



Śląskie.
DLA KLIMATU

Zrozumieć Zmiany Klimatu

cz. 1

Zakres merytoryczny warsztatów

- Klimat i pogoda.
- Podstawy funkcjonowania systemu klimatycznego.
- Naturalne i antropogeniczne czynniki wywołujące zmiany i zmienność klimatu.
- Gazy cieplarniane i efekt cieplarniany.
- Wymuszenia radiacyjne, Potencjał Efektu Cieplarnianego, Bilans Promieniowania Ziemi
- Zmiany i zmienność temperatury – jak interpretować globalną temperaturę powietrza,
- Metody pozyskiwania i źródła danych o atmosferze – wizyta w stacji meteorologicznej i stacji gradientowej Instytutu Nauk o Ziemi.
- Rodzaje danych meteorologicznych



Fundusze Europejskie
dla Śląskiego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską

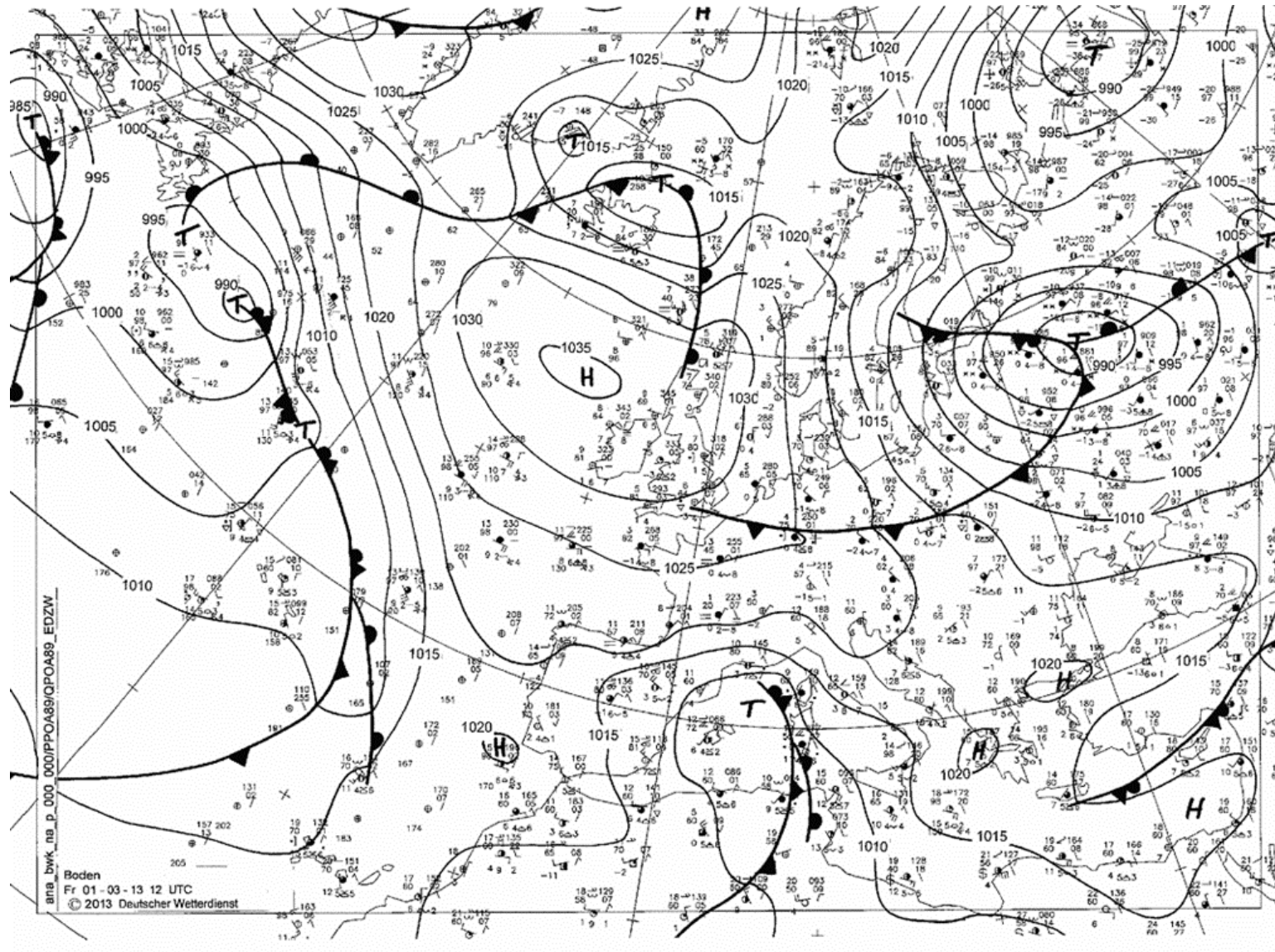


Województwo
Śląskie

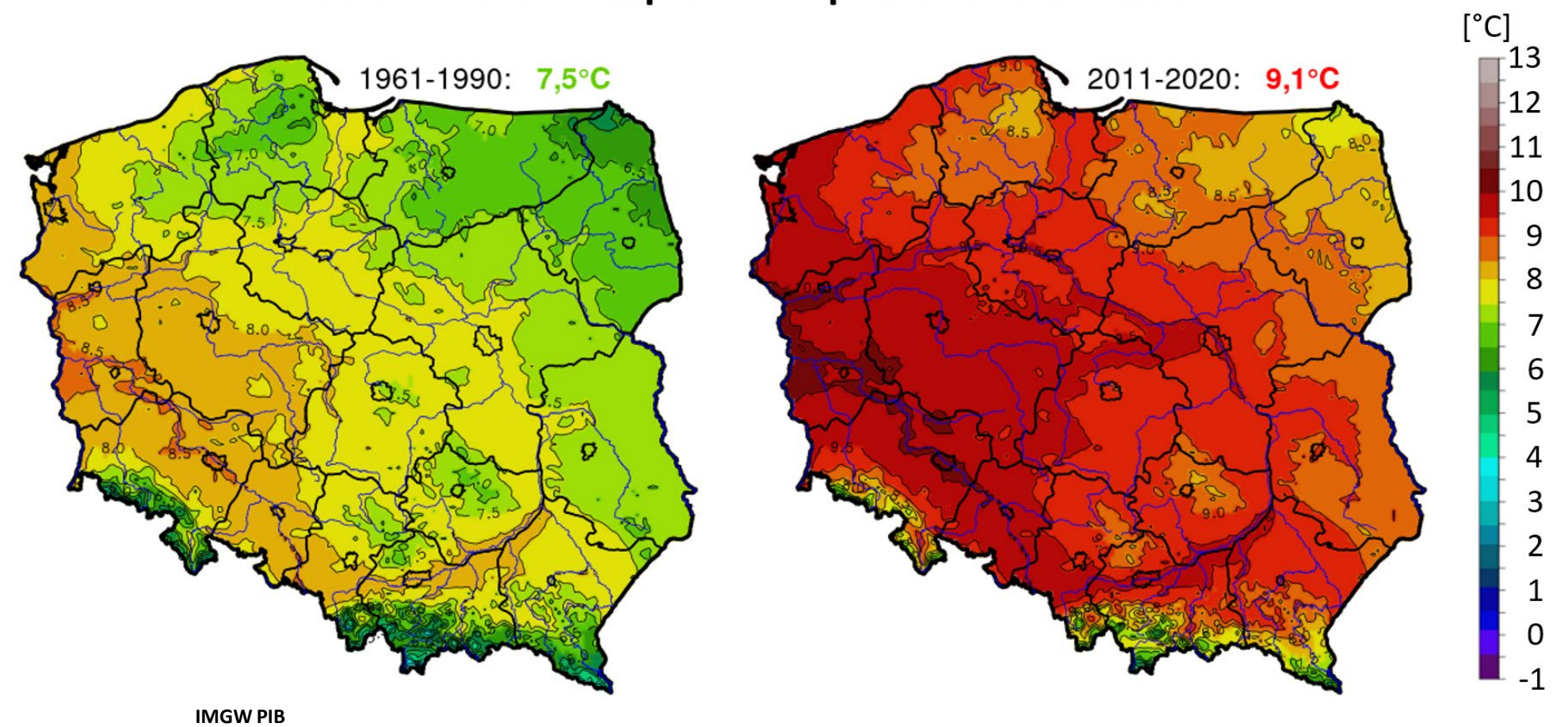
Projekt "Śląskie Centrum Klimatu - Etap I" współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu Fundusze Europejskie dla Śląskiego 2021–2027

Czym są Zmiany Klimatu

Pogoda i Klimat



Średnia roczna temperatura powietrza w Polsce



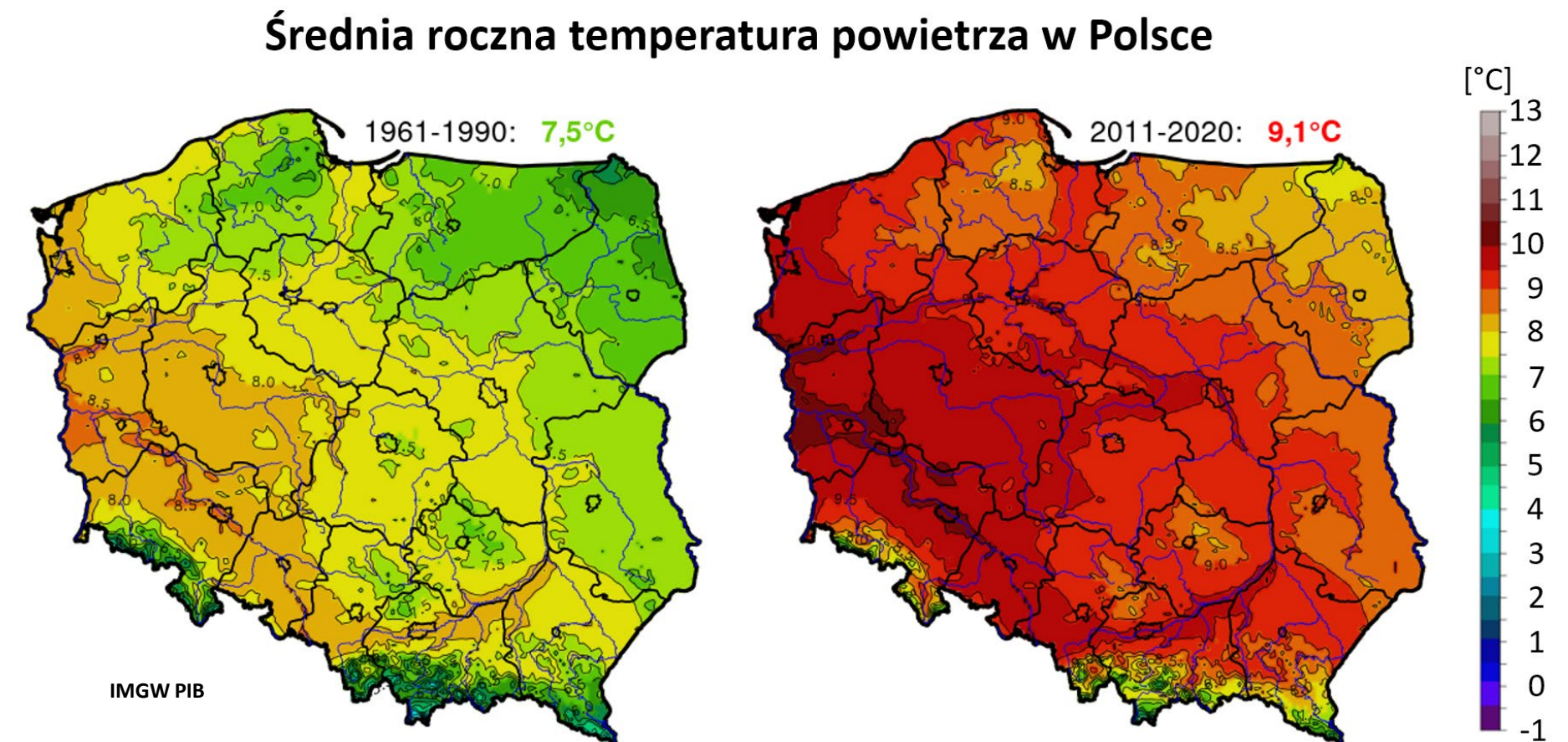
Czym są Zmiany Klimatu

Pogoda i Klimat

Pogoda - chwilowy stan atmosfery w pewnym miejscu określony na podstawie wartości elementów meteorologicznych (temperatura powietrza, opady atmosferyczne, kierunek i prędkość wiatru i in.)



Klimat - statystyczny stan atmosfery w pewnym miejscu, określony na podstawie wieloletnich obserwacji (według WMO co najmniej 30 lat). Charakterystyczny dla pewnego obszaru układ pogody w przebiegu wieloletnim



Pogoda może zmieniać się dramatycznie z dnia na dzień.

Pogoda i klimat są czasami używane zamiennie, ale naukowcy, meteorolodzy i badacze badają je w różny sposób.

Czym są Zmiany Klimatu

Podstawy Funkcjonowania Systemu Klimatycznego



System Klimatyczny

Skomplikowany system pięciu sfer występujących na Ziemi pomiędzy którymi zachodzą wzajemne oddziaływania i relacje.

- Atmosfera
- Hydrosfera
- Litosfera
- Biosfera
- Kriosfera

System klimatyczny znajduje się pod nieustannym wpływem mechanizmów (wymuszeń) wewnętrznych i zewnętrznych



Podstawy Funkcjonowania Systemu Klimatycznego

Komponenty Systemu Klimatycznego

Atmosfera to cienka warstwa gazów otaczająca Ziemię. Atmosfera odgrywa ważną rolę w regulacji temperatury Ziemi.



- Regulacja temperatury (kompozycja atmosfery, chmury)
- Transport ciepła (cyrkulacja atmosferyczna)
- Wpływ na bilans energetyczny Ziemi (chmury, aerozole itd.)
- Transport wilgoci (pary wodnej)
- Procesy pogodowe
- Efekt cieplarniany (para wodna + gazy cieplarniane)





Komponenty Systemu Klimatycznego

Hydrosfera obejmuje wszystkie ciekłe wody powierzchniowe i podziemne, zarówno wody słodkie, w tym rzeki, jeziora i warstwy wodonośne, jak i słone wody oceanów i mórz.

- Regulacja temperatury (pojemność cieplna, parowanie)
- Transport ciepła (prądy morskie)
- Magazynowanie gazów cieplarnianych
- Źródło wody atmosferycznej



Obieg Wody w Przyrodzie

Obieg Wody w Przyrodzie

Cykl hydrologiczny – naturalny obieg wody na Ziemi.

Obejmuje on procesy zachodzące zarówno w **atmosferze**,
takie jak:

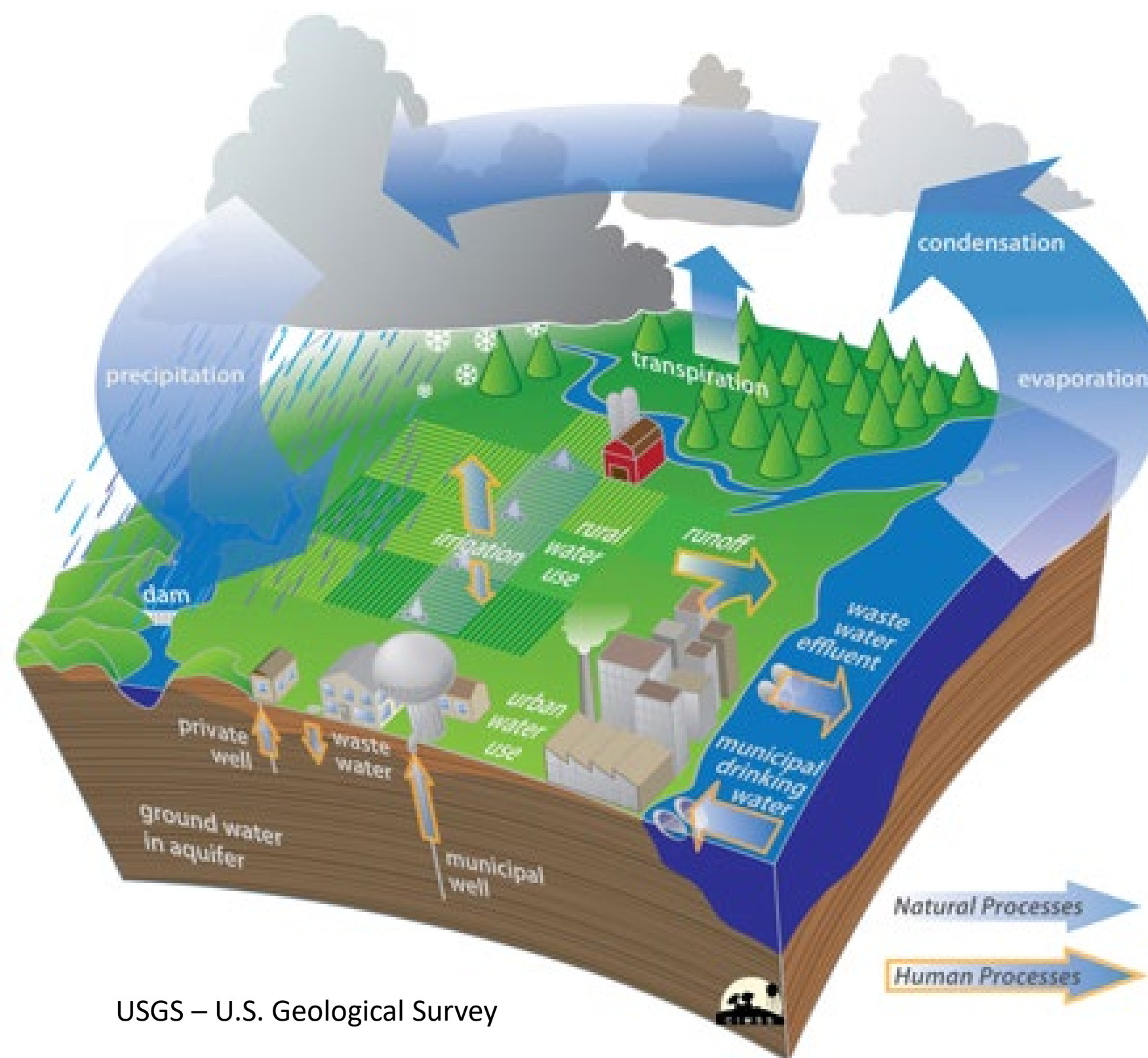
- parowanie,
- kondensacja,
- opady,
- transport wilgoci;

w **biosferze**:

- pobieranie wody i jej oddawanie w procesie oddychania, czyli transpiracji,

jak i w **litosferze**:

- wsiąkanie,
- spływ podziemny,
- spływ powierzchniowy.



USGS – U.S. Geological Survey

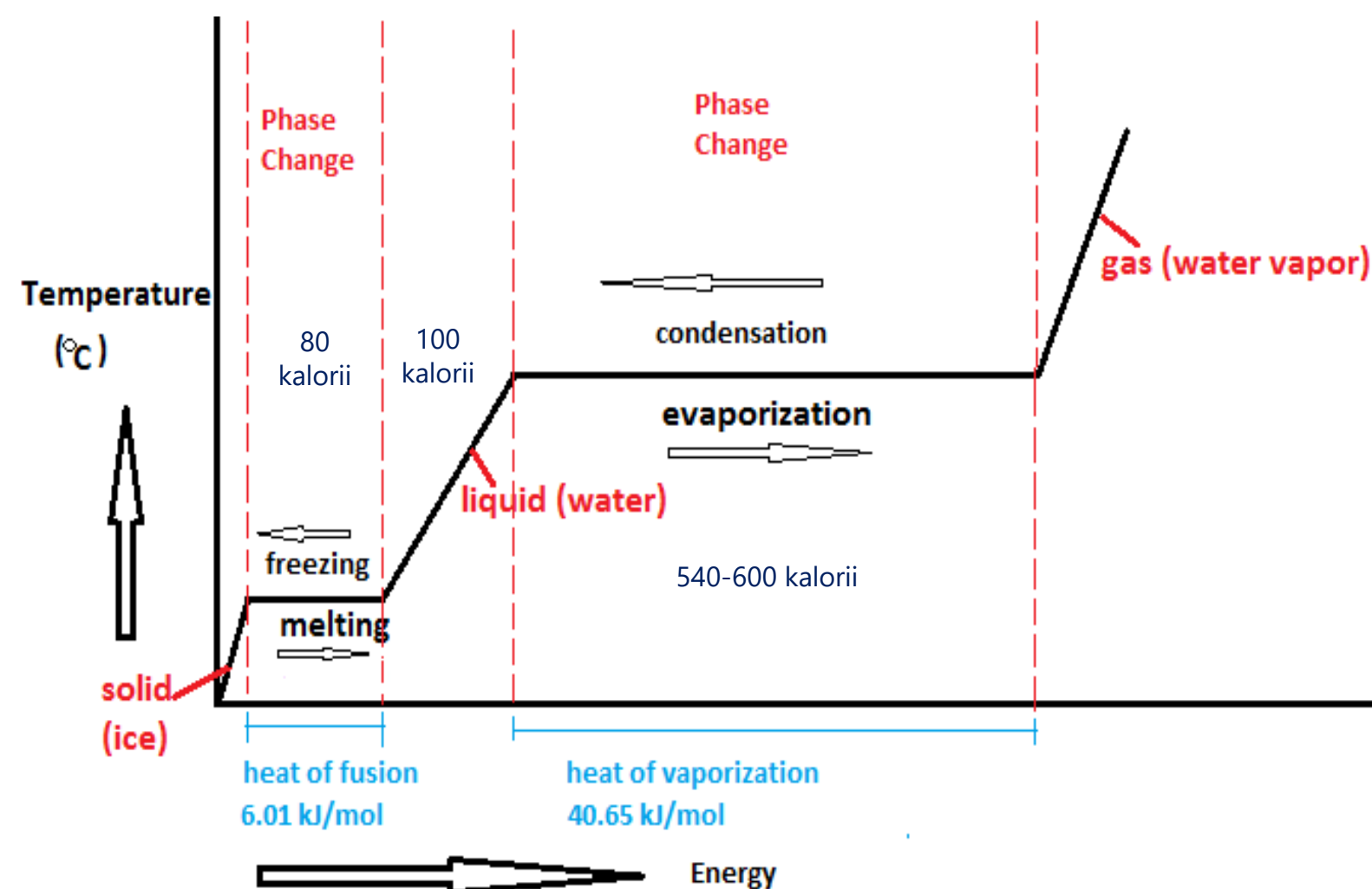
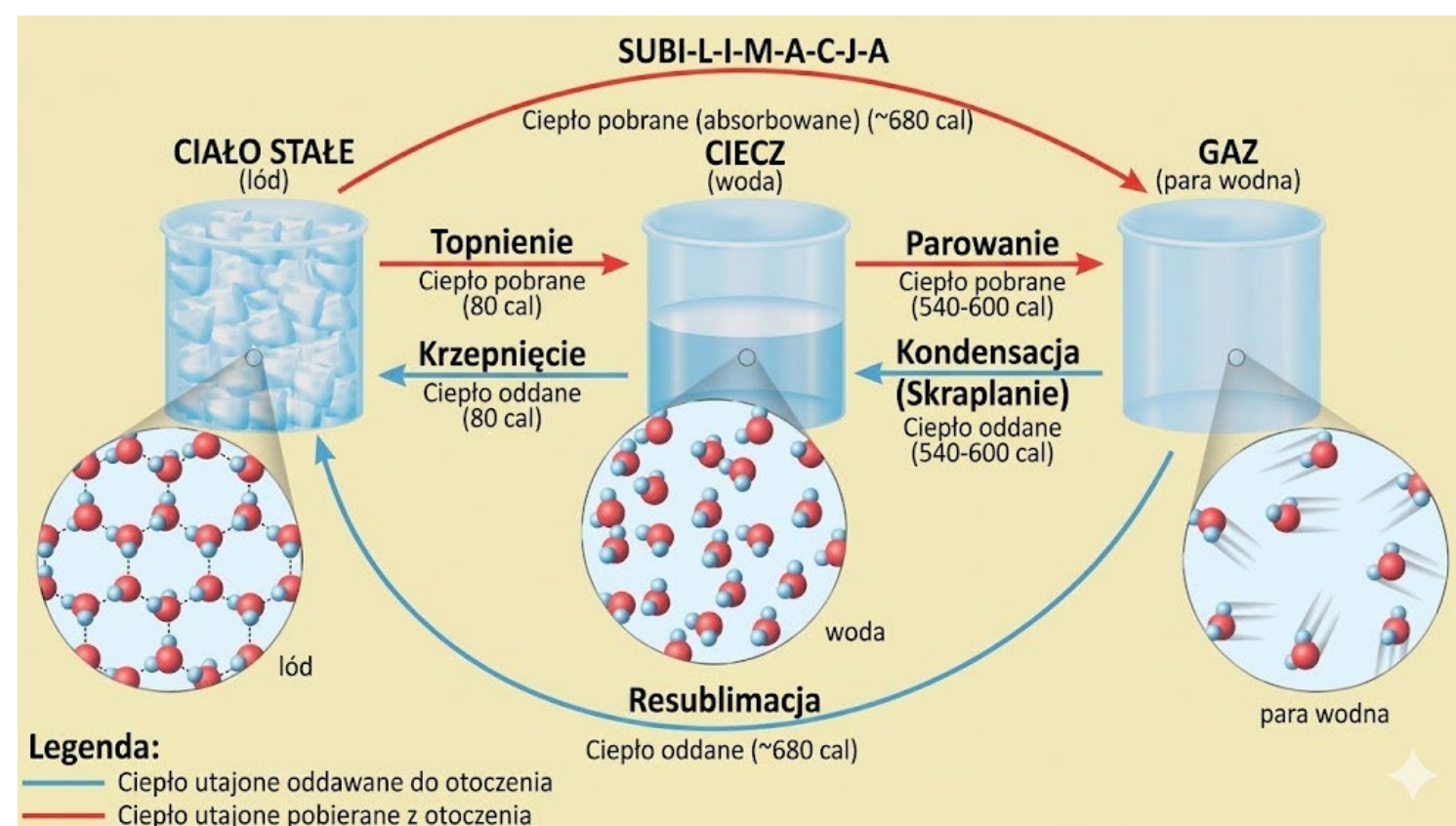
Czym są Zmiany Klimatu

Podstawy Funkcjonowania Systemu Klimatycznego

Ciepło Utajone / Ciepło przemiany fazowej

Ilość energii termicznej wymienionej pomiędzy układem a otoczeniem podczas przejścia fazowego, prowadzonego w warunkach ściśle izotermicznych.

Termin ten został wprowadzony około 1750 przez szkockiego chemika Josefa Blacka.



Podstawy Funkcjonowania Systemu Klimatycznego

Komponenty Systemu Klimatycznego

Kriosfera obejmuje wodę w postaci stałej czyli śnieg, lód morski, lód w zamrożonej ziemi (permafrost), lód na jeziorach i rzekach, lód na lądzie, czyli lodowce górskie i czapy lodowe

- Wpływ na albedo Ziemi
- Sprzężenia zwrotne (śnieg, lód morski)
- Wpływ na zasolenie i gęstość wody w oceanie
- Wpływ na poziom oceanu/morza



Podstawy Funkcjonowania Systemu Klimatycznego

LITOSFERA



Komponenty Systemu Klimatycznego

Litosfera to sztywna powłoka Ziemi składająca się z wielkich i mniejszych płyt (kier), które stanowią powierzchnie kontynentów (płyty kontynentalne) i dna oceaniczne (płyty oceaniczne).

- Modyfikuje transport ciepła (orografia, cyrkulacja atmosferyczna i oceaniczna)
- Albedo
- Magazynowanie węgla
- Aktywność wulkaniczna



Podstawy Funkcjonowania Systemu Klimatycznego

BIOSFERA



Komponenty Systemu Klimatycznego

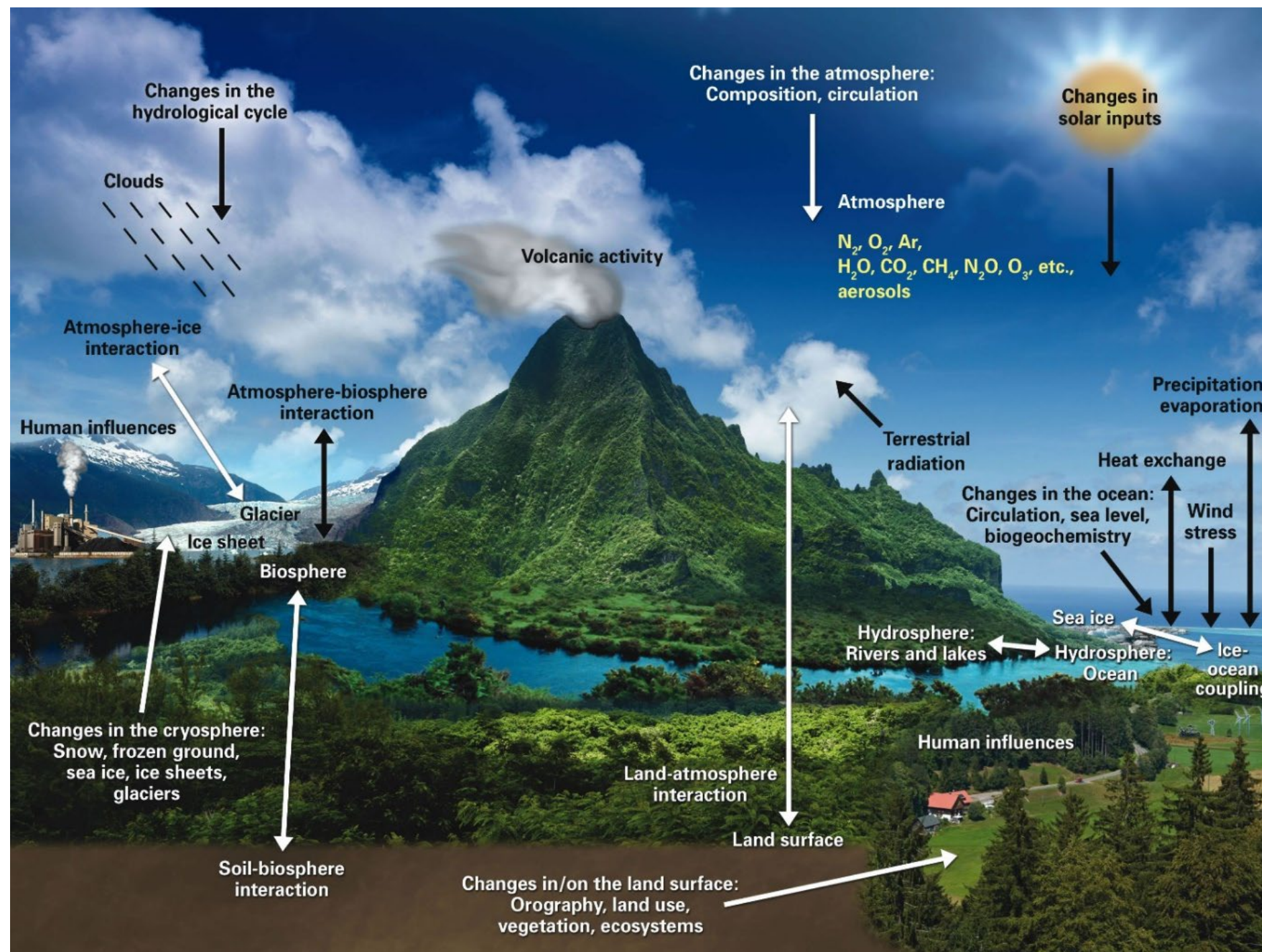
Biosfera to strefa Ziemi obejmująca wszystkie organizmy żywe i miejsca, w których żyją – od głębin oceanów, przez glebę, aż po dolne warstwy atmosfery (powietrze) i powierzchnię lądów. Dzieli się na fitosferę (rośliny), zoosferę (zwierzęta) i antroposferę (ludzie)

- Element obiegu CO₂ (respiracja)
- Powstawanie torfu i węgla
- Ewapotranspiracja
- Albedo
- Sprzężenia zwrotne klimat-biosfera



Czym są Zmiany Klimatu

Graficzna Reprezentacja Systemu Klimatycznego



Rysunek 1.1: Schematyczny widok składników globalnego systemu klimatycznego (pogrubione), ich procesów i wzajemnych oddziaływań (cienkie strzałki) oraz niektórych aspektów, które mogą ulec zmianie (pogrubione strzałki).



- Jeśli Ziemia pochłania i odbija energię w równych ilościach, temperatura Ziemi pozostanie taka sama.
- Jeśli więcej energii jest pochłaniane niż odbijane, Ziemia zaczyna się ocieplać.

Zmiany ilości promieniowania słonecznego oraz trwałe zmiany komponentów systemu klimatycznego → zmiana klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

Długotrwałe Zmiany w którymkolwiek z komponentów Systemu Klimatycznego prowadzą do Zmian Klimatu



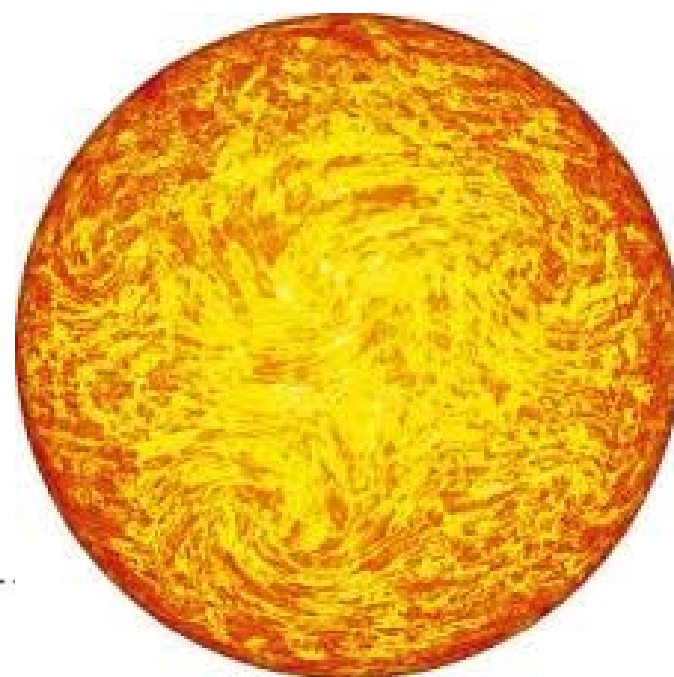
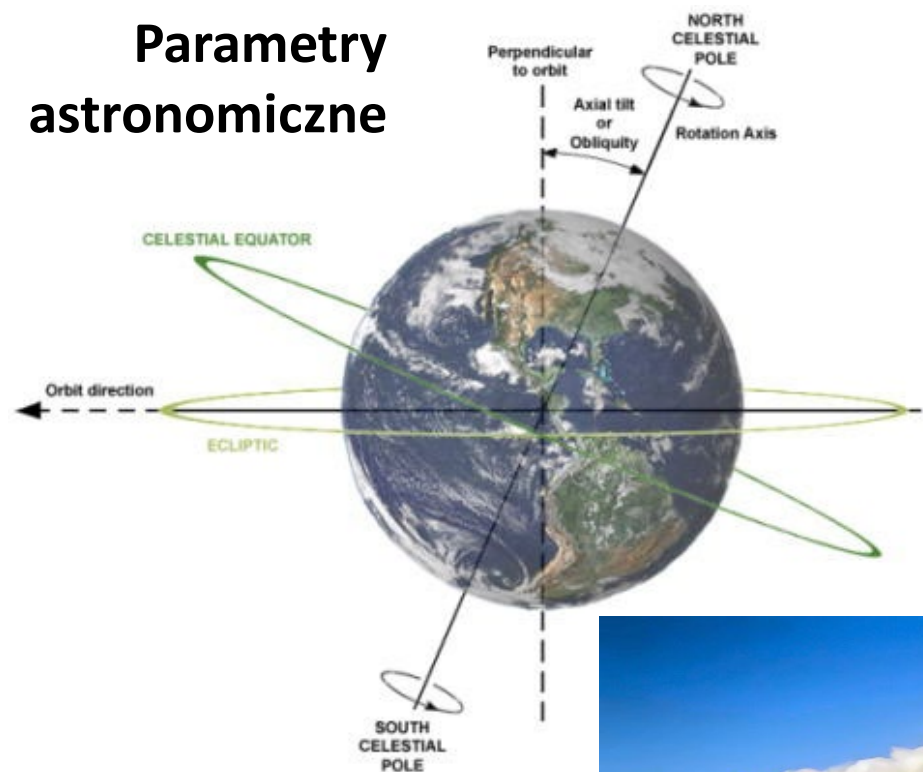
Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

Czynniki Antropogeniczne

Czynniki Naturalne

Zmiany natężenia promieniowania



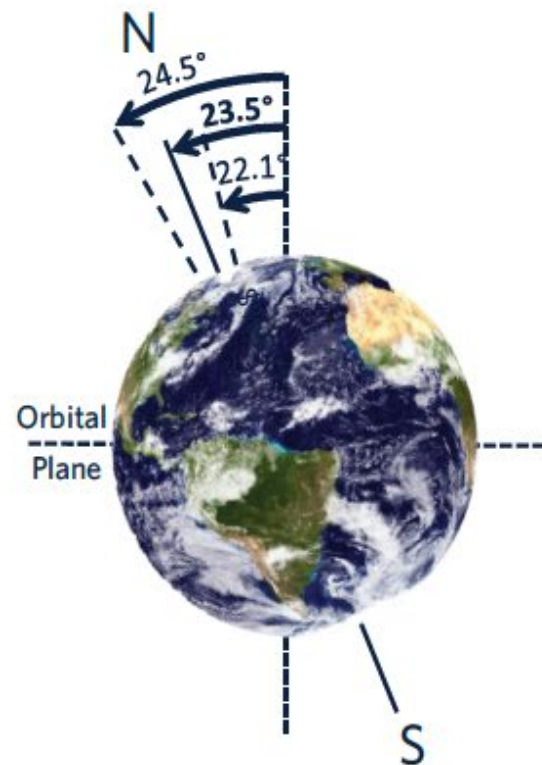
Wulkanizm



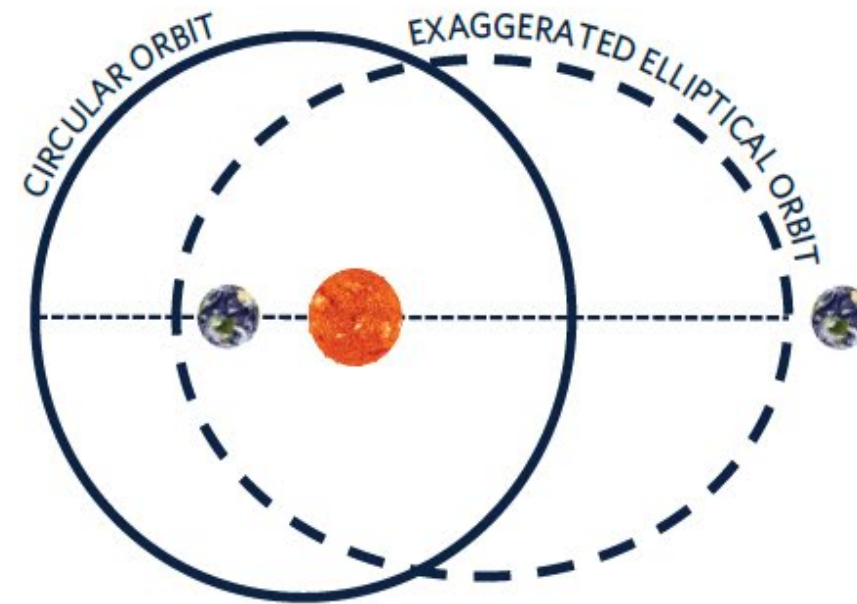
Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

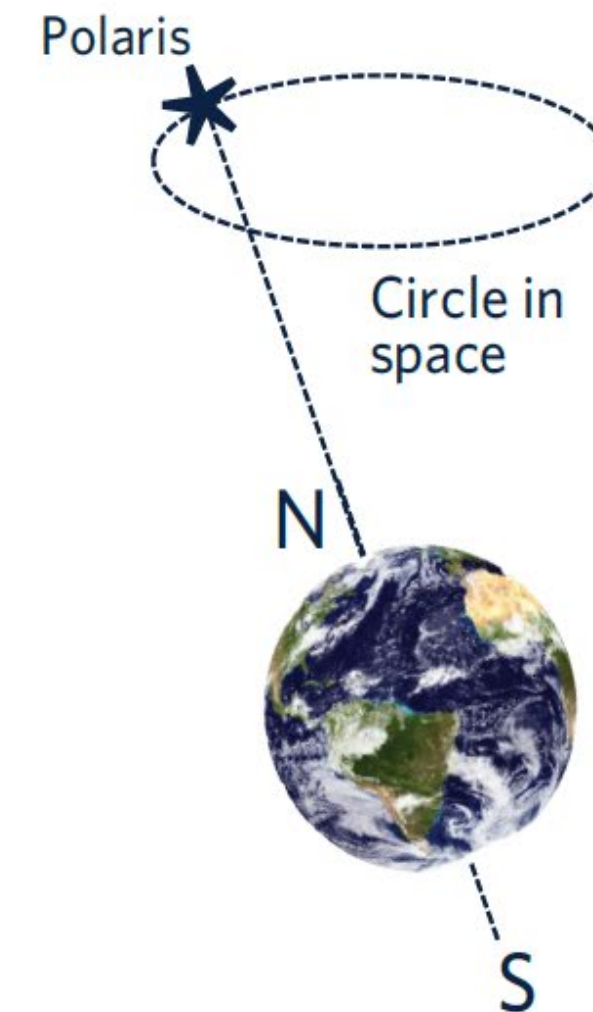
- Zmiany nachylenia osi Ziemi (obliquity/nutacja)
- Zmiany ekscentryczności, czyli mniejszej osi elipsy (orbital eccentricity)
- Zmiany precesji, czyli kierunku nachylenia osi Ziemi



Tilt (obliquity)



Eccentricity



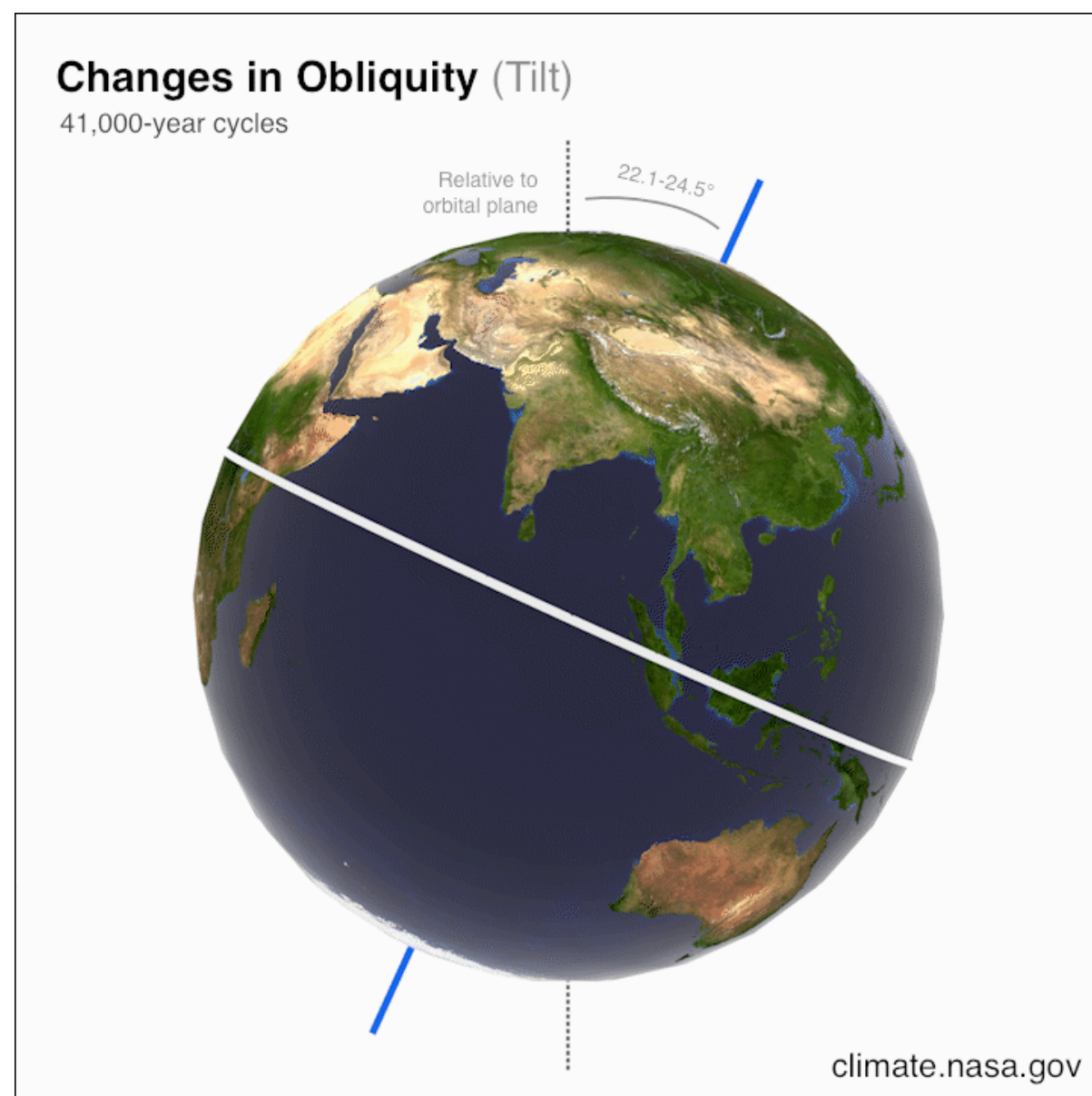
Precession



Czym są Zmiany Klimatu

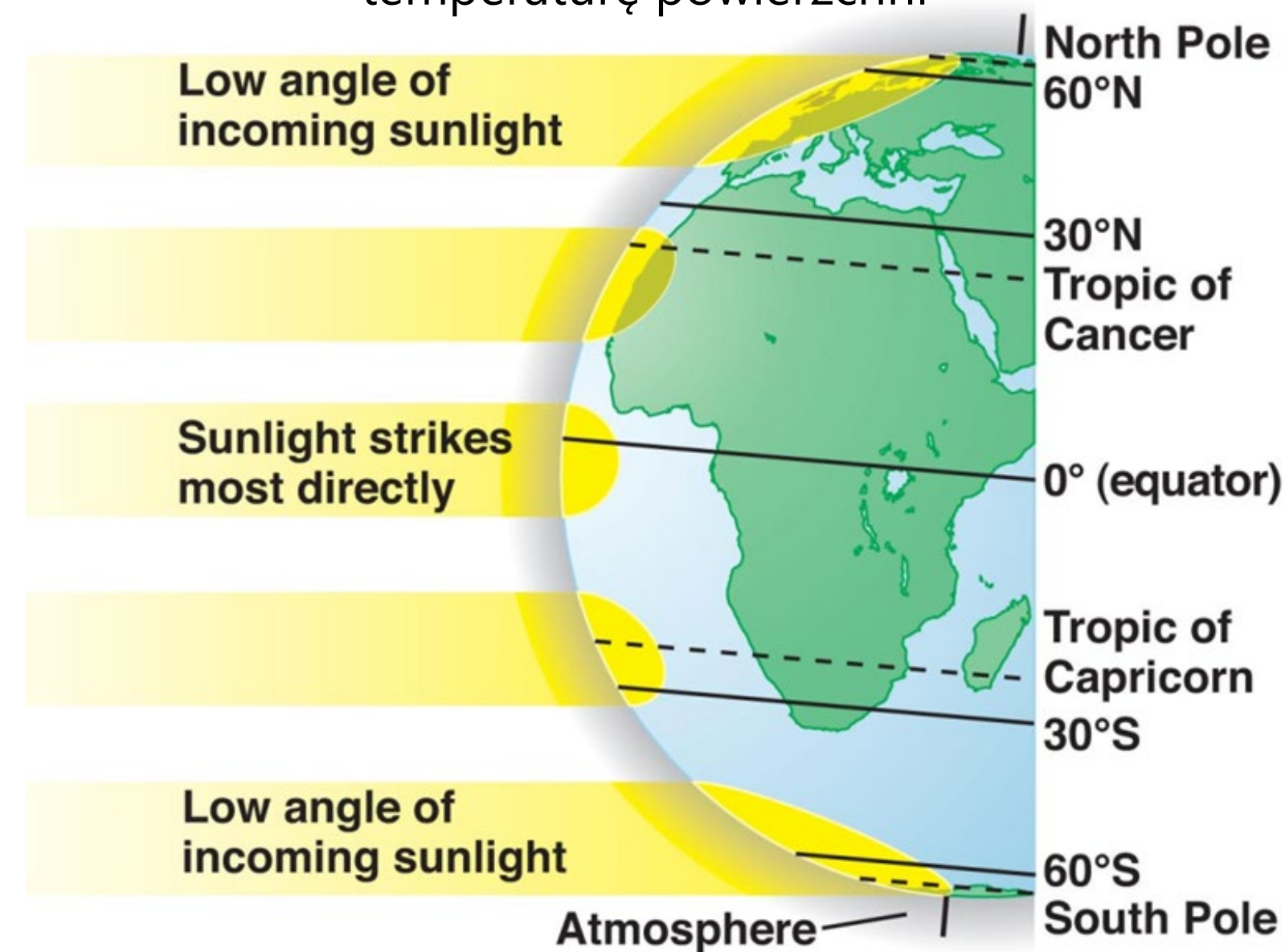
Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

Zmiany nachylenia osi Ziemi (obliquity / nutacja)



Wpływa na kąt padania promieni Słonecznych
cykliczność 41 000 lat

Wpływ kąta padania promieni słonecznych na temperaturę powierzchni

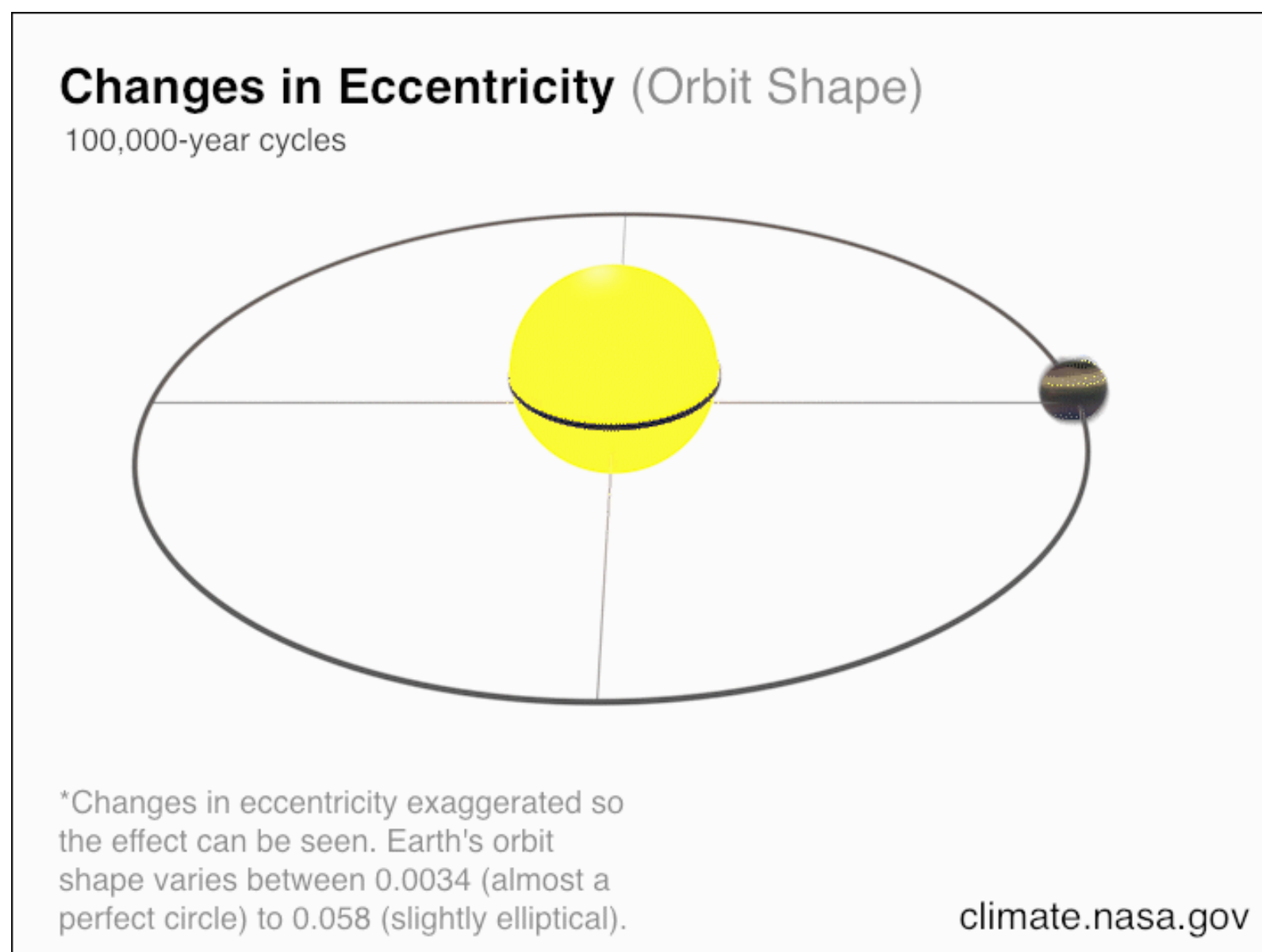


© Pearson Education, Inc.

Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

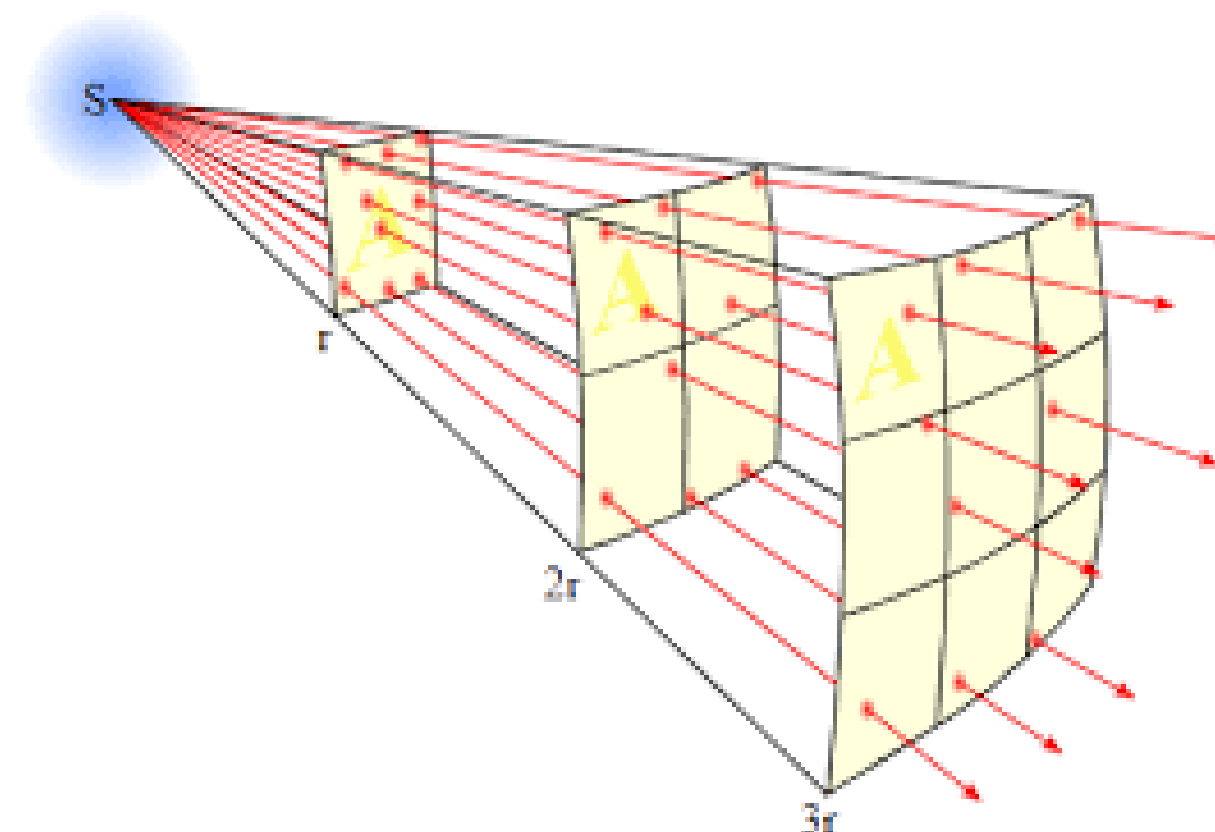
Zmiany ekscentryczności,
czyli mniejszej osi elipsy (orbital eccentricity)



Zmiany odległości między Ziemią i Słońcem w ciągu roku
cykliczność 100 000 lat

Ekscentryczność orbity to miara tego, jak bardzo orbita jest odchylona od idealnego okręgu w kierunku elipsy, wyrażana liczbą od 0 (idealny okrąg) do prawie 1 (bardzo spłaszczona elipsa).

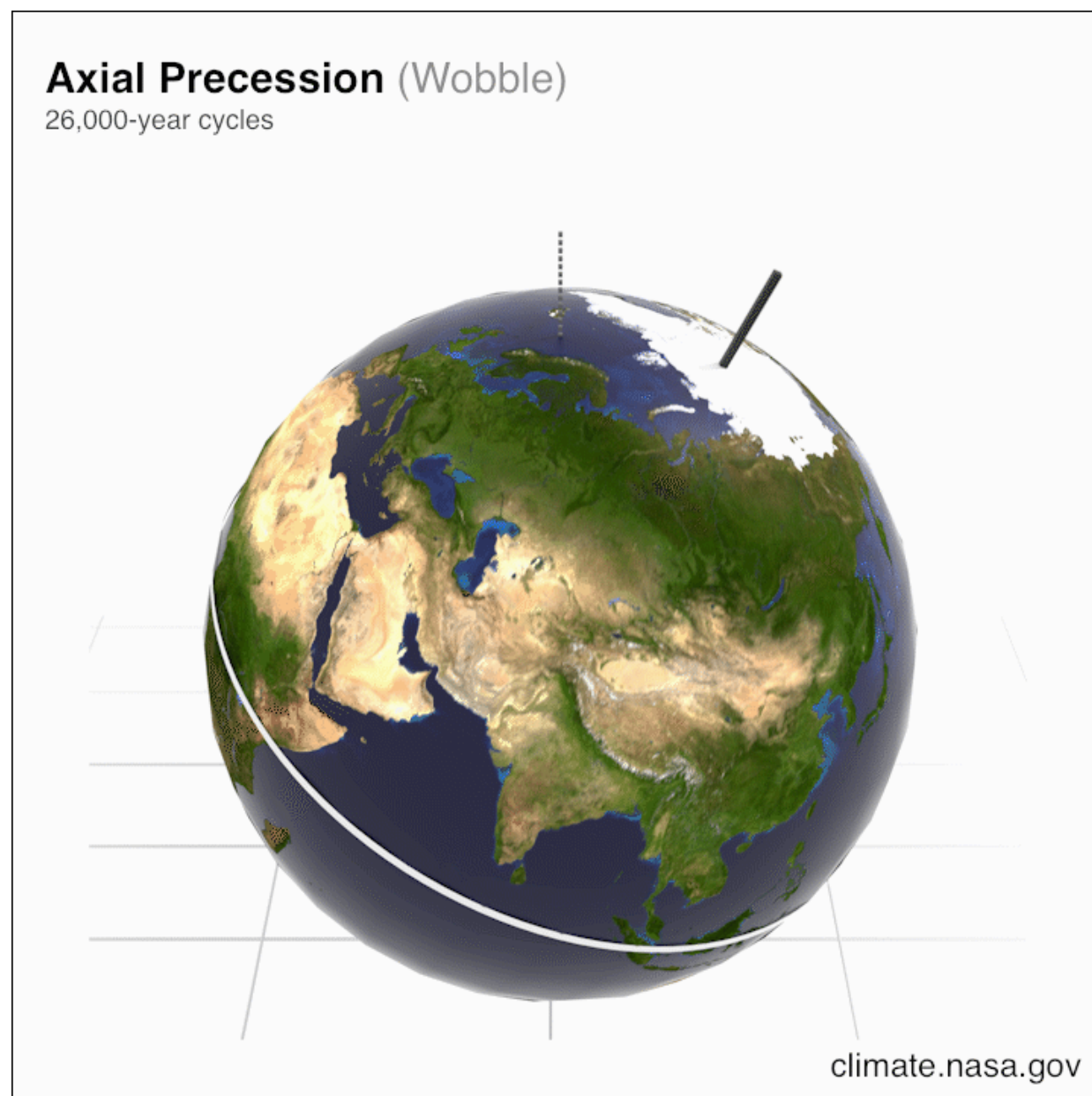
Opisuje kształt orbity ciała niebieskiego, a w przypadku Ziemi wpływa na cykle klimatyczne (Cykle Milankovicia), zmieniając ilość docierającej energii słonecznej w różnych porach roku.



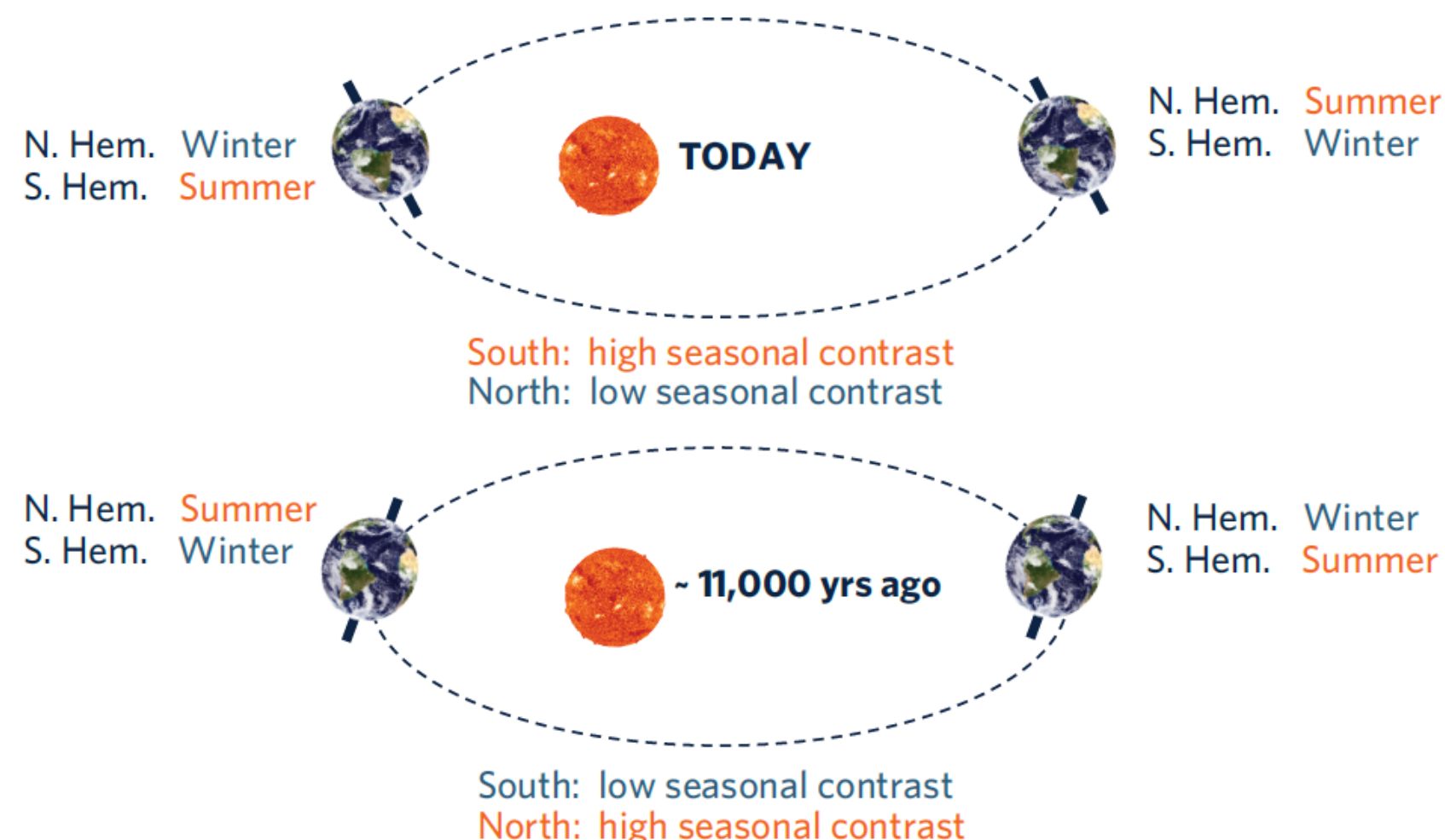
Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

Zmiany precesji (orientacji) osi Ziemi



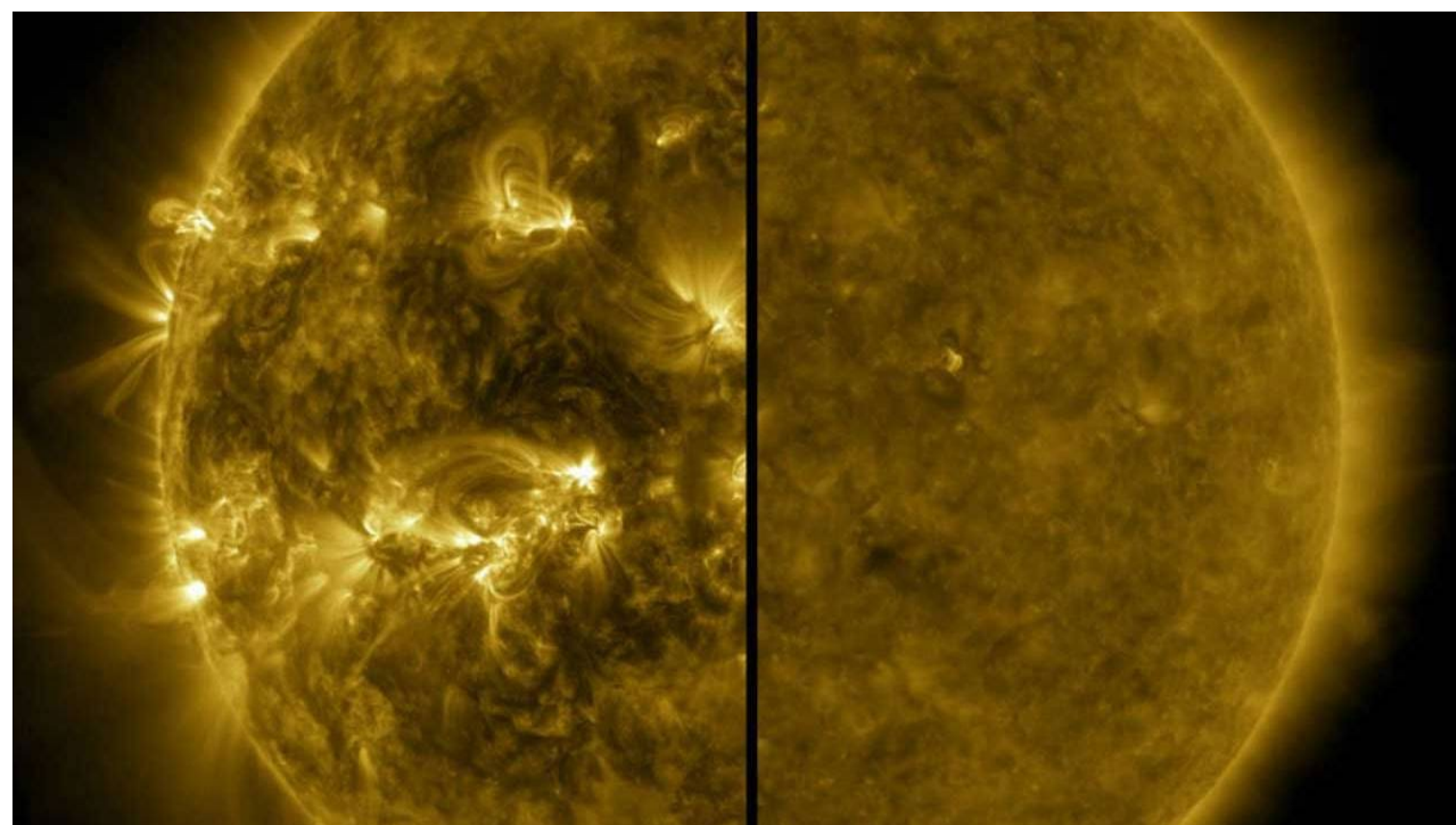
Precesja to powolna zmiana kierunku osi obrotu wirującego ciała, sprawiająca, że oś ta zakreśla stożek wokół pewnego kierunku w przestrzeni, podobnie jak bąk, który się nie przewraca, ale kołysze się wokół pionu.



Zmiany odległości między Ziemią i Słońcem w ciągu roku
cykliczność 26 000 lat

Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

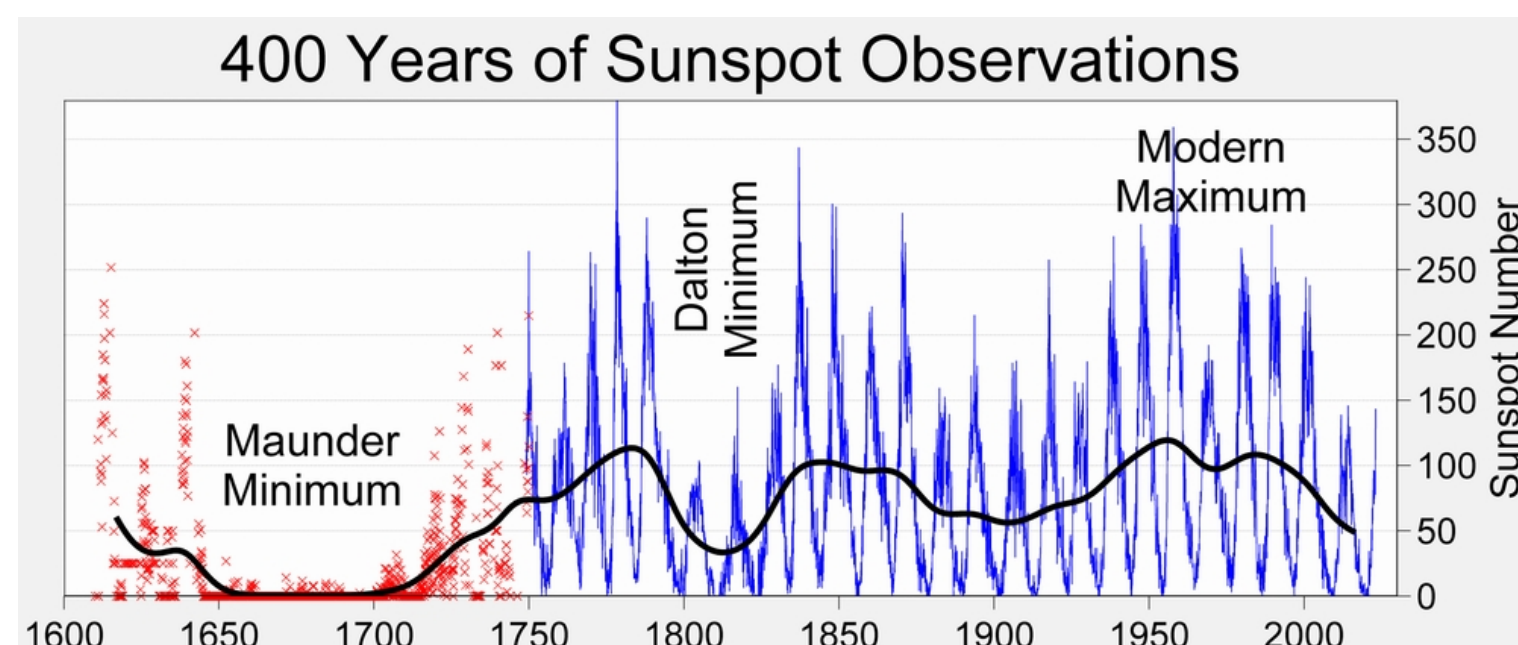


Przyczyny zmian promieniowania słonecznego

Liczba plam słonecznych (Aktywność słoneczna). Plamy słoneczne - obszary na powierzchni Słońca o temperaturze obniżonej o ok. 1000 K od temperatury otoczenia, fragmenty powierzchni gwiazdy o utrudnionym dopływie ciepła z wnętrza gwiazdy. Towarzyszą im rozbłyski i protuberancje, czyli olbrzymie erupcje rozrzedzonych gazów.

Stała słoneczna: Całkowita ilość energii słonecznej docierającej do górnej granicy atmosfery.

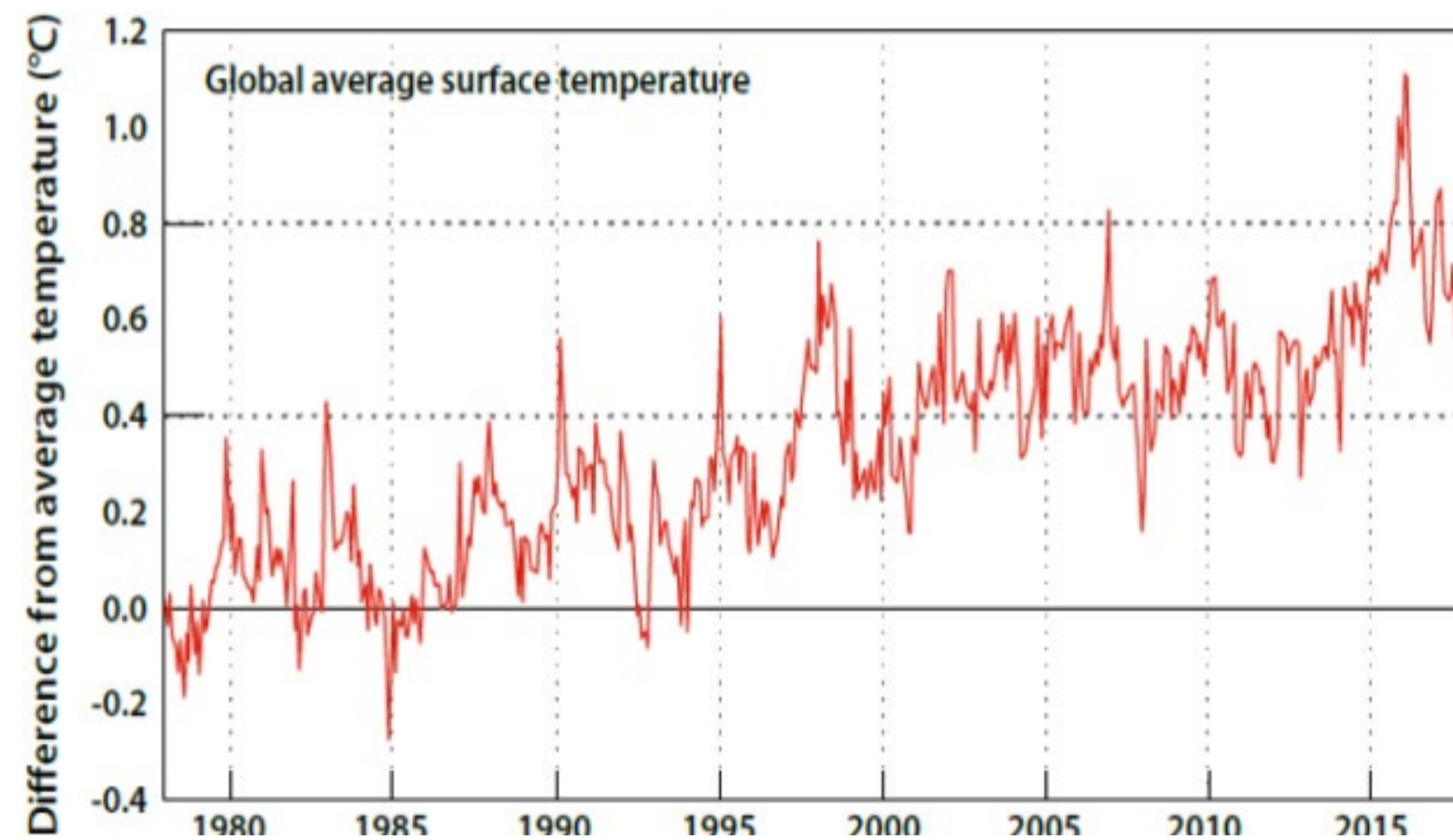
Zmiany spektralne: Natężenie promieniowania zmienia się inaczej w różnych zakresach widma (np. UV), co wymaga złożonej analizy przy ocenie wpływu.



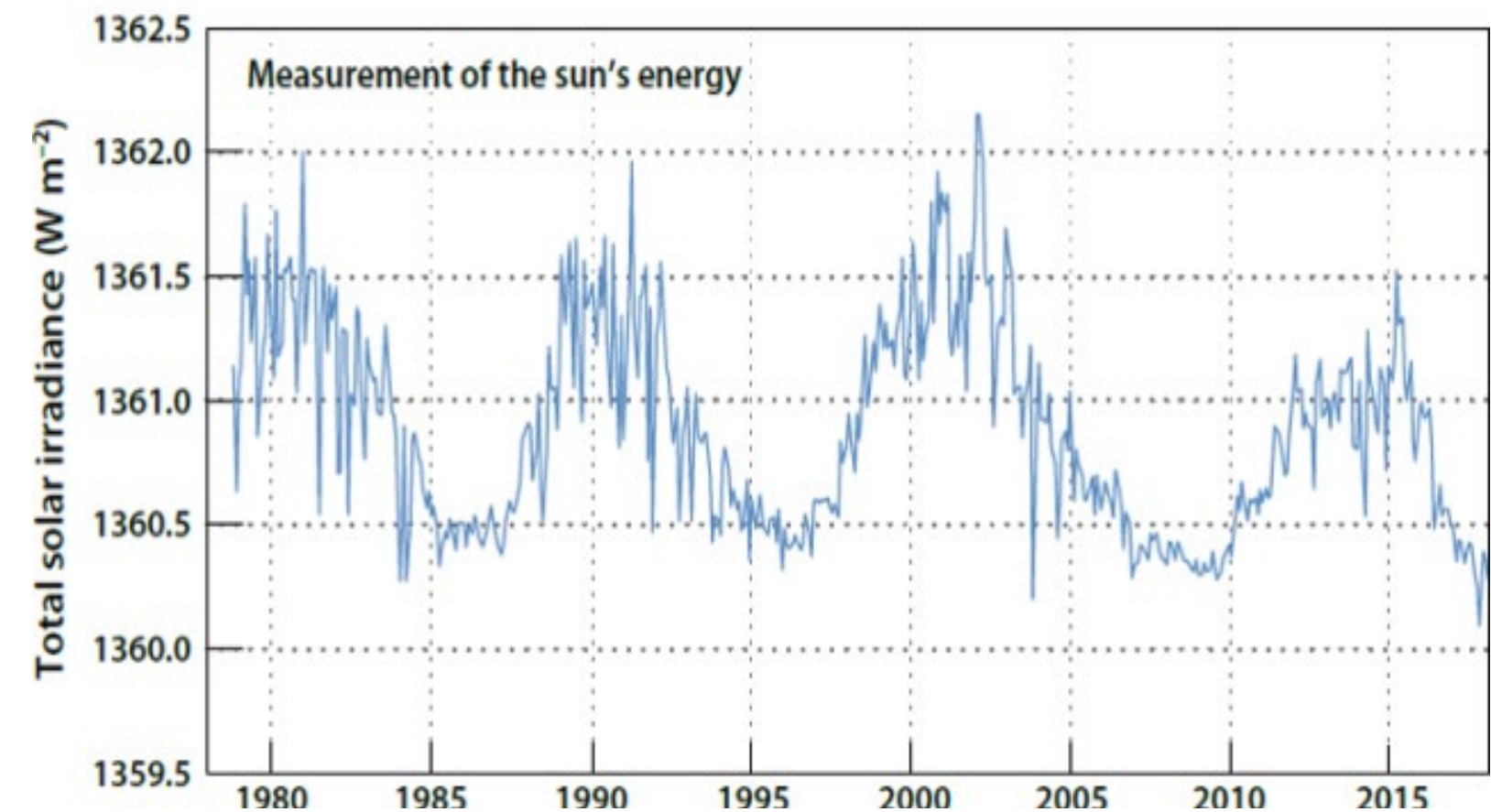
Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

Średnia globalna temperatura powietrza

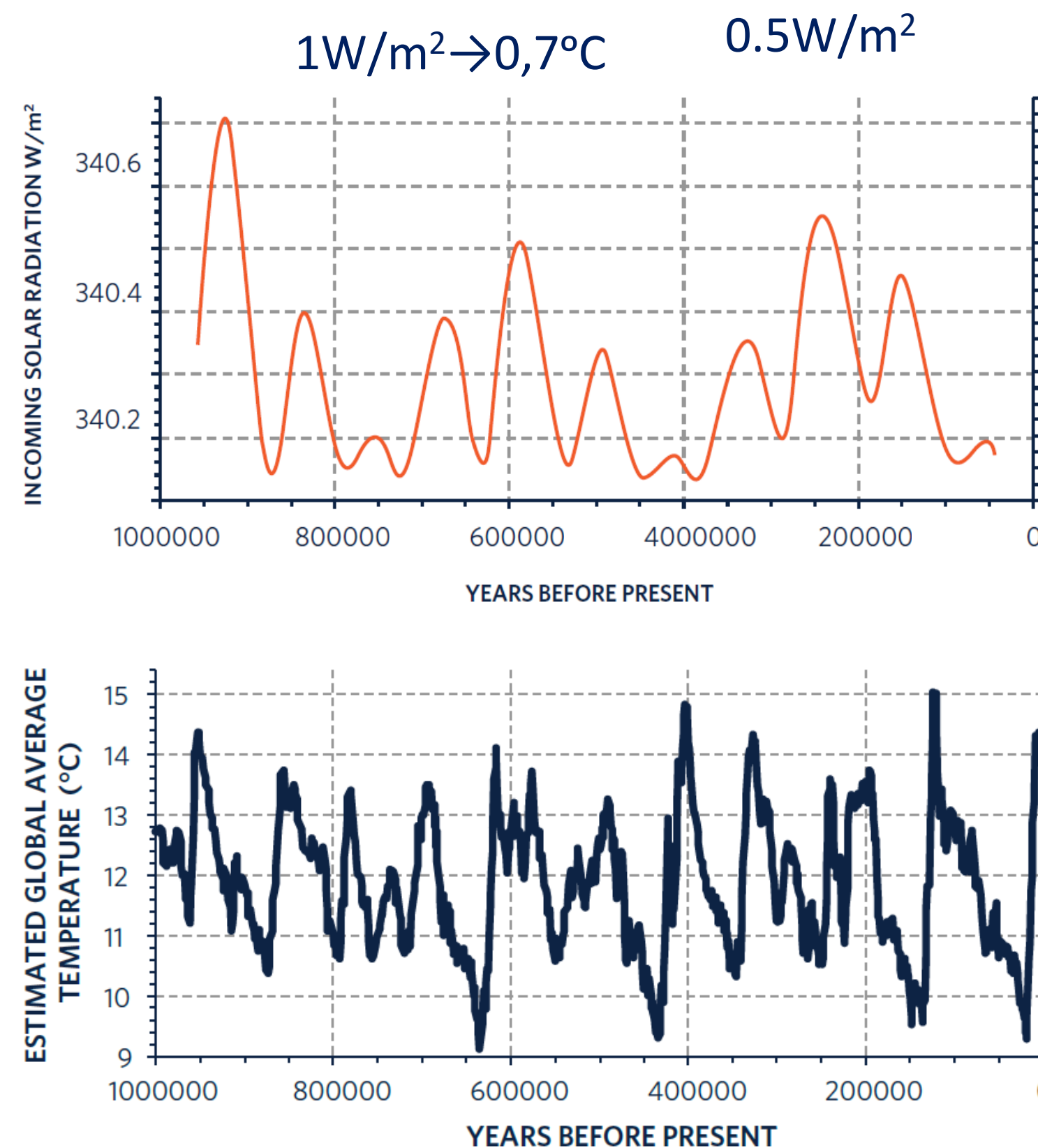
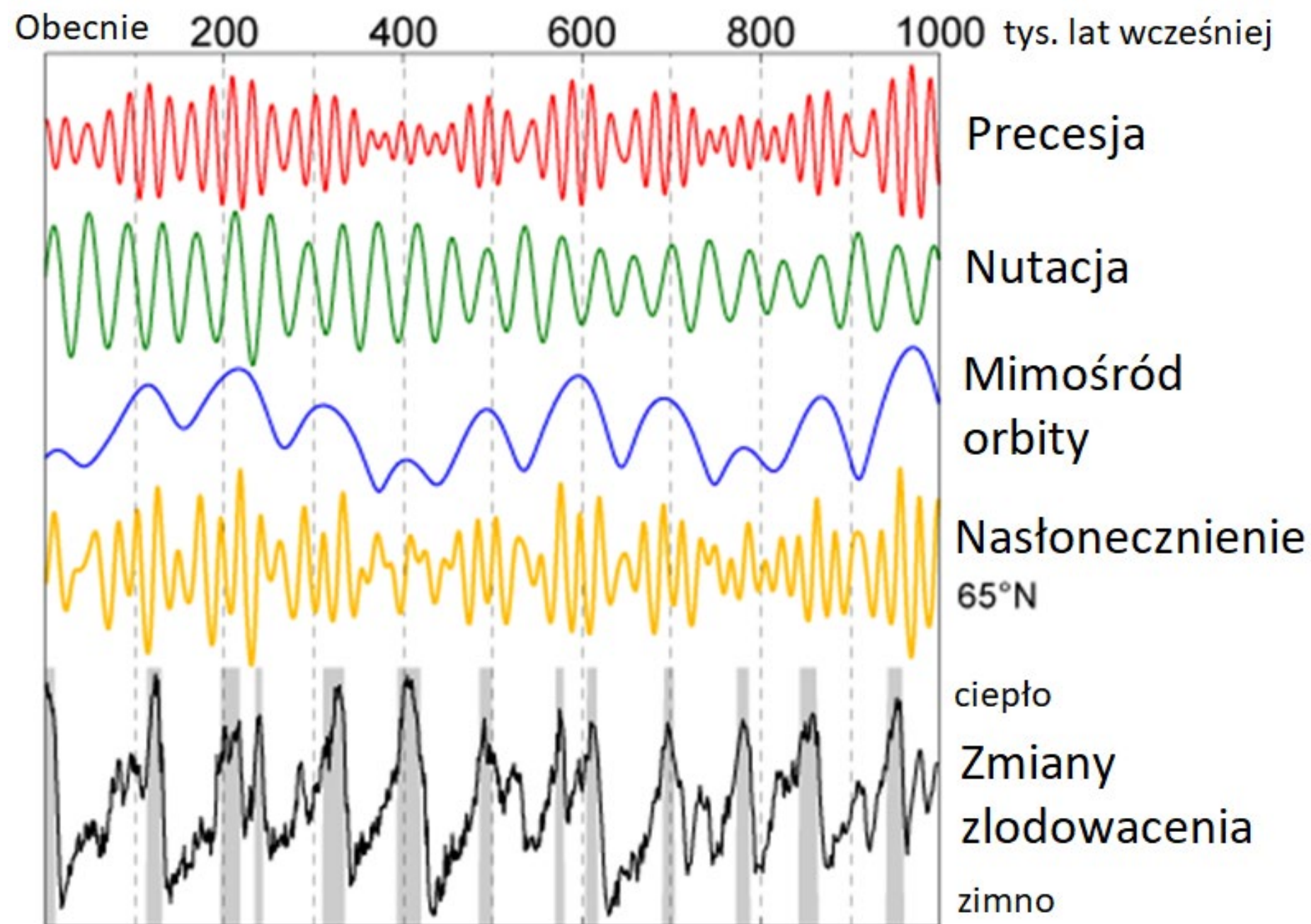


Natężenie promieniowania słonecznego



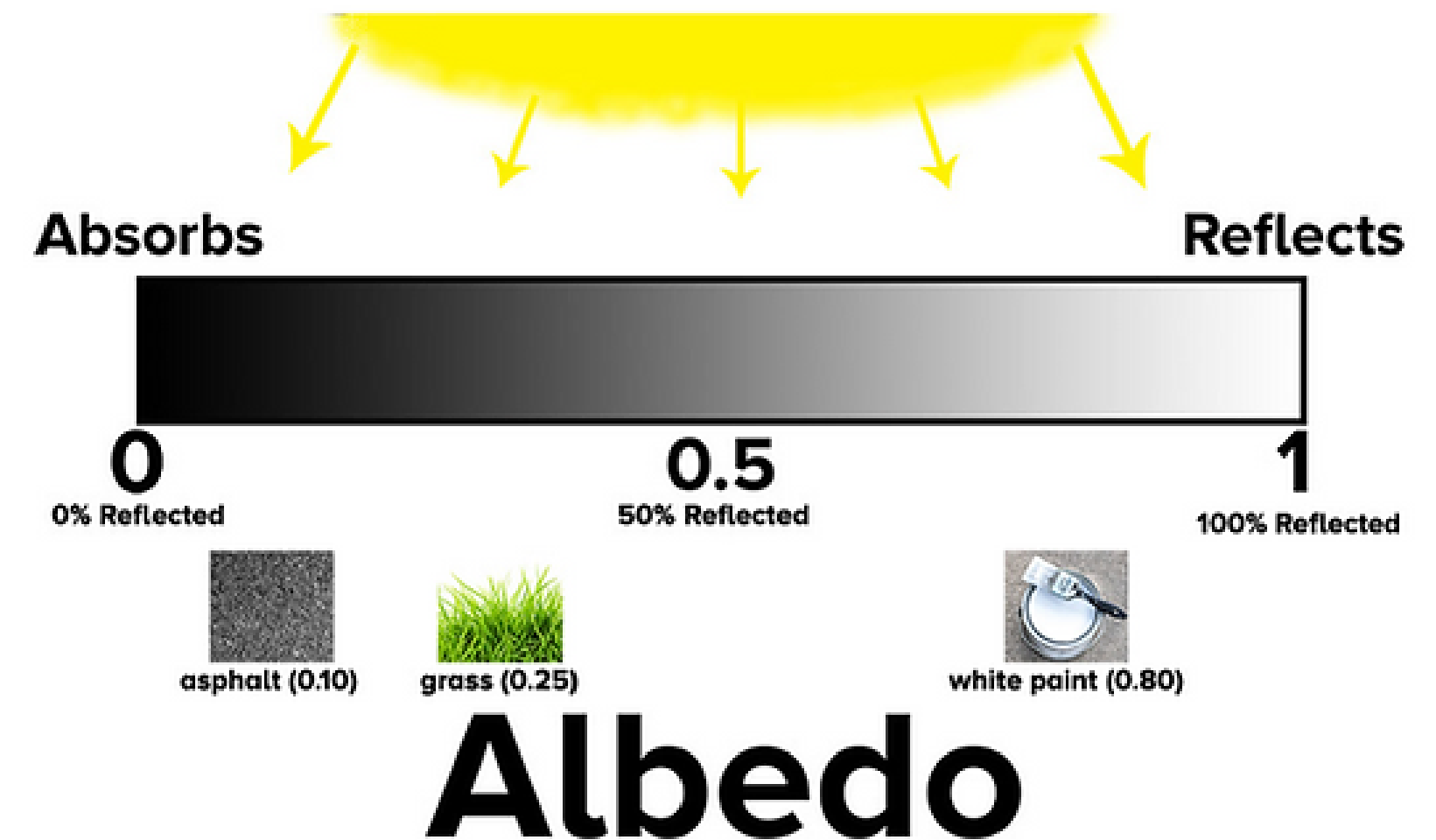
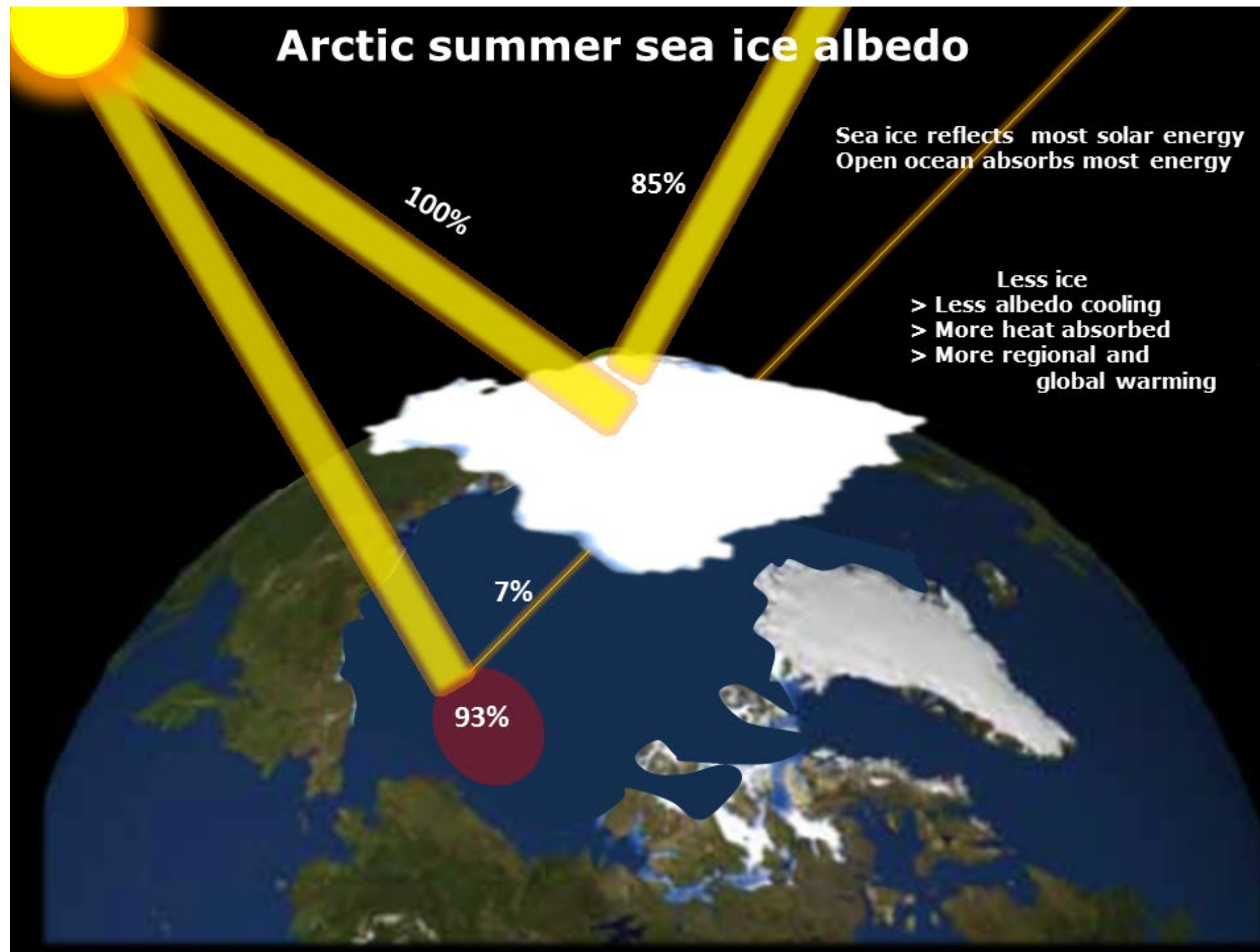
Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu



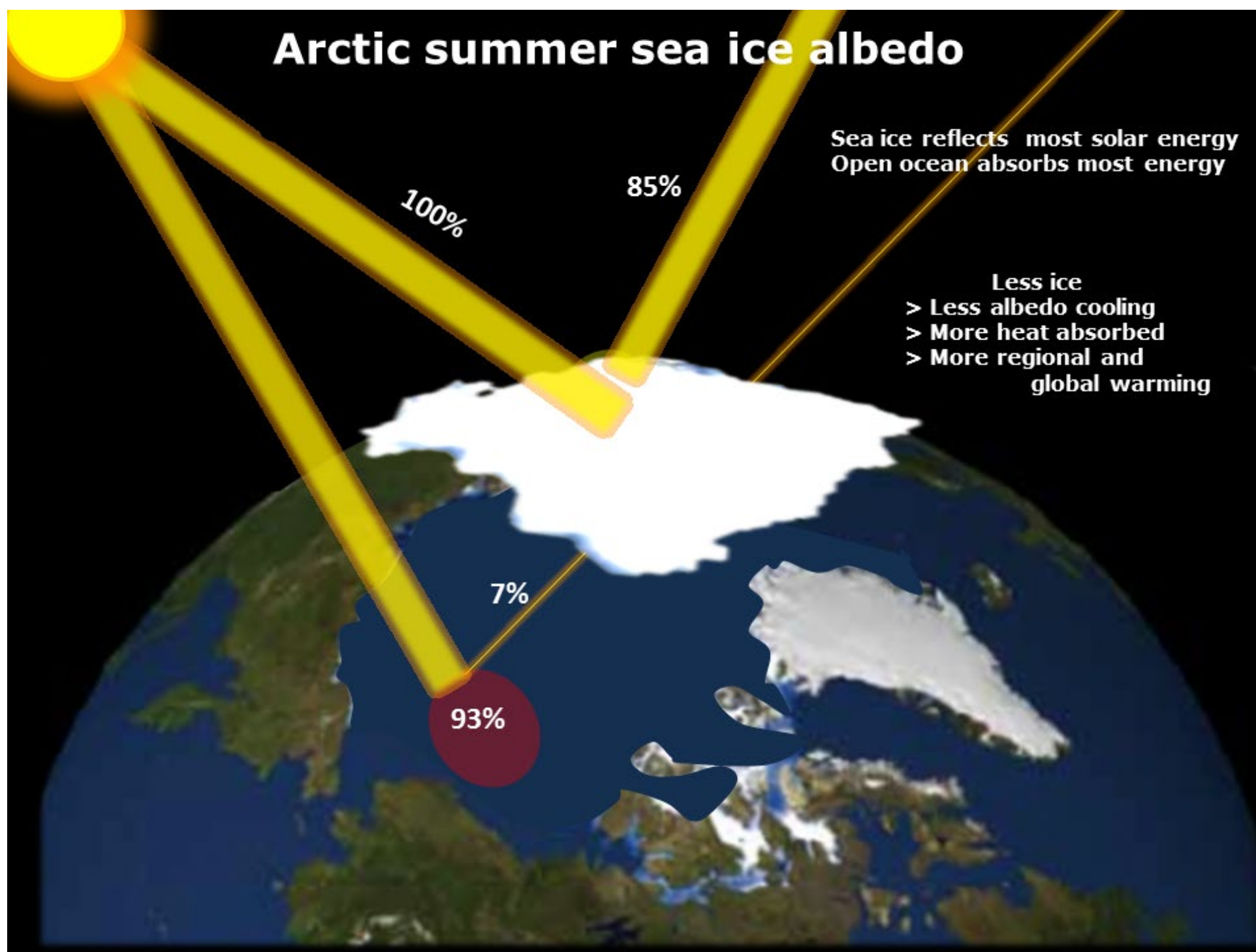
Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu



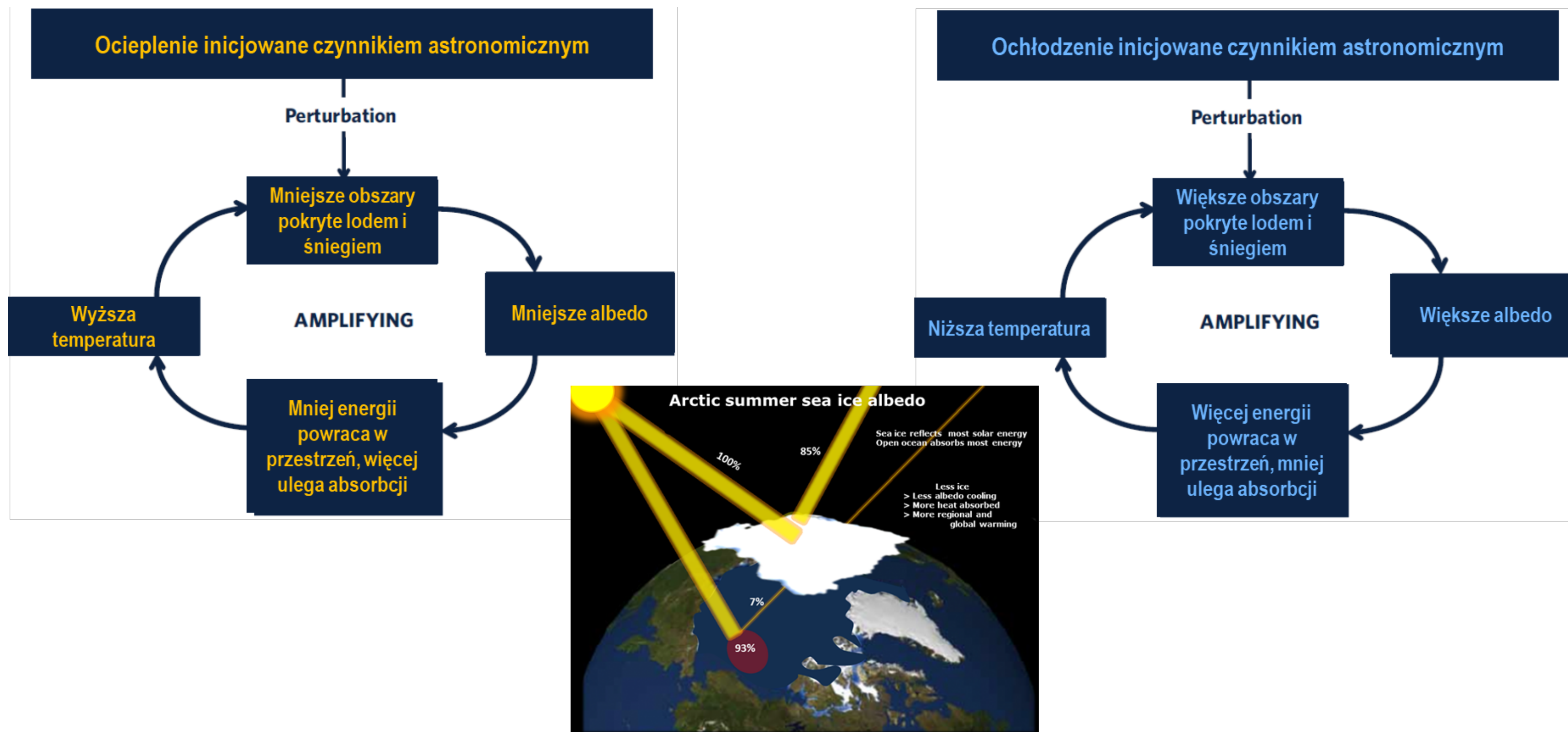
Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu



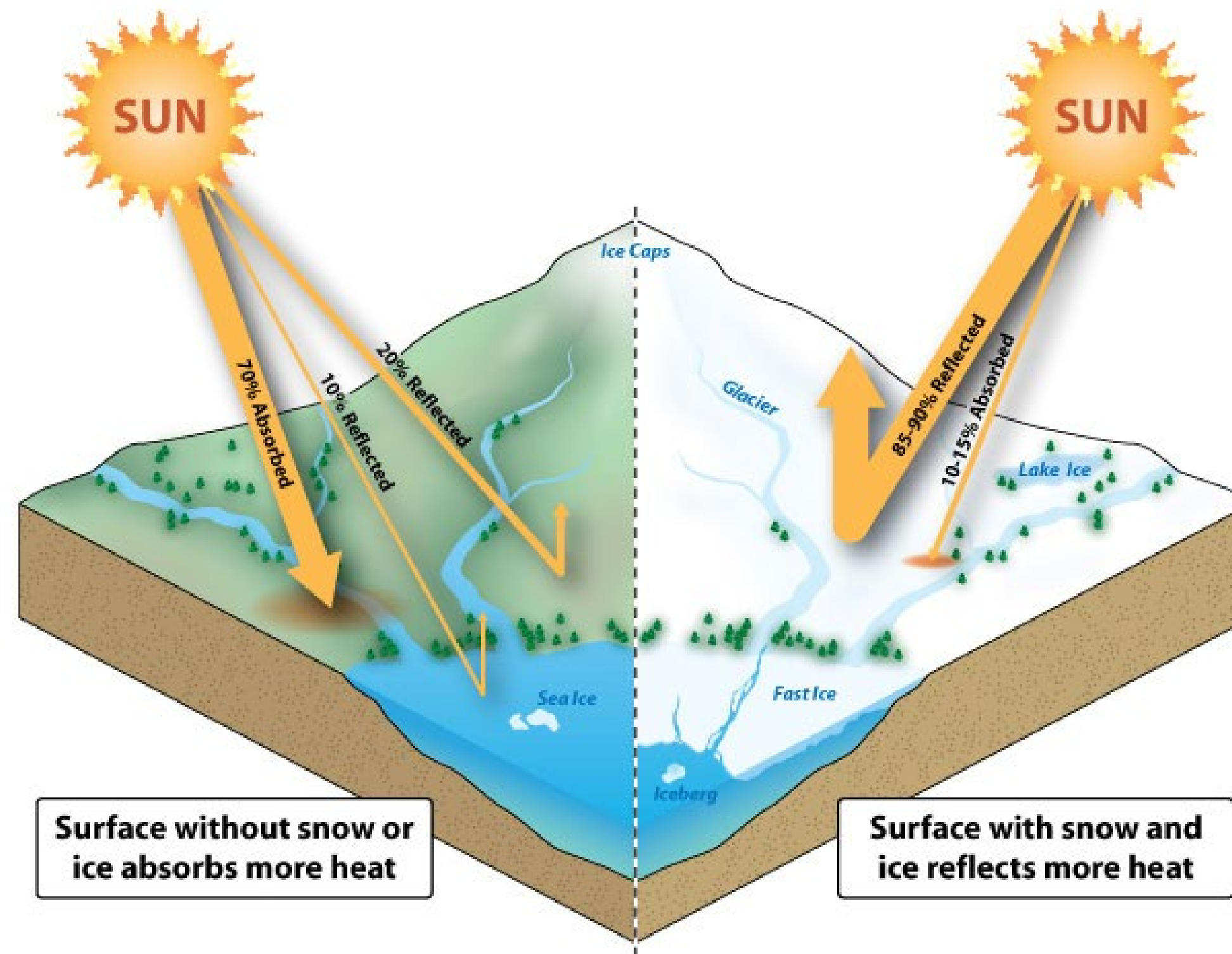
Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu



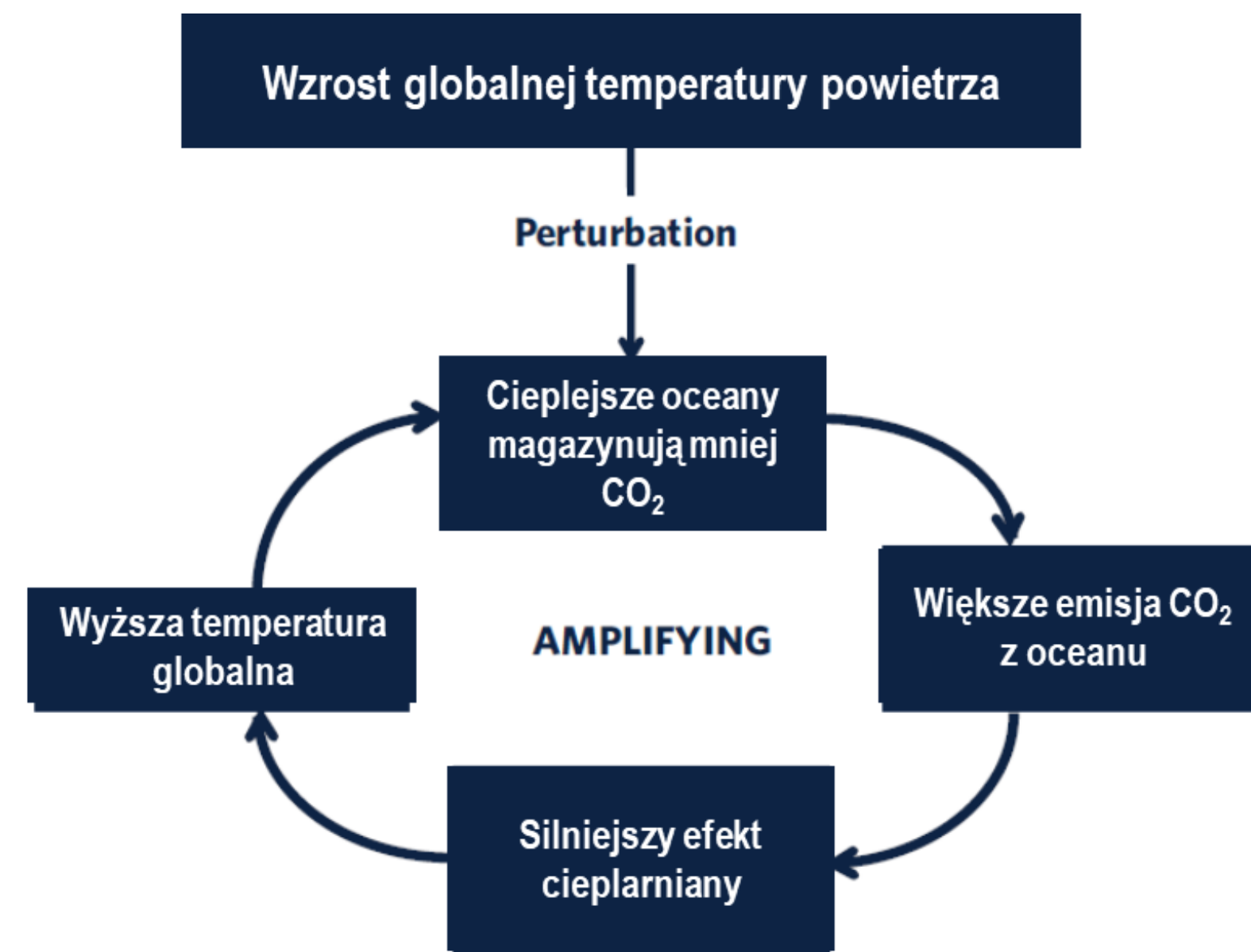
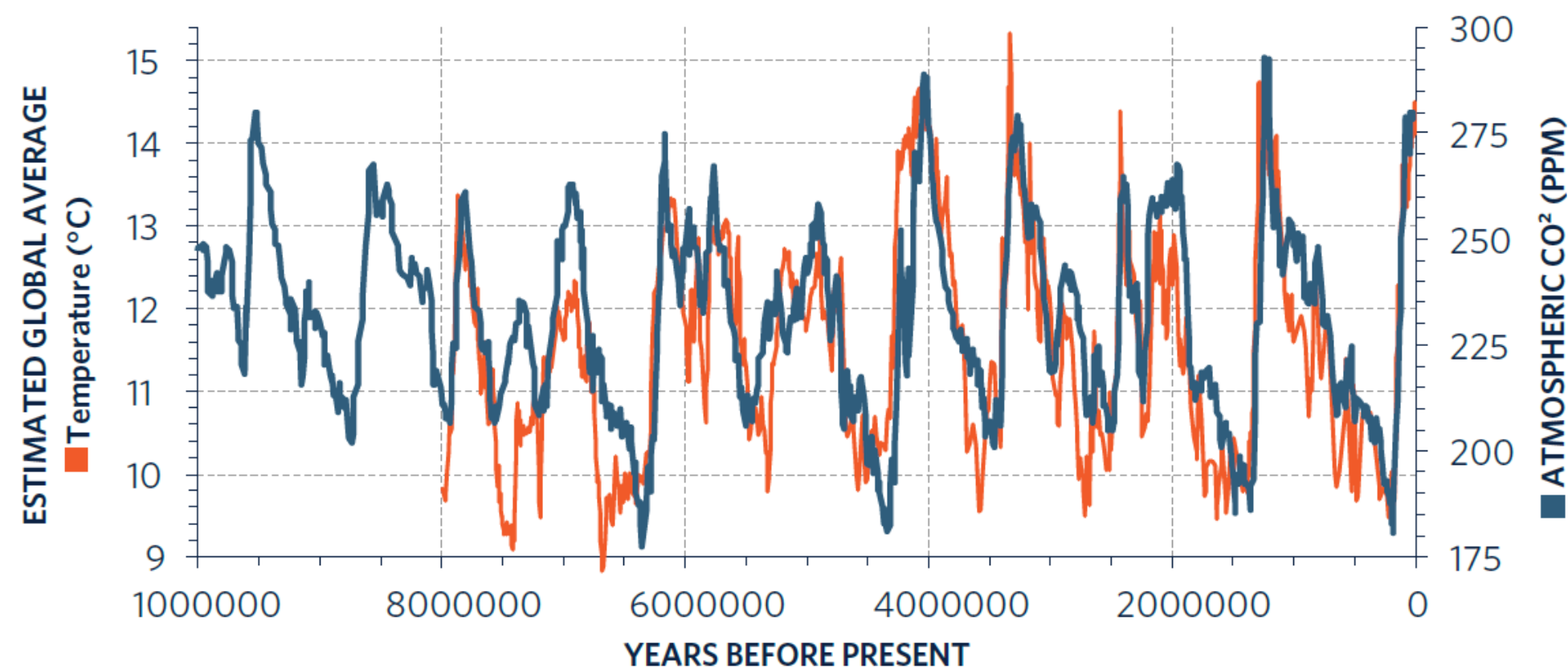
Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu



Czym są Zmiany Klimatu

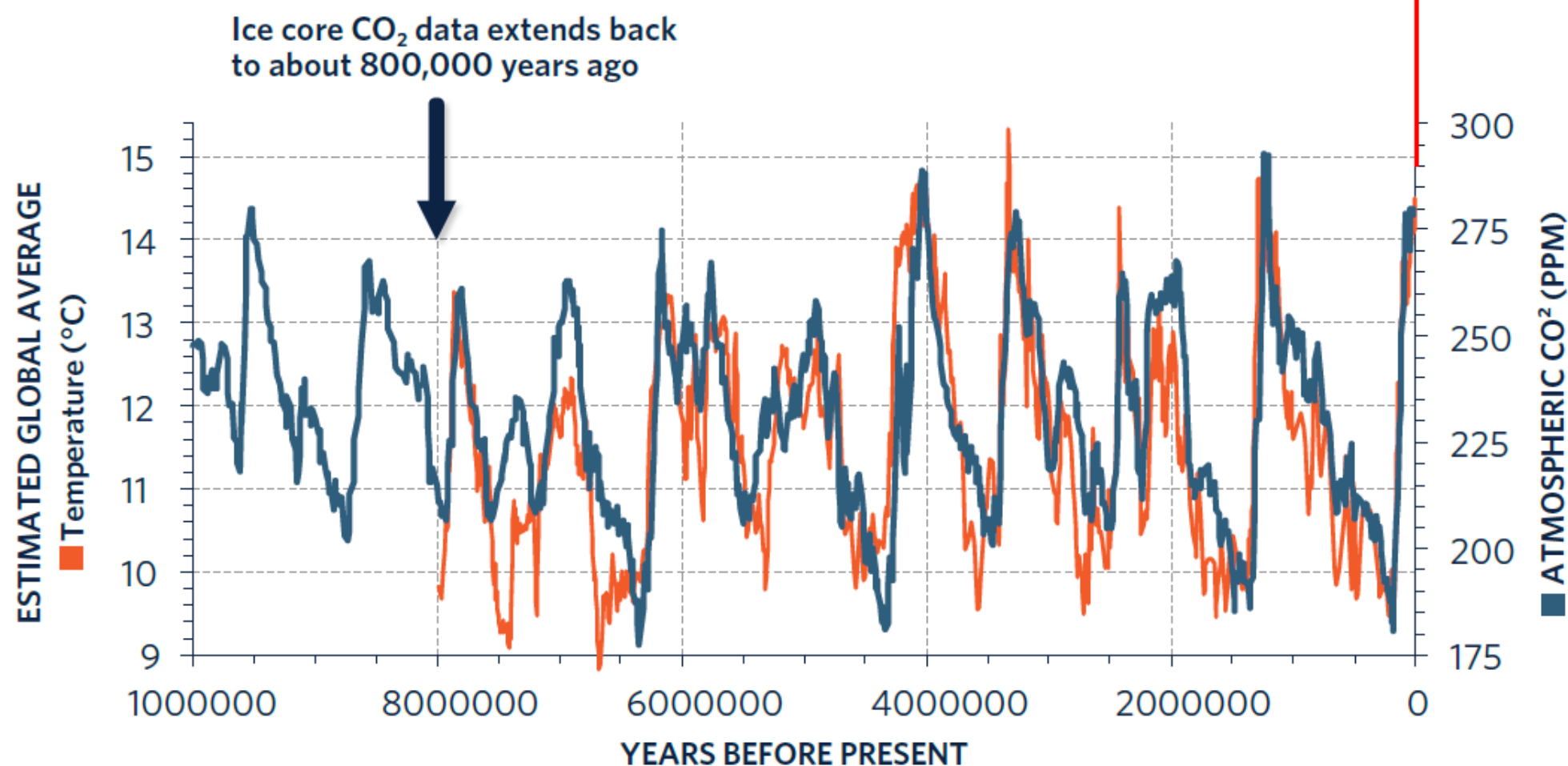
Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu



Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

No atmospheric CO₂ values like today's, over at least the past 800,000 years



Koncentrację gazów występujących w atmosferze w bardzo małych ilościach określa się za pomocą następujących jednostek:

ppm - „parts per million” (ilość części na milion)

ppb - „parts per billion” (ilość części na miliard)

1 ppm = $1/1\,000\,000 = 0,000001 \cdot 100 = 0,0001\%$

10 ppm = 0,001%

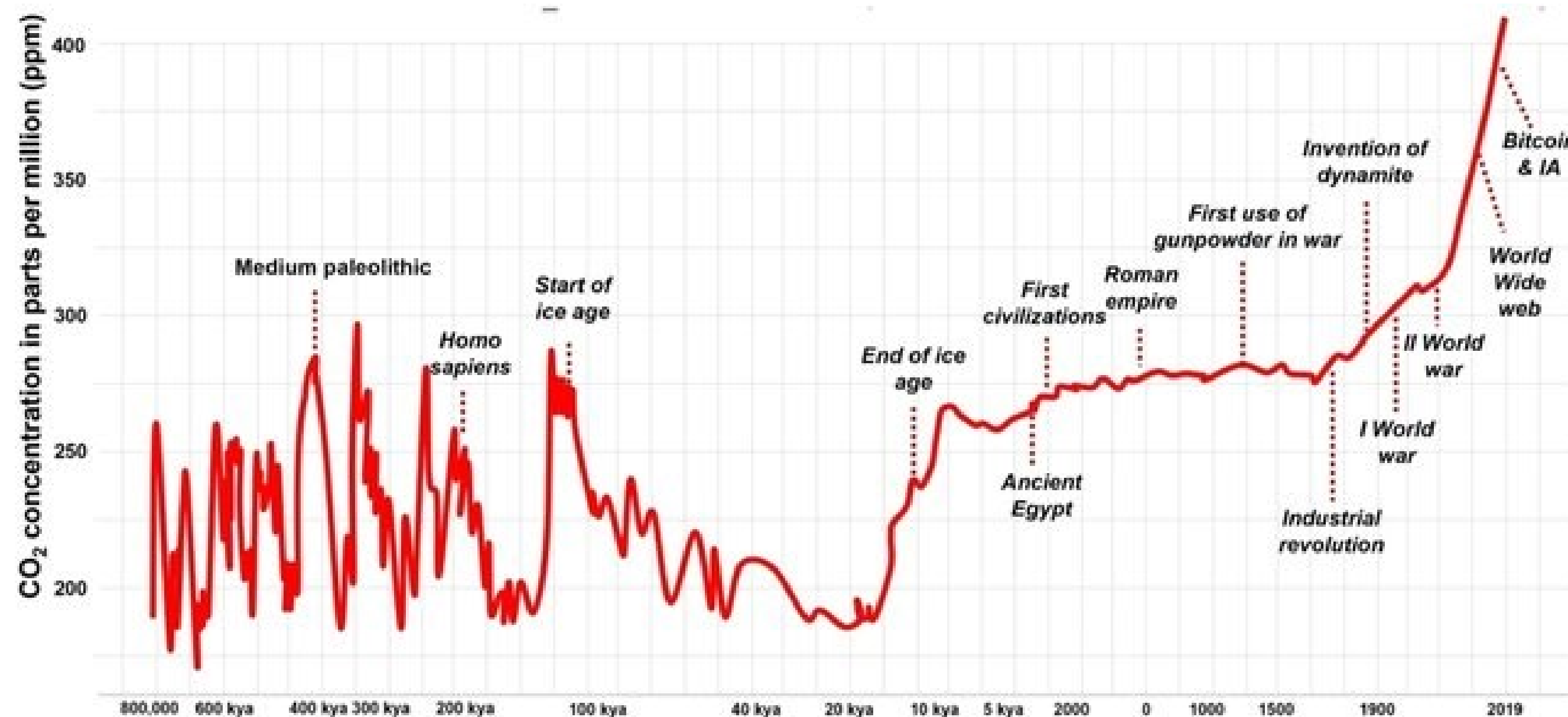
100 ppm = 0,01%

360 ppm = 0,036%

Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

Jak czytać wykresy???? Skala pozioma!!!!

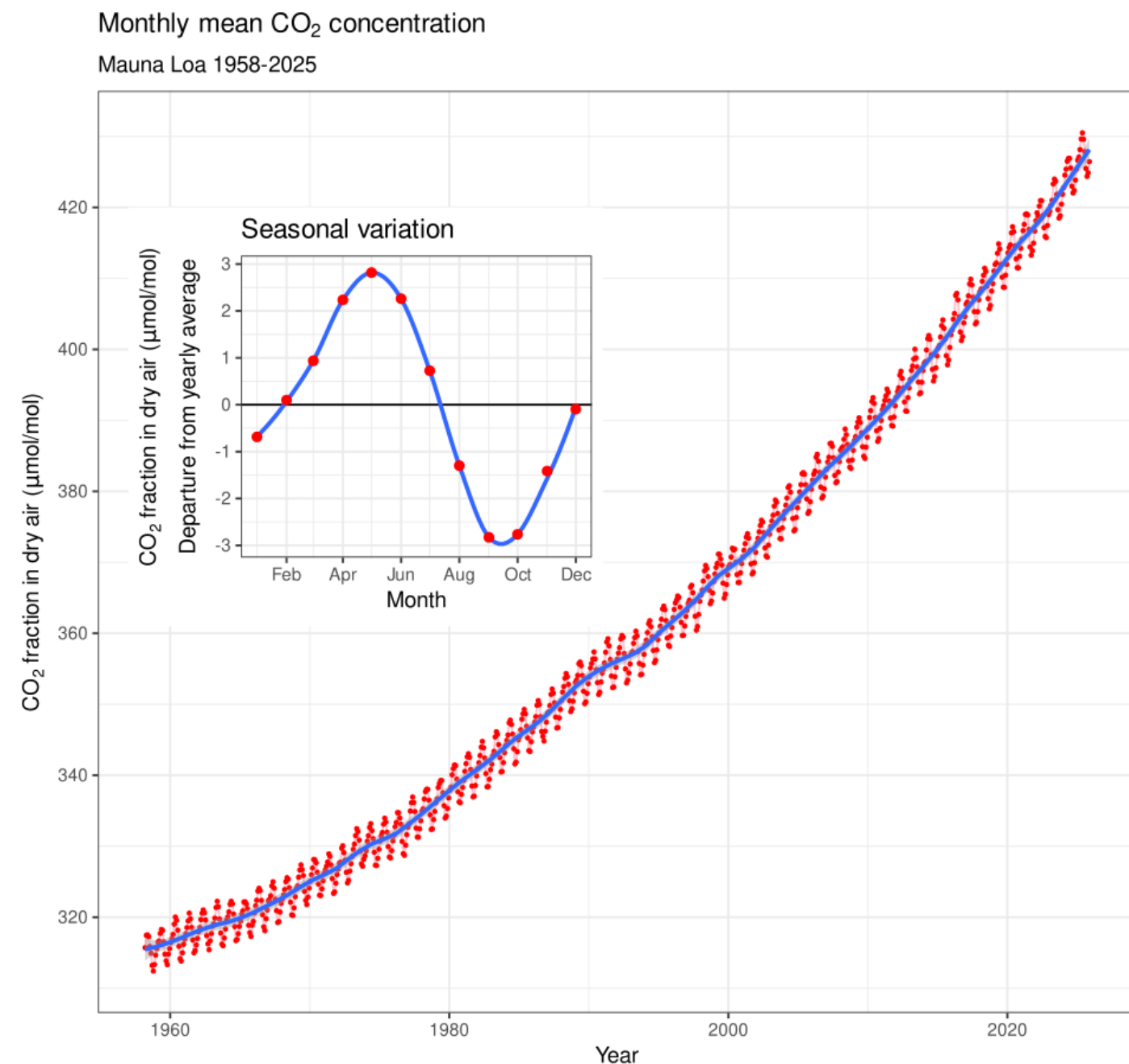


Variation of CO₂ concentration in the Earth's atmosphere (kya=1,000 years ago, graphic adapted from [48]).

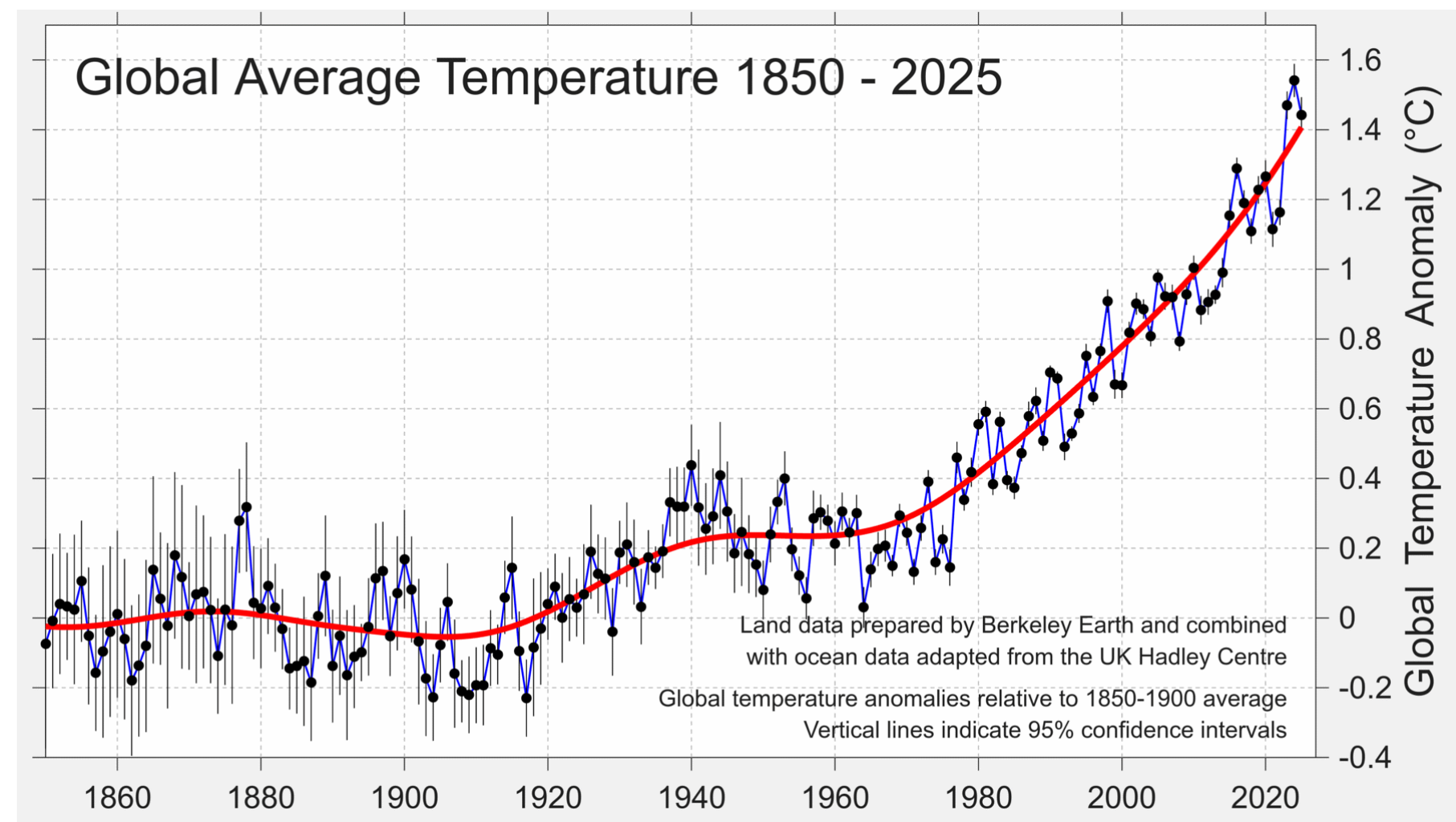
https://www.researchgate.net/publication/385989042_Earth_An_Oxidative_Planet_with_Limited_Atom_Resources_and_Rich_Chemistry/figures?lo=1

Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu



Data : Dr. Pieter Tans, NOAA/ESRL (<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>) and Dr. Ralph Keeling, Scripps Institution of Oceanography (<https://scrippsco2.ucsd.edu/>). Accessed 2025-12-24 <https://w.wiki/4ZWn>



Gazy Cieplarniane

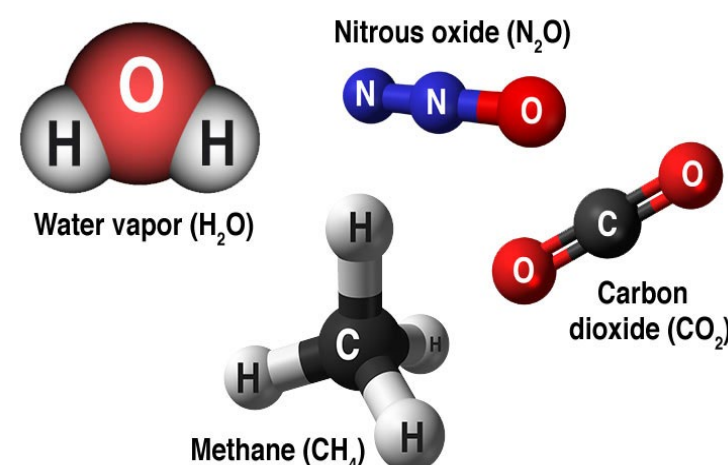
Gaz, który ma właściwość pochłaniania promieniowania podczerwonego (energii cieplnej netto) emitowanego z powierzchni Ziemi i ponownego wypromieniowywania, przyczyniając się w ten sposób do efektu cieplarnianego.

Najważniejsze gazy cieplarniane:

- dwutlenek węgla,
- metan
- para wodna.

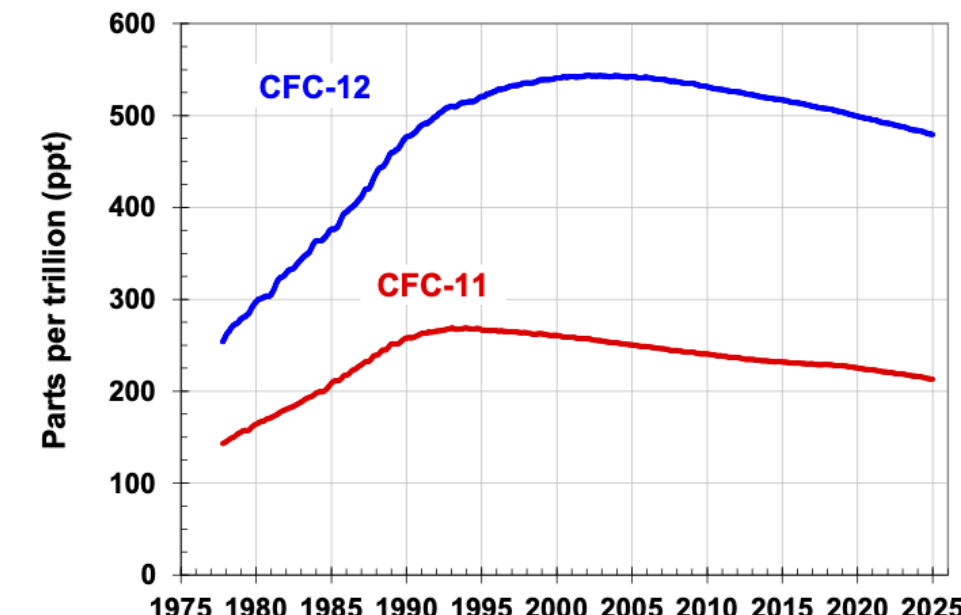
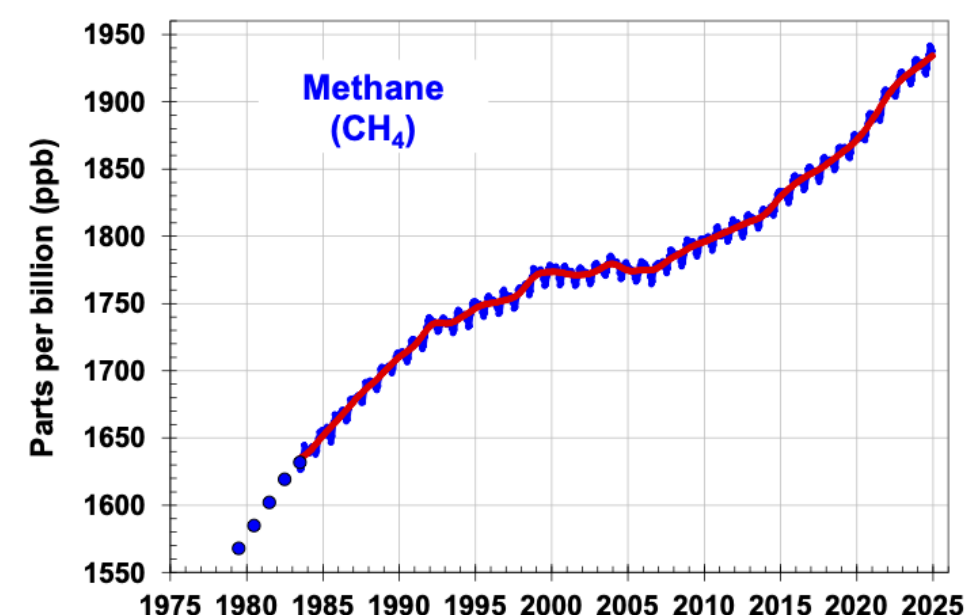
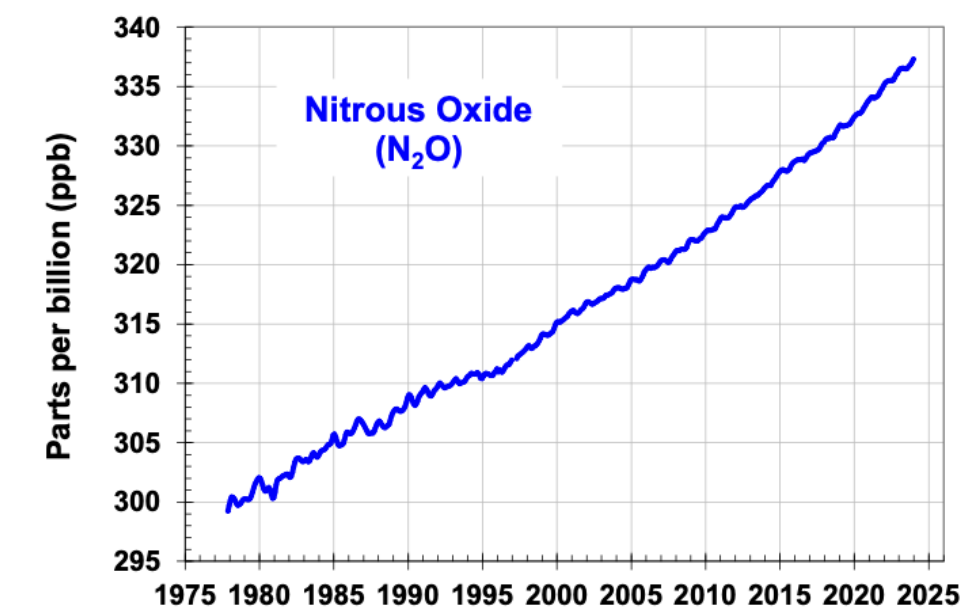
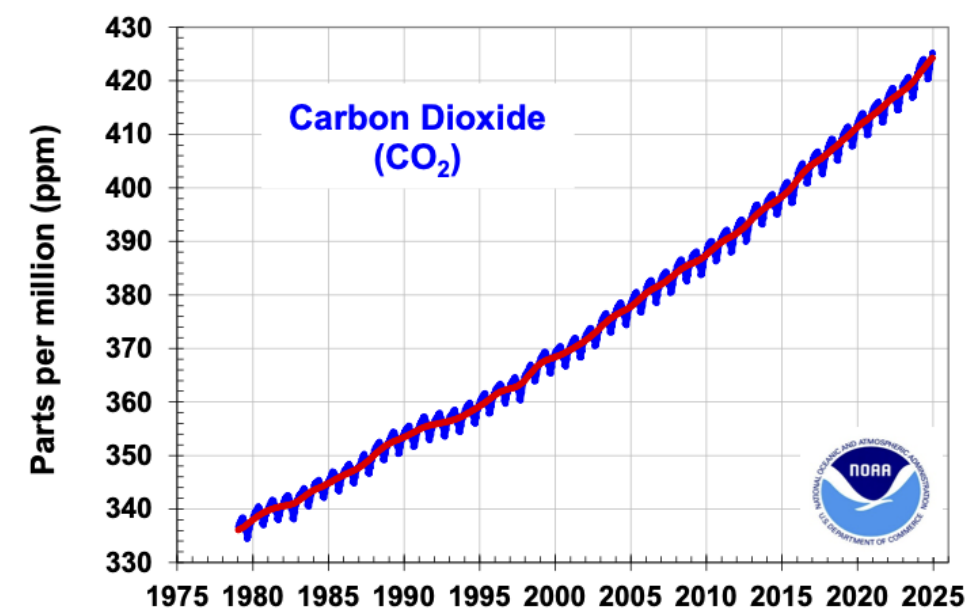
W mniejszym stopniu:

- tlenki azotu i gazy fluorowane.



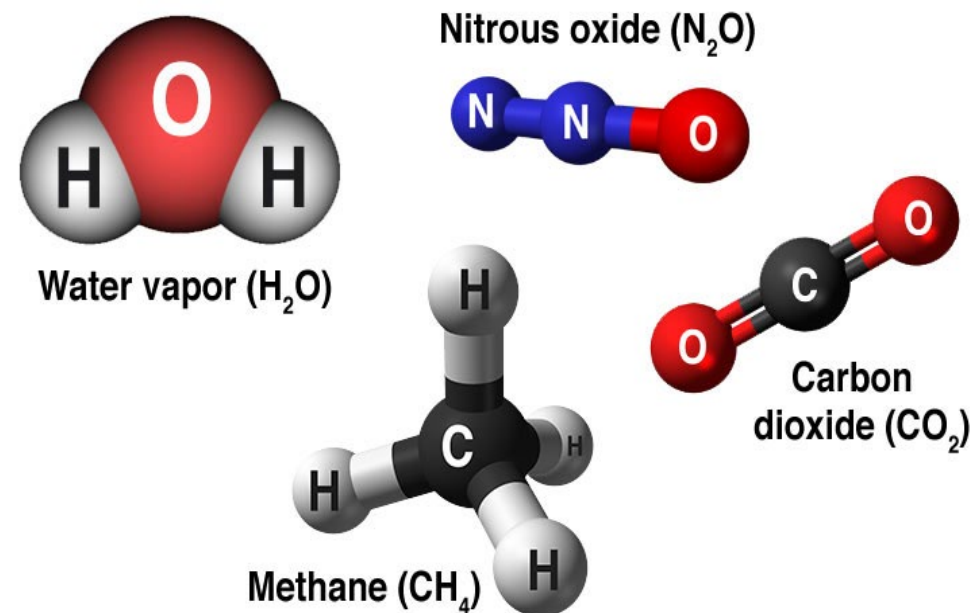
Gazy cieplarniane mają ogromny **wpływ** na **bilans energetyczny** systemu ziemskiego, mimo że stanowią jedynie ułamek wszystkich gazów atmosferycznych.

Stężenia gazów cieplarnianych były szczególnie wysokie w okresach ciepłych i niskie w okresach zimnych.

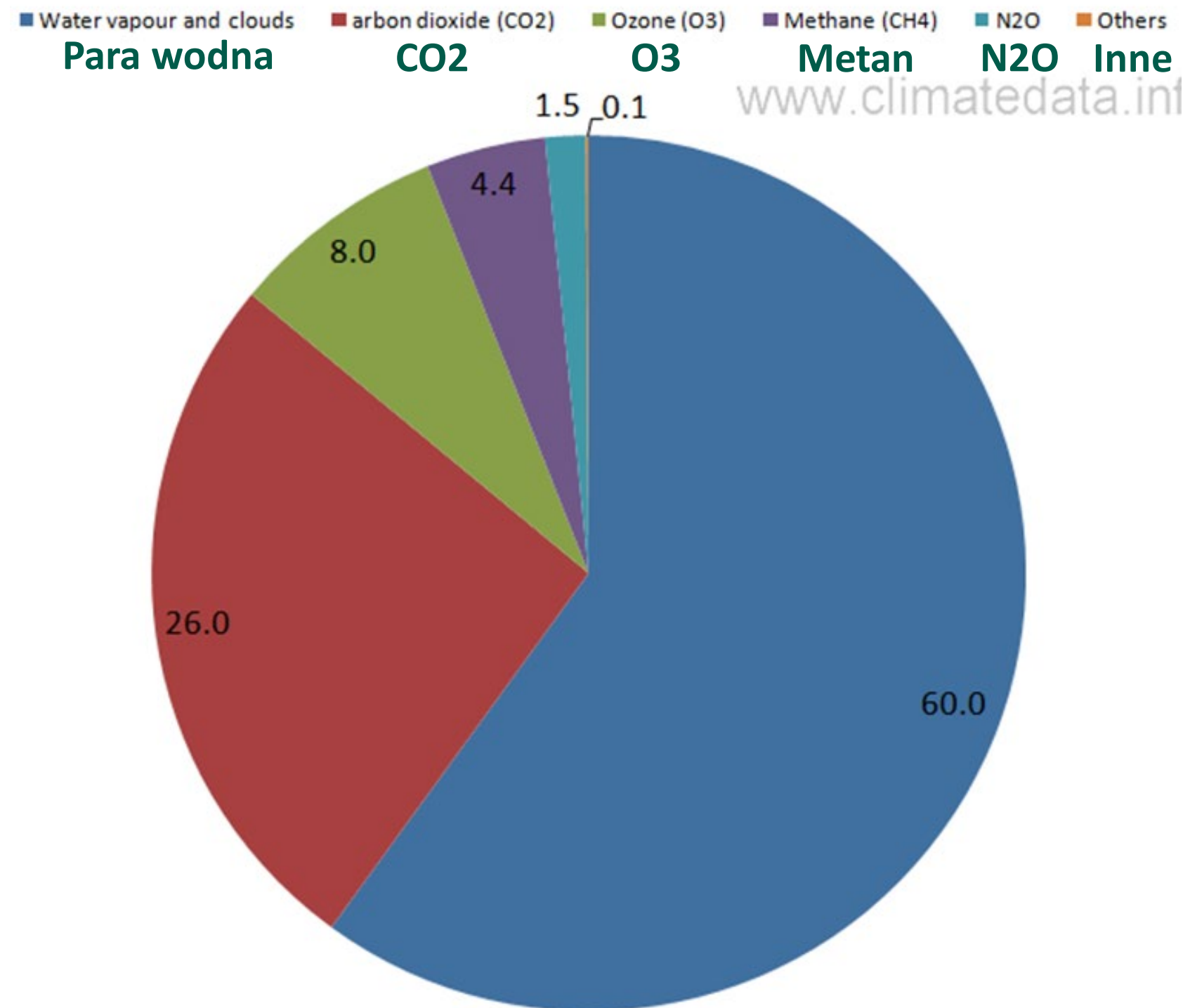


<https://gml.noaa.gov/aggi/>

Gazy Cieplarniane

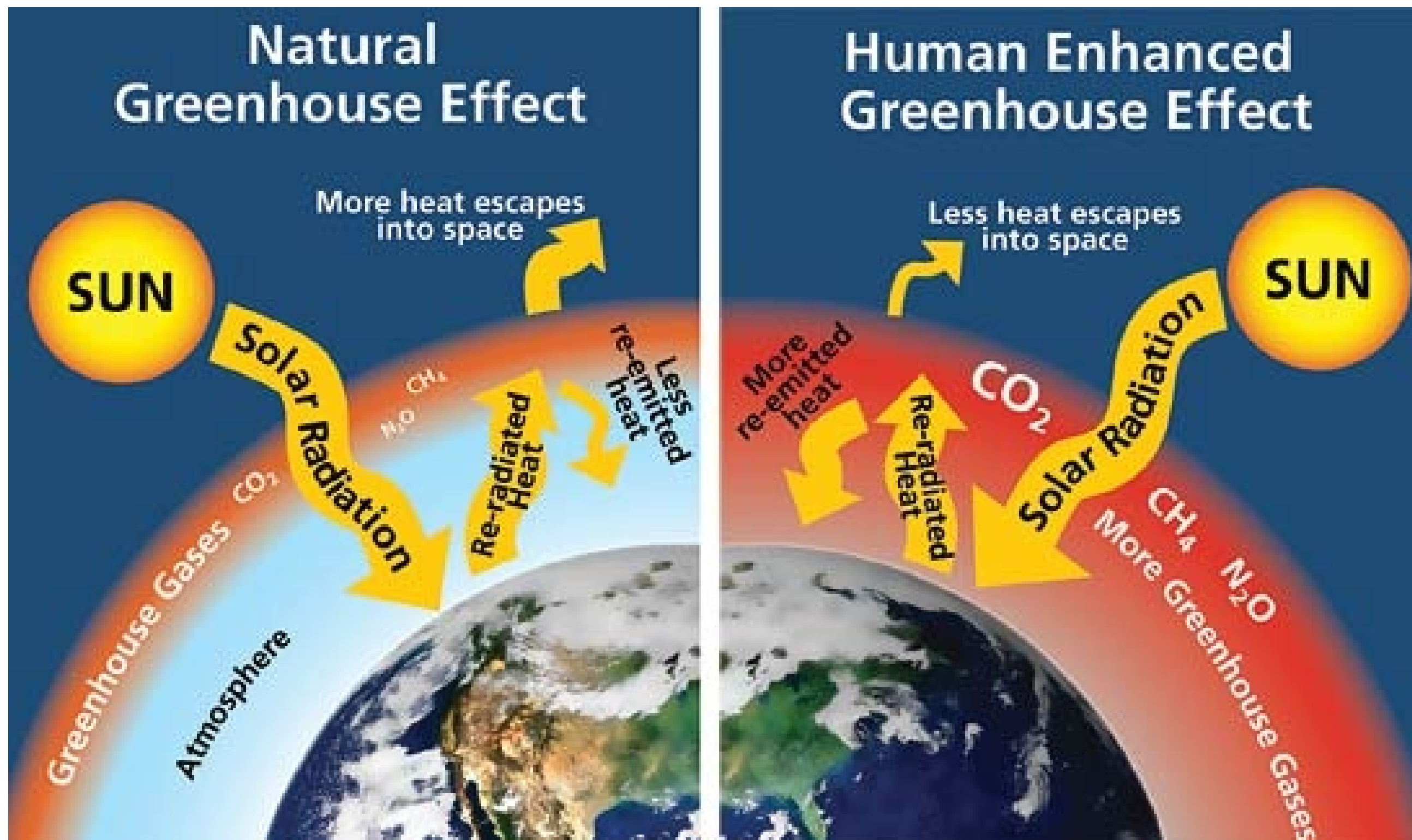


Percentage contribution to greenhouse effect



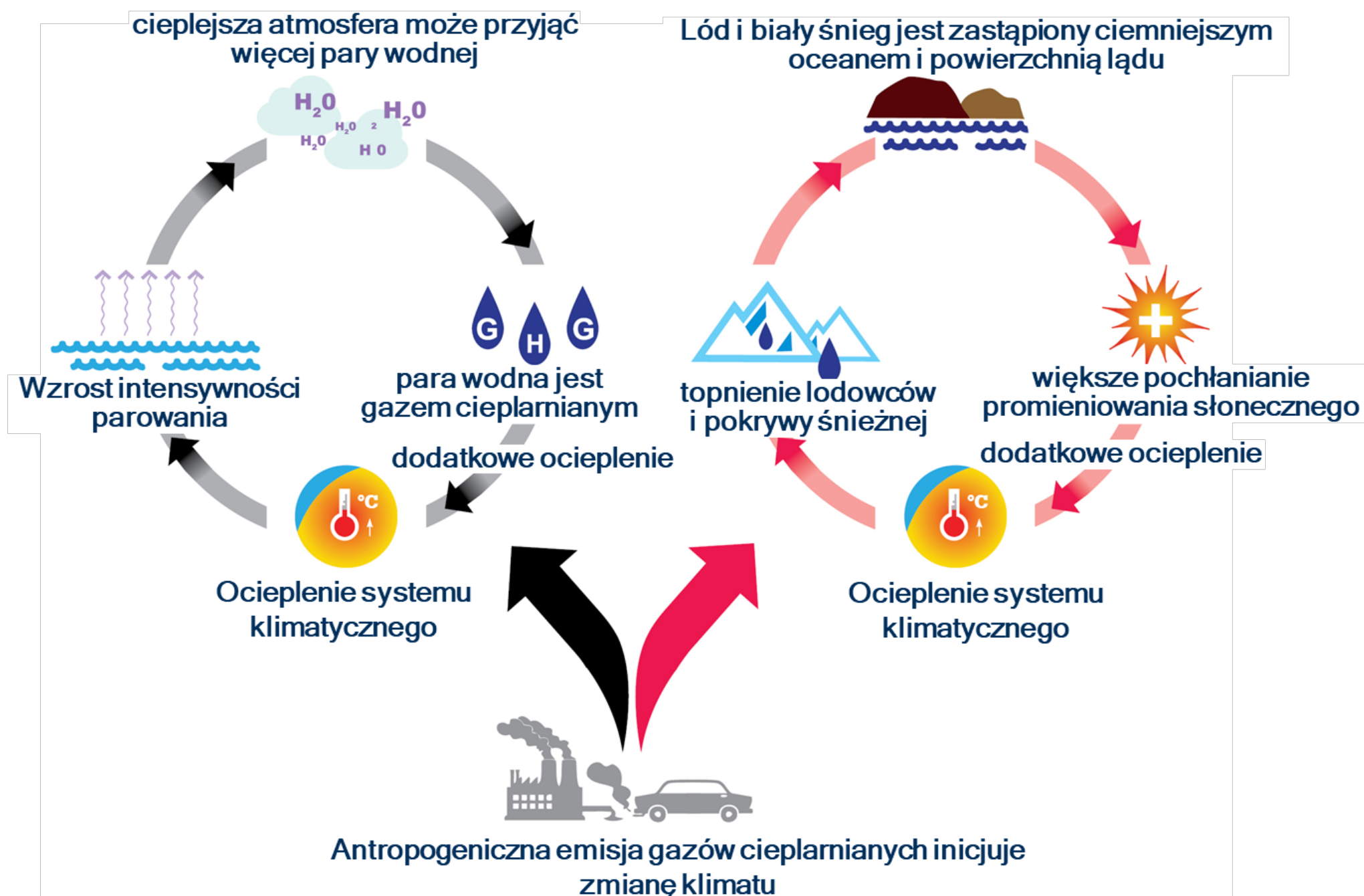
Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu



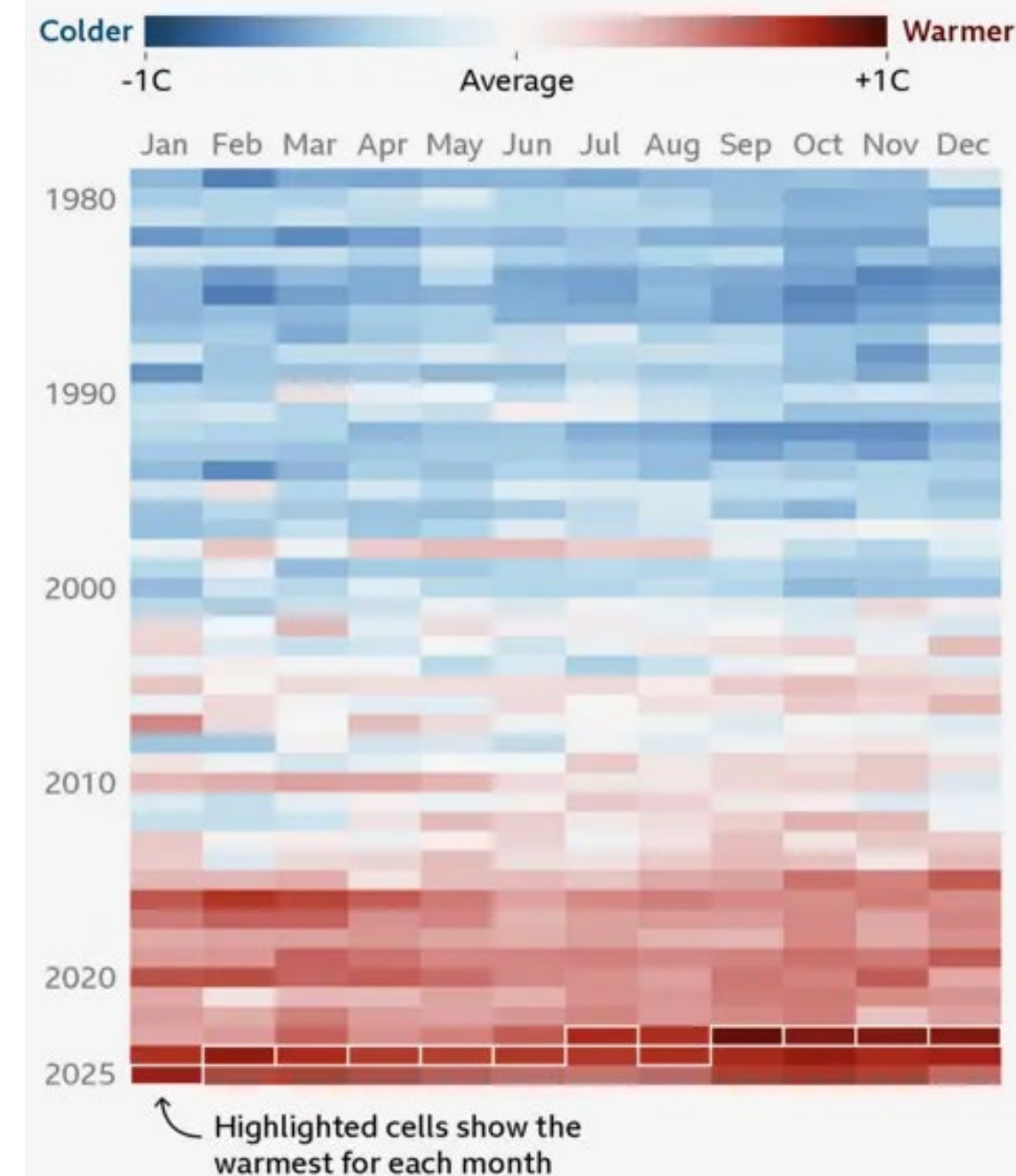
Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu



All monthly temperature records have been broken in the past three years

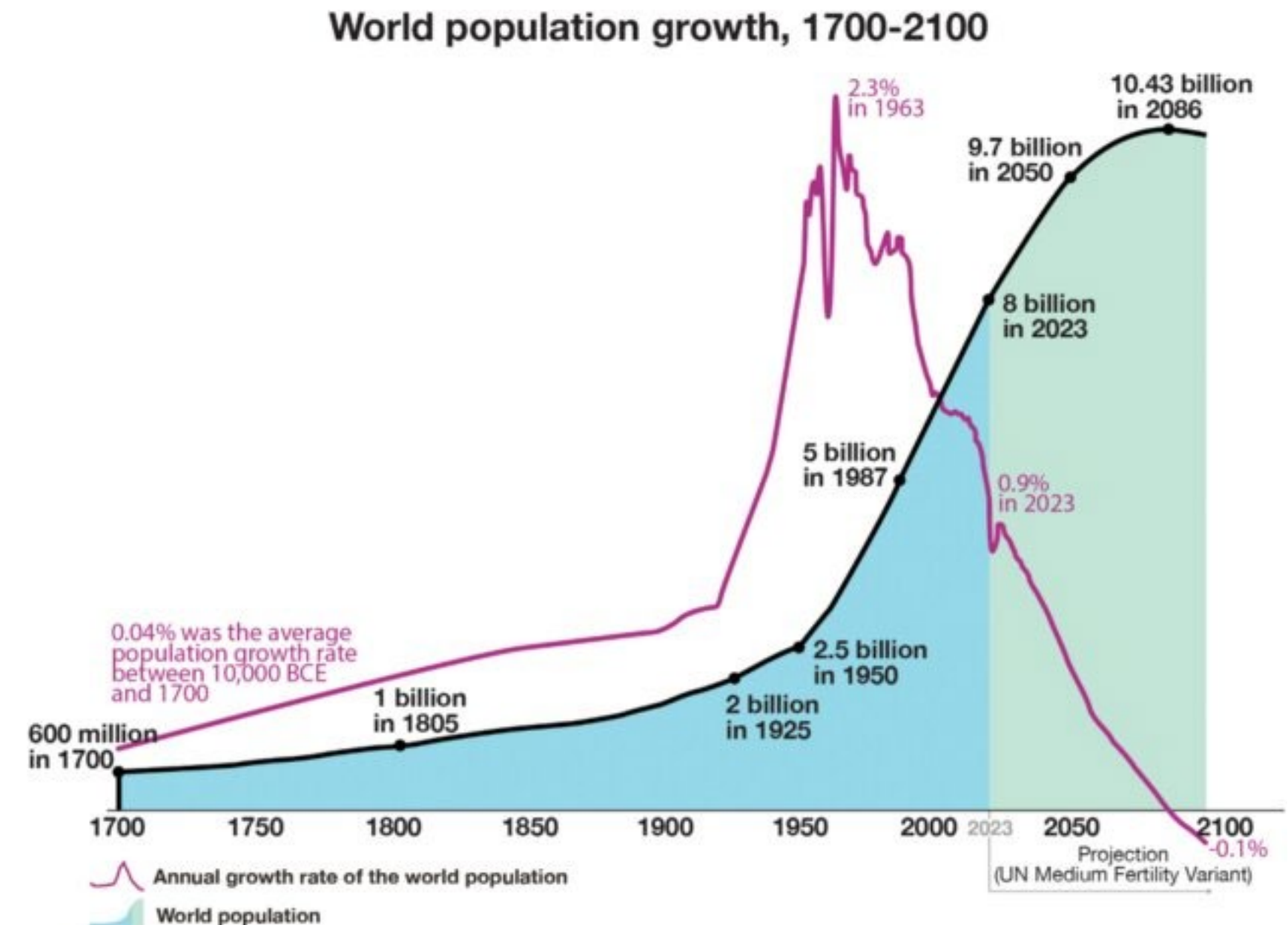
Monthly global average air temperature compared with 1991-2020 average



Source: ERA5, C3S/ECMWF

Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

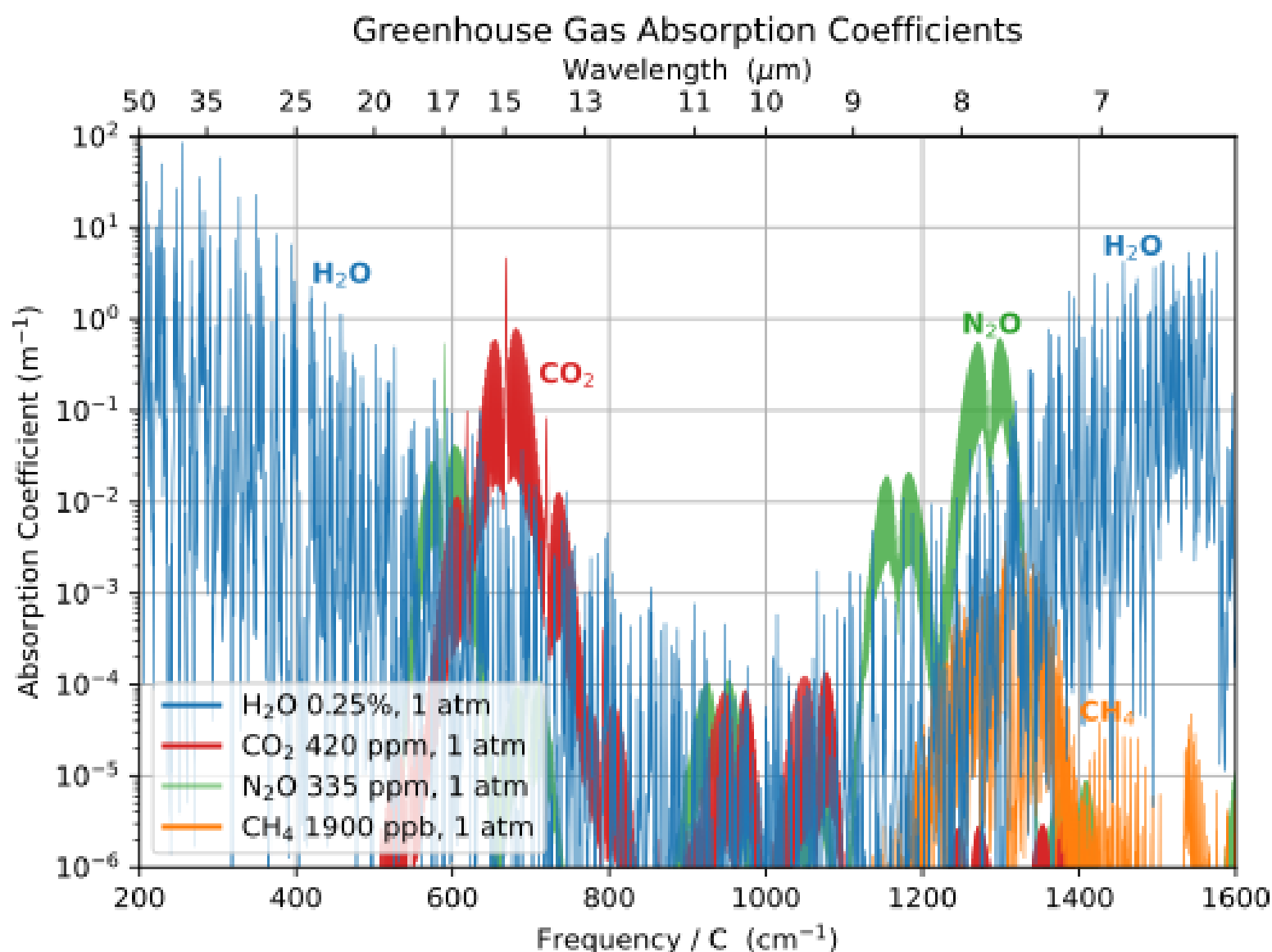
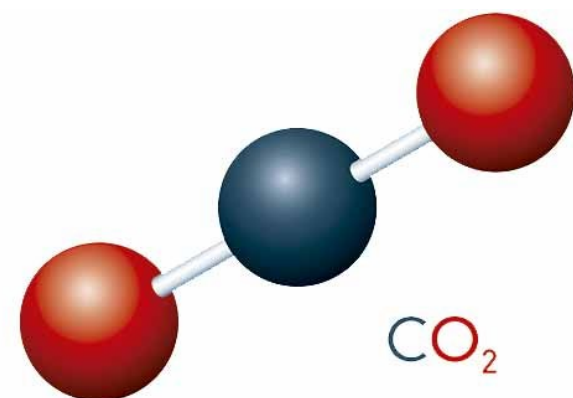


Gazy Cieplarniane



Czym są Zmiany Klimatu

Gazy Cieplarniane - Dwutlenek Węgla CO₂



Dwutlenek Węgla

- Podstawowy gaz cieplarniany ze względu na dużą koncentrację w atmosferze.
- Czas życia: pojedyncze cząsteczki krążą między atmosferą a oceanami/biosferą przez około 5–10 lat. Nadmiarowy wyemitowany przez człowieka pozostaje w atmosferze znacznie dłużej – od 300 do ponad 1000 lat, ponieważ naturalne mechanizmy pochłaniania są wolniejsze niż emisja (AR6).
- Największe dodatnie wymuszenie radiacyjne spośród wszystkich gazów cieplarnianych ($\sim 2,1 \text{ Wm}^{-2}$ względem 1750 r., AR6).

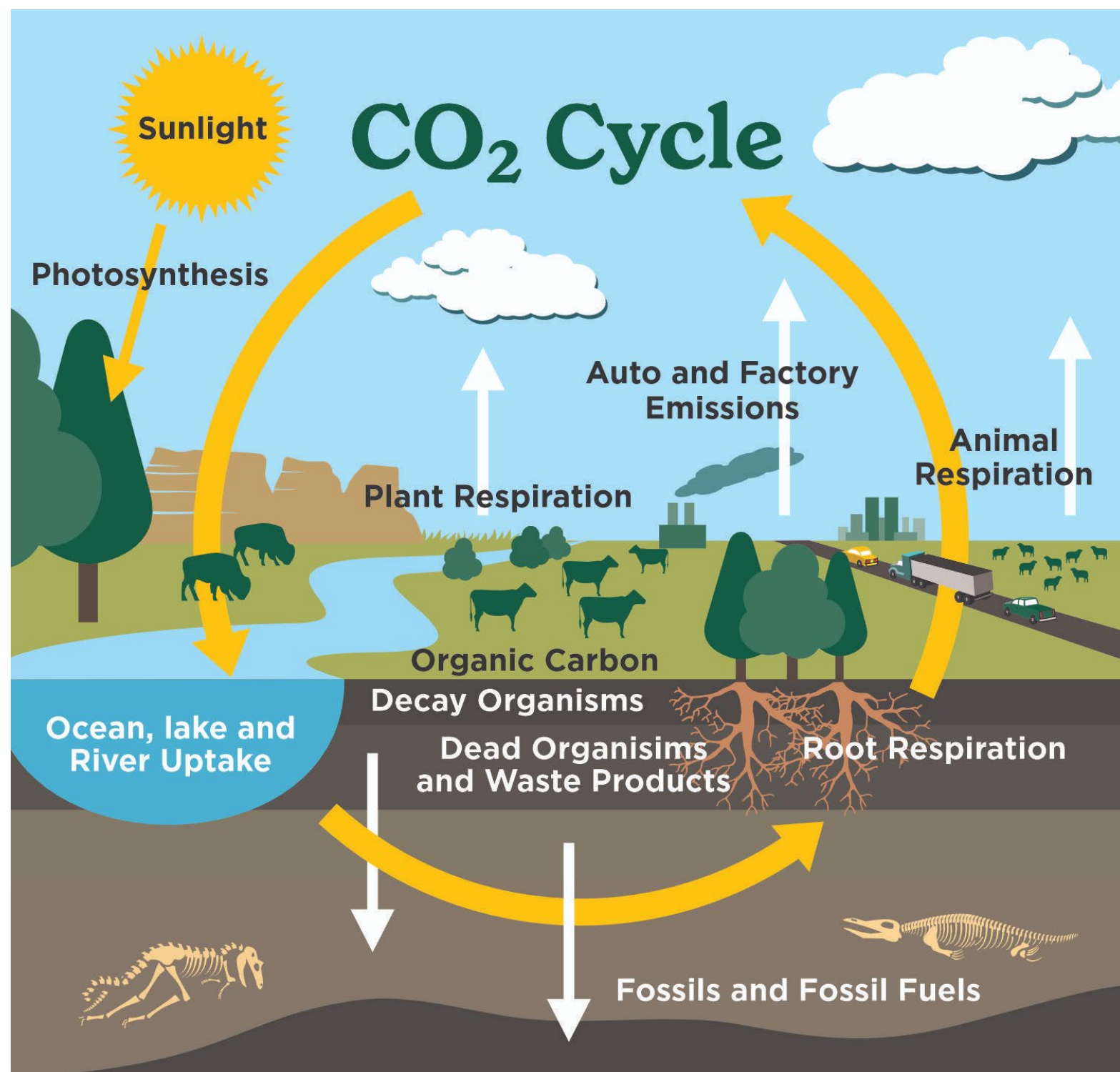
Mechanizm klimatyczny

- Absorpcja promieniowania długofalowego (pasmo $\sim 15 \mu\text{m}$).
- Wzrost koncentracji (z $\sim 280 \text{ ppm}$ do $>420 \text{ ppm}$) $\rightarrow$ zmniejszenie wypromieniowania netto w przestrzeń kosmiczną $\rightarrow$ dodatnie wymuszenie radiacyjne.
- Liczne sprzężenia zwrotne (para wodna, permafrost, biosfera, ocean).

Najsilniejsza absorpcja dwutlenku węgla występuje w okolicach (ok. 667 cm^{-1} , czyli $\sim 15 \mu\text{m}$ – maksimum emisji ciepłej Ziemi).

Czym są Zmiany Klimatu

Dwutlenek Węgla – Obieg w Przyrodzie



Obieg węgla w przyrodzie

to globalny system przepływu węgla między atmosferą, biosferą, hydrosferą i litosferą i jego magazynowanie, obejmujący procesy biologiczne (fotosynteza, oddychanie), chemiczne (rozpuszczanie CO₂ w oceanach, wietrzenie skał) oraz geologiczne (sedymentacja, wulkanizm).

Zmiany w intensywności tych procesów wpływają na koncentrację CO₂ w atmosferze, a tym samym na bilans radiacyjny i klimat Ziemi.

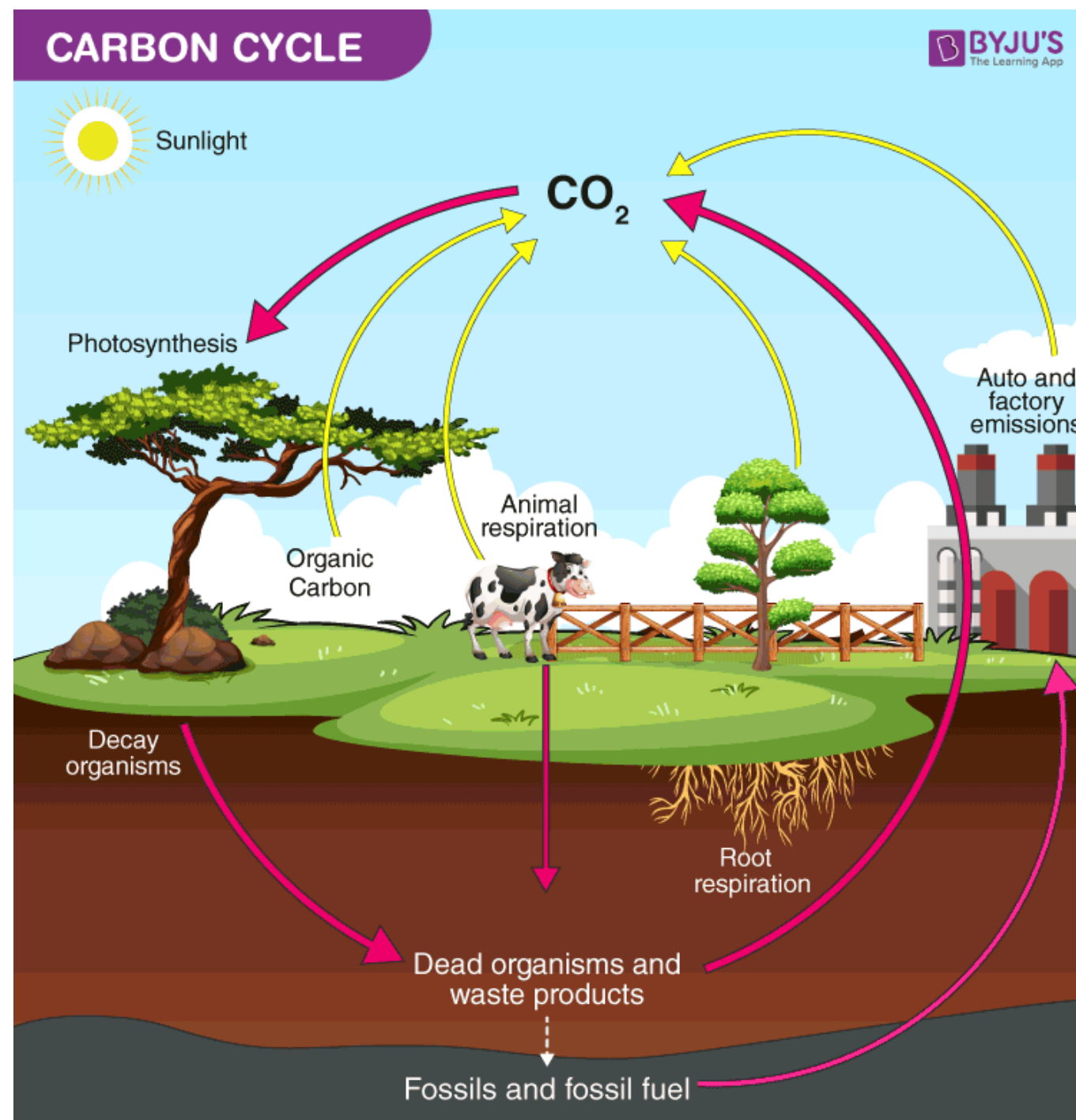
Obieg węgla dzieli się na **krótki** (roczny/kilkuletni - wymiana biologiczna) oraz **długi** (procesy geologiczne, takie jak wulkanizm czy tworzenie skał węglanowych).

Najważniejsze strumienie obiegu (flux):

- **Fotosynteza:** CO₂ z atmosfery → biomasa roślin.
- **Oddychanie i rozkład:** biomasa/gleby → CO₂ do atmosfery.
- **Wymiana atmosfera–ocean:** rozpuszczanie/uwalnianie CO₂ zależnie od gradientu i warunków fizyczno-chemicznych.
- **Wolny cykl geologiczny:** wietrzenie–transport jonów–sedymentacja węglanów–wulkanizm (skale tys.–mln lat).

Czym są Zmiany Klimatu

Dwutlenek Węgla – Obieg w Przyrodzie



Szybki cykl węglowy (krótki obieg) (biologiczny; skala: dni–dekady, zmienność sezonowa)

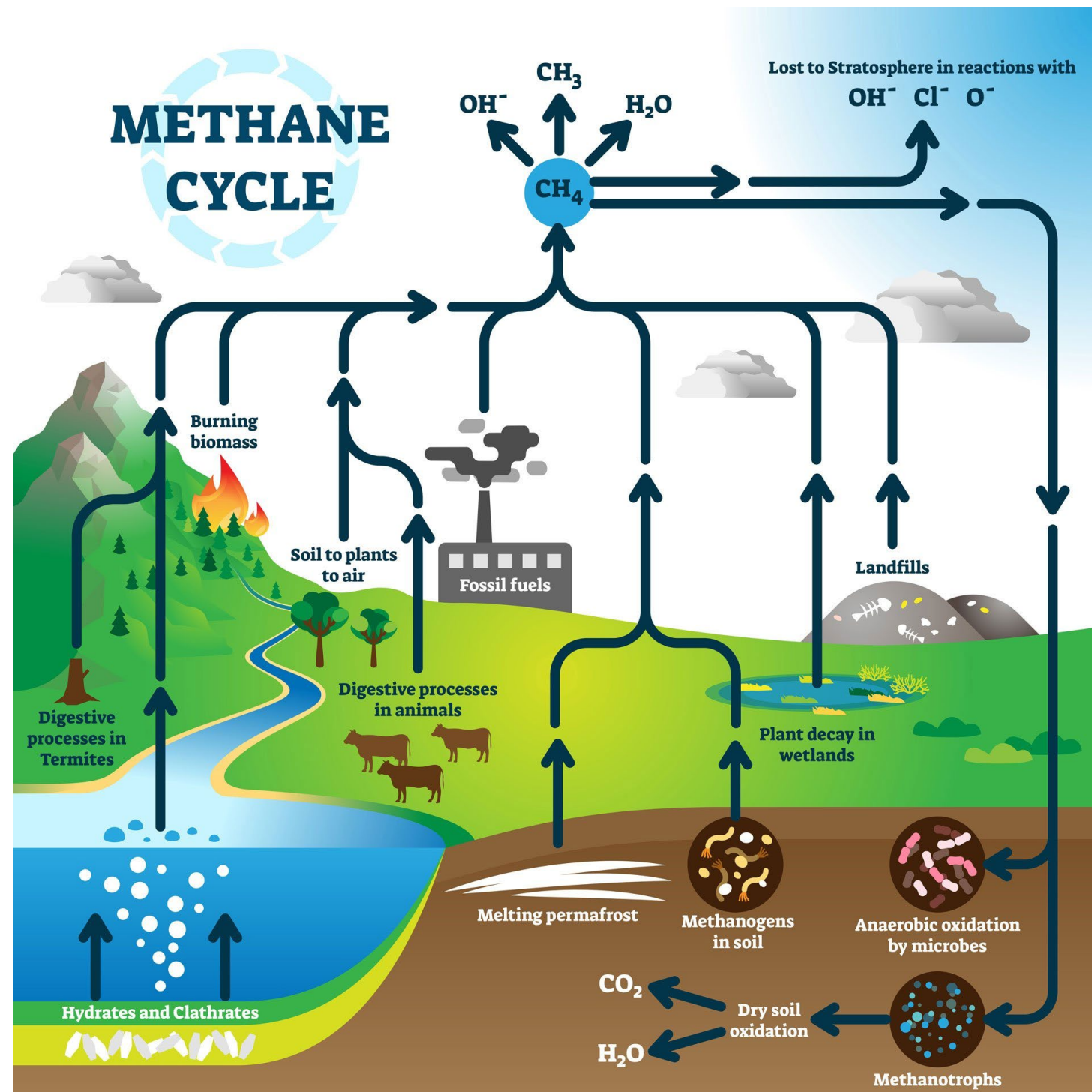
- **Fotosynteza** – asymilacja CO_2 przez rośliny:
 $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$
- **Oddychanie i rozkład** – powrót CO_2 do atmosfery.
- **Wymiana atmosfera–ocean** – dyfuzja CO_2 zgodnie z gradientem stężeń.

Wolny cykl węglowy (długi obieg) (geologiczny; skala: tysiące–miliony lat)

- **Wietrzenie chemiczne** skał krzemianowych (woda opadowa bogata w CO_2 z atmosfery) → transport jonów do oceanów.
- **Sedymentacja i diagenезa** → powstawanie litych skał węglanowych.
- **Subdukcja i wulkanizm** → emisja CO_2 z powrotem do atmosfery.
- **Powstawanie paliw kopalnych** → długoterminowe magazynowanie węgla organicznego.

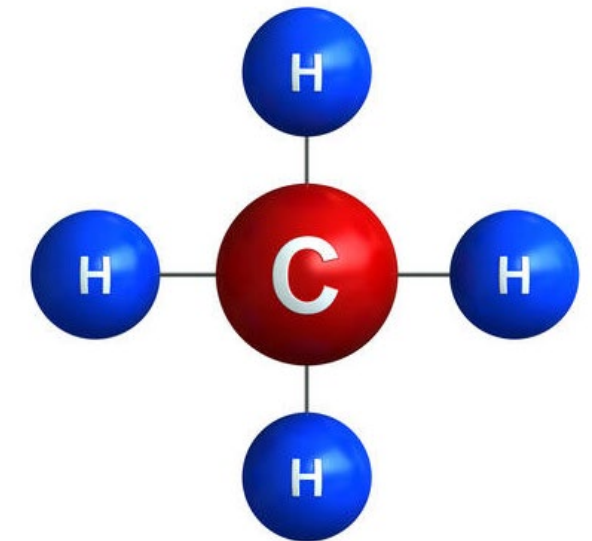
Czym są Zmiany Klimatu

Gazy Cieplarniane – Metan CH_4



Metan

- Silny, ale krócej żyjący gaz cieplarniany.
- Średni czas życia: ok. 9–12 lat.
- $\text{GWP}_{100} \approx 27\text{--}30$ (IPCC AR6).
- Silna absorpcja promieniowania podczerwonego



Mechanizm klimatyczny

- Odpowiada za drugie co do wielkości wymuszenie radiacyjne po CO_2 .
- Ze względu na krótki czas życia redukcja CH_4 daje szybki efekt klimatyczny

Główne źródła (przykładowe kategorie):

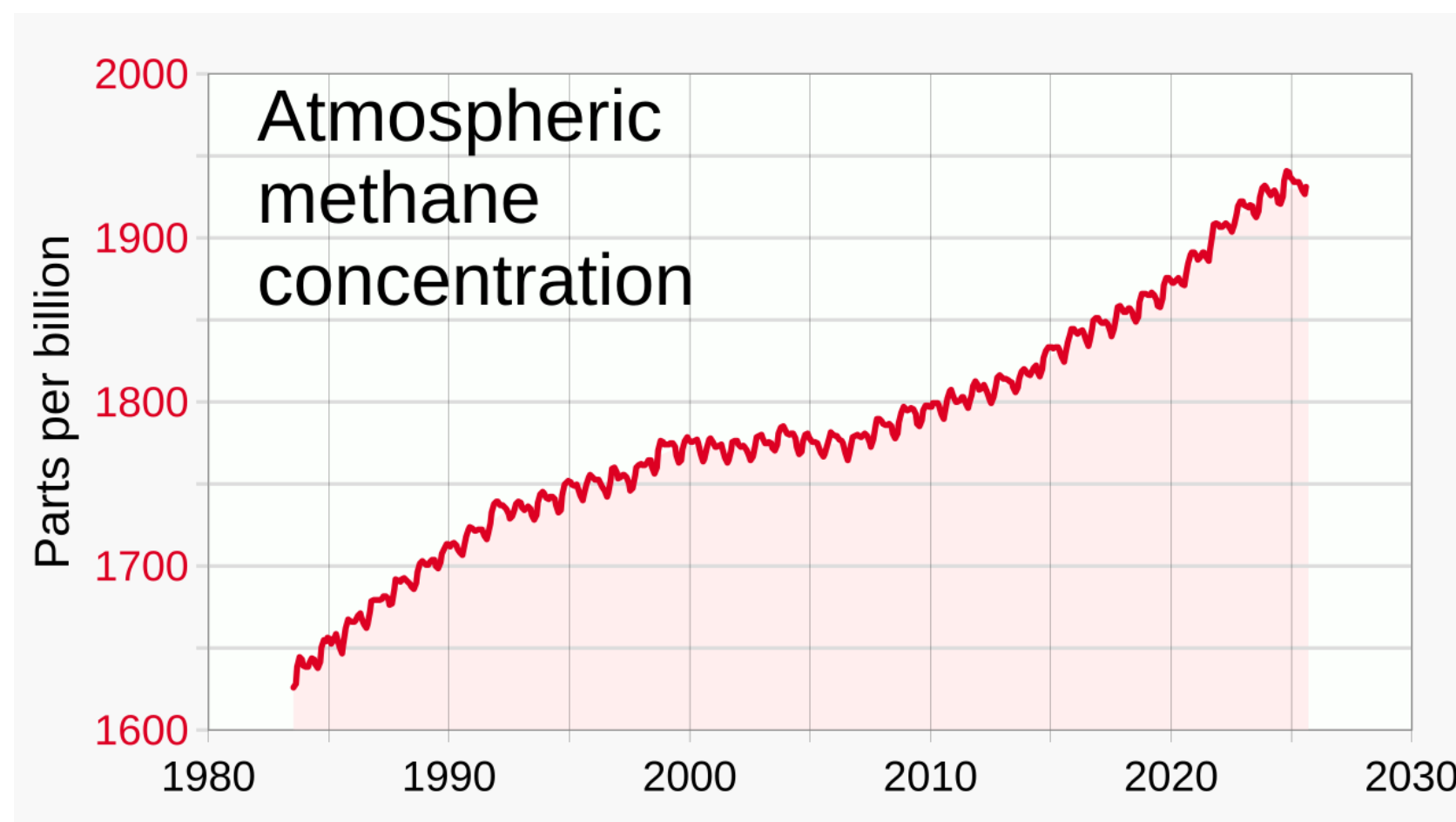
- **Naturalne:** mokradła (beztlenowy rozkład materii organicznej).
- **Antropogeniczne:** rolnictwo (przeżuwacze, ryż), wydobywanie i transport paliw kopalnych, składowiska odpadów itd.

Główne mechanizmy wymywające (sinks):

- Utlenianie przez rodnik OH w troposferze –~90% wymytego CH_4 .
- Dodatkowo utlenianie w stratosferze oraz utlenianie przez bakterie metanotroficzne w glebach.

Gazy Cieplarniane – Metan CH₄

Atmosfera posiada bardzo efektywny mechanizm chemicznego **usuwania CH₄**, którym jest reakcja z **rodnikiem hydroksylowym (OH)**. Nie jest to „pochłanianie” w sensie fizycznym (jak rozpuszczanie CO₂ w oceanie), lecz utlenianie chemiczne.



<https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions#explore-data-on-co2-and-greenhouse-gas-emissions>

Dlaczego reakcję metanu z OH określa się jako silny mechanizm wymywania?

- Około **85–90% całkowitego usuwania CH₄** zachodzi właśnie poprzez reakcję z OH, Utlenianie przez rodnik **OH → CO₂ + H₂O**
- Bez tego mechanizmu czas życia metanu byłby znacznie dłuższy.
- Średni czas przebywania CH₄ (~9–12 lat) wynika głównie z wydajności tego procesu.
- W tym sensie atmosfera ma **wysoką zdolność do chemicznego neutralizowania metanu**.

Mechanizm krok po kroku

- Reakcja kluczowa (troposfera, wymywanie)
CH₄ + OH → CH₃ + H₂O (para wodna)
- Rodnik hydroksylowy (OH) inicjuje łańcuch reakcji prowadzących do powstania CO₂:
CH₄ → CO → CO₂
- OH działa jak „detergent atmosfery” - usuwa wiele gazów reaktywnych, w tym metan.

Utlenienie CH₄ do CO₂ nie oznacza „neutralizacji” wpływu klimatycznego, oznacza zmianę charakteru wpływu: z silnego i krótkotrwałego → słabszy, ale długotrwały.

Gazy Cieplarniane – Podtlenek Azotu N_2O

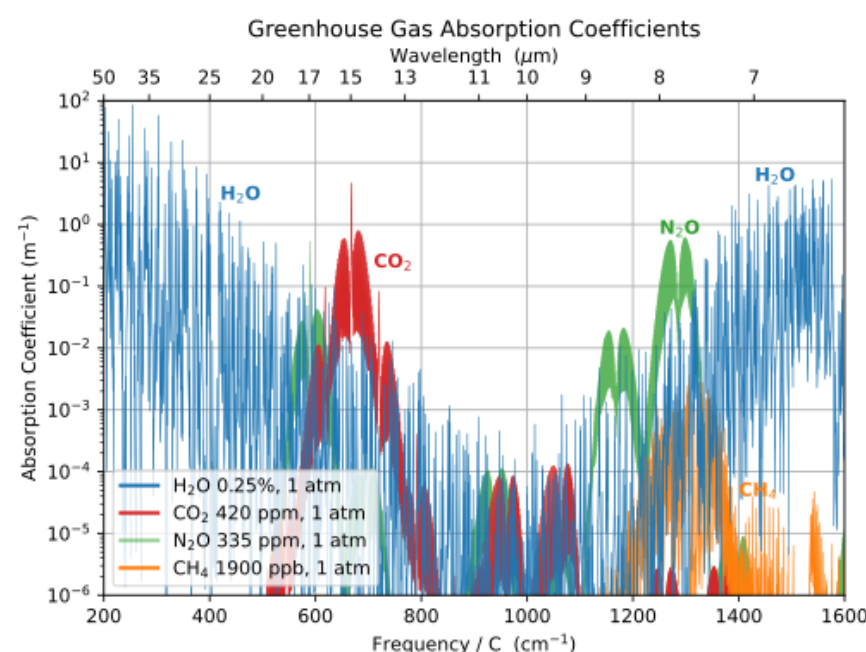
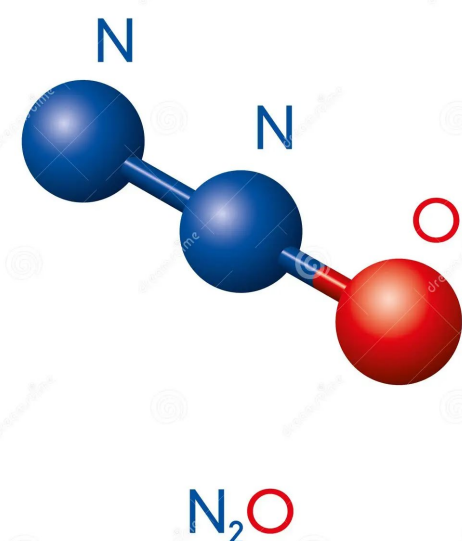
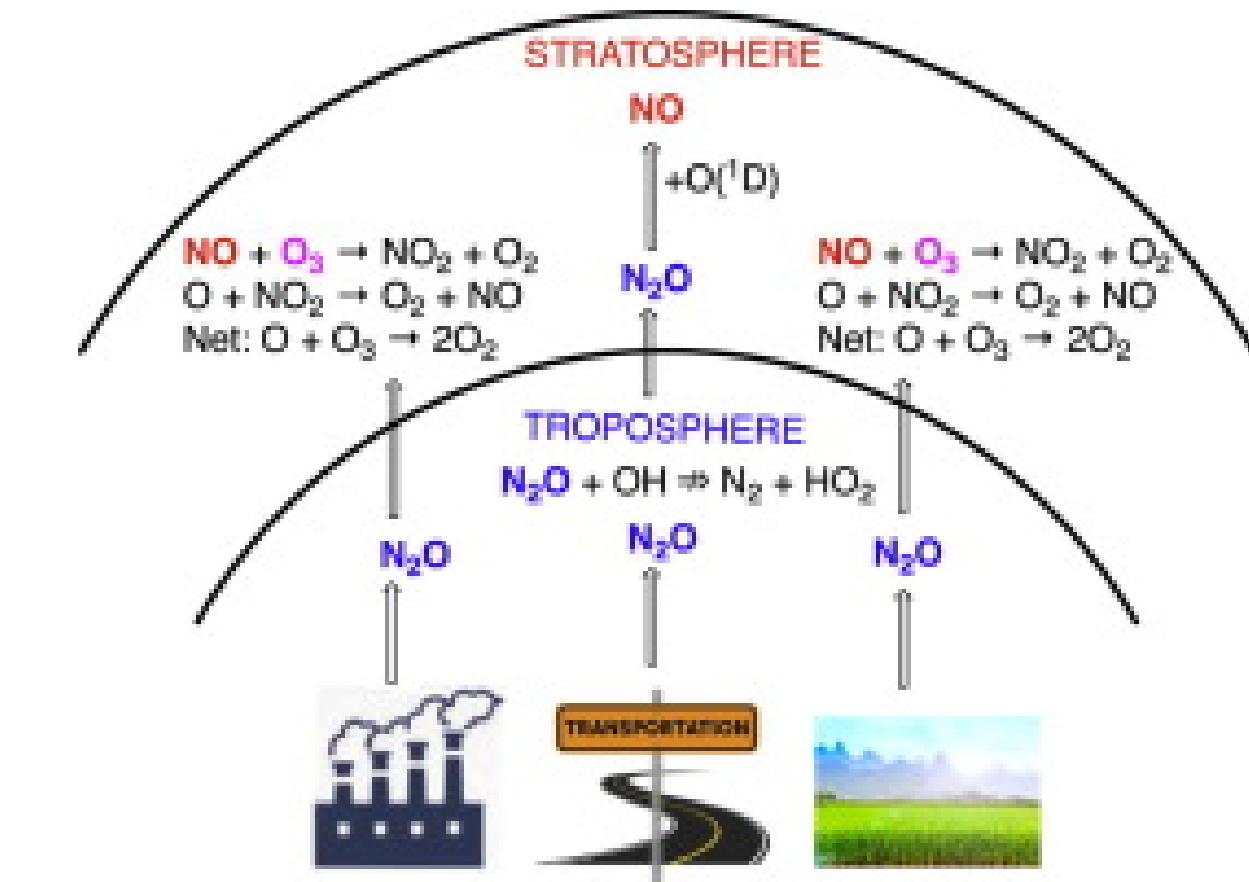
Rola klimatyczna N_2O (podtlenku azotu)

- Gaz cieplarniany o długim czasie życia, średnio **~ 120 lat** (IPCC AR6, WMO).
- Wysoki potencjał cieplarniany (GWP100): ok. **273–298** względem CO_2 .
- Trzeci najważniejszy gaz cieplarniany po CO_2 i CH_4 pod względem wymuszenia radiacyjnego.
- **Najważniejsza obecnie antropogeniczna substancja niszcząca warstwę ozonową.** W stratosferze ulega fotolizie i reakcjom prowadzącym do powstawania reaktywnych form azotu (NO , NO_2), które katalitycznie rozkładają O_3 (WMO/UNEP Ozone Assessments).

N_2O ma podwójne znaczenie – zwiększa efekt cieplarniany i przyczynia się do ubytku ozonu stratosferycznego.

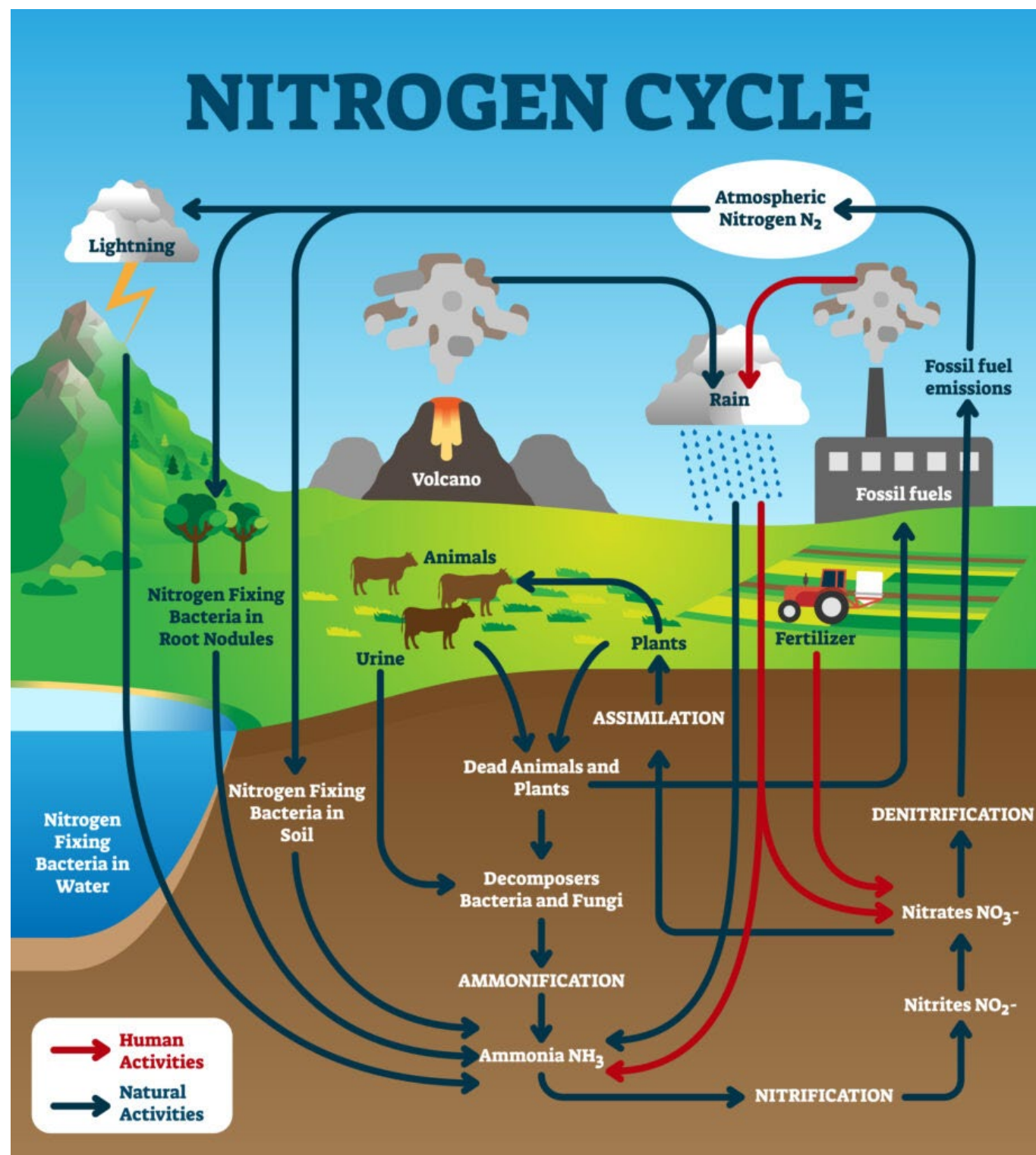
Uwaga terminologiczna

- N_2O = podtlenek azotu (nitrous oxide) – gaz cieplarniany.
- NO_2 = ditlenek azotu (nitrogen dioxide) – gaz reaktywny, zanieczyszczenie powietrza (smog), krótki okres życia. To rozróżnienie jest kluczowe w kontekście klimatu.



Czym są Zmiany Klimatu

Gazy Cieplarniane – Podtlenek Azotu N_2O



Azot krąży między atmosferą (N_2), biosferą, glebą i hydrosferą w ramach biogeochemicznego cyklu azotu.

Główne procesy obiegu azotu:

- **Fiksacja azotu** ($N_2 \rightarrow NH_3/NH_4^+$)
Biologiczna (bakterie diazotroficzne, symbiozy roślin motylkowych).
Przemysłowa (proces Habera–Boscha).
W wyniku wyładowań atmosferycznych.
- **Nitryfikacja** ($NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$)
Proces tlenowy prowadzony przez bakterie chemoautotroficzne.
W jego efekcie **powstaje N_2O** jako produkt uboczny.
- **Asymilacja**
Pobieranie NO_3^-/NH_4^+ przez rośliny i włączanie do biomasy.
- **Amonifikacja (mineralizacja)**
Proces mikrobiologicznego rozkładu organicznych związków azotu do amoniaku lub jonów amonowych zachodzący w glebie, wodzie i ściekach. Jest to kluczowy etap mineralizacji w obiegu azotu, który sprawia, że azot staje się przyswajalny dla roślin.
- **Denitryfikacja** ($NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$)
Jest kluczowym etapem obiegu azotu, usuwającym nadmiar związków azotowych ze ścieków, gleby i wód.

Czym są Zmiany Klimatu

Gazy Cieplarniane – Ozon, O₃

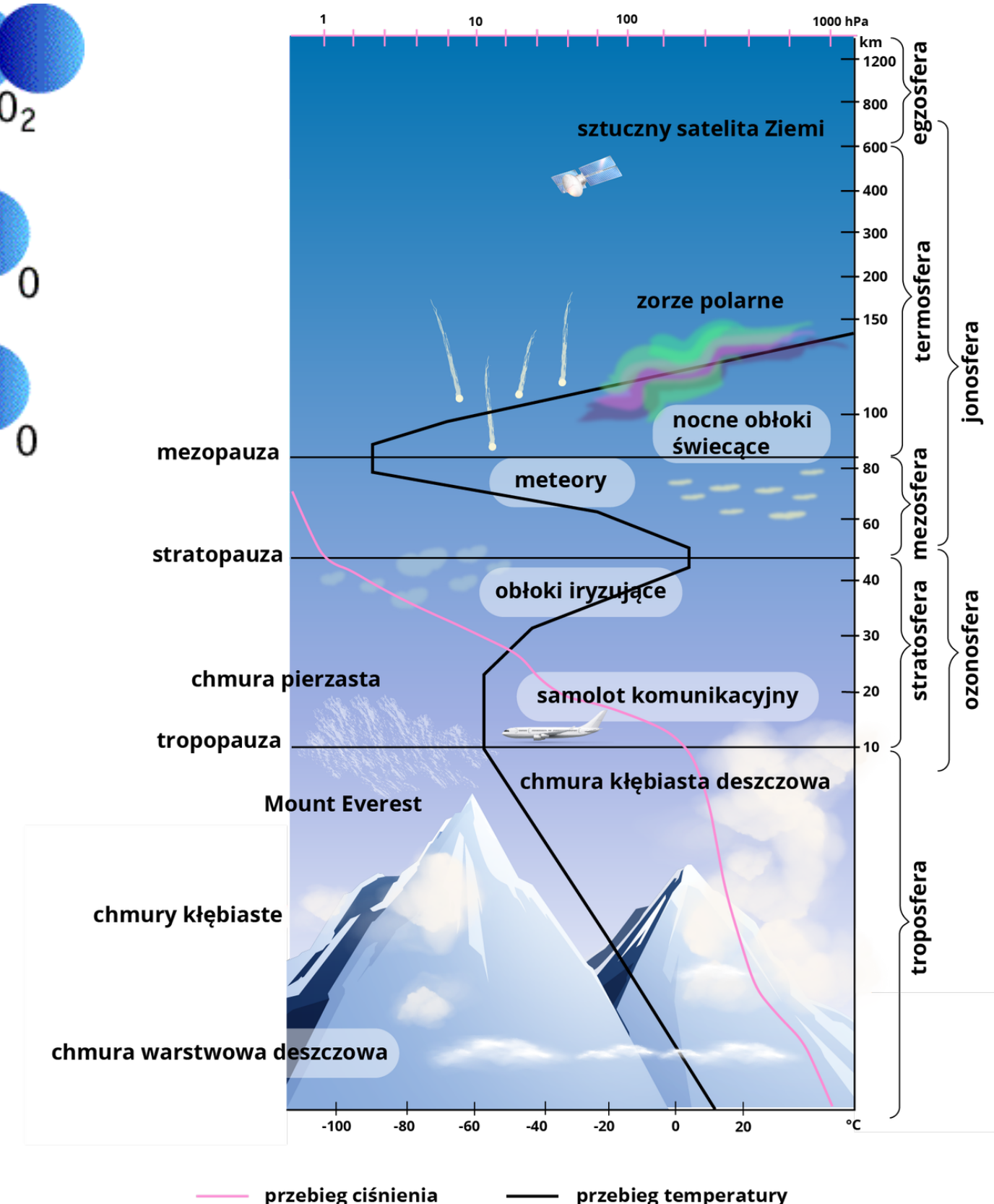
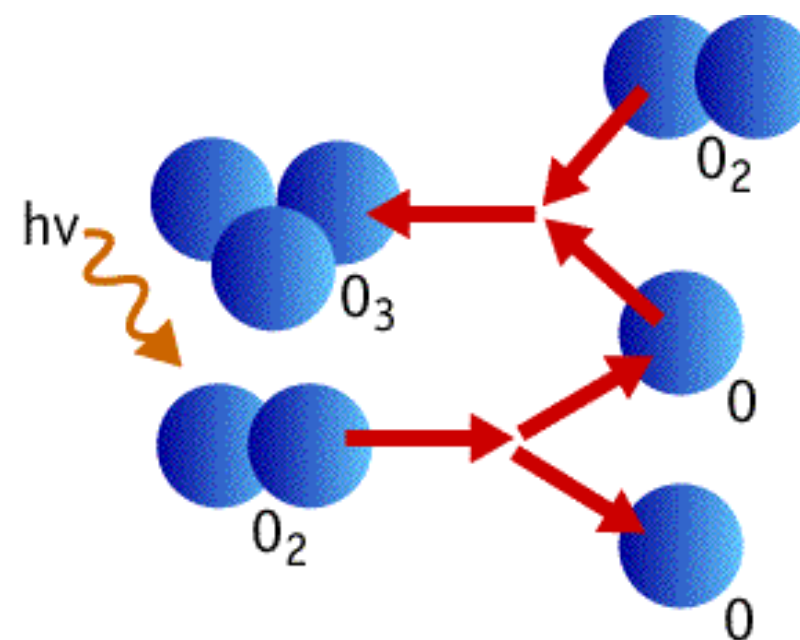
Ozon troposferyczny

- Gaz cieplarniany (krótki okres życia).
- Dodatnie wymuszenie radiacyjne.
- Wzrost O₃ w troposferze → ocieplenie.

Ozon stratosferyczny

- Absorbuje promieniowanie UV → ogrzewa stratosferę.
- Ubytek ozonu → ochłodzenie stratosfery.
- Radiacyjnie daje niewielkie ujemne wymuszenie (chłodzące), ale jest ono małe w porównaniu z CO₂.

IPCC AR6 jasno wskazuje, że globalne wymuszenie radiacyjne wynikające z ubytku ozonu stratosferycznego jest o rząd wielkości mniejsze niż wymuszenie CO₂.



Czym są Zmiany Klimatu

Gazy Cieplarniane – Ozon, O₃

Ubytek **ozonu stratosferycznego** ma istotne **znaczenie klimatyczne** głównie poprzez wpływ na dynamikę atmosfery - **cyrkulację** w skali regionalnej.

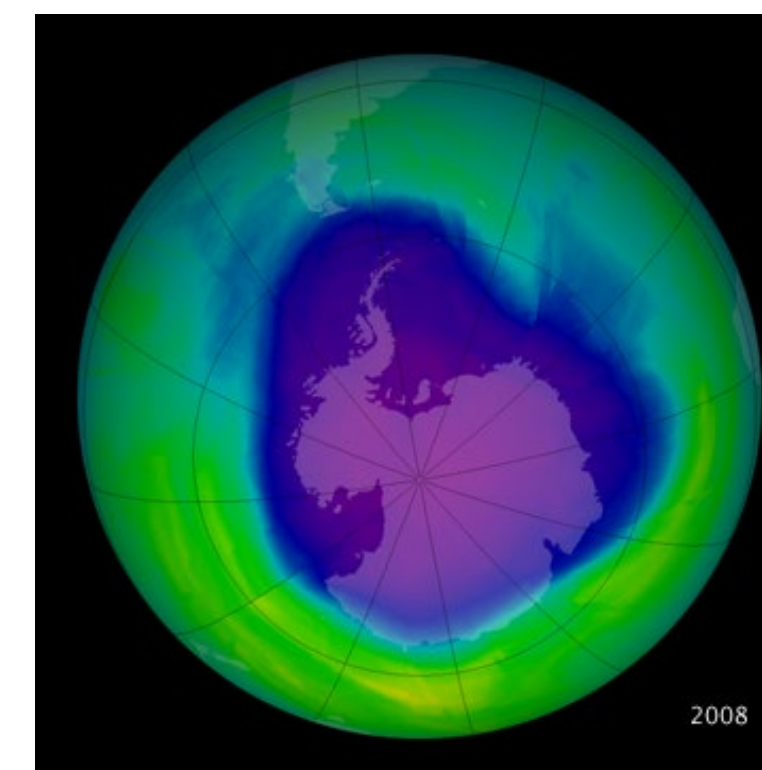
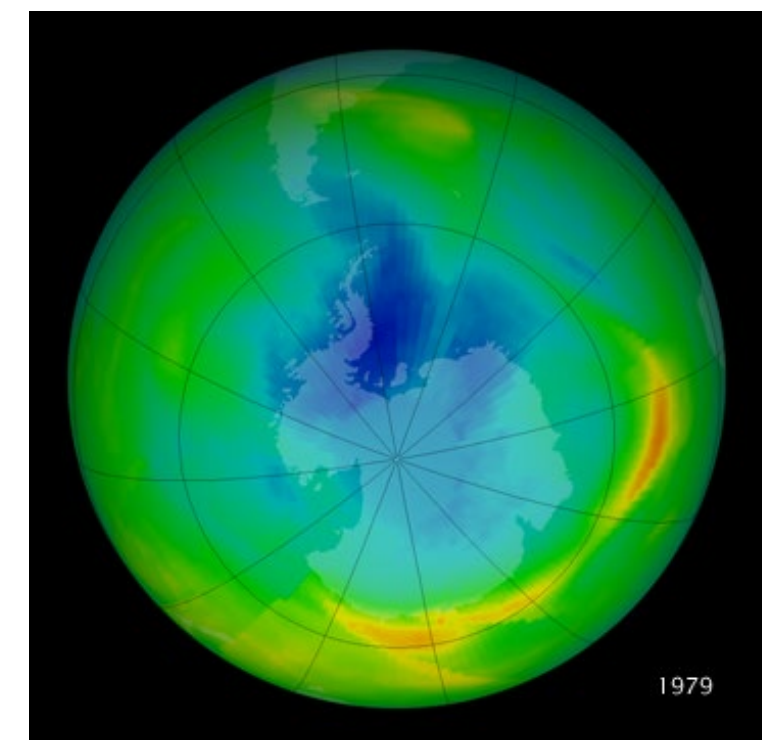
Bezpośredni **wpływ radiacyjny ozonu** na globalną **temperaturę** jest mniejszy w porównaniu z gazami cieplarnianymi długo pozostającymi w atmosferze.

Właściwości spektralne ozonu

- silnie absorbuje promieniowanie UV (dlatego ozon stratosferyczny chroni nas przed szkodliwym UV-C i UV-B),
- pochłania promieniowanie podczerwone (troposfera), szczególnie w paśmie około 9–10 μm . To pasmo jest istotne, ponieważ leży w zakresie, gdzie promieniowanie ciepłe Ziemi jest intensywne i słabiej pochłaniane przez CO₂ i parę wodną.

W efekcie O₃ przyczynia się do zatrzymywania energii w systemie klimatycznym.

O₃ wpływa na stężenie OH, które kontroluje czas życia CH₄,



100 DU – jednostka Dobsona
odnosi się do warstwy ozonu o
grubości 1mm przy ciśnieniu
1013hPa i T 15°C

Czym są Zmiany Klimatu

Gazy Cieplarniane – Ozon, O₃

Efekt dynamiczny (cyrkulacyjny) zmian koncentracji ozonu:

Ubytek ozonu nad Antarktydą



Ochłodzenie stratosfery



Wzmocnienie wiru polarnego

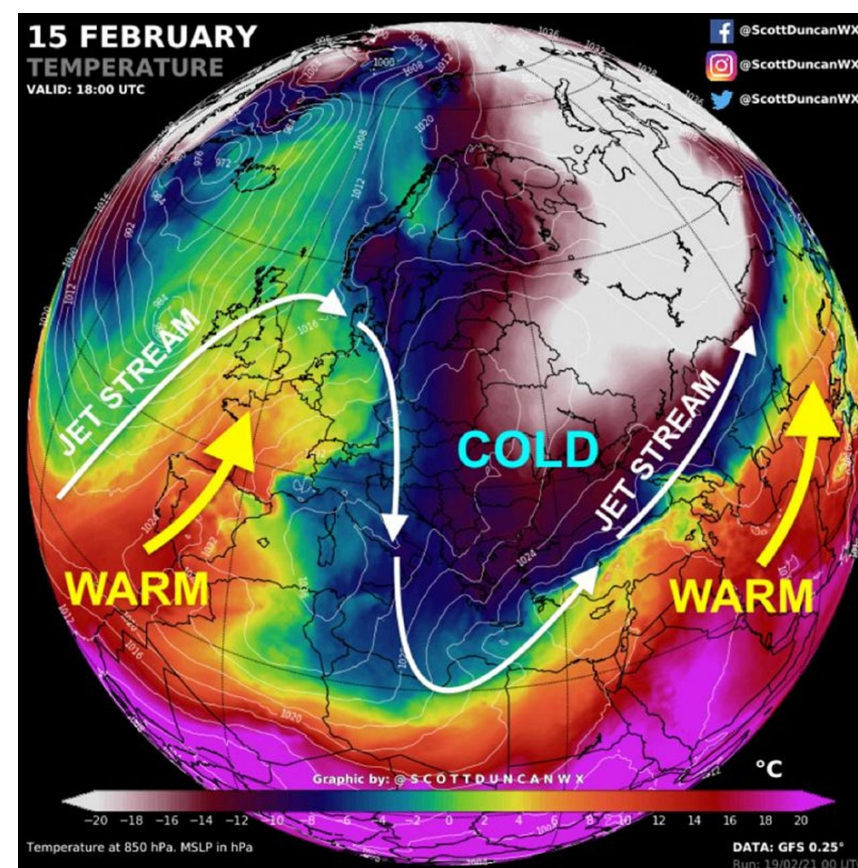
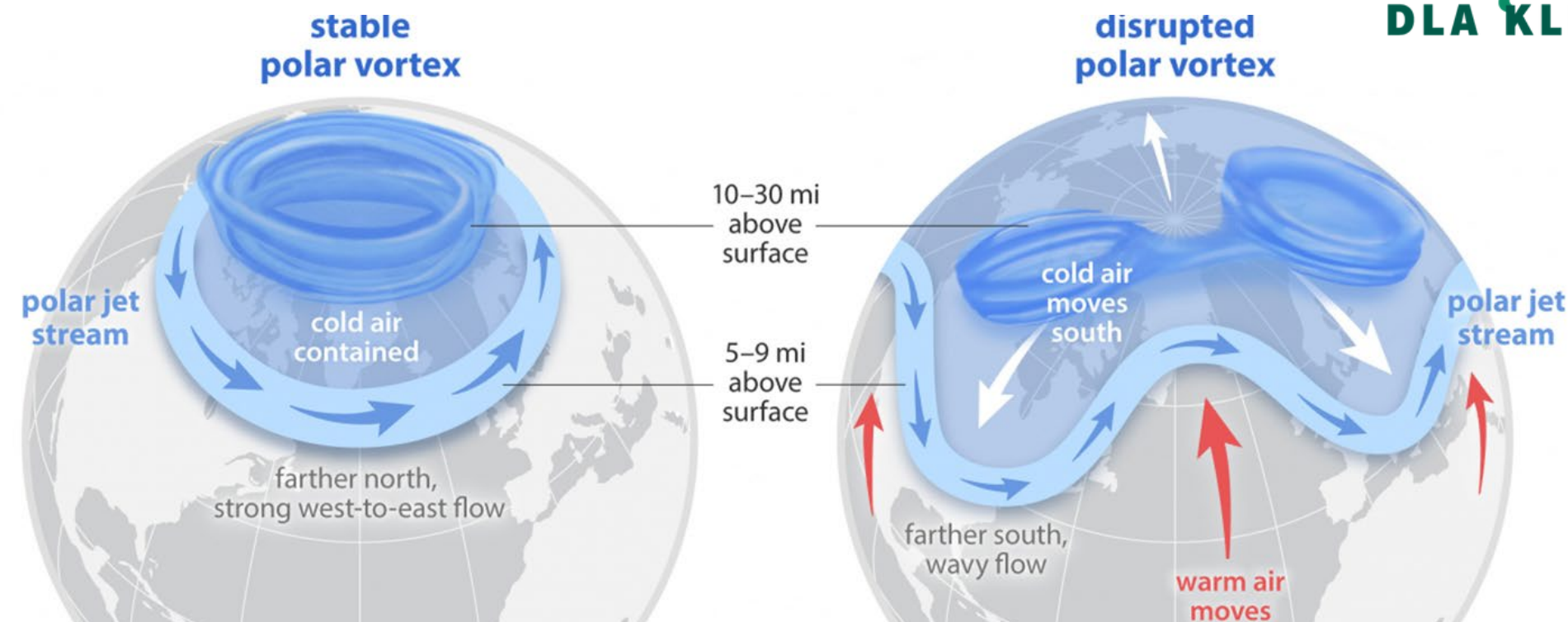


Przesunięcie prądu strumieniowego ku biegunowi



Zmiana wzorców opadów i wiatru na półkuli południowej

Śląskie.
DLA KLIMATU

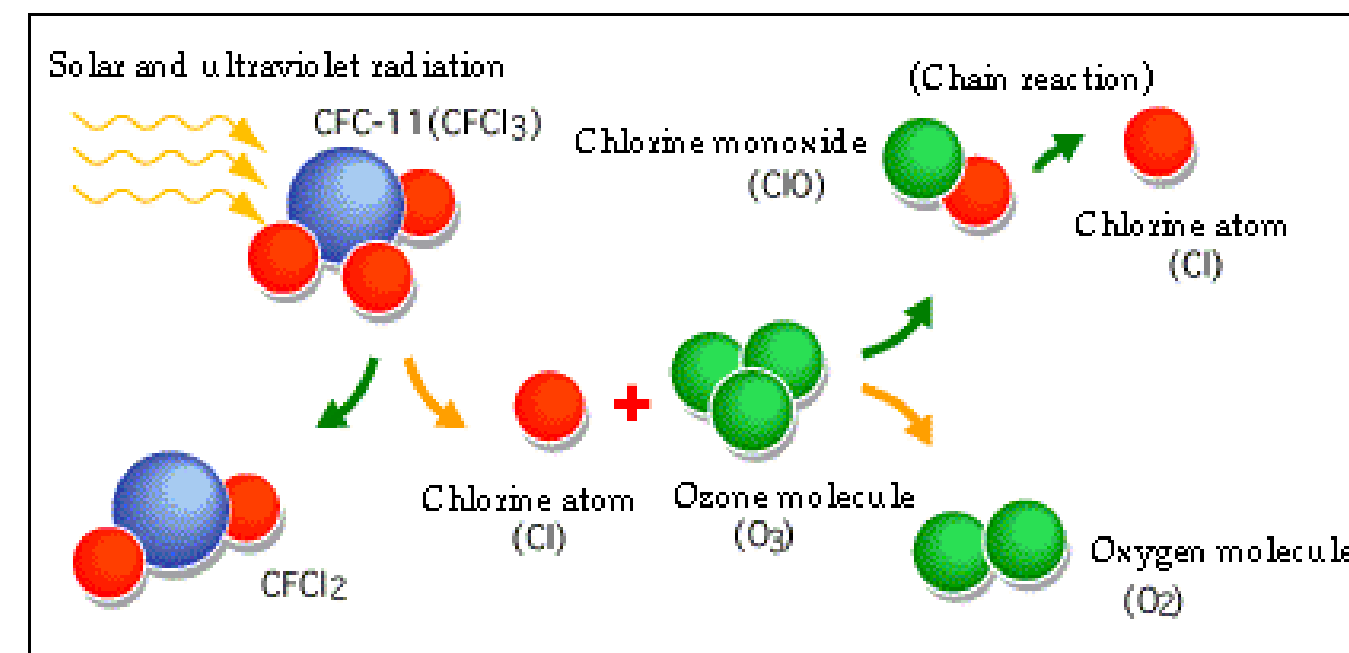


Gazy Cieplarniane – Freony CFC- chlorofluorowęglowodory

Freony - potoczna nazwa grupy syntetycznych związków chemicznych należących głównie do chlorofluorowęglowodorów (CFC, ang. chlorofluorocarbons) i częściowo do HCFC (hydrochlorofluorocarbons). Są to związki organiczne zawierające: węgiel (C), chlor (Cl), fluor (F), a w przypadku HCFC również wodór (H).

„Cykl” CFC w systemie Ziemi

- **Emisja** (historycznie: chłodnictwo, aerozole, pianki; dziś silnie ograniczone).
- **Długie przebywanie i mieszanie** – CFC są chemicznie obojętne w troposferze.
- **Transport** do stratosfery.
- **Fotoliza/reakcje w stratosferze** → uwolnienie atomów chloru → katalityczne niszczenie ozonu. (To jest podstawowy mechanizm „ozonowy”).
- **Stopniowy spadek stężeń** po regulacjach (Montreal Protocol) – konsekwencja ograniczenia emisji, przy wciąż długich czasach życia.



Znaczenie klimatyczne CFC (dwa równoległe kanały)

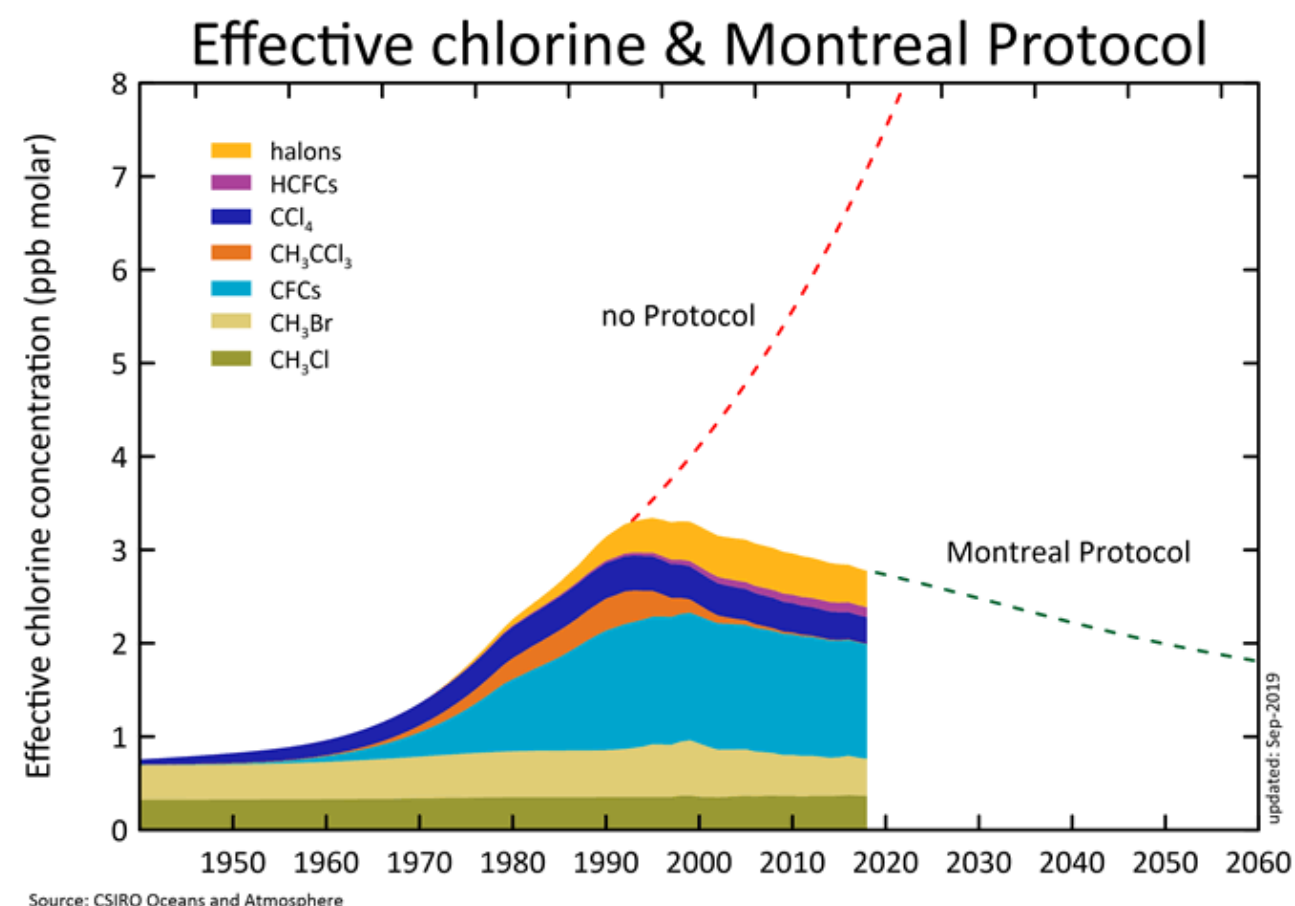
Bezpośrednio jako gazy cieplarniane:

- CFC są silnymi, długowiecznymi gazami cieplarnianymi i wnoszą dodatni wkład do Wymuszeń Radiacyjnych.

Pośrednio przez wpływ na ozon stratosferyczny:

- Ubytek ozonu zmienia bilans radiacyjny i temperaturę stratosfery oraz może wpływać na cyrkulację (najmocniej udokumentowane dla półkuli południowej).

Gazy Cieplarniane – Halony



„Cykl” halonów w systemie Ziemi

- **Emisja** (głównie systemy gaśnicze; dziś mocno ograniczone).
- **Długie przebywanie i mieszanie** w atmosferze.
- **Transport** do stratosfery.
- **Rozpad/fotochemia w stratosferze** → uwolnienie bromu, który bardzo efektywnie katalitycznie niszczy ozon. (W uproszczeniu: brom jest „bardziej efektywny” w cyklach niszczenia ozonu niż chlor na atom)

Halony to syntetyczne związki organiczne zawierające: węgiel (C), fluor (F), oraz brom (Br), czasem także chlor (Cl).

Znaczenie klimatyczne Halonów

Bezpośrednio jako gaz cieplarniany:

- pozytywne wymuszenie radiacyjne.

Pośrednio przez wpływ na ozon stratosferyczny:

- Ubytek ozonu zmienia bilans radiacyjny i temperaturę stratosfery oraz może wpływać na cyrkulację (najmocniej udokumentowane dla półkuli południowej).

Wymuszenia Radiacyjne i Bilans



Bilans Promieniowania Ziemi

Bilans promieniowania Ziemi

różnica między strumieniem promieniowania słonecznego pochłanianego przez system klimatyczny a strumieniem promieniowania podczerwonego emitowanego przez Ziemię w przestrzeń kosmiczną.

Można zapisać:

$$N = K - L$$

gdzie:

K – Bilans promieniowania krótkofalowego (padające – odbite),

L – Bilans promieniowania długofalowego,

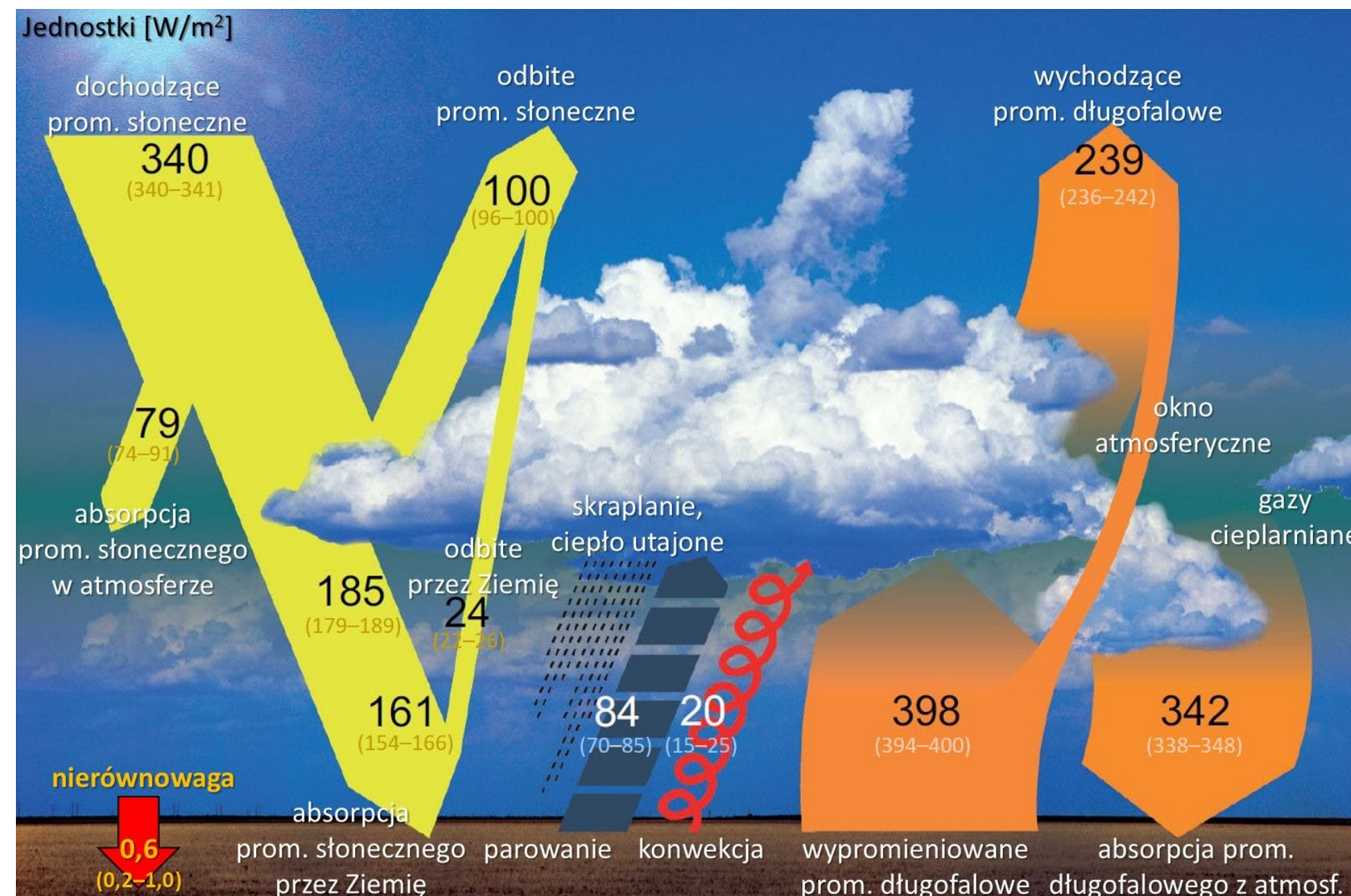
N – równowaga radiacyjna (W/m^2).

Jeżeli:

$N=0 \rightarrow$ system w równowadze energetycznej,

$N>0 \rightarrow$ system akumuluje energię (ocieplenie),

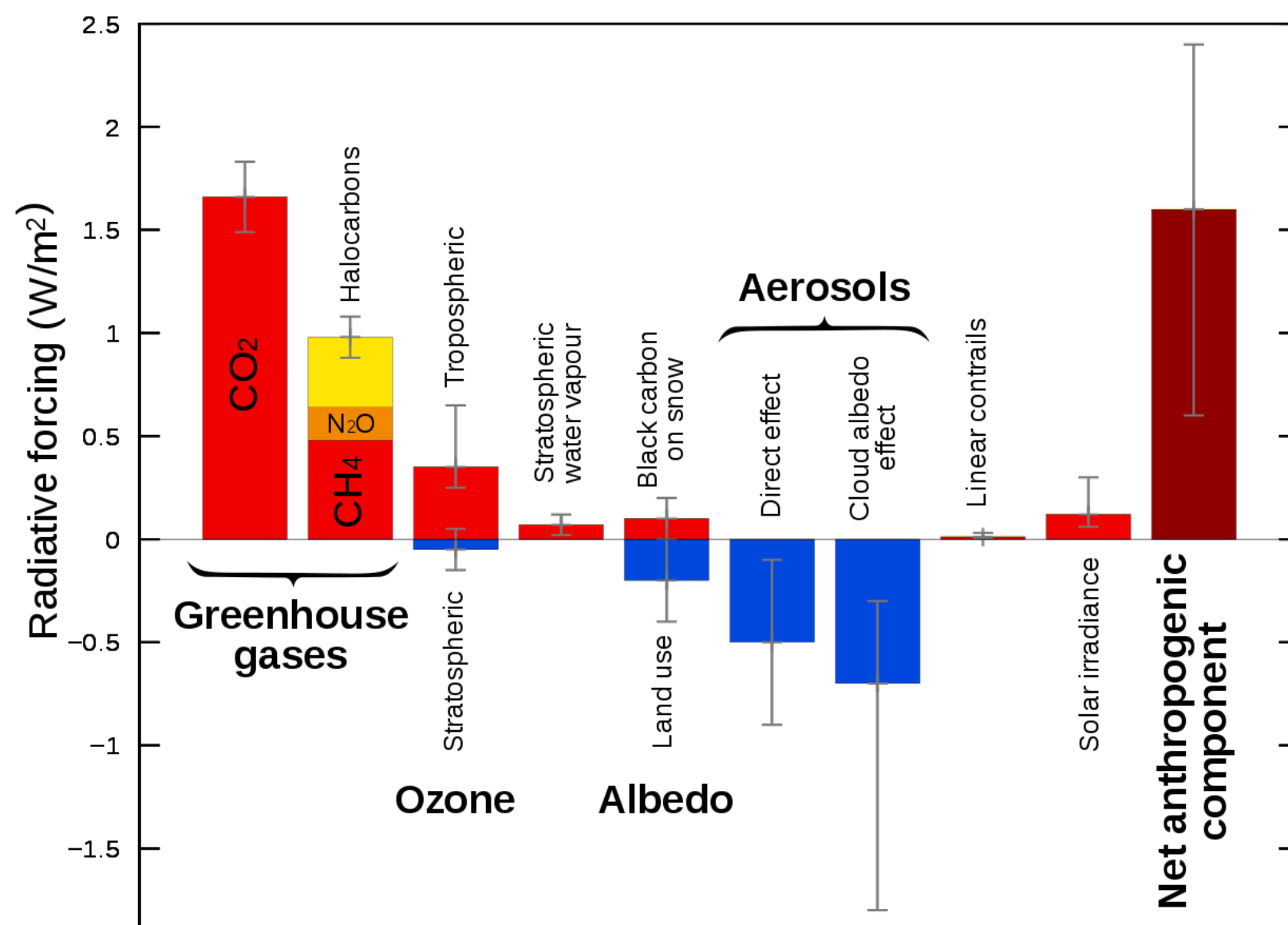
$N<0 \rightarrow$ system traci energię (ochłodzenie).



Bilans promieniowania to relacja między energią docierającą do Ziemi ze Słońca a energią oddawaną przez Ziemię w postaci promieniowania podczerwonego. Zmiany w składzie atmosfery, zwłaszcza wzrost stężenia gazów cieplarnianych, zaburzają ten bilans, prowadząc do akumulacji energii i wzrostu temperatury globalnej.

Czym są Zmiany Klimatu

Wymuszenia Radiacyjne/Radiative Forcing



Wymuszanie radiacyjne (radiative forcing)

Miara zaburzenia bilansu energetycznego Ziemi, czyli różnica między energią słoneczną docierającą do Ziemi a tą, którą uchodzi w kosmos. Dodatnie wymuszanie prowadzi do ocieplenia, a ujemne do ochłodzenia klimatu.

Określa, jak **czynniki naturalne** (np. wulkanizm) i **antropogeniczne** (gazy cieplarniane, aerozole) **zmieniają** ilość **energii absorbowanej** przez system klimatyczny.

- Jeśli więcej energii zostaje – planeta się ociepla.
- Jeśli więcej uchodzi – planeta się ochładza.

Wymuszenia Radiacyjne – Efektywne Wymuszenia Radiacyjne

Radiative Forcing (RF) – zmiana strumienia promieniowania netto (W/m^2) na wysokości **tropopauzy** po zmianie czynnika klimatycznego, **przy założeniu, że temperatura powierzchni i troposfery są stałe**.

Czyli:

- zmieniamy np. stężenie CO_2 ,
- pozwalamy stratosferze się szybko dostosować,
- ale zakładamy stałą temperaturę powierzchni i dolnej atmosfery,
- mierzymy różnicę w bilansie radiacyjnym.

Wymuszenia radiacyjne - czysto radiacyjna odpowiedź systemu.

Effective Radiative Forcing (ERF) - zmiana strumienia promieniowania netto **na górnej granicy atmosfery** po zmianie czynnika klimatycznego, z **uwzględnieniem szybkich reakcji atmosfery** (ale bez długoterminowego ocieplenia powierzchni).

Co oznacza „szybkie reakcje atmosfery”?

- zmiany temperatury stratosfery,
- szybkie zmiany temperatury troposfery,
- zmiany zachmurzenia,
- zmiany pary wodnej,
- zmiany cyrkulacji.

Nie obejmuje natomiast:

- wieloletniego ogrzewania oceanów,
- pełnych sprzężeń klimatycznych.

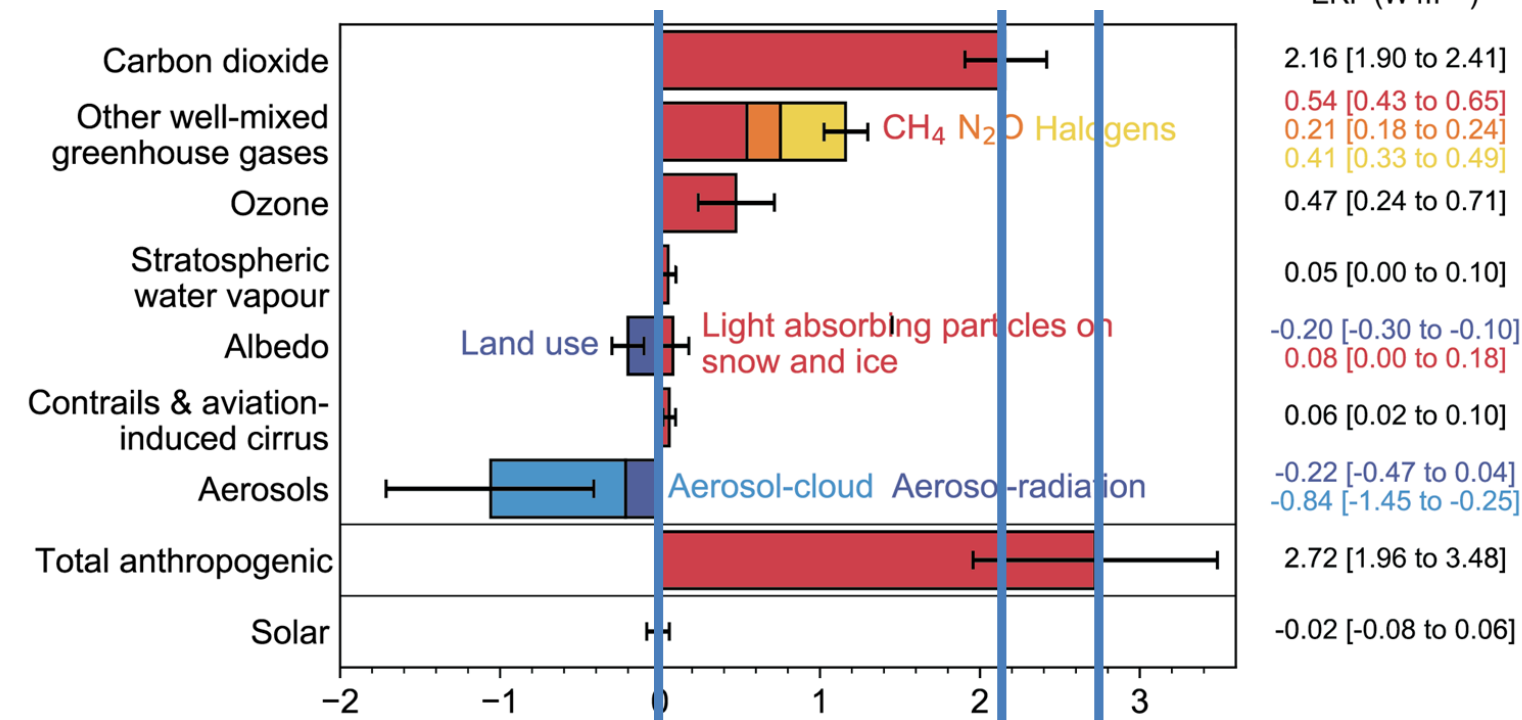
Radiative Forcing określa zmianę bilansu radiacyjnego przy stałej temperaturze powierzchni i troposfery, natomiast Effective Radiative Forcing obejmuje dodatkowo szybkie odpowiedzi atmosfery, w tym zmiany temperatury stratosfery, zachmurzenia i rozkładu pary wodnej.



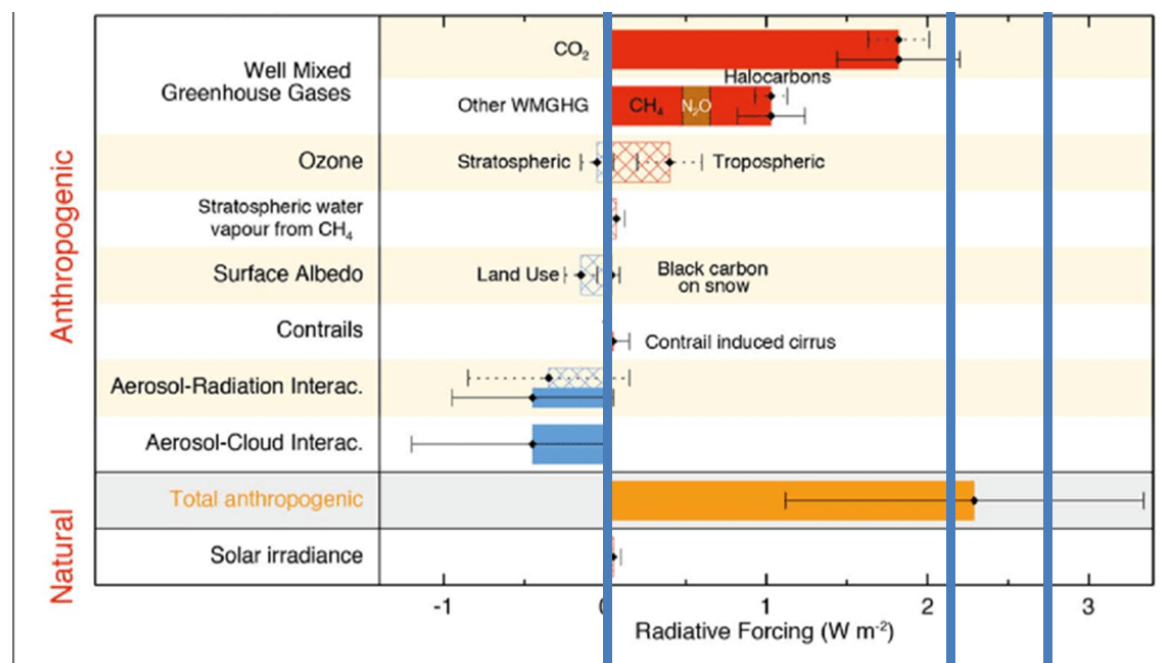
Czym są Zmiany Klimatu

Wymuszenia Radiacyjne – Efektywne Wymuszenia Radiacyjne

Efektywne wymuszeń radiacyjnych między 1750 i 2019



Wymuszenia radiacyjne między 1750 i 2019



Potencjał Efektu Cieplarnianego (GWP)

Global Warming Potential, wskaźnik określający, jak silnie dana substancja przyczynia się do globalnego ocieplenia w porównaniu do dwutlenku węgla (CO₂), którego GWP wynosi 1. Mierzy ilość energii pochłanianej przez **1 tonę gazu w ciągu np. 100 lat**. Wyższe GWP oznacza większy wpływ na ocieplenie.

Co oznacza to fizycznie?

GWP uwzględnia dwa elementy:

- Jak silnie gaz pochłania promieniowanie podczerwone (efektywność radiacyjna).
- Jak długo pozostaje w atmosferze (czas życia).

Gaz może mieć:

- silne pochłanianie, ale krótki czas życia (np. CH₄),
- słabsze pochłanianie, ale bardzo długi czas życia (np. CO₂),
- bardzo silne pochłanianie i długi czas życia (np. niektóre halogenowane związki).

Species	Lifetime (Years)	Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹)	GWP-20	GWP-100	GWP-500
CO ₂	Multiple	1.33 ± 0.16 ×10 ⁻⁵	1.	1.000	1.000
CH ₄ -fossil	11.8 ± 1.8	5.7 ± 1.4 ×10 ⁻⁴	82.5 ± 25.8	29.8 ± 11	10.0 ± 3.8
CH ₄ -non fossil	11.8 ± 1.8	5.7 ± 1.4 ×10 ⁻⁴	79.7 ± 25.8	27.0 ± 11	7.2 ± 3.8
N ₂ O	109 ± 10	2.8 ± 1.1 ×10 ⁻³	273 ± 118	273 ± 130	130 ± 64
HFC-32	5.4 ± 1.1	1.1 ± 0.2 ×10 ⁻¹	2693 ± 842	771 ± 292	220 ± 87
HFC-134a	14.0 ± 2.8	1.67 ± 0.32 ×10 ⁻¹	4144 ± 1160	1526 ± 577	436 ± 173
CFC-11	52.0 ± 10.4	2.91 ± 0.65 ×10 ⁻¹	8321 ± 2419	6226 ± 2297	2093 ± 865
PFC-14	50,000	9.89 ± 0.19 ×10 ⁻²	5301 ± 1395	7380 ± 2430	10,587 ± 3692

<https://think.earth/understanding-global-warming-potential/>



Potencjał Efektu Cieplarnianego* (GWP*)

GWP*

To modyfikacja GWP zaproponowana, aby lepiej oddać wpływ gazów (np. CH₄) o krótkim okresie życia w atmosferze.

Dlaczego powstało?

Standardowe GWP traktuje wszystkie emisje jak impuls, nie odróżnia emisji stałej od jednorazowej. Tzn. jednorazowego uwolnienia określonej masy gazu w jednym momencie czasu (np. 1 kg w roku 2025)

GWP* przelicza zmianę tempa emisji gazów o krótkim okresie życia na ekwiwalent CO₂, lepiej oddaje wpływ metanu na temperaturę.

Ważne:

GWP* nie jest nową właściwością gazu, tylko metodą przeliczania emisji.

GTP – Global Temperature Change Potential

Wpływ emisji 1 kg gazu na zmianę temperatury globalnej po określonym czasie względem CO₂.

Różnica względem GWP:

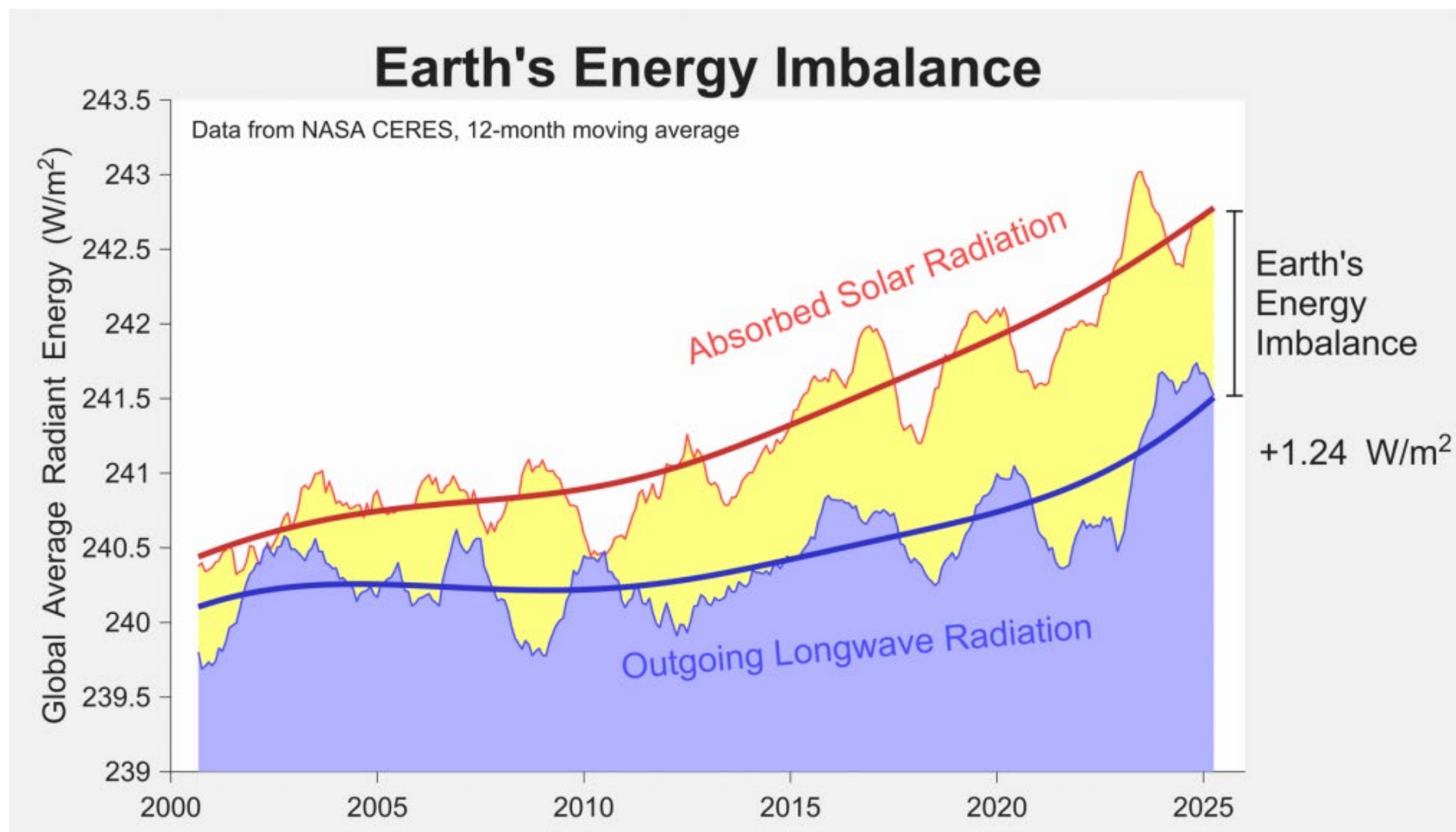
- GWP mierzy energię (W/m² skumulowane),
- GTP mierzy efekt temperaturowy (°C).

Symbol: GTP₁₀₀.



Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

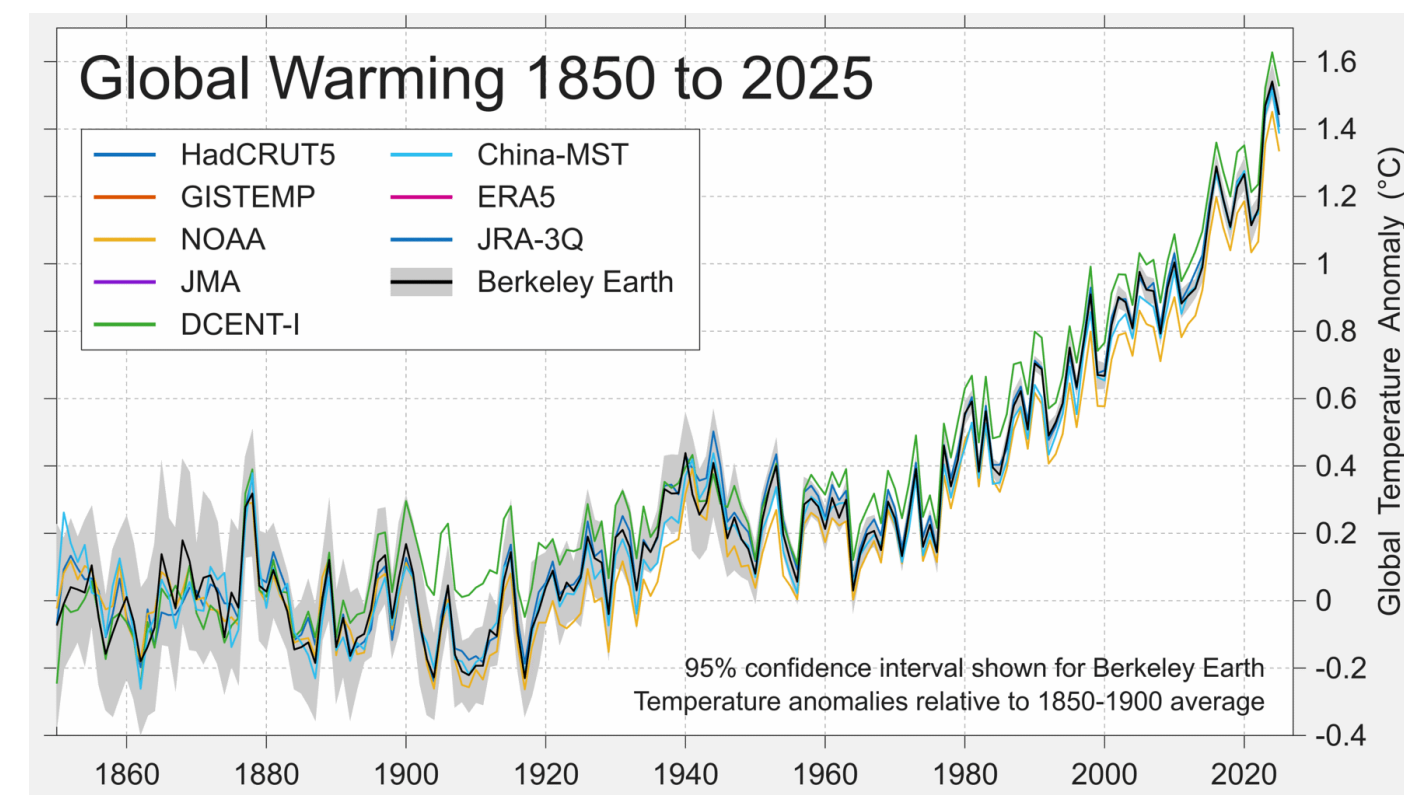
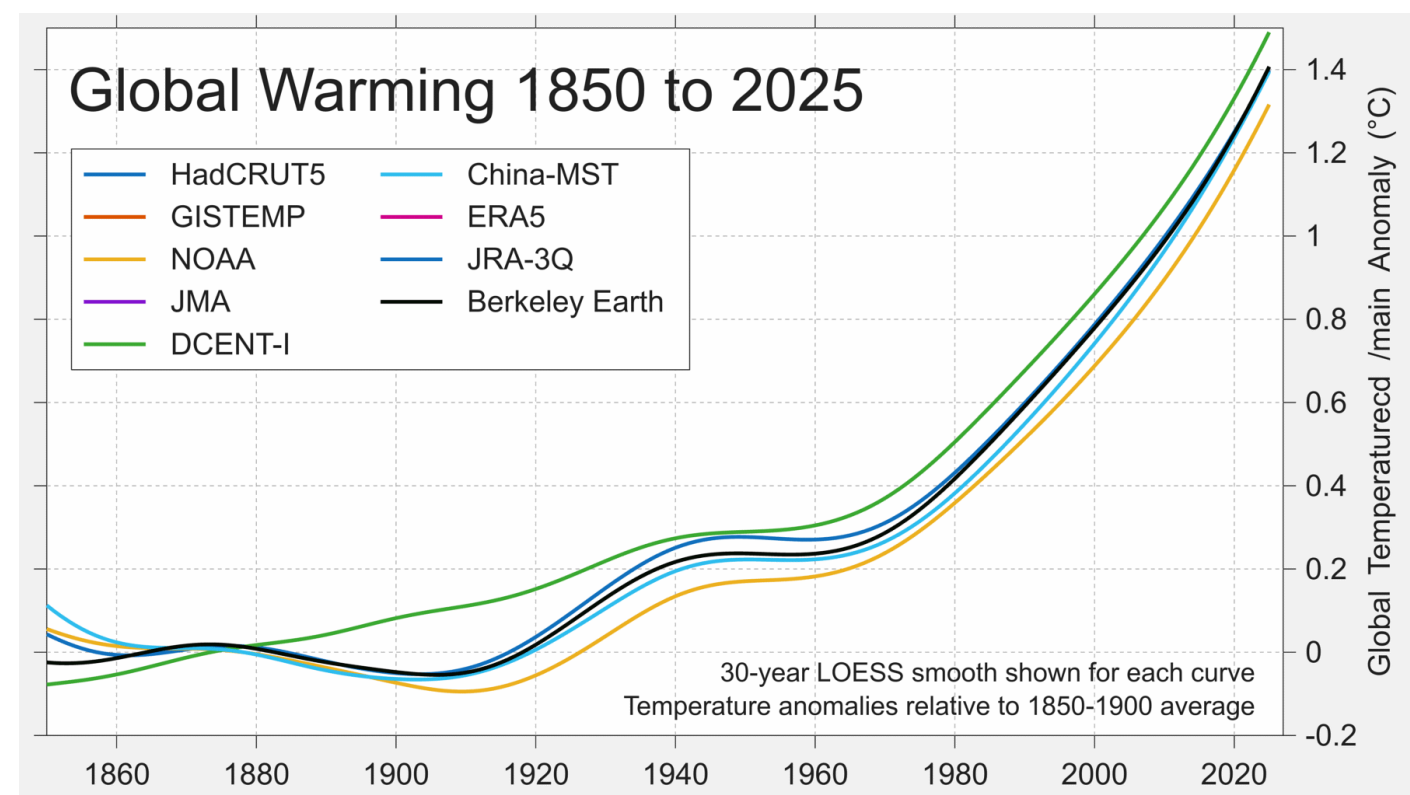


Jak interpretować wykresy globalnej temperatury powietrza



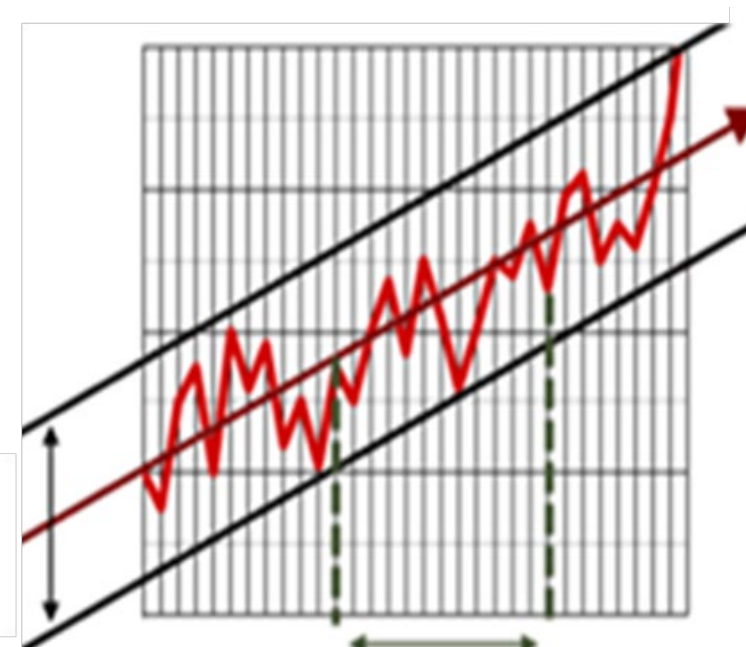
Czym są Zmiany Klimatu

Zmiany i Zmienność Temperatury Powietrza



Zmienność klimatu z roku na rok, np.
temperatury powietrza wokół linii trendu

Zmienność
klimatu

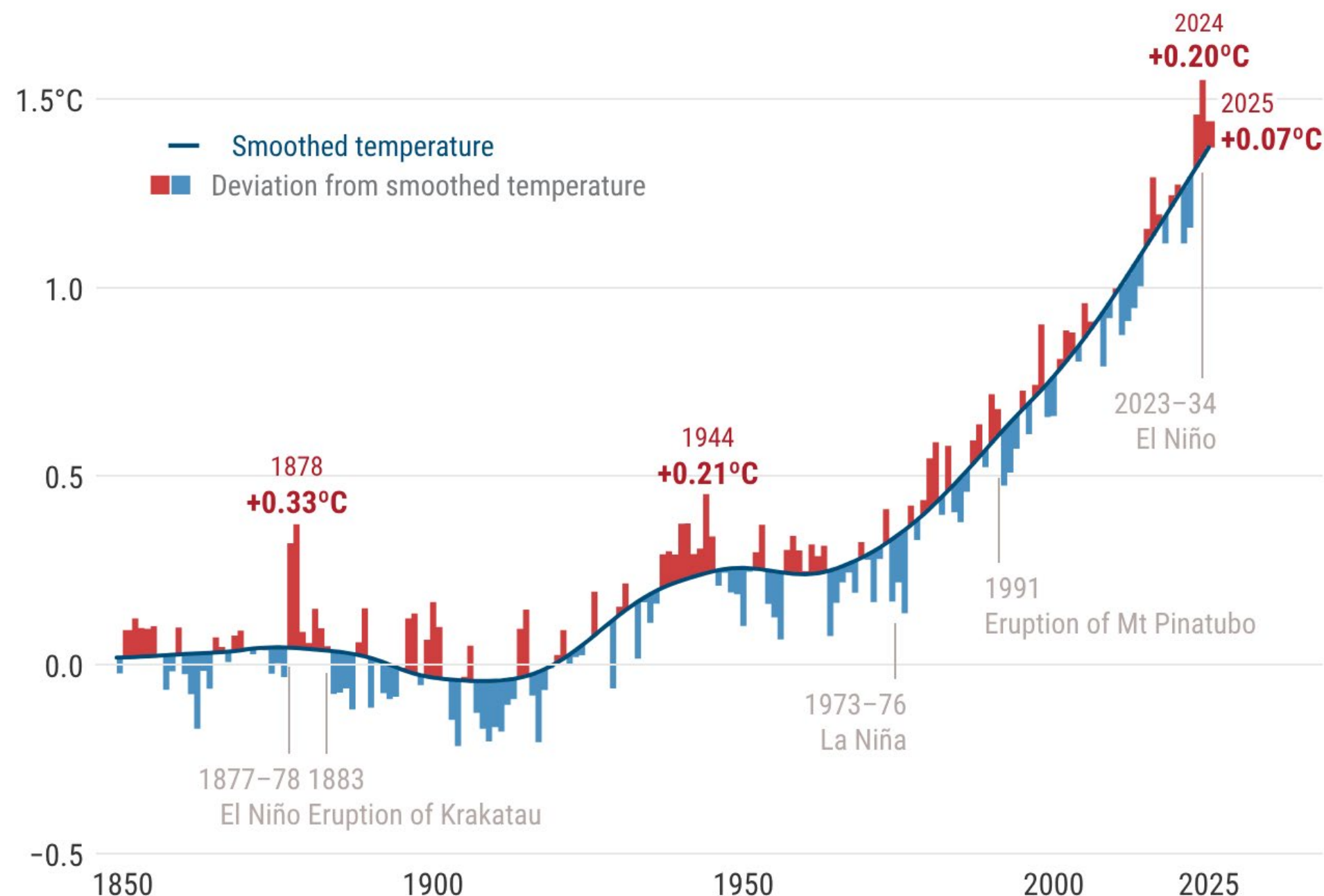


Zmiana
klimatu

Zmiana klimatu wyznaczona przez linię
trendu linii trendu

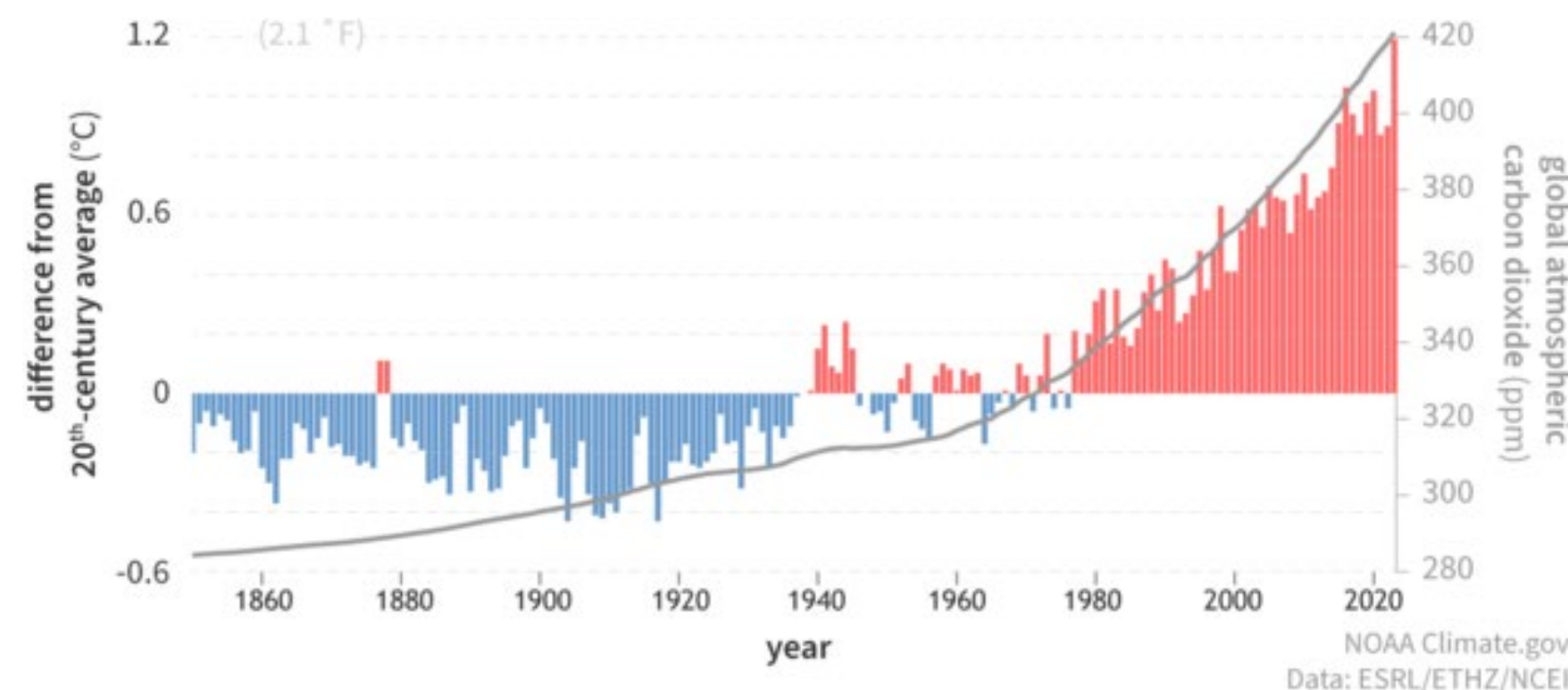
Czym są Zmiany Klimatu

Globalna Temperatura Powietrza



Zmienność klimatu
Zmiany klimatu z roku na rok, np.
temperatury powietrza wokół linii
trendu

Earth's surface temperature and atmospheric carbon dioxide (1850-2023)



Only a sample of some of the most important natural events are highlighted.

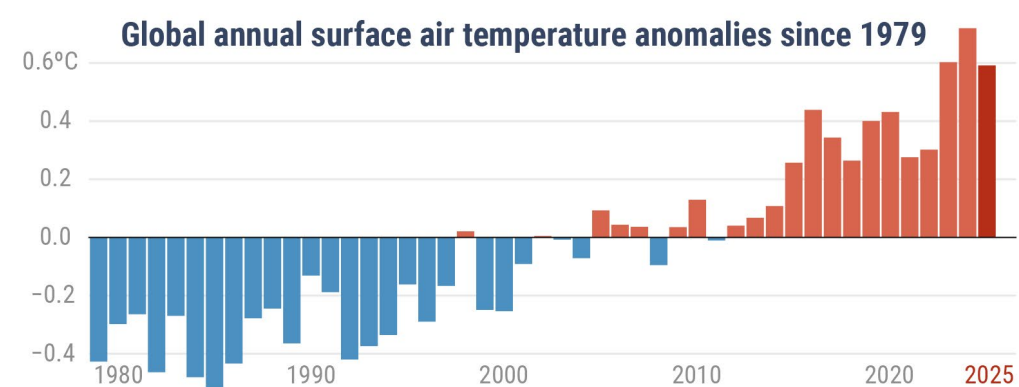
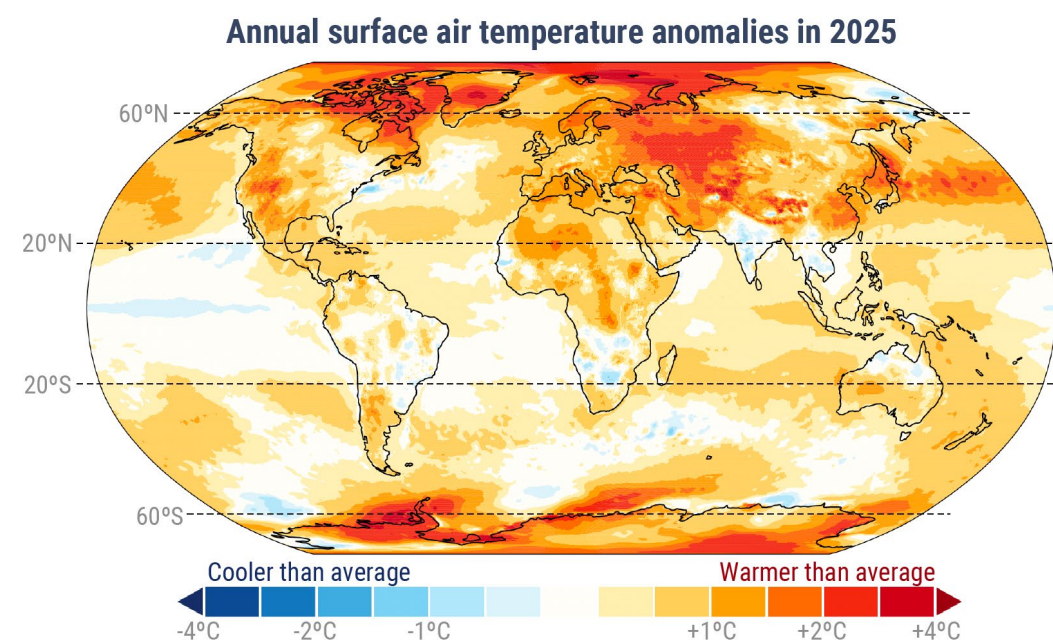
Data: average of Berkeley Earth, ERA5, GISTEMPv4, HadCRUT5, JRA-3Q, NOAA GlobalTempv6 • Reference period: pre-industrial (1850-1900) • Credit: C3S/ECMWF



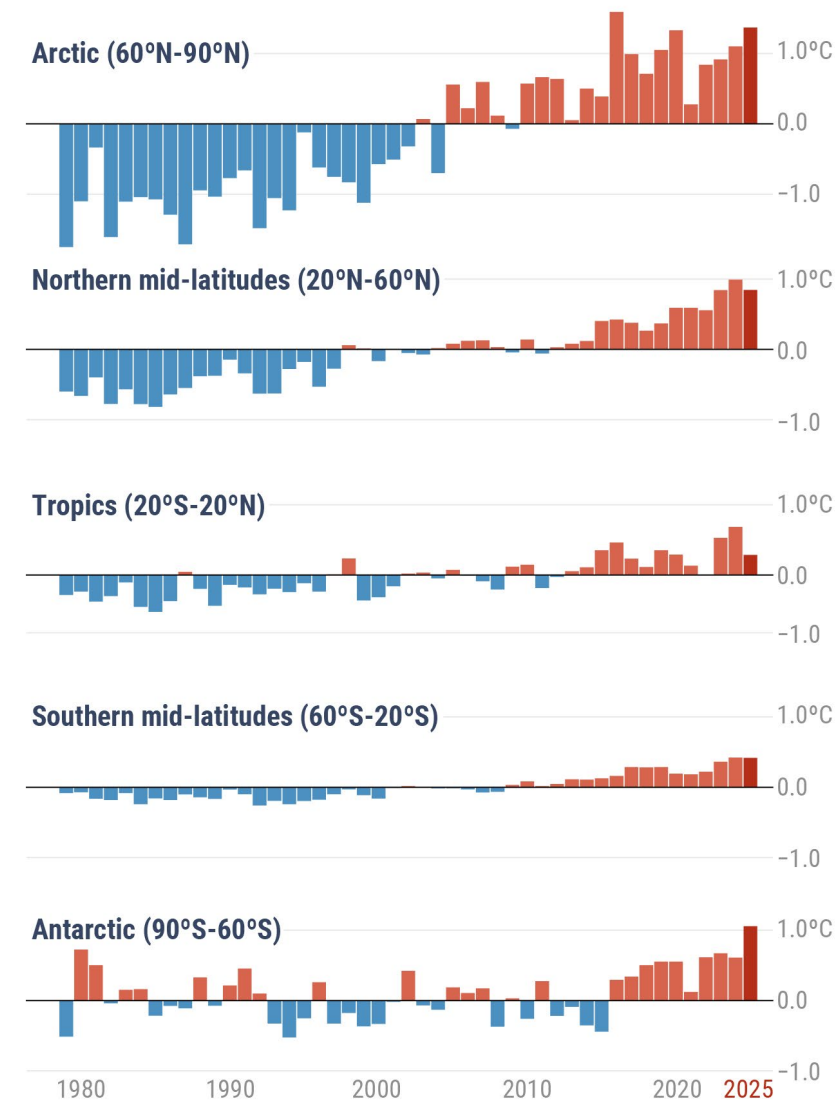
Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

2025 saw higher temperatures in the polar regions



Data: ERA5 • Reference period: 1991–2020 • Credit: C3S/ECMWF



PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



IMPLEMENTED BY

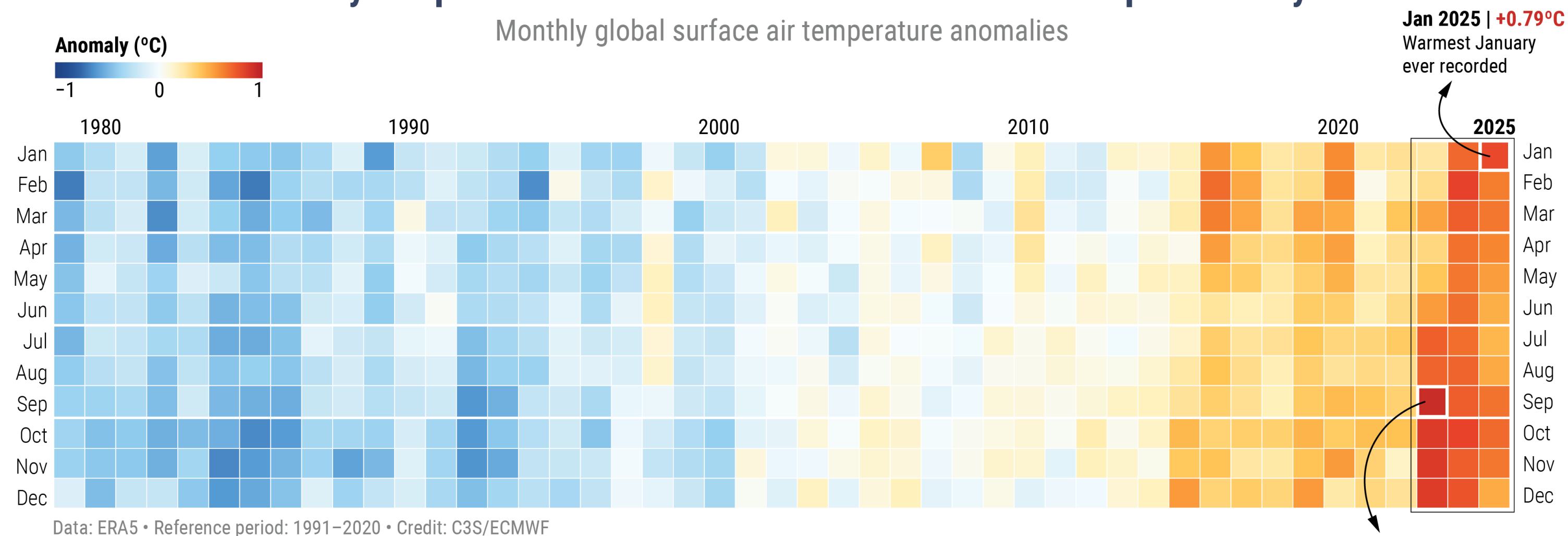


Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

All monthly temperature records have been broken over the past three years

Monthly global surface air temperature anomalies



PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



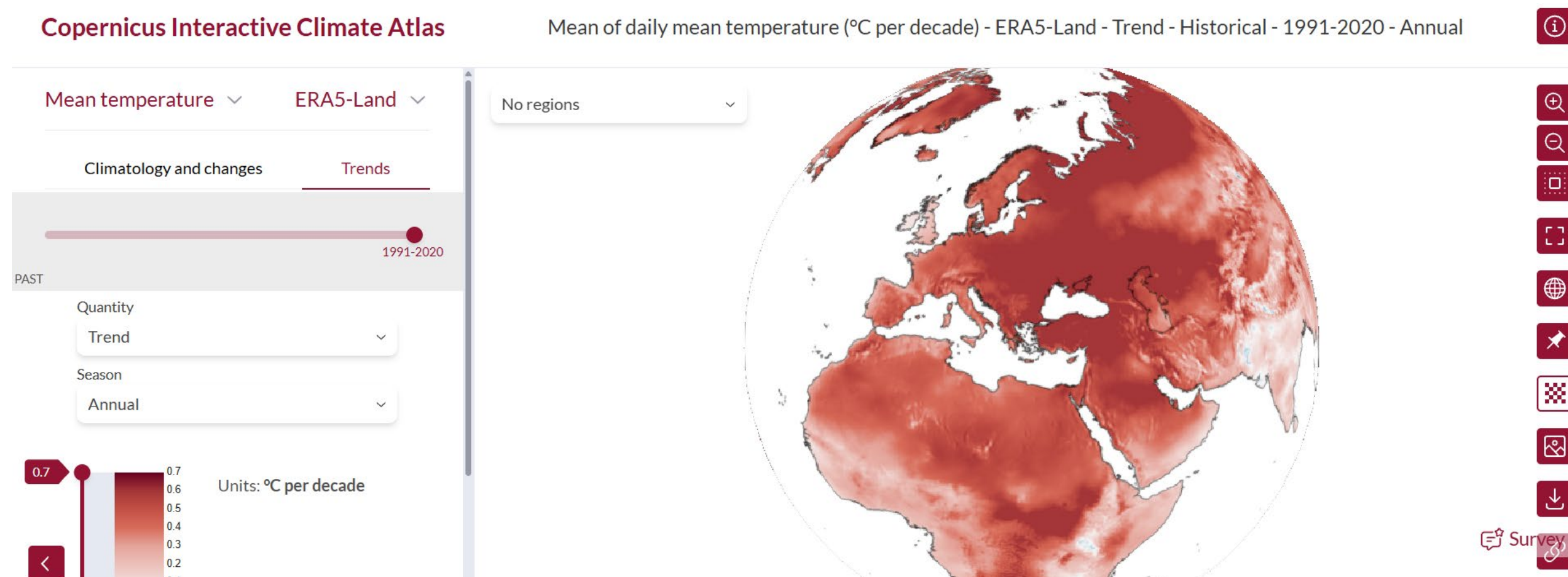
IMPLEMENTED BY



Czym są Zmiany Klimatu

Naturalne i Antropogeniczne Czynniki Zmian klimatu

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



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

Źródła Danych o Atmosferze

Dane Pośrednie - Proxy



Źródła Danych o Atmosferze

Rekonstrukcja Klimatu w Dalekiej Przeszłości

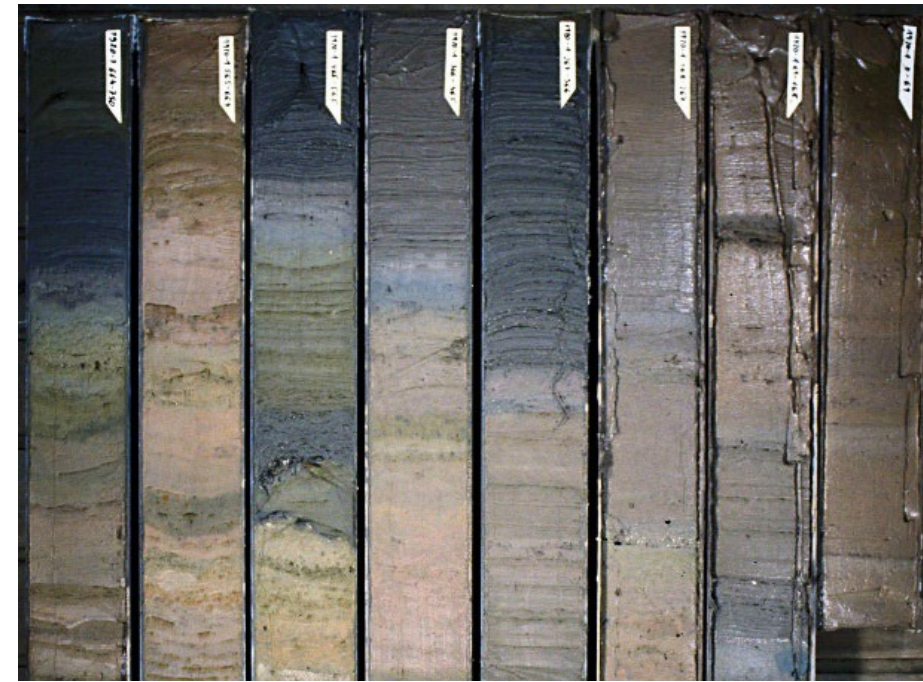
Historyczne źródła pisane



Badania koralowców



Osady jeziorne



Badania rdzeni lodowych



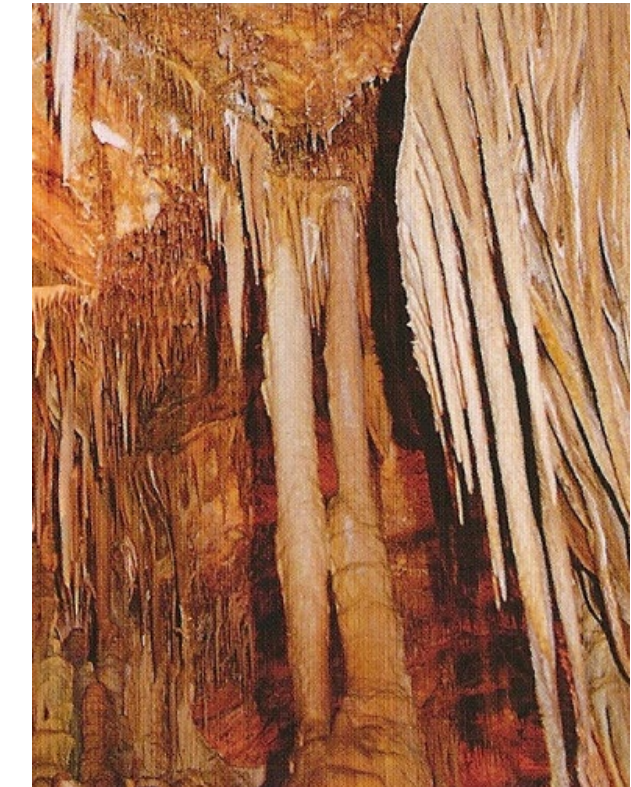
Badania dendrologiczne



Badania osadów morskich



Badania stalaktytów i stalagmitów

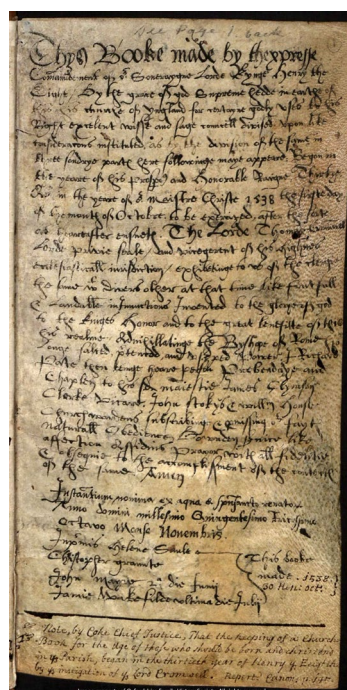


Dzienniki okrętowe
Osady jeziorne
Badania koralowców
Badania rdzeni lodowych
Badania dendrologiczne
Badania osadów morskich
Badania stalaktytów i stalagmitów

Źródła Danych o Atmosferze

Rekonstrukcja Klimatu w Dalekiej Przeszłości Historyczne Źródła Pisane

Księgi Parafialne



Page 22

BAPTISMS in the Parish of St. Andrew
in the County of Middlesex in the Year 1839

When Baptized	Child's Christian Name	Father's Name		Abode	Quality, Trade, or Profession	By whom the Ceremony was performed
		Christian	Surname			
1839 May 0 th	Henry son of Thomas and Ann Harrison	Thomas	Smith	St. Andrew	Waterman	Henry Joseph Vicar
1839 May 12 th	Joseph son of Joseph and Maria	Joseph	Sansome	St. Andrew	Labourer	Henry Joseph Vicar
1839 May 12 th	Alice daughter of Robert and Elizabeth	Robert	Stapleton	St. Andrew	Basket-Maker	Henry Joseph Vicar
1839 May 15 th	Emma daughter of William and Emma	William	Vernon	St. Andrew	Gardener	Henry Joseph Vicar

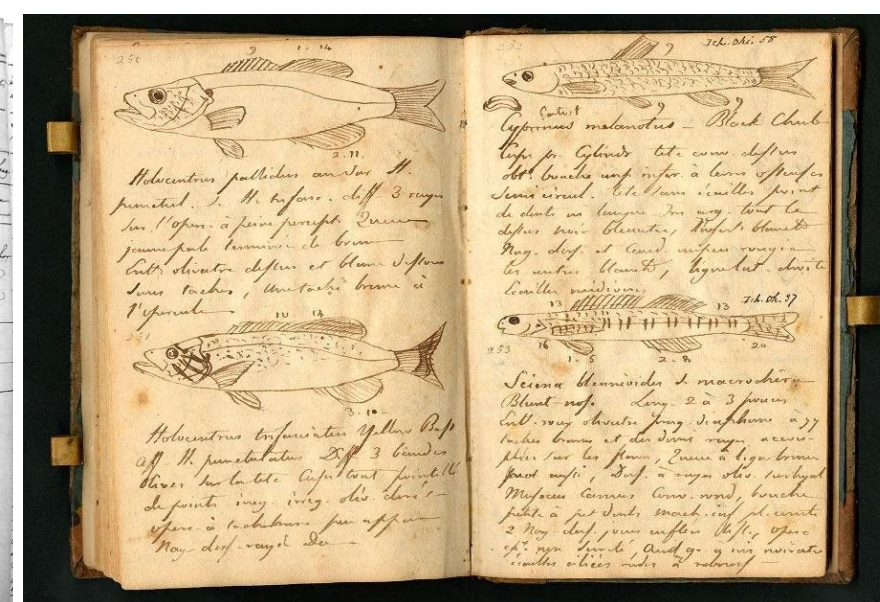
Adnotacje o klęskach żywiołowych, wzmianki o „zarazach po wielkiej powodzi”, informacje o nieurodzaju. Pośrednie dane o ekstremach klimatycznych. Często dobrze zachowane

Śląskie.
DLA KLIMATU

Dzienniki okrętowe

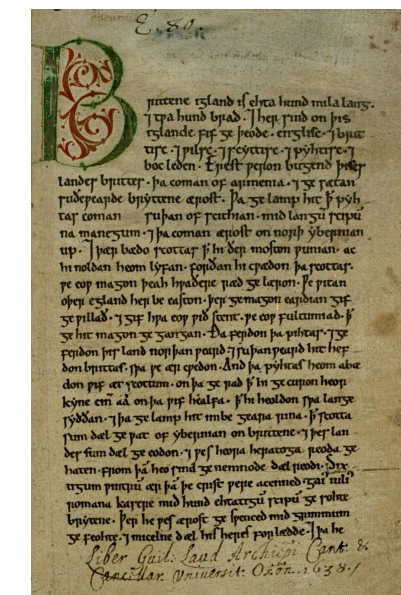
Day	Wind	Sea	Weather	Temperature	Barometer	Compass	Other
1	SE 12	3	Cloudy	55	30.1	True	
2	SE 10	2	B, C	54	30.2	True	
3	SE 8	2	B, C	53	30.3	True	
4	SE 6	2	B, C	52	30.4	True	
5	SE 4	2	B, C	51	30.5	True	
6	SE 2	2	B, C	50	30.6	True	
7	SE 1	2	B, C	49	30.7	True	
8	SE 1	2	B, C	48	30.8	True	
9	SE 1	2	B, C	47	30.9	True	
10	SE 1	2	B, C	46	31.0	True	
11	SE 1	2	B, C	45	31.1	True	
12	SE 1	2	B, C	44	31.2	True	
13	SE 1	2	B, C	43	31.3	True	
14	SE 1	2	B, C	42	31.4	True	
15	SE 1	2	B, C	41	31.5	True	
16	SE 1	2	B, C	40	31.6	True	
17	SE 1	2	B, C	39	31.7	True	
18	SE 1	2	B, C	38	31.8	True	
19	SE 1	2	B, C	37	31.9	True	
20	SE 1	2	B, C	36	32.0	True	

Day	Wind	Sea	Weather	Temperature	Barometer	Compass	Other
1	SE 12	3	Cloudy	55	30.1	True	
2	SE 10	2	B, C	54	30.2	True	
3	SE 8	2	B, C	53	30.3	True	
4	SE 6	2	B, C	52	30.4	True	
5	SE 4	2	B, C	51	30.5	True	
6	SE 2	2	B, C	50	30.6	True	
7	SE 1	2	B, C	49	30.7	True	
8	SE 1	2	B, C	48	30.8	True	
9	SE 1	2	B, C	47	30.9	True	
10	SE 1	2	B, C	46	31.0	True	
11	SE 1	2	B, C	45	31.1	True	
12	SE 1	2	B, C	44	31.2	True	
13	SE 1	2	B, C	43	31.3	True	
14	SE 1	2	B, C	42	31.4	True	
15	SE 1	2	B, C	41	31.5	True	
16	SE 1	2	B, C	40	31.6	True	
17	SE 1	2	B, C	39	31.7	True	
18	SE 1	2	B, C	38	31.8	True	
19	SE 1	2	B, C	37	31.9	True	
20	SE 1	2	B, C	36	32.0	True	



Zapisy pogody (wiatr, zachmurzenie, sztormy), kierunek i siła wiatru, stan morza. Okres: XVI–XIX w. Wartość: rekonstrukcja cyrkulacji atmosferycznej nad oceanami. Ograniczenie: subiektywność opisów.

Kroniki Miejskie i Klasztorne



Opisy powodzi, wielkie mrozy, lata głodu, susze, niezwykle burze. Często obejmują okres od średniowiecza. Dane jakościowe, np. „zima tak sroga, że rzeki zamarły”.

Źródła Danych o Atmosferze

Rekonstrukcja Klimatu w Dalekiej Przeszłości Historyczne Źródła Pisane

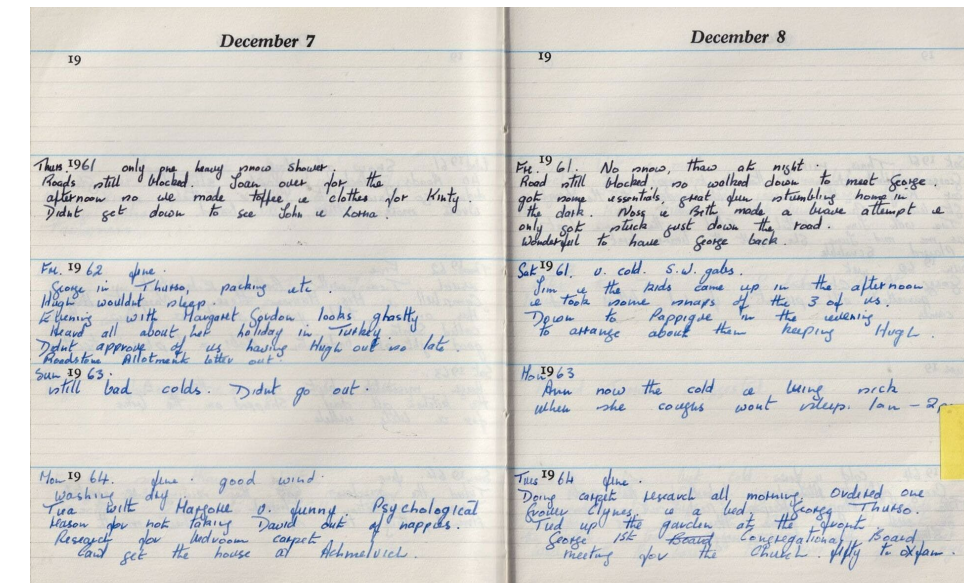
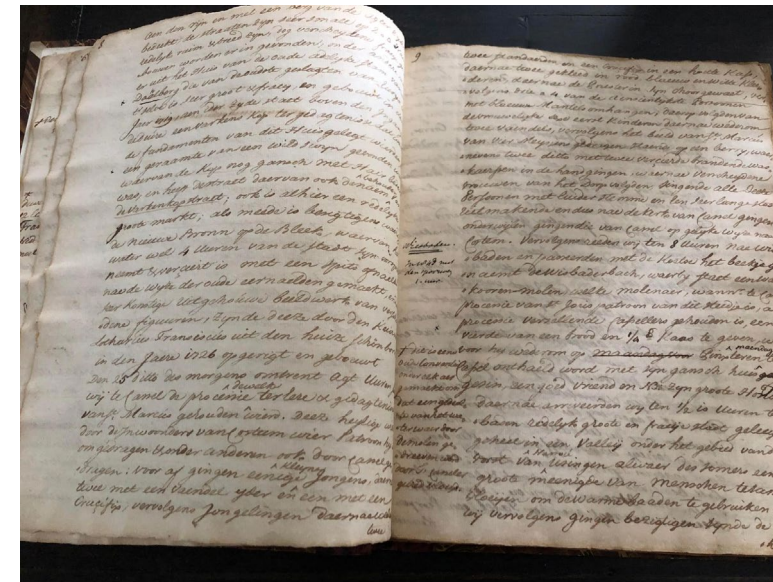
Archiwa administracyjne i podatkowe



Raporty o stratach w plonach, ceny zboża (wskaźnik suszy/nieurodzaju), dokumentacja powodzi. Dane pośrednie (proxy społeczno-ekonomiczne)

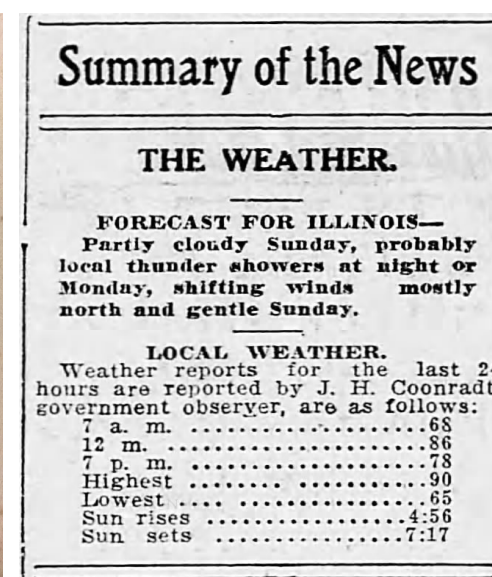
Śląskie.
DLA KLIMATU

Pamiętniki i korespondencja prywatna



Codzienne zapiski o pogodzie, opisy długich zim, wzmianki o „nieustannym deszczu”. Często bardzo szczegółowe. Problem: subiektywność

Gazety i prasa XIX–XX w.



Relacje z powodzi, opisy burz, rekordowe temperatury. Cenne przy rekonstrukcji ekstremów. Lepsza dokładność datowania.

Źródła Danych o Atmosferze

Rekonstrukcja Klimatu w Dalekiej Przeszłości Rdzenie Lodowcowe

Mechanizm

W lodowcach i lądolodach (np. Antarktyda, Grenlandia) śnieg odkłada się warstwami.

W lodzie zamykają się:

- pęcherzyki powietrza,
- aerozole,
- pyły wulkaniczne.

Co rekonstruujemy?

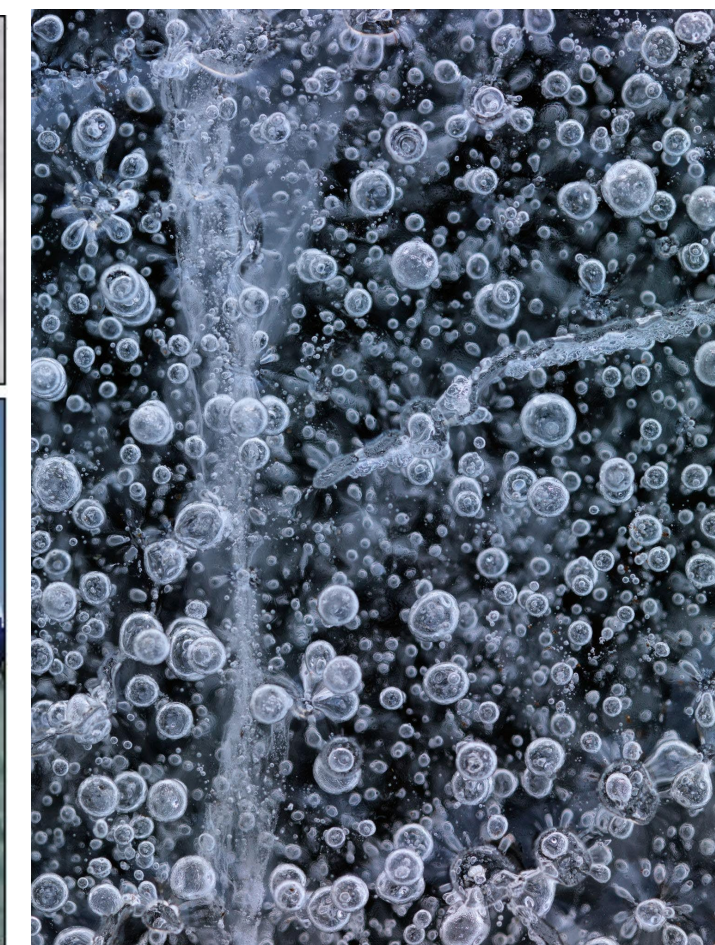
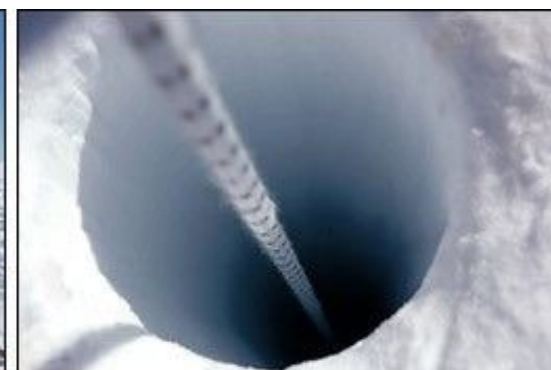
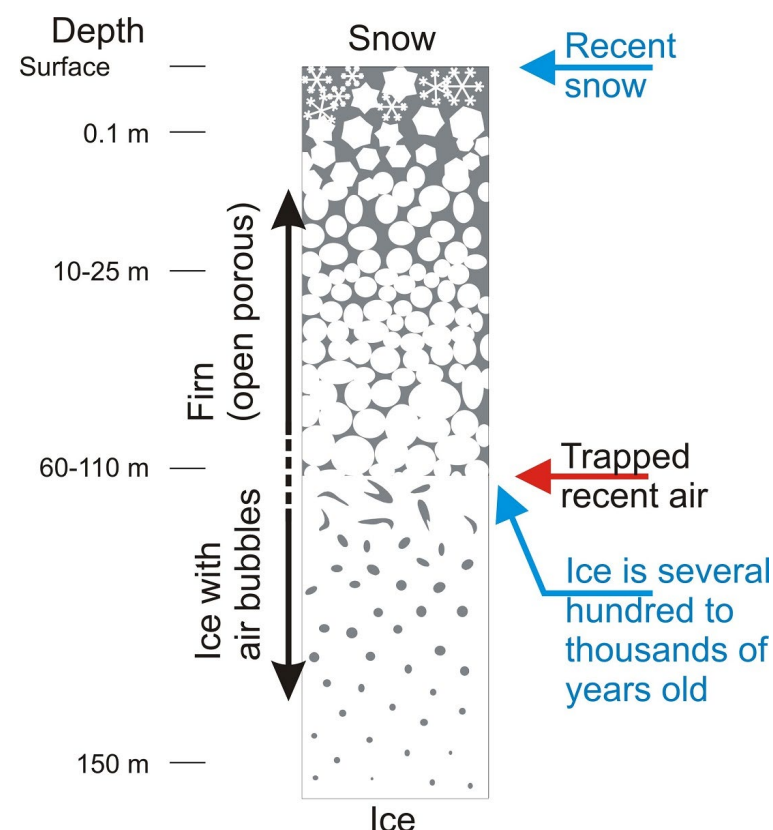
- temperaturę (z izotopów tlenu $\delta^{18}O$),
- stężenie CO_2 , CH_4 ,
- duże erupcje wulkaniczne,
- skład atmosfery.

Skala

- do 800 000 lat wstecz.

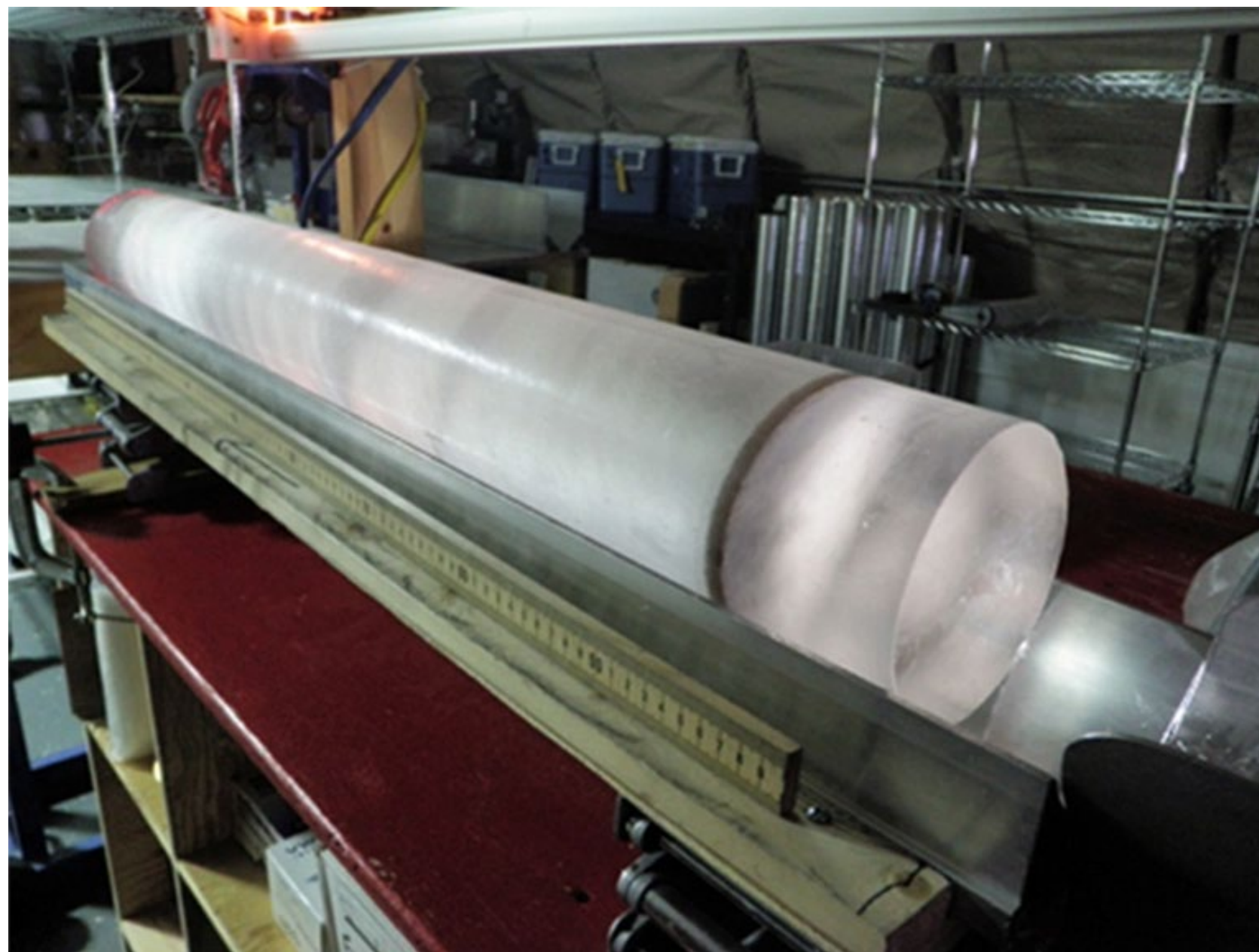
Ograniczenia:

- głównie obszary polarne,
- interpretacja izotopów wymaga modeli frakcjonowania.



Źródła Danych o Atmosferze

Rekonstrukcja Klimatu w Dalekiej Przeszłości
Rdzenie Lodowcowe



Laboratorium rdzeni lodowcowych



Źródła Danych o Atmosferze

Rekonstrukcja Klimatu w Dalekiej Przeszłości Dendrochronologia

Mechanizm

Drzewa w klimacie umiarkowanym tworzą roczne przyrosty.

Szerokość i gęstość słoików zależą od:

- temperatury sezonu wegetacyjnego,
- dostępności wody,
- długości sezonu.

Co rekonstruujemy?

- susze (bardzo precyzyjnie),
- temperaturę letnią,
- ekstremalne sezony (np. rok bez lata 1816).

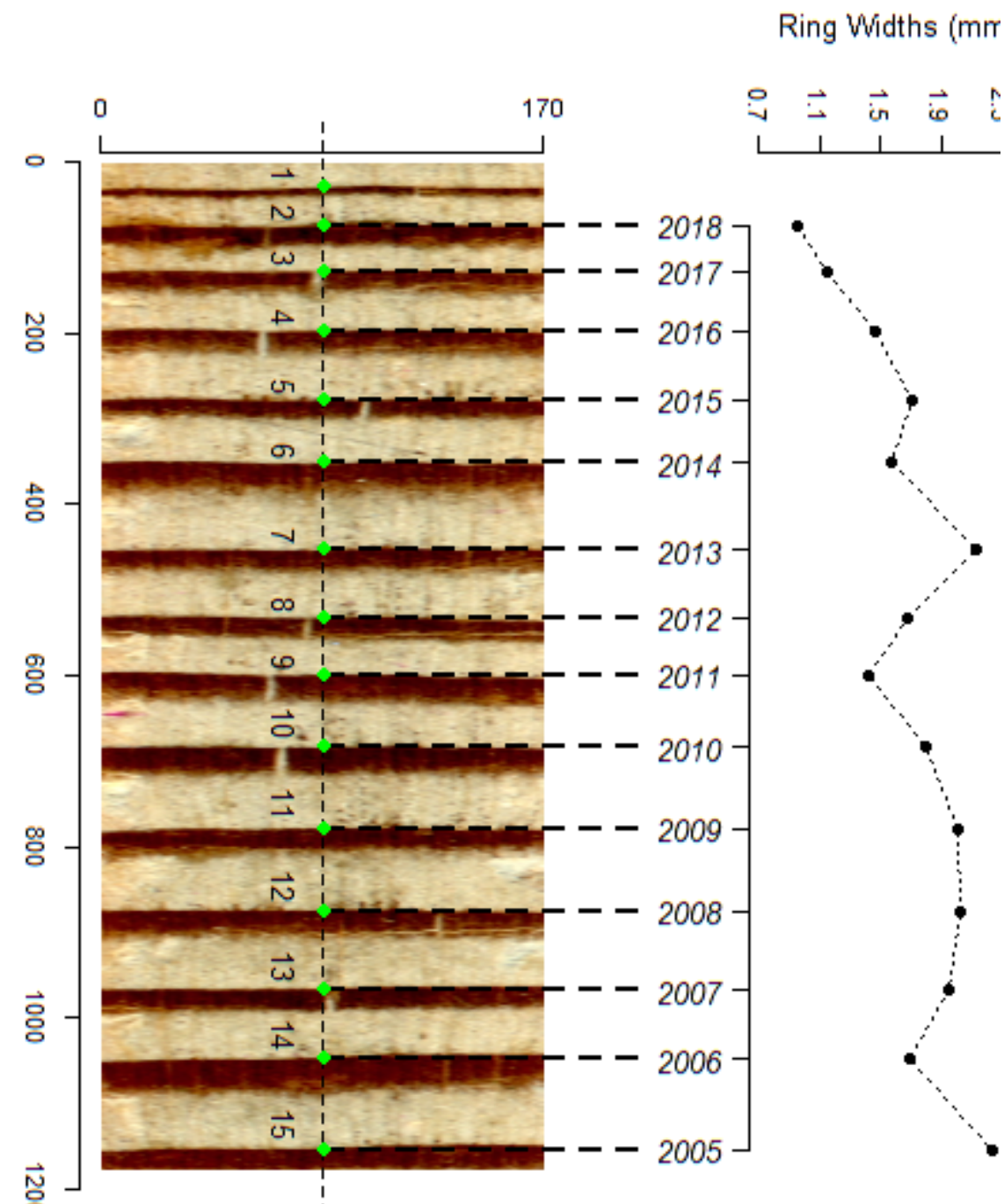
Rozdzielczość:

- roczna (bardzo wysoka),
- zakres: setki–tysiące lat (przy łączeniu żywych i martwych drzew).

Ograniczenia:

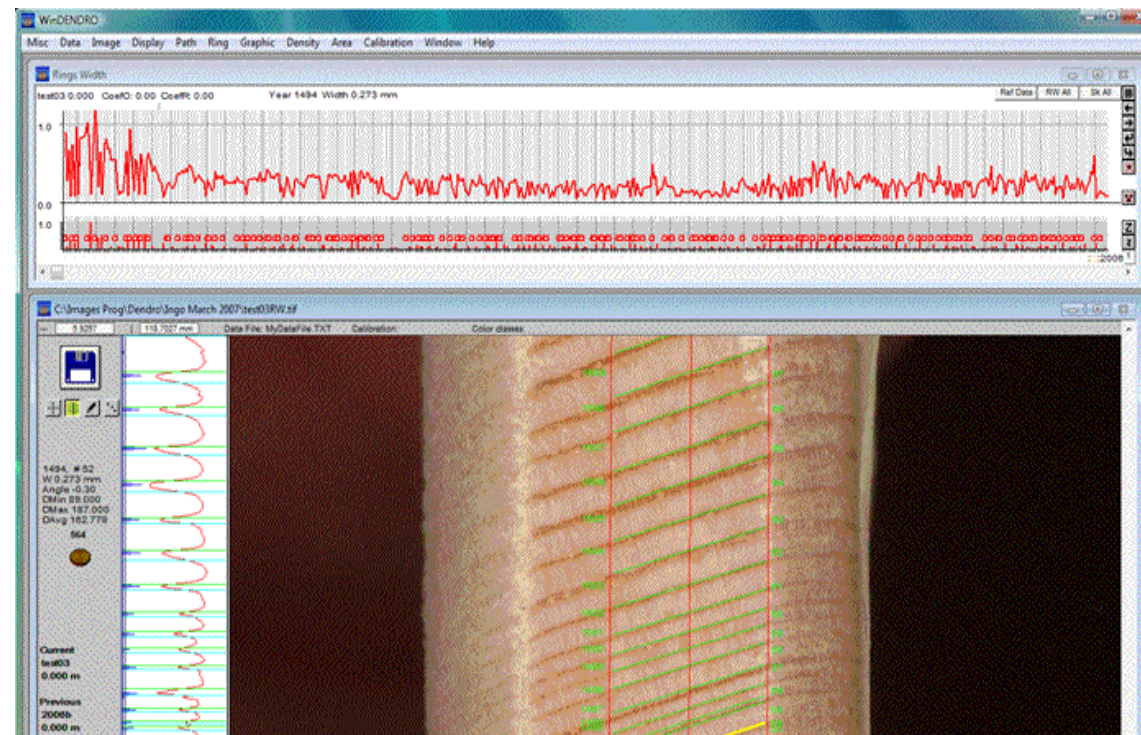
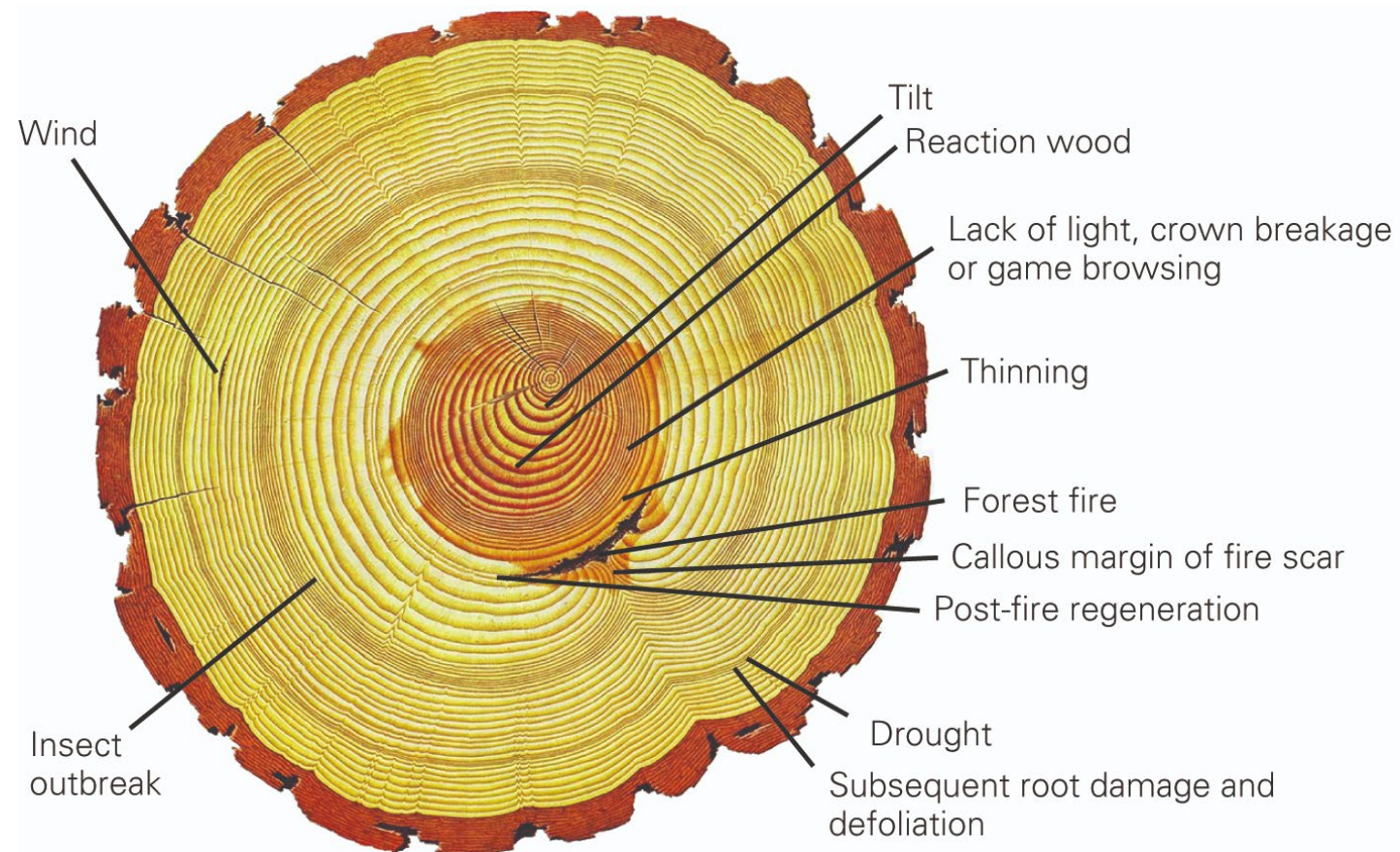
- wrażliwość na wiele czynników (nie tylko klimat),
- silna sezonowość sygnału (głównie lato).

Dendrochronologia – metoda datowania zjawisk przyrodniczych na podstawie analizy wzoru przyrostowego (słoików) roślin drzewiastych: drzew, krzewów, krzewinek.



Źródła Danych o Atmosferze

Rekonstrukcja Klimatu w Dalekiej Przeszłości Dendrochronologia



Źródła Danych o Atmosferze

Śląskie.
DLA KLIMATU

Rekonstrukcja Klimatu w Dalekiej Przeszłości Osady Jeziorne

Mechanizm

W niektórych jeziorach odkładają się **warstwy roczne (warwy)**:

- jasna warstwa – lato,
- ciemna – zima.

W osadach znajdują się:

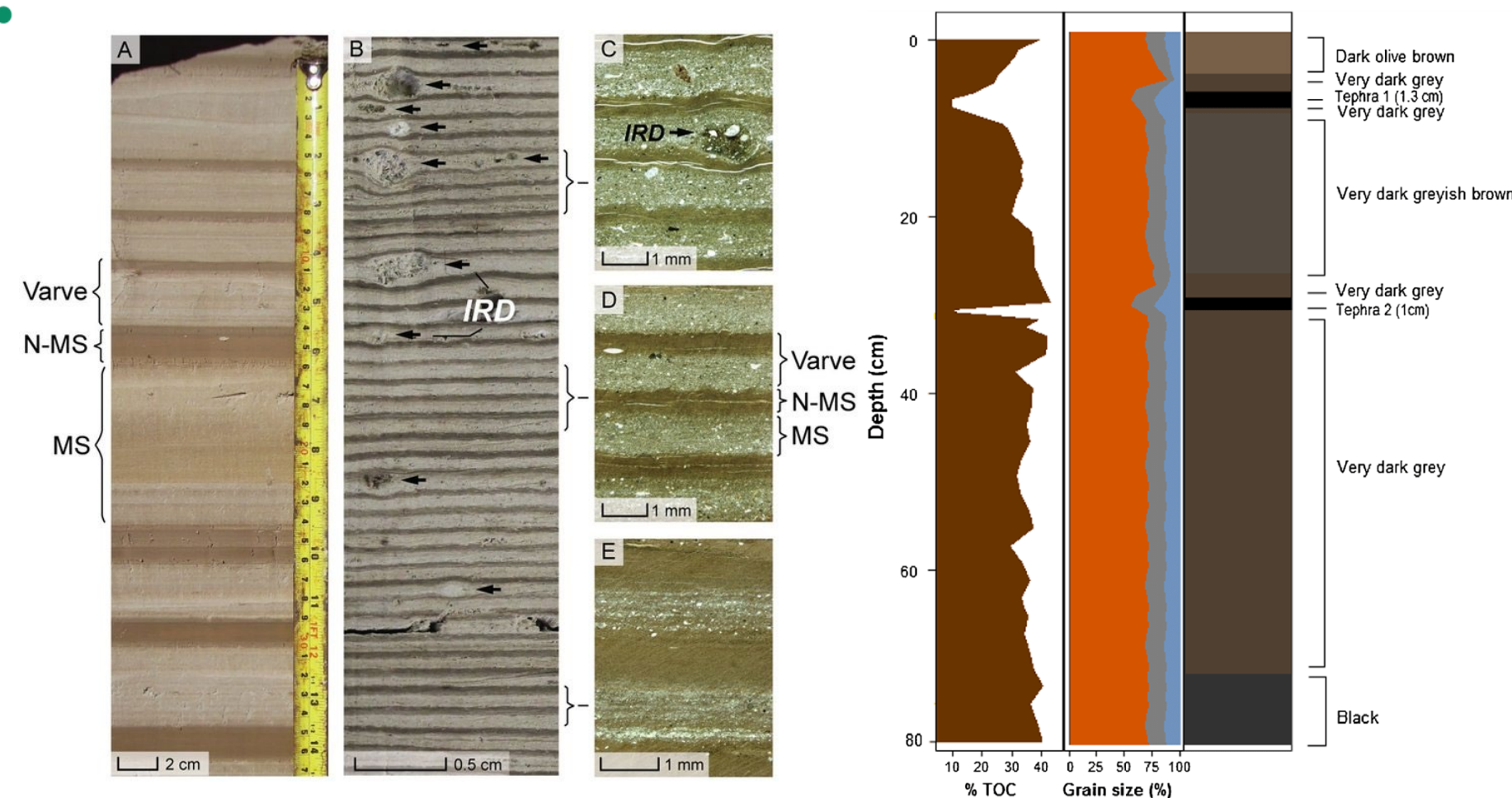
- pyłki roślin,
- szczątki organizmów,
- składniki chemiczne.

Co rekonstruujemy?

- zmiany temperatury,
- wilgotność,
- zmiany roślinności,
- intensywność erozji (opady).

Skala

- tysiące lat,
- rozdzielczość roczna lub sezonowa (w jeziorach warwowych).



Źródła Danych o Atmosferze

Rekonstrukcja Klimatu w Dalekiej Przeszłości Osady Morskie

Mechanizm

na dnie oceanów odkładają się osady zawierające:

- otwornice (foraminifera),
- muszle planktonu,
- materię organiczną.

Skład izotopowy wapnia i tlenu w muszlach zależy od:

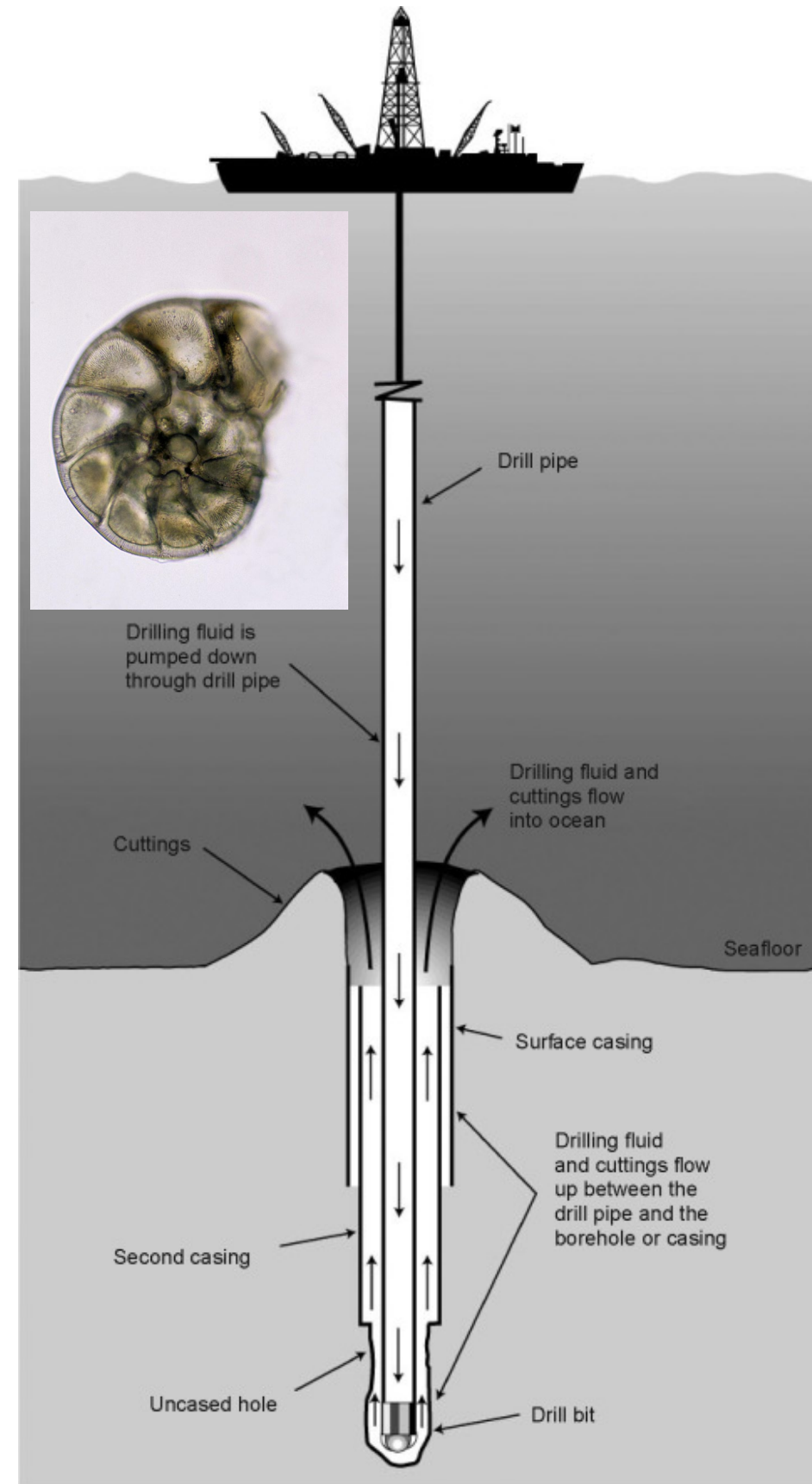
- temperatury wody,
- objętości lodowców.

Co rekonstruujemy?

- temperaturę oceanów,
- epoki lodowe,
- zmiany cyrkulacji termohalinowej.

Skala

- setki tysięcy do milionów lat.



Źródła Danych o Atmosferze

Śląskie.
DLA KLIMATU

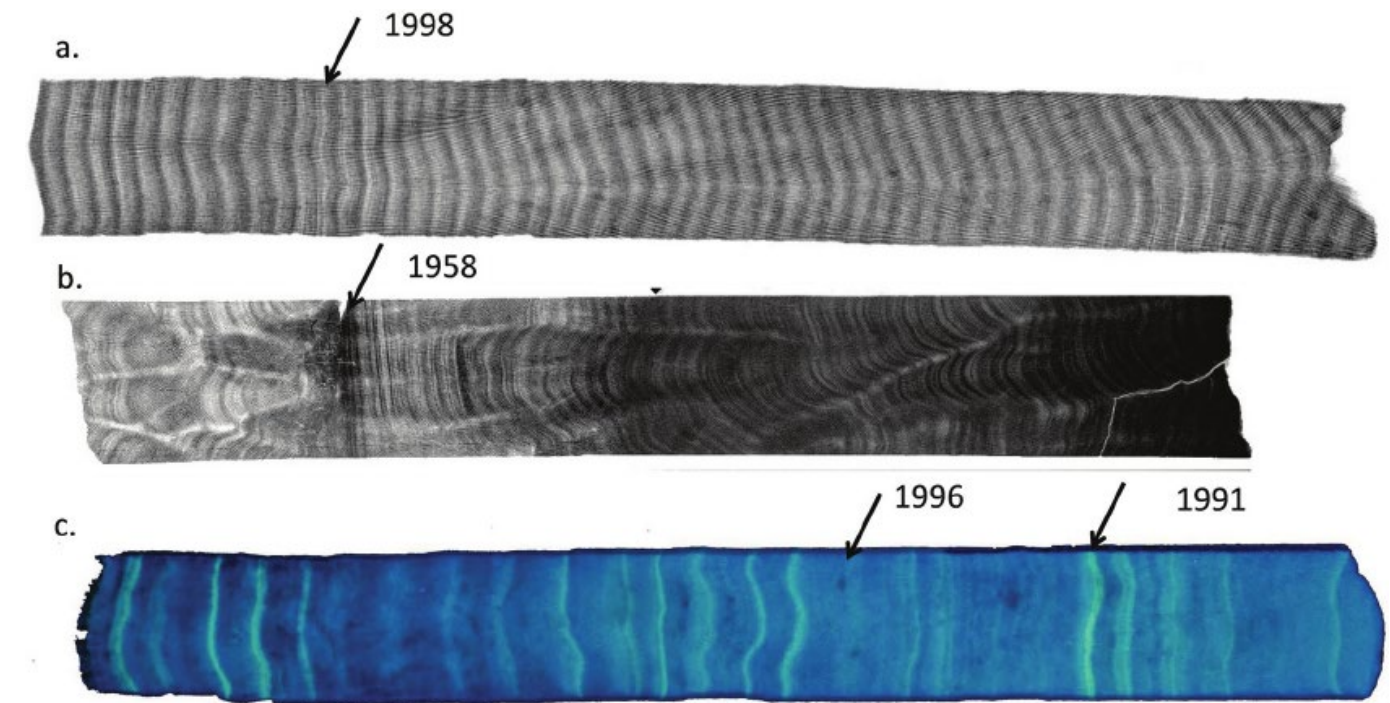
Rekonstrukcja Klimatu w Dalekiej Przeszłości Koralowce

Mechanizm

Koralowce tworzą roczne przyrosty, podobnie jak drzewa. Ich szkielet wapienny zawiera zapis izotopowy.

Co rekonstruujemy?

- temperaturę powierzchni oceanu,
- zasolenie,
- zjawiska ENSO.
- **Skala**
- roczna,
- czasem sezonowa.



Źródła Danych o Atmosferze

Rekonstrukcja Klimatu w Dalekiej Przeszłości Stalaktyty i Stalagmity (Speleotemy)

Mechanizm

W jaskiniach krople wody odkładają węglan wapnia warstwami. Skład izotopowy zależy od:

- temperatury,
- opadów,
- sezonowości.

Co rekonstruujemy?

- zmienność opadów,
- monsun,
- okresy suche i wilgotne.
- **Skala**
- dziesiątki do setek tysięcy lat.

W regionach takich jak: Chiny, Indie, Azja Południowo-Wschodnia, stalagmity są jednym z najważniejszych proxy monsunu. Izotopy tlenu w naciekach jaskiniowych odzwierciedlają: ilość opadu, sezonowość, zmiany cyrkulacji monsunowej. Rekordy sięgają dziesiątek tysięcy lat.

Śląskie.
DLA KLIMATU

