

Fizyka klimatu

Szymon Malinowski

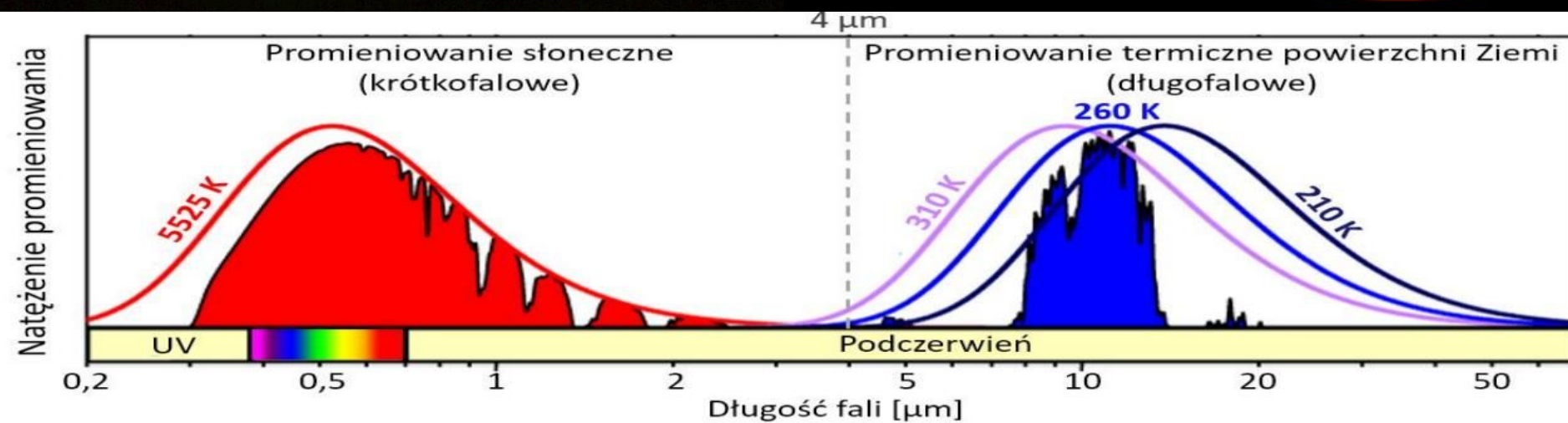
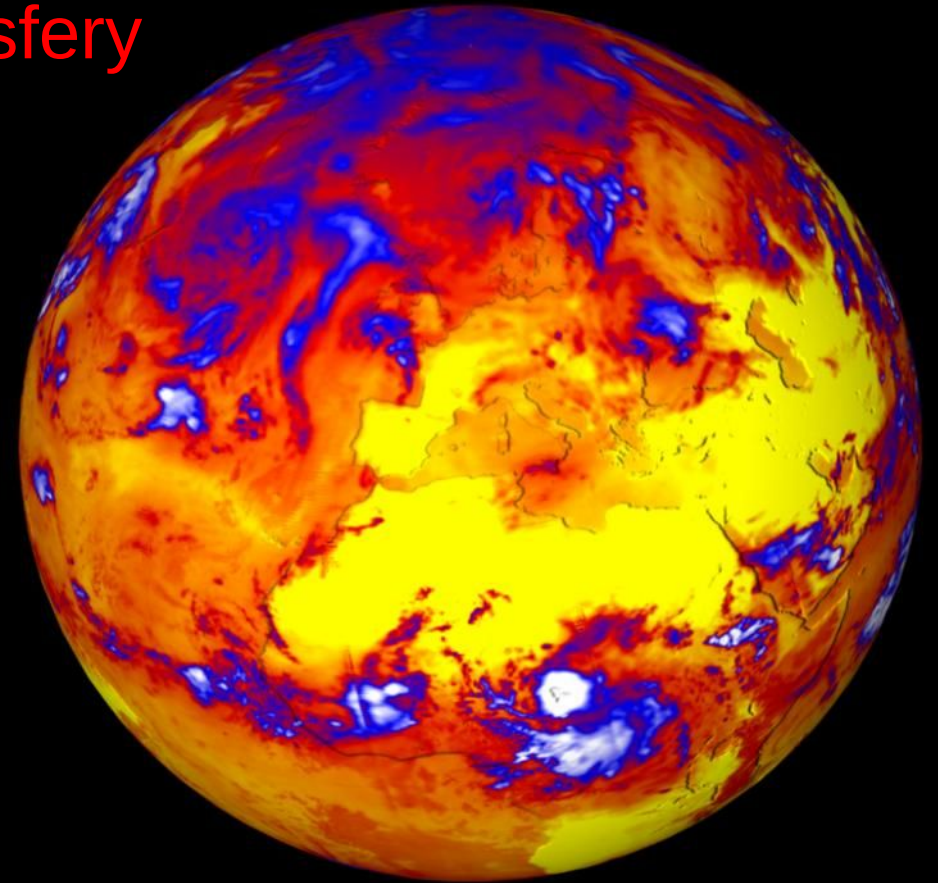


Ten sam
strumień
energii od
gwiazdy na
jednostkę
powierzchni.

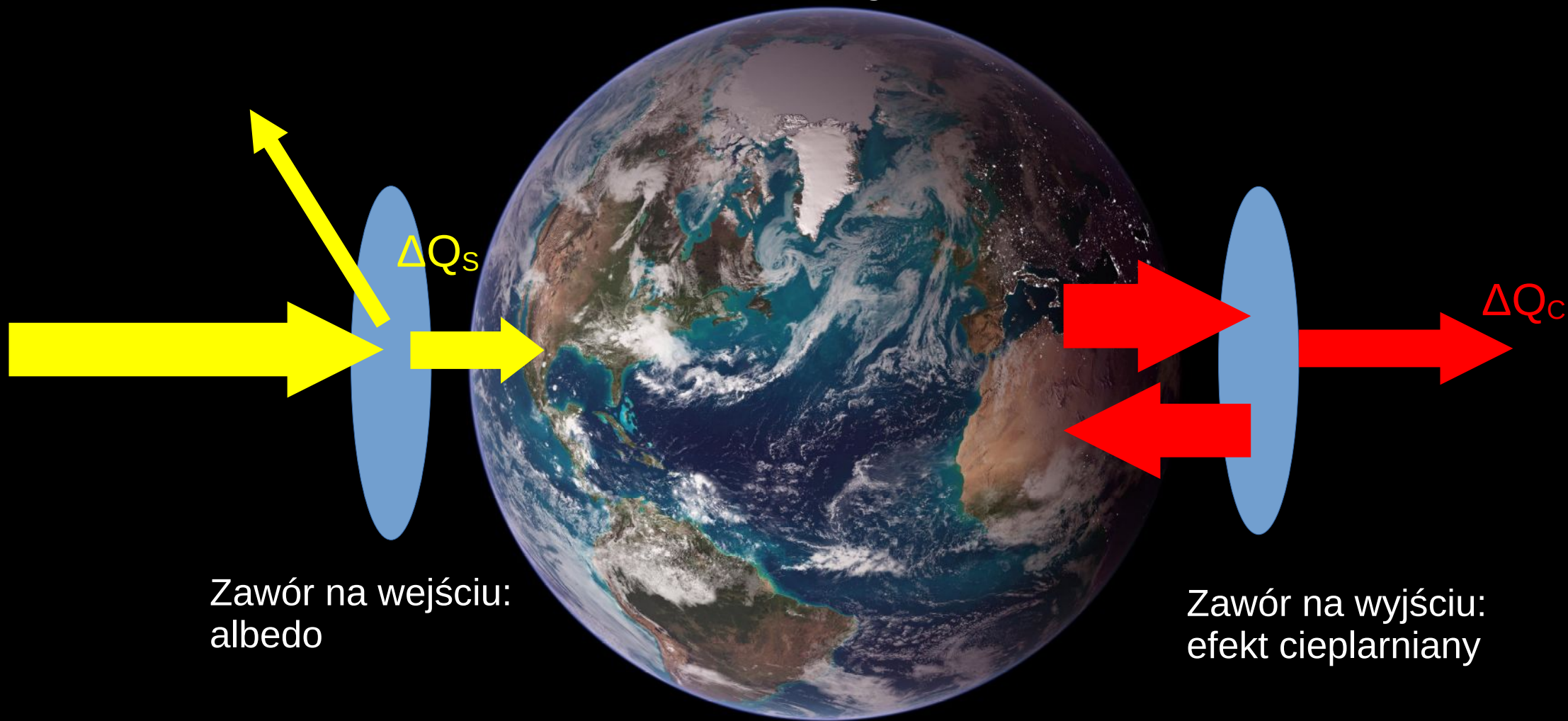
Dwa różne
systemy
klimatyczne,
dwa różne
klimaty.

https://epic.gsfc.nasa.gov/epic-galleries/2016/lunar_transit/full/epic_1b_20160705044720_01.png

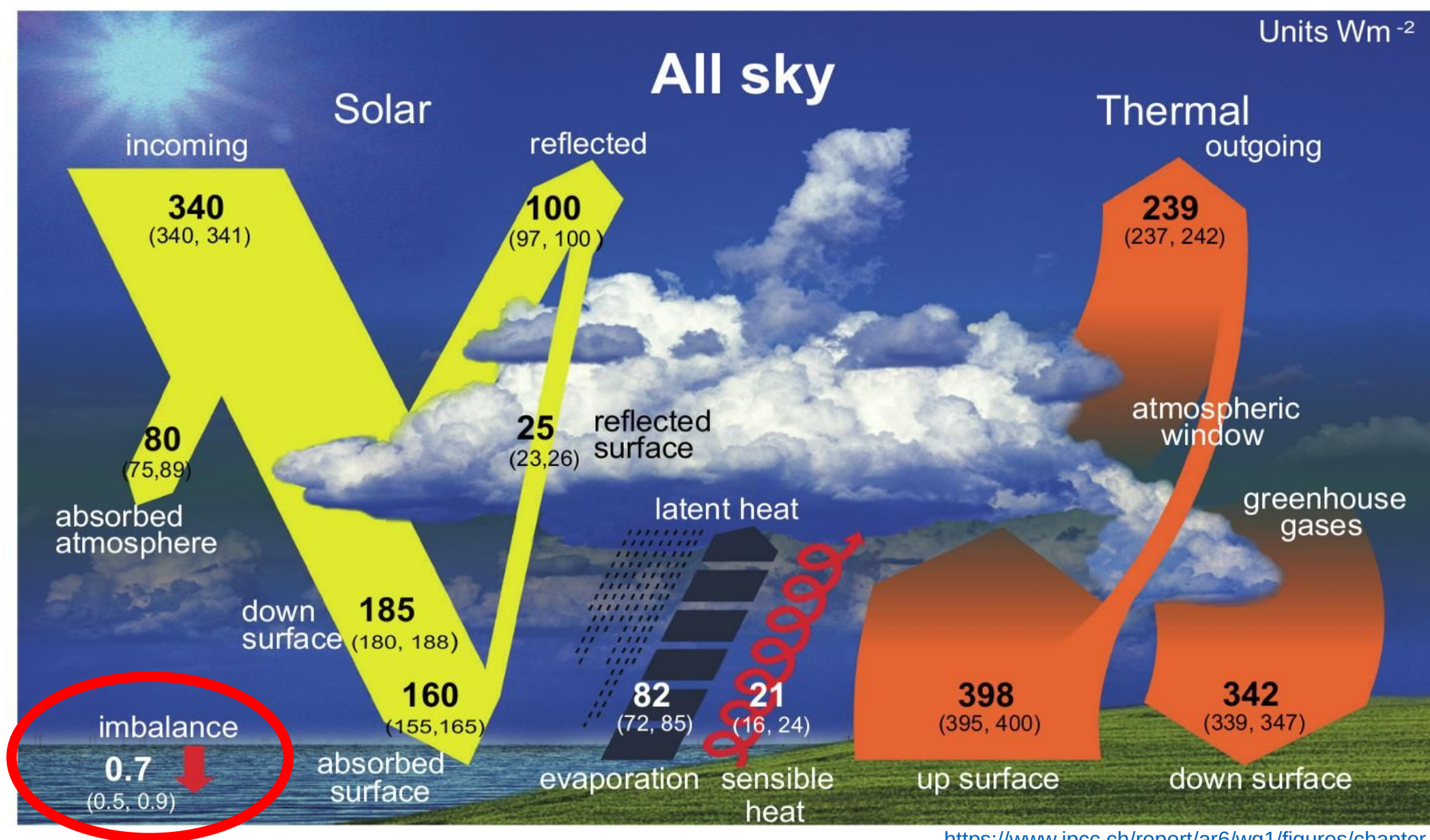
Transmisja atmosfery



Bilans energii: temperatura na powierzchni Ziemi zależy od pochłaniania energii Słonecznej ΔQ_s i od ucieczki energii w kosmos ΔQ_c



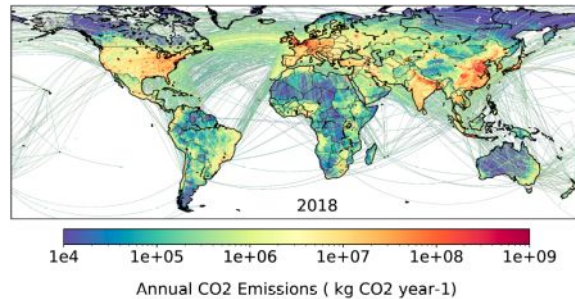
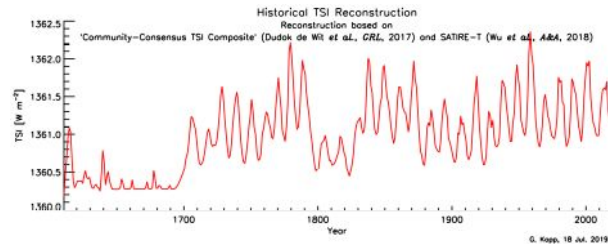
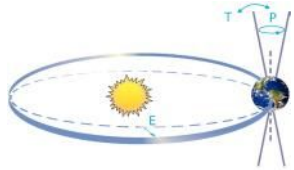
Temperatura planety rośnie, gdy $\Delta Q_s > \Delta Q_c$
Temperatura planety spada, gdy $\Delta Q_s < \Delta Q_c$



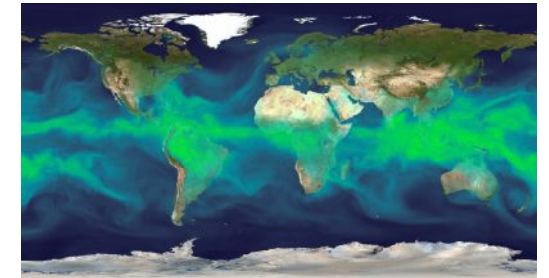
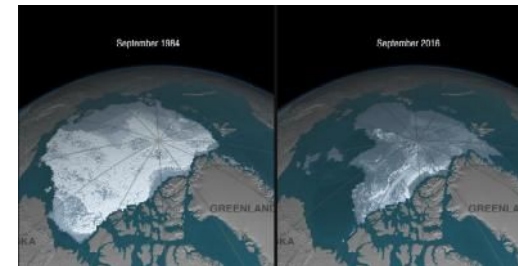
Uśredniony bilans energii systemu klimatycznego w latach 2005-2015. Wartości w W/m^2 .

Wymuszenia i sprzężenia w systemie klimatycznym

Wymuszenia inicjują zmiany klimatu.

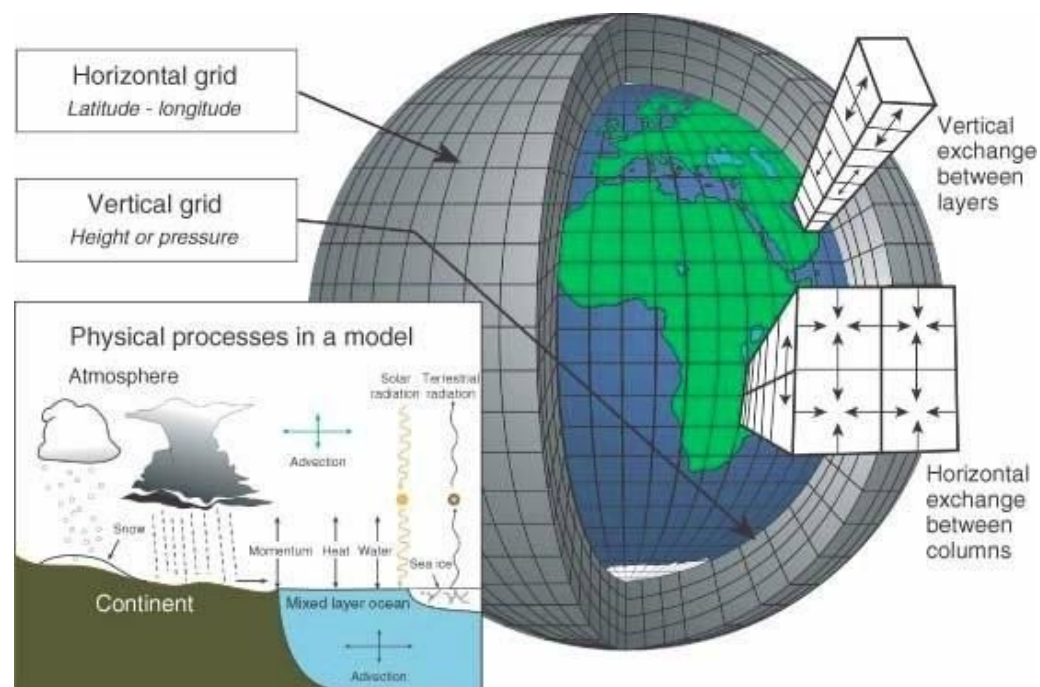


Sprzężenia to procesy zachodzące wewnątrz systemu klimatycznego, które **skutkują dalszymi zmianami klimatu.**



Są zjawiska czy procesy, które zależnie od przyczyny która je zapoczątkowała mogą być wymuszeniami lub sprzężeniami.

Ekstremalny sposób modelowania klimatu to budowa wirtualnej planety dzięki znajomości praw fizyki:



równania hydrodynamiki
równania termodynamiki
prawa transferu radiacyjnego
własności składników atmosfery i oceanu
wymiana atmosfera-ocean-biosfera
oddziaływanie z podłożem
+ przemiany chemiczne

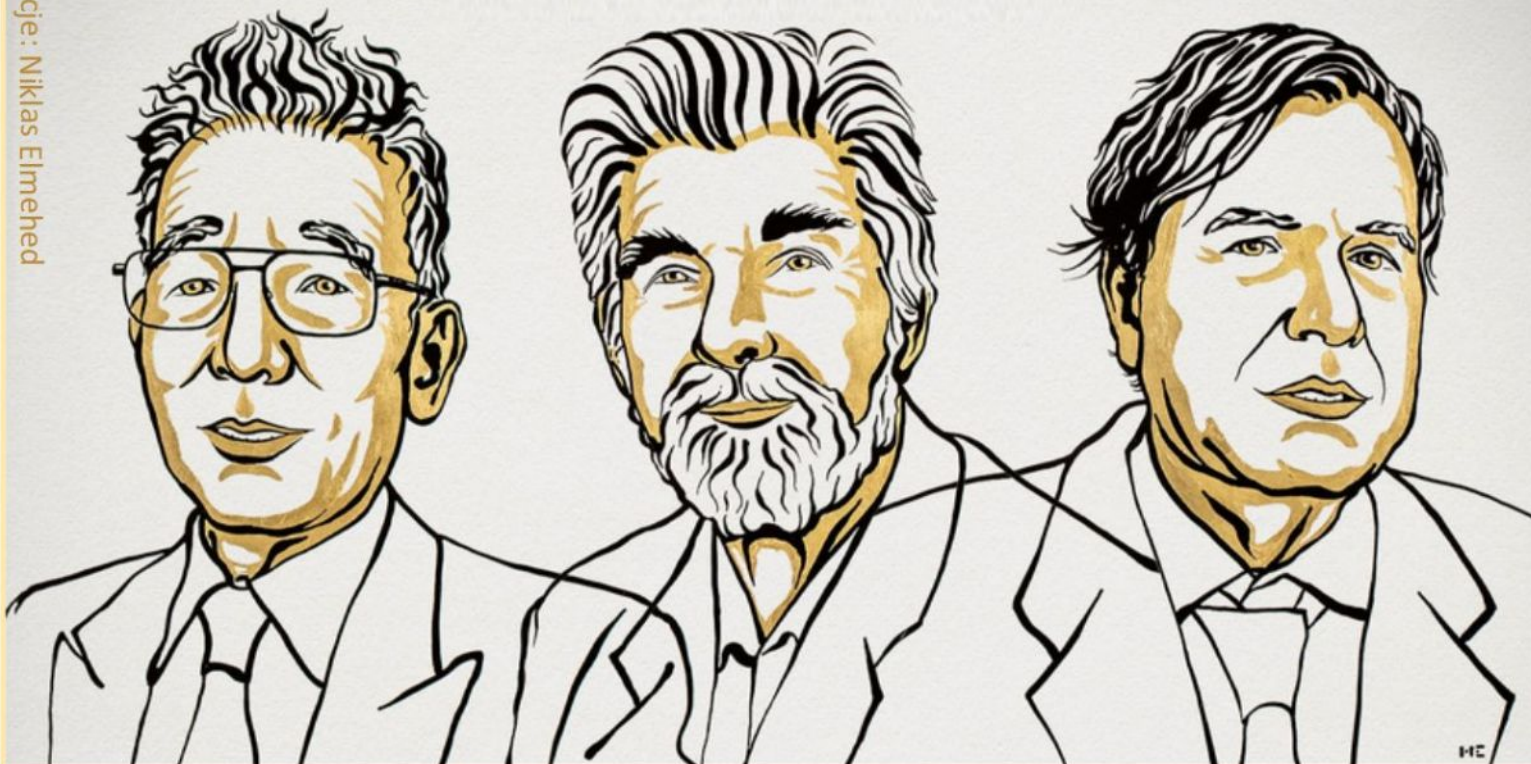
układ równań modelu

- * „zakłęcie” w kod numeryczny
- * uwzględnienie danych
- * wielki superkomputer

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

NAGRODA NOBLA Z FIZYKI, 2021

Ilustracje: Niklas Elmehed



Syukuro
Manabe

Klaus
Hasselmann

Giorgio
Parisi

KRÓLEWSKA SZWEDZKA AKADEMIA NAUK

Nagrodę przyznano

"za przełomowy wkład w nasze
zrozumienie systemów złożonych"

z tego połowę dla Syukuro
Manabe i Klausa Hasselmanna

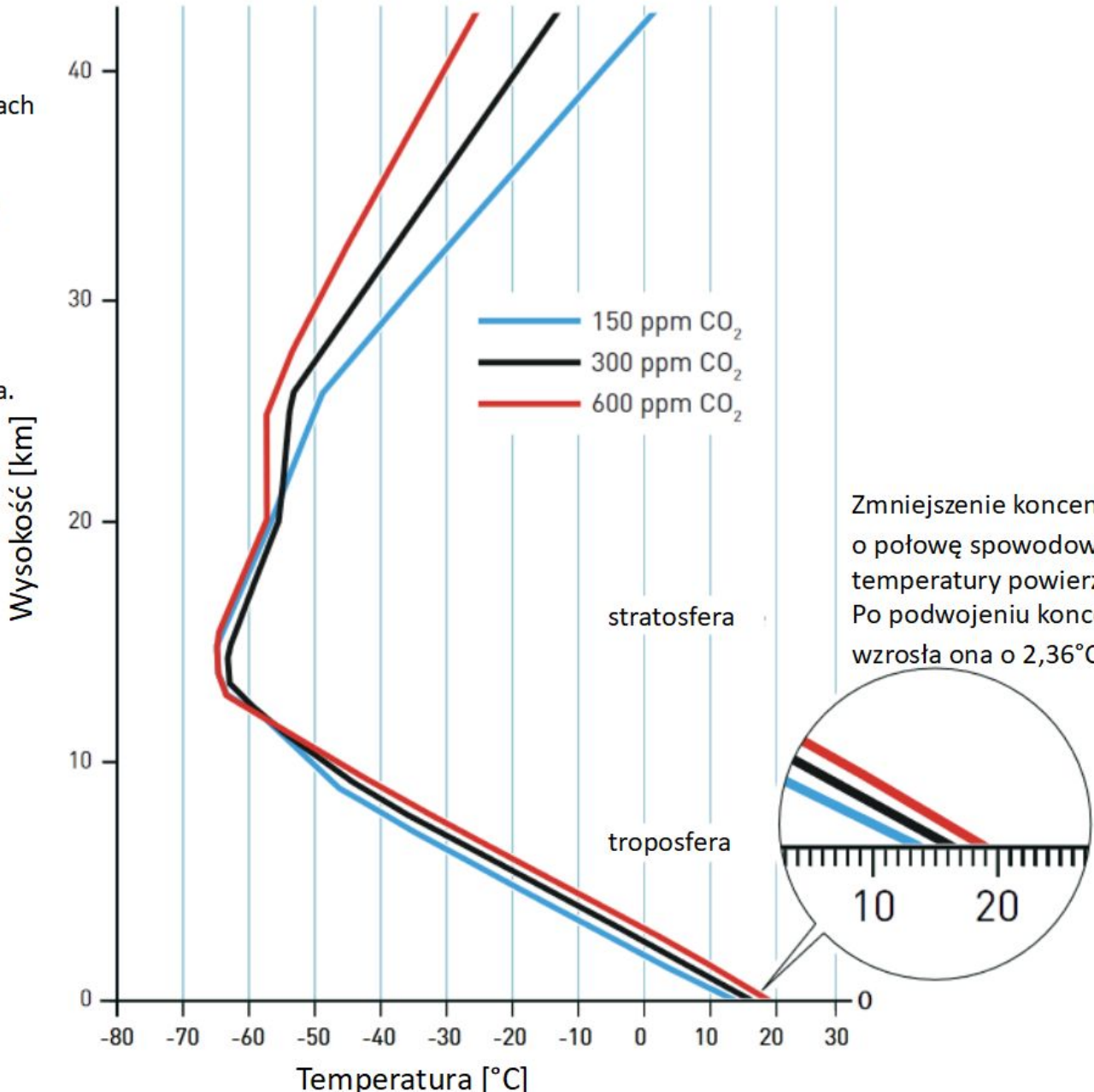
"za fizyczne modelowanie klimatu Ziemi,
ilościowe określanie zmienności i
wiarygodne przewidywanie globalnego
ocieplenia"

oraz drugą połowę dla Giorgio
Parisiego

"za odkrycie wzajemnego oddziaływania
nieporządku i fluktuacji w systemach
fizycznych od skali atomowej do
planetarnej".

Dwutlenek węgla ogrzewa atmosferę

Podwyższona koncentracja CO₂ prowadzi do wzrostu temperatury w dolnych warstwach atmosfery oraz do ochłodzenia górnej atmosfery. Manabe potwierdził, że zmiany temperatury są związane ze wzrostem koncentracji CO₂; gdyby przyczyną był wzrost aktywności słonecznej, nagrzewałyby się cała atmosfera.



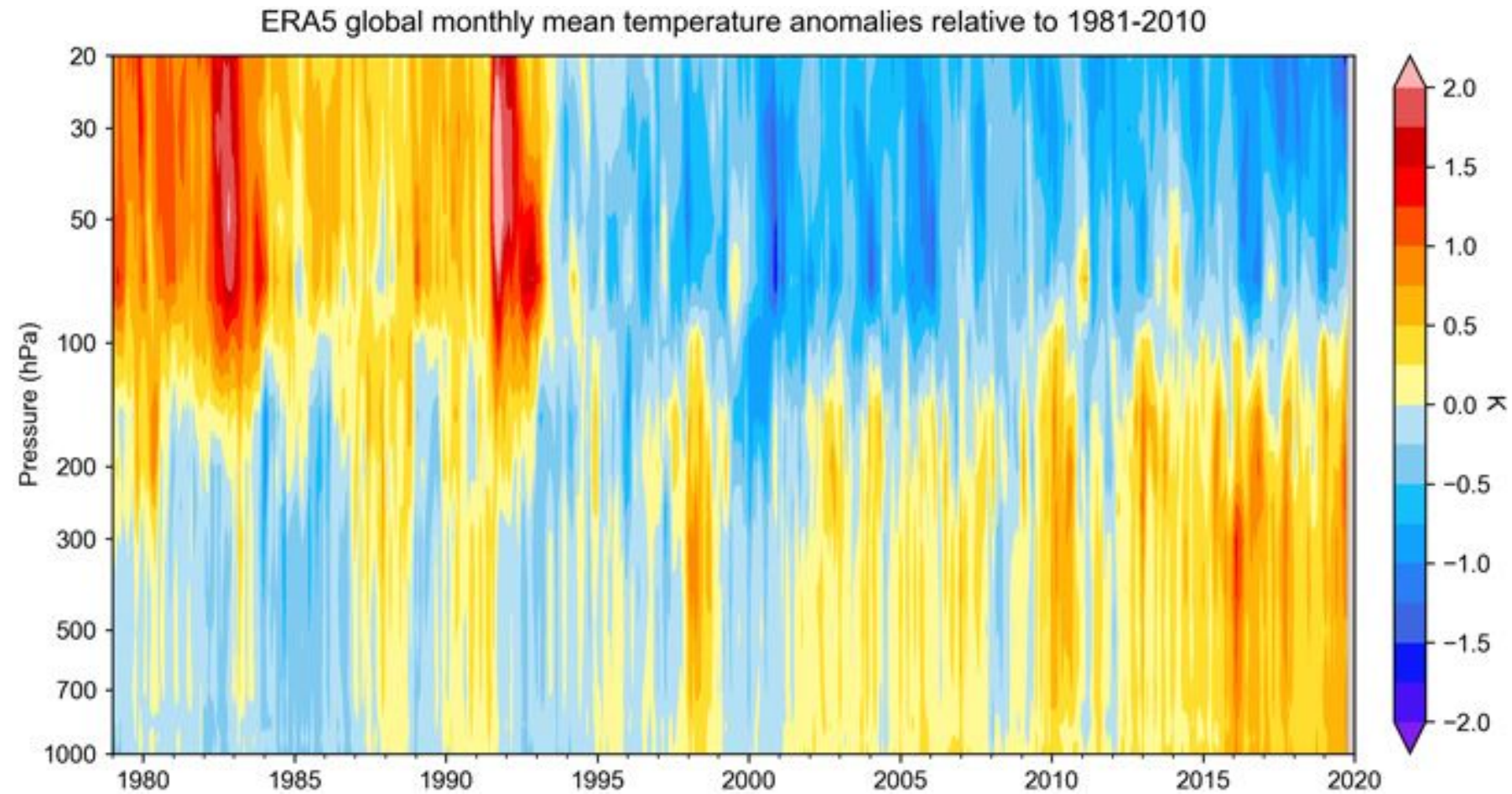
Zmniejszenie koncentracji CO₂ o połowę spowodowało spadek temperatury powierzchni o 2,28°C. Po podwojeniu koncentracji CO₂ wzrosła ona o 2,36°C.

TABLE 4. Equilibrium temperature of the earth's surface (°K) and the CO₂ content of the atmosphere.

CO ₂ content (ppm)	Average cloudiness		Clear	
	Fixed absolute humidity	Fixed relative humidity	Fixed absolute humidity	Fixed relative humidity
150	289.80	286.11	298.75	304.40
300	291.05	288.39	300.05	307.20
600	292.38	290.75	301.41	310.12

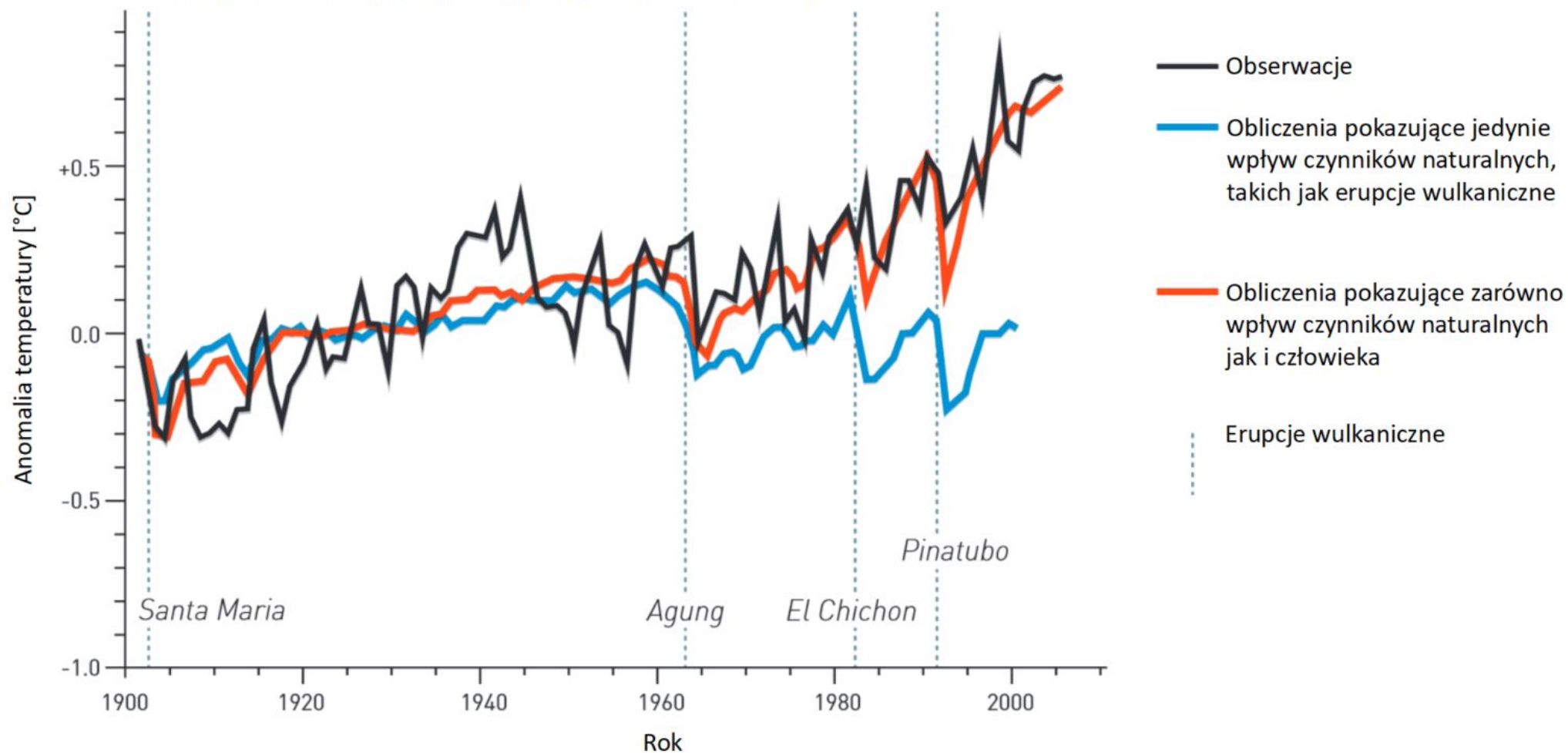


<https://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis>



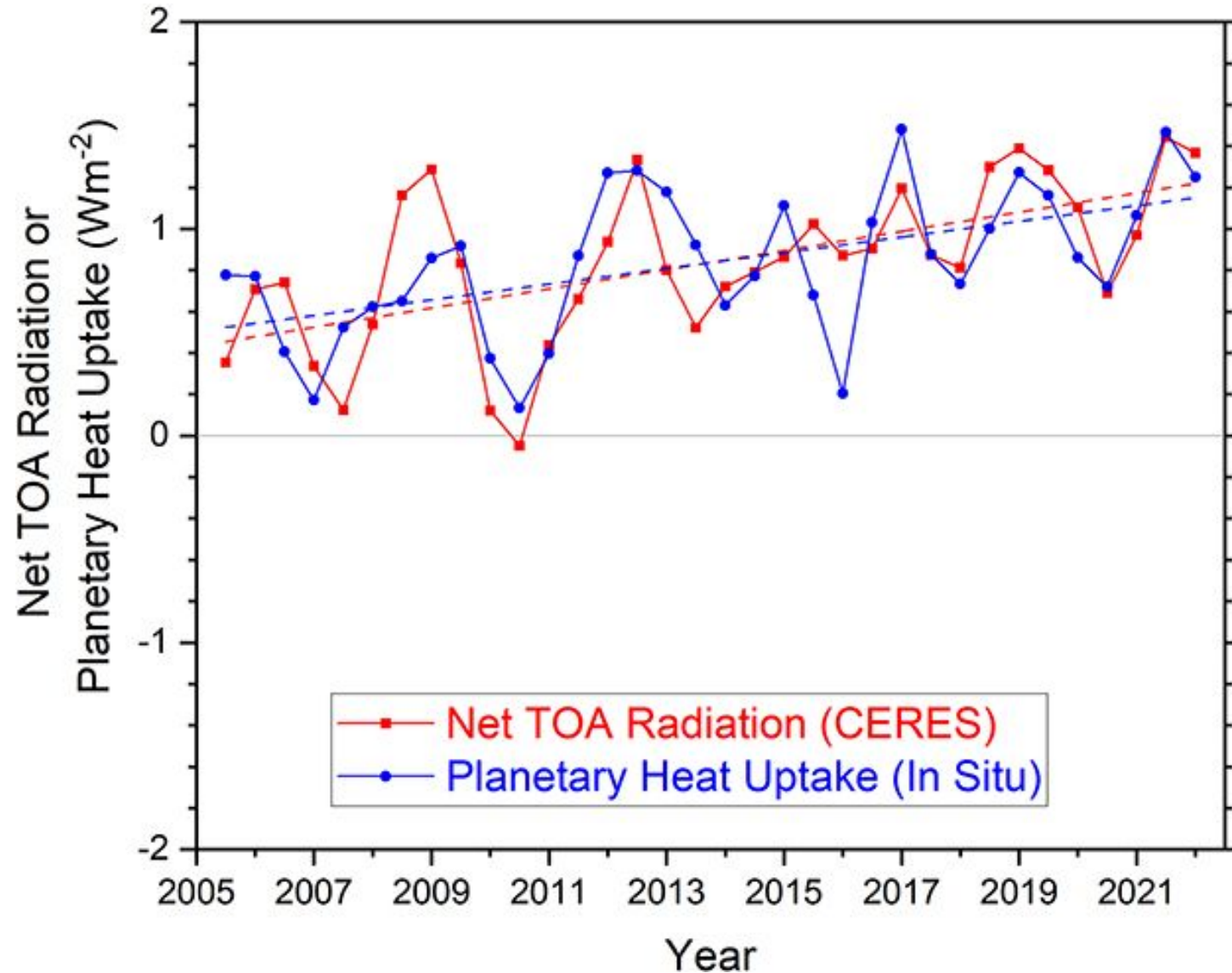
Identyfikacja przyczyn zmiany klimatu

Klaus Hasselmann opracował metody rozróżniania wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych na ocieplenie atmosfery. Porównanie zmian średniej temperatury względem lat 1901-1950 [°C].



Klaus Hasselmann

Nierównowaga energetyczna obserwowana z satelitów i pomiarów bezpośrednich na Ziemi.



Schmidt GA, et al., 2023, CERESMIP: a climate modeling protocol to investigate recent trends in the Earth's Energy Imbalance. *Front. Clim.* 5:1202161.
<https://doi.org/10.3389/fclim.2023.1202161>

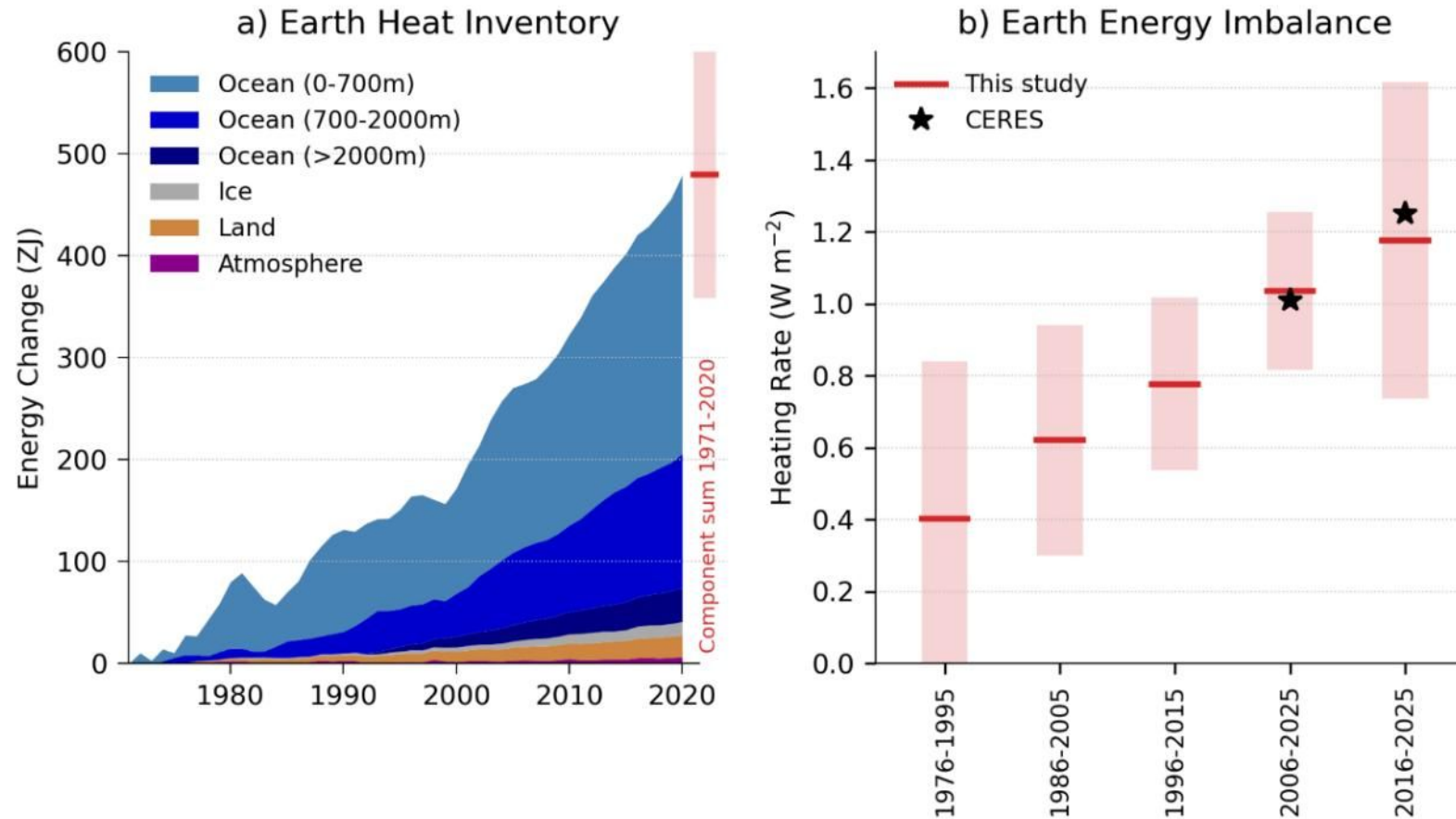
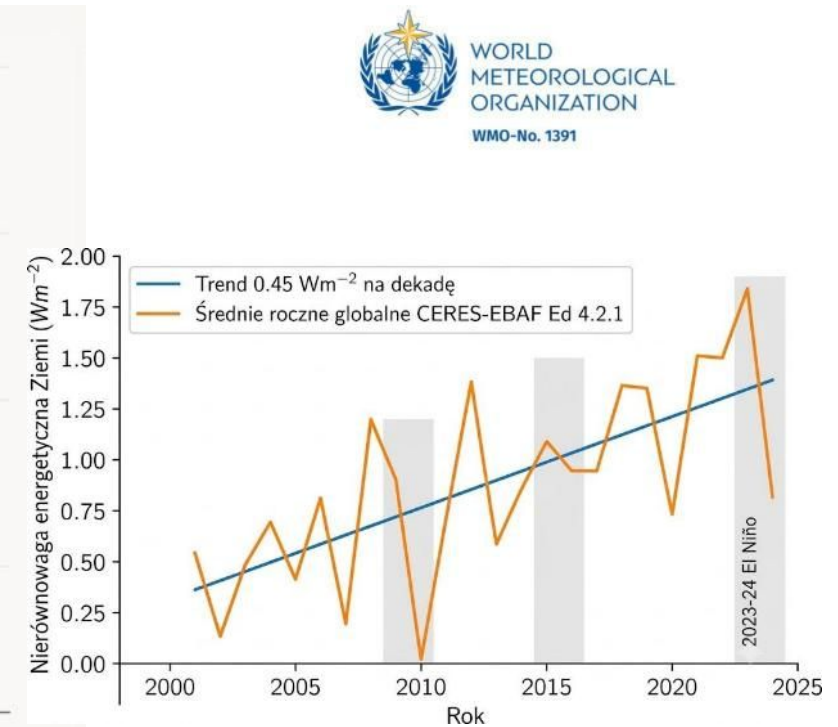
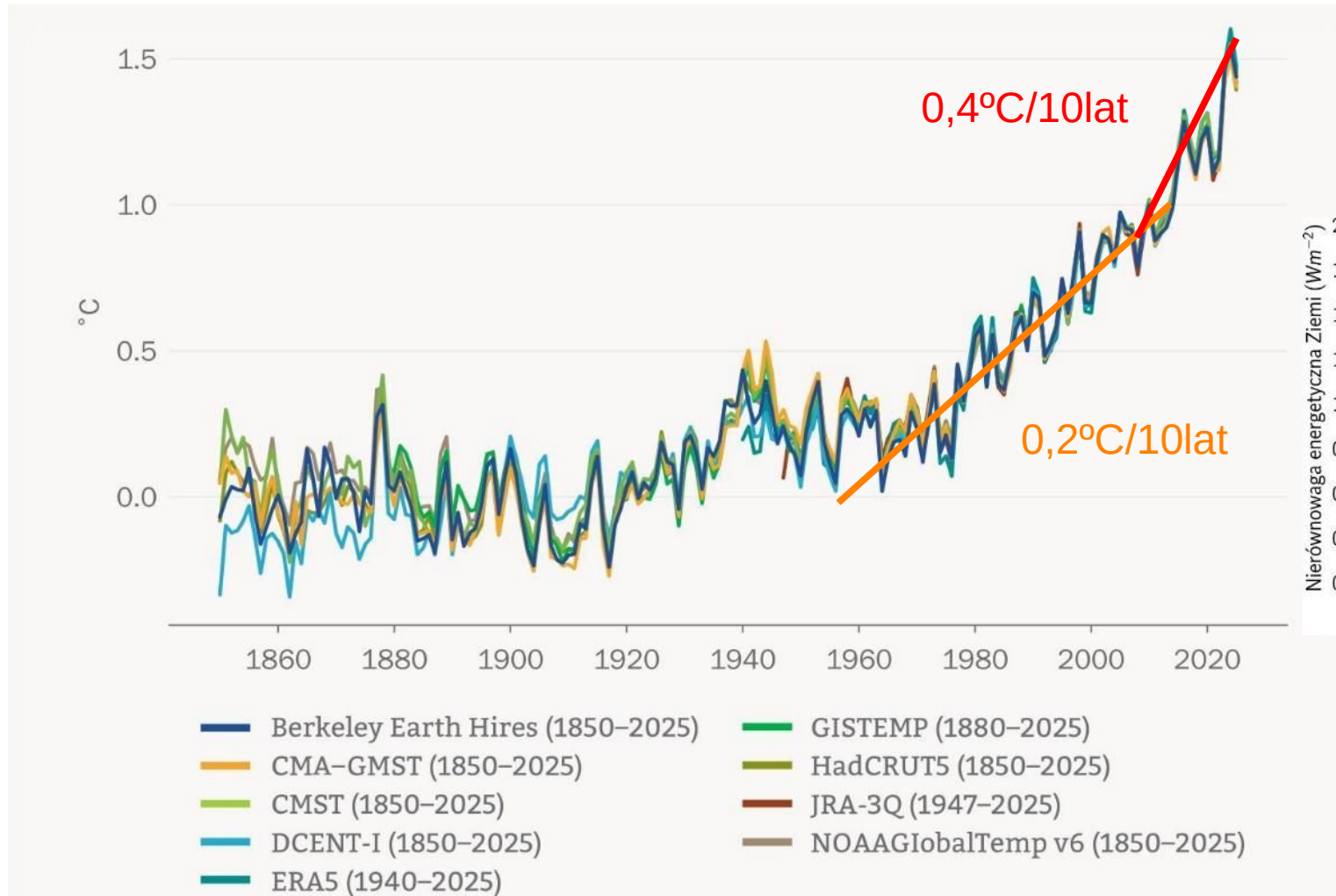


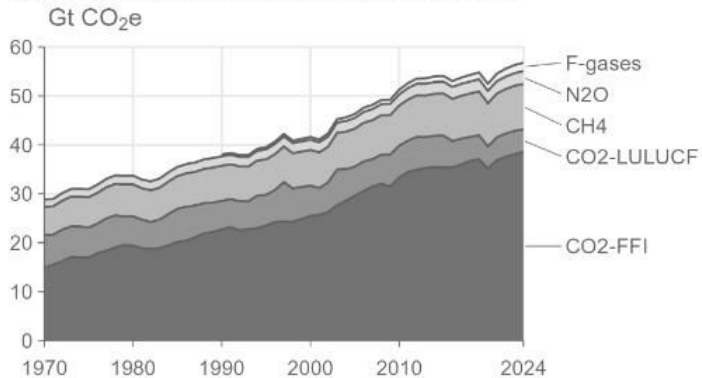
Figure 7 (a) Observed changes in the Earth heat inventory for the period 1971–2020, with component contributions as indicated in the figure legend. (b) Estimates of the Earth energy imbalance for successive overlapping 20-year periods and the most recent decade. Shaded regions indicate the *very likely* range (90 % to 100 % probability). The CERES EBAF-TOA Ed4.2.1 estimates for the two most recent periods are shown for comparison (Loeb et al, 2024). Data use and approach are based on the AR6 methods and further described in Supplement Sect. S6. .



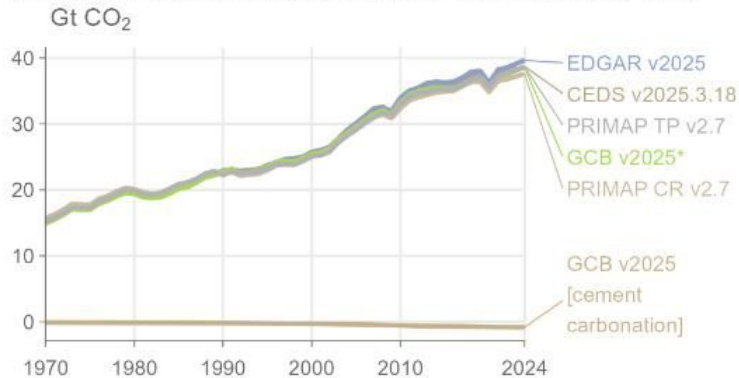
i globalne ocieplenie przyspiesza, próg ocieplenia o 2°C przekroczymy najprawdopodobniej w połowie następnej dekady.



(a) Global total greenhouse gas emissions



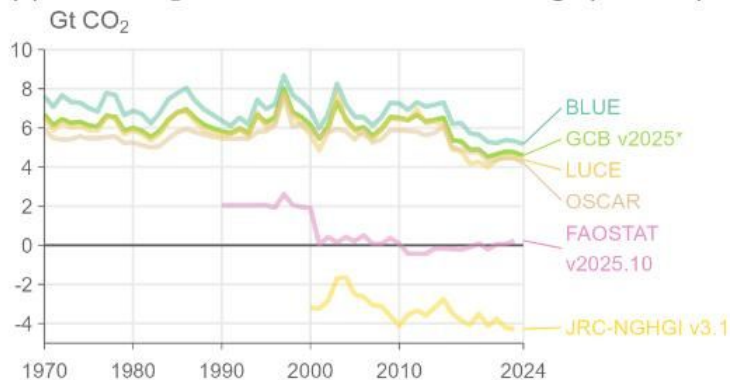
(b) Global CO₂ emissions from fossil fuel & industry (FFI)



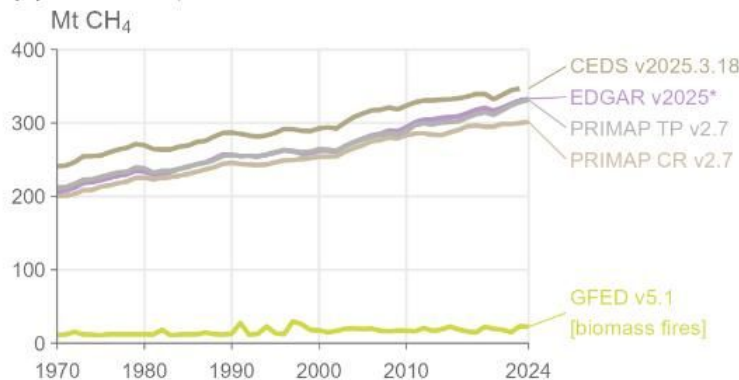
Emisje gazów cieplarnianych

<https://doi.org/10.5194/essd-2026-287>

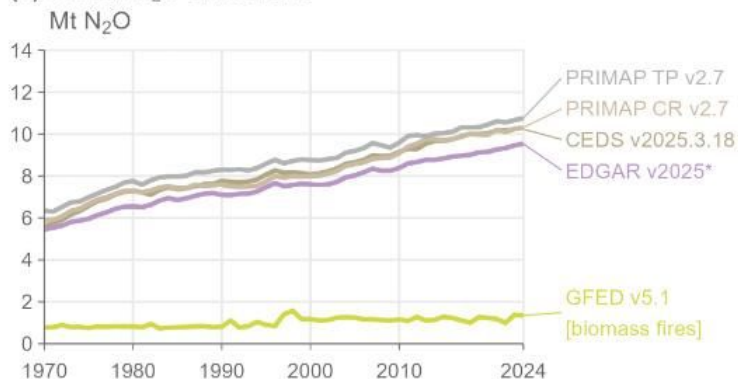
(c) Global CO₂ emissions from land use change (LULUCF)



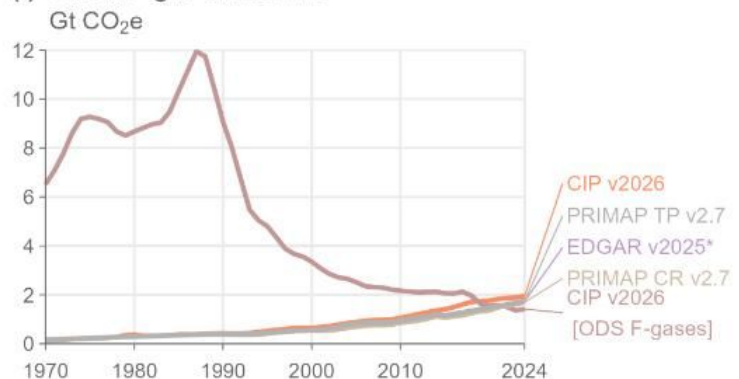
(d) Global CH₄ emissions



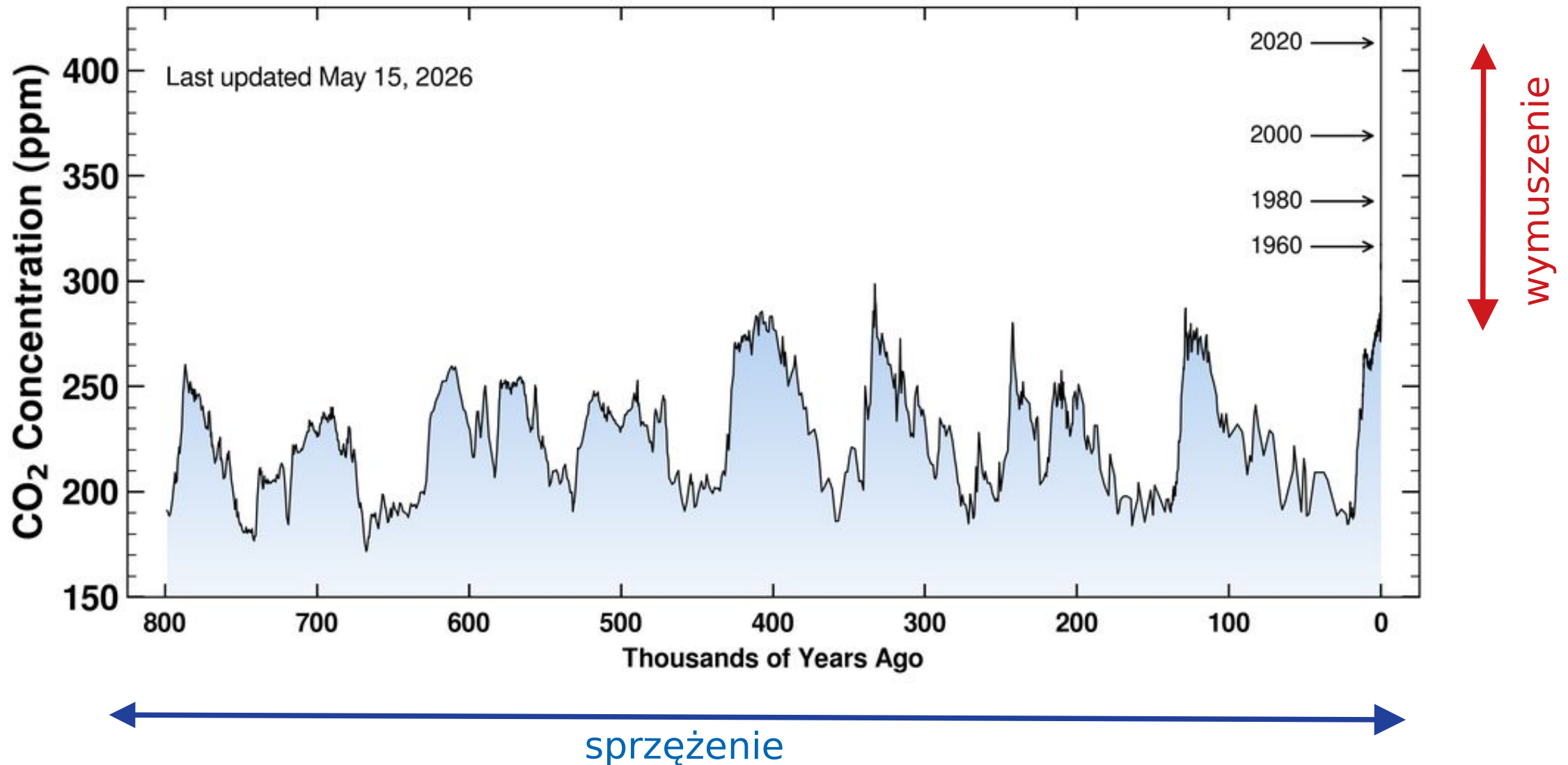
(e) Global N₂O emissions

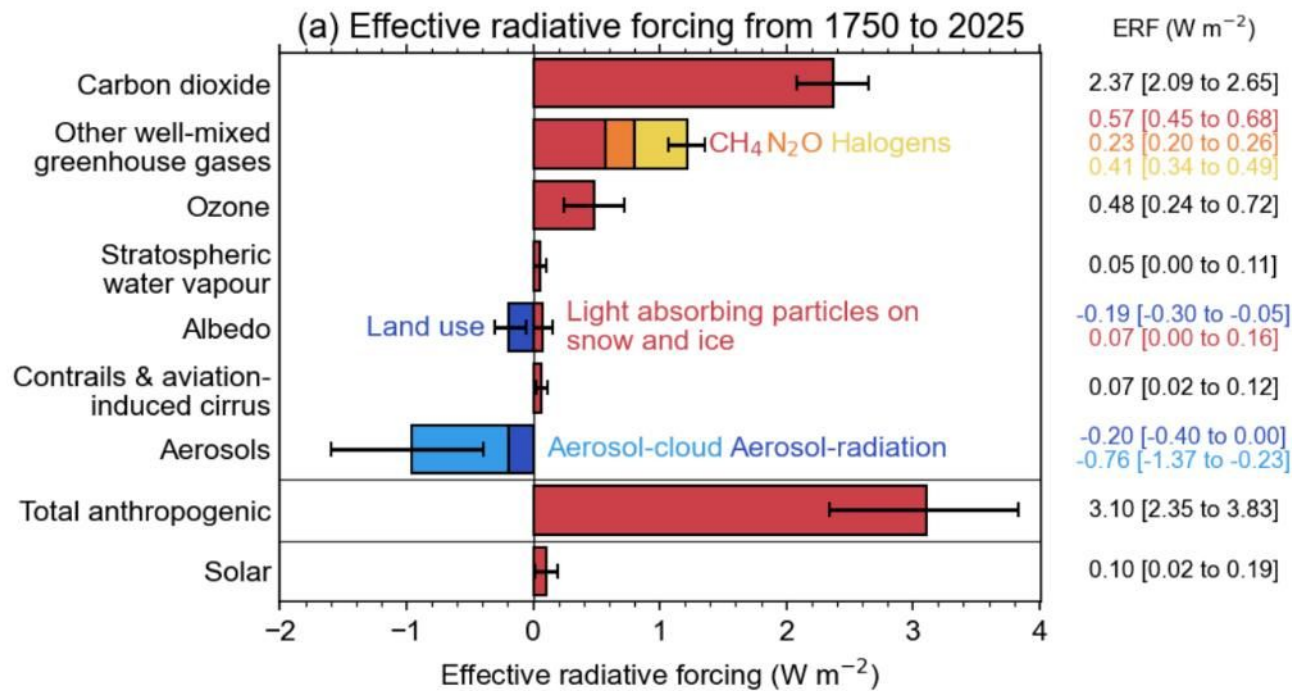


(f) Global F-gas emissions



Zmiany koncentracji CO₂: kiedyś sprzężenie, dziś wymuszenie.





<https://doi.org/10.5194/essd-2026-287>

<https://library.wmo.int/records/item/69807-state-of-the-global-climate-2025>

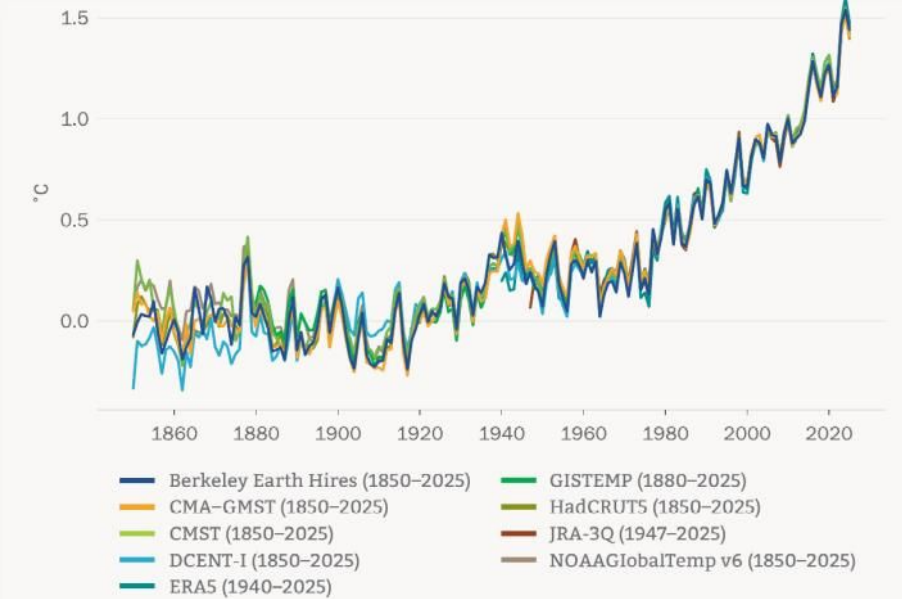
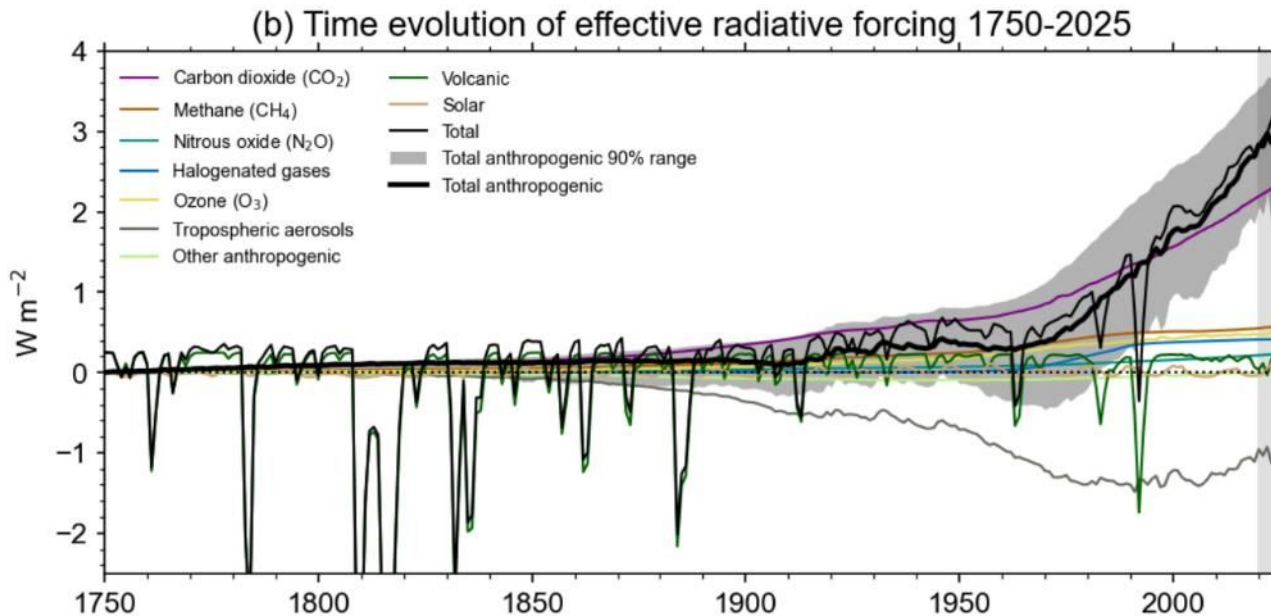


Figure 2. Annual global mean temperature anomalies relative to a pre-industrial (1850–1900) baseline shown from 1850 to 2025

Source: Data are from the datasets indicated in the legend. For details see Datasets and methods.

Gdzie szukać danych i wykresów:

<https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/zrodla-informacji-o-klimacie-12>

<https://ourworldindata.org/>

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

<http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas>

<https://www.noaa.gov/climate>

<https://climate.copernicus.eu/>

<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

<https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/>

<https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/publications/bulletin-of-the-american-meteorological-society-bams/state-of-the-climate/>

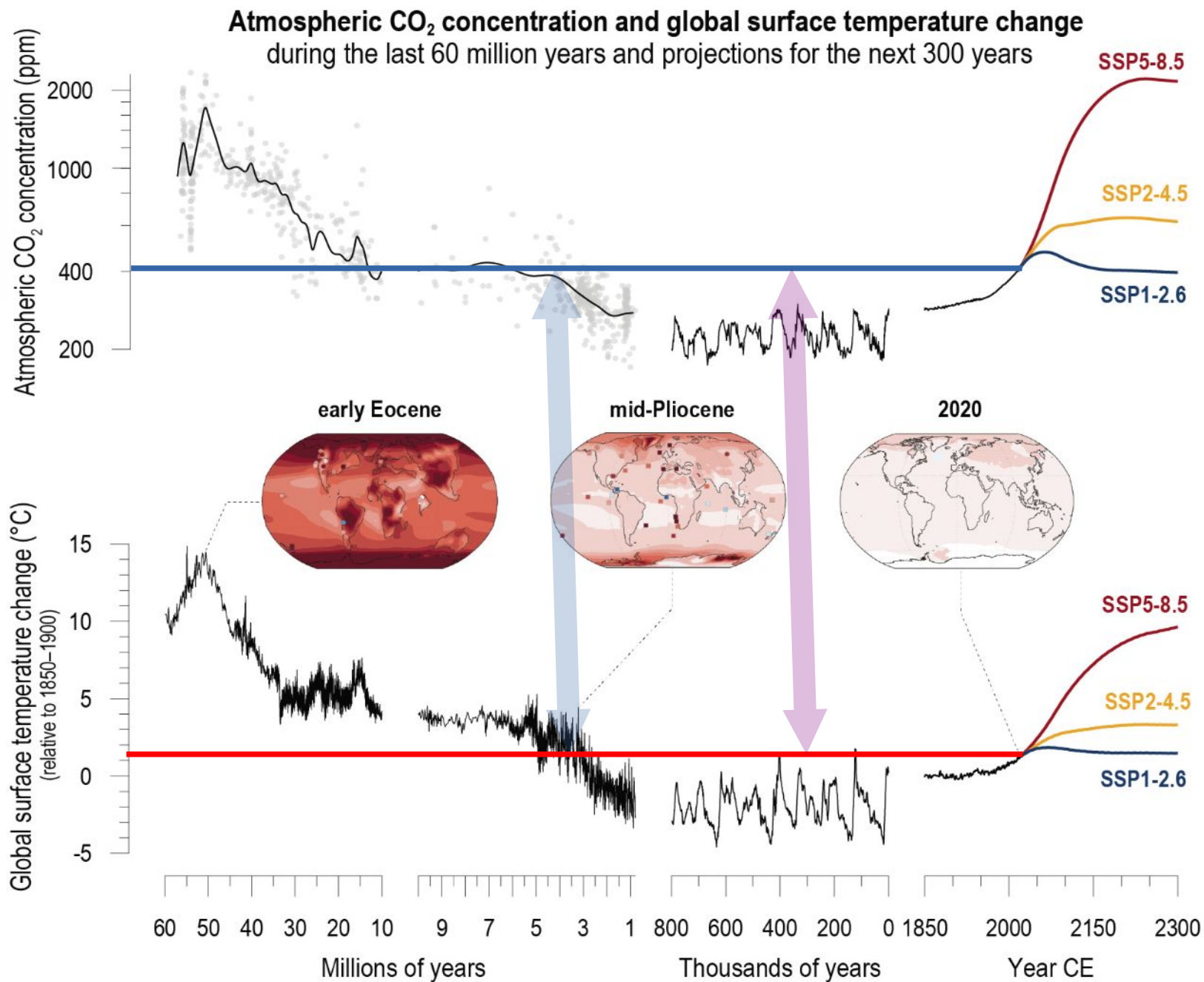
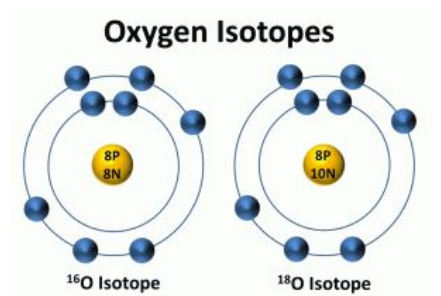
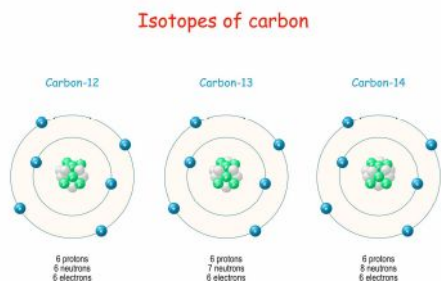
<https://berkeleyearth.org/>

Podręczniki po polsku:

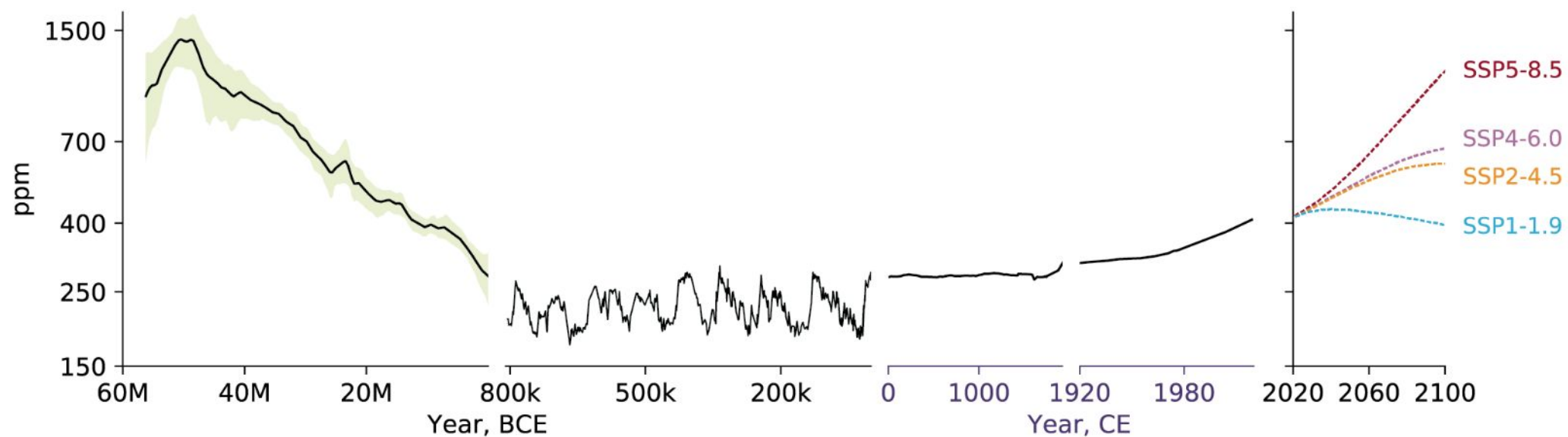
Popkiewicz, Kardaś, Malinowski, „Nauka o klimacie” Wyd. Nieoczywiste, 2018, 2020, 2023, 2026

Budziszewska, Kardaś, Bohdanowicz, „Klimatyczne ABC”, Wyd. UW, 2021, 2023

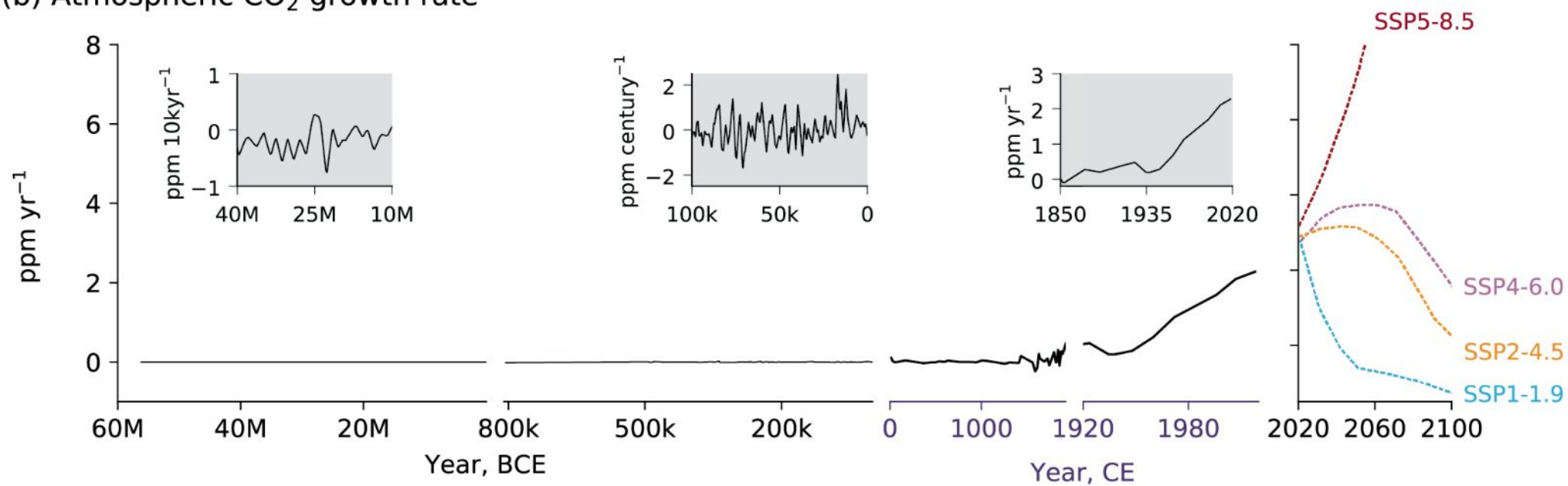
<https://www.wuw.pl/product-pol-18569-Klimatyczne-ABC-Interdyscyplinarne-podstawy-wspolczesnej-wiedzy-o-zmianie-klimatu-EBOOK.html>



(a) Atmospheric CO₂ concentrations



(b) Atmospheric CO₂ growth rate



A 485-million-year history of Earth's surface temperature

EMILY J. JUDD , JESSICA E. TIERNEY , DANIEL J. LUNT , ISABEL P. MONTAÑEZ , BRIAN T. HUBER , SCOTT L. WING , AND PAUL J. VALDES  [Authors](#)

[Info & Affiliations](#)

SCIENCE • 20 Sep 2024 • Vol. 385, Issue 6715 • DOI: 10.1126/science.adk3705

Climate
state

Global
temperature (°C)

Cooler climate  Warmer climate
Less likely  More likely

Paleozoic

Mesozoic

Cenozoic

450

400

350

300

250

200

150

100

50

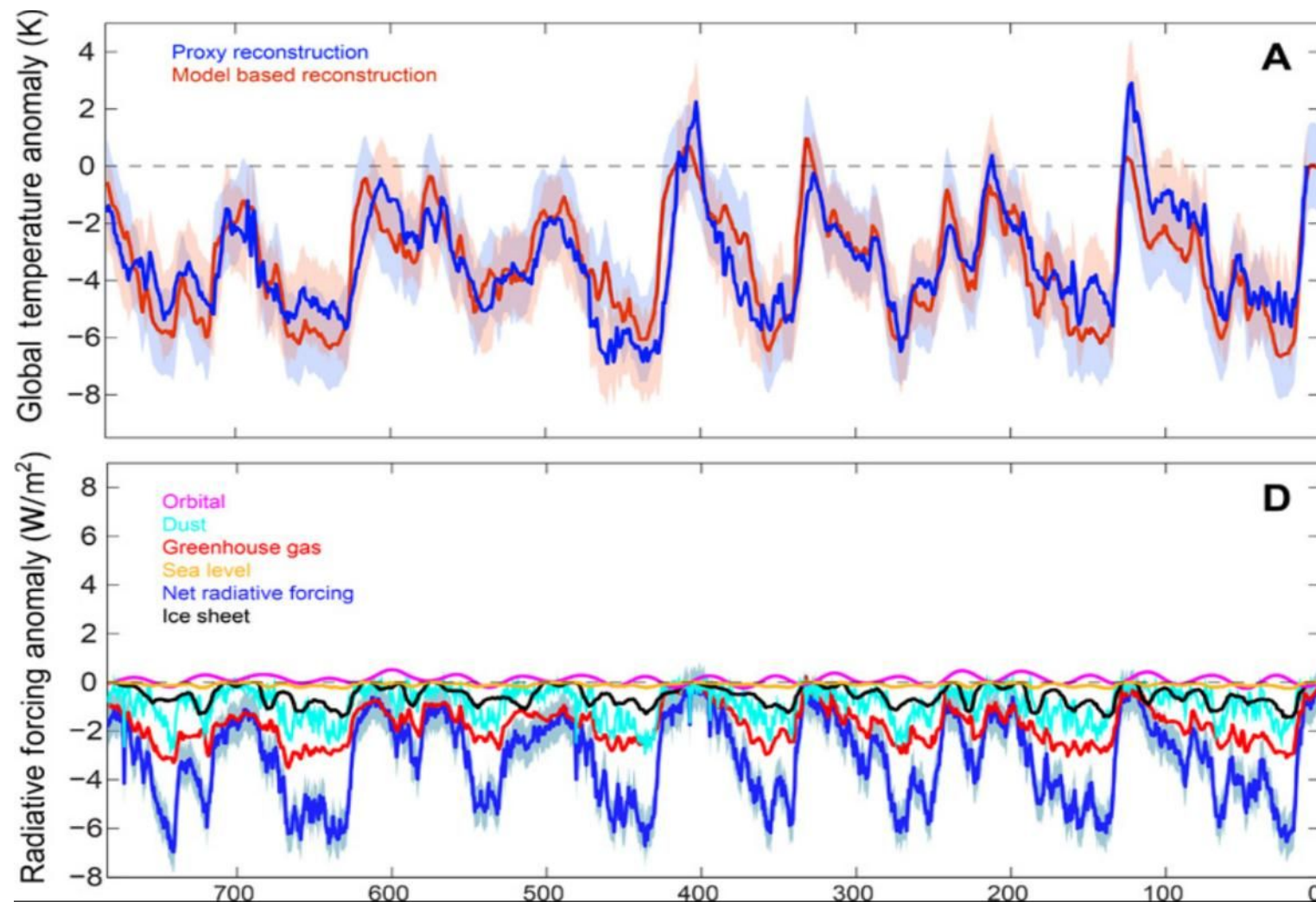
0

Age (millions of years ago)

PhanDA global mean surface temperature across the last 485 million years. The gray shading corresponds to different confidence levels, and the black line shows the average solution. The colored bands along the top reflect the climate state, with cooler colors indicating icehouse (coolhouse and coldhouse) climates, warmer colors indicating greenhouse (warmhouse and hothouse) climates, and the gray representing a transitional state.

Mechanizm epok lodowych:

Wymuszenia orbitalne (D) i **sprzężenia (D)** skutkują
zmianami w bilansie radiacyjnym (D) i dalej odpowiednią
zmiennością temperatury (A).



Friedrich et al.,
Science Advances
09 Nov 2016:
Vol. 2, no. 11,
e1501923
DOI:
10.1126/sciadv.1501
923

