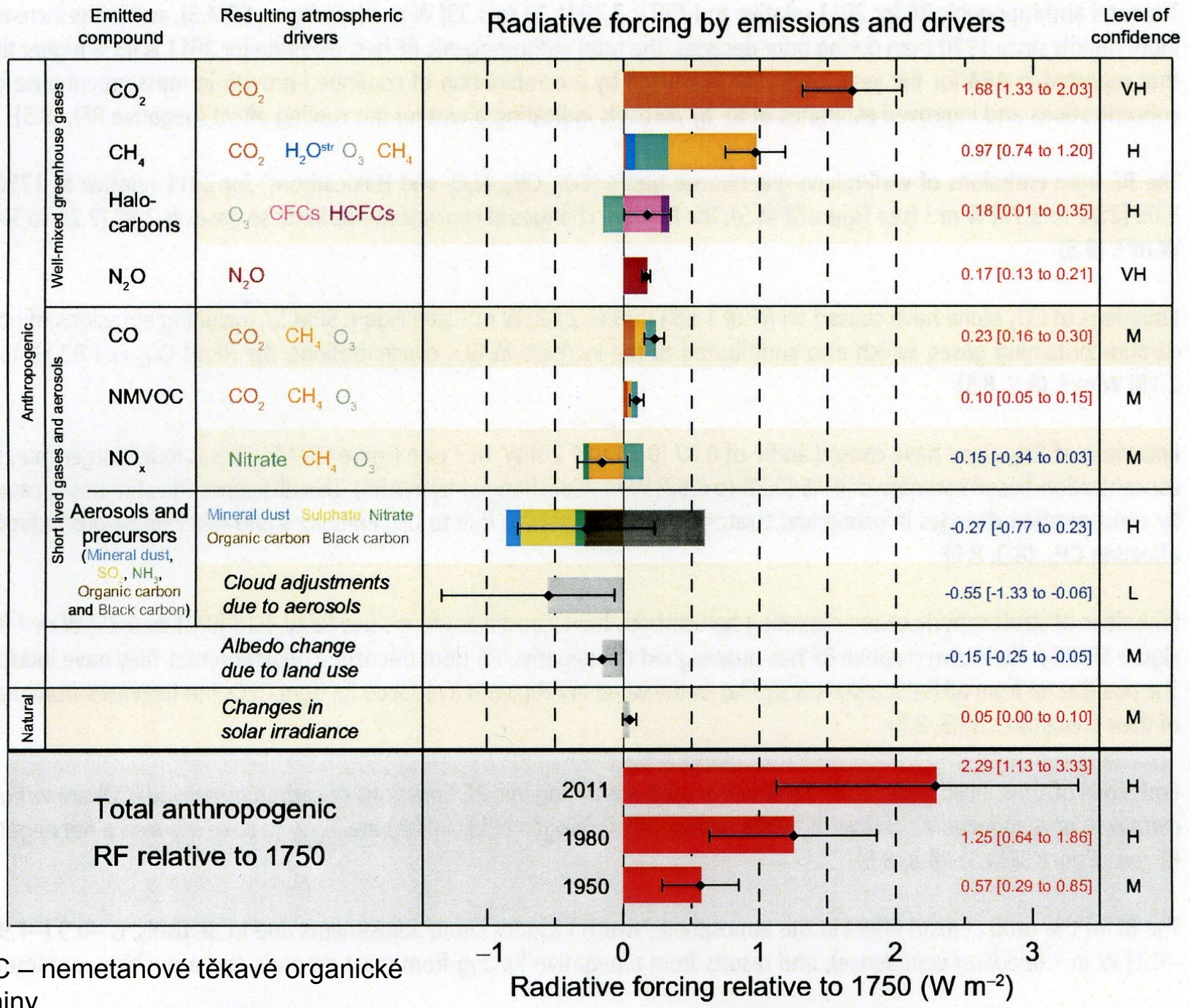


10. Projekce budoucího klimatu na Zemi a dopady klimatické změny

10.1 Radiační působení jednotlivých klimatotvorných faktorů

- podíl jednotlivých klimatotvorných faktorů je vyjádřen jejich příspěvkem ve $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ k radiační bilanci (kladné hodnoty – oteplování, záporné hodnoty – ochlazování)
- od roku 1750 do 2011 činí celkový antropogenní radiační efekt $+2,29 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($+1,13$ až $3,33 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)
- rostoucí vliv antropogenního radiačního efektu: 1950: $+0,57 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($0,29$ až $0,85 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), 1980: $+1,25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($0,64$ až $1,86 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)
- souhlasně (oteplování) působí i solární faktor, ale jen $0,05 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($0,00$ až $0,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)
- ochlazující účinek atmosférických aerosolů



-1 0 1 2 3
Radiative forcing relative to 1750 (W m⁻²)

NMVOC – nemetanové těkavé organické sloučeniny

10.2 Emisní scénáře

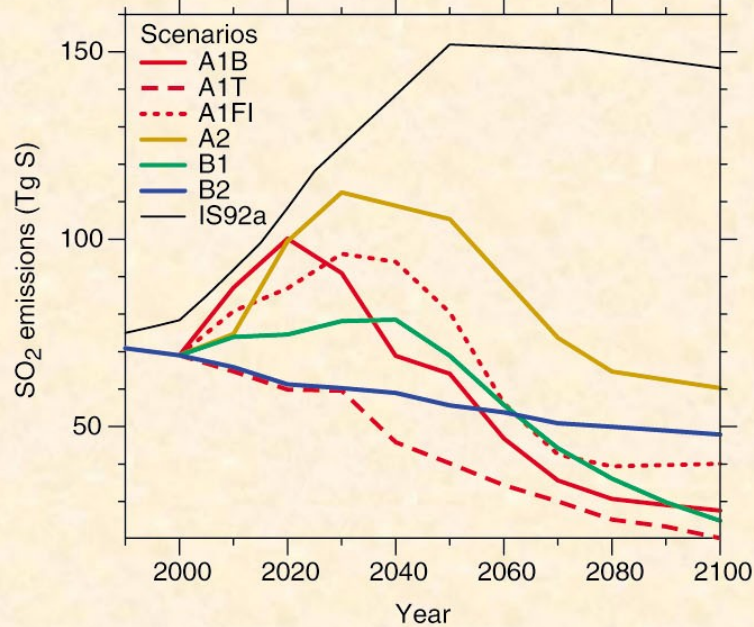
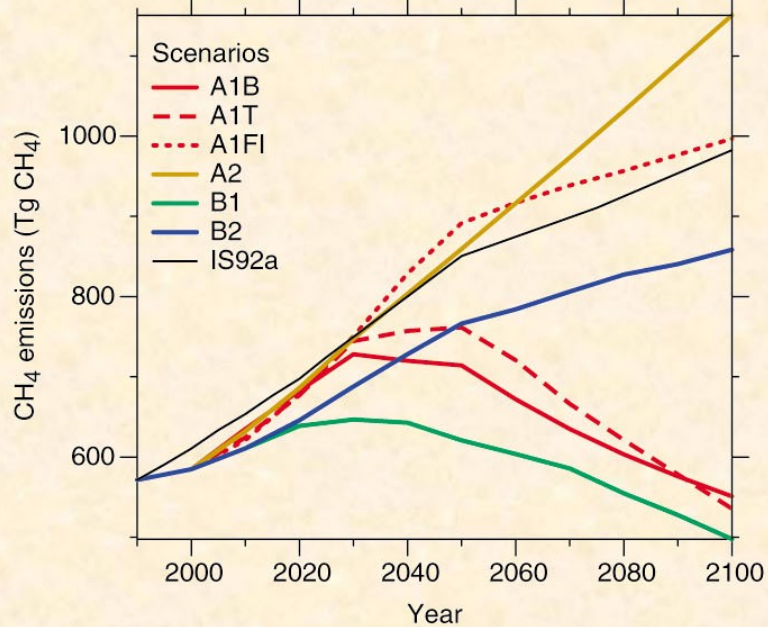
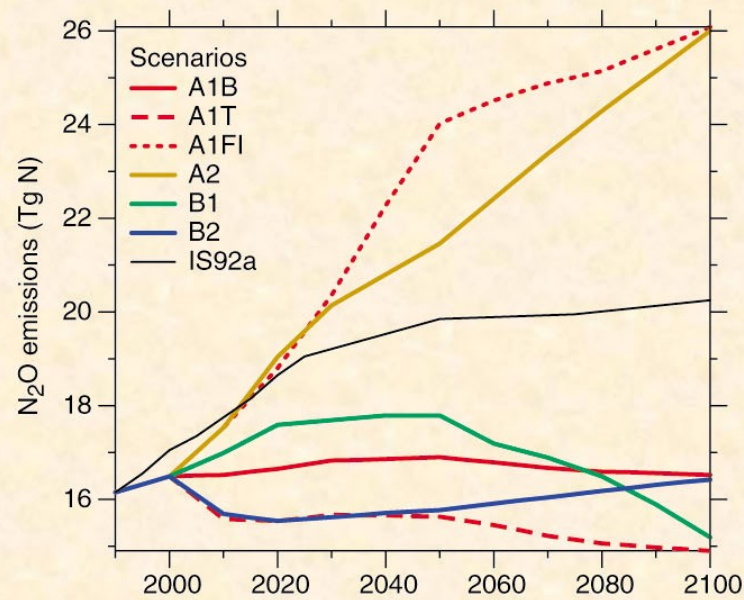
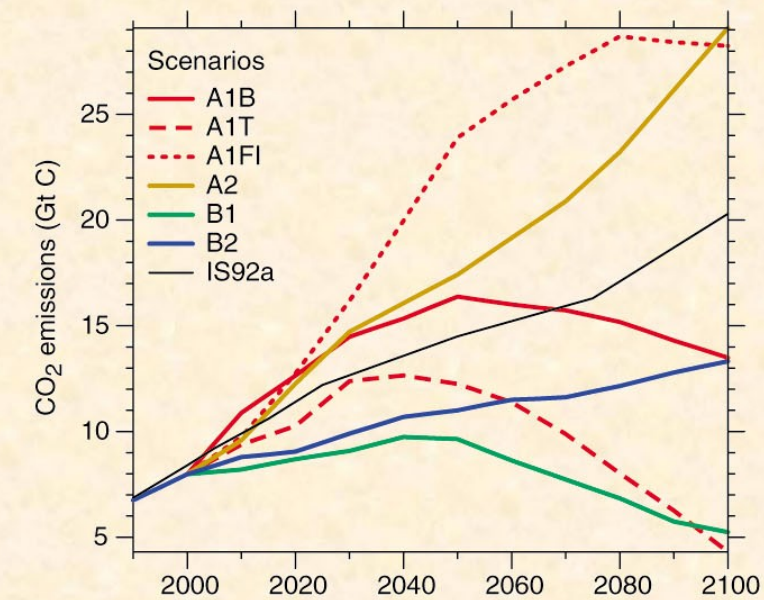
- **emisní scénáře** – popisují kvantitativně budoucí vývoj koncentrací GHG na základě naplnění určitých předpokladů
- prostřednictvím Mezivládního panelu pro klimatické změny (Intergovernmental Panel on Climate Change) byly sestaveny scénáře IPCC 1990, IPCC 1992 a SRES (The IPCC Special Report on Emission Scenarios)
- SRES – 40 scénářů (z toho 35 obsahuje úplná data o GHG), zahrnujících hlavní demografické, ekologické a technologické vlivy na budoucí emise GHG a síry, ale žádné dodatečné klimatologické iniciativy (např. typu Kjótského protokolu)

- 4 základní skupiny SRES:

a) **A1**: velmi rychlý ekonomický růst – maximum populace v polovině 21. století – rychlé zavádění nových a citlivých technologií – konvergence mezi oblastmi – zvýšené sociální a kulturní interakce – významné snížení regionálních rozdílů v hrubém příjmu na osobu – tři skupiny technologických změn v energetice: intenzivní využívání fosilních zdrojů (**A1FI**), využívání nefosilních zdrojů energie (**A1T**), rovnováha ve využívání různých zdrojů energie (**A1B**)

b) **A2**: velmi heterogenní svět – spoléhání na sebe a uchování lokální identity – pomalá konvergence mezi regiony a stále rostoucí populace – ekonomický vývoj primárně regionálně orientovaný – ekonomický růst v přepočtu na hlavu a technologické změny pomalejší a fragmentární

- c) **B1**: sbíhavý svět – maximum populace v polovině 21. století, pak pokles – rapidní změny v ekonomických strukturách s ohledem na služby a informatiku – snížení materiální spotřeby a zavedení čistých, ke zdrojům citlivých technologií – globální řešení ekonomické, sociální a environmentální udržitelnosti, zahrnující právní opatření – bez dodatečných klimatických iniciativ
- d) **B2**: lokální řešení ekonomické, sociální a environmentální udržitelnosti – svět se stále rostoucí populací, ale méně než v A2 – přechodné úrovně ekonomického vývoje – pomalejší a diverzifikovanější technologické změny než v B1 a v A1 – environmentální ochrana a sociální právo jen na lokální a regionální úrovni

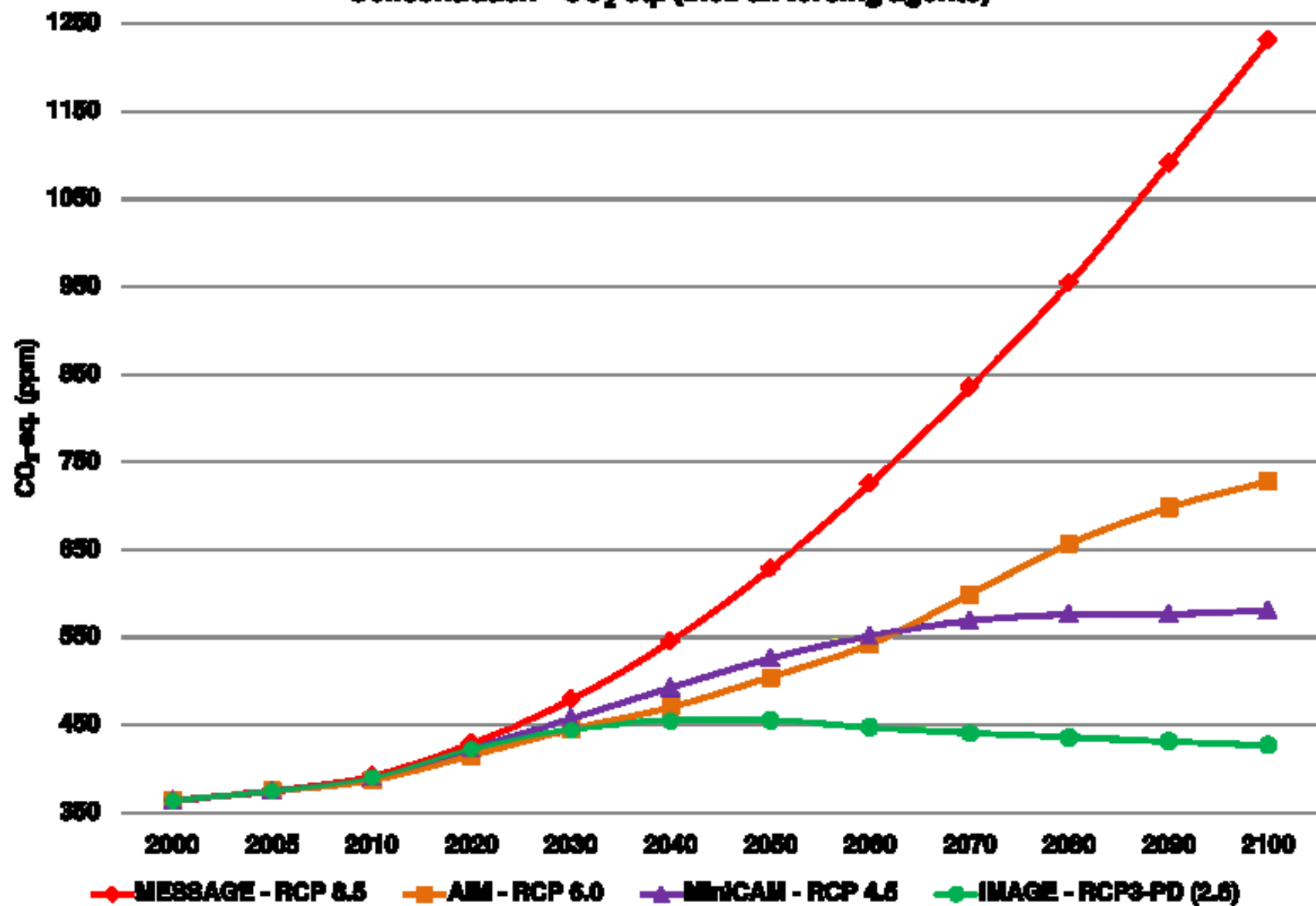


Anthropogenic emissions of CO₂, CH₄, N₂O and sulphur dioxide for the six illustrative SRES scenarios, A1B, A2, B1 and B2, A1FI and A1T. For comparison the IS92a scenario is also shown. [Based on IPCC Special Report on Emissions Scenarios.]

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⁻² – výrazné snížení koncentrace CO₂ v atmosféře (421 ppm k roku 2100)
 - b) RCP4.5 – 4,5 W.m⁻² – stabilizace koncentrace CO₂ na nižší úrovni (538 ppm)
 - c) RCP6.0 – 6,0 W.m⁻² – stabilizace koncentrace CO₂ na vyšší úrovni (670 ppm)
 - d) RCP8.5 – 8,5 W.m⁻² – bez omezení emisí (936 ppm)

Concentration - CO₂-eq. (Incl. all forcing agents)



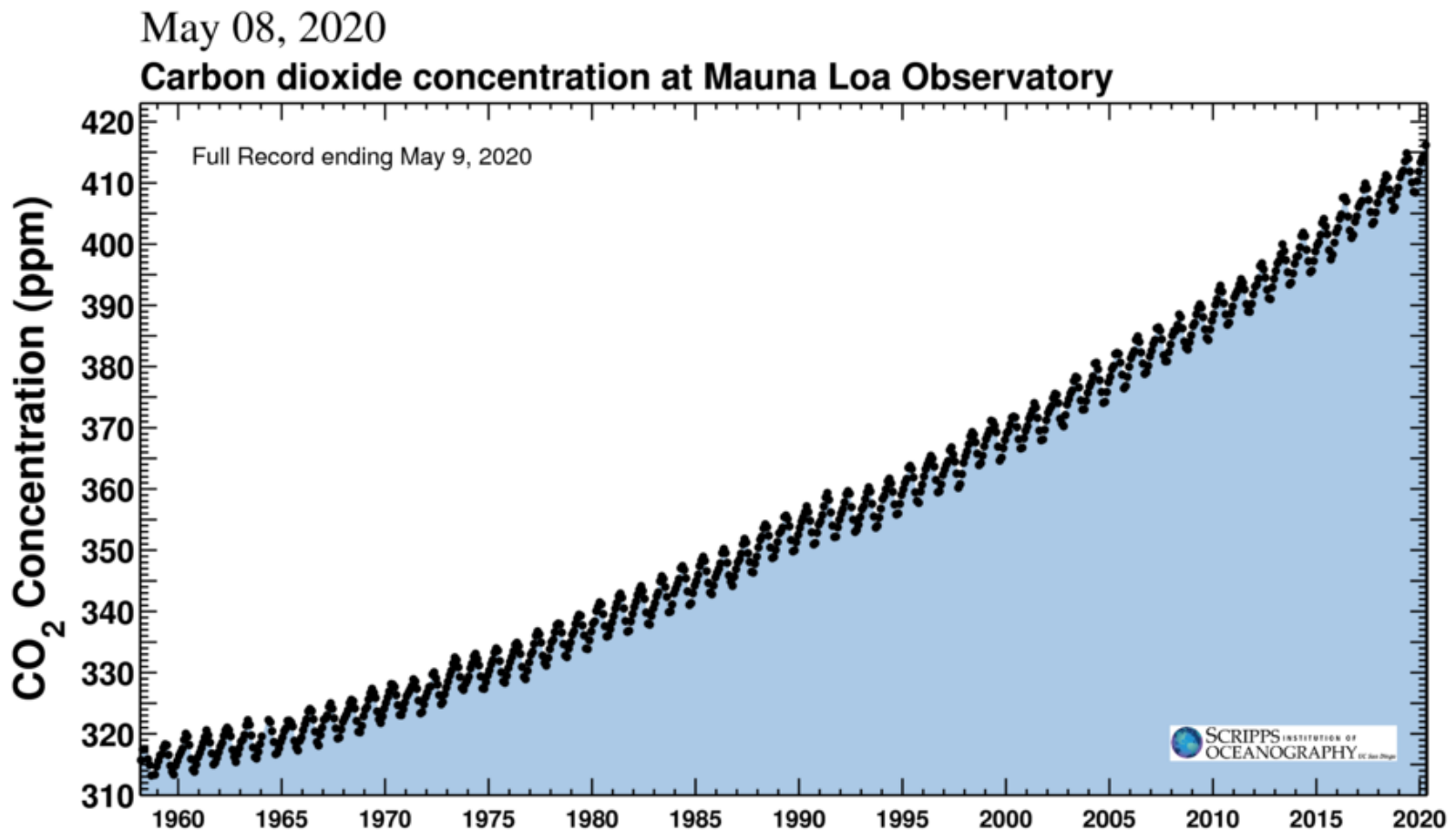
The name “**representative concentration pathways**” was chosen to emphasize the rationale behind their use. RCPs are referred to as pathways in order to emphasize that their primary purpose is to provide time-dependent projections of atmospheric greenhouse gas (GHG) concentrations. In addition, the term pathway is meant to emphasize that it is not only a specific long-term concentration or radiative forcing outcome, such as a stabilization level, that is of interest, but also the trajectory that is taken over time to reach that outcome. They are representative in that they are one of several different scenarios that have similar radiative forcing and emissions characteristics.

Source: IPCC Expert Meeting Report, Towards New Scenarios For Analysis Of Emissions, Climate Change, Impacts, And Response Strategies, IPCC 2007

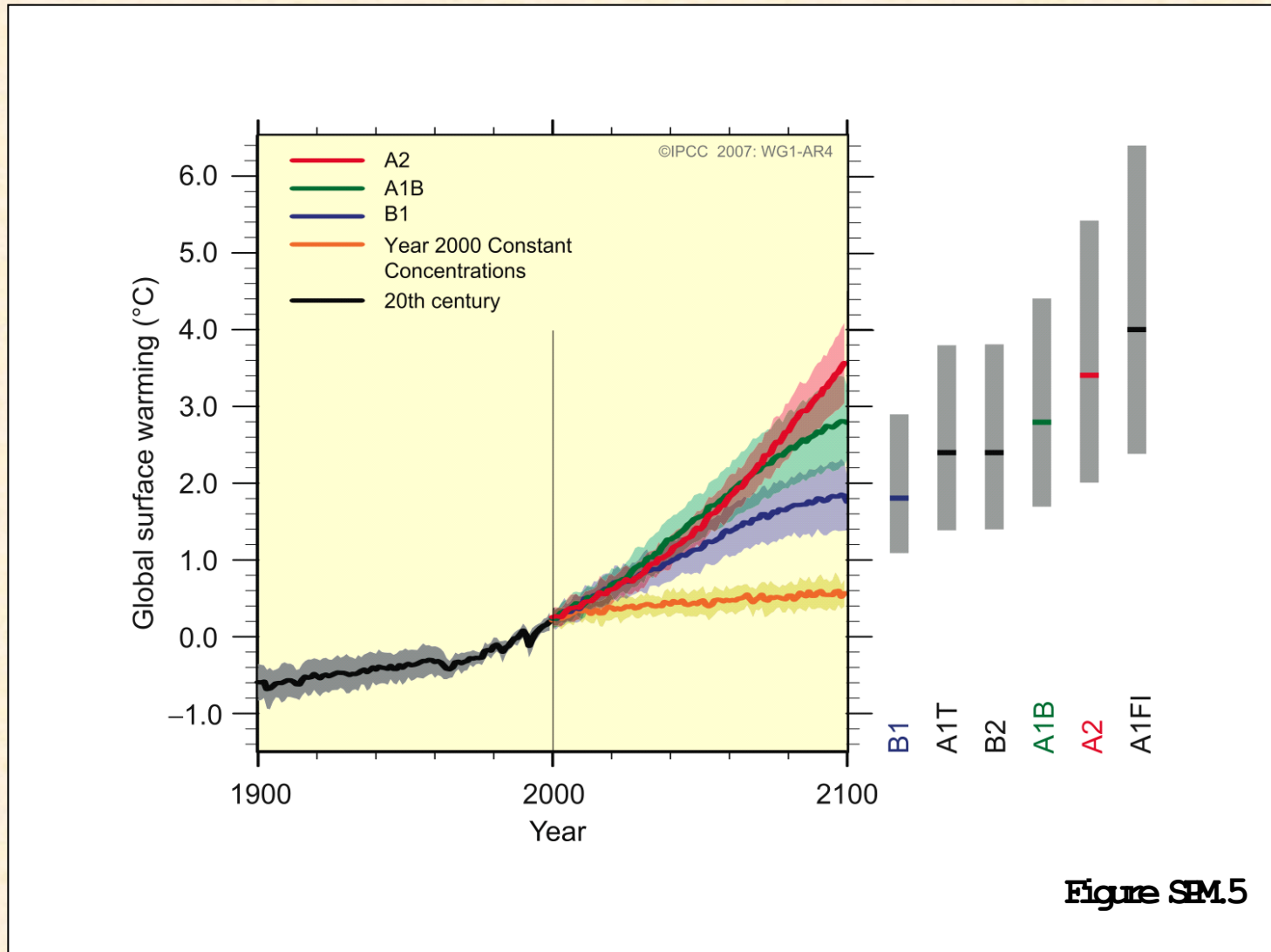
van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., Rose, S. K. (2011): The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109, 5–31.

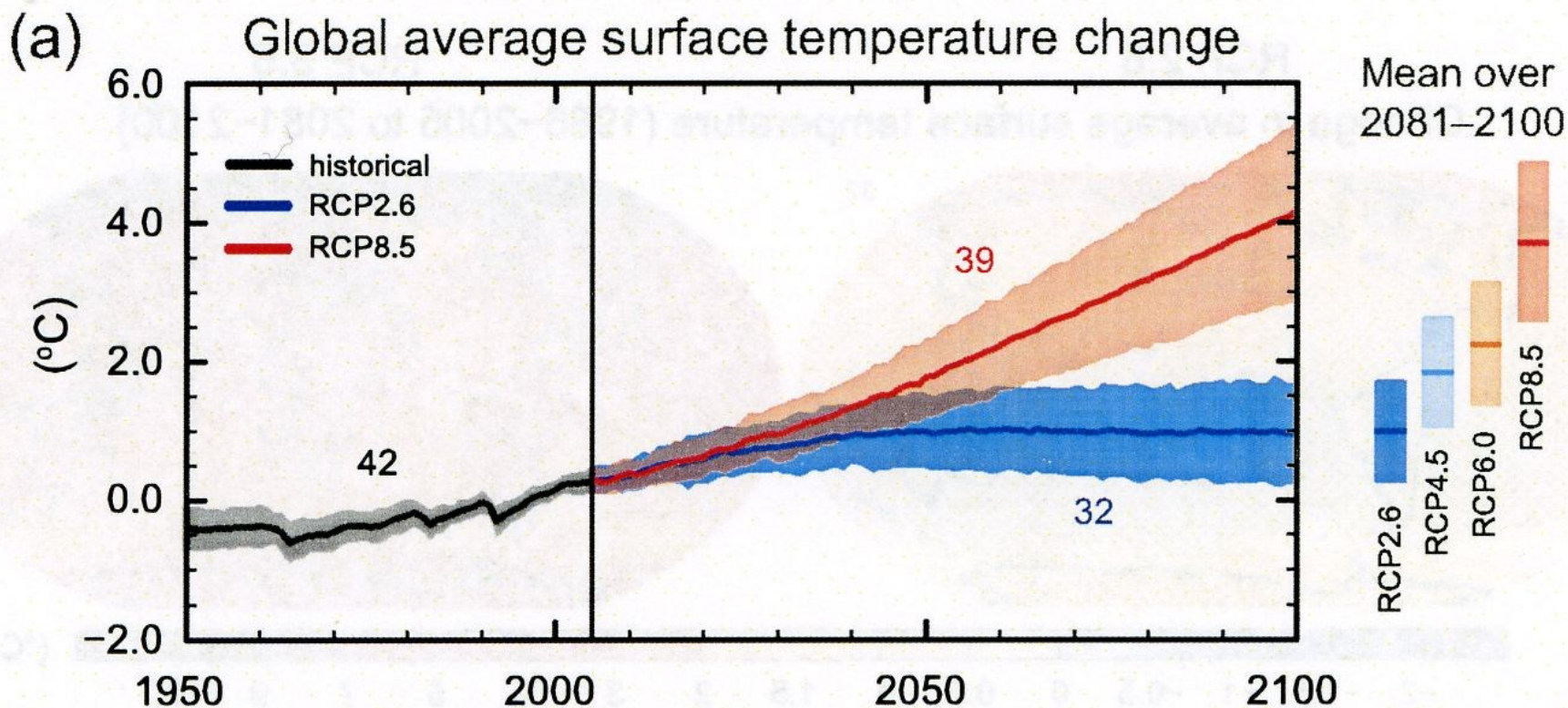
<https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/2018/05/02/carbon-dioxide-in-the-atmosphere-hits-record-high-monthly-average/>

Stávající koncentrace 8. května 2020 je **417,04 ppm**



10.3 Projekce budoucích změn teploty vzduchu





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)

Global averages

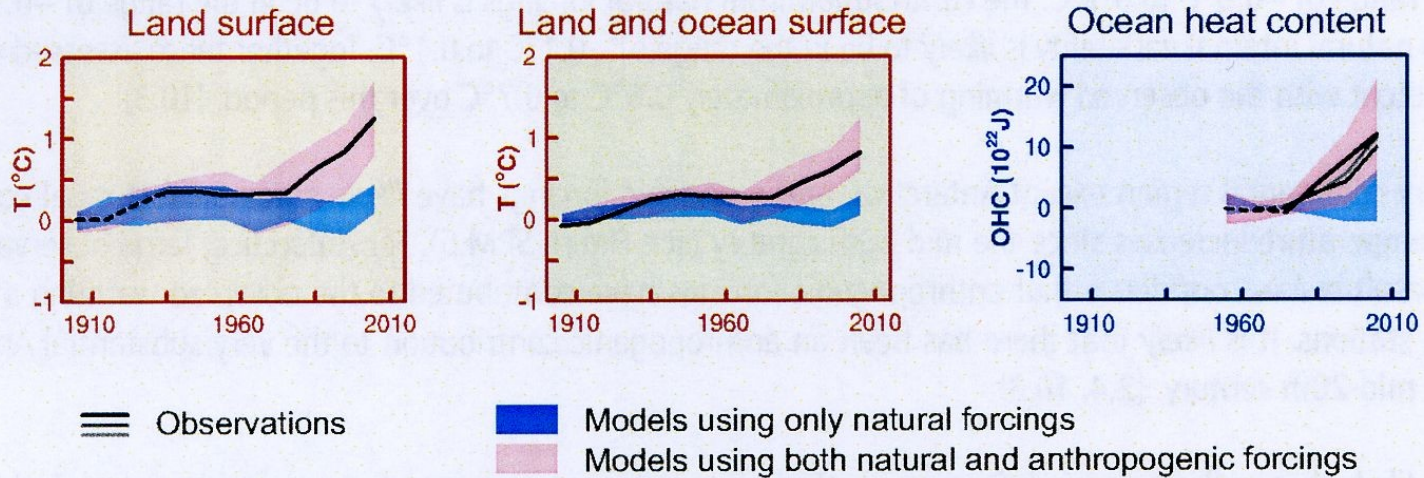
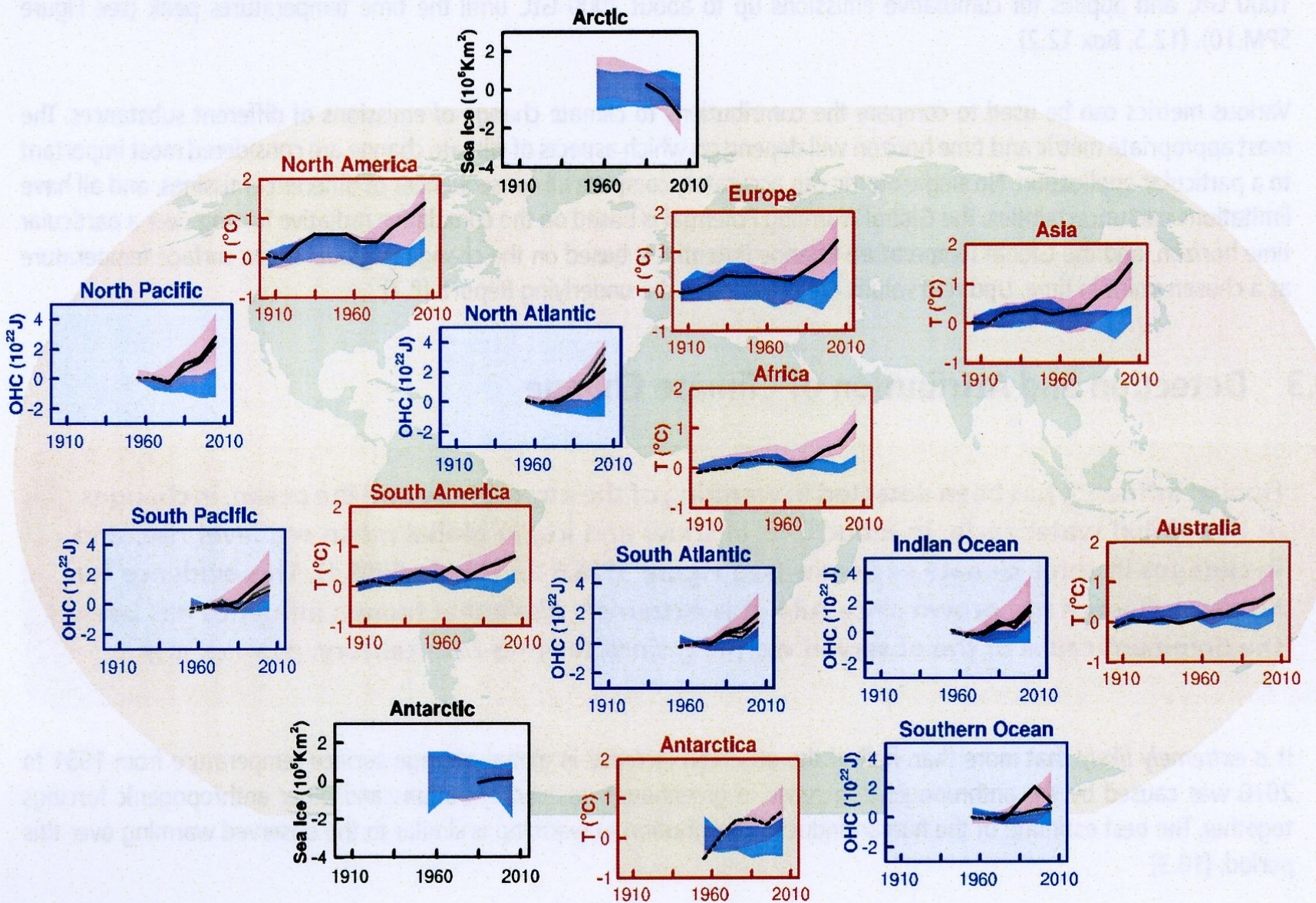
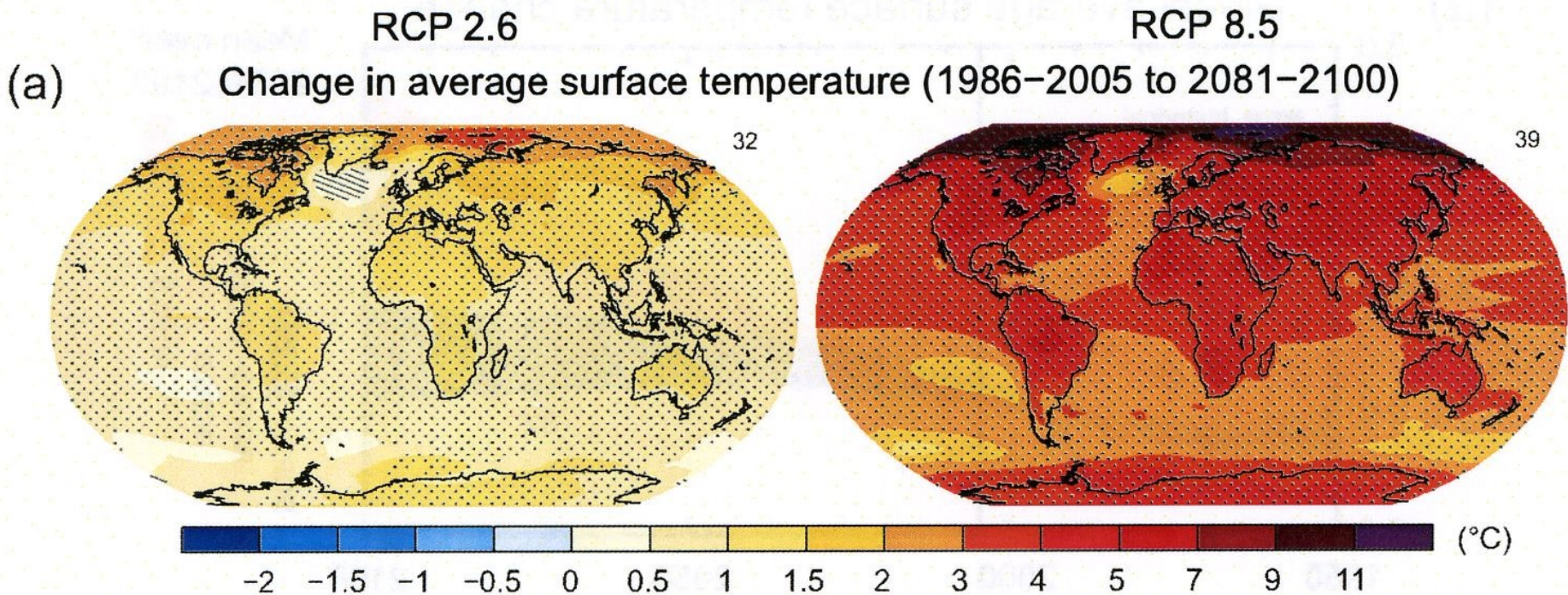


Figure SPM.6 | Comparison of observed and simulated climate change based on three large-scale indicators in the atmosphere, the cryosphere and the ocean: change in continental land surface air temperatures (yellow panels), Arctic and Antarctic September sea ice extent (white panels), and upper ocean 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}





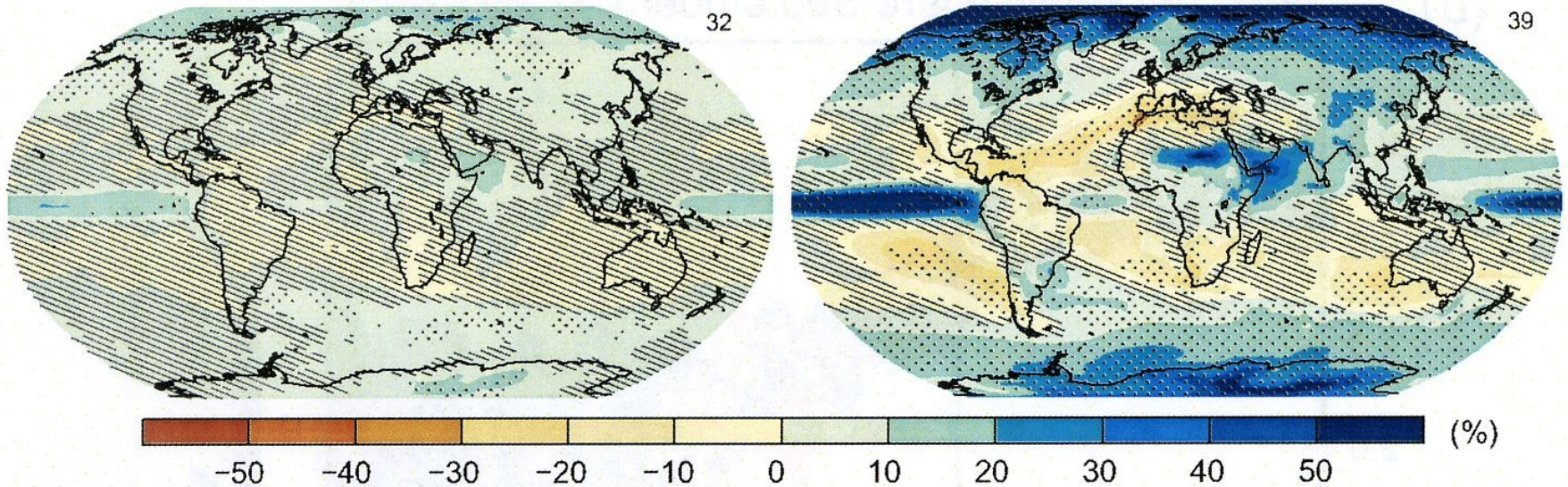
Šrafura – průměr modelů je malý vzhledem k přirozené vnitřní variabilitě, tj. méně než jednonásobek přirozené vnitřní variability ve 20-letém průměru. Tečkovaně - průměr modelů je velký vzhledem k přirozené vnitřní variabilitě (tj. větší než dvojnásobek přirozené vnitřní variability ve 20-letém průměru) a kde se nejméně 90% modelů shoduje ve znaménku změny.

RCP2.6

RCP8.5

(b)

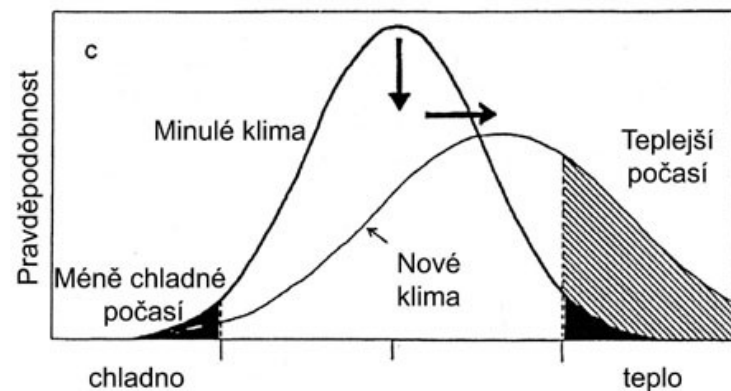
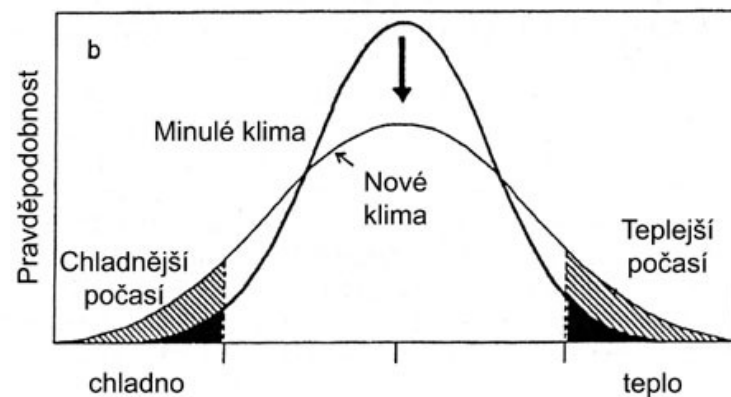
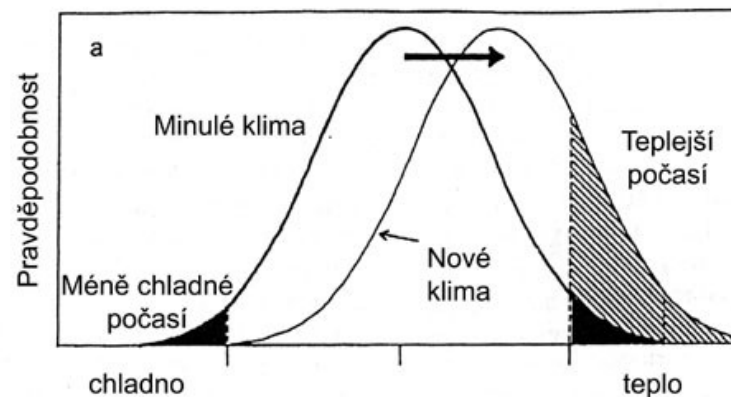
Change in average precipitation (1986–2005 to 2081–2100)



Šrafura – průměr modelů je malý vzhledem k přirozené vnitřní variabilitě, tj. méně než jednonásobek přirozené vnitřní variability ve 20-letém průměru. Tečkovaně - průměr modelů je velký vzhledem k přirozené vnitřní variabilitě (tj. větší než dvojnásobek přirozené vnitřní variability ve 20-letém průměru) a kde se nejméně 90% modelů shoduje ve znaménku změny.

10.4 Projekce dalších změn v návaznosti na globální oteplování

Možný efekt změn v průměru a rozptylu na variabilitu teplotních extrémů: a) zvýšení průměru, b) zvýšení rozptylu, c) zvýšení průměru a rozptylu (upraveno podle Houghtona et al., eds., 2001)



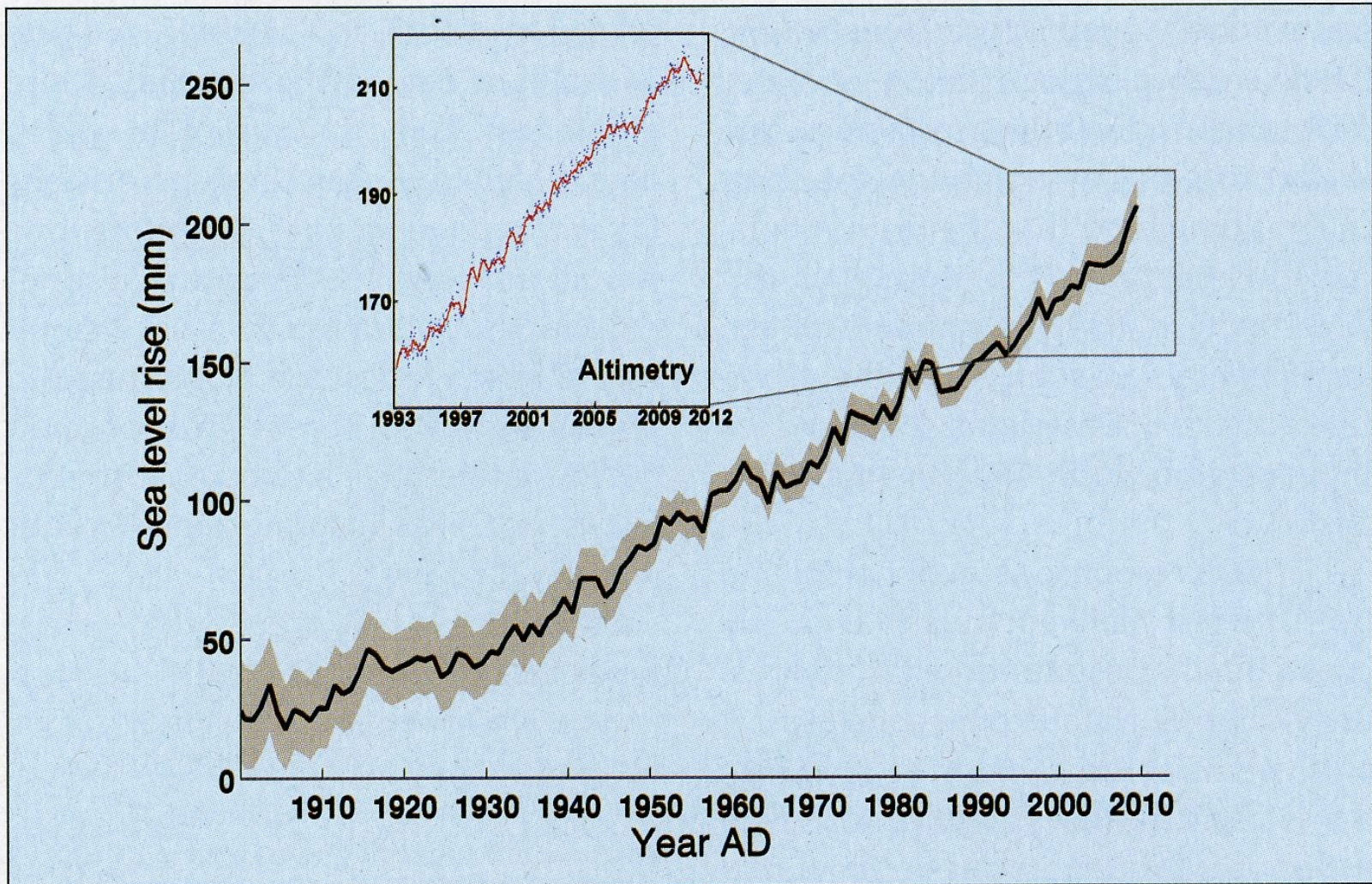


Figure 1: Twentieth century sea level curve (in black and associated uncertainty in light gray) based on tide gauge data and additional information (data from Church and White 2011). Box: altimetry-based sea level curve between 1993 and 2011 (data from AVISO; www.aviso.oceanobs.com/en/data/products/sea-surface-height-products/global/msla/index.html). Blue points represent data at 10-day intervals, the red curve their 4-month smoothing (from Meyssignac and Cazenave, unpublished data).

(Cazenave, 2012)

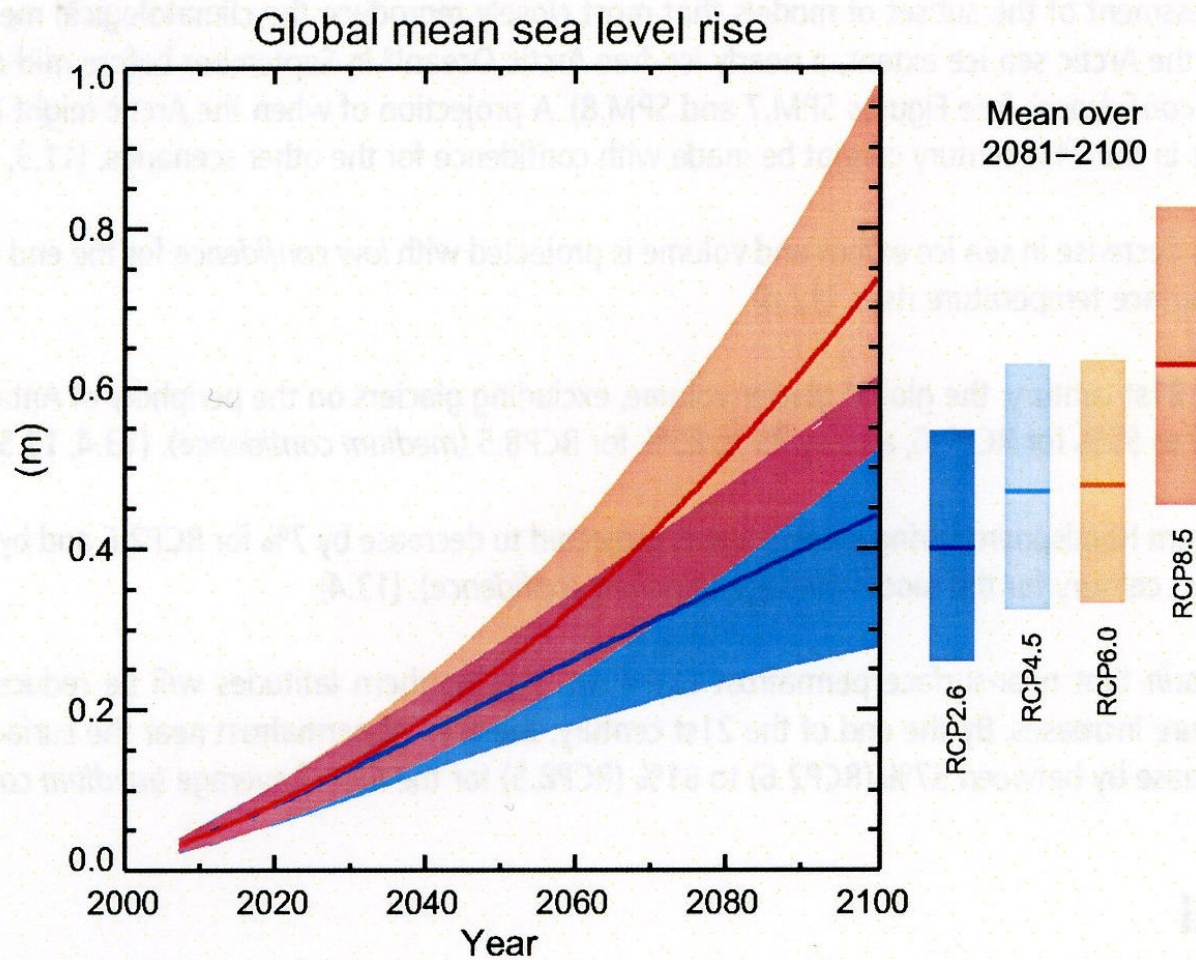


Figure SPM.9 | Projections of global mean sea level rise over the 21st century relative to 1986–2005 from the combination of the CMIP5 ensemble with process-based models, for RCP2.6 and RCP8.5. The assessed *likely* range is shown as a shaded band. The assessed *likely* ranges for the mean over the period 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]

Table SPM.2 | Projected change in global mean surface air temperature and global mean sea level rise for the mid- and late 21st century relative to the reference period of 1986–2005. {12.4; Table 12.2, Table 13.5}

		2046–2065		2081–2100	
	Scenario	Mean	Likely range ^c	Mean	Likely range ^c
Global Mean Surface Temperature Change (°C) ^a	RCP2.6	1.0	0.4 to 1.6	1.0	0.3 to 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 to 2.0	1.8	1.1 to 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 to 1.8	2.2	1.4 to 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 to 2.6	3.7	2.6 to 4.8
	Scenario	Mean	Likely range ^d	Mean	Likely range ^d
Global Mean Sea Level Rise (m) ^b	RCP2.6	0.24	0.17 to 0.32	0.40	0.26 to 0.55
	RCP4.5	0.26	0.19 to 0.33	0.47	0.32 to 0.63
	RCP6.0	0.25	0.18 to 0.32	0.48	0.33 to 0.63
	RCP8.5	0.30	0.22 to 0.38	0.63	0.45 to 0.82

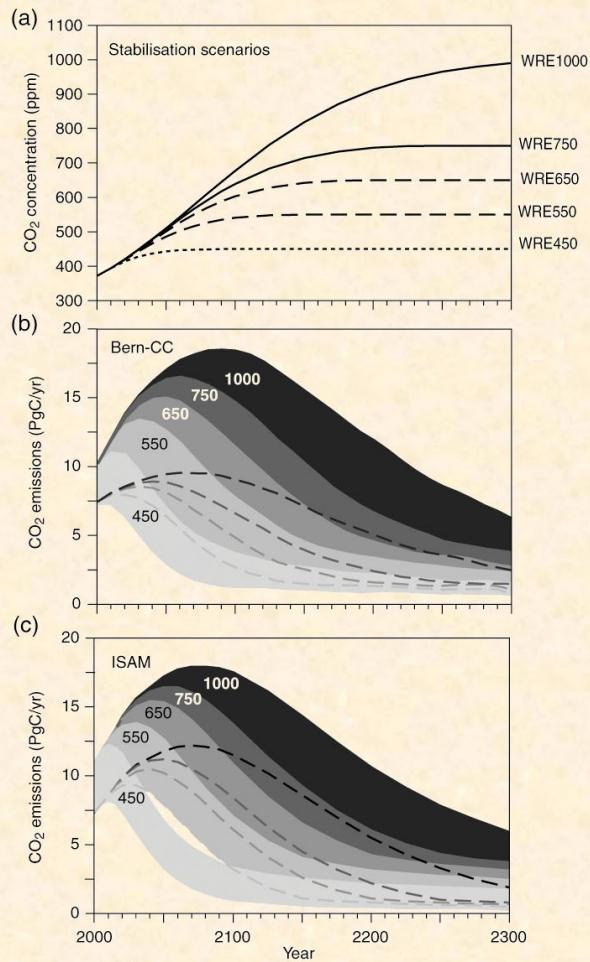
^a Based on the CMIP5 ensemble; anomalies calculated with respect to 1986–2005. Using HadCRUT4 and its uncertainty estimate (5–95% confidence interval), the observed warming to the reference period 1986–2005 is 0.61 [0.55 to 0.67] °C from 1850–1900, and 0.11 [0.09 to 0.13] °C from 1980–1999, the reference period for projections used in AR4. *Likely* ranges have not been assessed here with respect to earlier reference periods because methods are not generally available in the literature for combining the uncertainties in models and observations. Adding projected and observed changes does not account for potential effects of model biases compared to observations, and for natural internal variability during the observational reference period {2.4; 11.2; Tables 12.2 and 12.3}

^b Based on 21 CMIP5 models; anomalies calculated with respect to 1986–2005. Where CMIP5 results were not available for a particular AOGCM and scenario, they were estimated as explained in Chapter 13, Table 13.5. The contributions from ice sheet rapid dynamical change and anthropogenic land water storage are treated as having uniform probability distributions, and as largely independent of scenario. This treatment does not imply that the contributions concerned will not depend on the scenario followed, only that the current state of knowledge does not permit a quantitative assessment of the dependence. Based on current understanding, only the collapse of marine-based sectors of the Antarctic ice sheet, if initiated, could cause global mean sea level to rise substantially above the *likely* range during the 21st century. There is *medium confidence* that this additional contribution would not exceed several tenths of a meter of sea level rise during the 21st century.

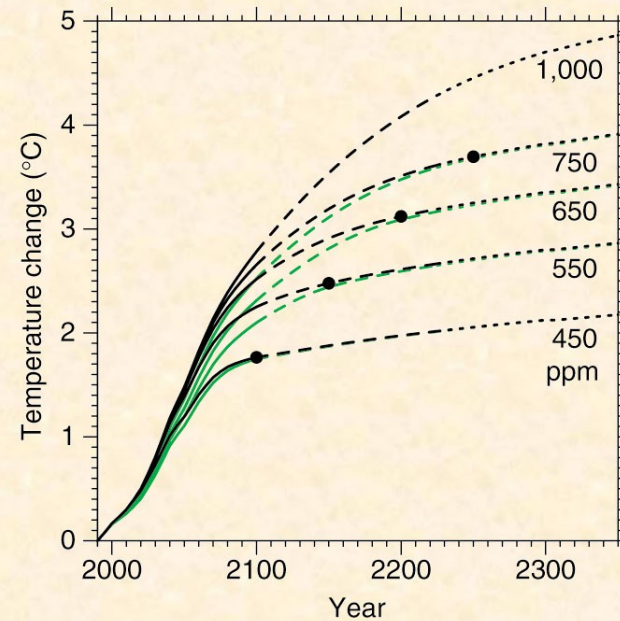
^c Calculated from projections as 5–95% model ranges. These ranges are then assessed to be *likely* ranges after accounting for additional uncertainties or different levels of confidence in models. For projections of global mean surface temperature change in 2046–2065 *confidence* is *medium*, because the relative importance of natural internal variability, and uncertainty in non-greenhouse gas forcing and response, are larger than for 2081–2100. The *likely* ranges for 2046–2065 do not take into account the possible influence of factors that lead to the assessed range for near-term (2016–2035) global mean surface temperature change that is lower than the 5–95% model range, because the influence of these factors on longer term projections has not been quantified due to insufficient scientific understanding. {11.3}

^d Calculated from projections as 5–95% model ranges. These ranges are then assessed to be *likely* ranges after accounting for additional uncertainties or different levels of confidence in models. For projections of global mean sea level rise *confidence* is *medium* for both time horizons.

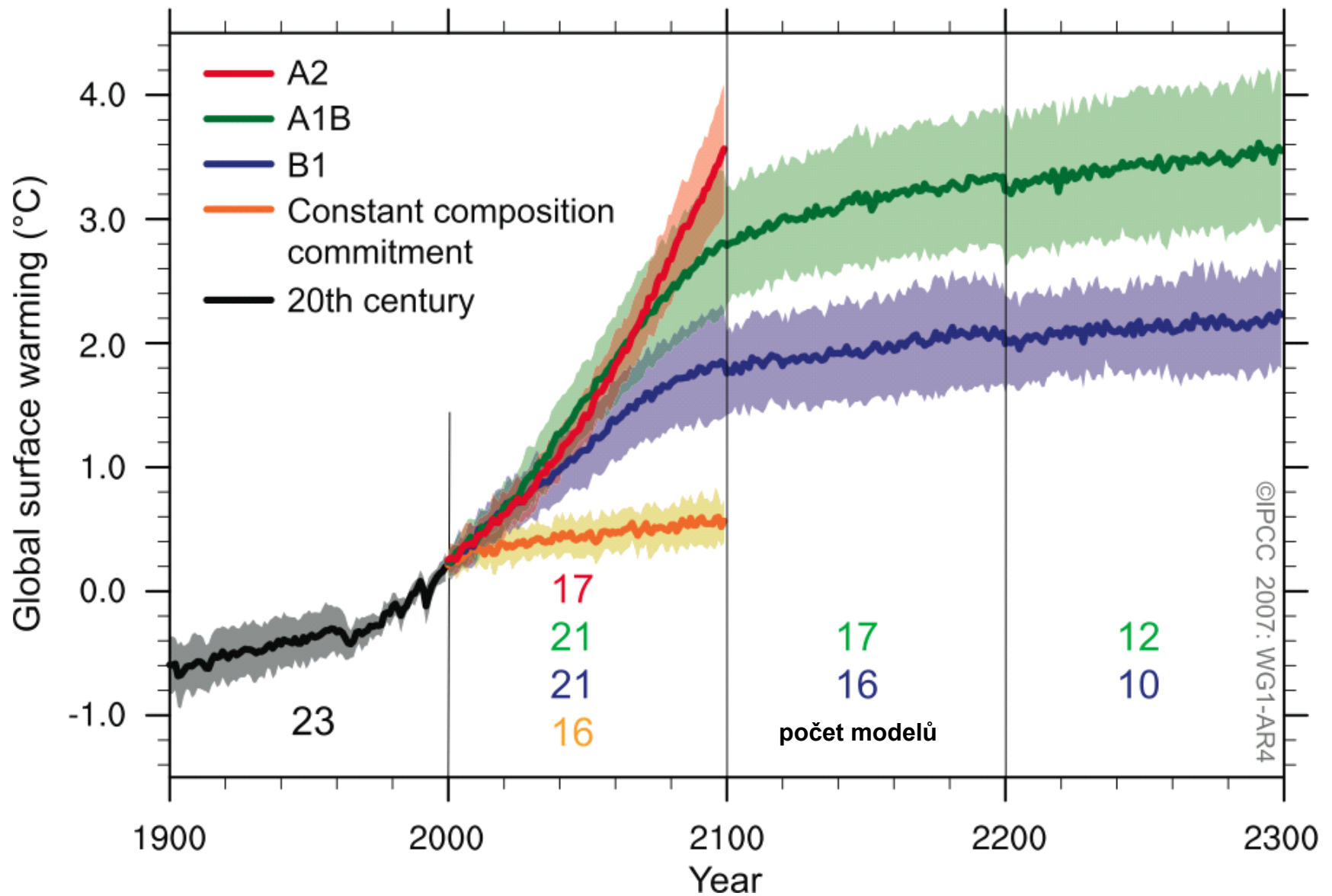
- antropogenně podmíněná klimatická změna bude pokračovat po několik příštích století



Projected CO₂ emissions permitting stabilisation of atmospheric CO₂ concentrations at different final values. Panel (a) shows the assumed trajectories of CO₂ concentration (WRE scenarios) and panels (b) and (c) show the implied CO₂ emissions, as projected with two fast carbon cycle models, Bern-CC and ISAM. The model ranges for ISAM were obtained by tuning the model to approximate the range of responses to CO₂ and climate from model intercomparisons. This approach yields a lower bound on uncertainties in the carbon cycle response. The model ranges for Bern-CC were obtained by combining different bounding assumptions about the behaviour of the CO₂ fertilization effect, the response of heterotrophic respiration to temperature and the turnover time of the ocean, thus approaching an upper bound on uncertainties in the carbon cycle response. For each model, the upper and lower bounds are indicated by the top and bottom of the shaded area. Alternatively, the lower bound (where hidden) is indicated by a hatched line. [Based on Figure 3.13]



Simple model results: Projected global mean temperature changes when the concentration of CO₂ is stabilised following the WRE profiles (see Chapter 9 Section 9.3.3). For comparison, results based on the S profiles in the SAR are also shown in green (S1000 not available). The results are the average produced by a simple climate model tuned to seven AOGCMs. The baseline scenario is scenario A1B, this is specified only to 2100. After 2100, the emissions of gases other than CO₂ are assumed to remain constant at their A1B 2100 values. The projections are labelled according to the level of CO₂ stabilisation. The broken lines after 2100 indicate increased uncertainty in the simple climate model results beyond 2100. The black dots indicate the time of CO₂ stabilisation. The stabilisation year for the WRE1000 profile is 2375.



„Forcing“ konstantní po roce 2100 pro A1B a B1 (baseline 1980-1999). **Figure TS.32**

10.5 Strategie zmírnění, popř. odvrácení klimatické změny

- lidská společnost se přizpůsobila stávajícím klimatickým podmínkám na Zemi → převažující negativní důsledky potenciální klimatické změny
- odvrácení změny:
 - a) snížení emisí GHG (mezinárodní iniciativy – např. Kjótský nebo Pařížský protokol)
 - b) zvýšení kapacity propadů GHG (např. rozšíření plochy lesních porostů)
- zmírnění následků změny:
 - a) studium dopadů klimatické změny (impaktní studie)
 - b) předběžná opatření (strukturální změny aj.)

Doplněk: prezentace Ing. Zámyslického pro fyzicko-geografický seminář

10.6 Dopady klimatické změny

K tomuto tématu:

- vaše prezentace z novějších materiálů, připravené pro cvičení (viz IS - Odevzdávárna, cvičení 1)
- prezentace dr. Zahradníčka pro fyzicko-geografický seminář
- prezentace doc. Čermáka pro fyzicko-geografický seminář
- prezentace dr. Punčocháře pro fyzicko-geografický seminář