

Chemie životního prostředí II – Znečištění složek prostředí

Atmosféra

(06)

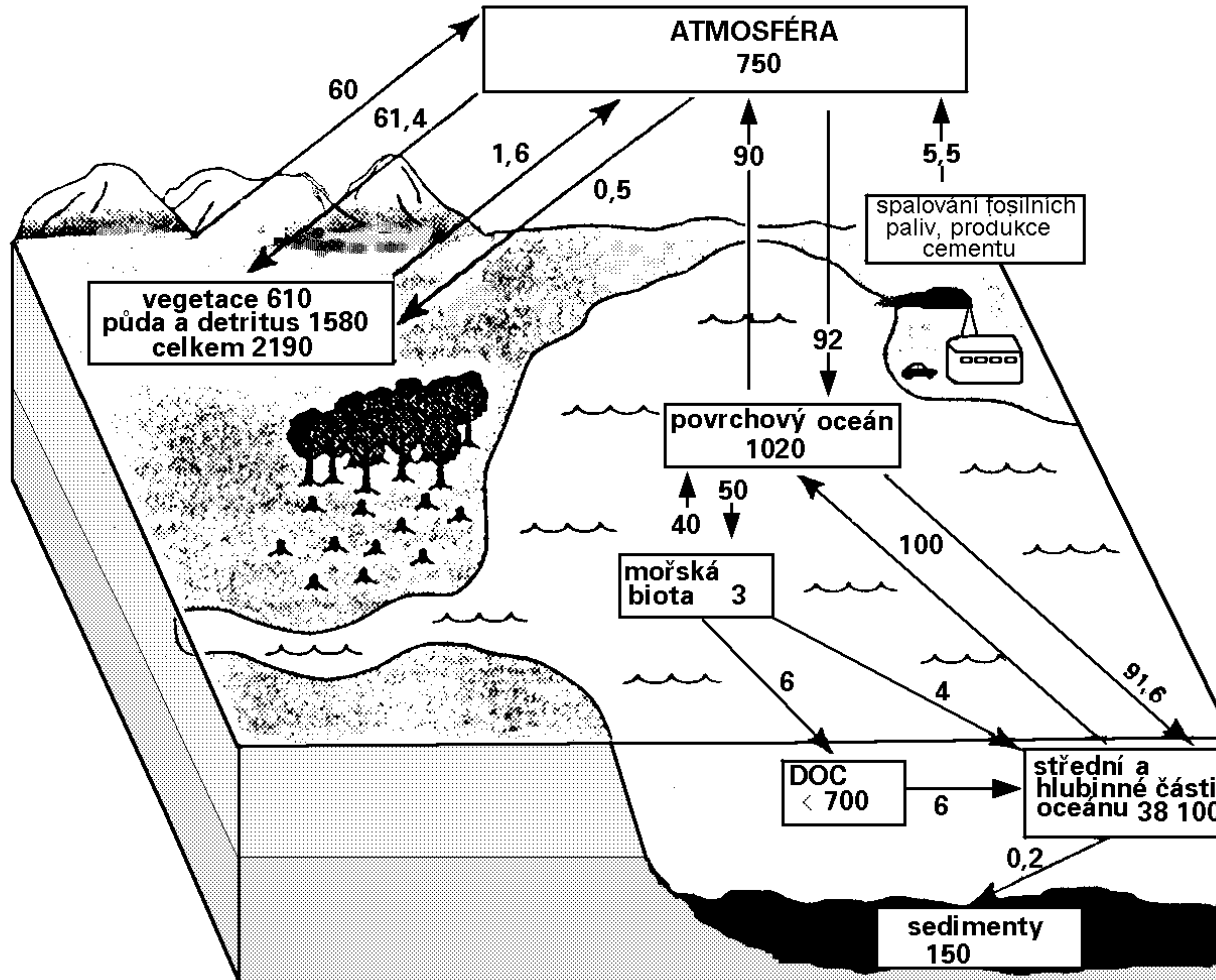
Uhlík v atmosféře

Ivan Holoubek, Radim Tolasz

RECETOX, Masaryk University, Brno, CR

holoubek@recetox.muni.cz; <http://recetox.muni.cz>

Rozložení a toky uhlíku v biosféře



Biogeochemický cyklus uhlíku: biomasa a litosféra

biom	rozloha 10 ⁶ km ²	vegetace	půda	celkem
tropický les	17,6	212	216	428
les mírného p.	10,4	59	100	159
boreální les	13,7	88	471	559
savana	22,5	66	264	330
step	12,5	9	295	304
pouště	45,5	8	191	199
tundra	9,5	6	121	127
mokřady	3,5	15	225	240
pole	16	3	128	131
celkem	151,2	466	2 011	2 477

Globální rezervoáry uhlíku v biomase a v půdě do hloubky 1m,
Gt uhlíku

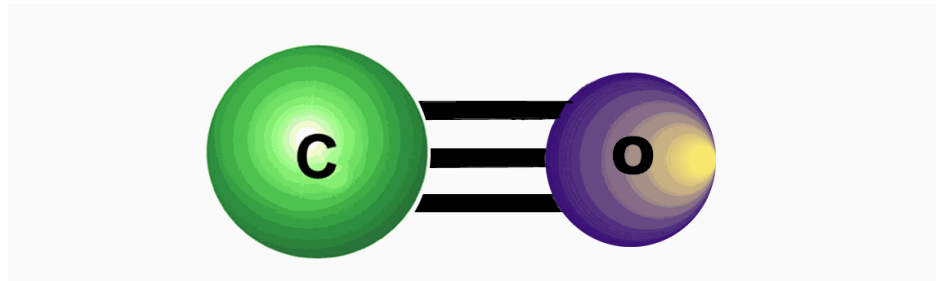
Biogeochemický cyklus uhlíku: atmosféra

Uhlík je v atmosféře zastoupen zejména CO_2 , méně CH_4

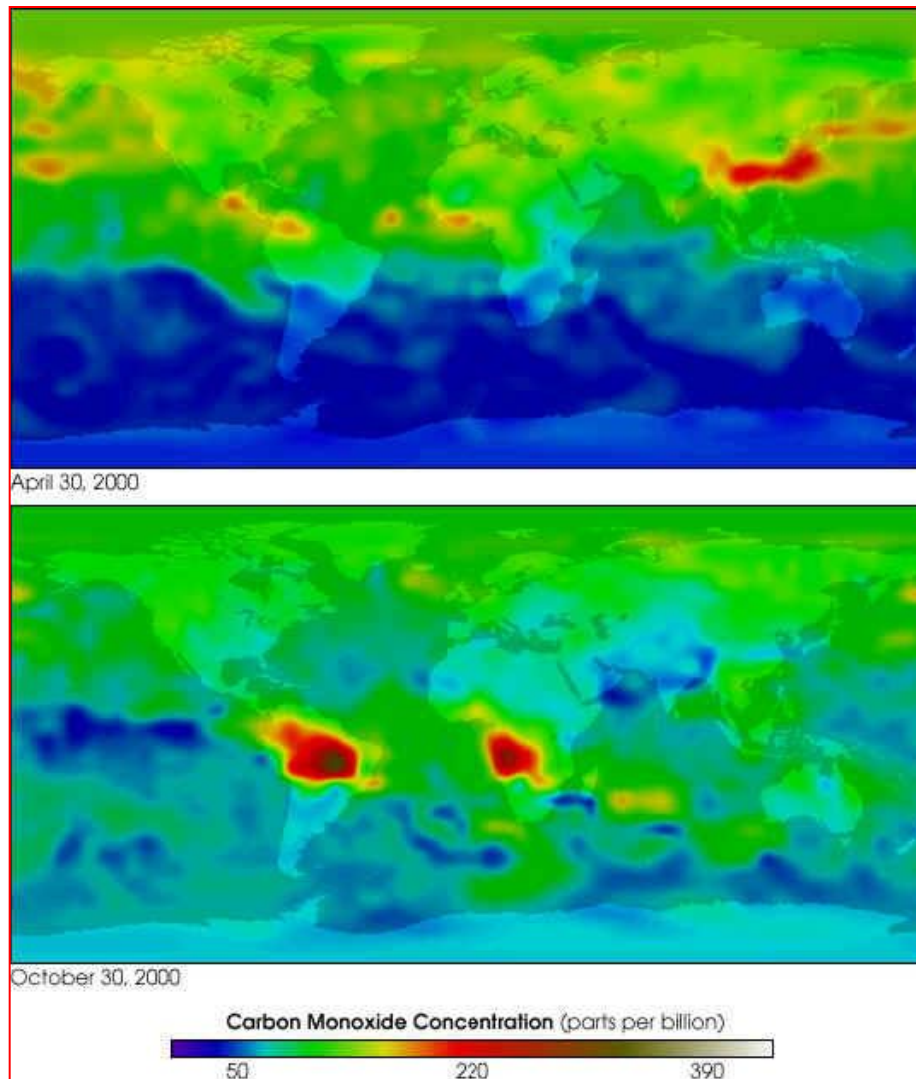
- ↪ CO_2 ovlivňuje skleníkový efekt, úzce souvisí s fotosyntézou a respirací
- ↪ Obsah CO_2 v atmosféře narůstá od dob průmyslové revoluce
- ↪ Nárůst obsahu CO_2 dokumentován z koncentrací v ledu, izotopovým složením přírůstkových zón korálů a dřevin
- ↪ Preindustriální atmosféra obsahovala 200-290 ppm CO_2 , současná koncentrace CO_2 je 390 ppm
- ↪ CH_4 vzniká při anaerobních procesech v rýžových polích, ve velkochovech dobytka, v termitištích, uvolňuje se z fosilních paliv, rašeliništ', mokřadů
- ↪ Působí rovněž jako skleníkový plyn
- ↪ Oxidací CH_4 vzniká CO

Oxid uhelnatý

- ↪ Vyskytuje se především v troposféře, oxiduje na oxid uhličitý.
- ↪ CO vzniká **nedokonalým spalováním materiálů s obsahem uhlíku**, obvykle fosilních paliv. Cigaretový kouř - 2 %
- ↪ CO se **nevratně váže na Fe v hemoglobinu**, vzniká karboxyhemoglobin. Vazba CO na hemoglobin je 210x silnější než vazba kyslíku.
- ↪ CO je tudíž **extrémně nebezpečný při expozici**.
- ↪ $\tau_{1/2} = 120$ dnů



Výskyt CO v atmosféře



Uhlík v atmosféře

Oxid uhličitý (CO₂)

Bez toxických účinků, dusivý, skleníkový plyn

$\tau_{1/2} = 2 - 4$ roky

Přirozený atmosférický propad:

- ↪ fotosyntéza
- ↪ absorpce v oceánech

Uhlík v atmosféře

Organické sloučeniny uhlíku

Uhlovodíky a jejich deriváty (RH, HCs)

Nižší n-alkány $C_1 - C_{11}$ (g), vyšší (l, s), isoalkány, cyklo-alkány, arény, PAHs

Celosvětové emise - $1,86 * 10^9$ t.r⁻¹ (5 % antropogenní emise), z toho 86 % CH_4 (90 % bakteriální produkce), 9 % terpeny (rostlinná produkce)

CH_4 - severní pól - $1,08$ mg.m⁻³

jižní pól - $0,85$ mg.m⁻³

$\tau_{1/2} = 4 - 7$ roků

Reakce s ozónem

Biogeochemický cyklus uhlíku - procesy

Výměna CO_2 mezi hydrosférou a atmosférou:

- ↪ oceán je významný rezervoár, příjem CO_2 z atmosféry je omezený karbonátovou rovnováhou a pomalým míšením povrchových a hlubinných vod. Rozpuštěné množství ovlivňuje atmosférická koncentrace CO_2 a teplota.

CO_2 uvolňovaný z antropogenních procesů:

- ↪ nejvýznamnější je spalování fosilních paliv, produkce cementu, změny v charakteru krajiny, odlesňování, desertifikace atd.

Pohlcování CO_2 asimilující biomasou:

- ↪ hnojivý vliv vyšší koncentrace CO_2 se obtížně prokazuje, ale experimenty ukazují že zvýšená koncentrace CO_2 může až 2-3x zvýšit asimilaci CO_2 a vázat uhlík v biomase zejména kořenových systémů, půdních mikroorganismů a hub.

Oxid uhličitý

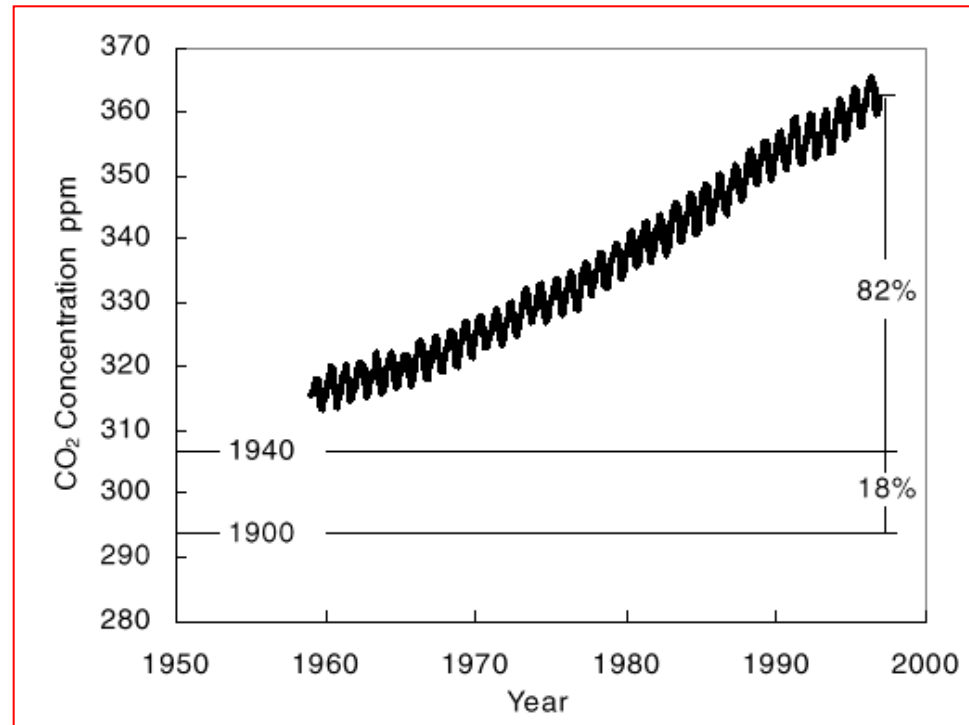
Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide

ARTHUR B. ROBINSON ‡, SALLIE L. BALIUNAS †, WILLIE SOON †, AND
ZACHARY W. ROBINSON ‡

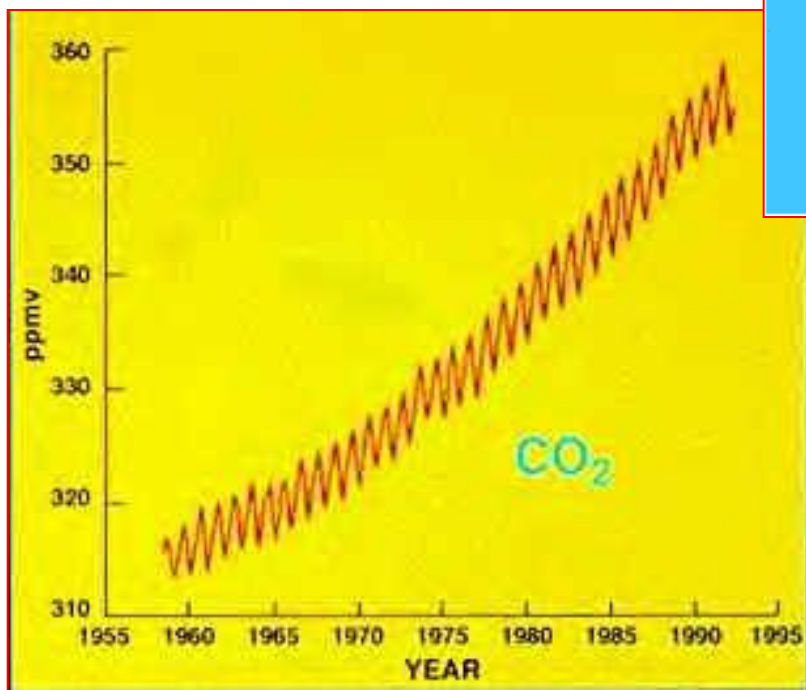
‡Oregon Institute of Science and Medicine, 2251 Dick George Rd., Cave Junction, Oregon 97523 [info@oism.org]

†George C. Marshall Institute, 1730 K St., NW, Ste 905, Washington, DC 20006 [info@marshall.org]

- ↪ Koncentrace atmosférického CO₂ v ppmv (jedna částice ku milionu objemových) na Mauna Loa, Hawai.
- ↪ Tato měření dobře souhlasí s měřeními na ostatních stanicích.
- ↪ Periodický cyklus je způsoben sezónními výkyvy CO₂ v důsledku jeho spotřeby rostlinami.
- ↪ Přibližné globální úrovně CO₂ v roce 1900 a 1940 jsou vyznačeny liniemi.



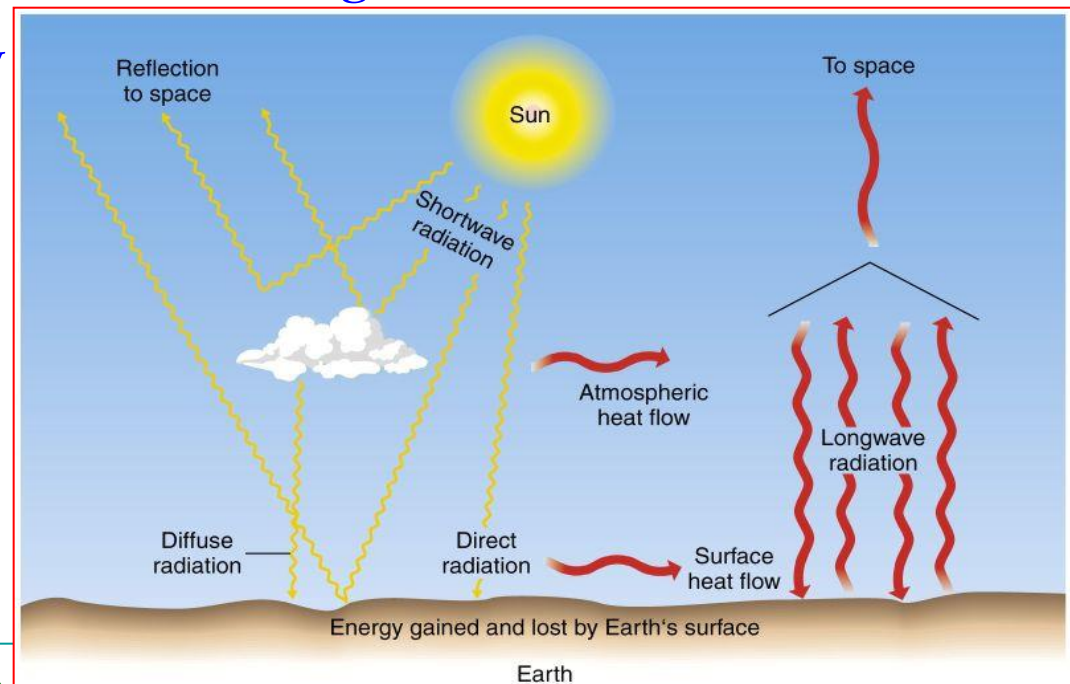
Oxid uhličitý – produkce a producenti



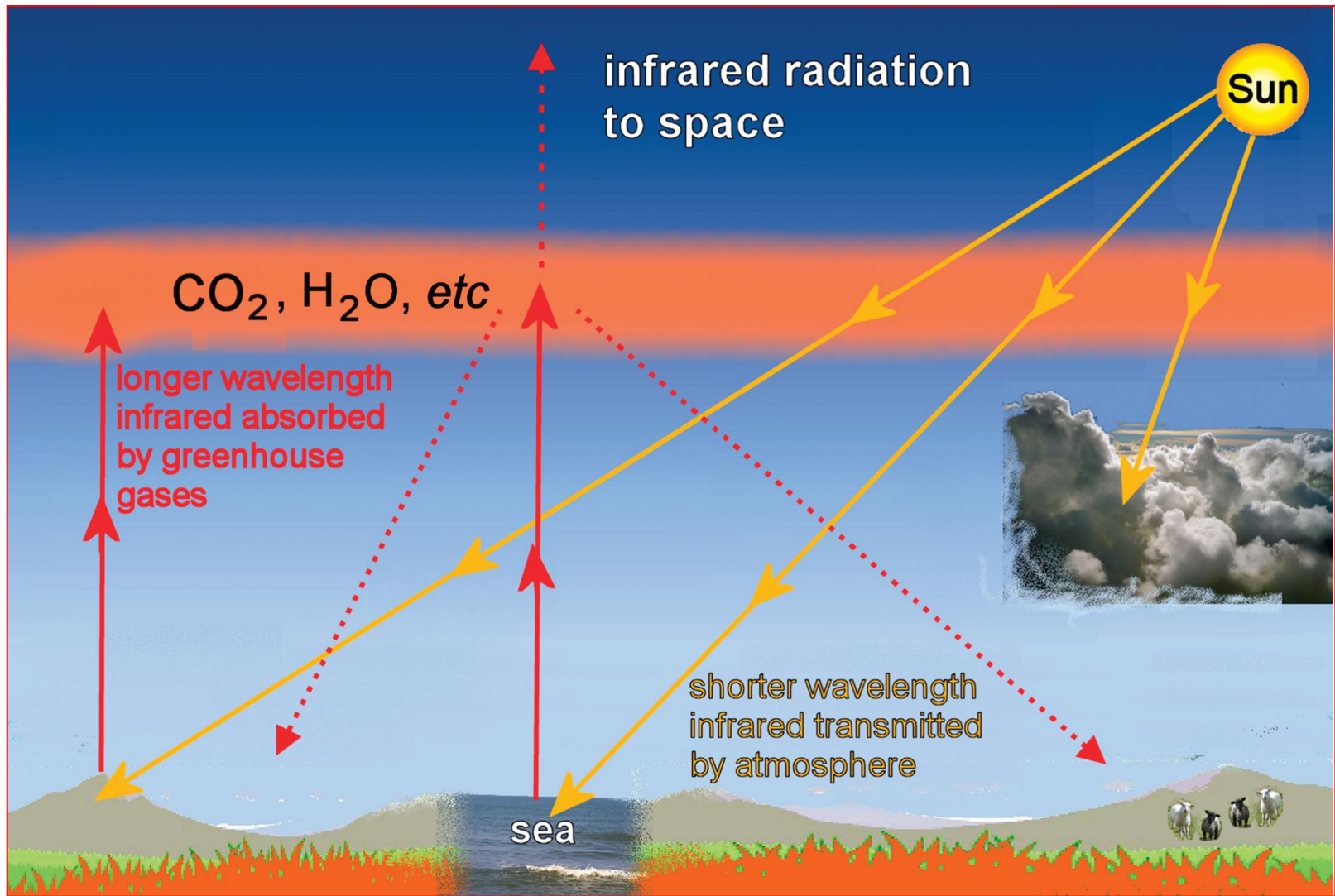
Radiační rovnováha v atmosféře

Ze Slunce do zemské atmosféry dopadá cca $343 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

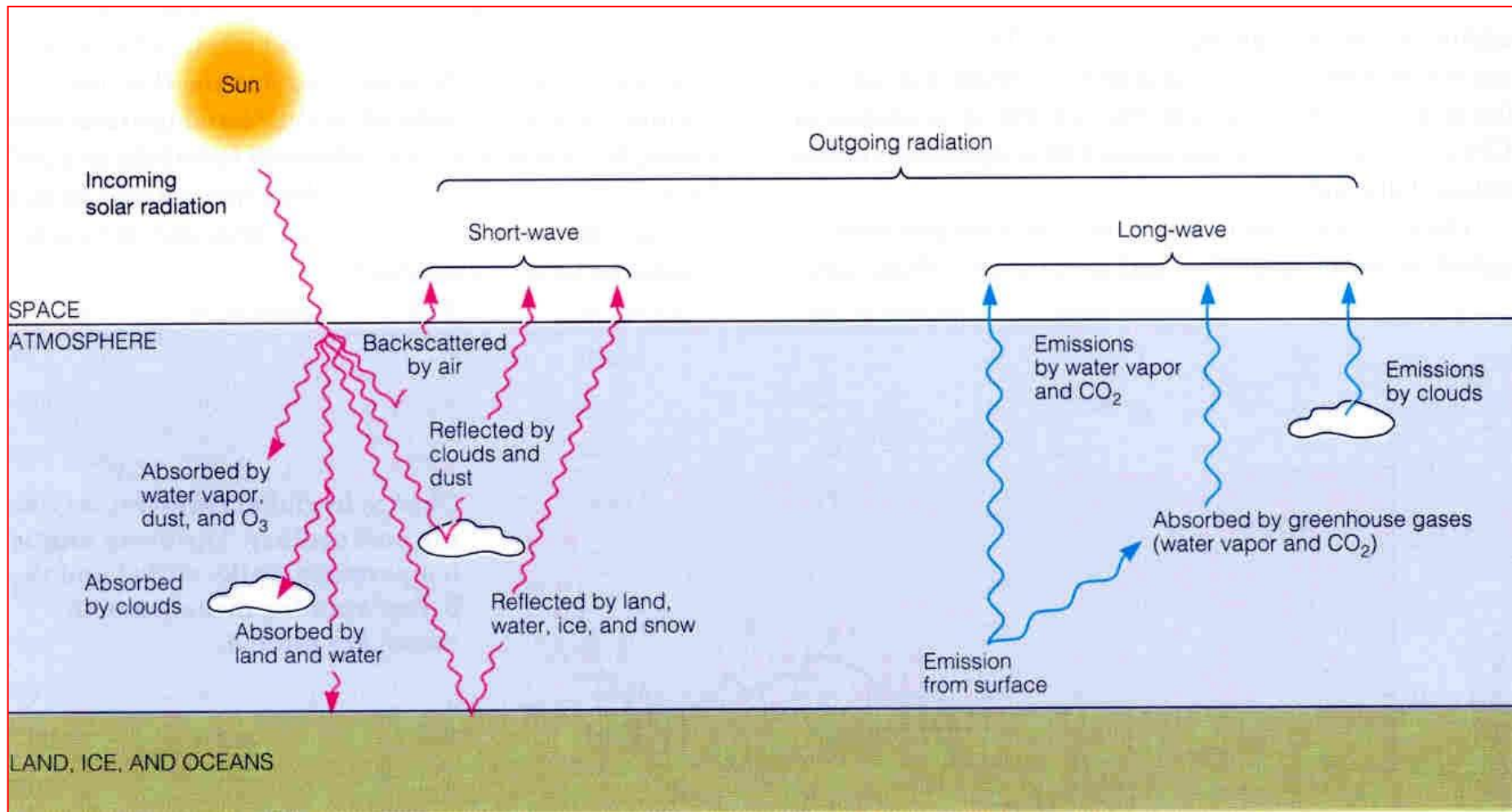
- ↪ cca 1/3 záření odražena atmosférou
- ↪ cca 2/3 záření pohltí planeta a následně skleníkové plyny, které zvyšují teplotu o 33°C (78% energie)
- ↪ 21 % energie se použije na vypařování vody z oceánů
- ↪ 1 % energie se přemění na kinetickou energii větrů
- ↪ 0.1 % využijí zelené rostliny



Skleníkový efekt



Radiační rovnováha v atmosféře



Oxid uhličitý

- 1971** – Ehrlich a Holdern – globální oteplení, zapomenuto
- 1992** – celosvětová vládní konference, skončila pouze doporučeními, která nebyla naplněna
- 1995** – IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, UN) – globální oteplení
- 1997** – **Kyoto (Kyoto Protocol)**, dohoda o snížení CO₂ a dalších pěti skleníkových plynů na úroveň 5,2 % pod úroveň 1990, USA 7 %. Do roku 1999 měly země podepsat dohody. Dosud malý pokrok.

Význam oxidu uhličitého

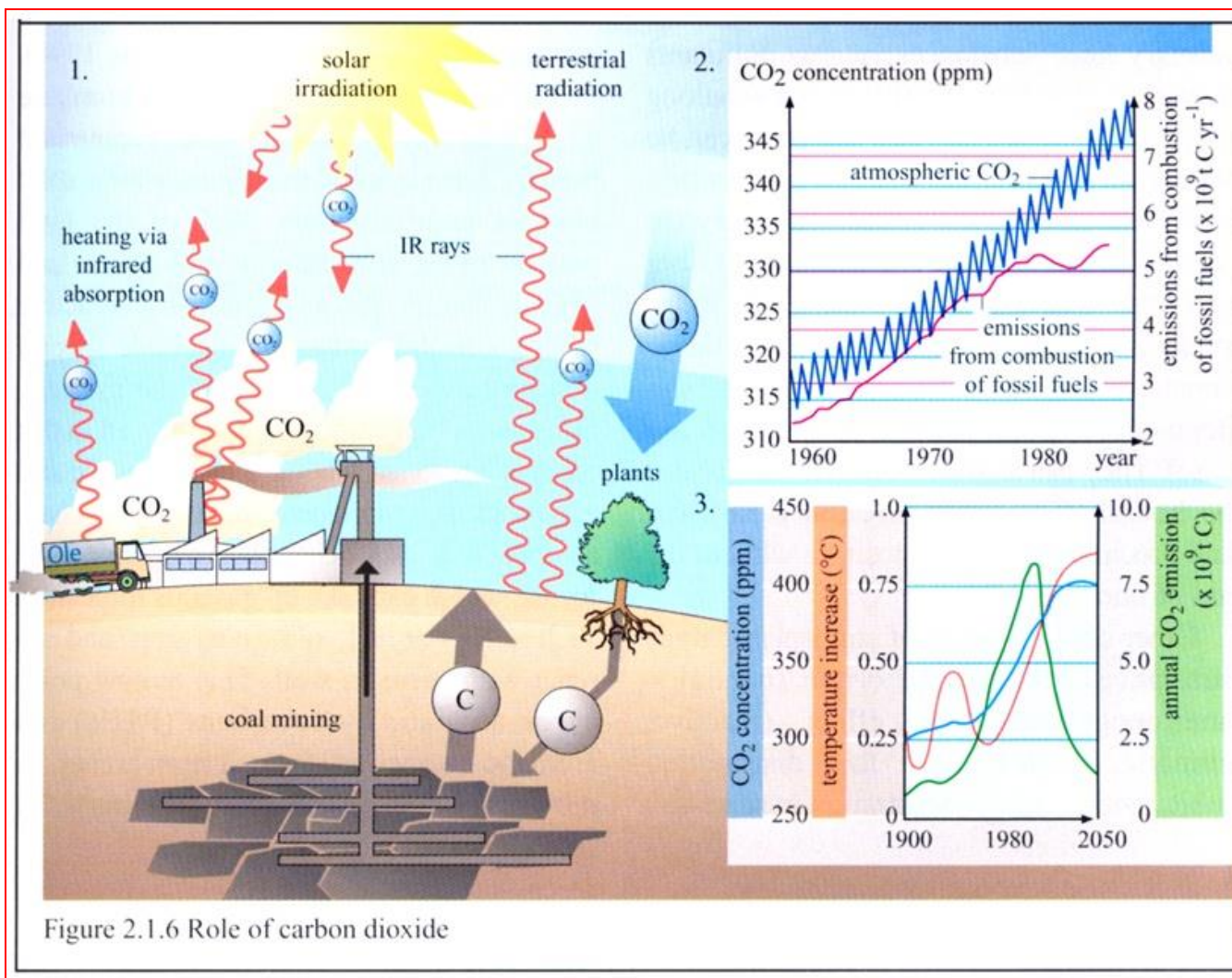


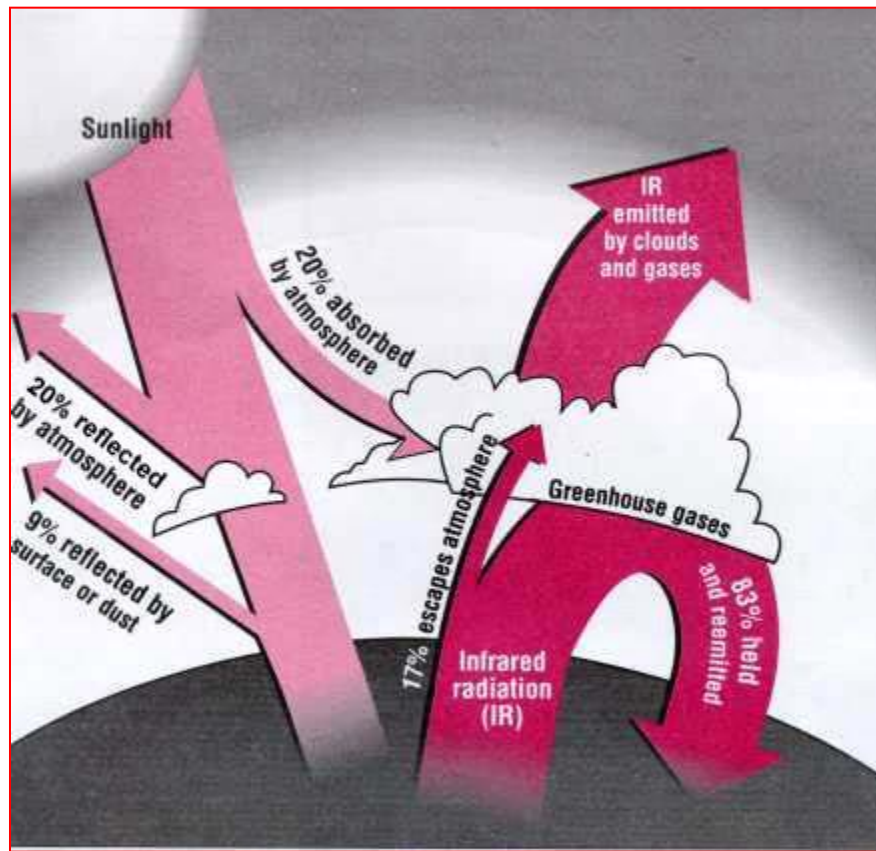
Figure 2.1.6 Role of carbon dioxide

Globální oteplování ovlivňování radiční bilance planety

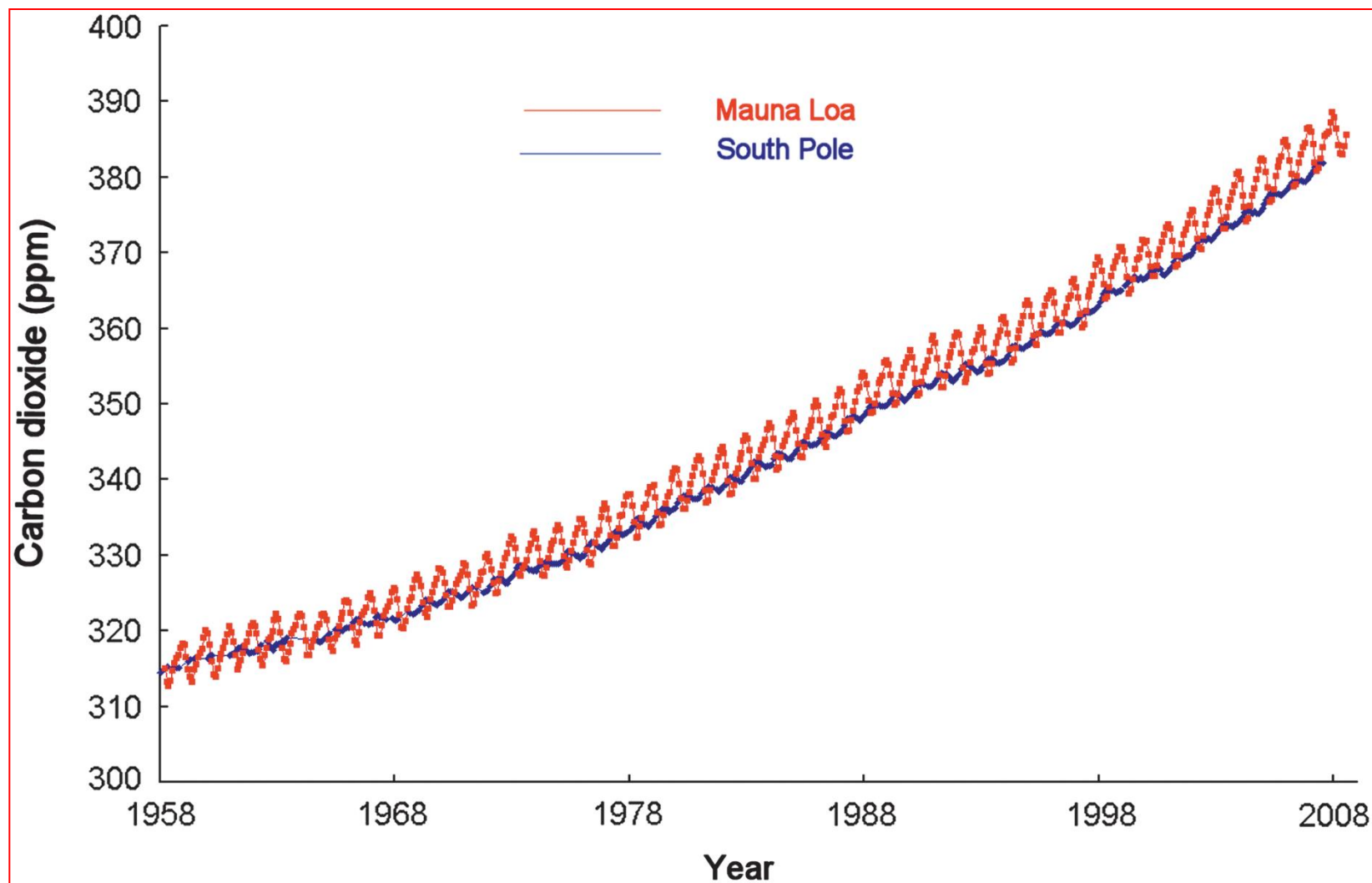
Skleníkové plyny

CO₂, CH₄, N₂O, CFC, O₃, vodní pára

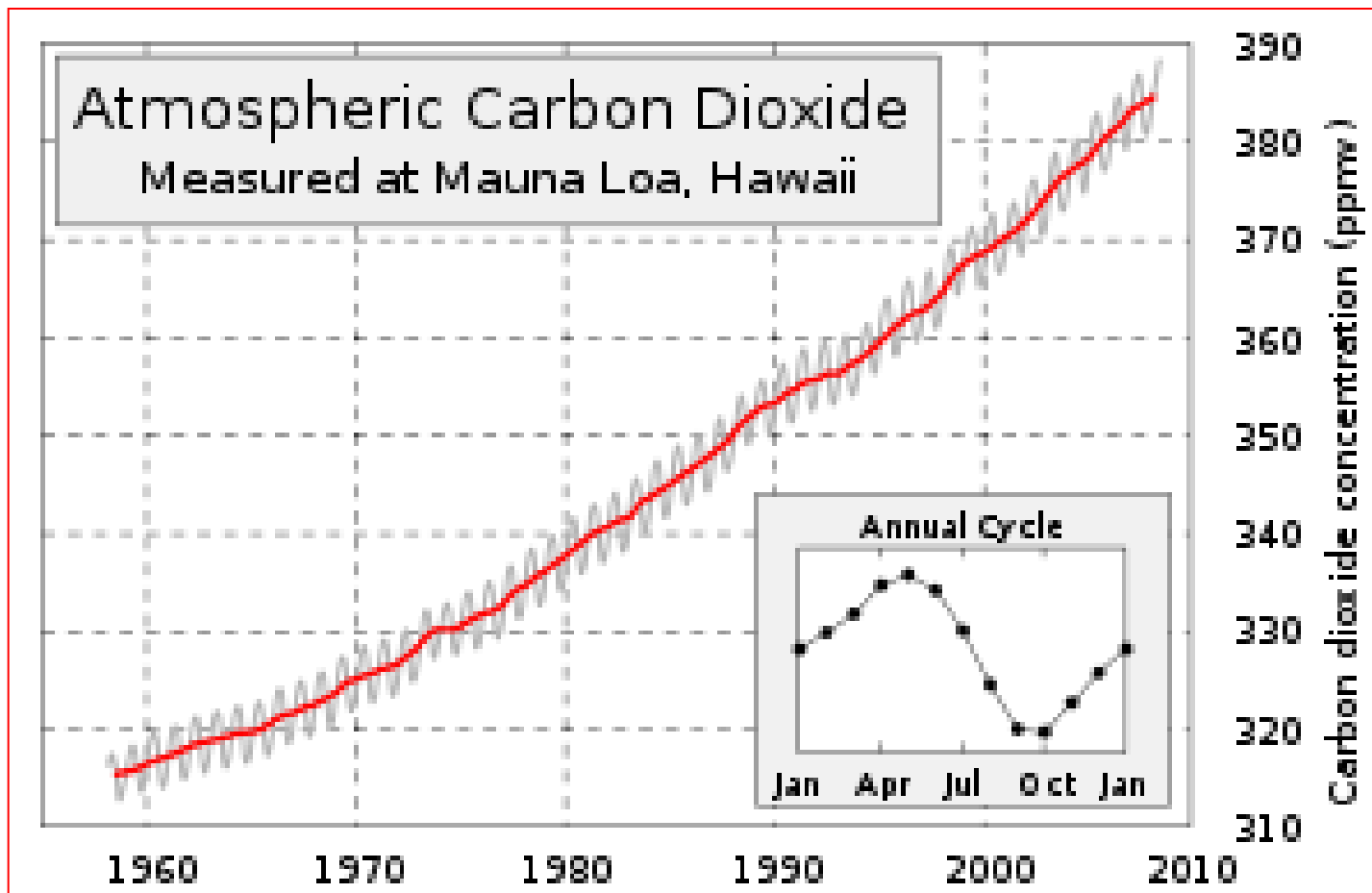
Od roku 1800 u CO₂ zvýšení o cca 60 %, u ostatních o zhruba 10 %



CO₂ Mauna Loa



Obsah CO₂ v atmosféře - Keelingova křivka



Atmosférická koncentrace CO₂ - výkyvy plynou ze sezónních variací v produkci biomasy.

Časové řady koncentrací CO₂ v atmosféře a oceánu

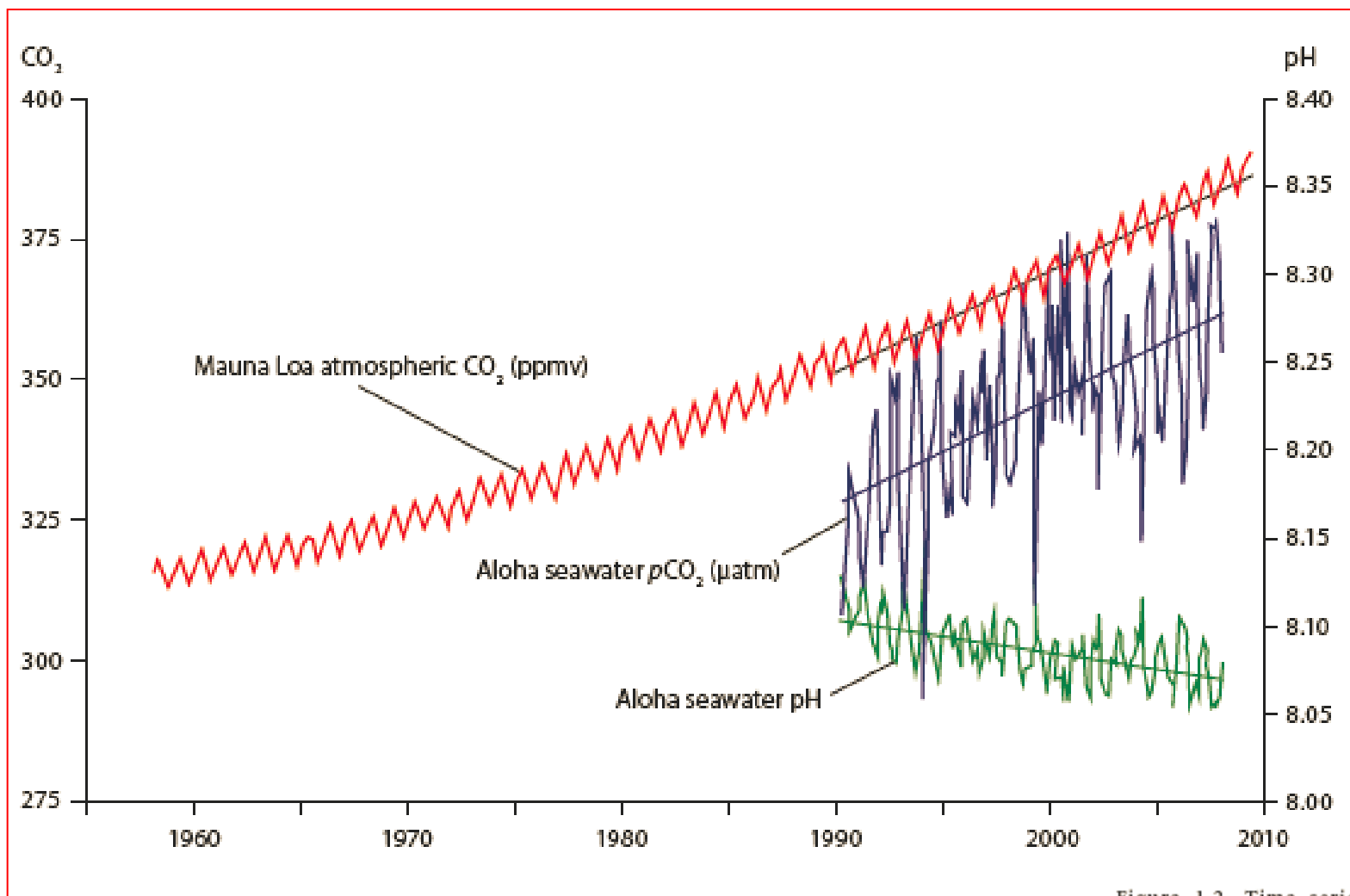
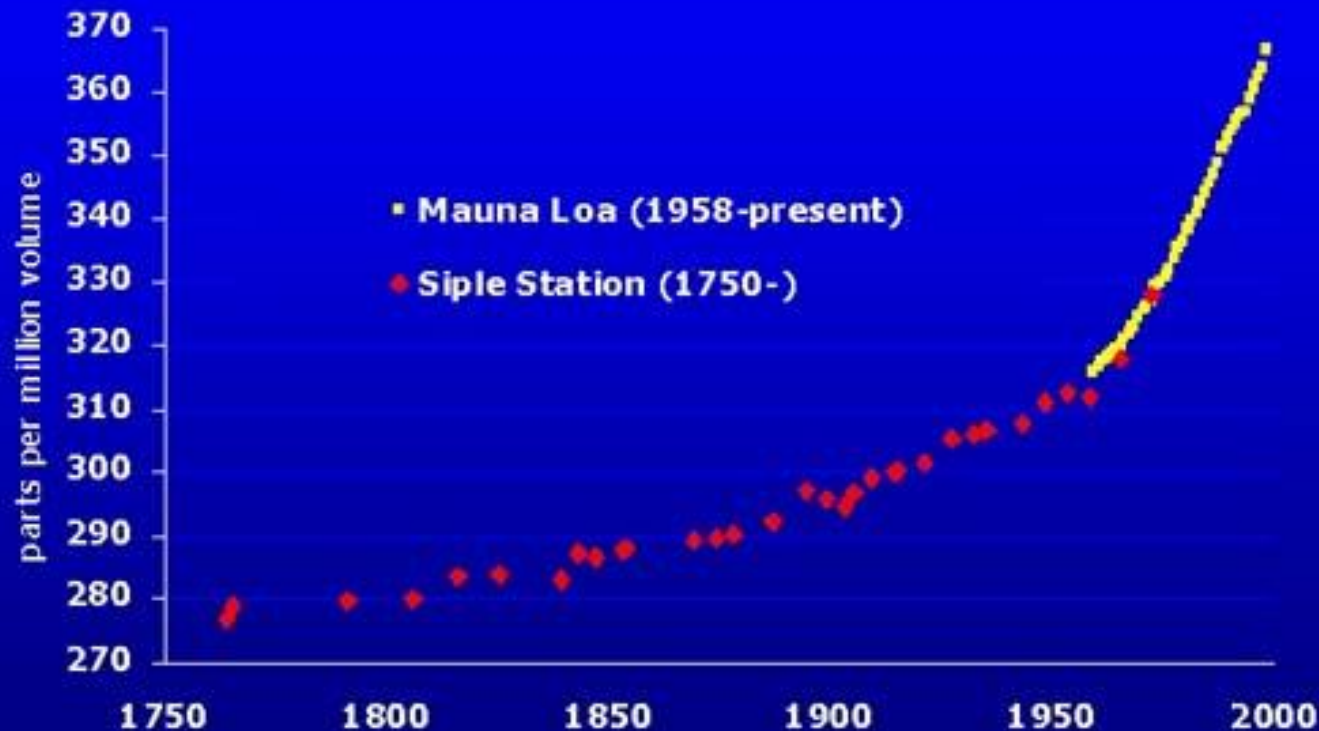


Figure 1.2. Time series of atmospheric CO₂ at station Mauna Loa, and surface water pCO₂ and pH at station ALOHA in the subtropical North Pacific Ocean. Source: Modified after Doney et al. (2009).

Historická měření obsahu CO₂ v atmosféře

Atmospheric carbon dioxide (CO₂) concentrations (1750 to present)



Data Source: C.D. Keeling and T.P. Whorf, Atmospheric CO₂ Concentrations (ppm v) derived from in situ air samples collected at Mauna Loa Observatory, Hawaii, Scripps Institute of Oceanography, August 1998. A. Neftel et al, Historical CO₂ Record from the Siple Station Ice Core, Physics Institute, University of Bern, Switzerland, September 1994. See <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/co2/content.shtml>

Oxid uhličitý – rekonstrukce historického vývoje

6. Past and prospected increase rates of greenhouse gases

6.1. Carbon dioxide

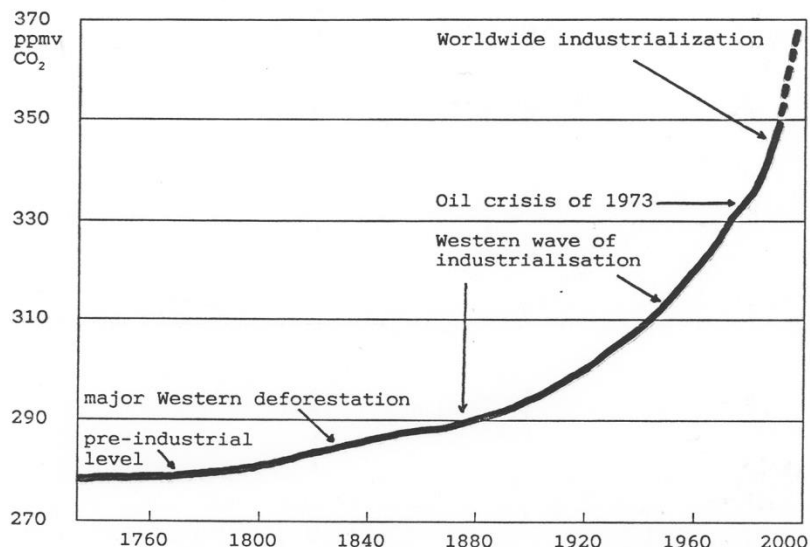
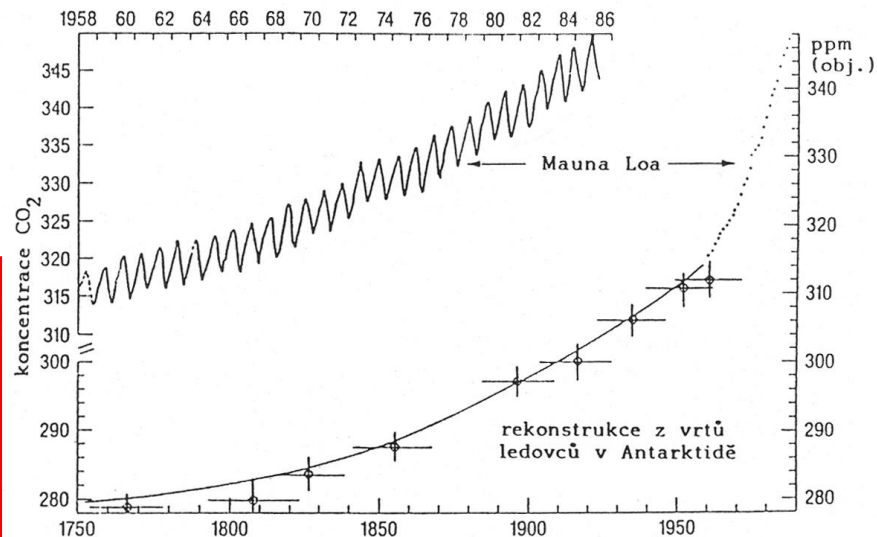


FIGURE 5. ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE CONCENTRATIONS AS TRAPPED IN ICE CORES FROM SIPPLE STATION, ANTARCTICA. After Siegenthaler Oeschger (1987).



Změny atmosféry jako přirozený proces

Data pro získání informací o složení atmosféry

Geologie

Paleontologie

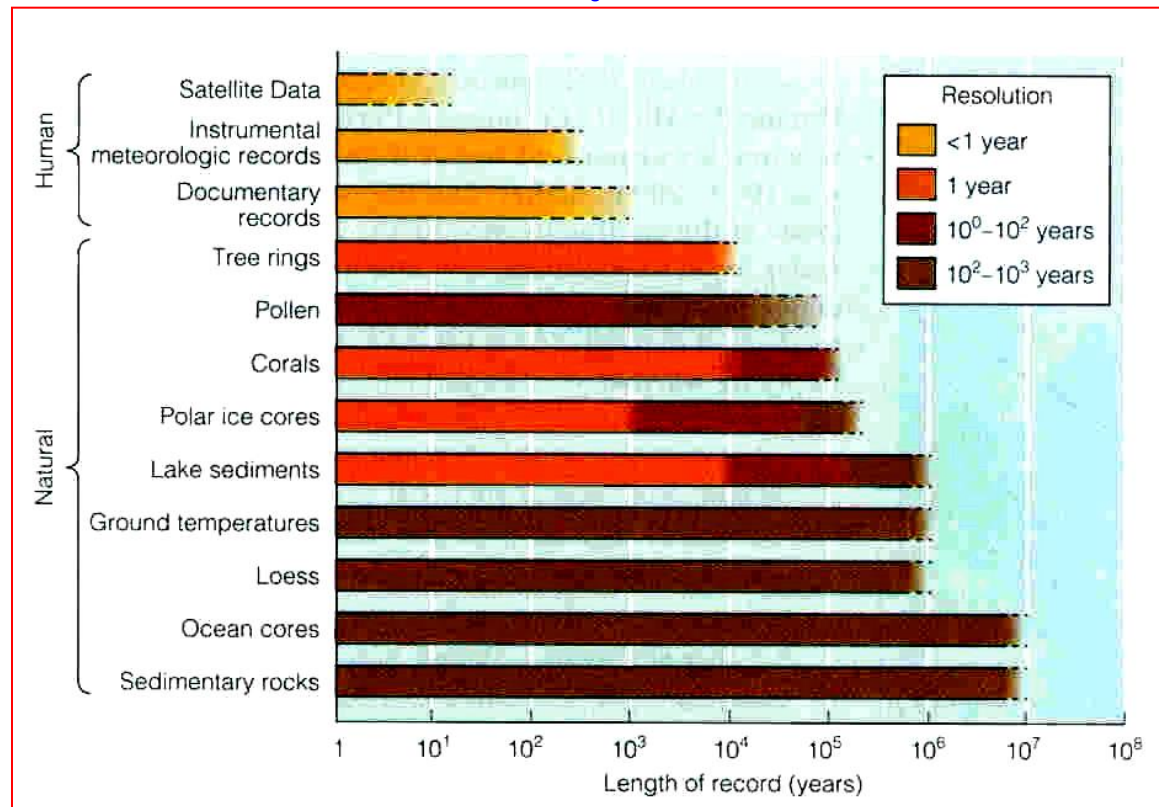
Sedimentologie

Stratigrafie

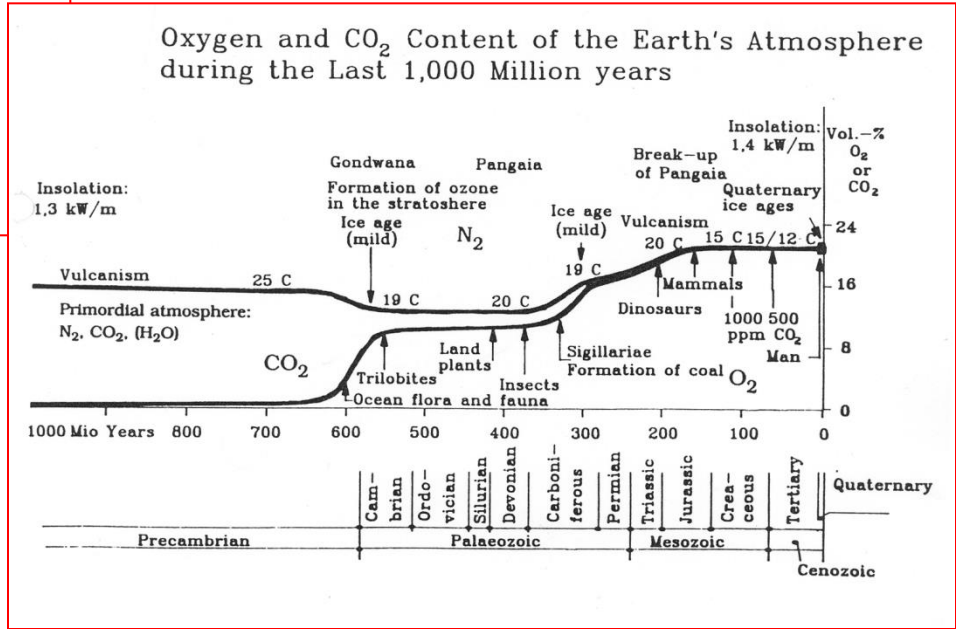
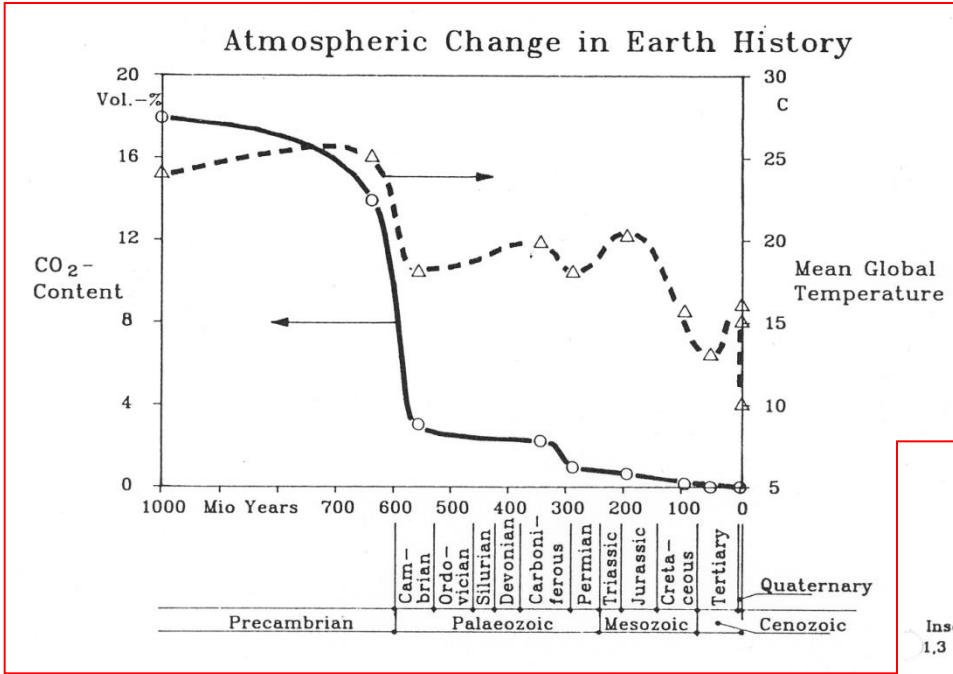
Z geologických

záznamů víme,
že se atmosféra
změní.

Nevíme jak a jakou
rychlostí.

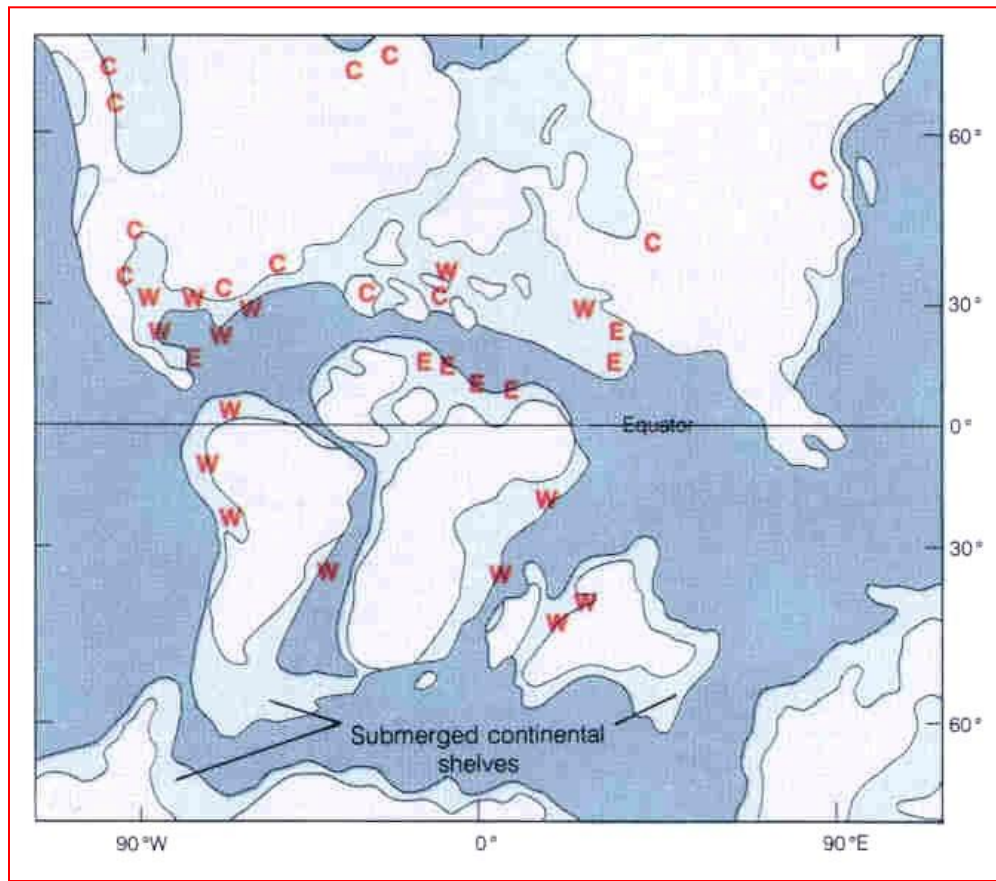


Historický vývoj obsahu CO₂ v atmosféře

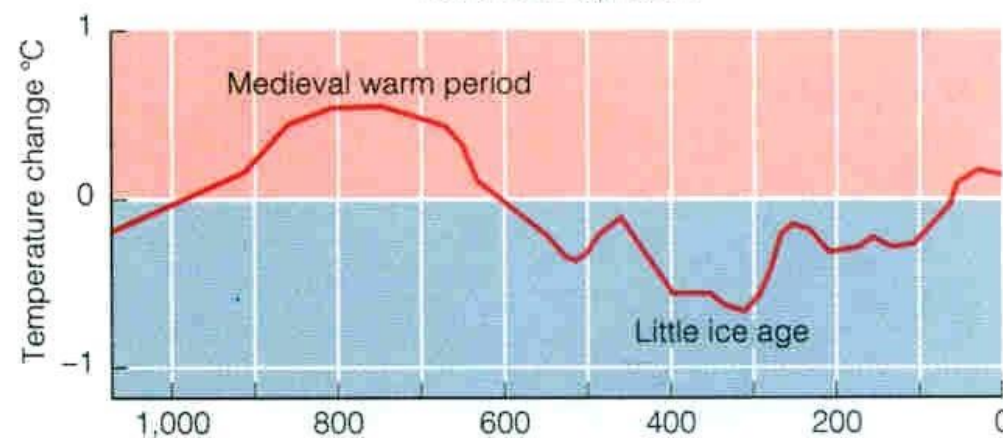
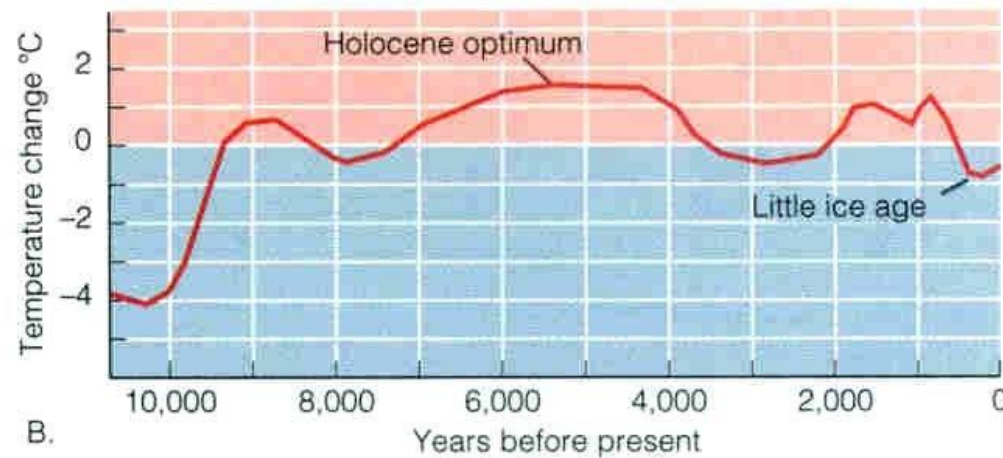
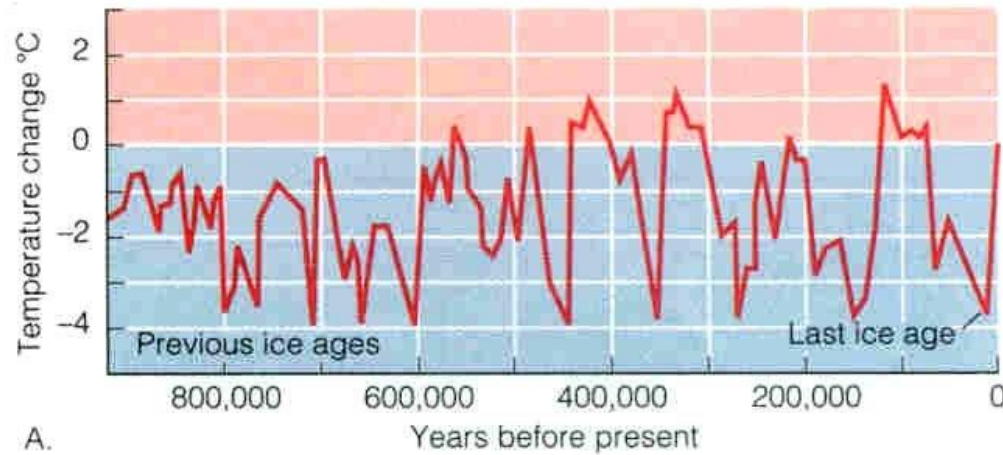


Střední křída

Podnebí mnohem teplejší, hladina oceánů o 100–200 m výše; W – fosilie teplých vod, E – evapority, C – ložiska uhlí



Ledové doby



Minulých několik milionů let – početné cykly ochlazení a teplejší období superponovány na celkové chladnutí

Glaciace – pokles teploty o několik stupňů na dlouhou dobu – rozšíření ledovců – doby ledové
Teplejší období – doby meziledové – interglaciály

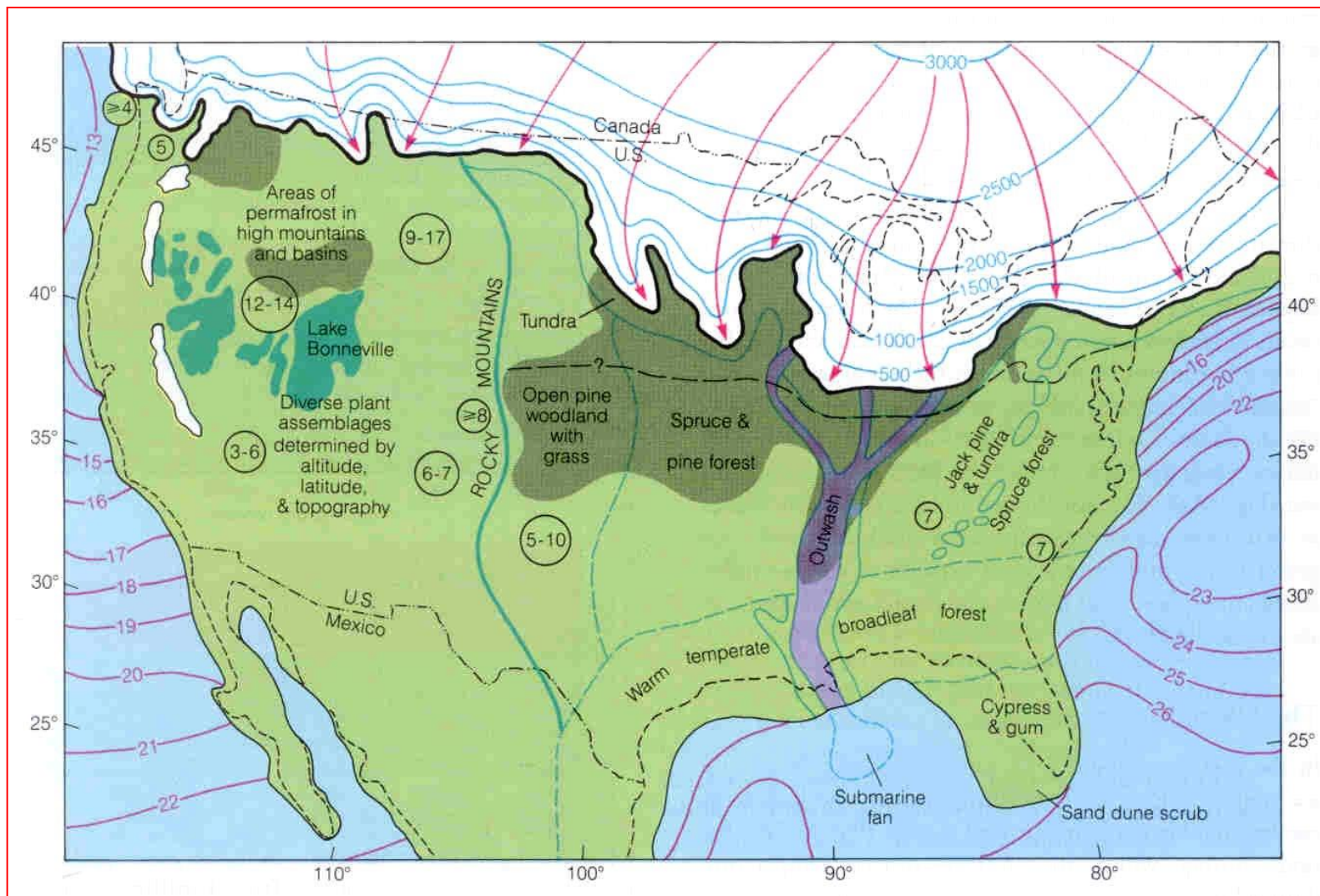
Pleistocén (1,6 mil. let) – více než 20 cyklů s opakováním 20 000 až 40 000 let s extrémními minimy každých 100 000 let

Ledové doby se odehrávaly už před 2,3 miliardami let.

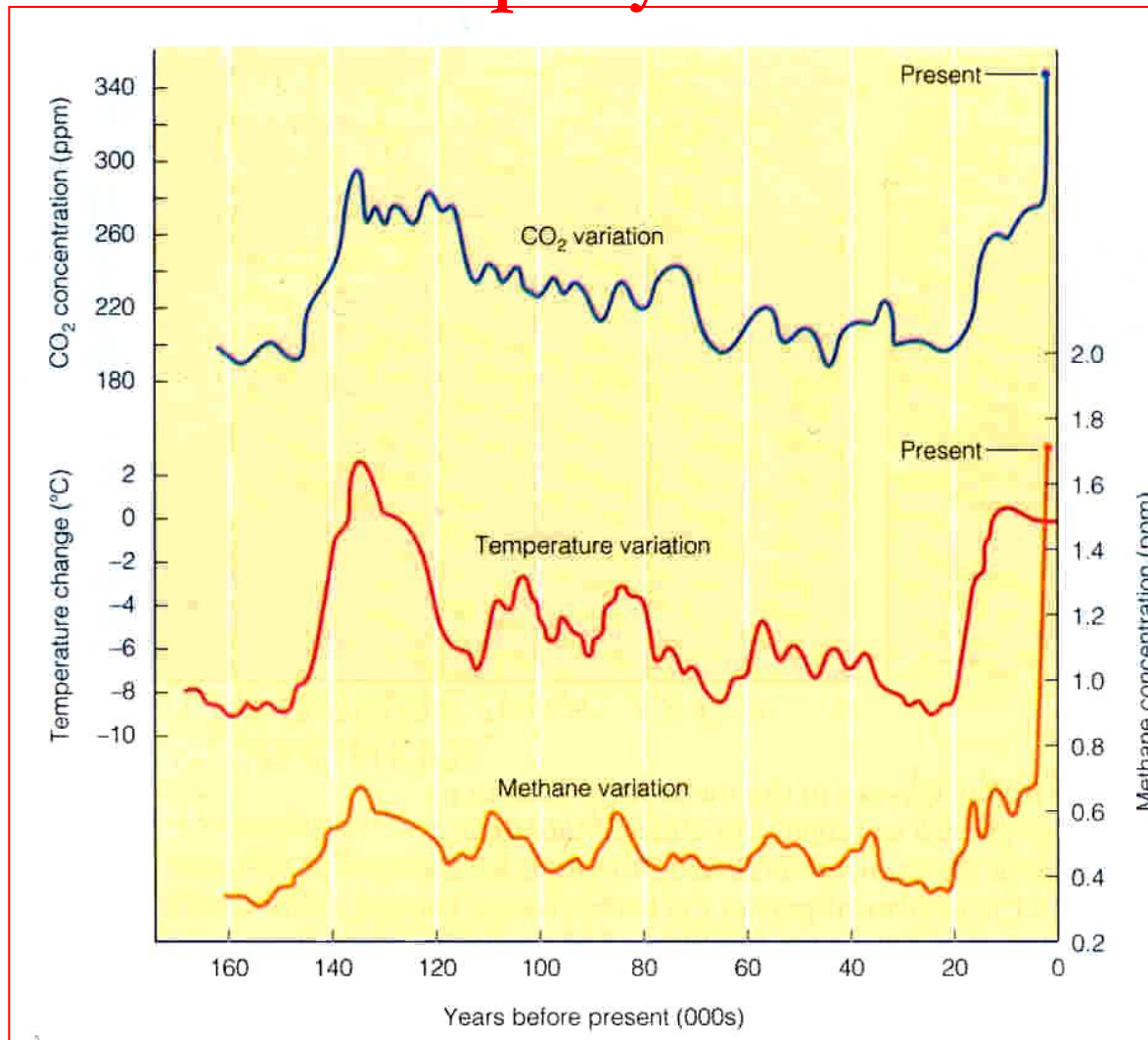
Dnes zabírají ledovce kolem 10 % povrchu (z toho 84 % v Antarktidě).

V minulosti až 29 % povrchu.

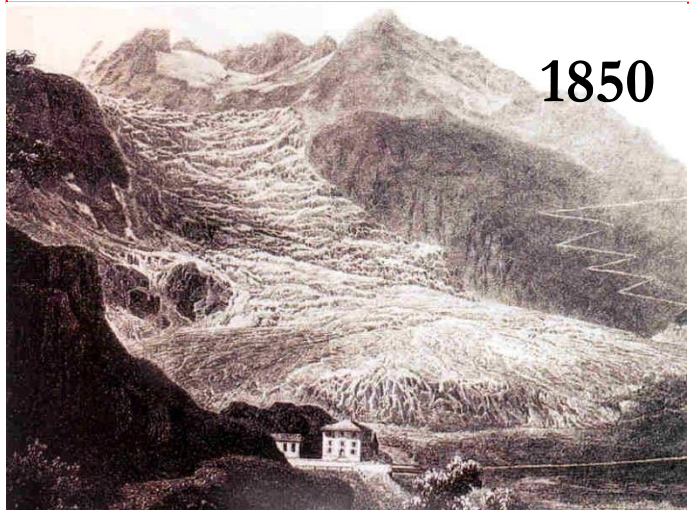
Poslední zalednění – začalo před 30 000 let, před 10 000 konec, nyní procházíme maximem interglaciálu



Variace atmosférických koncentrací CO₂ a CH₄ a teploty

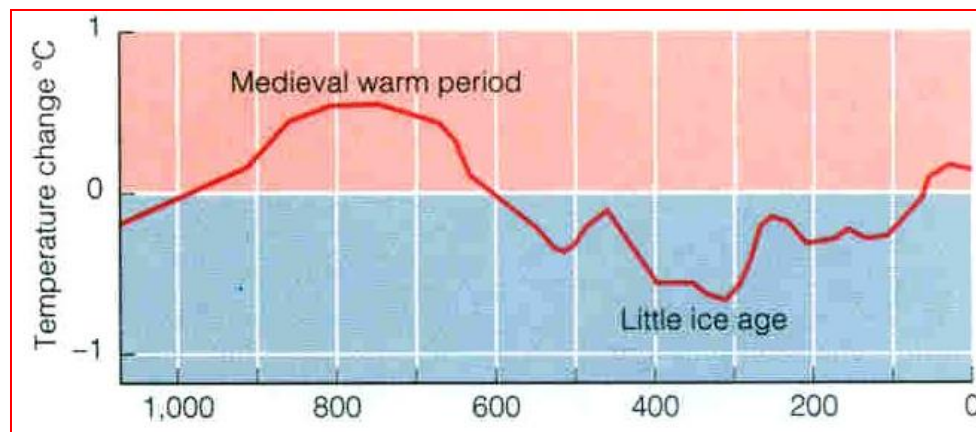


Krátkodobé fluktuaace



1850

Malá doba ledová: 1300–1900



1960

Rhonský ledovec (Švýcarské Alpy)

Oxid uhličitý - produkce

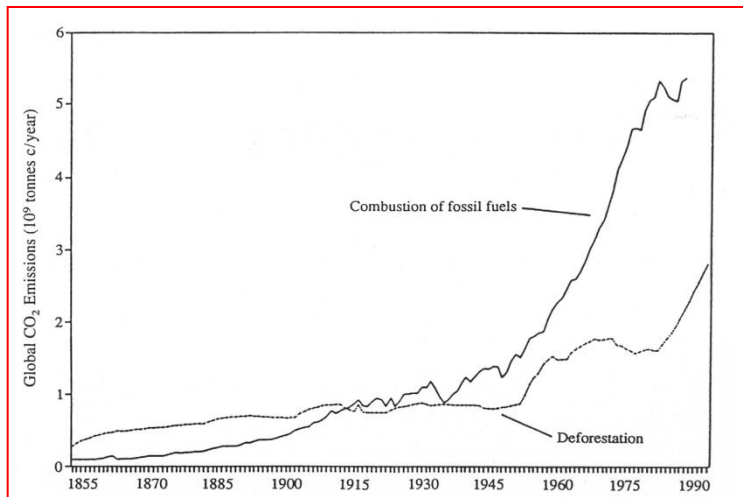
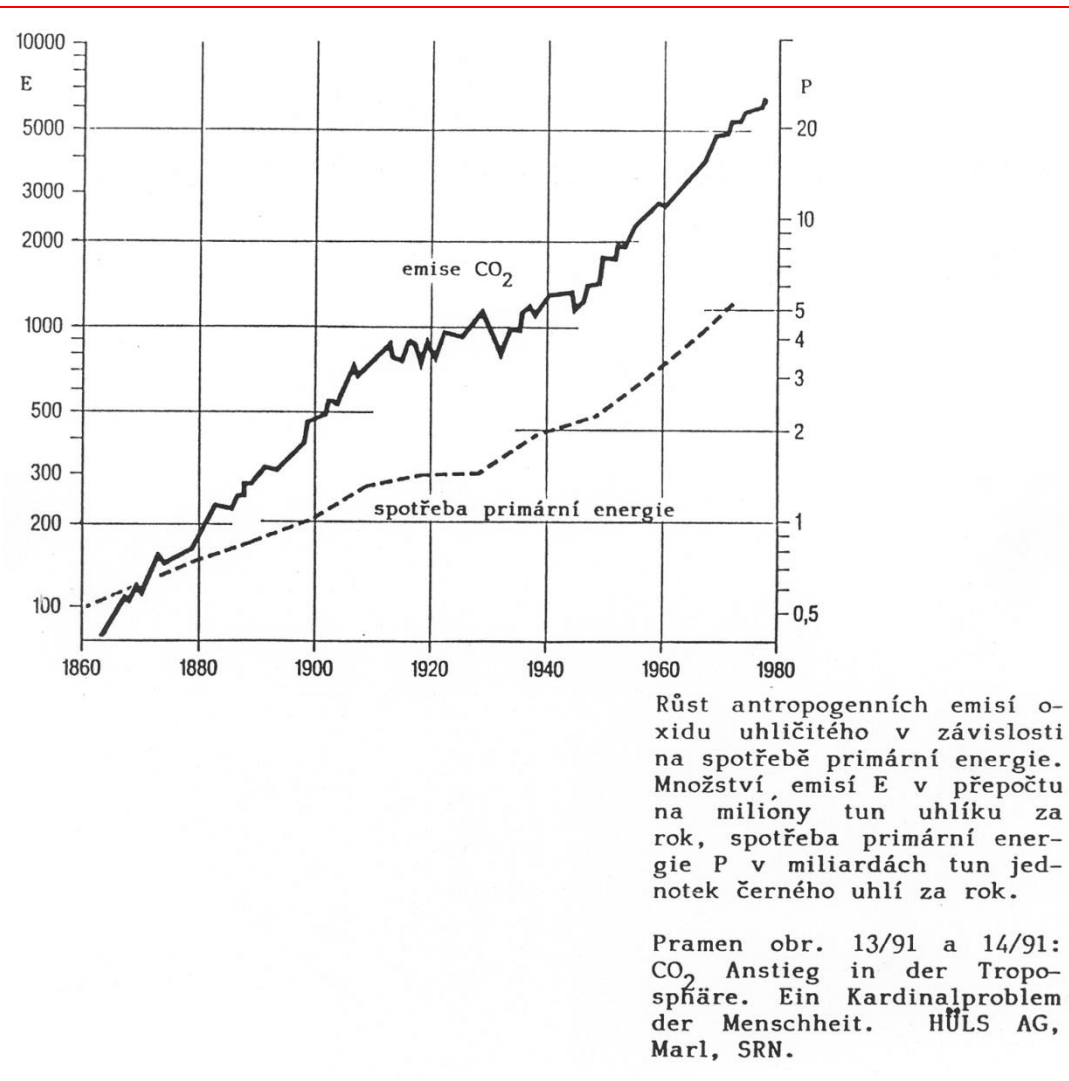
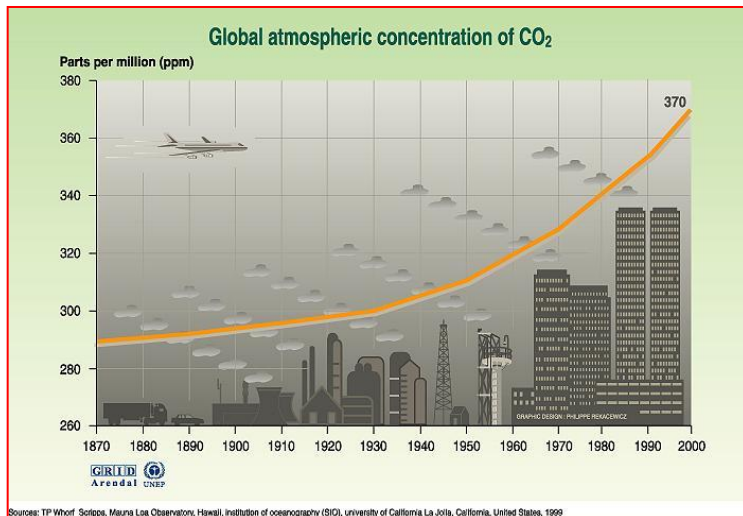
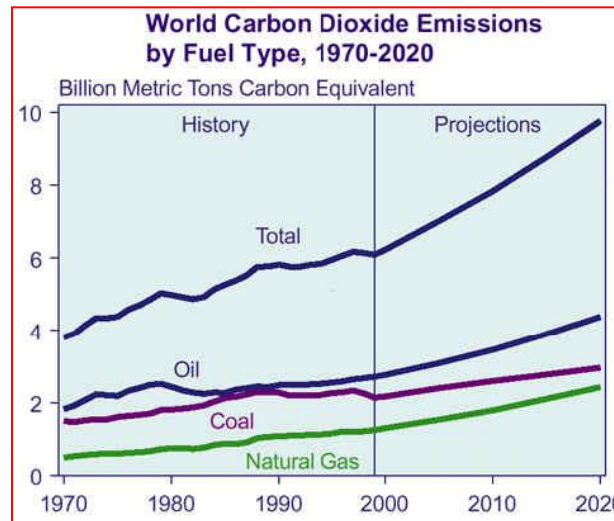
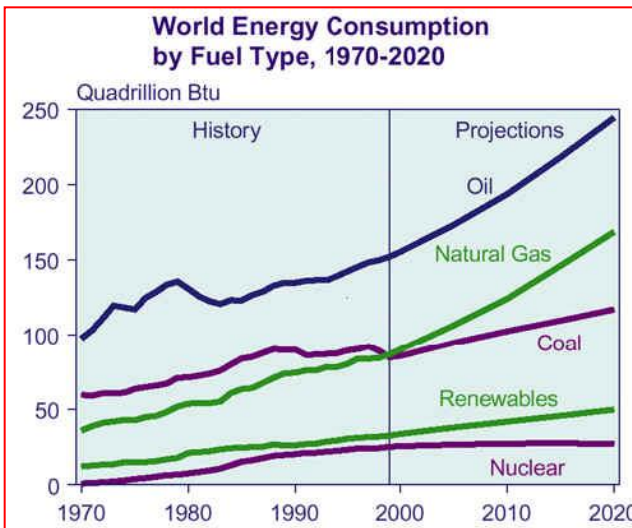
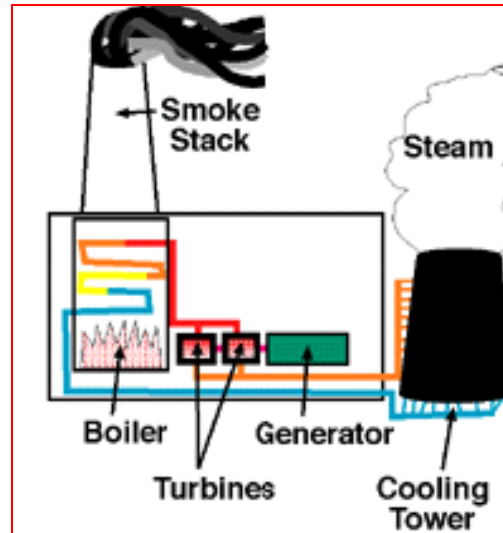
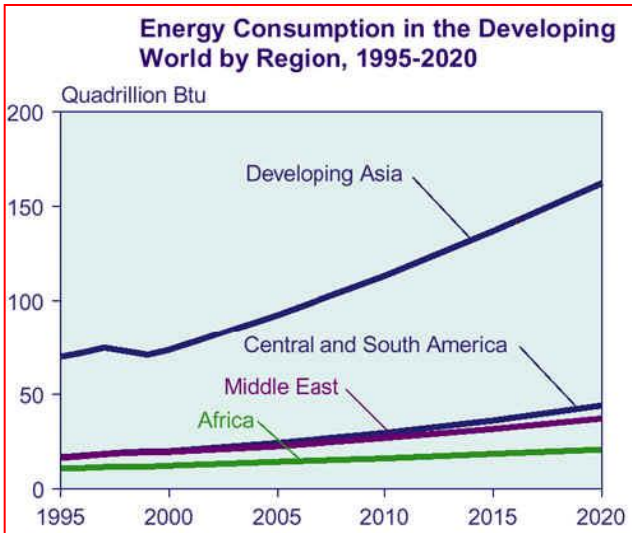


Fig. 2.7 The global emission of CO₂ from deforestation and the burning of fossil fuels. Modified from Houghton (1991).

Světová produkce energie a CO₂

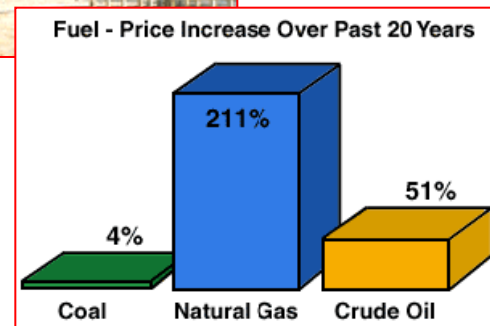


Zásoby fosilních paliv

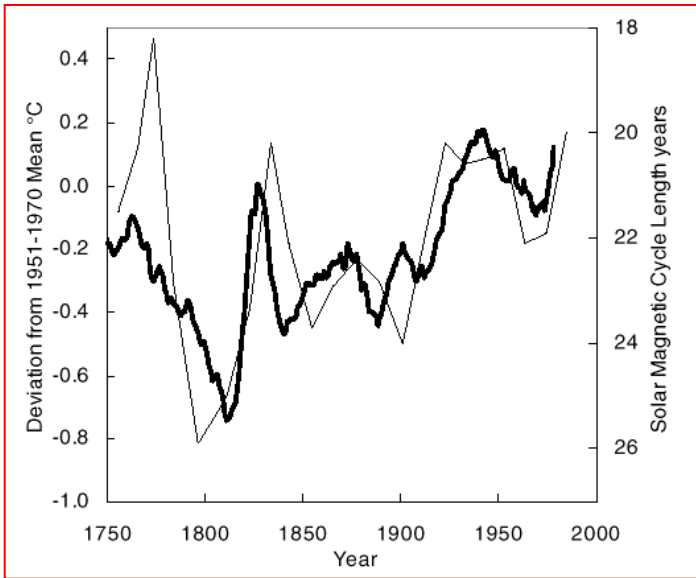


COAL	210 YEARS
OIL	42 YEARS
GAS	60 YEARS

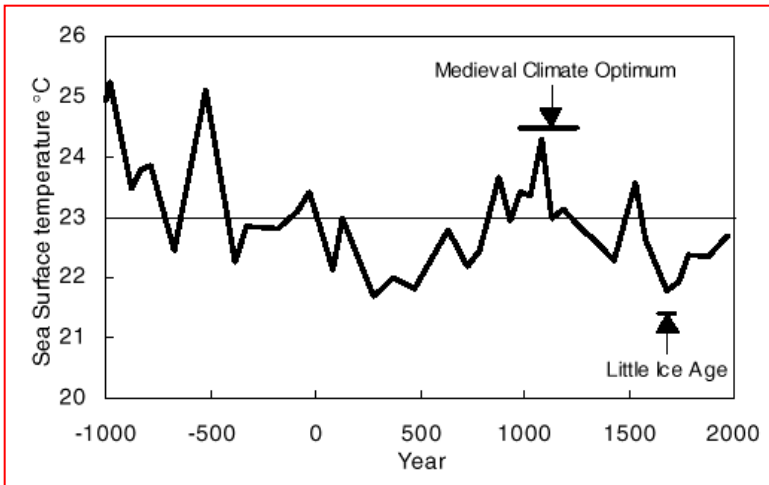
PROVED RESERVES AT CURRENT CONSUMPTION RATES



Oxid uhličitý

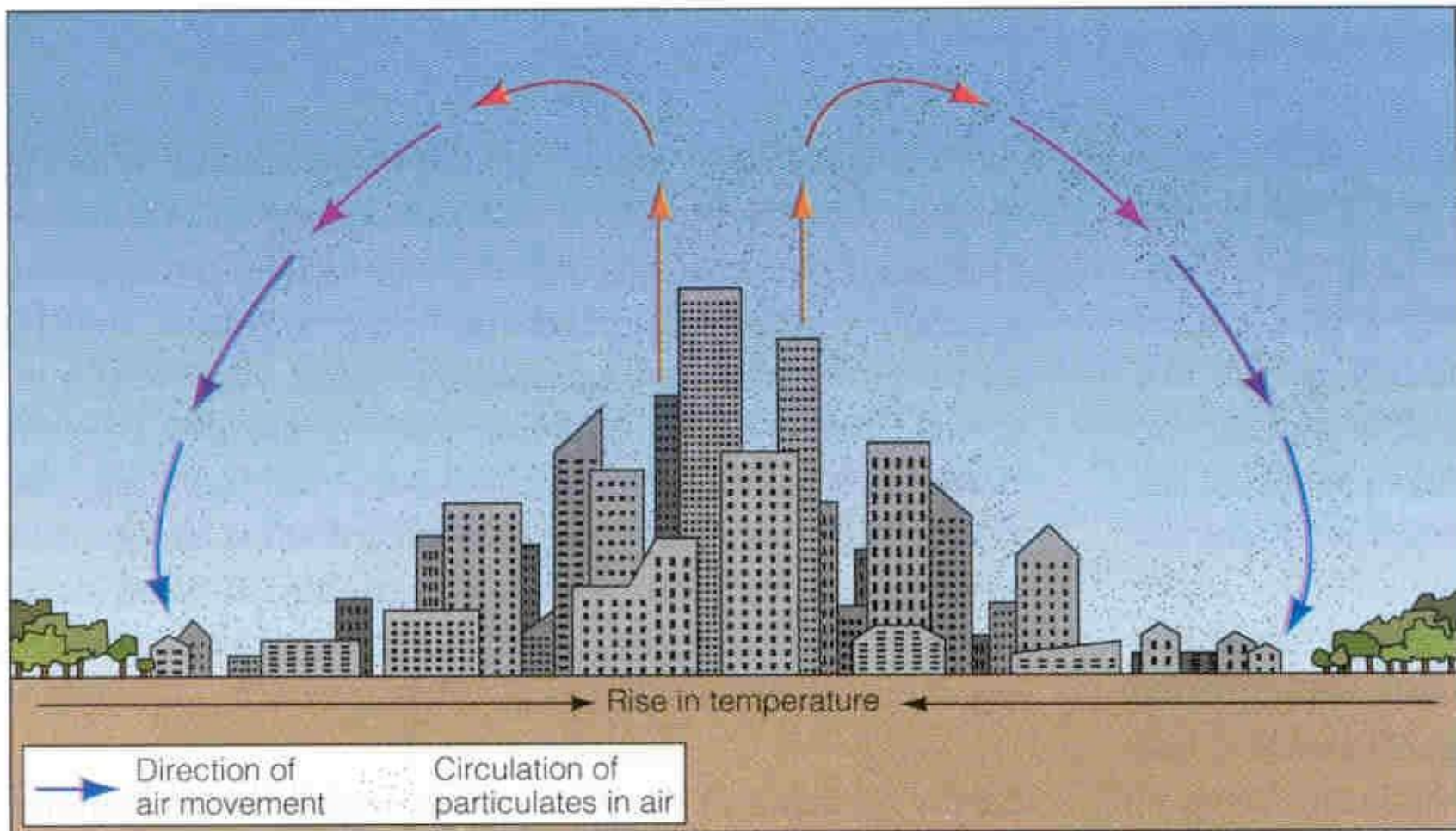


Klouzavý 11-letý průměr teplot severní hemisféry vyjádřený jako odchylka od průměru teplot v letech 1951-1970 (silnější linie). Sluneční magnetický cyklus je vyznačen slabší linií.



Povrchové teploty Sargasového moře, končící v roce 1975, jak byly určeny z izotopického složení zbytků mořských organismů na dně moře. Horizontální linie je průměrná globální teplota pro toto období dlouhé 3 000 let. Malá doba ledová a středověké klimatické optimum se vyskytovaly naprosto přirozeně a představovaly odchylku klimatu po dlouhou dobu.

Lokální vlivy – tepelné ostrovy



Lokální vlivy



Vápence, Guanxi, Čína



Válka v Perském zálivu (1991)

Proč klesá oxid uhličitý v atmosféře

Oxid uhličitý

Na planetární pozadové stanici při observatoři Mauna Loa došlo v roce 1993 k naprosto bezprecedentnímu poklesu oxidu uhličitého. Výsledky měření natolik překvapily vědce, že v červnu bylo do Colorada svoláno symposium, které konstatovalo, že během roku zmizela z atmosféry miliarda tun uhlíku. Badatelé mají z celého jevu nepříjemný pocit a dohodli se na jednom z možných řešení a to je **vyčkat**, protože matka příroda si bez ohledu na vědecký pokrok dělá co chce a ještě se baví na náš účet.

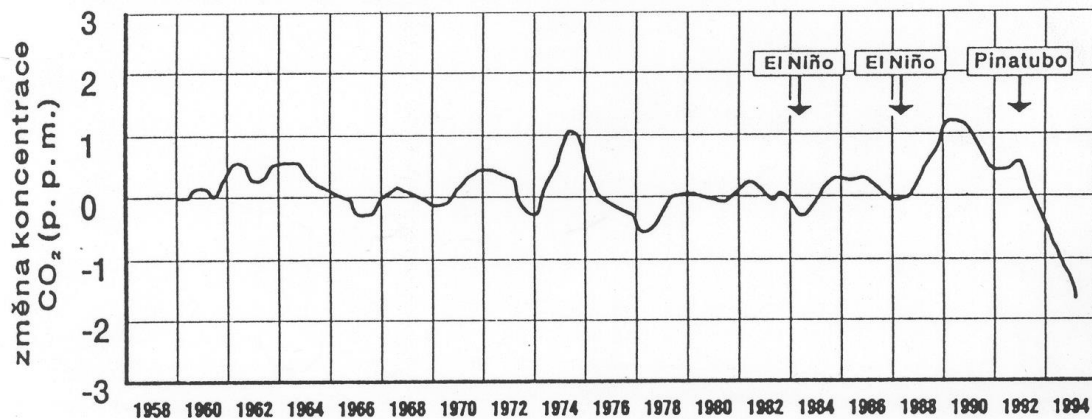
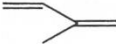
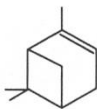
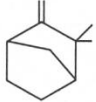
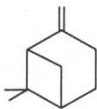
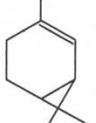
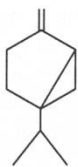
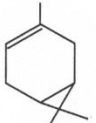
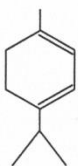
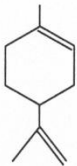
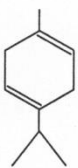
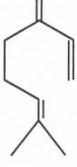
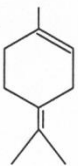

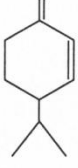
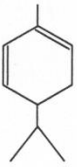
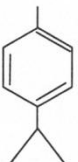


TABLE 2.12 Organic Compounds Emitted by Vegetation^a

Isoprene		α -Pinene	
Camphene		β -Pinene	
2-Carene		Sabinene	
Δ^3 -Carene		α -Terpinene	
<i>d</i> -Limonene		γ -Terpinene	
Myrcene		Terpinolene	
Ocimene		β -Phellandrene	
α -Phellandrene		<i>p</i> -Cymene	

Organické látky emitované vegetací

VOCs strom – ilustrace metabolického potenciálu vegetace emitovat VOCs

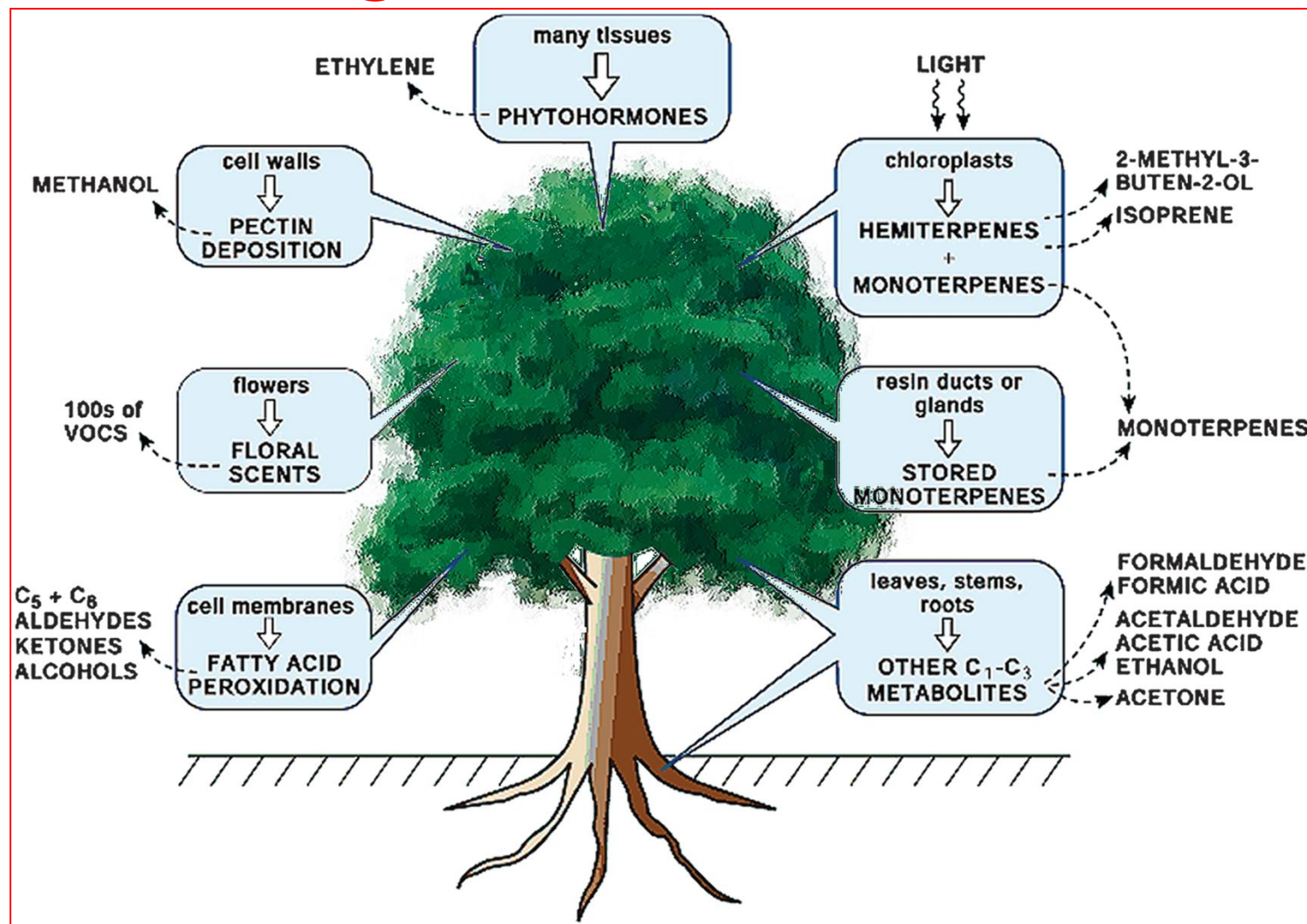


Schéma oxidace uhlovodíků

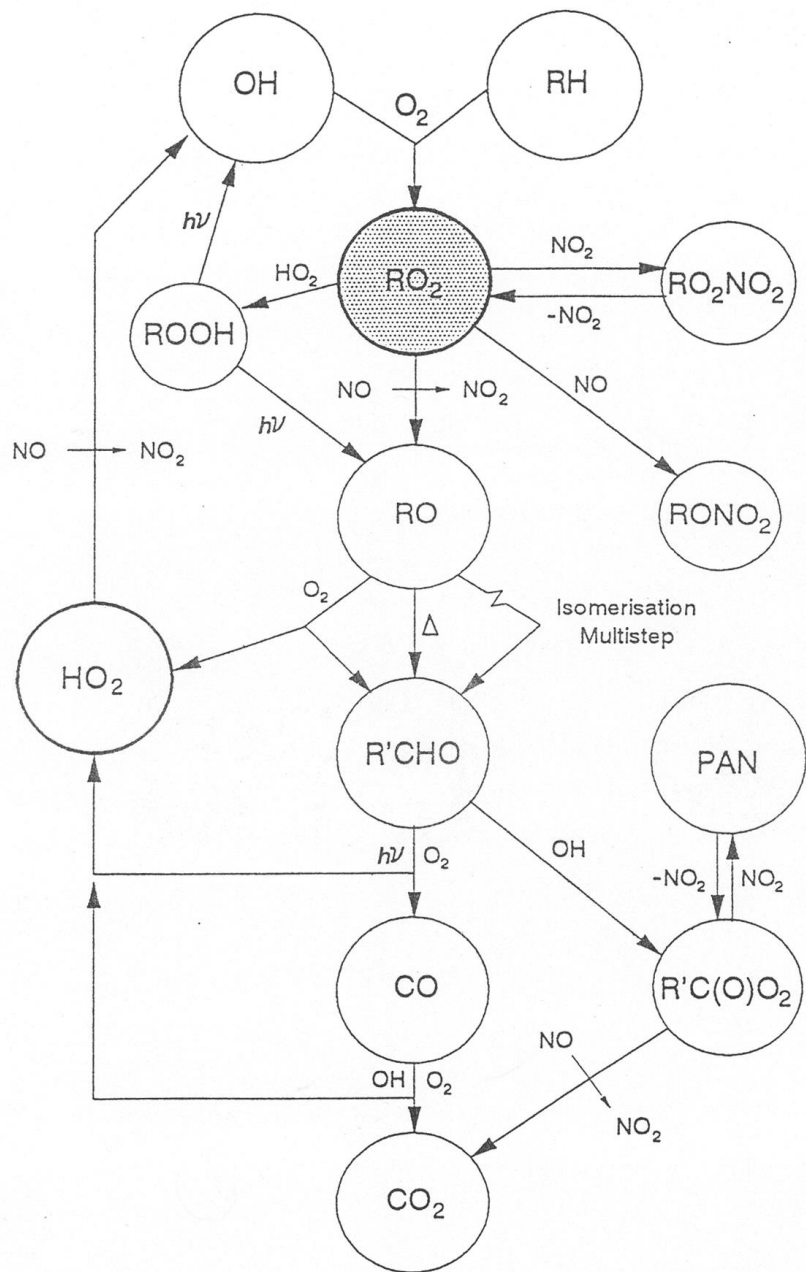
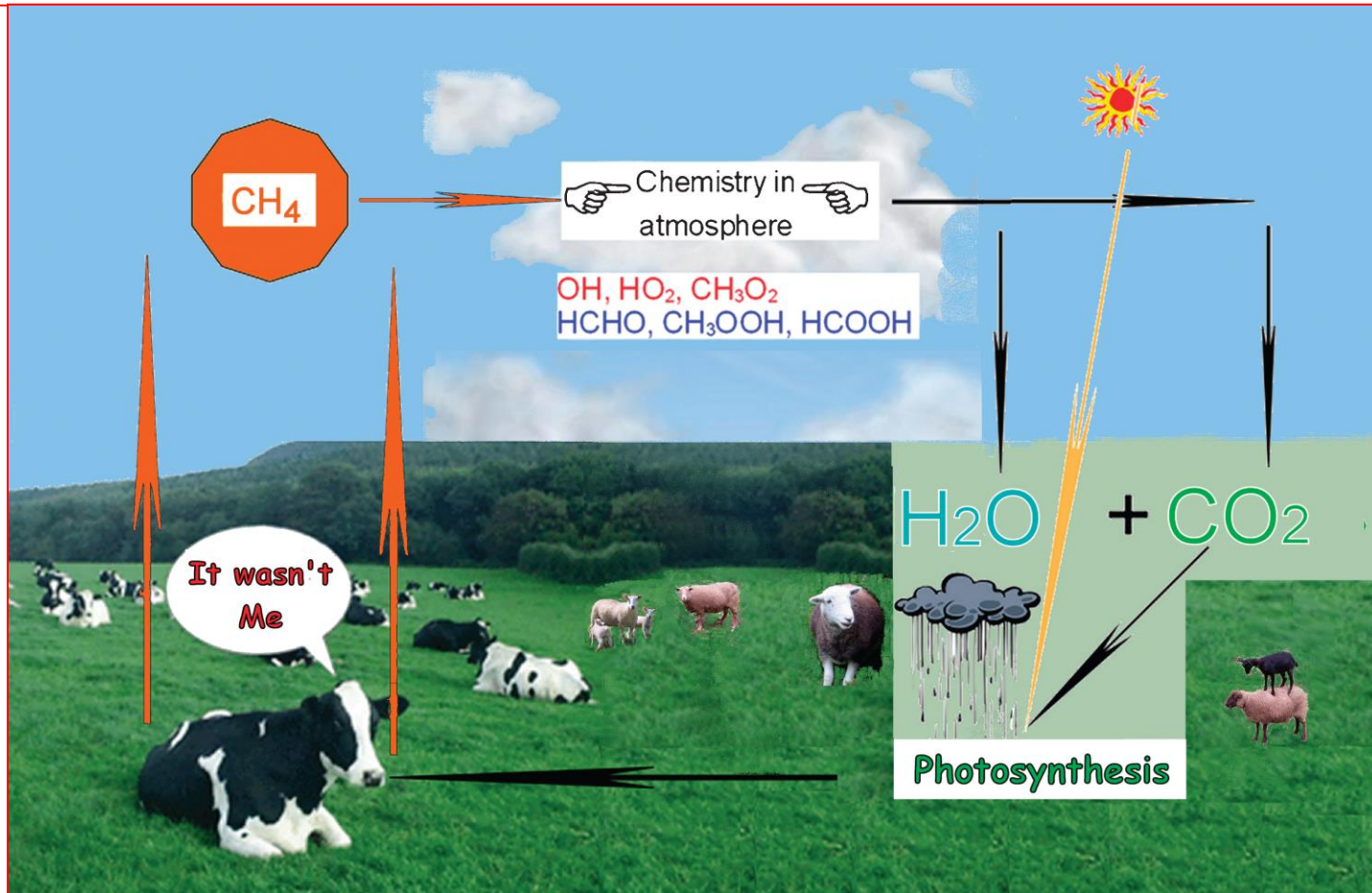


Figure I.1 Schematic illustration of hydrocarbon oxidation.

Oxidace methanu v atmosféře



Atmospheric chemistry exemplified by the oxidation of methane from a ruminant animal. Despite the cow's protestations to the contrary, it has released significant quantities of methane to the atmosphere. The methane was generated by enteric fermentation of grass in the cow's stomachs. Once in the atmosphere, the methane is oxidized in a sequence of steps in which free radicals figure as important intermediates, and the end products are CO₂ and H₂O. The H₂O becomes rain, and it and the CO₂ are converted by photosynthesis in the grass to carbohydrate. The cow eats the grass, the carbohydrate ferments, and so the cycle begins again.

Schéma oxidace uhlovodíků – příklad CH₄

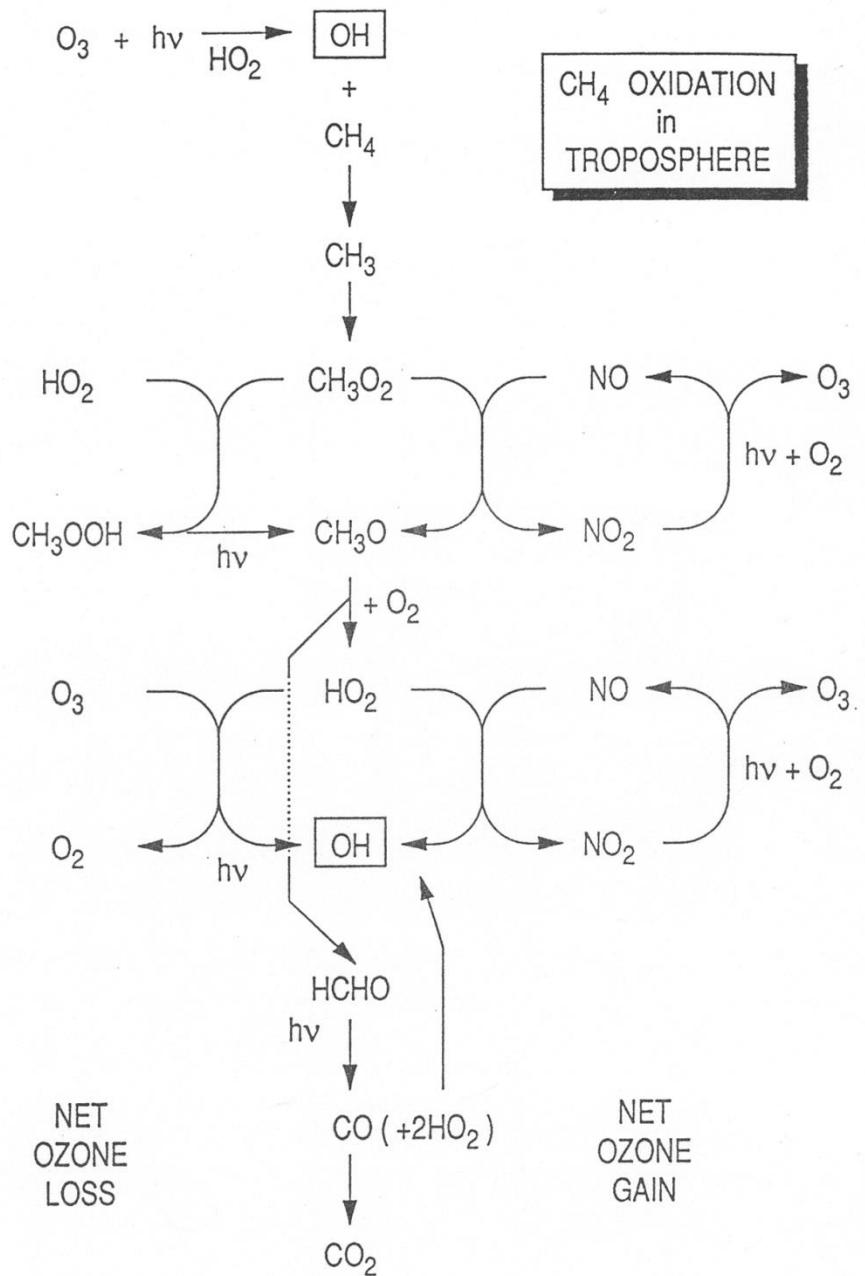


Figure. V.1. Simplified mechanism for oxidation of methane in the troposphere.

Schéma oxidace uhlovodíků – C₃ alkany, alkeny

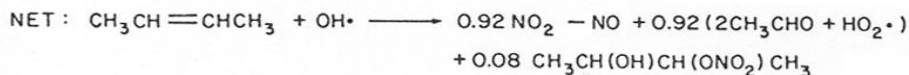
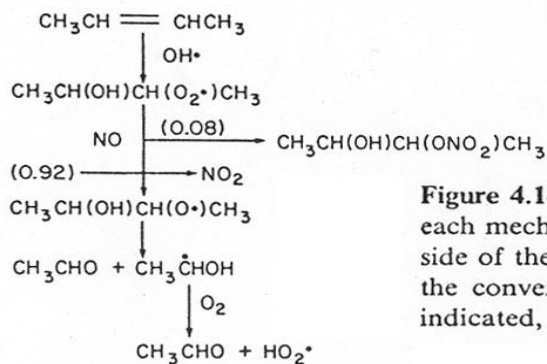
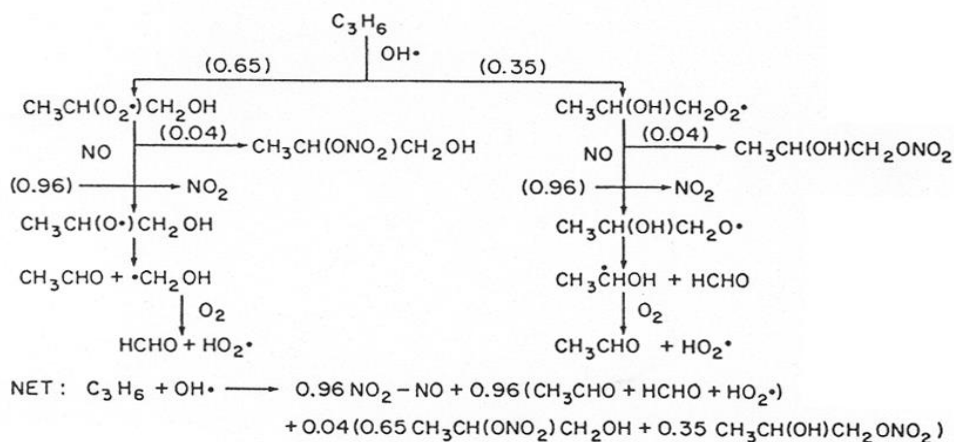
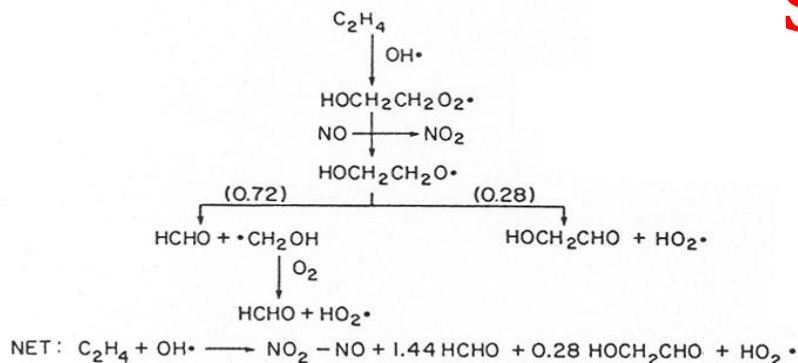


Figure 4.14. OH-reaction mechanisms for ethene, propene, and trans-2-butene. After each mechanism the net reaction is given. The presence of NO₂-NO on the right hand side of the arrow in the net reaction indicates that the OH-reaction is accompanied by the conversion of one molecule of NO to NO₂. If a fractional amount of NO₂ is indicated, the difference between that fraction and 1.0 is the quantity of nitrate formed.

Schéma oxidace uhlovodíků – n-butan

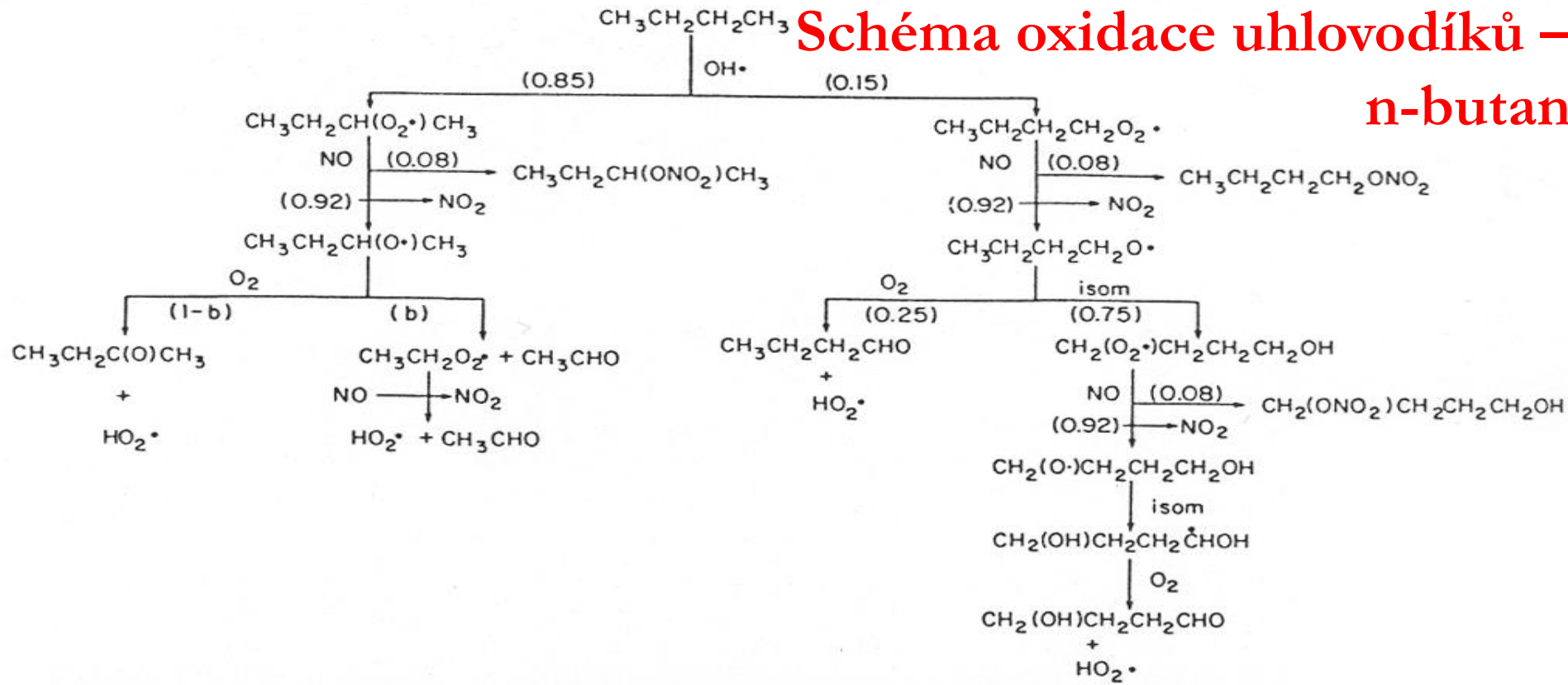


Figure 4.13. Atmospheric photooxidation mechanism for *n*-butane. The only significant reaction of *n*-butane is with the hydroxyl radical. It is estimated that 85 percent of that reaction involves H-atom abstraction from an internal carbon atom and 15 percent from a terminal carbon atom. In the terminal H-atom abstraction path, the $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}$ radical is estimated to react with O_2 25 percent of the time and isomerize 75 percent of the time. The second isomerization is estimated to be a factor of five faster than the first isomerization of the $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}$ radical, so that competition with O_2 reaction is not considered at this step. The predominant fate of α -hydroxy radicals is reaction with O_2 . For example, $\cdot\text{CH}_2\text{OH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HCHO} + \text{HO}_2\cdot$, and $\text{CH}_3\dot{\text{C}}\text{HOH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO} + \text{HO}_2\cdot$. In the *n*-butane mechanism, the α -hydroxy radical, $\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_2\dot{\text{C}}\text{HOH}$, reacts rapidly with O_2 to form 4-hydroxybutanal, $\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHO}$.

Schéma oxidace uhlovodíků – toluen

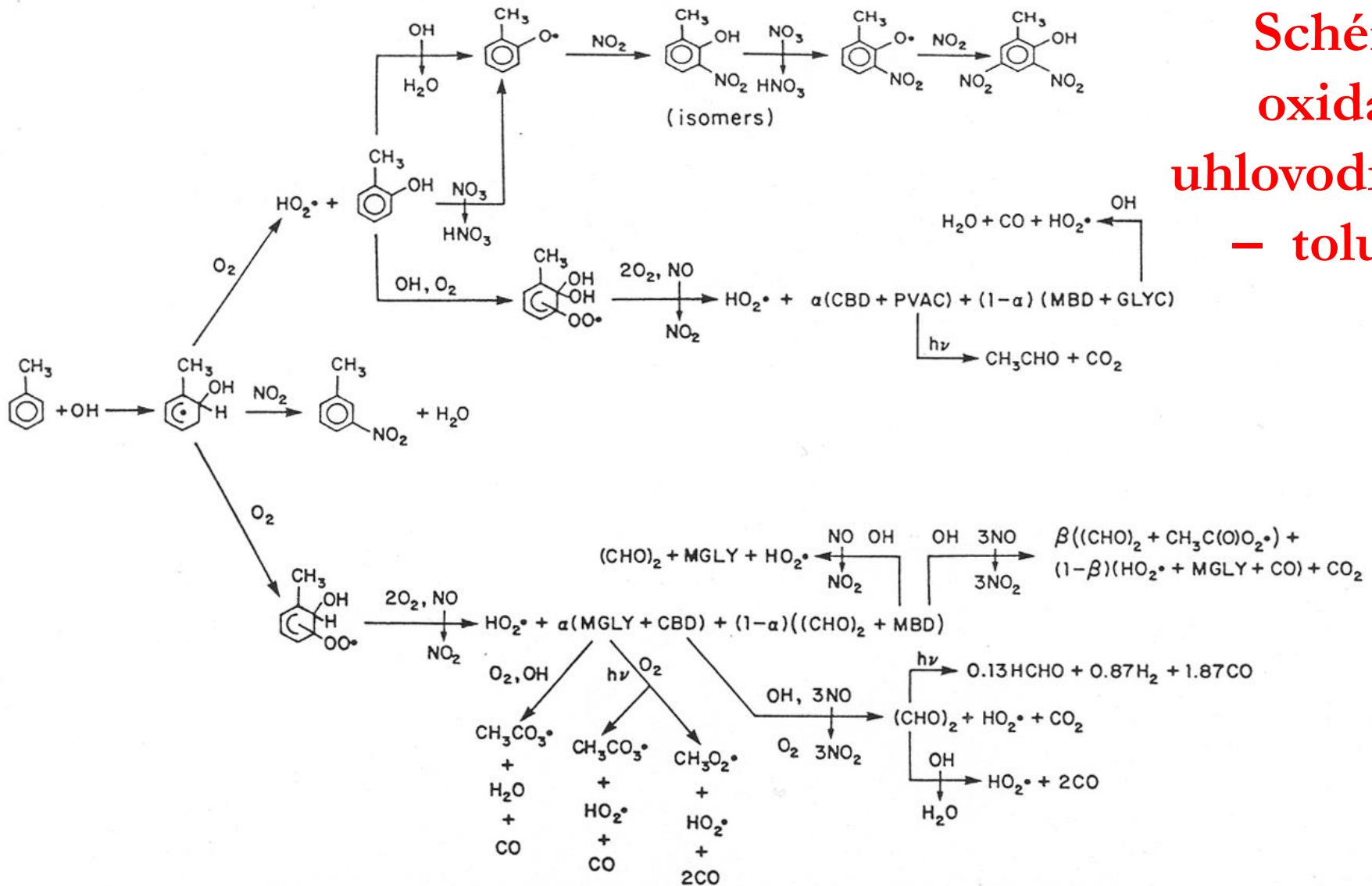


Figure 4.16. Possible mechanism for the toluene-OH addition pathway (Leone and Seinfeld, 1984).

GLYC = glyoxylic acid

MBD = 2-pentene-1,4-dial

CH₃C(O)COOH

CH₃C(O)CH=CHCHO

MGLY = methyl glyoxal

PVAC = pyruvic acid

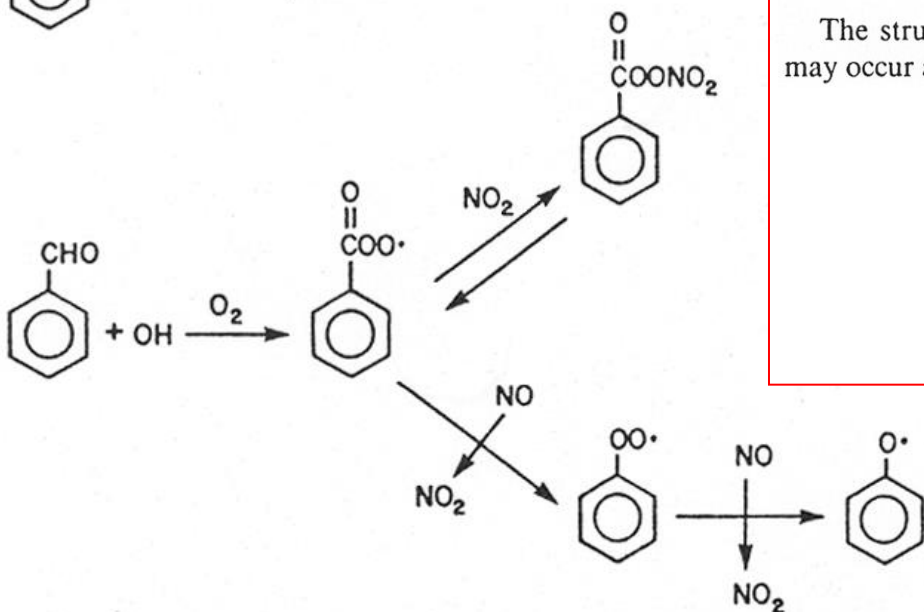
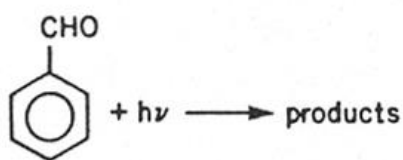
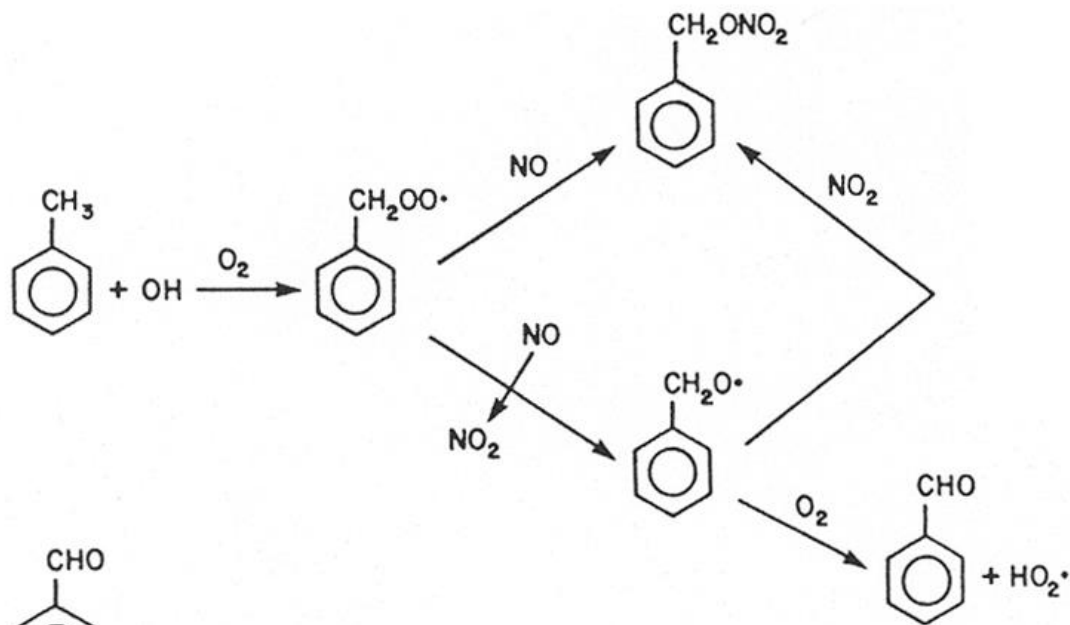
CHOCH=CHCHO

CH₃C(O)CHO

CBD = cis-2-butene-1,4-dial

CHOCOOH

Schéma oxidace uhlovodíků – toluen



The structure of the peroxy radical formed is not known. Addition of O₂ may occur at the 1-, 3-, or 5-position,

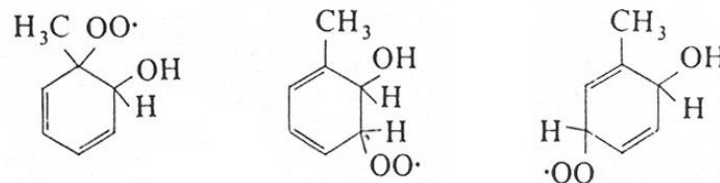
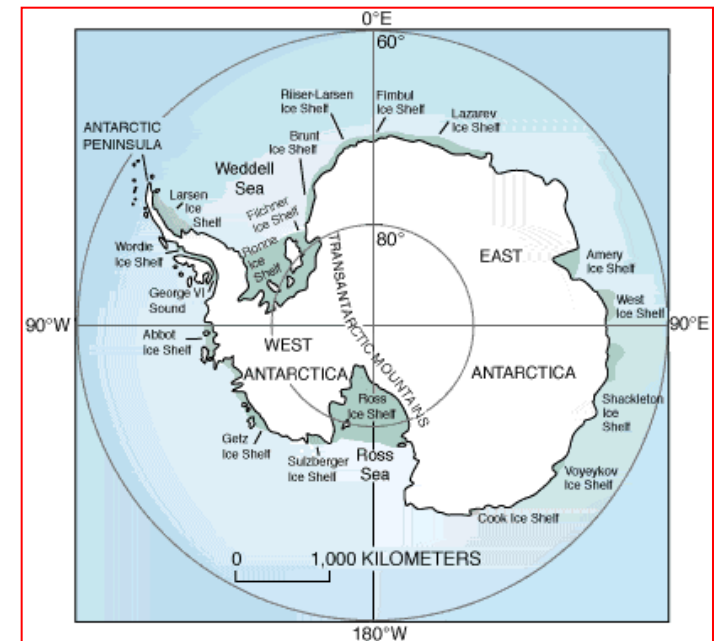
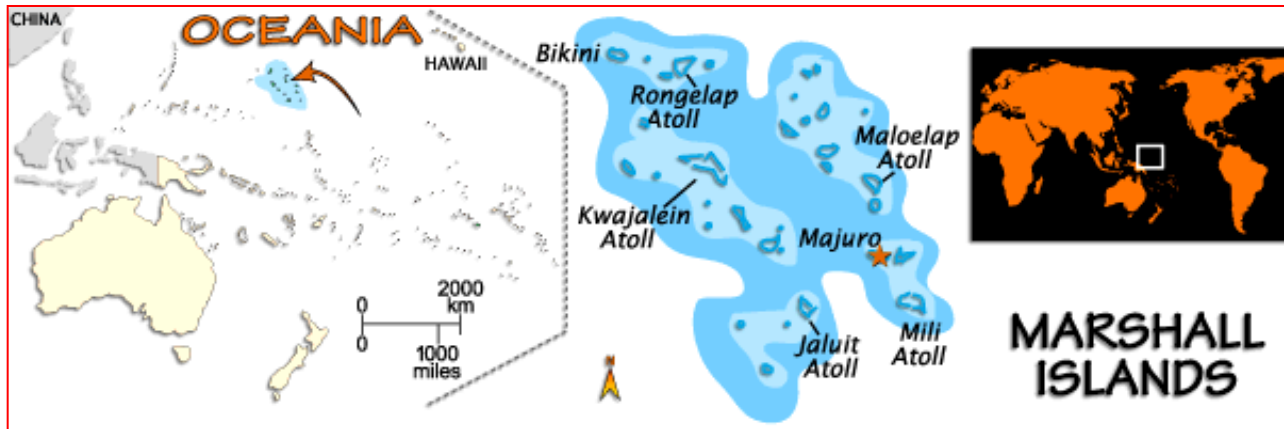
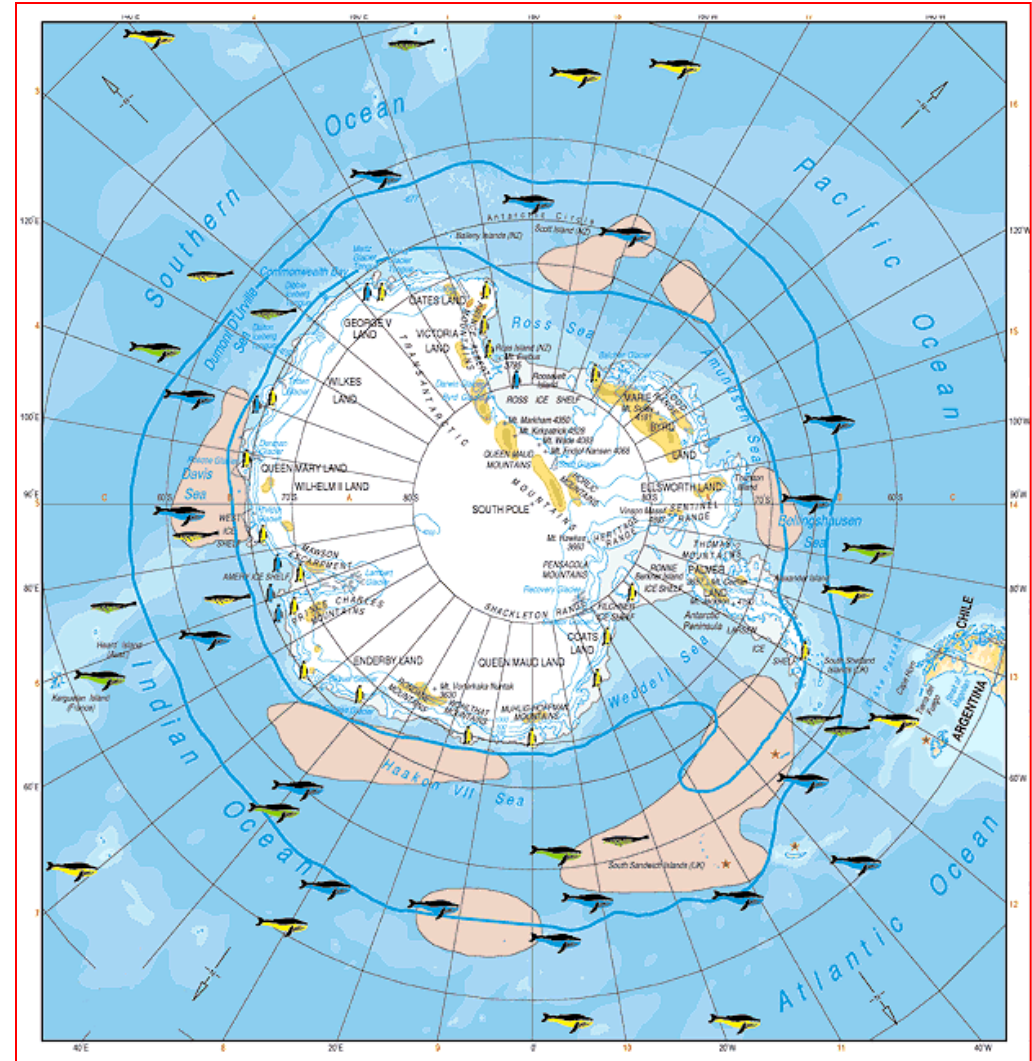


Figure 4.15. Toluene-OH abstraction pathway reaction mechanism.

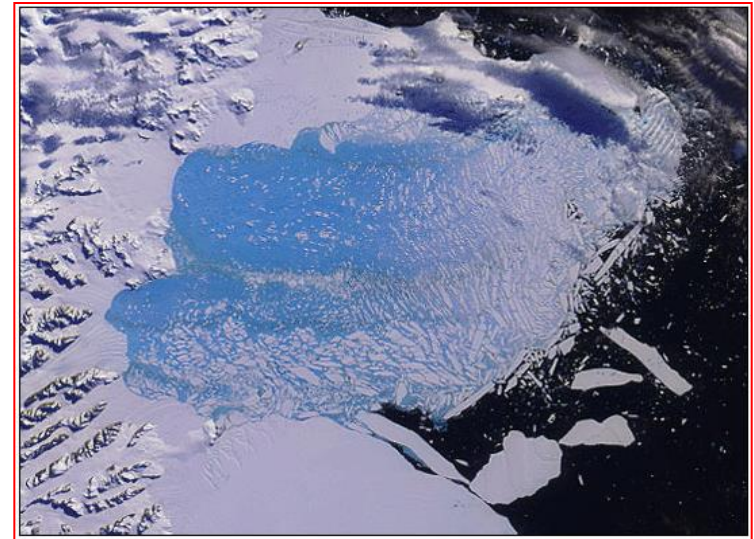
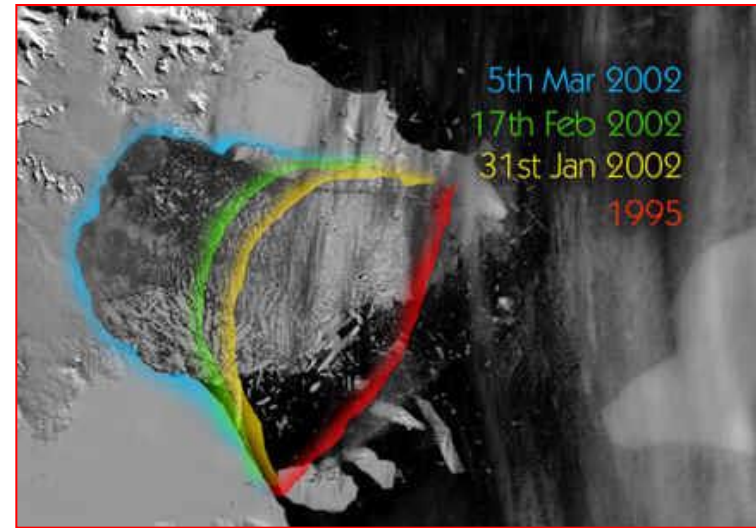
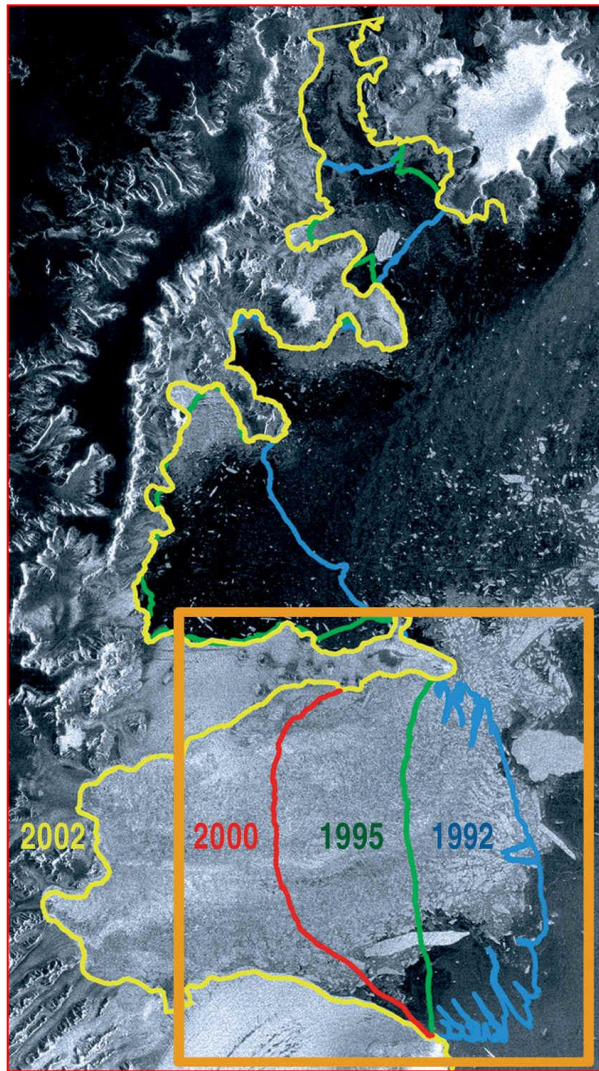
Možné dopady skleníkového efektu



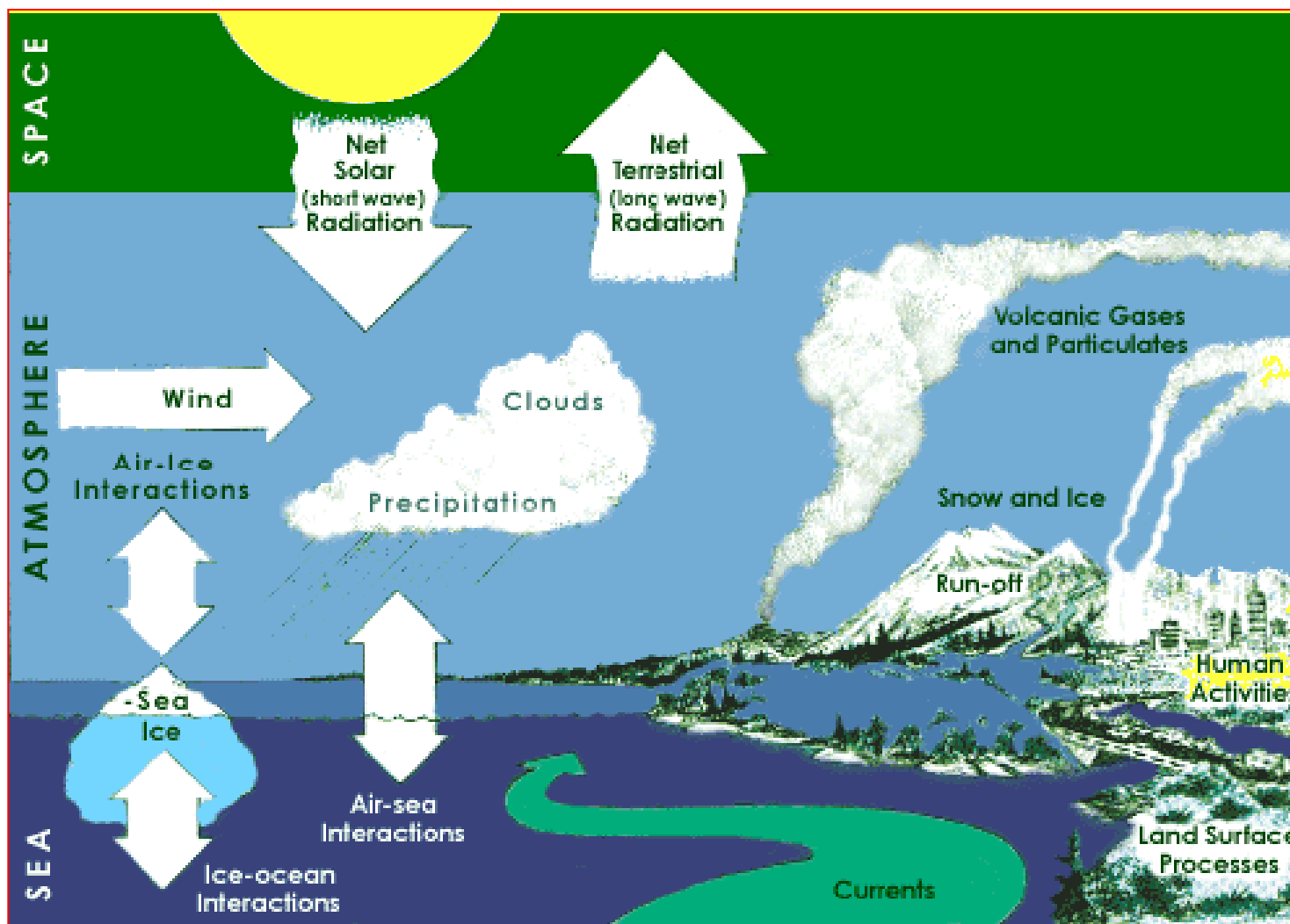
Možné dopady skleníkového efektu



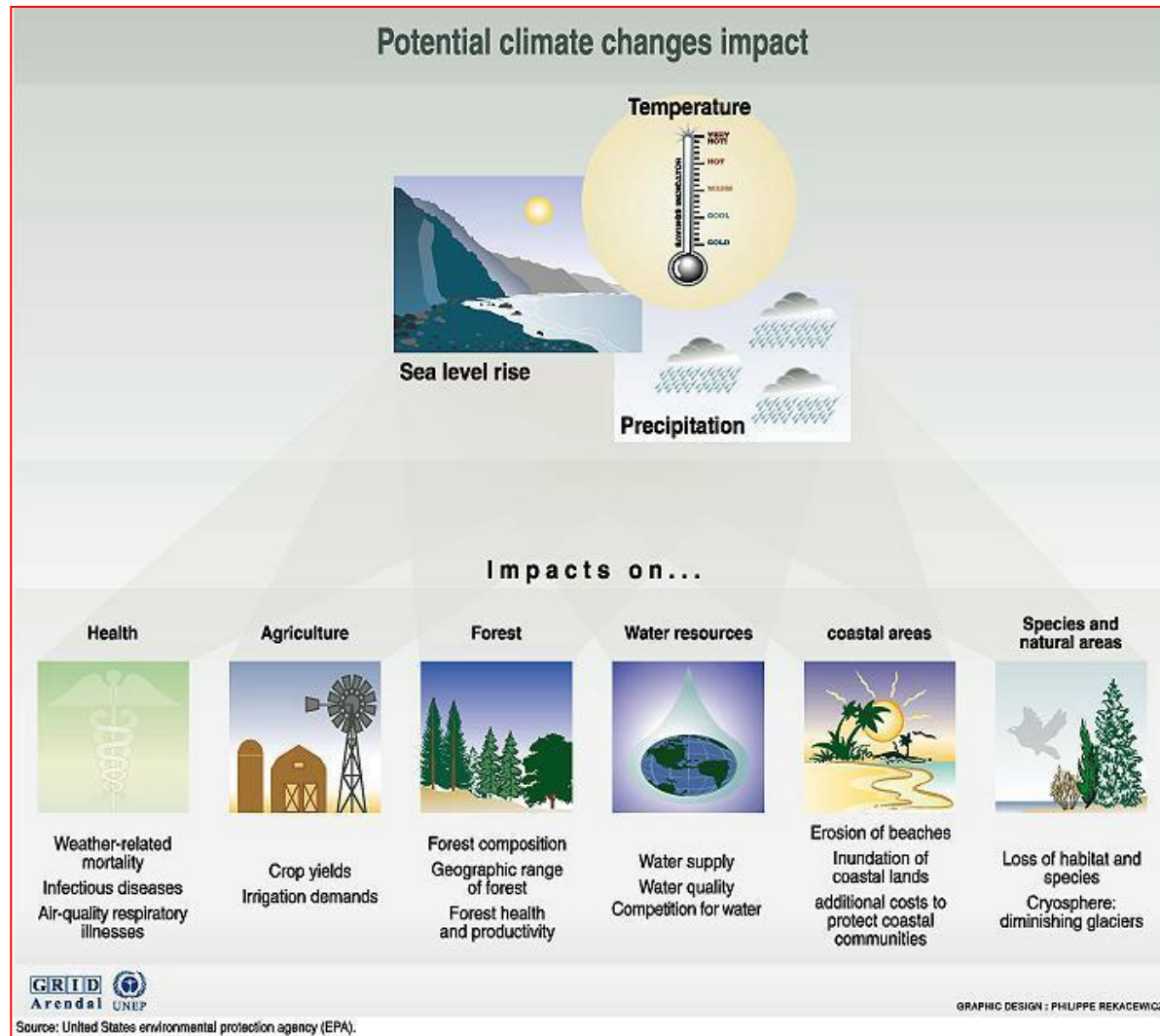
Možné dopady skleníkového efektu



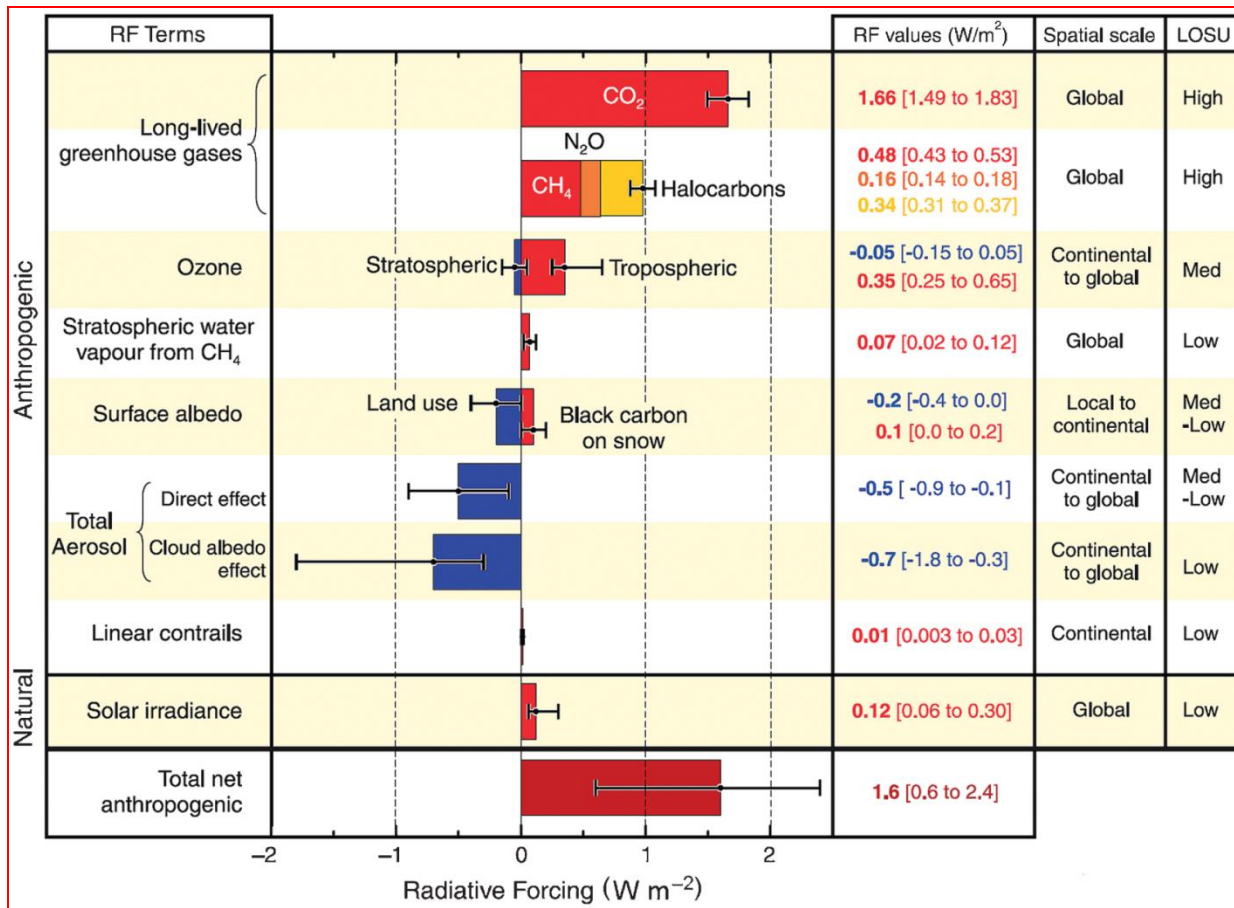
Klimatické změny – hlavní složky klimatického systému



Možné dopady klimatických zmien

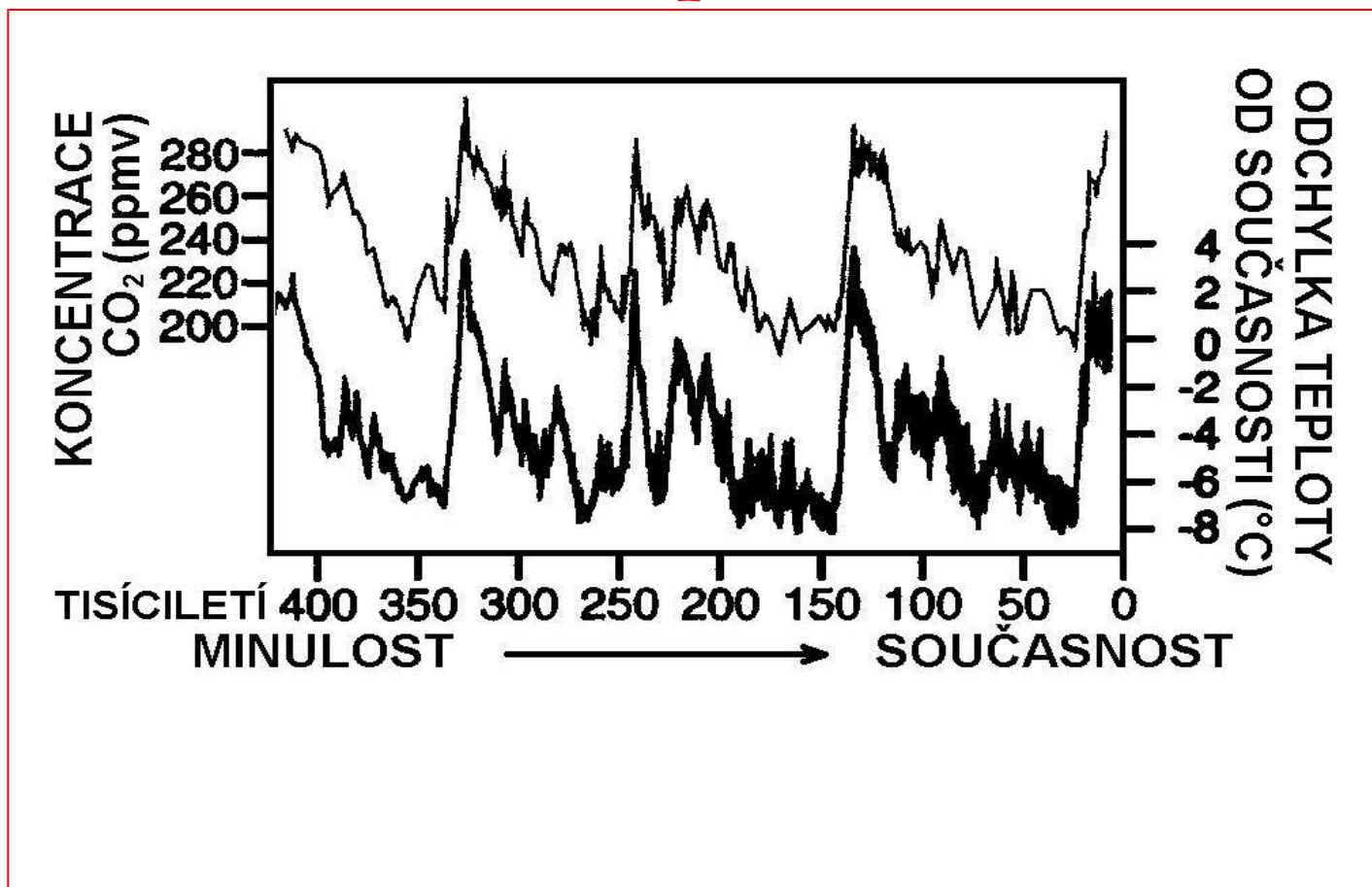


Global average radiative forcing (RF)



Global average radiative forcing (RF) in 2005 (best estimates and 5–95 per cent uncertainty ranges) with respect to 1750 for CO₂, CH₄, N₂O and other important agents and mechanisms, together with the typical geographical extent (spatial scale) of the forcing and the assessed level of scientific understanding (LOSU). Aerosols from explosive volcanic eruptions contribute an additional episodic cooling term for a few years following an eruption. The range for linear contrails does not include other possible effects of aviation on cloudiness.

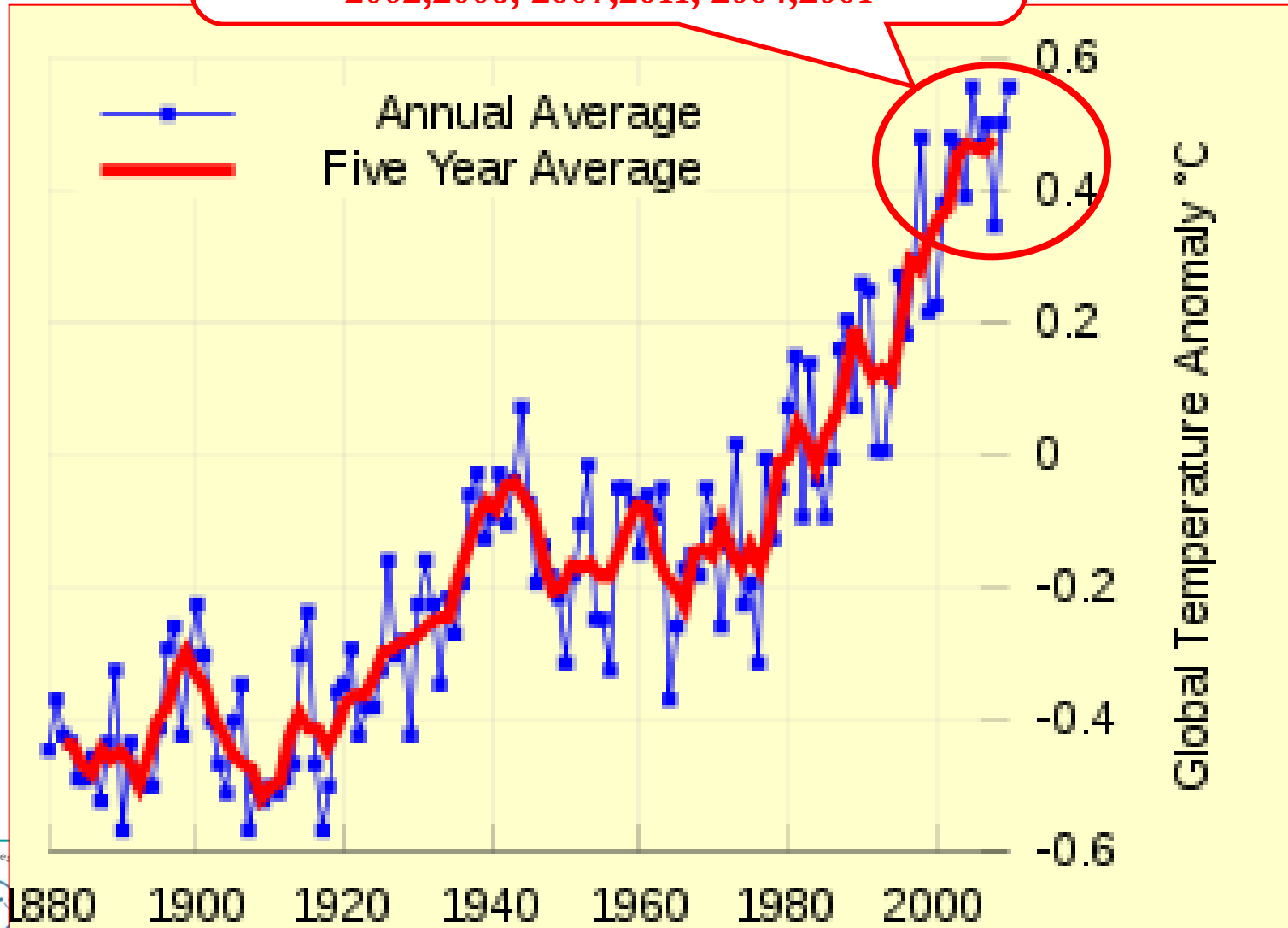
Korelace obsahu CO₂ v atmosféře a průměrných teplot



Změny koncentrace CO₂ a teploty stanovené z ledovcového vrtu na stanici Vostok v Antarktidě

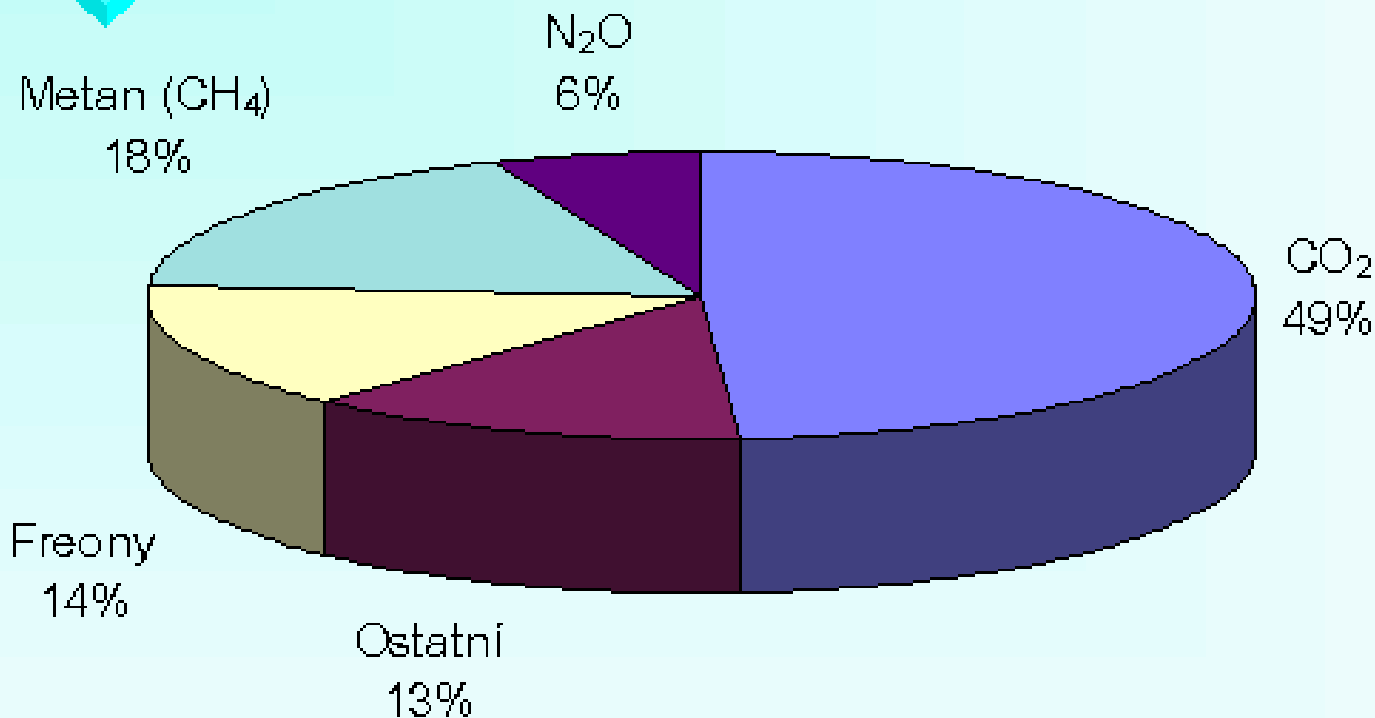
Vývoj průměrných teplot za posledních 150 let

Nejteplejších 11 let:
2005,2010,1998,2009,2003,
2002,2006, 2007,2011, 2004,2001



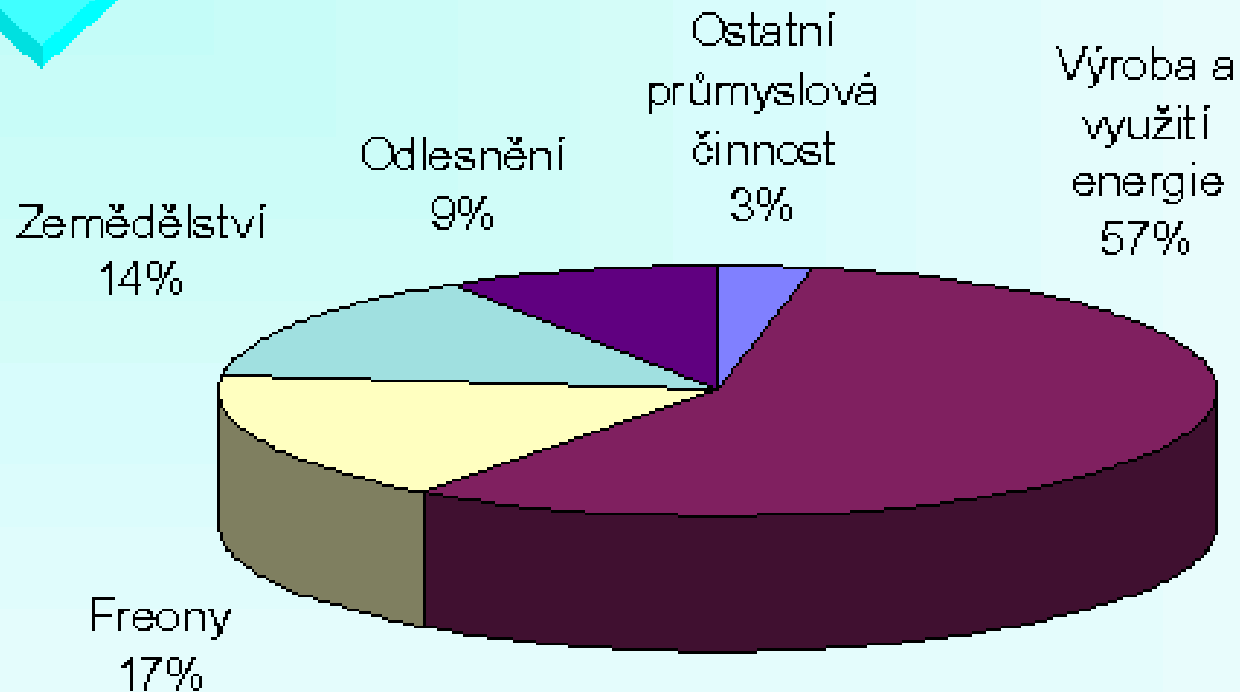
Relativní vliv antropogenních skleníkových plynů

Podíl plynů na globálním oteplování

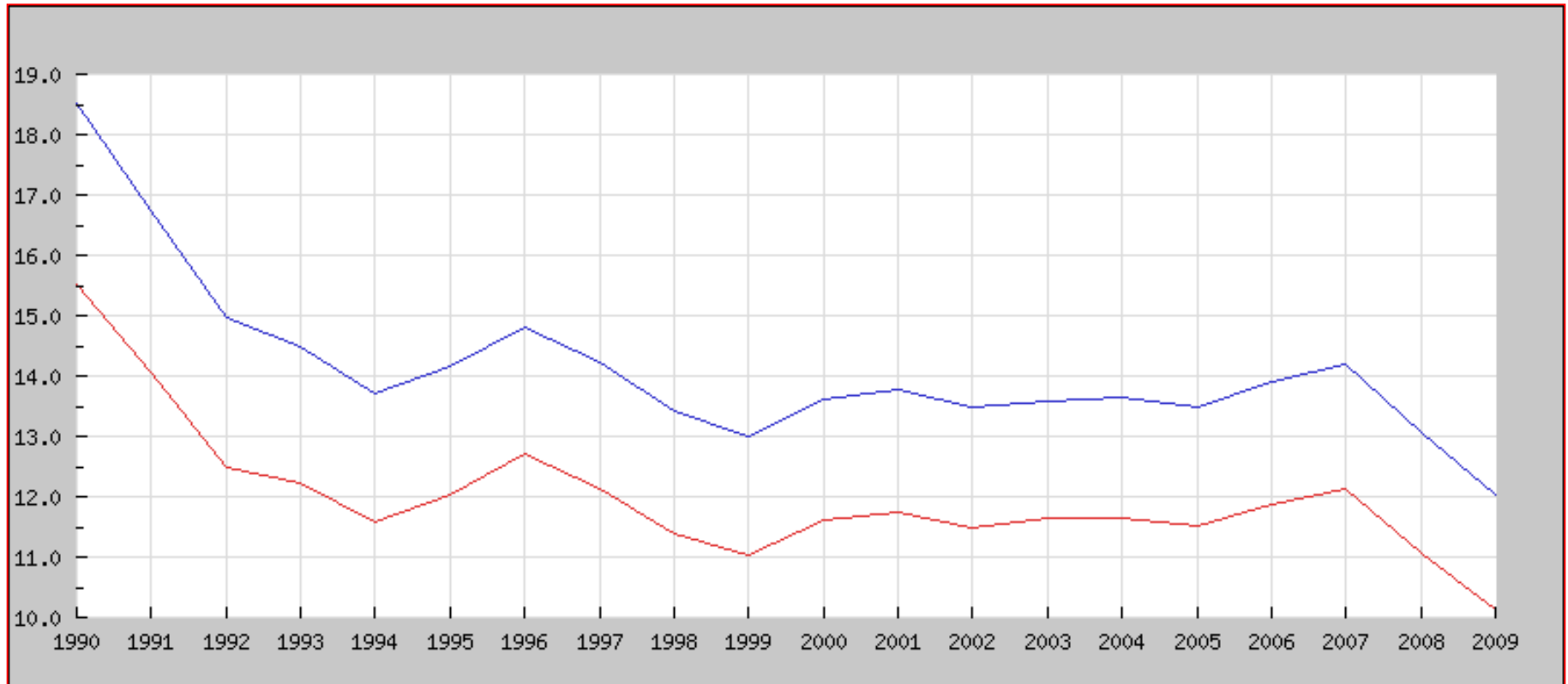


Relativní emise z různých druhů činností

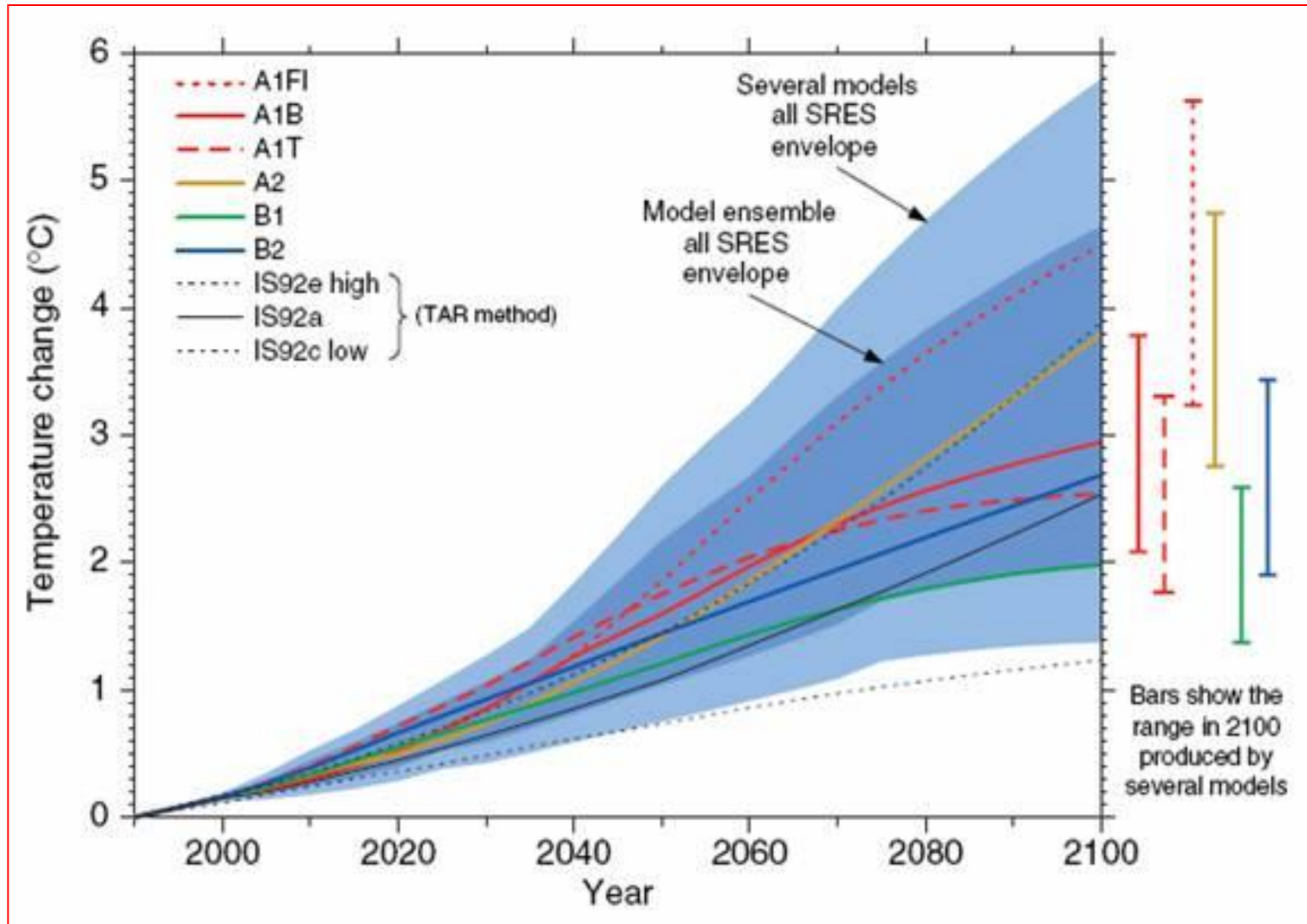
Podíl činností na globálním oteplování



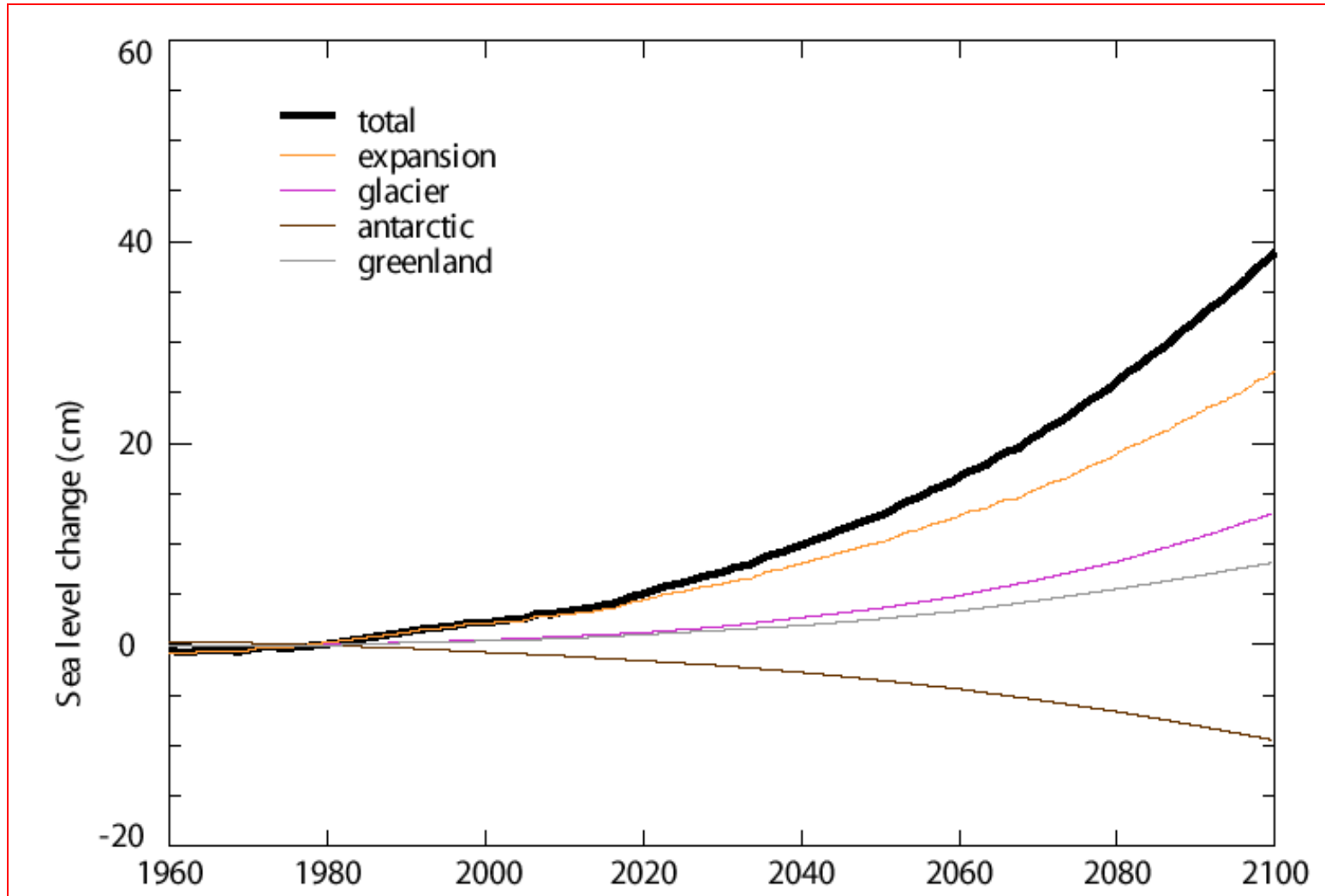
Skleníkové plyny v ČR (celkové a pouze CO₂)



Vývoj růstu průměrných teplot



Vývoj hladiny oceánů (spodní odhad)



Předpovědi klimatických modelů

- ↪ klimatické změny způsobí více srážek v tropech, méně v subtropích, střídání prudkých bouří se zničujícím suchem
- ↪ obří kusy ledovců roztáté zvýšenou teplotou by mohly vytvořit vrstvu chladné vody a ochromit nebo zeslabit proudění např. Golského proudu (možné je paradoxní snížení teploty v Evropě)
- ↪ šíření teplomilných rostlinných a živočišných druhů (v posledních letech na našem území pozorovány kudlanka, vlha, šakal, je možné očekávat mizení chladnomilných rostlin - např. smrk)
- ↪ *Afrika - šíření pouští, eroze v pobřežních oblastech, neúroda, šíření tropických chorob*
- ↪ *Asie - pohyb lidí od zaplavených pobřeží, severní oblasti kontinentu vlhčí podnebí - vyšší výnosy*
- ↪ *jižní a střední Asie - sucha, šířící se choroby, povodně, vedra, lesní požáry, cyklony*
- ↪ *Austrálie - rozšíření pouští, cyklony, nárazové záplavy*
- ↪ *Evropa - jižní Evropa - sucha a vedra, severní Evropa - tání tundry, střední Evropa - záplavy a letní vedra*
- ↪ *Amerika - sucha, záplavy, cyklony*

Reakce světového společenství

- ↪ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 3 zprávy o vývoji klimatu
- ↪ Kjótský protokol (do r. 2012), nejasné pokračování → omezení emisí oxidu uhličitého a pěti dalších skleníkových plynů
- ↪ Strategie pro útlum globálního oteplení zahrnují vývoj nových technologií, využití solární a větrné energie a dalších obnovitelných zdrojů, jaderné energie, palivových článků, úspor energie, uhlíkových daní a sekvestraci uhlíku (ukládání CO₂ v geologických formacích)

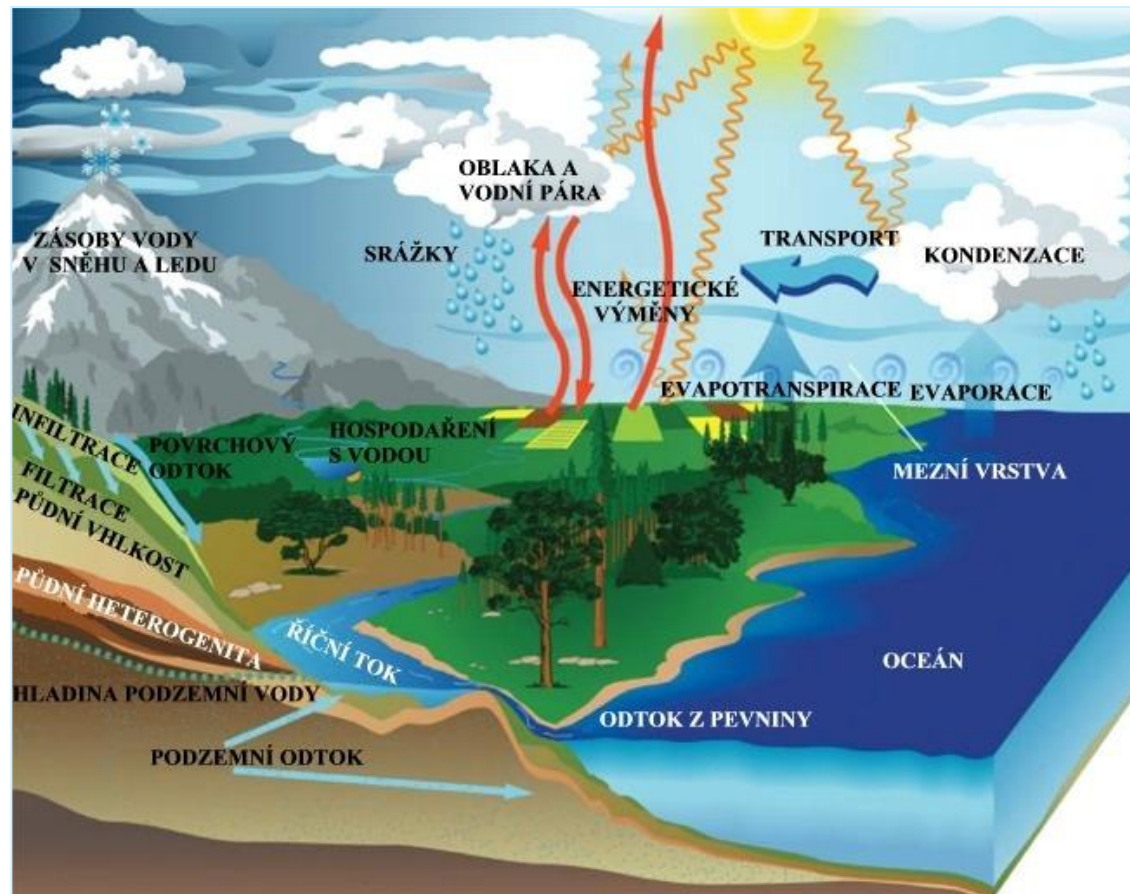
Klimatická změna - fakta a mýty



RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Klimatický systém a jeho změny

- složitý fyzikální systém
 - atmosféra
 - oceán
 - kryosféra
 - litosféra
 - biosféra
- změny ve složkách
- vazby mezi složkami
- zpětné vazby



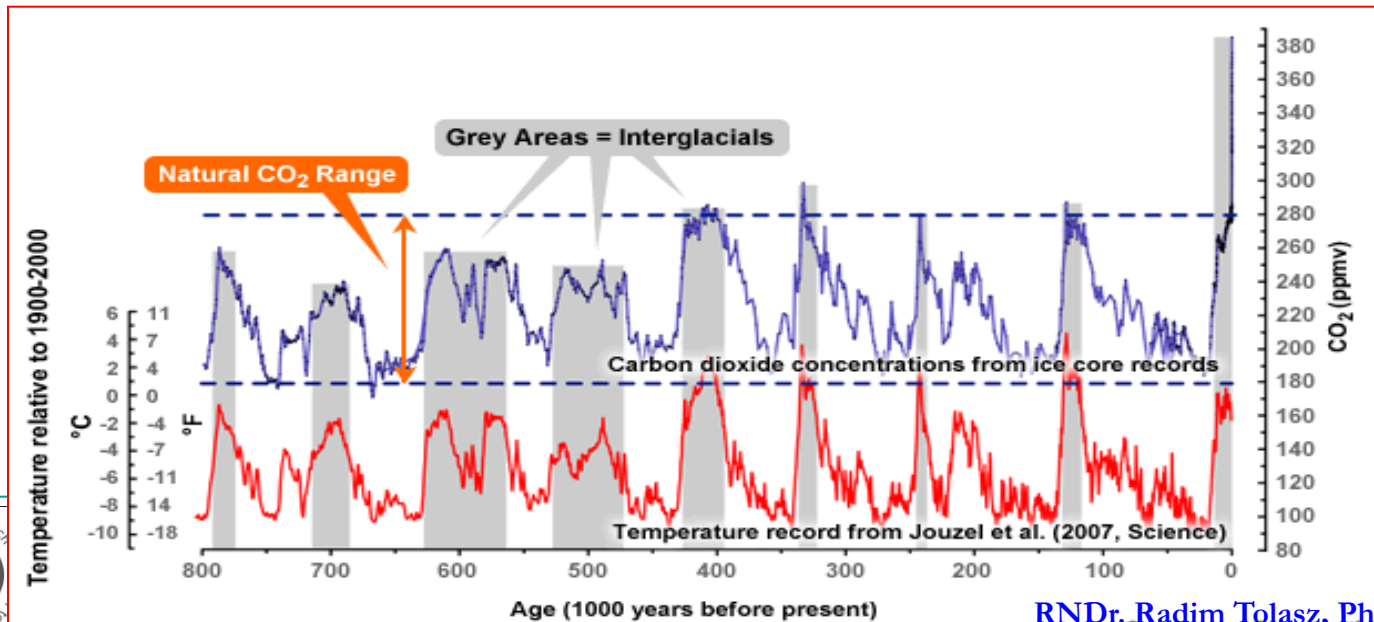
POČASÍ = okamžitý stav atmosféry

KLIMA = charakteristické (průměrné) počasí

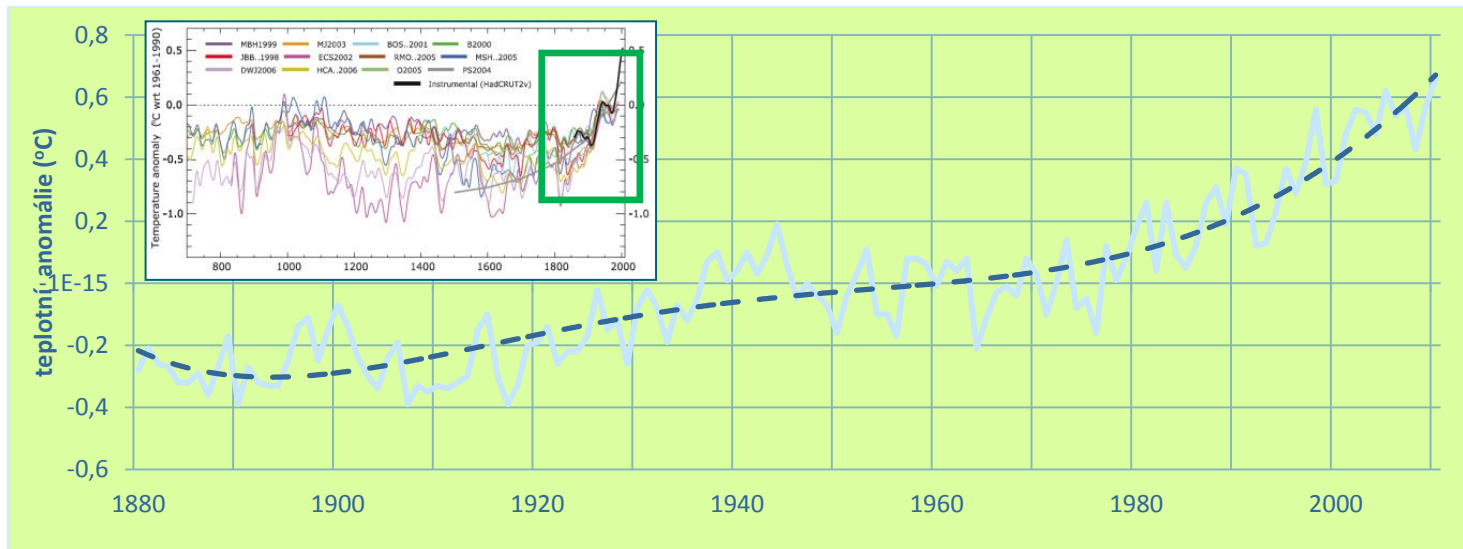
Teplota – hlavní indikátor změn

Historické klima

- střídání glaciálů a interglaciálů
- glaciál » 100 tisíc let, interglaciál » 20 tisíc let
 - *glaciály*: pomalý nástup, kulminace ke konci, teplota o 5-6 °C nižší než dnes
 - *interglaciály*: kratší než glaciály, teplota o 2-5 °C vyšší než dnes
- paleoklimatická proxy data (ledovcové vrty, izotopy kyslíku, uhlíku, dendrologická data, pyly, prach...)



Klima posledního tisíciletí



NOAA
(2011)

2010

2005

1998

2003

2002

2009

2006

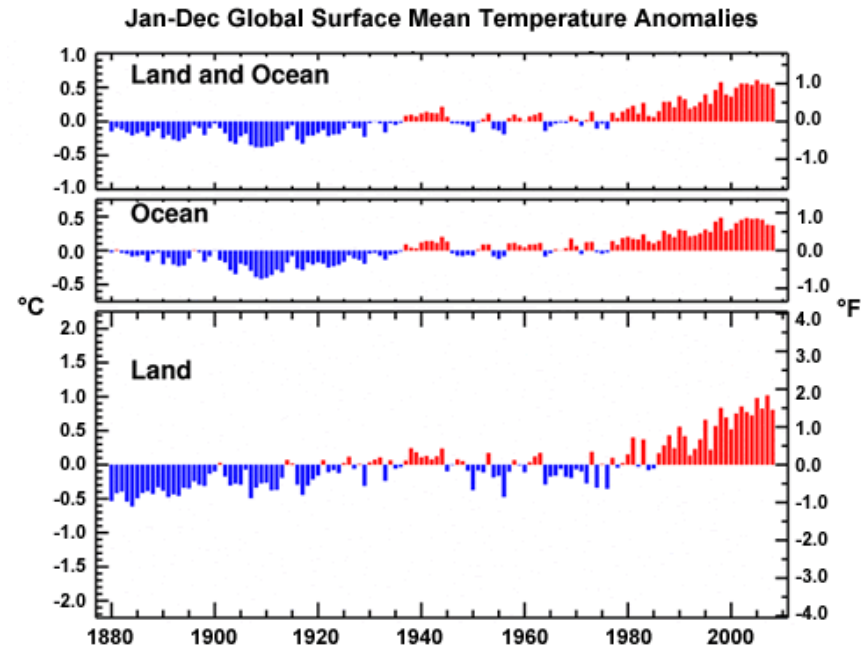
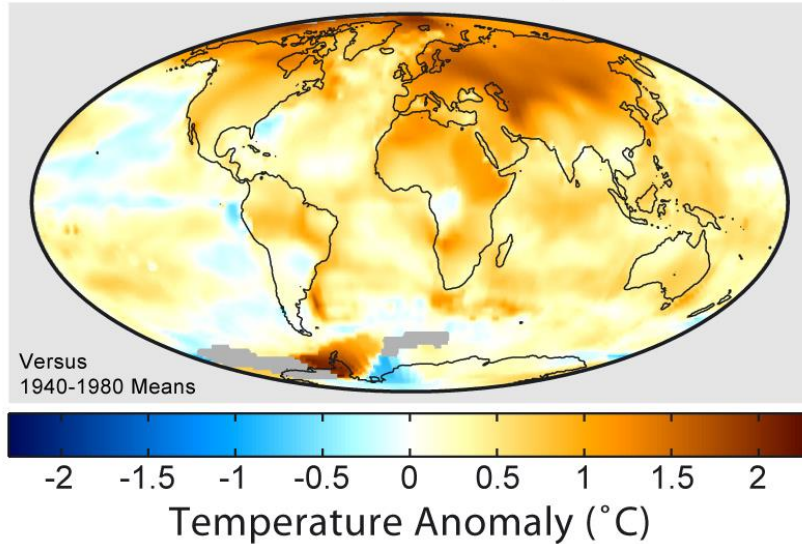
2007

- **relativně stabilní**
 - 9. – 14. stol. teplejší
 - 16. – 19. stol. chladnější
- **20. století teplejší**
 - 40. - 60. léta chladnější
 - výrazný nárůst teploty od 80. let
- **21. století - ???**

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Změny teploty nejsou globálně homogenní

1999-2008 Mean Temperatures



NCDC / NESDIS / NOAA

příklad 2010	pevnina	oceán
globálně	0,96	0,49
S - polokoule	1,08	0,51
J - polokoule	0,65	0,49

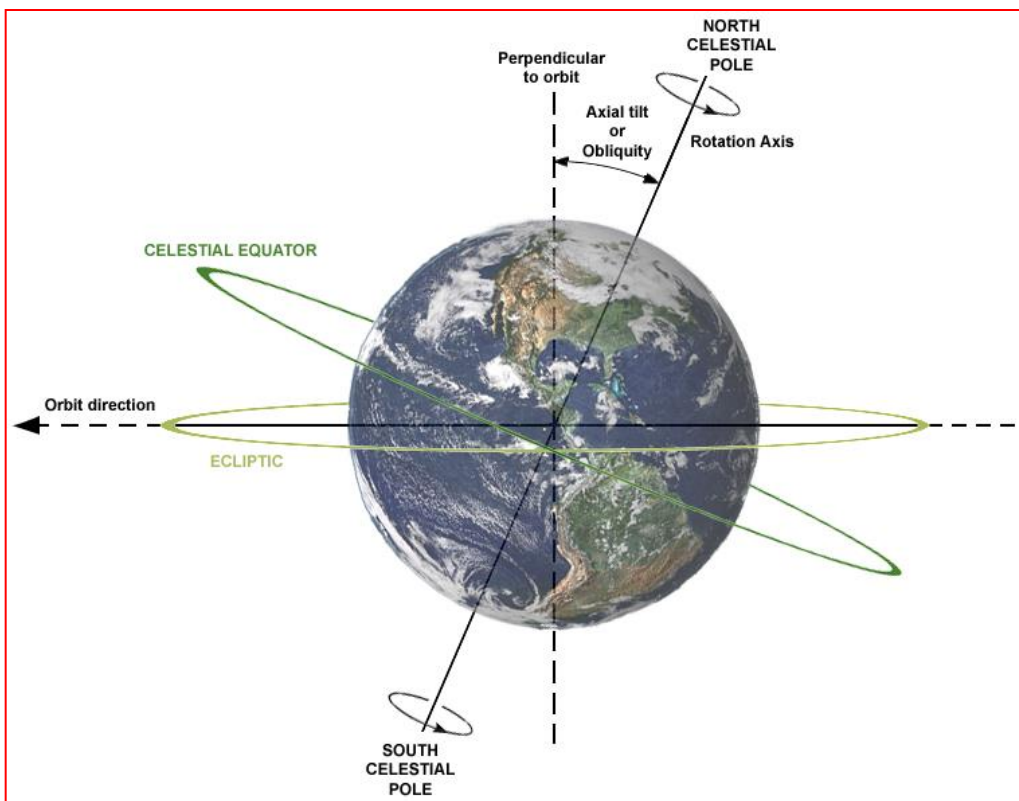
RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Příčiny změn a jejich projevů

- **extraterestrické**
 - orbitální změny
 - sluneční činnost a její změny
- **terestrické**
 - změny parametrů zemského povrchu a parametrů oceánů (*vč. změn fyzikálních a chemických vlastností, změn proudění, atd.*)
 - vulkanická činnost
- **antropogenní**
 - emise skleníkových plynů
 - působení člověka na složky systému

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Orbitální změny

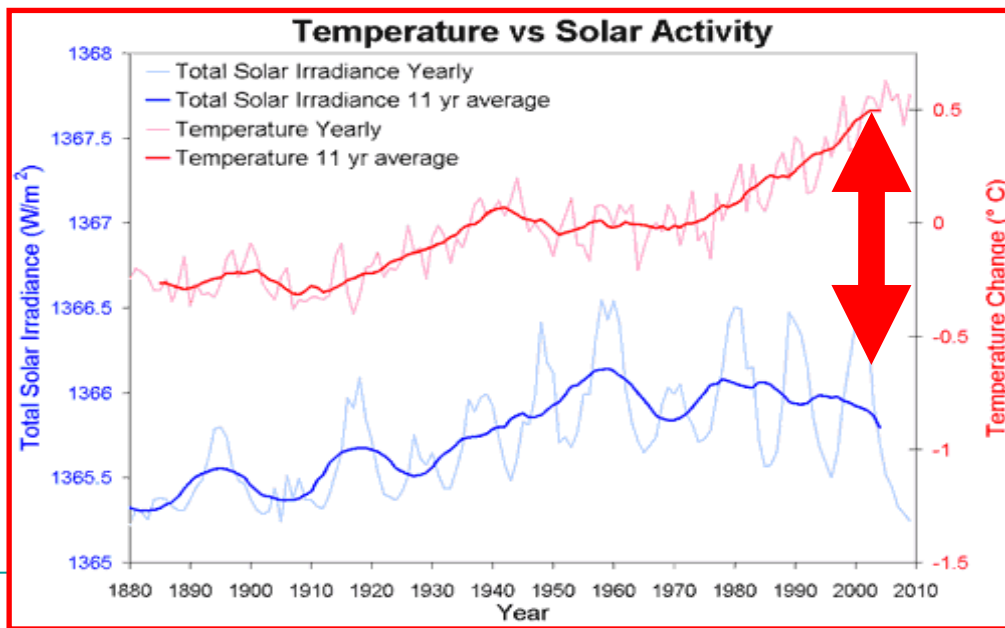
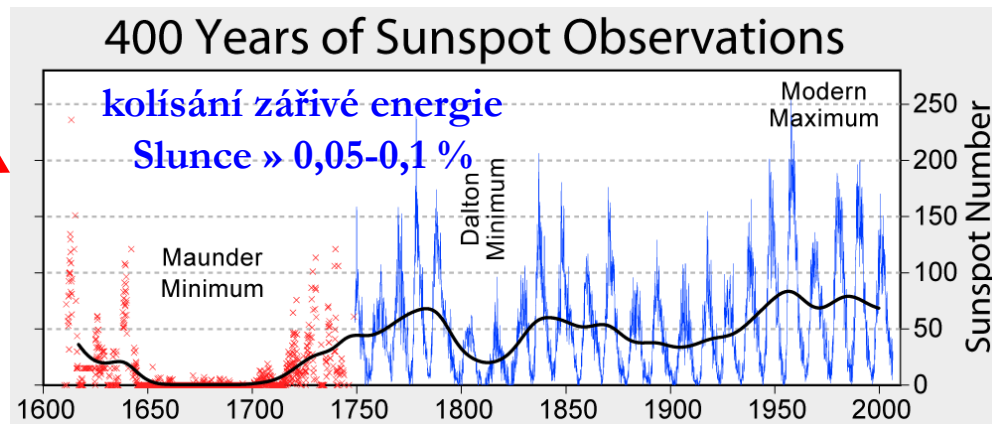


- **Sklon zemské osy**
 - periodičita ~ 41 000 let
- **Změny excentricity eliptické dráhy**
 - periodičita ~ 100 000 let
- **Precese zemské osy**
 - periodičita ~ 26 000 let

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Sluneční aktivita a její změny

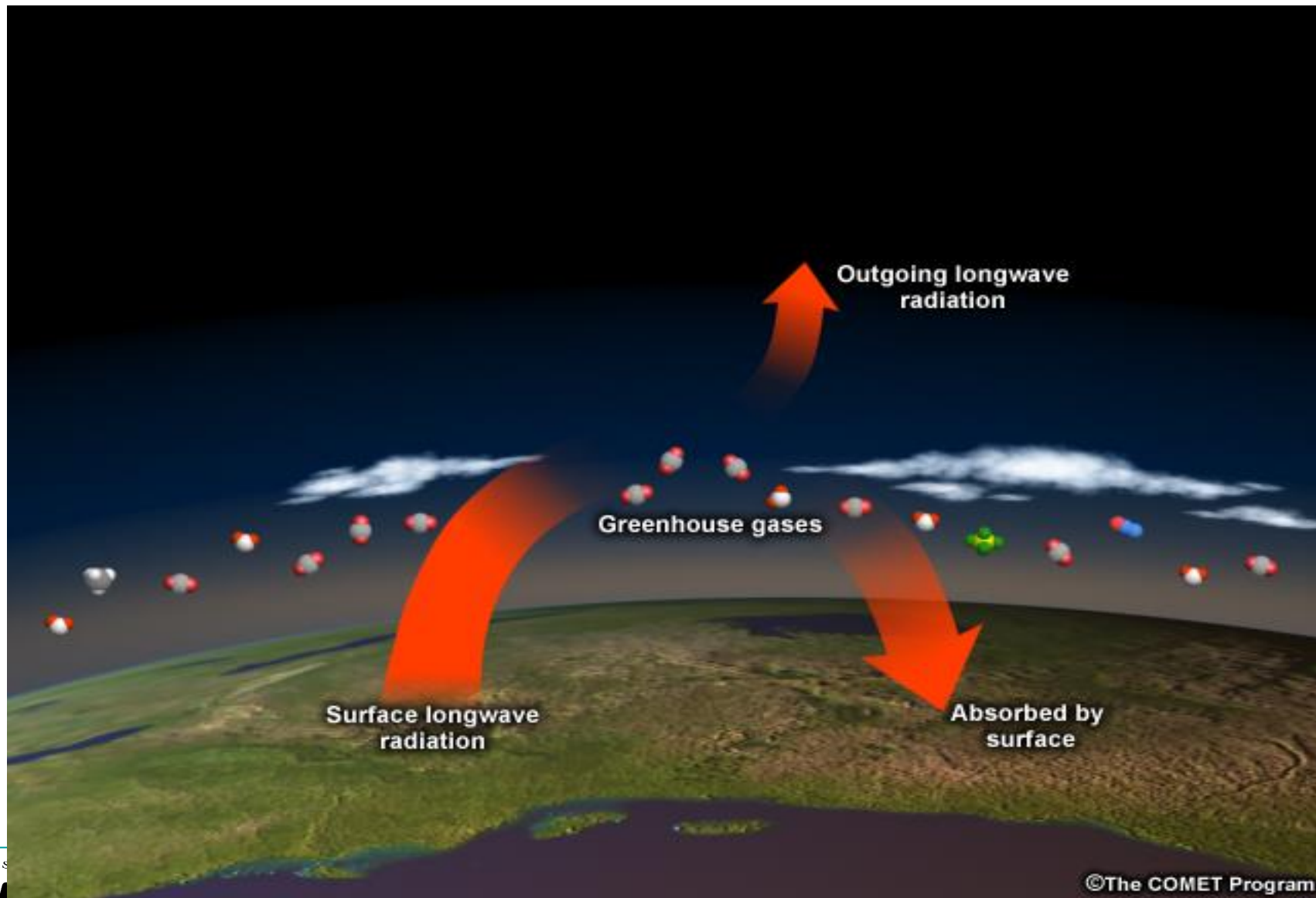
- 11 let (9-12)
- 22 let (20-25)
- 87 let (70-100)
- 210 let
- 2300 let
- 6000 let



Určitý vliv na klima
existuje, ale zatím
není spolehlivě
vysvětlen

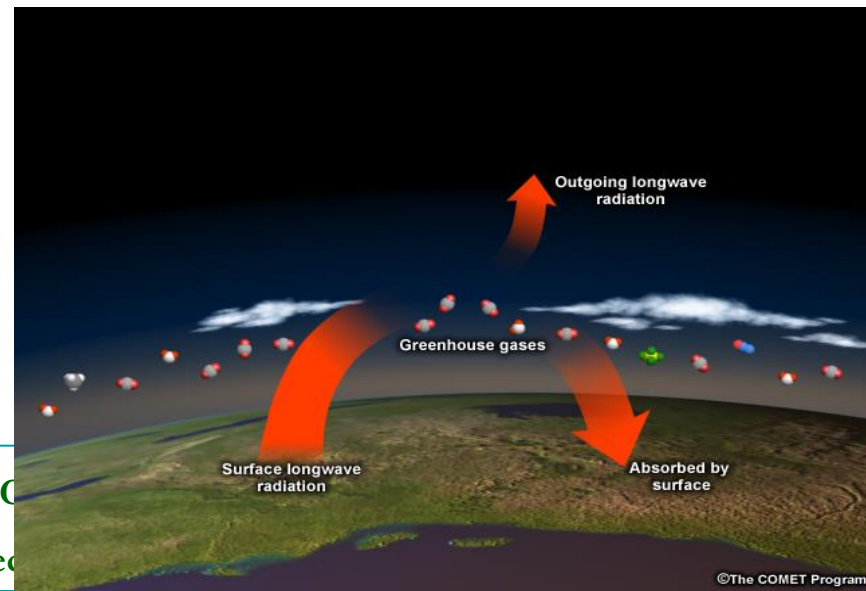
RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Skleníkový efekt a jeho zesilování



Skleníkový efekt a jeho zesilování

- ↪ atmosféra a zemský povrch pohlcuje a odráží sluneční záření
- ↪ dlouhovlnné vyzařování Země bez skleníkových plynů
 $\Rightarrow T \sim -18 \text{ }^\circ\text{C}$
- ↪ působení přirozeného množství skleníkových plynů
 $\Rightarrow T \sim 15 \text{ }^\circ\text{C}$
- ↪ antropogenní skleníkové plyny
 $\Rightarrow \Delta T > 0$



RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Skleníkové plyny (GHG)

přírozené

- vodní pára, CO_2 , CH_4

antropogenní

- CO_2 , CH_4 , N_2O , PFC, HFC, SF_6

nepřímé a prekursorory

- NO_x , CO, NMVOC, SO_2 , O_3

VODNÍ PÁRA

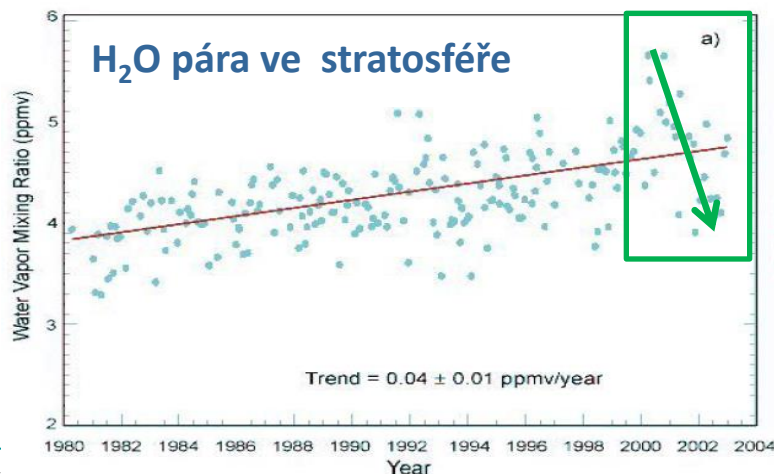
kombinovaný vliv

- výpar
- oblačnost
- zpětné vazby

podíl na přírozeném skleníkovém efektu » 65-85 %

předpoklad „časové změny jsou minimální“ nemusí být správný (NOAA, 2009)

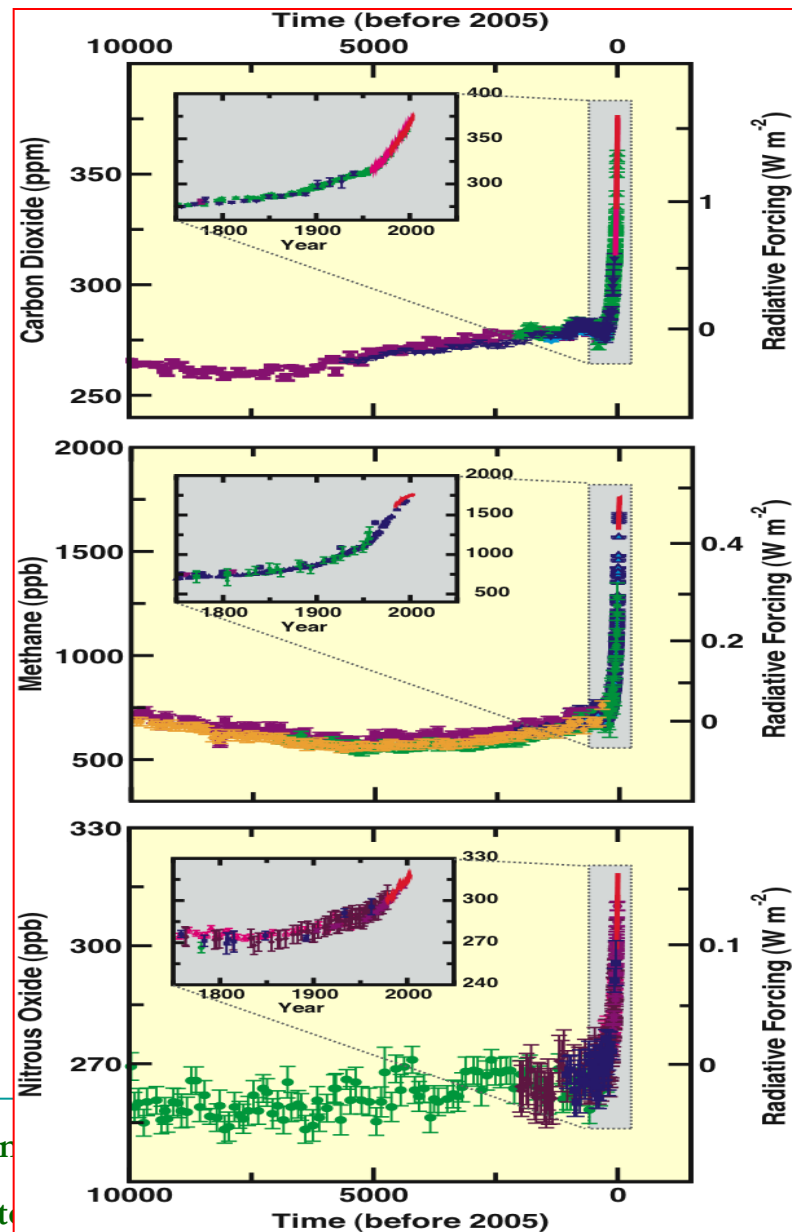
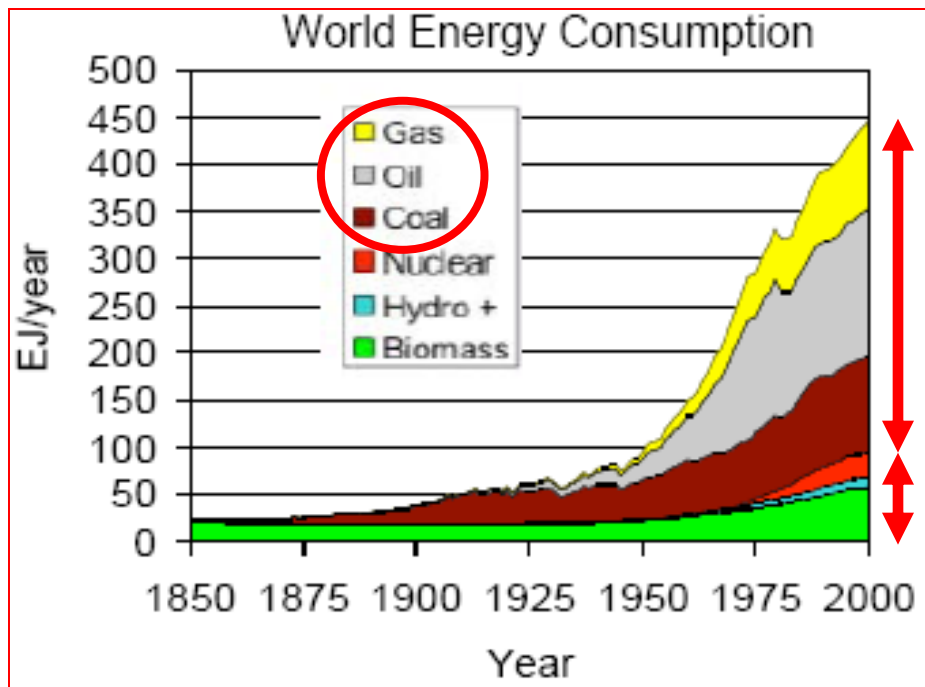
- vliv vodní páry asi podceněn – 1/3 nárůstu teploty po r. 1990
- po r. 2000 obsah vodní páry ve stratosféře klesá a zpomalení nárůstu teploty
- změny teploty povrchové vody v oceánech (?)



Emise vs. koncentrace GHG

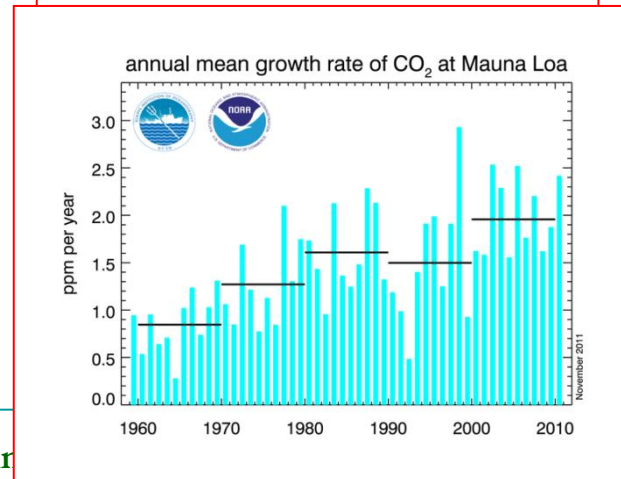
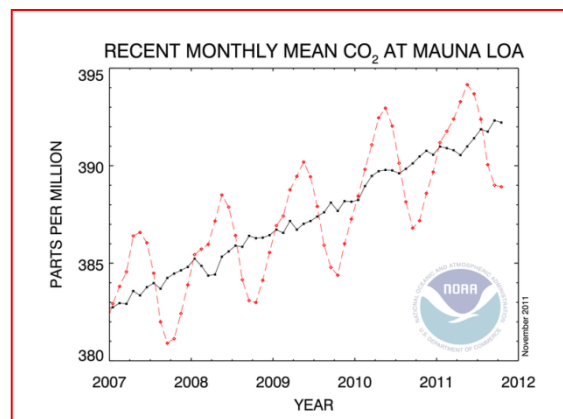
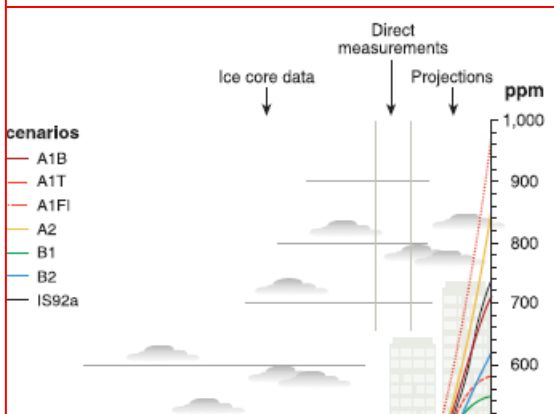
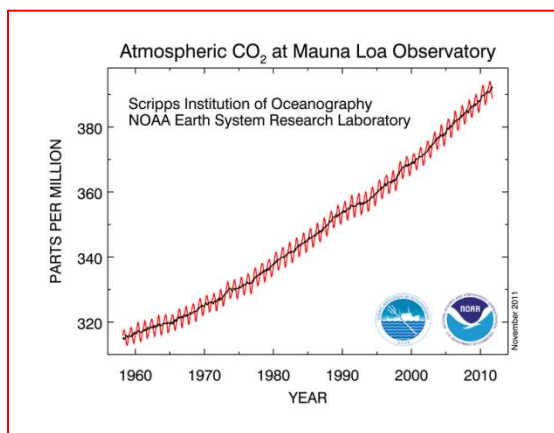
- energetika
- průmysl
- doprava
- zemědělství
- odlesňování
- odpady

IPCC AR4 (2007)



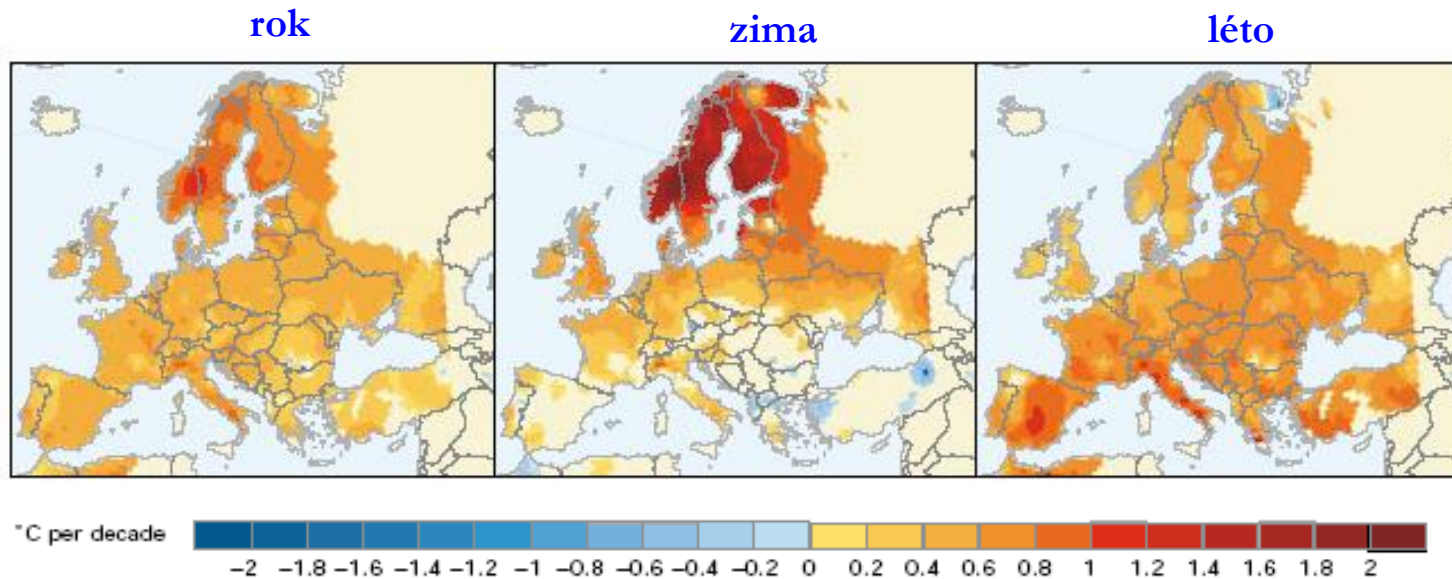
Atmosférické koncentrace CO₂

- ↪ nárůst o přibližně 25 % za posledních 50 let
- ↪ nárůst o přibližně 40 % za posledních 200 let
- ↪ trend meziročních nárůstů kolem 2 ppm, tj. přibližně 0,5 %/rok

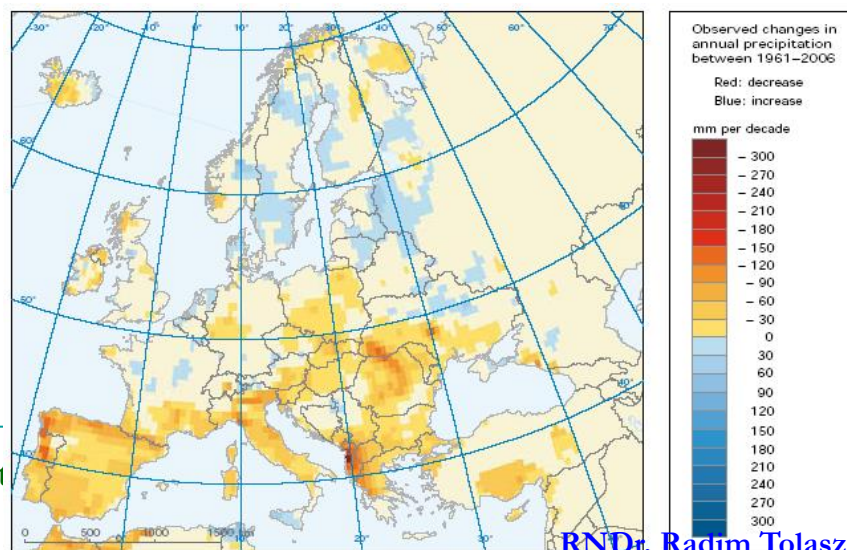


Teploty a srážky v Evropě (1976 – 2006)

Teplota

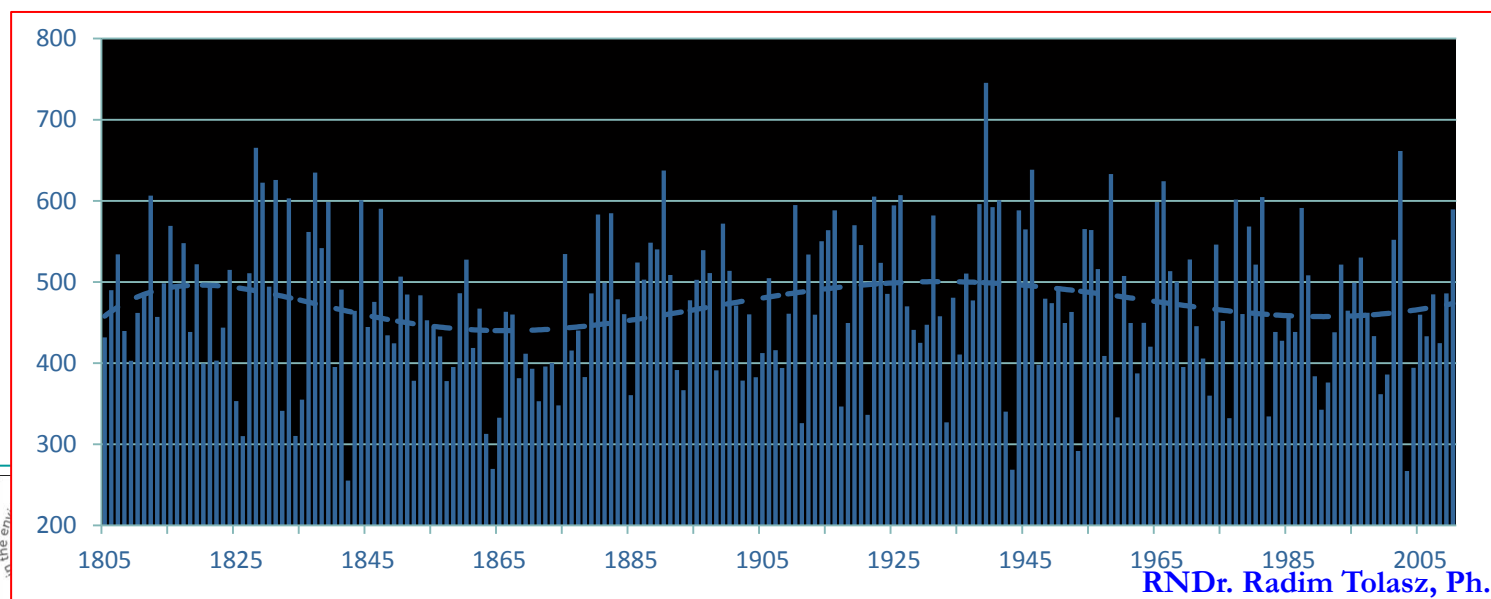
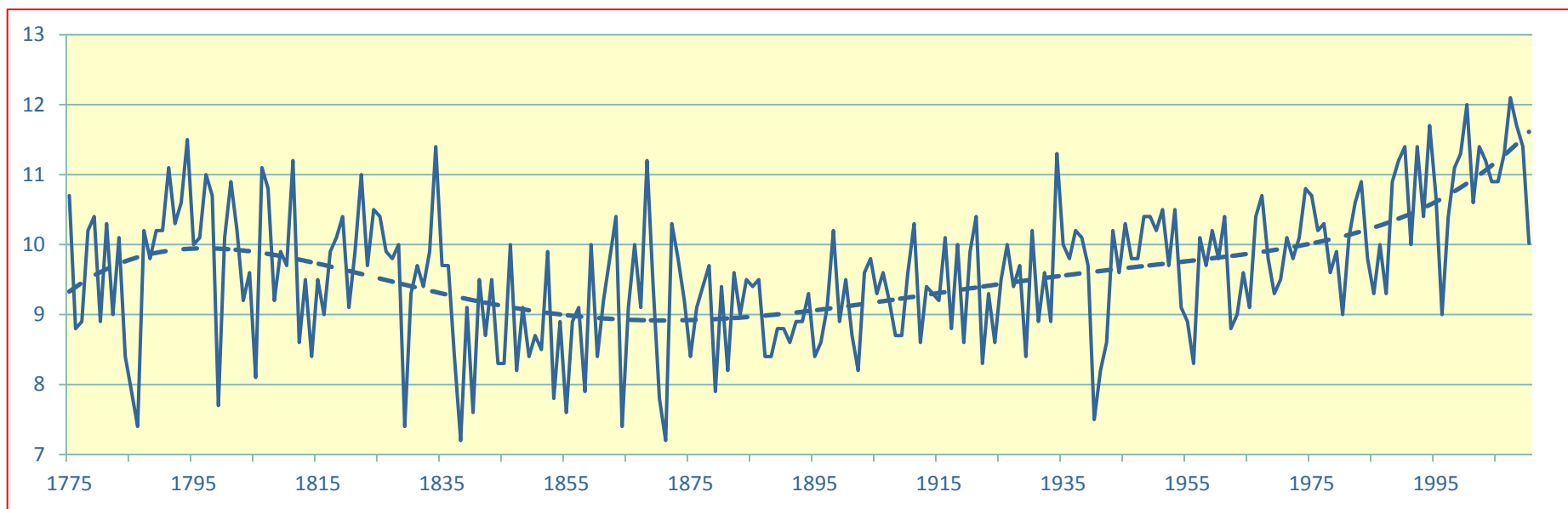


Srážky

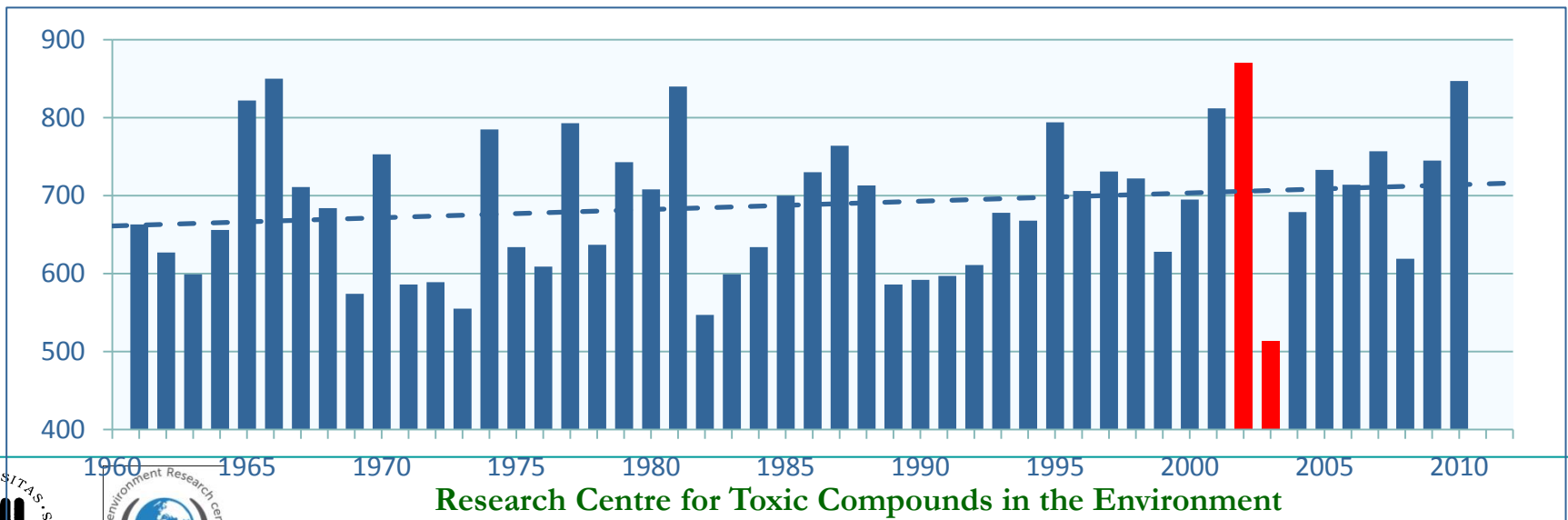
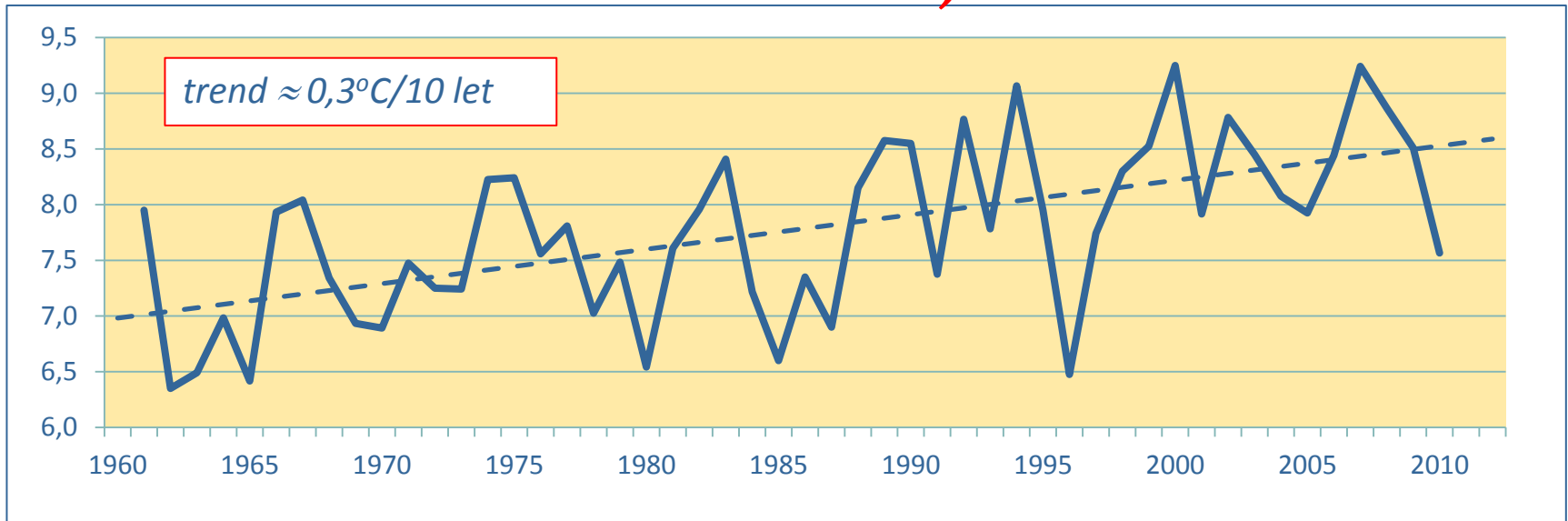


Research Centre

Teploty a srážky v ČR, 1775/1805 – 2010), Praha - Klementinum

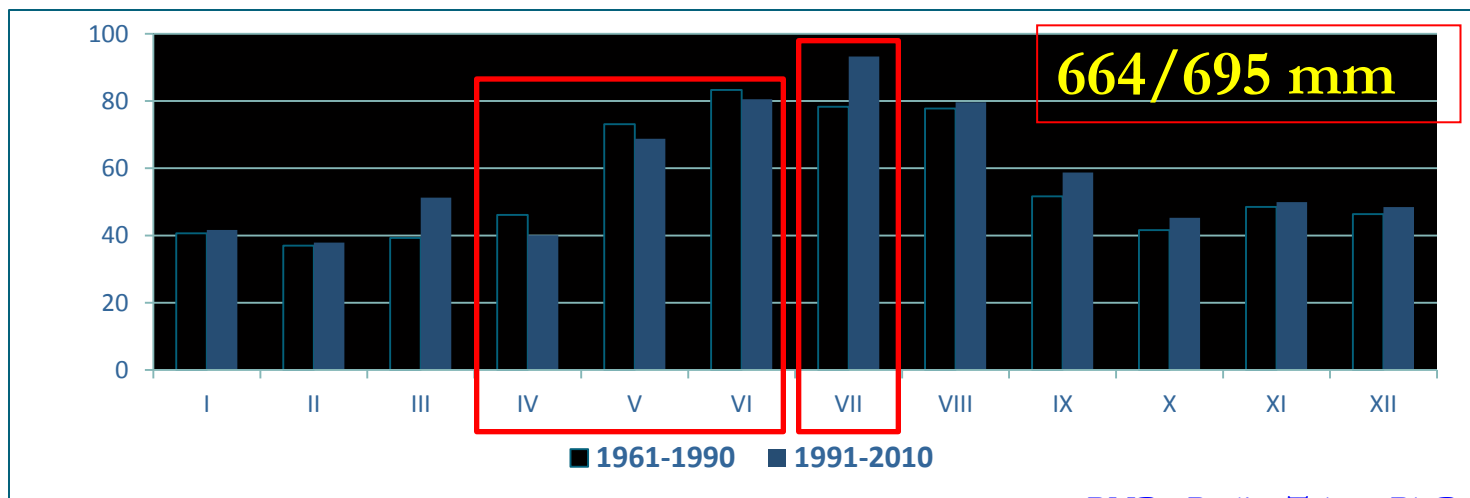
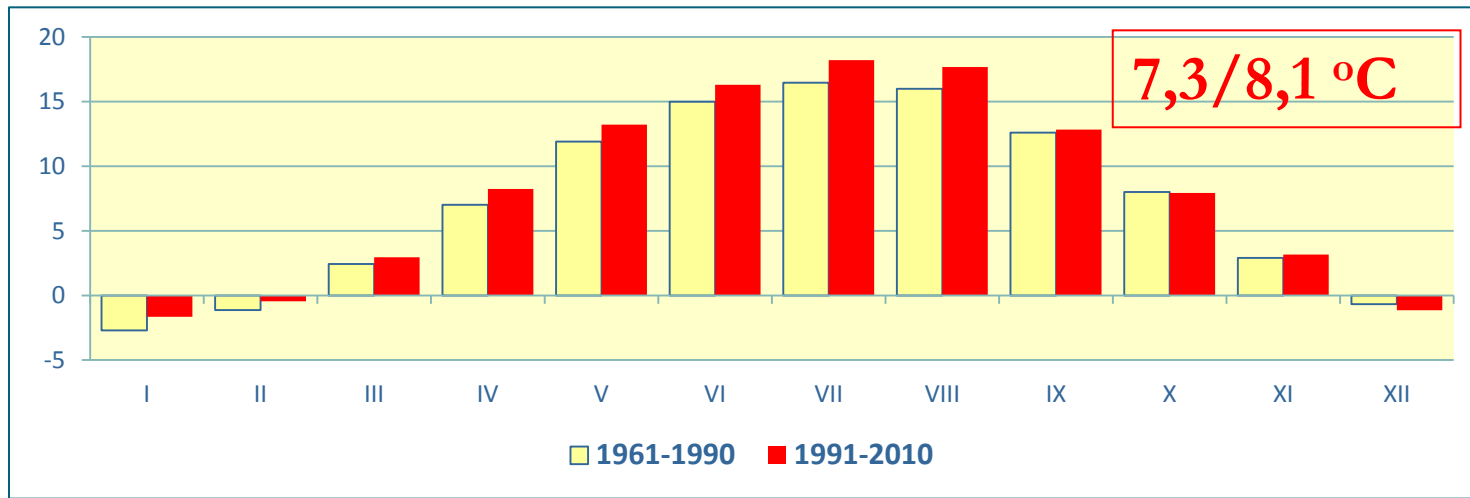


Trendy teplot a srážek v ČR (územní hodnoty 1961 – 2010)



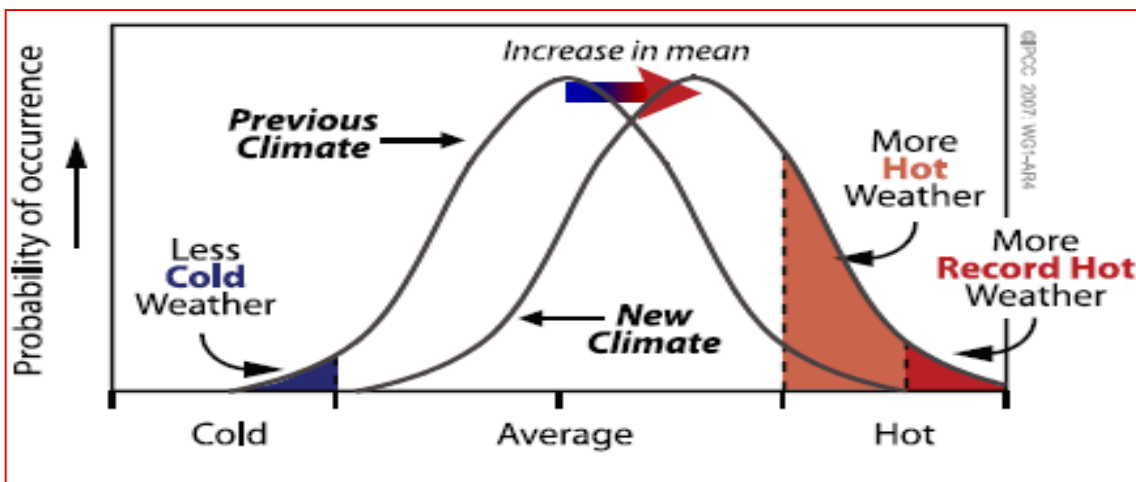
Research Centre for Toxic Compounds in the Environment

Změny teplot a srážek v ČR (porovnání období 1961-1990 a 1991-2010)



RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Extremita teplot



- ↪ zvýšení průměrné teploty ovlivňuje i její extremitu
- ↪ rostou počty letních dnů a tropických dnů a nocí
- ↪ klesají počty mrazových a ledových dnů

Průměrné počty dnů za rok (ČR)

	1961–1990	1991–2010	rozdíl mezi obdobími
letní dny (TMA $\geq 25^{\circ}\text{C}$)	45	57	12
tropické dny (TMA $\geq 30^{\circ}\text{C}$)	8	14	6
„vlny horka“ (TMA $\geq 35^{\circ}\text{C}$)	0,2	1,0	0,8
tropické noci (TMI $\geq 20^{\circ}\text{C}$)	0,1	0,4	0,3
mrazové dny (TMI $< 0^{\circ}\text{C}$)	112	106	-6
ledové dny (TMA $< 0^{\circ}\text{C}$)	30	28	-2
arktické dny (TMA $\leq -10^{\circ}\text{C}$)	1,1	0,6	-0,5

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Projekce vývoje klimatu

(1) MODELOVÝ POPIS KLIMATICKÉHO SYSTÉMU

složky systému

procesy ve složkách

zpětné vazby

chemismus



(2) MODELOVÝ POPIS VÝVOJE SVĚTA

makroekonomika

surovinové
zdroje

energetika

technologie

populační vývoj



(3) PROJEKCE VÝVOJE KLIMATU VE SCÉNÁŘÍCH

dolní odhad

nejlepší odhad

horní odhad

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Klimatické scénáře

- pravděpodobné vyjádření budoucího klimatu pro explicitní využití v závislosti na emisních scénářích – **NEJDE O PŘEDPOVĚĎ !!!**
- **klíčové proměnné** (teplota, T_{MAX} , T_{MIN} , srážky, sluneční záření, vlhkost, vítr,...)
- **prostorové a časové rozlišení** proměnných a konzistence komponent

Vývojové emisní scénáře IPCC SRES (2000):

A1	rychlý růst ekonomiky a vývoj nových technologií
<i>A1FI</i>	<i>intenzivní využívání fosilních paliv</i>
<i>A1T</i>	<i>bez fosilních paliv</i>
A1B	vyvážené využívání všech zdrojů energie
A2	heterogenní svět, silný populační nárůst, přetrvávající regionální ekonomické rozdíly
B1	postupující globalizace, rychlý rozvoj informačních technologií, služeb, zavádění nových technologií
B2	důraz na udržitelný rozvoj, podpora regionálních ekonomik, různorodost technologických změn

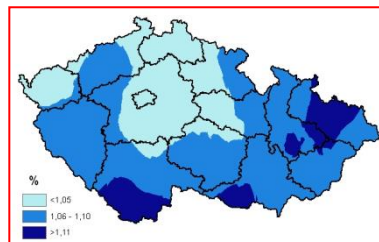
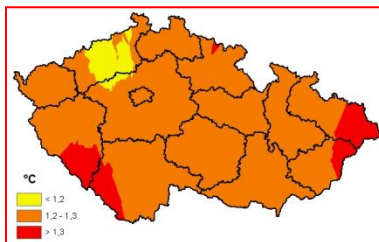
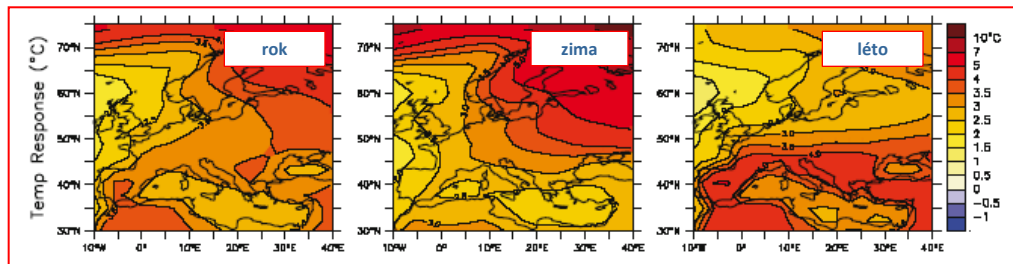
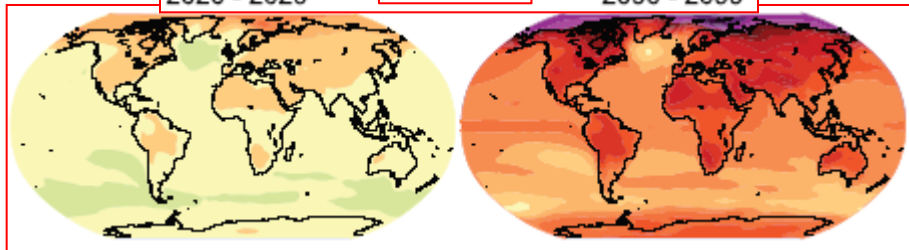
RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Klimatické scénáře

A1B

2020 - 2029

2090 - 2099



- výběr scénáře SRES 2000
- výběr období
- GCM (krok ~ 300 km)
- GCM/RCM (krok ~ 75 km)
- RCM (krok 25 km)

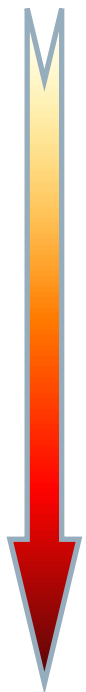
ČHMÚ: ALADIN – CLIMATE/CZ

(CGM ARPÉGE-CLIMATE)


- krok 25 km (P 10 a 5 km)
- topografie
- statistický downscaling
- validace (data 1961-1990)
- teplota, srážky, max. + min. teploty, vlhkost, vítr, globální záření
- porovnání = projekty ENSEMBLES, PRUDENCE, CECILIA

Research Centre for Toxic Compounds in the Environment

Schéma vývoje GCMs

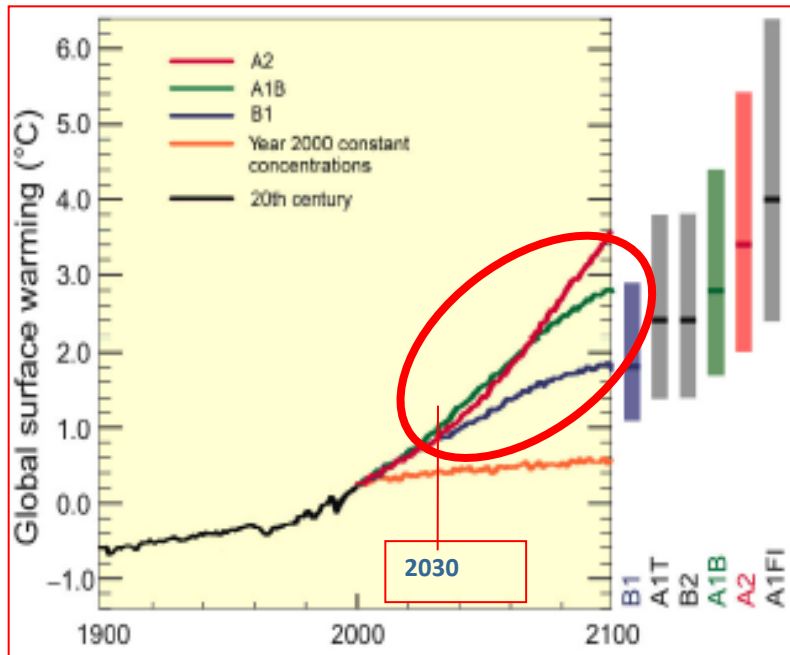


	70. léta	80. léta	90. léta (1. polovina)	90. léta (2. polovina)	přelom 20. a 21.století	současnost	
přidávání složek do modelů	atmosféra	atmosféra	atmosféra	atmosféra	atmosféra	atmosféra	
		zemský povrch	zemský povrch	zemský povrch	zemský povrch	zemský povrch	
			oceány, ledové plochy	oceány, ledové plochy	oceány, ledové plochy	oceány, ledové plochy	
				síranové částice	síranové částice	síranové částice	
					ostatní aerosoly	ostatní aerosoly	
					uhlíkový cyklus	uhlíkový cyklus	
						vegetace	
						atmosférická chemie	
	zvýšování podrobnosti modelů						

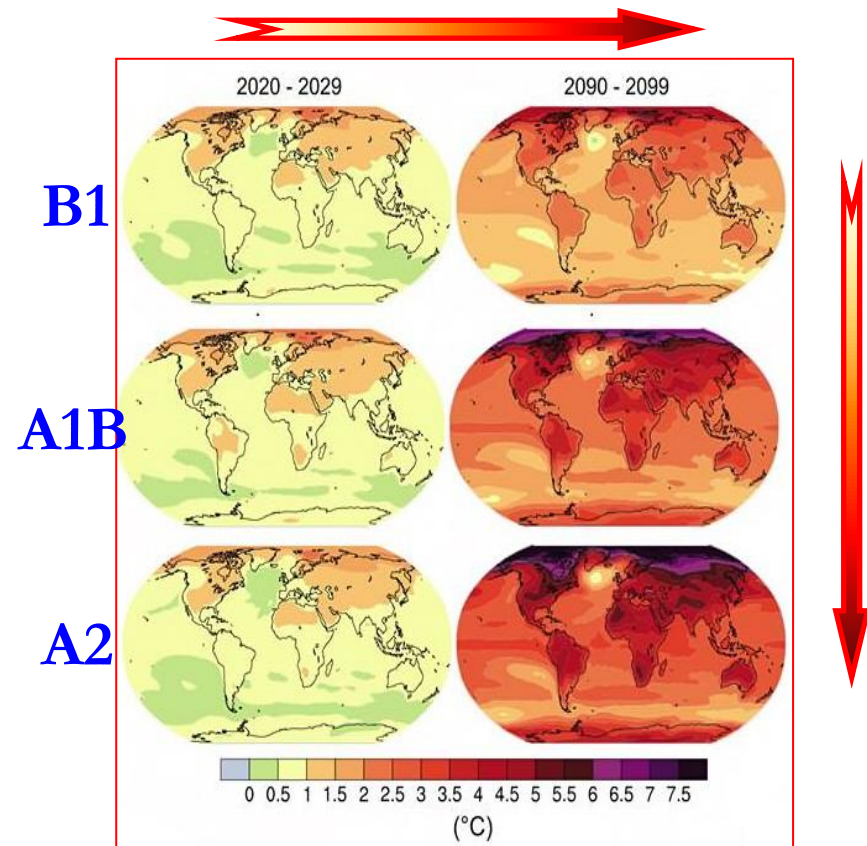


Výrazné kvalitativní změny v poznání jednotlivých „složek“

Projekce změn globální teploty



do r. 2030 minimální závislost
na volbě scénáře
nárůst teploty » $0,2^{\circ}\text{C}/10$ let



RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

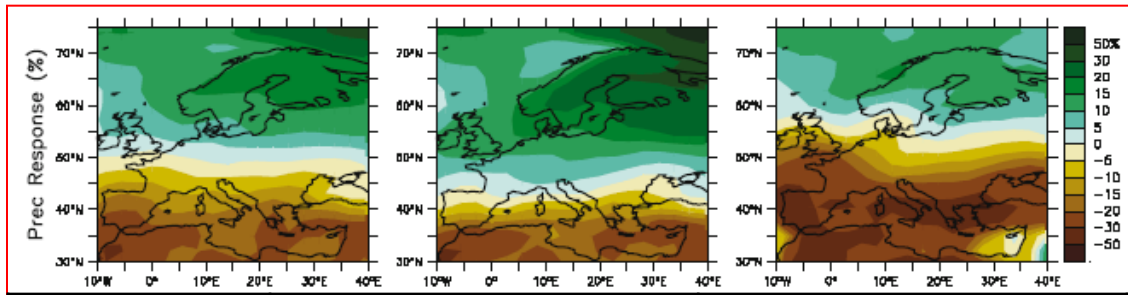
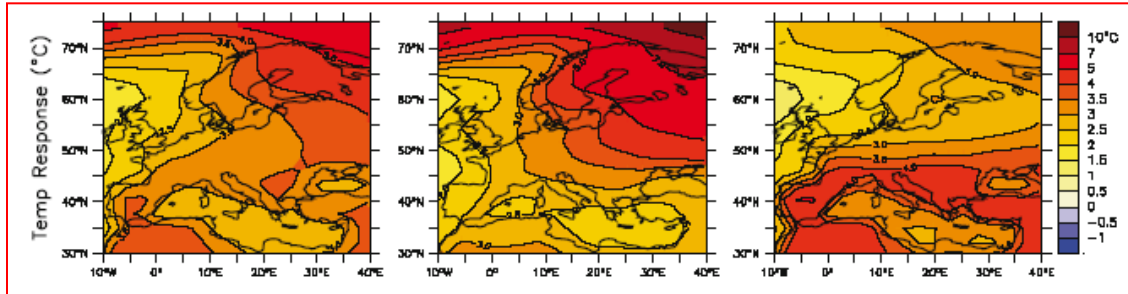
Teplota a srážky – výhled (A1B)

1980-1999 vs.2080-2099:

rok

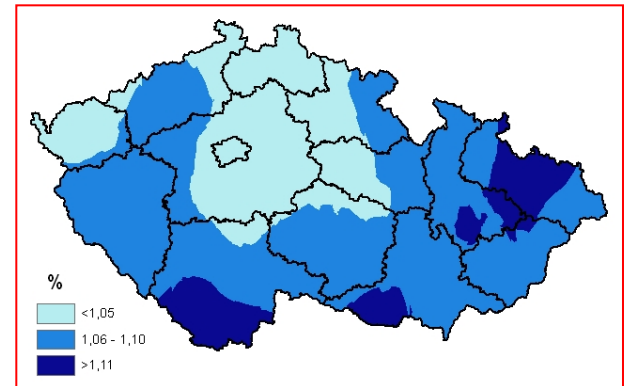
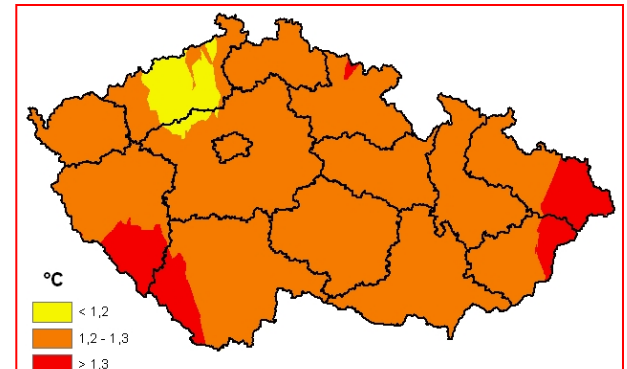
zima

léto



	změna teploty			podíl úhrnné srážek		
	Q50	Q25	Q75	Q50	Q25	Q75
jaro	1,1	0,7	1,5	1,06	0,99	1,12
léto	1,0	0,8	1,4	1,04	0,96	1,08
podzim	1,3	1,1	1,6	1,01	0,95	1,08
zima	1,4	0,9	1,7	1,04	0,99	1,07

1961-1990 vs.2010-2039:



RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Hlavní nejistoty současných projekcí

- ↪ socio-ekonomické předpoklady modelů
- ↪ parametry modelů (vlhkost, oblačnost, uvolňování tepla z oceánů, aerosoly, zpětné vazby uhlíkového cyklu, aj.)
- ↪ vazba atmosféra – oceán (změny oceánického proudění, nárůst hladin oceánů)
- ↪ nižší přesnost projekcí srážek
- ↪ nižší kvalita regionálních projekcí (projevy menších měřítek jsou výrazně nestacionární)
- ↪ nejistoty se zvyšují se zvyšováním časových projekčních období
- ↪ **PROJEKCE NEJSOU V ŽÁDNÉM PŘÍPADĚ PŘEDPOVĚDÍ !!!**

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Globální řešení

- **Valné shromáždění OSN (1989)**
 - **založení IPCC (1989)**
- **Rámcová úmluva OSN (1992)**
- **Kjótský protokol pro 2008-2012 (1997) a jeho vstup v platnost (2005) a jak dál po roce 2012?**
 - **problém „sever – jih“**
 - **neplnění redukčních cílů**
- **problém „klimatu“ se stává stále více politickým tématem**
 - **„klíma“ se stává také politickým byznysem**
 - **ambiciózní redukční cíle a katastrofické scénáře vs. negace problému**

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Globální řešení

- několik tzv. „milníků“ k dohodě (Kodaň 2009, *Durban 2011*)
- IPCC 4AR (2007) jako standardní shrnující dokument
 - důsledkem krachu „Kodaň 2009“ je také politické a pseudo-vědecké zpochybňování vážnosti dokumentu (*některé faktické chyby či nejasnosti v IPCC AR4, podezření ze střetu zájmů předsedy IPCC Pachauriho, atp.*)
 - ... co asi bude důsledkem krachu „Durbanu 2011“....?

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

IPCC AR4 2007

- nejde o projektovou činnost
- shrnutí „*per reviewed literature* „ + „*gray literature*“ (» 15.000 citací)
- nezávislé recenze
- výsledky: „...*policy relevant, but not policy prescriptive...*“

REPORT ⇒ TS ⇒ SPM



IPCC Plenary

IPCC Bureau

IPCC Secretariat

Working Group I

The Physical Science Basis

TSU

Working Group II

Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability

TSU

Working Group III

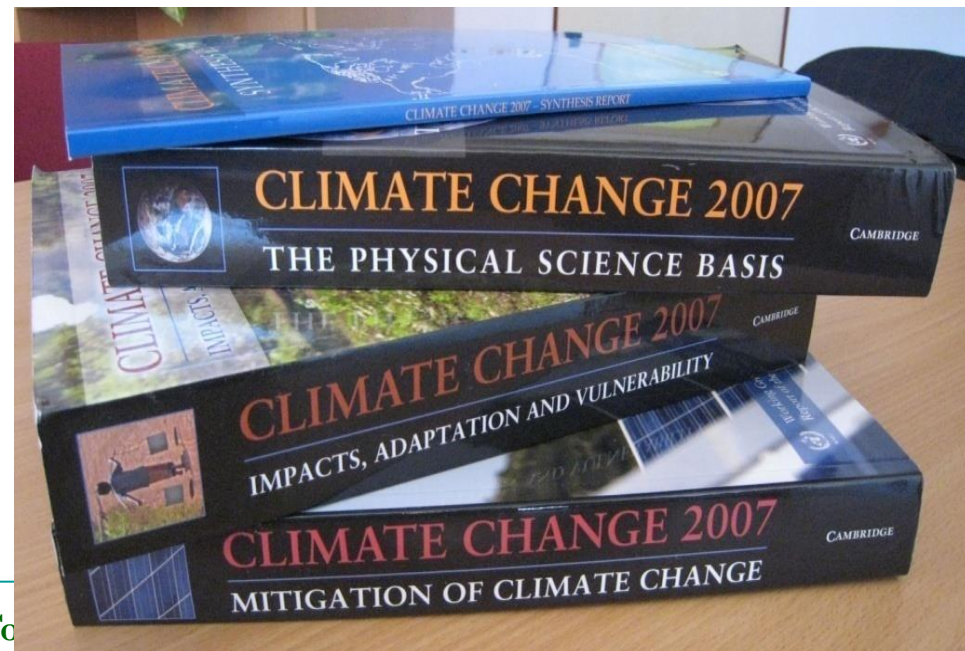
Mitigation of Climate Change

TSU

Task Force on National Greenhouse Gas Inventories

TSU

Authors, Contributors, Reviewers



Chyby či nejasnosti v AR4 (I)

■ Himálajské ledovce

- „...80% ledovců velice pravděpodobně roztaje do roku 2035...“
- WG I = OK, WG II použila citaci WWF (*gray literature*)
- nesprávné použití „*gray literature*“

■ Holandsko a růst hladiny oceánů

- „... 55% území Holandska leží pod hladinou moře a proto je tato země silně ohrožena růstem hladiny oceánu a říčními povodněmi ...“
- Správně má být: 55% území Holandska je ohroženo zatopením, z toho 26% území leží pod hladinou moře a dalších 29% území je ohroženo říčními povodněmi
- chybné využití podkladů *The Netherlands Environmental Assessment Agency*

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Chyby či nejasnosti v AR4 (II)

■ Výnosy plodin v Africe

- „...do roku 2020 může být v některých zemích (zejména v oblastech, závislých na deštích) úroda nižší až o 50%...“
- chybná interpretace zprávy IISD = změna klimatu může zesílit již existující rizika (zejména půdní eroze), což může v některých oblastech vést až k 50 % redukci úrody
- vytržení informace z kontextu a zesílení již existujících rizik jiného původu

■ Trendy ve ztrátách, způsobených přírodními katastrofami

- IPCC se údajně tímto problémem zabývá pouze velice stručně a v jedné malé části zprávy a údajně podal nevyváženou a tendenční informaci
- není pravda – na mnoha místech zdůrazněny nejistoty
- **tendenční zkreslení výstupů**

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Chyby či nejasnosti v AR4 (III)

■ Odumírání amazonských pralesů

- „... kolem 40% amazonských pralesů může drasticky reagovat na třeba jen malou redukci srážek...“
- informace není věrohodná - byla použita citace WWF a ne recenzovaný *Nature*
- chyba v citaci s následným tendenčním zkreslením výstupů IPCC

■ „Climategate“

- únik informací a emailové korespondence v *Climate Research Unit*
- mezinárodní vyšetřovací komise
- CRU nepochybilo
- *Berkeley Earth Surface Temperature 2011 – jiné zpracování, ale prakticky stejné výsledky*

Dr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Chyby či nejasnosti v AR4 (IV)

- mediální překrucování - mediální diskuse je z velké části absurdní
- vlivy dobře organizovaných lobbistických sil s výtečnými PR-schopnostmi
- IPCC dosud vykonal velmi užitečnou a kvalitní práci
- prostor pro zlepšení existuje (např. organizace recenzních procedur) – význam pro přípravu IPCC AR5 (2013/14)
- možný střet zájmů předsedy IPCC Pachauriho nelze apriori vyloučit, nicméně jej nelze považovat za zásadní

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Příklady mediální interpretace

„IPCC varoval, že je nutné do roku 2020 snížit emise o 25 až 40 procent oproti roku 1990“.

„Jsme jediný region, který má závazně dáno, že sníží své skleníkové emise o 30 % do roku 2020, pokud se zapojí i ostatní velcí původci skleníkových plynů. To odpovídá doporučení IPCC, který vyzval průmyslové země ke snížení emisí v rozmezí 25-40 % do roku 2020.“

„Je třeba udržet globální růst teploty pod 2°C“

Žádné takové varování či doporučení IPCC nevydalo....!

(byl by porušen základní princip práce IPCC = „... policy-prescriptive...“

„Značná část nárůstu průměrných globálních teplot je velmi pravděpodobně (spolehlivost tvrzení > 90 %) spjata se zvýšenou produkcí skleníkových plynů antropogenního původu.“

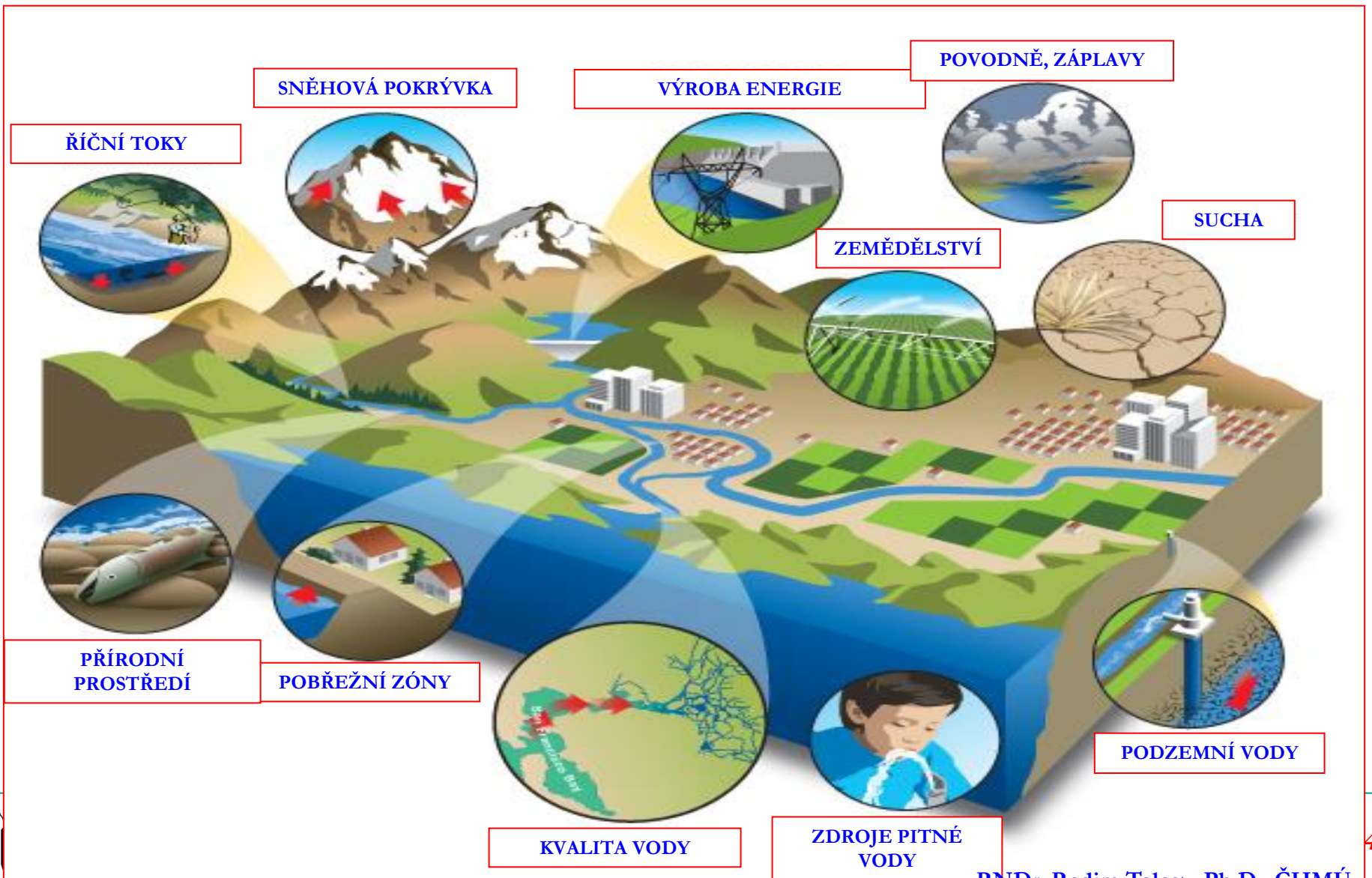
Ani z upřesněné spolehlivosti výroku nelze dovozovat kvantitativní stanovení podílu člověka! V médiích „Člověk je zodpovědný za 90% současné klimatické změny“.

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

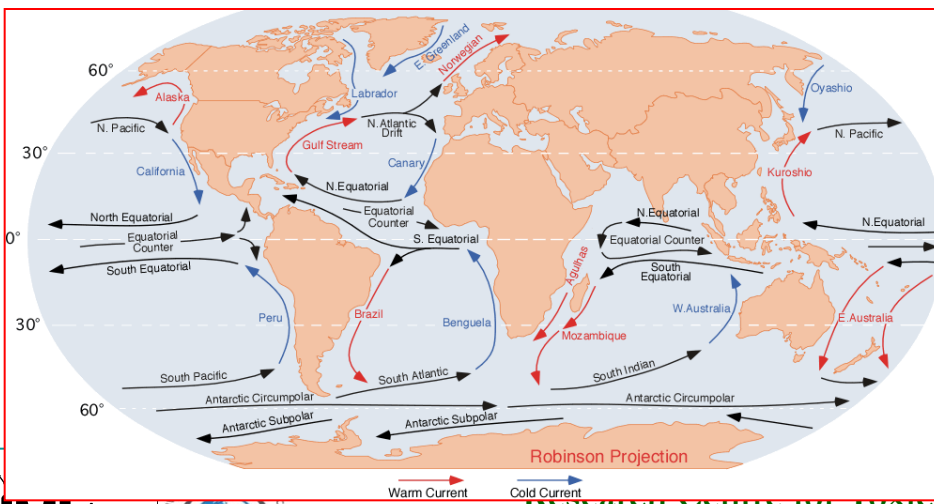
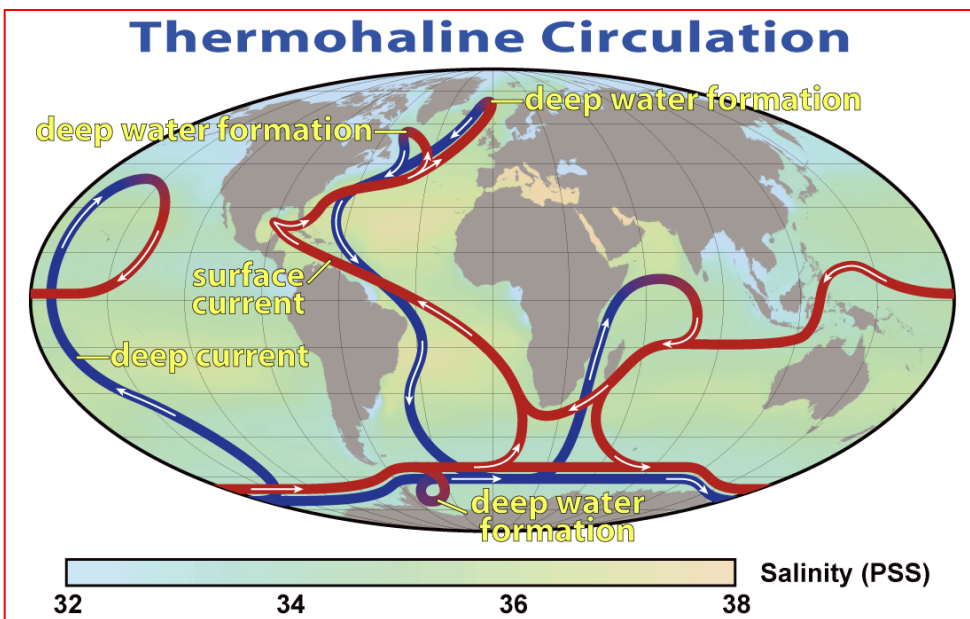
Research Centre for Toxic Compounds in the Environment

<http://recetox.muni.cz>

Dopady změn klimatického systému



K planetárnímu přenosu energie...



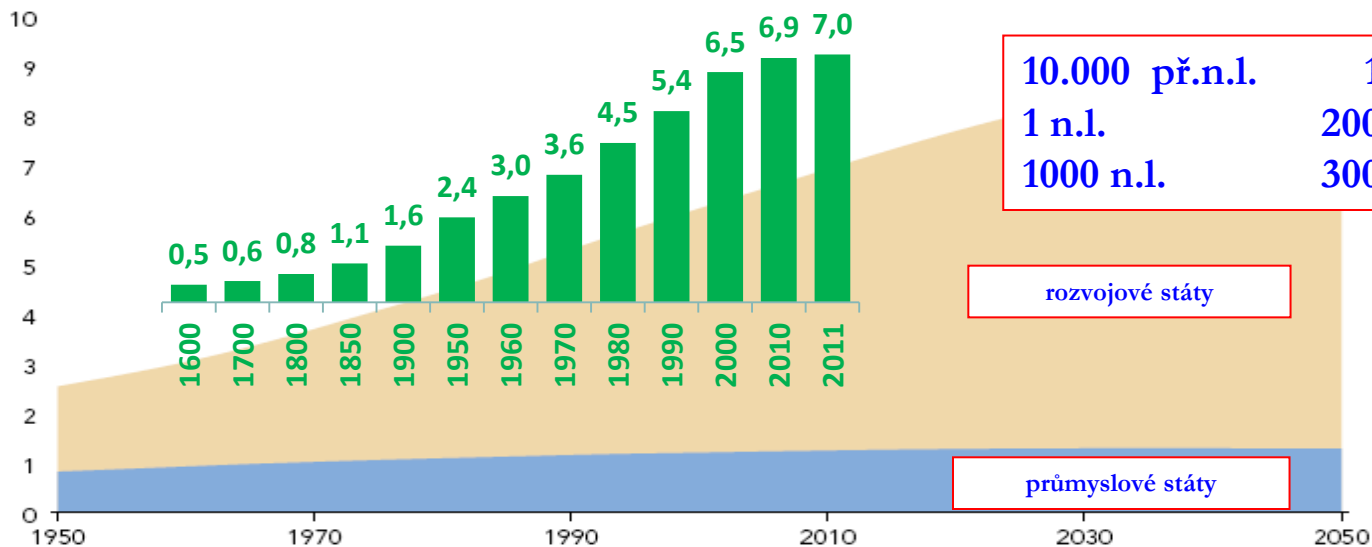
- systém hlubokomořských proudů
 - *teplota a slanost určují hustotu vody*
- vlivy na povrchové oceánické proudění
- přenos energie do atmosféry
- globální proudění v atmosféře
- vlivy na charakter počasí a následně klima

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Dopady, zranitelnost, rizika

- ↪ změna klimatu = problém globální
- ↪ dopady, zranitelnost = problém regionální a lokální
- ↪ socio-ekonomicky vyspělejší regiony – nižší rizika
- ↪ populační faktor

Populační vývoj (mld.)



SOURCE: UN Population Division, *World Population Prospects: The 2008 Revision*, medium variant (2009).

Dopady, zranitelnost, rizika

SEKTORY	KLÍČOVÉ DOPADY V ČR
vodní hospodářství	variabilita rozložení srážek , extrémní srážkové epizody, nárůst rizik povodní a záplav/sucha, pokles průměrných průtoků, zvýšení územního výparu, snížení zásob vody ze sněhu, eutrofizace vod
zemědělství	prodloužení bezmrazového období, změny vegetačního období, teplotní a vláhové stresy, šíření a plošné působení škůdců, virových a houbových chorob
lesnictví	teplotní a vláhové stresy (letní přísušky), kalamitní situace, posun přirozené hranice lesa, posuny vegetačních stupňů, šíření a plošné působení škůdců, virových a houbových chorob, rizika požárů
energetika	změny energetických špiček, chladící vlastnosti vody
lidské zdraví	důsledky extremality počasí, teplotní stresy, choroby (Lymeská borelióza, salmonela, alergie), letní/zimní úmrtnost
cestovní ruch	extremita počasí, úbytek sněhu , spotřeba a kvalita vody
doprava	extremalita počasí, kalamitní situace, dopravní nehodovost
biodiverzita	ohrožení rostlinných a živočišných druhů, invazní druhy

Research Centre for Toxic Compounds in the Environment

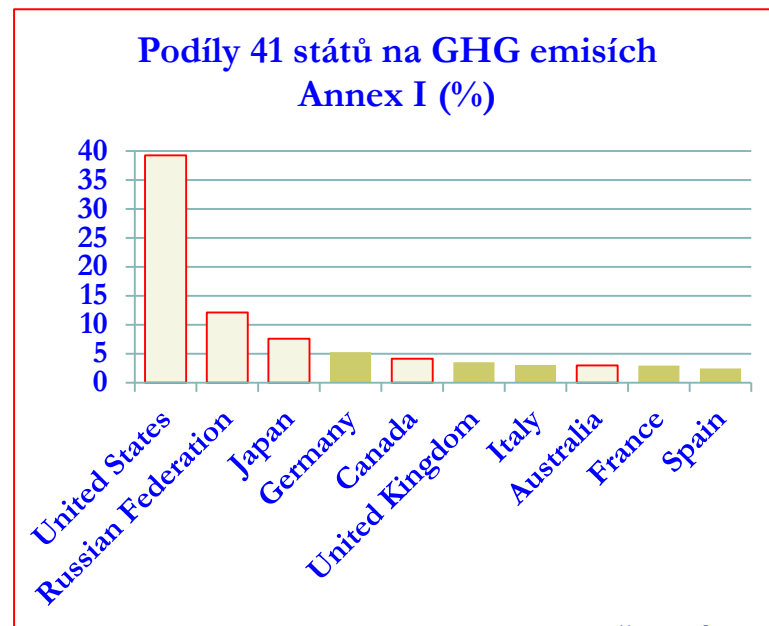
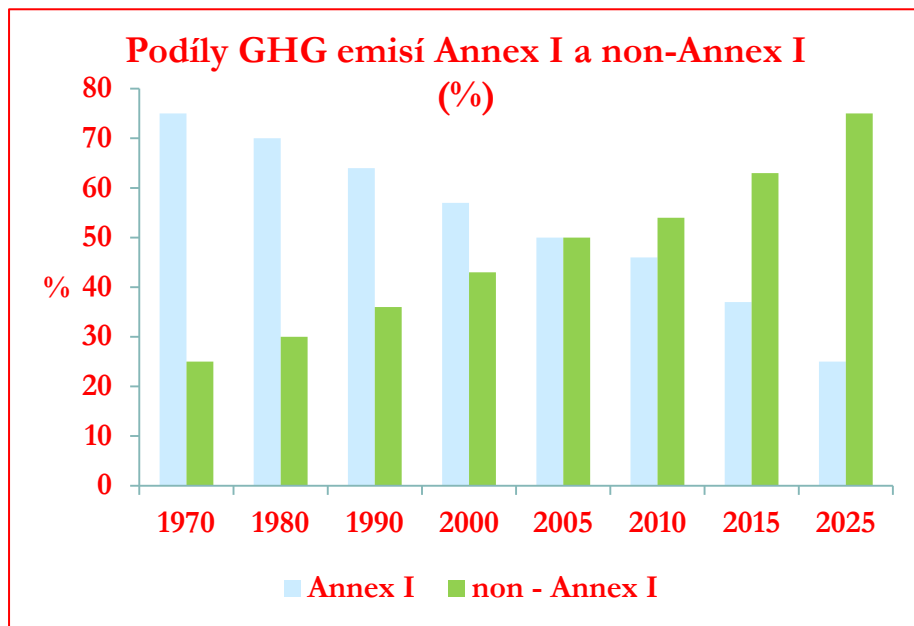
Jak na změny reagovat ???



RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Snižování GHG emisí a globální efektivita Kjótského protokolu

- ↪ světové emise CO₂ od r. 1990 vzrostly o 36 %
- ↪ emise CO₂ v ekonomicky vyspělých státech (Annex I) vzrostly o 1,6 %
- ↪ emise CO₂ v rozvojových státech (non-Annex I) vzrostly o 110 %



RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Adaptační opatření

- soubor možných přizpůsobení přírodního nebo antropogenního systému probíhající nebo předpokládané změně klimatu a jejím dopadům
- adaptační kapacity jsou závislé na
 - míře klimatického rizika
 - na lokálních, národních, regionálních podmínkách
 - politických a ekonomických omezeních
- adaptační opatření = nejvhodnější reakce na velkou setrvačnost klimatického systému

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Směry adaptačních opatření (I)

Voda

- **opatření v krajině**
 - organizační (podpora plošné rozmanitosti v rámci komplexních pozemkových úprav, podpora zalesnění a zatravnění...)
 - agrotechnická (osevní postupy podporující infiltraci atp.)
 - biotechnická (průlehy, zasakovací pásy atd.)
- **opatření na tocích a v nivě**
 - revitalizace toků (úpravy řečišť, uvolnění nivy pro rozlivy)
- **opatření v urbanizovaných územích**
 - zvýšení infiltrace dešťové vody, jímání a využívání srážkových vod
- **obnova starých či zřízení nových vodních nádrží**
- **zefektivnění hospodaření s vodními zdroji**
 - převody vody mezi povodími a vodárenskými soustavami, vícenásobné využití vody, zhodnocení a přerozdělení kapacit vodních zdrojů, ...
- **snížení spotřeby vody**
 - minimalizace ztrát, racionalizace stanovení minimálních průtoků, stanovení priorit pro kritické situace nedostatku vody
- **dokonalejší čištění odpadních vod**

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Směry adaptačních opatření (II)

Zemědělství

úprava zemědělské činnosti

- snížení rozmanitosti, šlechtění pro změněné podmínky
- zlepšení postupů rajonizace odrůd a druhů a rajonizace systémů zpracování půdy, hnojení minerálními i organickými hnojivy

agrotechnické technologie

- snížení ztrát půdní vláhy, změny systémů pěstování

udržení úrodnosti půdy

- rizikem jsou plodiny pro energetické využívání (biopaliva) a klesající dostupnost hnojení organickými hnojivy

zvýšení stability půd

- rizika větrné eroze a snížení aridizace krajiny

změny pěstebních postupů

optimalizace závlahových systémů

- automatické systémy indikace podmínek ve spojení s inteligentními systémy (předpovědní modely) a technologickým vybavením (např. kapková závlaha, metody částečné závlahy kořenové zóny)

ochrana před zvýšeným tlakem infekčních chorob a škůdců

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Směry adaptačních opatření (III)

Lesnictví

- **lokální predikce možného ohrožení**
 - *zvvyšování adaptačního potenciálu lesů*
 - *změny druhového složení lesa, garantující dostatečnou biodiverzitu i odolnost (adaptabilitu)*
 - *nábrada jednodruhových porostů směsí dřevin*
- **druhová, genová a věková diverzifikace porostů**
 - *dlouhodobé plánování a respektování specifik lesních oblastí*
 - *zalesňování nelesních ploch*
- **posilování protipovodňové a protieroční funkce lesa**
- **zachování a reprodukce geofundu lesních dřevin, garantujících dostatečnou odolnost**
- **integrovaná ochrana lesa proti kalamitním i invazním škůdcům**
 - *eliminace rizik gradací hmyzích škůdců, vaskulárních mykóz a kořenových hnilob*

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Závěrem

- ↪ Klimatická změna je realita současnosti s globálními důsledky
- ↪ Podíl člověka na změnách a jejich důsledcích je zřejmý, ale těžko kvantifikovatelný
- ↪ Globální teplota vzrůstá, hlavním problémem je ale narůstající extremita projevů počasí
- ↪ Specifiky regionálních a lokálních dopadů
- ↪ Klimatická strategie
 - vyváženost opatření na snižování emisí a adaptačních opatření,
 - ekonomické a energetické souvislosti
 - podpora vědy, výzkumu a vývoje nových technologií
- ↪ Adaptační opatření jsou nejúčinnějším a nejrychlejším způsobem reakce na probíhající změny a jejich důsledky

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Jak se stát českým klima-skeptikem

Metelka, L. (Britské listy, 6.2.2007)

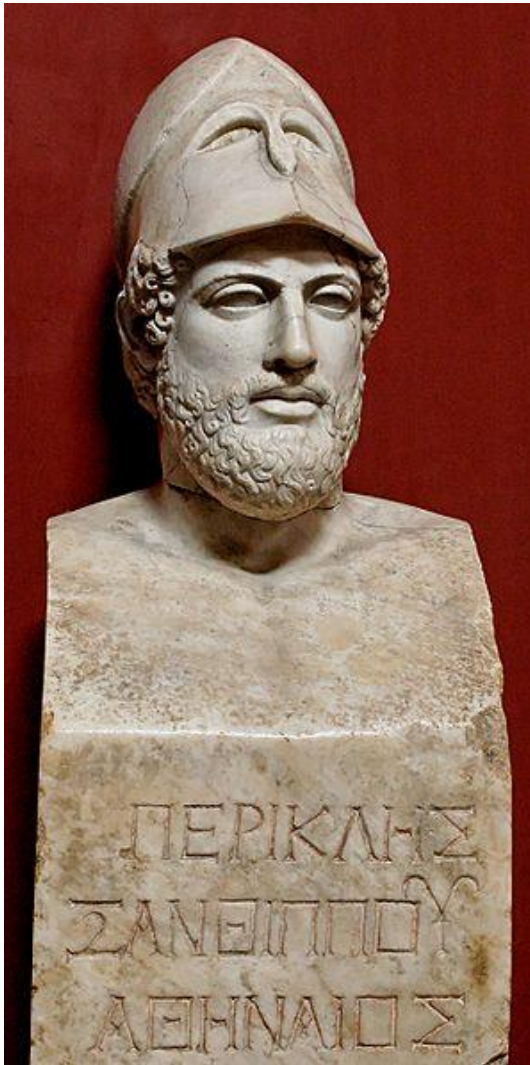
- Mít **vlastní správný názor**, získaný studiem a častým opakováním článků známějších klima-skeptiků a nenechat se mást fakty, logikou a podobnými podružnostmi
- Téměř **jakékoli vzdělání je plně dostačující** – u nás zejména profese ekonoma, poradce či publicisty; nepřipustné je zejména vzdělání v meteorologii nebo klimatologii
- **Číst pouze základní klima-skeptickou literaturu**, ale rozhodně ne odbornou, nezbyvat se ani zpracováním dat či modelováním
- Naučit se a **stále opakovat základní myšlenkové schéma**: GLOBALNÍ OTEPLOVÁNÍ NEEXISTUJE - POKUD EXISTUJE, NENÍ OVLIVNĚNO ČLOVĚKEM - POKUD EXISTUJE A JE OVLIVNĚNO ČLOVĚKEM, PAK STEJNĚ NEMÁ SMYSL SE TÍM ZABÝVAT
- Správnost jakéhokoli tvrzení nebo teorie **posuzovat zásadně jen podle toho, jak to odpovídá vlastnímu a jedině správnému názoru**
- Bude-li někdo tvrdit, že v odborné literatuře jsou desítky jiných prací, pak **ihned přejít k osobnímu útoku nebo zaujmout vítěznou pozici mrtvého brouka**
- Z hlediska vlivu člověka **vždy požadovat 100% jistotu a zcela přesné údaje** – jelikož toto neexistuje a ani existovat nemůže, **ihned vše zpochybnit**
- Nikdy se nenechat zatáhnout do odborné diskuse a **oponenta okamžitě obvinít z omezování svobody, komplotu, levičáctví, podvodu, snahy získat peníze na granty, pomatení, apod.**

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., ČHMÚ

Závěrem

Perikles (493-429 př.n.l.)

*„Není důležité budoucnost předpovídat ,
ale je třeba se na ni připravit...“*





INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Inovace tohoto předmětu je spolufinancována
Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem
České republiky**