

# Změna klimatu, její příčiny, dopady a projekce

Jan Hollan

CzechGlobe –  
Centrum výzkumu globální změny  
AV ČR, v.v.i.

# Různá sousloví

- globální oteplení (... korektní, říká: trend)
- změna klimatu (... to nikoho nepoplaší)
- klimatická změna (... mění se i jiné věci)
  
- **globální klimatický rozvrat** (... výstižné)
- klimatická krize (... dtto)
- **dramatická klimatická změna** (... jemnější)

# Termín „globální oteplování“ není dost výstižný, ba je matoucí

Vzbuzuje dojem něčeho, co je

- rovnoměrné po celé Zemi,
- týká se vlastně jen teploty,
- pozvolné
- a dost možná neškodné

Jenže změny jsou doopravdy

- velmi nerovnoměrné,
- týkají se zdaleka ne jen teplot
- rychlé ve srovnání s možností přizpůsobení
- v mnoha případech a místech škodlivé

# Průměrná teplota je jen nejprostší ukazatel stavu klimatu

Klima je kromě průměrů charakterizováno i extrémny, dobou výskytu, prostorovým uspořádáním

- horka a zimy,
- nebe zataženého a jasného,
- vlhka a sucha
- sněžení, sněhové pokrývky a tání
- vánků, vánic, tornád a tajfunů

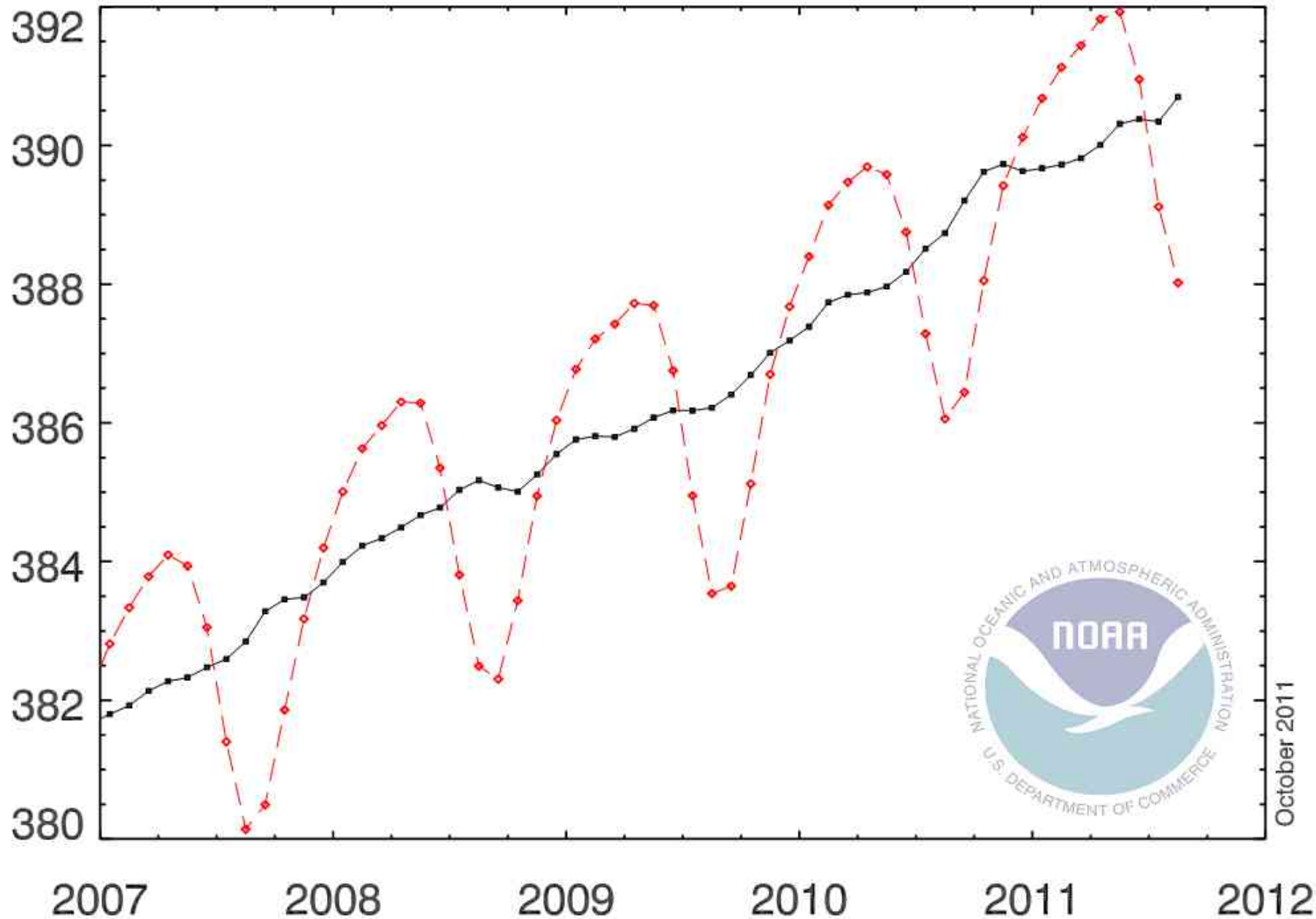
**Změna klimatu znamená rozvrat doposud existujících charakteristik.** Malá změna ukazatele (globálních odchylek od dřívějších teplot) znamená velké změny výskytu různých typů počasí.

# 1. Příčiny

Rostoucí koncentrace skleníkových plynů. Jejich vliv je zatím do značné míry maskován síranovými aerosoly

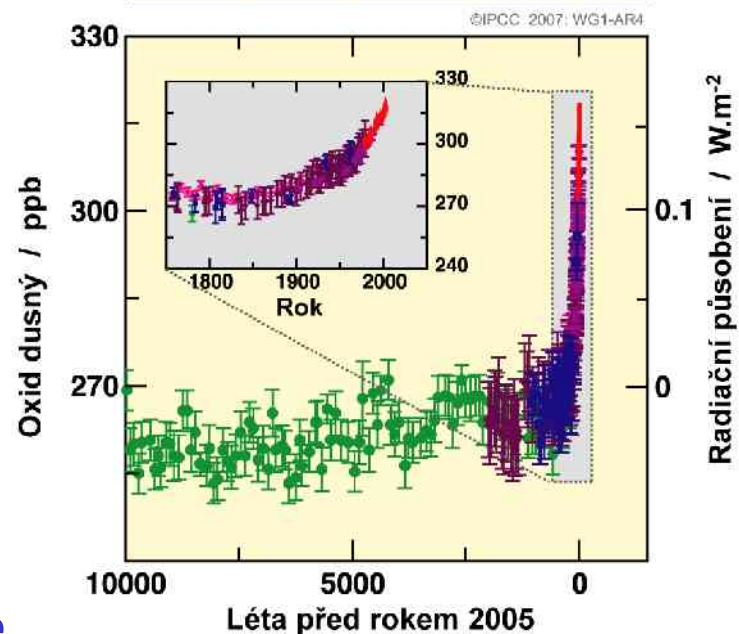
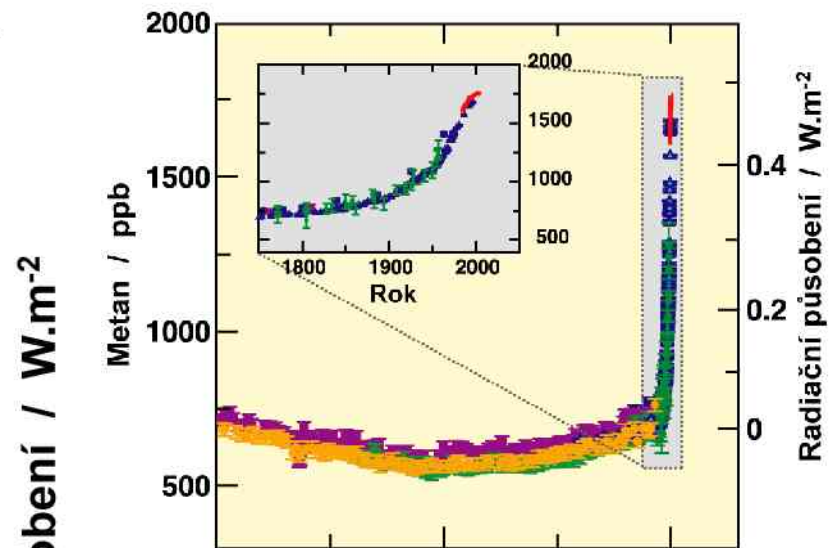
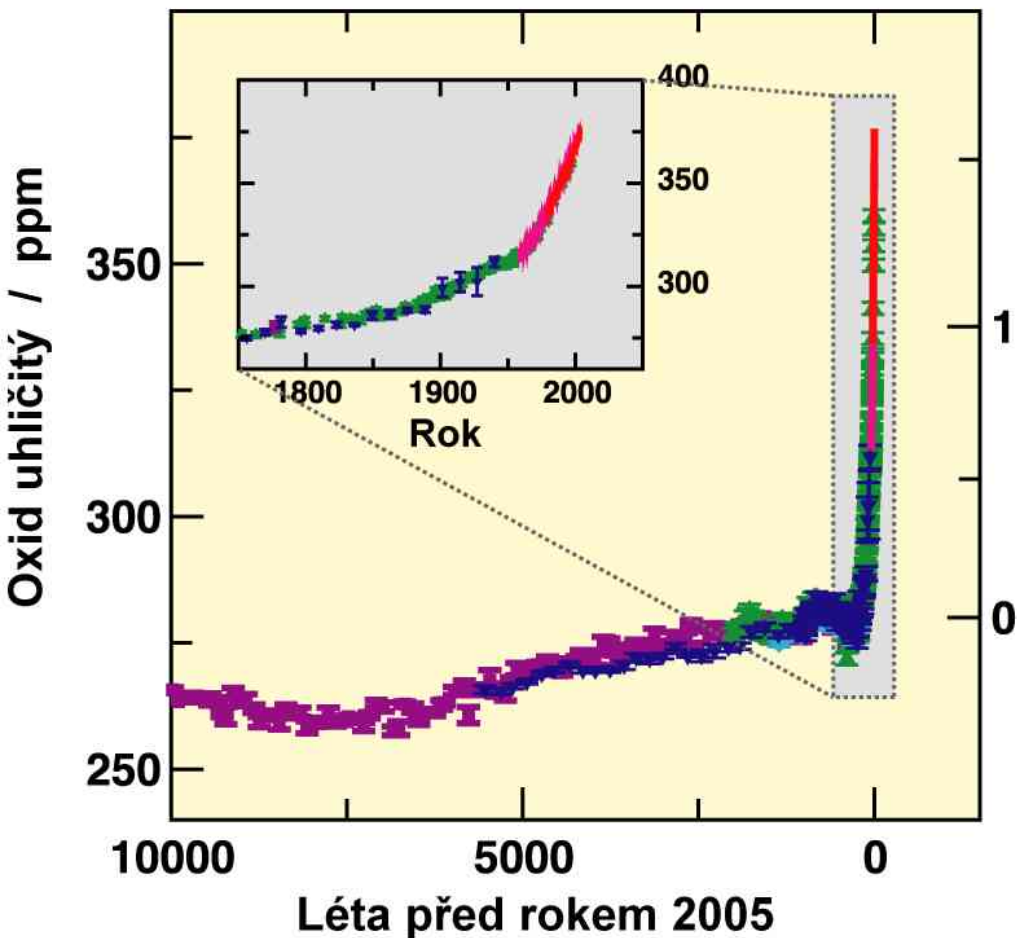
# RECENT GLOBAL MONTHLY MEAN CO<sub>2</sub>

PARTS PER MILLION



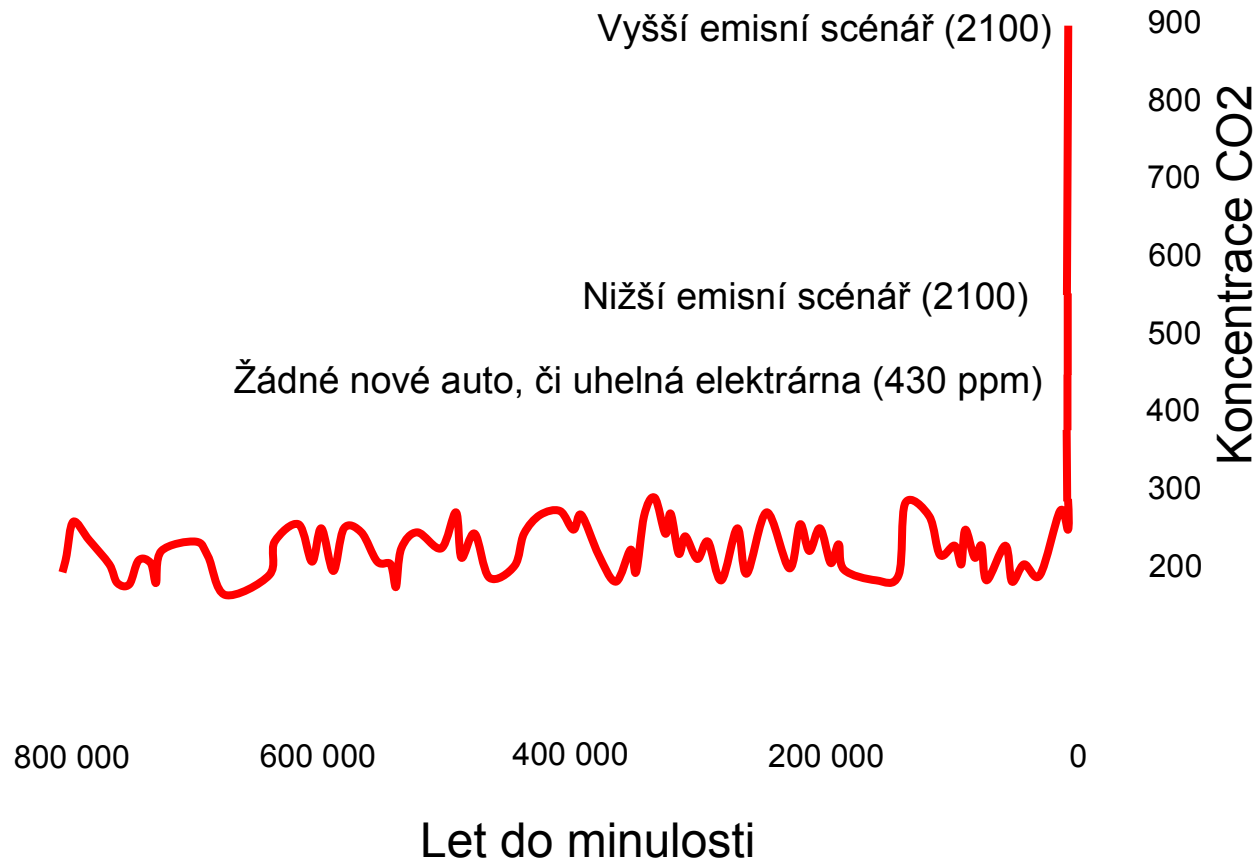
October 2011

# Změny koncentrací oxidu uhličitého dle rozboru ledových vrtných jader a přímých měření složení ovzduší



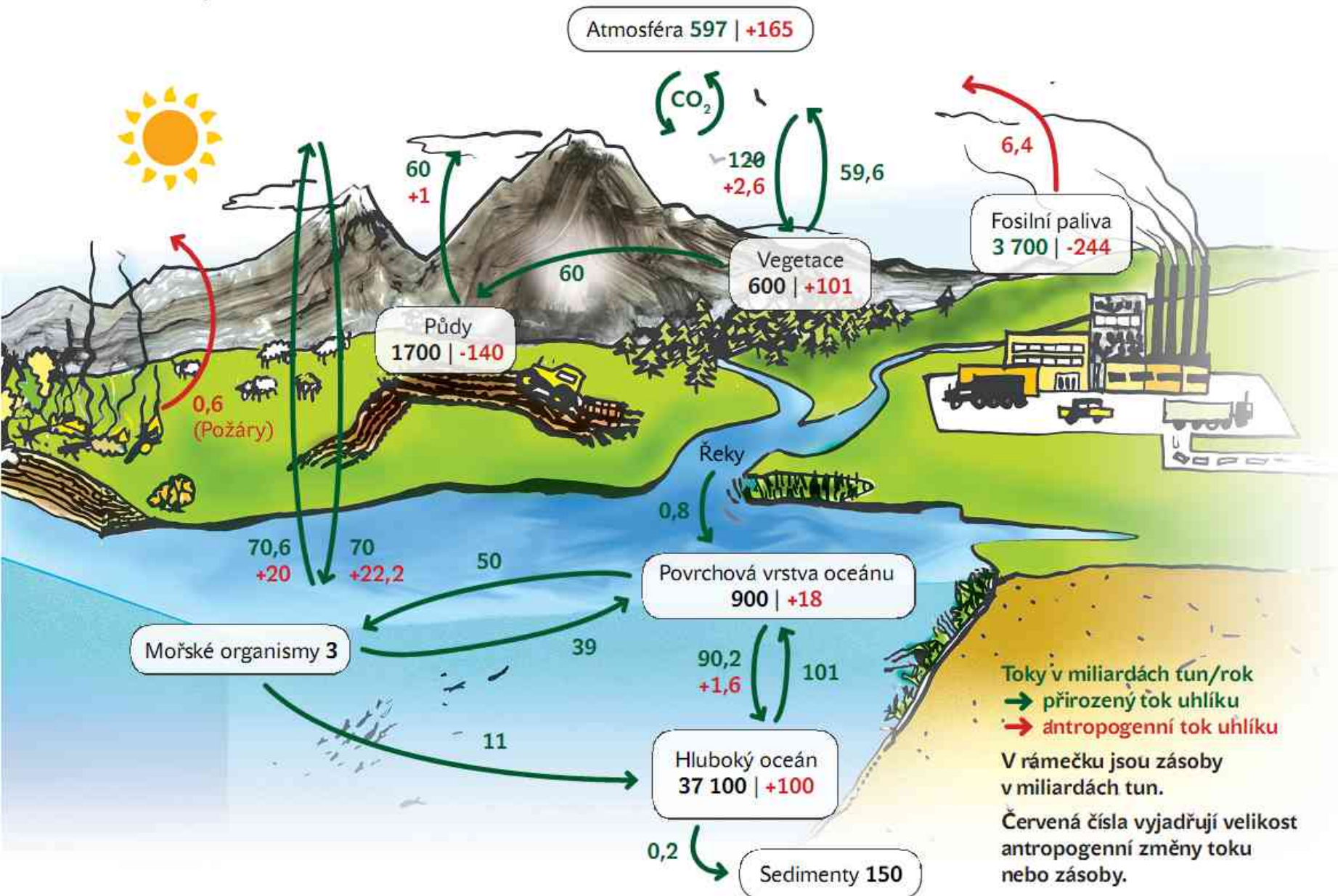
*Intergovernmental Panel on Climate Change  
4<sup>th</sup> Assessment Report (IPCC AR4, Feb. 2007)*

# Trochu historické perspektivy





# Toky uhlíku v 90. letech 20. století

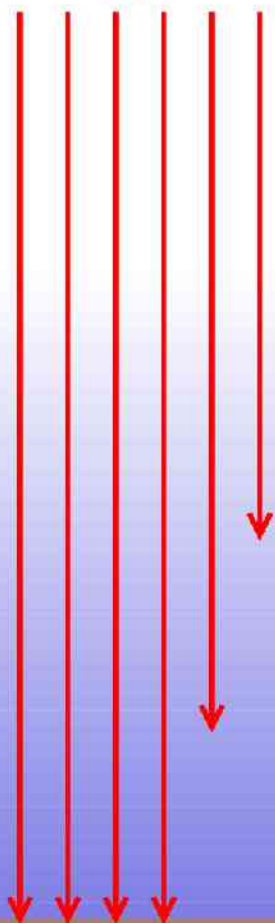


zdroj: Veronica, výstava Prima Klima

# Skleníkový jev: tepelný tok / $W/m^2$ , 1 šipka = 40

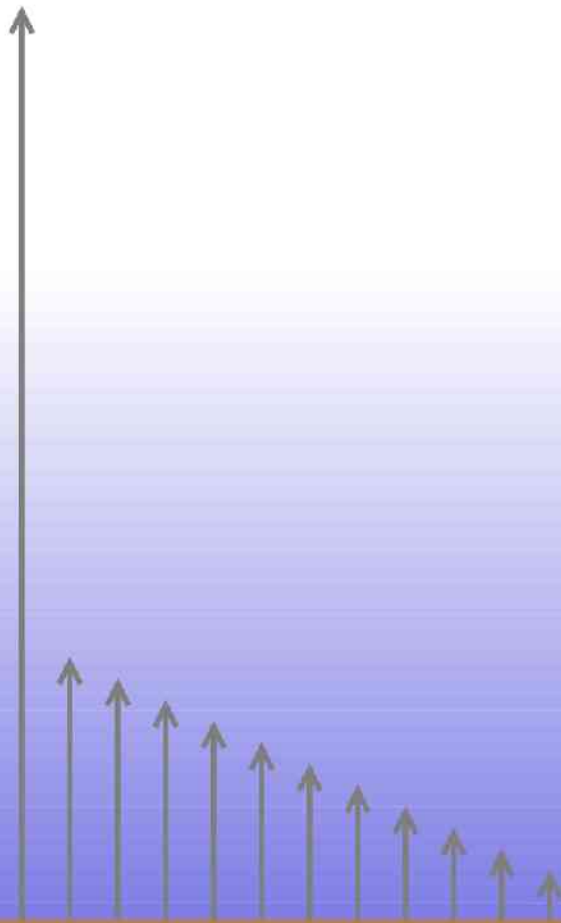
Sluneční záření

235



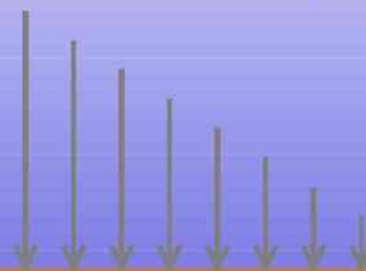
168

Dlouhovlnné záření zpět do vesmíru  
235 před r.1900, ale jen 232 nyní: více než 1% změna!

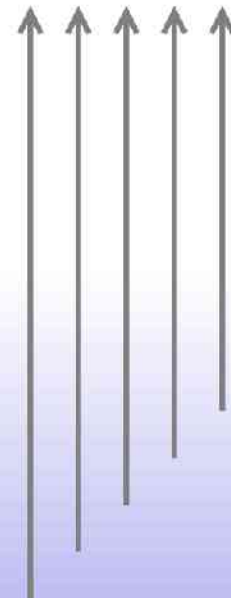


Tok z povrchu Země  
(většinou pohlcen ovzduším)

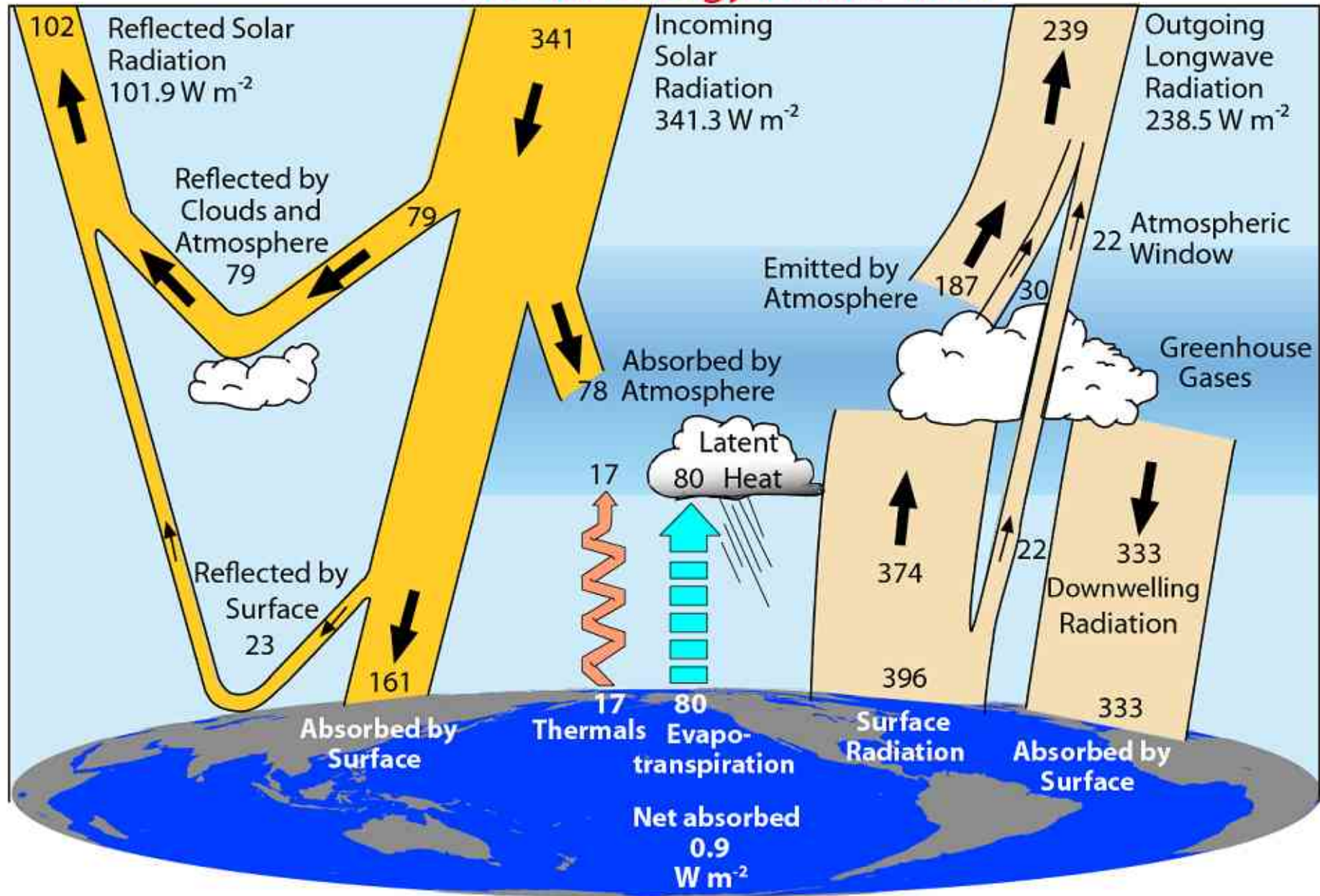
324 dřív, 327 nyní



Dlouhovlnné záření z ovzduší



### Global Energy Flows $W m^{-2}$



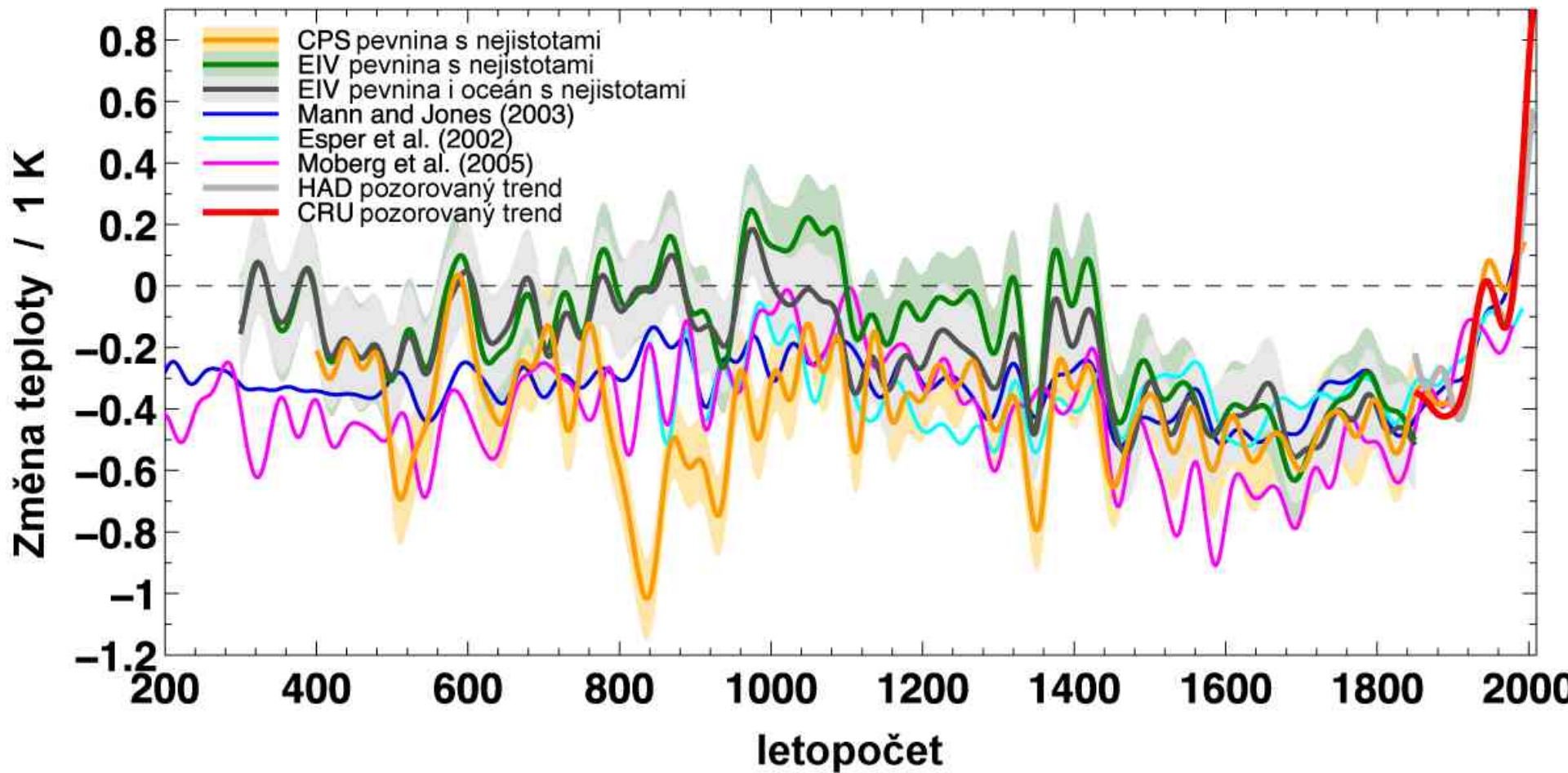
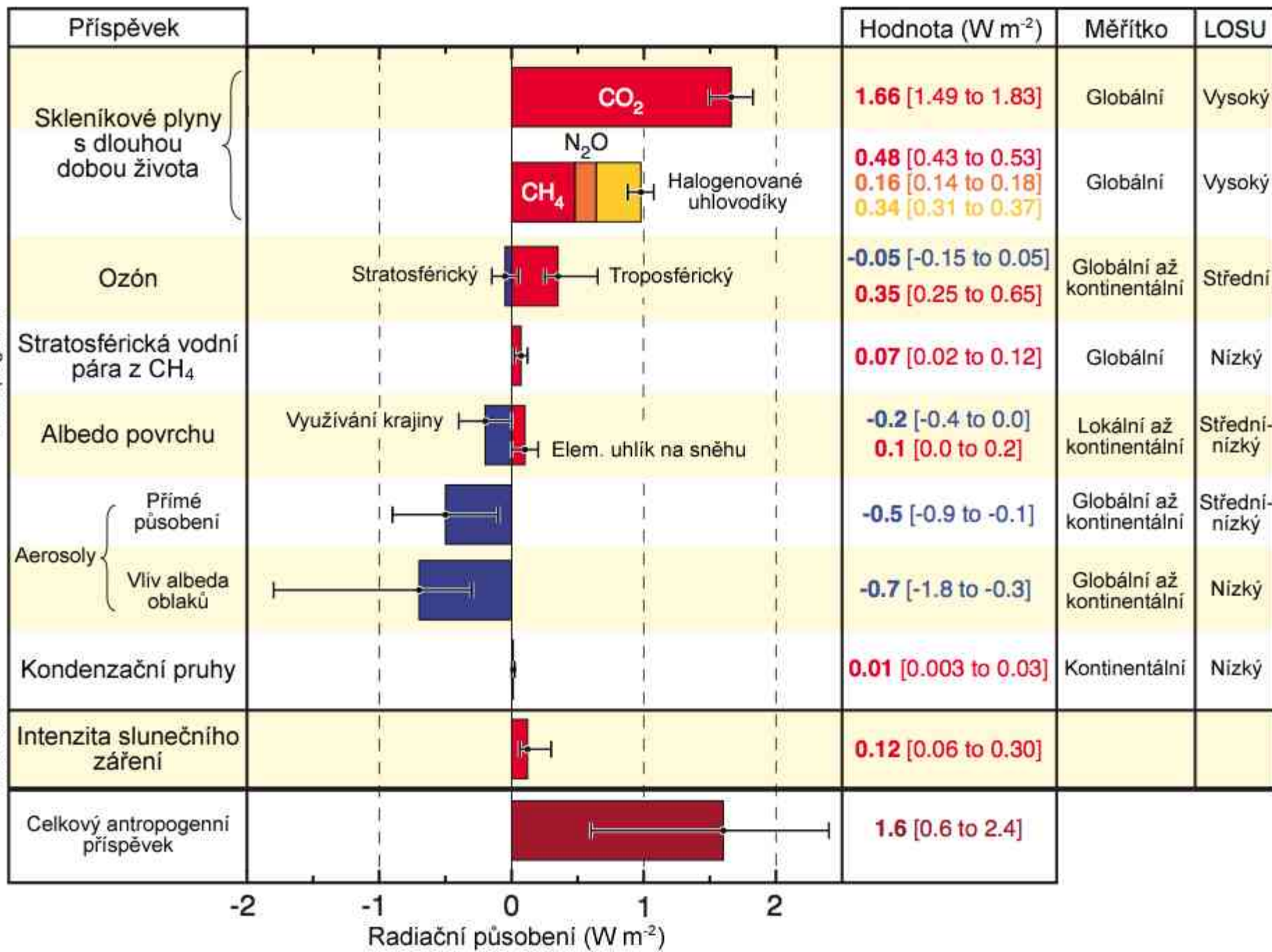


Figure 19: Rekonstrukce změn teploty severní polokoule od roku 200 (zdroj: Kodaňská diagnóza)

# Prispěvky k radiacnímu působení



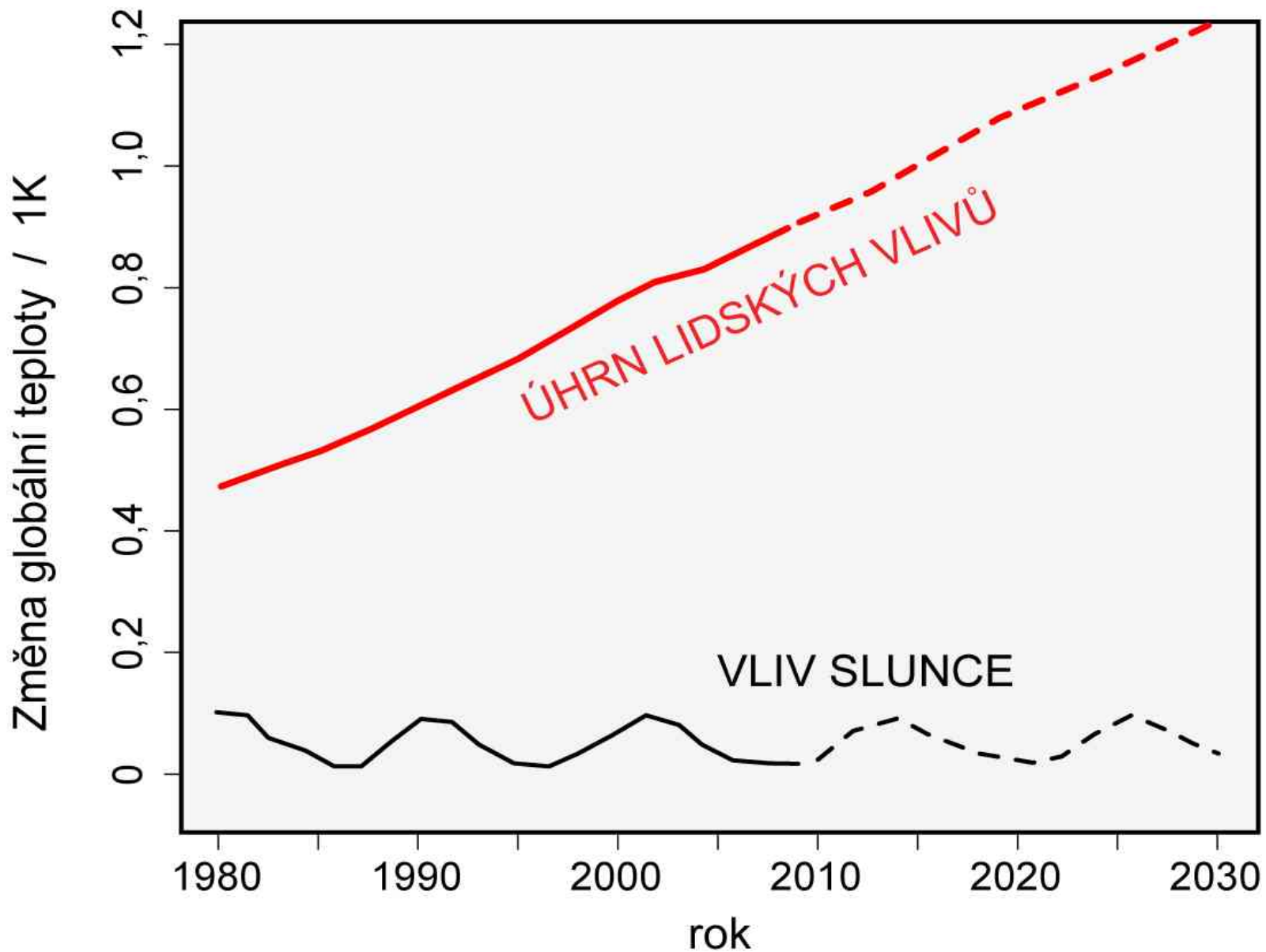
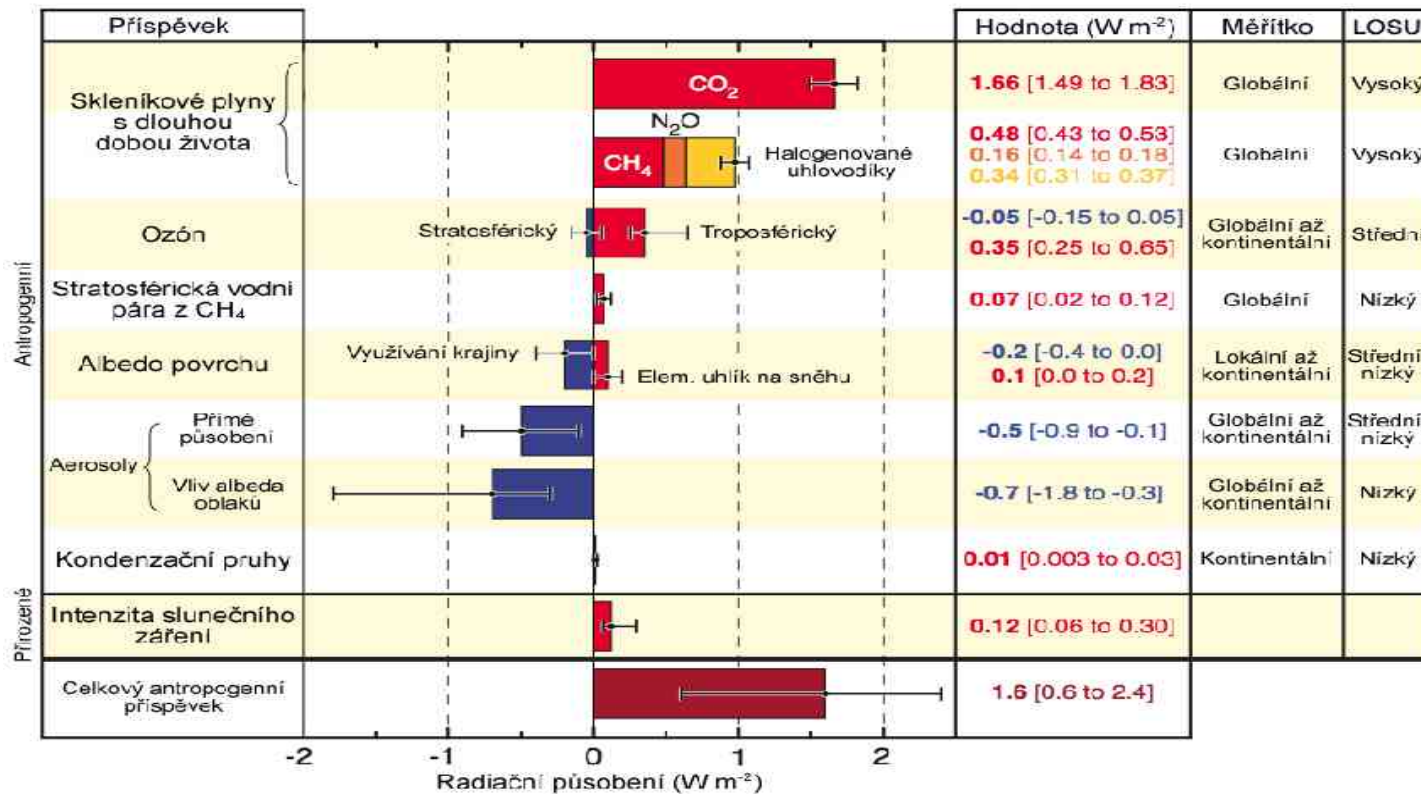
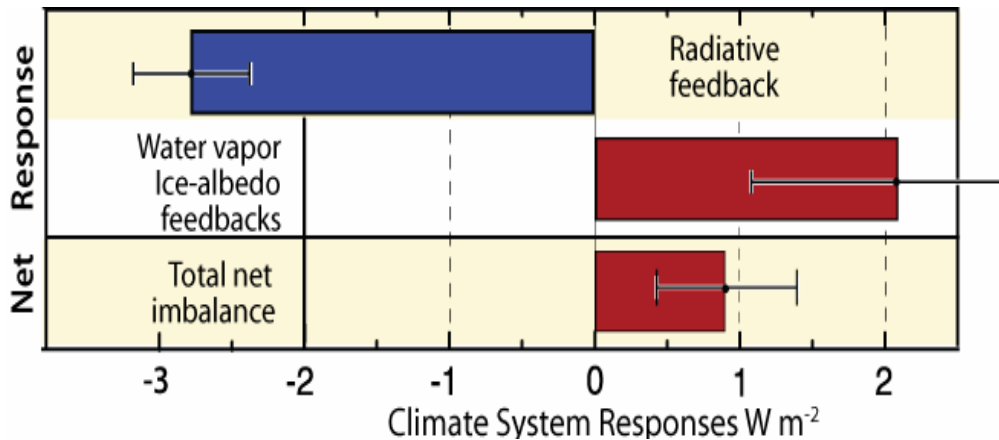


Figure 5: Vliv antropogenní oproti vlivu solárnímu od roku 1980 a projekce do 2030 (zdroj: Kodaňská diagnóza)

# Příspěvky k radiálnímu působení



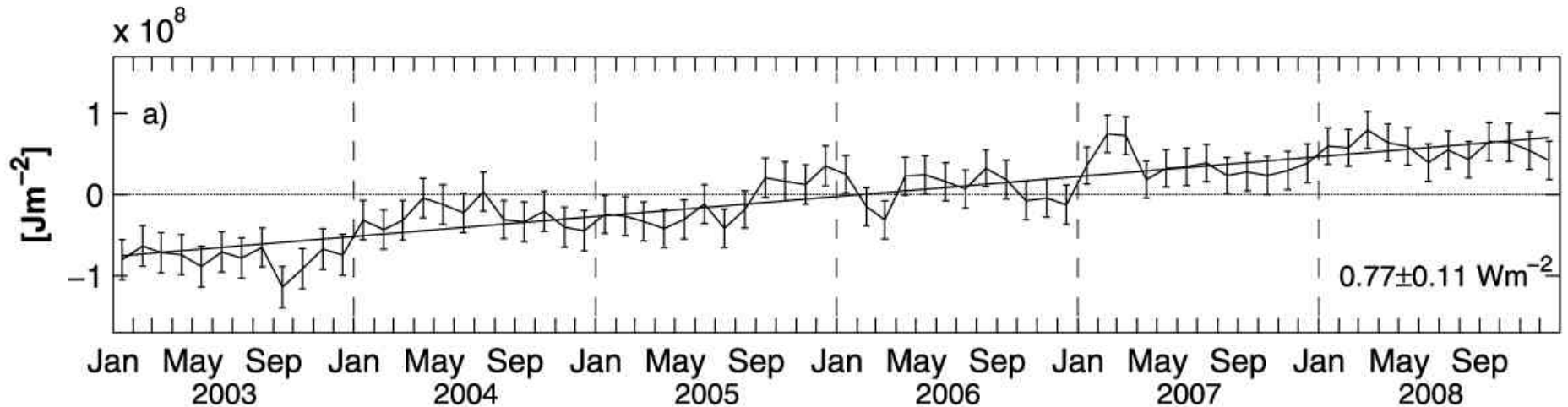
©IPCC 2007: WG1-AR4



Trenberth et al  
2009

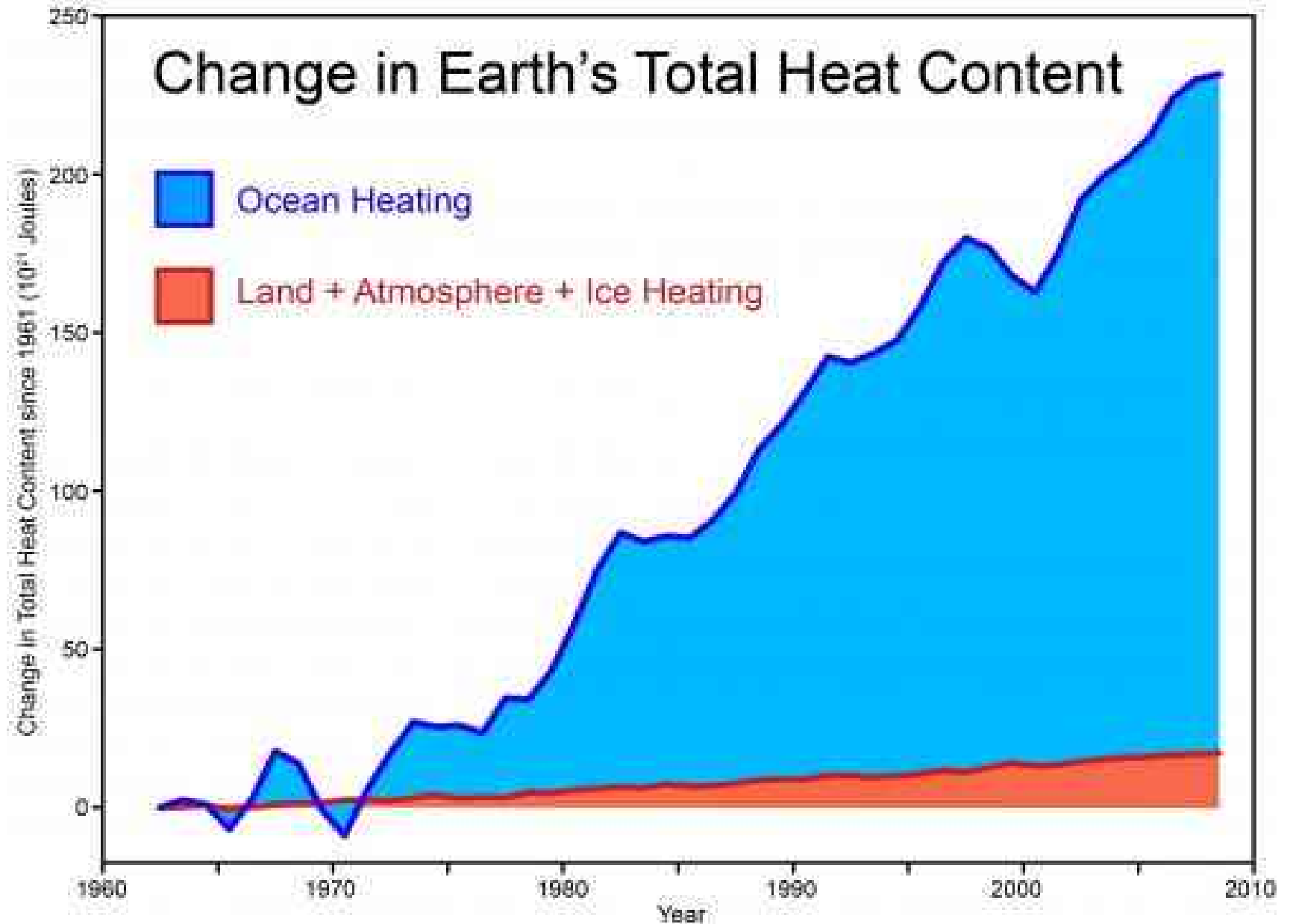
# Tok tepla do oceánů

Global hydrographic variability patterns during 2003-2008.  
Karina von Schuckmann, Fabienne Gaillard and Pierre-Yves Le Traon.  
J. Geophys. Res., 114, C09007, doi:10.1029/2008JC005237





# Change in Earth's Total Heat Content

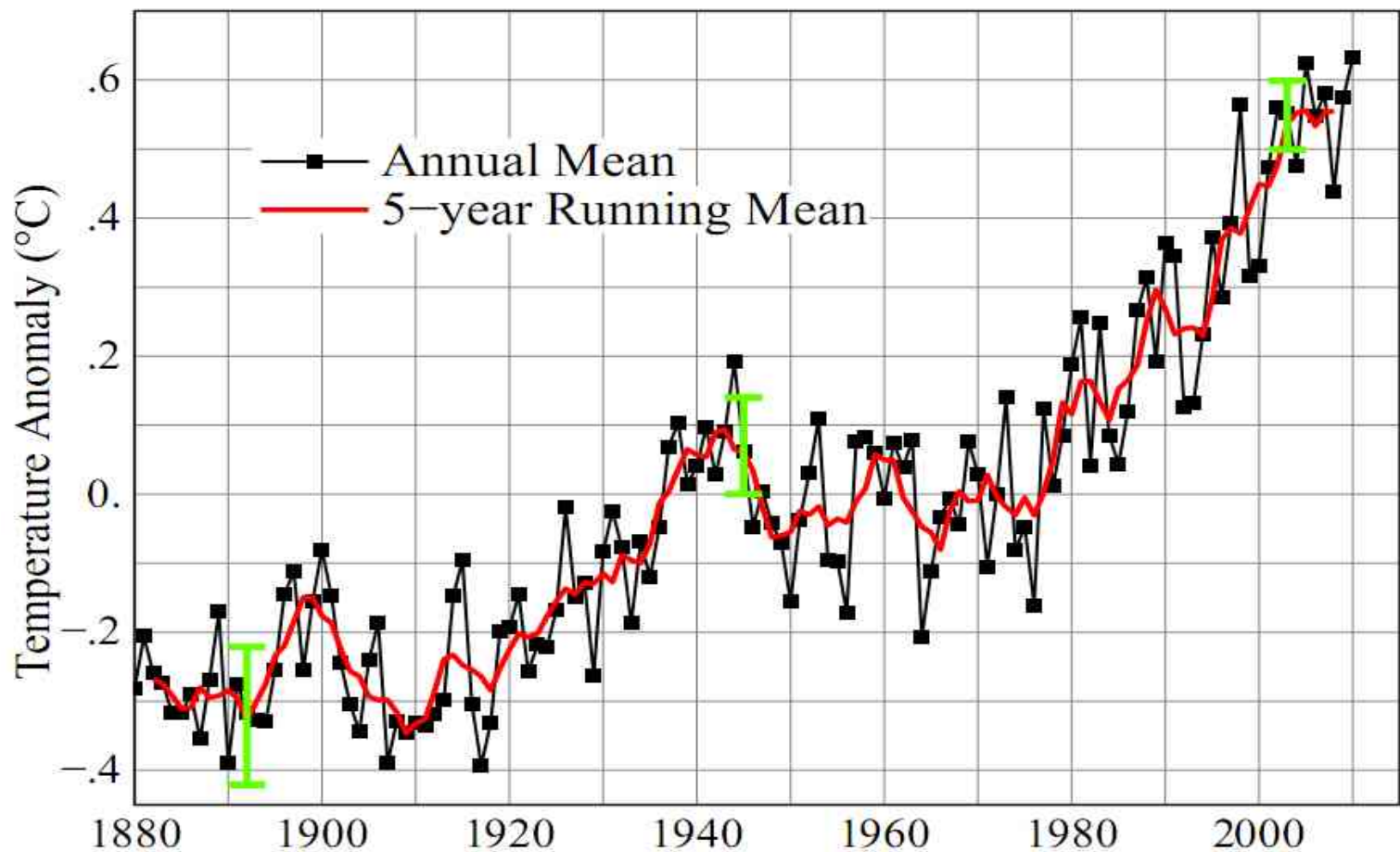


## 2. Projevy

# Země se ohřívá

90. léta byla tehdy nejteplejší zaznamenaná dekáda,  
třetí tisíciletí je ještě teplejší

## Global Land–Ocean Temperature Index



Nejteplejší  
roky

2010

2005

2007

2009

1998

2002

2006

2004

2001

2008

~ 0.8 °C: globální zvýšení teploty za poslední století

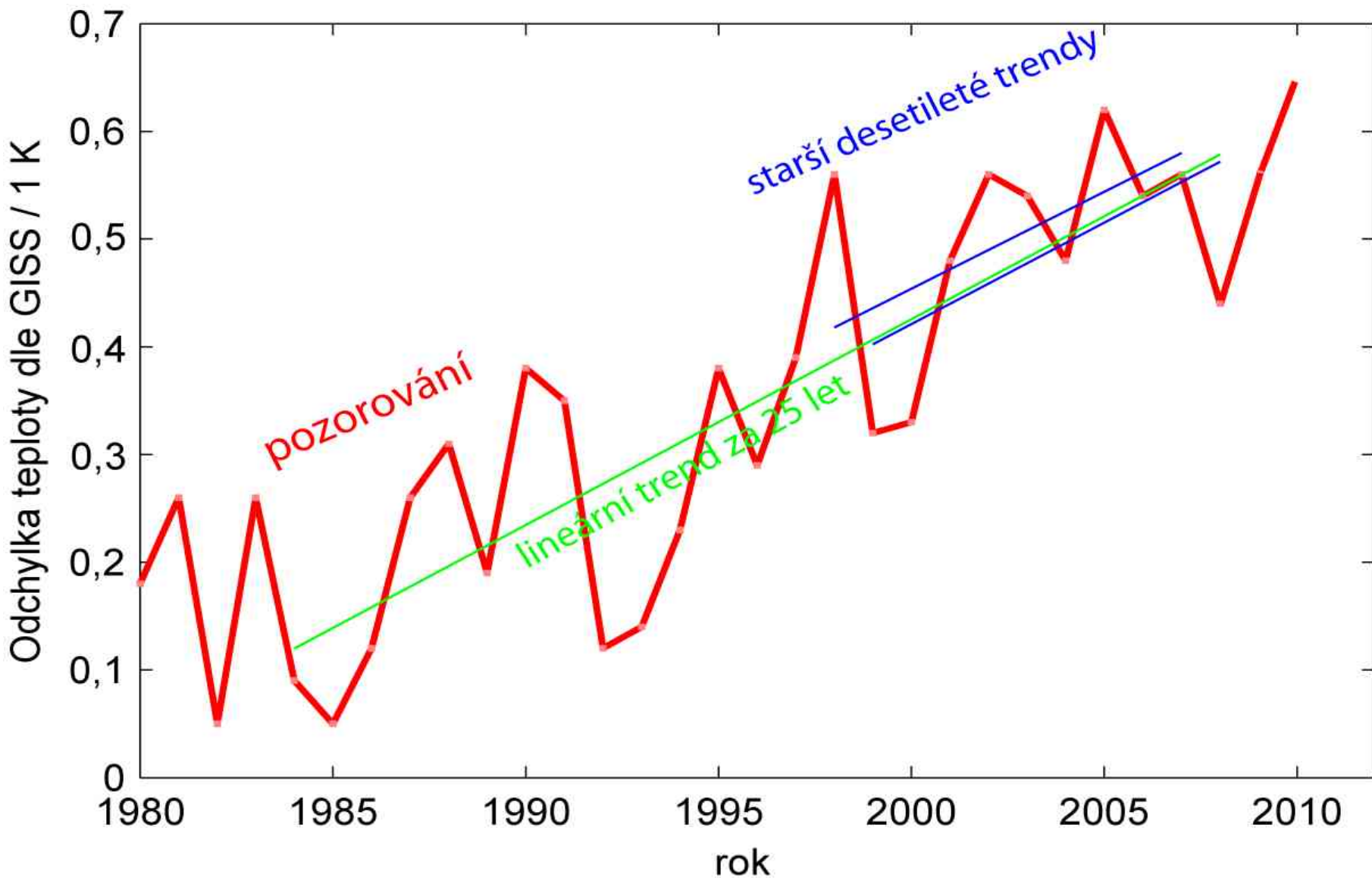
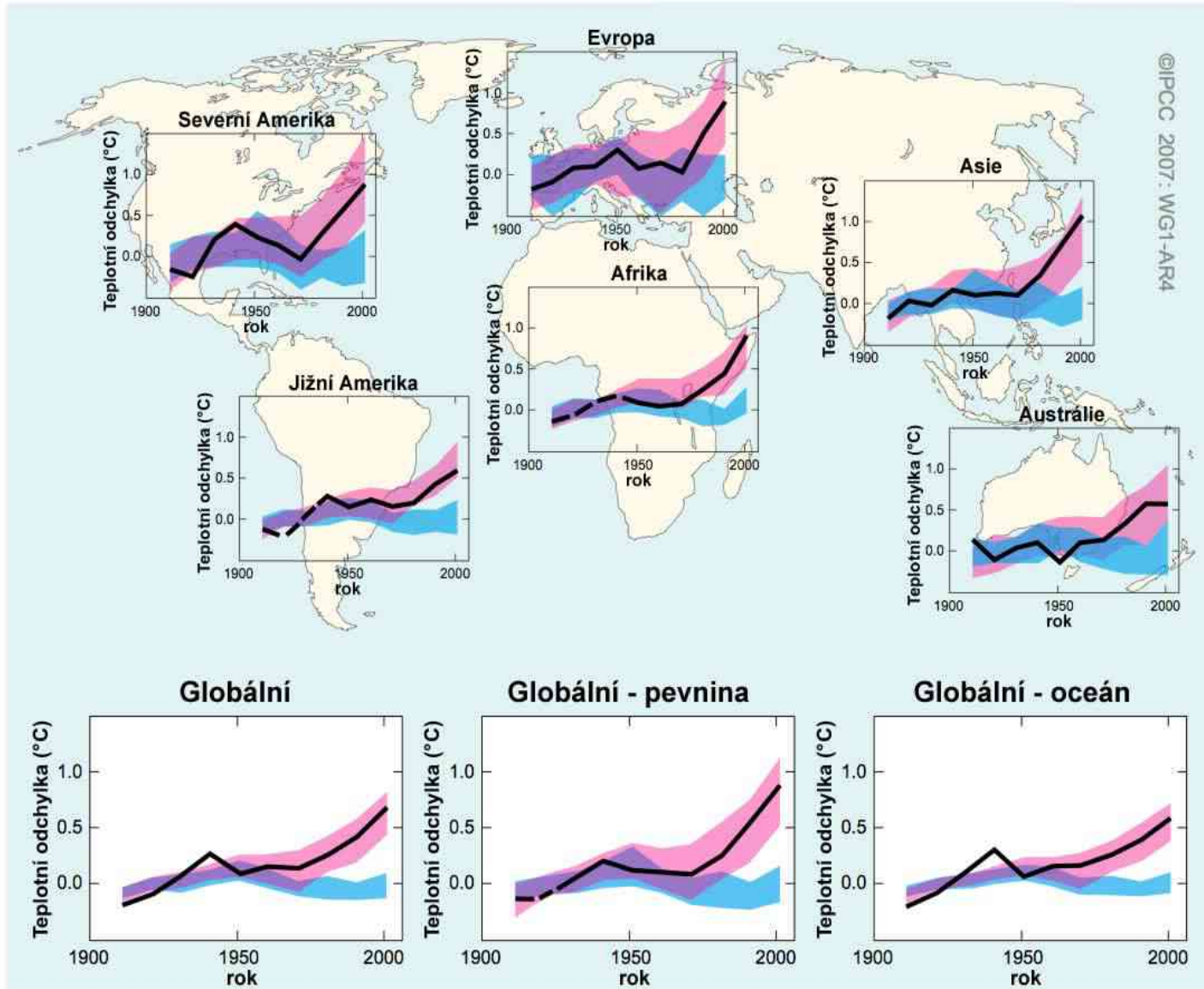


Figure 4: Změna globální teploty od roku 1980 dle údajů GISS

# Změna globálních a kontinentálních teplot

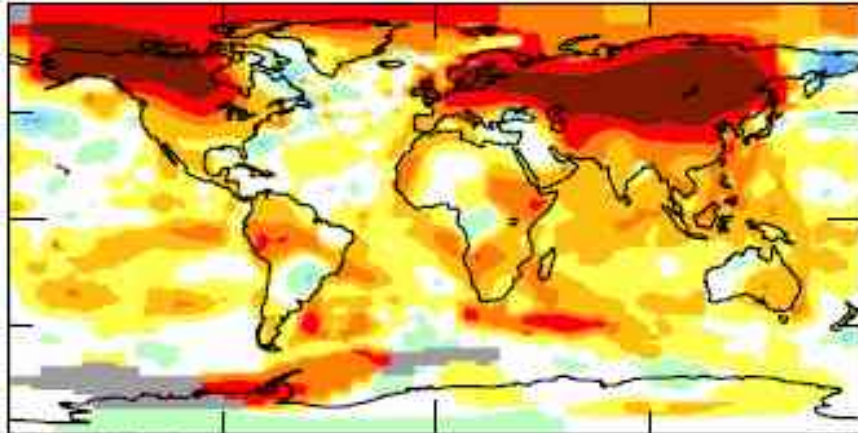


# Čtvrtletní trendy od r. 1950

1950-2009 Seasonal Surface Temperature Changes (°C)

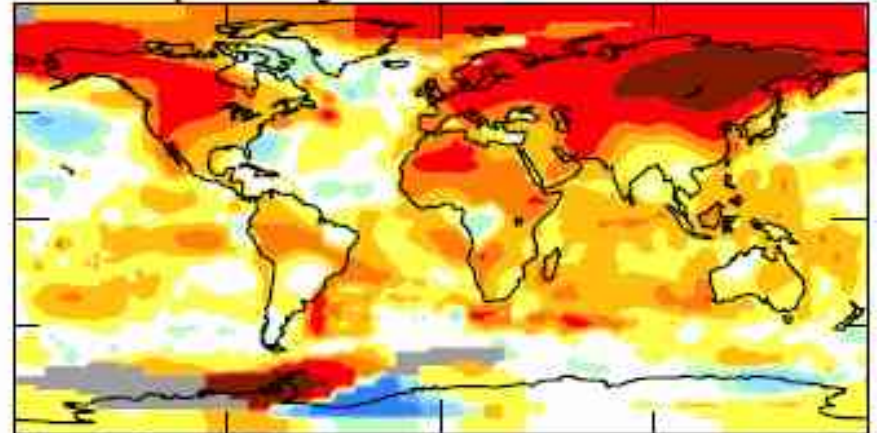
Dec-Jan-Feb

.66



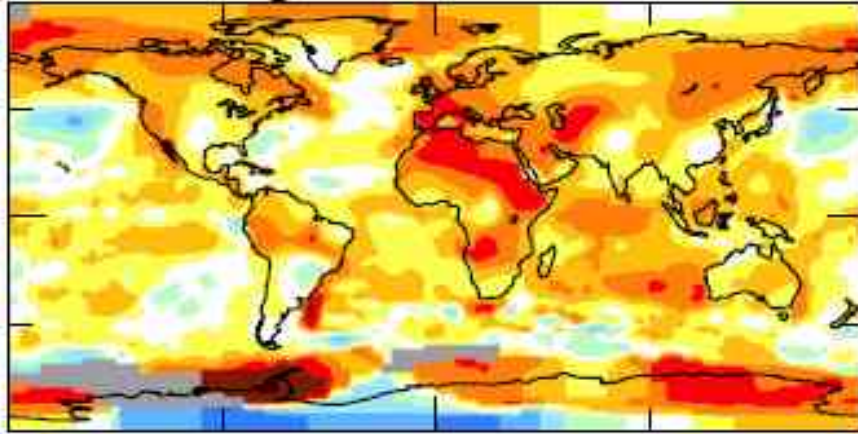
Mar-Apr-May

.66



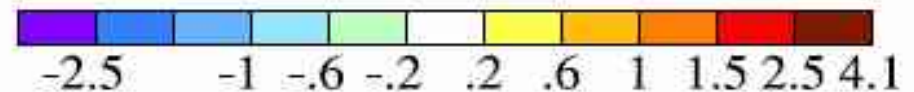
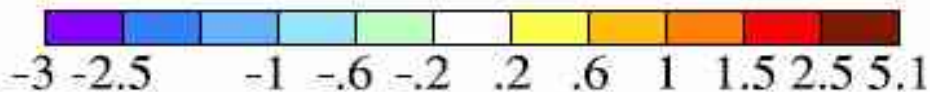
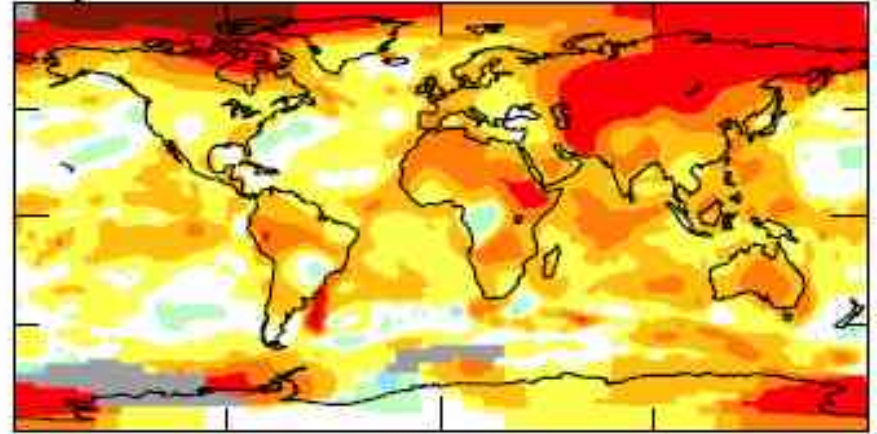
Jun-Jul-Aug

.60

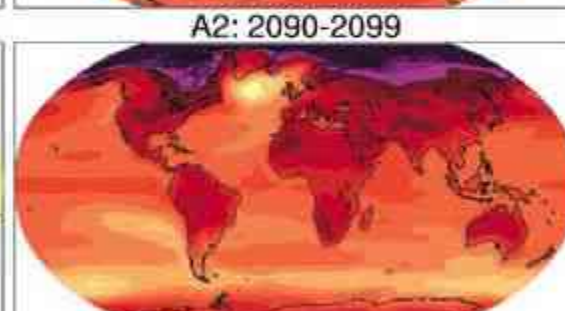
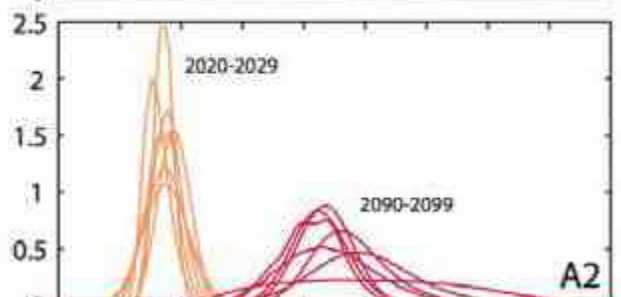
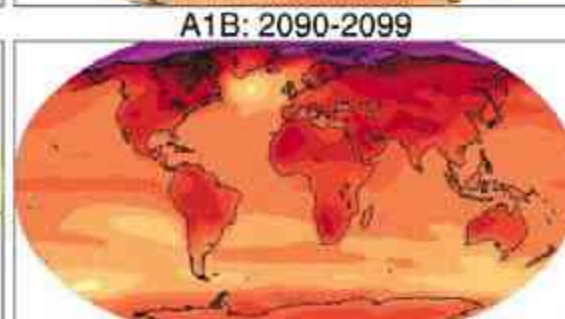
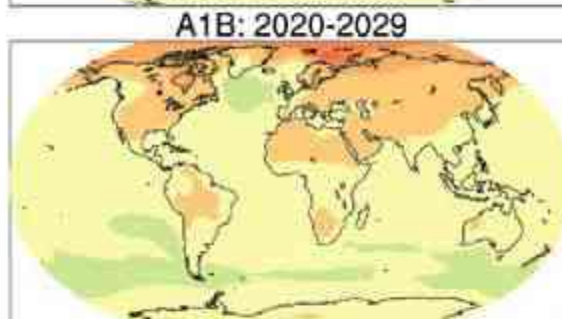
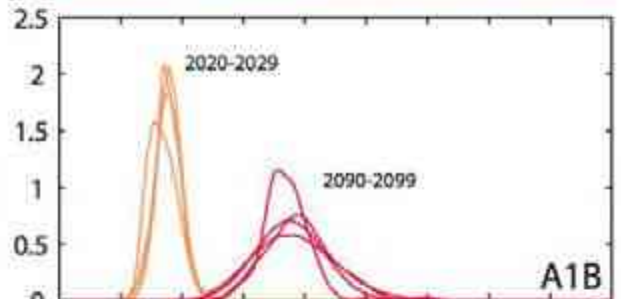
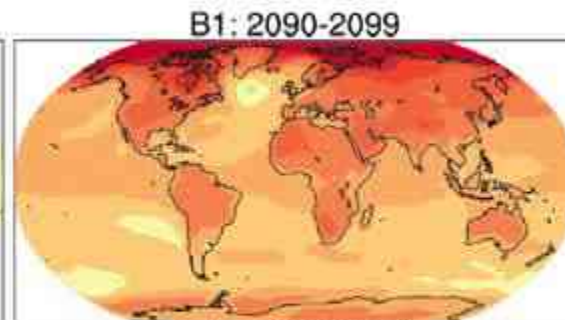
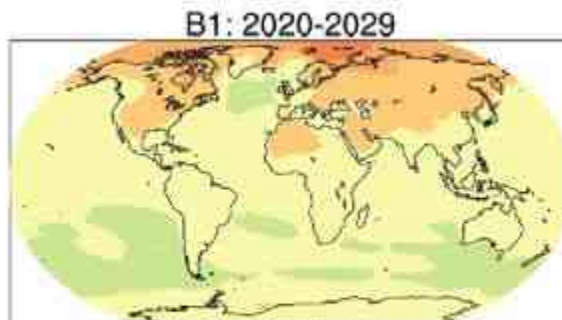
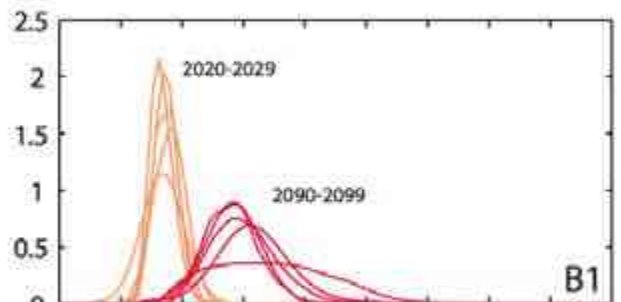


Sep-Oct-Nov

.64



# AOGCM projekce povrchové teplot



Globální průměrná změna povrchové teploty (°C)



Horské ledovce tají na celém  
světě

Nový Zéland

Mueller Glacier







USA  
Grinnell Glacier  
Glacier National  
Park





# Švýcarsko

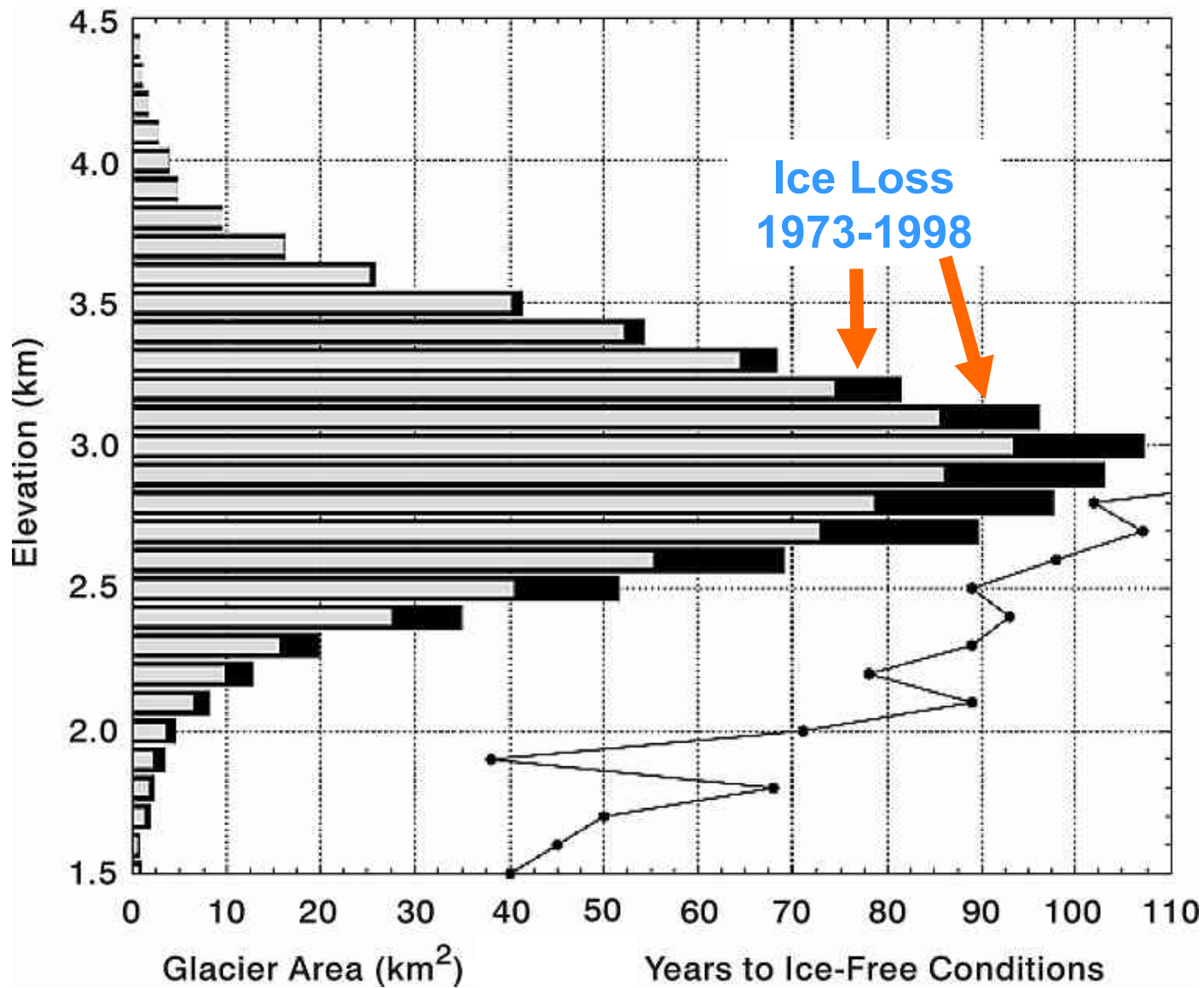
## Rhone Glacier



# Ledovec Rongbuk



Ledovec v roce 1968 (nahore) a 2007. Největší ledovec na severním svahu Mount Everestu napájí řeku Rongbuk.

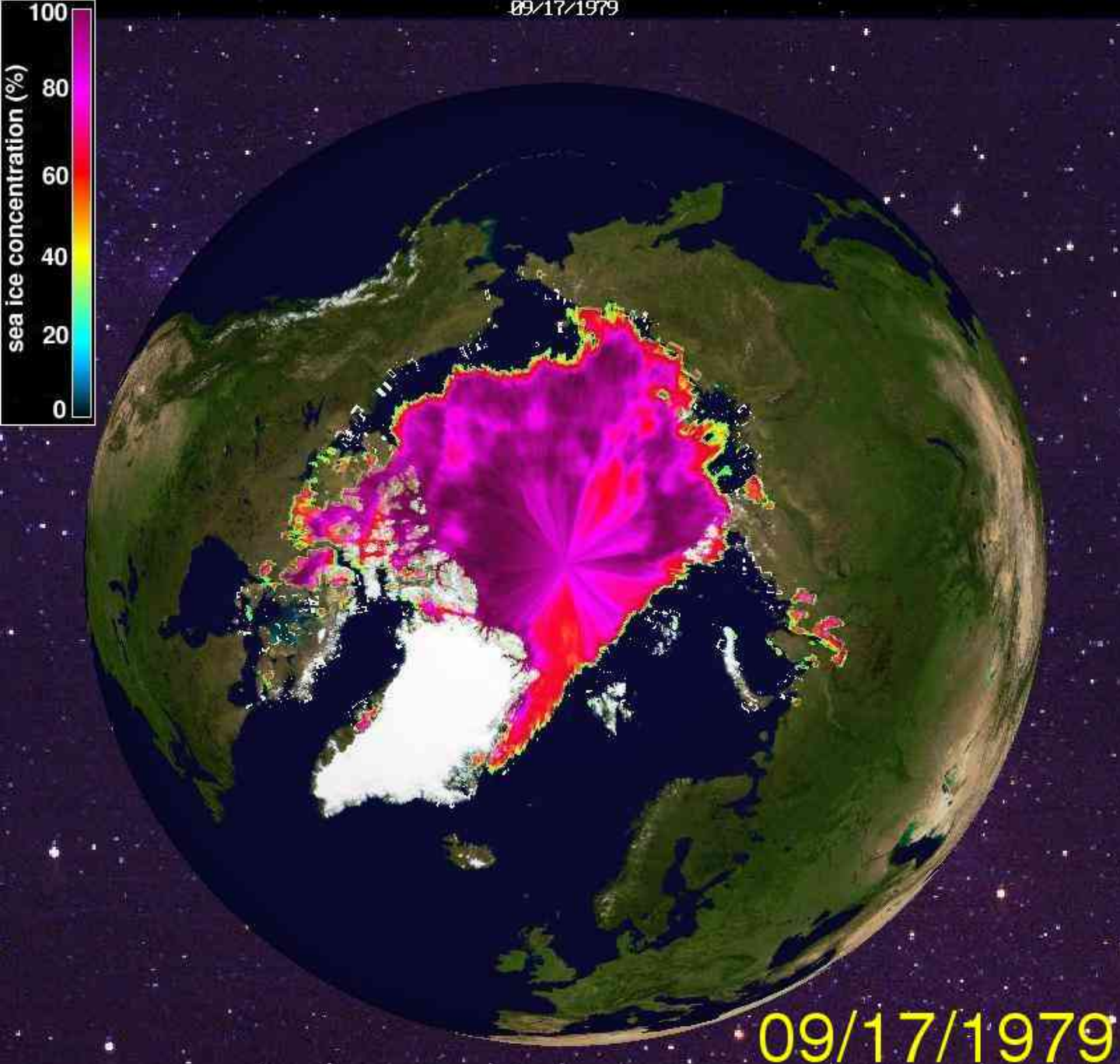


Černě: ztráta ledu od r. 1973 do 1998. Křivka: roky do zániku tímto tempem.

# Ztmavnutí povrchu

velká zesilující zpětná vazba

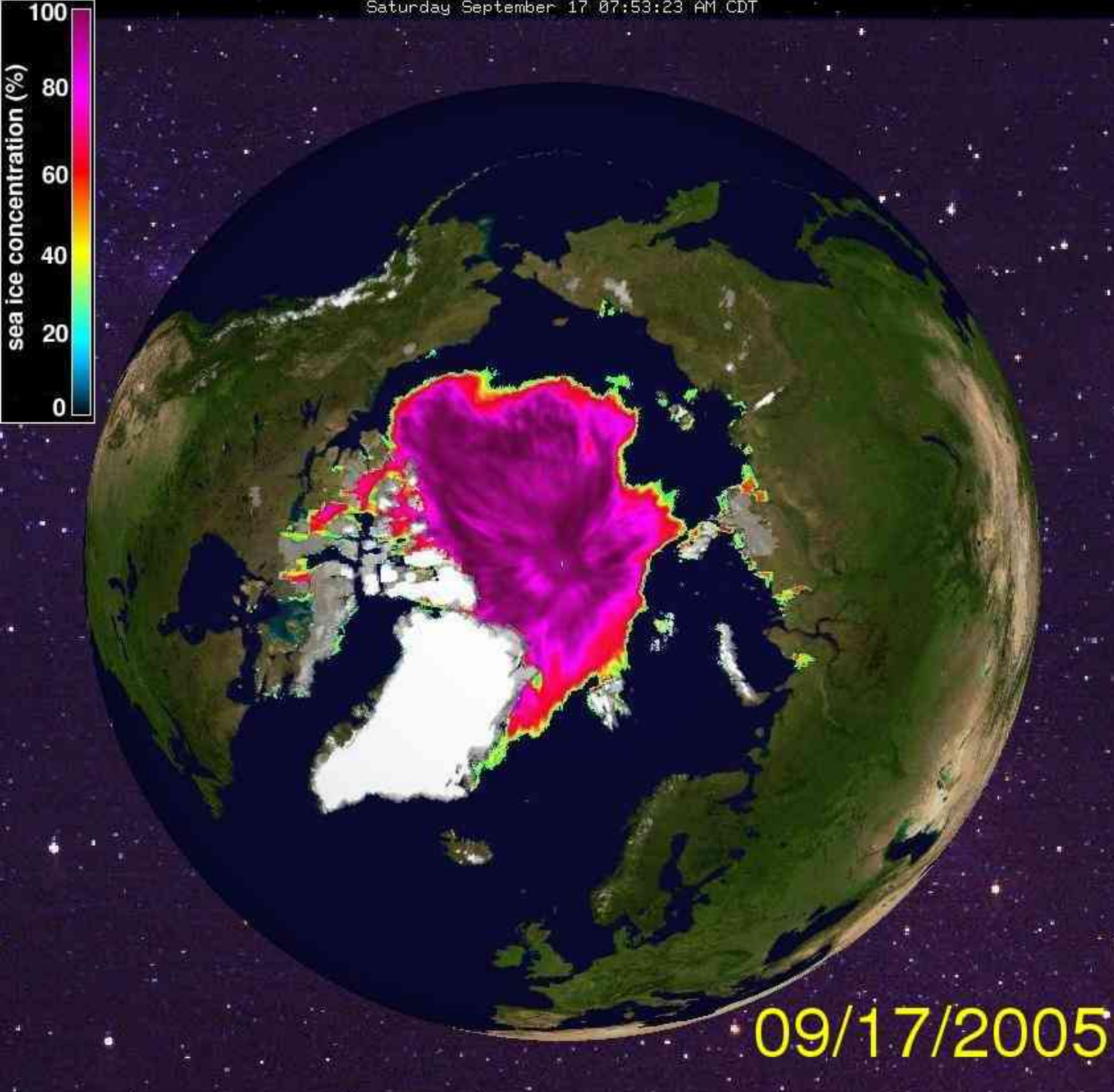
09/17/1979



1979  
17. září

Arktický  
mořský led

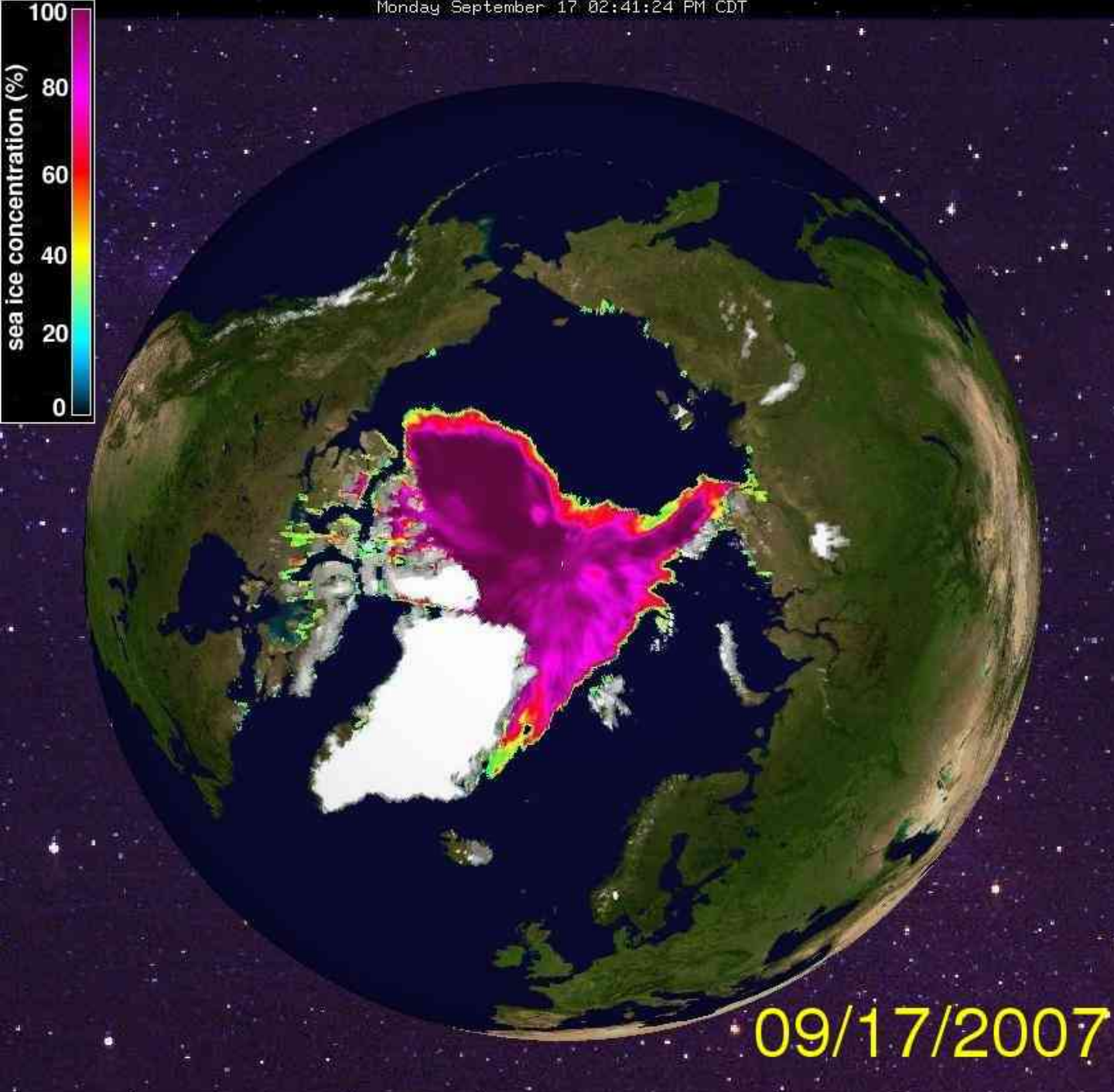
09/17/1979



2005  
17. září

Arktický  
mořský led

09/17/2005

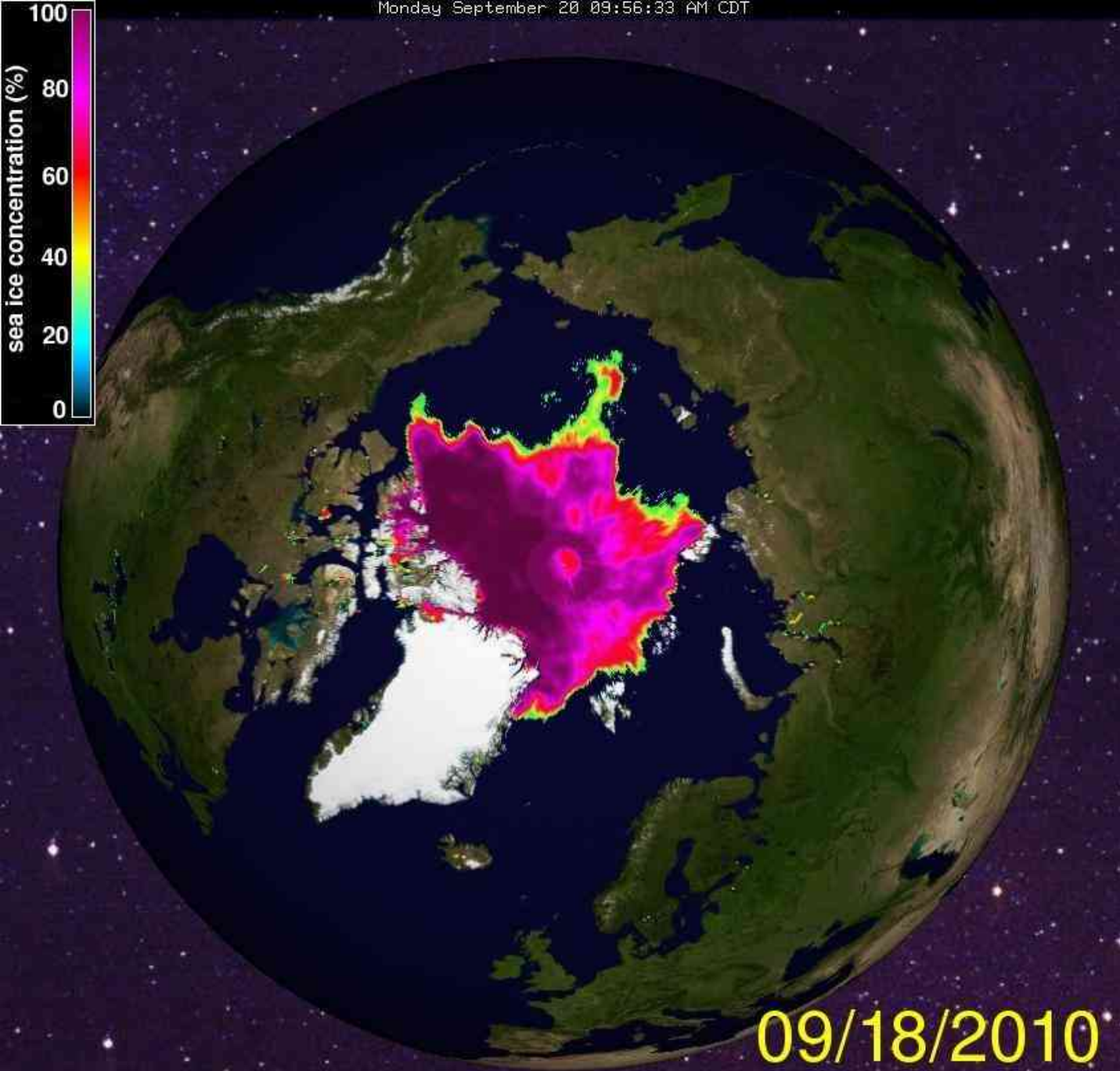


2007  
17. září

Arktický  
mořský led

09/17/2007





2010  
18. září

Arktický  
mořský led

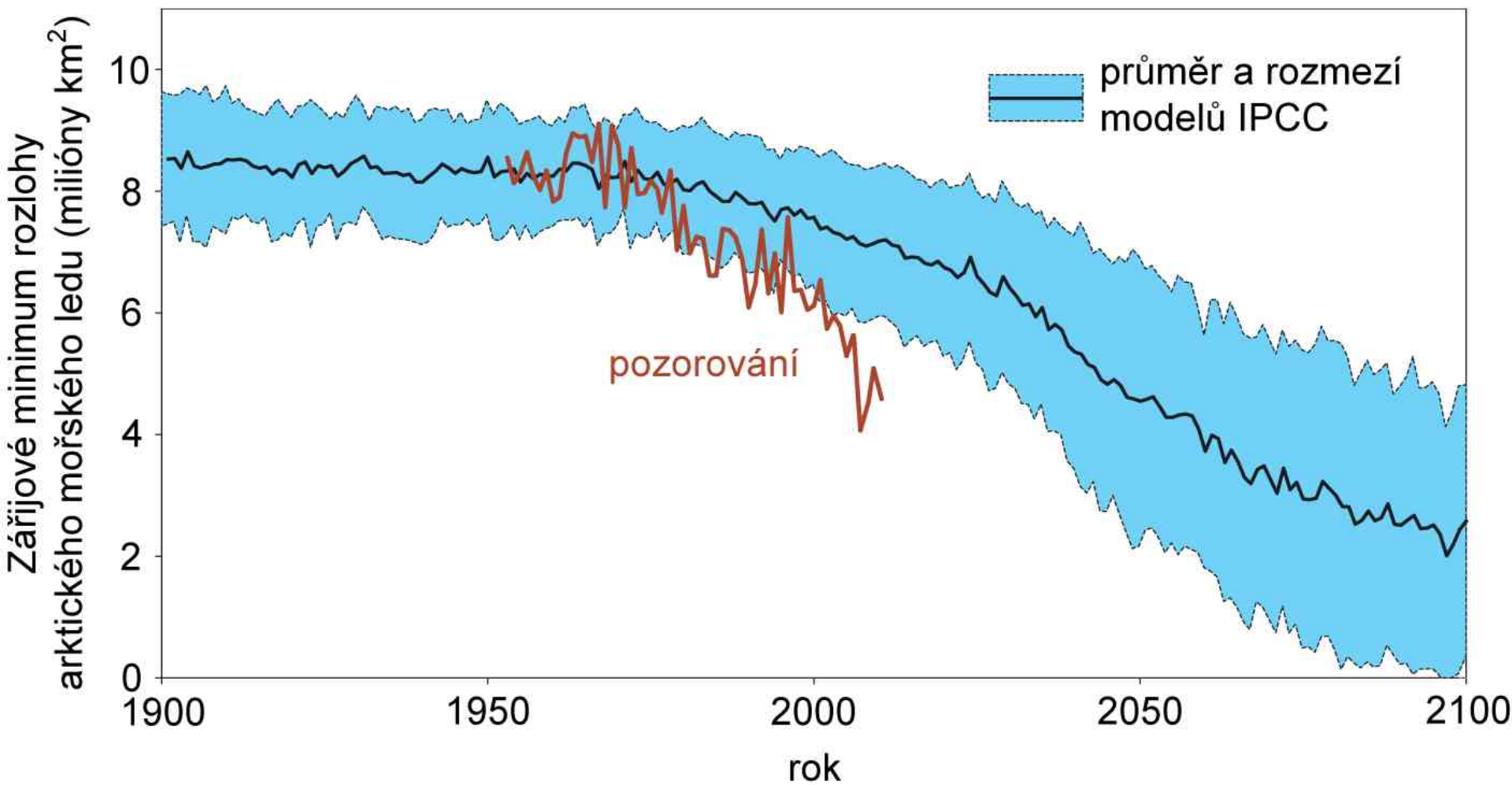
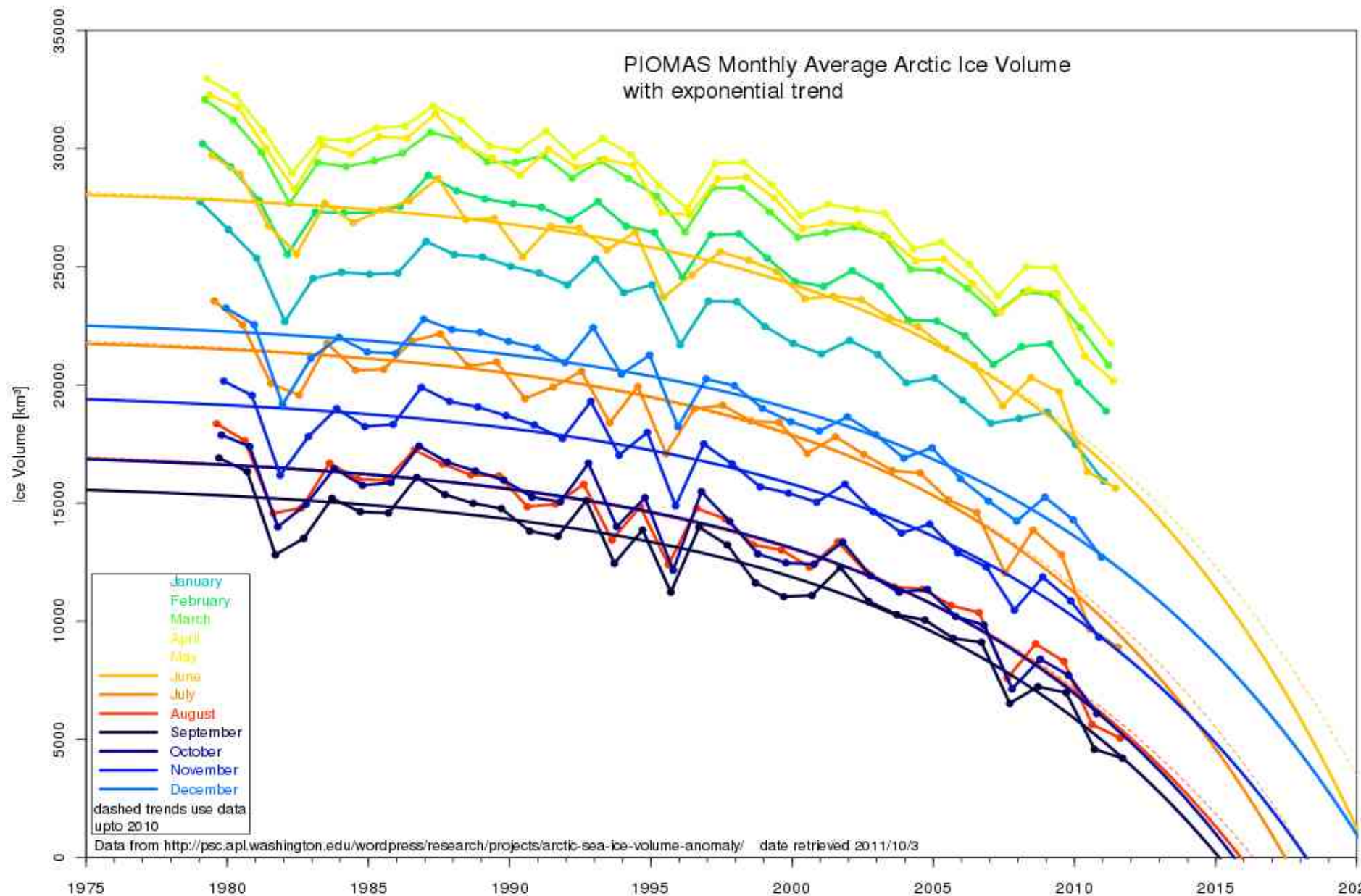


Figure 13: Pozorované a modelované změny rozlohy mořského ledu v Arktidě

# Objem arktického mořského ledu exponenciálně klesá



# Budoucí rizika

v oteplujícím se světě



riziko

=

pravděpodobnost

x

dopad

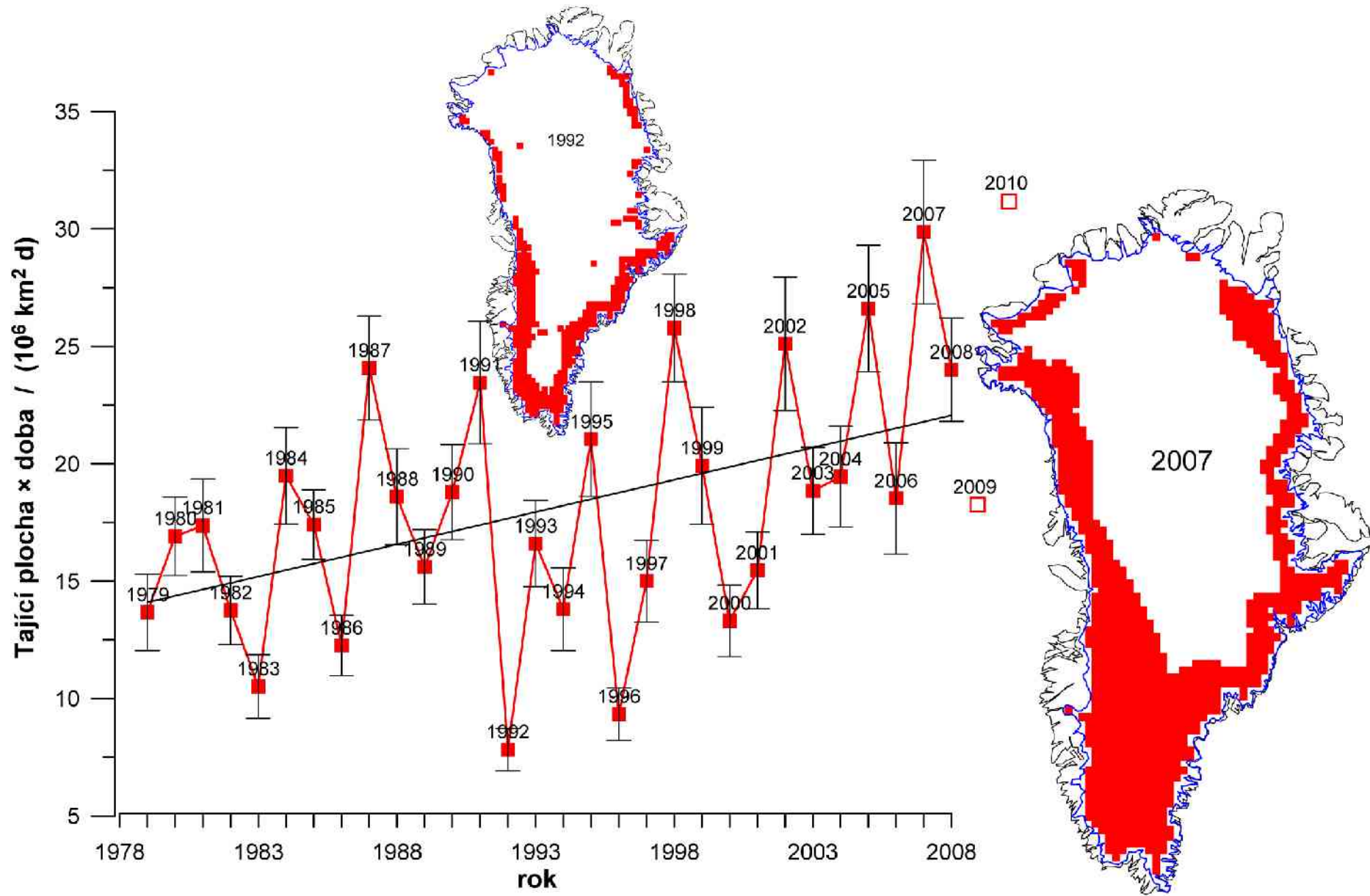
# Tání na povrchu Grónska

Vody klesající do „mlýna“, svislé šachty vedoucí na dno ledového příkrovu



*Zdroj: Roger Braithwaite,  
University of Manchester (UK)*

# Rozloha oblasti tání



# Ledový proud Jakobshavn v Grónsku

Odtok z velkých grónských ledových proudů se značně zrychluje



*Zdroj: Prof. Konrad Steffen,  
Univ. of Colorado*

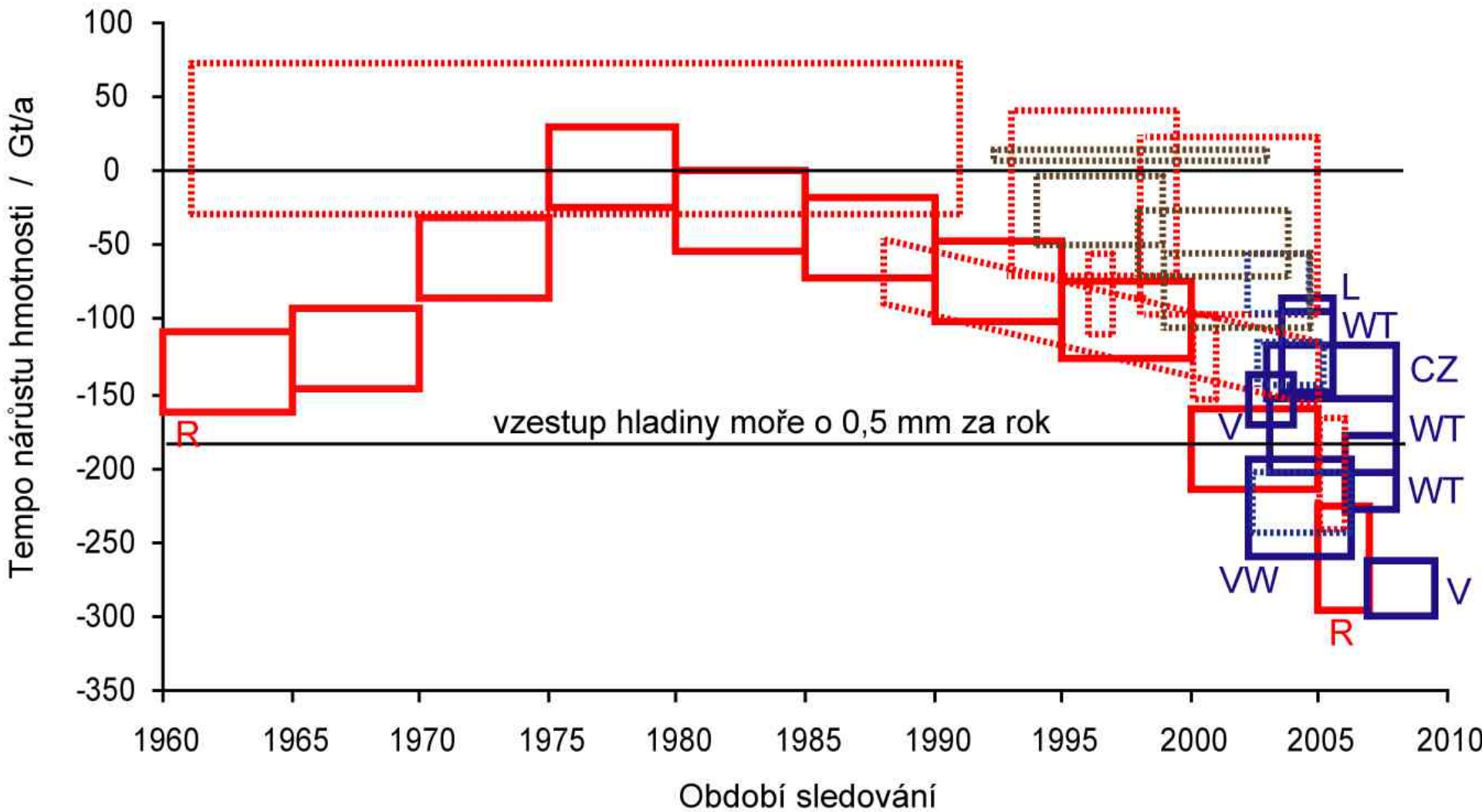


Figure 8: Úbytek hmotnosti ledu v Grónsku od roku 1960, gigatuny za rok



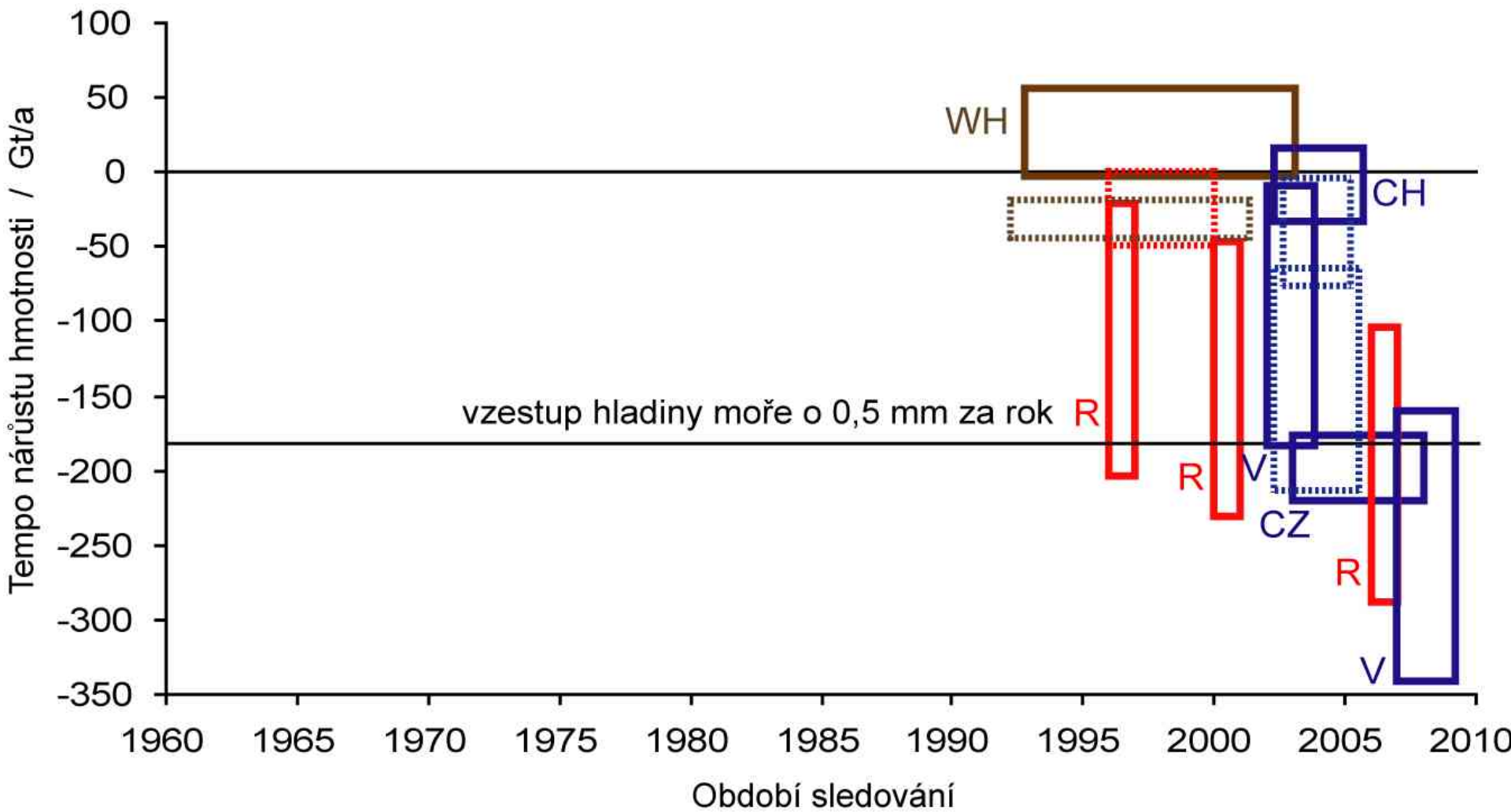
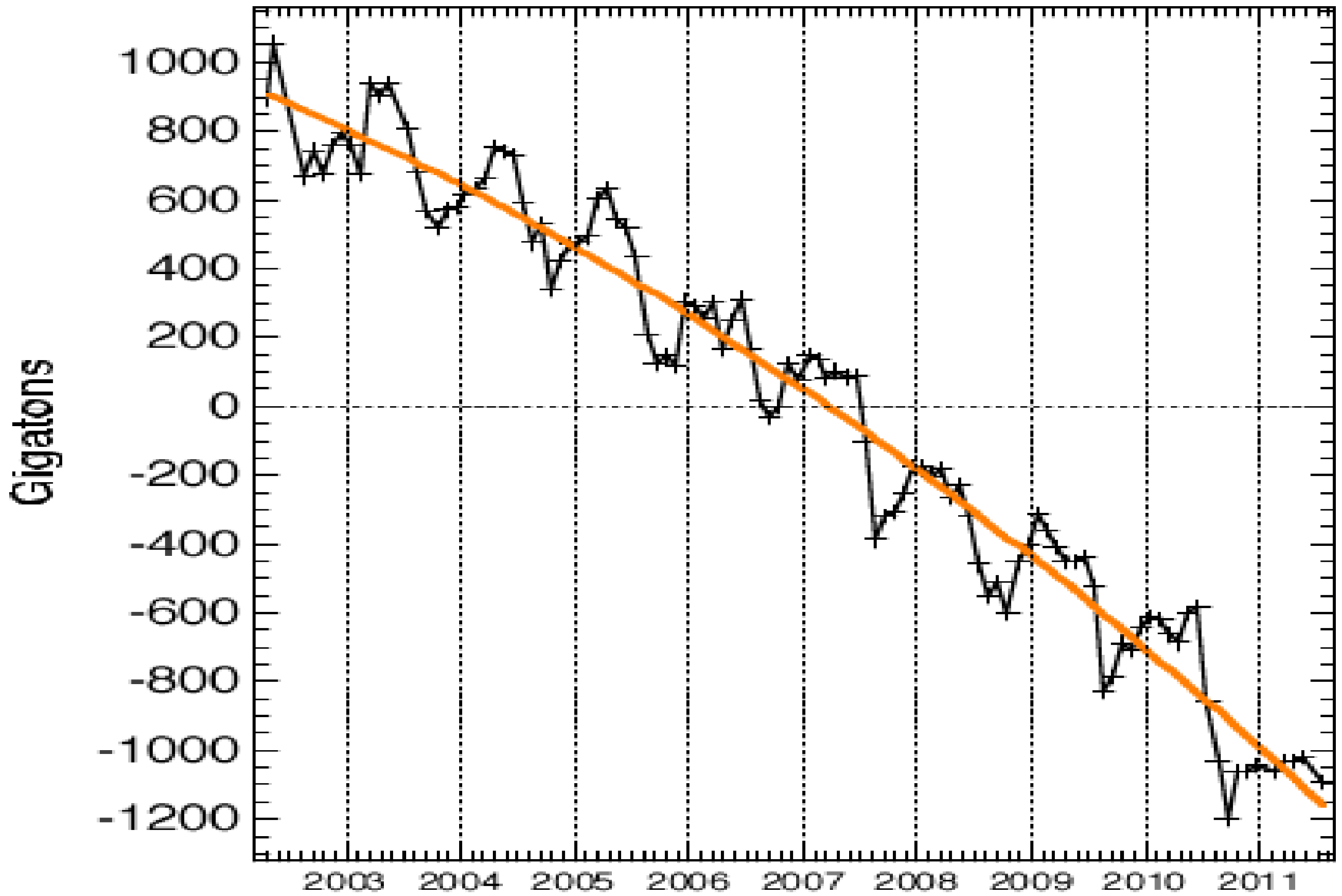
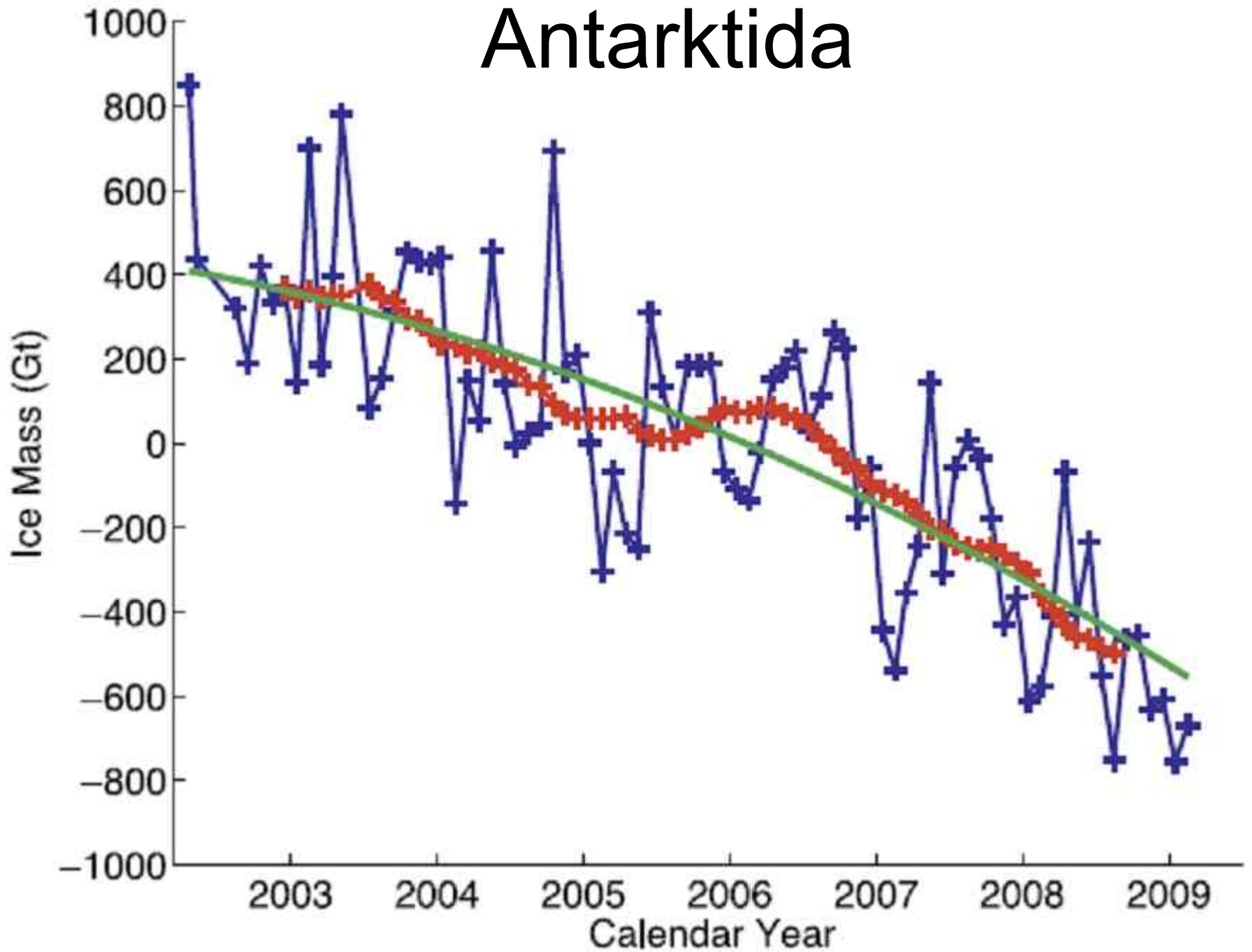


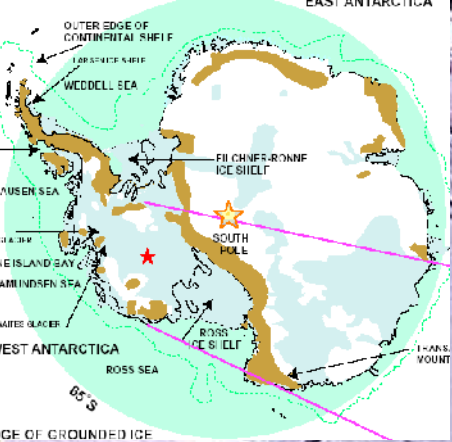
Figure 10: Úbytek hmotnosti ledu v Antarktadě od roku 1960, gigatuny za rok

# Greenland



# Antarktida

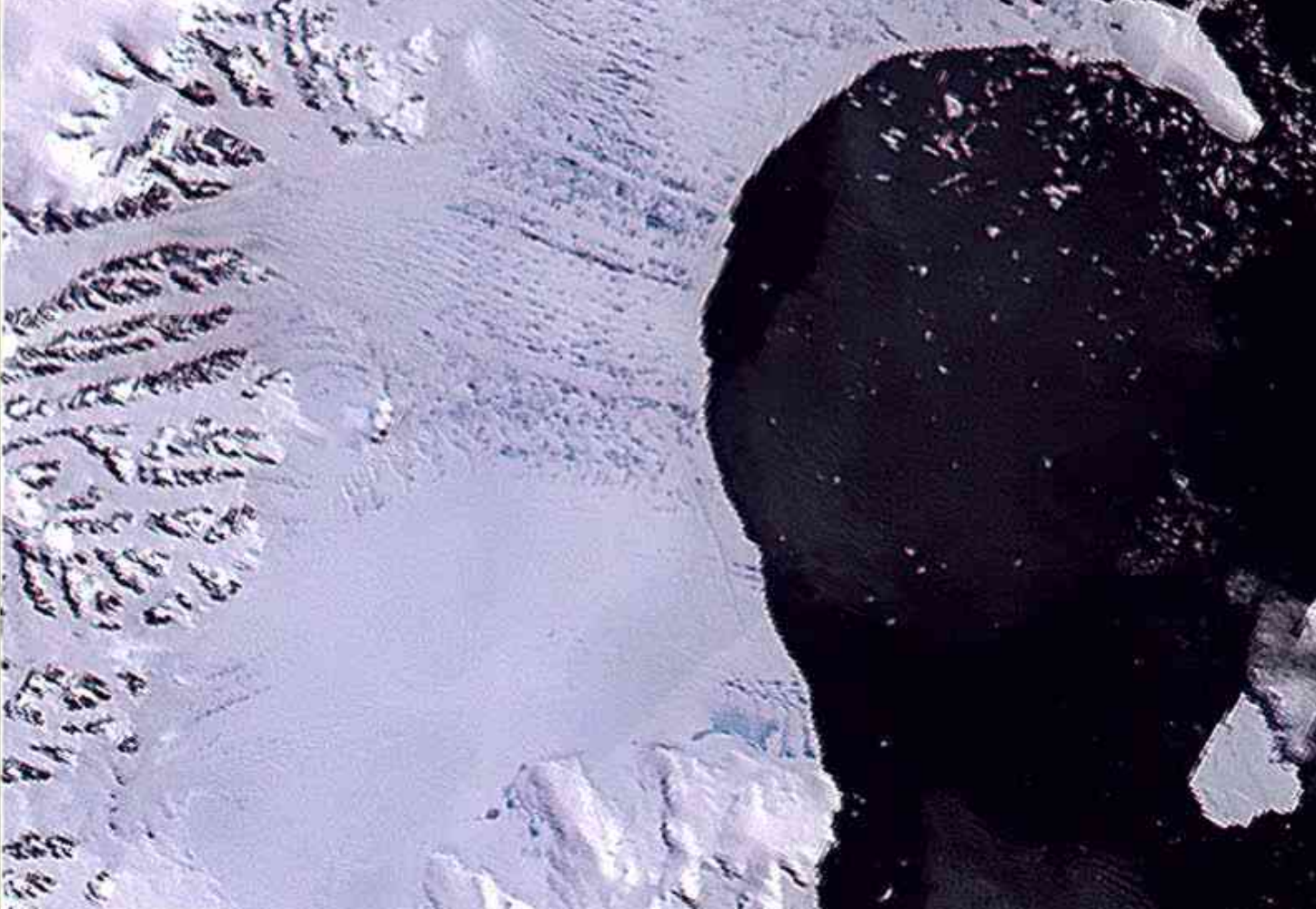




30. leden  
2002

Scambos,  
NSIDC

20 km



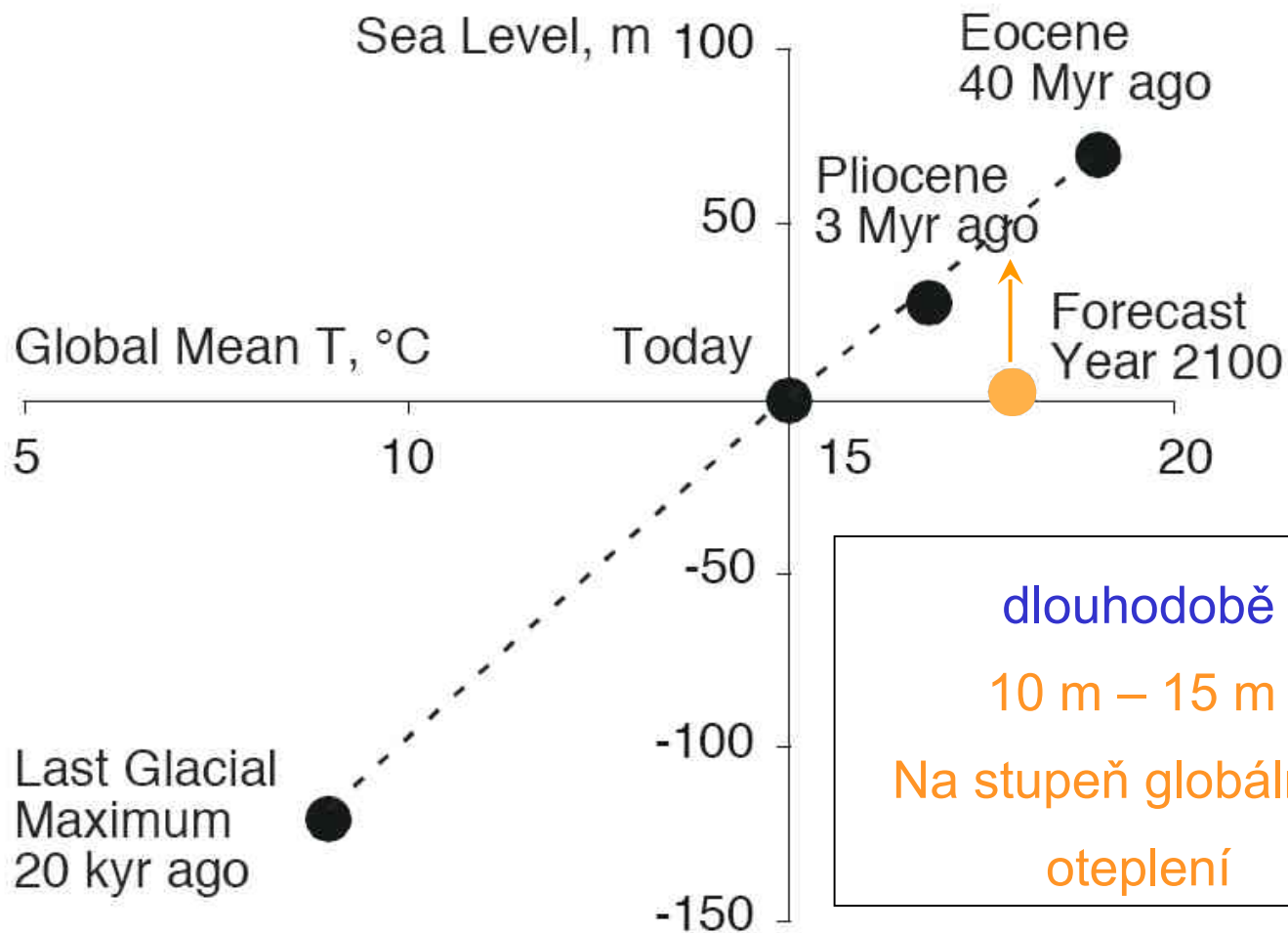


4. březen  
2002

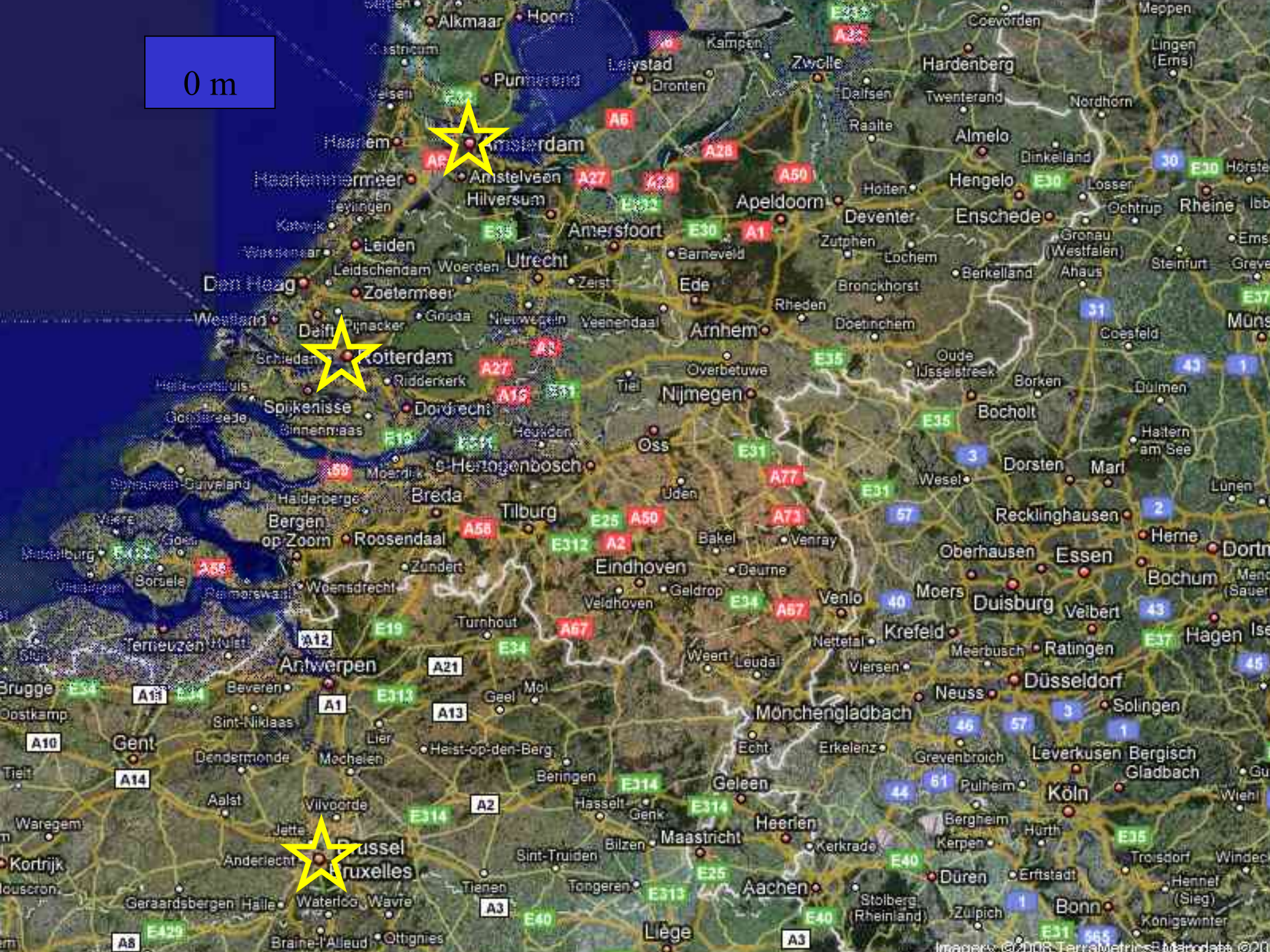
Scambos,  
NSIDC

20 km

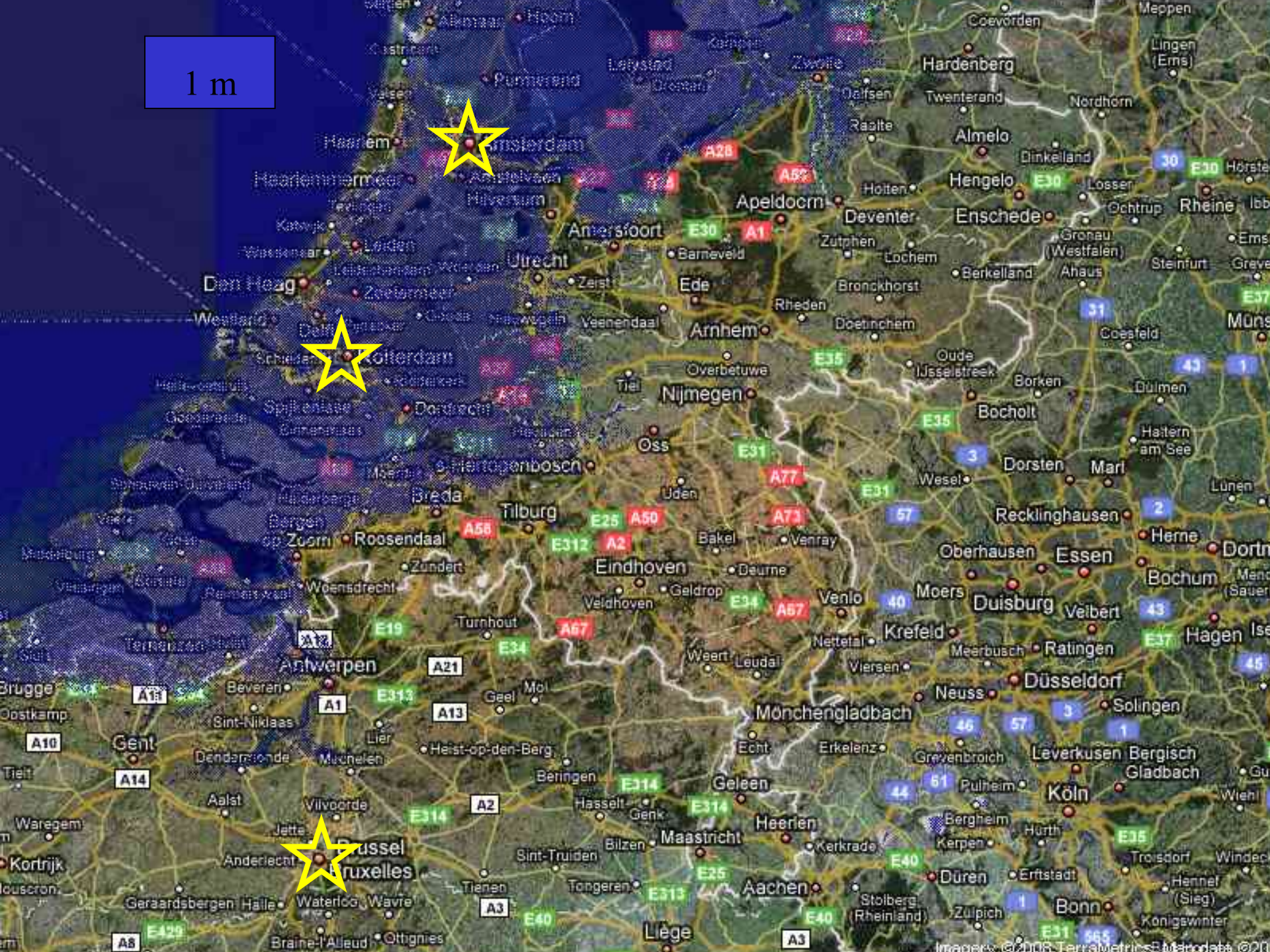
# Minulé odchylky mořské hladiny



0 m

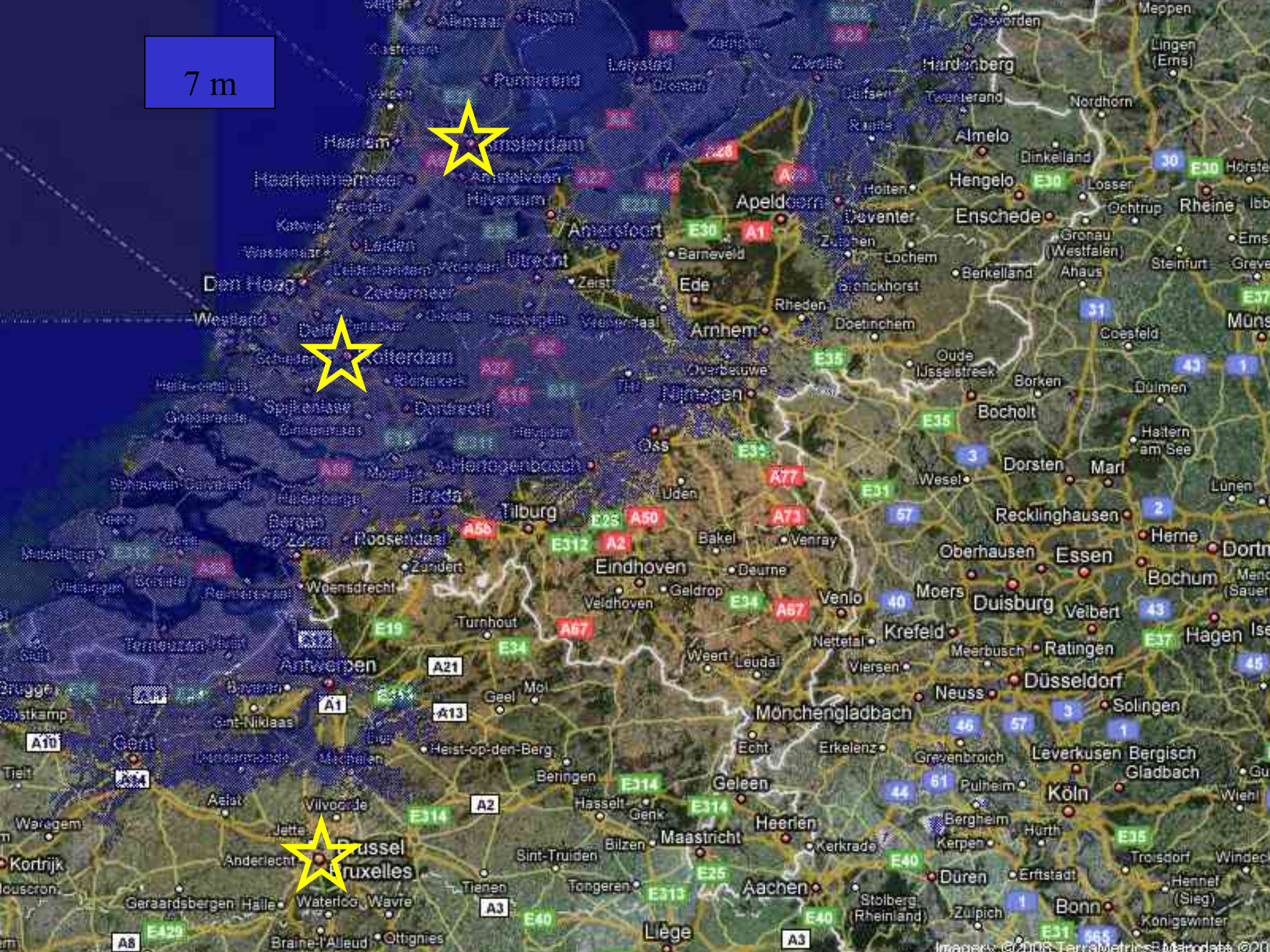


1 m





7 m



13 m



Holandské krávy připravené na globální oteplení!



Meze adaptace?

©Bill Hare



povodně



Teplejší atmosféra pojme více  
vlhkosti  
(~7%/°C)

➤ Větší srážky v přívalech !

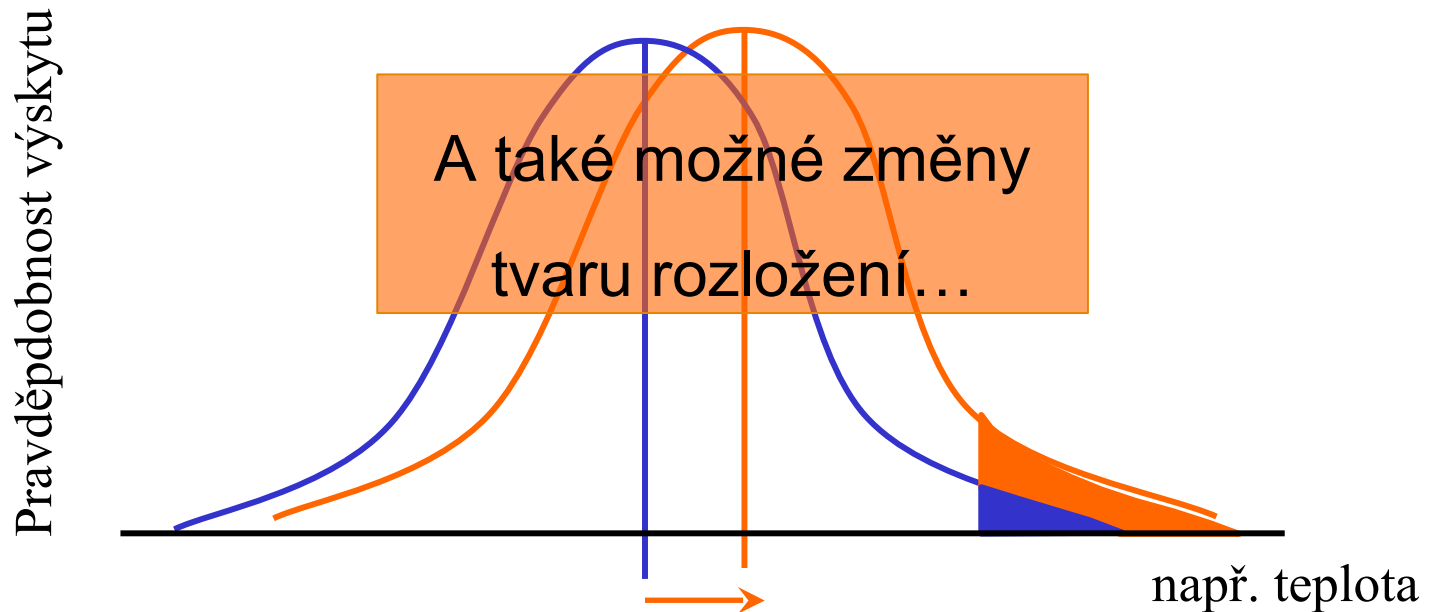
➤ více povodní ?

➤ více such ?



# Extrémní události

- Rozložení pravděpodobnosti
  - Výskyt extrémních jevů



- malý posun střední hodnoty
- mnohem větší nárůst extrémních událostí

# Increase in Mean Temperature and Variance

Probability of Occurrence

— Old Climate  
— New Climate

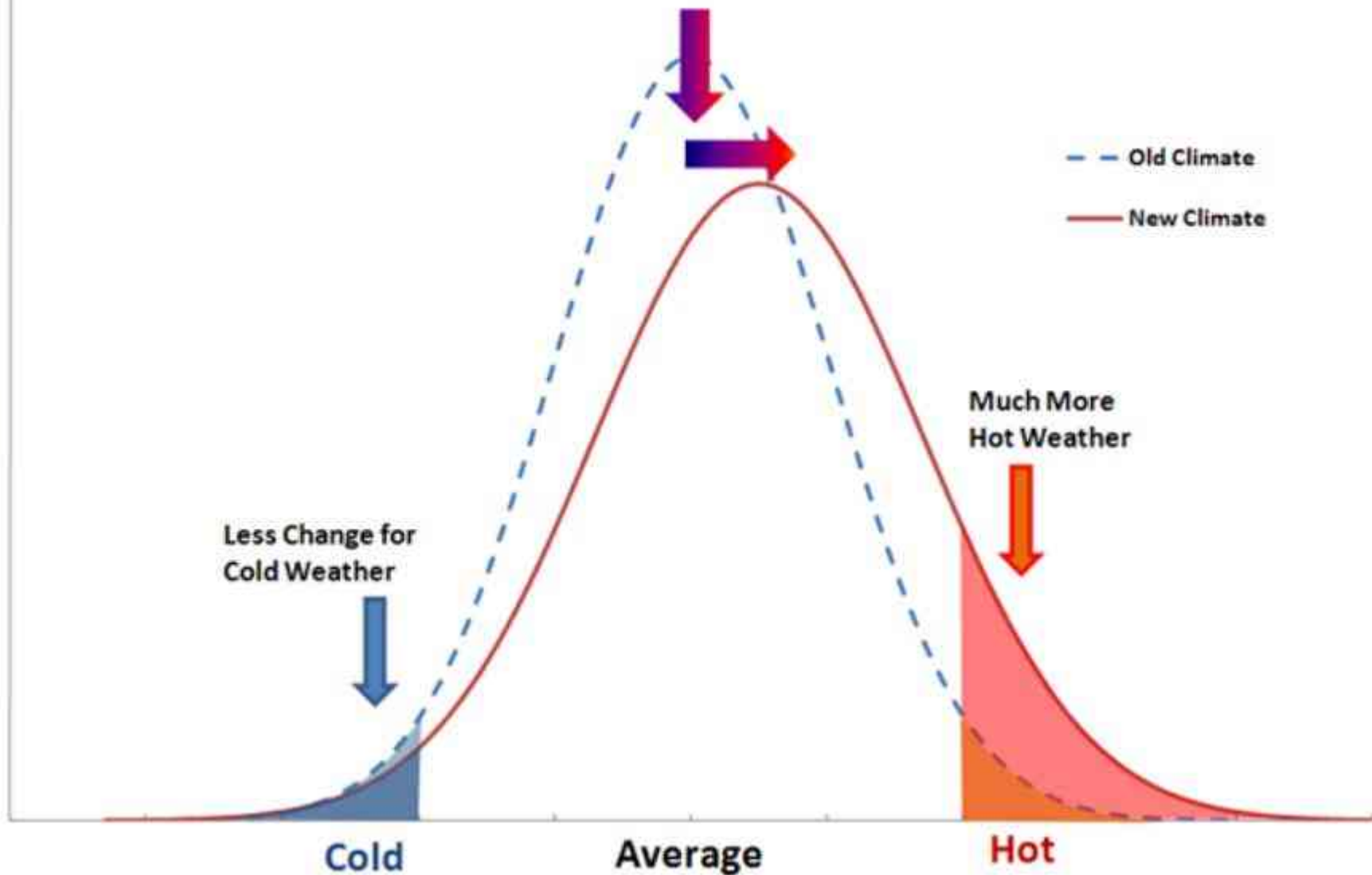
Less Change for Cold Weather

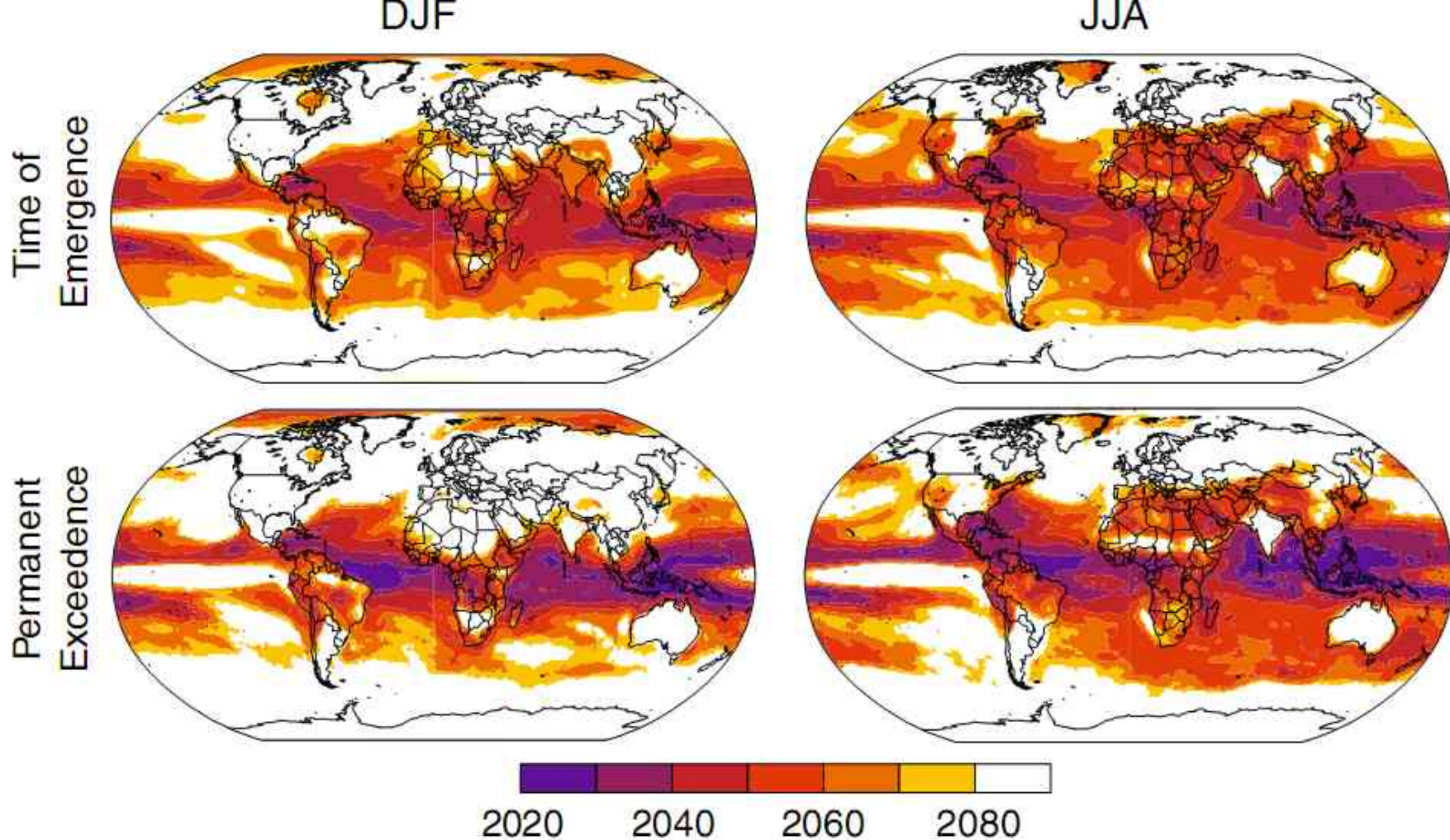
Much More Hot Weather

Cold

Average

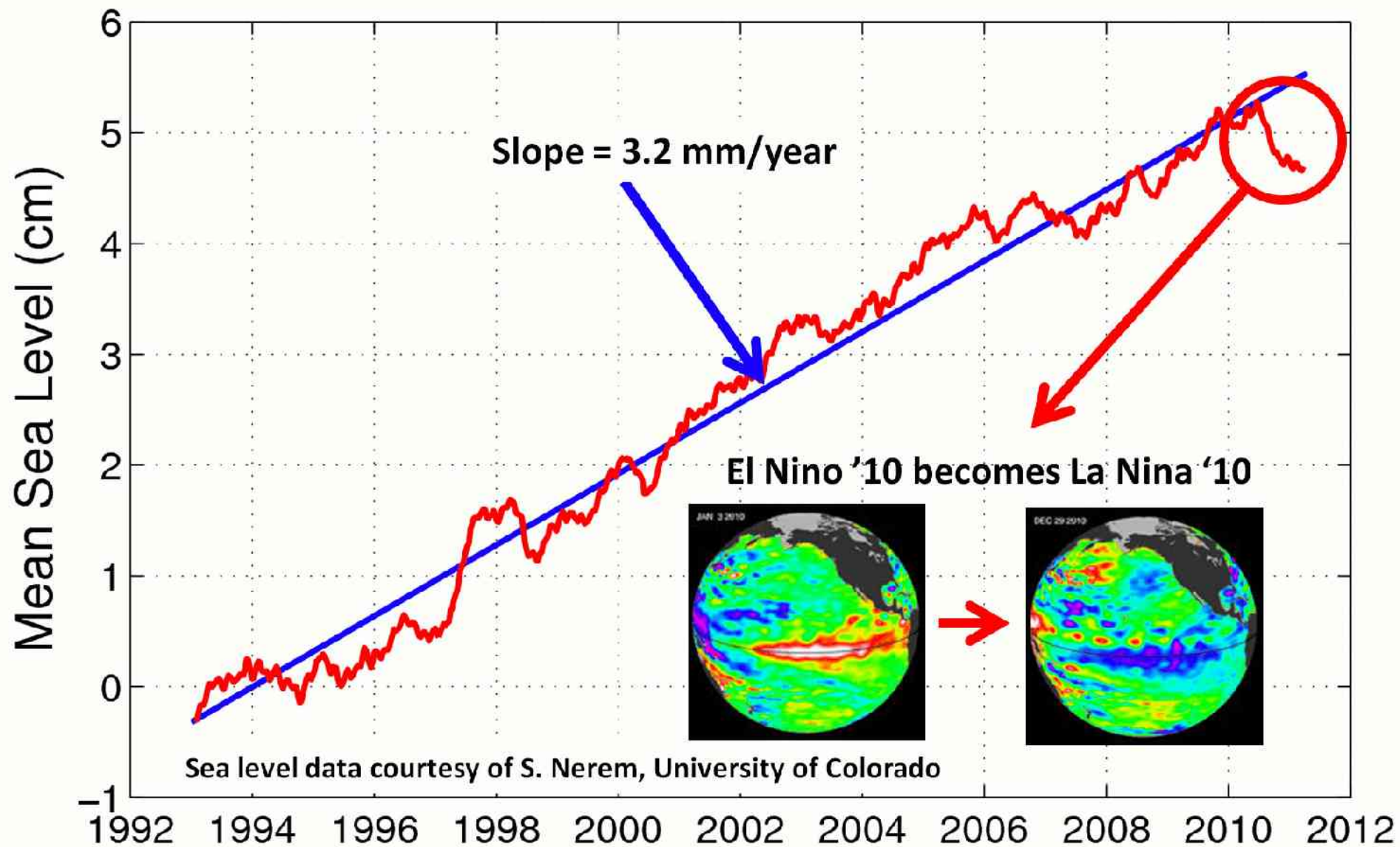
Hot



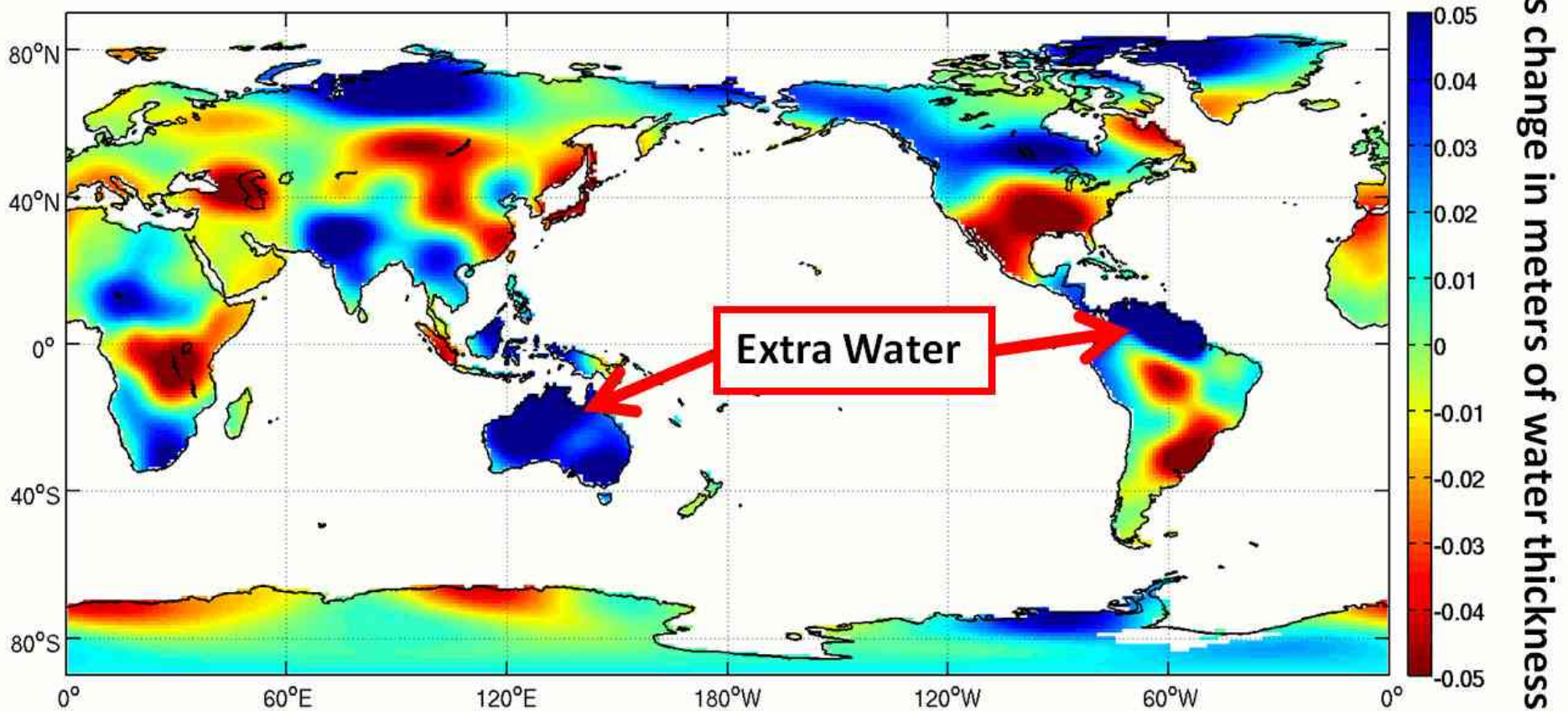


**Fig. 2** Decade of emergence of extreme surface air temperature. The *top row* shows the time of emergence (TOE) of the ensemble signal, calculated as the decade in which the ensemble mean seasonal temperature difference from the 1980–1999 maximum becomes permanently greater than the spread (one standard deviation) between the individual member differences from the 1980–1999 maximum. The *second row* shows the decade of the last occurrence of a season that is cooler than the 1980–1999 maximum, calculated as the median of the values across the CMIP3 ensemble. We cannot confirm whether the exceedence is permanent beyond the end of the 21st century, and therefore eliminate dates after 2080. Further details of both metrics are given in the text, and in Fig. S1

# Global Sea Level Drops 6 mm in 2010



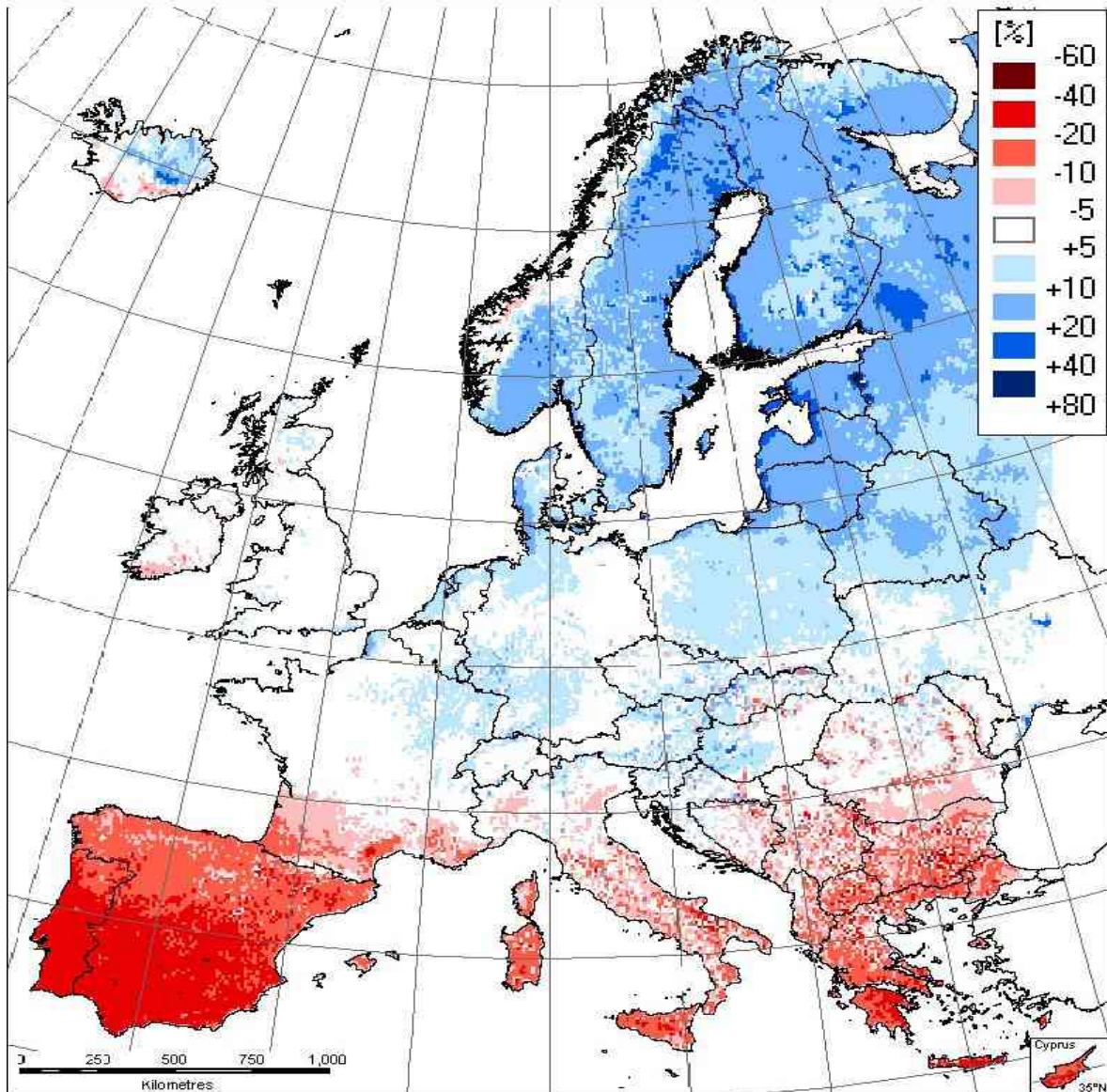
# GRACE Shows Change in Water from March 2010 to March 2011





# Projektované změny srážek

Precipitation: change in annual amount [%]



Roční změny v %  
(období 2071/2100 ve  
srovnání s 1961/1990,  
SRES A2)

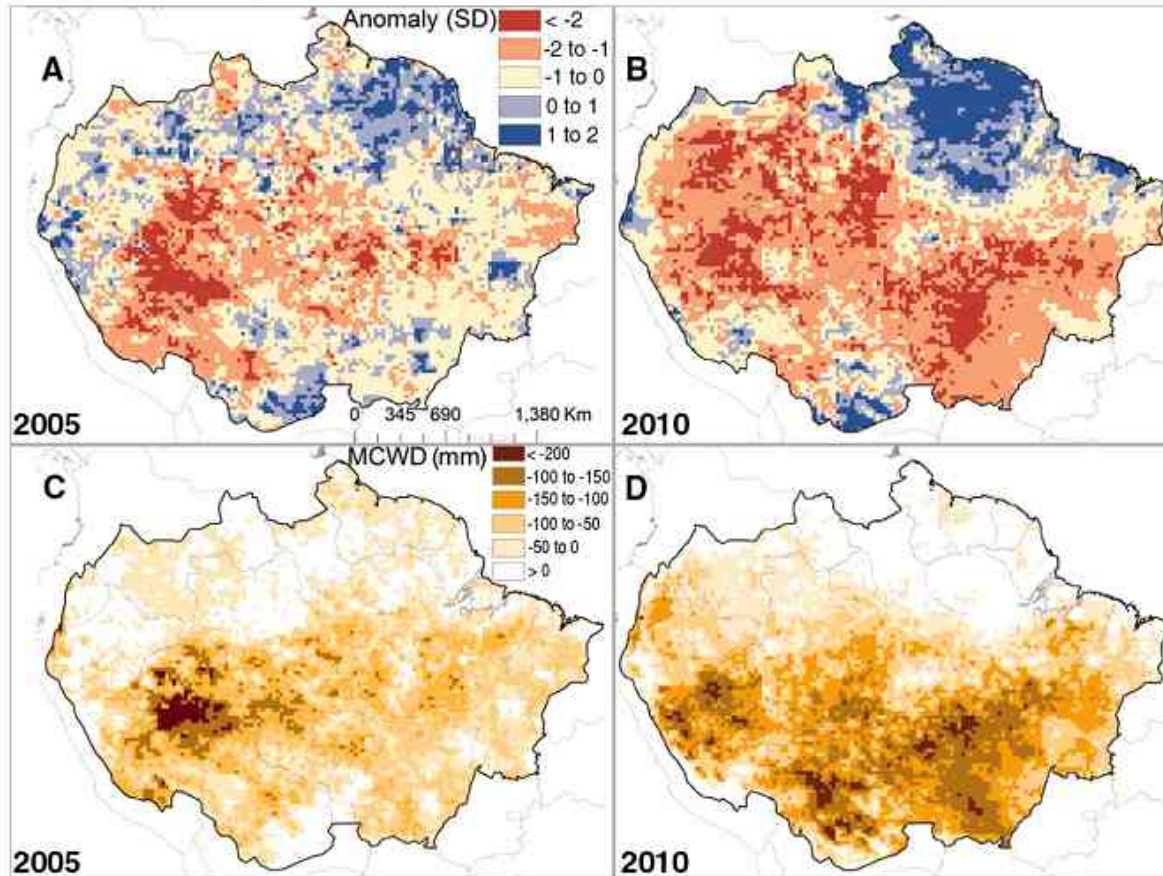
[http://ec.europa.eu/environment/climat/adaptation/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/adaptation/index_en.htm)



Wild fires in Greece, August 2007

Source: [spiegel.de](http://spiegel.de)

# Amazon – from carbon sink to carbon source? - the 2005 & 2010 droughts



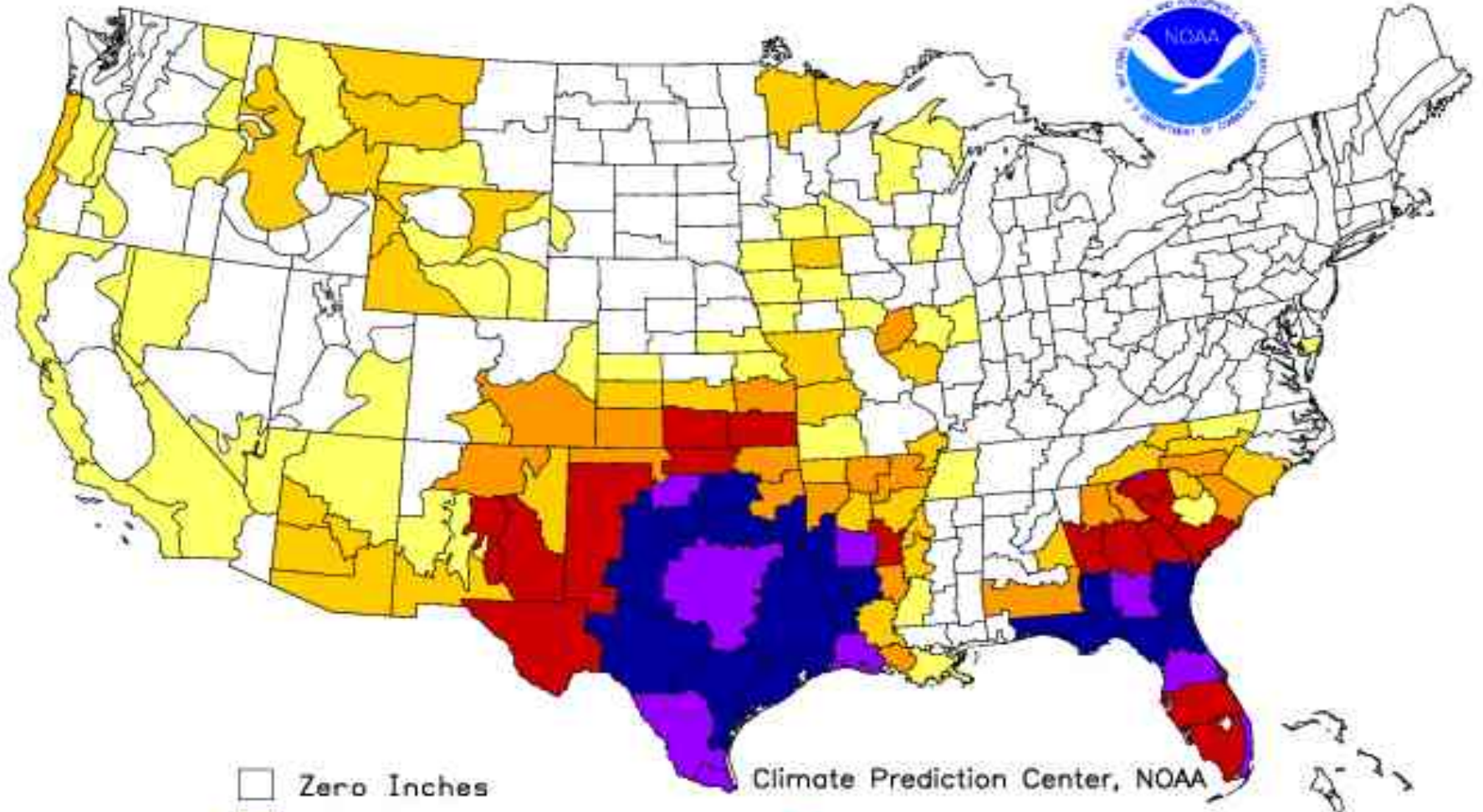
A & B = anomaly of dry season rainfall from decadal mean





C & D = maximum climatological water deficit from decadal mean

2010 emissions release due to drought may have been in excess of 5 billion tonnes CO<sub>2</sub>




= US total annual fossil-fuel emissions

Additional Precip. Needed (In.) to Bring PDI to  $-0.5$   
Weekly Value for Period Ending OCT 1, 2011  
Long Term Palmer Drought Severity Index (PDI)

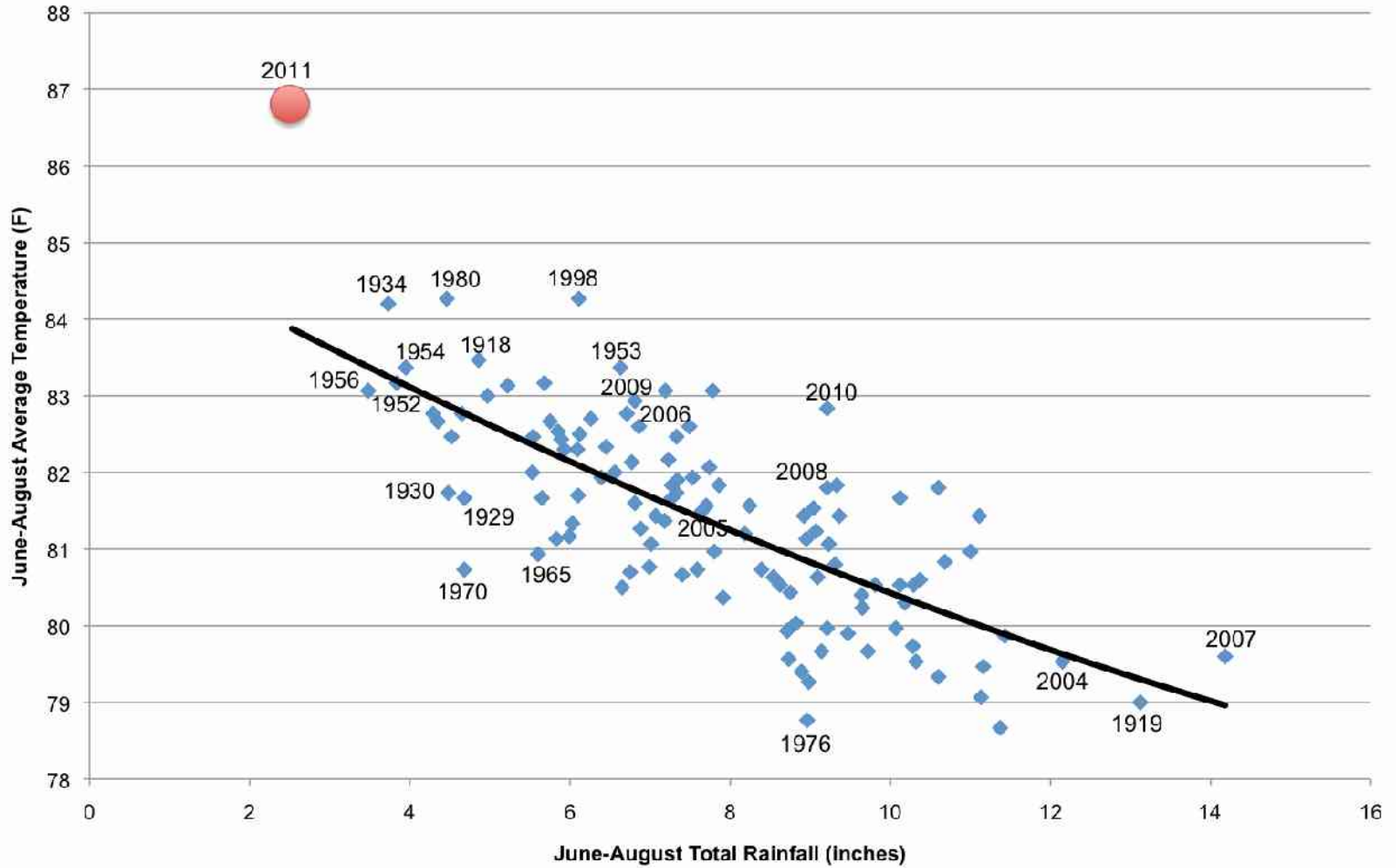


-  Zero Inches
-  Trace to 3 Inches
-  3 to 6 Inches
-  6 to 9 Inches

Climate Prediction Center, NOAA

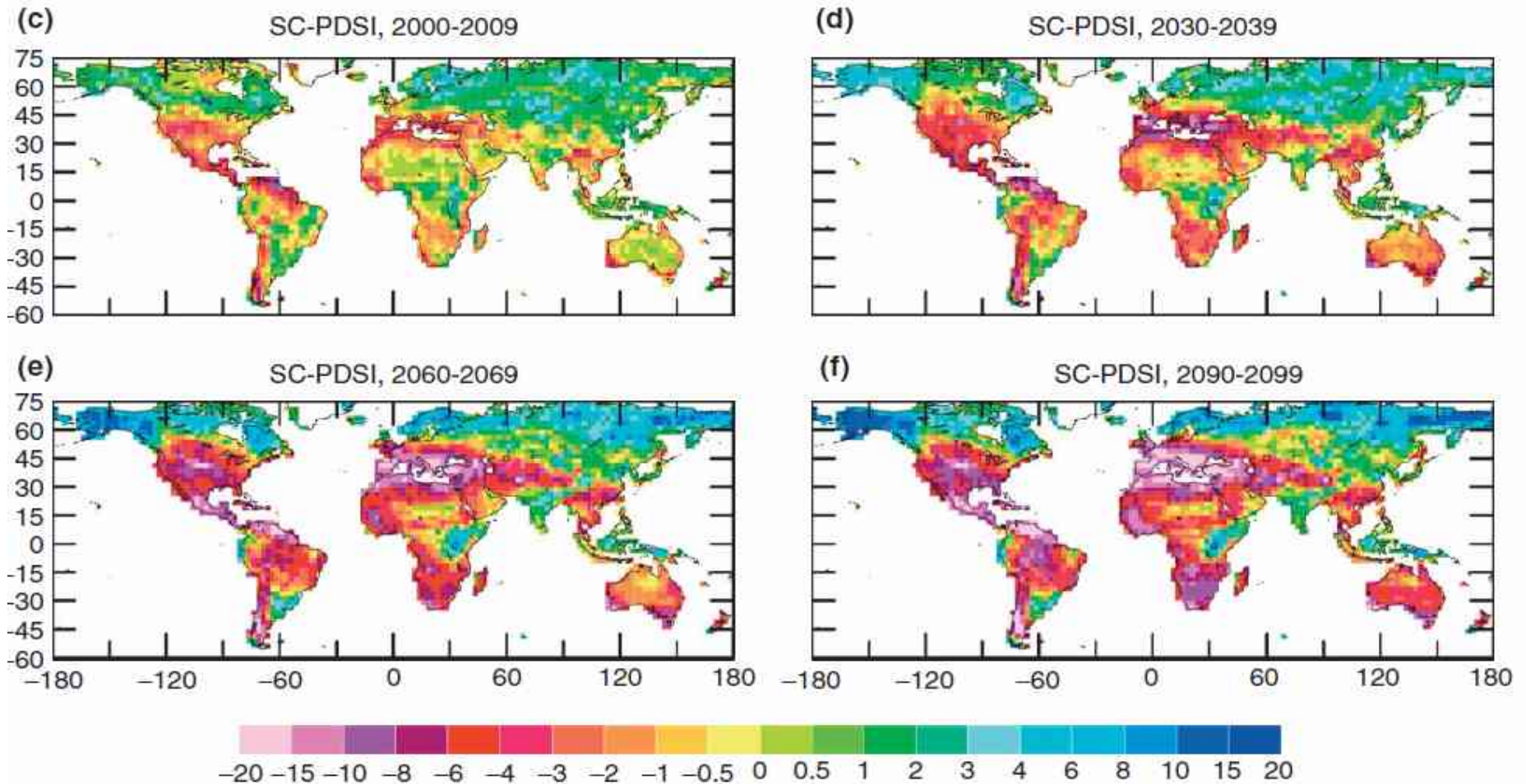
-  9 to 12 Inches
-  12 to 15 Inches
-  Over 15 Inches

# Texas Summers



# Index vážnosti sucha (již červená znamená extrémní sucho)

(22 modelů při vývoji dle SRES A1B)  
(Dai, 2010: Drought under global warming: a review)



**Stabilizovat** „na úrovni, která zamezí nebezpečnému lidskému zásahu do klimatického systému“

**United Nations  
Framework Convention on Climate Change  
(1992)**

*Aim:*

*to stabilize greenhouse gas concentrations...*

*“...at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system.”*

# Rozměry „nebezpečné“ změny

## Vyhynutí živočišných a rostlinných druhů

vyhynutí polárních a alpských druhů  
neudržitelná tempa migrace

## Rozpad ledových příkrovů: hladina oceánu

## Regionální poruchy klimatu

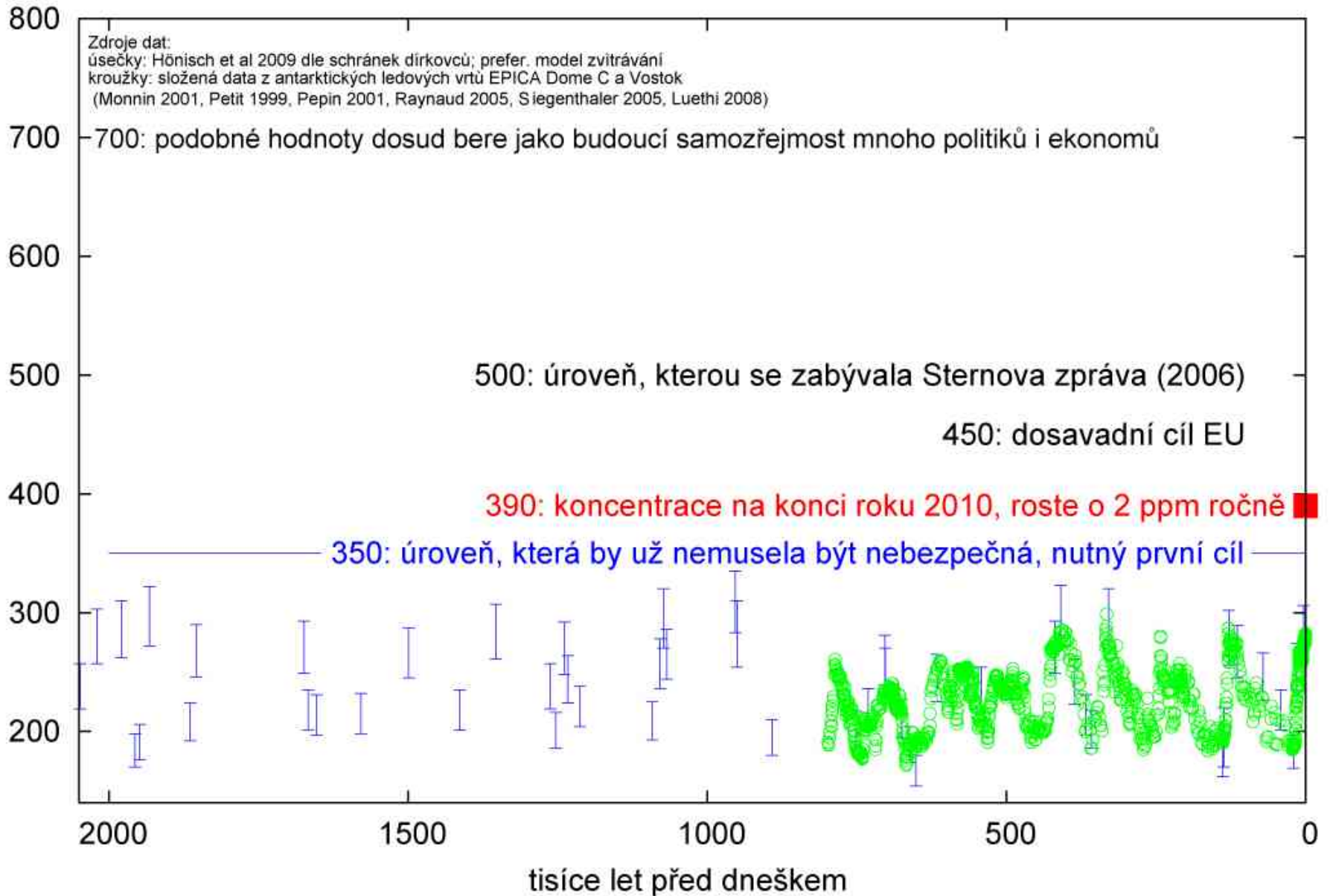
častější extrémní události  
posun vegetačních pásem / nouze o vodu

... stabilita klimatu v *holocénu* umožnila trvalé osídlení a rozvoj civilizace

... ztráta její stability v *antropocénu* - ztráta obyvatelnosti mnoha území a úživnosti Země



# Koncentrace CO<sub>2</sub> během čtvrtohor, dnes a ...zítra?



# Globální teplota vzhledem k období 1800-1900 (°C)

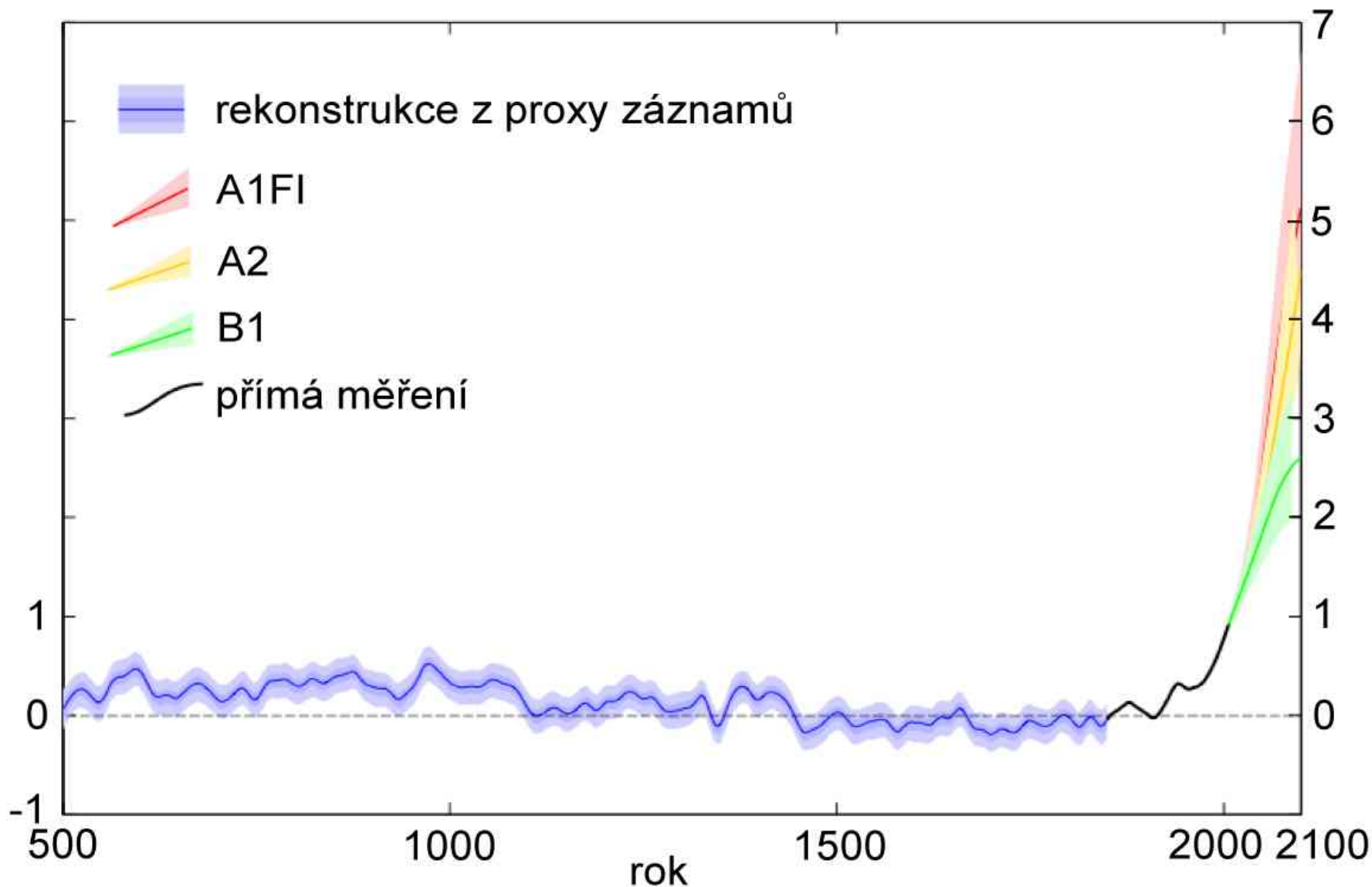
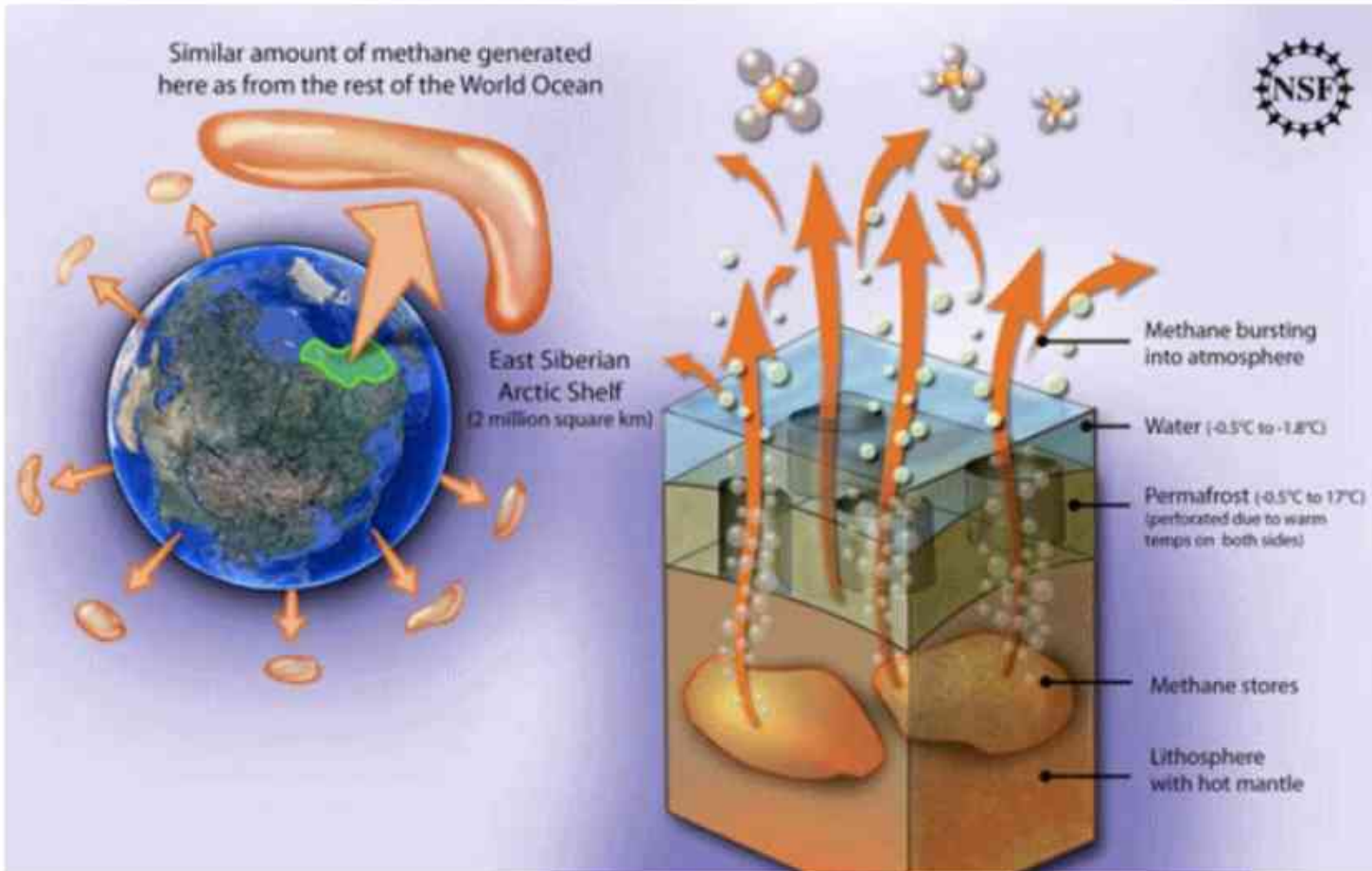


Figure 21: Rekonstruované a pozorované změny teplot a projekce do budoucna

## Obsah uhlíku ve světových půdách



# Arctic Methane Emissions



Recent evidence shows that methane emissions are increasing from Arctic permafrost and seabed clathrates

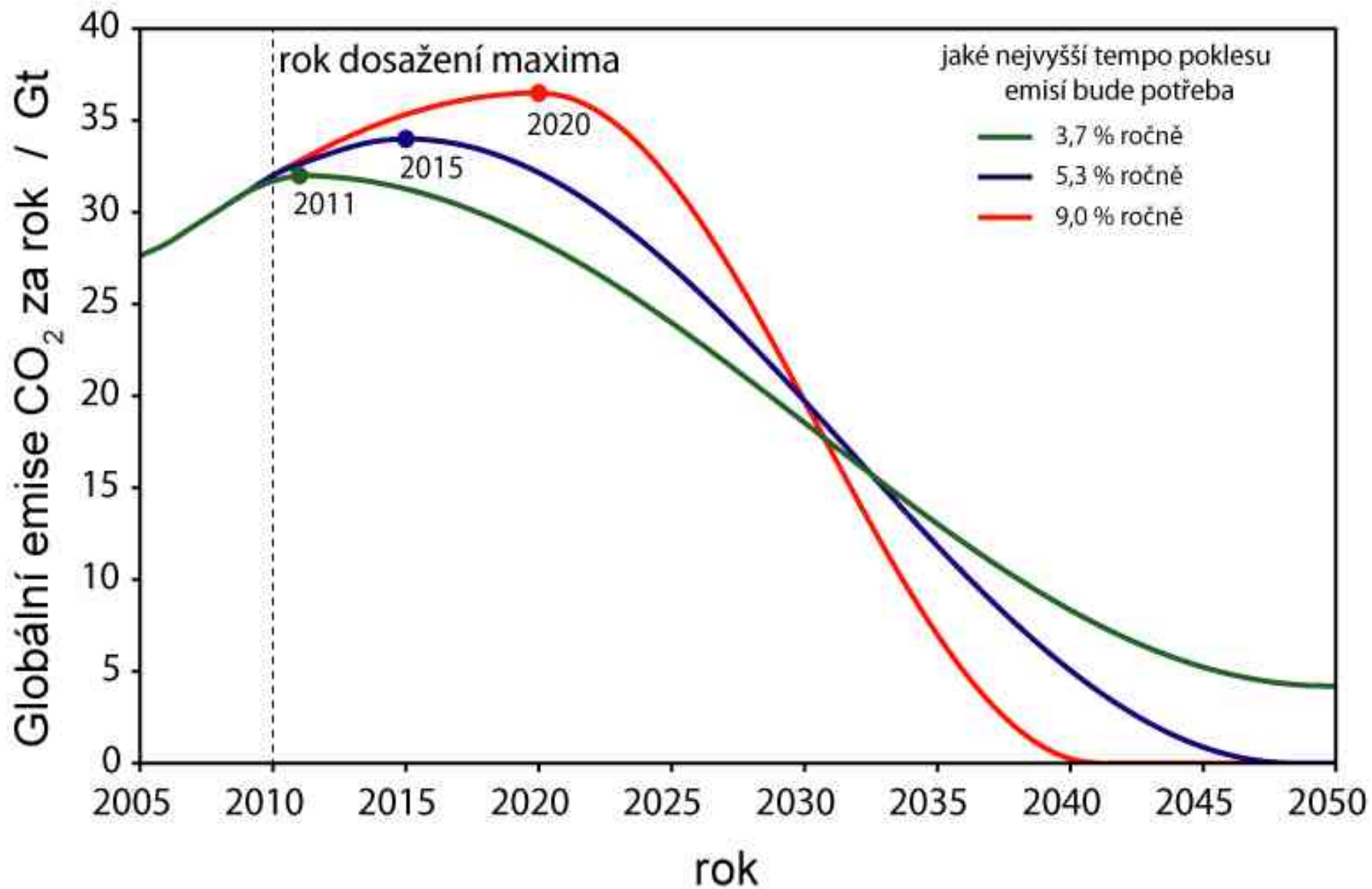
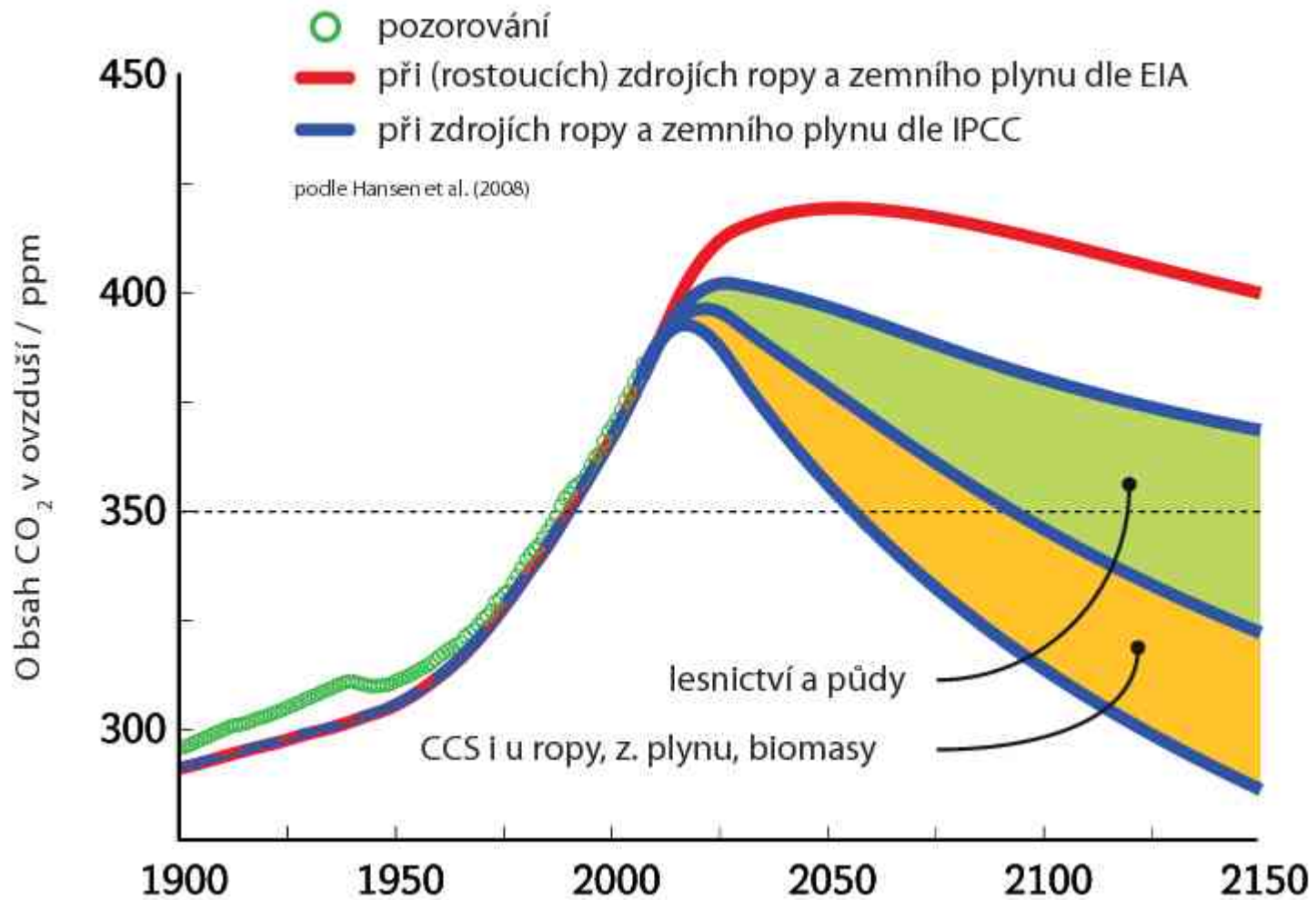


Figure 22: Vývoj emisí, který by dával naději 67 %, že globální oteplení nepřesáhne 2 °C

**Cíl pro CO<sub>2</sub>:**

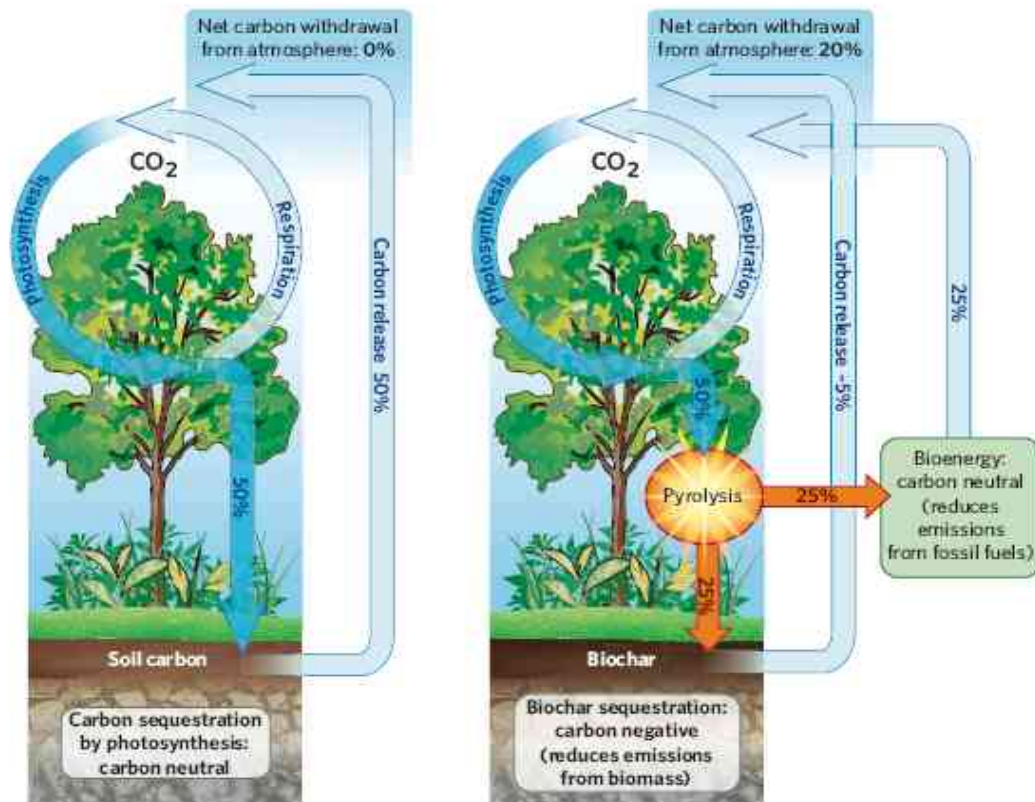
**< 350 ppm**

**Pro záchranu planety v podobě,  
ve které se vyvinula civilizace**



Nenechat biomasu zetlít nebo spálit na popel, ale zahřátím docílit jejího zuhelnatění. A výsledný produkt nepoužít jako palivo, ale vpravit jej v jemnozrnné formě do půdy.

Jelikož jde o uhel z biomasy ponechávaný v biosféře, nazýváme jej **biouhel** (z angl. biochar).





# Cíl ubrat CO<sub>2</sub> pod 350 ppm

**Technicky splnitelný**

(ale ne v případě „business-as-usual“)

**Kritický je rychlý ústup od uhlí**

(dlouhá životnost CO<sub>2</sub> v ovzduší)

(nutno zastavit budování nových uhelných elektráren, které CO<sub>2</sub> nezachycují a neukládají)

# Výzva

**Můžeme se ještě vyhnout poničení  
světa, který jsme jej zdědili**

**(a získat přitom čistší planetu  
a užitečnou práci)**

**Někdy musíme přijít na to, jak žít  
bez fosilních paliv...**

**Proč ne teď?**

# Odkazy

- [www.veronica.cz/klima](http://www.veronica.cz/klima)
- [www.zmenaklimatu.cz](http://www.zmenaklimatu.cz)
- <http://amper.ped.muni.cz/gw>
  - [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)



# Zdroje obrázků a textů

Alexander Ač

James Hansen, NASA Goddard Institute for Space Studies

NASA JPL

Kevin Trenberth, National Center for Atmospheric Research

John Wahr

Ian Dunlop

Yvonna Gailly

Anders Levermann, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)

Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC)

The Copenhagen Diagnosis, 2009

John Holdren

Jan Hollan

a původně i jiné (viz popisky pod obrázky)