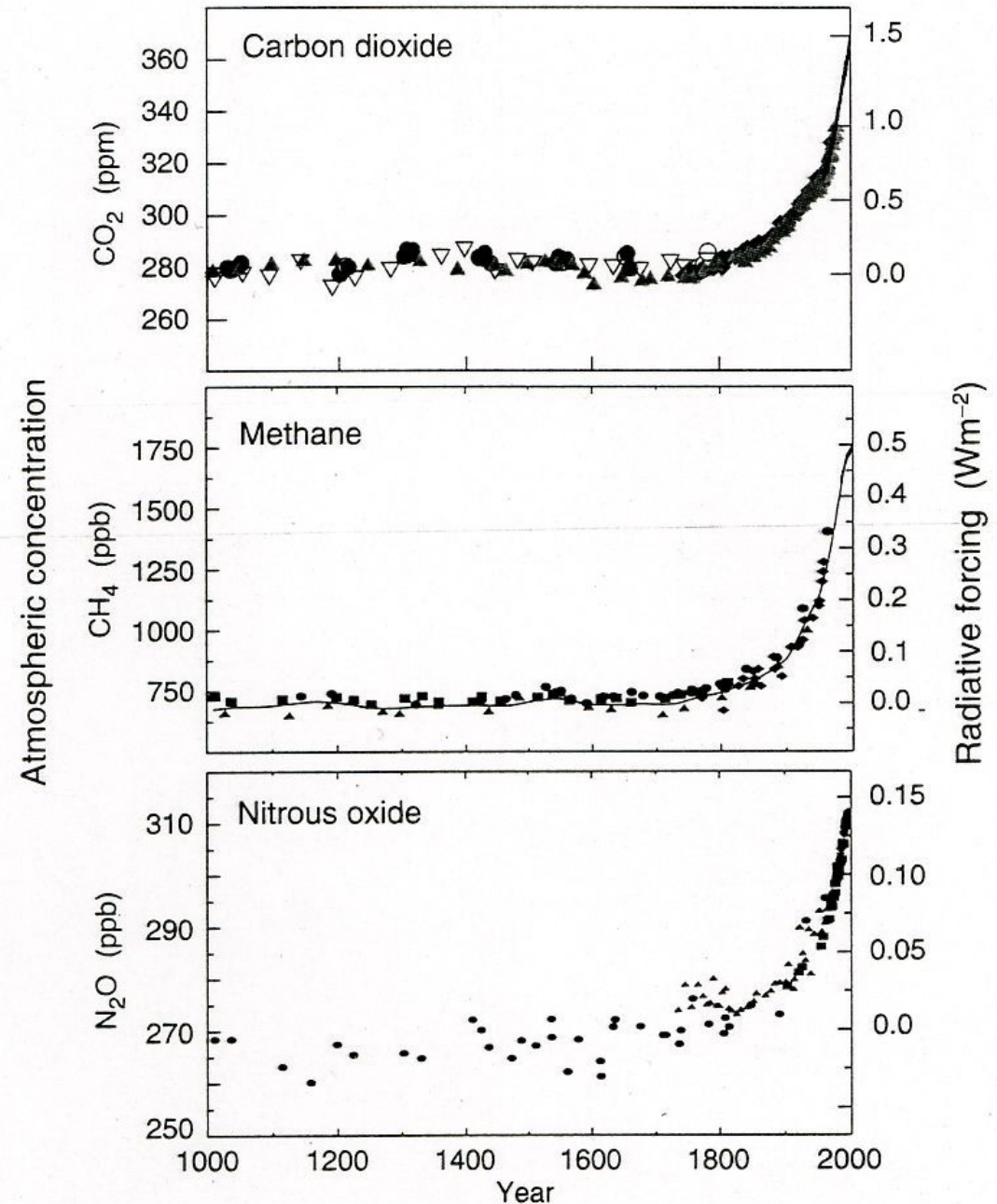






## 3.6 Skleníkový efekt a globální oteplování

- v důsledku antropogenní činnosti růst koncentrací plynů, přispívajících k zesilování skleníkového efektu – tzv. **skleníkové plyny** ( $\text{CO}_2$ , metan  $\text{CH}_4$ , oxid dusný  $\text{N}_2\text{O}$ , ozon  $\text{O}_3$ , halogenované uhlovodíky)
- hlavní zdroj skleníkových plynů – spalování fosilních paliv





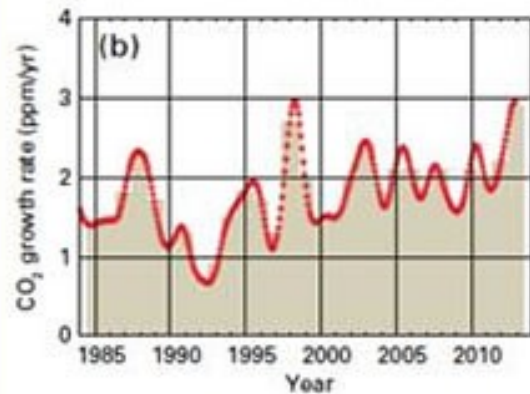
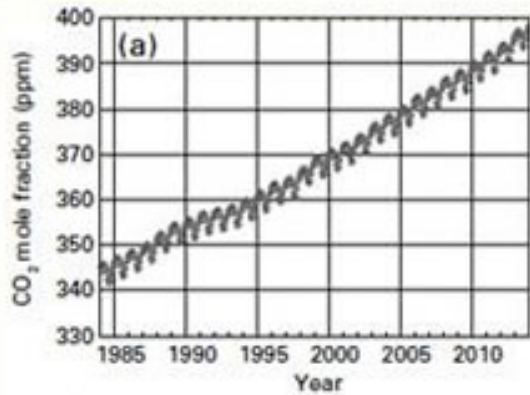


Figure 3. Globally averaged CO<sub>2</sub> mole fraction (a) and its growth rate (b) from 1984 to 2013. Differences in successive annual means are shown as shaded columns in (b).

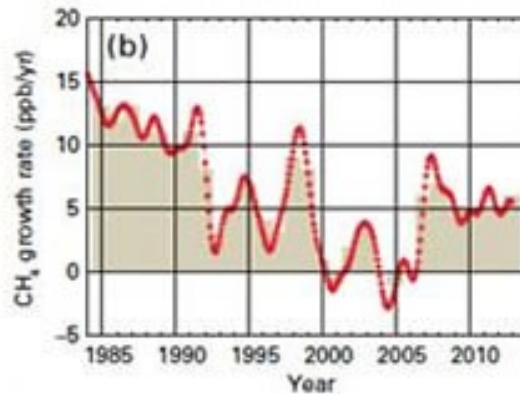
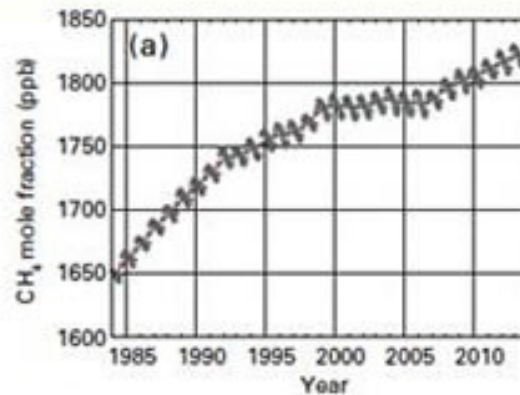


Figure 4. Globally averaged CH<sub>4</sub> mole fraction (a) and its growth rate (b) from 1984 to 2013. Differences in successive annual means are shown as shaded columns in (b).

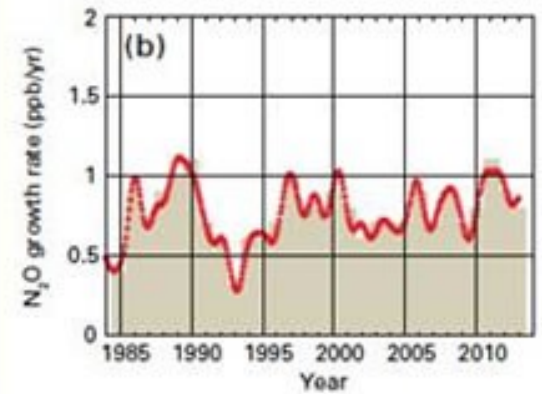
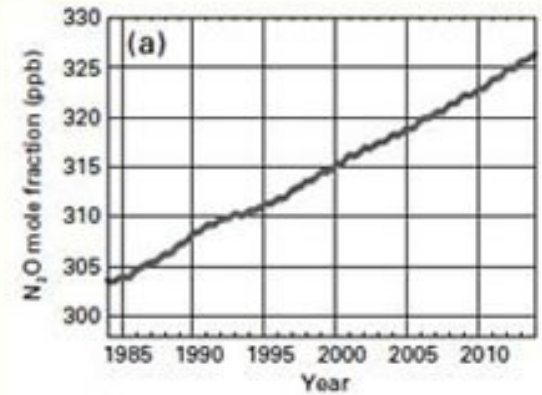
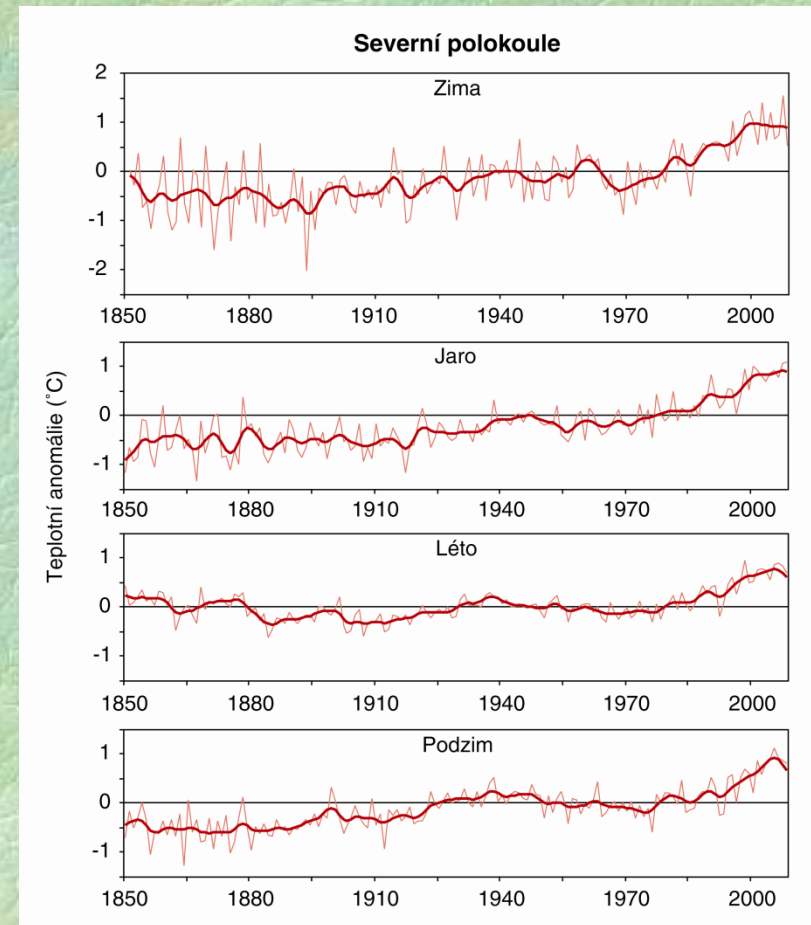
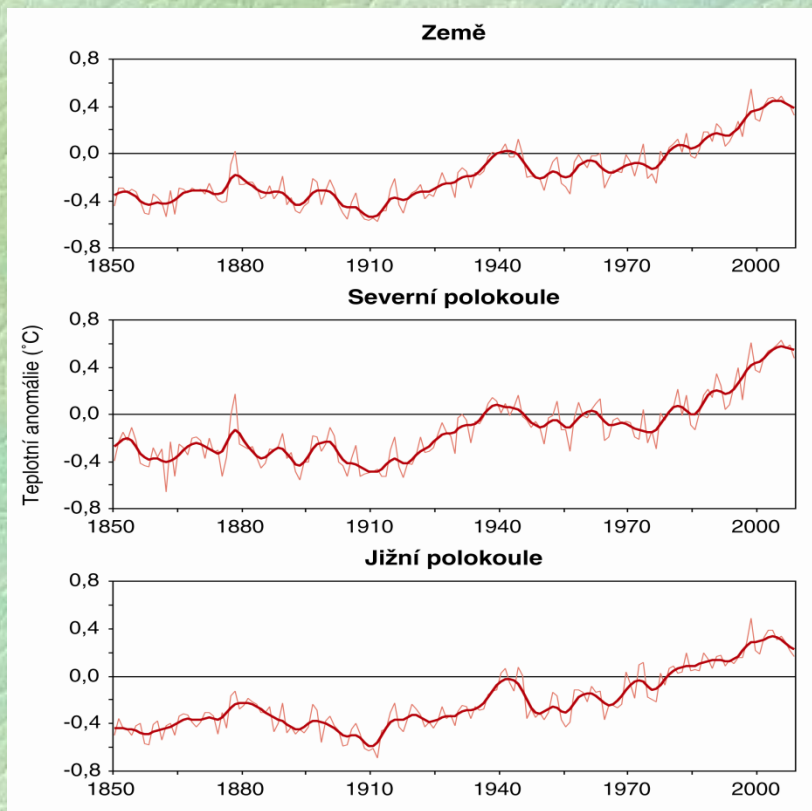


Figure 5. Globally averaged N<sub>2</sub>O mole fraction (a) and its growth rate (b) from 1984 to 2013. Differences in successive annual means are shown as shaded columns in (b).



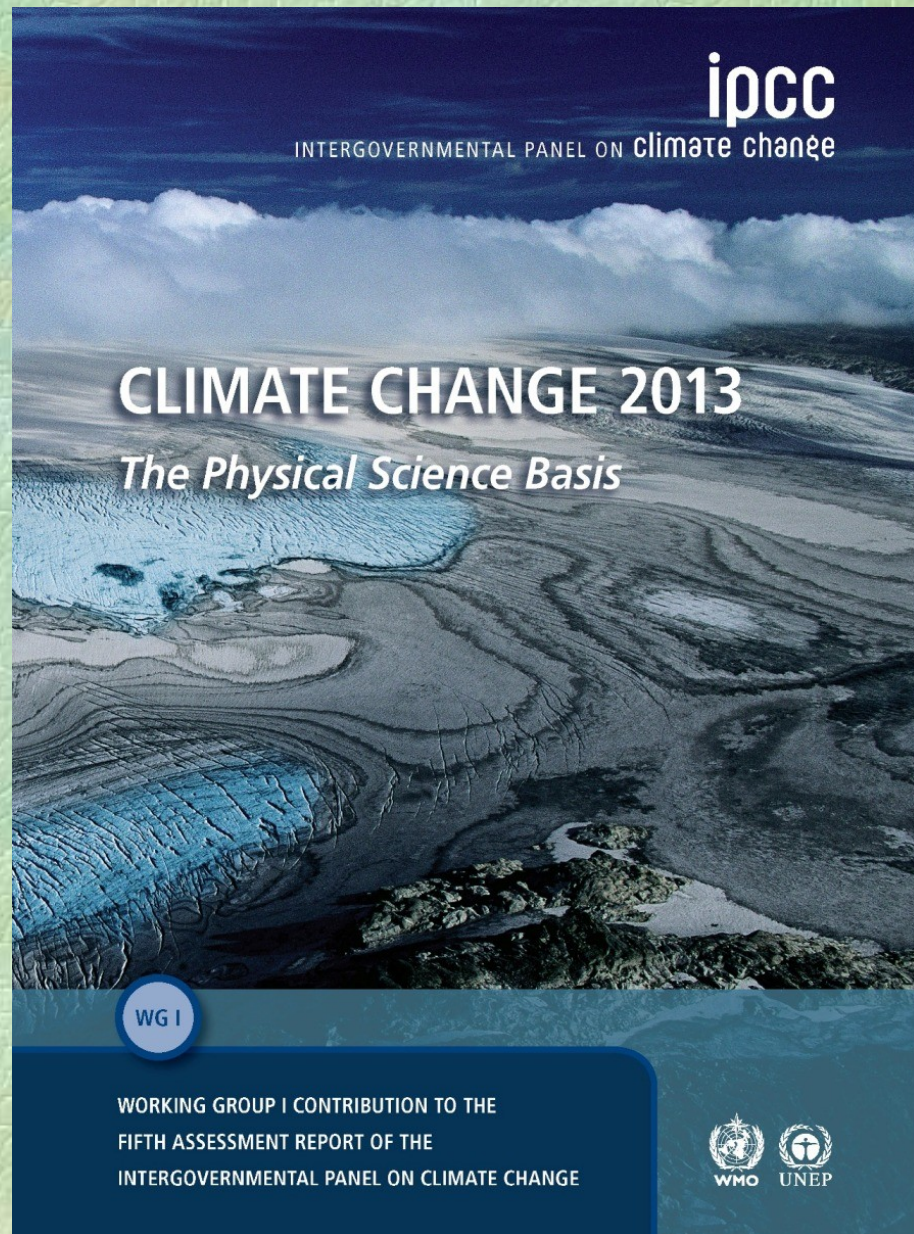
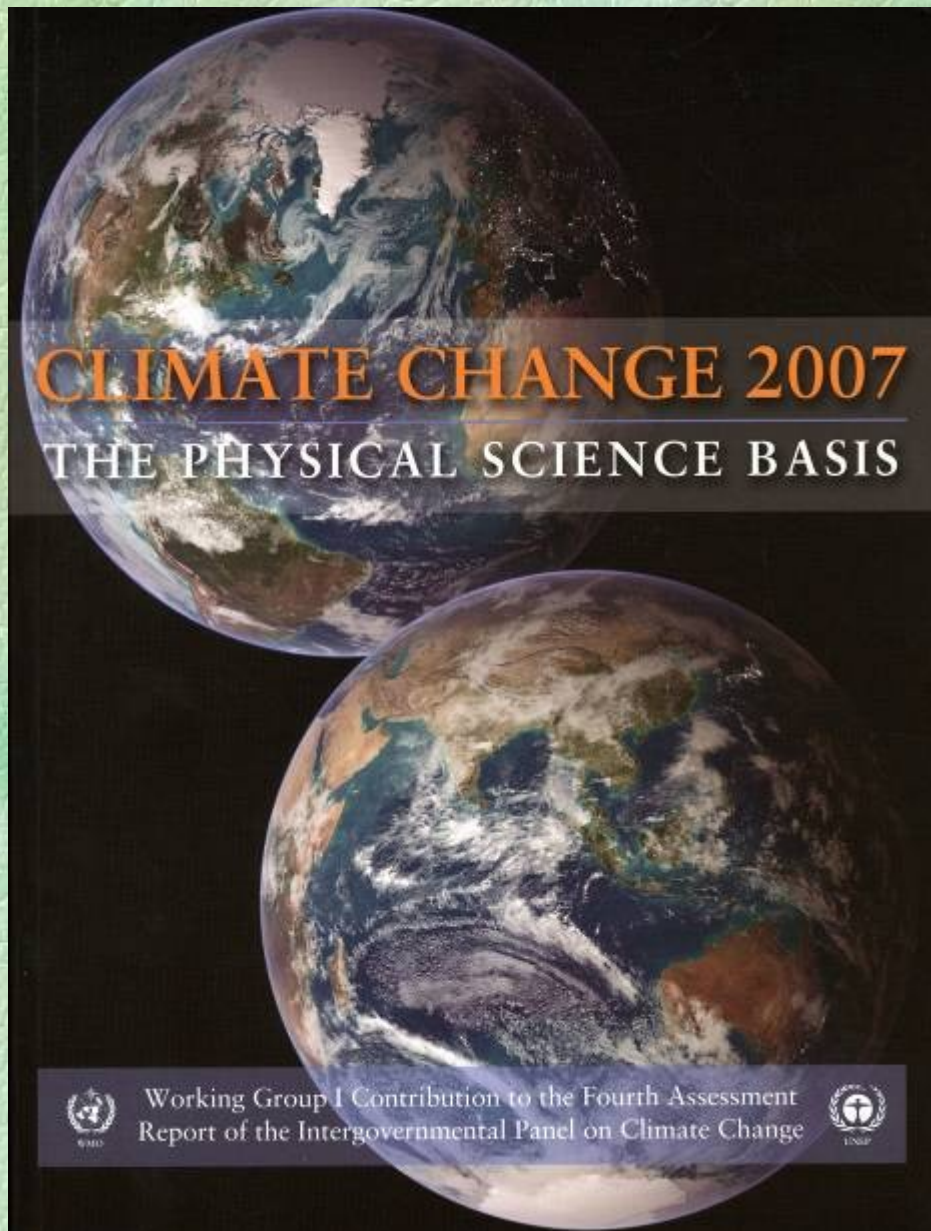
## 3.6.1 Kolísání teploty vzduchu

- globální teplotní řada (teploty vzduchu průměrované z velkého počtu stanic na Zemi) ukazuje vzestup teploty vzduchu na Zemi – tzv. **globální oteplování**





# Mezivládní panel pro klimatické změny (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) při Světové meteorologické organizaci (WMO)





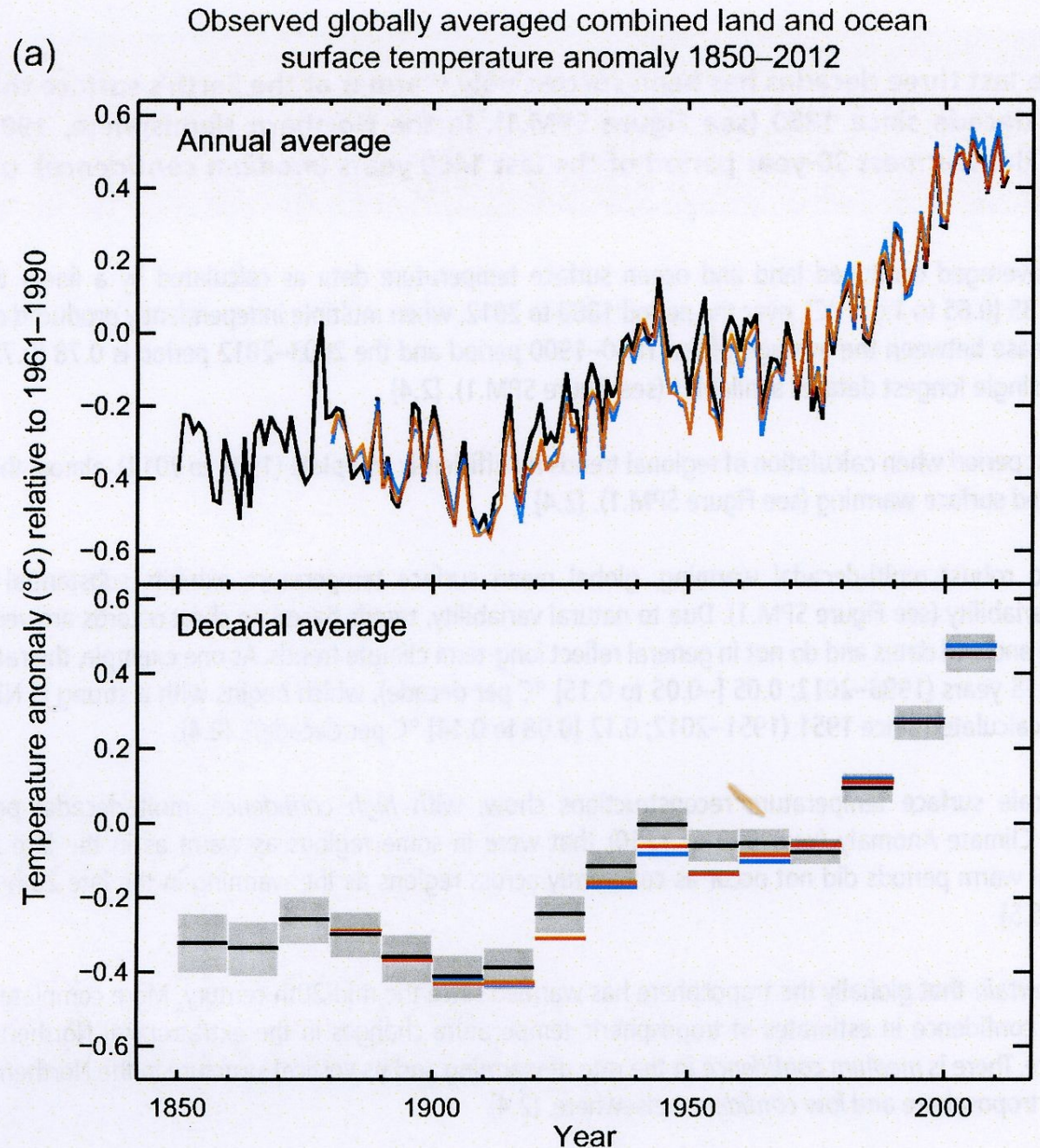
Lineární trend 1880-2012: 0,85 C (0,65 až 1,06)

Rozdíl teplot v obdobích 1850-1900 a 2003-2012 je 0.78 C (0,72 až 0,85)

Každá ze tří posledních dekád byla teplejší než předchozí dekády od roku 1850.

1983-2012 je nejteplejší 30-letí za posledních 1400 let.

Prakticky jisté, že se troposféra oteplila od poloviny 20. století.





- **faktory ovlivňující kolísání globální teploty vzduchu na Zemi:**

a) **sluneční aktivita** – změny solární konstanty (vzestup teploty)

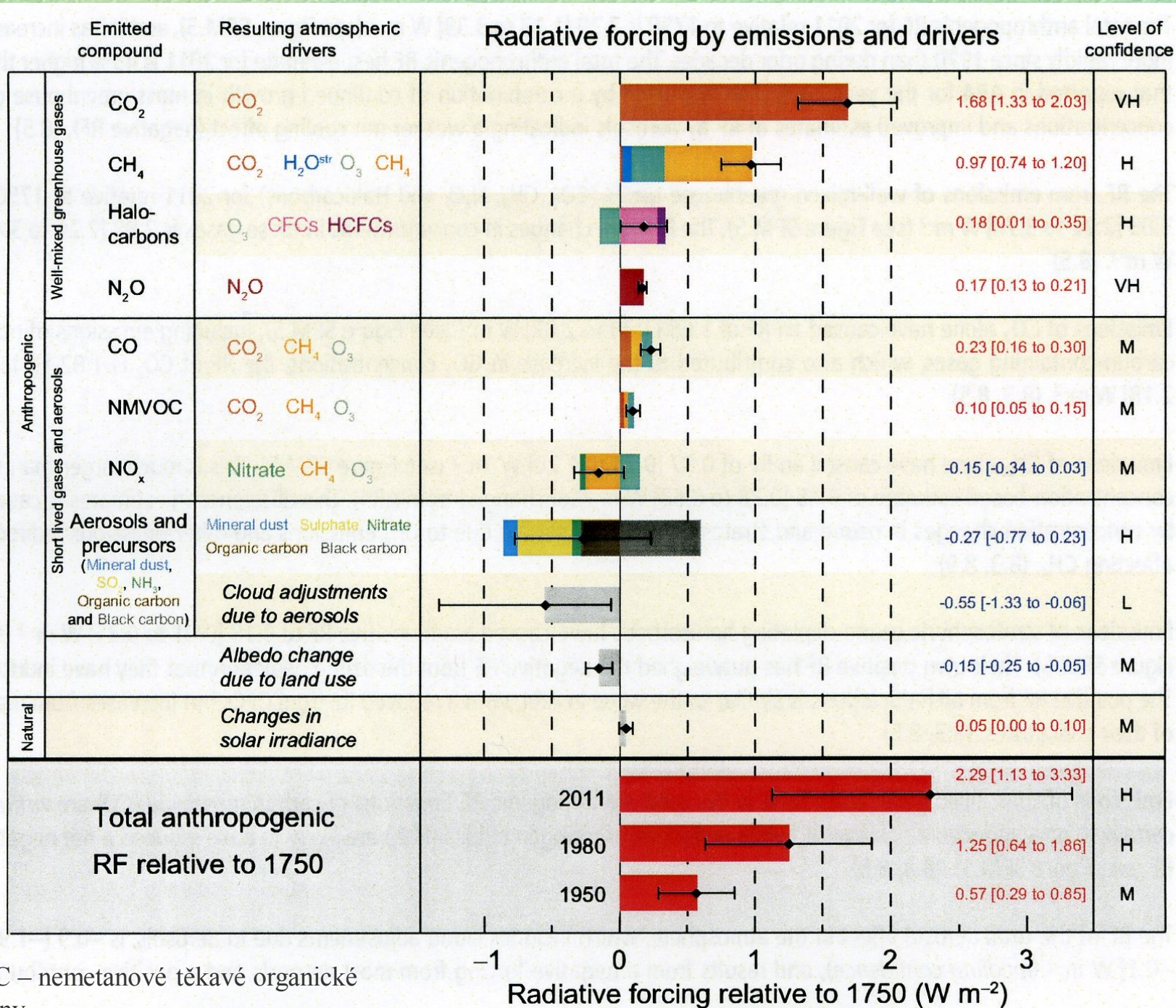
b) **vulkanická činnost** – po erupcích ve stratosféře se vytváří vrstva aerosolů, které odrážejí dopadající záření – ochlazení při zemském povrchu

c) **interakce oceán-atmosféra** (výměna tepla v oceánech, ENSO – roky El Niña výrazněji teplejší než roky La Niña)

d) **zesilování skleníkového efektu** (oteplování) – všeobecně považováno za hlavní faktor současného globálního oteplování

a) – c) – **přírodní klimatotvorné faktory**, d) **antropogenní faktor**



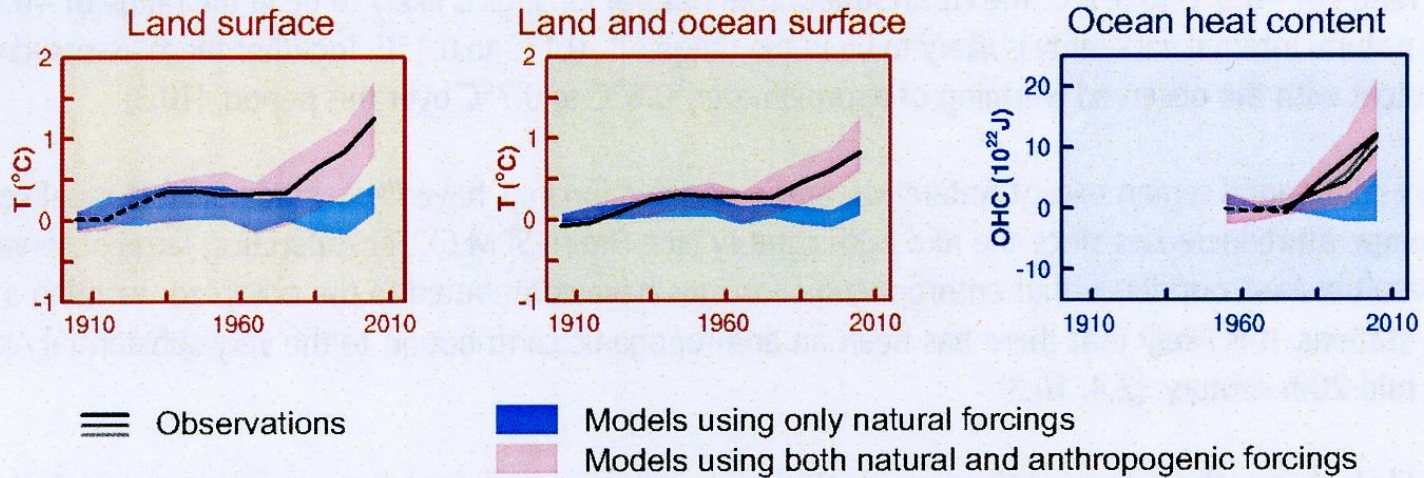


-1      0      1      2      3  
Radiative forcing relative to 1750 (W m<sup>-2</sup>)

NMVOC – nemetanové těkavé organické sloučeniny

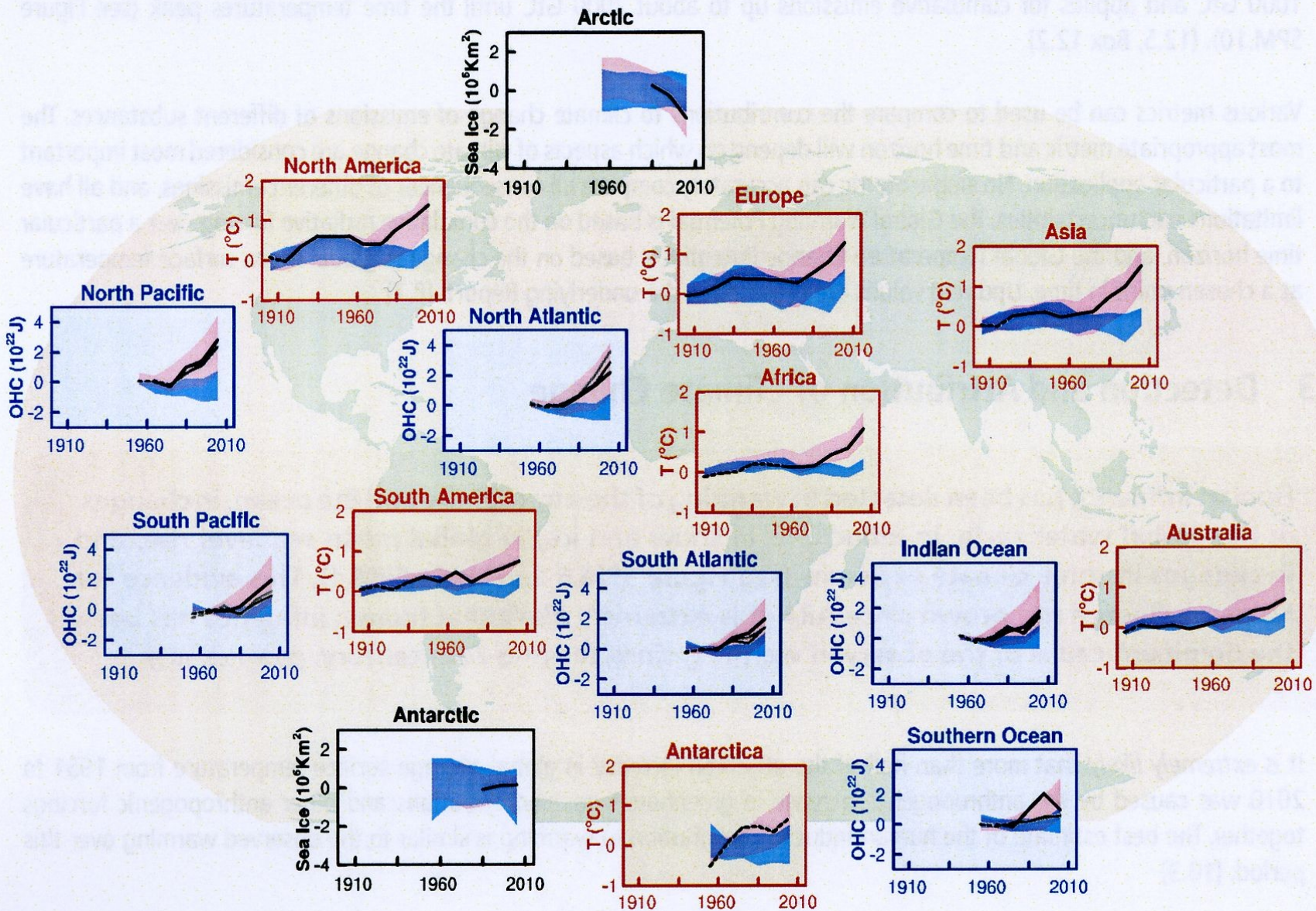


## Global averages



**Figure SPM.6 |** Comparison of observed and simulated climate change based on three large-scale indicators in the atmosphere, the cryosphere and the ocean: change in continental land surface air temperatures (yellow panels), Arctic and Antarctic September sea ice extent (white panels), and upper ocean heat content in the major ocean basins (blue panels). Global average changes are also given. Anomalies are given relative to 1880–1919 for surface temperatures, 1960–1980 for ocean heat content and 1979–1999 for sea ice. All time-series are decadal averages, plotted at the centre of the decade. For temperature panels, observations are dashed lines if the spatial coverage of areas being examined is below 50%. For ocean heat content and sea ice panels the solid line is where the coverage of data is good and higher in quality, and the dashed line is where the data coverage is only adequate, and thus, uncertainty is larger. Model results shown are Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) multi-model ensemble ranges, with shaded bands indicating the 5 to 95% confidence intervals. For further technical details, including region definitions see the Technical Summary Supplementary Material. {Figure 10.21; Figure TS.12}



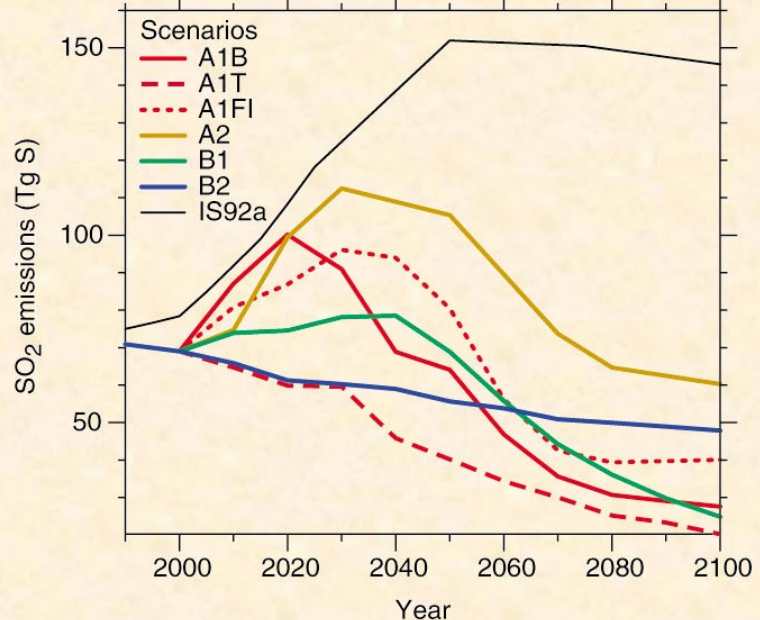
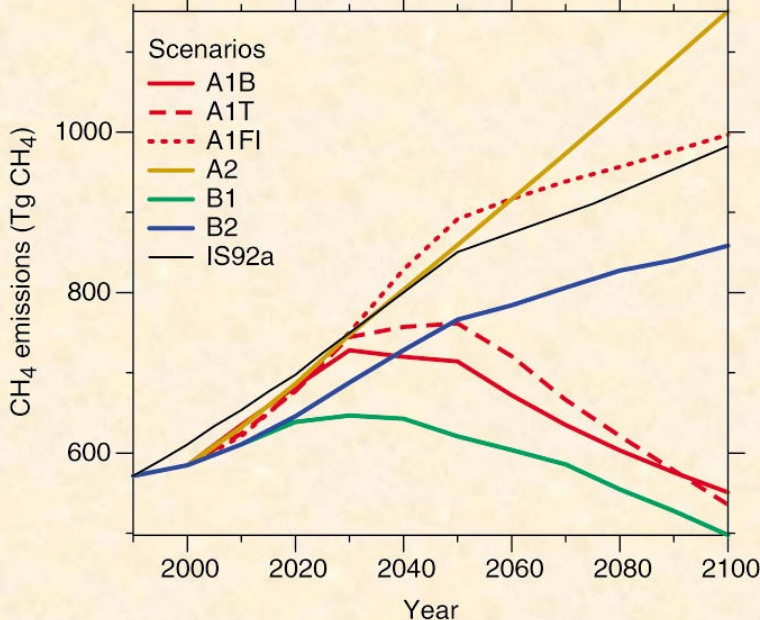
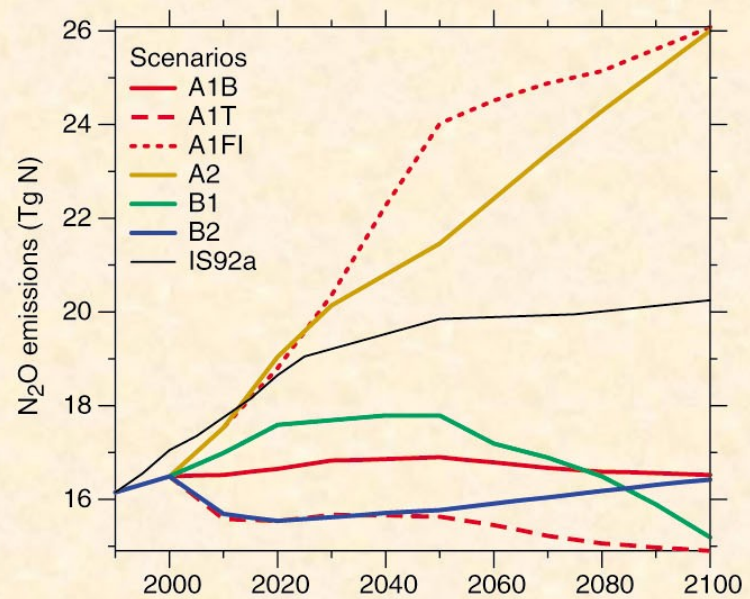
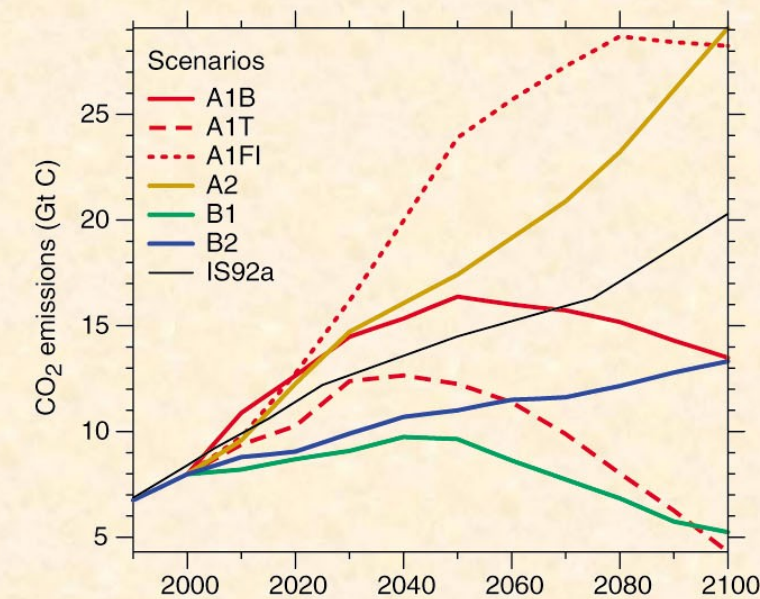




### 3.6.2 Budoucí scénáře a projekce klimatu

- Mezivládní panel pro klimatické změny (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) při Světové meteorologické organizaci (World Meteorological Organisation)
- počítačové simulace změn teploty vzduchu na Zemi v důsledku růstu koncentrací skleníkových plynů pro různé scénáře SRES – odhadovaný vzestup teploty od roku 1990 do roku 2100 v rozmezí 1,4-5,8 °C
- důsledky globálního oteplování: růst hladiny oceánů (tání ledovců, expanse vody – odhadovaný vzestup hladiny od roku 1990 do roku 2100 v rozmezí 10-80 cm), růst frekvence a intenzity extrémů (povodně, sucha, atd.)
- možné dopady globálního oteplování na různé oblasti lidské činnosti: klimatické scénáře a studium dopadů – tzv. impaktní studie





Anthropogenic emissions of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and sulphur dioxide for the six illustrative SRES scenarios, A1B, A2, B1 and B2, A1FI and A1T. For comparison the IS92a scenario is also shown. [Based on IPCC Special Report on Emissions Scenarios.]

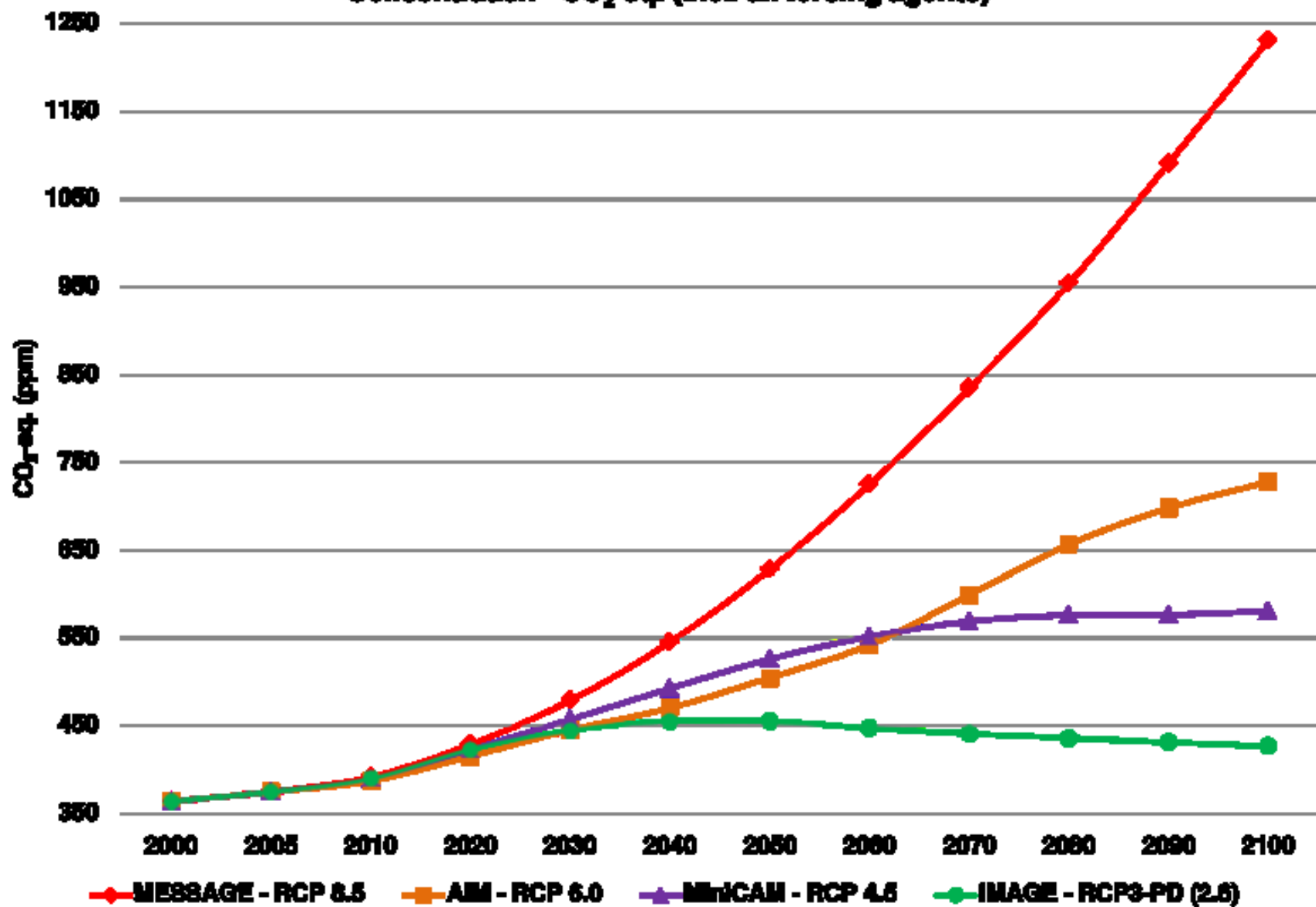


## RCP (Representative Concentration Pathway)

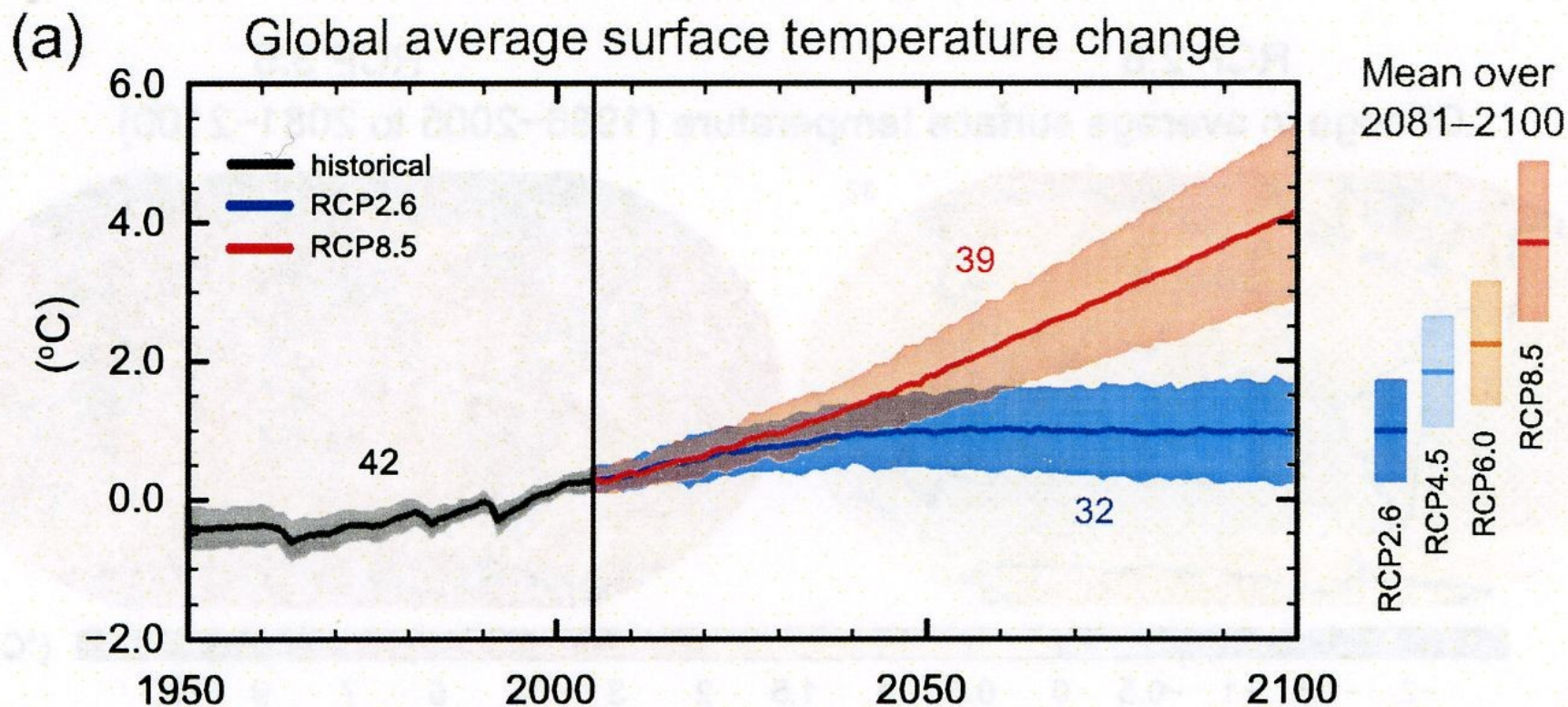
- představují čtyři trajektorie (cesty) dosažení určitých koncentrací skleníkových plynů (nejde o emisní scénáře) na konci 21. století v porovnání s předindustriálním obdobím, které byly připraveny pro potřeby modelování a výzkumu pro pátou hodnotící zprávu IPCC:
  - a) RCP2.6 – 2,6 W.m<sup>-2</sup> – výrazné snížení koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře (421 ppm k roku 2100)
  - b) RCP4.5 – 4,5 W.m<sup>-2</sup> – stabilizace koncentrace CO<sub>2</sub> na nižší úrovni (538 ppm)
  - c) RCP6.0 – 6,0 W.m<sup>-2</sup> – stabilizace koncentrace CO<sub>2</sub> na vyšší úrovni (670 ppm)
  - d) RCP8.5 – 8,5 W.m<sup>-2</sup> – bez omezení emisí (936 ppm)



Concentration - CO<sub>2</sub>-eq. (incl. all forcing agents)





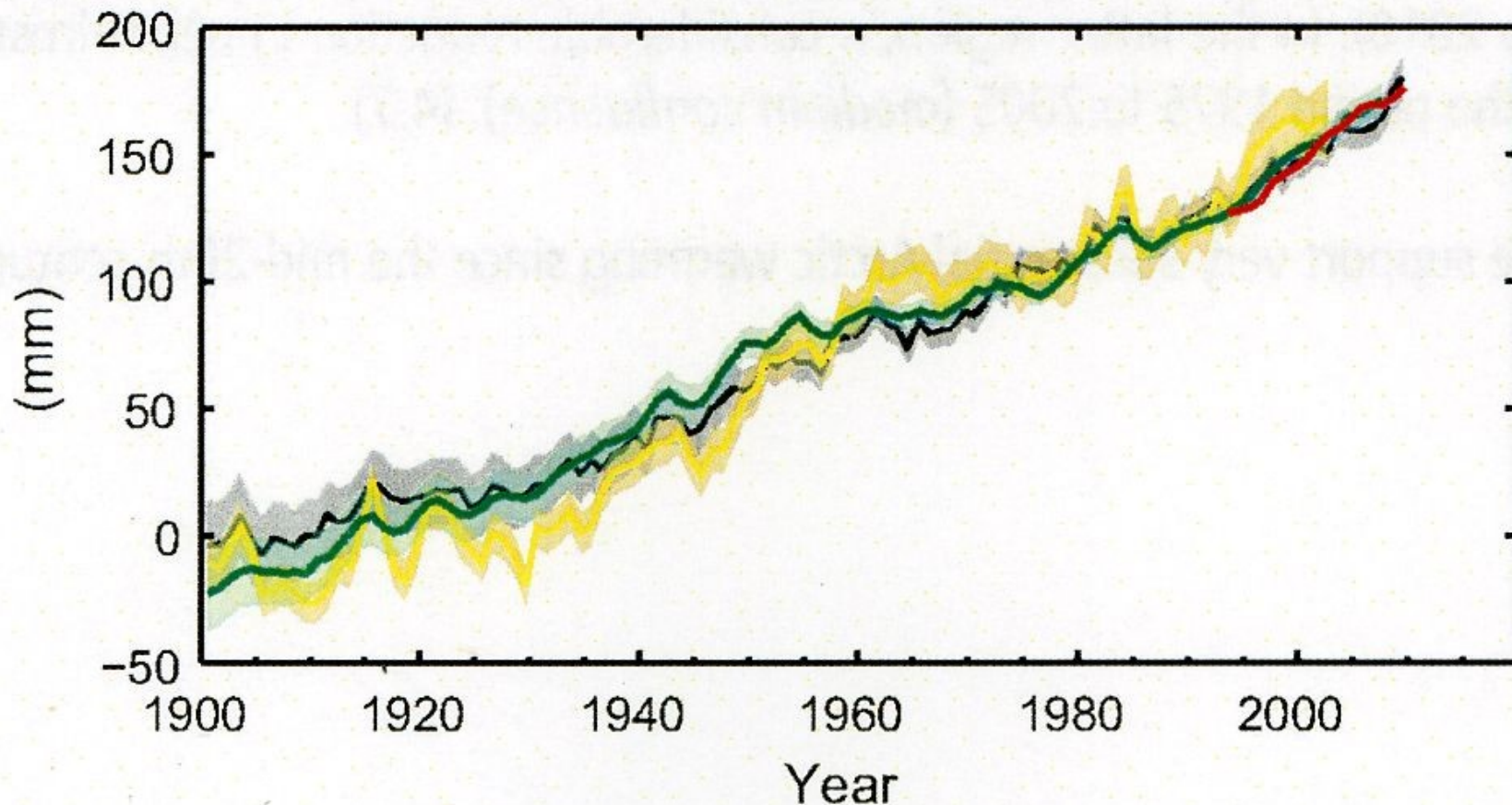


CMIP5 multi-modelové simulace řady průměrné globální roční teploty vzduchu pro období 1950-2100 s ohledem na referenční období 1986-2005 (uveden počet modelů použitých k výpočtu a meze nejistoty)



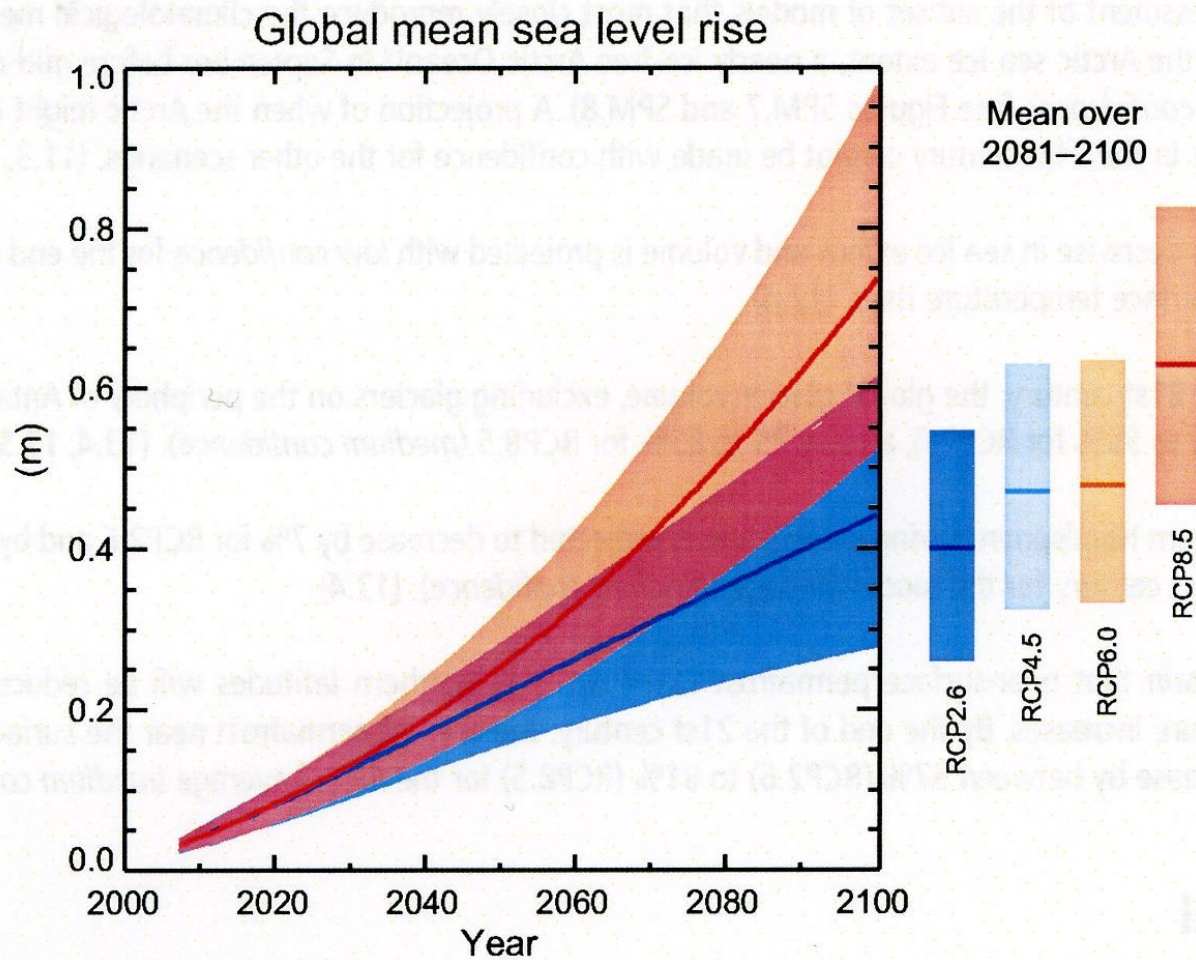
(d)

## Global average sea level change



Rychlost vzestupu hladiny světového oceánu od poloviny 19. století byla větší než v předchozích dvou tisíciletích – vysoká spolehlivost. V letech 1901-2010 činil vzestup 19 cm (17-21 cm).





**Figure SPM.9** | Projections of global mean sea level rise over the 21st century relative to 1986–2005 from the combination of the CMIP5 ensemble with process-based models, for RCP2.6 and RCP8.5. The assessed *likely* range is shown as a shaded band. The assessed *likely* ranges for the mean over the period 2081–2100 for all RCP scenarios are given as coloured vertical bars, with the corresponding median value given as a horizontal line. For further technical details see the Technical Summary Supplementary Material {Table 13.5, Figures 13.10 and 13.11; Figures TS.21 and TS.22}



## Literatura:

- Netopil, R. a kol. (1984): Fyzická geografie I. SPN, Praha. Kap. 2.3.4: s. 57-65.
- Strahler, A., Strahler, A. (2006): Introducing Physical Geography. Wiley, New York. Kap. 3: Air Temperature, s. 86-117.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M. M. B., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M. (eds.) (2013): Climate Change 2013: The physical science basis. Working group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1535 s. [české shrnutí na webových stránkách MŽP ČR]