

Globalne ocieplenie okiem fizyka



Szymon Malinowski
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
oraz
naukaoklimacie.pl



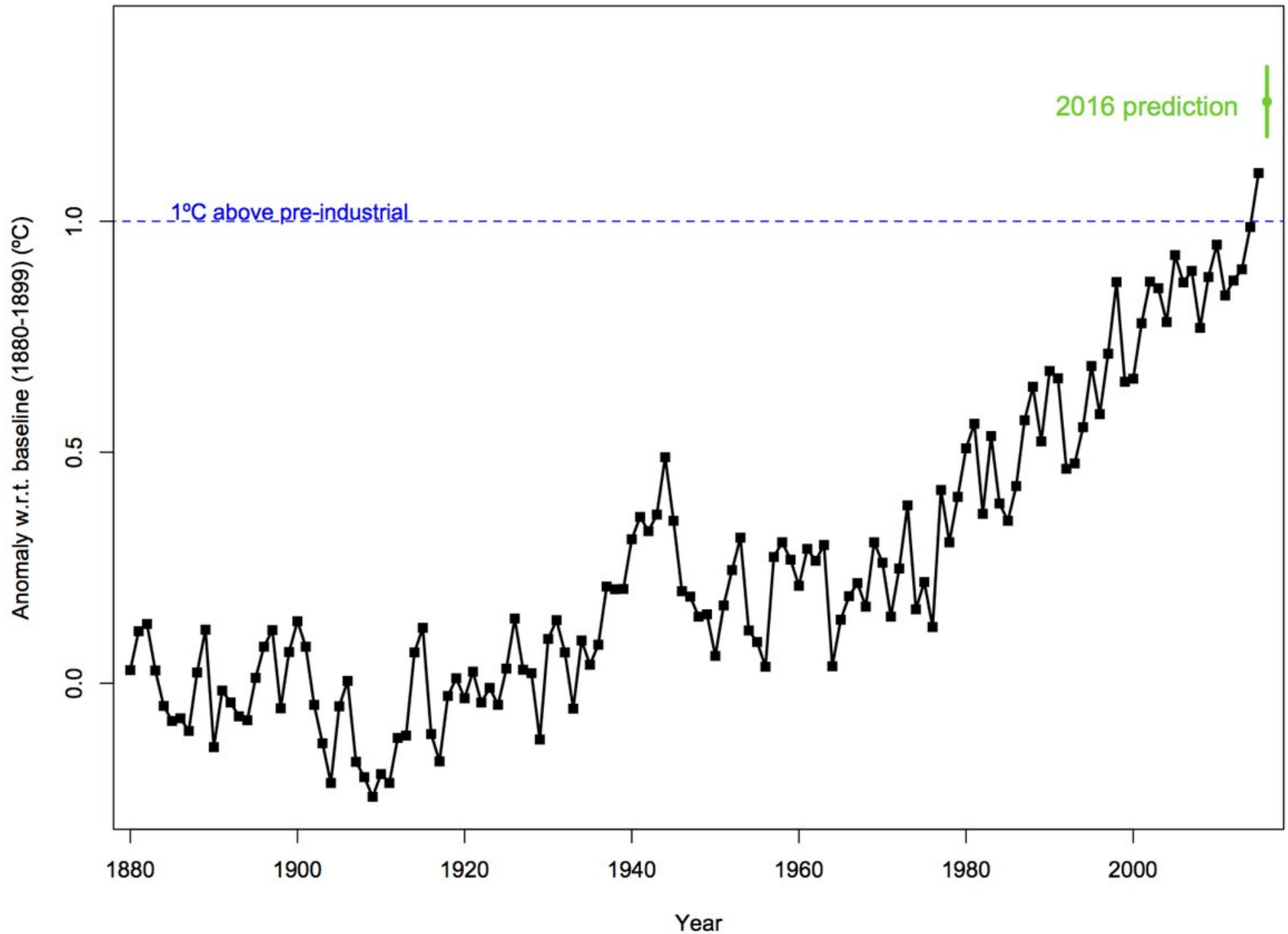
29 września 2016



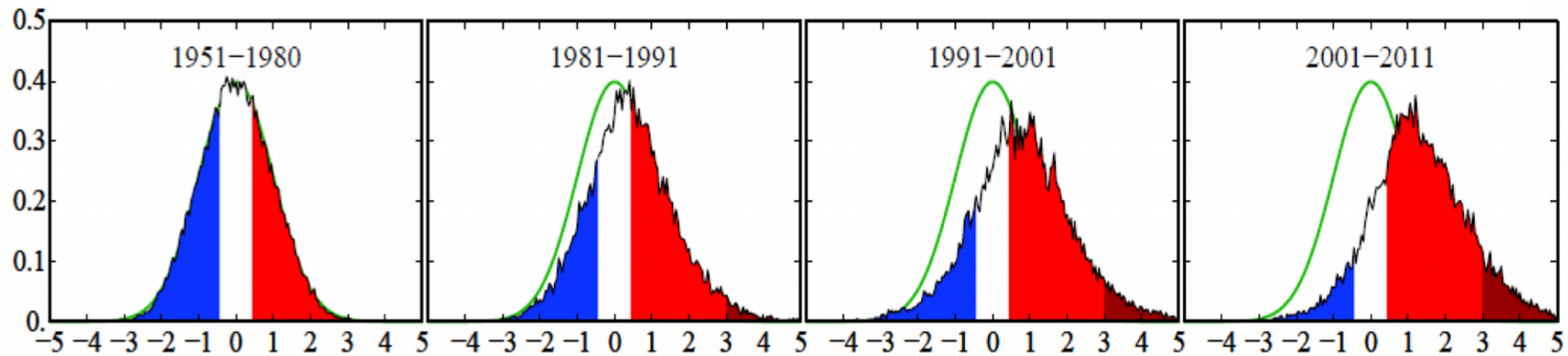
NAUKA O KLIMACIE
DLA SCEPTYCZNYCH



Zmiany średniej temperatury powierzchni Ziemi (GISTEMP)

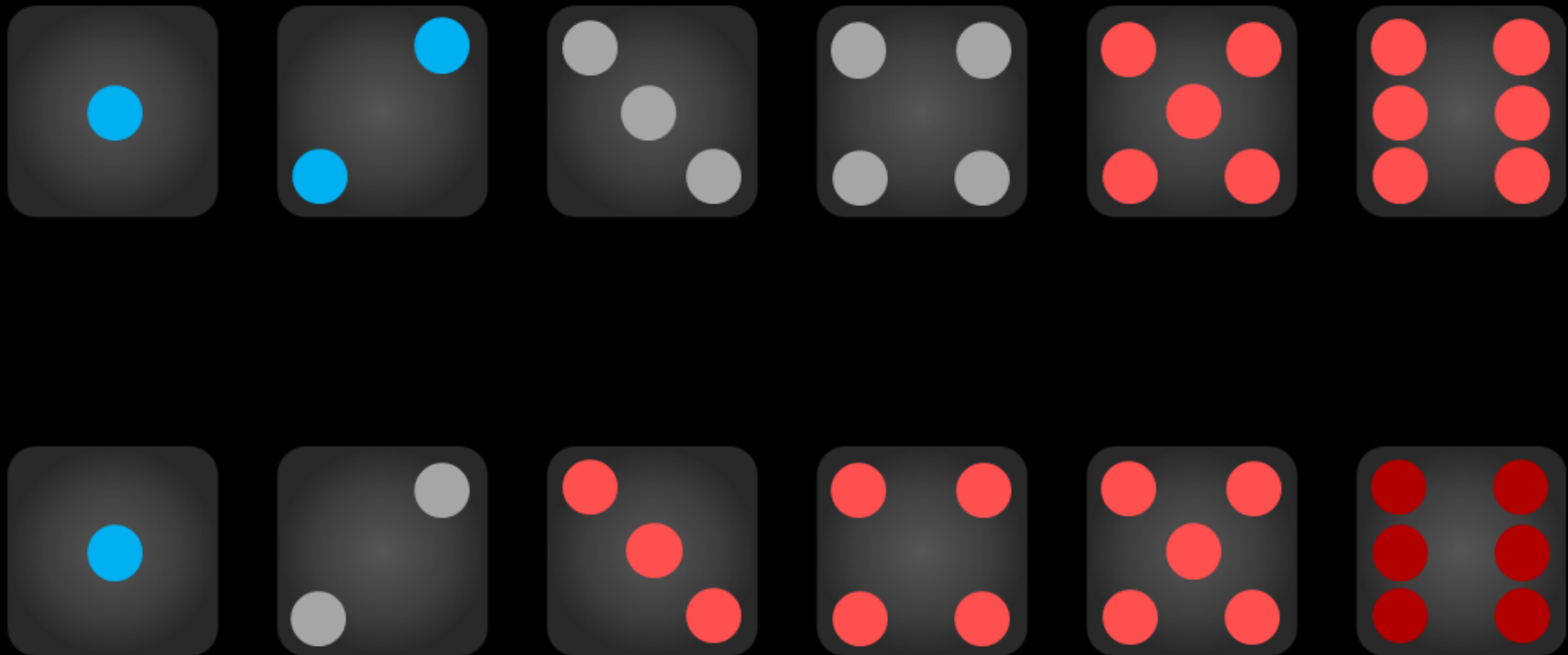


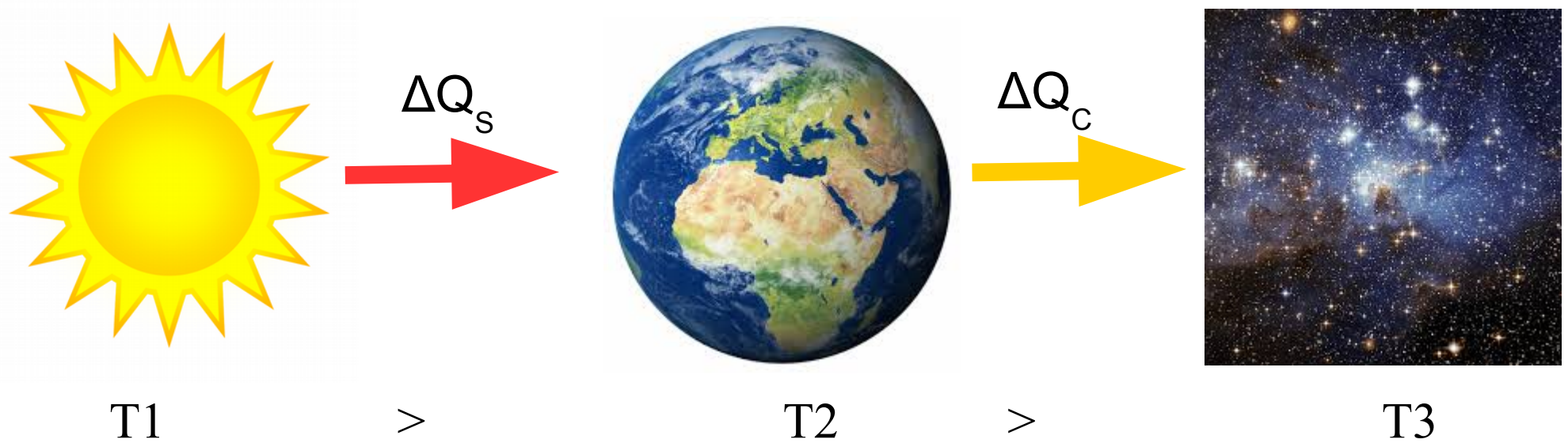
Zmiany rozkładu temperatur lata na półkuli północnej (względem rozkładu z lat 1951–1980)



Credit: James Hansen, NASA Goddard Institute for Space Studies

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



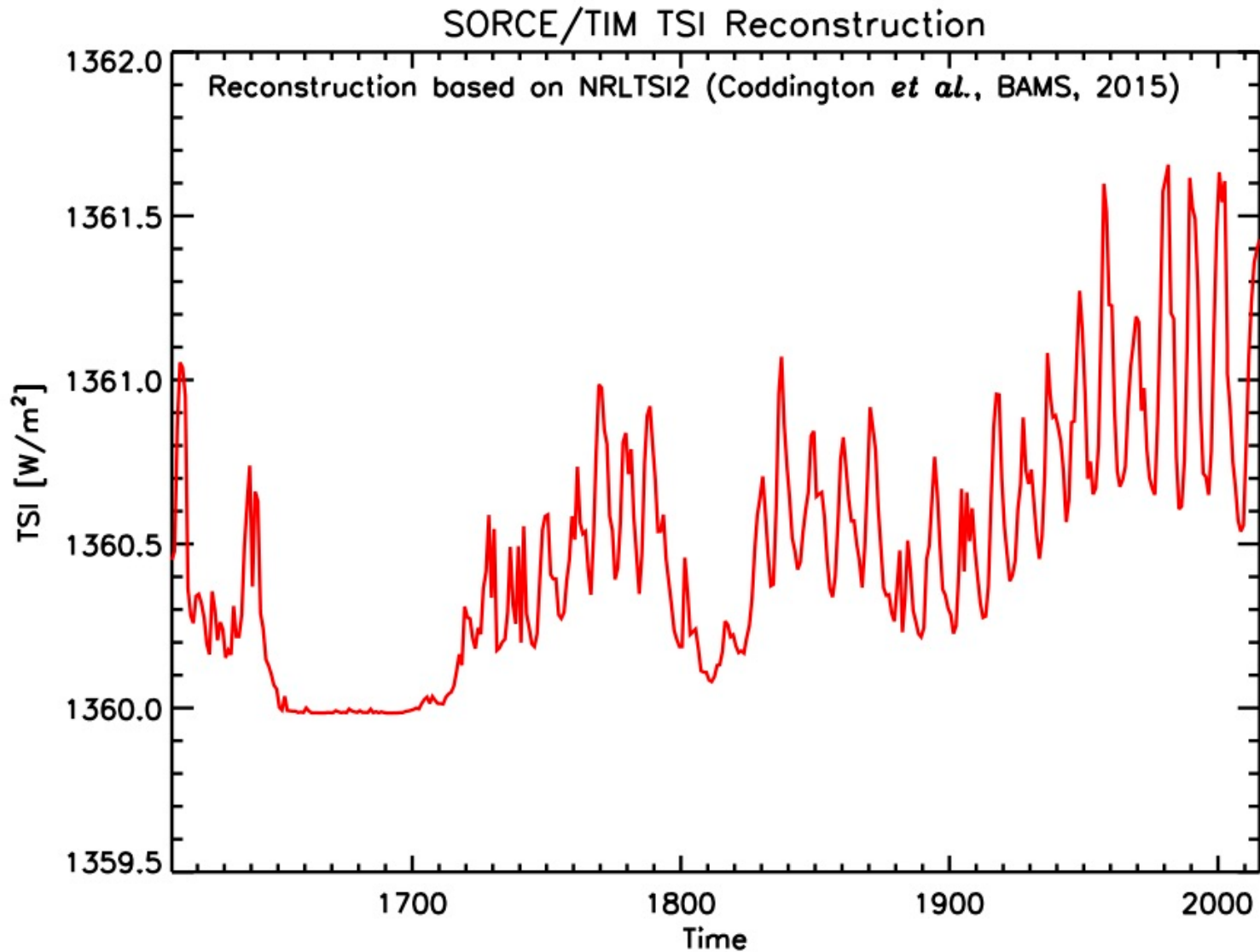


Aby temperatura Ziemi była stała strumień ciepła otrzymywanego przez Ziemię od Słońca ΔQ_s ($/\Delta t$) musi być równoważony strumieniem ciepła oddawanym przez Ziemię w kosmos ΔQ_c ($/\Delta t$).

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?



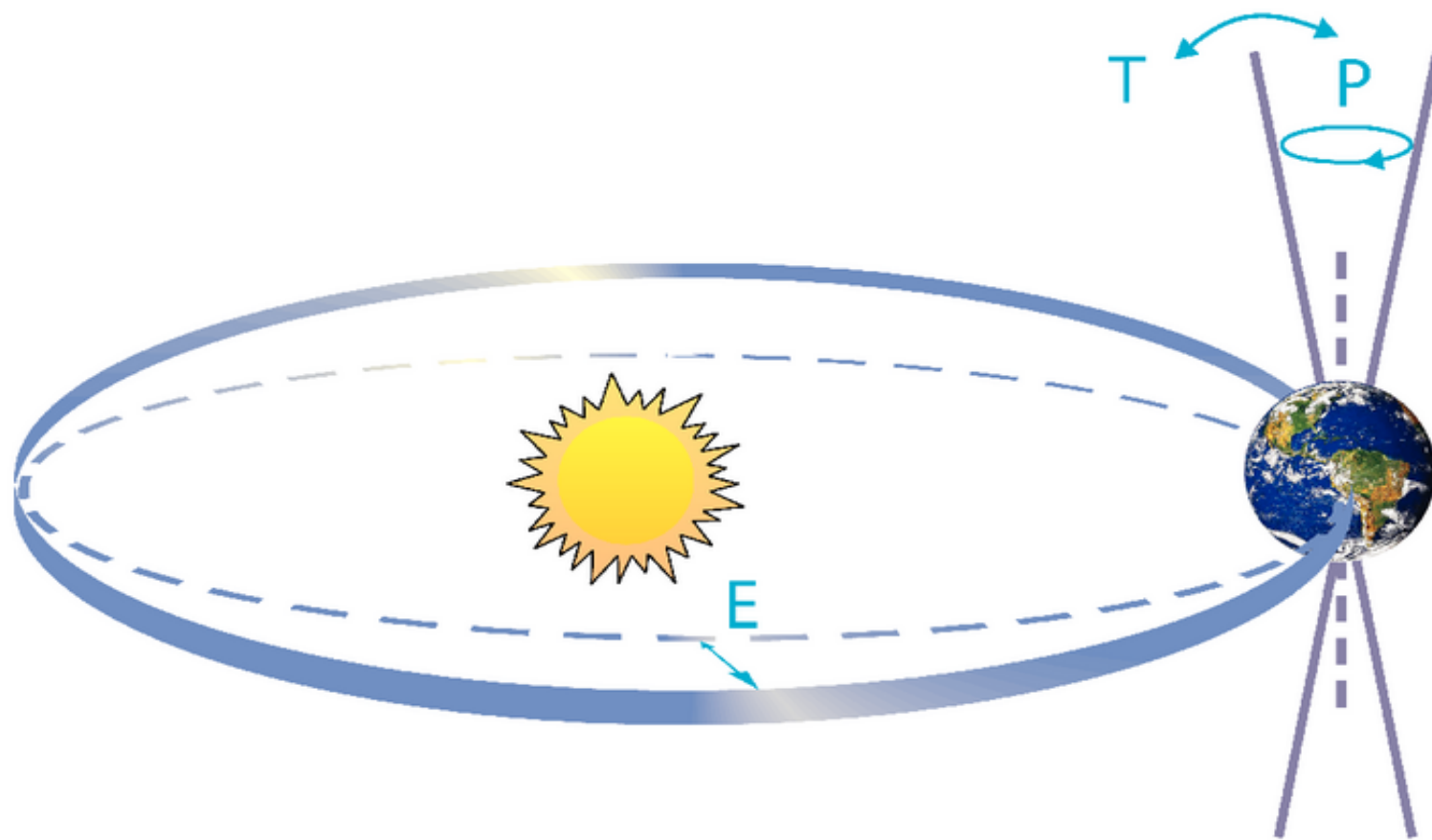
G. Kopp, 14 Apr. 2016

zmiany:

$\sim 0.1\%$
($\sim 1 \text{ W/m}^2$)

max $\pm 0.1 \text{ K}$

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



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

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

Ale niedawno (geologicznie)
zmiany temperatury globu o 4-5 K!
Epoki lodowcowe!





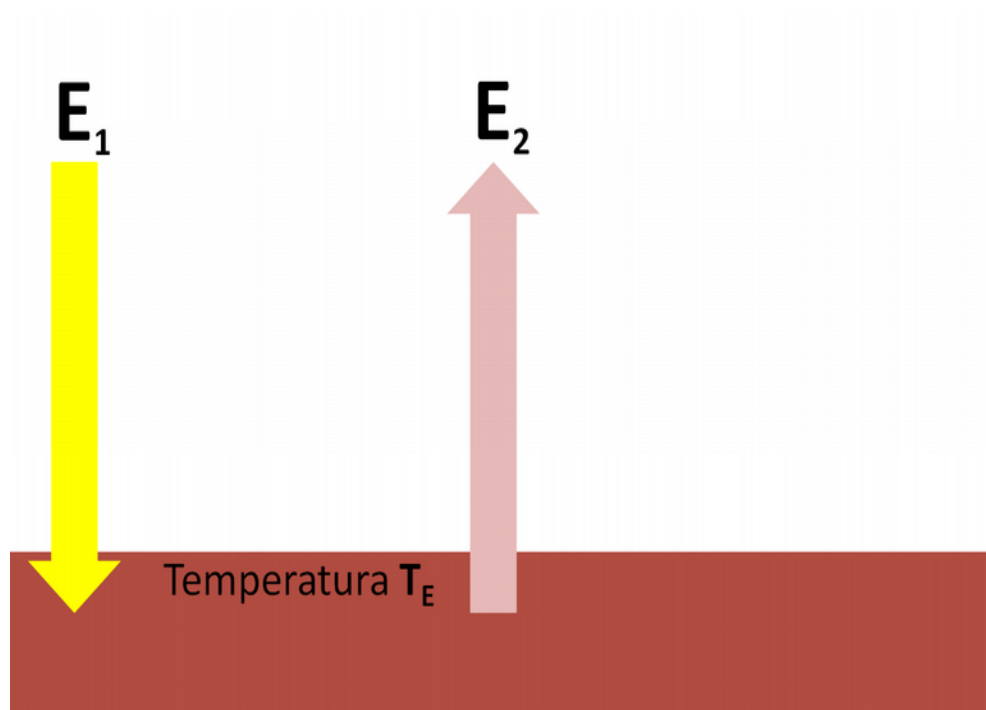


atmosfera

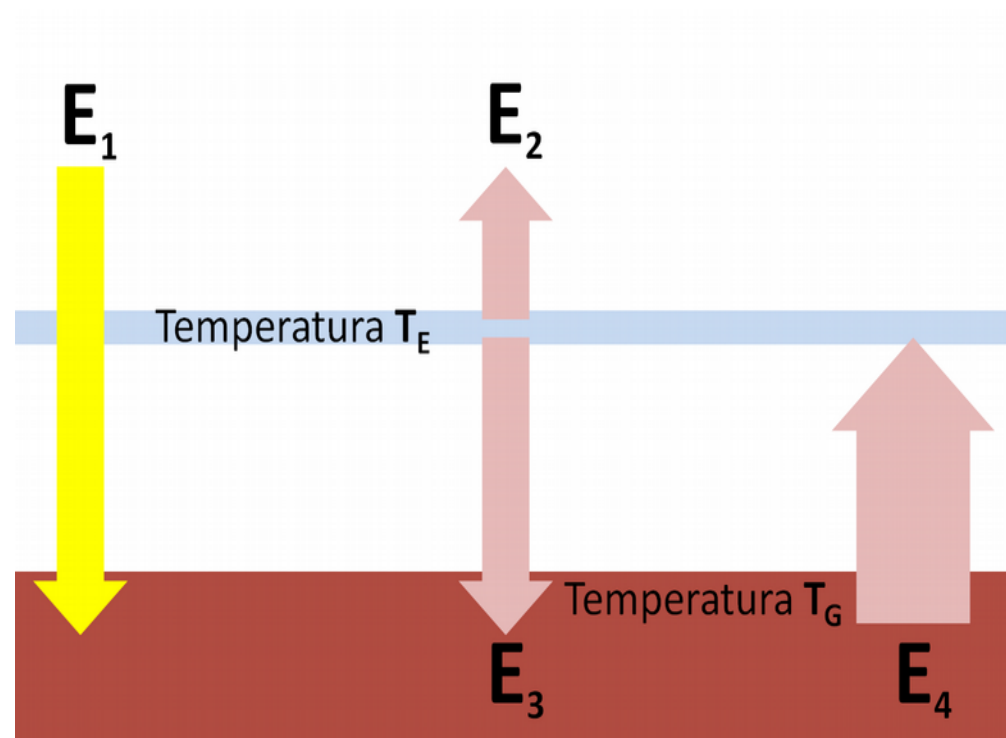


10m wody

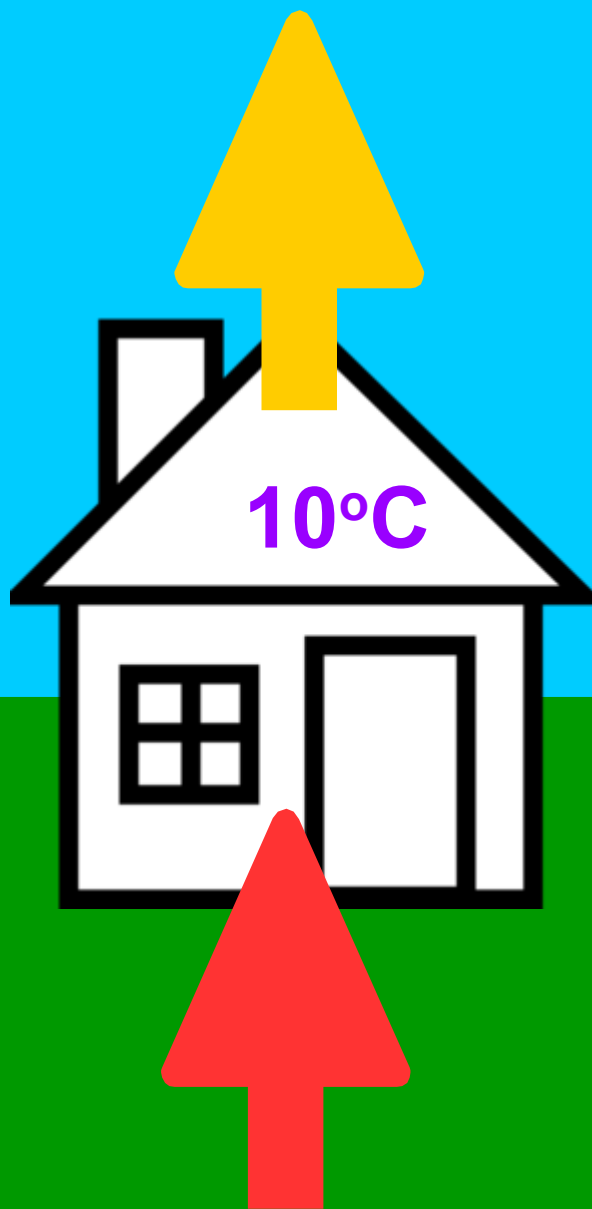
Efekt cieplarniany – jak to działa



$$E_1 = E_2$$

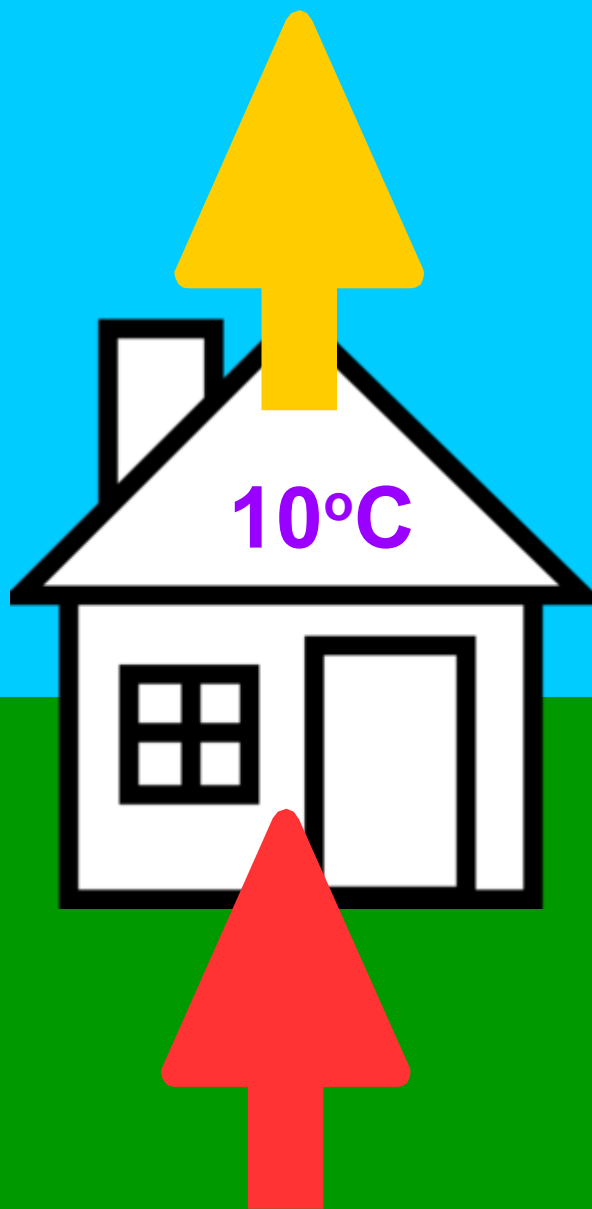


$$E_1 = E_2 = E_3$$
$$E_4 = E_1 + E_3$$

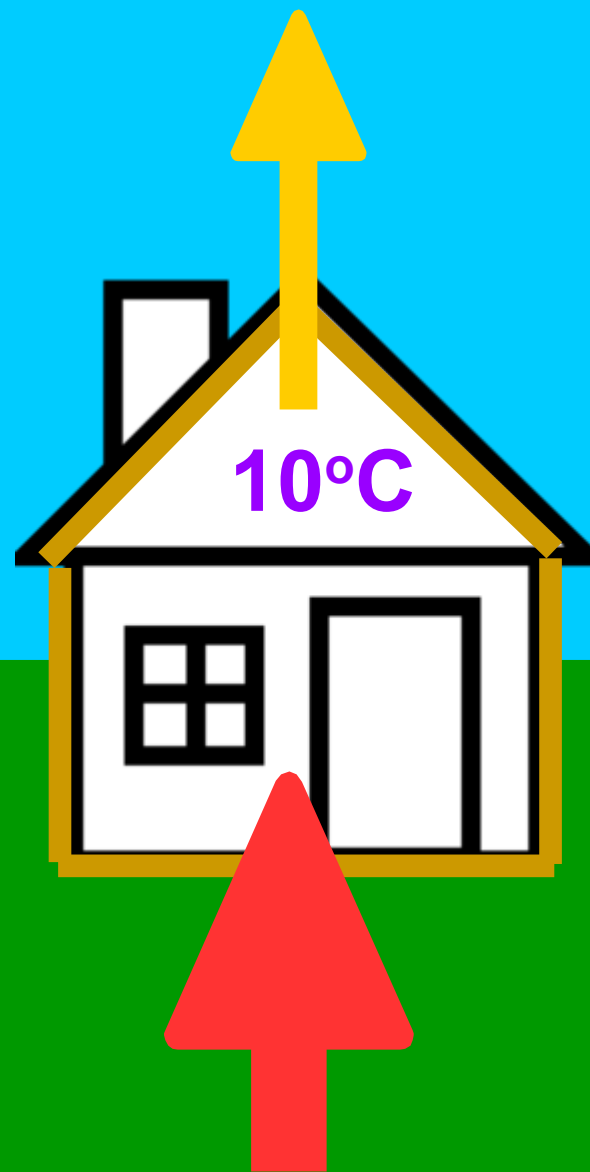


10°C

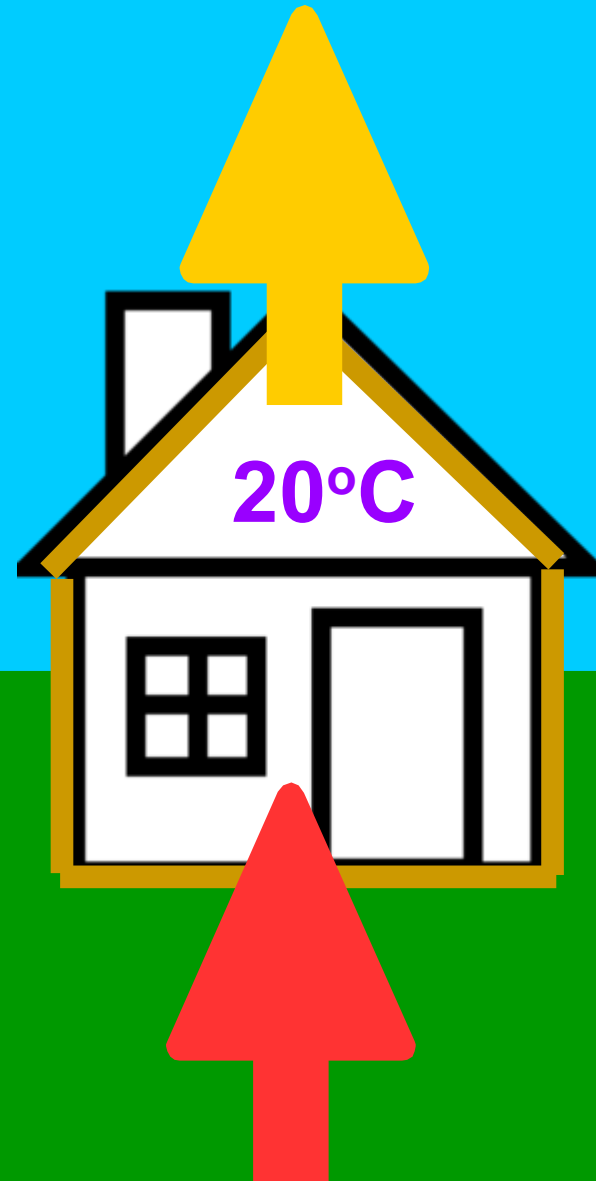
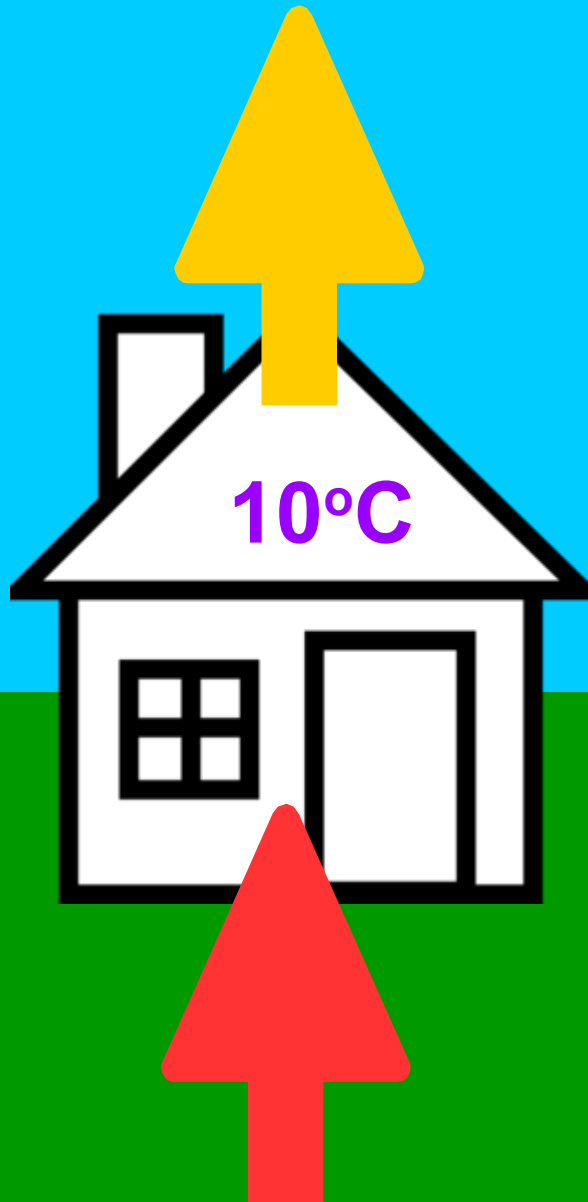
0°C

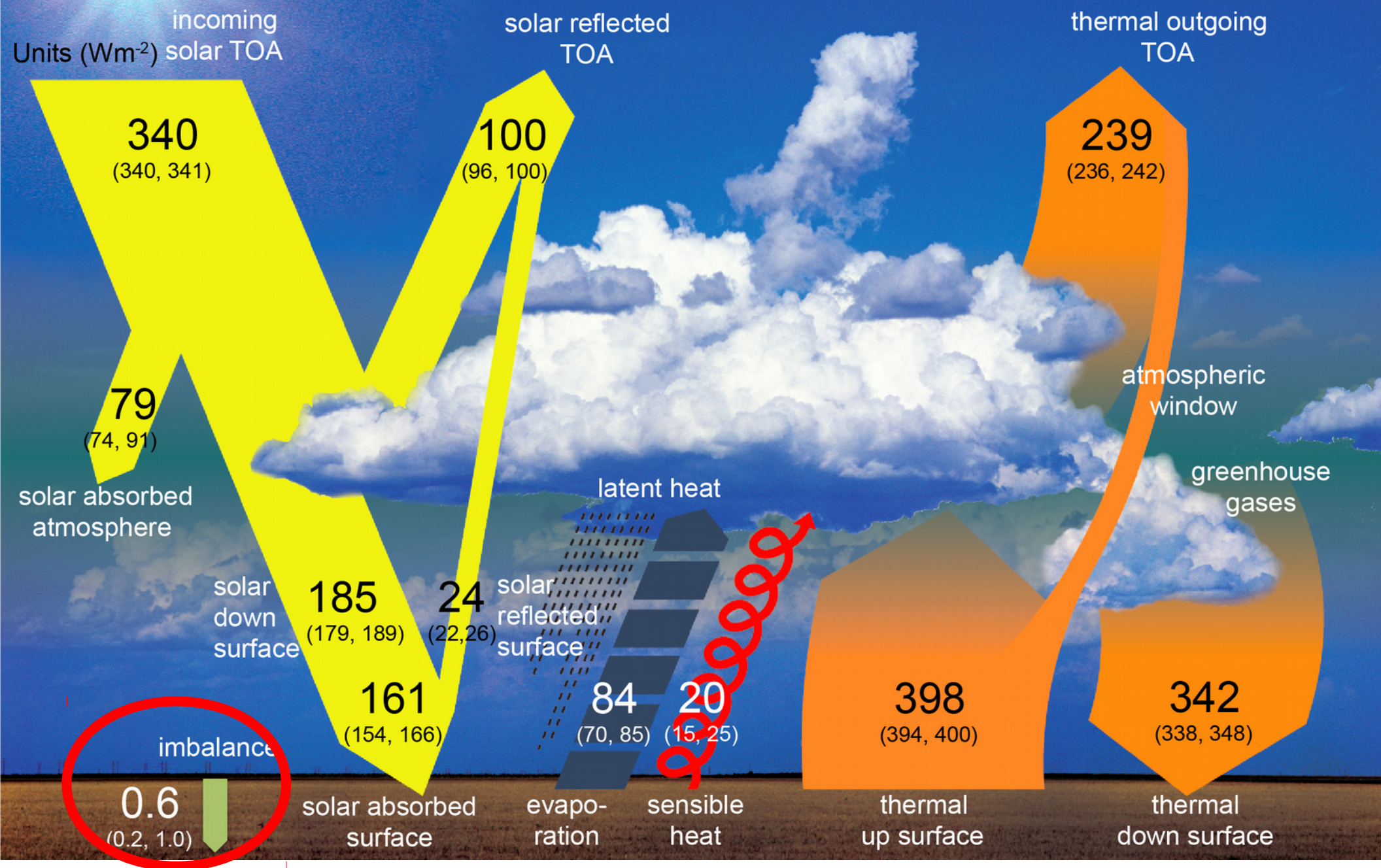


0°C



0°C

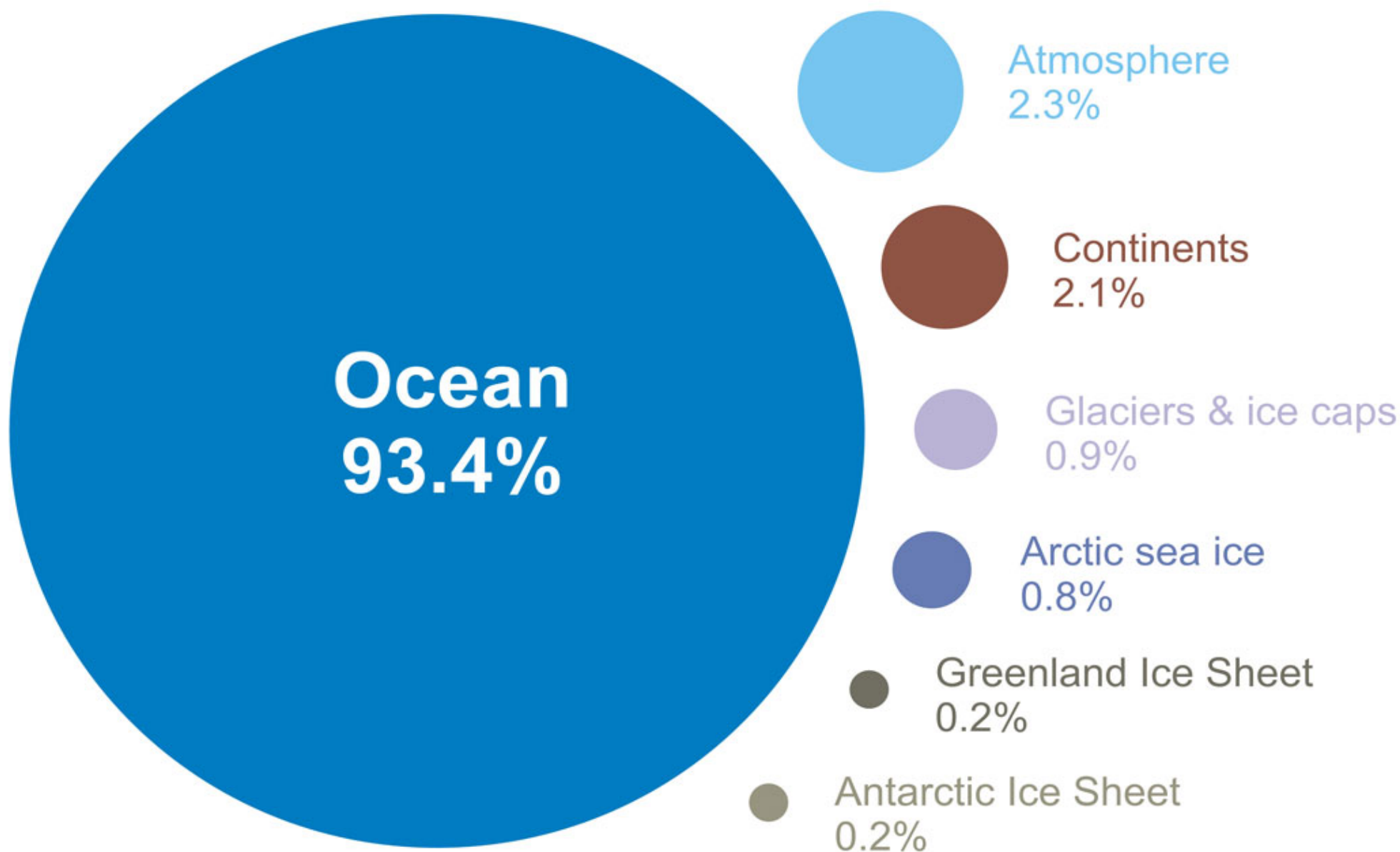


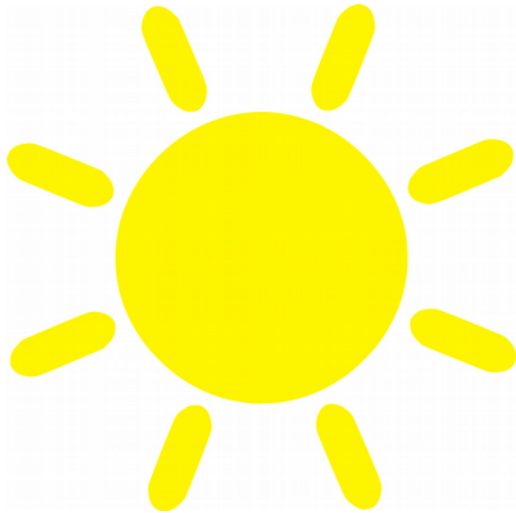


Uśredniony bilans energii systemu klimatycznego. Wartości w W/m^2 .
 W nawiasach zakres niepewności i zmienności.

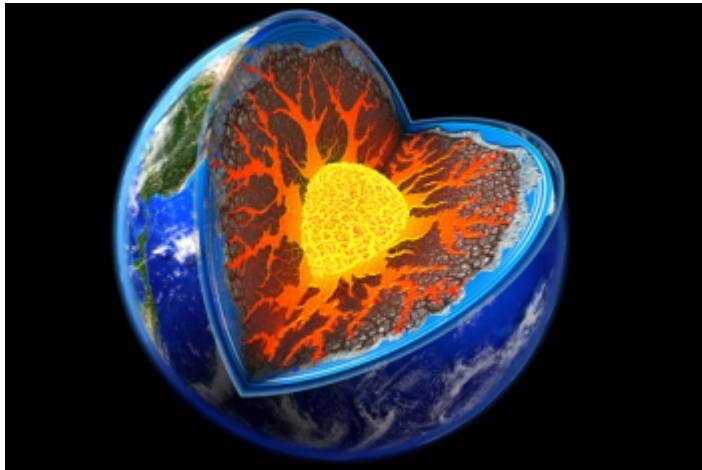
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Gdzie gromadzi się nierównowagowa nadwyżka energii?





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

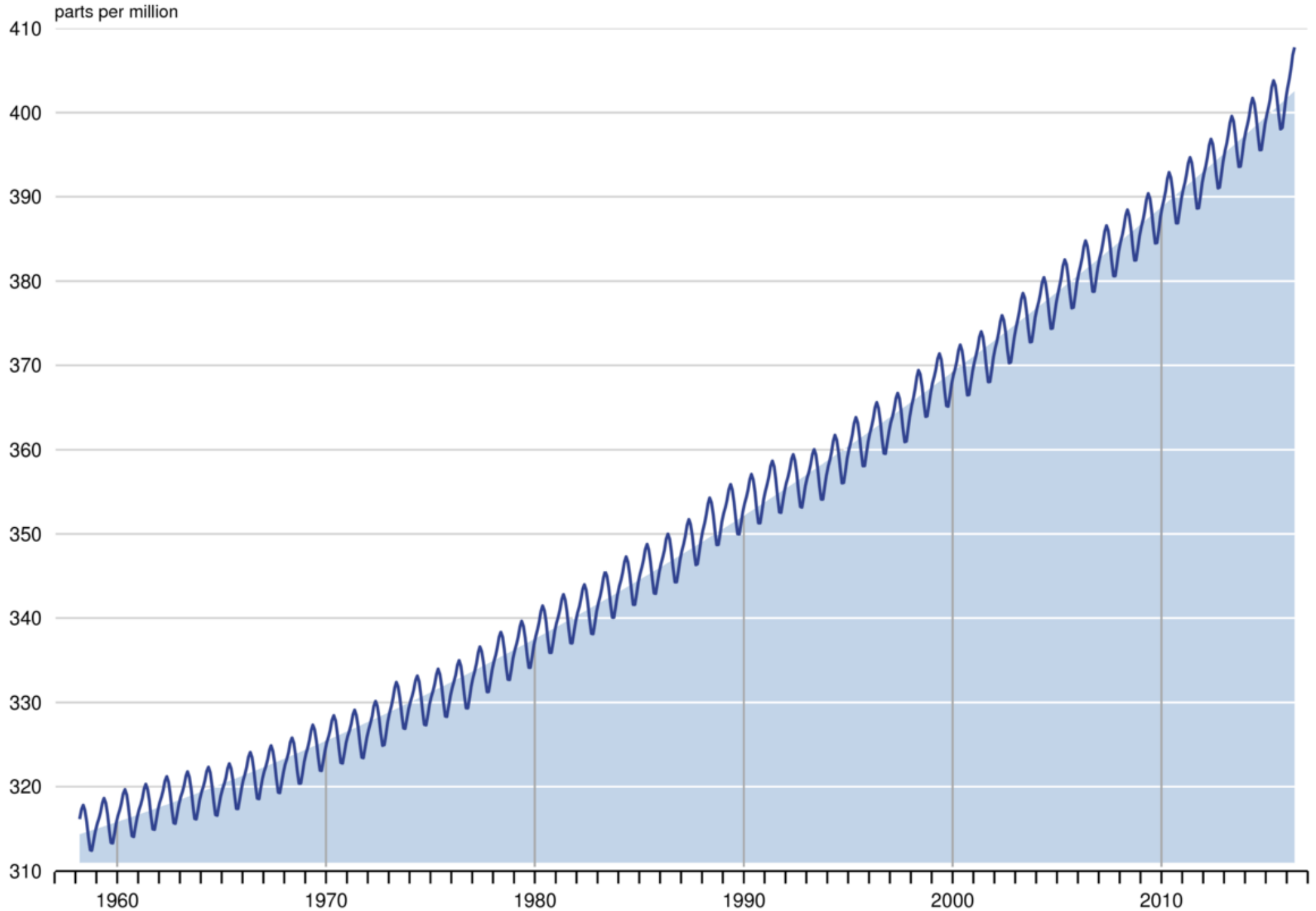


$\sim 0.1 \text{ W/m}^2$

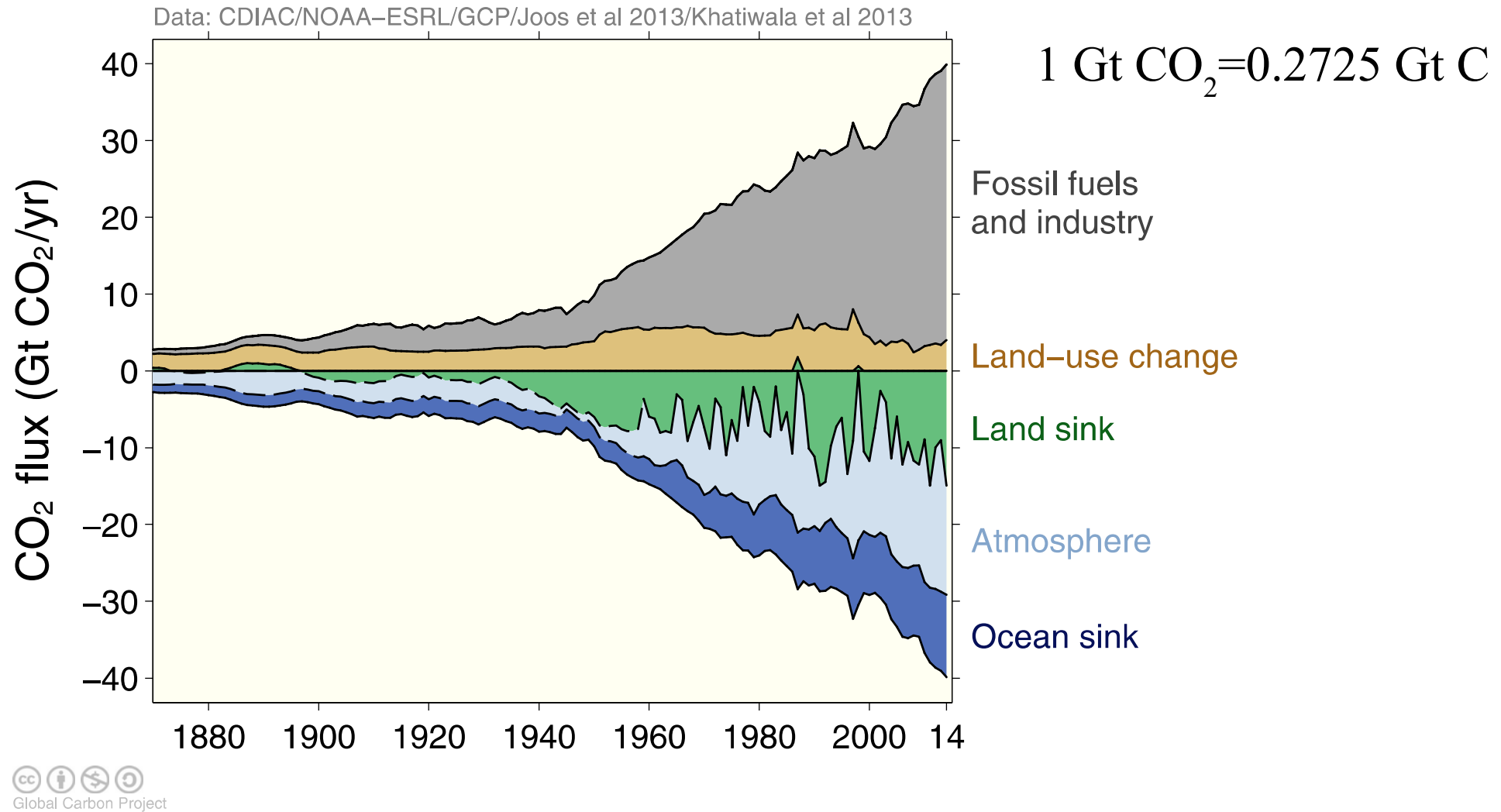


$\sim 0.025 \text{ W/m}^2$

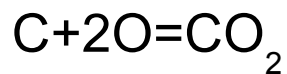
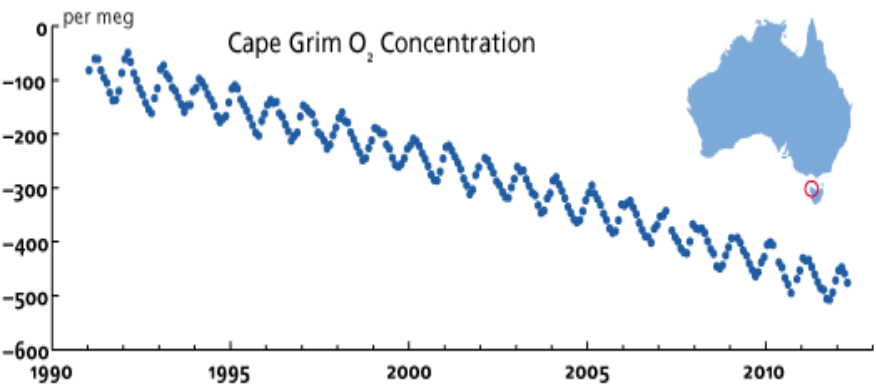
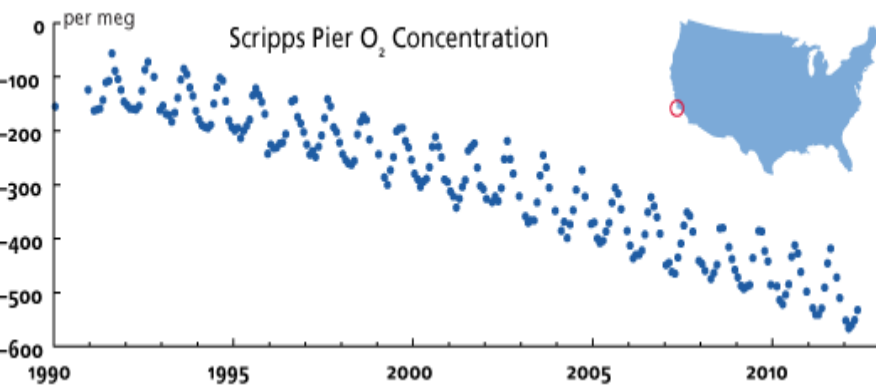
Zmiany koncentracji CO₂ w atmosferze (ppm – cząsteczki na milion)



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

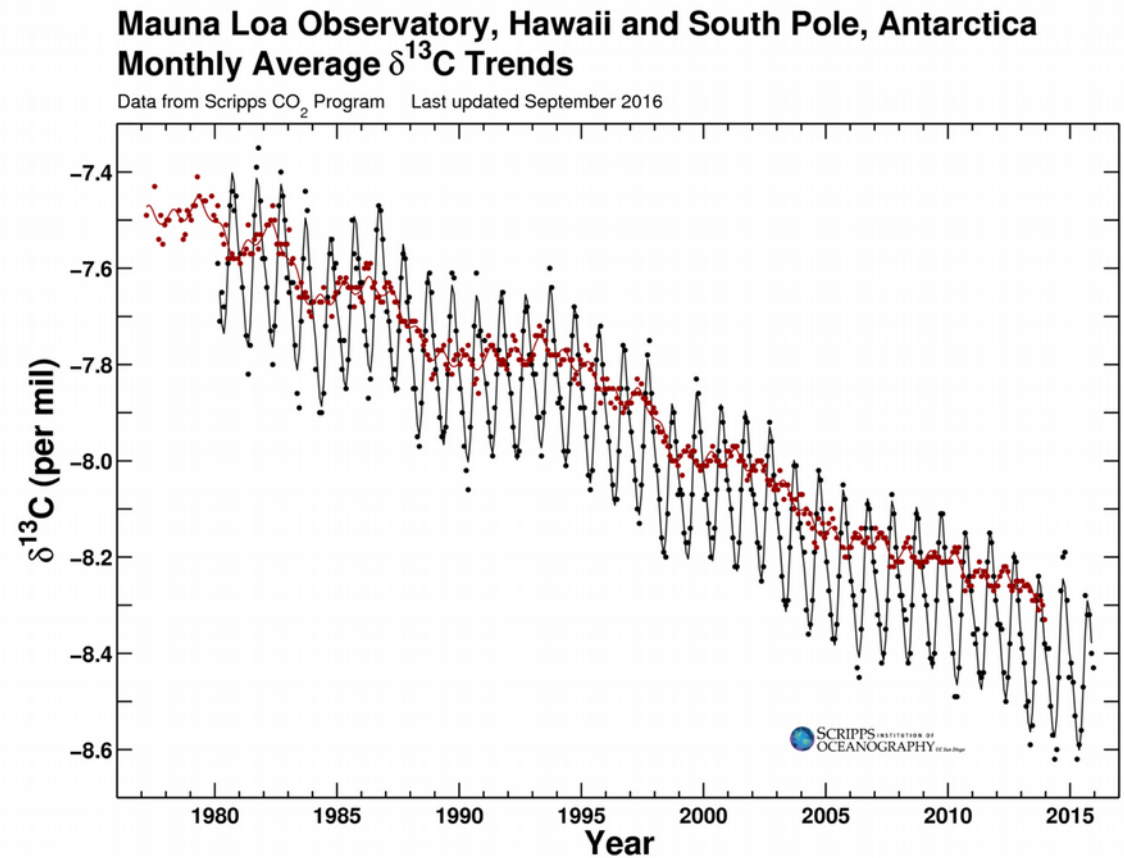


Inne dowody na antropogeniczność nadwyżki CO₂ w systemie klimatycznym.



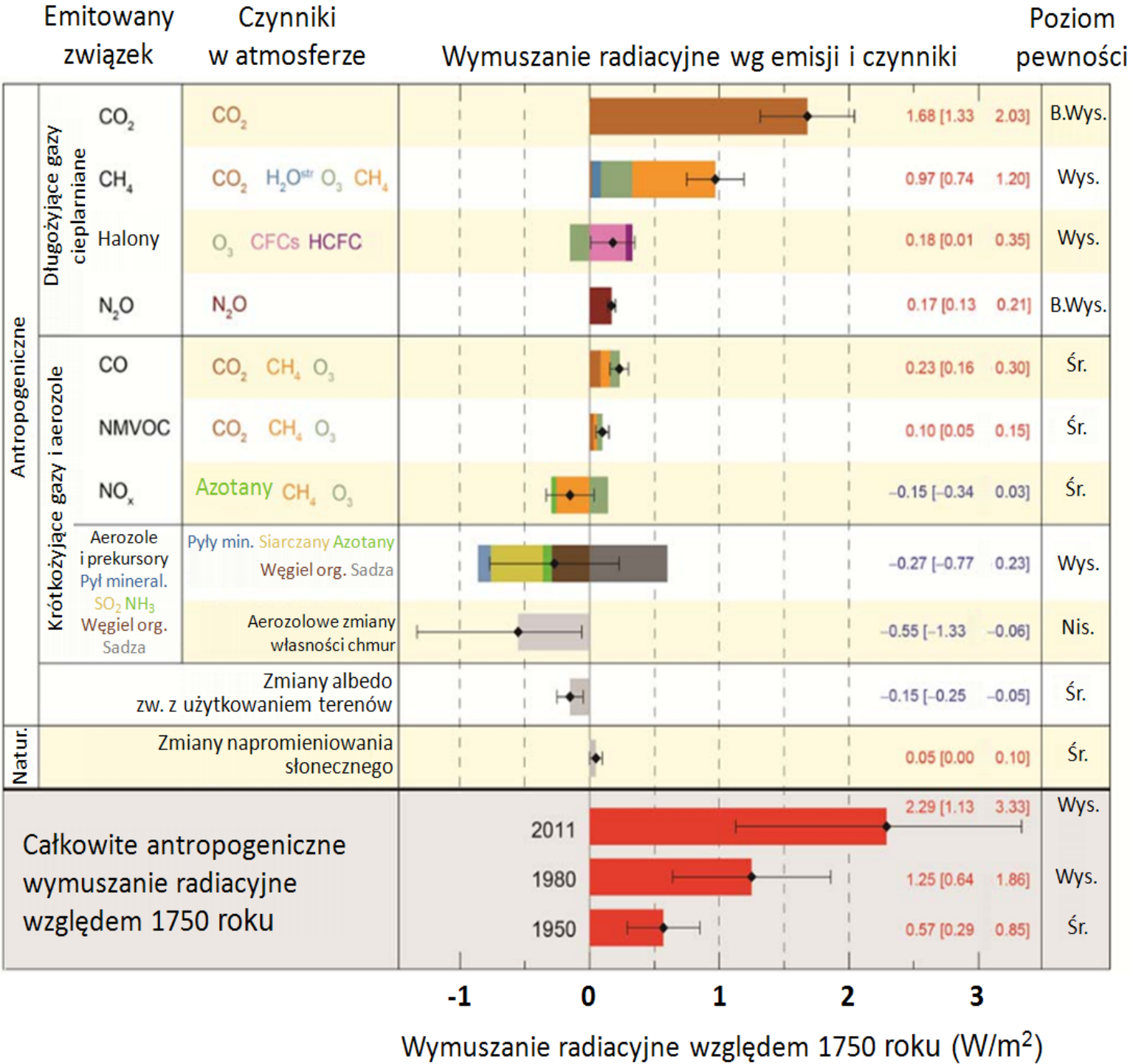
Spada stosunek O₂/N₂ w powietrzu.

Spada stosunek ¹³C/¹²C .



Wymuszanie radiacyjne:

jak zmieniły się strumienie promieniowania w systemie klimatycznym od 1750r. wskutek zmian składu atmosfery, zmian albedo, zmian w dopływie promieniowania słonecznego.



Wymuszenia i sprzężenia 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.

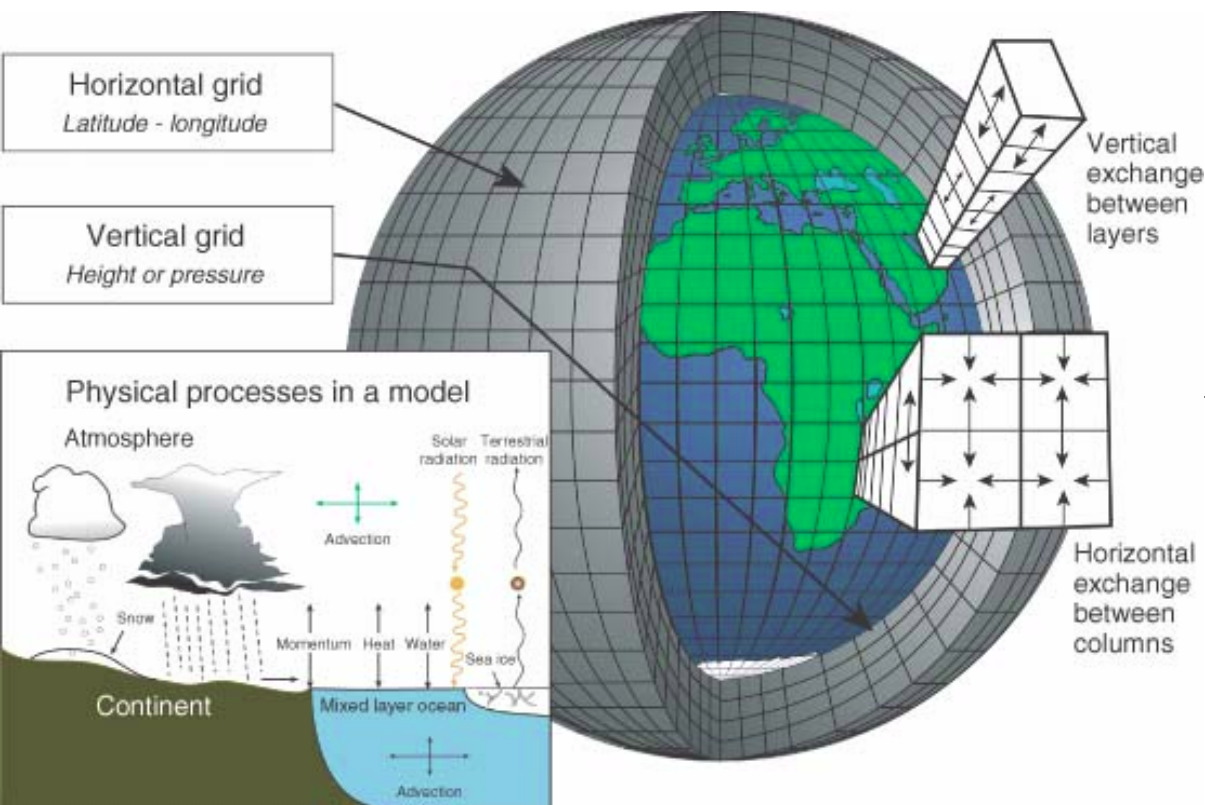
Przykłady: zmiany albedo wskutek pokrycia lodem, rozpuszczanie CO₂ w oceanie wskutek zmian temperatury.

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.

Modelowanie klimatu czyli budowa wirtualnej planety dzięki znajomości praw fizyki:



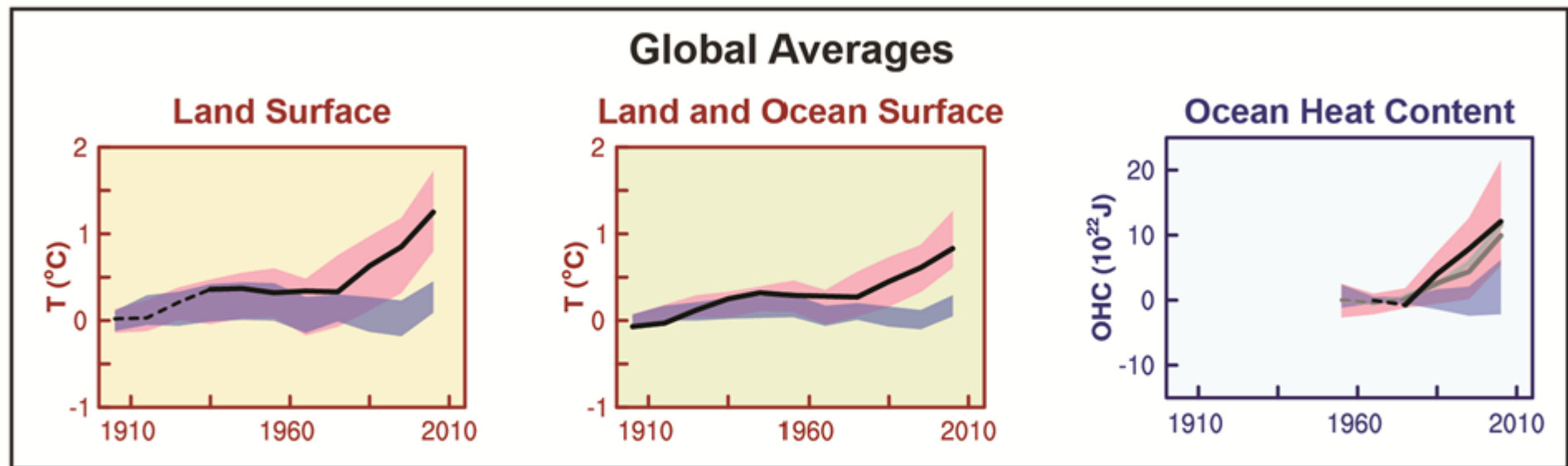
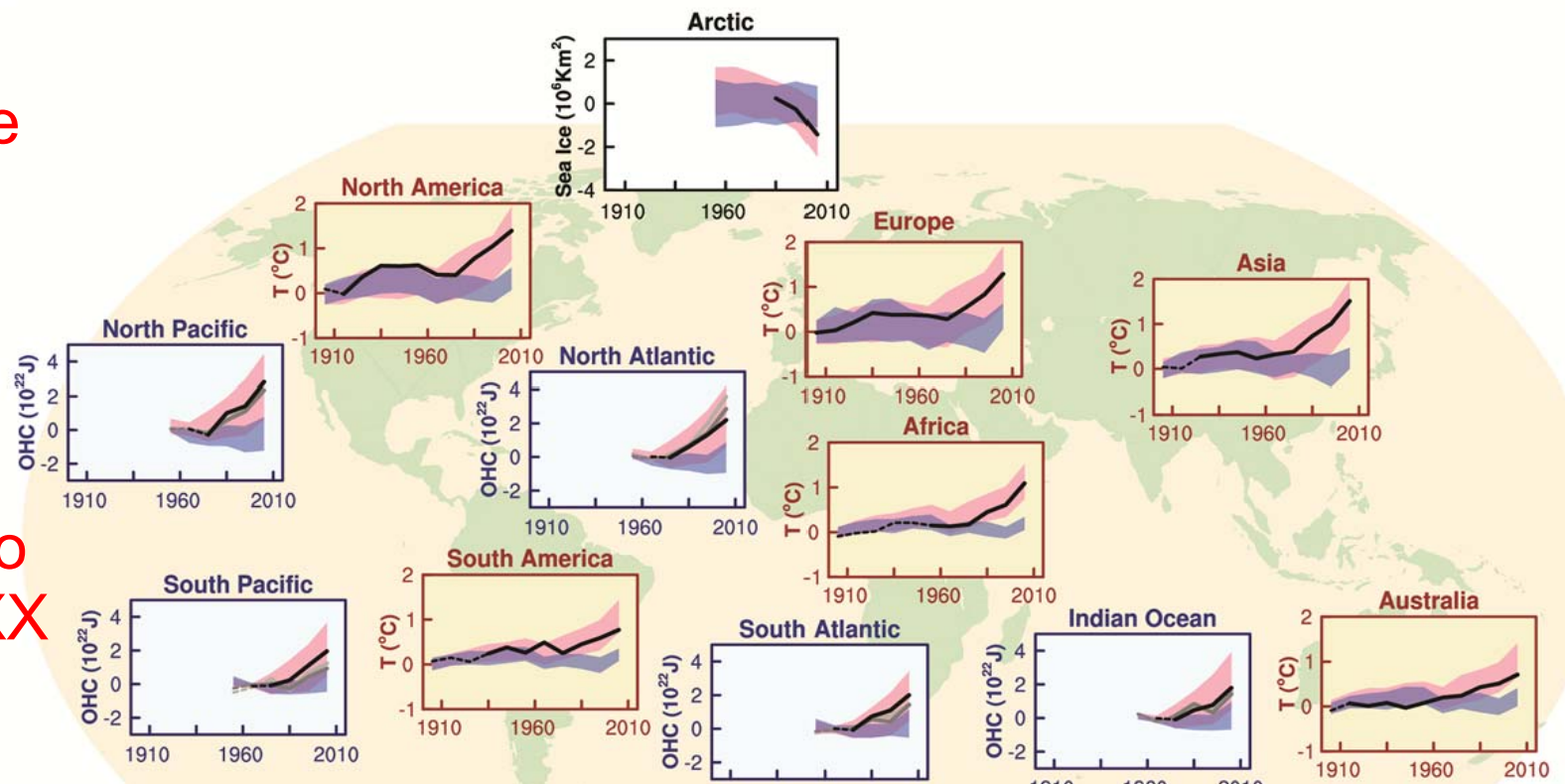
równania hydrodynamiki
równania termodynamiki
prawa transferu radiacyjnego
własności składników atmosfery
promieniowanie słoneczne
oddziaływanie z podłożem
przemiany chemiczne

układ równań modelu

„zakłęcie” w kod numeryczny
uwzględnienie danych
wielki superkomputer

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

Jest niezwykle prawdopodobne że działalność ludzka jest dominującą przyczyną ocieplenia obserwowanego od lat 50-tych XX wieku.



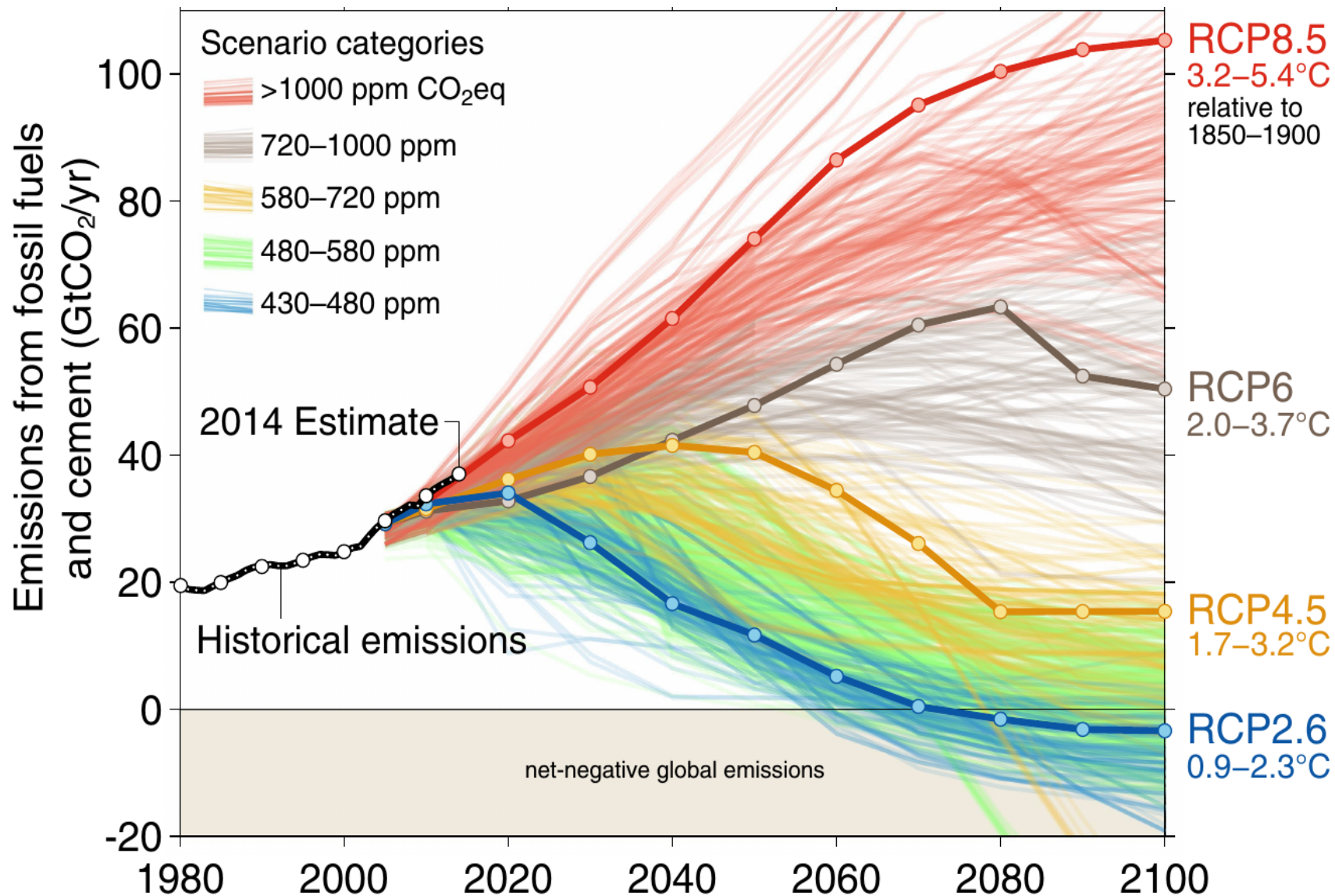
— Observations

■ Models using only natural forcings

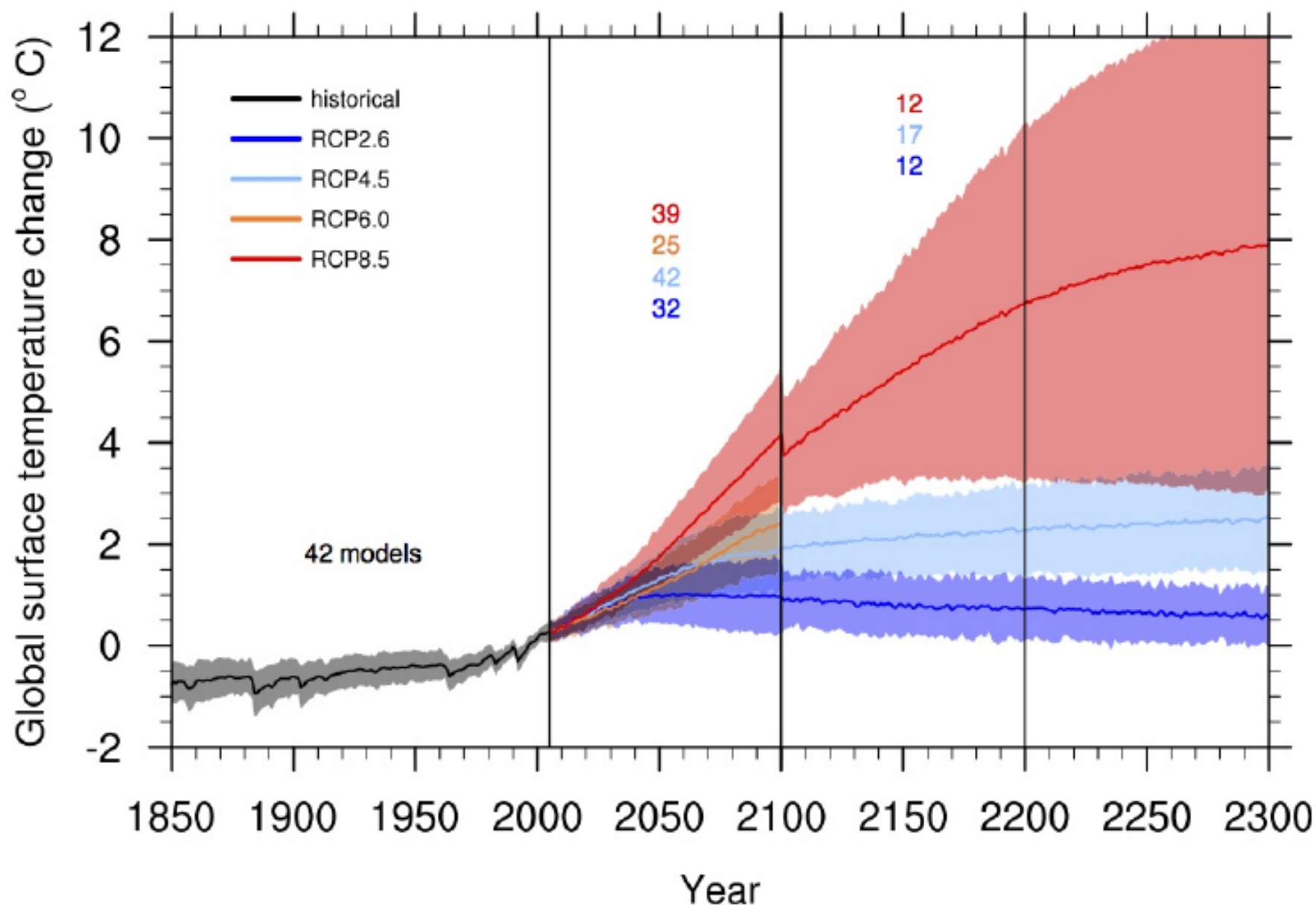
■ Models using both natural and anthropogenic forcings

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.

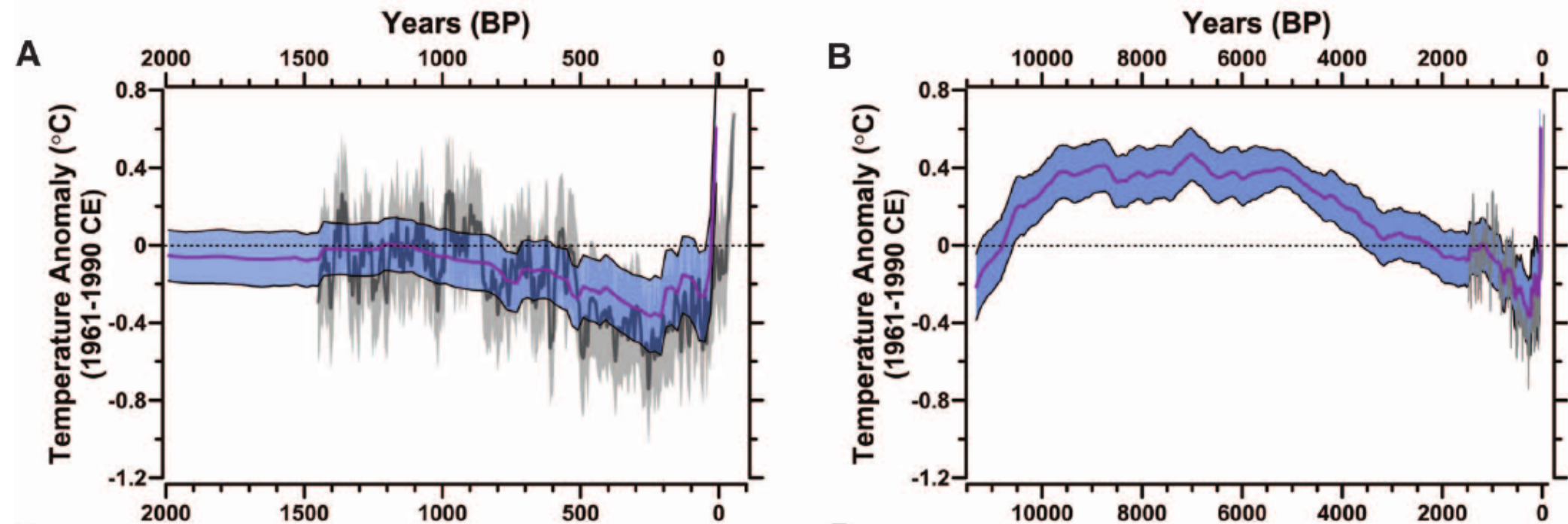


Anomalia średniej temperatury globu do roku 2300 przy różnych scenariuszach emisji



Jak to się ma w stosunku do historii naturalnej klimatu?

HOLOCEN

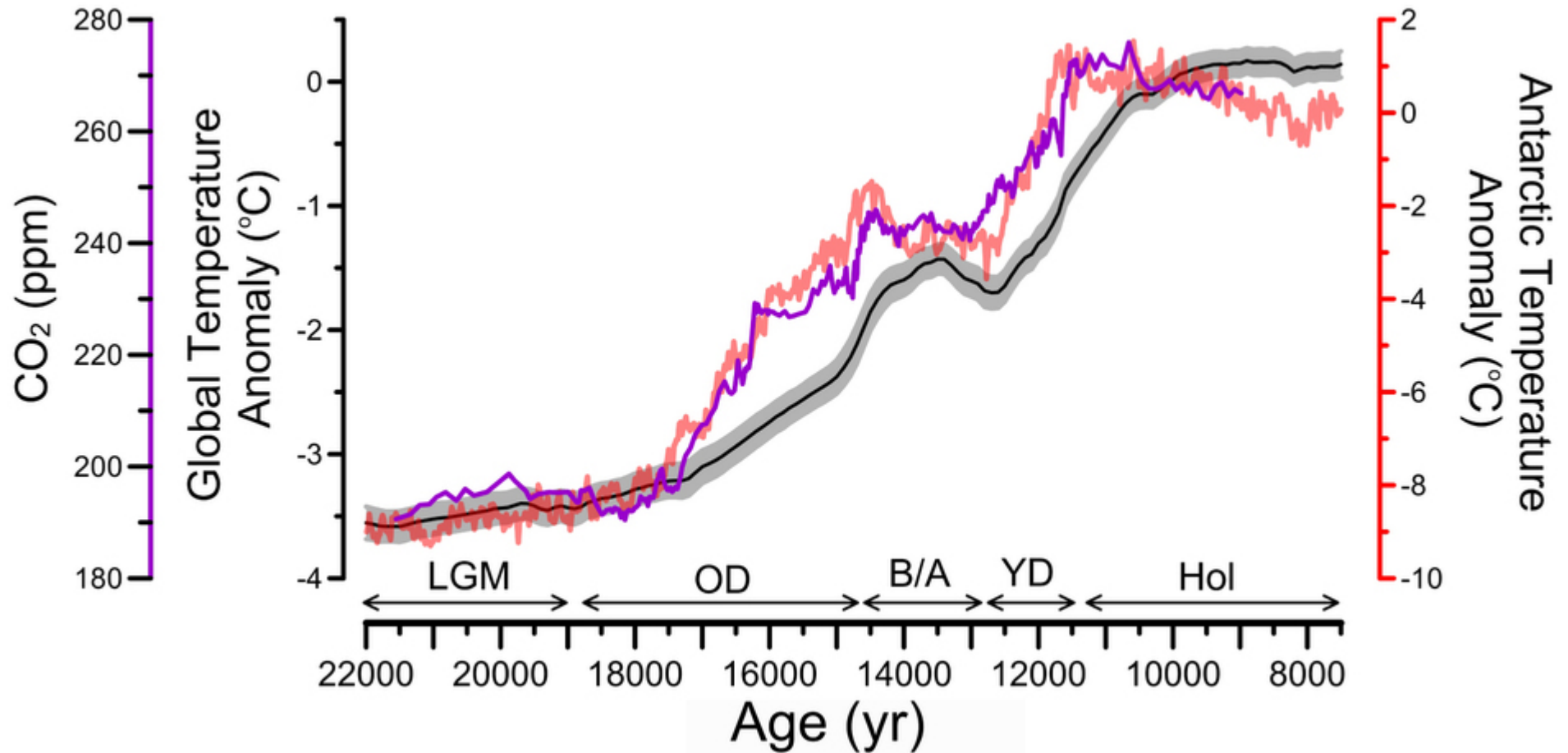


S A Marcott et al.
Science 2013;339:1198-1201



Published by AAAS

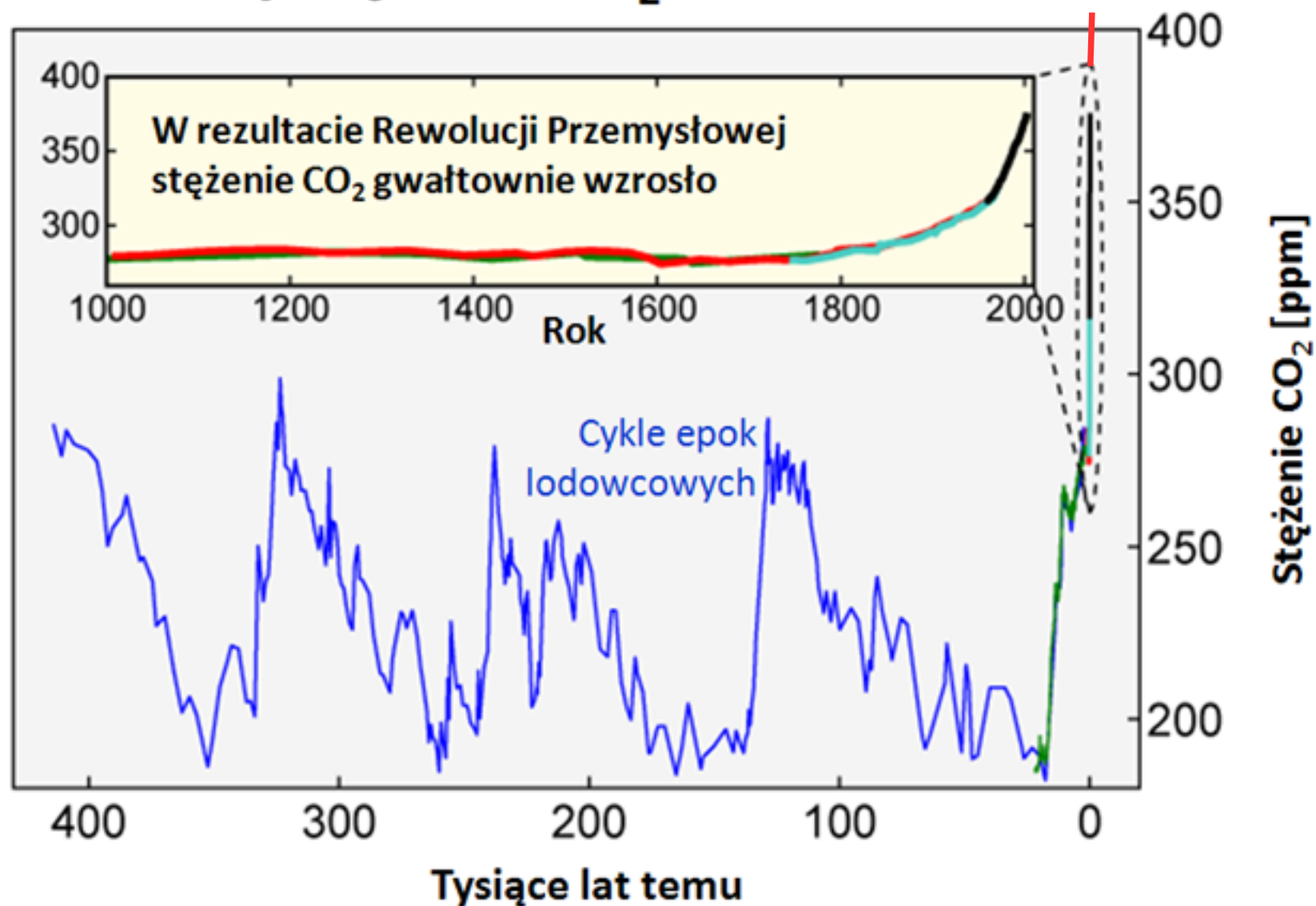
Wyjście z epoki lodowcowej



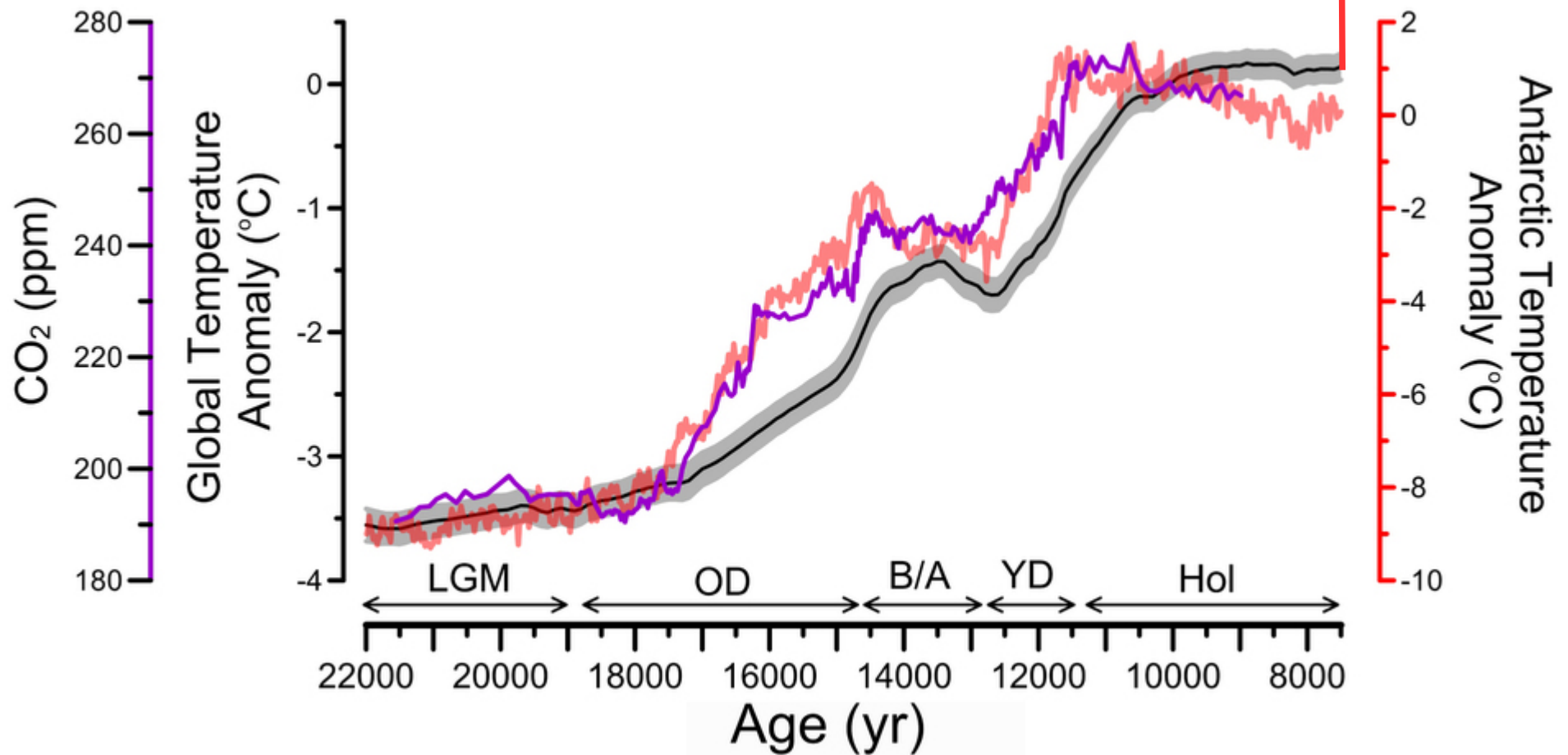
Centennial-scale changes in the global carbon cycle during the last deglaciation

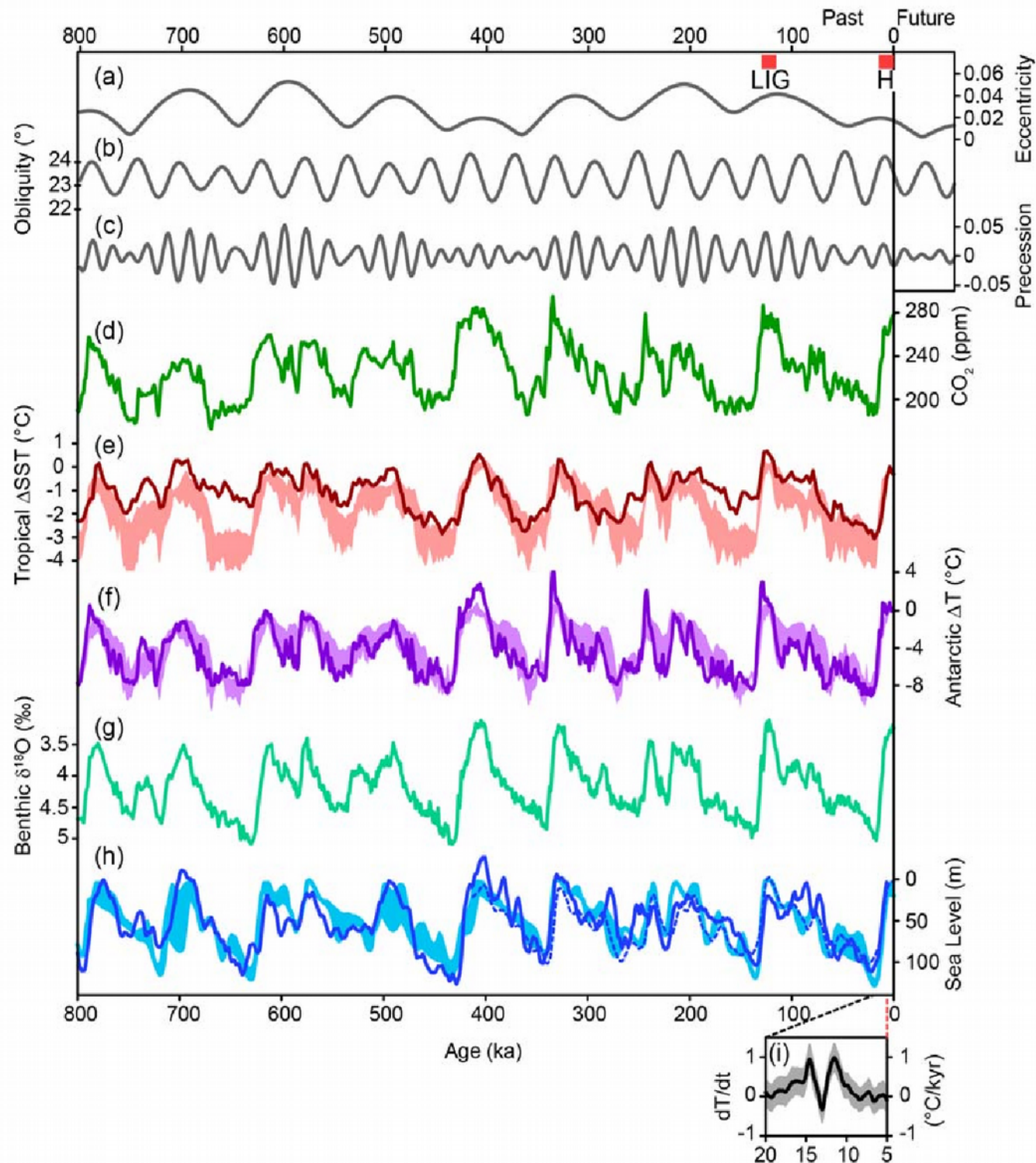
Shaun A. Marcott, i inni, Nature, 514, 616–619, (2014), doi:10.1038/nature13799

Zmiany stężenia CO₂ w atmosferze



Wyjście z epoki lodowcowej i „bezpieczny” próg ocieplenia





Dane paleoklimatyczne:

Czarne – wymuszenia orbitalne,
Zielone – wymuszenia CO₂ (na podstawie rdzeni lodowych)

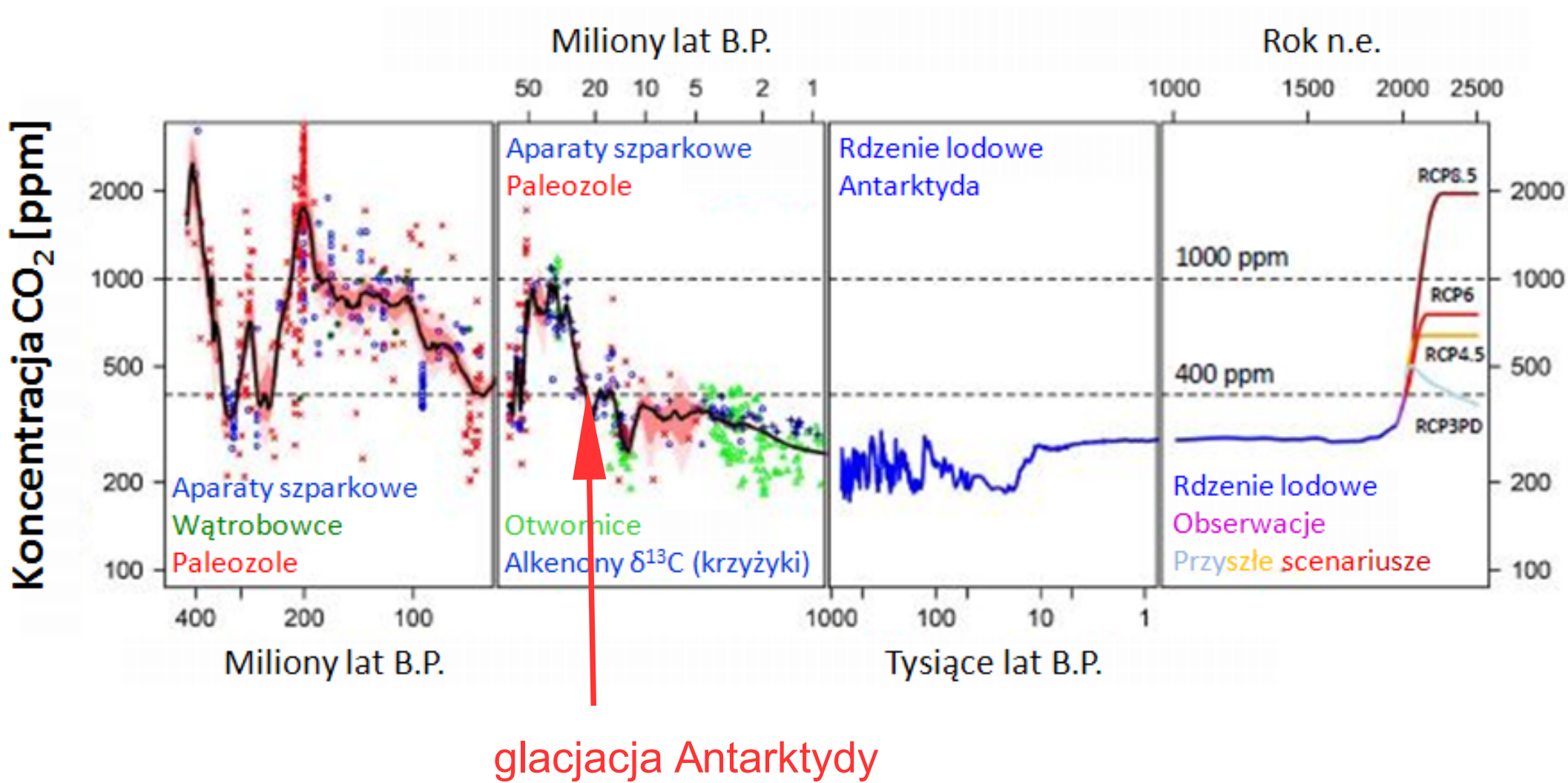
Czerwone – temperatura w tropikach (cienka linia – rekonstrukcje paleoklimatyczne, szerszy pas – odtworzenie w modelach klimatu).

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

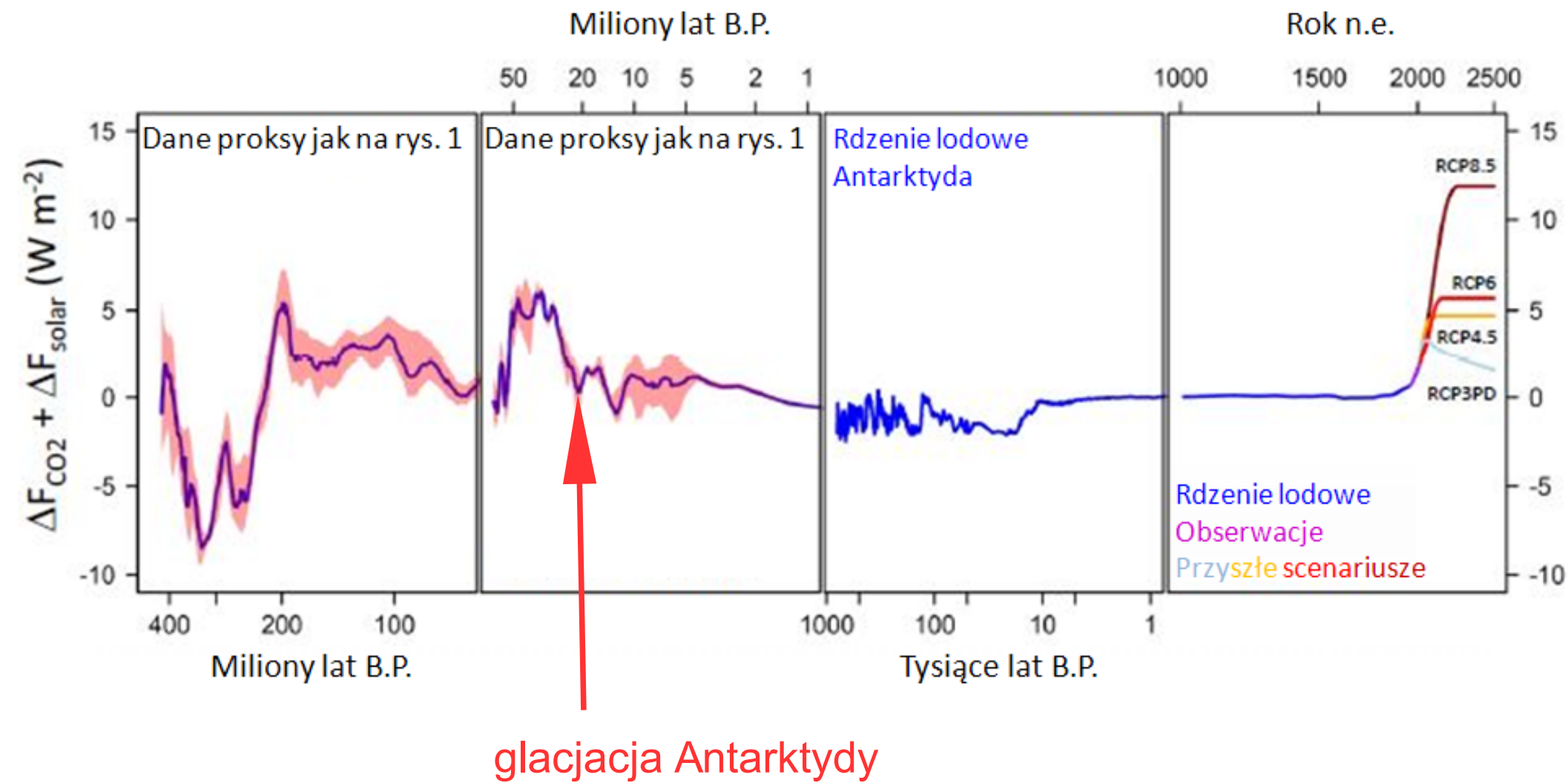
Zielone – odwrotność masy czap lodowych (rekonstrukcja paleoklimatyczna na podstawie $\delta^{18}\text{O}$ w osadach dennych)

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

Zmiany koncentracji atmosferycznego CO₂ w historii geologicznej

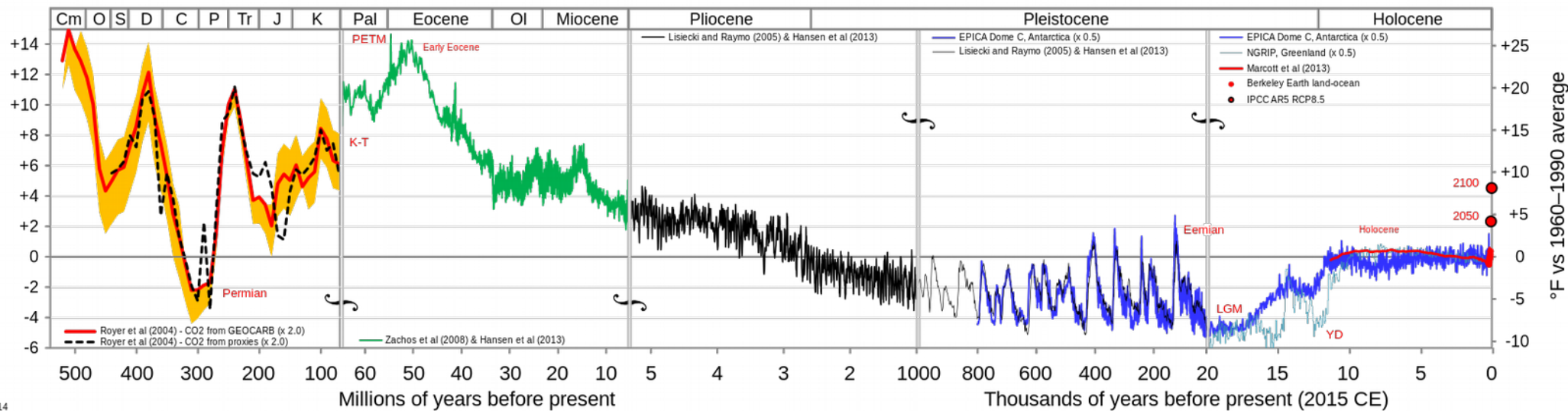


Zmiany wymuszania radiacyjnego (Słońce+CO₂) w historii geologicznej



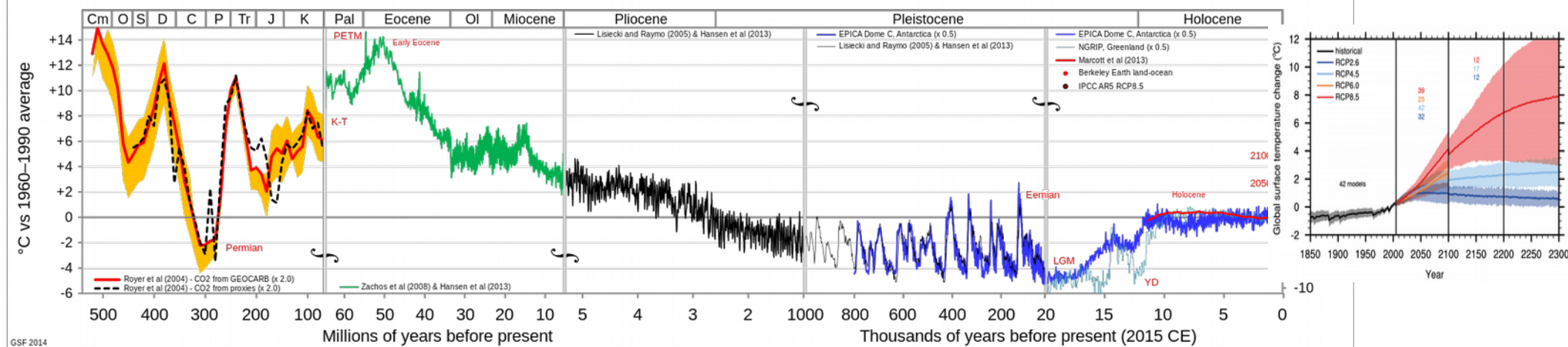
Zmiany temperatury powierzchni Ziemi w historii geologicznej

Temperature of Planet Earth

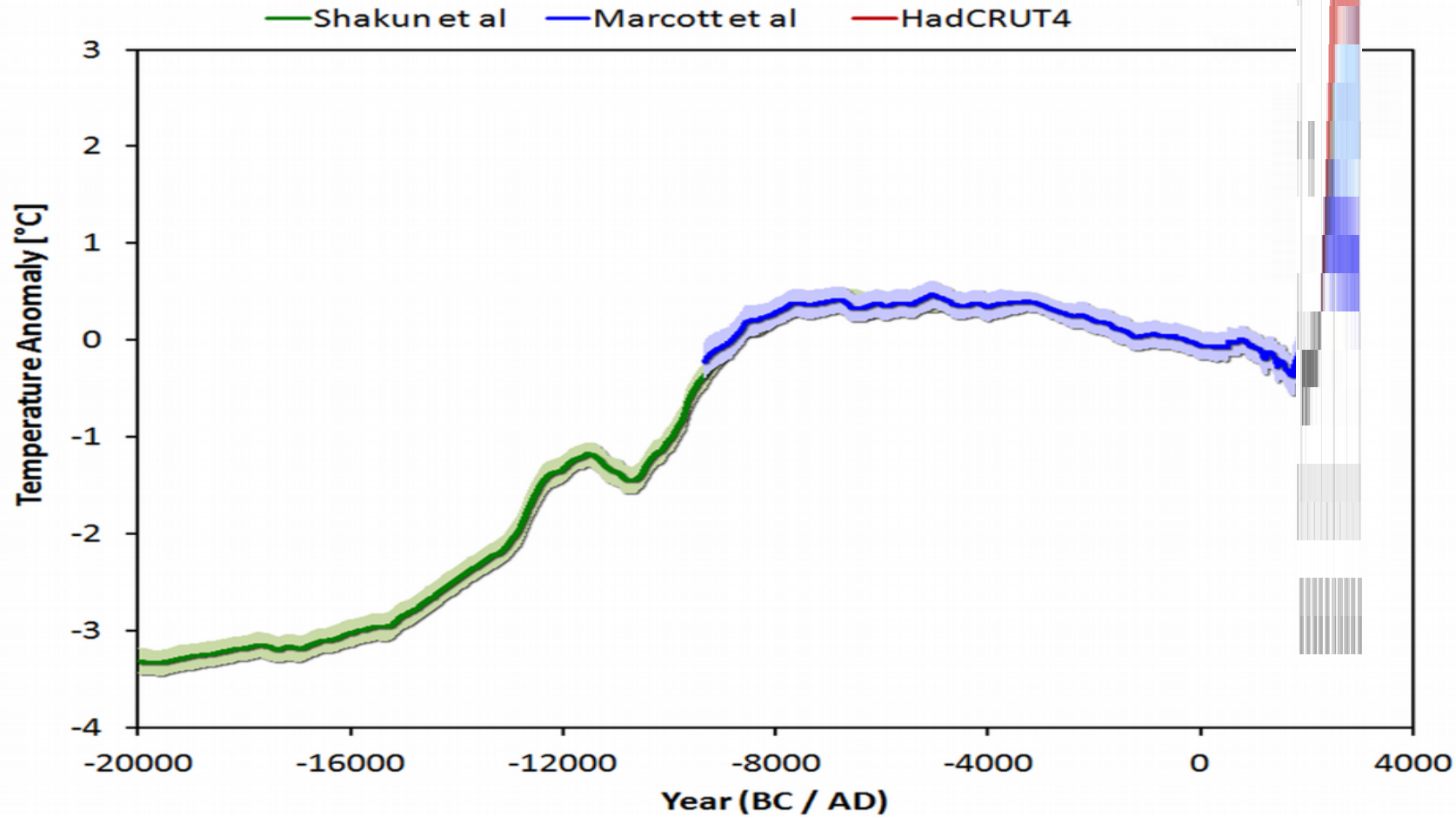
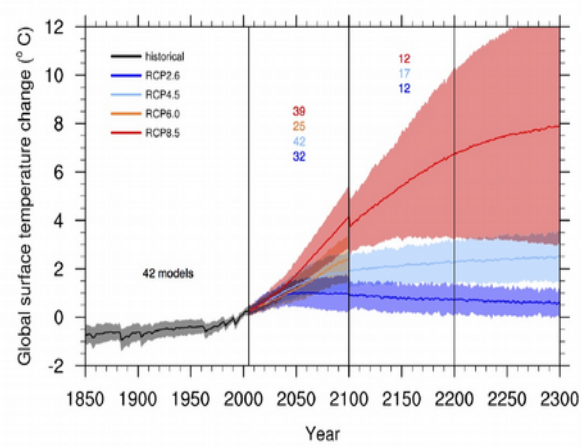
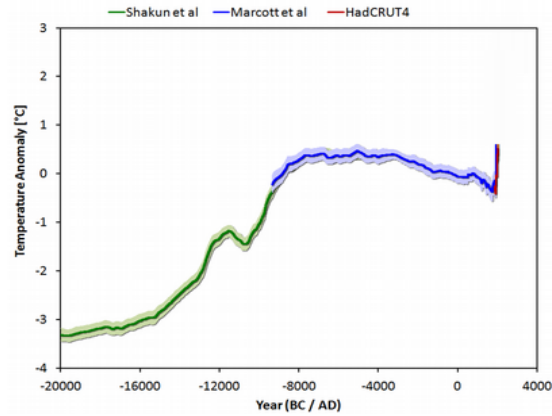


Temperatura globu dawniej i w bliskiej przyszłości

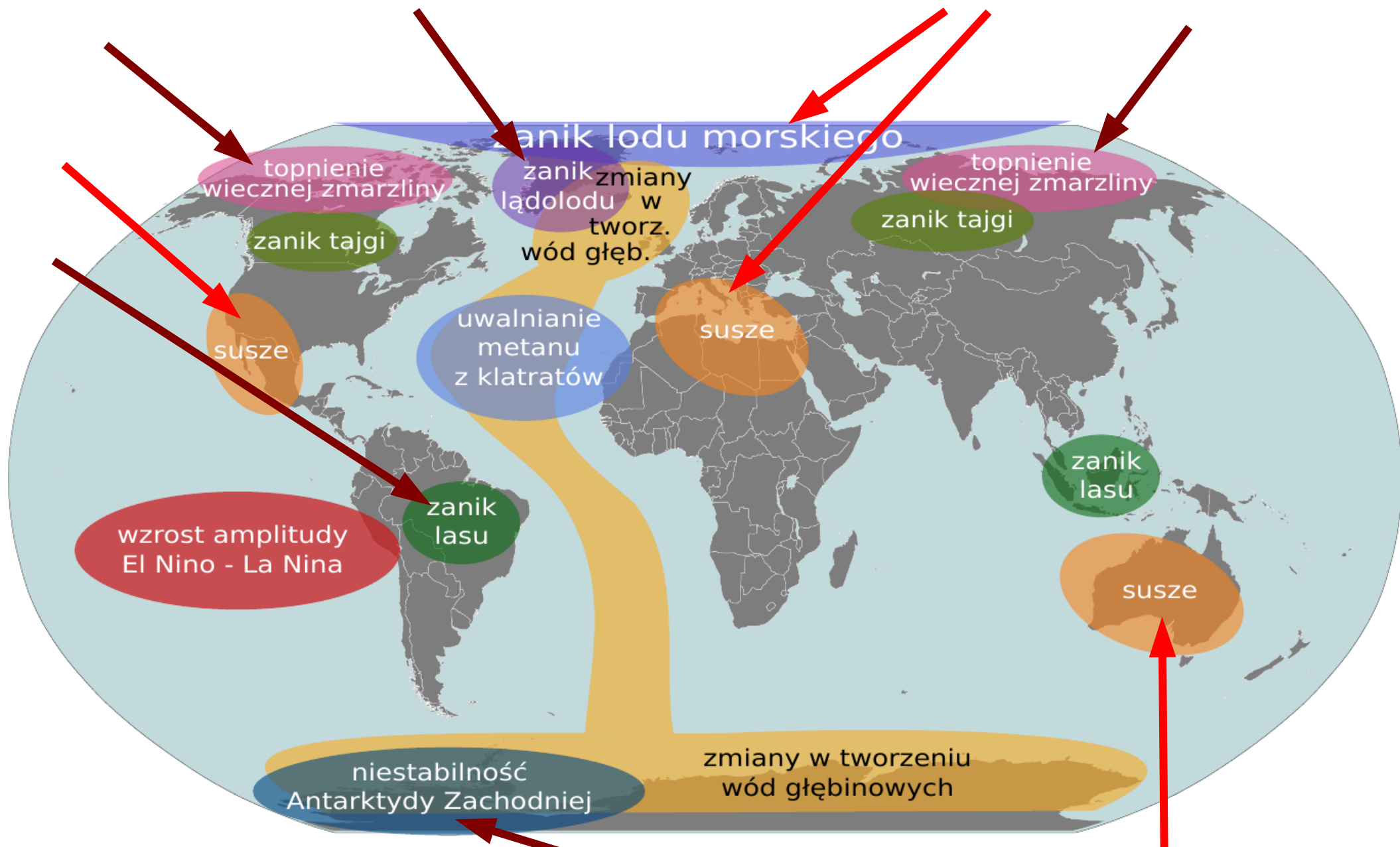
Temperature of Planet Earth



Glacja, Holocen i Antropocen



Punkty krytyczne – tipping points – już blisko?



od jakiegoś czasu
prawdopodobnie od teraz



Global Warming



Destroying... please wait.



1960

2035

Cancel