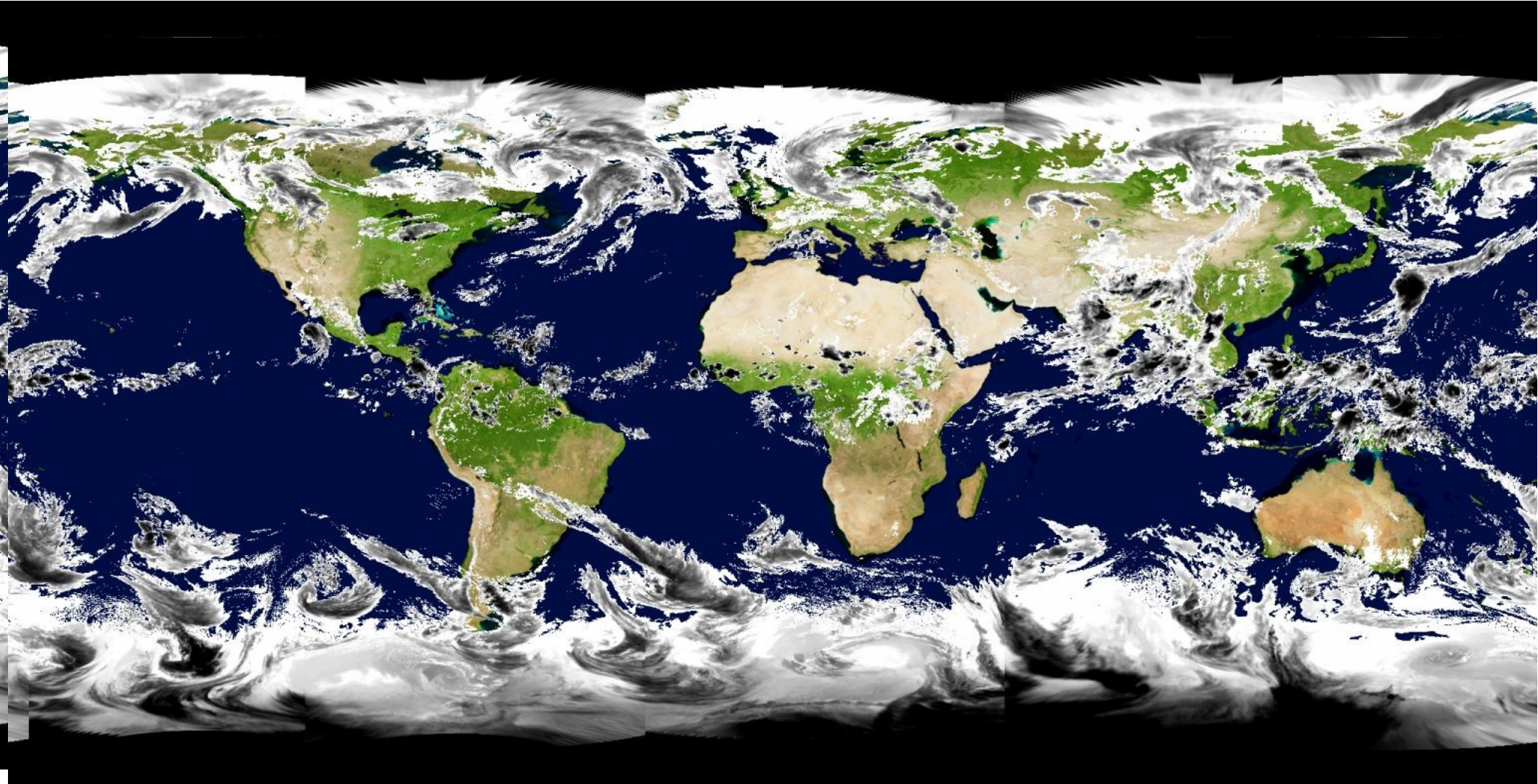


# GLOBALNE OCIEPLENIE OKIEM FIZYKA: JAK DZIAŁA MASZYNA KLIMATYCZNA

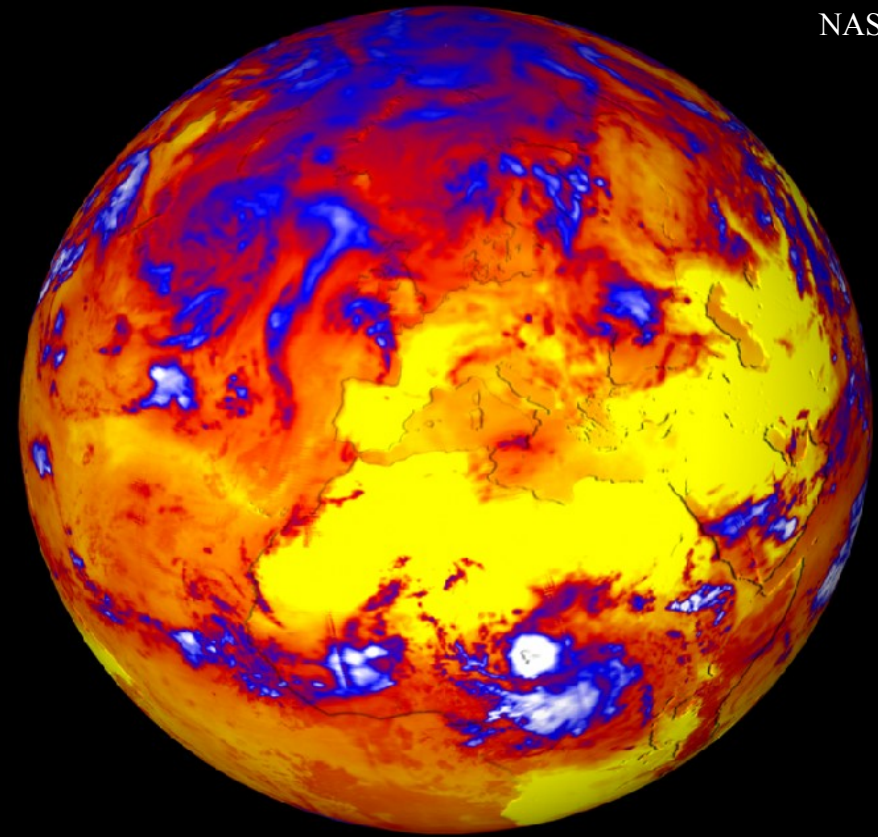


**Szymon Malinowski**

**Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki  
Uniwersytet Warszawski**

# Bilans energii

NASA



emitted heat radiation ( $W/m^2$ )

85

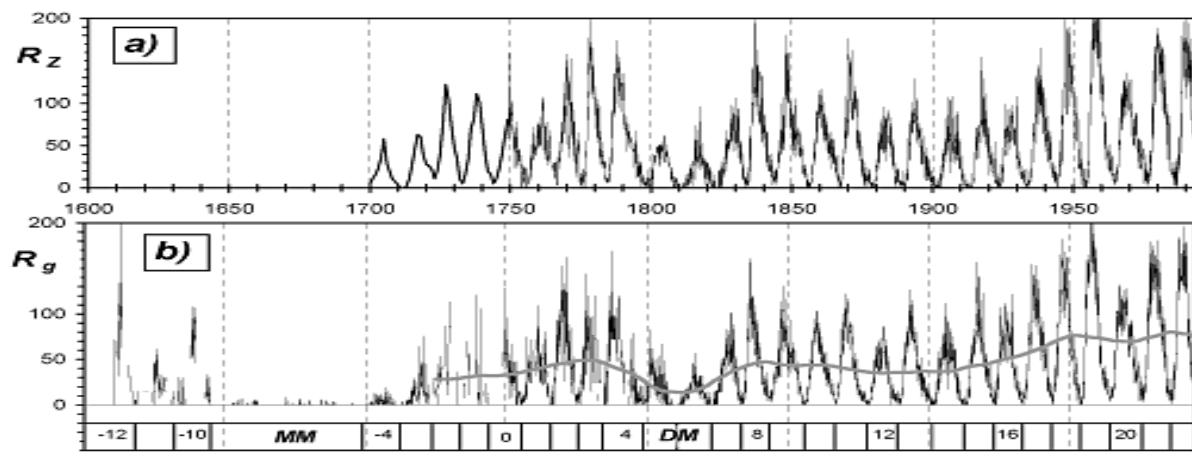
350

Do ZIEMI dociera krótkofalowe (gł. widzialne) promieniowanie termiczne SŁOŃCA. Ziemia odbija część tego promieniowania, resztę pochłania.

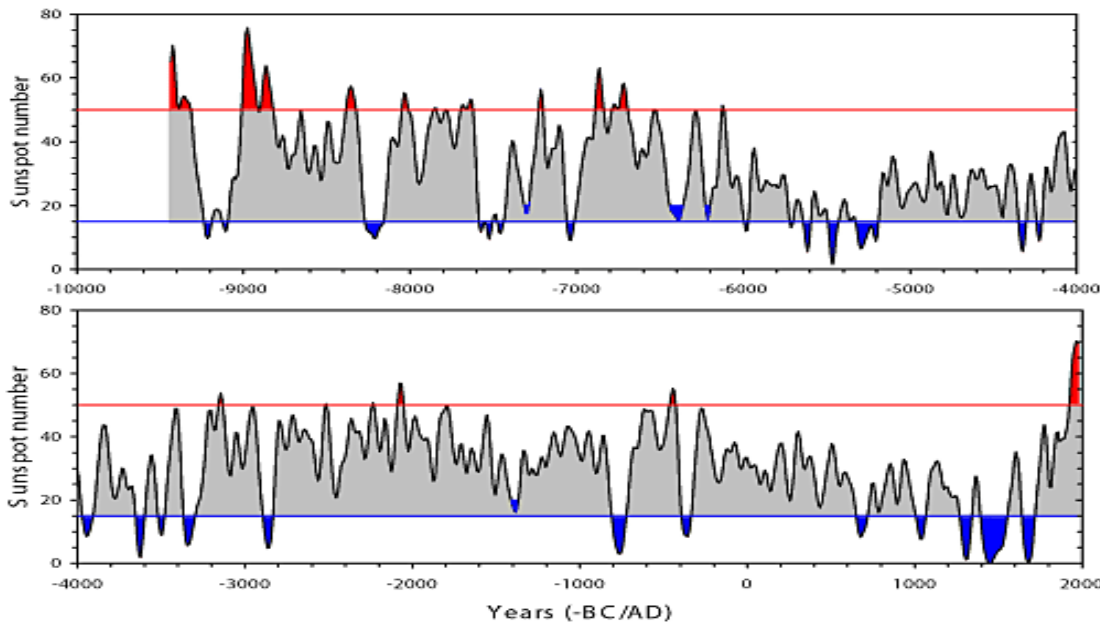
Energia pochłoniętego promieniowania powoduje wzrost temperatury (efektywnej) planety. Ogrzana ZIEMIA emituje promieniowanie termiczne w podczerwieni.

W stanie (quasi)równowagi bilans jest zachowany – ZIEMIA pochłania tyle samo co emituje, temperatura jest stała. **Ale czy mamy ten stan?**

# Plamy na Słońcu



**Figure 1:** Sunspot numbers since 1610. a) Monthly (since 1749) and yearly (1700 – 1749) Wolf sunspot number series. b) Monthly group sunspot number series. The grey line presents the 11-year running mean after the Maunder minimum. Standard (Zürich) cycle numbering as well as the Maunder minimum (MM) and Dalton minimum (DM) are shown in the lower panel.

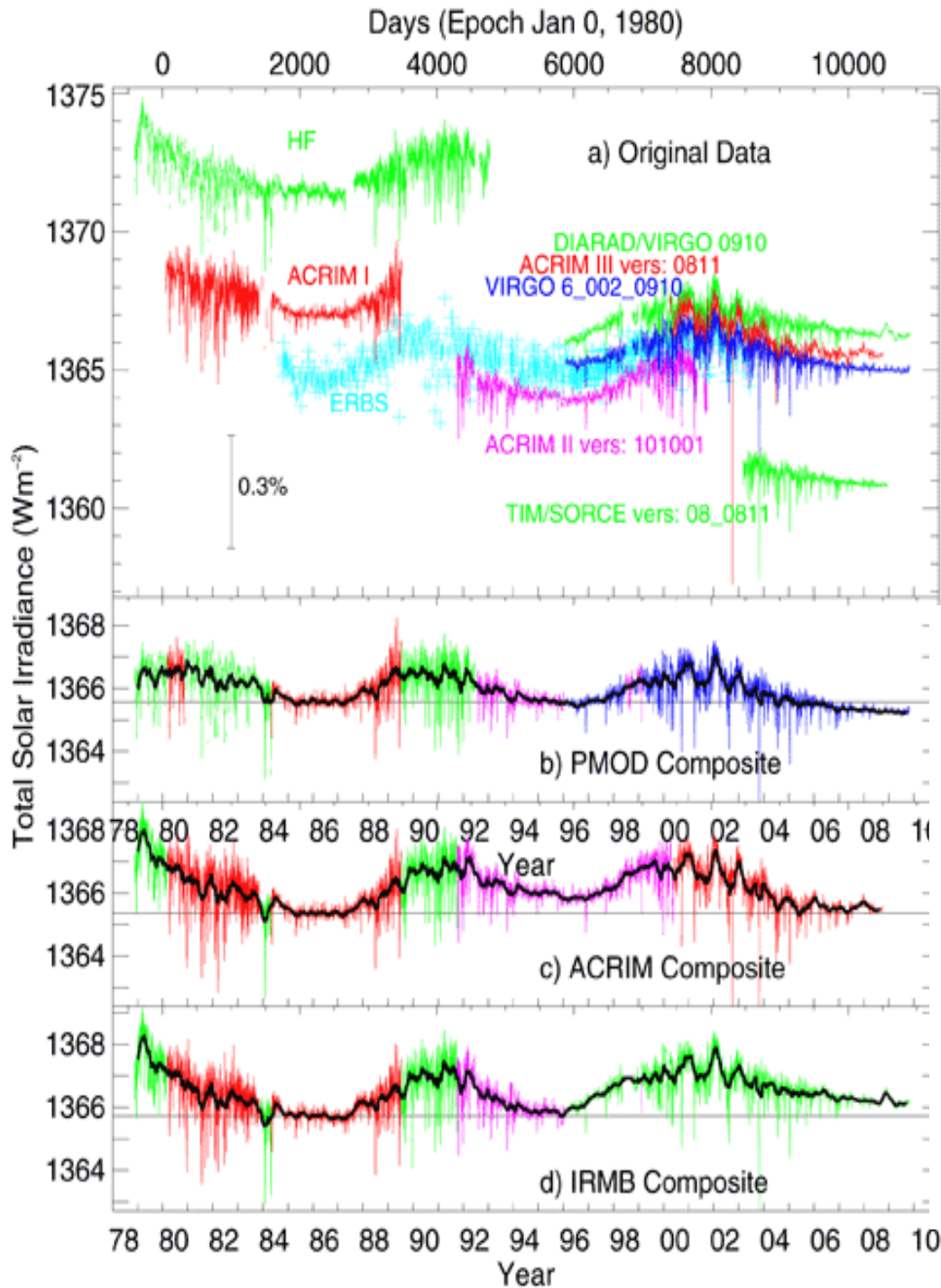


**Figure 17:** Sunspot activity (over decades, smoothed with a 12221 filter) throughout the Holocene, reconstructed from  $^{14}\text{C}$  by Usoskin *et al.* (2007) using geomagnetic data by Yang *et al.* (2000). Blue and red areas denote grand minima and maxima, respectively.]

Ich liczba bardzo się zmienia!  
Ilustracje za pracą:  
I.G. Usoskin "A History of Solar Activity over Millennia"

<http://www.livingreviews.org/lrsp-2008-3>

# Jak plamy mają się do strumienia energii docierającej od Słońca?

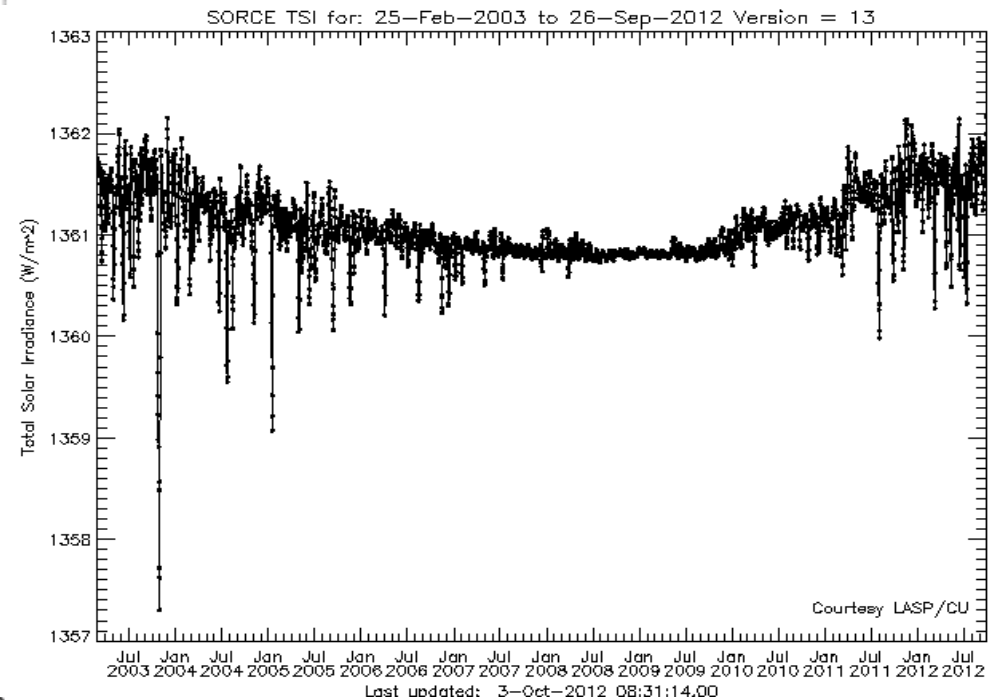


Mimo znacznych fluktuacji liczby plam na Słońcu strumień energii jaki dociera do Ziemi zmienia się nieznacznie.

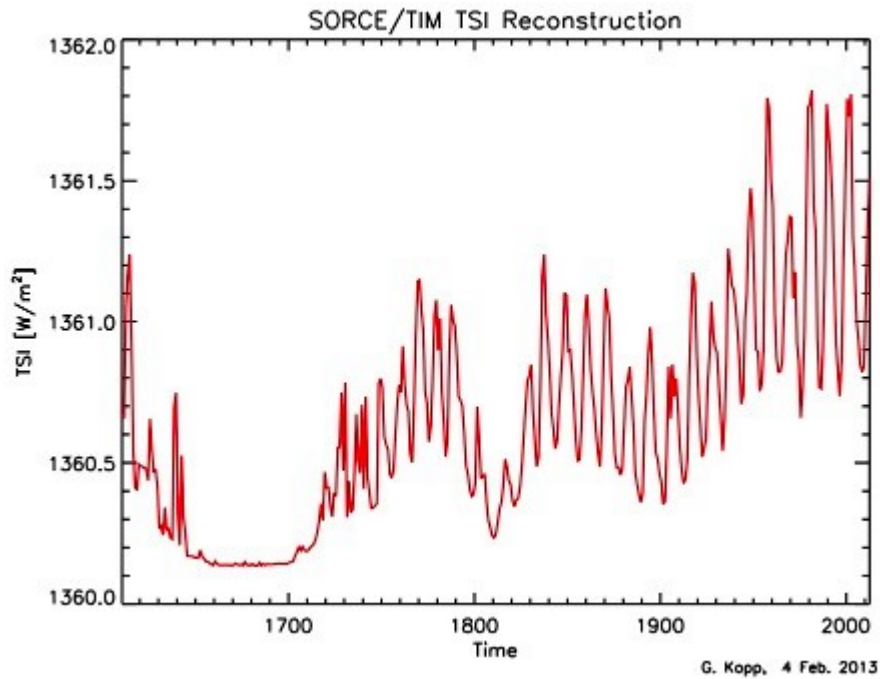
<http://www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant>

The Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE):

<http://lasp.colorado.edu/sorce/index.htm>



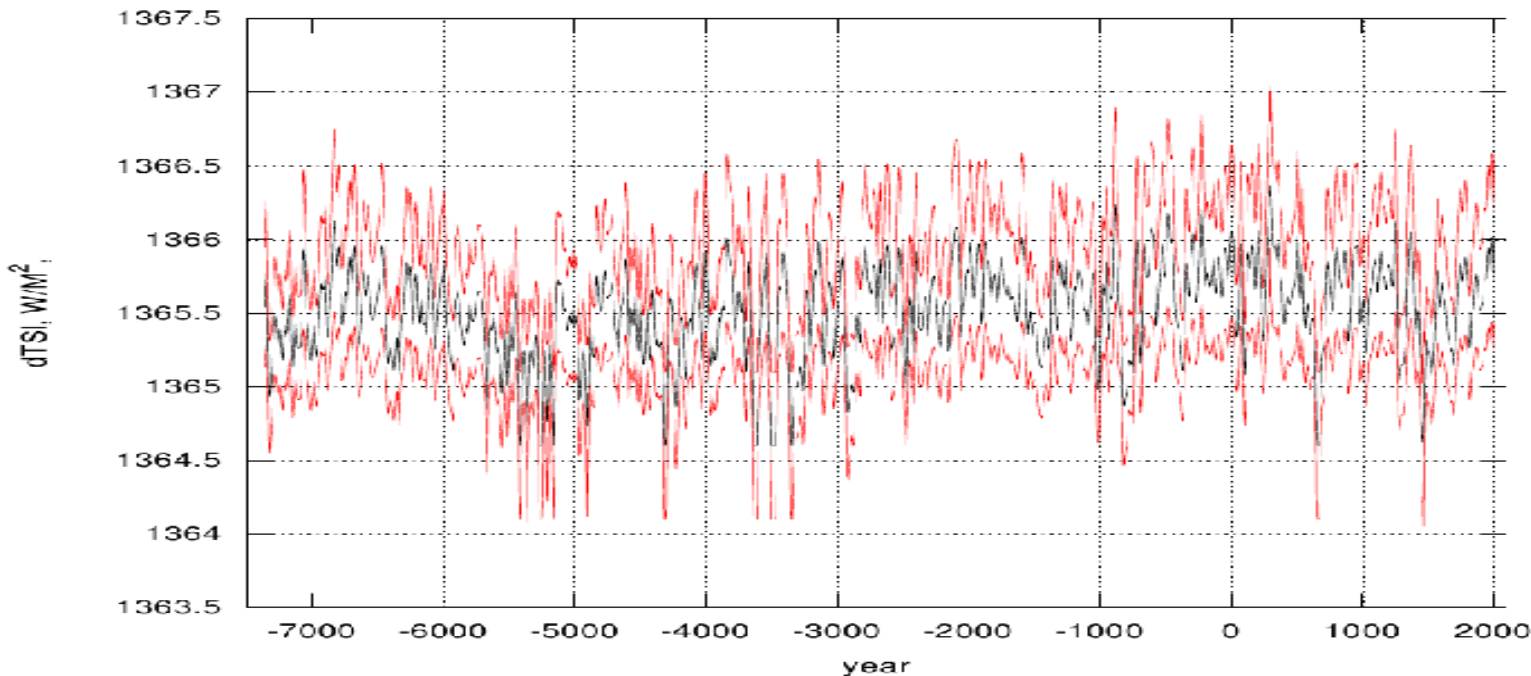
# Rekonstrukcje aktywności słonecznej



[http://lasp.colorado.edu/sorce/data/tsi\\_data.htm](http://lasp.colorado.edu/sorce/data/tsi_data.htm)

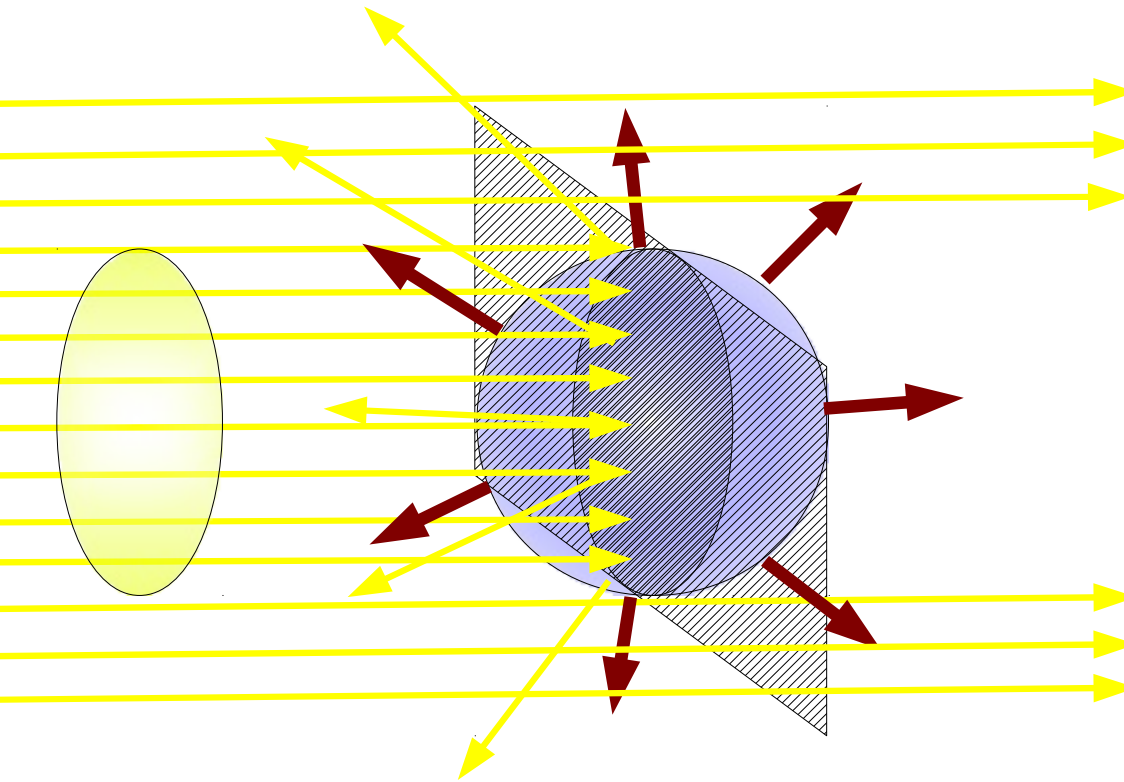
Satelita SORCE zakończył działanie.....

Uwaga: wartość stałej słonecznej aktualizowana do najnowszych ustaleń



<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/metadata/noaa-forcing-8744.html>

# Temperatura Efektywna Ziemi



R- promień,

S- stała słoneczna,

A- albedo,

$E_S$  - energia absorbowana:

$$E_S = (1-A)S\pi R^2.$$

Założenie: ciało doskonale czarne.

$T_E$  - temperatura emisyjna

$E_P$  - emisja energii w podczerwieni:

$$E_P = 4\pi R^2\sigma T_E^4.$$

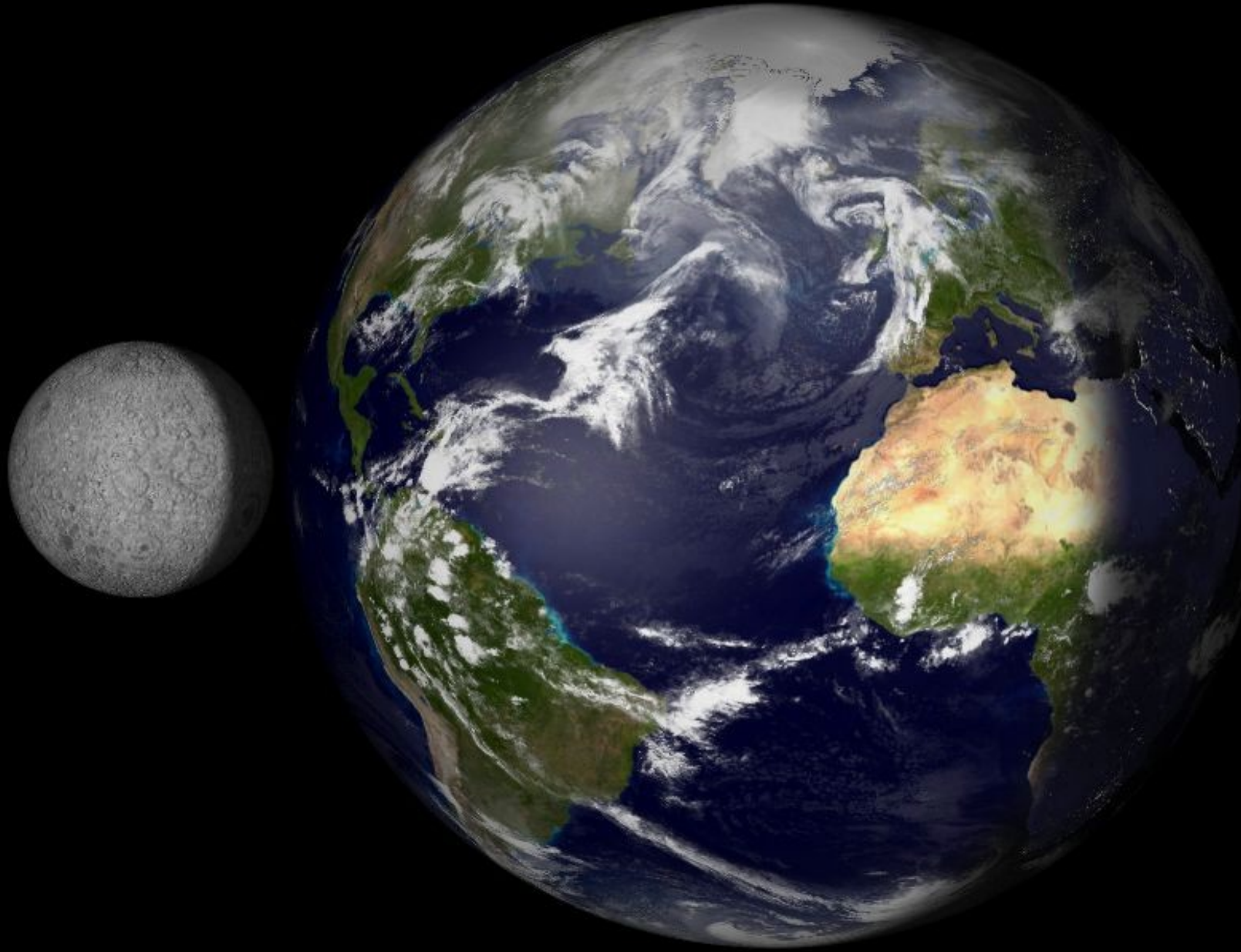
Założenie równowagi  $E_S = E_P$

$$(1-A)S/4 = \sigma T_E^4.$$

$$T_E = \sqrt[4]{\frac{(1-A)S}{4\sigma}}$$

To, dla  $S=1362\pm 1 \text{ W/m}^2$  i  $A=0.3$  daje  $T_E=254.81\pm 0.05\text{K}$

Looking at Earth from Mars  
Wed Apr 21 16:54:05 2004 GMT  
obs 24.4 N 24.5 W  
sun 12.2 N 73.8 W  
fov 4.7 arc minutes  
dist 313.6 million km  
illumination 83.4 %



Jednostka powierzchni każdego z tych ciał średnio otrzymuje od Słońca tyle samo energii. Czy warunki na powierzchni są takie same?

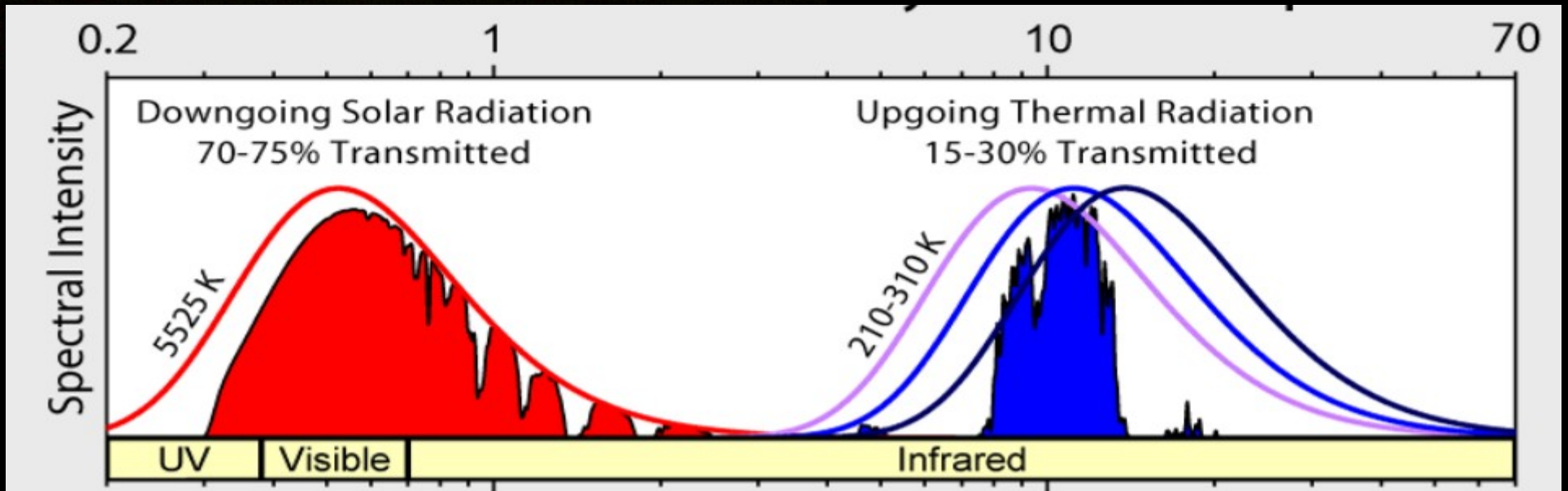
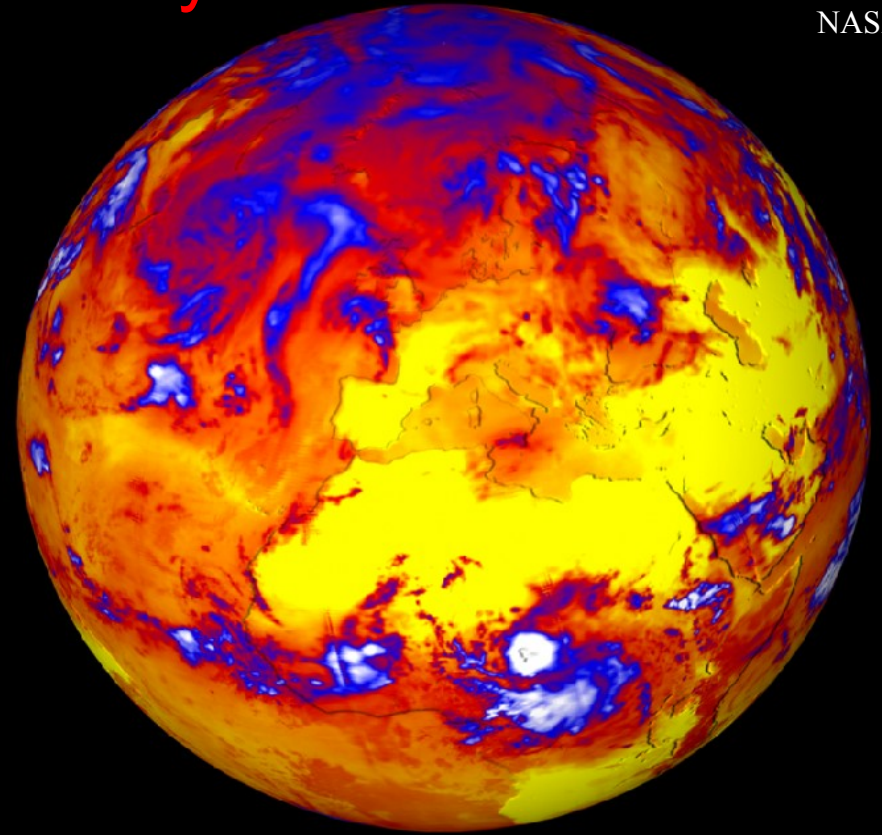


Ziemia posiada cieką warstwę atmosfery, która oddziałuje z promieniowaniem słonecznym i emitowanym z powierzchni, i która sama promieniuje w obszarze podczerwieni..



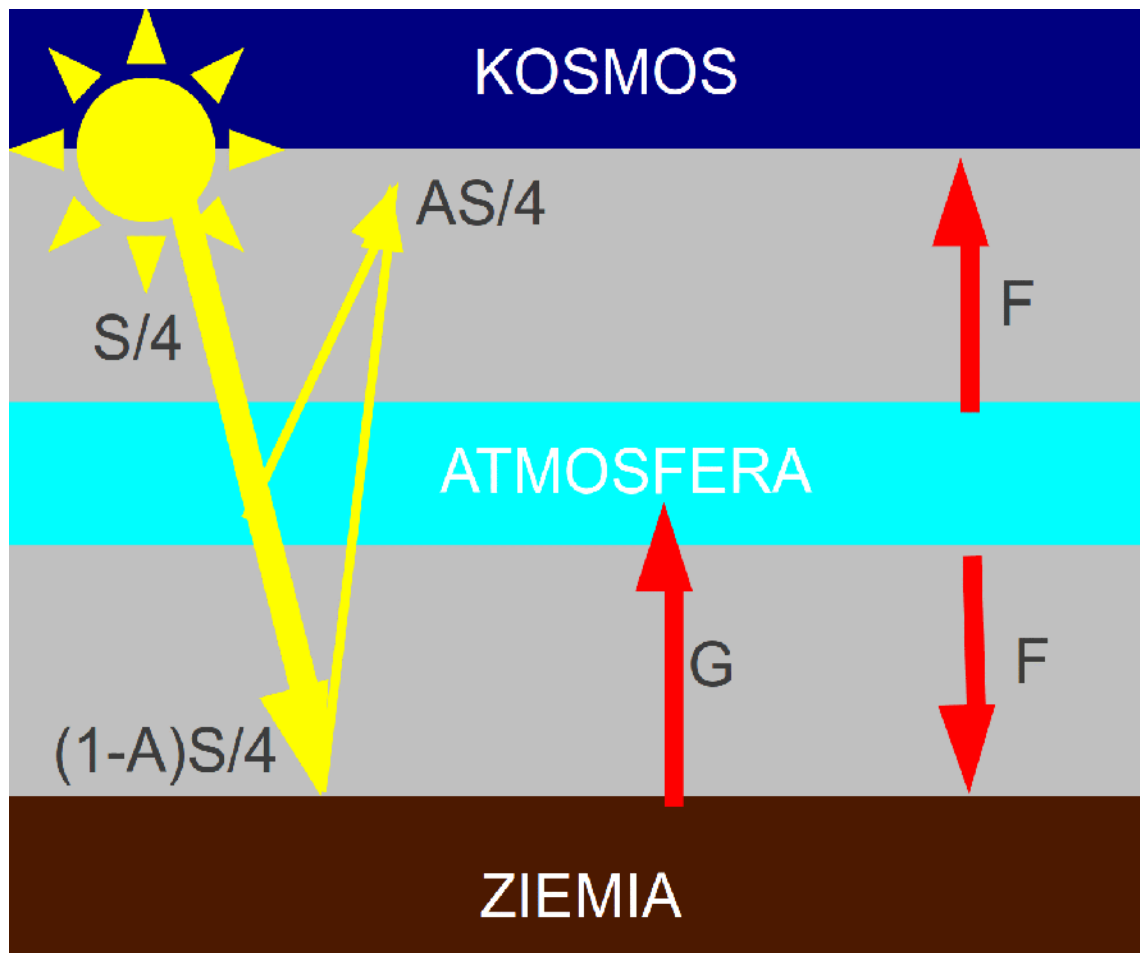
# Transmisja atmosfery

NASA



## Efekt cieplarniany – model jednej szyby

Atmosfera – jedna warstwa absorbująca całość IR,  
Równowaga na każdym poziomie. F, G – strumienie IR



$$F = (1-A)S/4 = \sigma T_E^4,$$

$$G = 2F.$$

$$G = \sigma T_G^4 = 2(1-A)S/4 = 2\sigma T_E^4$$

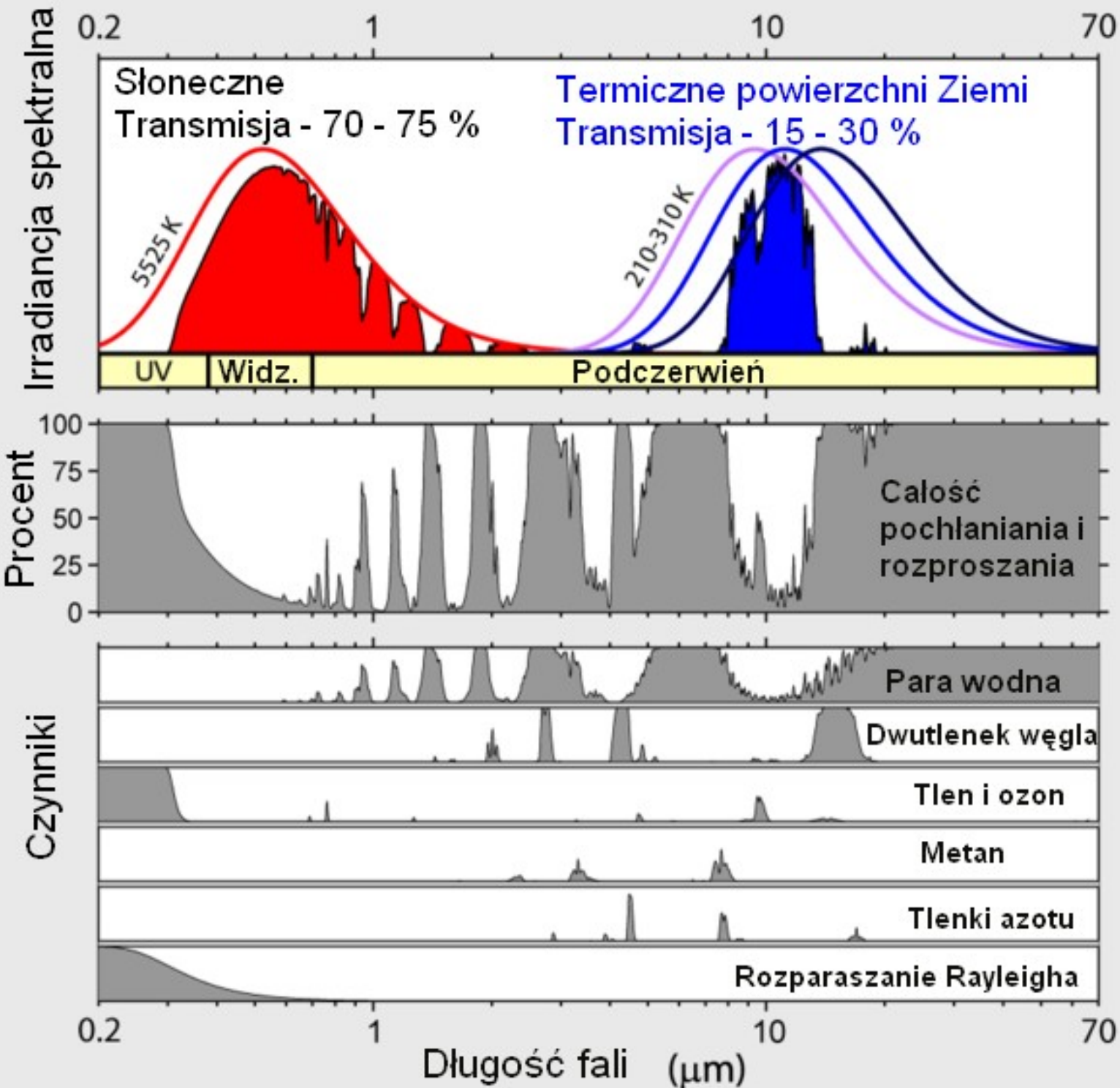
$$T_G = \sqrt[4]{2} T_E$$

$$\text{Dla } N \text{ warstw: } T_G = \sqrt[4]{N+1} T_E$$

**Planety typu ziemskiego:  
ilustracja znaczenia strumienia energii słonecznej, albedo i efektu cieplarnianego**

	<b>Wenus</b>	<b>Ziemia</b>	<b>Mars</b>
<b>odległość od Słońca (A.U.)</b>	0.72	1	1.52
<b>strumień energii (stała słoneczna), W/m<sup>2</sup></b>	2643	1370	593
<b>albedo</b>	0.8	0.3	0.22
<b>temperatura efektywna, K</b>	220	255	212
<b>temperatura powierzchni, K</b>	730	288	218
<b>Różnica (efekt cieplarniany), K</b>	510	33	5

# Promieniowanie przechodzące przez atmosferę

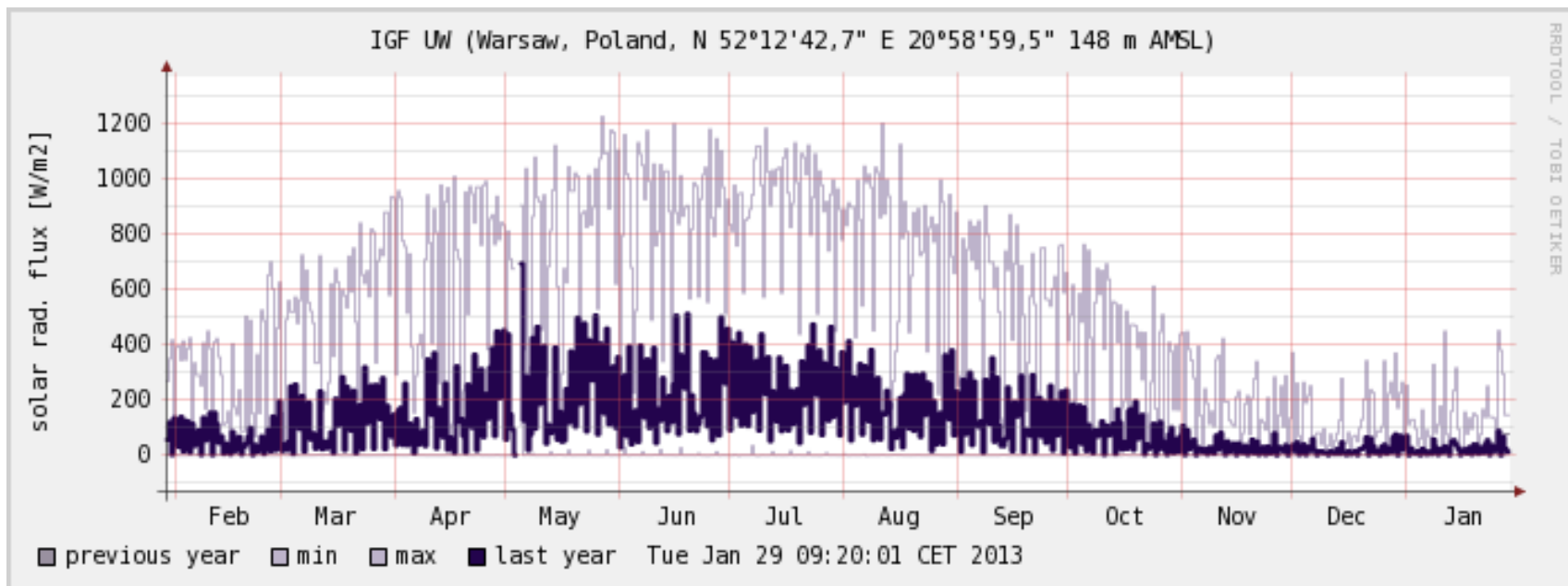


Promieniowanie słoneczne (krótkofalowe) i podczerwone (długofalowe) w atmosferze ziemskiej.

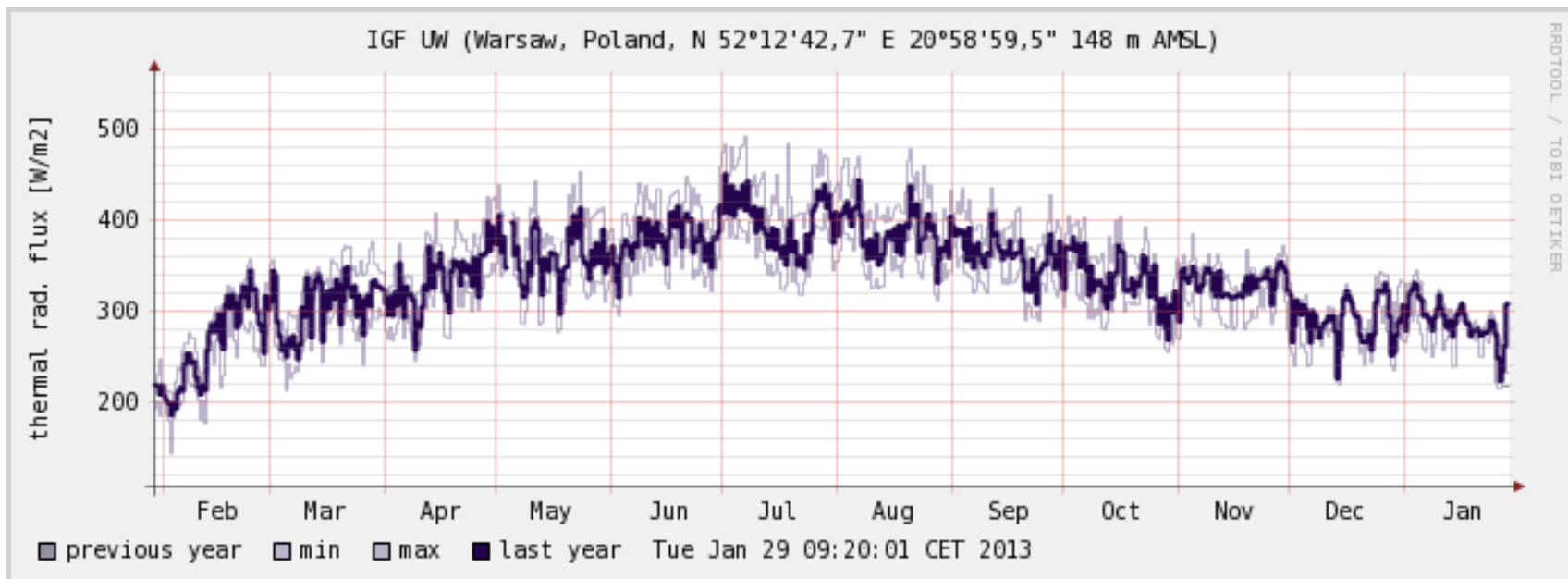
Pochłanianie i rozpraszanie promieniowania przez wybrane składniki atmosfery.

# Strumienie promieniowania mierzone w Warszawie

Krótkofalowe  
(słoneczne)  
skierowane w dół:  
szary – maxima  
dobowe  
ciemny –  
średnie dobowe.

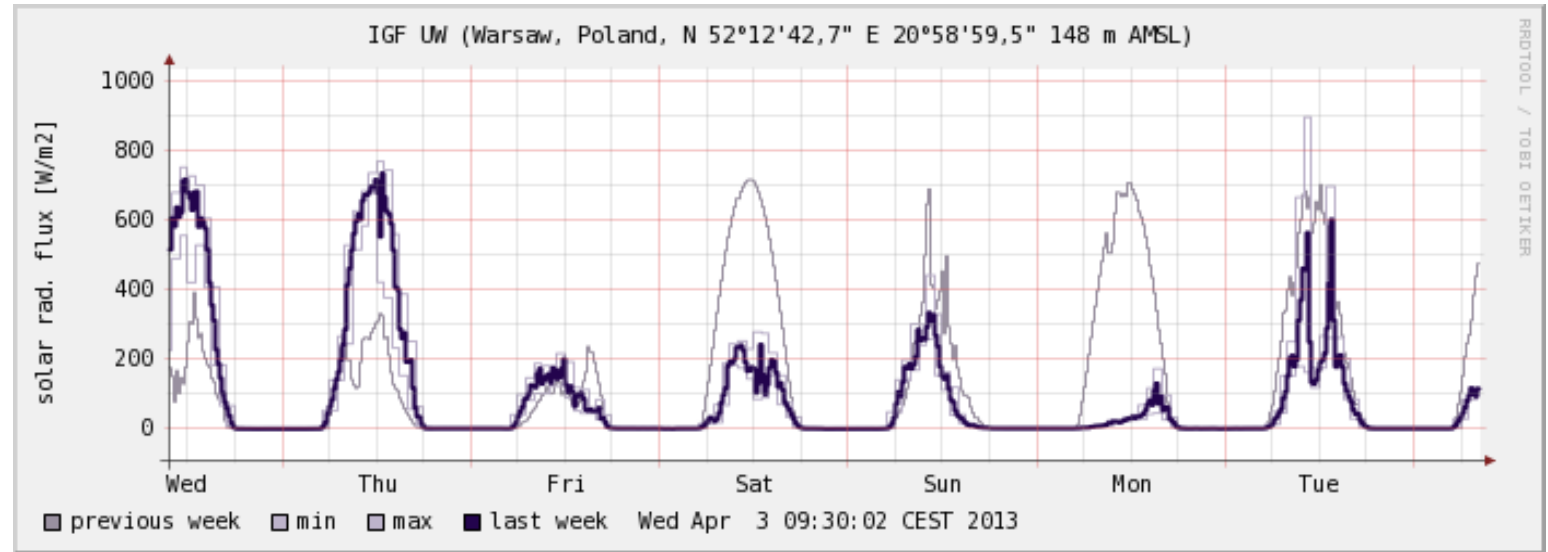


Długofalowe  
(podczerwone)  
skierowane w dół:  
szary – ekstrema  
dobowe,  
ciemny – średnie  
dobowe.

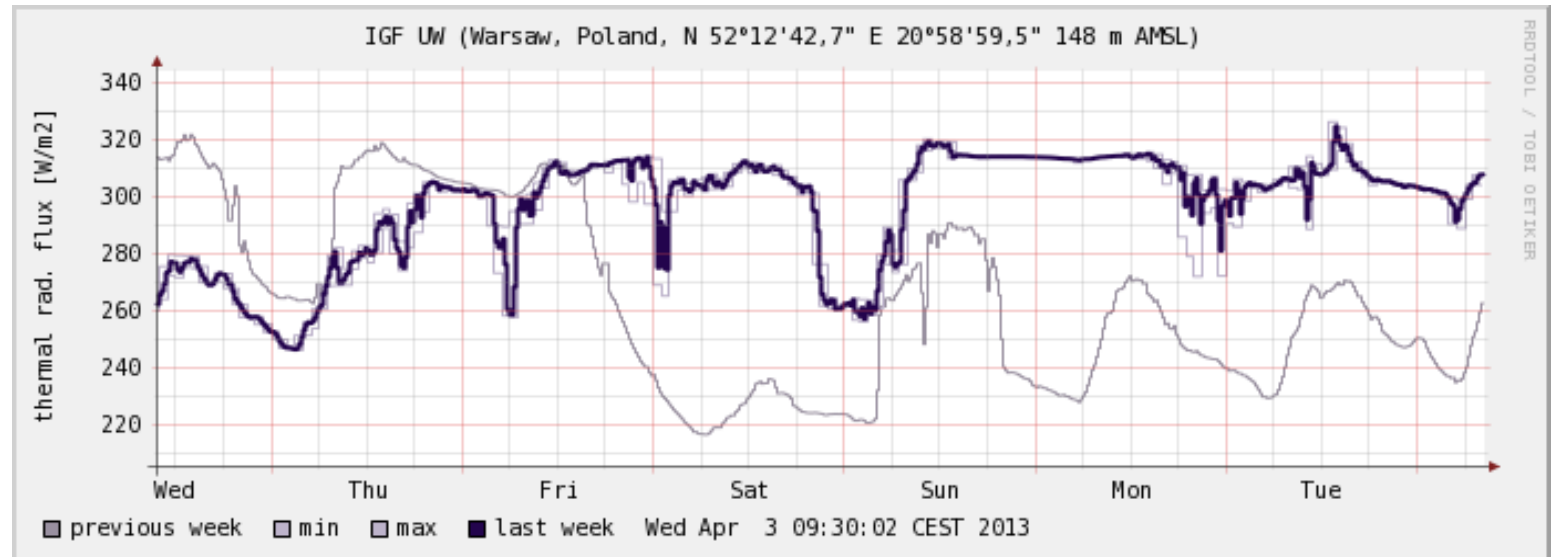


# Strumienie promieniowania mierzone w Warszawie

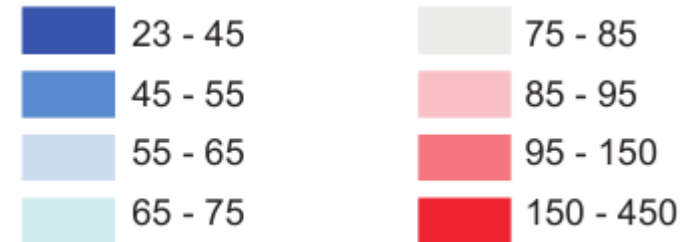
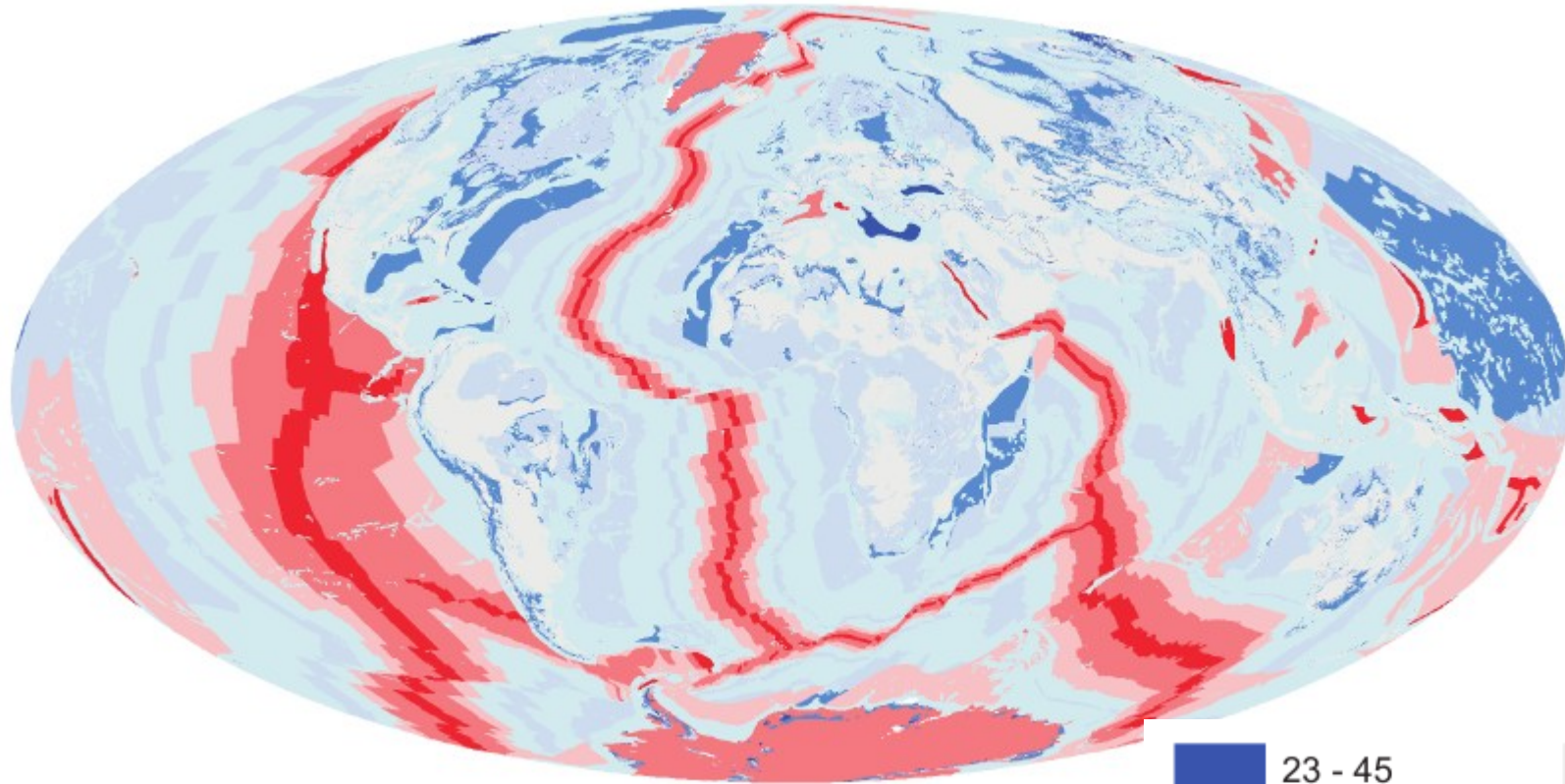
Krótkofalowe  
(słoneczne)  
skierowane w dół:  
szary – poprzedni  
tydzień  
ciemny –  
bieżący tydzień.



Długofalowe  
(podczerwone)  
skierowane w dół:  
szary – poprzedni  
tydzień  
ciemny –  
bieżący tydzień.



# Energia geotermalna



Strumień ciepła pochodzącego z wnętrza Ziemi w  $\text{mW/m}^2$  ( $\text{mW}=1/1000\text{W}$ )

**Table 7.** Summary of continental and oceanic heat flow from our preferred estimates.

	Area ( $\text{m}^2$ )	Heat Flow (TW)	Mean Heat Flow ( $\text{mW m}^{-2}$ )
Continent	$2.073 \times 10^{14}$	14.7	70.9
Ocean	$3.028 \times 10^{14}$	31.9	105.4
Global Total	$5.101 \times 10^{14}$	46.7	91.6

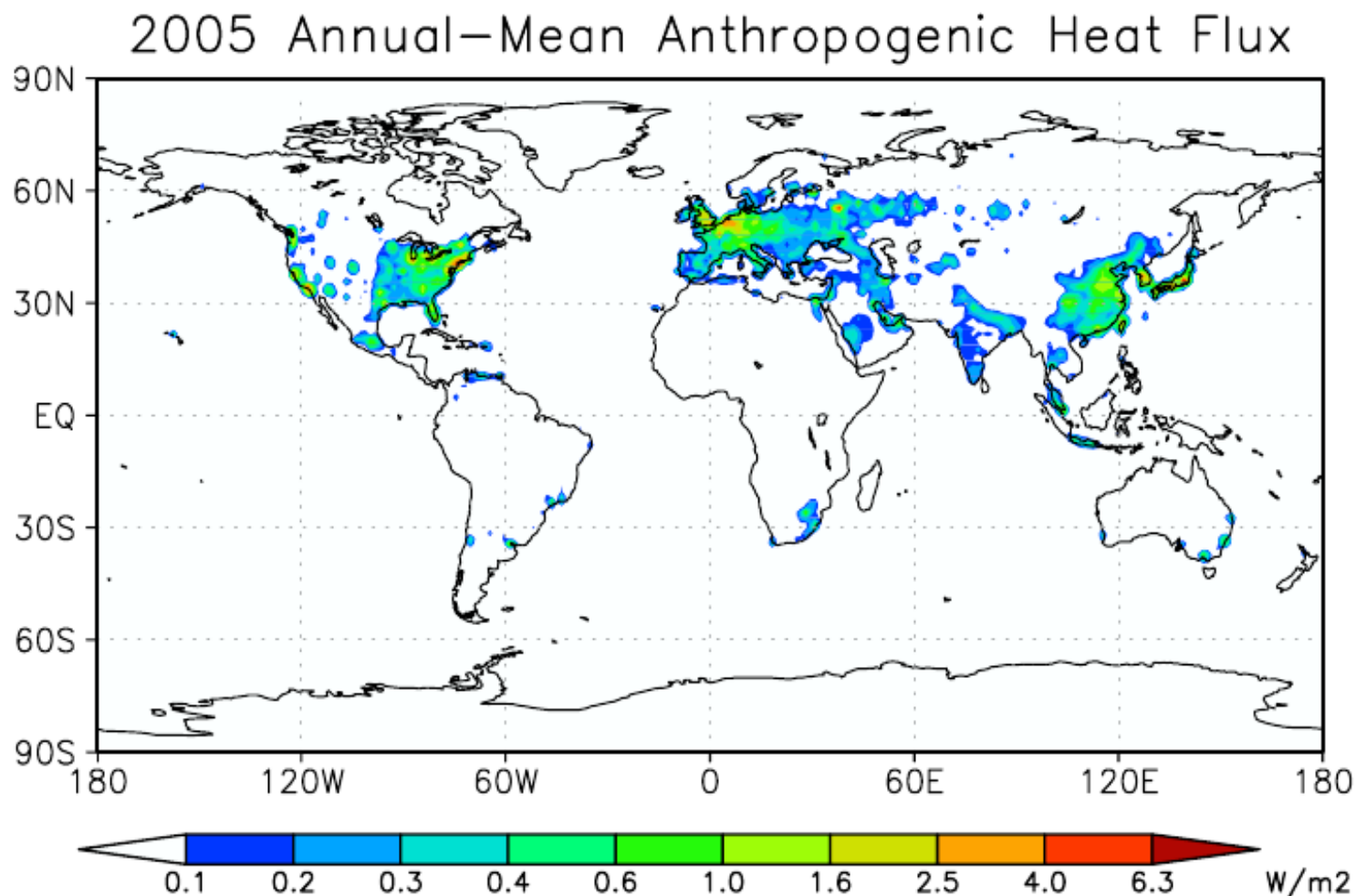
Davies, J. H., D. R. Davies. 2010. Earth's surface heat flux. *Solid Earth* 1, no. 1: 5-24.

# Antropogeniczny strumień ciepła – jak bezpośrednio podgrzewamy atmosferę.

Dane z 2005  
roku:

średnia  
globalna  
 $28\text{mW/m}^2$

średnia  
europejska  
 $680\text{mW/m}^2$



Flanner, M. G. (2009) Integrating anthropogenic heat flux with global climate models, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L02801



## **Wymuszenia i sprzężenia zwrotne w systemie klimatycznym.**

**Wymuszenia są zewnętrznymi przyczynami** zmian klimatu. Przykłady: irradiancja Słońca, zmiany orbitalne, antropogeniczne czy wulkaniczne emisje gazów cieplarnianych.

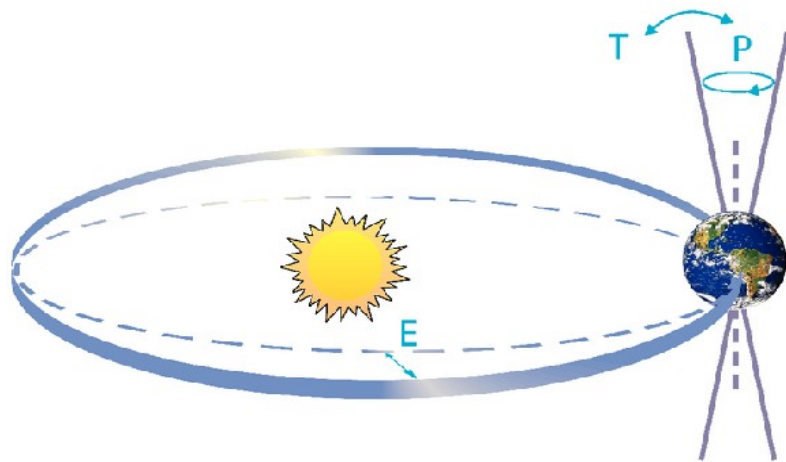
**Sprzężenia to procesy wewnętrzne** systemu klimatycznego, które są skutkiem wymuszeń i prowadzą do dalszych zmian klimatu. Przykłady : zmiany albedo wskutek pokrycia lodem, rozpuszczanie CO<sub>2</sub> w oceanie wskutek zmian temperatury.

### **Sprzężenia mogą być dodatnie lub ujemne.**

Sprzężenia dodatnie, gdy przekroczą pewne granice, mogą prowadzić do gwałtownych zmian klimatu.

Paleoklimatologia dostarcza dowodów na to że gwałtowne zmiany występowały w przeszłości geologicznej planety.

# Epoki lodowcowe: przykład wymuszeń orbitalnych i sprzężeń w systemie.



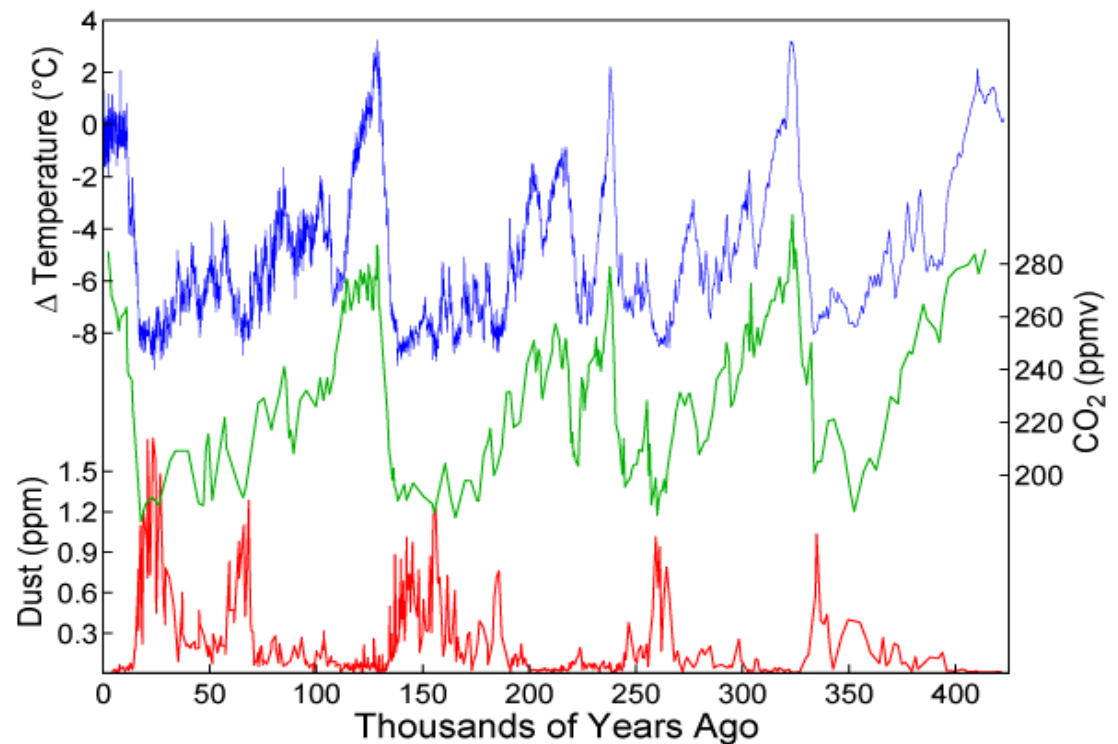
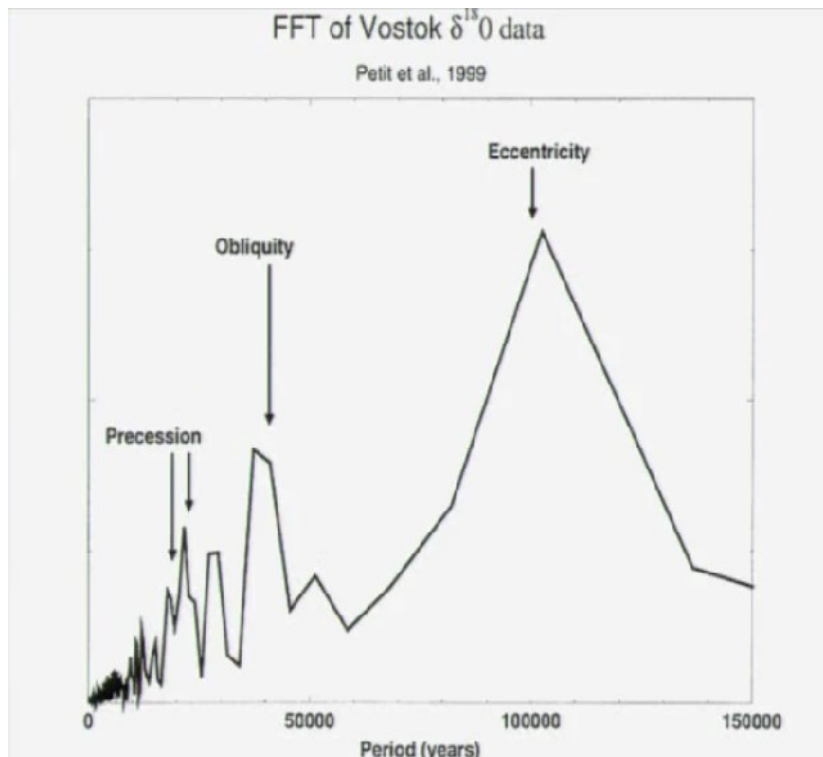
Cykle Milankovicha:

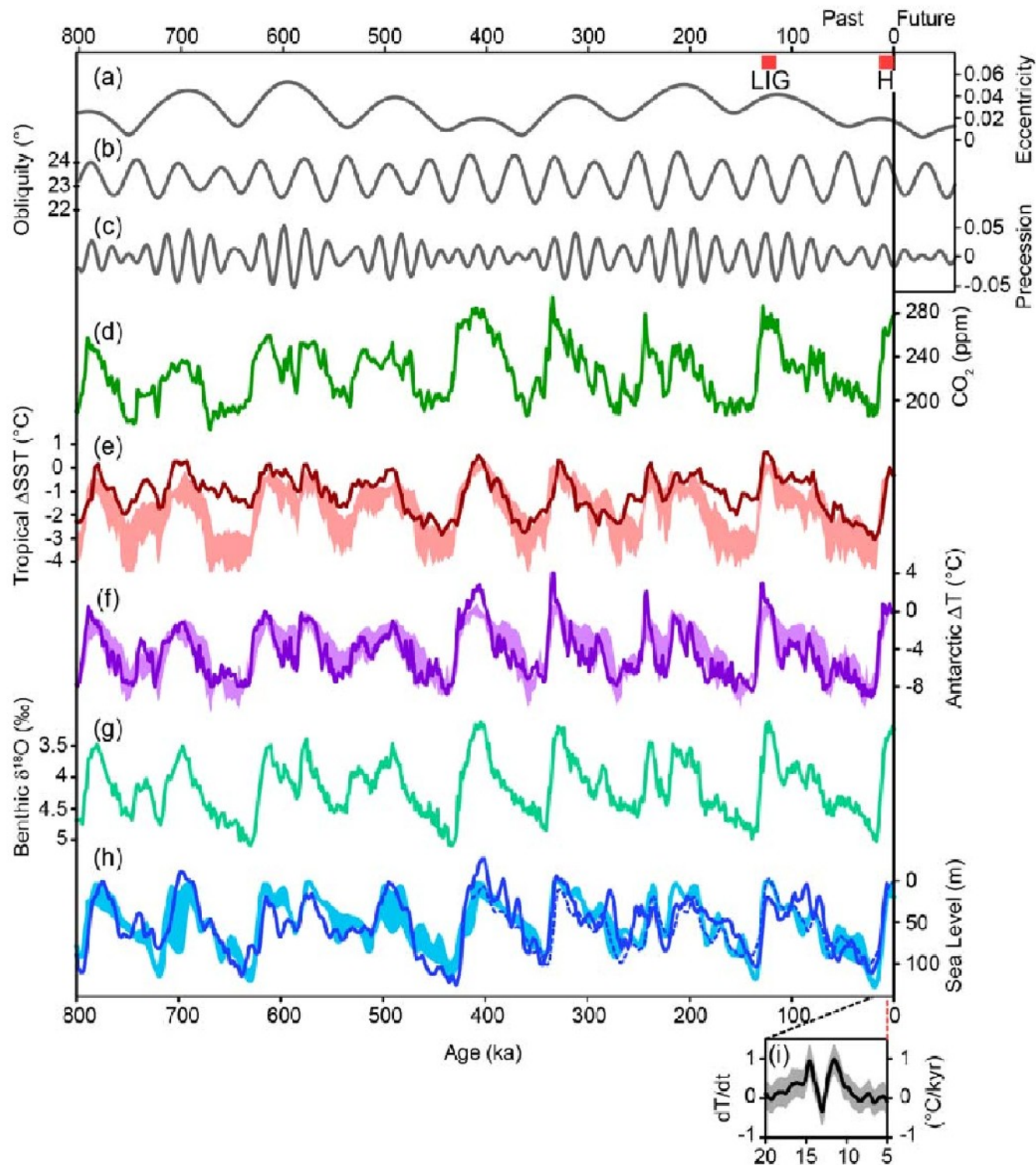
'T' zmiany nachylenia osi Ziemi (obliquity)

'E' zmiany ekscentryczności orbity

'P' precesja Rahmstorf and Schellnhuber (2006)

i zapisy z rdzeni lodowych na Antarktydzie (Vostok)





## Rekonstrukcje paleoklimatyczne:

Czarne – wymuszenia orbitalne,  
Zielone – zmiany CO<sub>2</sub> (na podstawie rdzeni lodowych)

Czerwone – temperatura w tropikach (cienka linia – rekonstrukcje paleoklimatyczne, szerszy pas – odtworzenie w modelach klimatu).

Fioletowe – temperatura Antarktydy (cienka linia – rekonstrukcje paleoklimatyczne, szerszy pas – odtworzenie w modelach klimatu).

Zielone – odwrotność masy czap lodowych (rekonstrukcja paleoklimatyczna na podstawie δ<sup>18</sup>O w osadach dennych)

Niebieskie – poziom morza (cienka linia – rekonstrukcje paleoklimatyczne, szerszy pas – odtworzenie w modelach klimatu).

# Jak działa mechanizm epok lodowcowych (w uproszczeniu!)?

## Glacjał:

- 1) Przy minimalnych fluktuacjach stałej słonecznej zmiana ekscentryczności orbity powoduje wychłodzenie lądów Arktyki i akumulację lodu → wzrost albedo (także zmiany szaty roślinnej i.t.d.).
- 2) Rosnąca powłoka lodowa, zmiana stratyfikacji stabilnej oceanu, zmiany biologiczne powodują zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery wskutek czego spada zawartość CO<sub>2</sub> w atmosferze i zmniejsza się efekt cieplarniany.

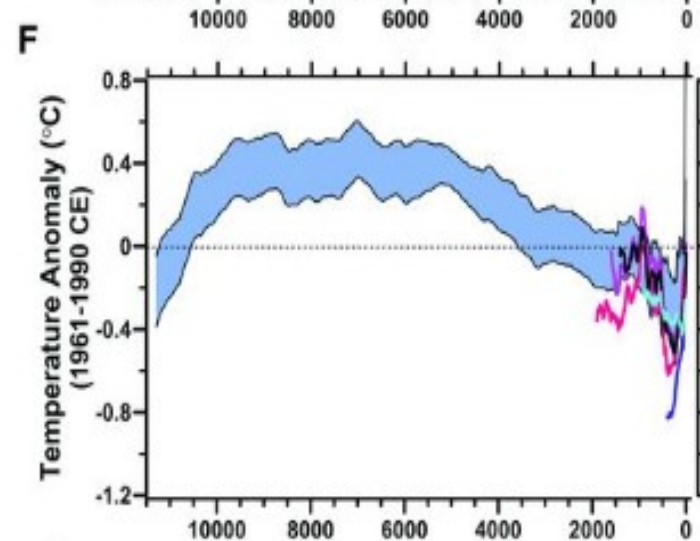
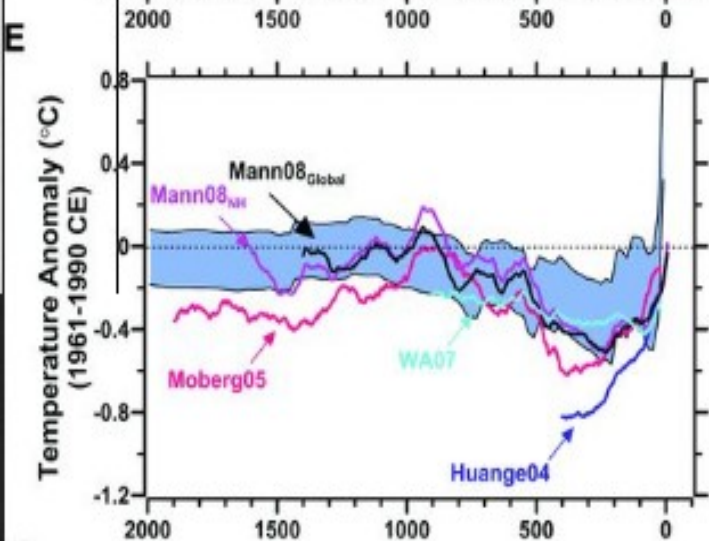
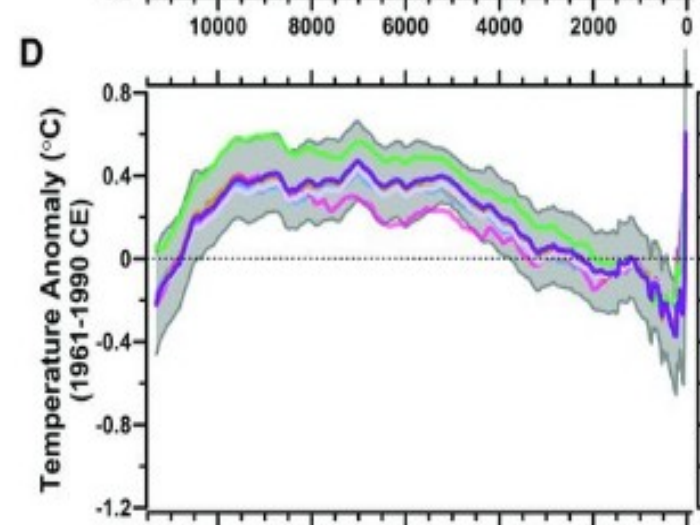
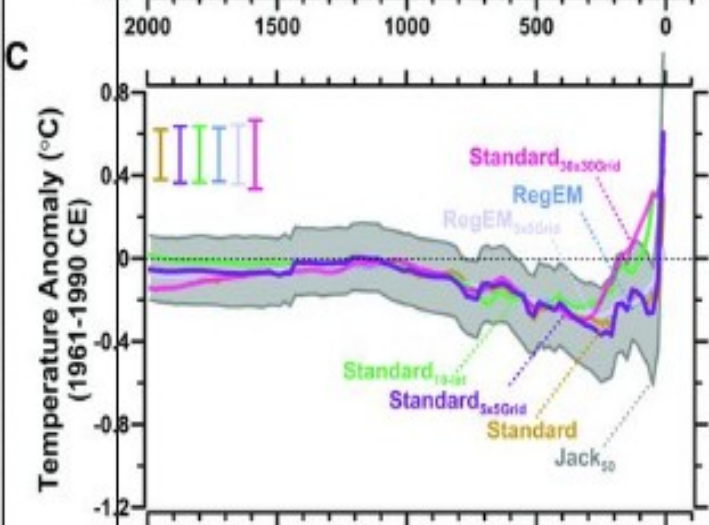
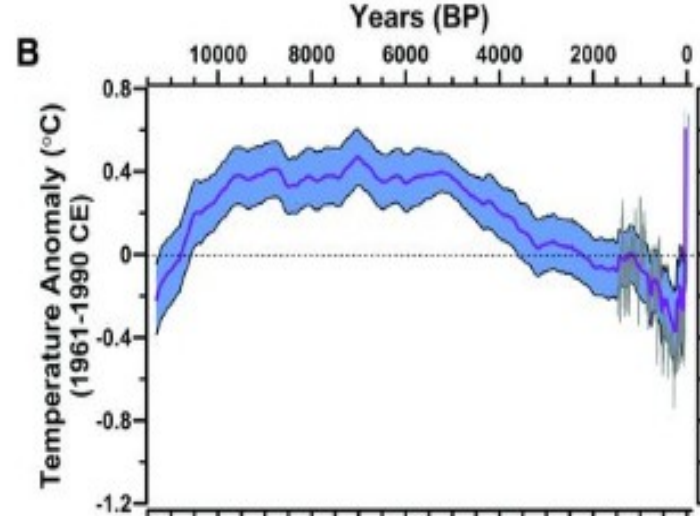
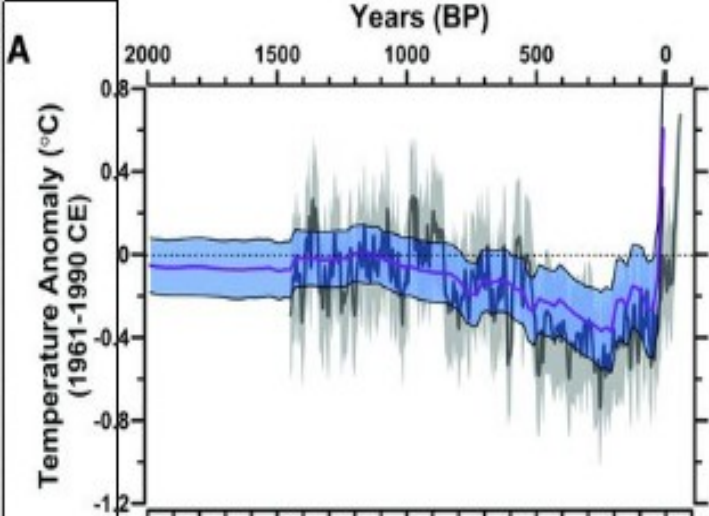
(np. wykład Richarda Alleya [http://www.agu.org/meetings/fm09/lectures/lecture\\_videos/A23A.shtml](http://www.agu.org/meetings/fm09/lectures/lecture_videos/A23A.shtml))

## Interglacjał:

- 3) Za koniec epok lodowych odpowiada zmiana nachylenia osi / precesji przy odpowiednim stanie ekscentryczności → topnienie lodu na biegunach.
- 4) Zmiany w cyrkulacji oceanicznej i monsunowej powodują zwiększoną emisję CO<sub>2</sub> z oceanów, rośnie efekt cieplarniany.

(np. Huybers i Wunsch, 2005, Cheng i inni, 2009)

W tych wypadkach CO<sub>2</sub> nie jest przyczyną zmian, natomiast wymiana CO<sub>2</sub> z oceanem jest dodatnim sprzężeniem zwrotnym, wpływającym na amplitudę zmian. Skala czasowa tych zmian jest stosunkowo wolna, wymuszenia orbitalne mają skalę dziesiątek tysięcy lat a skala czasowa naturalnych fluktuacji CO<sub>2</sub> związana z cyklami oceanicznymi i biogeochemicznymi jest rzędu 1000 lat.



Czy teraz jest podobnie?

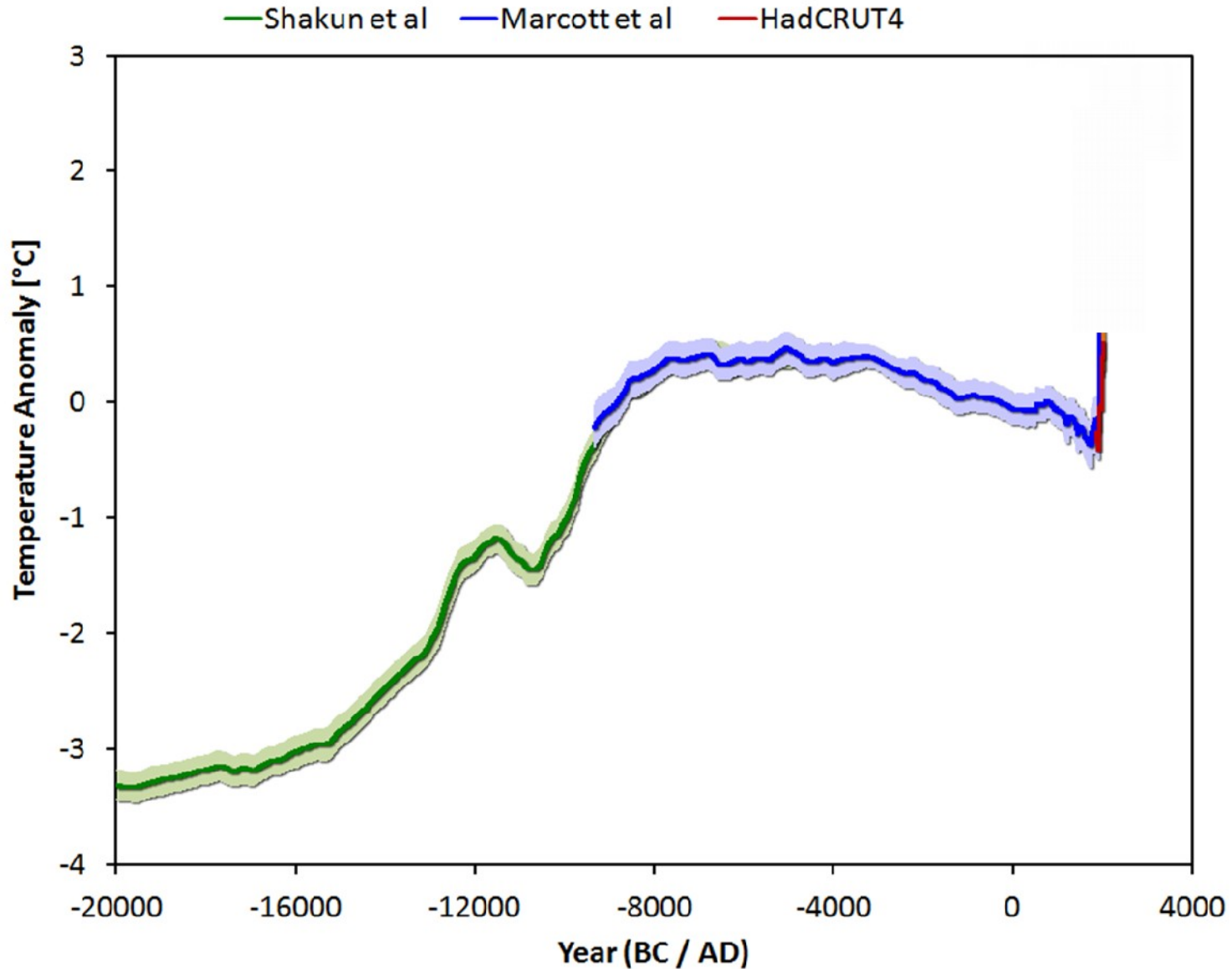
Porównanie rekonstrukcji globalnych i hemisferycznych zmian temperatury w holocenie (ostatni interglacjał) oraz obserwowanego ostatnio wzrostu temperatury

S A Marcott et al.  
Science 2013;339:1198-1201

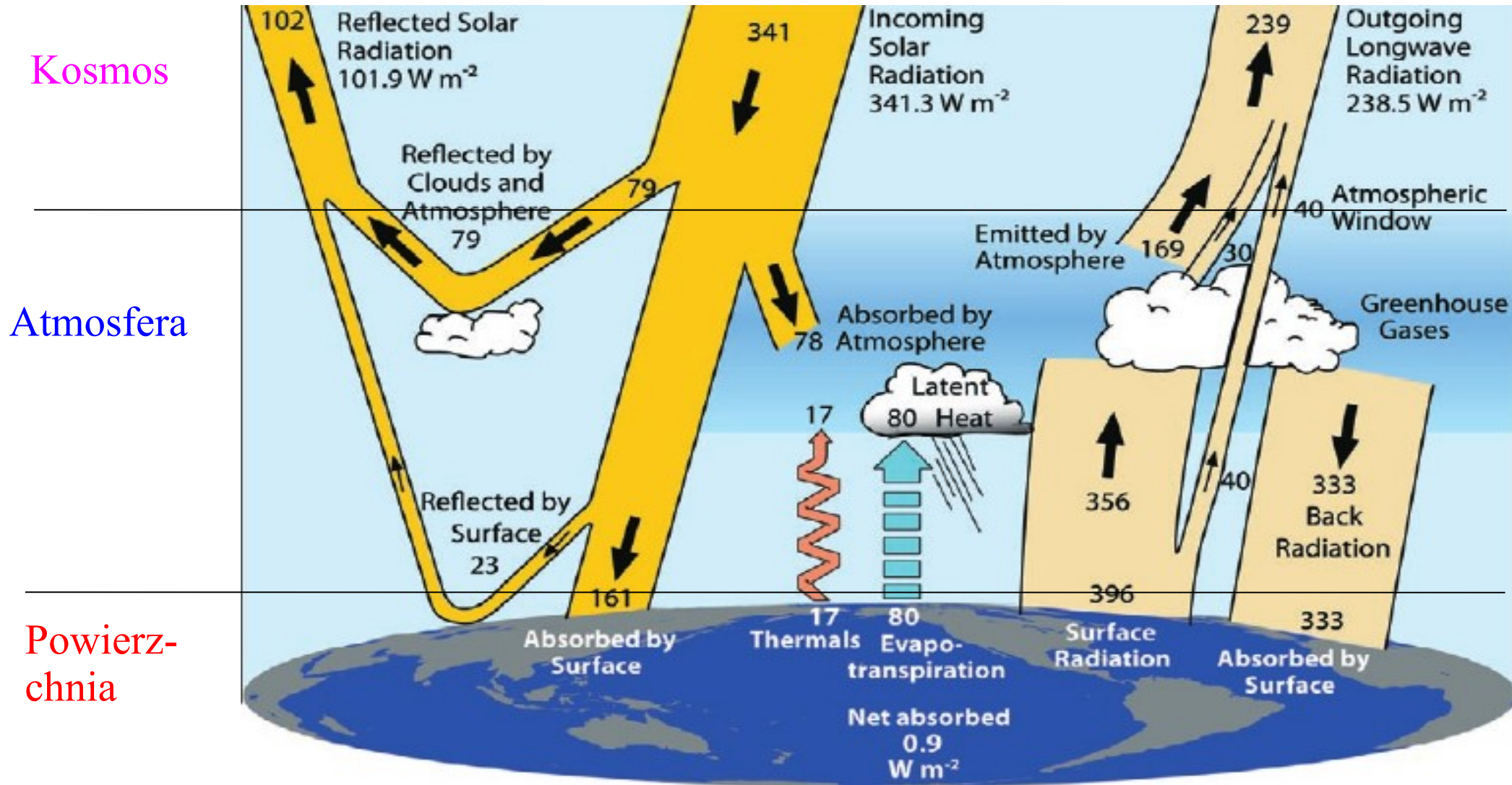


Published by AAAS

Zmiany średniej temperatury globu przy wyjściu z ostatniego glacjału i podczas holocenu.



# Bilans energii Ziemi: 03/2000-05/2004, CERES i GCM.



Trenberth, K.E., J.T. Fasullo, and J. Kiehl, 2009:  
Earth's Global Energy Budget. Bull. Amer.  
Meteor. Soc., 90, 311–323.

Ogrzewanie netto:  $0.9 \pm 0.15 \text{W/m}^2$   
(w okresie maksimum słonecznego)

Układ Ziemia-Atmosfera dostaje więcej energii niż emituje.

Z zasady zachowania energii wynika, że ta energia musi

**GROMADZIĆ SIĘ W UKŁADZIE!!!**

Pytania: czy możemy zaobserwować gdzie się gromadzi?

Czy możemy udowodnić, jaki mechanizm fizyczny powoduje że mamy stan nierównowagi?

Przecież układy termodynamiczne dążą do równowagi!

**Coś musi tę nierównowagę wymuszać!!!**



## Kilka podstawowych informacji o systemie klimatycznym:

1) masa atmosfery odpowiada 10m słupa wody, ciepło właściwe powietrza  $C_p=1004\text{J/kg}\cdot\text{K}$ ;

2) oceany pokrywają 71% powierzchni globu, średnia głębokość oceanu to ok. 3950m, średnia warstwa wody w skali globu to ok. 2800m, ciepło właściwe wody  $C_w=4192\text{J/kg}\cdot\text{K}$ ;

3) albedo oceanu jest bliskie 0, promieniowanie jest pochłaniane w warstwie kilkudziesięciu metrów;

4) powierzchniowa warstwa oceanu oddzielona jest od głębi warstwą termokliny/halokliny, która praktycznie hamuje mieszanie. Transport ciepła i  $\text{CO}_2$  w głąb / do powierzchni odbywa się w kilku specyficznych rejonach globu (upwelling, cyrkulacja termohalinowa);

5) albedo gruntu jest zmienne, z promieniowaniem reaguje bardzo cienka warstwa gruntu, przewodnictwo w głąb jest minimalne.

Z punktu widzenia fizyka to co obserwujemy w ostatnich latach to wzrost zawartości energii wewnętrznej w układzie Ziemia – Atmosfera wskutek procesu który zachodzi WEWNĄTRZ tego układu.

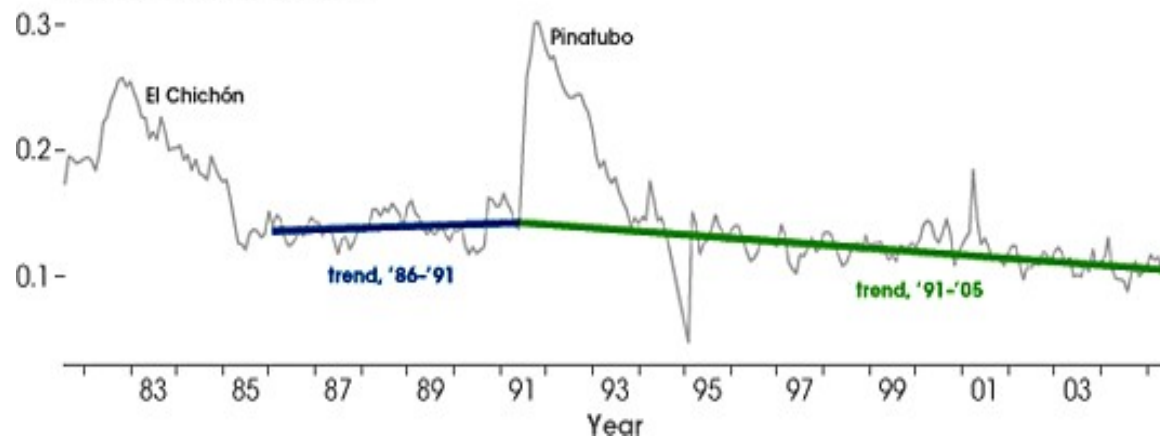
STRUMIEŃ ENERGII DOPLÝWAJĄCEJ Z ZEWNĄTRZ PRAKTYCZNIE SIĘ NIE ZMIENIŁ W TYM CZASIE

Znakomita większość energii gromadzonej w układzie magazynowana jest w oceanach, a tylko niewielka część w atmosferze i gruncie.

Ponieważ pojemność cieplna warstwy oceanu która ma znaczenie dla procesów radiacyjnych jest znacznie większa niż odpowiedniej warstwy gruntu, temperatura powietrza wzrasta szybciej nad lądem niż nad oceanami.

Jakie procesy zachodzące wewnątrz atmosfery i na powierzchni gruntu wpływają na strumienie energii?

## Aerosol Optical Thickness



**Albedo: efekty aerozolu atmosferycznego (pyłów)**

[http://www.giss.nasa.gov/research/features/200711\\_temptracker/page2.html](http://www.giss.nasa.gov/research/features/200711_temptracker/page2.html)

Grubość optyczna aerozolu (miara blokowania dopływu promieniowania słonecznego) maleje od czasu erupcji Mt Pinatubo w 1991 r (czerwona linia). [NASA]

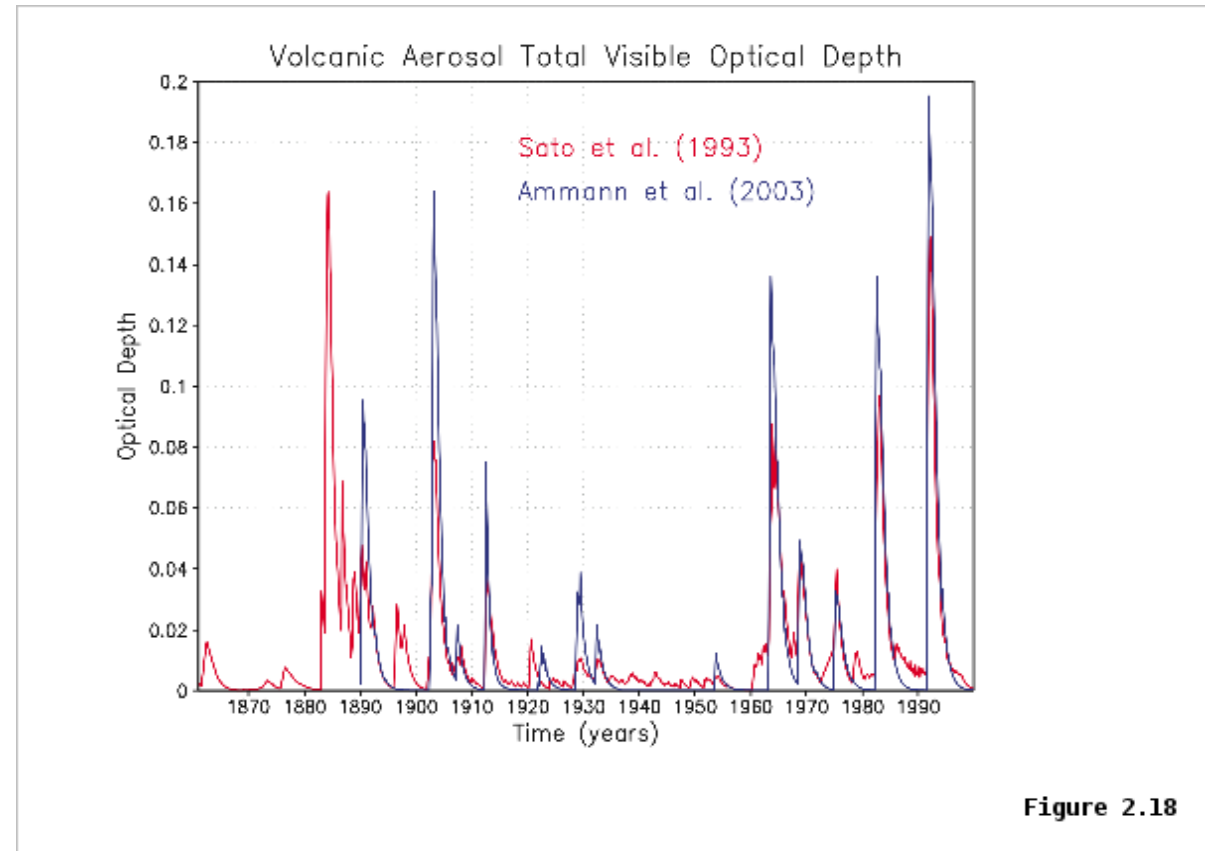
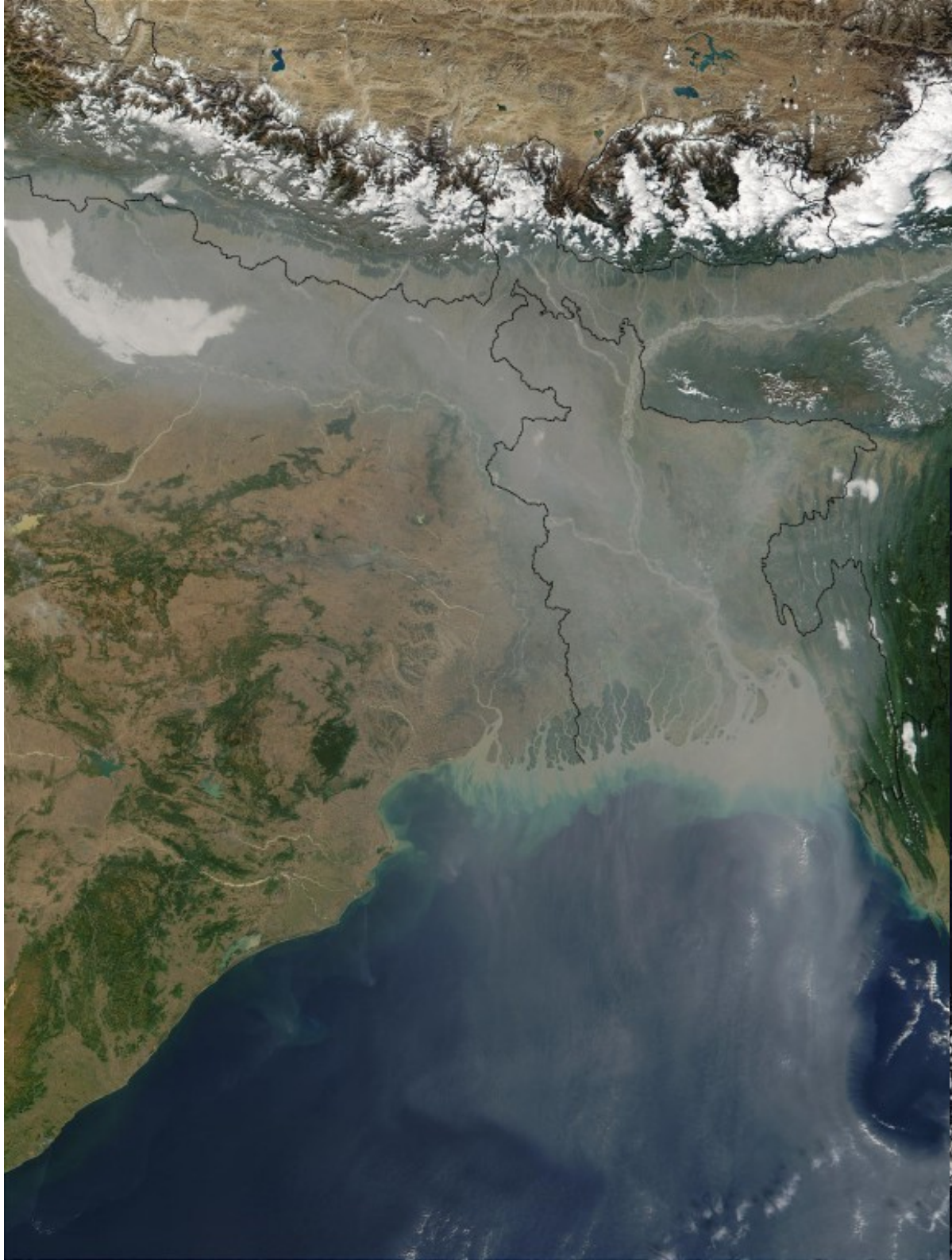


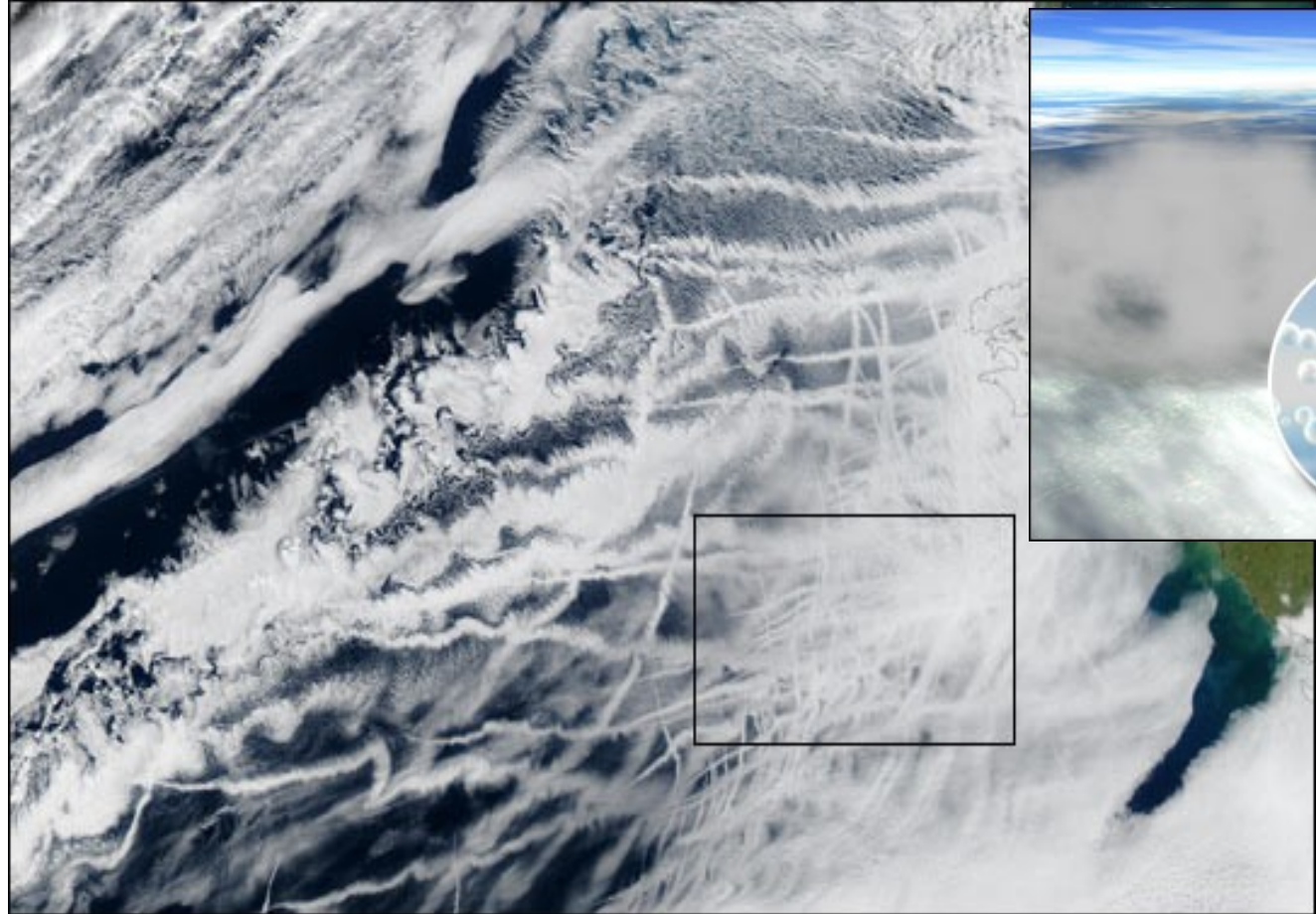
Figure 2.18



Wpływ aerozolu na ALBEDO,  
dokładniej na rozpraszanie  
(odbijanie w kosmos)  
promieniowania słonecznego,  
tzw. bezpośredni efekt  
aerozolowy.

[NASA Earthobservatory]

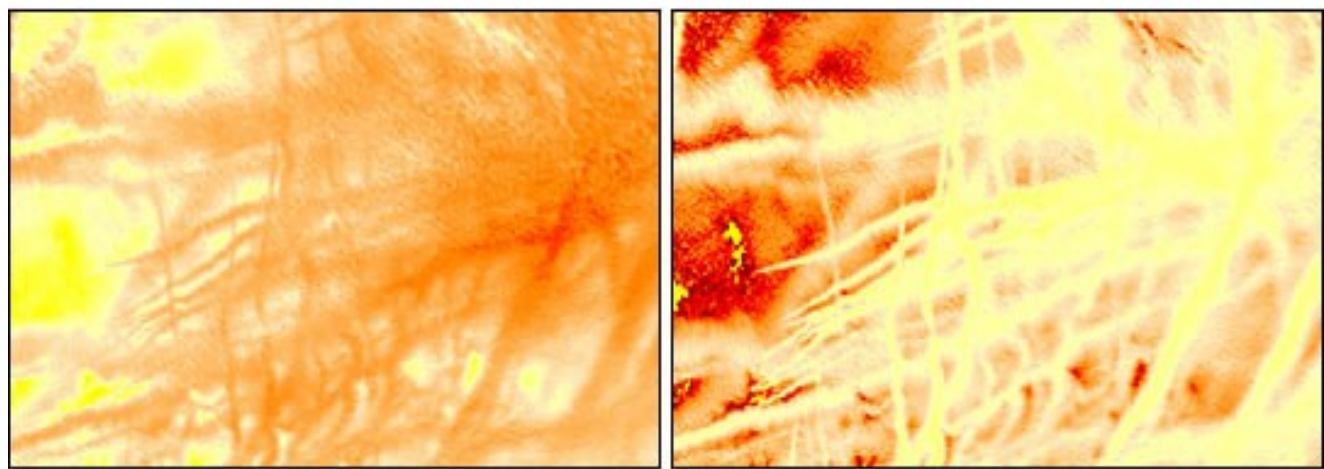




True Color



Wpływ aerozolu na budowę chmur (rozmiar kropelek) i w konsekwencji na ich własności radiacyjne:  
tzw. pośrednie efekty aerozolowe:  
- pierwszy (albedo chmur)  
- drugi (czas życia chmur).

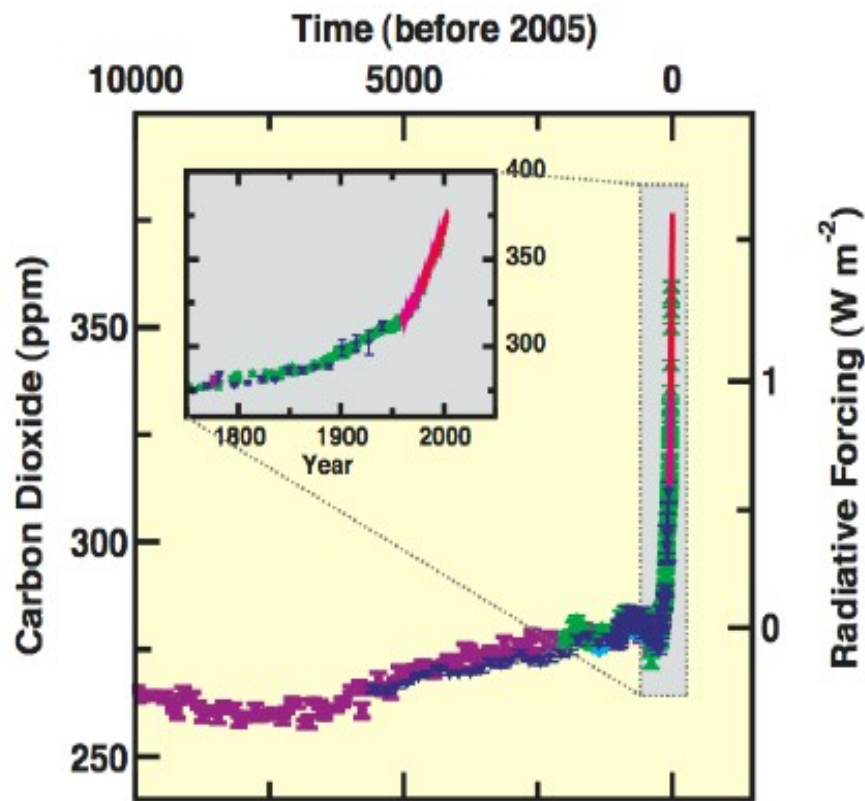


Optical Thickness

Effective Particle Radius ( $\mu\text{m}$ )

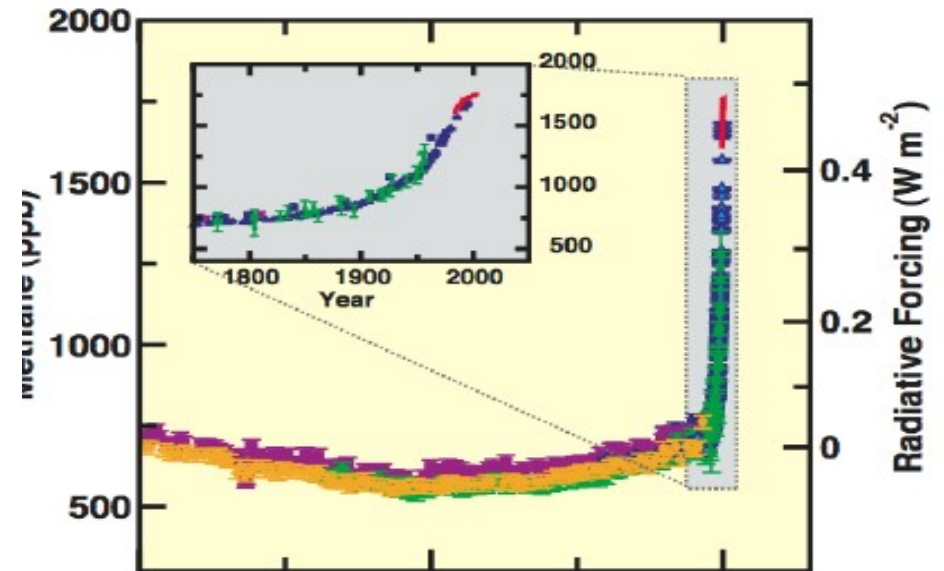


## Zmiany w efekcie cieplarnianym

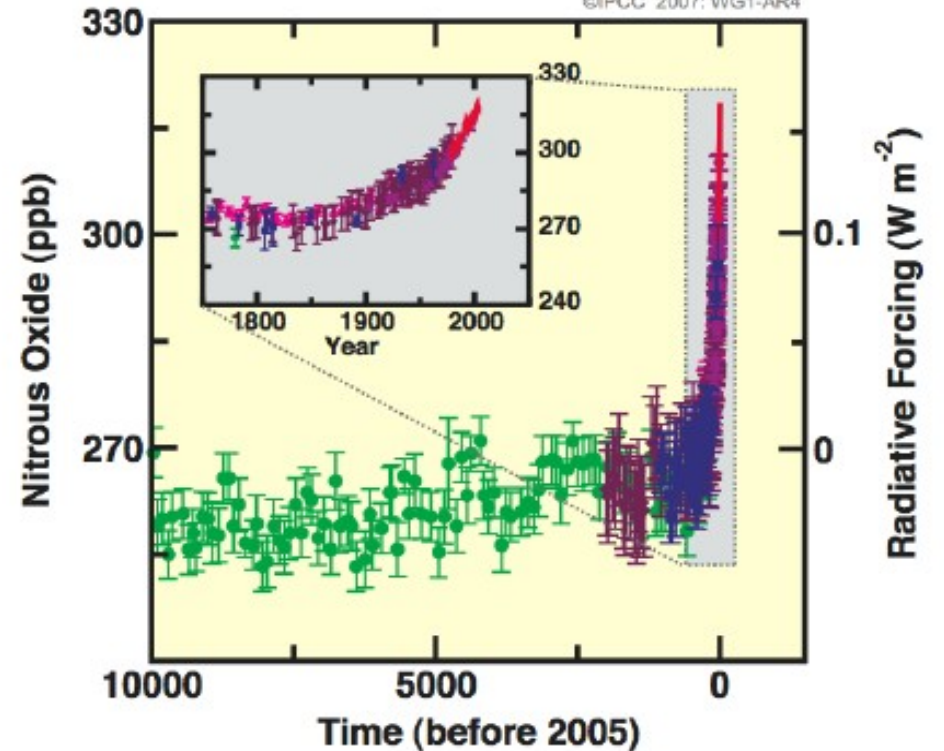


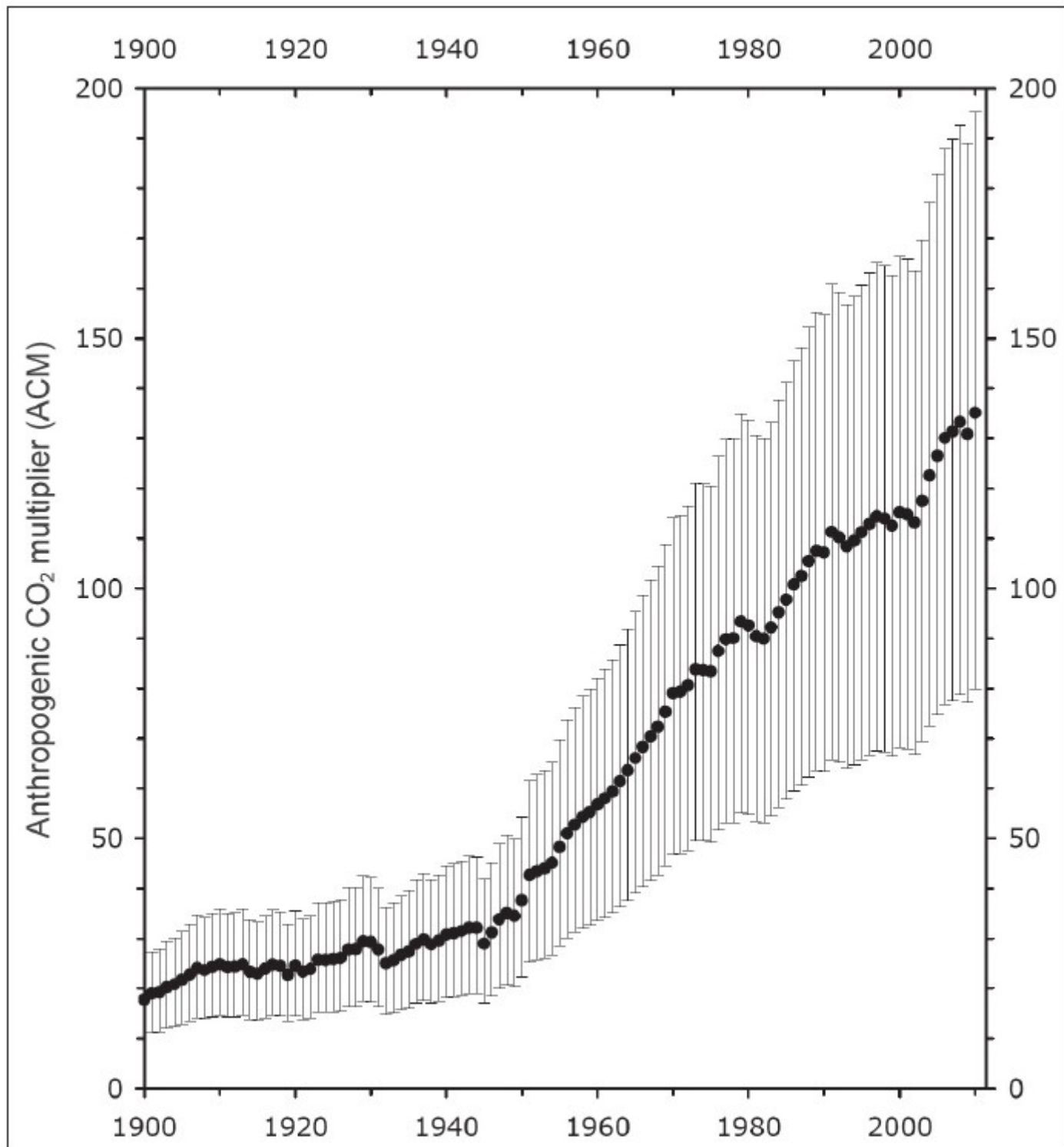
Zmiany w koncentracji głównych gazów cieplarnianych i związane z tymi zmianami wymuszanie radiacyjne. Na czerwono zaznaczono dane dane z pomiarów bezpośrednich.

IPCC, 2007



©IPCC 2007: WG1-AR4





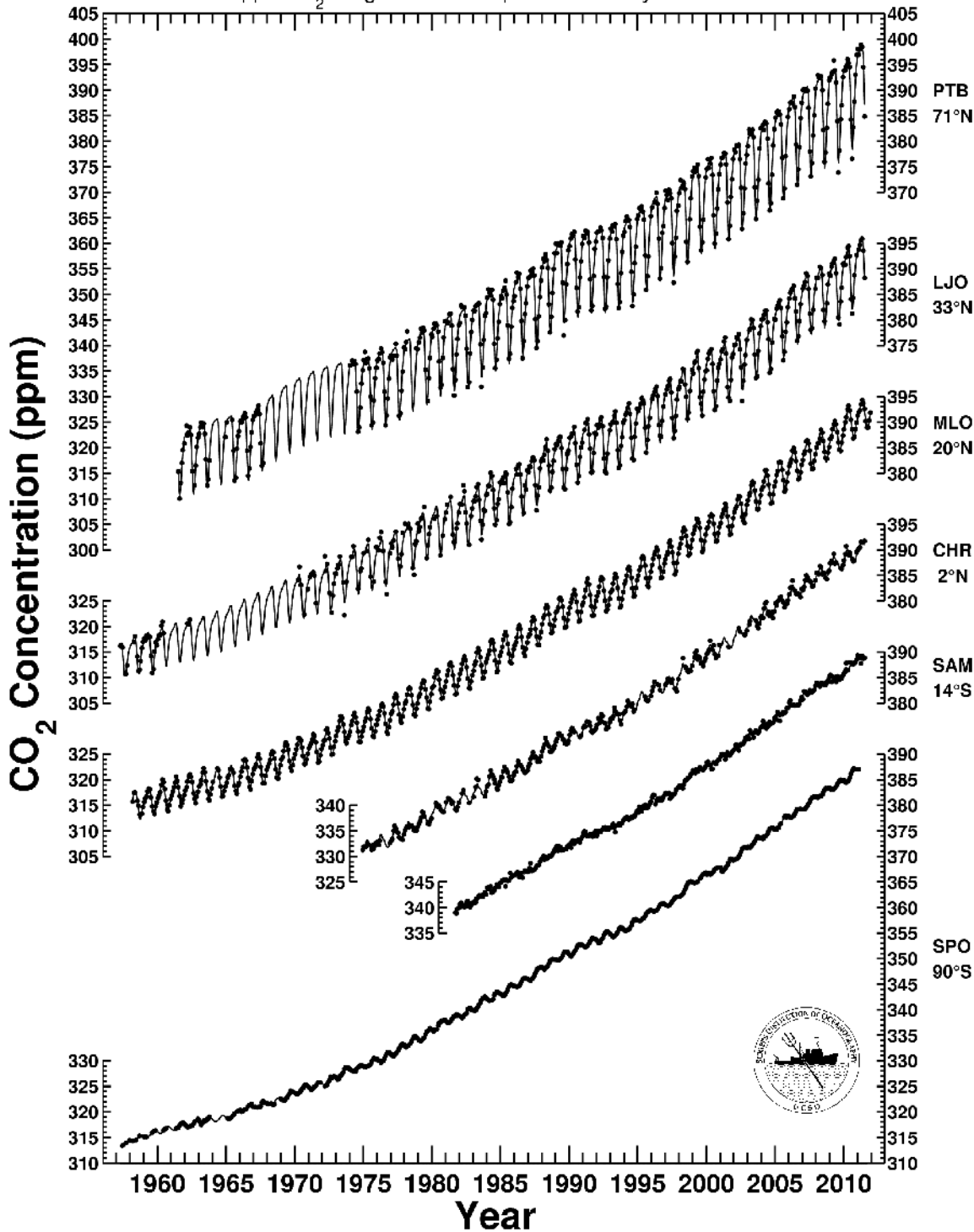
Skąd się bierze  
wzrost koncentracji  
CO<sub>2</sub>?

Emisje  
antropogeniczne  
CO<sub>2</sub> w stosunku do  
emisji  
wulkanicznych

Gerlach, T. (2011): "Volcanic Versus  
Anthropogenic Carbon Dioxide", EOS,  
Trans. AGU, 92:24, 201-208

# Global Stations Carbon Dioxide Concentration Trends

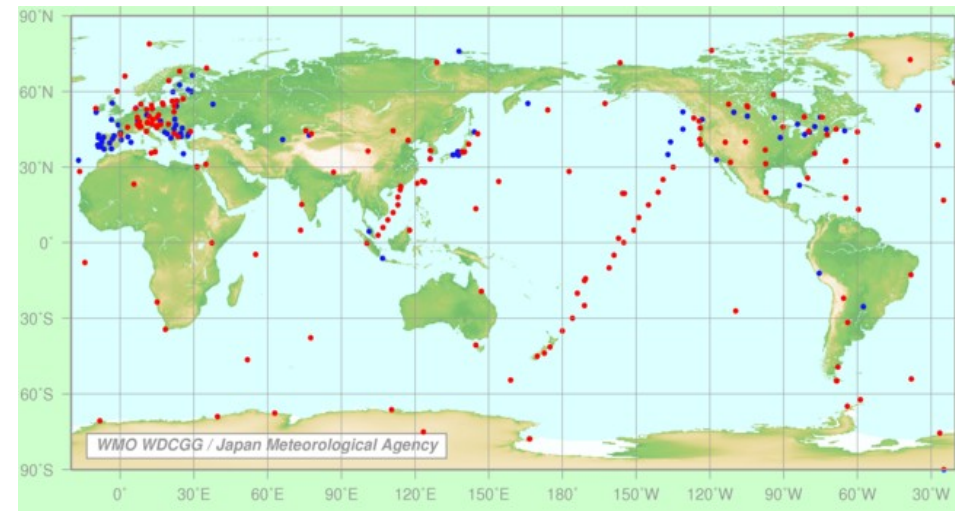
Data from Scripps CO<sub>2</sub> Program Last updated January 2012



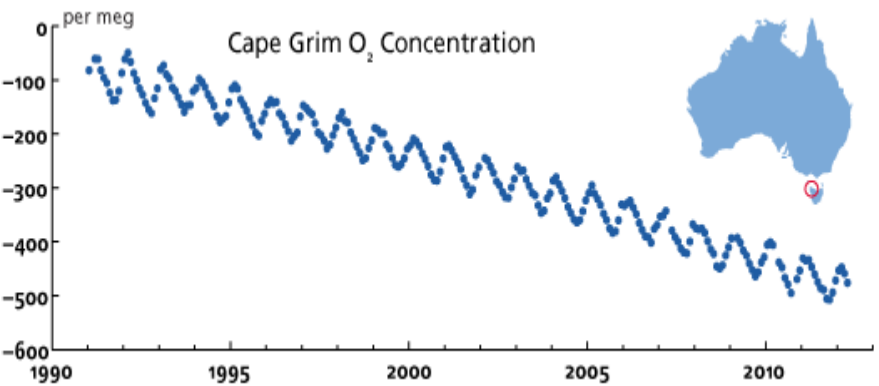
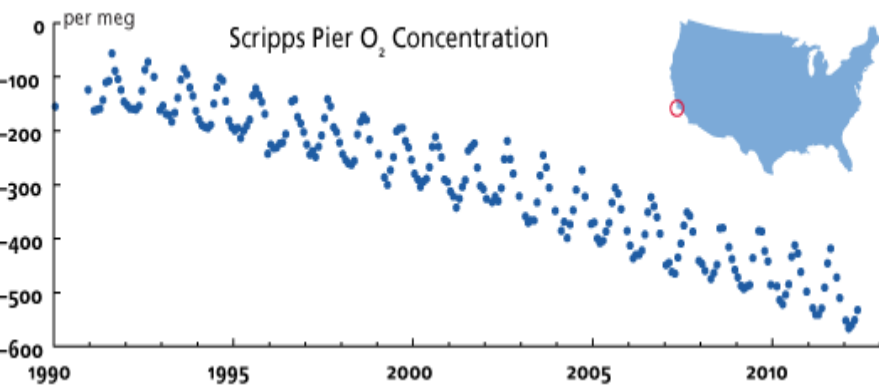
Regularne pomiary CO<sub>2</sub> i innych gazów atmosferycznych są zbierane w WMO World Data Centre for Greenhouse Gases (WDCGG)

<http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/>

<http://scrippsco2.ucsd.edu/>



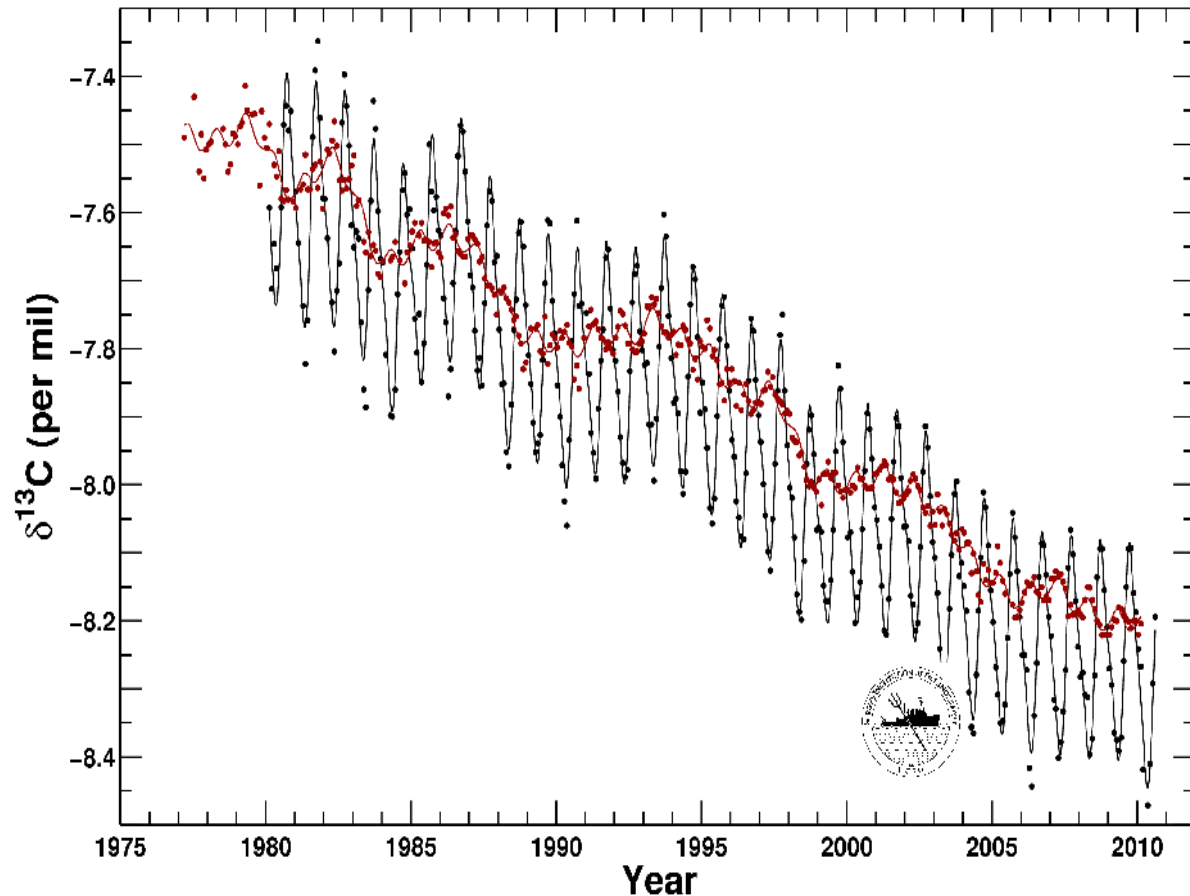




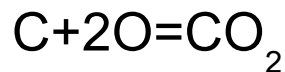
Stosunek stabilnych izotopów węgla <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C pozwala określić jak spalanie paliw kopalnych wpływa na koncentrację atmosferycznego i oceanicznego CO<sub>2</sub>.

### Mauna Loa Observatory, Hawaii and South Pole, Antarctica Monthly Average δ<sup>13</sup>C Trends

Data from Scripps CO<sub>2</sub> Program Last updated January 2012

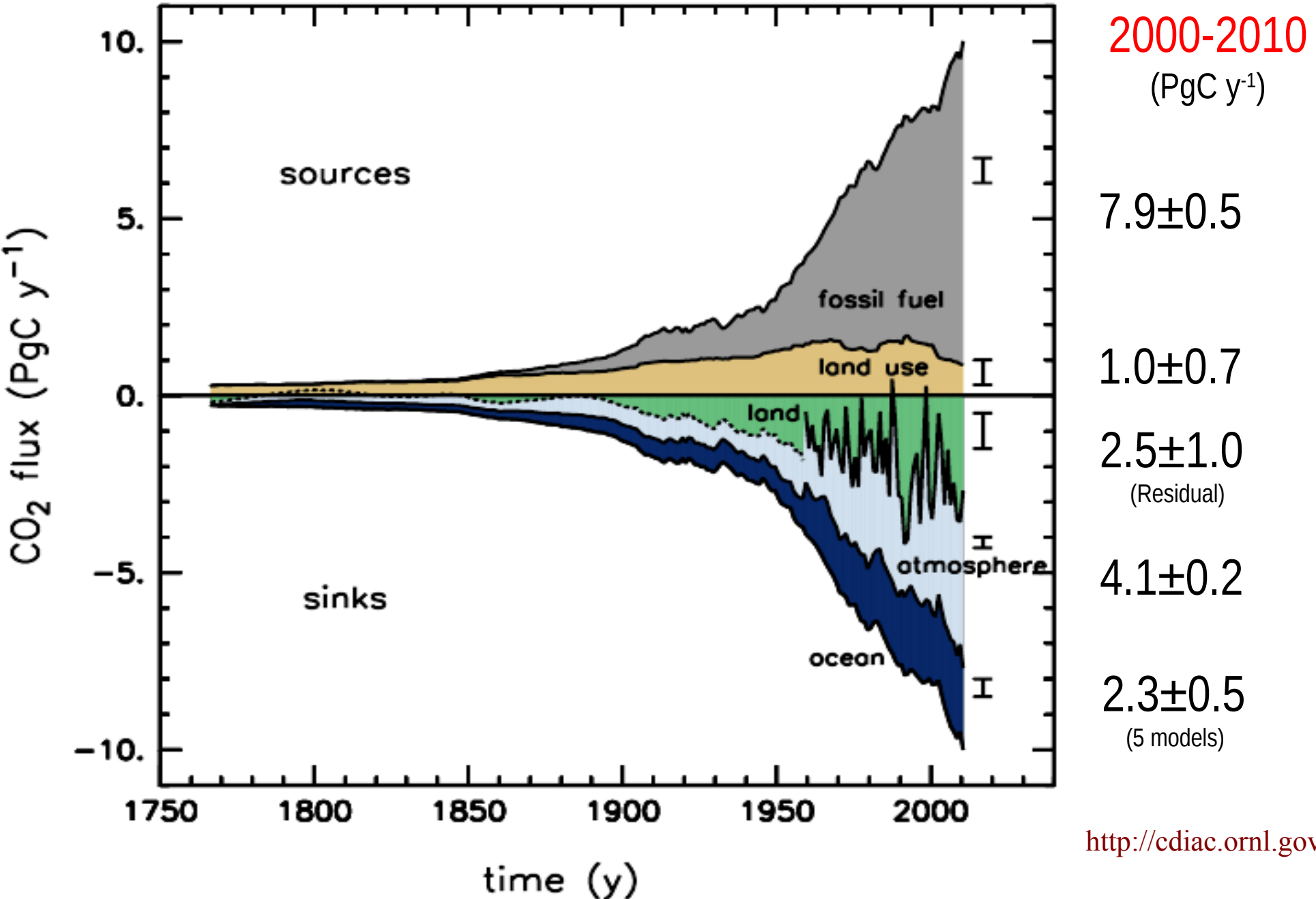


Innym dowodem na to że przyrost CO<sub>2</sub> jest skutkiem spalania paliw kopalnych:



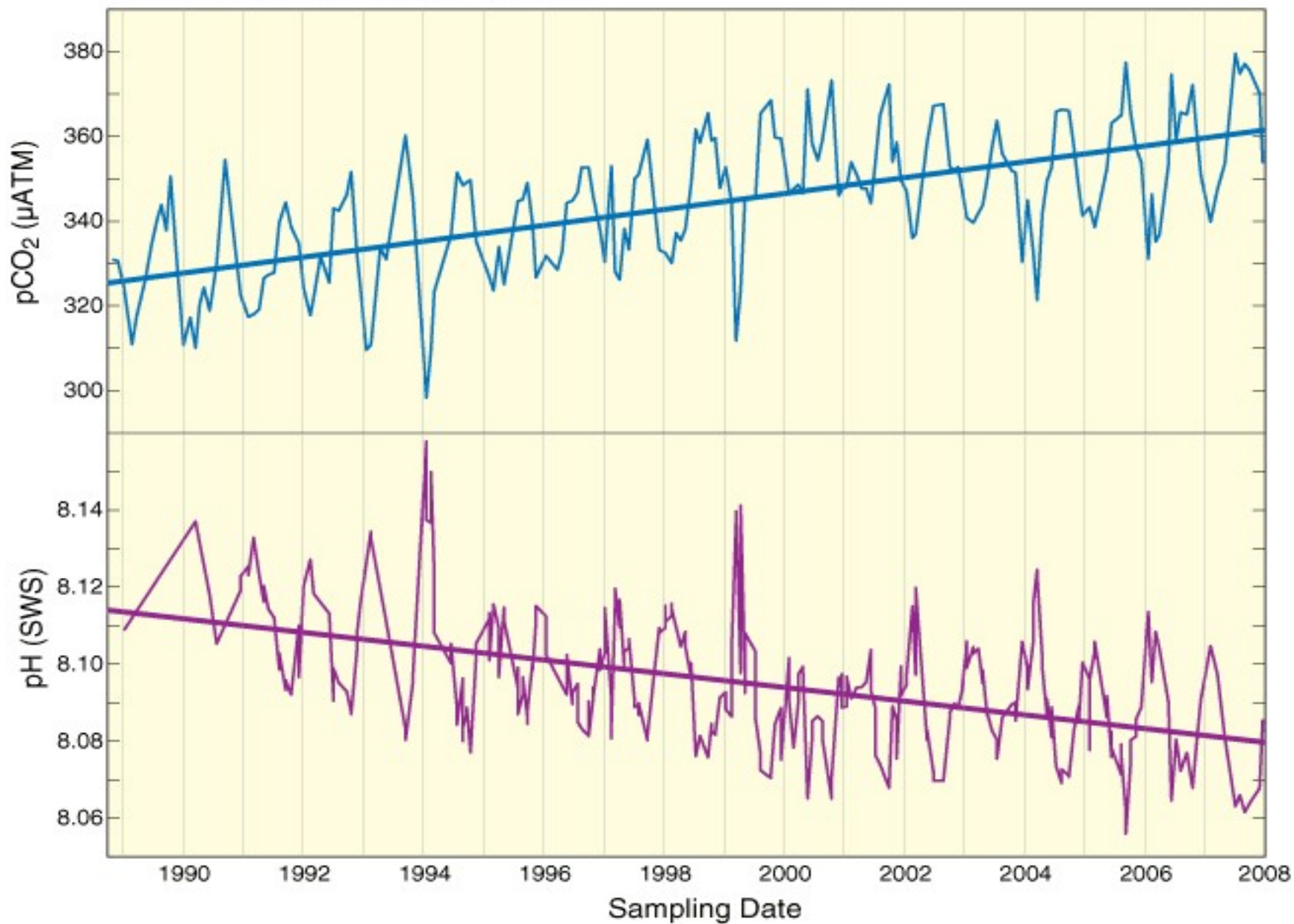
Jest stosunek O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> w powietrzu.

# Antropogeniczne zaburzenia w cyklu węglowym – CDIAC



<http://cdiac.ornl.gov/>

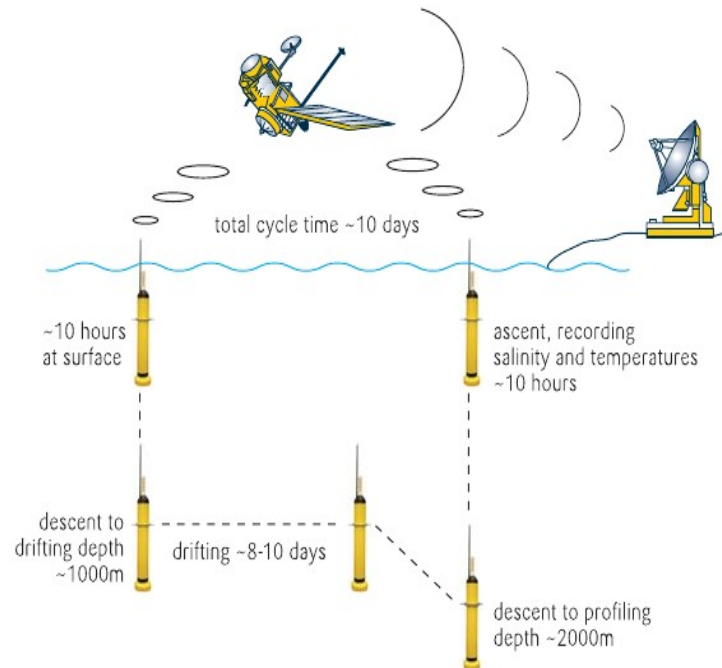
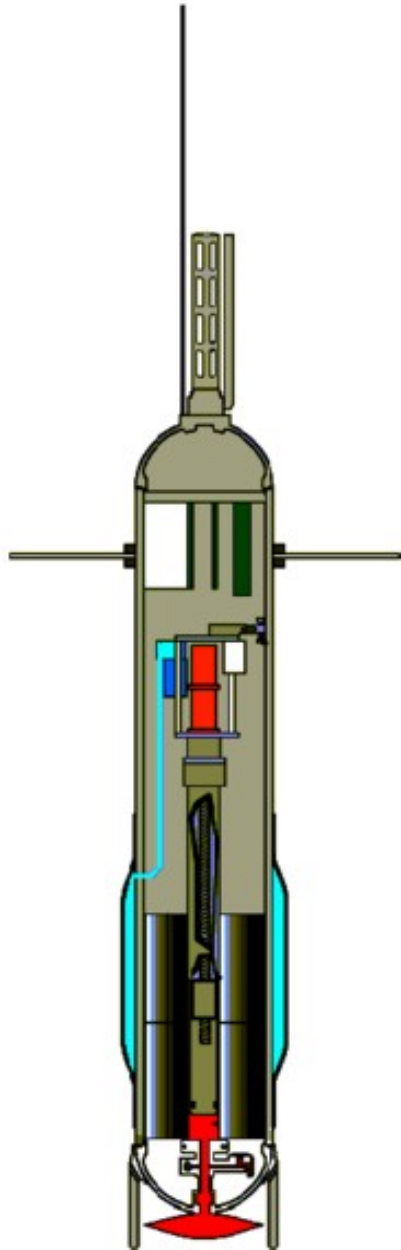
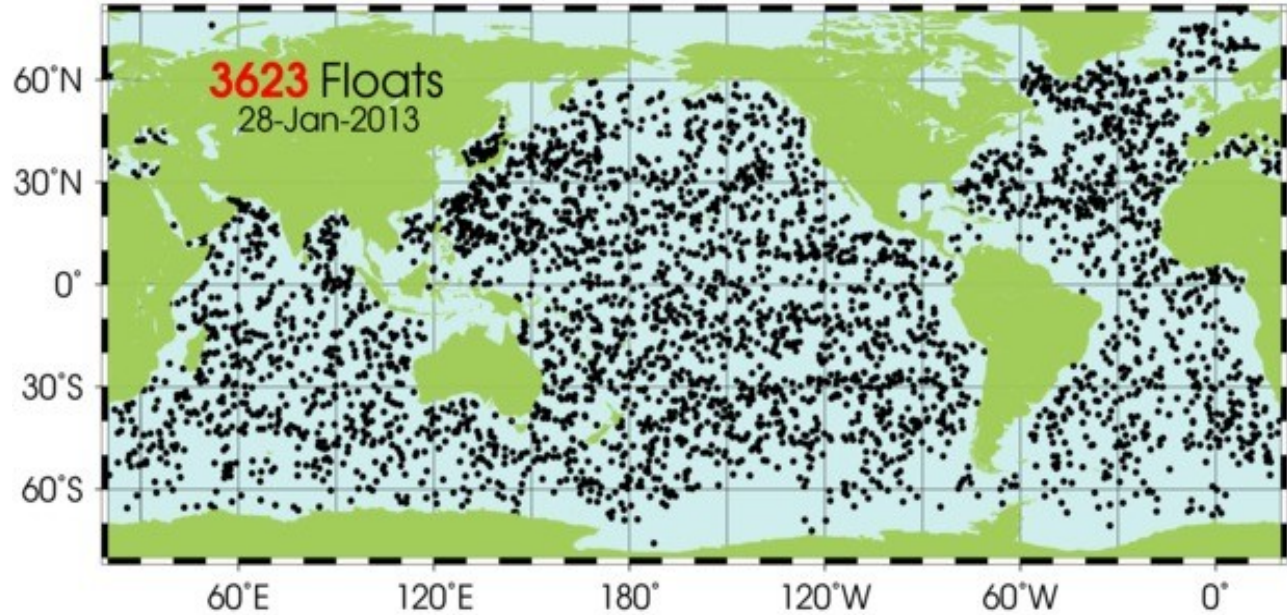
## The Station ALOHA Curve



**Zakwaszenie oceanu.**

<http://cmore.soest.hawaii.edu/oceanacidification/>

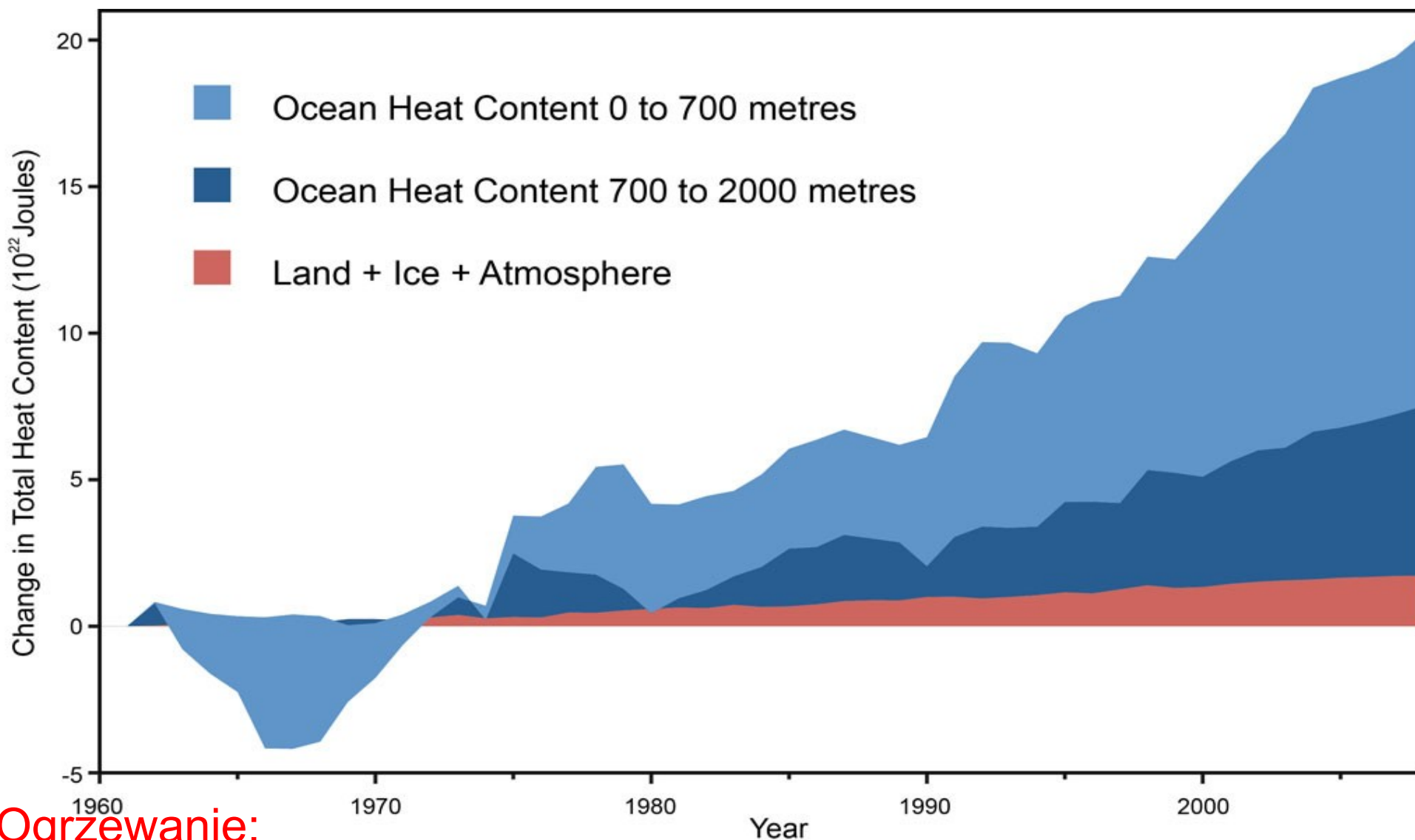
# Projekt ARGO: profilowanie oceanów (temperatura, zasolenie, prądy).



Dane dostępne on-line

<http://www.argo.ucsd.edu/>

# Ciepło (energia wewnętrzna) oceanów



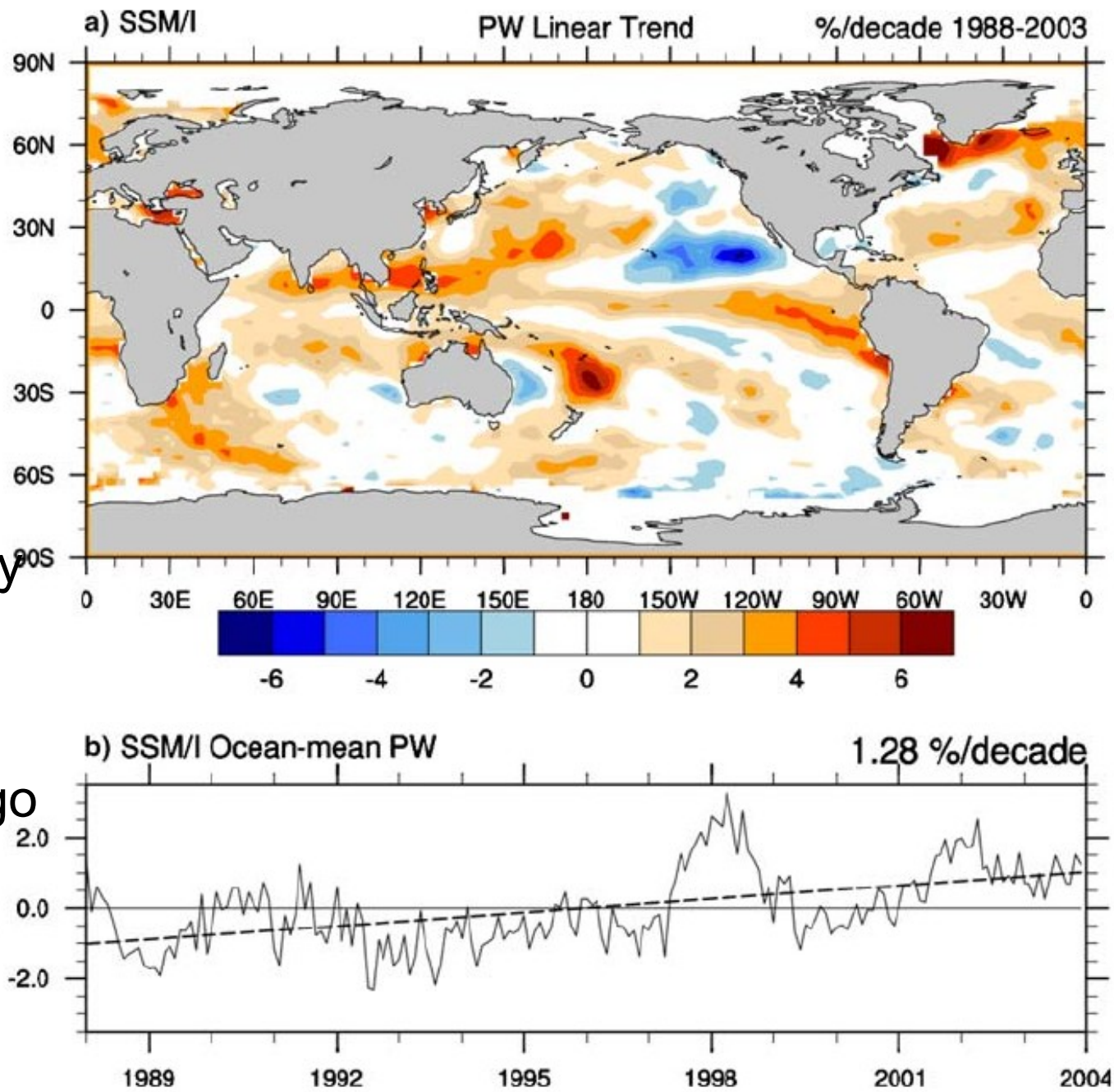
Ogrzewanie:  
 $0.77 \pm 0.11 \text{ W/m}^2$   
(średnia z długiego  
długookresu)

Dana Nuccitelli, Robert Way, Rob Painting, John Church, John Cook, Comment on “Ocean heat content and Earth’s radiation imbalance. II. Relation to climate shifts”, Physics Letters A, Volume 376, Issue 45, 1 October 2012, 3466-3468, [10.1016/j.physleta.2012.10.010](https://doi.org/10.1016/j.physleta.2012.10.010).  
And many others

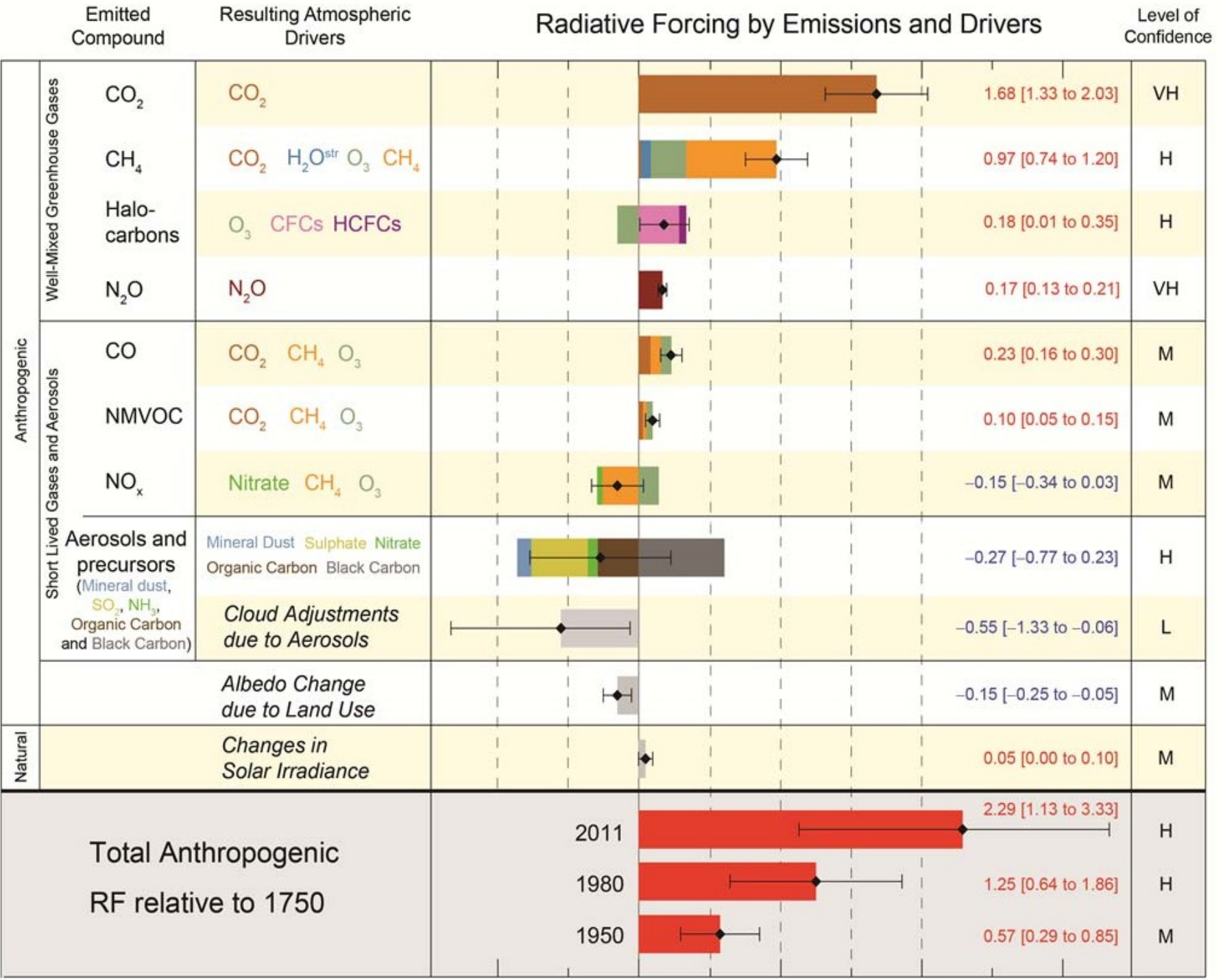
**Fig. 11** Linear trend in precipitable water for 1988–2003 in % per decade and the time series for the integral over the global ocean, which has a linear trend of 1.3 mm per decade

Zmiany zawartości pary wodnej w atmosferze na podstawie pomiarów satelitarnych.

Zmiany w zawartości pary wodnej są SKUTKIEM wzrostu temperatury powietrza, np. w efekcie wzrostu koncentracji długo żyjących gazów cieplarnianych, ogrzania powierzchni morza e.t.c..



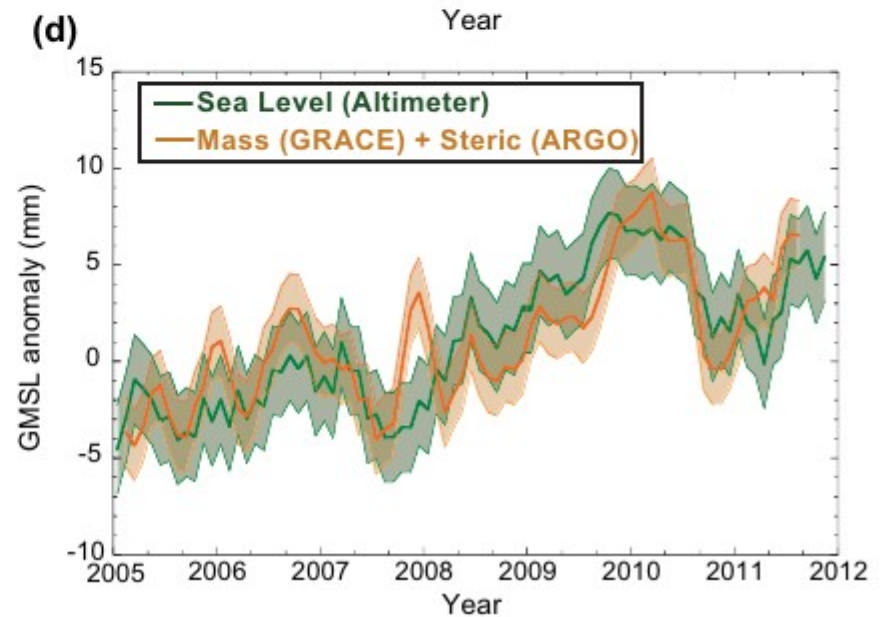
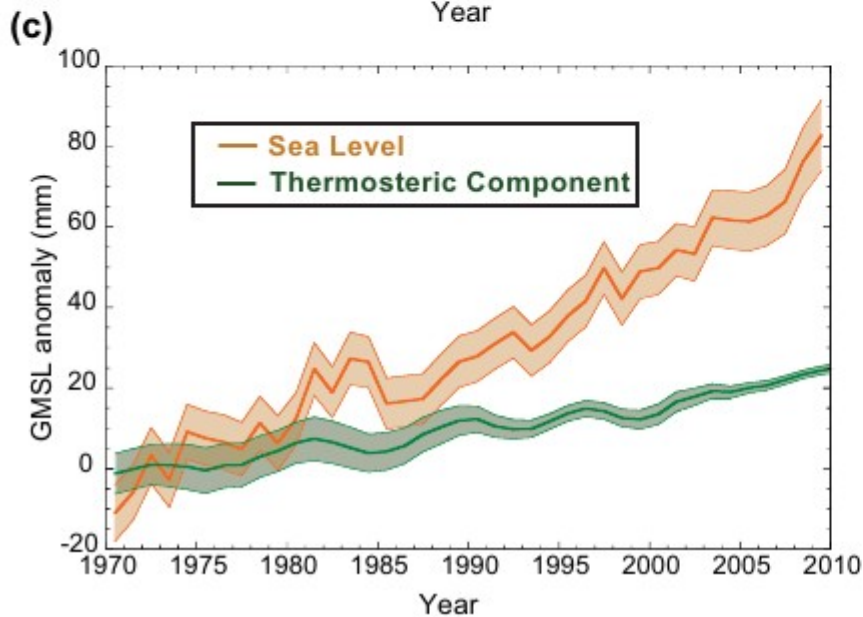
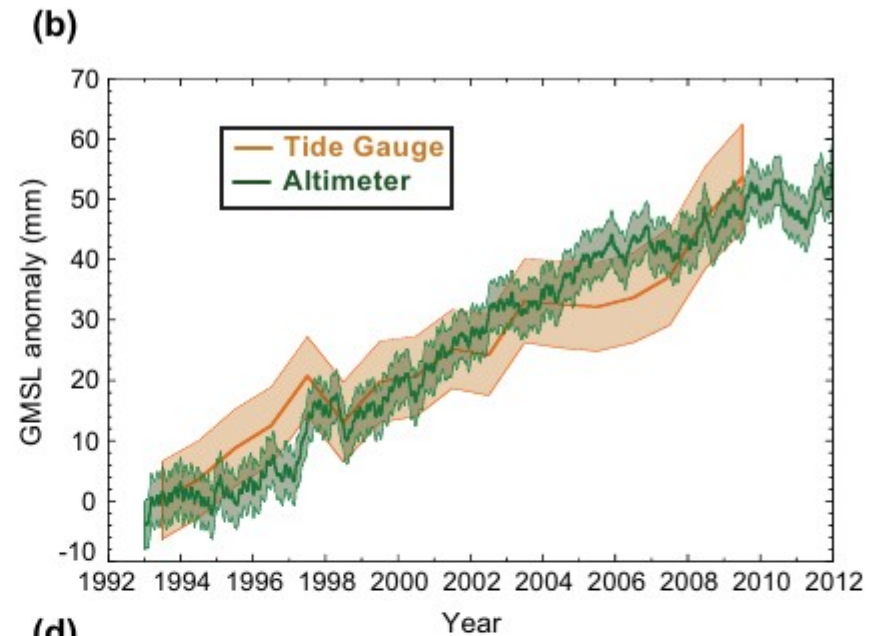
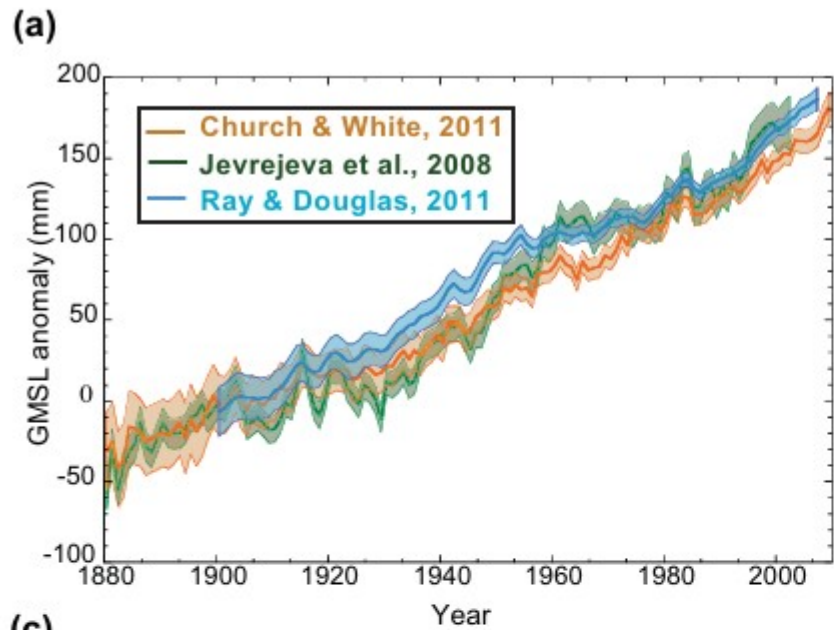
# IPCC V AR



Wymuszenia radiacyjne w systemie

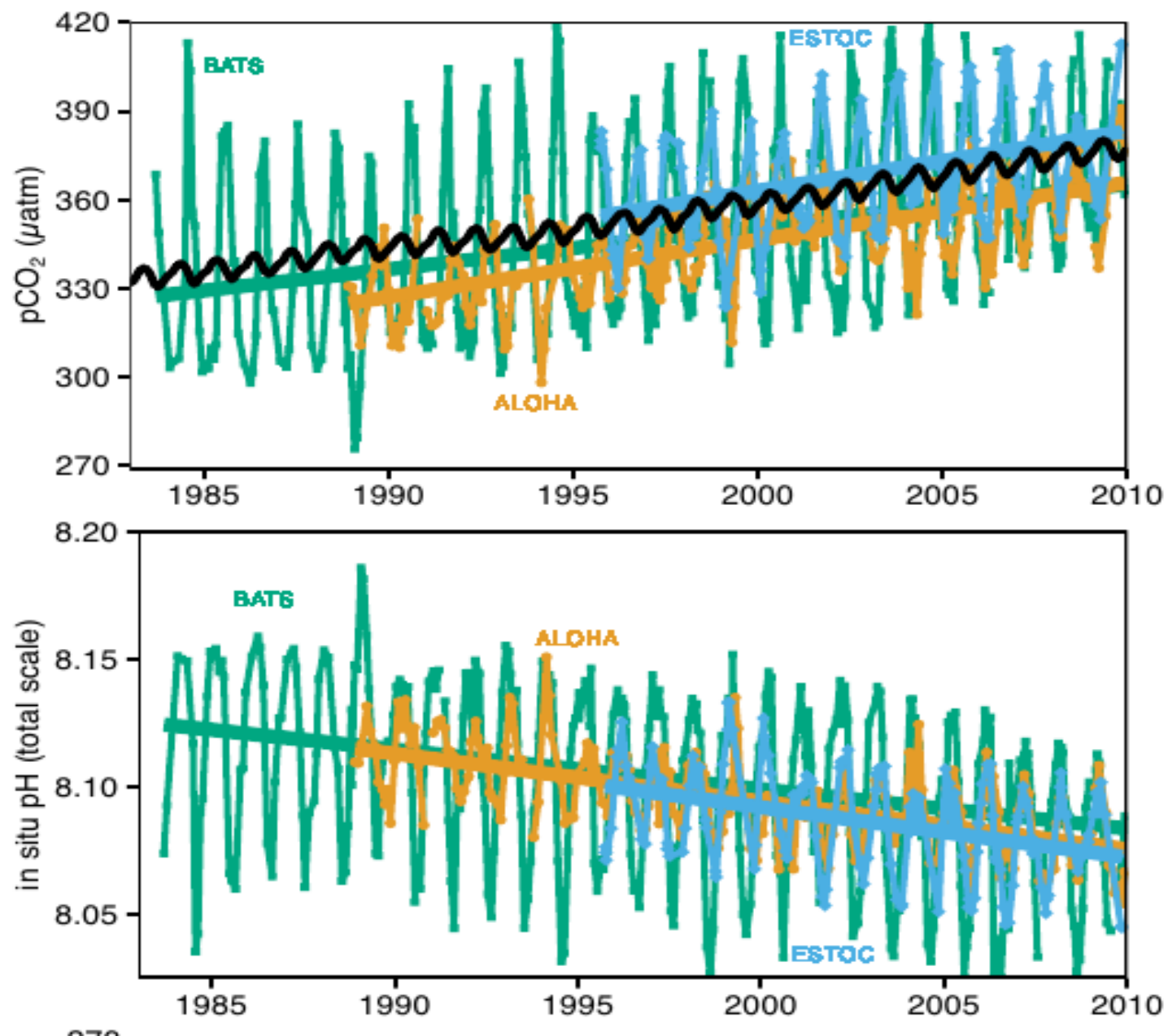
-1 0 1 2 3  
Radiative Forcing relative to 1750 (W m<sup>-2</sup>)

# Aktualne skutki zmian klimatu: zmiana poziomu morza w tempie 3.2mm/rok

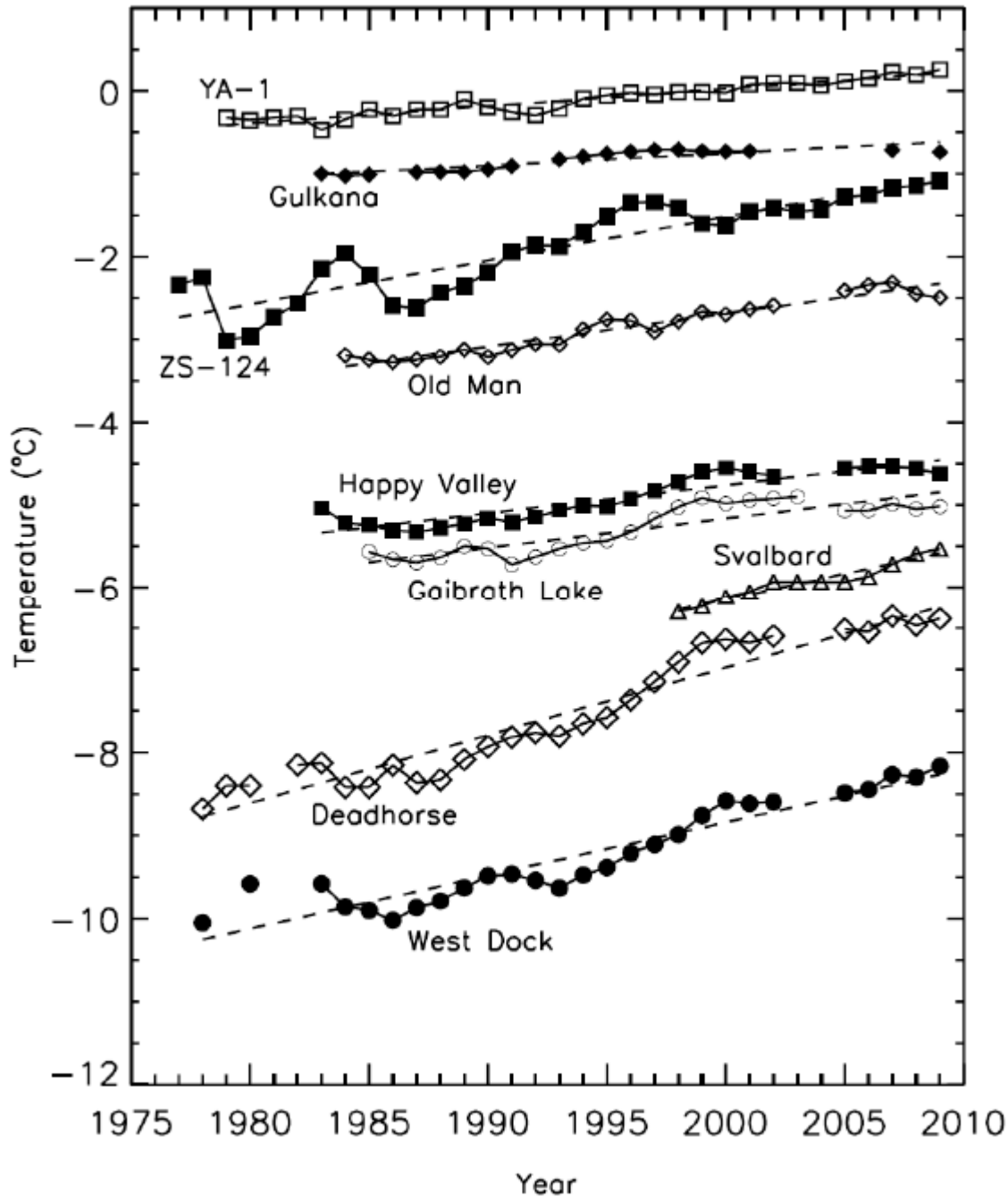




# Aktualne skutki zmian klimatu: zakwaszenie oceanu



# Aktualne skutki zmian klimatu: zmiany w „wiecznej” zmarzlinie



Średnie temperatury  
wiecznej zmarzliny:  
5 Raport IPCC,  
[http://www.ipcc.ch/  
report/ar5/wg1](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1)

# Aktualne skutki zmian klimatu: zanik lodu w Arktyce latem

## Northern Hemisphere Extent Anomalies Sep 2013

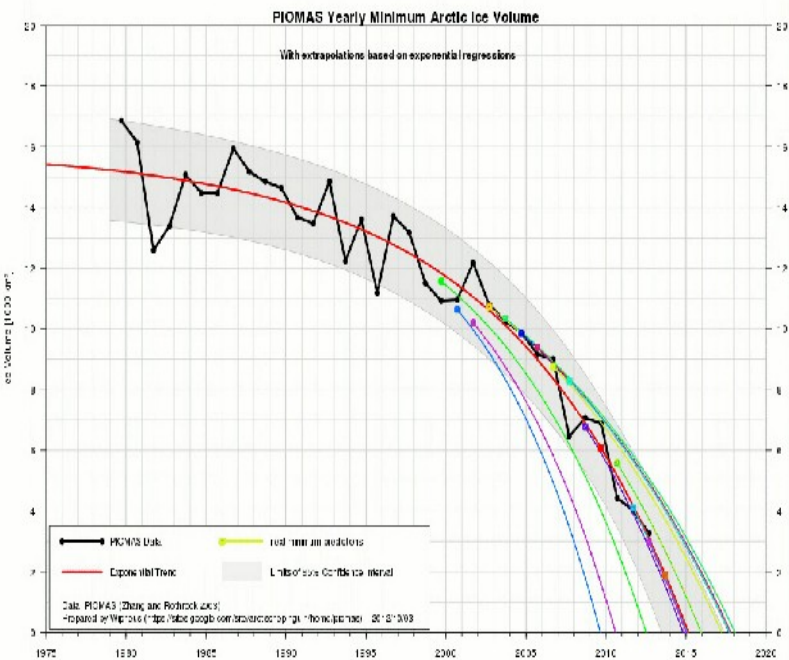
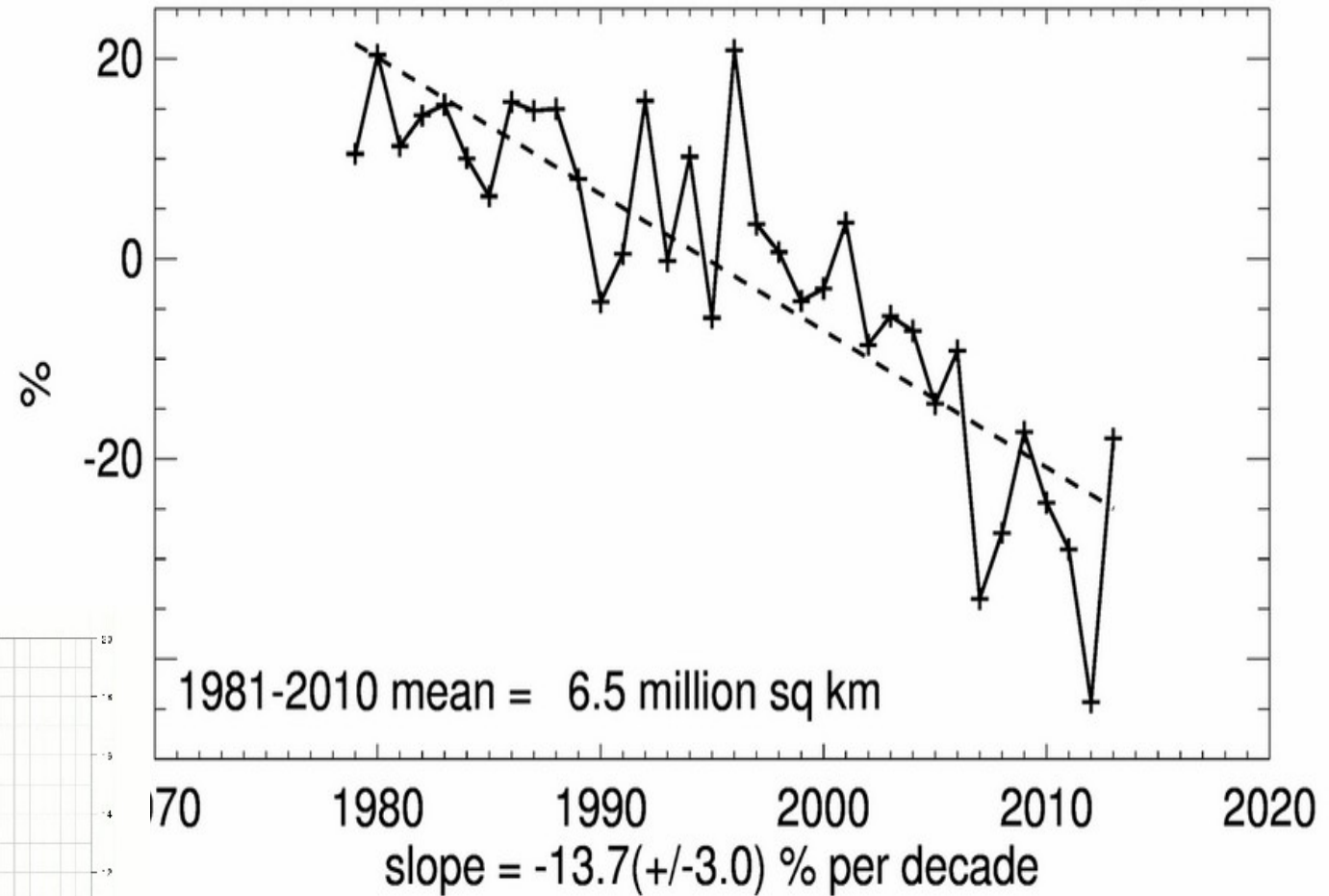
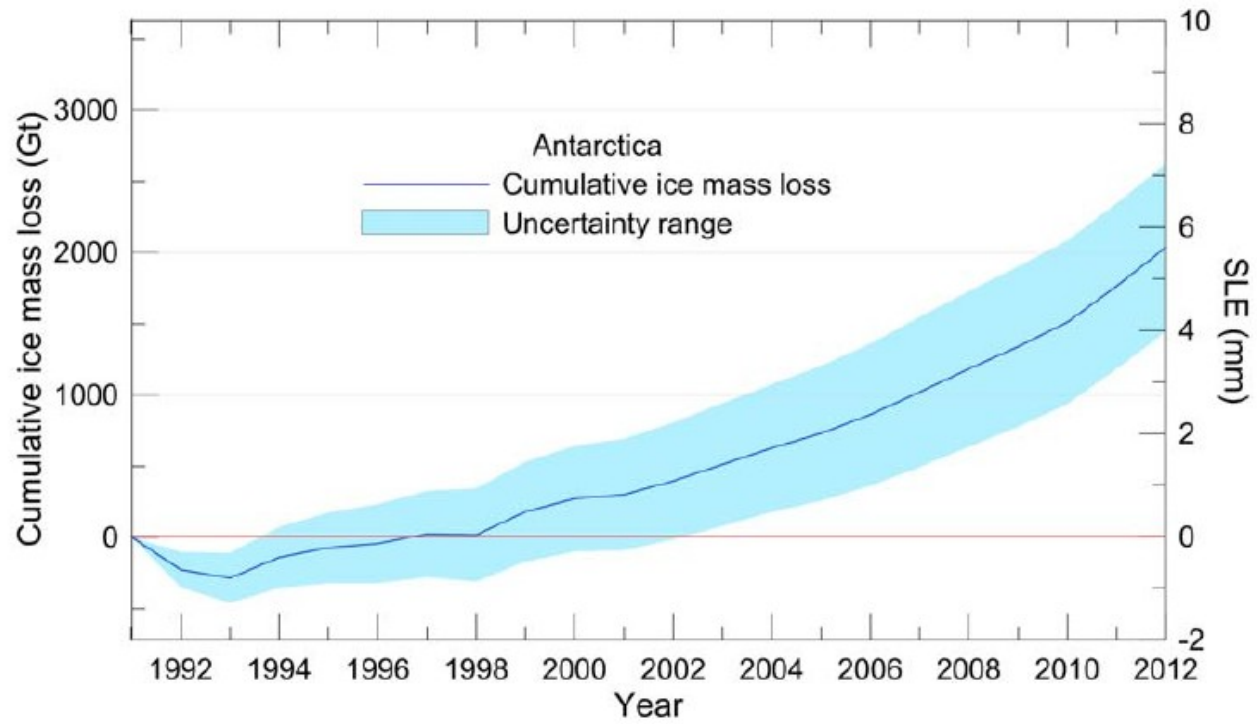
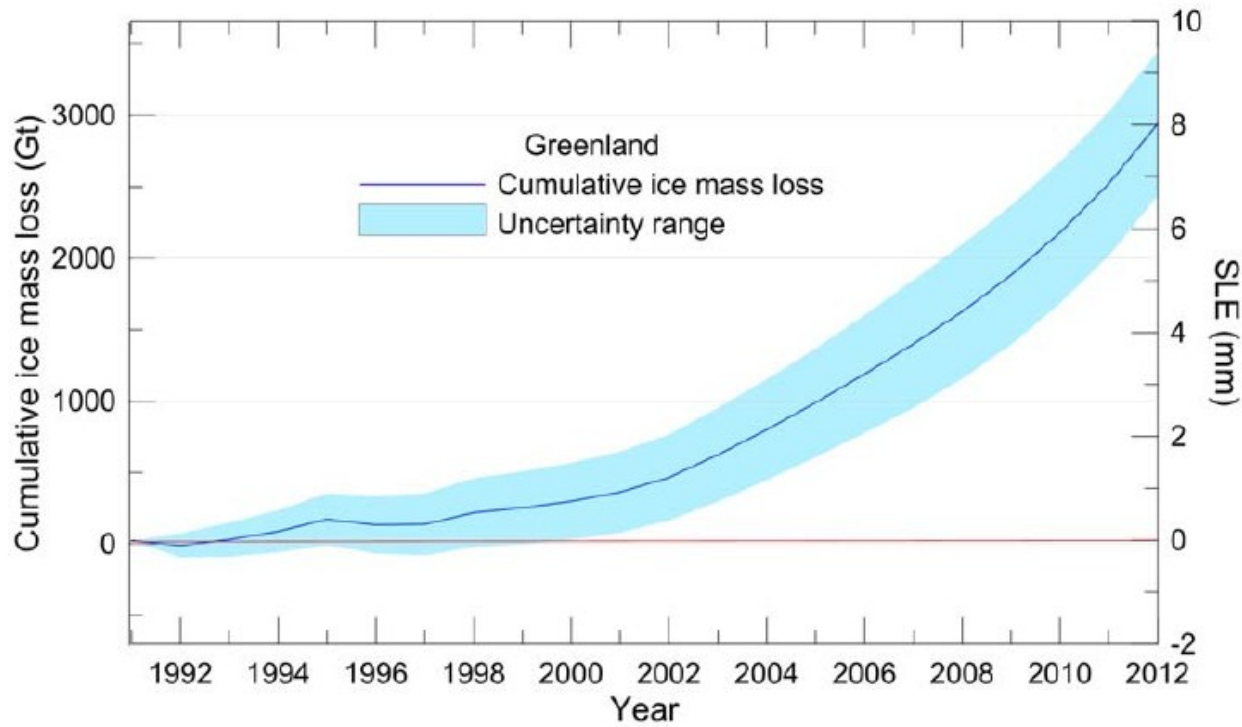


Figure 11. Piomas yearly minimum ice volume showing start of Arctic sea ice melt back in 2015 and the range of the estimate. From Zhang and Rothrock, 2003; Wipneus, 2012.

# Aktualne skutki zmian klimatu: ubytek masy lodolodów



Zmiany albedo i koncentracji gazów cieplarnianych mają wpływ NIE TYLKO na strumienie energii promieniowania, ale także na redystrybucję energii przez cyrkulacje atmosferyczne i oceaniczne, cykl hydrologiczny, biosferę.

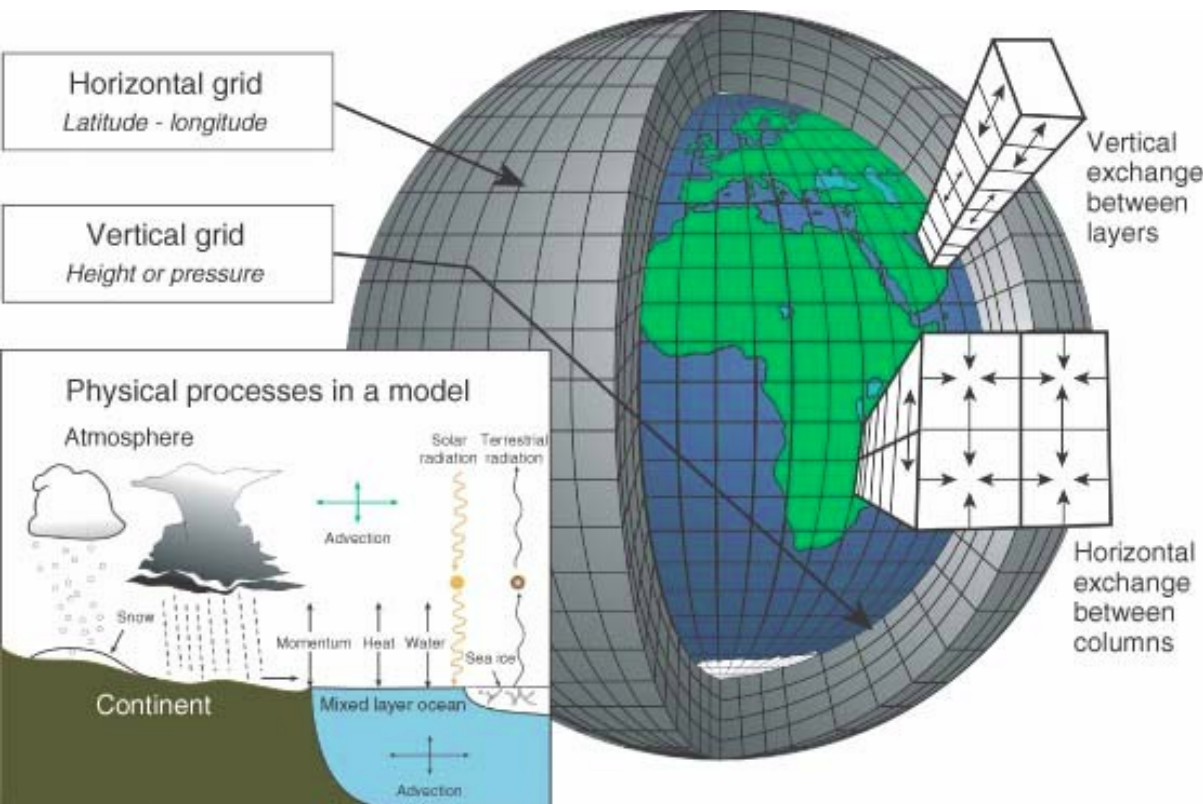
Między poszczególnymi elementami systemu klimatycznego występują związki i sprzężenia zwrotne.... Skutkiem tych zmian jest zmiana temperatury powietrza przy powierzchni Ziemi, zmiany w cyklu hydrologicznym, zmiany w cyrkulacjach atmosferycznych i oceanicznych i wiele innych.

Sprzężenia występujące w systemie klimatycznym mogą prowadzić do dalszych zmian albedo, cyklu hydrologicznego, strumieni energii promieniowania.

Nie dysponujemy pełną teorią działania systemu klimatycznego, jednak pewne elementy działania tego systemu w określonych, stosunkowo krótkich skalach czasu jesteśmy w stanie dobrze udokumentować.

**Jak badać tak skomplikowany system?**

# Modelowanie klimatu czyli budowa wirtualnej planety dzięki znajomości praw fizyki:



równania hydrodynamiki  
równania termodynamiki  
prawa transferu radiacyjnego  
własności składników atmosfery  
promieniowanie słoneczne  
oddziaływanie z podłożem  
przemiany chemiczne

---

układ równań modelu

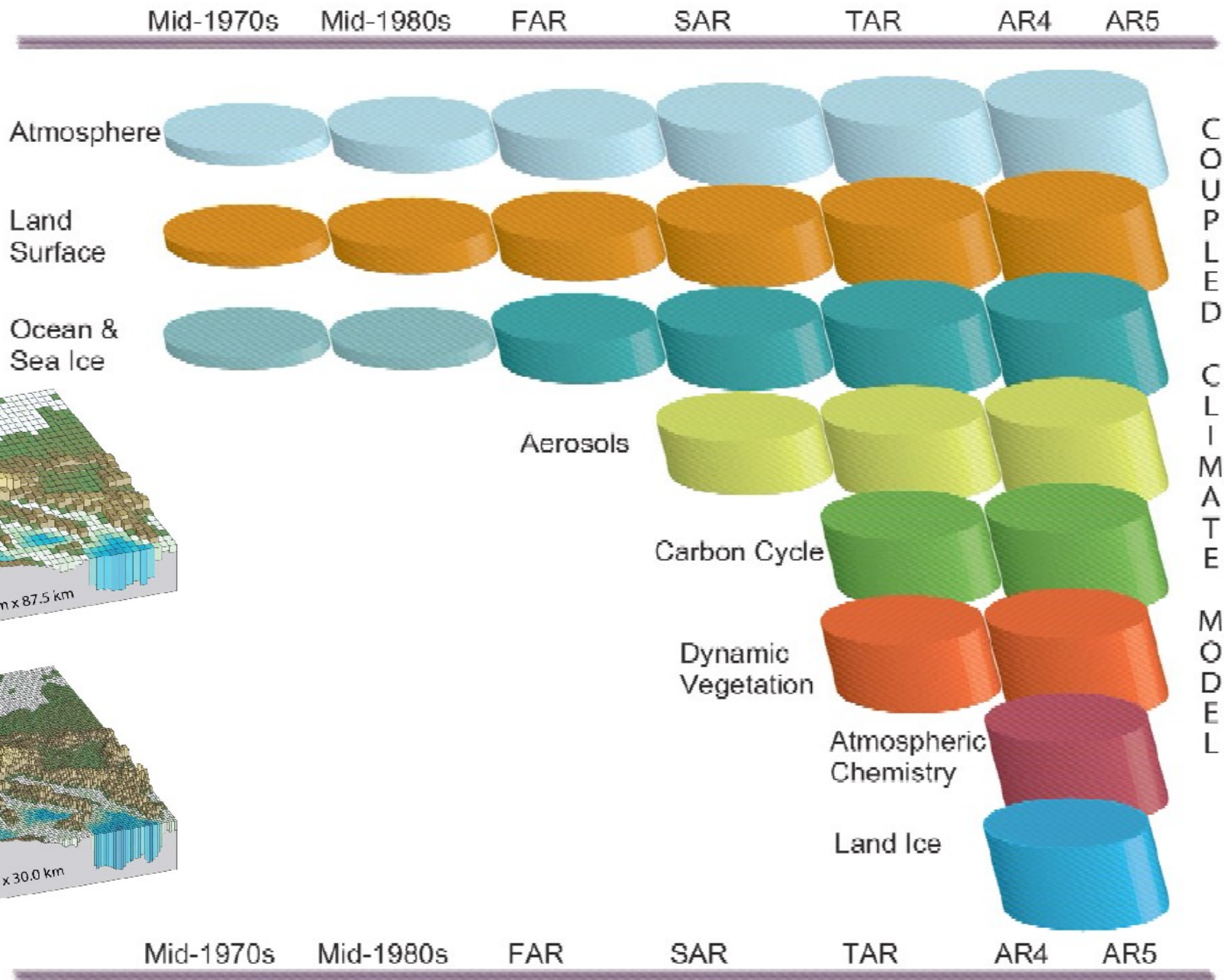
„zakłęcie” w kod numeryczny  
uwzględnienie danych

\* wielki superkomputer

---

**wirtualna rzeczywistość, w której  
możemy symulować mechanizmy  
klimatyczne i związki  
przyczynowo-skutkowe.**

# Rozwój modeli systemu klimatycznego



# Kody większości modeli klimatycznych są otwarte:

CESM Models: CCSM3.0 Community Atmosphere Model (CAM) - Mozilla Firefox

Plik Edycja Widok Historia Zakładki Narzędzia Pomoc

http://www.cesm.ucar.edu/models/atm-cam/ community atmosphere model

CESM Models: CCSM3.0 Comm...

UCAR NCAR Find People Contact/Visit

CESM Administration Working Groups **Models** Events News Publications

## Community Earth System Model

Search advanced

### CCSM3.0 COMMUNITY ATMOSPHERE MODEL (CAM)

#### Introduction

The Community Atmosphere Model (CAM) is the latest in a series of global atmosphere models developed at NCAR for the weather and climate research communities. CAM also serves as the atmospheric component of the Community Climate System Model (CCSM).

Edwards Paul N.. History of climate modeling. WIREs Clim Change 2011, 2: 128-139. doi: 10.1002/wcc.95

The information on this page deals specifically with running CAM as a standalone model. Information about running CAM as the atmospheric component of the CCSM is found in the [CCSM release](#).

#### What's New?

- 14 April 2005 -- *Release Announcement*. CAM-3.1 is mainly a software engineering release. It reproduces the CAM-3.0 climate in configurations for which [control simulations](#) have been provided. The main reason for this release is to provide parameterization developers with code that contains updated physics interfaces in the context of a model with a validated climate. However due to a severe staffing shortage, we are not able to provide updated documentation with this release. See the release notes for details. [[release notes](#)]
- 27 September 2004 -- *Release Announcement*. CAM-3.0.p1 is the first patched version of CAM-3.0 which includes minor bug fixes and portability enhancements. Simulations produced by this release will be bit for bit identical to simulations produced using CAM-3.0 in all configurations for which [control simulations](#) have been provided. See the release notes for details. [[release notes](#)]
- [News Archive](#)

#### Getting Started

Downloads are available for all the scripts, source code and input datasets needed to build and run the standalone version of CAM. This includes the source code for the land model and slab ocean model that may be used in conjunction with standalone CAM. In addition, a diagnostics package using NCL scripts is available to process model output.

### CESM PROJECT

The Community Earth System Model (CESM) is a fully-coupled, global climate model that provides state-of-the-art computer simulations of the Earth's past, present, and future climate states.

CESM is sponsored by the National Science Foundation (NSF) and the U.S. Department of Energy (DOE). Administration of the CESM is maintained by the Climate and Global Dynamics Division (CGD) at the National Center for Atmospheric Research (NCAR).

### DOCUMENTATION

- CAM 3.0 Users Guide [[html](#)] [[pdf](#)] [[ps](#)]
- Scientific Description of CAM 3.0 [[html](#)] [[pdf](#)] [[ps](#)]
- CAM 3.0 Source Code [[html](#)]
- Single Column Model (SCAM)
- Documentation for older releases [[CAM 2.0](#)] [[CCM3](#)]

#### Detailed Design

- Time Manager Module: Requirements and Interface Design [[html](#)] [[pdf](#)] [[ps](#)]
- DRAFT Interface to Column Physics and Chemistry Packages [[html](#)] [[pdf](#)] [[ps](#)]





# CMIP Coupled Model Intercomparison Project

## WCRP World Climate Research Programme

Search

[Home](#) | [News](#) | [CMIP3](#) | [CMIP5](#) | [Accomplishments](#) | [Links](#) | [Contact](#) | [RSS](#)

## Home

Overview

History

News

CMIP3

CMIP5

Accomplishments

Links

Contact

Home \ Overview \

## CMIP - Coupled Model Intercomparison Project - Overview

Under the [World Climate Research Programme \(WCRP\)](#) the [Working Group on Coupled Modelling \(WGCM\)](#) established the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) as a standard experimental protocol for studying the output of coupled atmosphere-ocean general circulation models (AOGCMs). CMIP provides a community-based infrastructure in support of climate model diagnosis, validation, intercomparison, documentation and data access. This framework enables a diverse community of scientists to analyze GCMs in a systematic fashion, a process which serves to facilitate model improvement. Virtually the entire international climate modeling community has participated in this project since its inception in 1995. The [Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison \(PCMDI\)](#) archives much of the CMIP data and provides other support for CMIP. PCMDI's CMIP effort is funded by the [Regional and Global Climate Modeling \(RGCM\)](#) Program of the [Climate and Environmental Sciences Division](#) of the U.S. Department of Energy's Office of Science, [Biological and Environmental Research \(BER\)](#) program.

Coupled atmosphere-ocean general circulation models allow the simulated climate to adjust to changes in climate forcing, such as increasing atmospheric carbon dioxide. CMIP began in 1995 by collecting output from model "control runs" in which climate forcing is held constant. Later versions of CMIP have collected output from an idealized scenario of global warming, with atmospheric CO<sub>2</sub> increasing at the rate of 1% per year until it doubles at about Year 70. CMIP output is available for study by approved diagnostic sub-projects.

Phase three of CMIP ([CMIP3](#)) included "realistic" scenarios for both past and present climate forcing. The research based on this dataset provided much of the new material underlying [the Intergovernmental Panel on Climate Change \(IPCC\)](#) Fourth Assessment Report (AR4).

### Current Intercomparison - CMIP5

We are now beginning the process towards the IPCC Fifth Assessment Report and with it the [CMIP5](#) intercomparison activity. The CMIP5 (CMIP Phase 5) experiment design has been finalized with the following suites of experiments:

- I Decadal Hindcasts and Predictions simulations,
- II "long-term" simulations,
- III "atmosphere-only" (prescribed SST) simulations for especially computationally-demanding models.

Wiele danych paleoklimatycznych jest dostępnych on-line

Tak samo jak znaczna większość danych klimatycznych i narzędzi ich obróbki i przetwarzania.

**NOAA** National Climatic Data Center  
National Oceanic And Atmospheric Administration

DOC > NOAA > NESDIS > NCDC Search Field: Search NCDC

# NOAA Paleoclimatology

**Data**

- [What's New](#)
- [Data Search](#)
- [Contribute Data](#)

**Projects**

- [Paleoclimate Network](#)
- [PAGES 2K Network](#)
- [PR Challenge](#)

**Paleo Perspectives**

- [Abrupt Change](#)
- [Drought](#)
- [Global Warming](#)
- [Colorado River Flow](#)

**Model**

**Ice Core**

**Paleo Fire**

**Borehole**

**Climate Reconstructions**

**Climate Forcing**

**Plant Macrofossils**

**Tree-ring**

**Paleocean**

**Coral**

**Lake**

**Pollen**

**Insect**

**Cave**

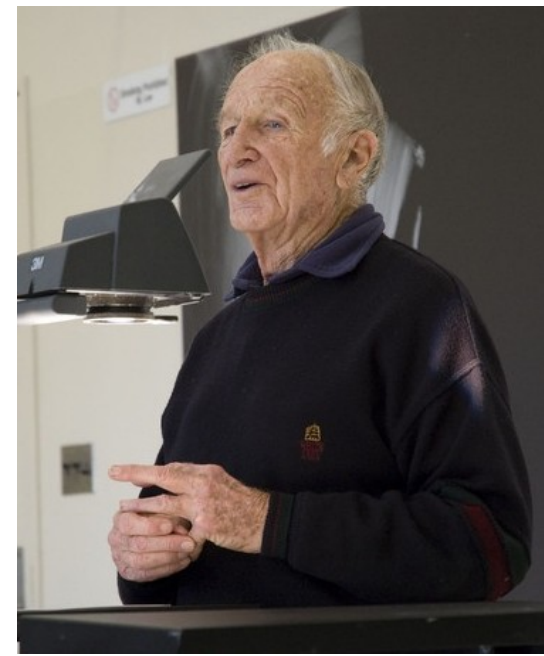
**Historical**

**Fauna**

**Loess**

Edward N. Lorenz (1917-2008):

pokazał co to znaczy przewidywalność (ang. predictability) układu fizycznego.



Wybrane prace:

„**Deterministic nonperiodic flow**”, 1963 (atraktor Lorenza, efekt motyla)

„**The problem of deducing the climate from the governing equations**”, 1964 (rozdzielenie między brakiem przewidywalności ze względu na nieznaną wartość stanu początkowego układu i ze względu na niepełną znajomość fizyki – równań – układu)

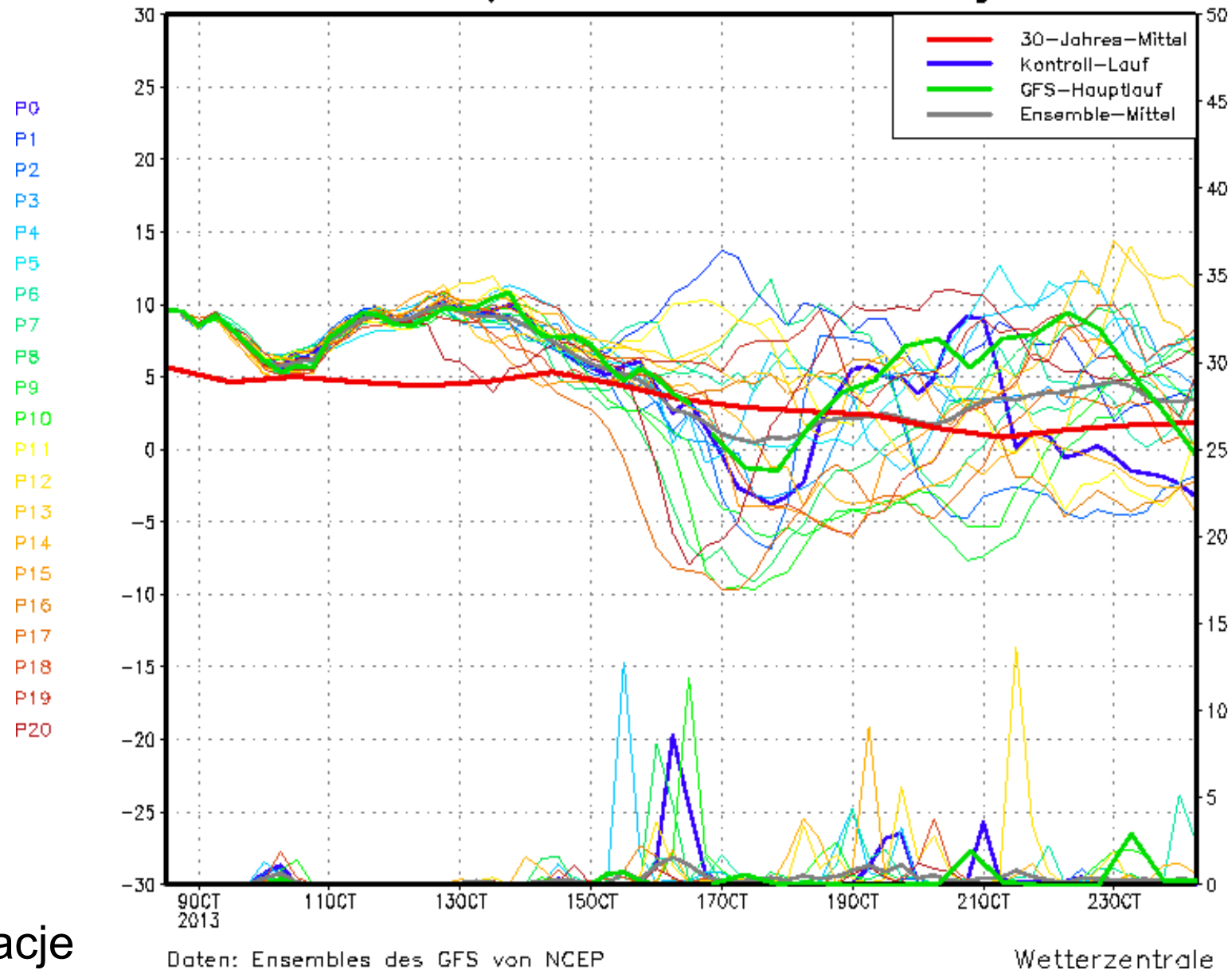
„**Climatic change as a mathematical problem**”, 1970 (nieprzewidywalność pogody -chaos- nie znaczy że klimat jest nieprzewidywalny)

„**Predictability – a problem partly solved**”, 2006 (bez komentarza :)

Position Lat: 52 Lon: 21

Tue, 08 OCT 2013 12Z

850 hPa Temp. in °C, 6h-Niederschlag in mm



Daten: Ensembles des GFS von NCEP

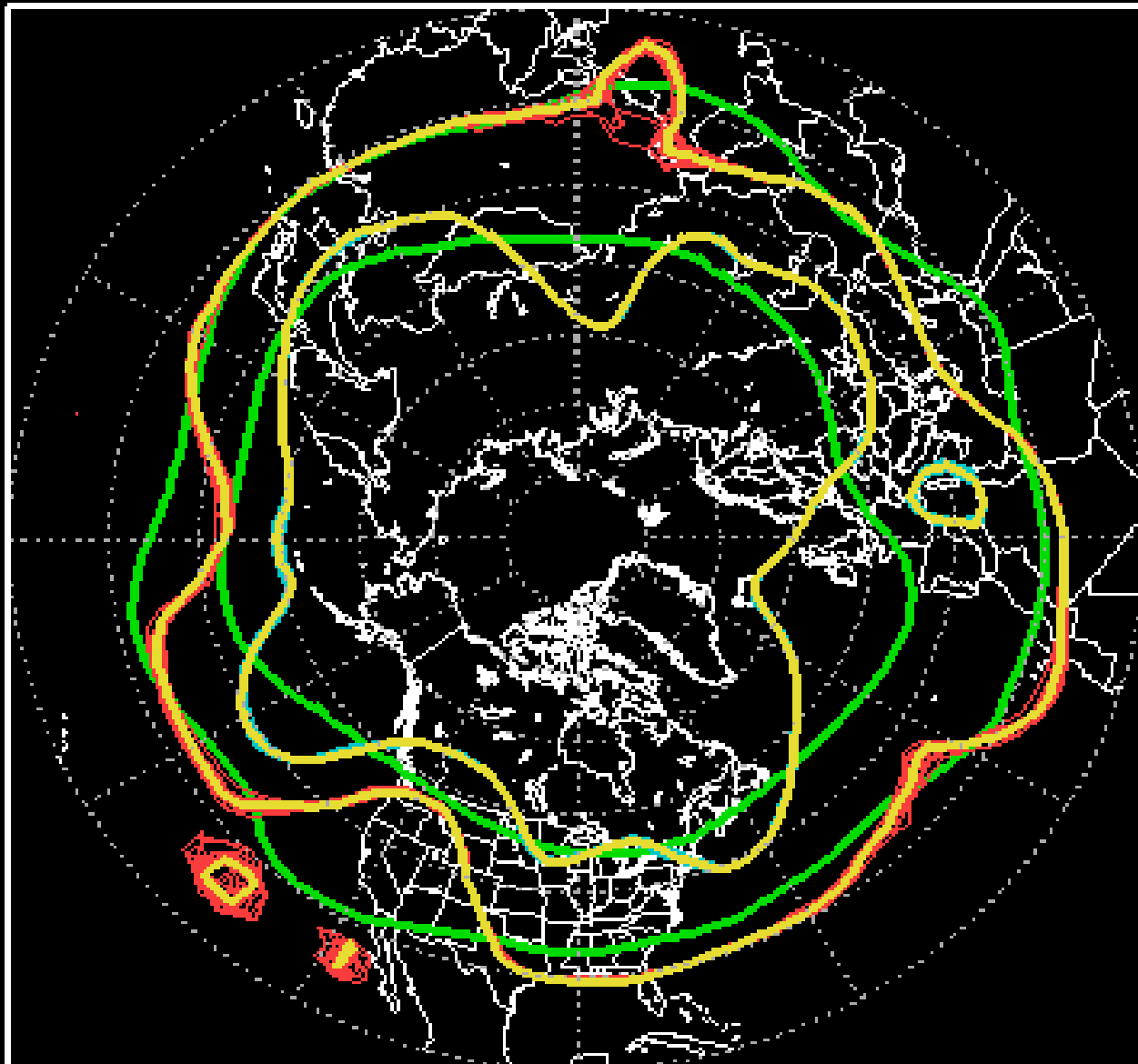
Wetterzentrale

Przewidywalność pogody:  
poszczególne realizacje procesu dynamiczno-stochastycznego  
(prognozy pogody dla różnych warunków początkowych w zakresie błędów pomiarowych - cienkie kolorowe linie), średnia po zespole realizacji (szara linia), średnia klimatyczna (czerwona linia).

# NCEP ENSEMBLE 500mb Z

000H Forecast from: 12Z Wed OCT,13 2010

Valid time: 12Z Wed OCT,13 2010



00z Runs:(21)

12z Runs:(0)

5640m

5620m

Cntrl 00z

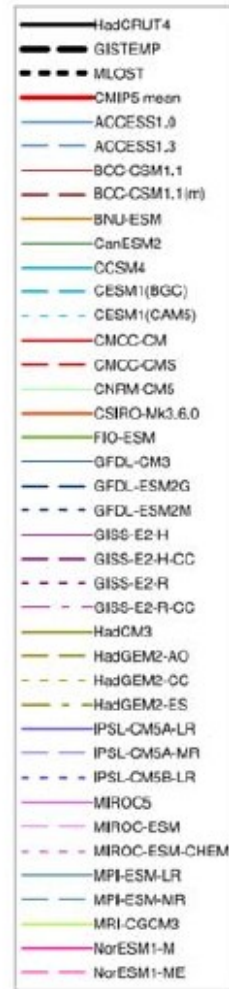
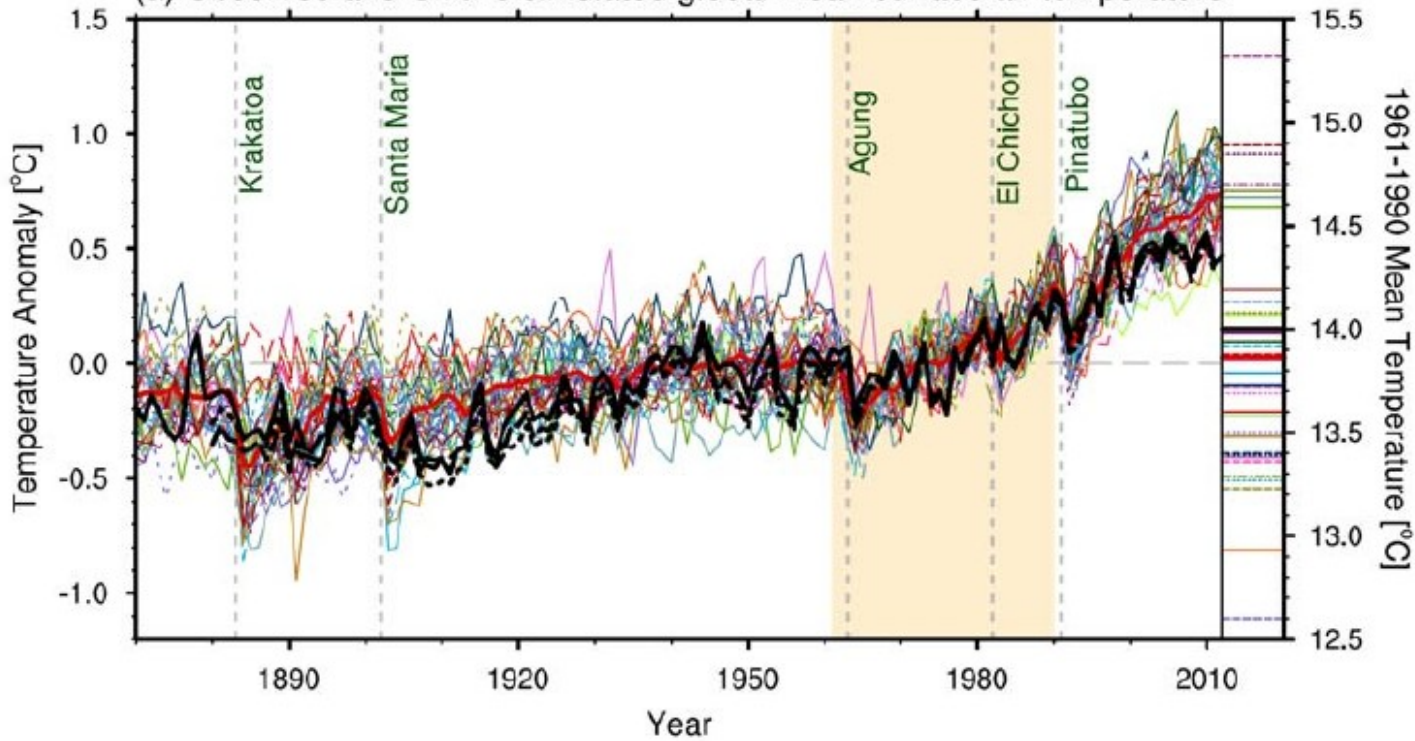
Cntrl 12z

CLIM

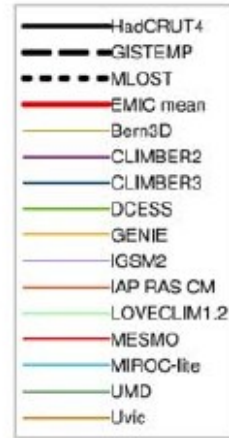
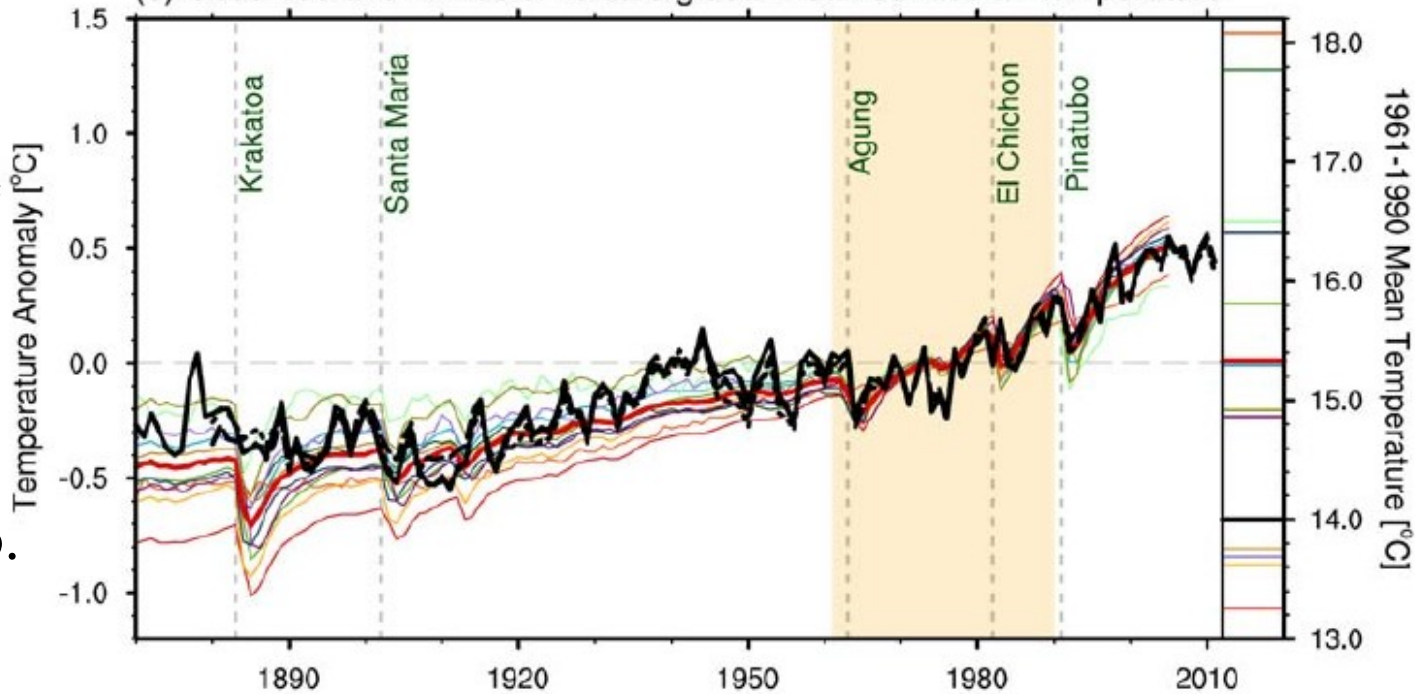
<http://www.esrl.noaa.gov/psd/map/images/ens/ens.html>

Prognozy klimatu: symulacje klimatu, czyli statystyk pogody (tu średnia globalna jednego parametru) wieloma modelami pozwalają ocenić niepewność ze względu na niepełną znajomość systemu klimatycznego.

(a) Observed and CMIP5 simulated global mean surface air temperature



(b) Observed and EMICs simulated global mean surface air temperature

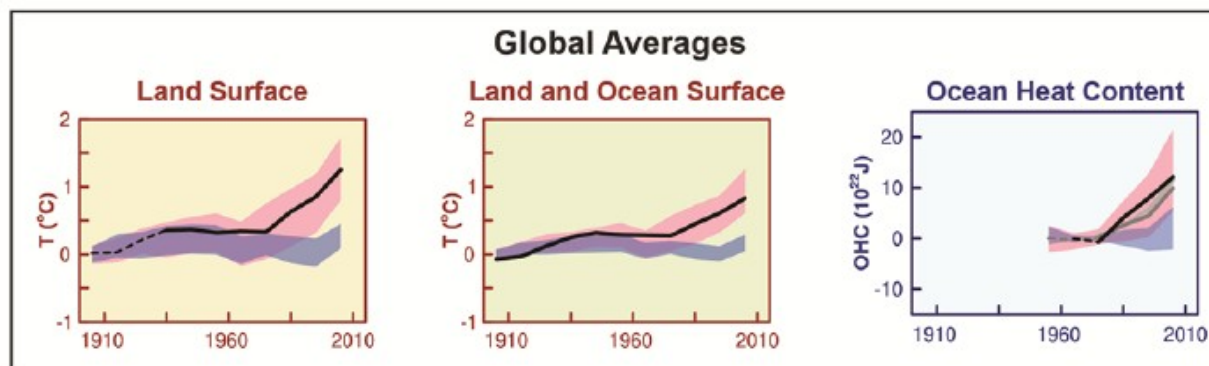
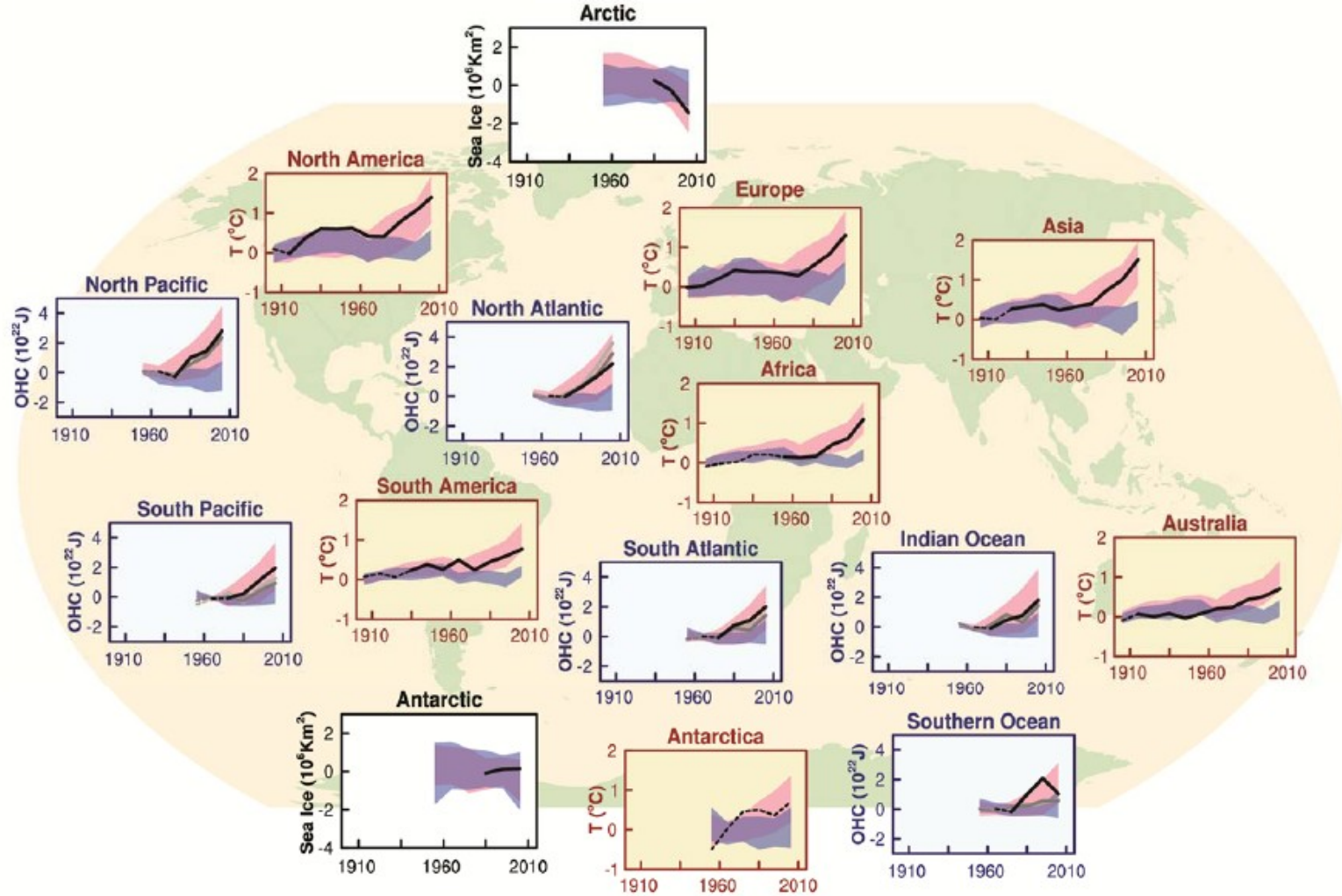


Technika prognozowania klimatu : multimodel ensemble – pozwala a priori na ocenę prawdopodobieństwa sprawdzenia prognozy – podejście bayesowkie.

**Dlaczego możemy (w ograniczonym stopniu) ufać prognozom klimatu:**

- 1) modele bazują na podstawowych powszechnych prawach fizyki: zasadach zachowania energii, pędu, momentu pędu, masy....
- 2) w „wirtualnej rzeczywistości” modeli wielkości fizyczne i ich statystki zachowują się w sposób rozsądny, a kolejne ulepszenia prowadzą do poprawy zachowań modeli zgodnie z naszym doświadczeniem i oczekiwaniami;
- 3) modele odtwarzają trendy i obserwowany rozkład przestrzenny wielu zmiennych;
- 4) testy modeli na przeszłych stanach atmosfery ( w tym tych sytuacjach paleo, które dostarczają odpowiednich danych) stanowią dodatkowe, niezależne źródło weryfikacji;
- 5) różnorodne modele dają zgodne (w spodziewanych granicach) wyniki symulacji na tych samych danych;
- 6) prognozy nowej generacji modeli są zgodne ze starszymi;
- 7) potrafimy zinterpretować wyniki symulacji w sensie zrozumienia procesów fizycznych i sprzężeń.

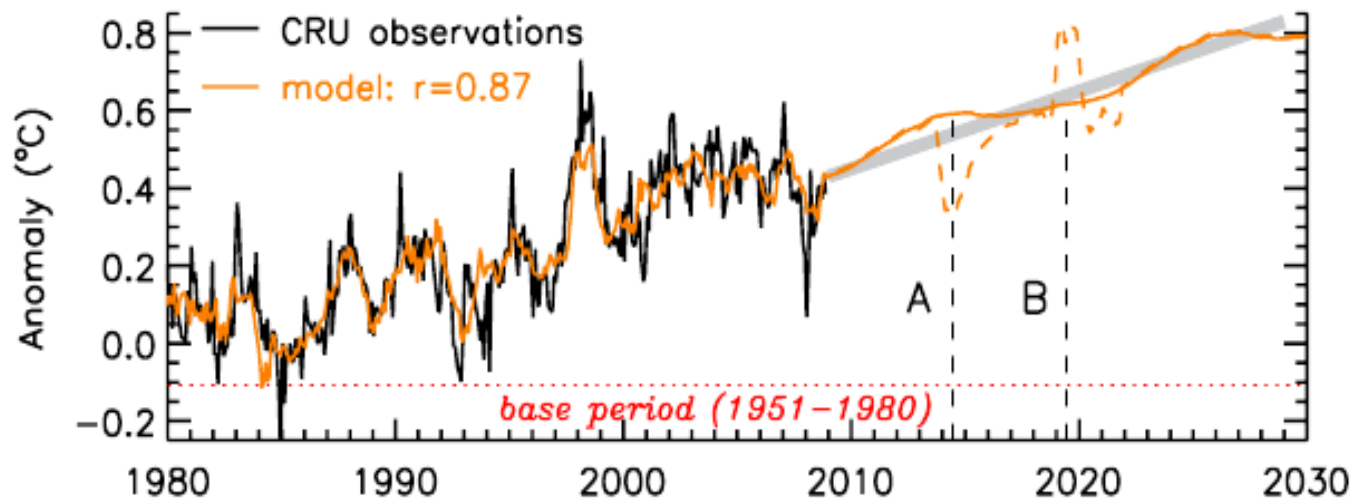
# Atrybucja zmian klimatu



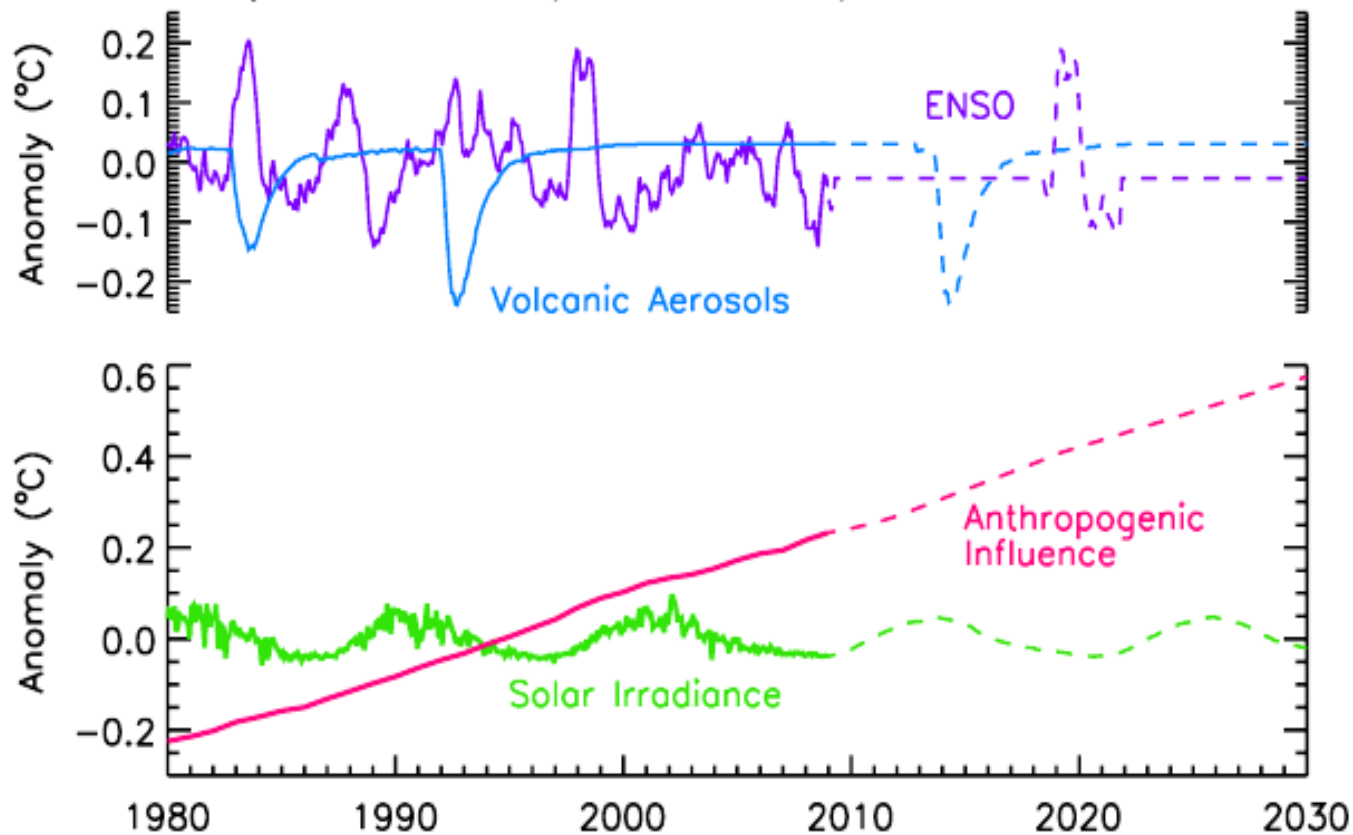
Observations  
 Models using only natural forcings  
 Models using both natural and anthropogenic forcings



a) Global Surface Temperature

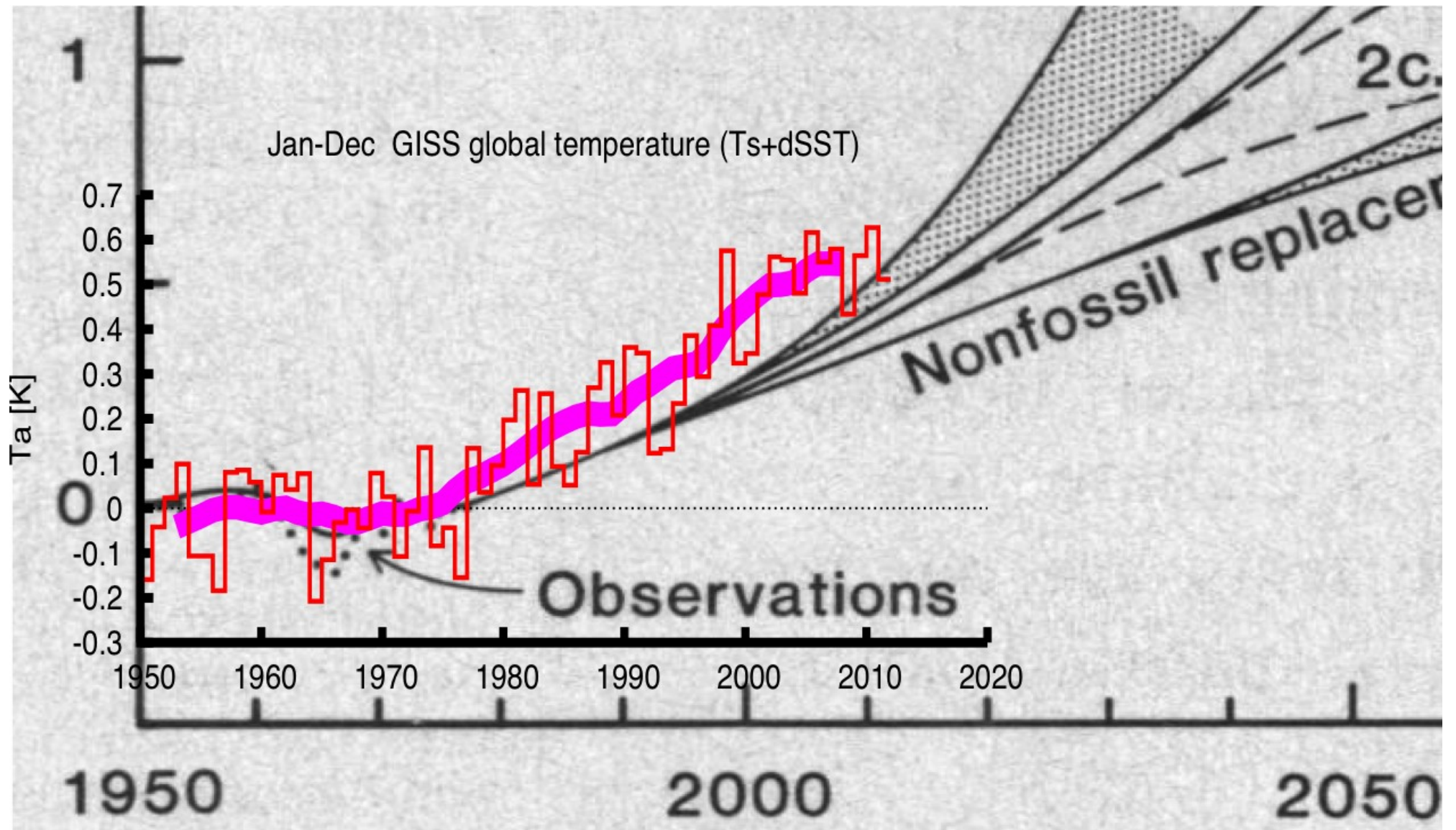


b) Surface Temperature Components



Inny statystyczny  
sposób atrybucji:  
regresja  
wieloliniowa.

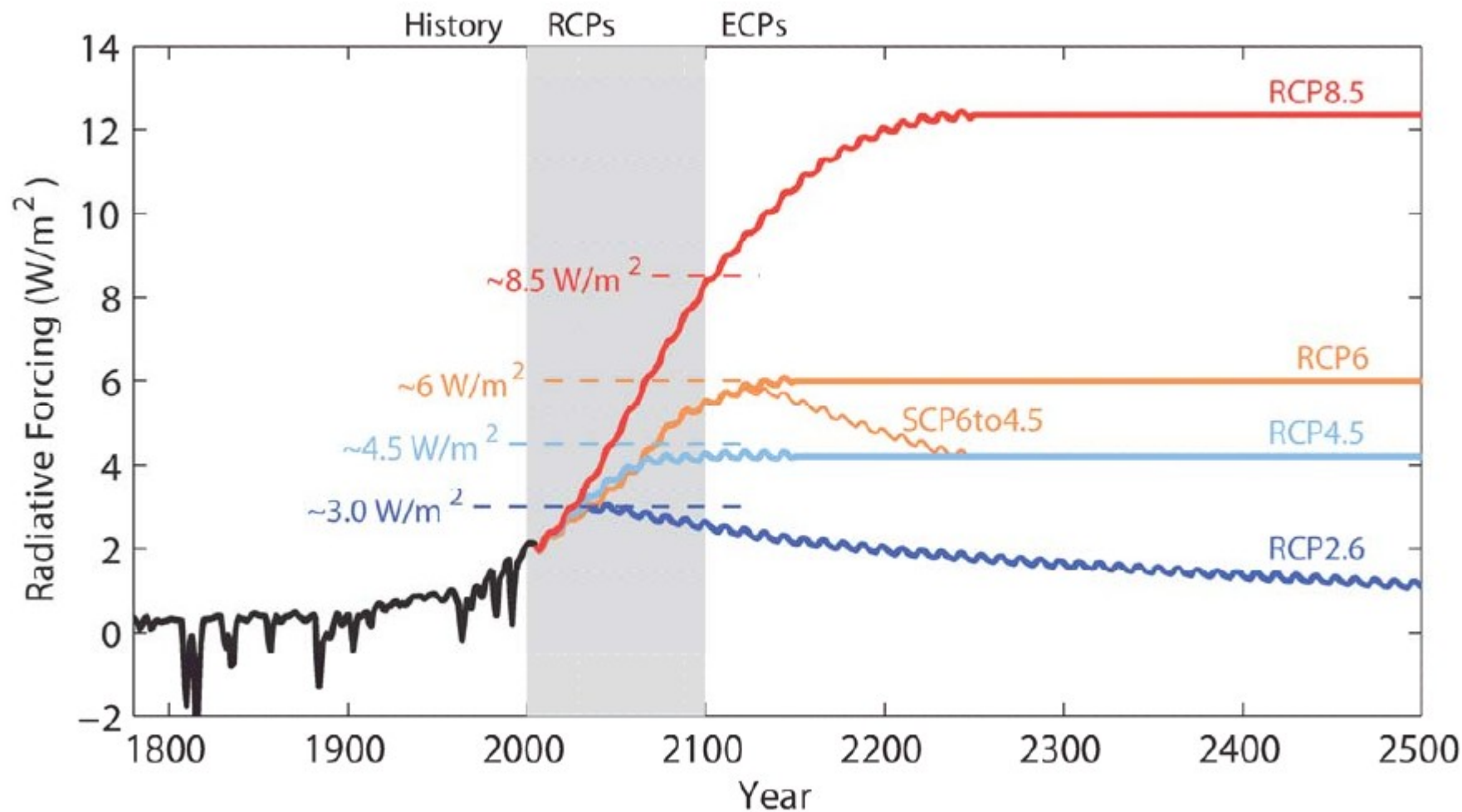
Lean and Rind, 2009:  
[Geophys.Res.Lett. 36,  
L15708,  
doi:10.1029/2009GL038932,  
2009](https://doi.org/10.1029/2009GL038932)



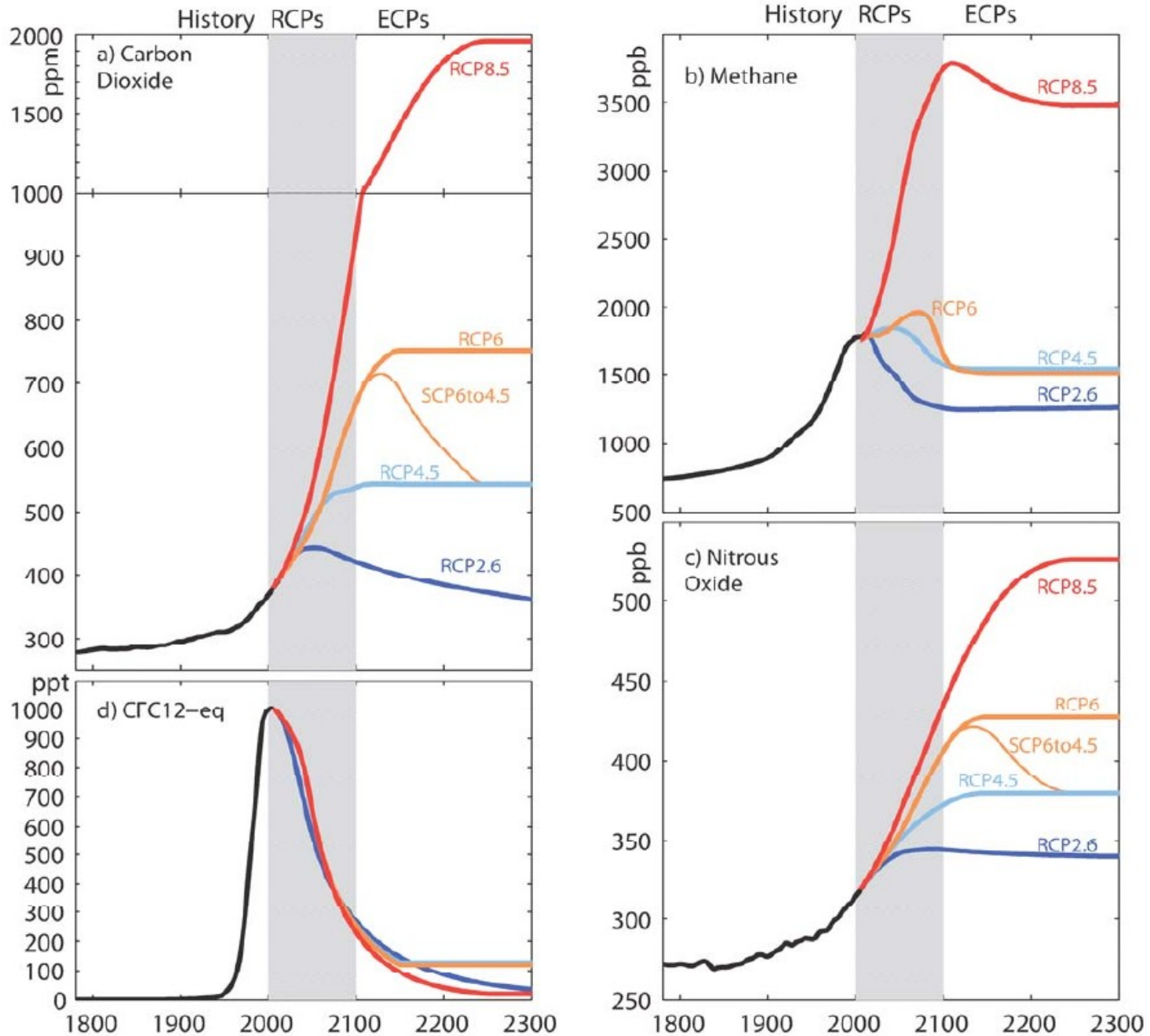
Porównanie prognozy Hansena (1981) z późniejszymi obserwacjami

<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2012/04/evaluating-a-1981-temperature-projection/>

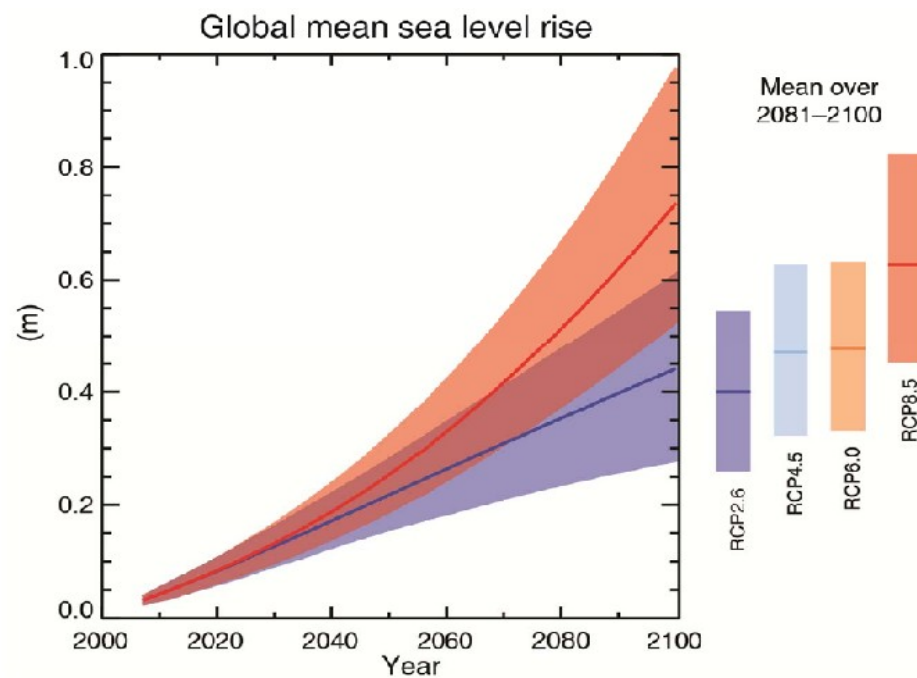
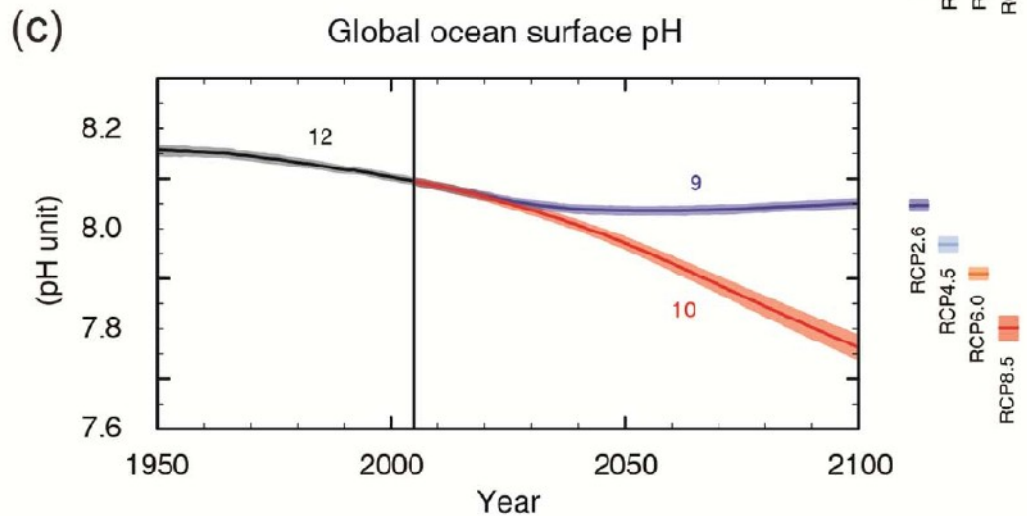
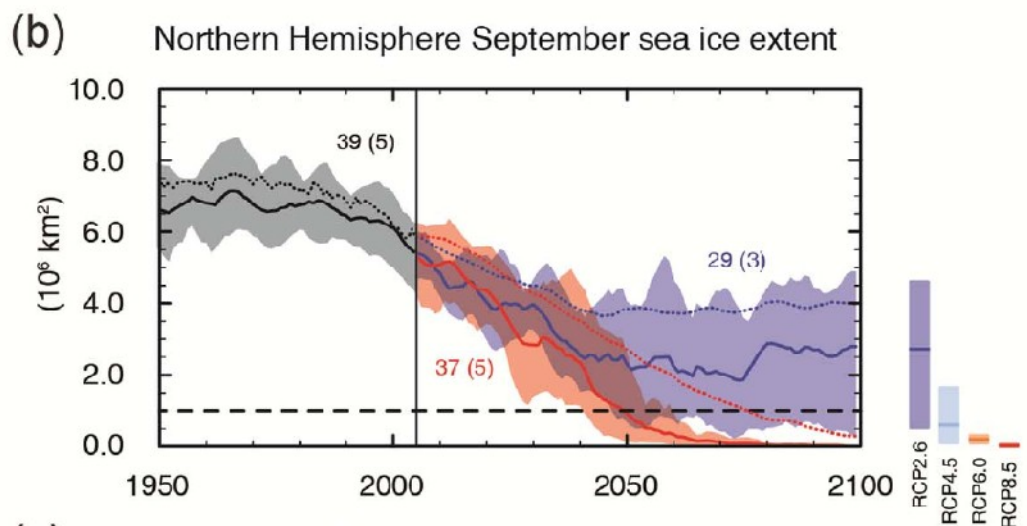
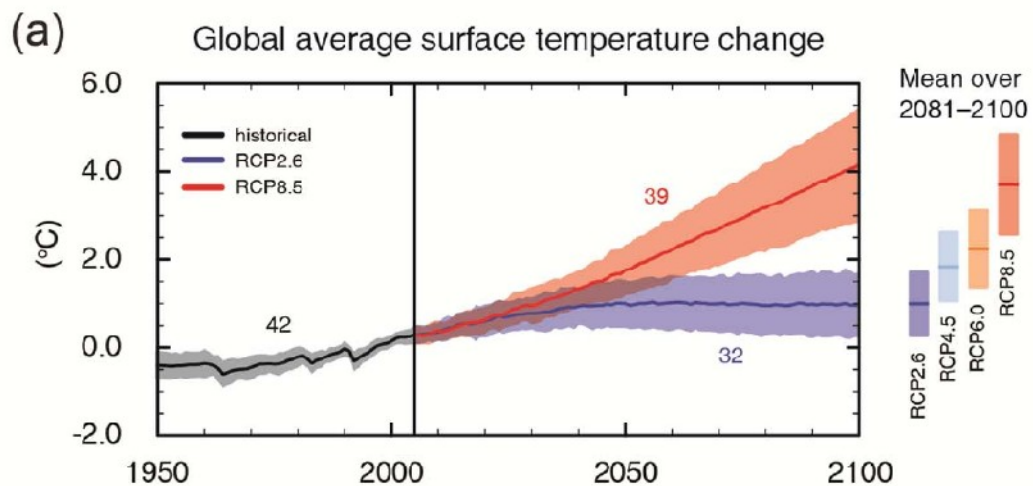
# Scenariusze przyszłych emisji zdefiniowane przez wymuszenie radiacyjne.....

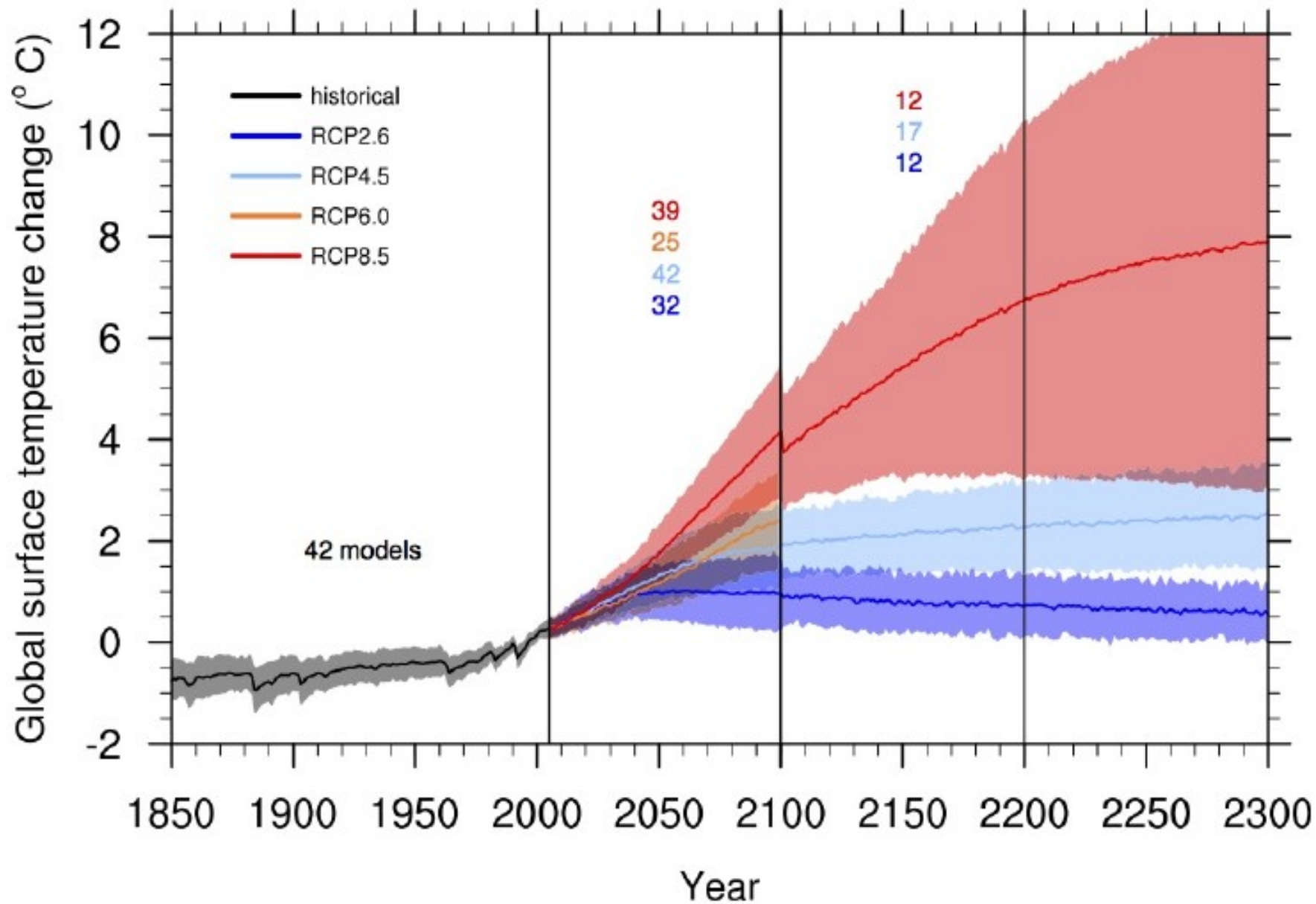


...odpowiadające skumulowanym emisjom gazów cieplarnianych.



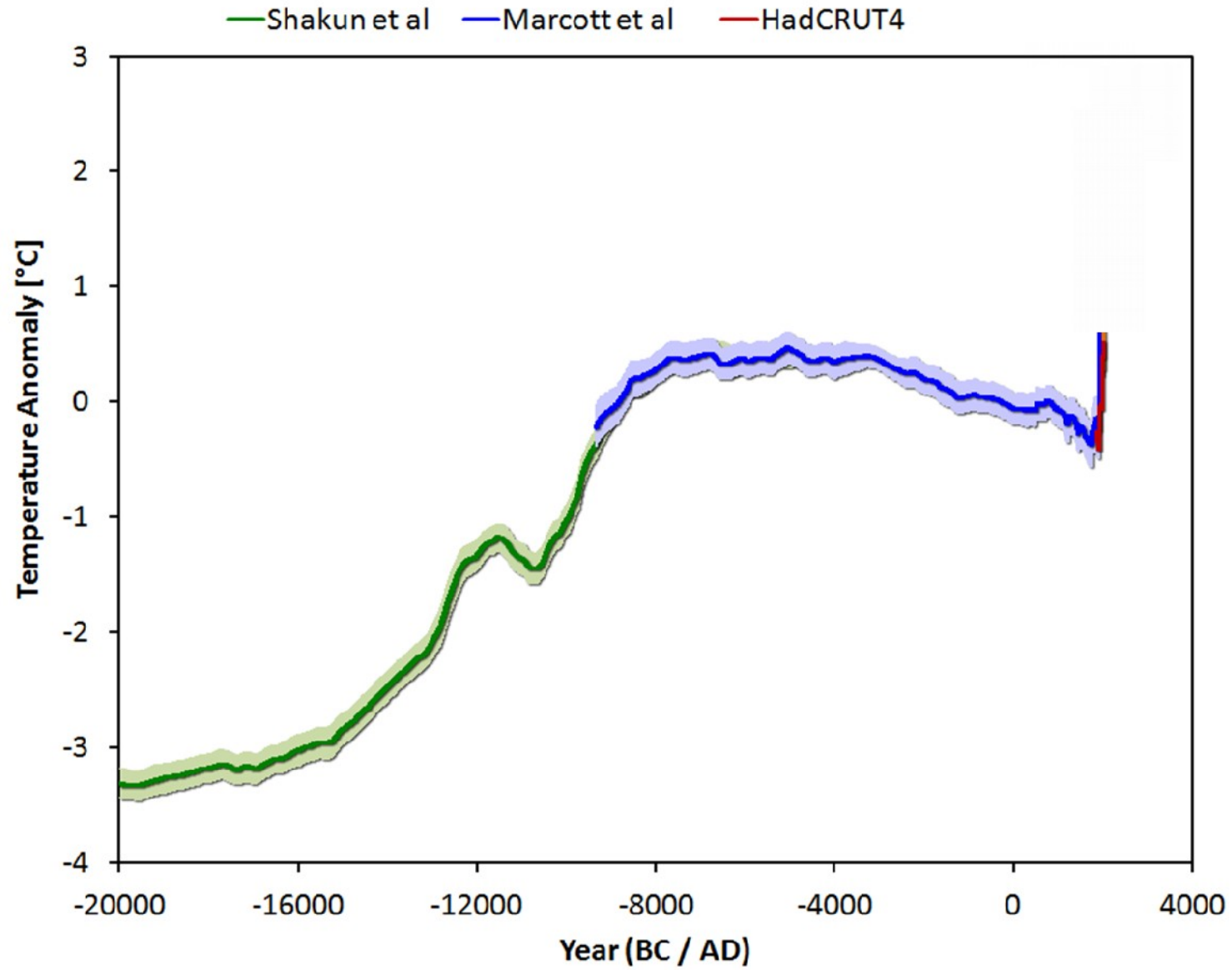
Prognozy na aktualne stulecie zależnie od scenariusza.



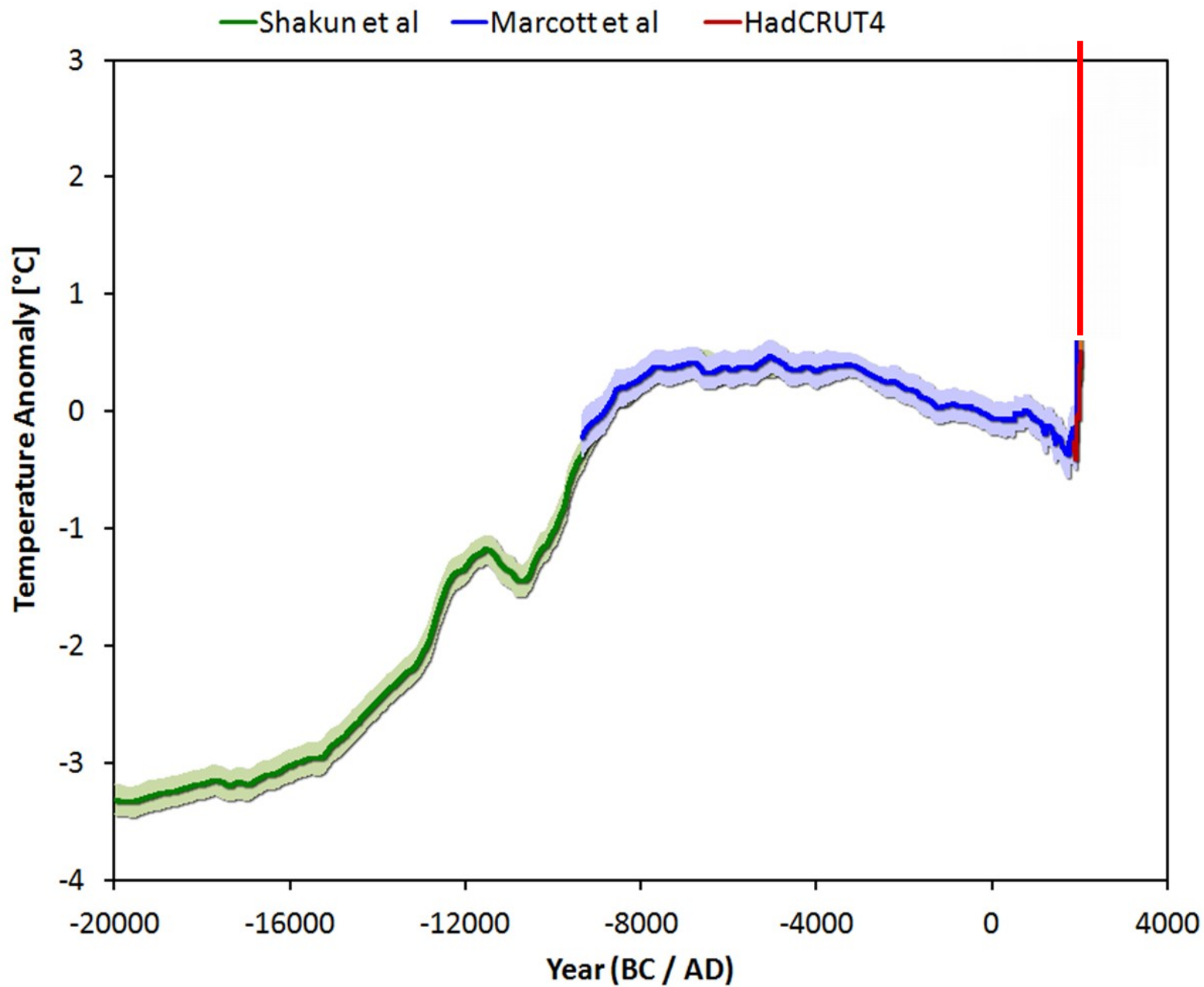


Dalsze prognozy.

# Tak jest

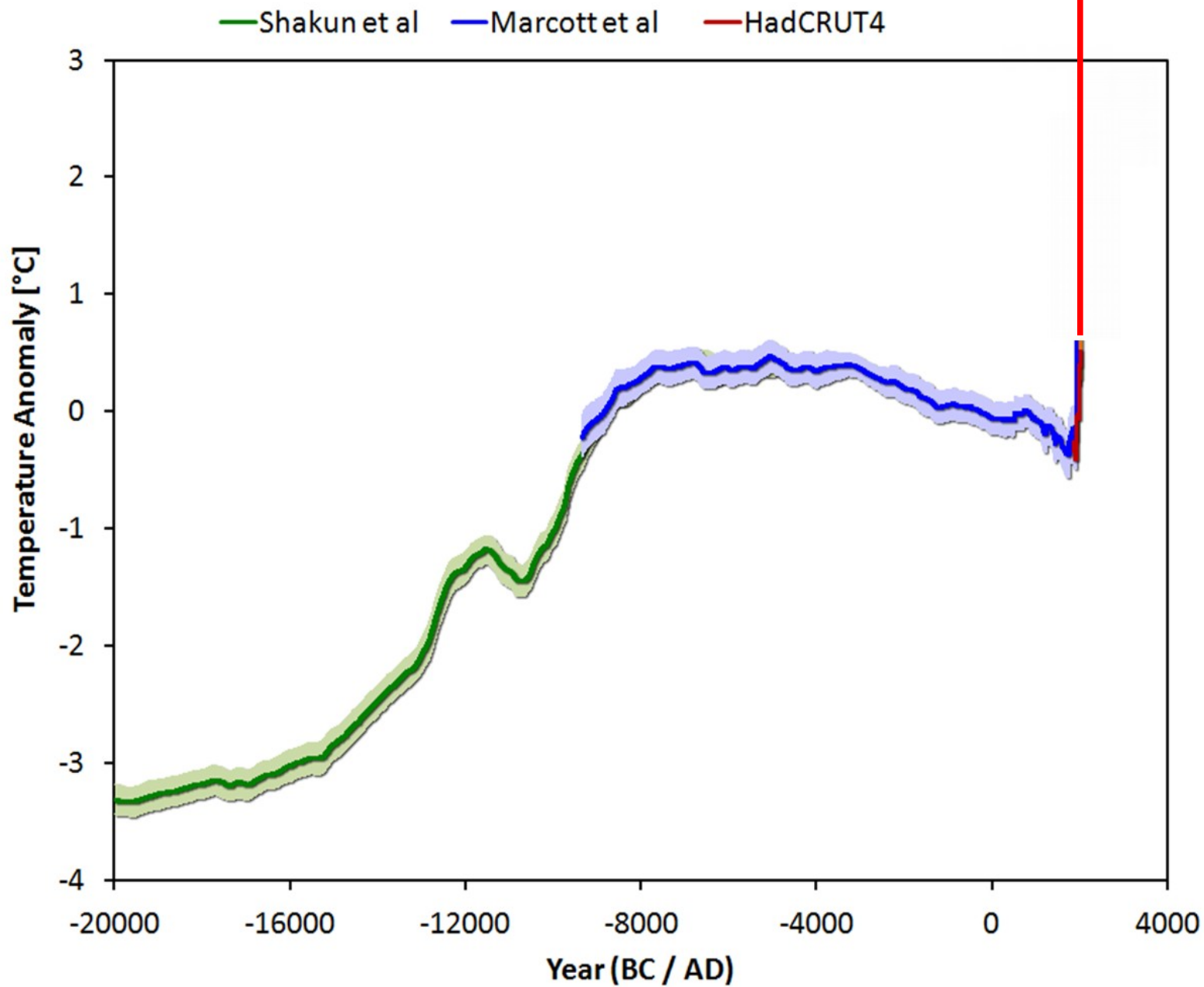


Tak może być za 300 lat w razie w miarę szybkiej redukcji emisji

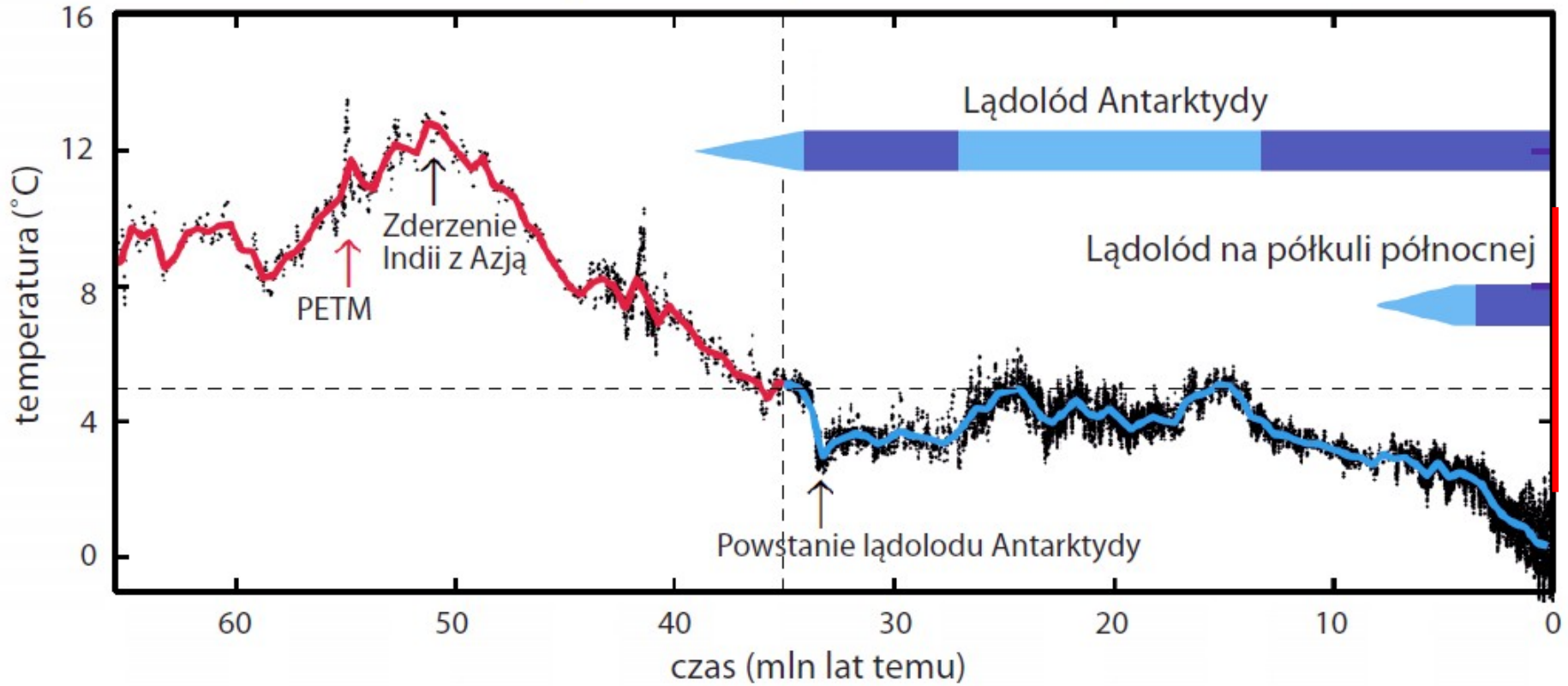




Tak może być za 300 lat w razie w braku redukcji emisji



# Rekonstrukcja średniej temperatury Ziemi za ostatnie 70 000 000 lat



To samo w dłuższej perspektywie.

## Podsumowanie:

Rosnąca w ostatnich ~150 latach w układzie Ziemia-Atmosfera zawartość energii wewnętrznej jest bezpośrednim skutkiem wzrostu strumienia promieniowania termicznego atmosfery do powierzchni Ziemi (wzmocnienia efektu cieplarnianego).

Pierwotną przyczyną tego wzmocnionego efektu cieplarnianego jest wzrost koncentracji gazów cieplarnianych, głównie CO<sub>2</sub>, spowodowana działalnością człowieka, w pierwszej mierze spalaniem paliw kopalnych. Badania składu izotopowego węgla w atmosferycznym CO<sub>2</sub> i bilans węgla jednoznacznie dokumentują pochodzenie tego gazu.

Inne **BEZPOŚREDNIE** antropogeniczne oddziaływania na klimat to zmiany własności optycznych atmosfery wskutek emisji aerozolu, zmiany własności optycznych chmur, zmiany w albedo powierzchni ziemi, zmiany w tempie cyklu węglowego wskutek wycinania lasów i działalności rolniczej i zanieczyszczenia oceanów.

Skutki tych oddziaływań są widoczne i dobrze dokumentowane obserwacjami.

Pogoda to nie klimat. Wiemy dlaczego nie potrafimy zrobić wiarygodnej prognozy pogody na okres dłuższy niż kilkanaście dni. Wiemy też że możemy zrobić wiarygodną (w pewnym sensie) prognozę klimatu.

W szczególności:

analiza wyników symulacji wieloma modelami klimatu pozwala określić niektóre związki między wymuszeniami i odpowiedzią systemu klimatycznego na te wymuszenia.

Wyniki tych analiz pokazują, że system klimatyczny jest w skali czasu ~100 i więcej lat wrażliwy na zmiany koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze.

Szacowana na podstawie danych paleoklimatycznych i obliczana modelami czułość systemu klimatycznego (w sensie zmiany średniej temperatury globalnej) na wymuszenia długożyjącymi gazami cieplarnianymi, bez uwzględnienia długookresowych skutków topnienia lądolodów i zdarzeń takich jak np. roztopienie wiecznej zmarzliny wynosi ok.  $3 \pm 1.5K$  przy podwojeniu koncentracji CO<sub>2</sub>.

## Podsumowanie: **200 lat fizyki klimatu**

- niemal 200 lat od momentu wprowadzenia terminu „efekt cieplarniany”
- ponad 100 lat od pierwszych obliczeń jaki wzrost temperatury przyniesie podwojenie zawartości atmosferycznego CO<sub>2</sub>
- 55 lat od pierwszego w pełni fizycznego dowodu na antropogeniczne pochodzenie przyrostu CO<sub>2</sub> w atmosferze
- 38 lat od formalnego wprowadzenia terminu “globalne ocieplenie”
- ponad 365 GT węgla spalonego od początku rewolucji przemysłowej  
(dla porównania – cała żyjąca biosfera zwiera ok 550GT węgla)

## Wybrane odnośniki:

<http://www.igf.fuw.edu.pl/zfa/>

<http://www.ipcc.ch/>

<http://earthobservatory.nasa.gov/>

<http://metobs.igf.fuw.edu.pl/>

<http://edgcm.columbia.edu/>

<http://www.aip.org/history/climate/>

<http://www-pcmdi.llnl.gov/>

<http://hadobs.metoffice.com/>

<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/paleo.html>

<http://www.noaa.gov/climate.html>

<http://www.cgd.ucar.edu/>

<http://wcrp.wmo.int/wcrp-index.html>

<http://www.globalcarbonproject.org/>

<http://www.argo.ucsd.edu/>

## Kamienie milowe

(za <http://www.aip.org/history/climate/timeline.htm> + inne źródła)

- 1824** - **Fourier** szacuje że Ziemia byłaby znacznie chłodniejsza gdyby nie miała atmosfery i wprowadza pojęcie „efekt cieplarniany”,  
Wiąże efekt cieplarniany z „promieniowaniem ziemskim”
- 1859** - **Tyndall** odkrywa gazy absorbujące w podczerwieni. Sugeruje że zmiany ich koncentracji w atmosferze mogą wywoływać zmiany klimatu.
- 1896** - **Arrhenius** publikuje rachunek jak zmieni się temperatura powierzchni planety przy podwojeniu koncentracji CO<sub>2</sub>.
- 1897** - **Chamberlin** proponuje model globalnego cyklu węglowego uwzględniający wiele sprzężeń.
- 1930s**: Prace na tema wzrostu temperatury globalnej od ~50 lat.  
**Milankovitch** proponuje wyjaśnienie zlodowaceń - cykle orbitalne.  
**Hulburt** publikuje obliczenia ocieplenia spowodowanego wzrostem koncentracji of CO<sub>2</sub>.
- 1938** - **Callendar** pokazuje że ocieplenie spowodowane wzrostem koncentracji CO<sub>2</sub> jest w toku..

- 1956** - **Phillips** proponuje globalny model numeryczny atmosfery , **Plass** oblicza znów jak równowaga radiacyjna zależy od koncentracji CO<sub>2</sub> .
- 1957** - **Revelle** i **Suess** pokazują (izotopy C) jaka część (około 1/2) antropogenicznego CO<sub>2</sub> rozpuszcza się w oceanach.
- 1960** - **Keeling** dokumentuje coroczny wzrost CO<sub>2</sub> w atmosferze.
- 1965** - **Lorenz** dowodzi chaotycznej natury systemu klimatycznego i możliwości nagłych zmian.
- 1966** – **Emiliani**'z analizy osadów dennych i **Broecker** z analizy koralowców dowodzą że epoki lodowcowe były sterowane przez cykle orbitalne.
- 1979** – Raport **Akademii Nauk USA** stwierdza że podwojenie koncentracji CO<sub>2</sub> przyniesie globalne ocieplenie o 1.5-4.5°C.
- 1990** – Pierwszy raport **IPCC** potwierdza że ziemia się ociepla i że dalsze ocieplenie jest prawdopodobne.
- 1991** – Wybuch Mt. Pinatubo; **Hansen** przewiduje jak będzie przebiegać ochłodzenie po wybuchu, weryfikując (model komputerowy) znaczenie efektów aerozolowych.