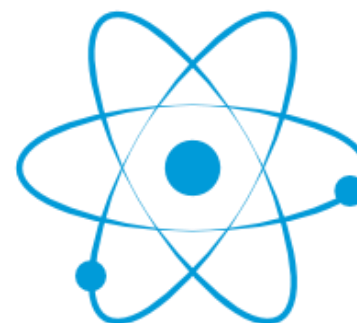


Globalne ocieplenie okiem fizyka



ZAPYTAJ
FiZYKA

Szymon Malinowski
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
oraz

naukaoklimacie.pl

Festiwal
nauki
WARSZAWA

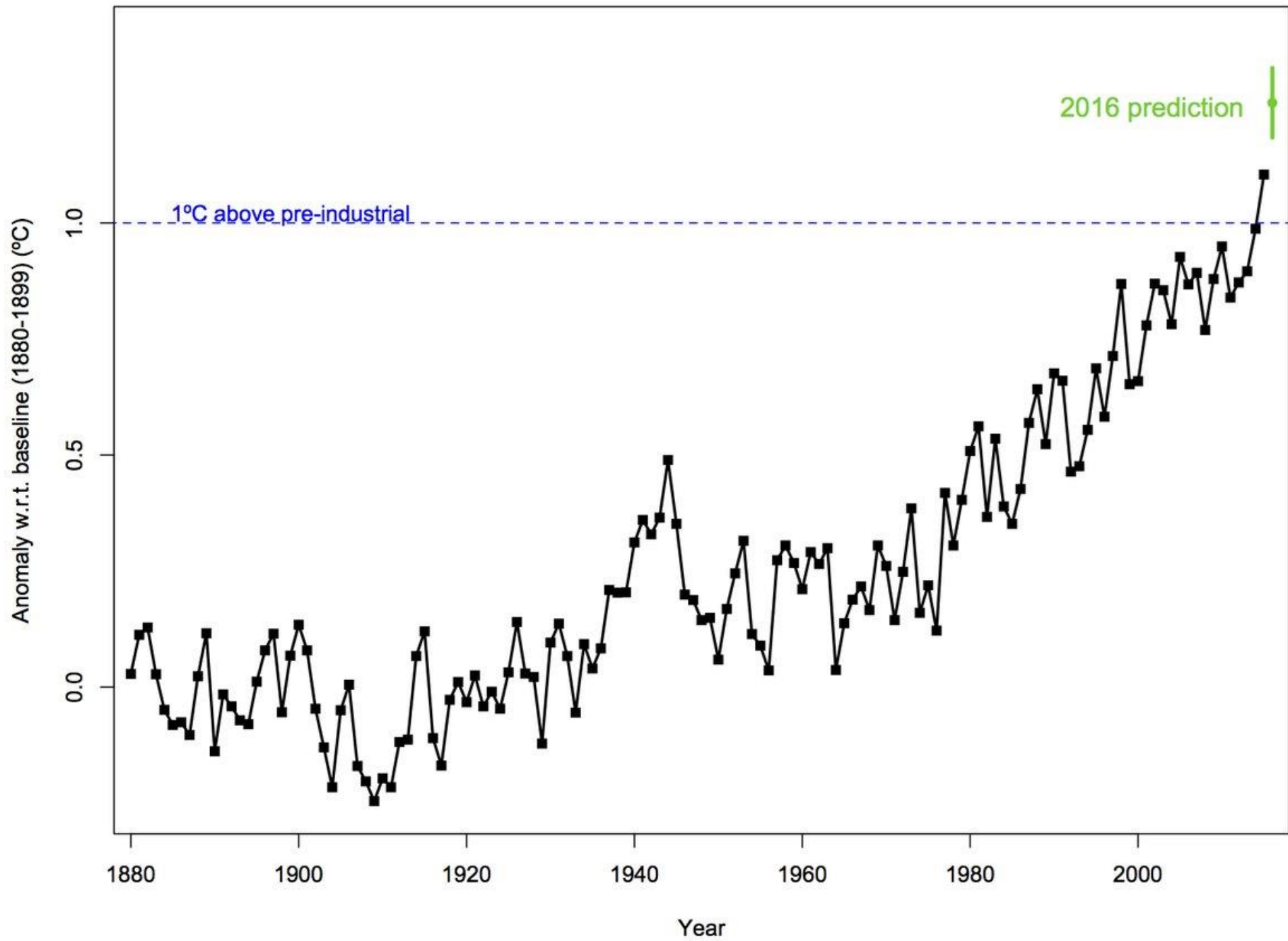
29 września 2016



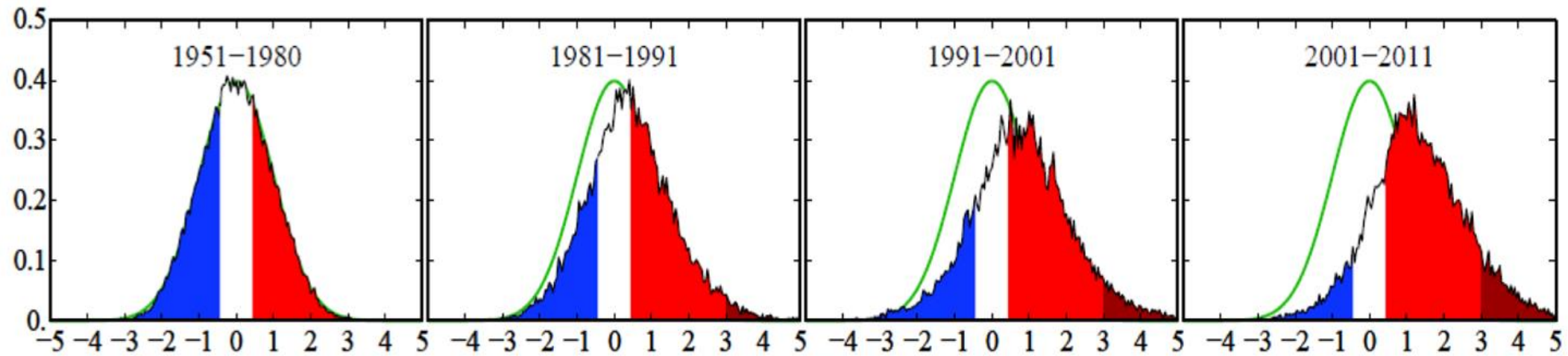
NAUKA O KLIMACIE
DLA SCEPTYCZNYCH



Zmiany średniej temperatury powierzchni Ziemi (GISTEMP)

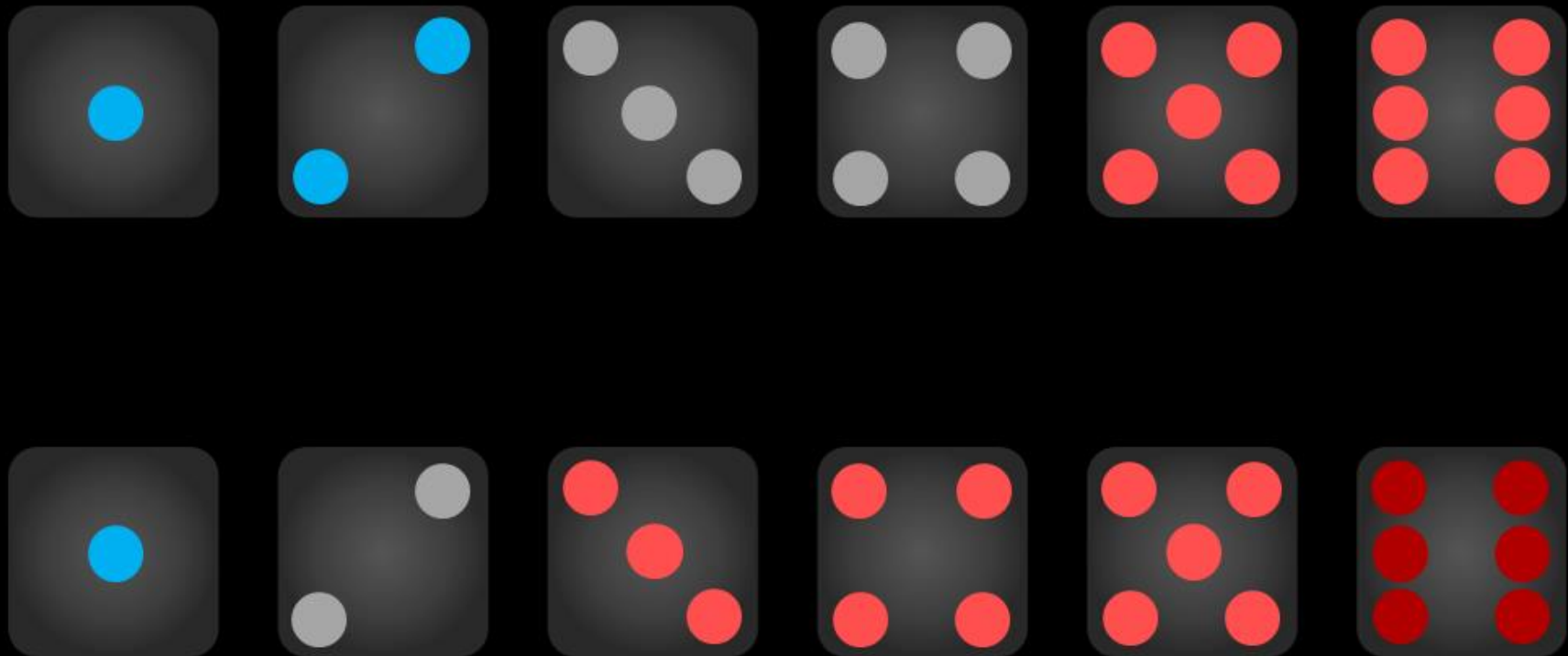


Zmiany rozkładu temperatur lata na półkuli północnej (względem rozkładu z lat 1951–1980)



Credit: James Hansen, NASA Goddard Institute for Space Studies

Hansen J et al. PNAS 2012;109:E2415-E2423



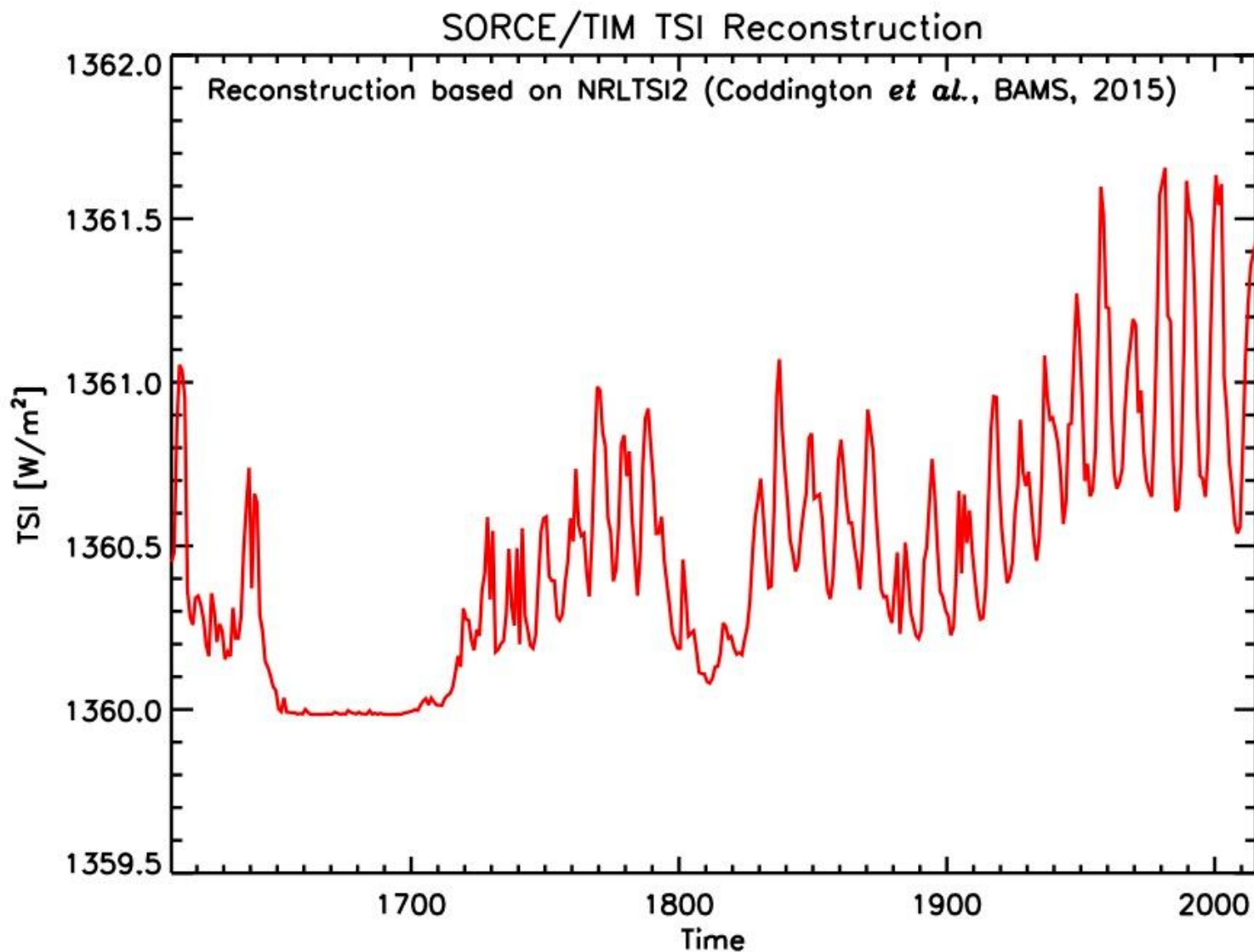


Aby temperatura Ziemi była stała strumień ciepła otrzymywanego przez

Temperatura Ziemi rośnie, gdy $\Delta Q_s > \Delta Q_c$

Temperatura Ziemi spada, gdy $\Delta Q_s < \Delta Q_c$

Jak zmienia się strumień energii docierającej od Słońca?



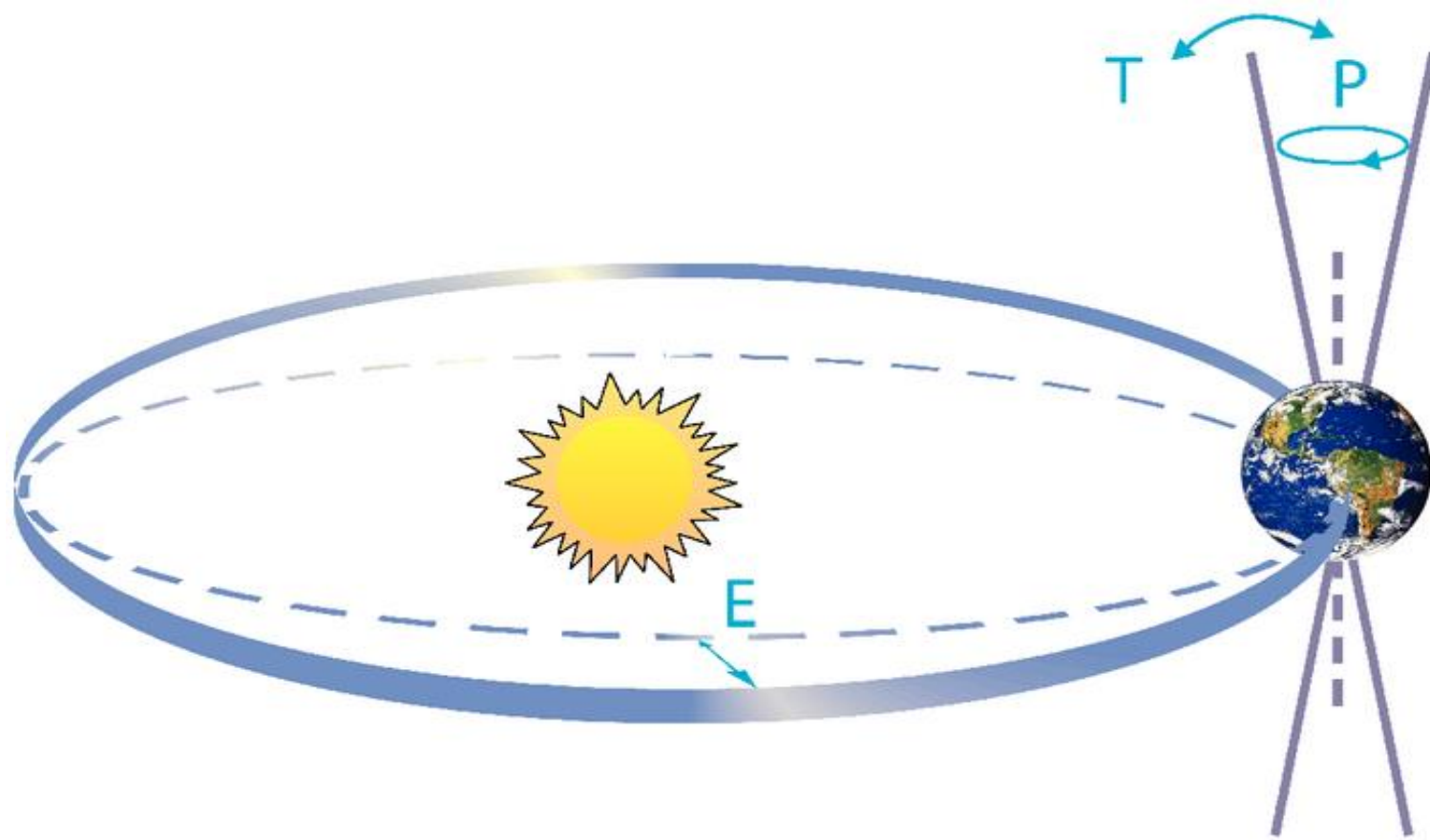
zmiany:

~0.1%
(~1W/m²)

max ±0.1K

G. Kopp, 14 Apr. 2016

...podobnie było w dalszej przeszłości sięgającej setek tysięcy lat...

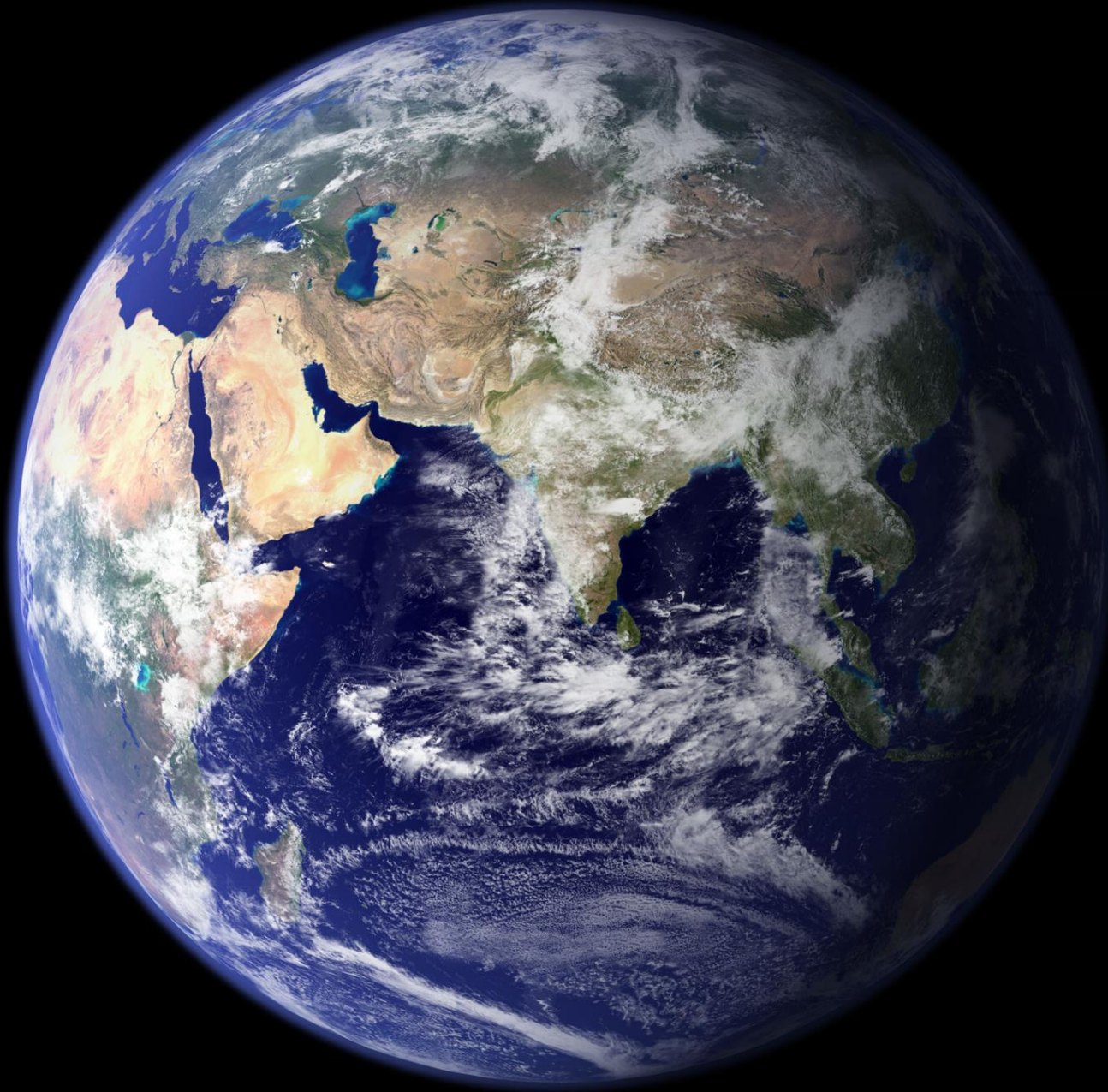


Zmiany orbitalne o okresie $\sim 100\ 000$ lat.

Fluktuacje w dopływie energii $0,2\%$ ($\sim 2\text{W}/\text{m}^2$, $\pm 0.2\text{K}$)

Ale niedawno (geologicznie)
zmiany temperatury globu o $4\text{-}5\ \text{K}$!
Epoki lodowcowe!



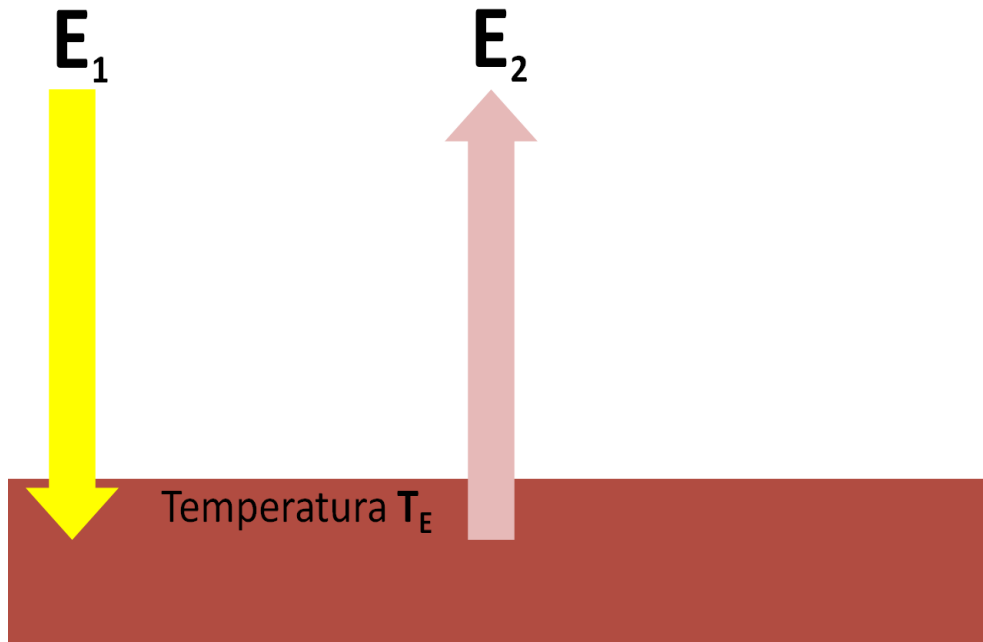




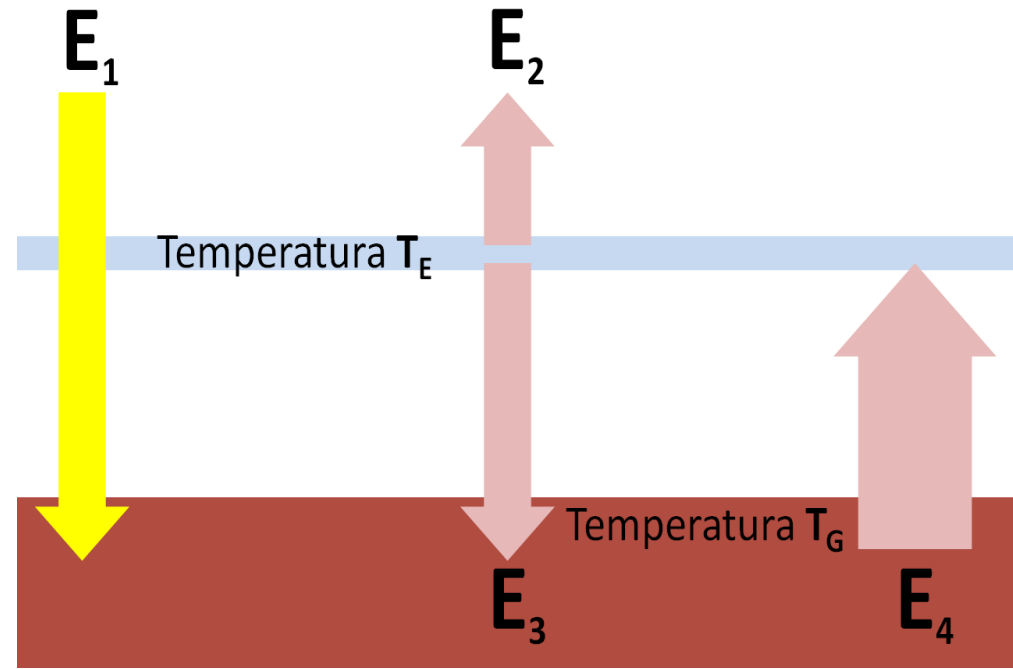
atmosfera



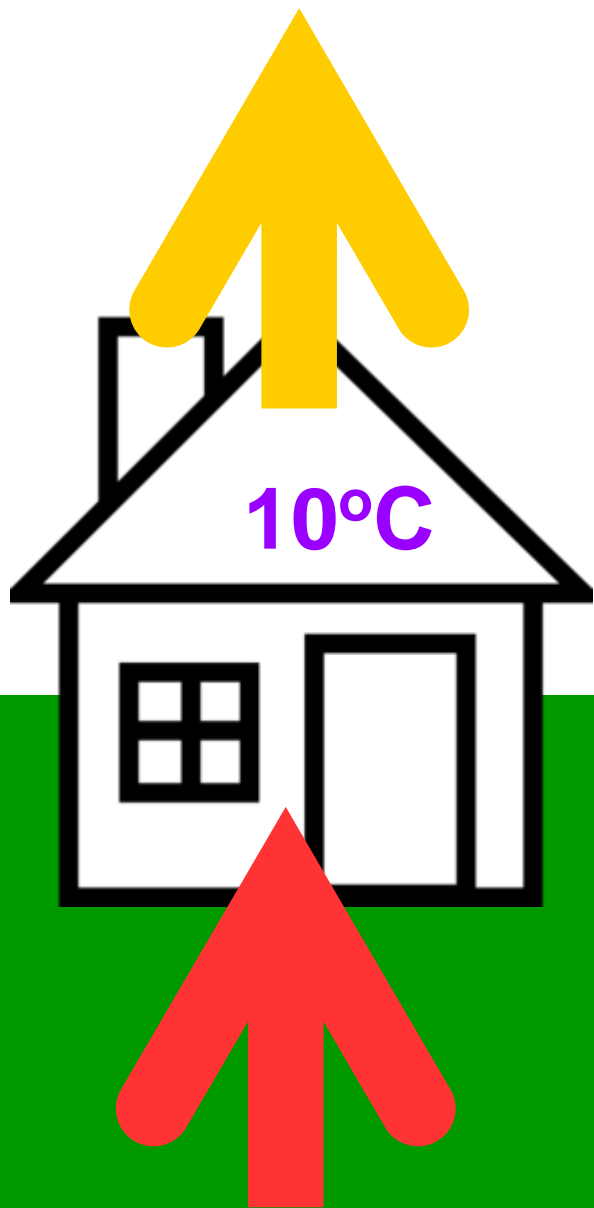
Efekt cieplarniany – jak to działa



$$E_1 = E_2$$



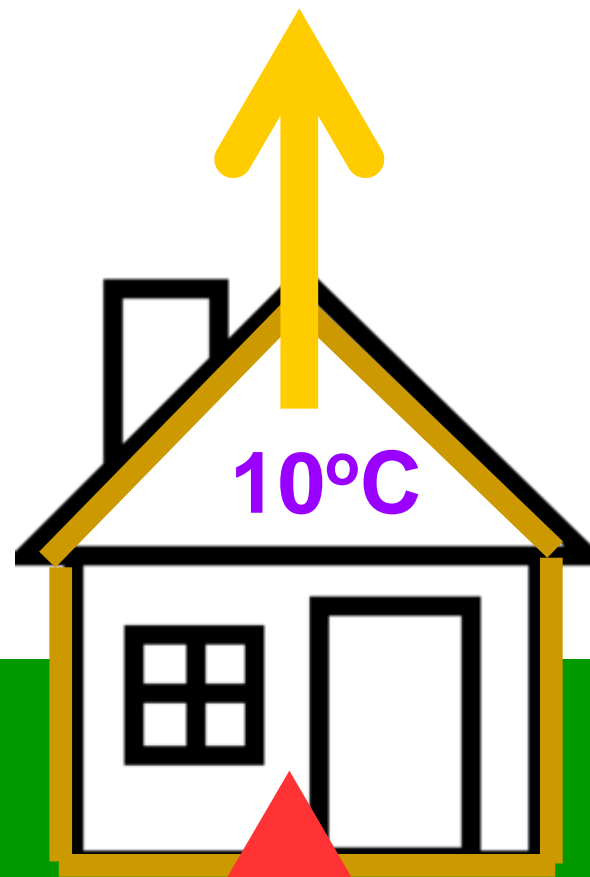
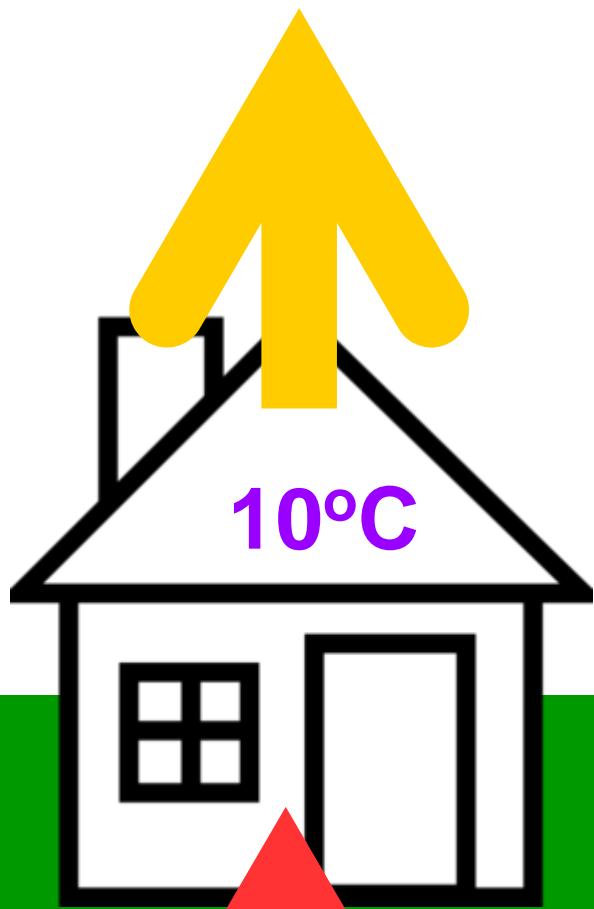
$$E_1 = E_2 = E_3 \quad E_4 = E_1 + E_3$$



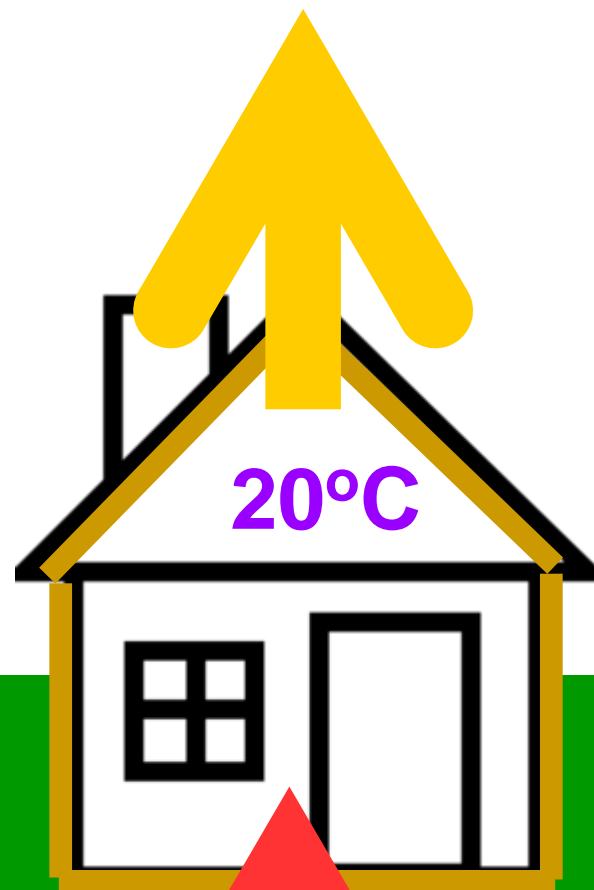
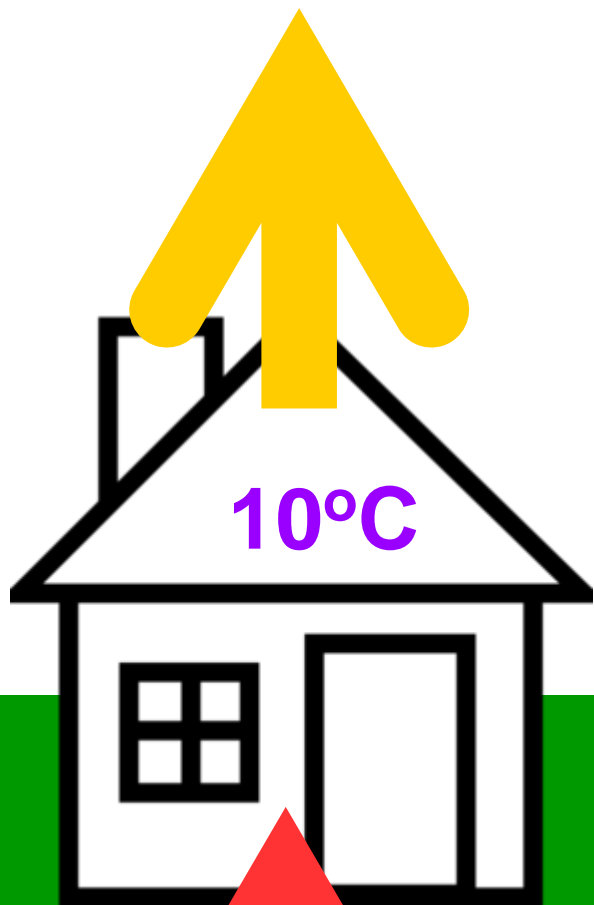
10°C

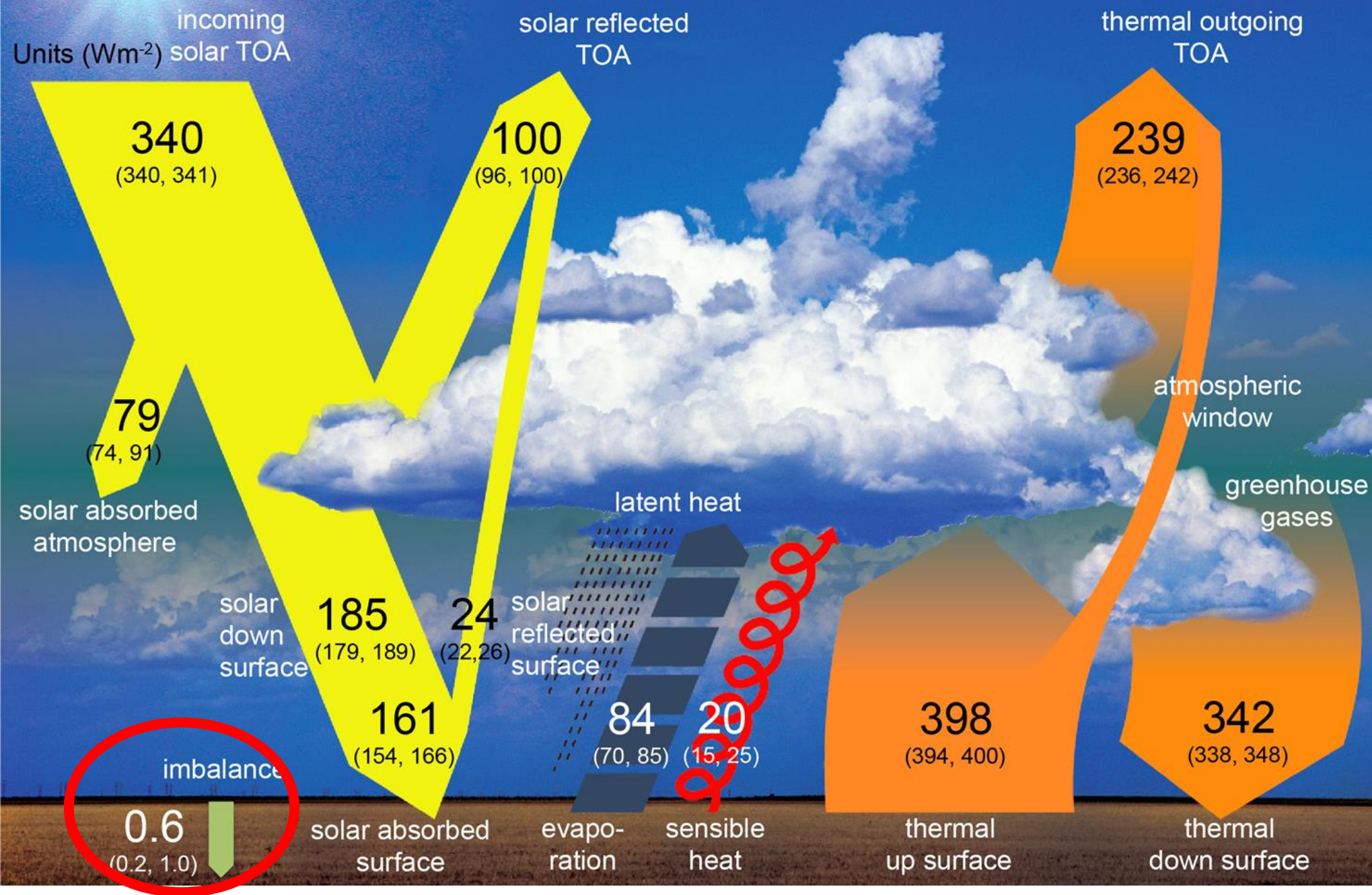
0°C

0°C



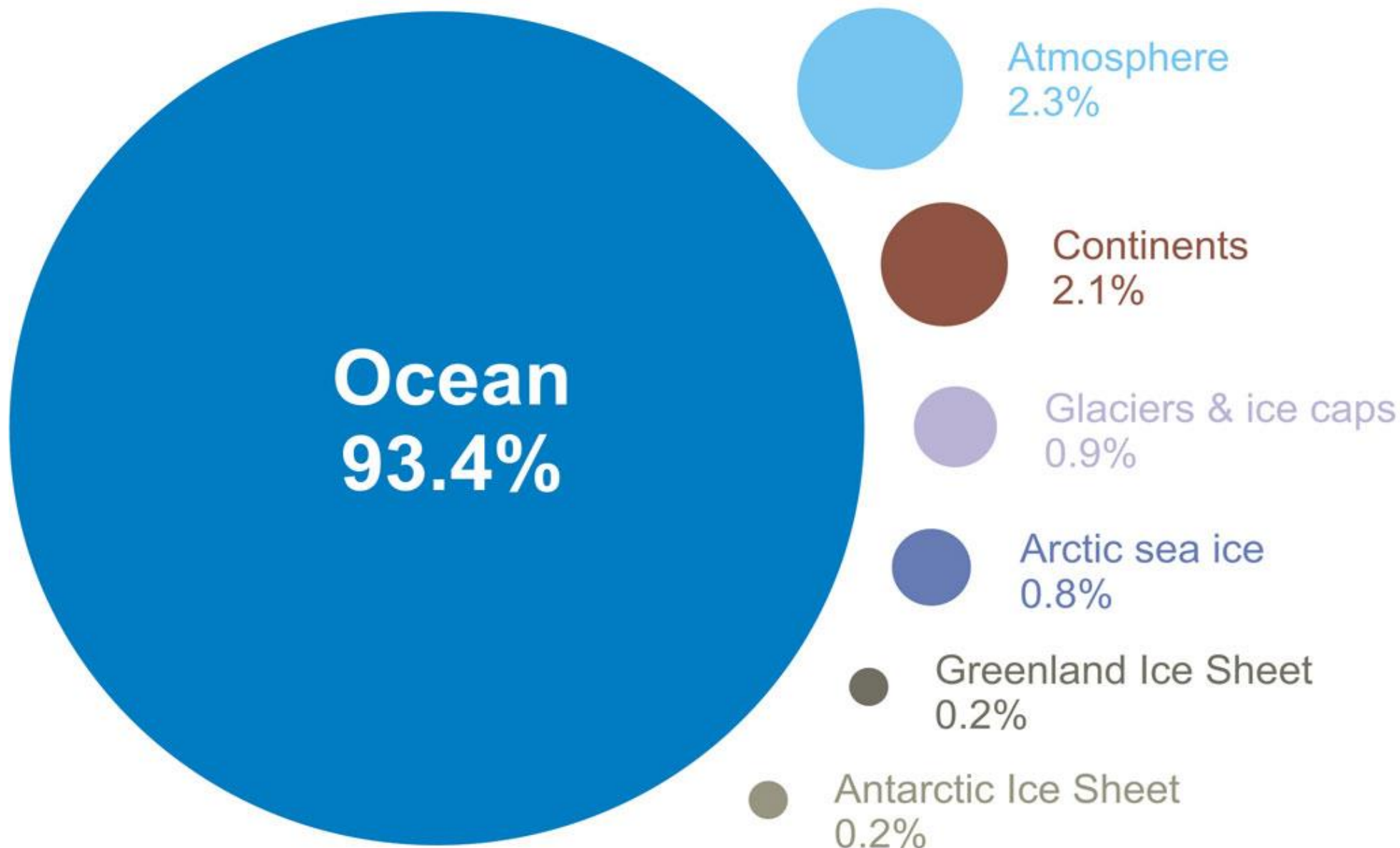
0°C

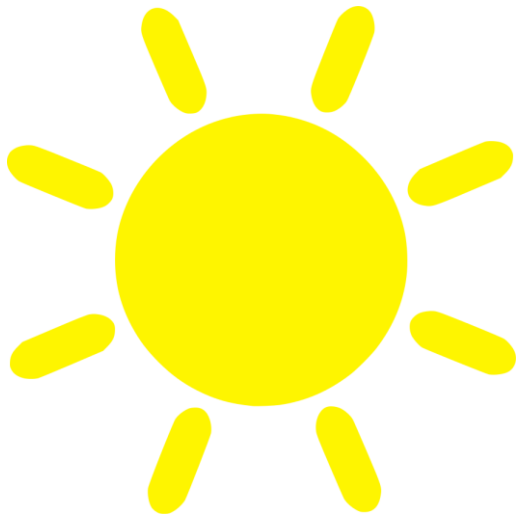




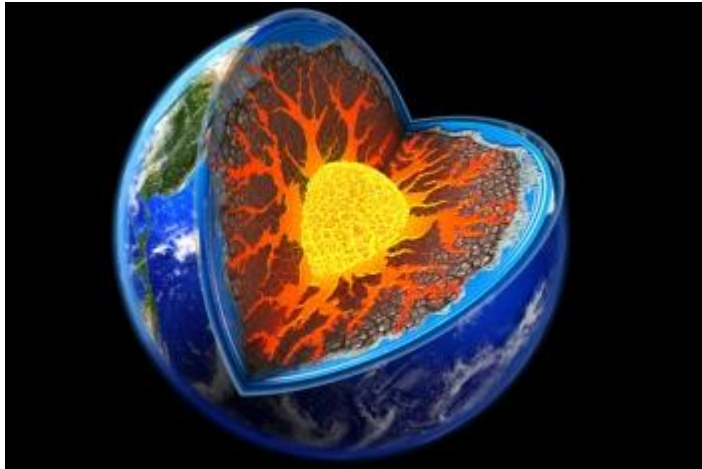
Uśredniony bilans energii systemu klimatycznego. Wartości w W/m^2 .
 W nawiasach zakres niepewności i zmienności. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Gdzie gromadzi się nierównowagowa nadwyżka energii?





$\sim 340 \text{ W/m}^2$ (160 W/m^2)

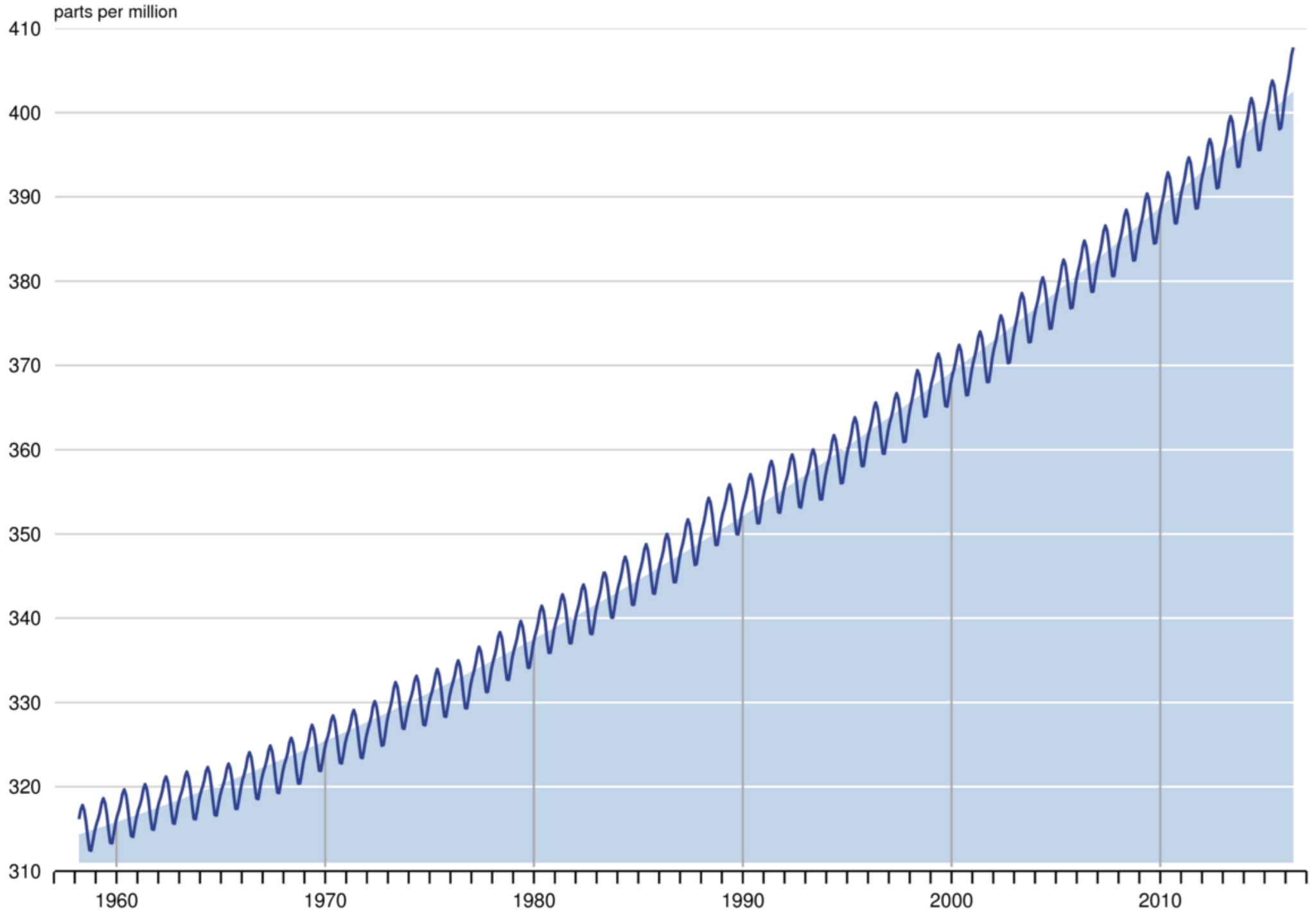


$\sim 0.1 \text{ W/m}^2$

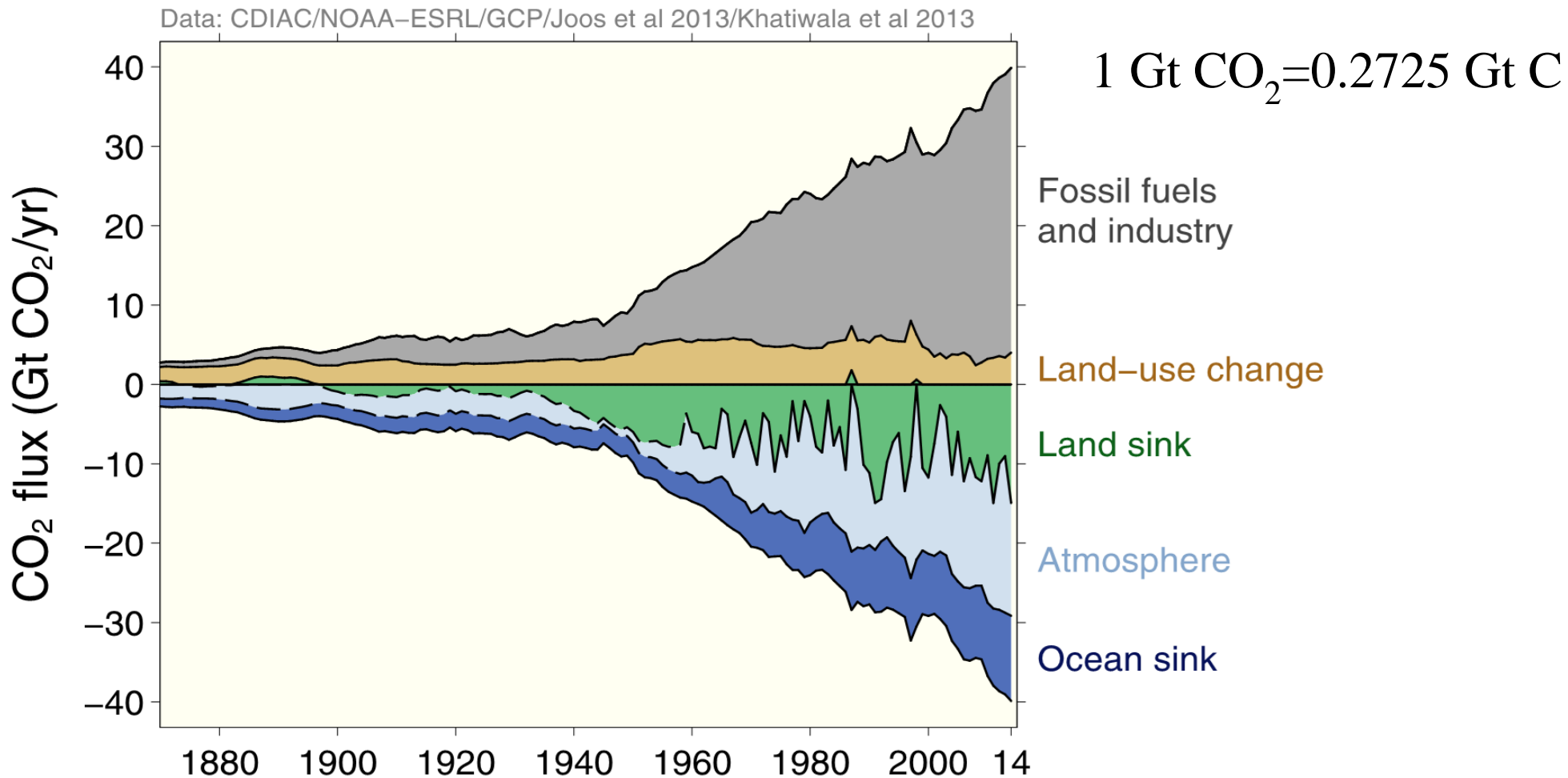


$\sim 0.025 \text{ W/m}^2$

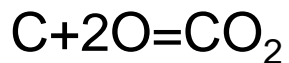
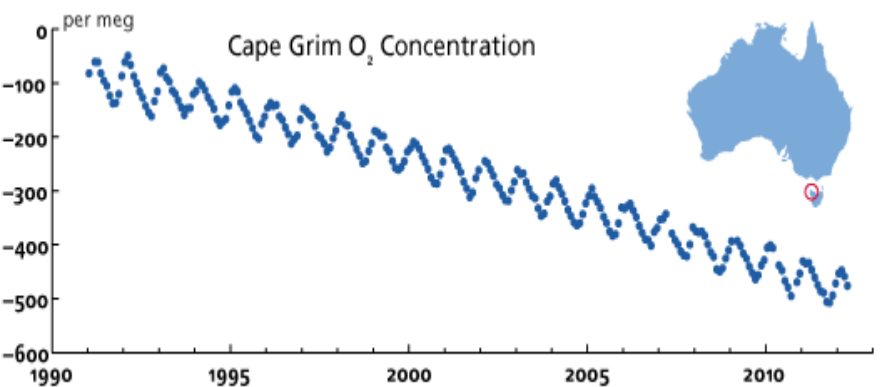
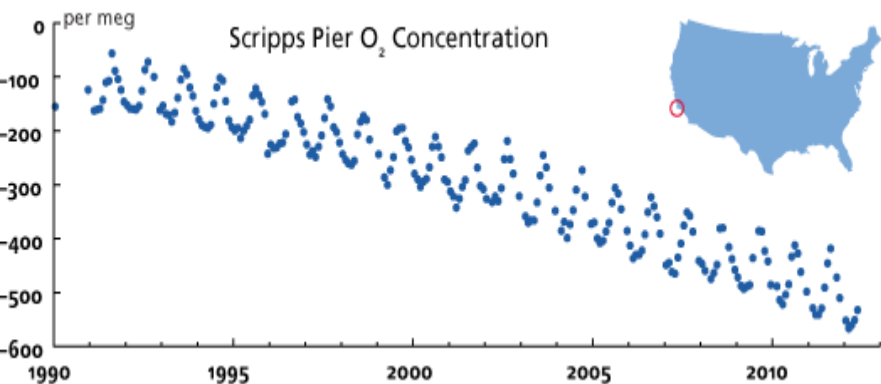
Zmiany koncentracji CO2 w atmosferze (ppm – cząsteczki na milion)



CO₂ z paliw kopalnych, przemysłu, użytkowania gruntu oraz bilans w postaci zmian zawartości w oceanie, atmosferze i glebie

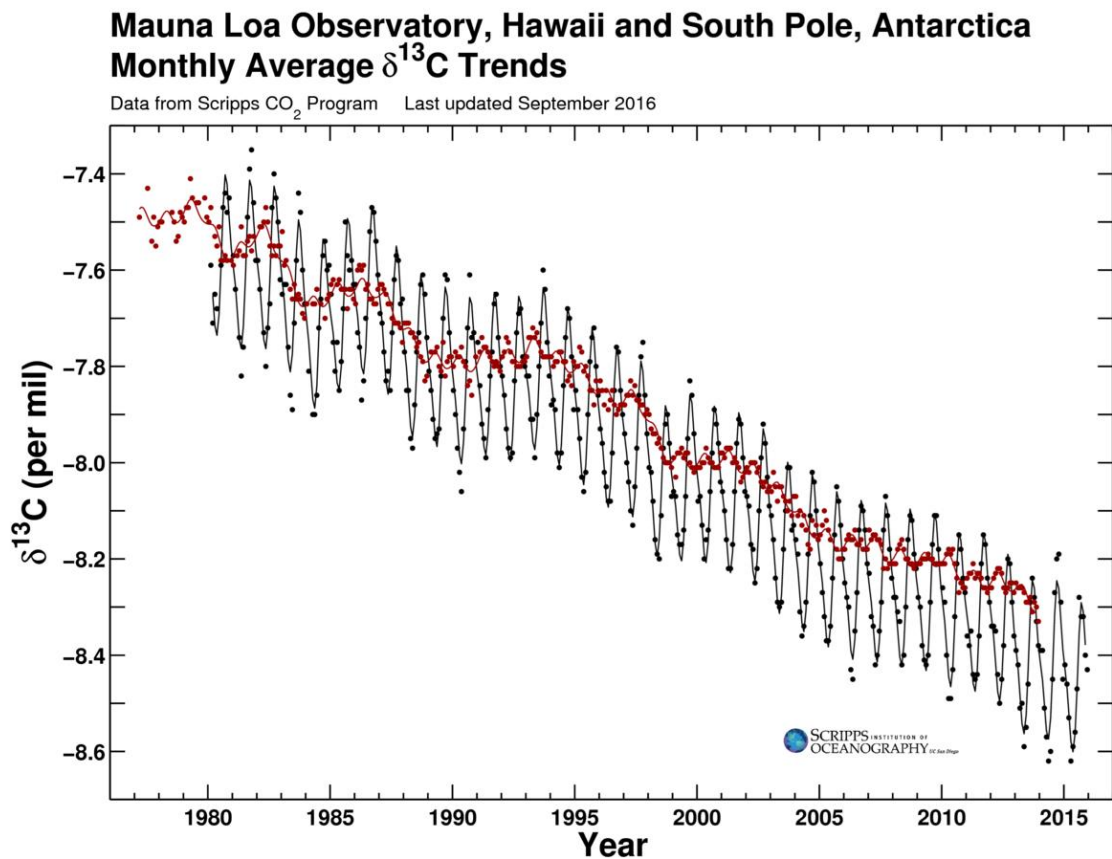


Inne dowody na antropogeniczność nadwy



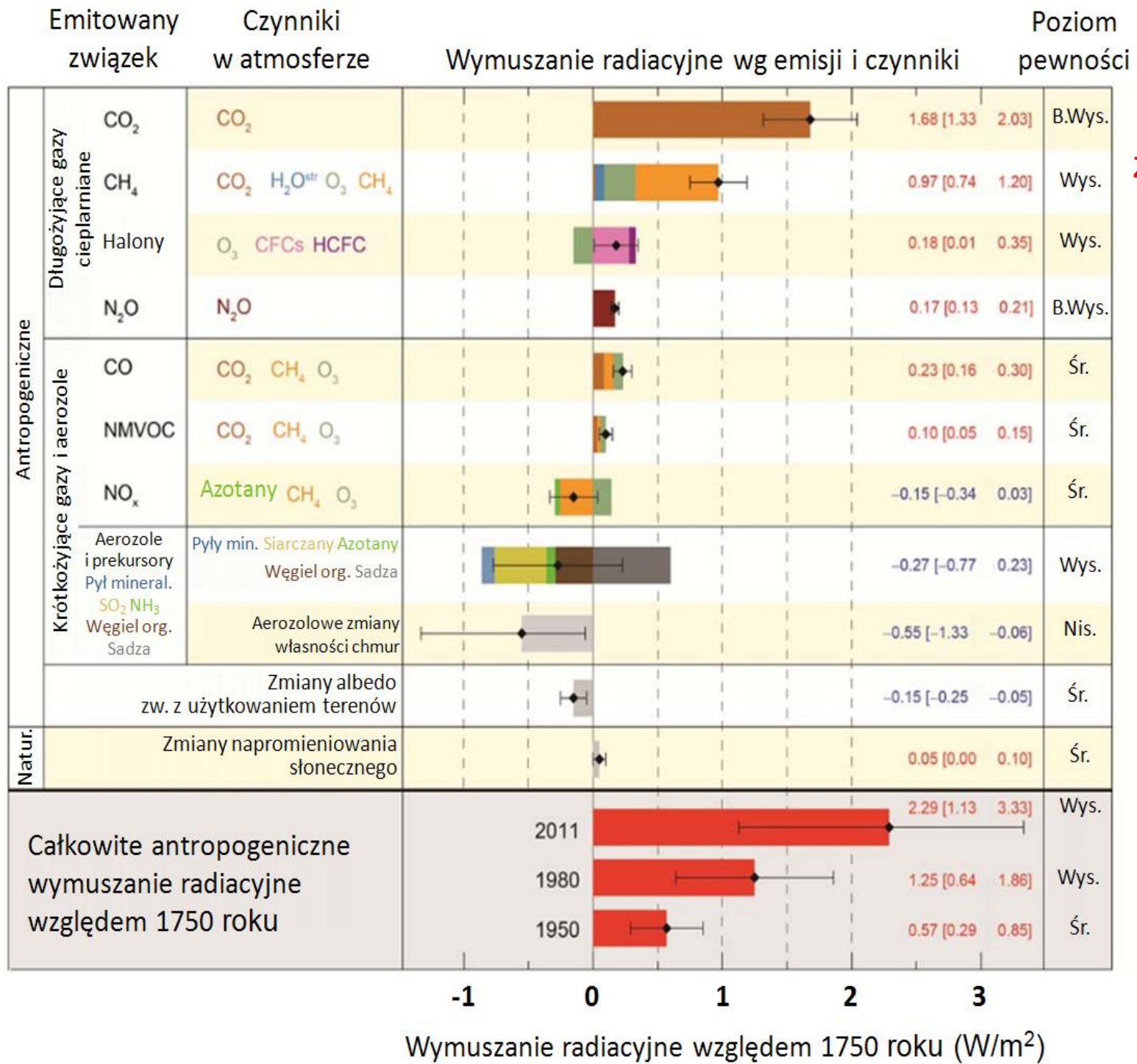
Spada stosunek O₂/N₂ w powietrzu.

Spada stosunek ¹³C/¹²C .



Wymuszanie radiacji

jak zmieniły się strumienie promieniowania w słońca.



zm

Wymuszenia i sprzężenia w systemie klimatycznym.

Wymuszenia są zewnętrznymi przyczynami zmian klimatu.

Przykłady: irradiancja Słońca, zmiany orbitalne, antropogeniczne czynniki

Sprzężenia to procesy wewnętrzne systemu klimatycznego, które

Przykłady: zmiany albedo wskutek pokrycia lodem, rozpuszczanie CO₂

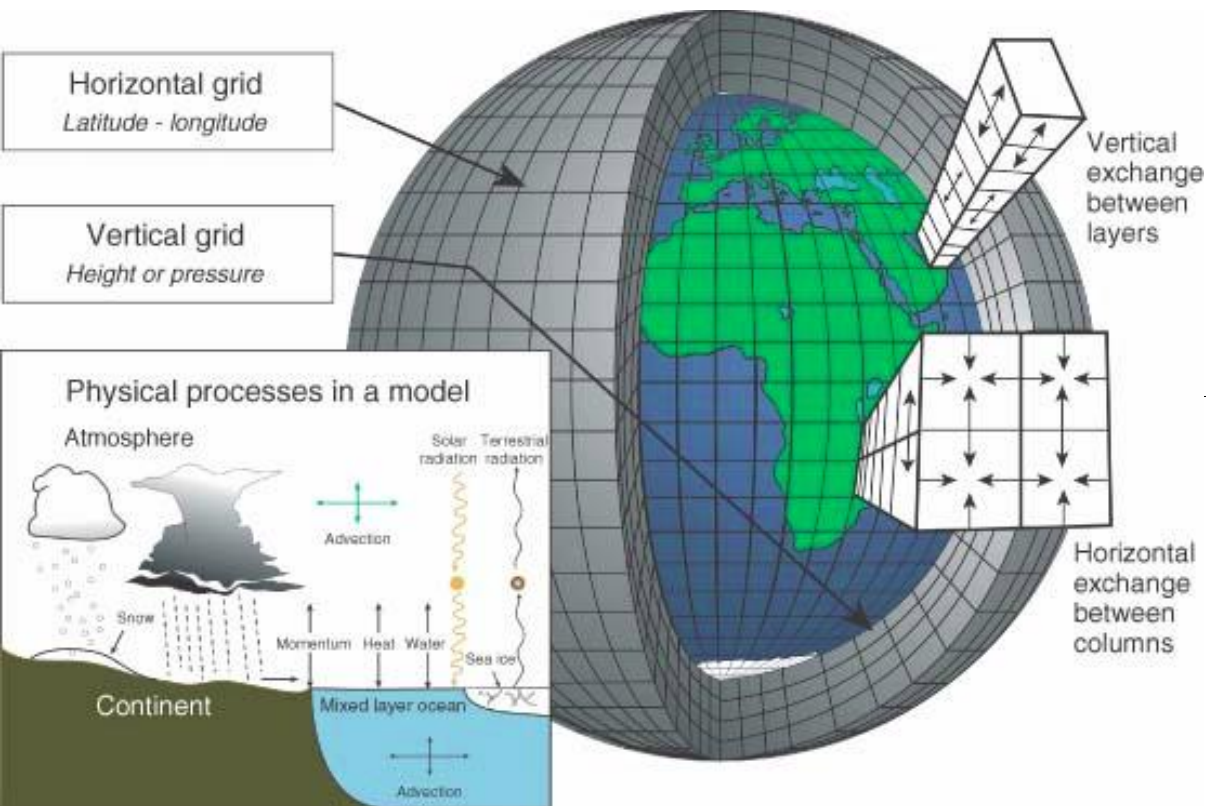
Sprzężenia mogą być dodatnie lub ujemne.

Sprzężenia dodatnie, gdy przekroczą pewne granice, mogą prowadzić do

Paleoklimatologia dostarcza dowodów na to że gwałtowne zmiany w

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

Modelowanie klimatu czyli budowa wirtualnej planety dzięki znajomości



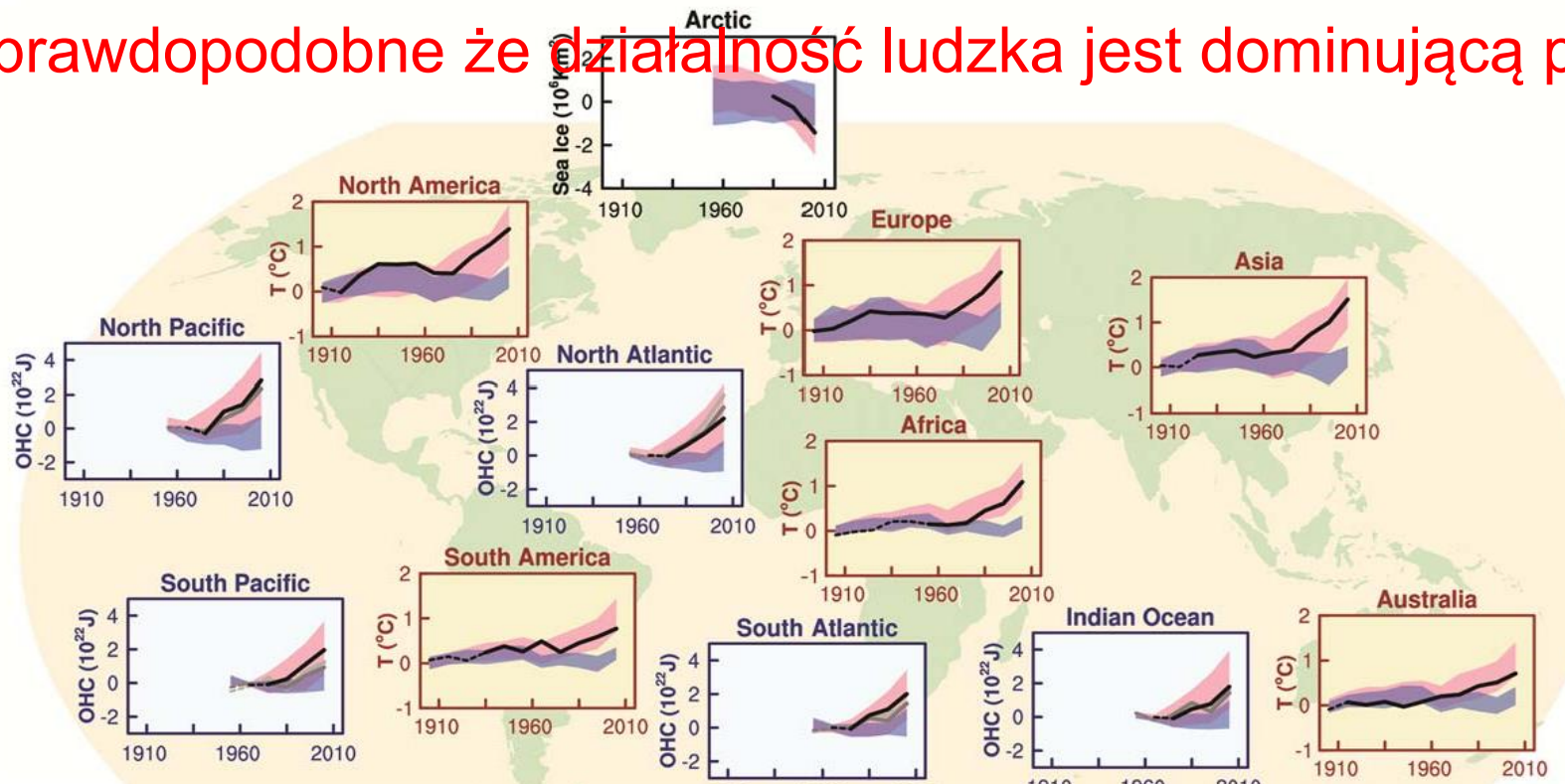
równania hydrodynamiki
równania termodynamiki
prawa transferu radiacyjnego
własności składników atmosfery
promieniowanie słoneczne
oddziaływanie z podłożem
przemiany chemiczne

układ równań modelu

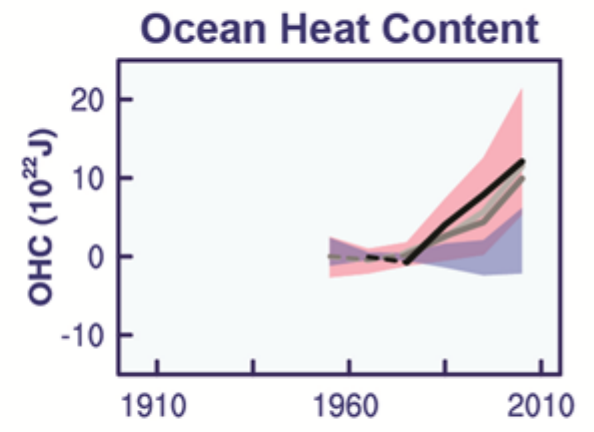
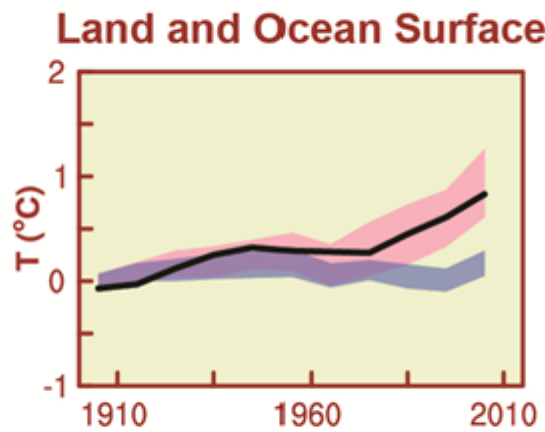
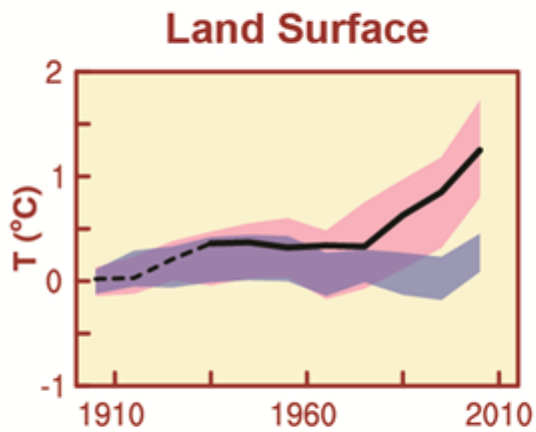
„zakłęcie” w kod numeryczny
uwzględnienie danych
wielki superkomputer

wirtualna rzeczywistość, w której

Jest niezwykle prawdopodobne że działalność ludzka jest dominującą prz



Global Averages



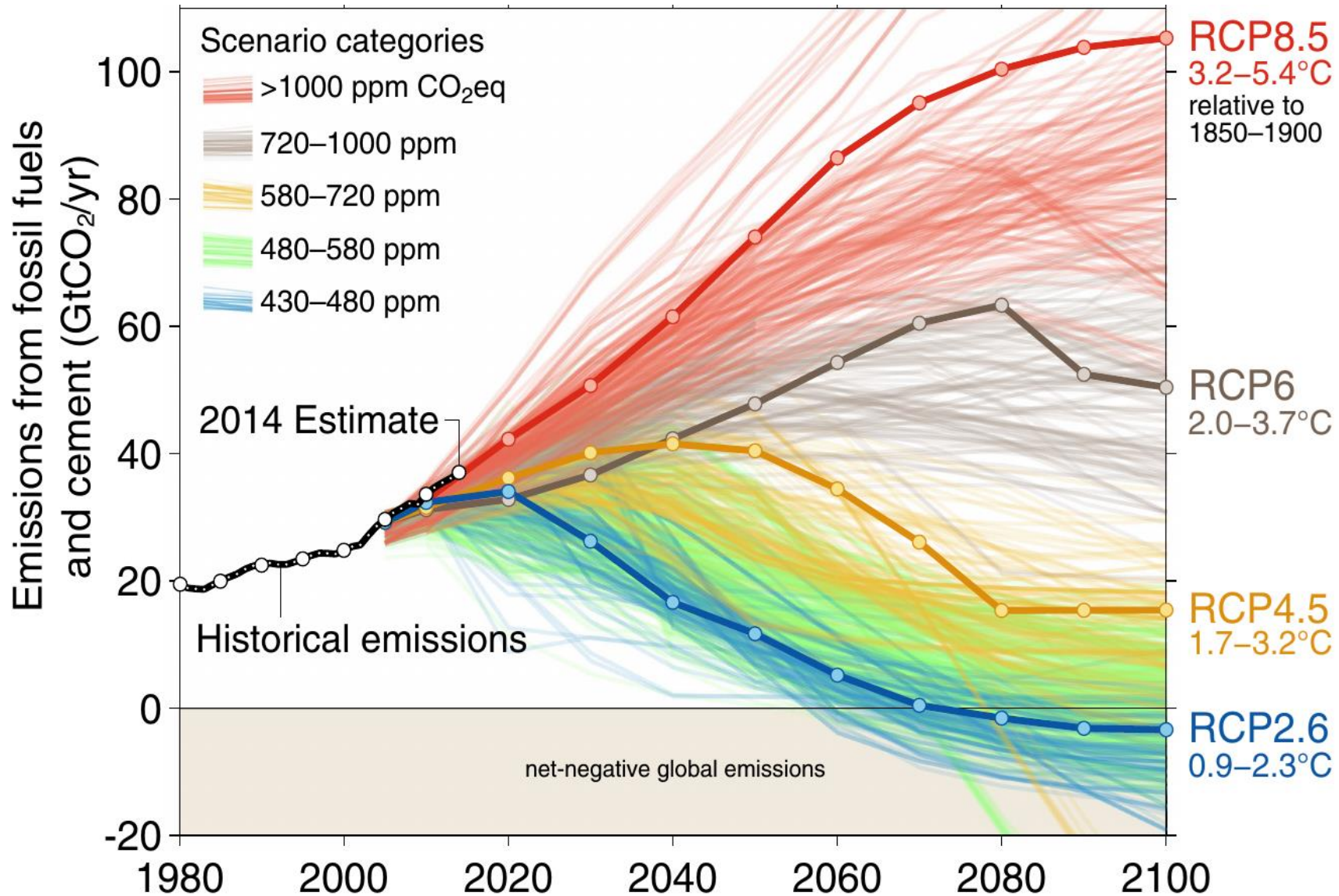
— Observations

■ Models using only natural forcings

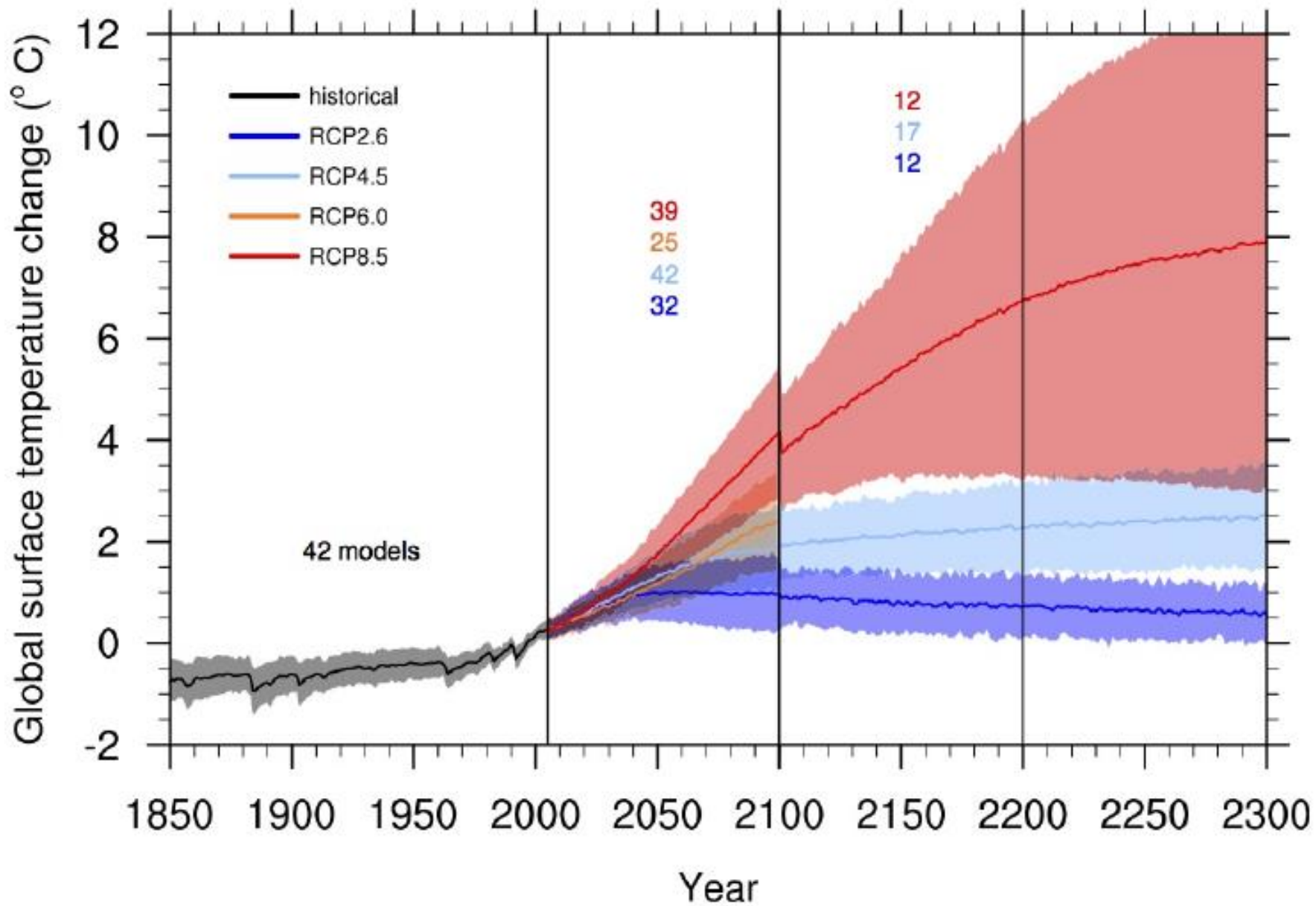
■ Models using both natural and anthropogenic forcings

Obserwowane emisje i scenariusze przyszłych emisji

Aktualna ścieżka emisji prowadzi do wzrostu temperatury w roku 2100 o 3.2–5.4°C ponad wartość sprzed ery przemysłowej. Aby utrzymać wzrost temperatury nie większy niż 2°C konieczne są znaczne redukcje emisji.

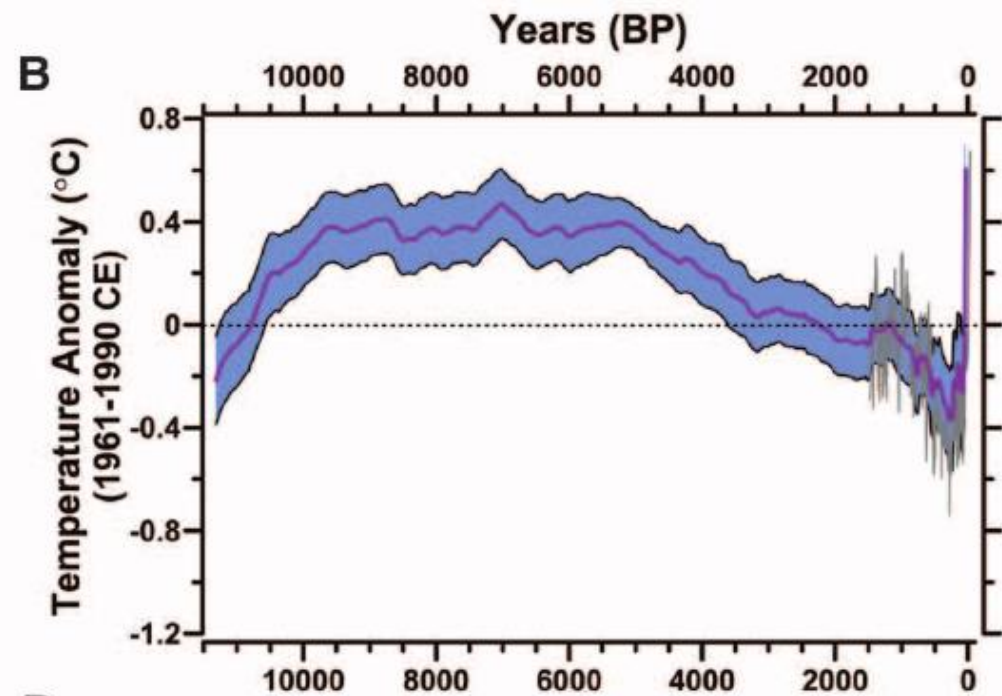
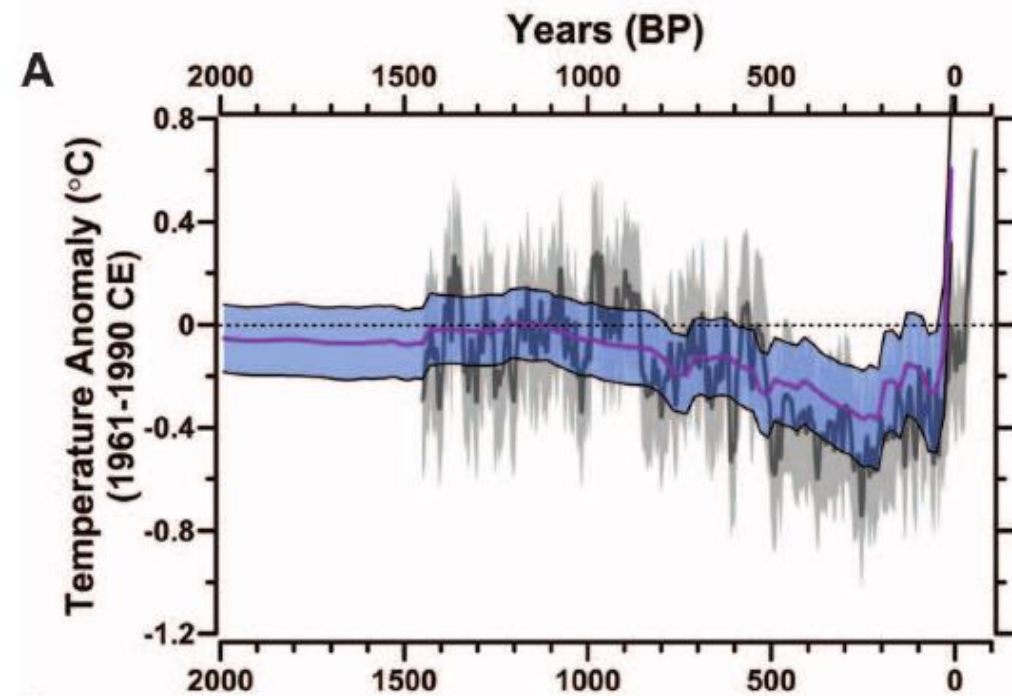


Wzrost średniej temperatury globu do roku 2300 przy różnych scenariuszach



Jak to się ma w stosunku do historii naturalnej klimatu?

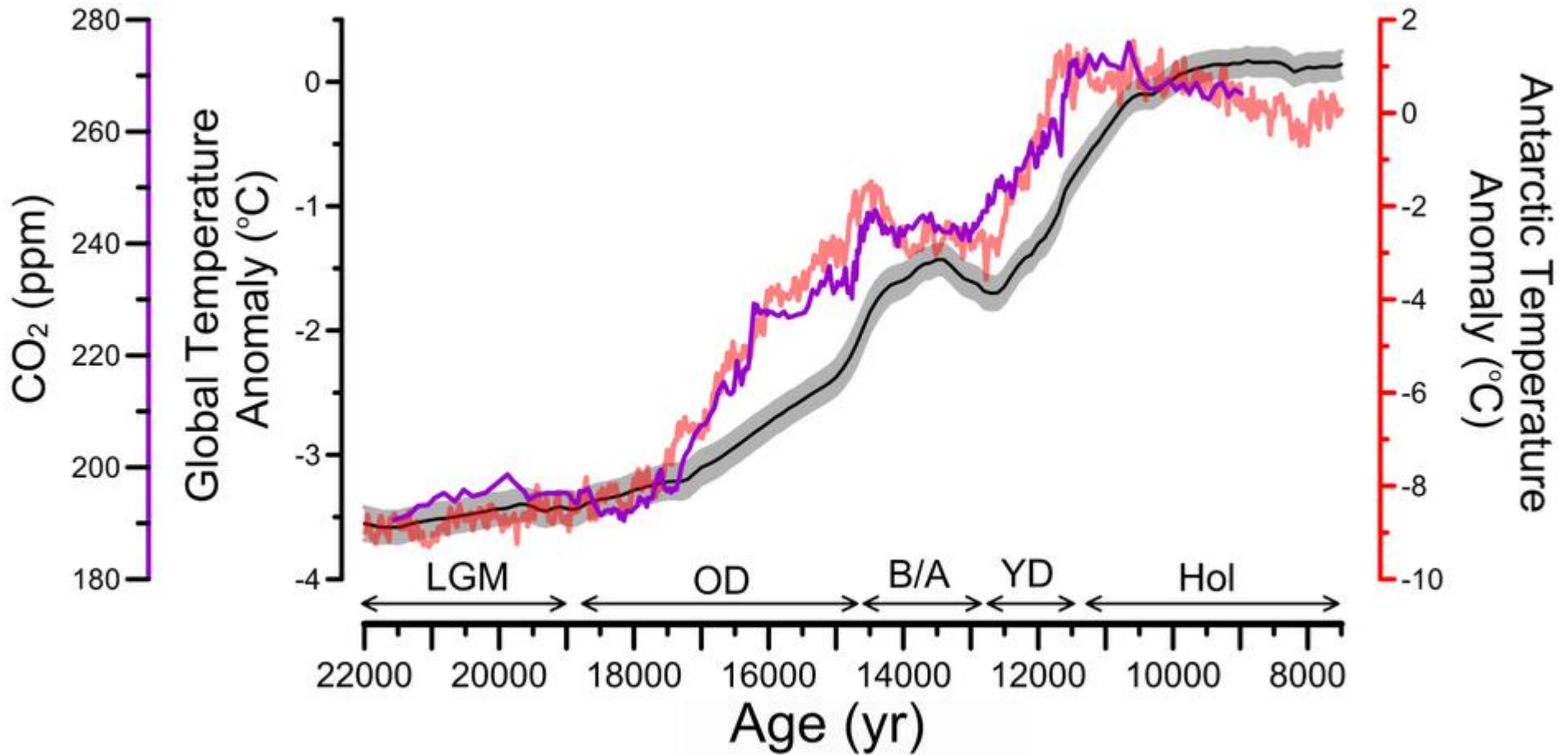
HOLOCEN



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



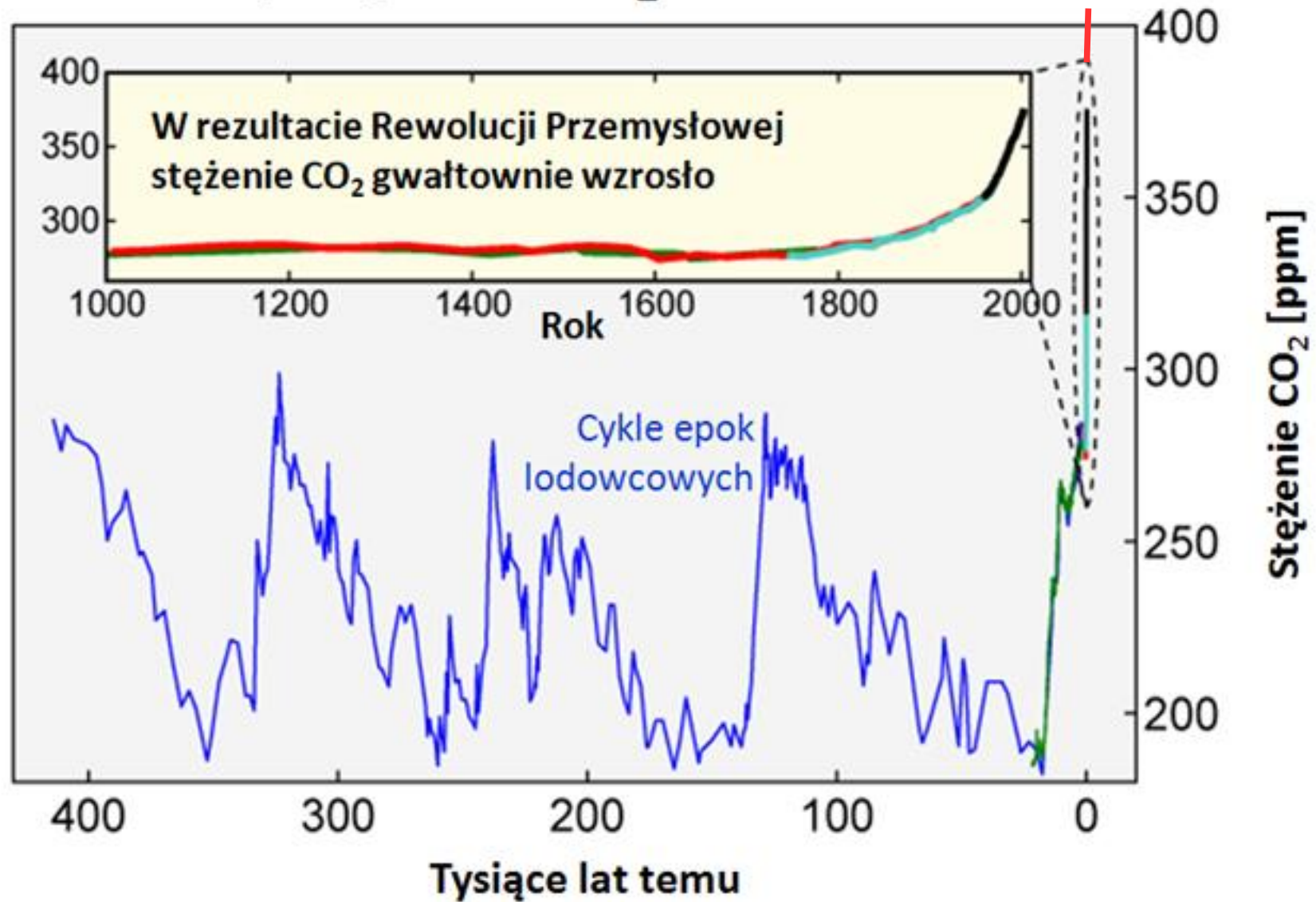
Wyjście z epoki lodowcowej



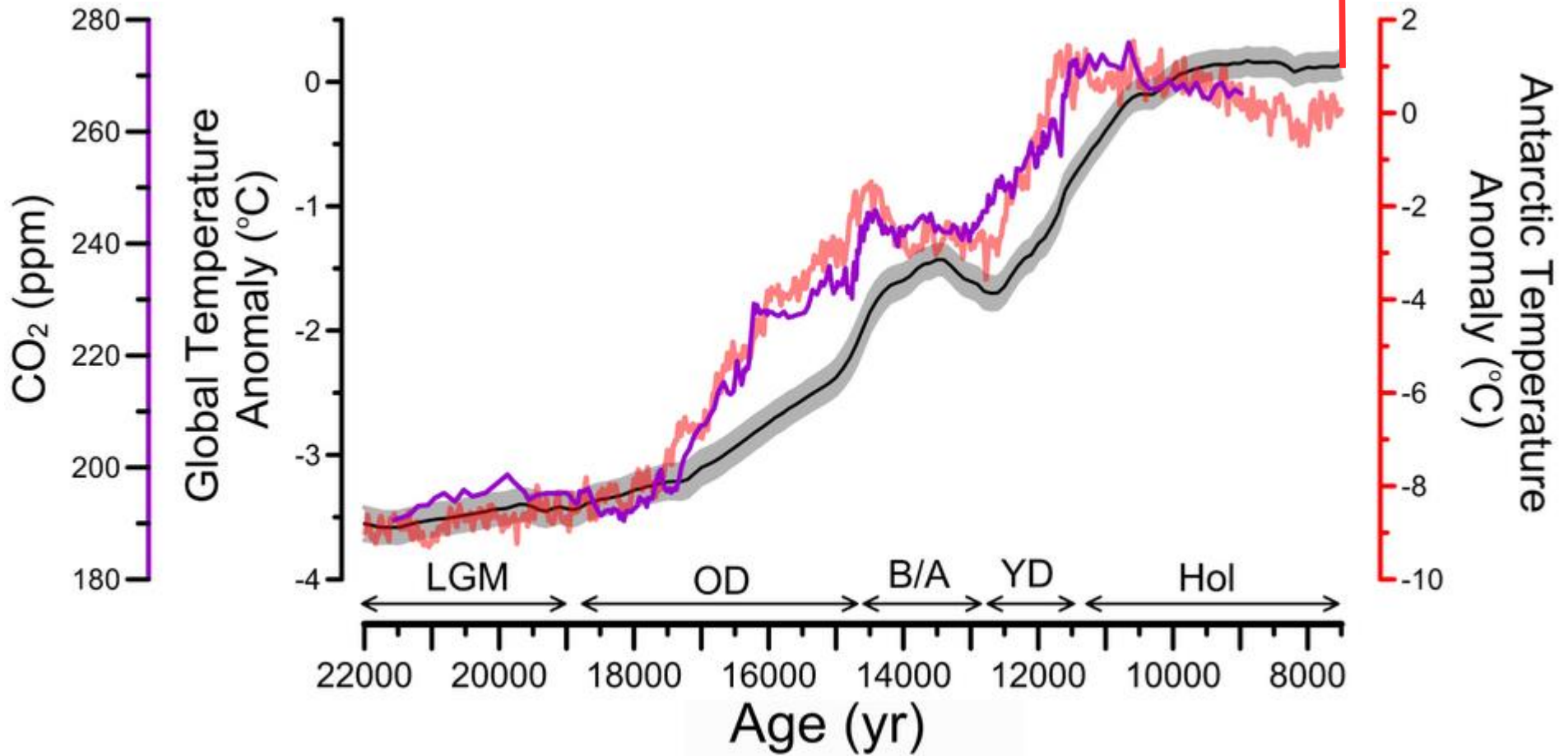
Centennial-scale changes in the global carbon cycle during the last deglaciation

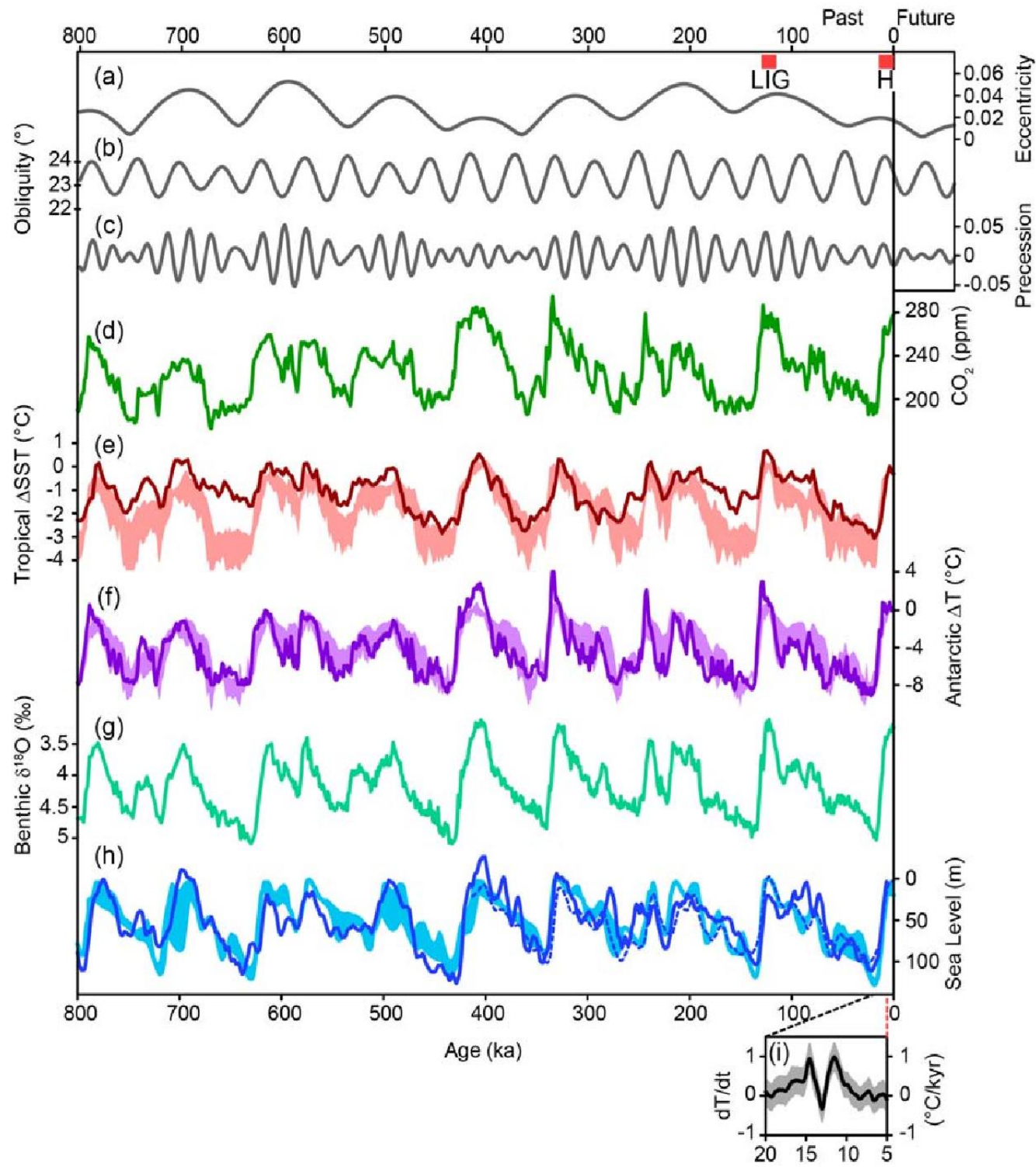
Shaun A. Marcott, i inni, Nature, 514, 616–619, (2014), doi:10.1038/nature13799

Zmiany stężenia CO₂ w atmosferze



Wyjście z epoki lodowcowej i „bezpieczny” próg





Dane paleoklimatyczne:

Czarne – wymuszenia orbitalne,
 Zielone – wymuszenia CO₂ (na po

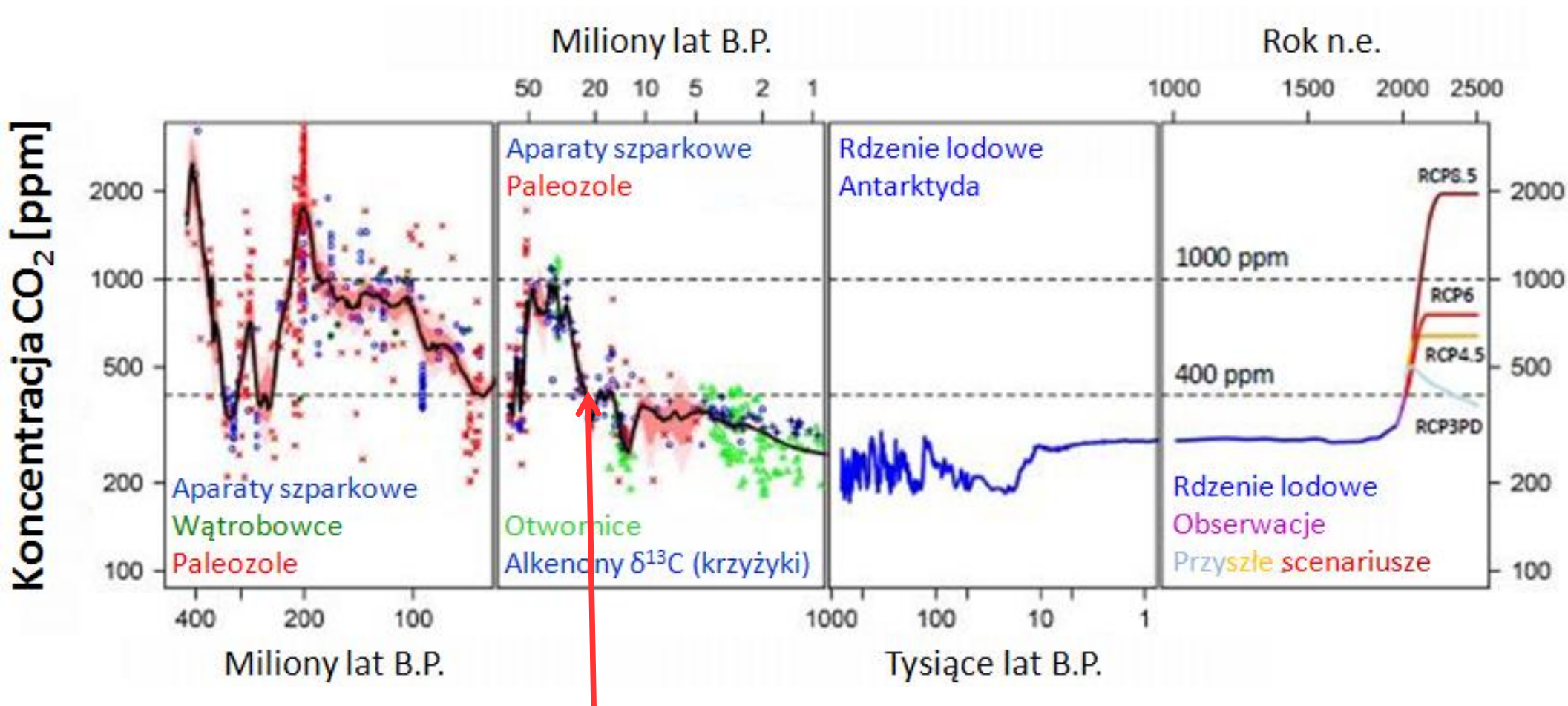
Czerwone – temperatura w tropika

Fioletowe – temperatura Antarktyd

Zielone – odwrotność masy czap lod

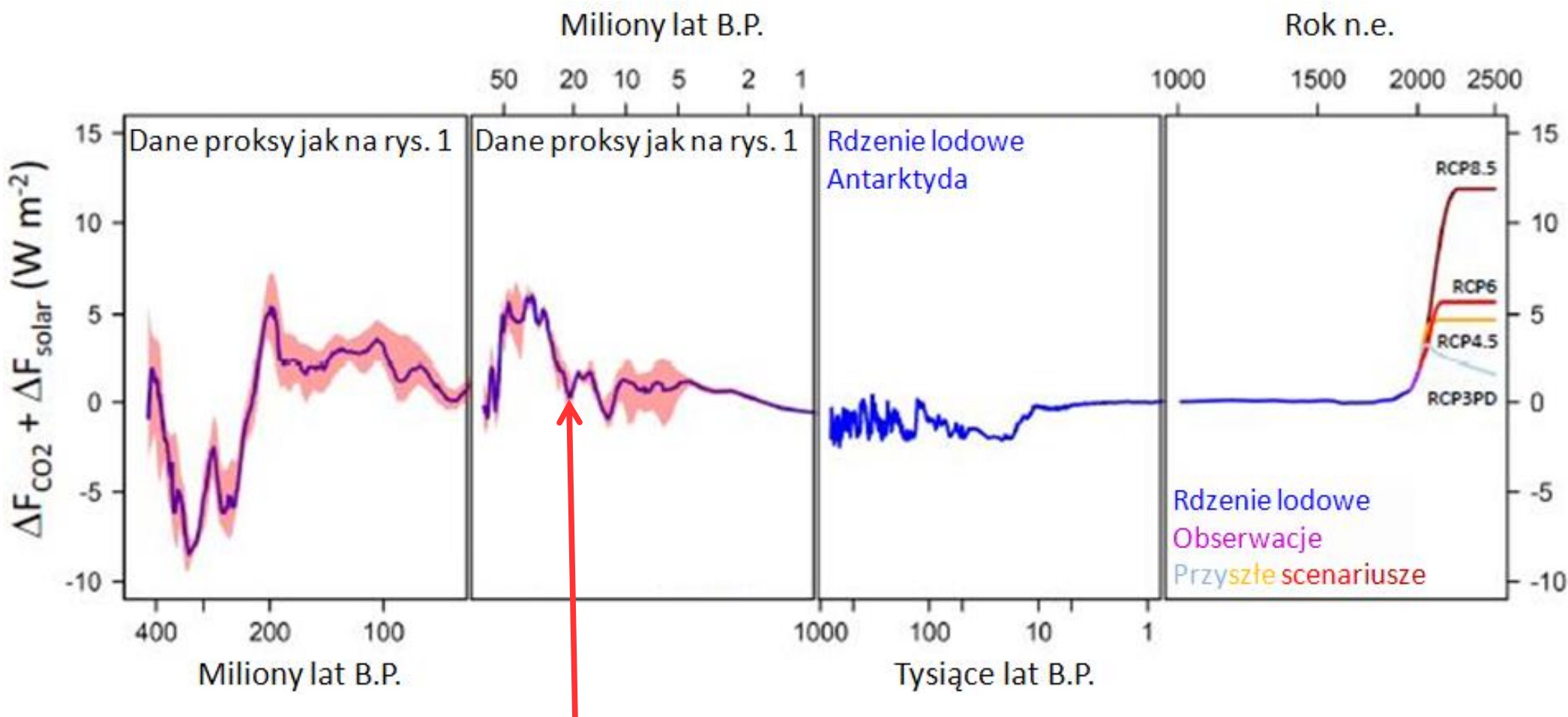
Niebieskie – poziom morza (cienka

Zmiany koncentracji atmosferycznego CO₂ w historii geologicznej



glacjacja Antarktydy

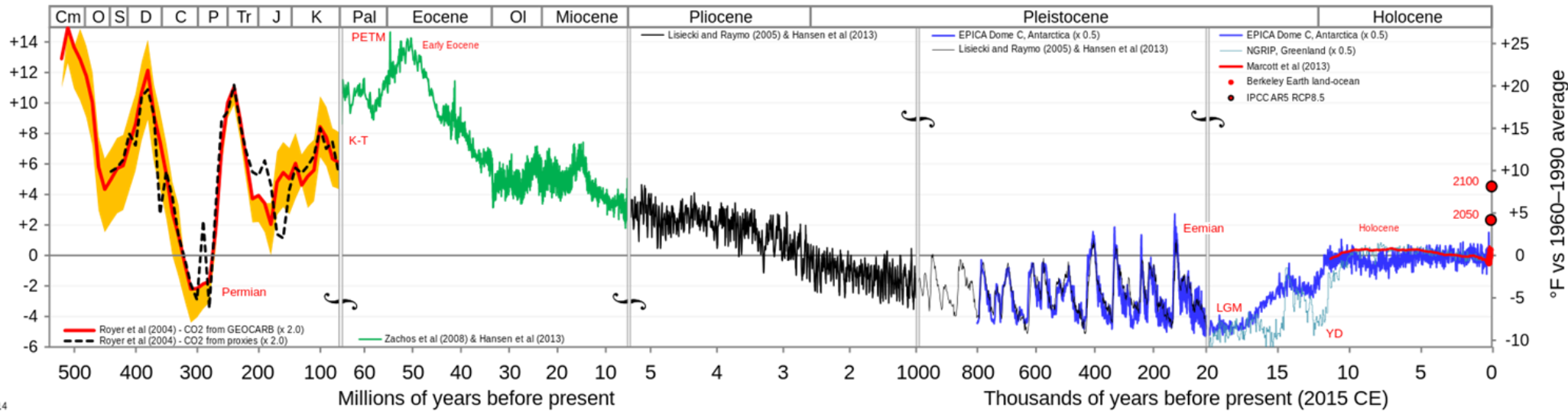
Zmiany wymuszania radiacyjnego (Słońce+CO₂) w historii geologicznej



glacjacja Antarktydy

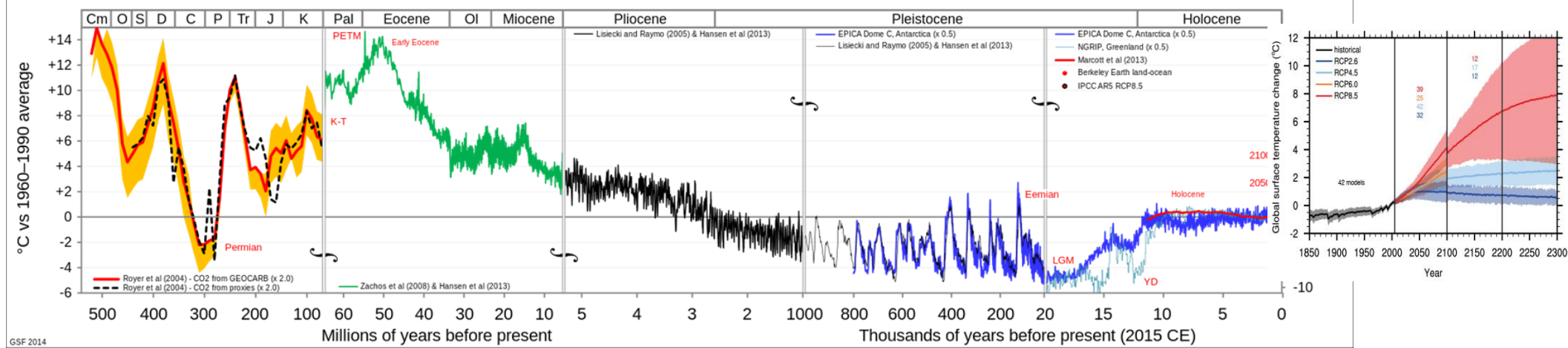
Zmiany temperatury powierzchni Ziemi w historii geologicznej

Temperature of Planet Earth

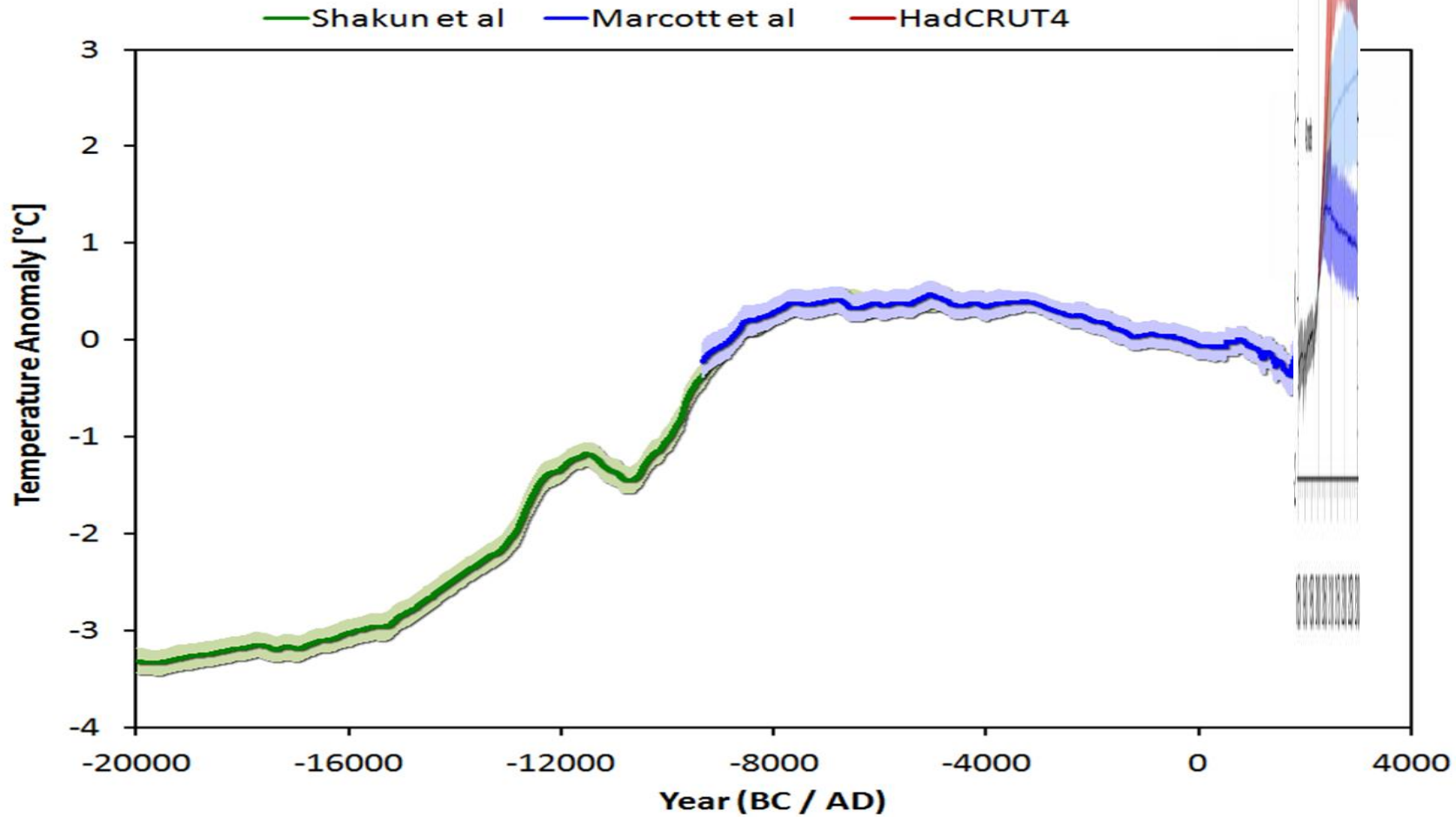
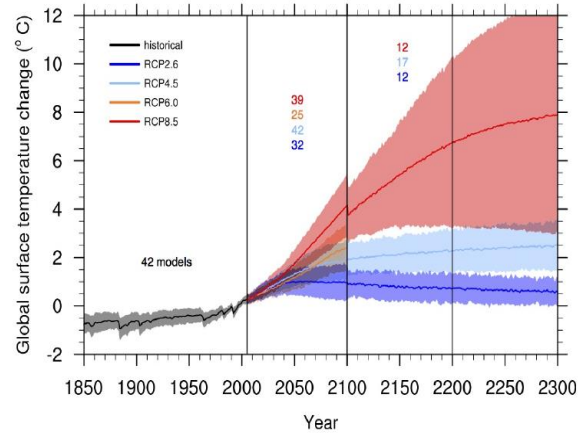
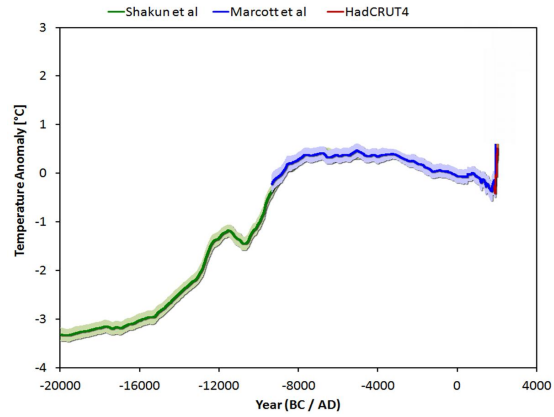


Temperatura globu dawniej i w bliskiej przyszłości

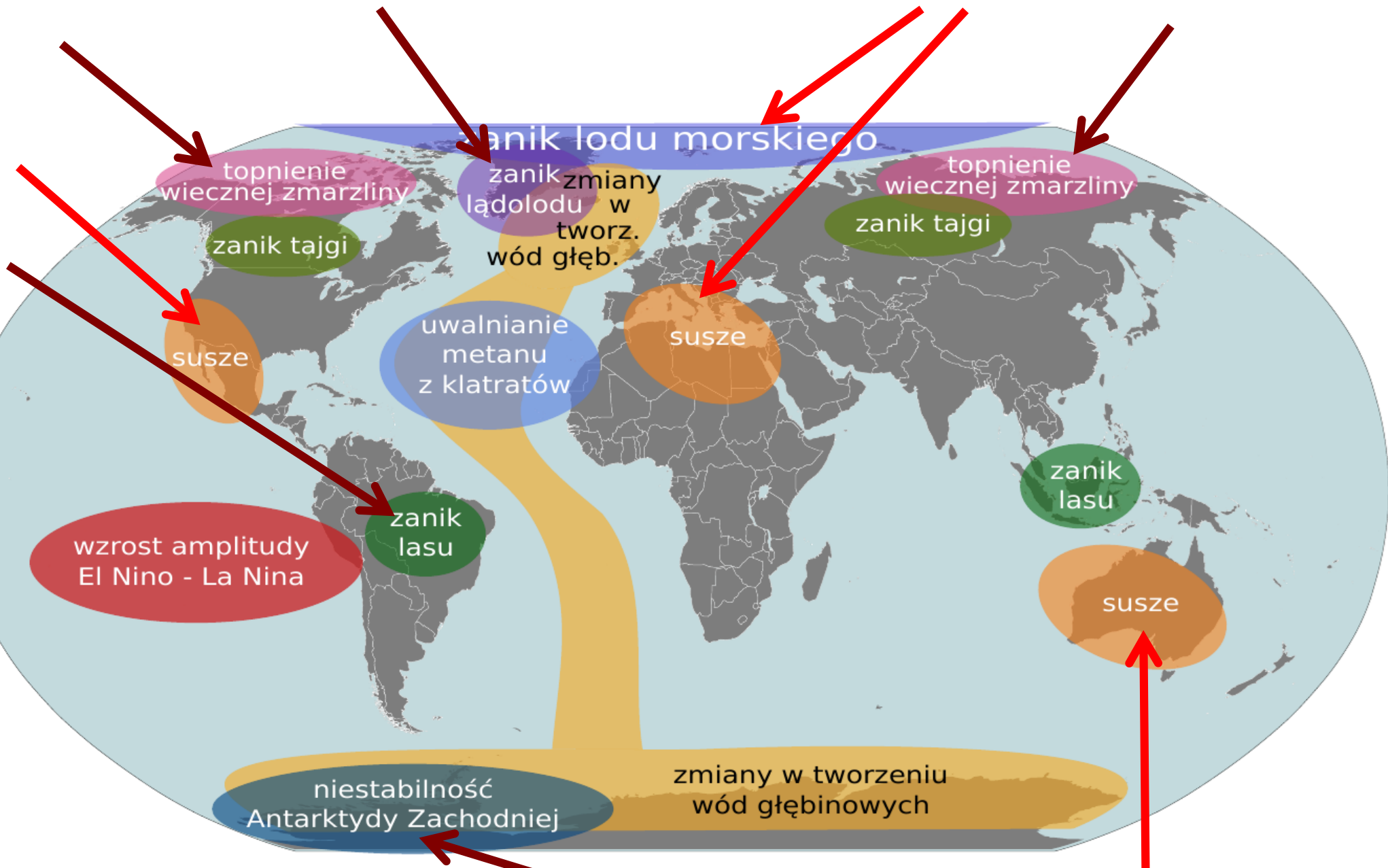
Temperature of Planet Earth



Glacja, Holocen i Antropocen



Punkty krytyczne – tipping points – już blisko?



od jakiegoś czasu
prawdopodobnie od teraz



Global Warming



Destroying... please wait.



1960

2035

Cancel