

Poznań
25.11.2022 r.

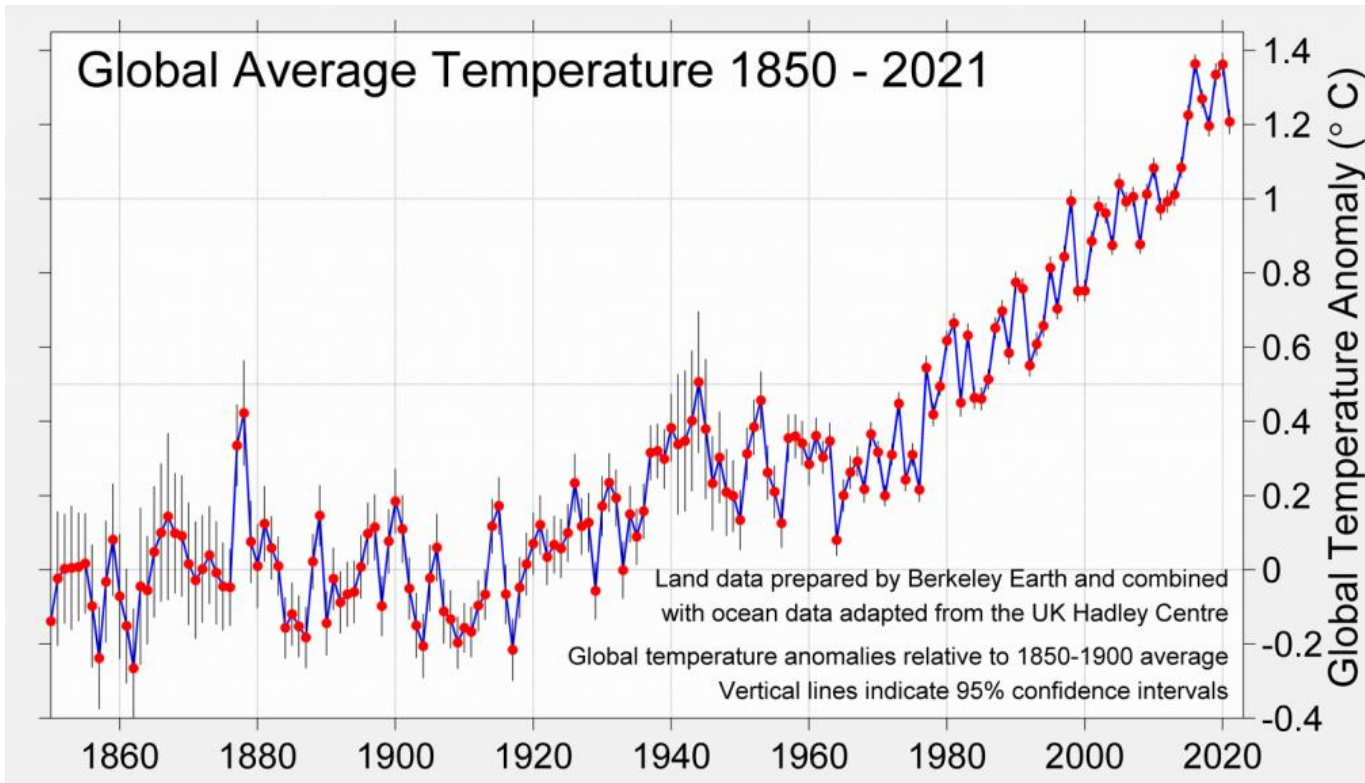
Zmiany klimatu – fakty i mity

prof. dr hab. **Ewa Bednorz**

Zakład Meteorologii i Klimatologii

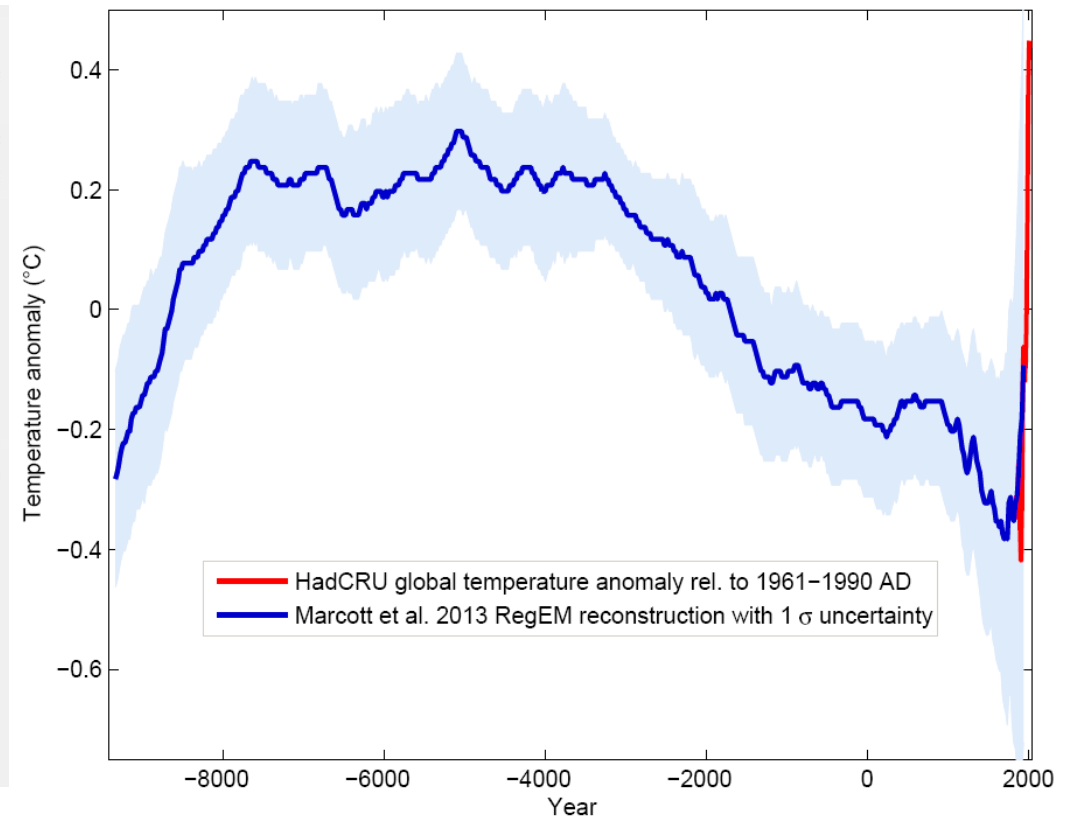


1. Czy współczesne globalne ocieplenie jest faktem?



Zmiany średniej globalnej temperatury powietrza przy powierzchni Ziemi w latach 1850-2020 (anomalie względem okresu przedindustrialnego 1850-1900)

<http://berkeleyearth.org/global-temperature-report-for-2021/>

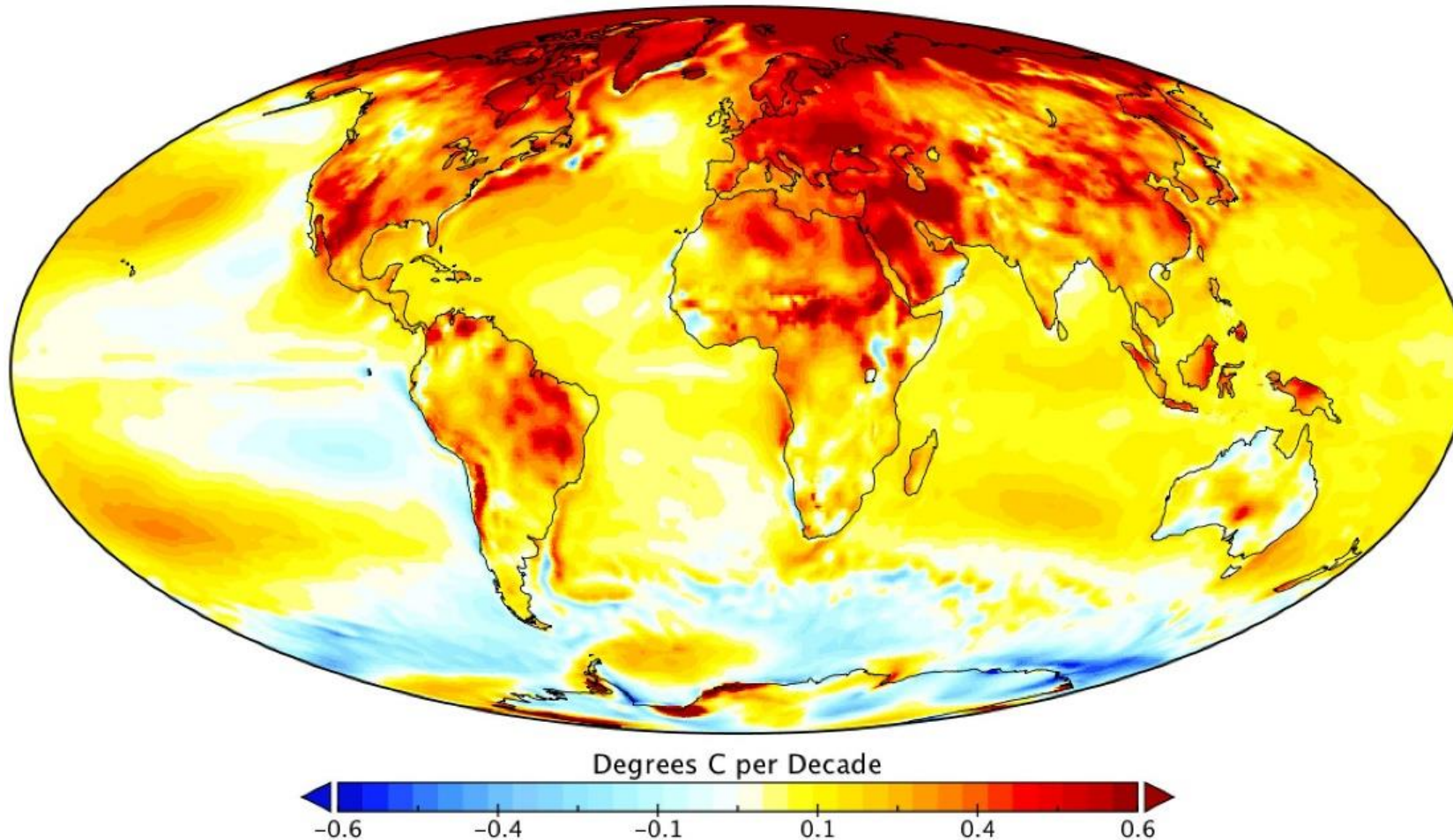


Zmiany temperatury w czasie ostatnich 11 000 lat

<https://www.realclimate.org/index.php/archives/2013/09/paleoclimate-the-end-of-the-holocene/>

2. Czy wzrost temperatury jest równomierny i jednakowy na całej kuli ziemskiej ?

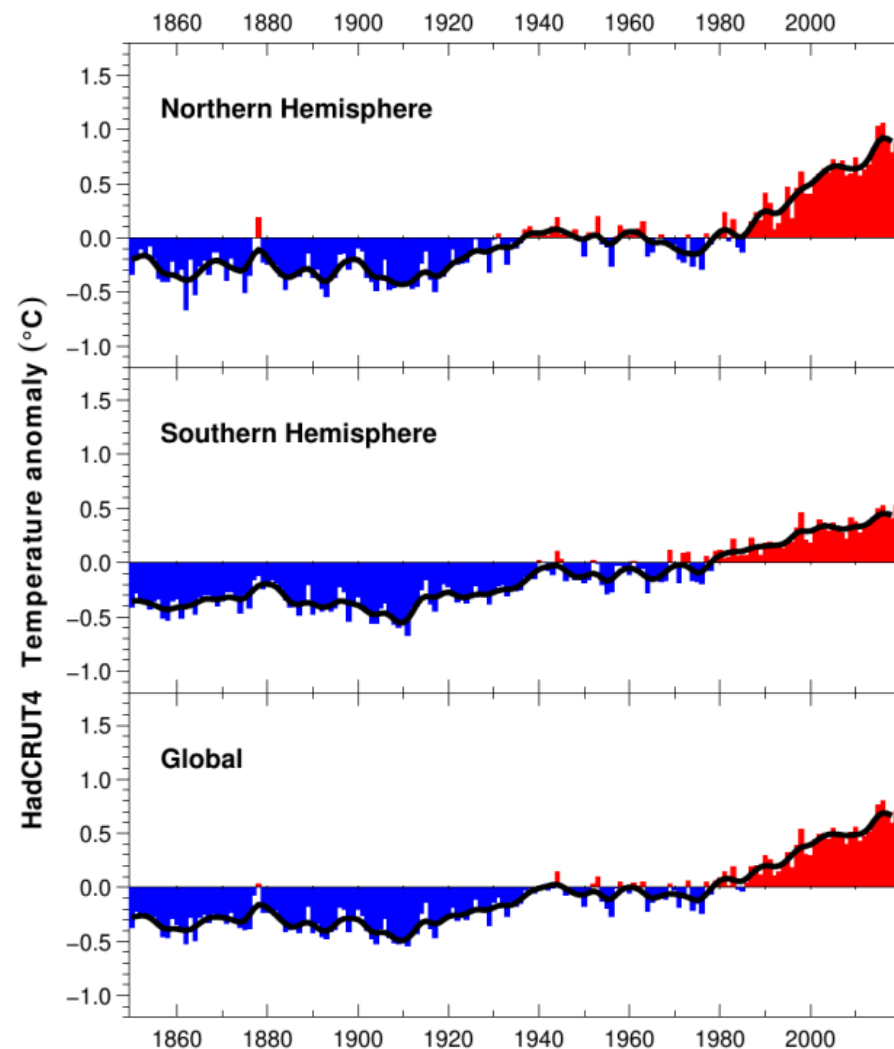
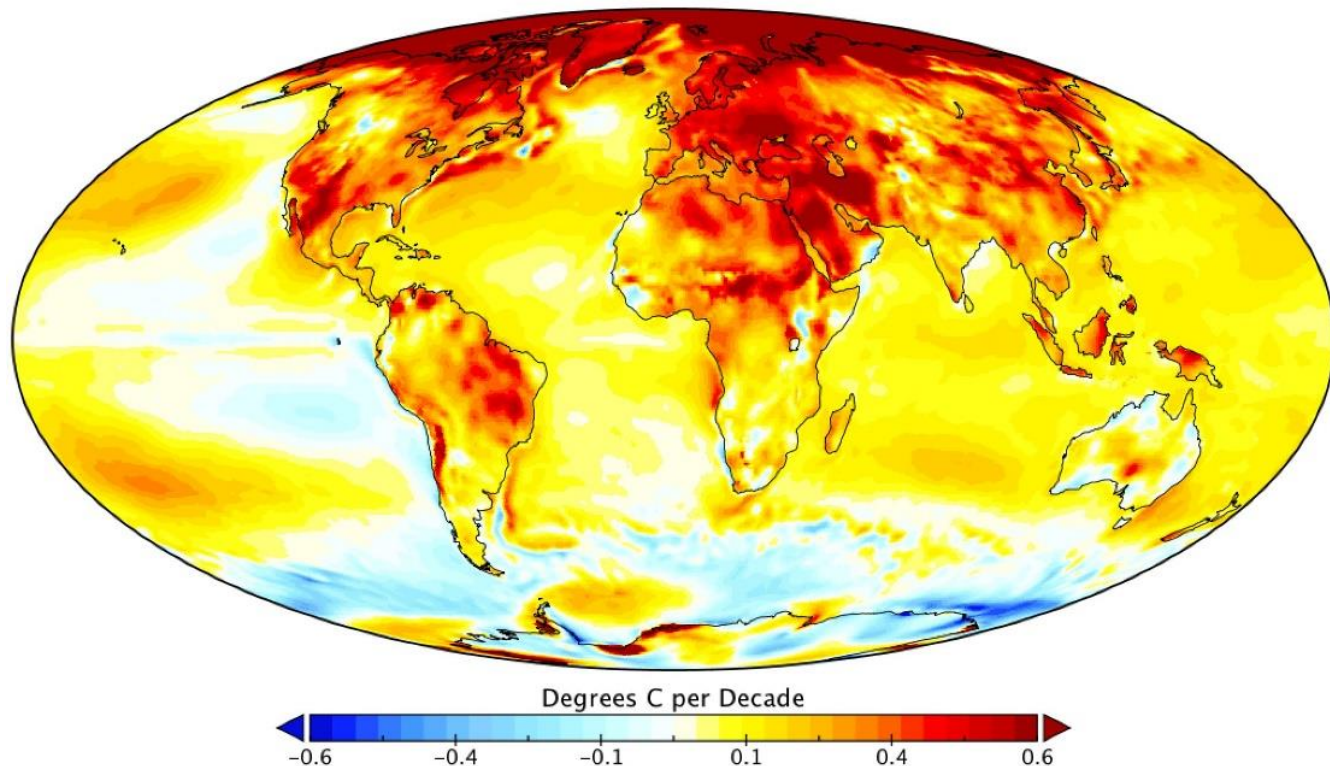
ERA5 Surface Temperature Trends, 1979–2018



Na podstawie <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>

2. Czy wzrost temperatury jest równomierny i jednakowy na całej kuli ziemskiej ?

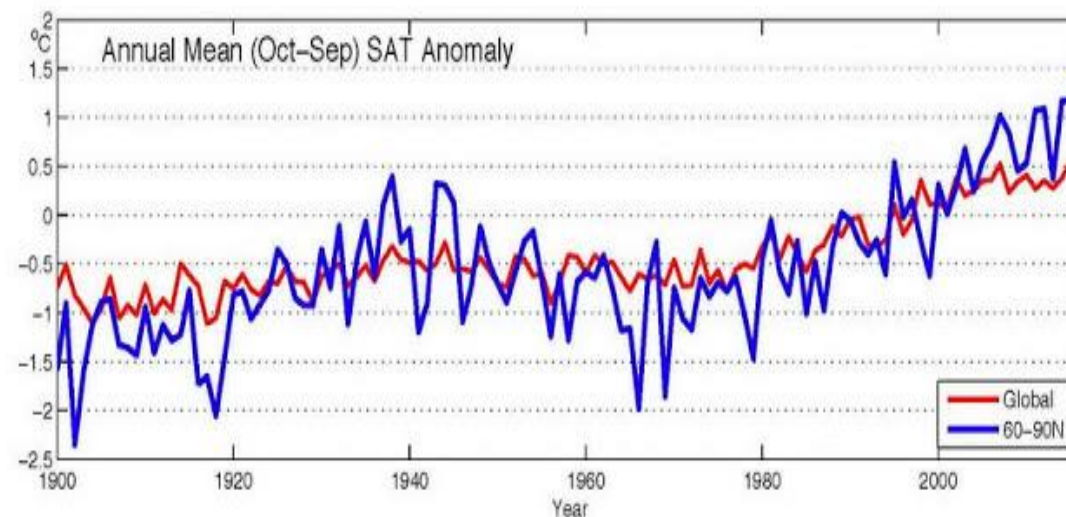
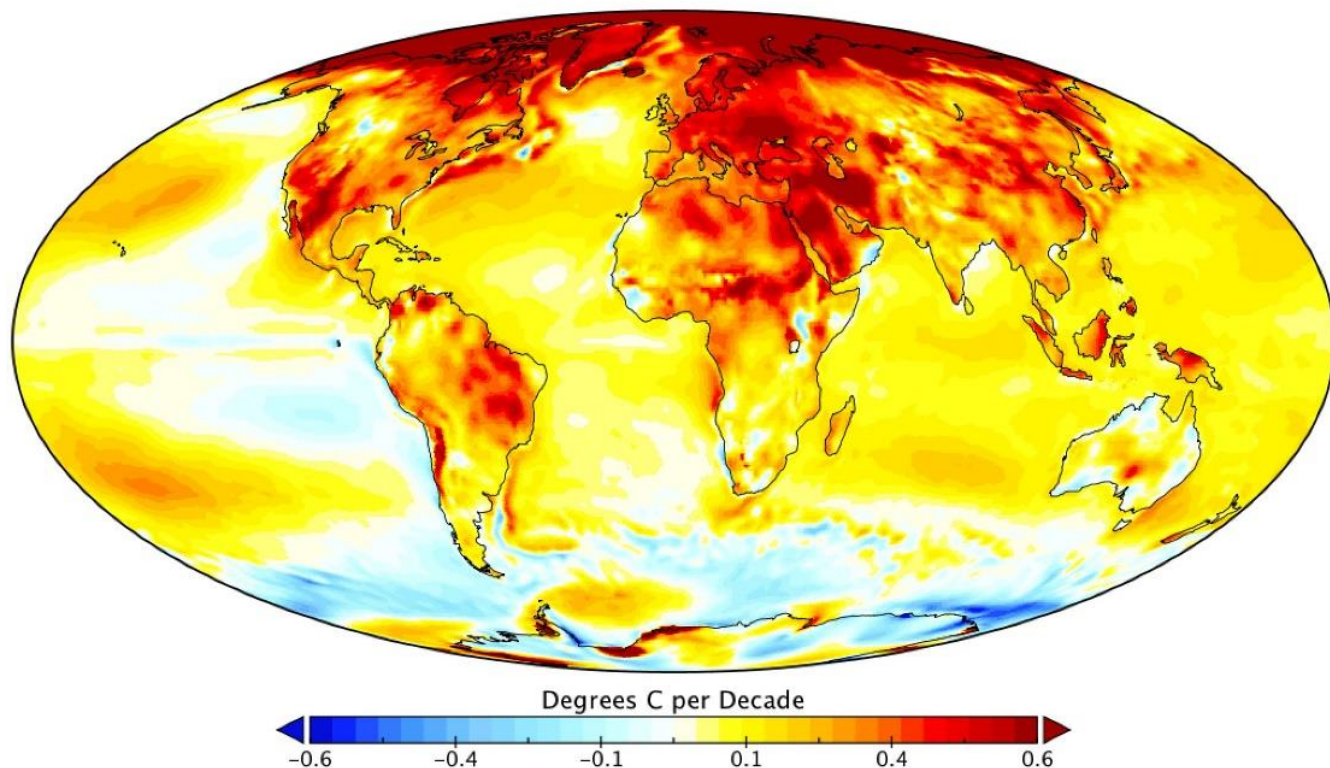
ERA5 Surface Temperature Trends, 1979–2018



Wzrost temperatury jest w ostatnich dziesięcioleciach szybszy i wyraźniejszy na półkuli północnej (wg Climate Research Unit, HadCRUT4 Dataset)

2. Czy wzrost temperatury jest równomierny i jednakowy na całej kuli ziemskiej ?

ERA5 Surface Temperature Trends, 1979–2018



Wzrost temperatury w Arktyce (na północ od 60N) od 1900 roku (niebieski) względem temperatury globalnej (czerwony).

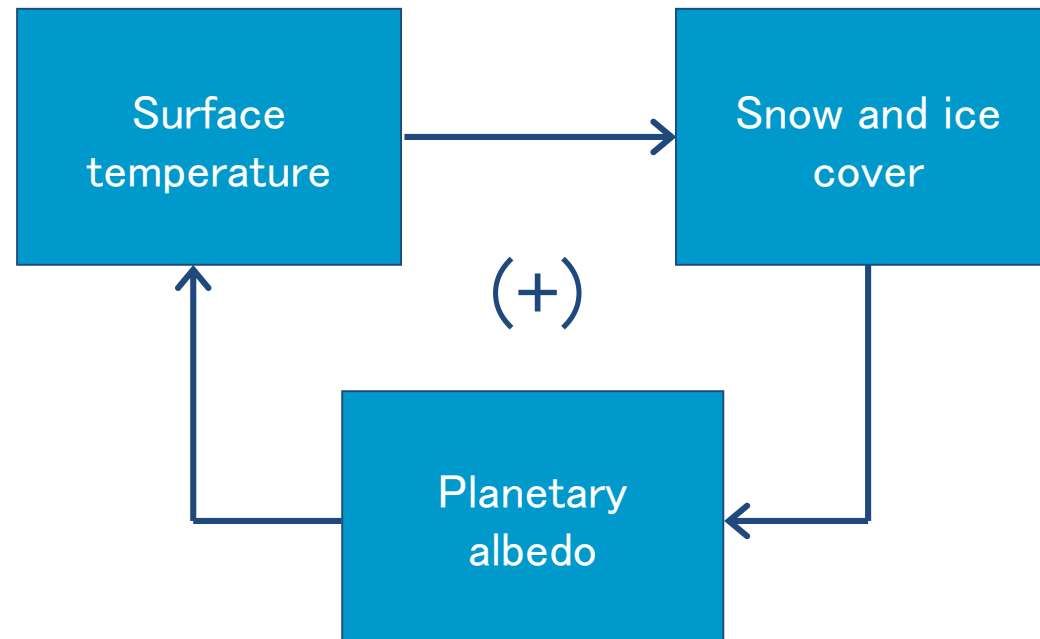
<https://arctic.noaa.gov/Report-Card/Report-Card-2019/ArtMID/7916/ArticleID/835/Surface-Air-Temperature>

Amplifikacja arktyczna, wzmocnienie arktyczne – szybszy wzrost temperatury w Arktyce powoduje zmniejszenie się różnicy temperatury (szczególnie widoczne zimą) między obszarem polarnym a tropikalnym.

Dlaczego obserwujemy wzmocnienie arktyczne, tj. szybsze ogrzewanie się Arktyki ?

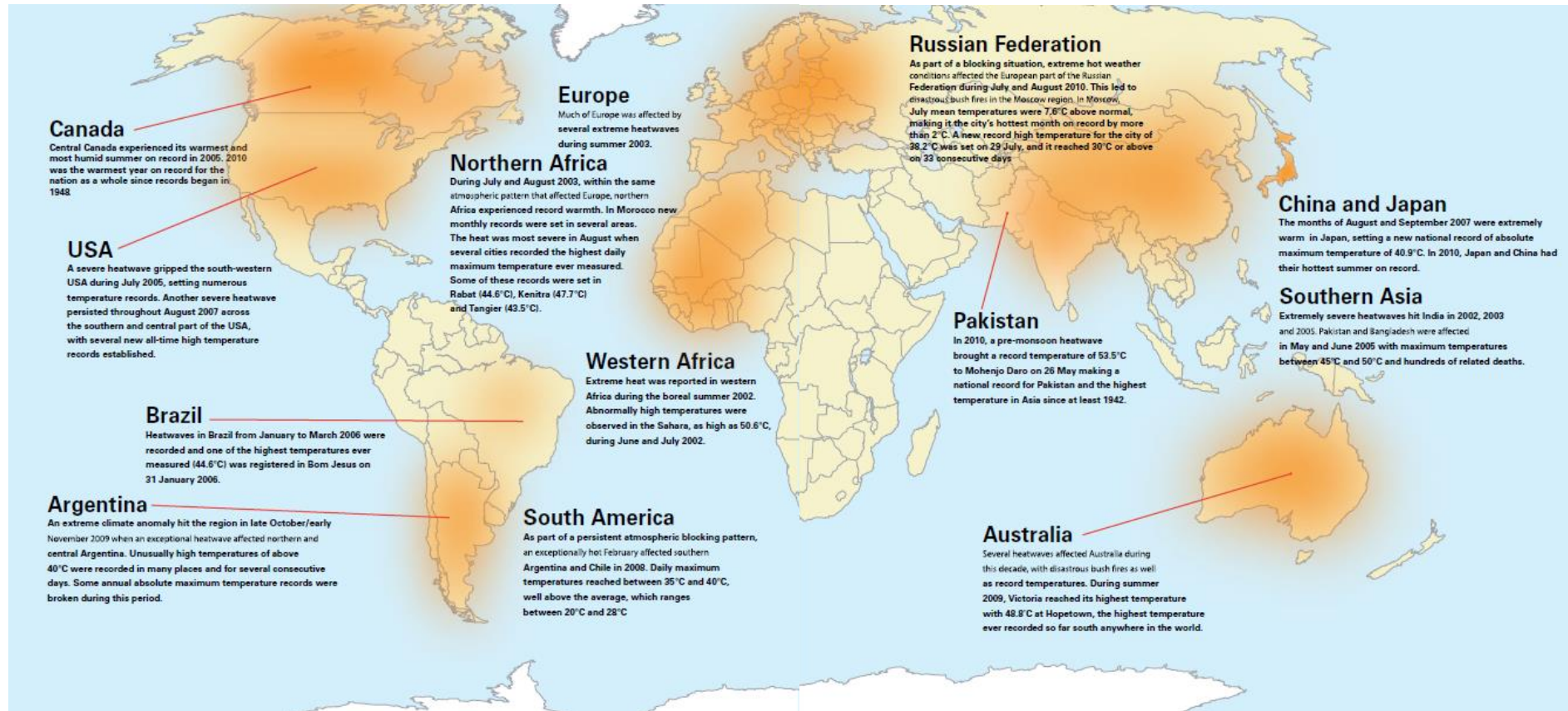
Klimatyczne dodatnie sprzężenie zwrotne związane z obiegiem wody

Lód/śnieg – albedo



⇒ Pozytywne sprzężenie zwrotne
(*ice/snow – albedo positive feedback loop*)

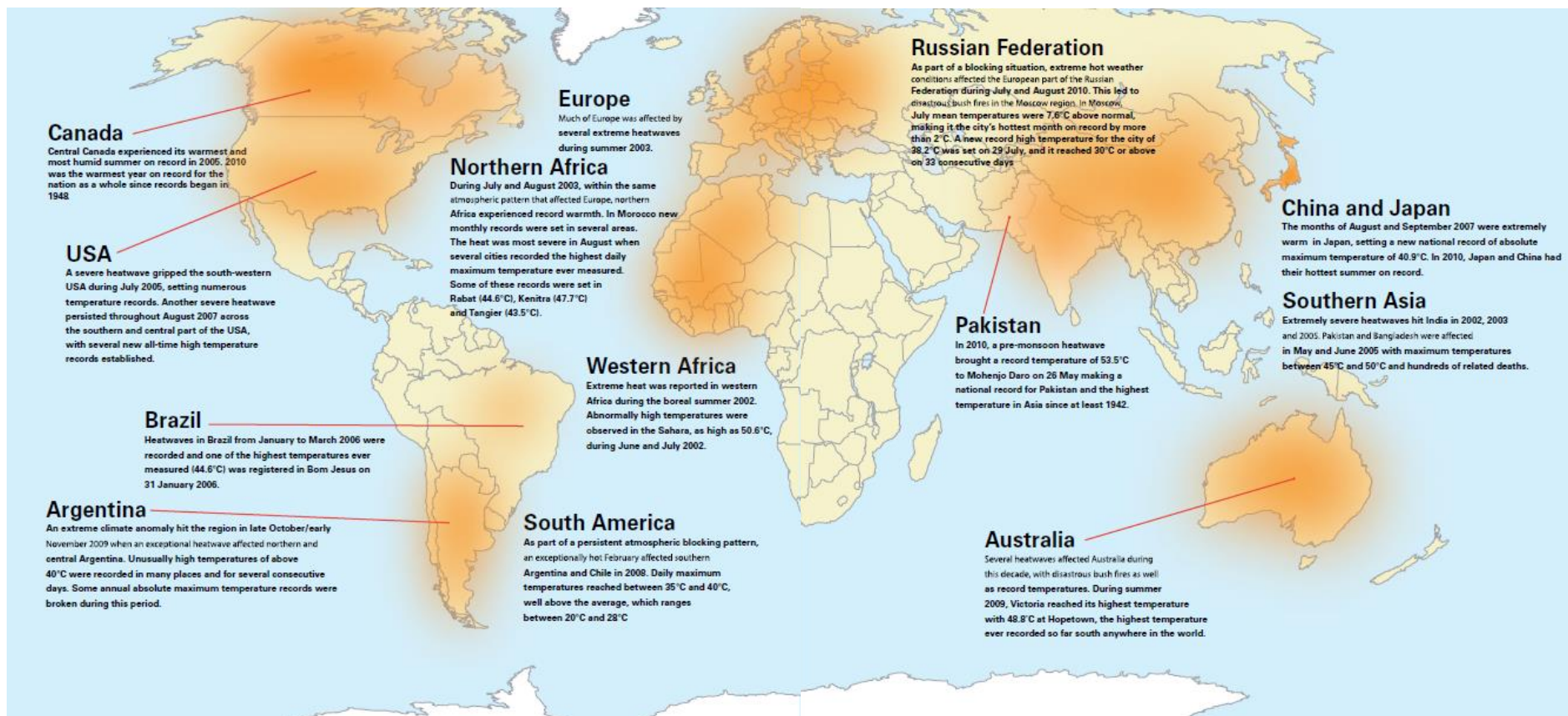
3. Czy coraz częściej będą występowały ekstrema termiczne ?



Most significant heat waves and abnormally high temperature conditions reported during 2001–2010
(source: NOAA-NCDC)

- ❑ Europa 2003 – fala upałów nad znacznym obszarem Europy spowodowała około 35 tys. zgonów
- ❑ południowo zachodnie USA – kilka HW w lipcu 2005 – kilka rekordów temperatury; na południu i w centrum USA w sierpniu 2007 (rekordy temperatury)
- ❑ Rosja – 2010; nadzwyczaj intensywna i długotrwała HW; Moskwa w lipcu 7,6 °C powyżej średniej – 38,2 °C – rekord 29 lipca 2010 (>30 °C przez 33 dni); spowodowała ponad 55 tys. zgonów; liczne pożary
- ❑ zachodnia Afryka – czerwiec/lipiec 2002 temperatura na Saharze 50,6 °C

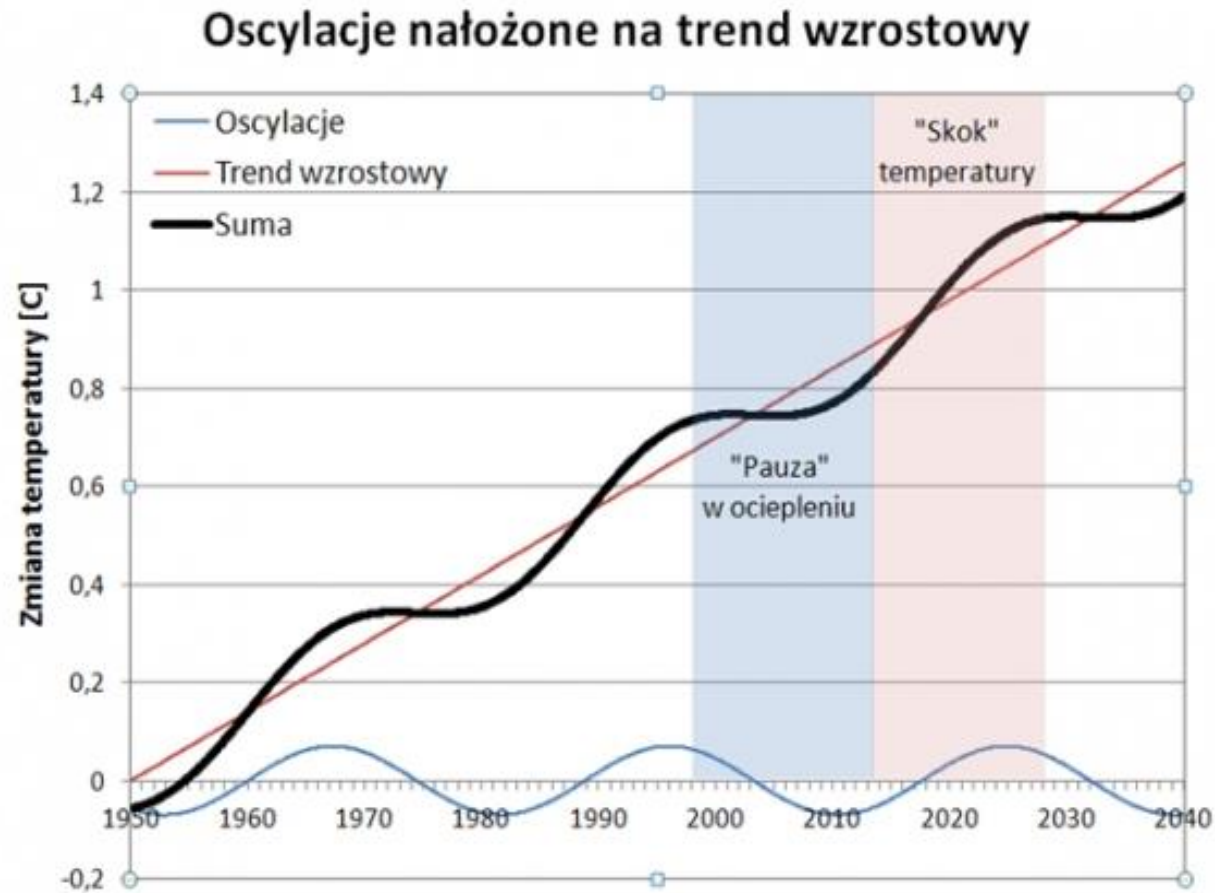
3. Czy coraz częściej będą występowały ekstrema termiczne ?



Most significant heat waves and abnormally high temperature conditions reported during 2001–2010
(source: NOAA-NCDC)

- ❑ Kanada – najcieplejsze i najwilgotniejsze lato w całym okresie pomiarowym w 2005 roku; 2010 kolejne najcieplejsze lato
- ❑ Brazylia HWs w 2006 (od stycznia do marca), absolutny rekord 44,6 °C 31 stycznia 2006
- ❑ Argentyna północna i środkowa – październik/listopad 2009 HW dłuższe okresy >40,0 °C; rekordy temperatury
- ❑ Północna Afryka – 2003 Maroko rekordy temperatury 47,7 C
- ❑ Ameryka Południowa – Argentyna i Chile 2008 temperatura > 35 > 40 °C (przy średnich 20/28 °C)
- ❑ Azja – Pakistan 2010 – rekordowa temperatura 53,5 C przed monsunem letnim 26 maja
- ❑ Indie – dwie groźne HW w 2002 i 2003; z których każda spowodował śmierć ponad 1 000 ludzi
- ❑ Chiny Japonia 2010 – Japonia 2007 sierpień/wrzesień – rekord 40,9 °C; 2010 – najcieplejsze lato
- ❑ Australia 2009 – HW z temperaturą 48.8 °C i pożarami buszu

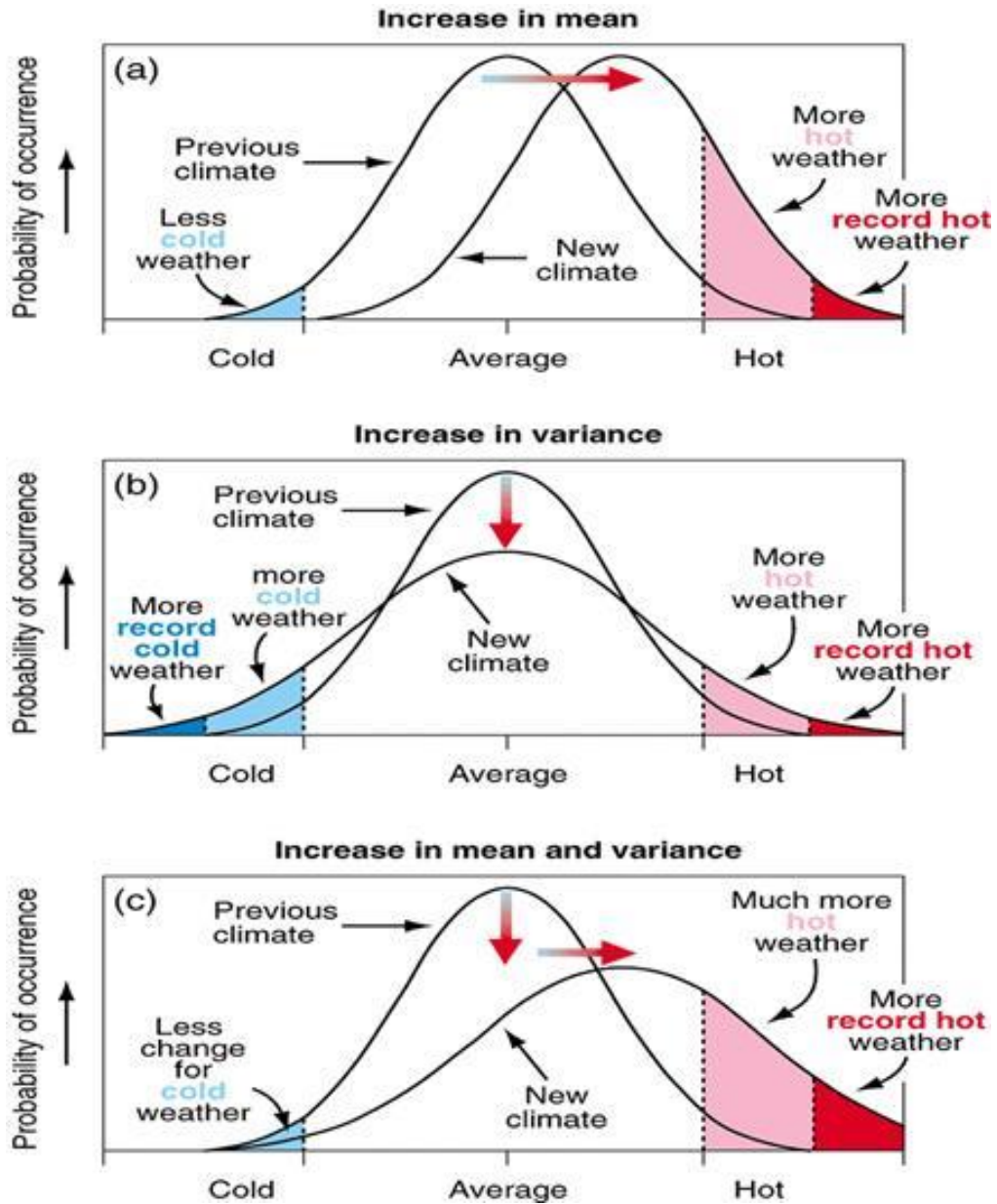
4. Czy nadal będą się zdarzały mroźne zimy i chłodne lata?



Nakładanie się naturalnych fluktuacji klimatu na rosnący trend temperatury. Złożenie naturalnych sinusoidalnych (niekoniecznie regularnych w rzeczywistości) fluktuacji klimatu (linia niebieska) z liniowym (niekoniecznie jednostajnym w rzeczywistości) trendem wzrostu temperatury (czerwona linia prosta) daje w rezultacie linię czarną – czasem przez około dekadę prawie nie rosnącą, a czasem szybko pnącą się w górę.

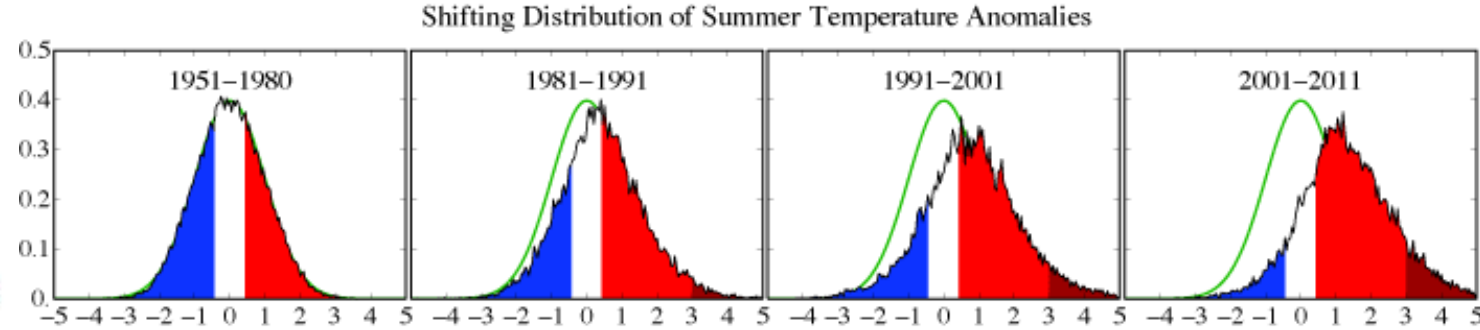
<https://ziemianarozdrozu.pl/pauza-w-ociepleniu-klimatu/>

Zmiany temperatury



➤ Wzrost wartości średniej

➤ Wzrost wariancji

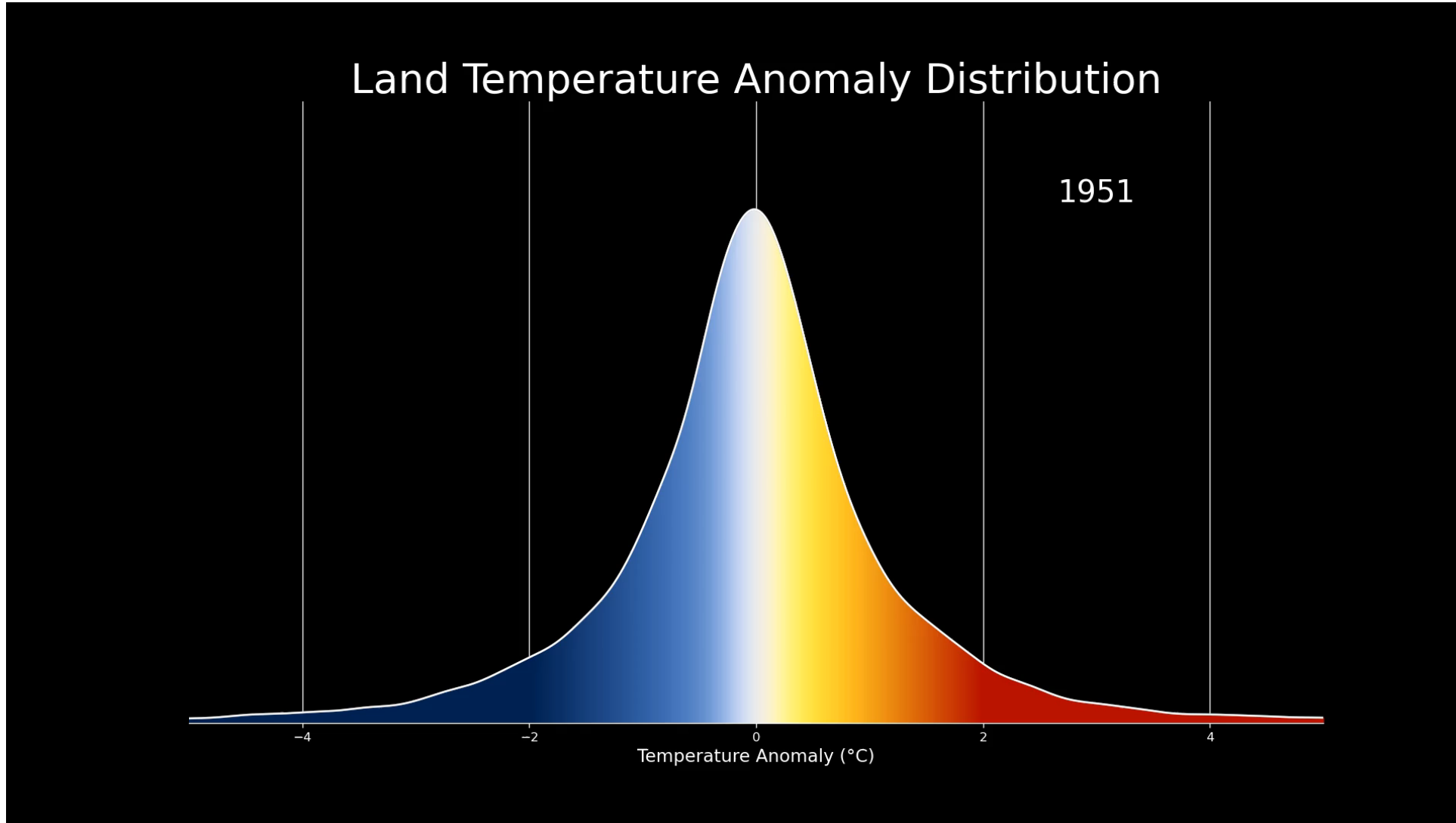


Frequency of occurrence (vertical axis) of local June-July-August temperature anomalies (relative to 1951-1980 mean) for Northern Hemisphere land in units of local standard deviation (horizontal axis).

Source: NASA/GISS.

IPCC (2001) graph illustrating how a shift and/or widening of a probability distribution of temperatures affects the probability of extremes

Wizualizacja przedstawia zmiany rozkładu anomalii temperatury nad lądem w kolejnych latach. Wraz z ociepleniem planety, maksimum rozkładu przesuwa się w prawo, jednocześnie poszerza się zakres rozkładu, co jest związane z regionalnymi różnicami przebiegu ocieplenia oraz wzrostem wariacji (zróźnicowania) temperatury.



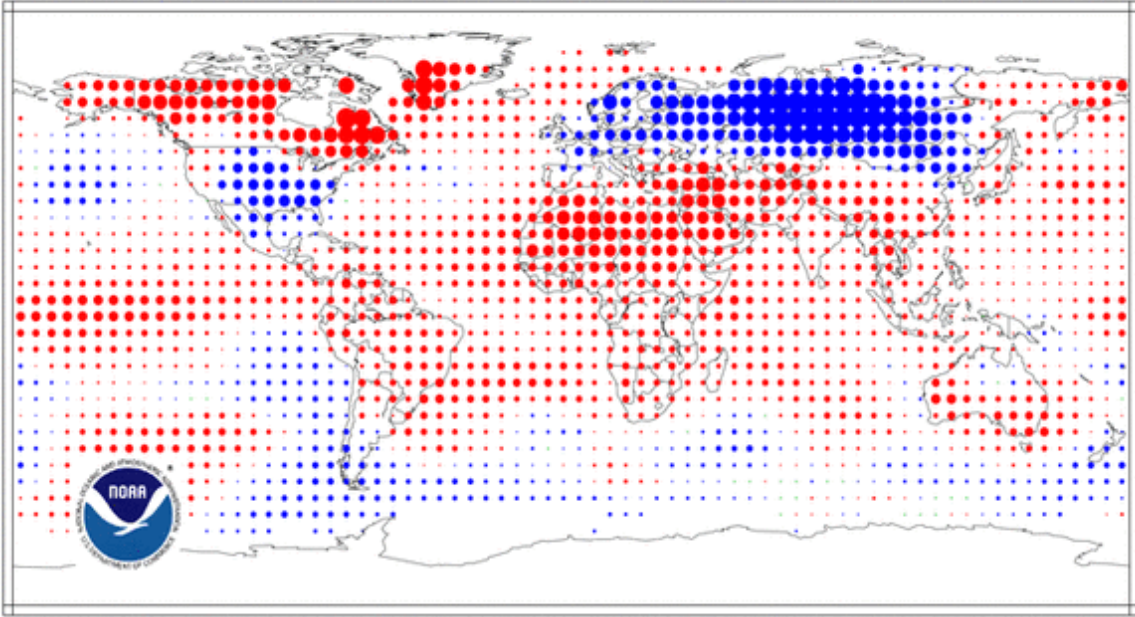
*From NASA Scientific
Visualization Studio,
released April 23, 2021
<https://svs.gsfc.nasa.gov/4891>*

Odchylenia temperatury zim 2009/2010 i 2010/2011 względem średniej 1971-2000

Temperature Anomalies Dec-Feb 2010

(with respect to a 1971-2000 base period)

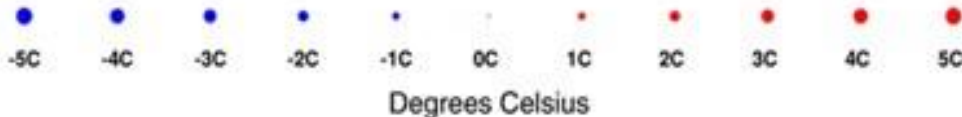
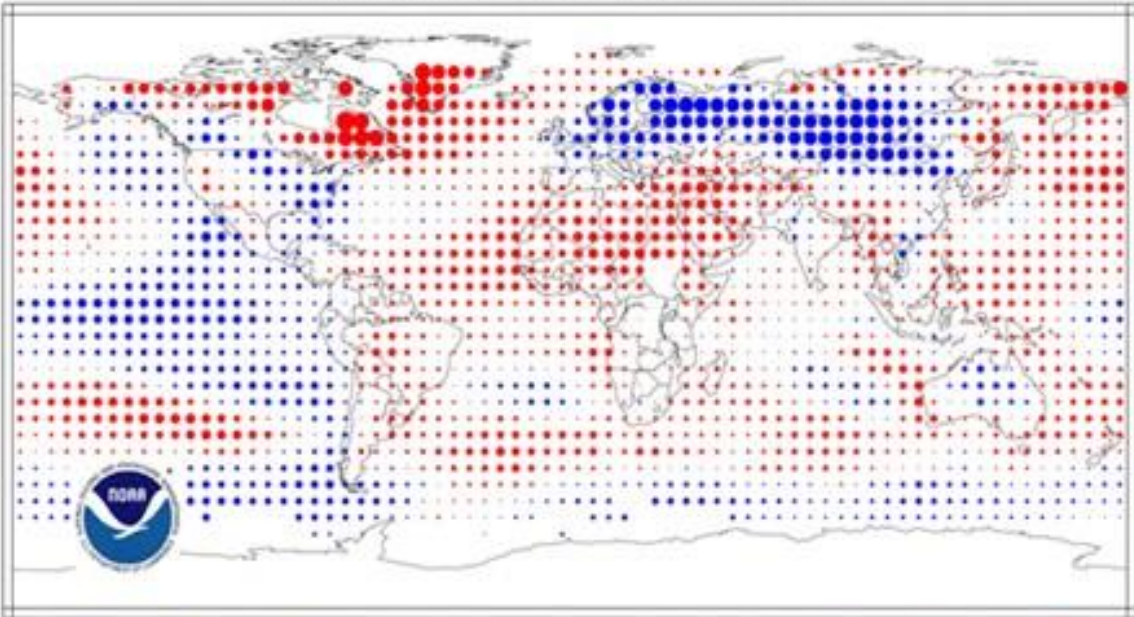
National Climatic Data Center/NESDIS/NOAA



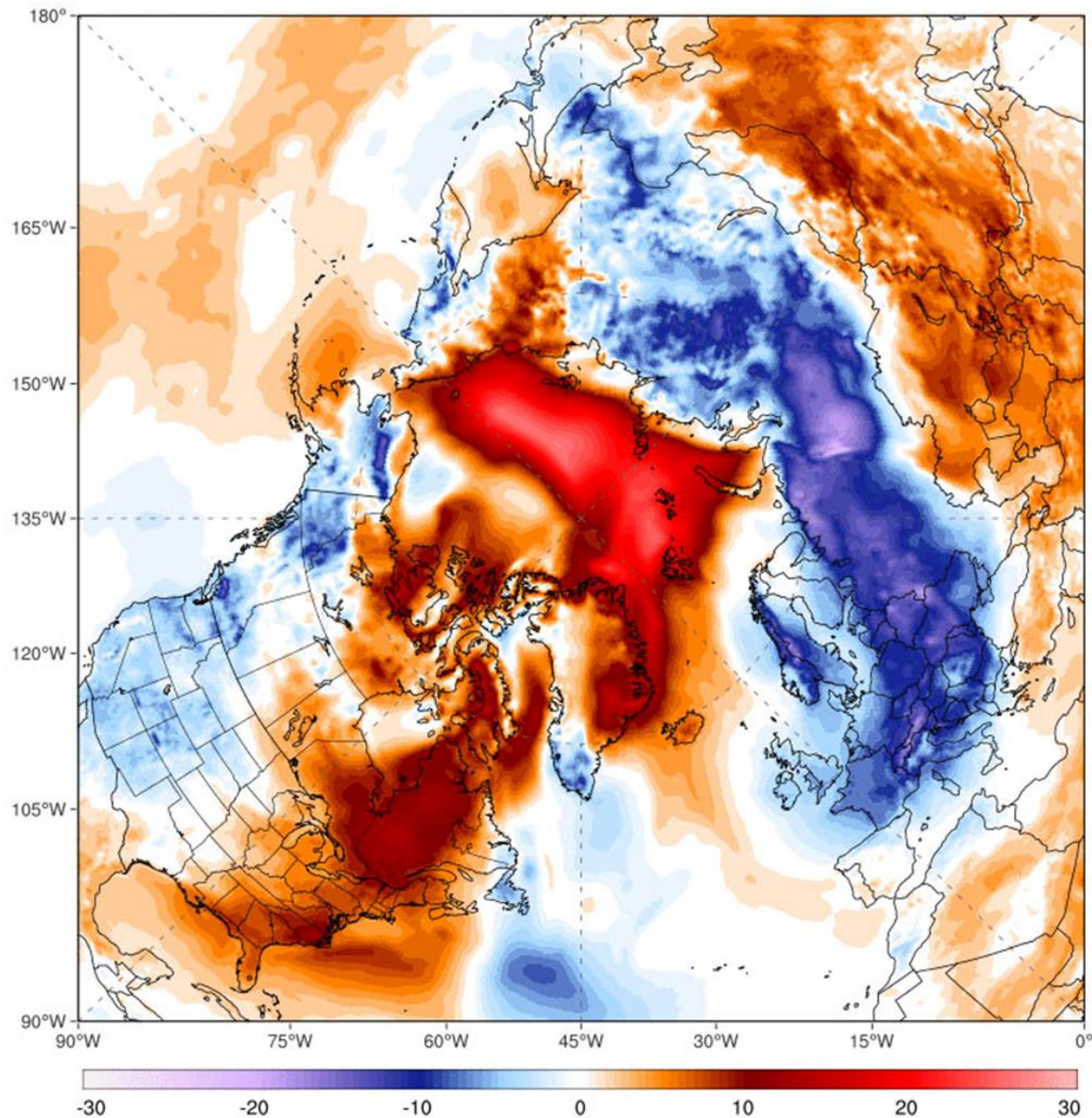
Temperature Anomalies Dec-Feb 2011

(with respect to a 1971-2000 base period)

National Climatic Data Center/NESDIS/NOAA



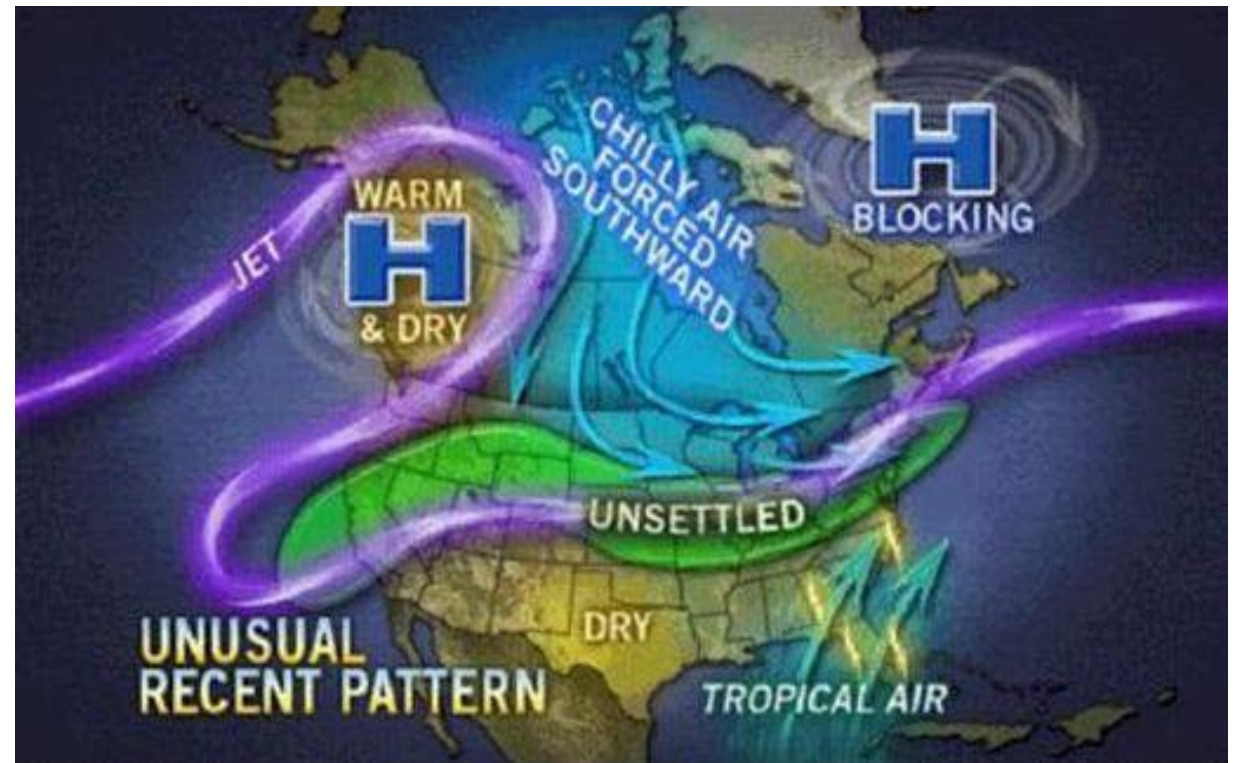
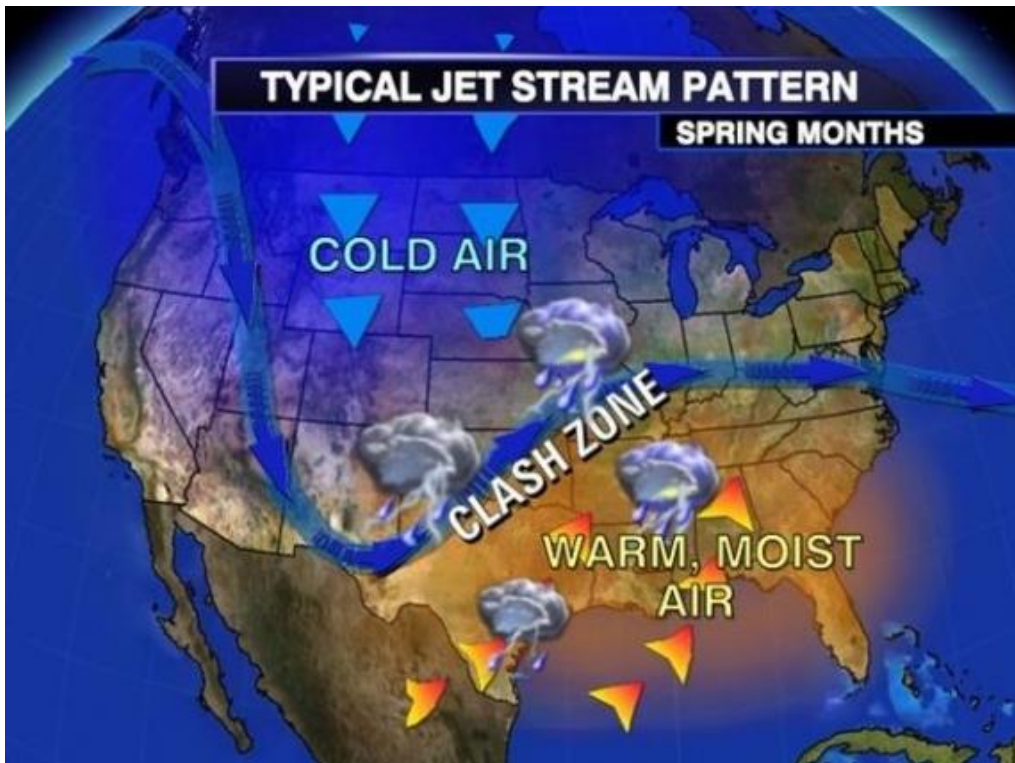
Fala zimna w Europie w lutym 2018



Fala zimna w Europie w lutym 2018 roku nazwana na Wyspach Brytyjskich „Beast from the East” (Bestia ze Wschodu). Podczas gdy na plażach wybrzeża Morza Śródziemnego pojawił się śnieg, w Arktyce dodatnie anomalie temperatury sięgały 30 stopni. Kolory na mapie pokazują anomalie temperatury (w °C) względem okresu 1979-2000 dla dnia 26 lutego 2018. Źródło mapy: ClimateReanalyzer.

Zmiany klimatu – wzrost częstości pogód ekstremalnych

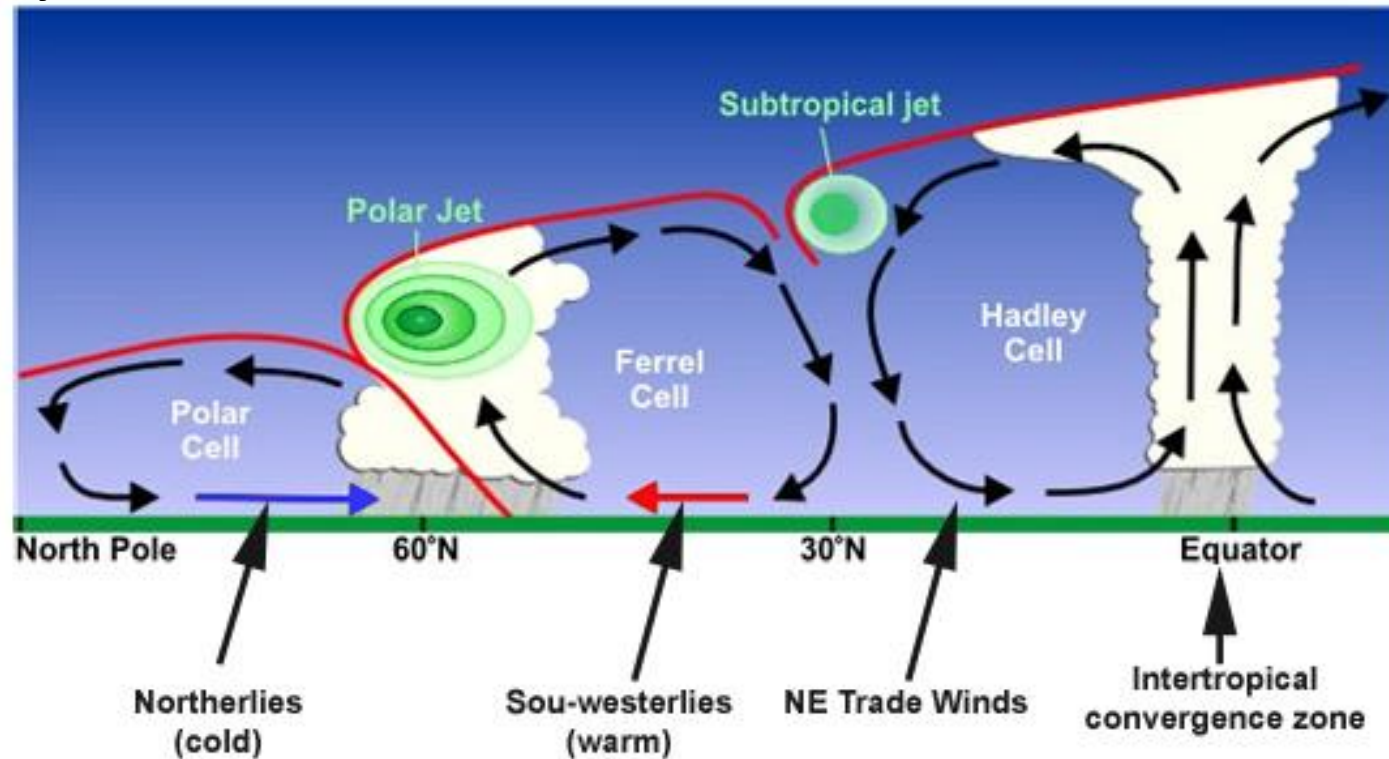
Dlaczego? – szybkie ocieplanie się Arktyki (amplifikacja arktyczna, wzmocnienie arktyczne) powoduje zmiany w zachowaniu prądu strumieniowego. Prąd strumieniowy oddziela zimne wilgotne powietrze na północy od ciepłego, suchego powietrza na południu i meandrując, tworzy tzw. fale Rossby'ego. W miarę jak Arktyka się ogrzewa, maleje gradient temperatury pomiędzy północą a południem, a prąd strumieniowy zaczyna zwalniać i silniej meandrować, sięgając dalej na południe i północ, a jego wolniejsze zmiany powodują, że wyciągnięte daleko na północ czy południe meandry dłużej utrzymują się nad danym obszarem, tworząc tzw. układy blokadowe. Ekstremalna pogoda utrzymuje się przez to znacznie dłużej. (Francis 2012, Geophysical Research Letters)



Prąd strumieniowy

(ang. jet stream) – intensywny, dość wąski i prawie poziomy strumień przenoszący z zachodu na wschód olbrzymie masy powietrza w atmosferze ziemskiej na wysokości 9-12 km.

Niezbyt miększa (około 2 km) i wąska strefa bardzo silnych wiatrów o prędkości powyżej 30 m/s (108 km/h), maksymalnie do 500 km/h (stąd nazwa „Jet”). Występuje w górnej części troposfery oraz dolnej części stratosfery, co odpowiada poziomowi ciśnienia około 200 hPa (około 12 km nad poziomem morza). **Prąd strumieniowy powstaje na granicy między masami powietrza o znacznej różnicy temperatury – między obszarem polarnym i cieplejszym powietrzem w niższych szerokościach geograficznych.**

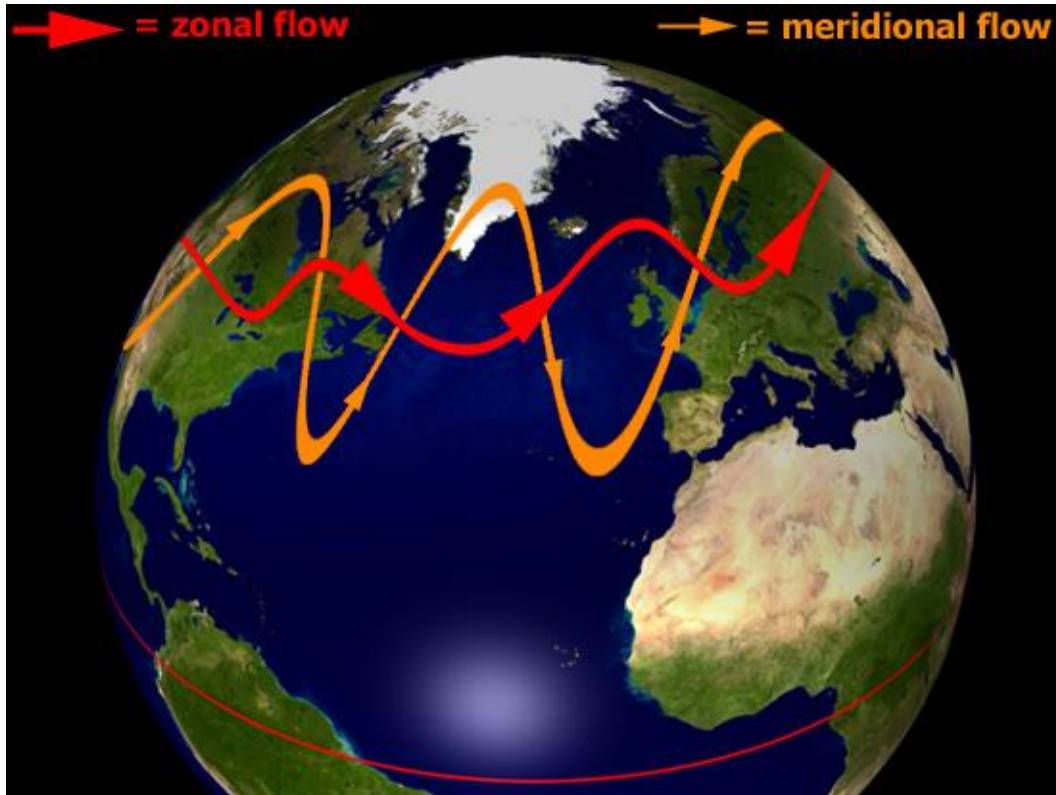


Przekrój przez atmosferę półkuli północnej (źródło: NOAA).

Prąd strumieniowy

(ang. jet stream) – intensywny, dość wąski i prawie poziomy strumień przenoszący z zachodu na wschód olbrzymie masy powietrza w atmosferze ziemskiej na wysokości 9-12 km.

Niezbyt mięgsza (około 2 km) i wąska strefa bardzo silnych wiatrów o prędkości powyżej 30 m/s (108 km/h), maksymalnie do 500 km/h (stąd nazwa „Jet”). Występuje w górnej części troposfery oraz dolnej części stratosfery, co odpowiada poziomowi ciśnienia około 200 hPa (około 12 km nad poziomem morza). Prąd strumieniowy powstaje na granicy między masami powietrza o znacznej różnicy temperatury – między obszarem polarnym i cieplejszym powietrzem w niższych szerokościach geograficznych.



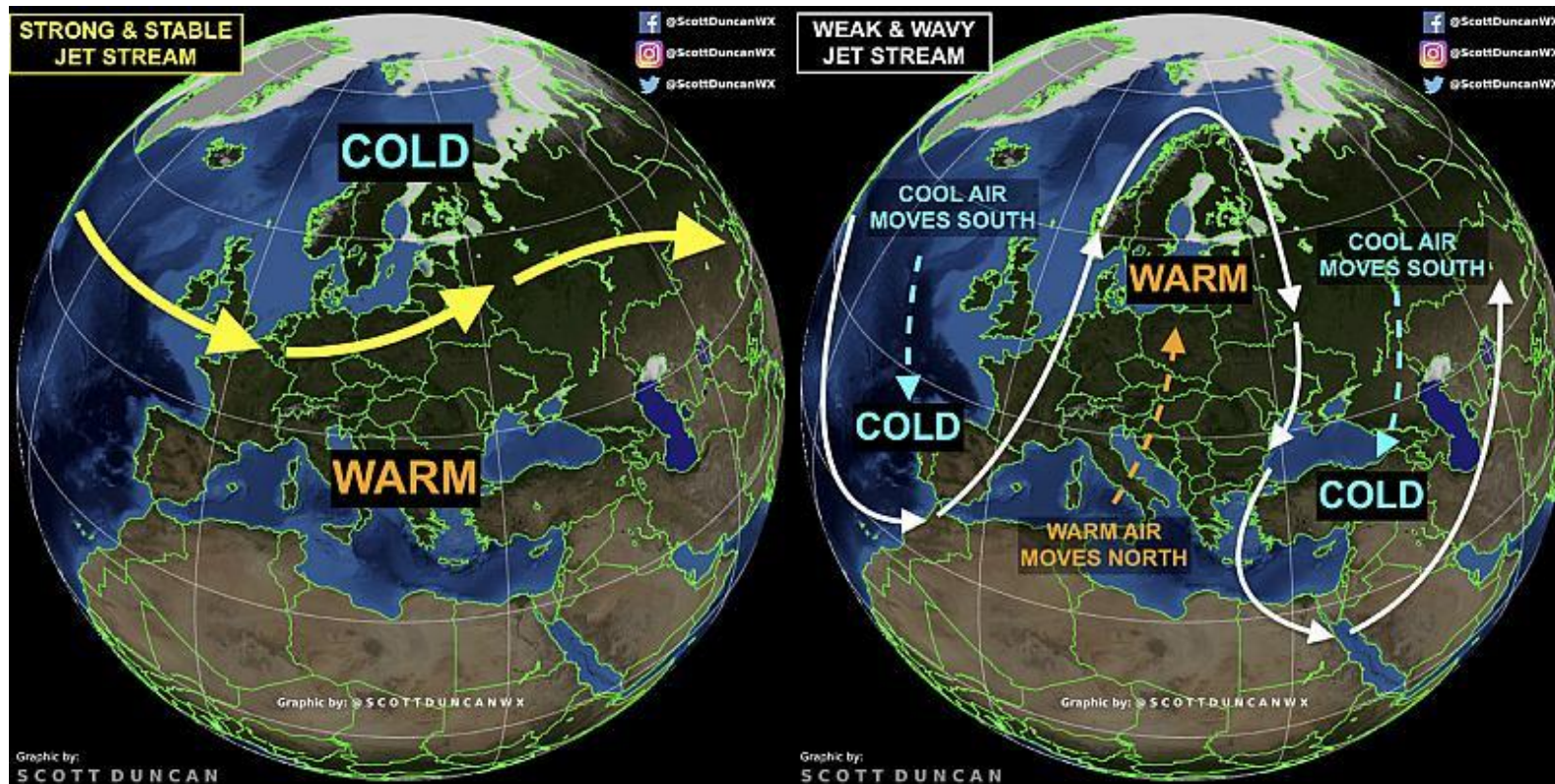
Typowy strefowy (czerwony) i południkowy (pomarańczowy) tor prądu strumieniowego na półkuli północnej.

Tor południkowy może powodować transport bardzo zimnego powietrza z Arktyki daleko na południe oraz – w innej części meandru – transportować ciepłe powietrze daleko na północ.

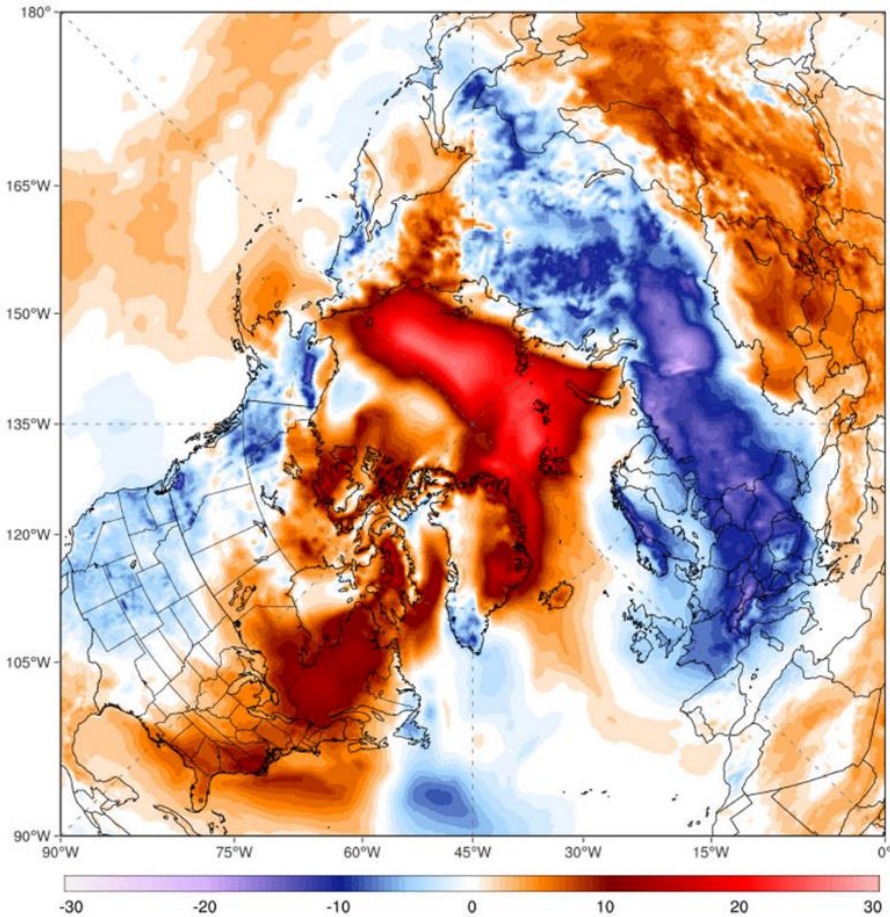
Źródło: Sceptical Science

Zmiany klimatu – wzrost częstości pogód ekstremalnych

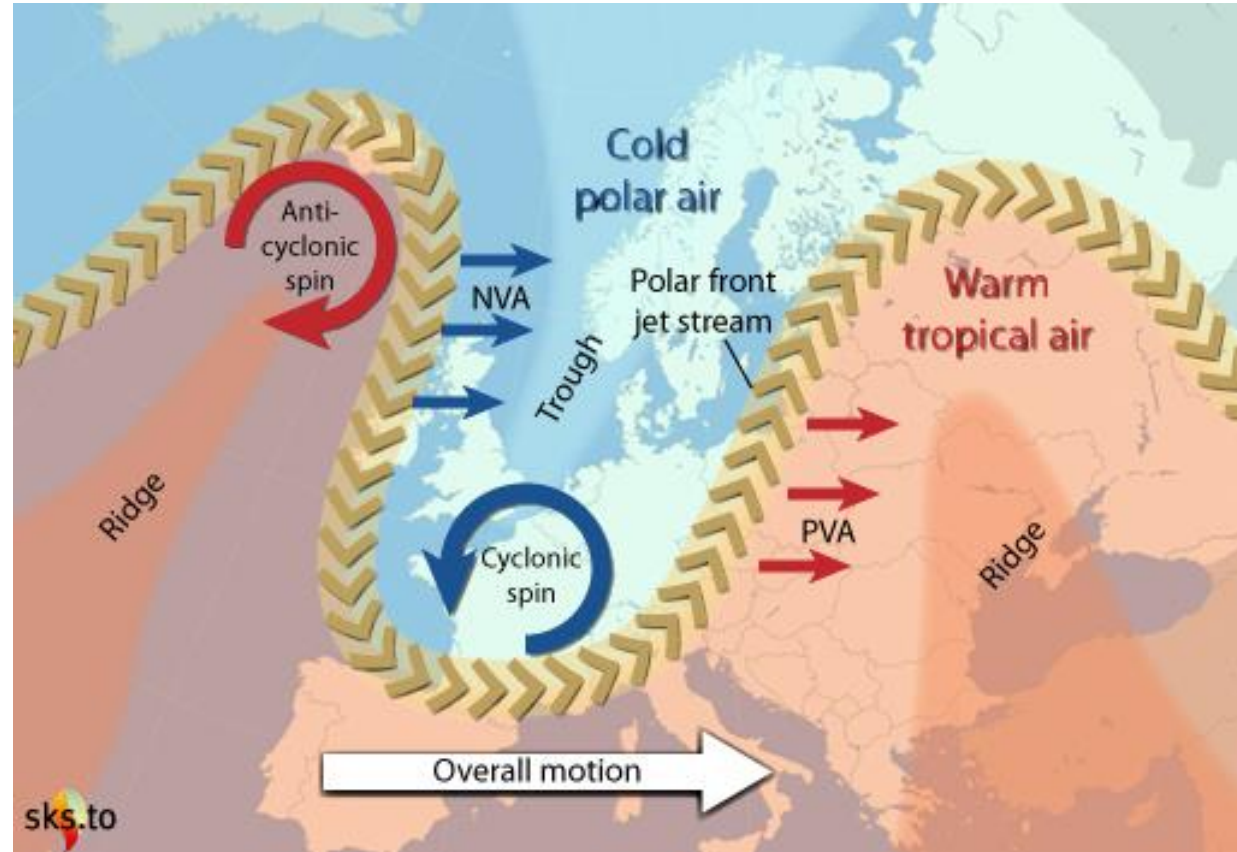
Dlaczego? – szybkie ocieplanie się Arktyki (amplifikacja arktyczna, wzmocnienie arktyczne) powoduje zmiany w zachowaniu prądu strumieniowego. Prąd strumieniowy oddziela zimne wilgotne powietrze na północy od ciepłego, suchego powietrza na południu i meandrując, tworzy tzw. fale Rossby'ego. W miarę jak Arktyka się ogrzewa, maleje gradient temperatury pomiędzy północą a południem, a prąd strumieniowy zaczyna zwalniać i silniej meandrować, sięgając dalej na południe i północ, a jego wolniejsze zmiany powodują, że wyciągnięte daleko na północ czy południe meandry dłużej utrzymują się nad danym obszarem, tworząc tzw. układy blokadowe. Ekstremalna pogoda utrzymuje się przez to znacznie dłużej.



Meandrujący prąd strumieniowy strumieniowy – południkowy przepływ mas powietrza



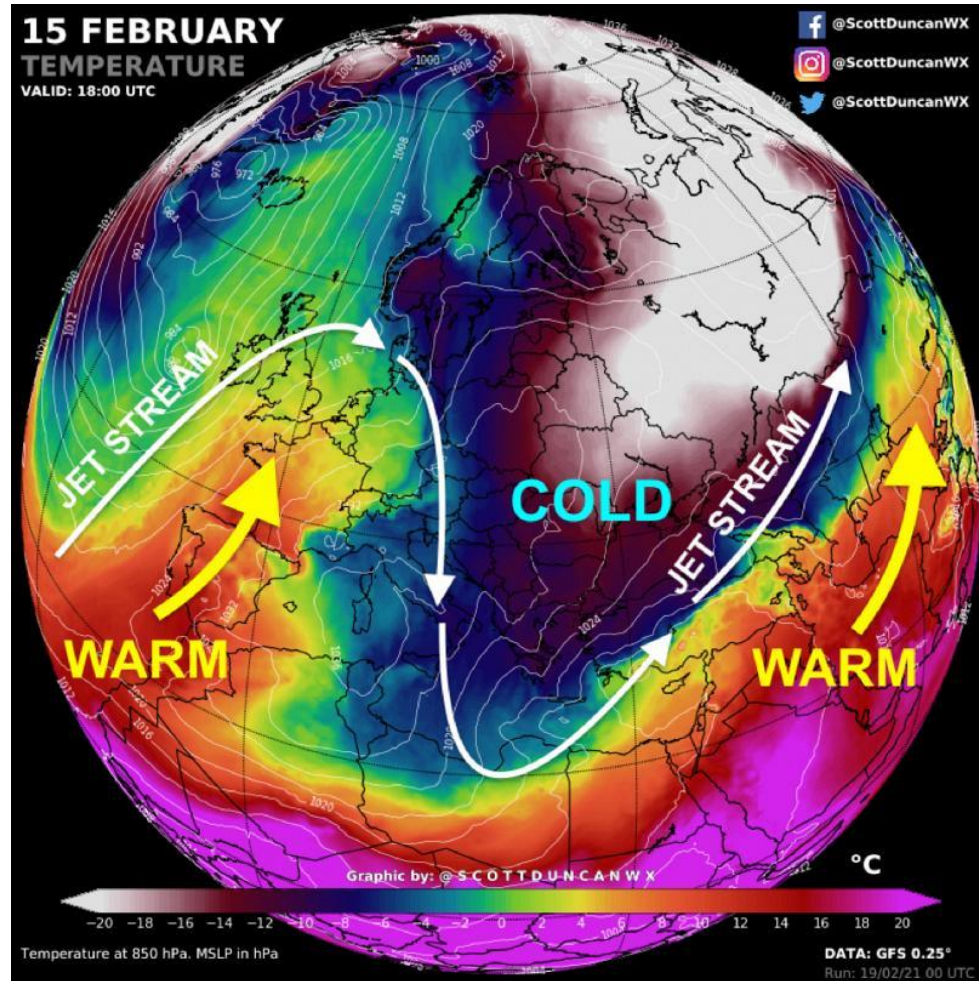
*Fala zimna w Europie w lutym 2018
Podczas gdy na plażach wybrzeża Morza Śródziemnego pojawił się śnieg, w Arktyce dodatnie anomalie temperatury sięgały 30 °C stopni (26 lutego 2018).*



Występowanie wyżów „blokadowych” (Anticyclonic spin) w północnych częściach prądu strumieniowego i niżów (Cyclonic spin) w jego południowych meandrach.

<https://skepticalscience.com/jetstream-guide.html>

Meandrujący prąd strumieniowy strumieniowy – południkowy przepływ mas powietrza

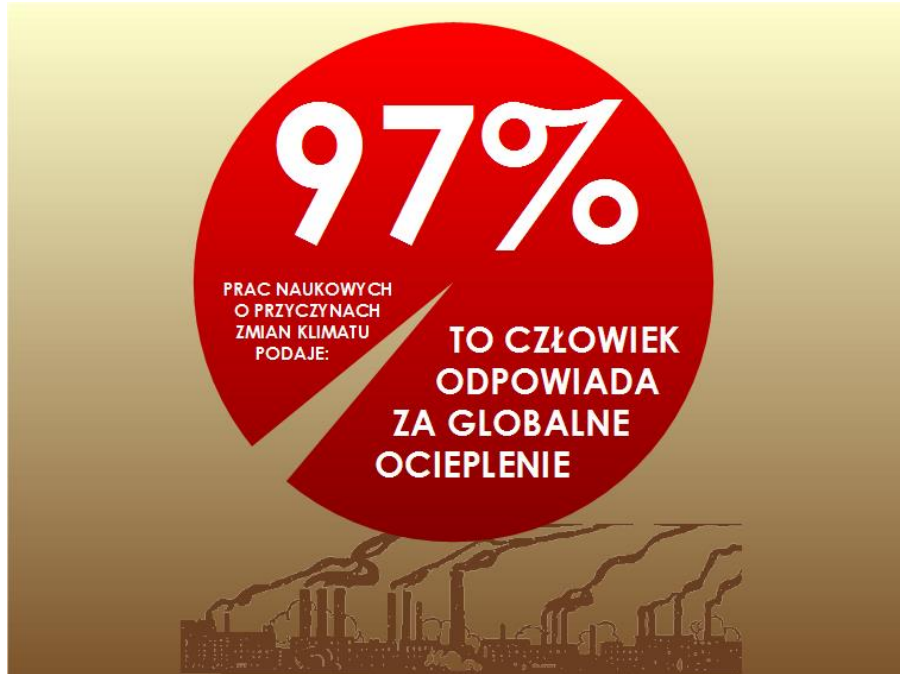


<https://www.euronews.com/2021/02/23/>



Fale zimna w Europie zimą 2021 spowodowały opady śniegu na południu, na zdjęciach śnieg w Madrycie (11 stycznia) i Akropol pod śniegiem (17 lutego)

6. Czy przyczyna zmian klimatycznych jest antropogeniczna?



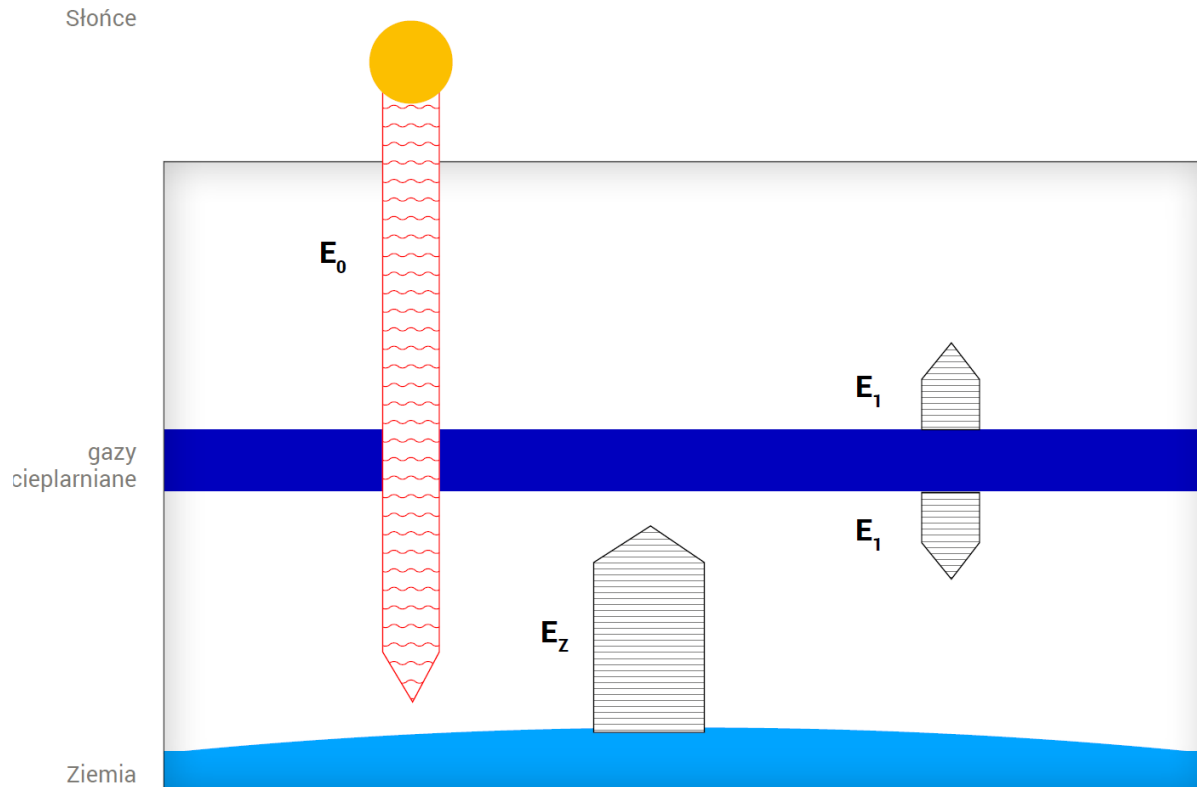
97% klimatologów aktywnie publikujących artykuły o zmianach klimatycznych jest zdania, że klimat się ociepla i że jest to spowodowane aktywnością człowieka.

(2013, <https://naukaoklimacie.pl/>)

Przyczyną współczesnego globalnego ocieplenia jest wzrost natężenia efektu cieplarnianego wywołany antropogeniczną emisją CO₂

Jak działa efekt cieplarniany?

Efekt cieplarniany jest naturalnym zjawiskiem kształtującym klimat Ziemi. Jest następstwem tego, że ziemska atmosfera (a konkretniej – niektóre tworzące ją gazy, tzw. gazy cieplarniane) w różny sposób oddziałuje z promieniowaniem o różnej długości fali – w dużym stopniu pochłania długofalowe promieniowanie ziemskie. Gdyby nie efekt cieplarniany, średnia temperatura powierzchni Ziemi byłaby o ponad 30 stopni niższa.



Uproszczony schemat bilansu energetycznego atmosfery, w którym wszystkie gazy cieplarniane wypełniające atmosferę zastępujemy pojedynczą warstwą („szybą”) – tzw. „model pojedynczej szyby”.

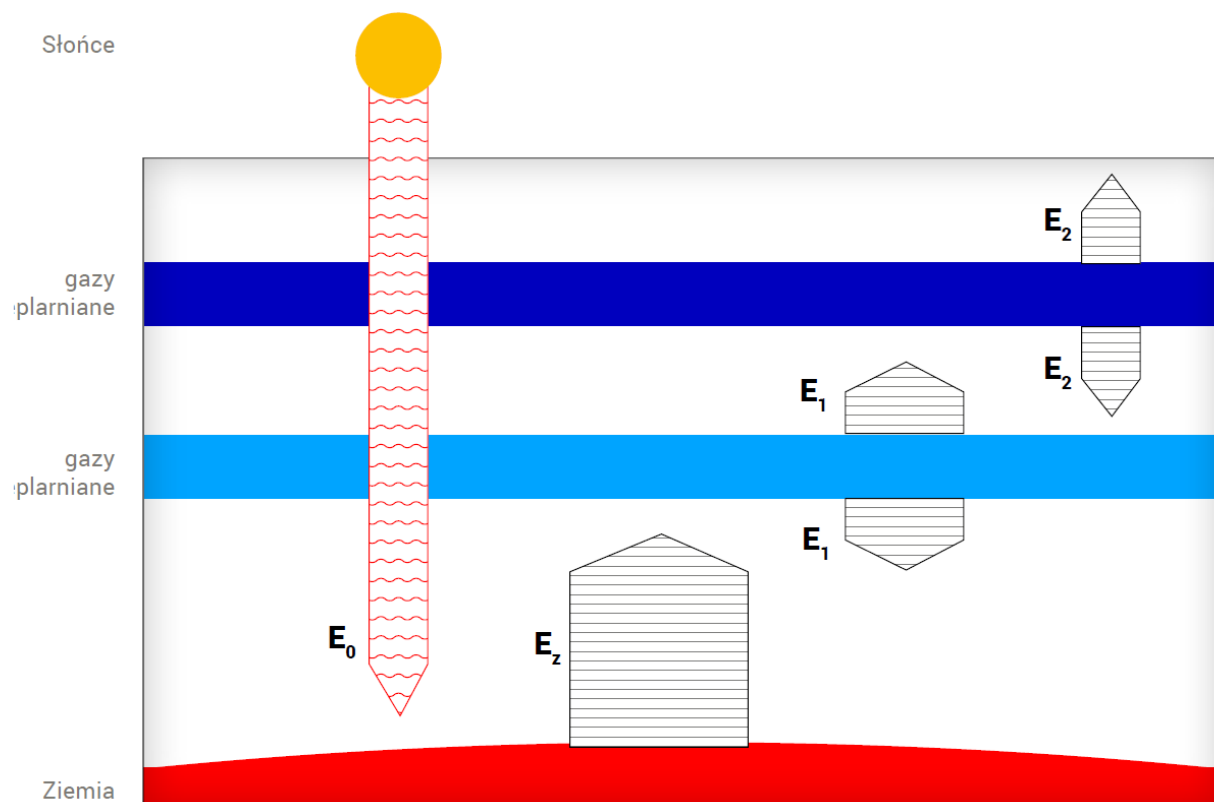
E_0 – promieniowanie słoneczne (krótkofalowe)

E_z – promieniowanie ziemskie (długofalowe)

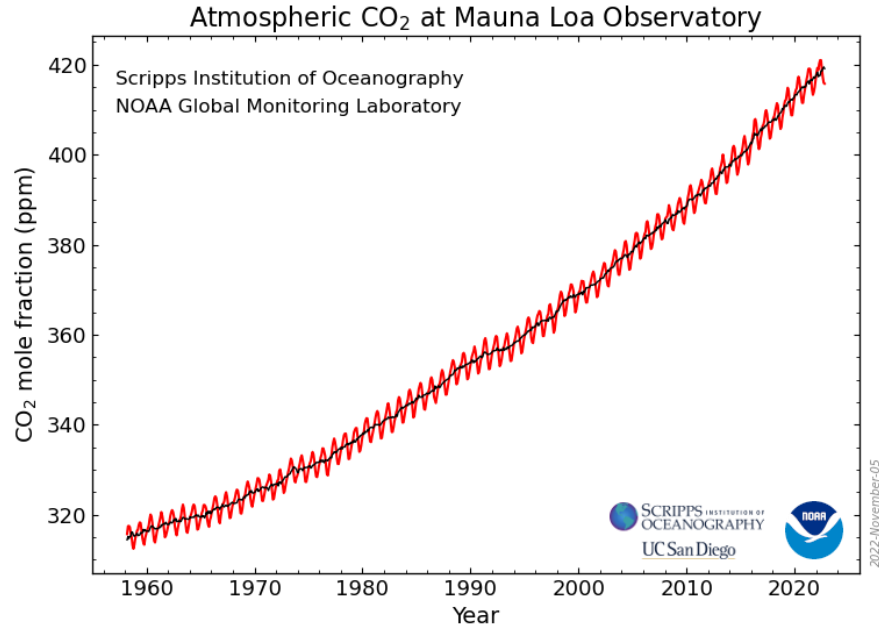
E_1 – promieniowanie atmosfery, a dokładnie zgromadzonych w niej gazów cieplarnianych (długofalowe).

Jak działa efekt cieplarniany?

Oprócz tlenu, azotu i argonu w atmosferze znajdują się także para wodna, dwutlenek węgla, metan, tlenki azotu i freony. Te ostatnie nazywamy gazami cieplarnianymi lub szklarniowymi, ponieważ spełniają w atmosferze funkcję podobną do szklanego dachu szklarni: przepuszczają krótkofalowe promieniowanie słoneczne, ale pochłaniają promieniowanie długofalowe, podczerwone. Wskutek tego atmosfera się ogrzewa i sama również zaczyna emitować promieniowanie podczerwone. Częściowo w górę, w przestrzeń kosmiczną, a częściowo w dół, tak że dociera ono do powierzchni planety i jest przez nią pochłaniane. Dzięki temu „zwrotowi” energii, wzrasta temperatura powierzchni Ziemi.

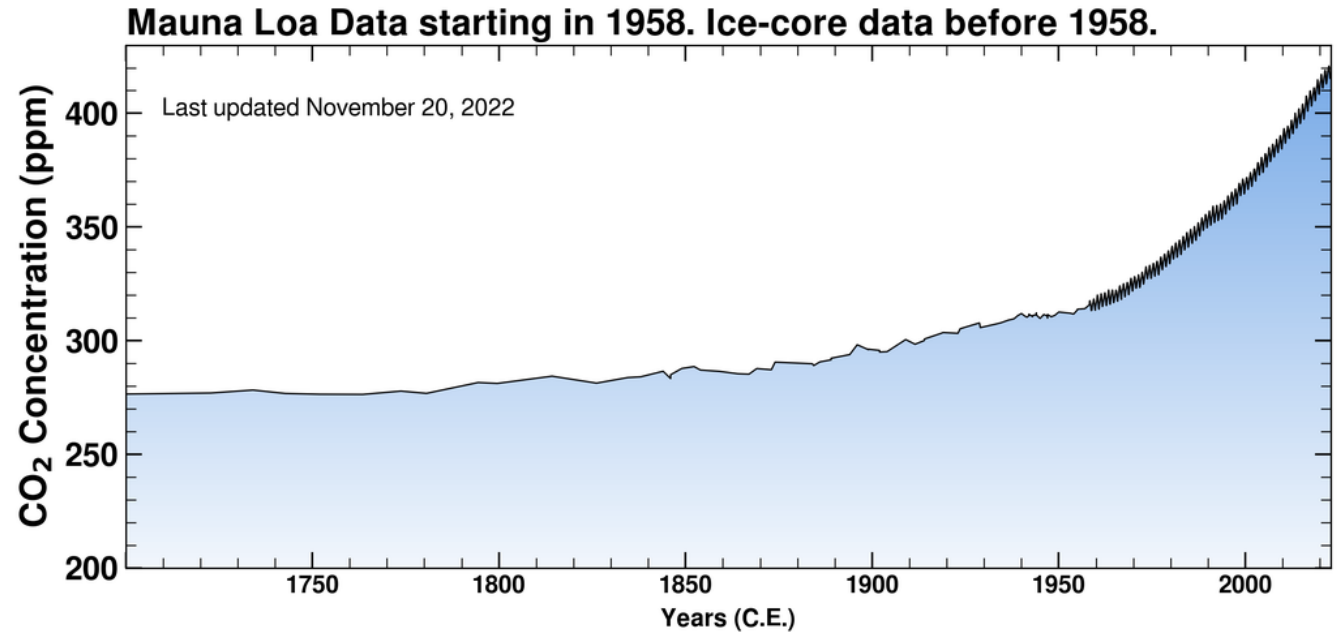


Zmiany zawartości dwutlenku węgla w powietrzu



The graphs show monthly mean carbon dioxide measured at Mauna Loa Observatory, Hawaii. The carbon dioxide data on Mauna Loa constitute the longest record of direct measurements of CO₂ in the atmosphere. They were started by C. David Keeling of the Scripps Institution of Oceanography in March of 1958 at a facility of the National Oceanic and Atmospheric Administration (Keeling, 1976).

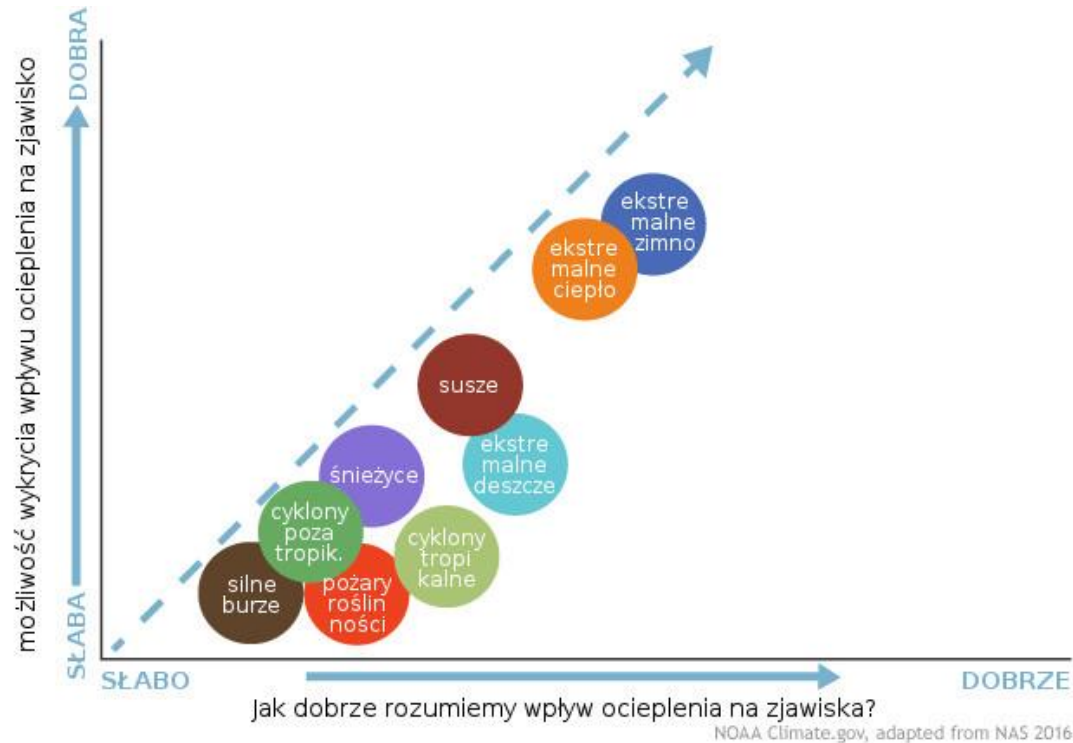
NOAA started its own CO₂ measurements in May of 1974, and they have run in parallel with those made by Scripps since then (Thoning, 1989).



<https://keelingcurve.ucsd.edu/>

The ice core data is taken from cores of ice drilled out of glaciers at high elevations or latitudes that may not exist in the future. Scientists are now drilling extra cores to preserve this information for future studies before the ice is no longer available as glaciers continue to melt under warmer temperatures.

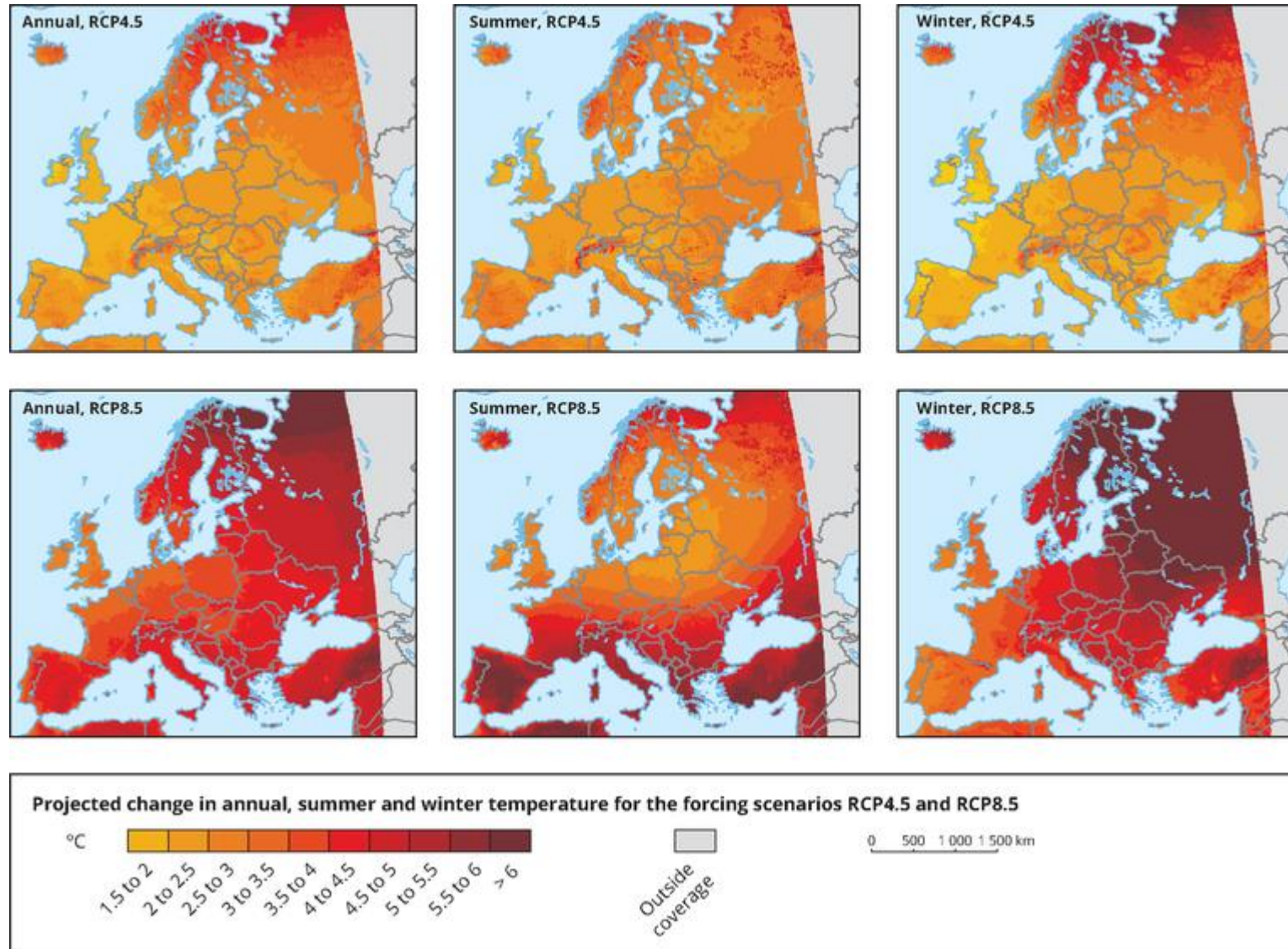
5. Z jaką pewnością prognozujemy w jaki sposób klimat będzie się zmieniał w przyszłości?



Na osi poziomej poziom zrozumienia wpływu globalnego ocieplenia na dane zjawisko, na osi pionowej – możliwość wykrycia tego wpływu (źródło: NOAA).

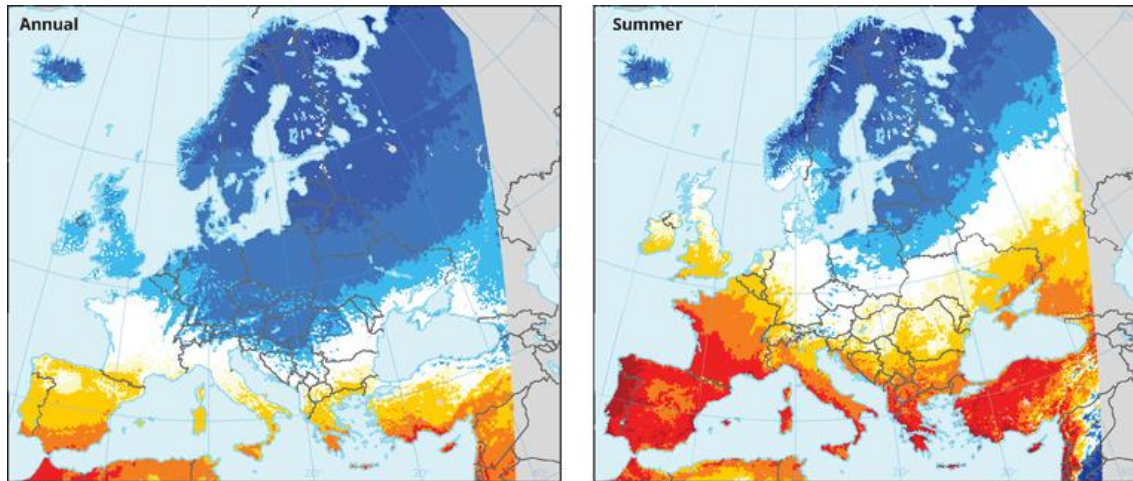
Z największą pewnością podchodzimy do analiz dotyczących wydarzeń związanych z występowaniem wysokiej temperatury (fale upałów, rekordy gorąca, tropikalne noce) – serie pomiarowe temperatury są długie i dobrej jakości, modele sprawdzają się bardzo dobrze, a fizyka wiążąca globalne ocieplenie ze zmianami w ich występowaniu i natężeniu jest dobrze rozumiana.

Projekcje zmian klimatycznych w Europie

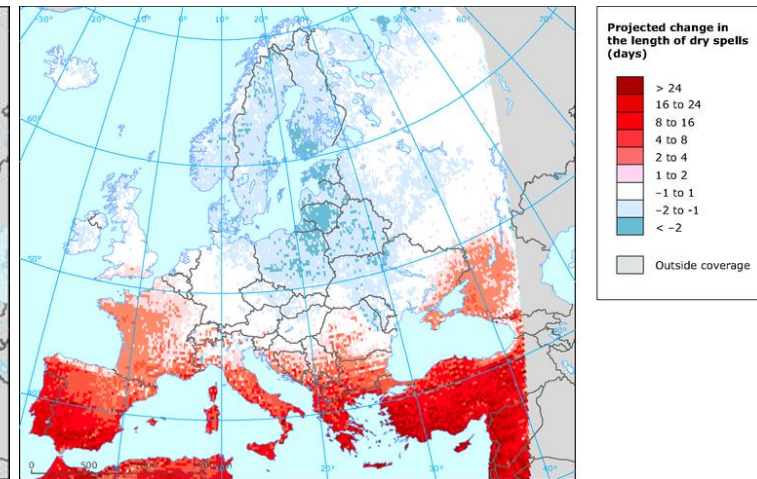
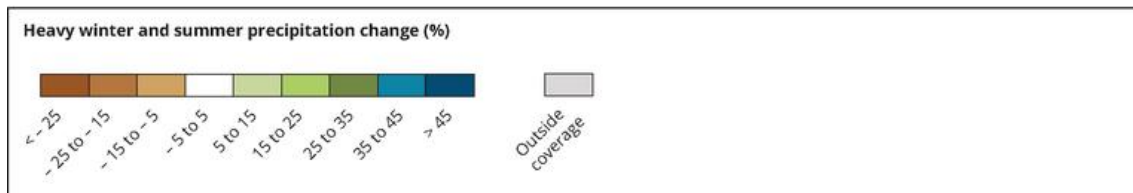
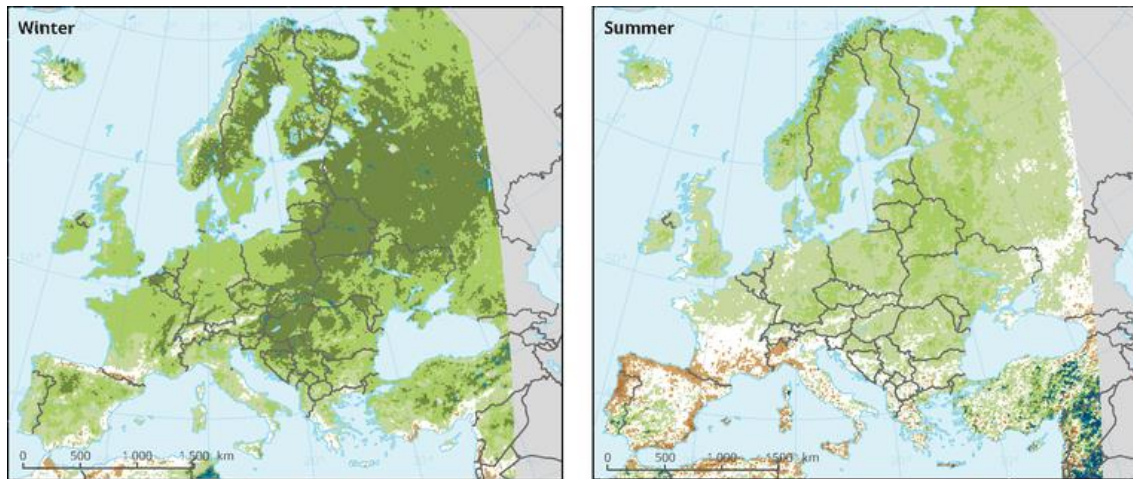
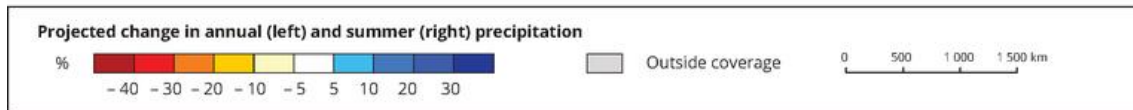


Projekcje zmian temperatury średniej rocznej (lewa kolumna), lata (środkowa kolumna) i zimy (prawa kolumna) (°C) dla okresu 2071-2100, w odniesieniu do 1971-2000 przy scenariuszach RCP 4.5 (górny wiersz) i RCP 8.5 (dolny wiersz). Źródło: EURO-CORDEX.

Projekcje zmian opadów



Prognozowane zmiany rocznych (po lewej) i letnich sum opadów (po prawej) (%) dla okresu 2071-2100, w odniesieniu do 1971-2000 dla scenariusza RCP 8.5. źródło: EURO-CORDEX.



Zmiany klimatyczne w Europie i ich konsekwencje (w pigułce)

(wg Schröter D. i in. 2005. *Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe*.
Science 310: 1333-1337.)

Północ ↑

- wyższa temperatura i opady (szczególnie zimą),
- zwiększenie produktywności lasów i przesunięcie ich zasięgu na północ,
- dłuższy okres wegetacyjny – wyższe plony w rolnictwie. ??

Południe – Region Śródziemnomorski ↓

- katastrofalne upały,
- zmniejszenie opadów głównie latem (pustynnienie niektórych rejonów, brak wody dla rolnictwa i turystyki, pożary lasów),
- topnienie lodowców alpejskich, z których biorą początek m.in. Pad, Rodan czy Dunaj,
- zmiany w krajobrazie i przyrodzie (zanikanie lasów, pustynnienie),
- migracje i zagrożenie wielu gatunków.

Konsekwencje globalnego ocieplenia – przykłady

Rolnictwo/środowisko naturalne

- Lepsze warunki upraw i hodowli na północy (np. wydłużony okres wegetacyjny) ???*
- Spadek zasobów wody w większości regionów świata – częstsze susze, postępująca dezertyfikacja (pustynnienie)*
- Zwiększona częstość i zasięgi pożarów wskutek wyższej temperatury i susz*
- Migracje zwierząt i roślin, zagrożenie wyginięcia niektórych gatunków.*

Zdrowie

- Cieplejsze zimy przełożą się na zmniejszoną liczbę zgonów z powodu zamarznięcia wśród najbardziej narażonych grup społecznych*
- Te same grupy będą jednak bardziej narażone na działanie wysokiej temperatury; szacuje się, że wzrost liczby zgonów z powodu upałów będzie pięć razy większy, niż spadek liczby zgonów dzięki ciepłym zimom*
- Zwiększony stres ciepła u ludzi (i innych ssaków) – gorsze funkcjonowanie organizmu*
- Rozszerzenie zasięgu chorób przenoszonych wektorowo (przez komary) – malaria, denga*

Konsekwencje globalnego ocieplenia – przykłady

Skutki społeczno gospodarcze

- *migracje, zachwianie rynków pracy, zahamowanie produkcji rolnej, konflikty militarne, itp.*

W rejonach polarnych

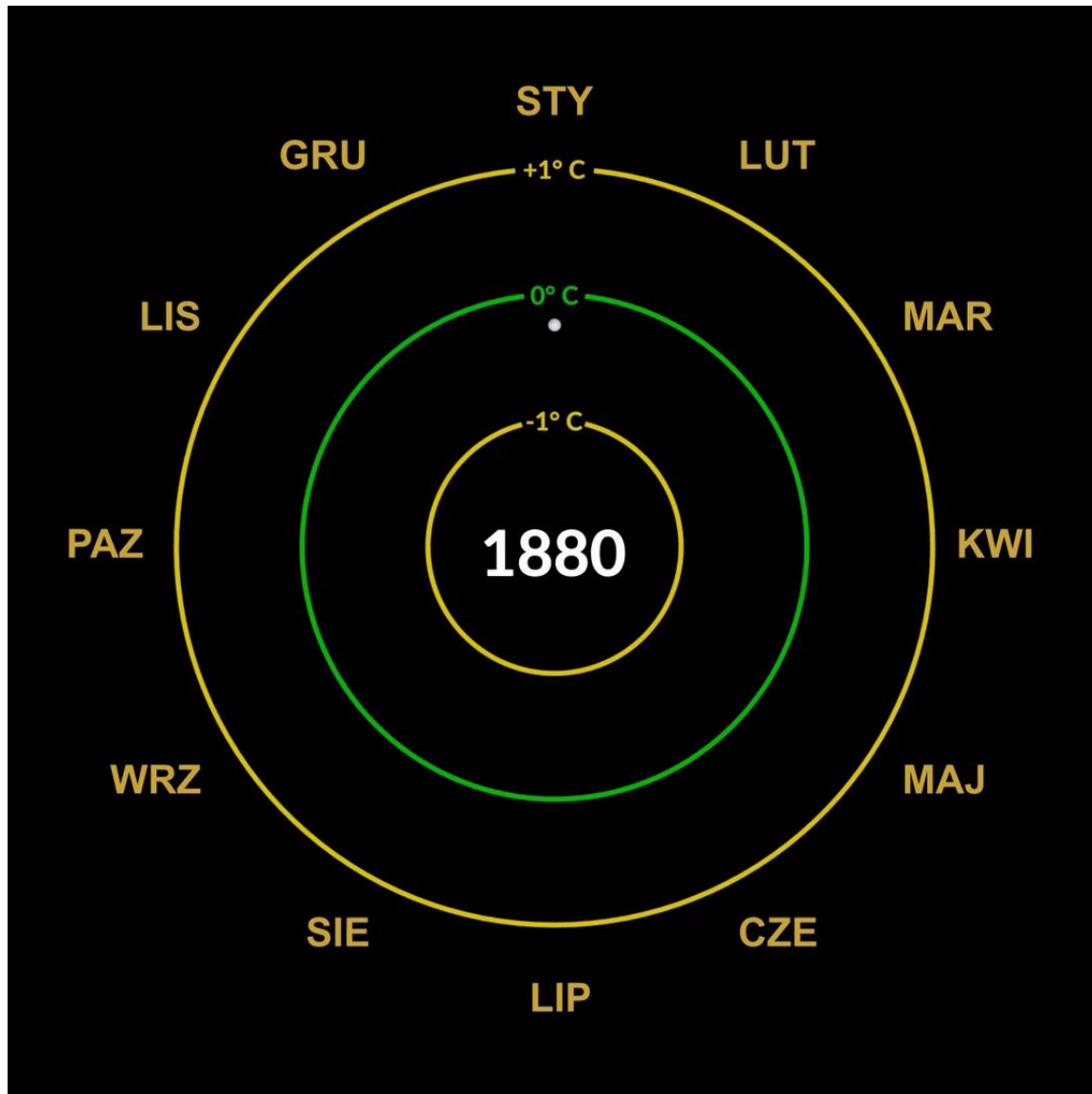
- Otwarcie przejścia północnego przez Ocean Arktyczny – skrócenie drogi morskiej pomiędzy Pacyfikiem i Oceanem Atlantyckim*
- Utrata środowisk licznych roślin i zwierząt (w tym niedźwiedzi polarnych) – zmniejszenie populacji*
- Wzrost temperatury w Arktyce może doprowadzić do uwolnienia pokładów metanu (w tzw. klatratach), który jest znaczącym gazem cieplarnianym*
- Wytapianie lodów i wzrost temperatury oceanów doprowadzi do wzrostu poziomu morza*

Więcej pozytywnych skutków globalnego ocieplenia... ;)



(Even bad things have some advantages)

Klimatyczna spirala



Okrąg oznaczony zerem odpowiada średniej globalnej temperaturze powietrza z lat 1951-1980. Oglądamy odchylenia temperatury w kolejnych miesiącach kolejnych lat od średniej (kolor niebieski oznacza temperaturę niższą a czerwony – wyższą od średniej). Wizualizację zainspirowaną projektem Eda Hawkinsa (University of Reading) przygotowało [NASA/GSFC SVS](https://svs.gsfc.nasa.gov/).



Dziękuję za uwagę!

Projekt dofinansowany ze środków budżetu państwa w ramach programu
Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą
Społeczna odpowiedzialność nauki – Popularyzacja nauki i promocja sportu,
nr projektu SONP/SP/546432/2022,
kwota dofinansowania 112 920,00 zł, całkowita wartość projektu 125 640,00 zł.