

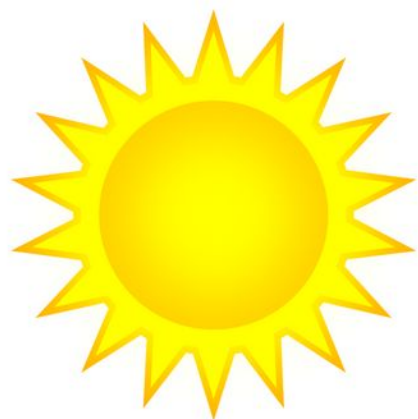
Fizyka Procesów Klimatycznych

Projekcje. Punkty krytyczne

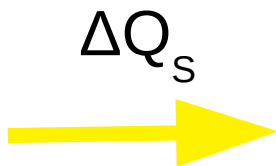
prof. dr hab. Szymon Malinowski
Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski
malina@igf.fuw.edu.pl

dr hab. Krzysztof Markowicz
Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski
kmark@igf.fuw.edu.pl

Wykorzystano slajdy dr Aleksandry Kardaś



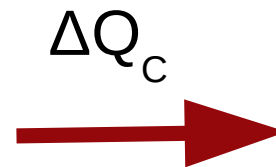
T1



>



T2



>

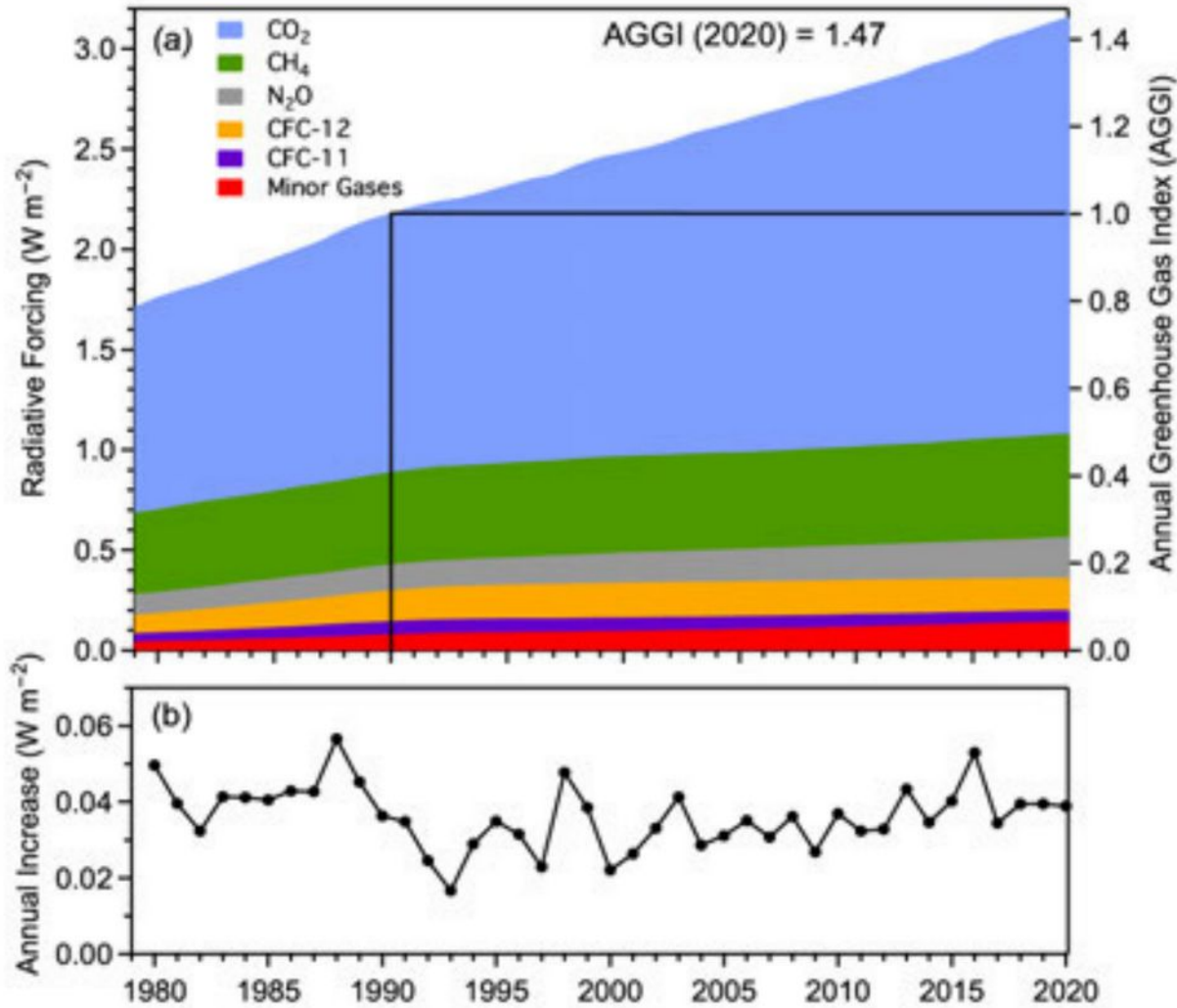


T3

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

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

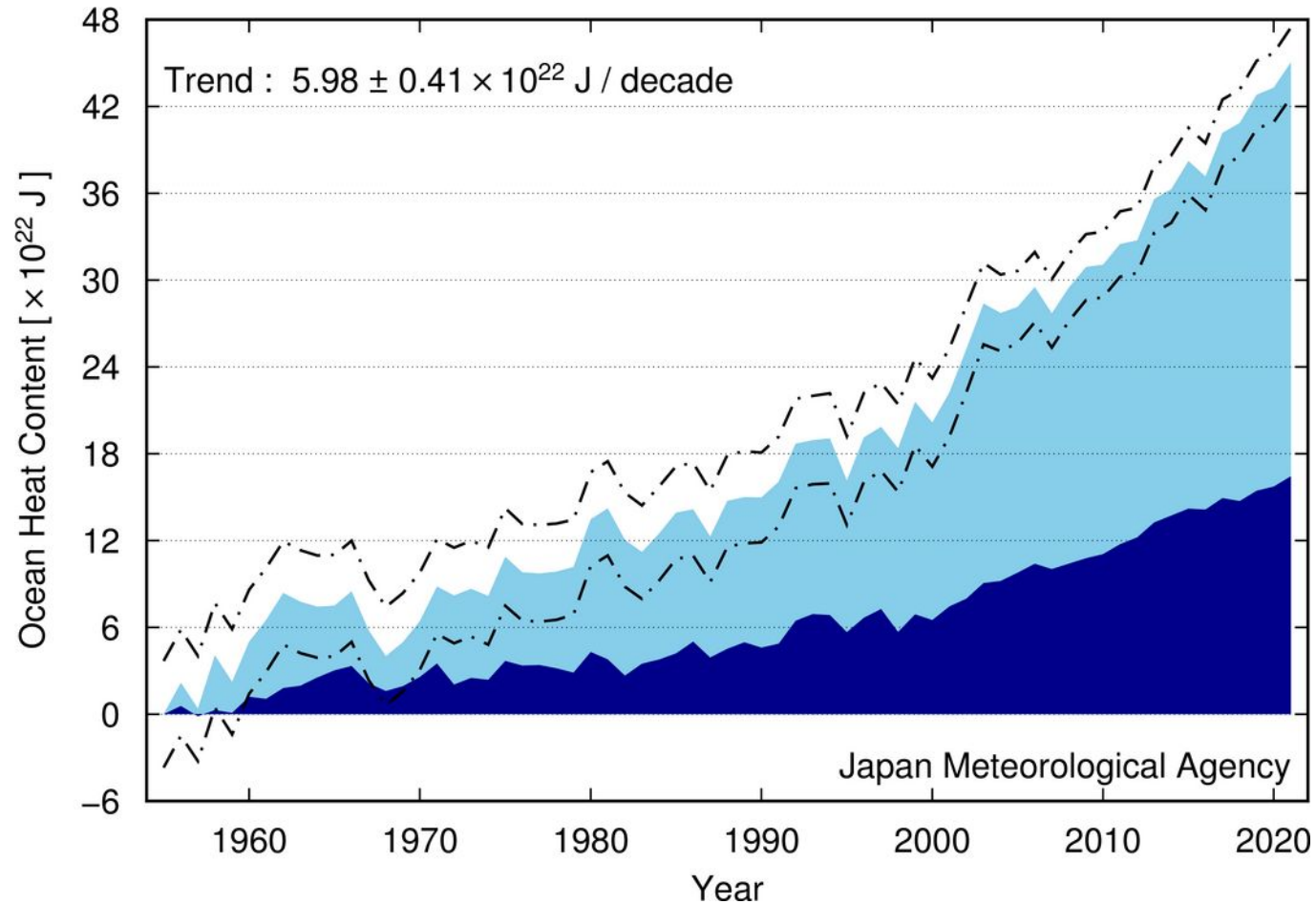




Rośnie
wymuszanie
radiacyjne przez
gazy cieplarniane.

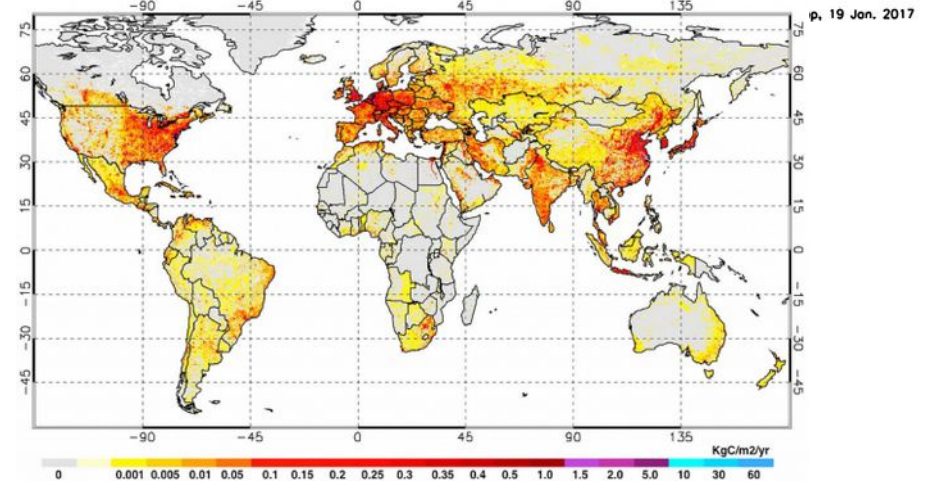
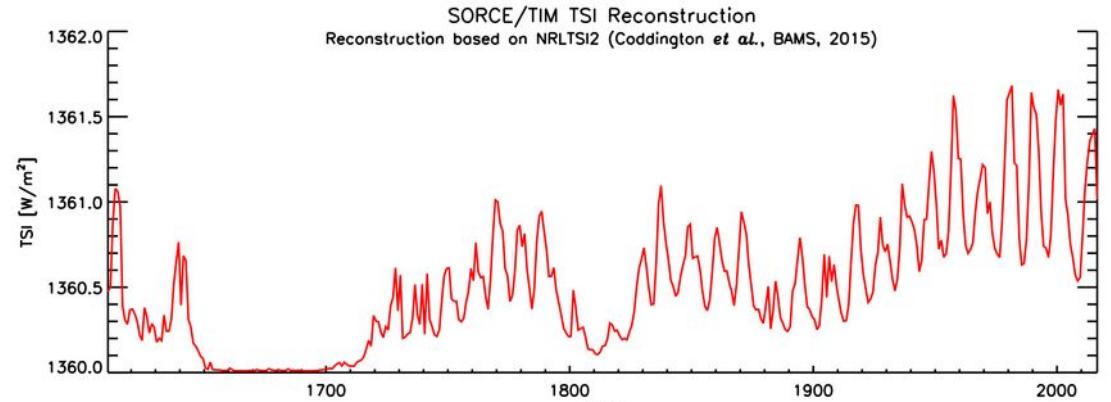
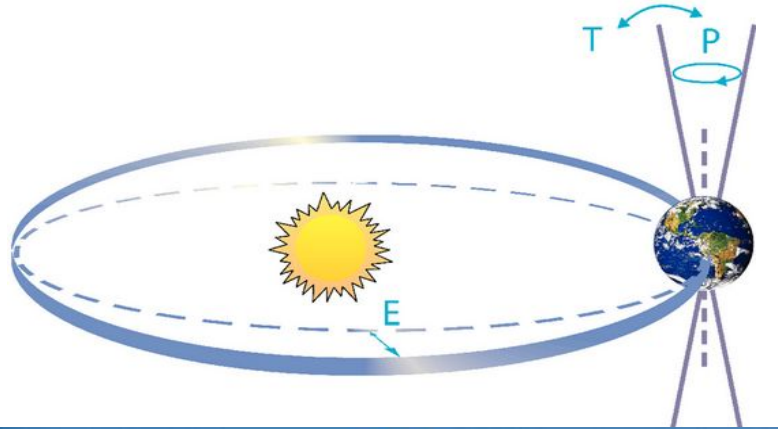
BAMS, State of
Climate 2021

Dodatni bilans energii – prawie cała nadwyżka energii (96%)
gromadzi się w oceanie.



Wymuszenia i sprzężenia w systemie klimatycznym

Wymuszenia inicjują zmiany klimatu.



Przykłady: aktywność słoneczna, zmiany orbitalne, antropogeniczne i wulkaniczne emisje gazów czy aerozoli.

Wymuszenia i sprzężenia w systemie klimatycznym

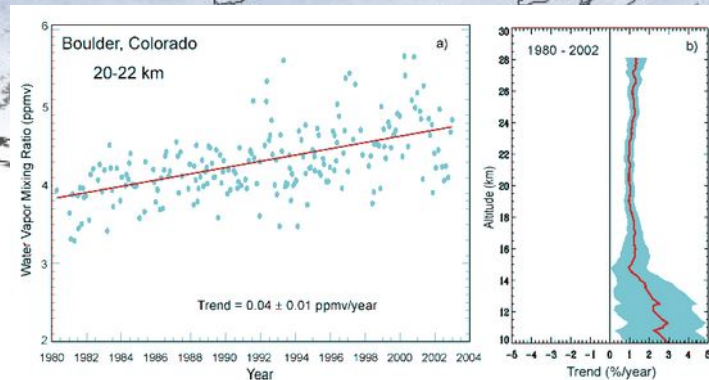
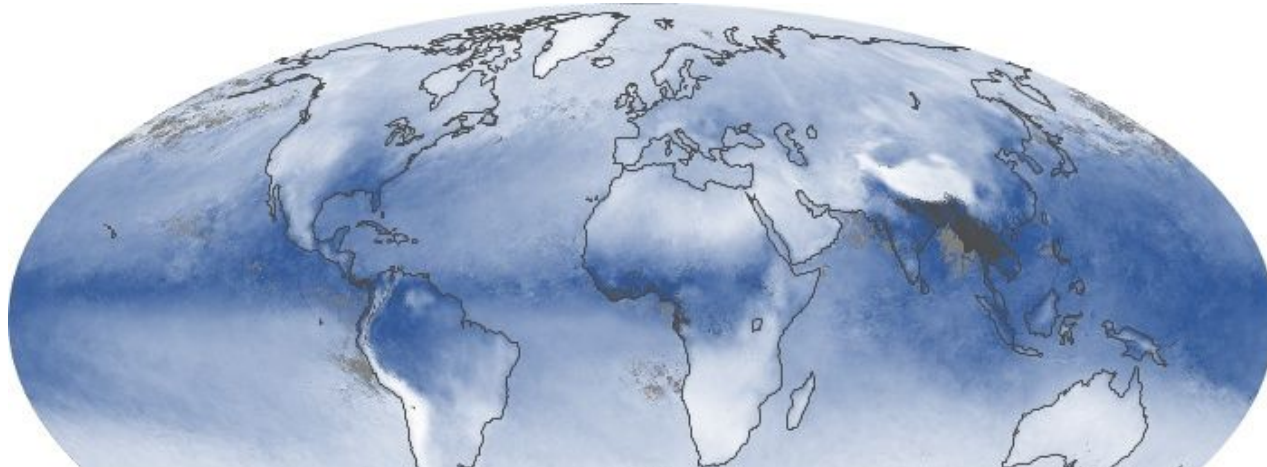
Sprzężenia to procesy zachodzące wewnątrz systemu klimatycznego, które **skutkują dalszymi zmianami klimatu**.



1979 SSMI Composite Data

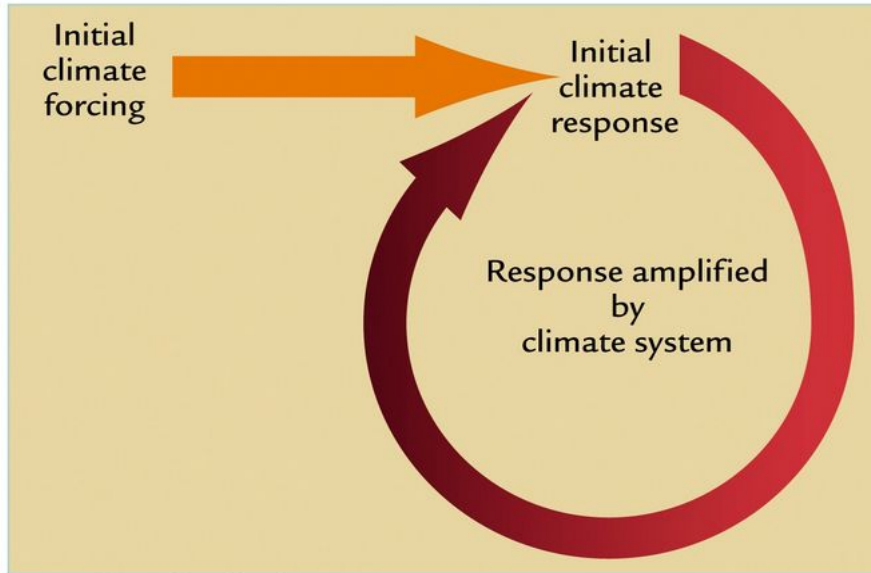


2003 SSMI Composite Data

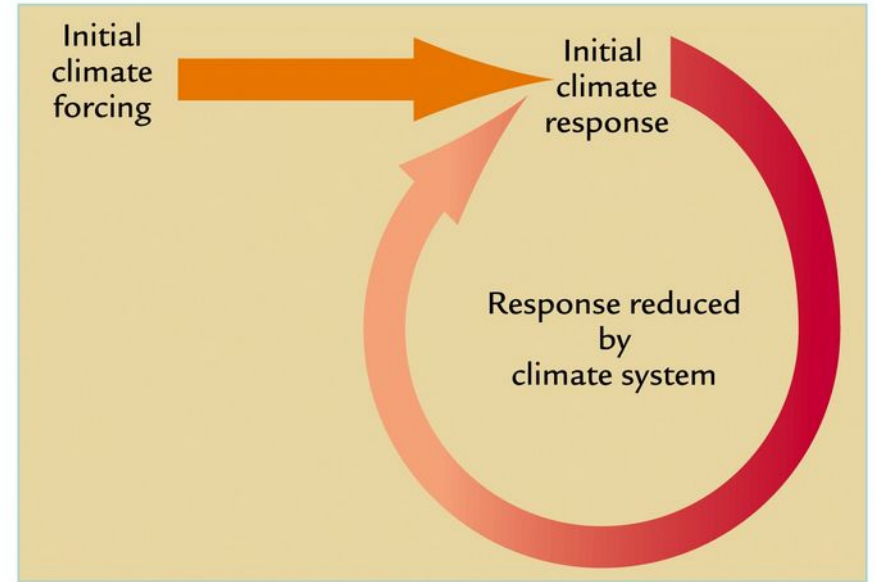


Przykłady: zmiany albedo wskutek zmian zlodzenia czy zmiany zawartości pary wodnej w powietrzu wskutek zmian temperatury.

Sprzężenia mogą być dodatnie lub ujemne.



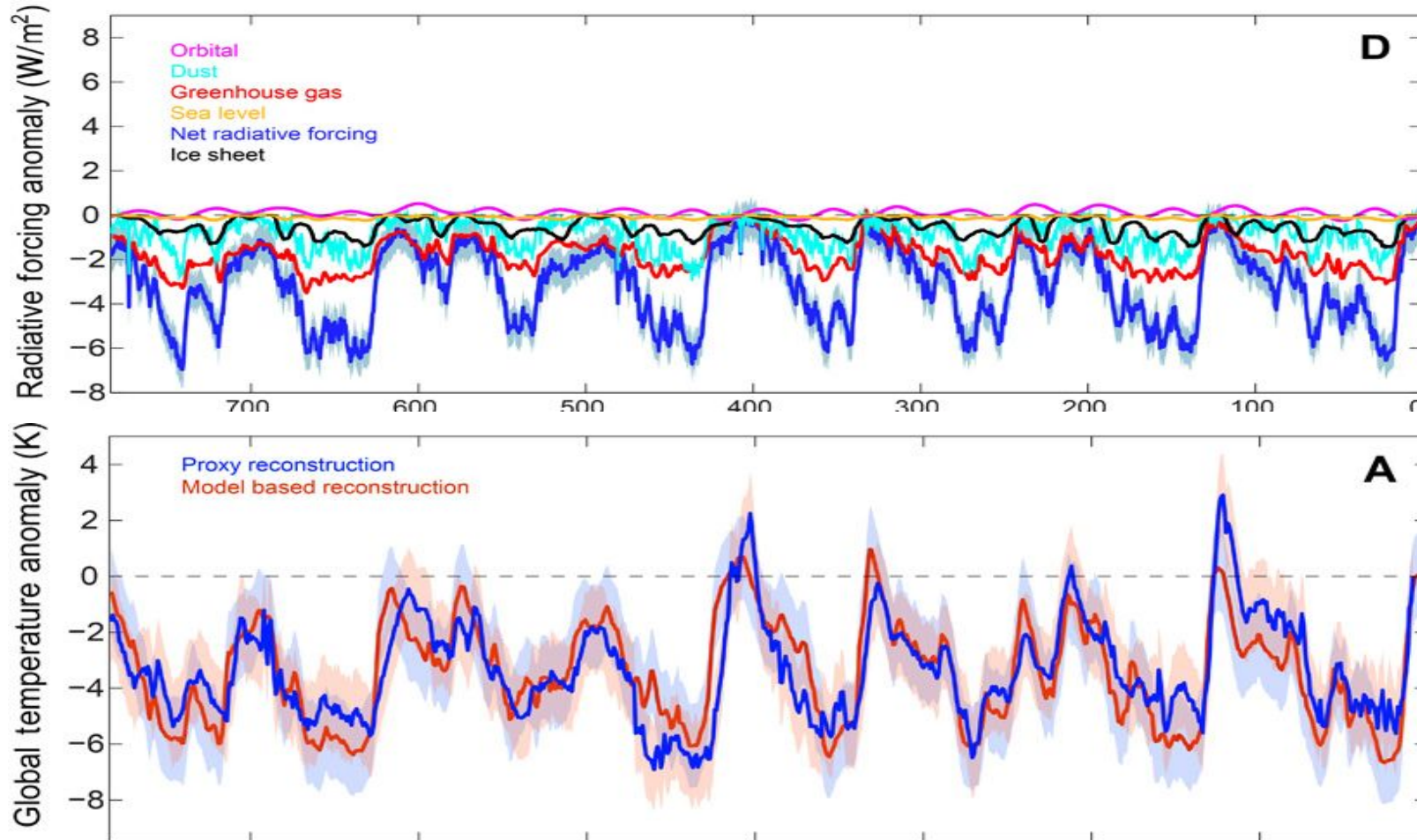
A Positive feedback



B Negative feedback

Mechanizm epok lodowych:

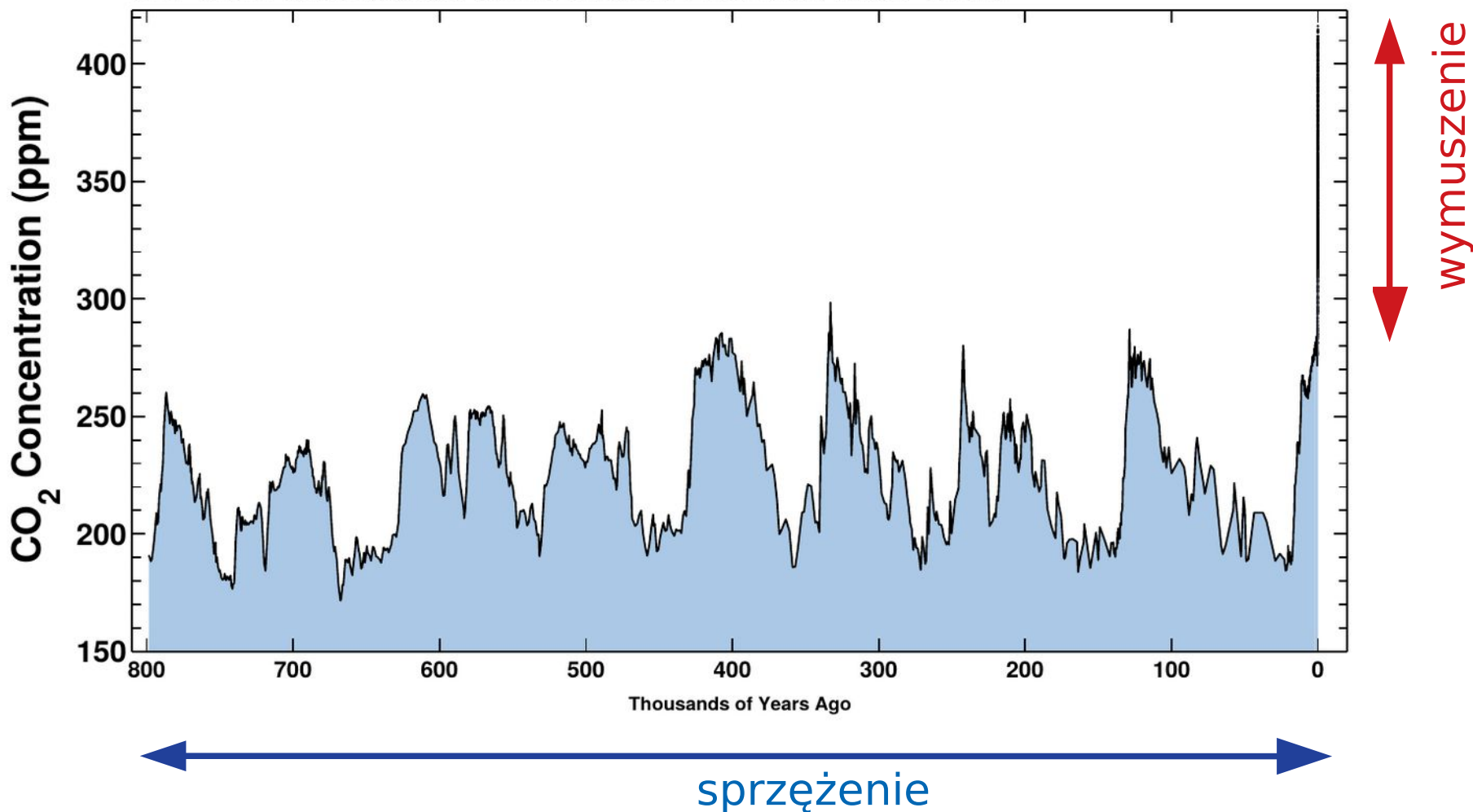
Wymuszenia orbitalne (D) i **sprzężenia (D)** skutkują **zmianami w bilansie radiacyjnym (D)** i dalej odpowiednią **zmiennością temperatury (A)**.



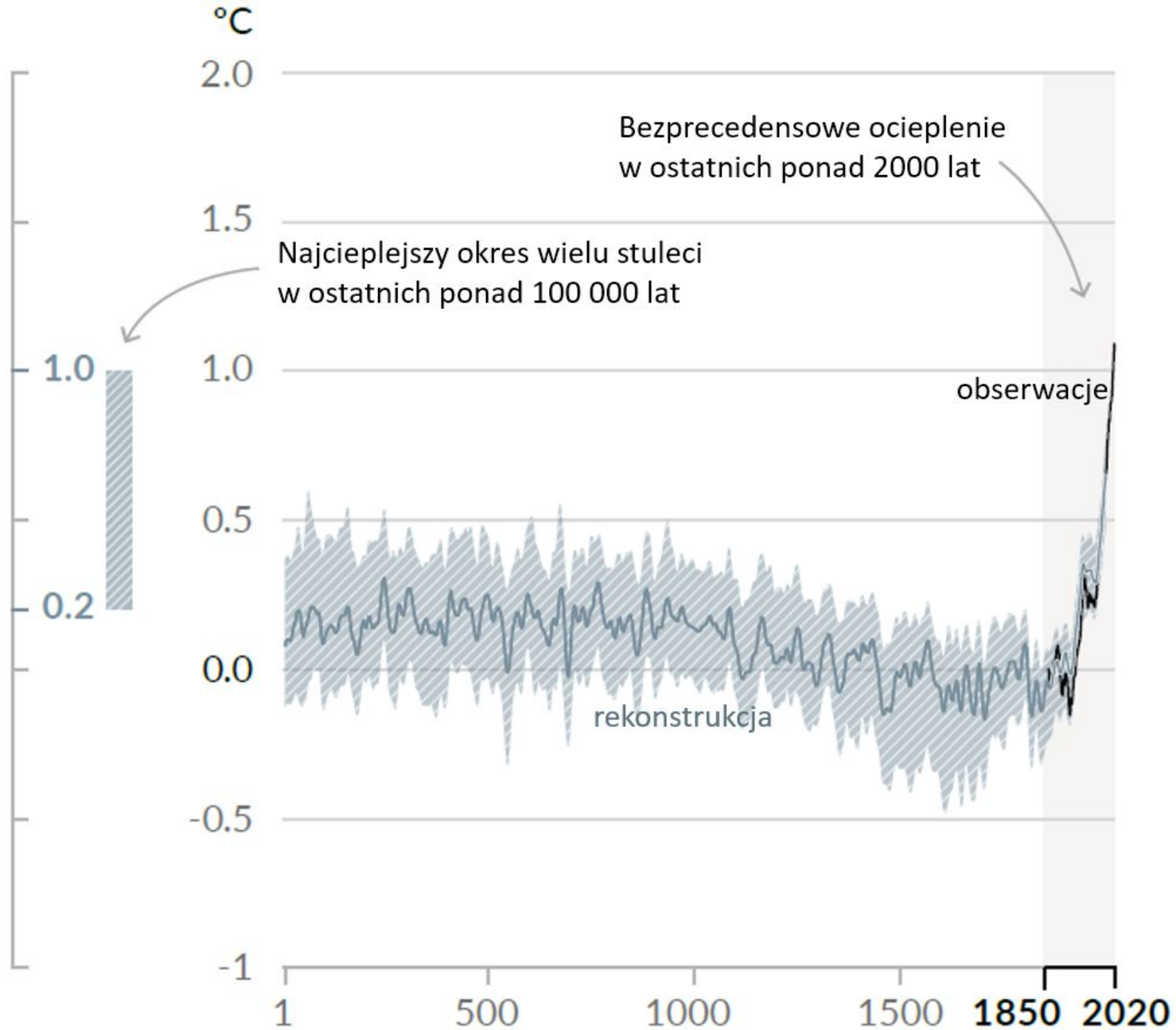
Zmiany koncentracji CO₂: kiedyś sprzężenie, dziś wymuszenie.

May 20, 2020

Ice-core data before 1958. Mauna Loa data after 1958.

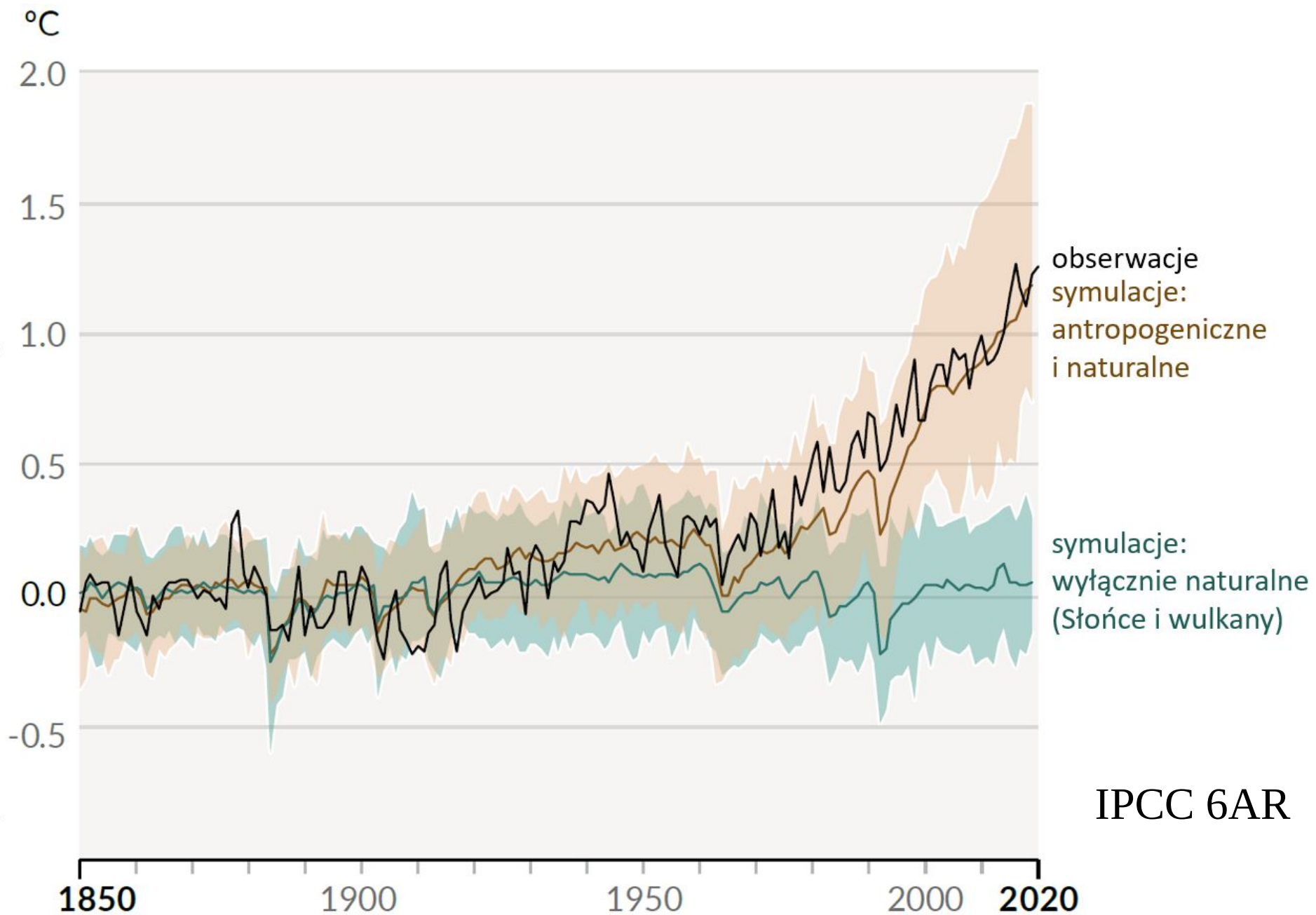


Odchylenie średniej globalnej temperatury
powierzchni Ziemi od średniej z lat 1850-1900



IPCC 6AR

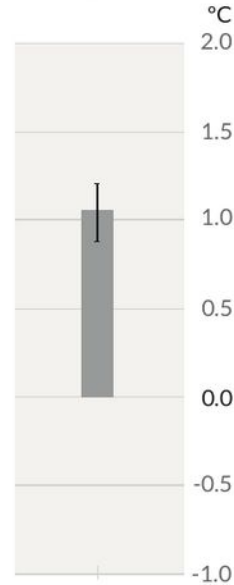
Odchylenie średniej globalnej temperatury
powierzchni Ziemi od średniej z lat 1850-1900



Obserwowane ocieplenie jest spowodowane emisjami będącymi skutkiem działalności człowieka, ocieplenie związane z gazami cieplarnianymi jest częściowo maskowane przez chłodzący wpływ aerozoli

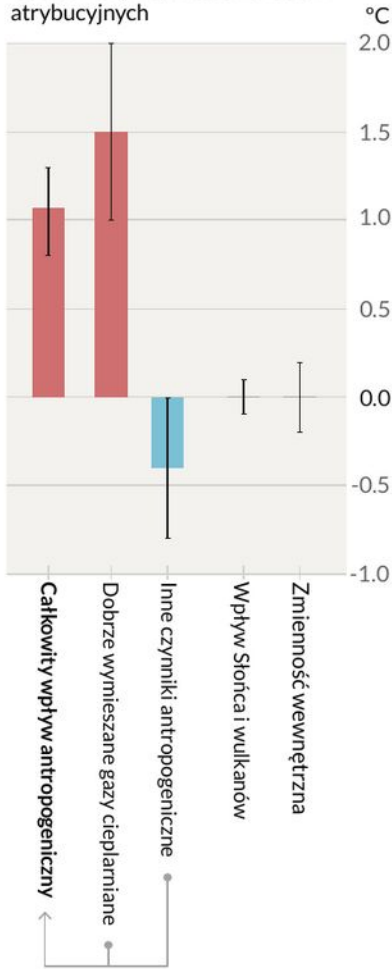
Obserwowane ocieplenie

a) Ocieplenie obserwowane w okresie 2010–2019 względem okresu 1850–1900

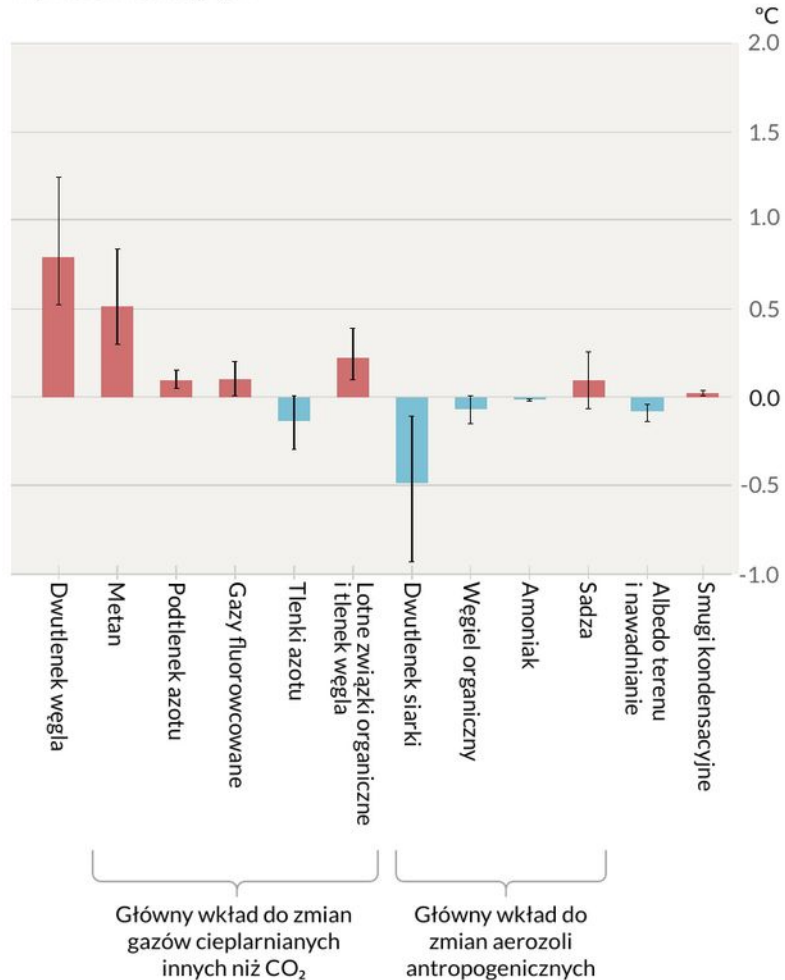


Wkłady w ocieplenie oszacowane na podstawie dwóch uzupełniających się metod

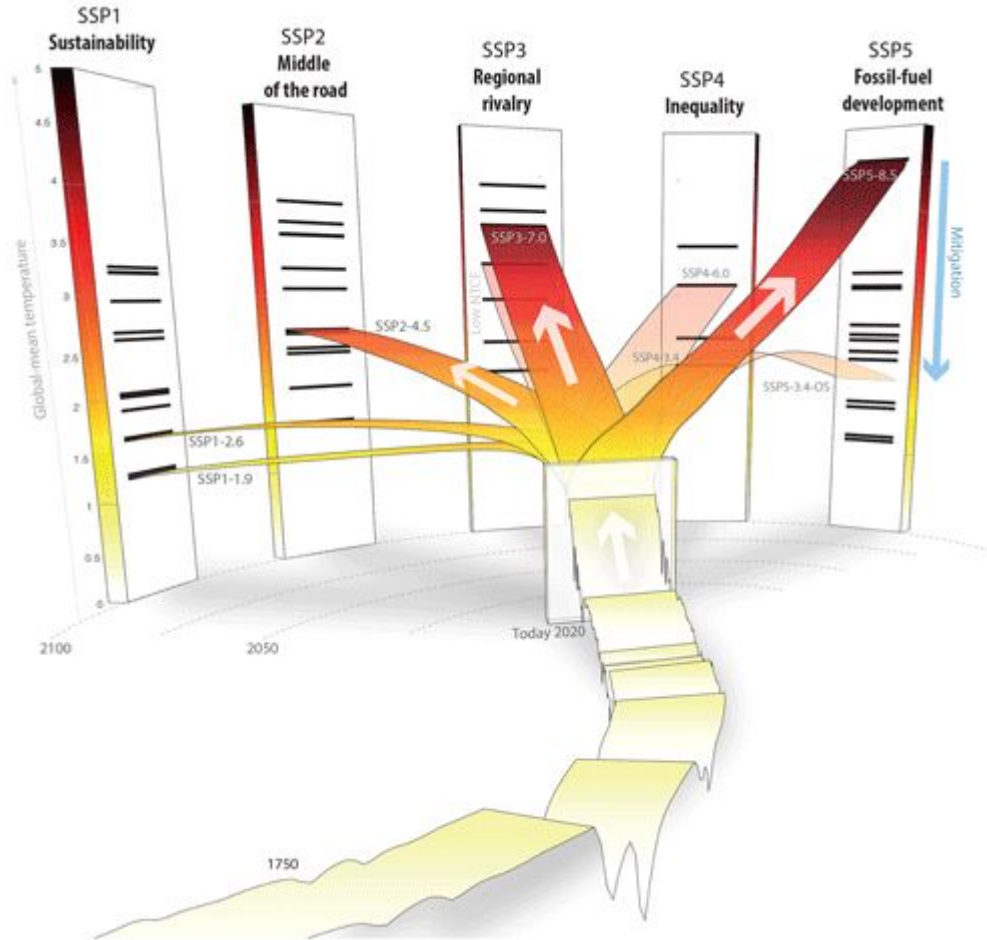
b) Wkład w ocieplenie w okresie 2010–2019 względem okresu 1850–1900, oszacowany na podstawie badań atrybucyjnych



c) Wkład w ocieplenie w okresie 2010–2019 względem okresu 1850–1900, oszacowany na podstawie badań wymuszeń radiacyjnych



Scenariusze do projekcji klimatu

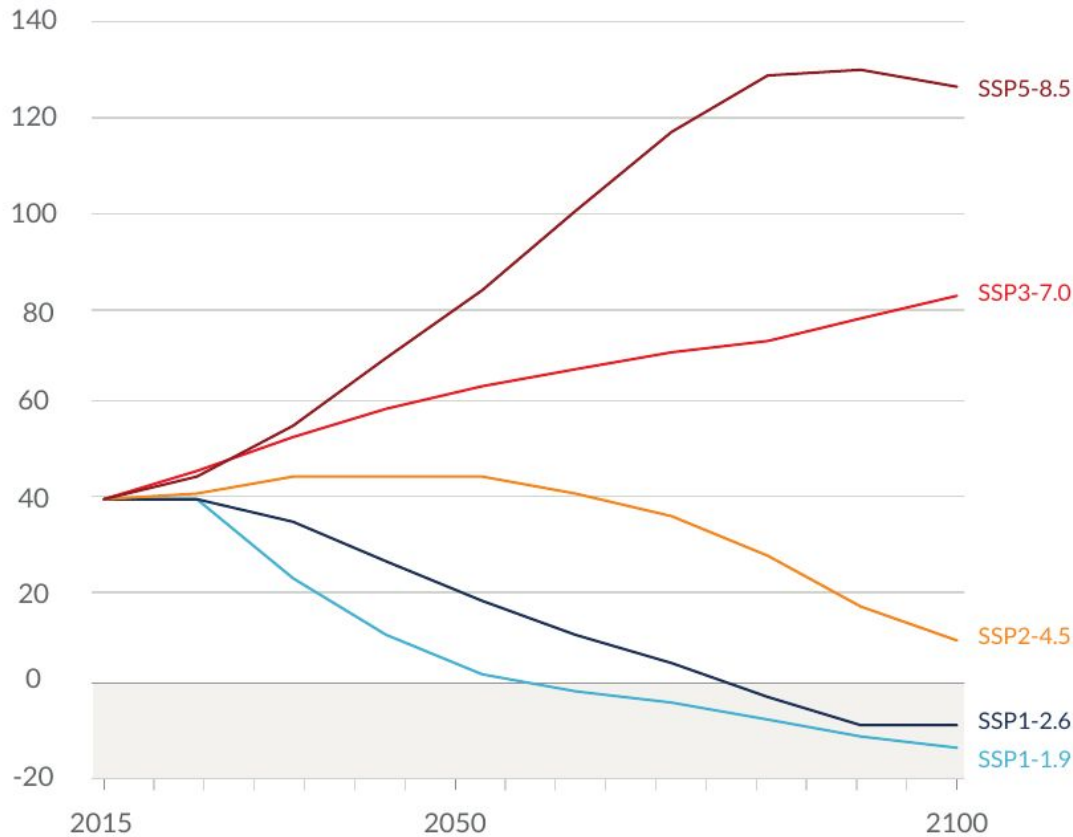


Meinshausen, M., Nicholls, Z. R. J., Lewis, J., Gidden, M. J., Vogel, E., Freund, M., Beyerle, U., Gessner, C., Nauels, A., Bauer, N., Canadell, J. G., Daniel, J. S., John, A., Krummel, P. B., Luderer, G., Meinshausen, N., Montzka, S. A., Rayner, P. J., Reimann, S., Smith, S. J., van den Berg, M., Velders, G. J. M., Vollmer, M. K., and Wang, R. H. J.: The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500, *Geosci. Model Dev.*, 13, 3571–3605, <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>, 2020.

Przyszłe emisje spowodują w przyszłości dodatkowe ocieplenie. Całkowite ocieplenie w przyszłości będzie przede wszystkim efektem dotychczasowych i przyszłych emisji CO₂

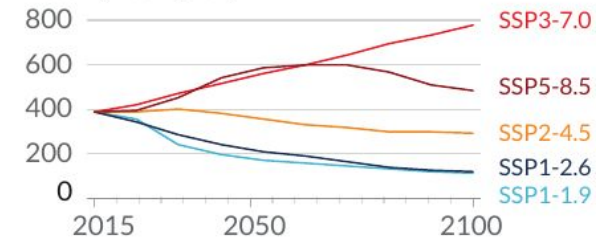
a) Przyszłe roczne emisje CO₂ (po lewej) oraz wybranych istotnych substancji innych niż CO₂ (po prawej) według pięciu przykładowych scenariuszy

Dwutlenek węgla (GtCO₂/rok)

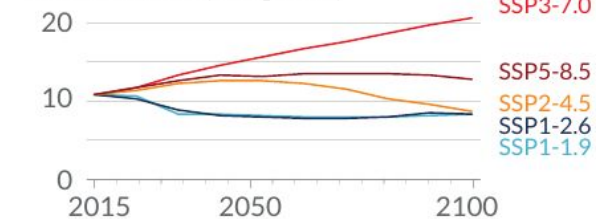


Wybrane gazy cieplarniane inne niż CO₂

Metan (MtCH₄/rok)

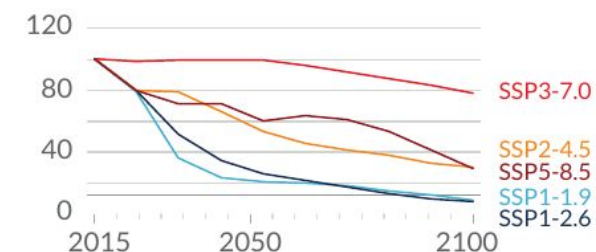


Podtlenek azotu (MtN₂O/rok)



Wybrana substancja zanieczyszczająca powietrze będąca też prekursorem aerozoli

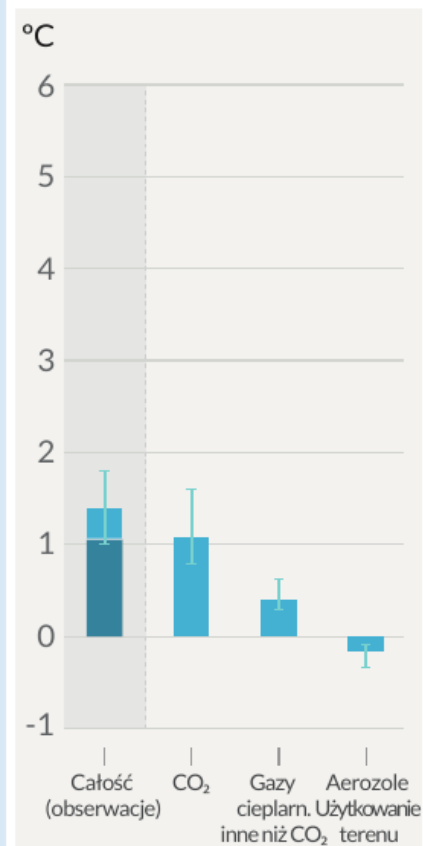
Dwutlenek siarki (MtSO₂/rok)



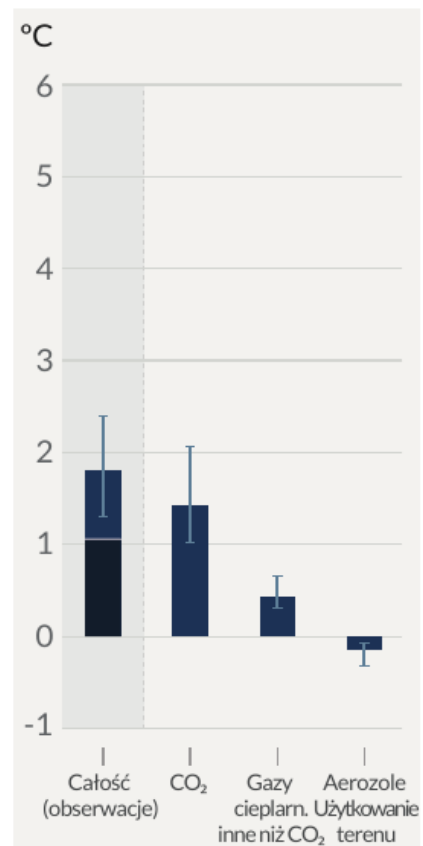
b) Udział emisji różnych substancji, głównie CO₂ we wzroście temperatury Ziemi

Zmiana globalnej temperatury powierzchni w okresie 2081–2100 w stosunku do okresu 1850–1900 (°C)

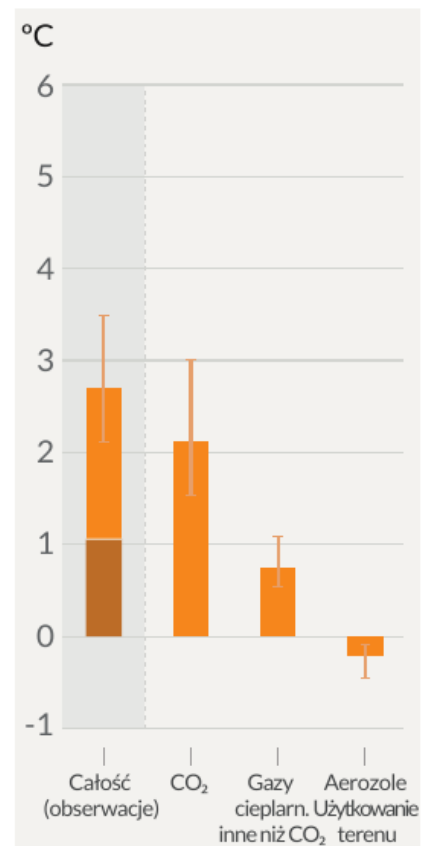
SSP1-1.9



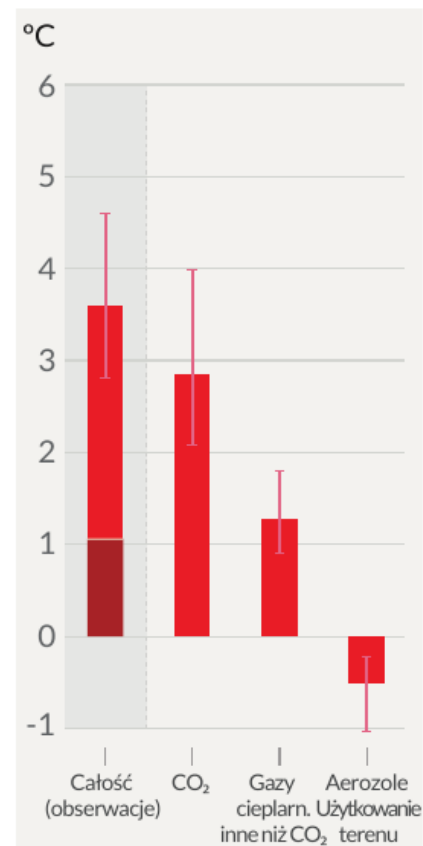
SSP1-2.6



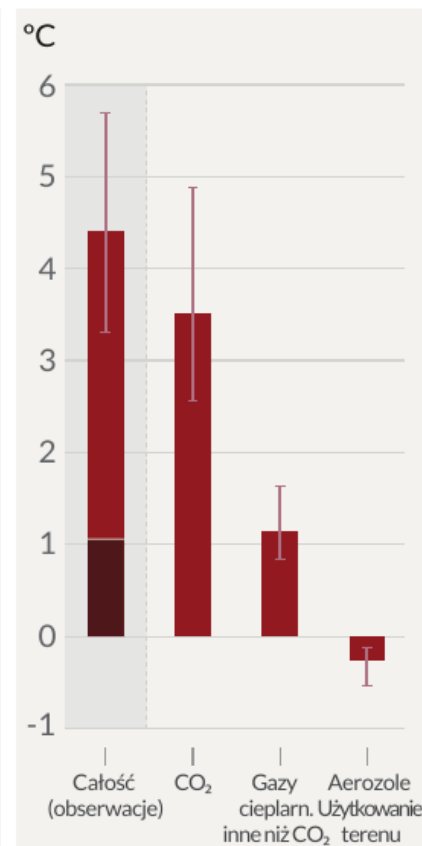
SSP2-4.5



SSP3-7.0



SSP5-8.5



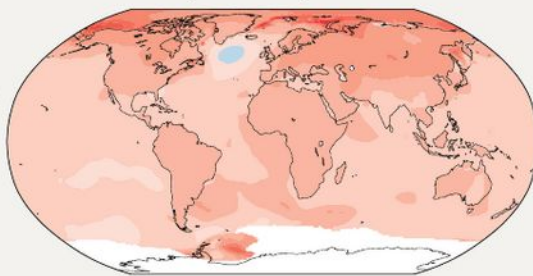
Całkowite ocieplenie (dotychczasowe ocieplenie w ciemniejszym odcieniu), ocieplenie spowodowane CO₂, ocieplenie spowodowane gazami cieplarnianymi innymi niż CO₂ oraz chłodzenie spowodowane zmianami aerozoli i użytkowania terenu

Z każdym wzrostem globalnego ocieplenia regionalne zmiany średnich temperatur, opadów i wilgotności gleby stają się coraz większe

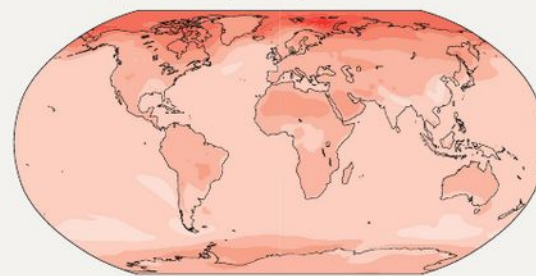
a) Zmiany średniej rocznej temperatury (°C) przy globalnym ociepleniu o 1°C

Ocieplenie o 1°C dotyka wszystkie kontynenty i jest generalnie większe na lądzie niż nad oceanami, co pokazują zarówno obserwacje jak i symulacje. Dla większości regionów obserwacje zgadzają się z wynikami modelowania.

Zmiany dla globalnego ocieplenia o 1°C na podstawie pomiarów



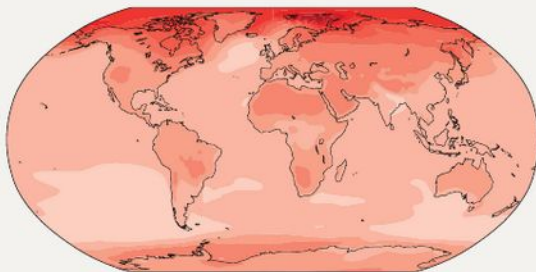
Zmiany dla globalnego ocieplenia o 1°C na podstawie symulacji modelami klimatu



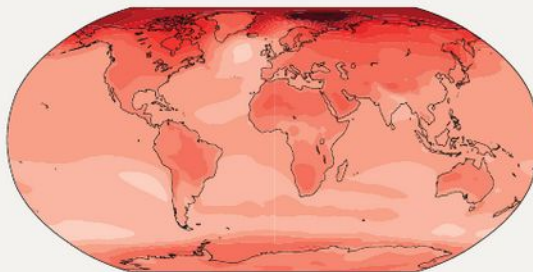
b) Zmiany średniej rocznej temperatury (°C) w stosunku do okresu 1850–1900

Dla wszystkich poziomów ocieplenia lądy ocieplają się szybciej niż oceany, a Arktyka i Antarktyda ocieplają się szybciej niż tropiki.

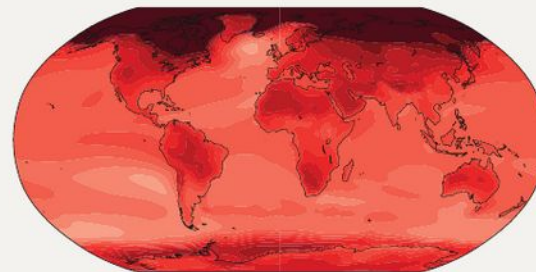
Symulowane zmiany dla globalnego ocieplenia o 1,5°C



Symulowane zmiany dla globalnego ocieplenia o 2°C



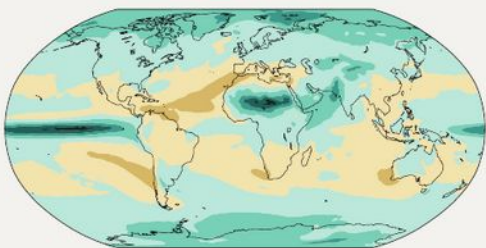
Symulowane zmiany dla globalnego ocieplenia o 4°C



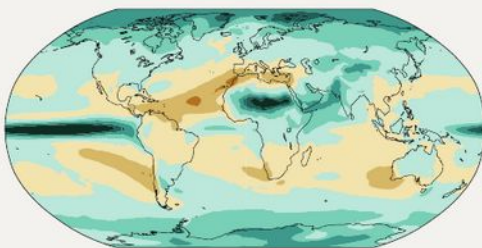
c) Zmiana średnich opadów rocznych (%) w stosunku do okresu 1850-1900

Prognozuje się wzrost opadów w wysokich szerokościach geograficznych, na równikowym Pacyfiku i w części regionów monsunowych, oraz spadek opadów na części obszarów subtropikalnych i na niewielkiej części obszarów tropików.

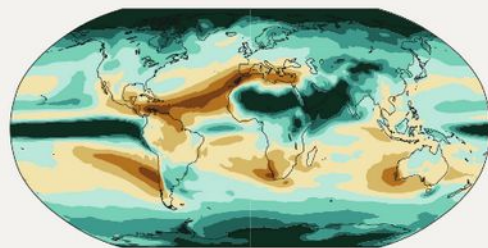
Symulowane zmiany dla globalnego ocieplenia o 1,5°C



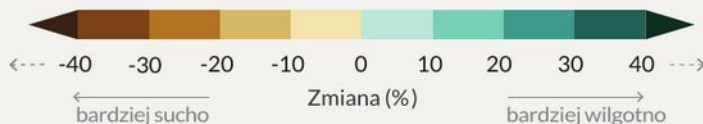
Symulowane zmiany dla globalnego ocieplenia o 2°C



Symulowane zmiany dla globalnego ocieplenia o 4°C



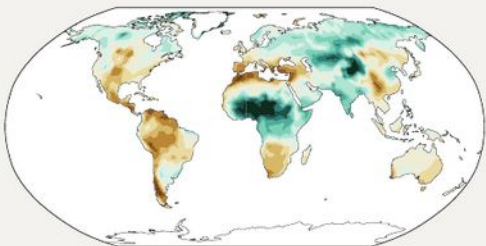
Dla regionów suchych stosunkowo mała zmiana bezwzględna może okazać się dużą zmianą w %.



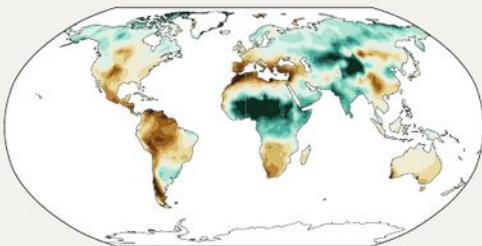
d) Zmiana średniej rocznej wilgotności w całym profilu glebowym (odchylenia standardowe)

Dla wszystkich progów ocieplenia, zmiany wilgotności gleby odzwierciedlają w dużej mierze zmiany w opadach, jednak widoczne są również pewne różnice wynikające z wpływu ewapotranspiracji.

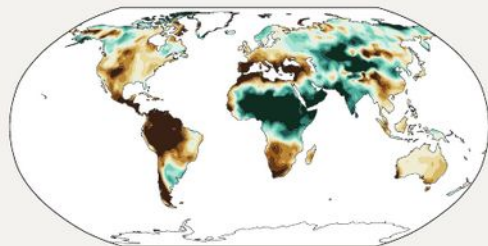
Symulowane zmiany dla globalnego ocieplenia o 1,5°C



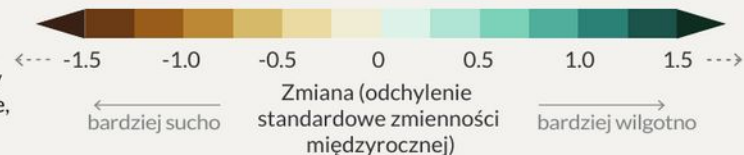
Symulowane zmiany dla globalnego ocieplenia o 2°C

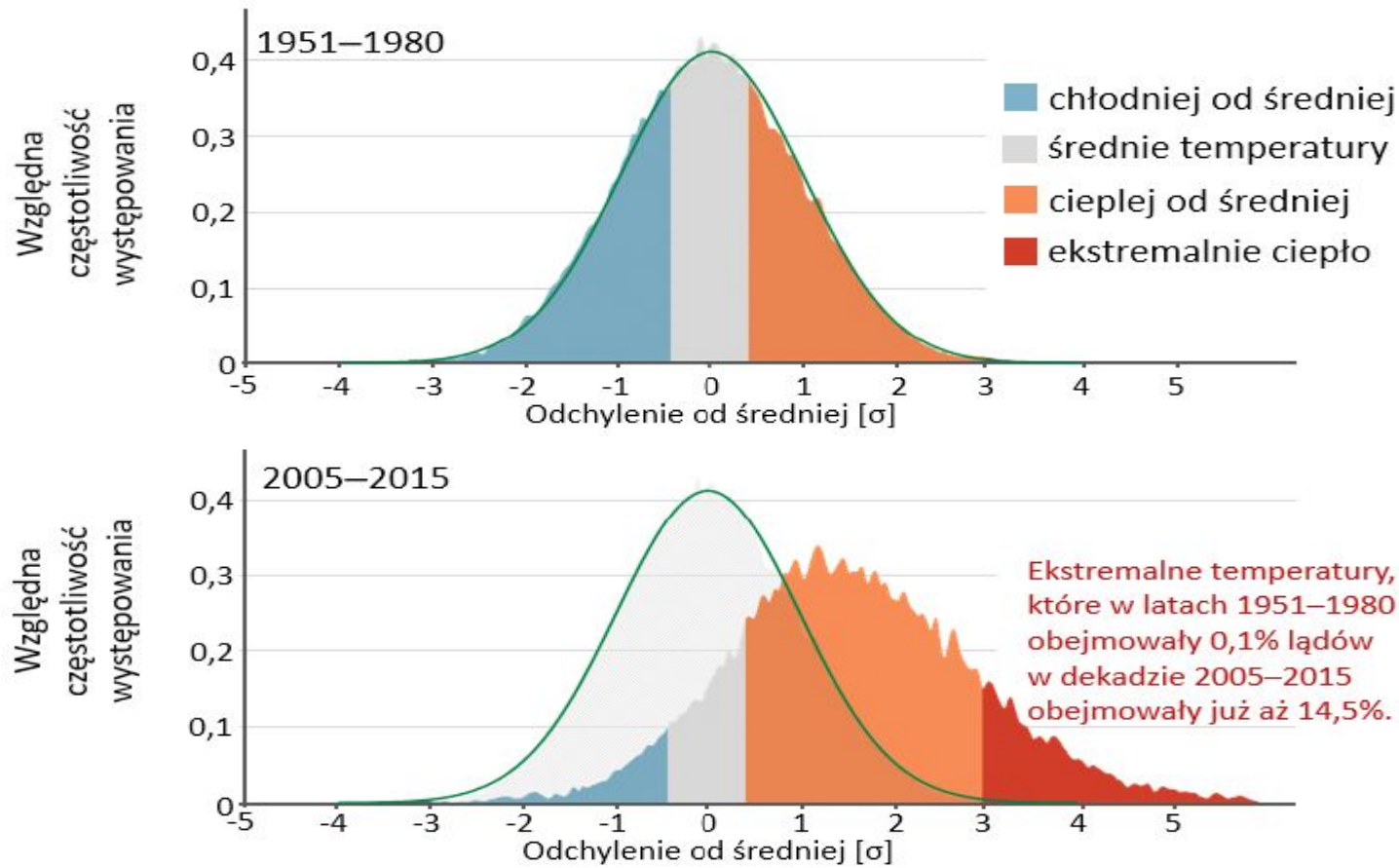


Symulowane zmiany dla globalnego ocieplenia o 4°C



Dla regionów suchych o małej zmienności warunków w poszczególnych latach, stosunkowo małe zmiany bezwzględne mogą jawić się jako duże, jeśli są wyrażone w jednostkach odchylenia standardowego.





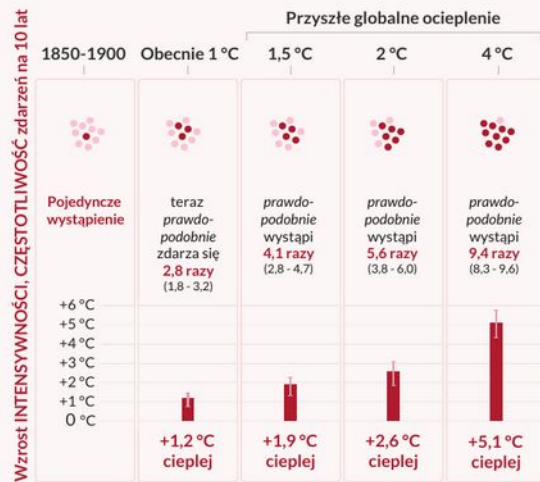
Częstotliwość występowania lokalnych odchyłeń temperatury latem na lądach półkuli północnej względem okresu bazowego 1951–1980 .

Intensywność i częstotliwość prognozowanych zmian w ekstremach rośnie z każdym postępowaniem globalnego ocieplenia

Ekstremna ciepła nad lądami

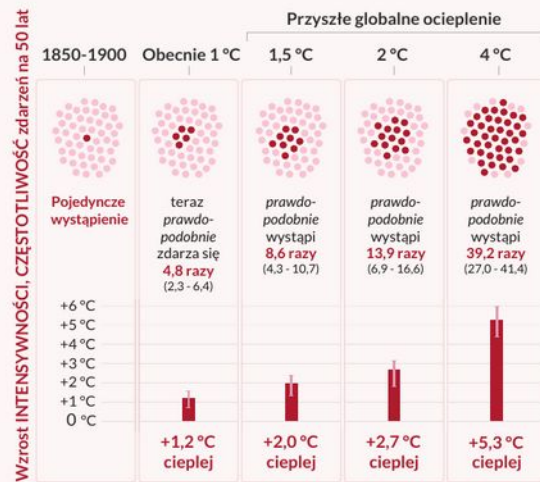
Zdarzenie 10-letnie

Częstotliwość i wzrost intensywności ekstremów ciepła, które w klimacie bez wpływu człowieka występowały średnio raz na 10 lat



Zdarzenie 50-letnie

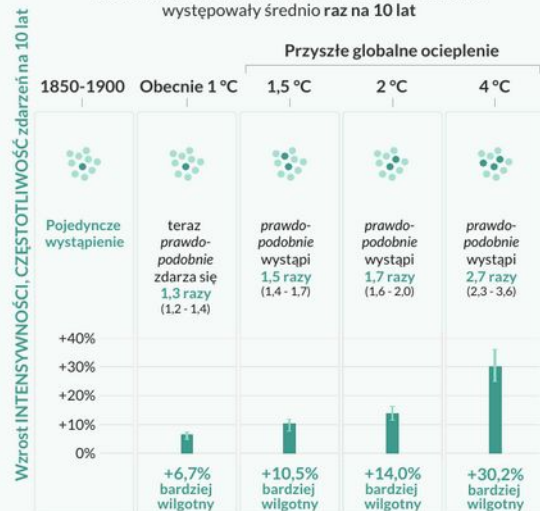
Częstotliwość i wzrost intensywności ekstremów ciepła, które w klimacie bez wpływu człowieka występowały średnio raz na 50 lat



Ekstremna opadów nad lądami

Zdarzenie 10-letnie

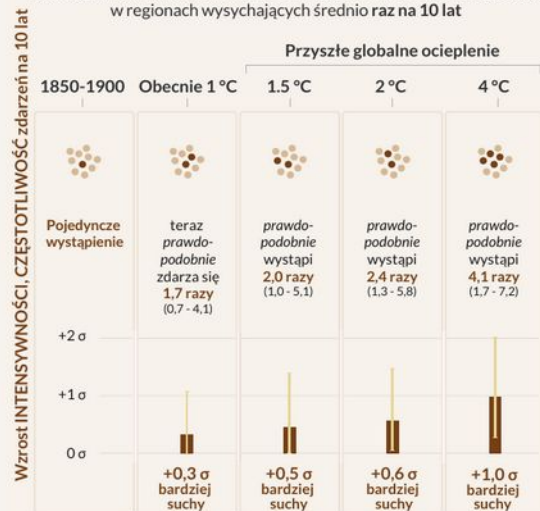
Częstotliwość i wzrost intensywności dobowych ekstremów opadowych, które w klimacie bez wpływu człowieka występowały średnio raz na 10 lat



Susze rolnicze i środowiskowe w wysychających regionach

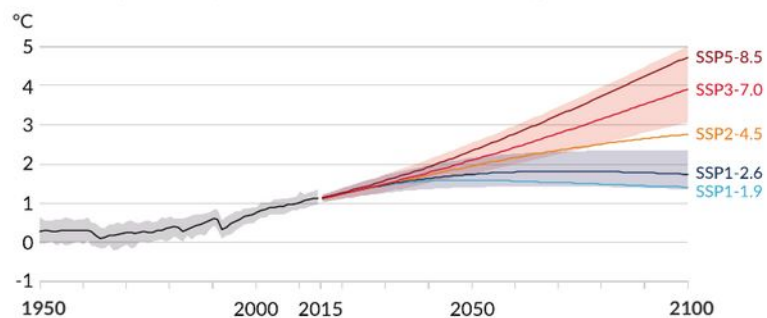
Zdarzenie 10-letnie

Częstość występowania i wzrost intensywności susz rolniczych i hydrologicznych, które w klimacie bez wpływu człowieka występowały w regionach wysychających średnio raz na 10 lat

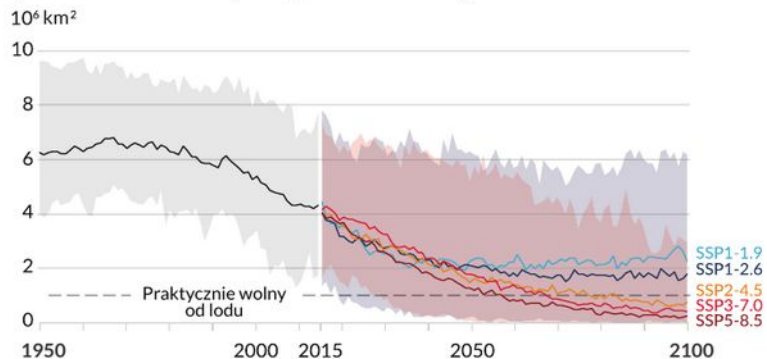


Działalność człowieka wpływa na wszystkie główne składniki systemu klimatycznego, z których niektóre reagują w ciągu dekad, inne zaś w ciągu stuleci

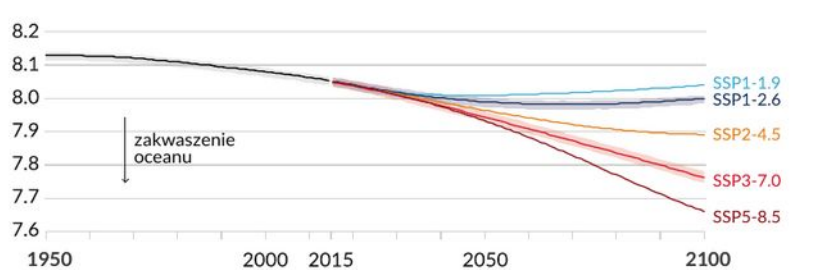
a) Zmiana globalnej temperatury powierzchni względem okresu 1850–1900



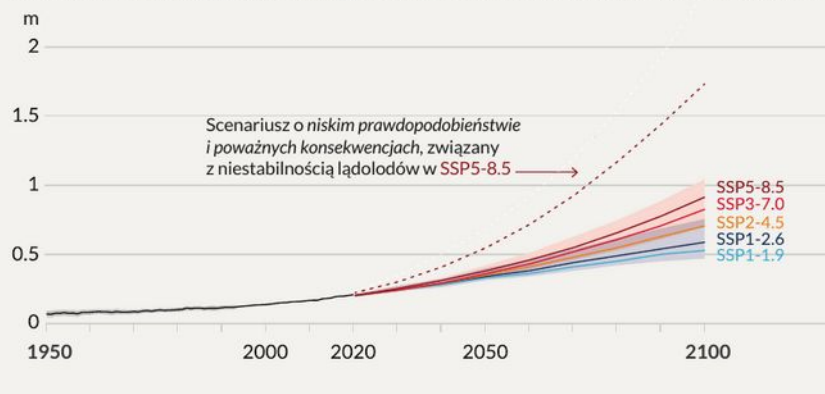
b) Powierzchnia arktycznego lodu morskiego we wrześniu



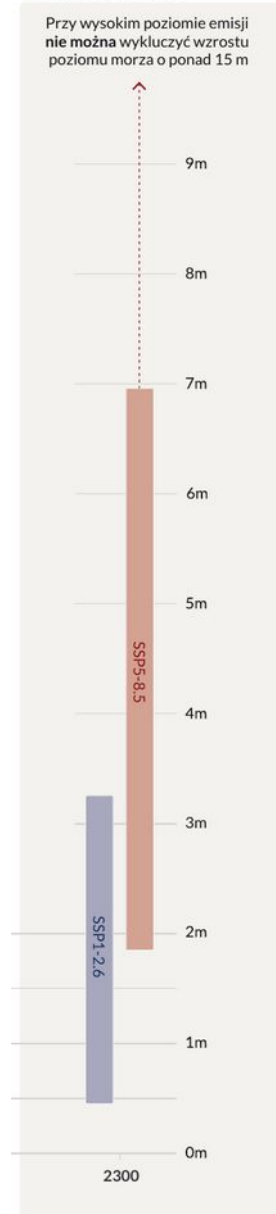
c) pH wód powierzchniowych Wszechocianu (miara zakwaszenia oceanu)



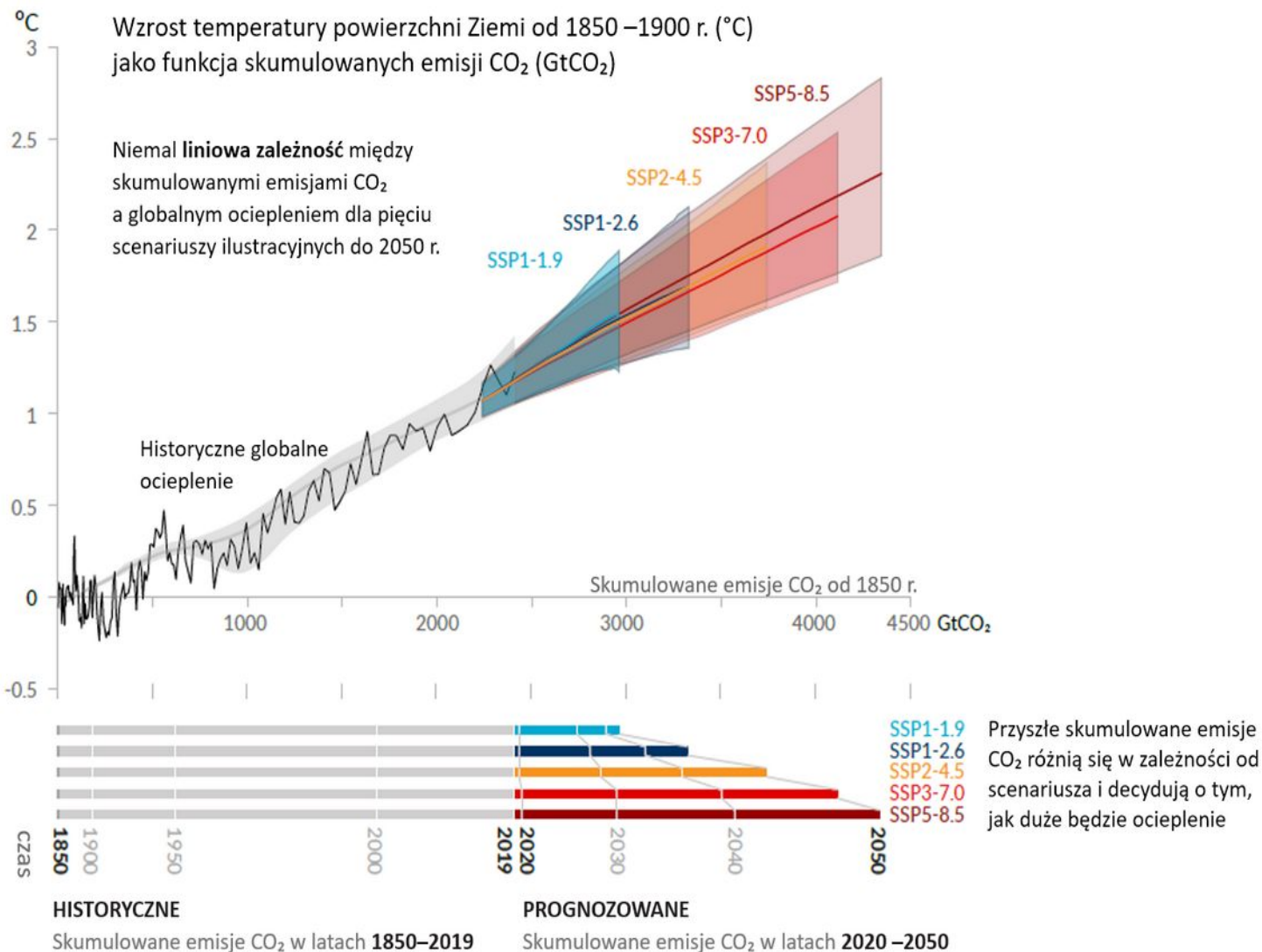
d) Zmiana średniego globalnego poziomu morza w stosunku do roku 1900



e) Zmiana średniego globalnego poziomu morza w 2300 r. względem 1900 r.



Prawie liniowa zależność pomiędzy skumulowaną emisją CO₂ a wzrostem temperatury powierzchni Ziemi.

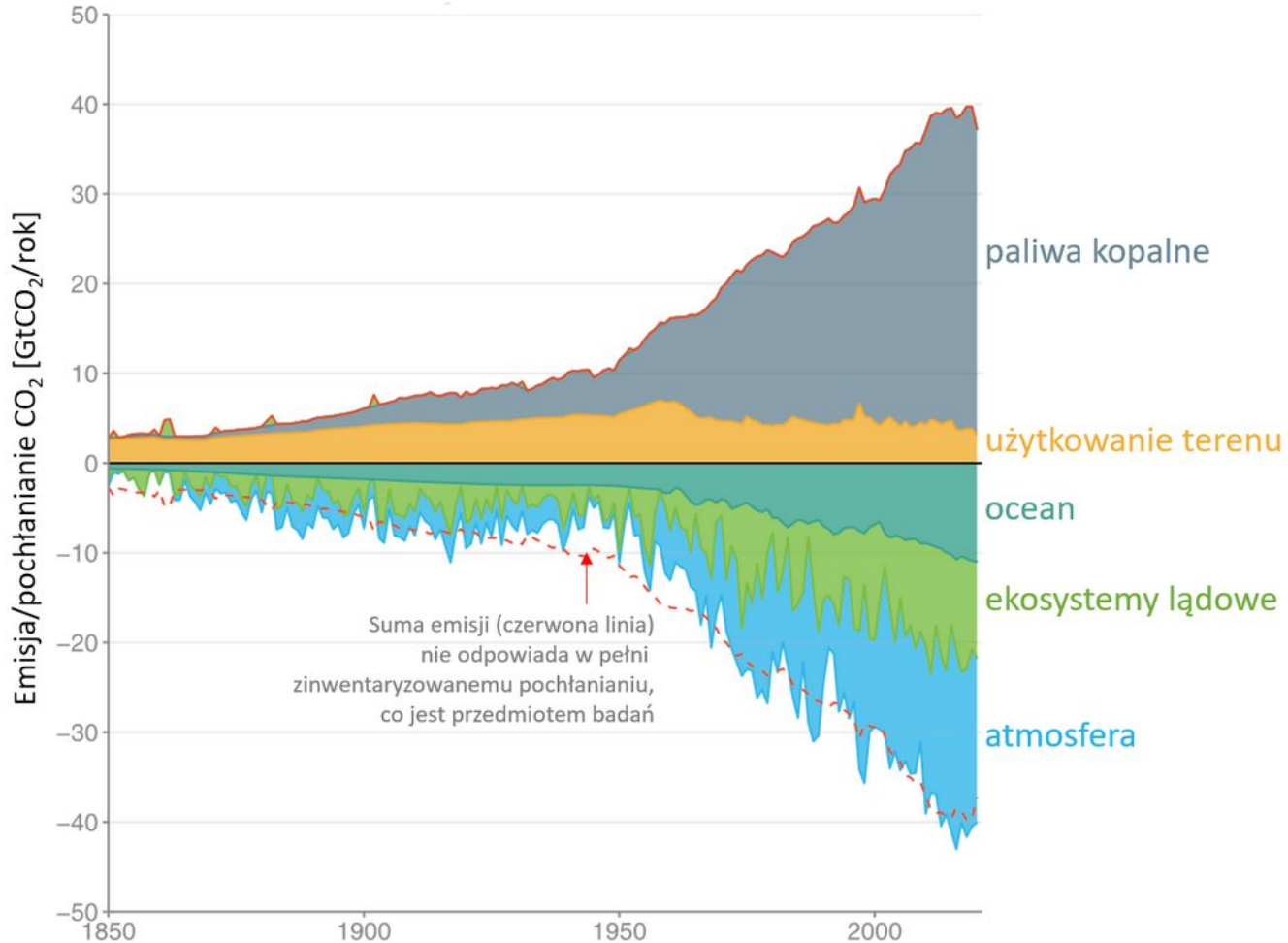


Panel górny:
Dane historyczne (cienka czarna linia) - obserwowany wzrost globalnej temperatury powierzchni w °C od 1850 – 1900 w funkcji historycznych skumulowanych emisji dwutlenku węgla (CO₂) od 1850 do 2019 roku wyrażonych w GtCO₂. Szary zakres ze środkową linią - oszacowanie historycznego ocieplenia. Kolorowe obszary - bardzo prawdopodobny (95%) zakres prognoz temperatury, grube kolorowe linie środkowe - mediana szacunków.

Panel dolny:
Historyczne i prognozowane skumulowane emisje CO₂ w GtCO₂ dla odpowiednich scenariuszy.

Global carbon budget

Bilans emisji i pochłaniania CO₂



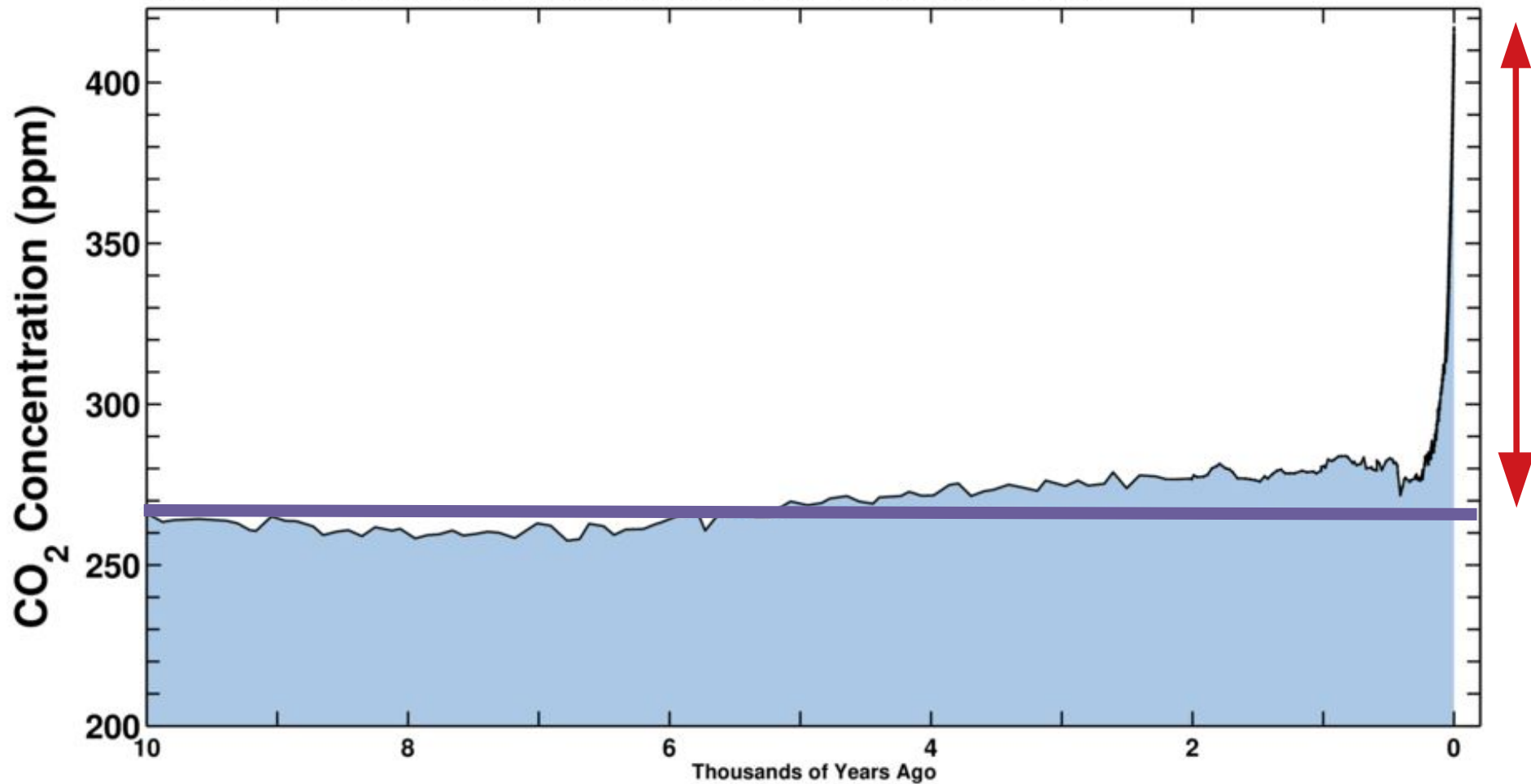
$$1 \text{ Gt CO}_2 = 0.2725 \text{ Gt C}$$

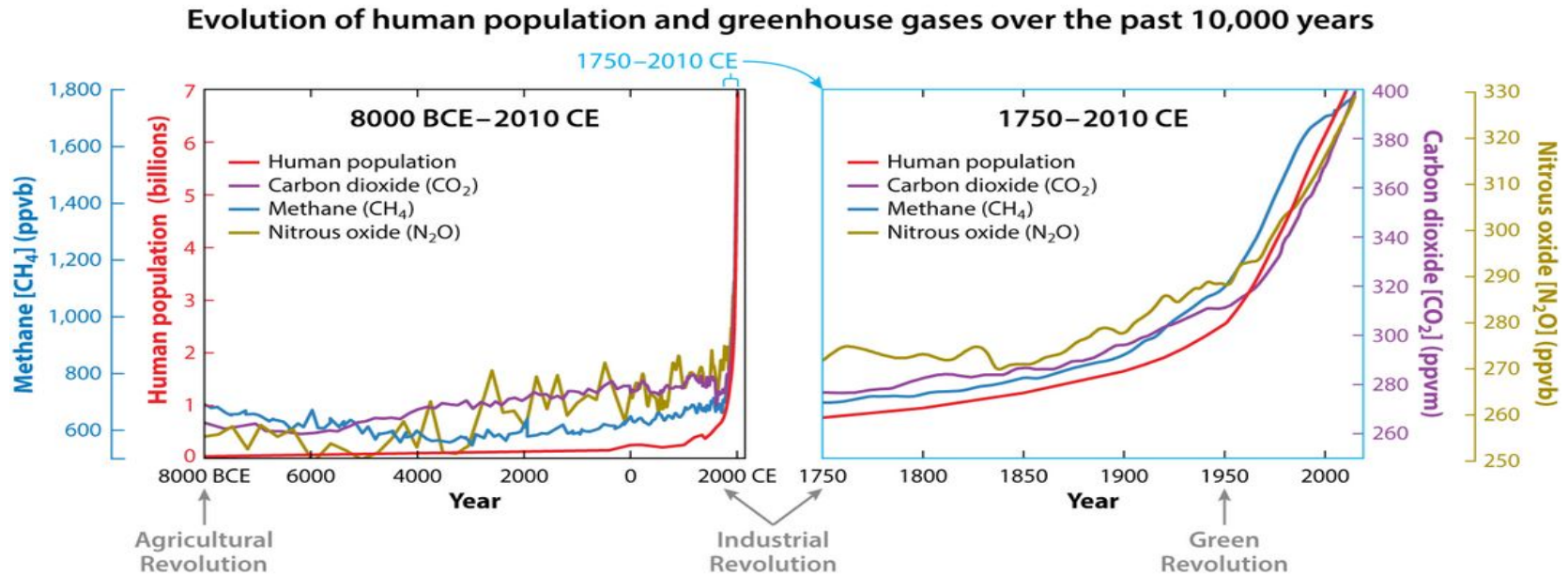


Od kiedy wymuszenie ?

March 24, 2021

Ice-core data before 1958. Mauna Loa data after 1958.





The abrupt and simultaneous upward trajectories of human population and greenhouse gases after the start of the Industrial Revolution (~1750), and the distinct acceleration after the start of the Green Revolution (~1950), show that the Human System has become the primary driver of these gases and the changes in the Earth System.

Adapted from Fu & Li (2016), CC-BY, <https://doi.org/10.1093/nsr/nww094>.

Nie tylko temperatura - raport IPBES na temat bioróżnorodności:

DRIVERS

INDIRECT DRIVERS

Values and behaviours

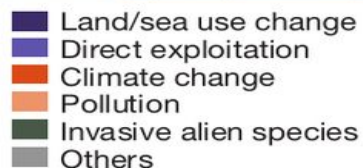
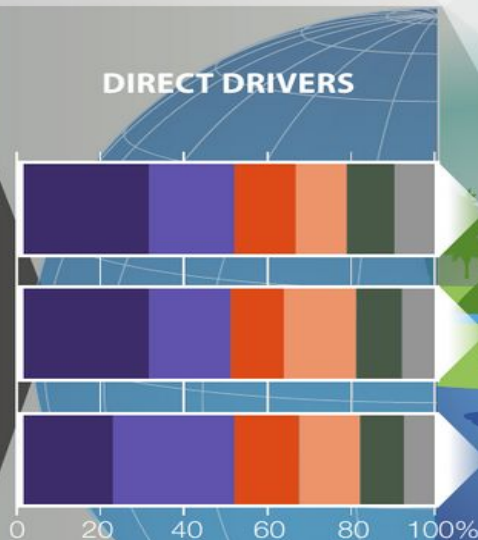
Demographic and sociocultural

Economic and technological

Institutions and governance

Conflicts and epidemics

DIRECT DRIVERS



EXAMPLES OF DECLINES IN NATURE

ECOSYSTEM EXTENT AND CONDITION

47%

Natural ecosystems have **declined by 47 per cent** on average, relative to their earliest estimated states.

SPECIES EXTINCTION RISK

25%

Approximately **25 per cent of species are already threatened with extinction** in most animal and plant groups studied.

ECOLOGICAL COMMUNITIES

23%

Biotic integrity—the abundance of naturally-present species—has **declined by 23 per cent** on average in terrestrial communities.*

BIOMASS AND SPECIES ABUNDANCE

82%

The global biomass of wild mammals has **fallen by 82 per cent.*** Indicators of vertebrate abundance have declined rapidly since 1970

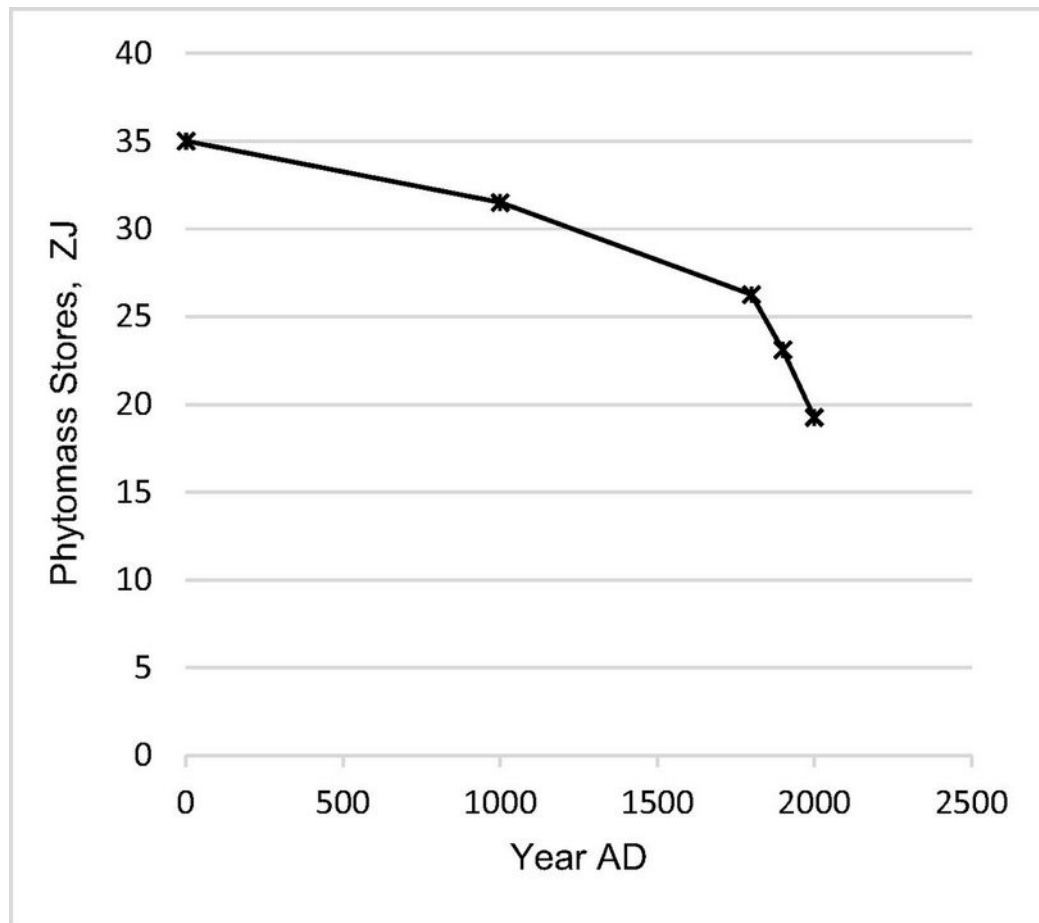
NATURE FOR INDIGENOUS PEOPLES AND LOCAL COMMUNITIES

72%

72 per cent of indicators developed by indigenous peoples and local communities show **ongoing deterioration** of elements of nature important to them

* Since prehistory

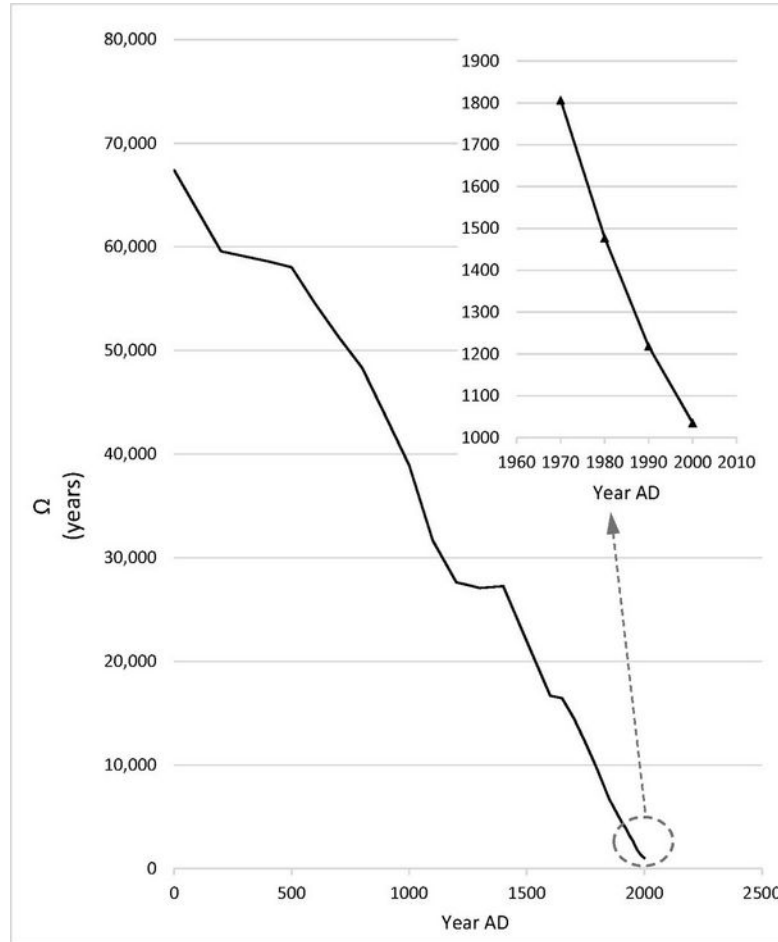
Spadek biomasy (brązowe pole z wykresu z budżetem węgla)).

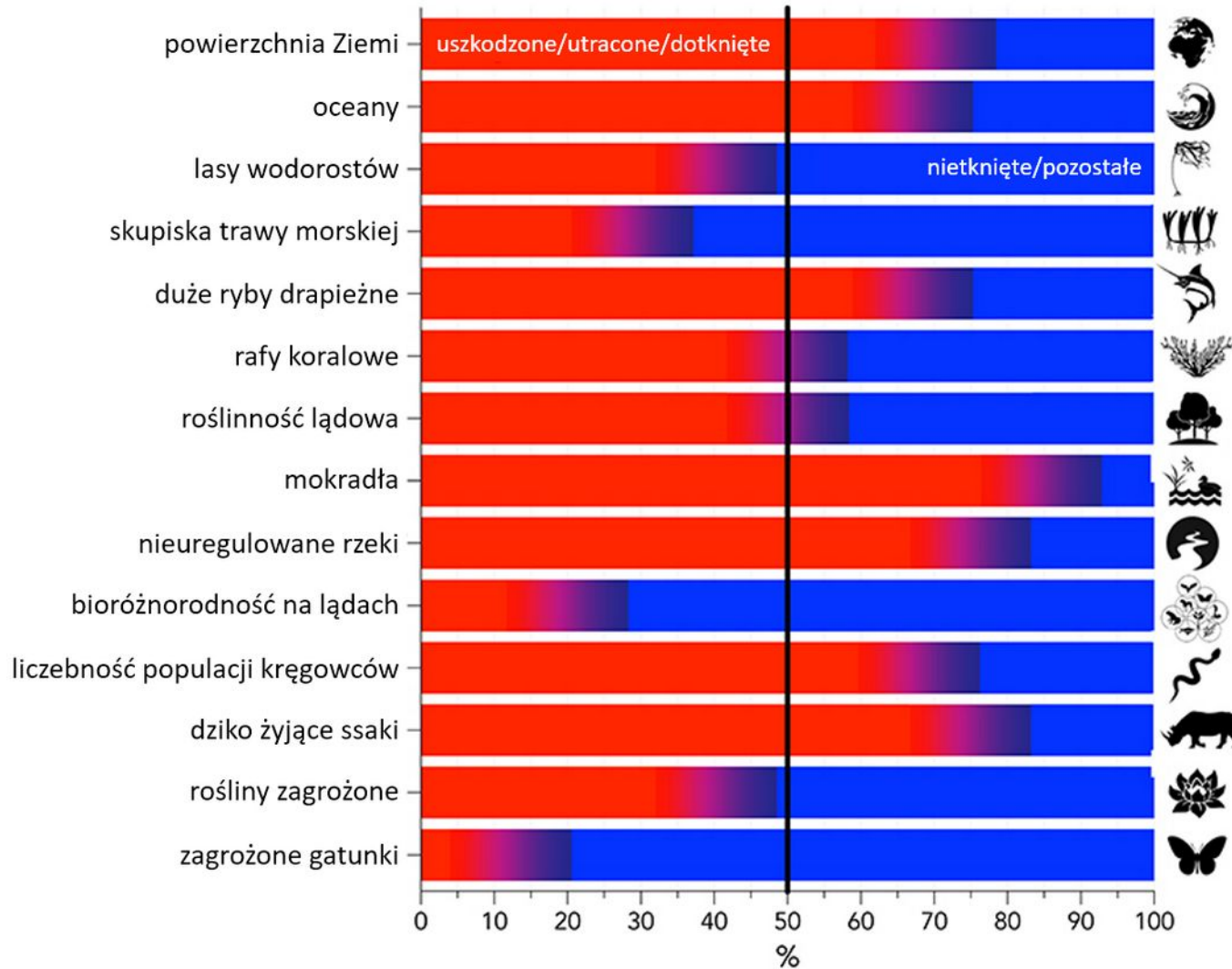


Maksymalna liczba lat na które przy stanie populacji i biomasy z danego roku wystarczyłyby zasoby masy roślinnej, gdyby całe służyły jedynie żywieniu populacji.

$$\Omega = \frac{P}{BN}$$

P - energia chemiczna w biomasie
 B - populacja
 N - zapotrzebowanie metaboliczne pojedynczego człowieka w ciągu roku



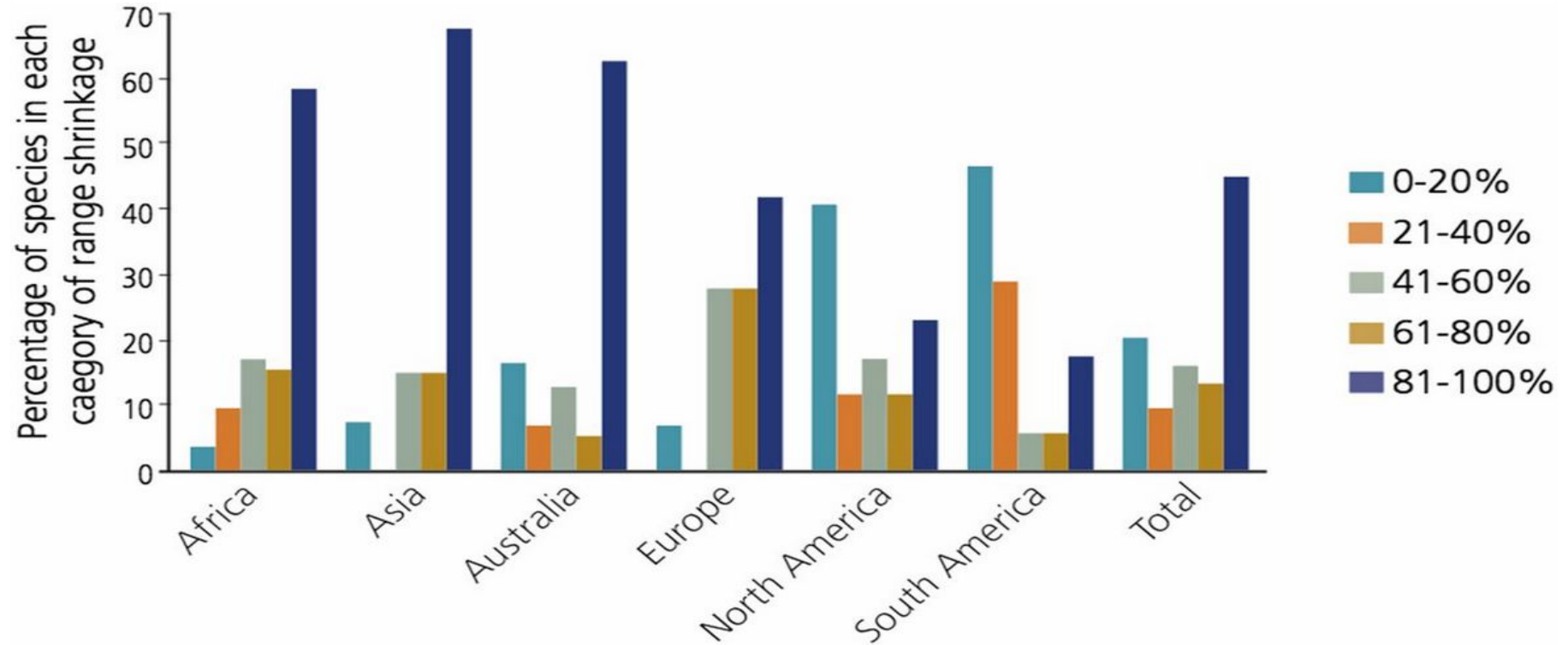


Underestimating the Challenges of Avoiding a Ghastly Future

Corey J. A. Bradshaw^{1,2*}, Paul R. Ehrlich^{3*}, Andrew Beattie⁴, Gerardo Ceballos⁵, Eileen Crist⁶, Joan Diamond⁷, Rodolfo Dirzo⁸, Anne H. Ehrlich⁹, John Harte¹⁰, Mary Ellen Harte¹¹, Graham Pyke¹², Peter H. Raven¹³, William J. Ripple¹⁴, Frédéric Saltré^{1,2}, Christine Turnbull¹⁵, Mathis Wackernagel¹⁶ and Daniel T. Blumstein^{13,14*}

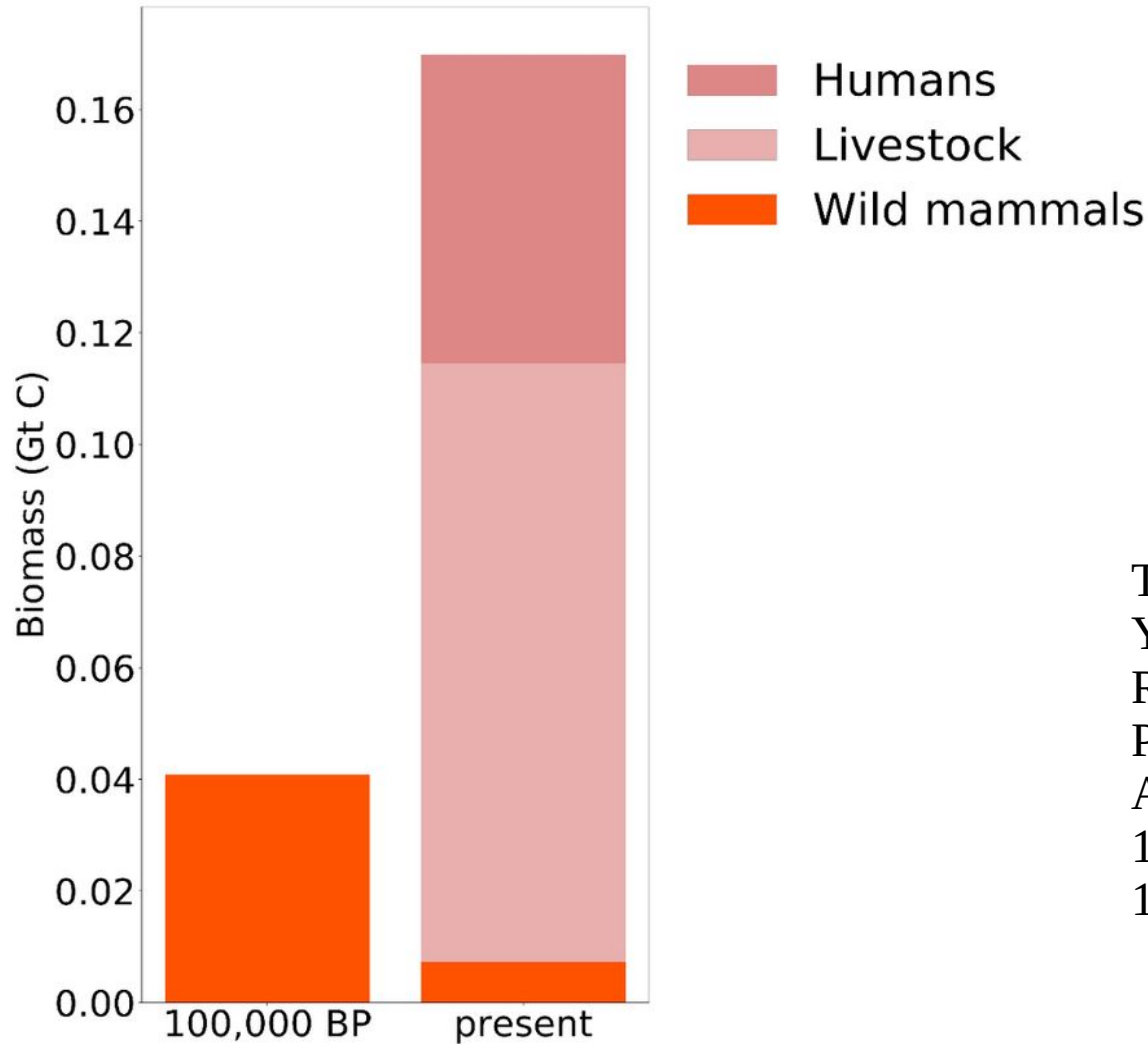
Podsumowanie wpływu ludzkości na wybrane elementy biosfery. Kolor niebieski oznacza ułamek (procent) niedotknięty/niezniszczony przez działalność człowieka, czerwony – zniszczony lub zaburzony.

Redukcja populacji gatunków ssaków lądowych w skali 5 kontynentów i globu w okresie 1900–2015. Słupki sumują się do 100%



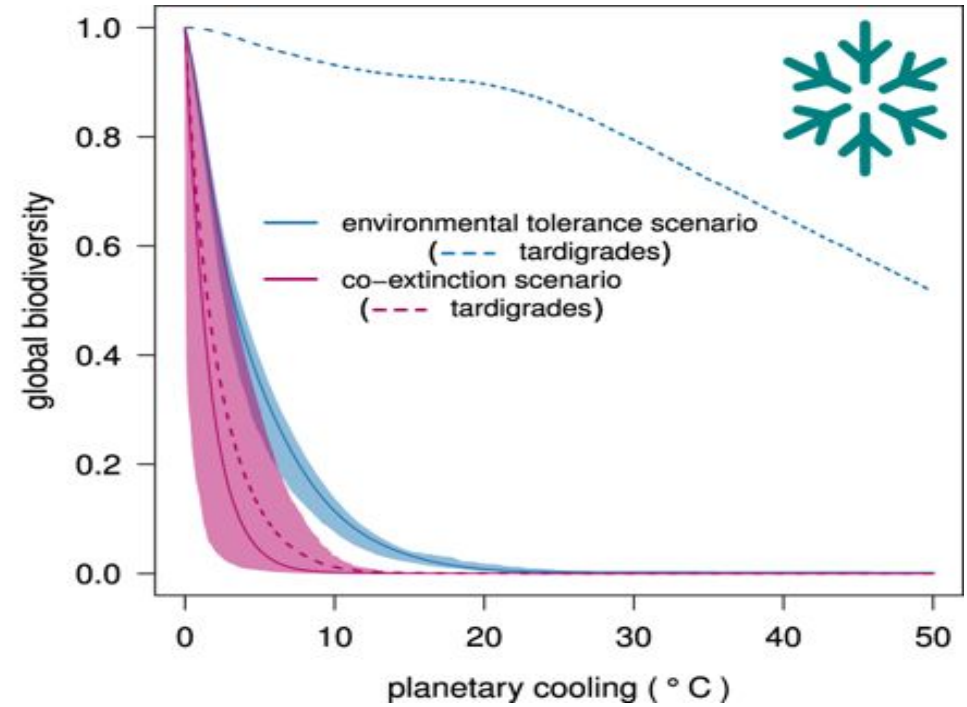
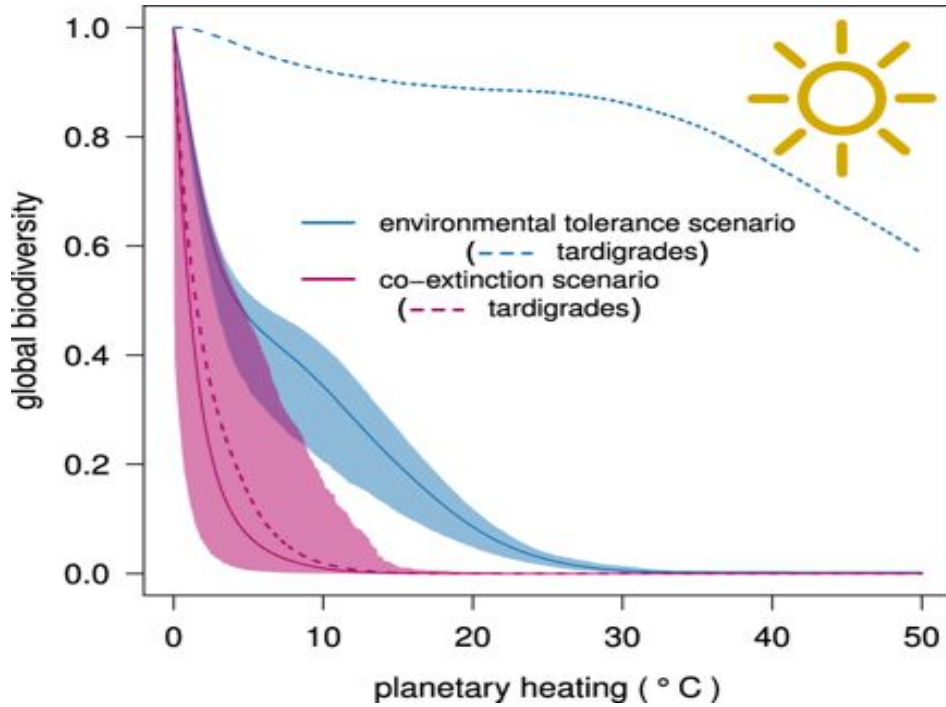
Gerardo Ceballos et al. 13

PNAS



The biomass distribution on Earth
Yinon M. Bar-On, Rob Phillips,
Ron Milo
Proceedings of the National
Academy of Sciences Jun 2018,
115 (25) 6506-6511; DOI:
10.1073/pnas.1711842115

Fig. S5. The impact of human civilization on the biomass of mammals. The biomass of wild mammals, livestock (dominated by cattle) and humans before human civilization and at present. Values are based on estimates presented in detail in the relevant sections for humans and livestock, wild mammals and pre-human biomass.



Co-extinctions reduce the robustness of planetary life to catastrophe. Response of global diversity to environmental change: progressive, monotonic increase ('planetary heating'; left panel) or decrease ('planetary cooling'; right panel) trajectories in local temperature. Species either go extinct based only on their tolerance to environmental conditions ('environmental tolerance' scenarios = blue curves), or where species go extinct not only when unable to cope with changed environmental conditions, but also following the depletion of their essential resources ('co-extinction' scenarios = magenta curves)



„Przedstawiamy trzy główne kwestie środowiskowe przed którymi stoimy, którym poświęcono niewiele uwagi, a które wymagają pilnych działań:

Underestimating the Challenges of Avoiding a Ghastly Future

Corey J. A. Bradshaw^{1,2*}, Paul R. Ehrlich^{2*}, Andrew Beattie⁴, Gerardo Ceballos⁵, Eileen Crist⁶, Joan Diamond⁷, Rodolfo Dirzo⁸, Anne H. Ehrlich⁹, John Harte^{6,8}, Mary Ellen Harte⁸, Graham Pyke⁴, Peter H. Raven¹⁰, William J. Ripple¹¹, Frédéric Saltré^{1,2}, Christine Turnbull⁴, Mathis Wackernagel¹² and Daniel T. Blumstein^{13,14*}

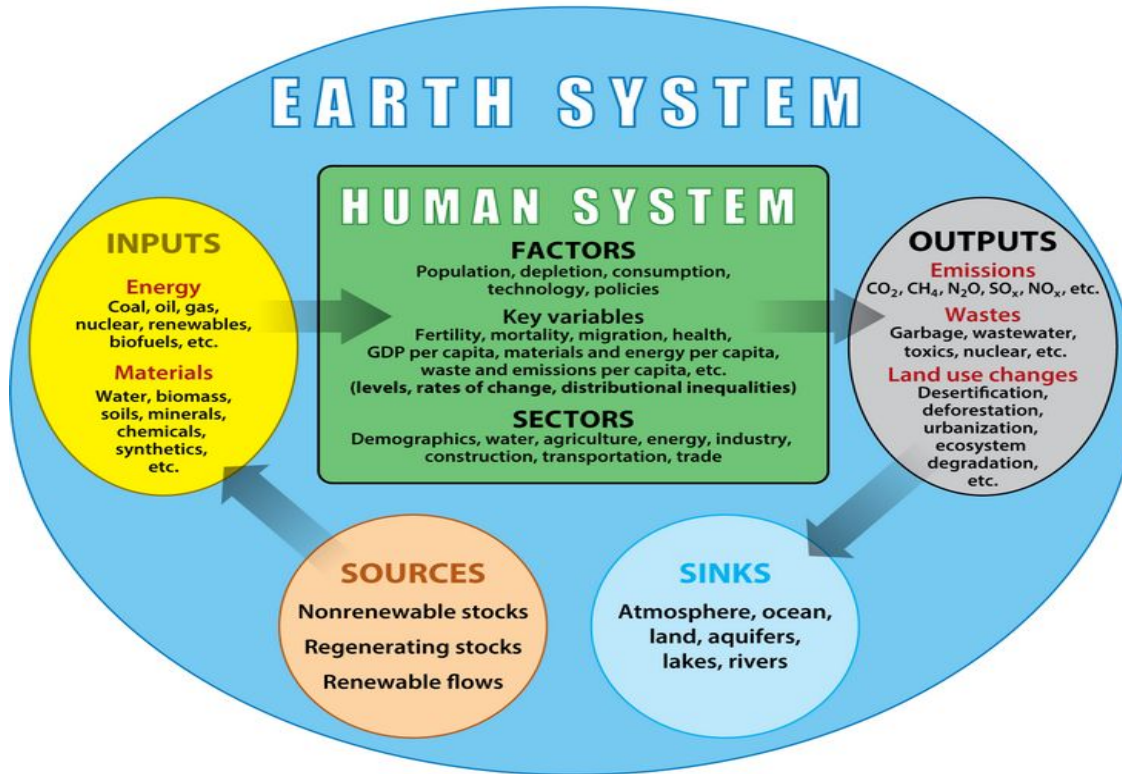
1) dowodzimy, że przyszłe warunki środowiskowe będą o wiele bardziej niebezpieczne niż się obecnie uważa, skala zagrożeń ... jest w rzeczywistości tak wielka, że trudno ją ogarnąć nawet dobrze poinformowanym ekspertom;

2) pytamy, jaki system polityczny lub ekonomiczny, czy też przywództwo jest przygotowane do stawienia czoła przewidywanym katastrofom, i zdolne do podjęcia odpowiednich działań;

3) stwierdzamy, że ta dramatyczna sytuacja nakłada na naukowców niezwykłą odpowiedzialność za szczere i precyzyjne wypowiedanie się w kontaktach z rządem, biznesem i opinią publiczną.

Zwracamy szczególną uwagę na brak zrozumienia ogromnych wyzwań związanych z zapewnieniem zrównoważonej przyszłości. Narastające obciążenia dla zdrowia, bogactwa i dobrobytu będą przewrotnie zmniejszać naszą polityczną zdolność do łagodzenia erozji usług ekosystemowych, od których zależy społeczeństwo. Wiedza naukowa leżąca u podstaw tych kwestii jest bogata, ale świadomość jej jest słaba. Bez pełnego docenienia i rozpowszechnienia informacji o skali problemów i ogromu wymaganych rozwiązań, społeczeństwo nie zdoła osiągnąć nawet skromnych celów zrównoważonego rozwoju.”

Human System – Earth System relationship

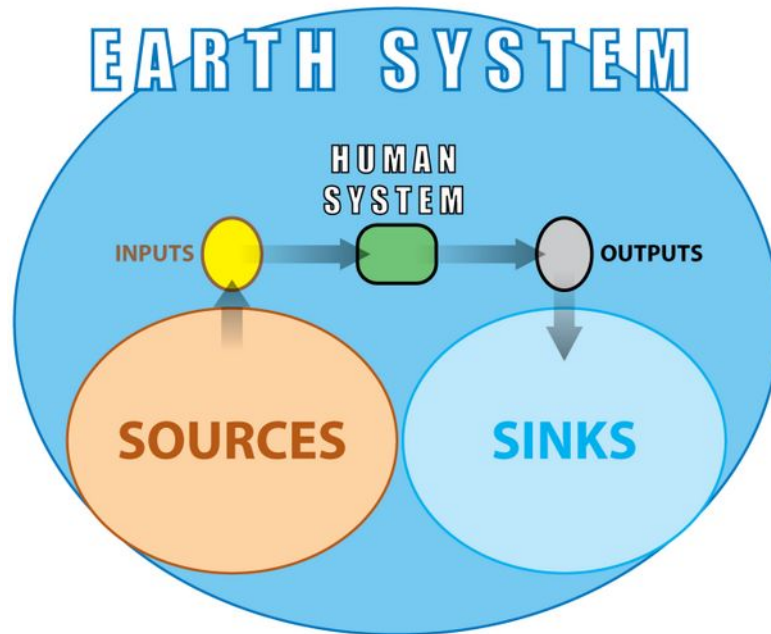


The Human System is within the Earth System: The Earth System provides the sources of the inputs to, and the sinks that absorb the outputs of, the Human System. However, current models are not bidirectionally coupled. Adapted from Motescharrei et al. (2016), CC-BY, <https://doi.org/10.1093/nsr/nww081>.

 Mote S, et al. 2020.
Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 48:657–83

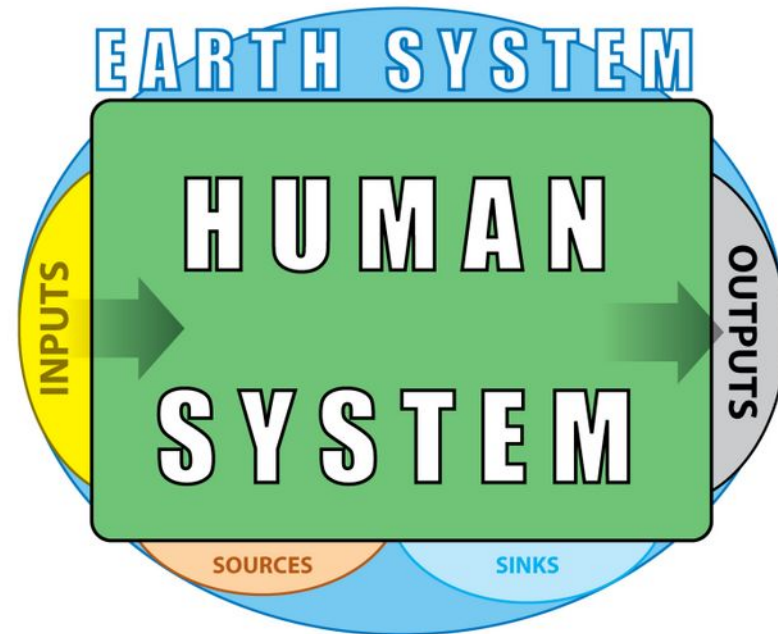
The past: “Empty World” → The present: “Full World”

When the Human System was small relative to the Earth System, the two could be modeled separately.



Capacity of Earth System sources was large relative to Human System inputs. Human System outputs were small relative to absorption capacity of Earth System sinks.

The Human System has grown so large that both must now be modeled coupled to each other.



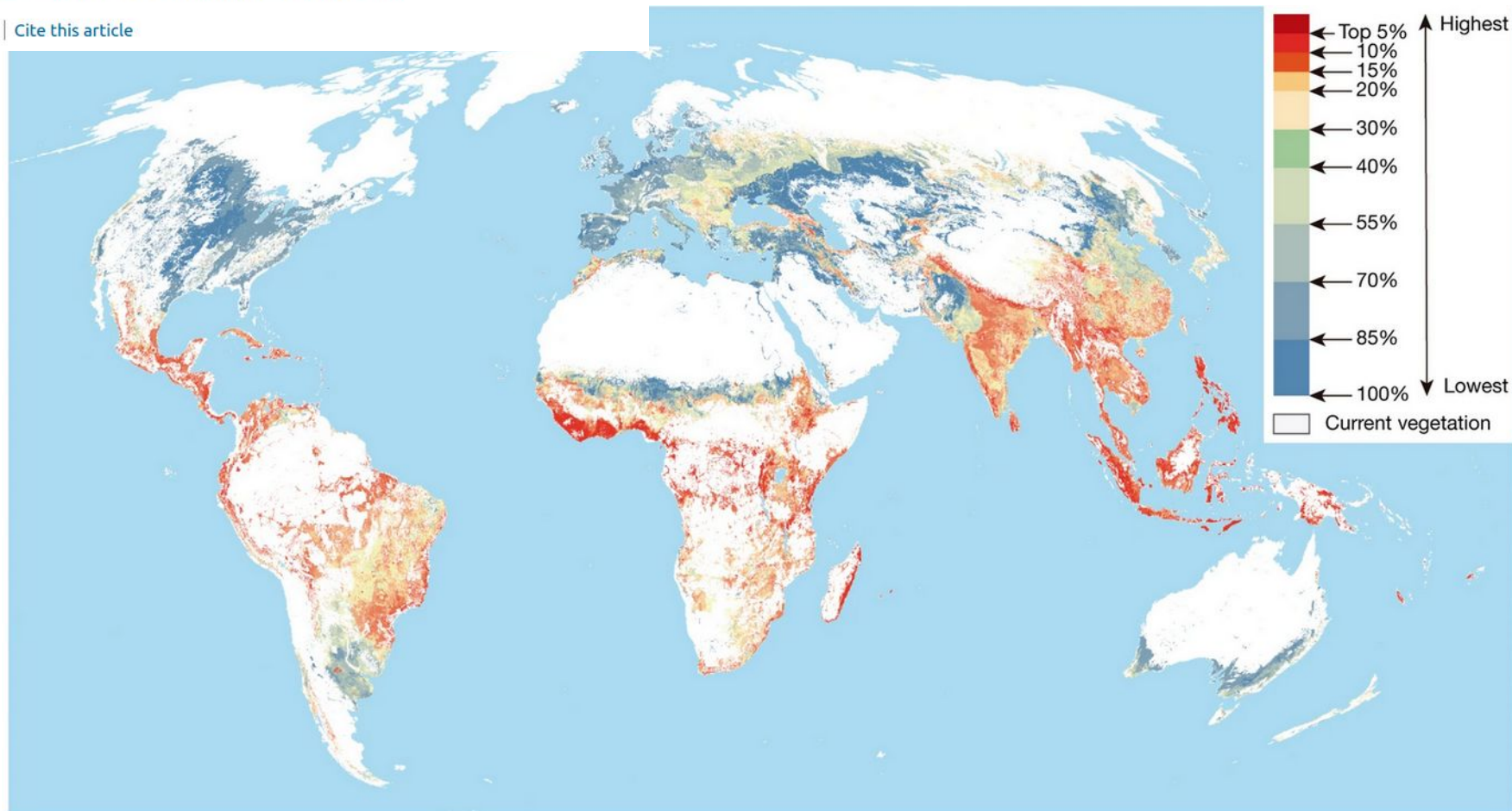
Now, Human System inputs and outputs are so large relative to the Earth System, they threaten to deplete its sources and overwhelm its sinks.

Adapted from Motescharrei et al. (2016), CC-BY, <https://doi.org/10.1093/nsr/nww081>.

Global priority areas for ecosystem restoration

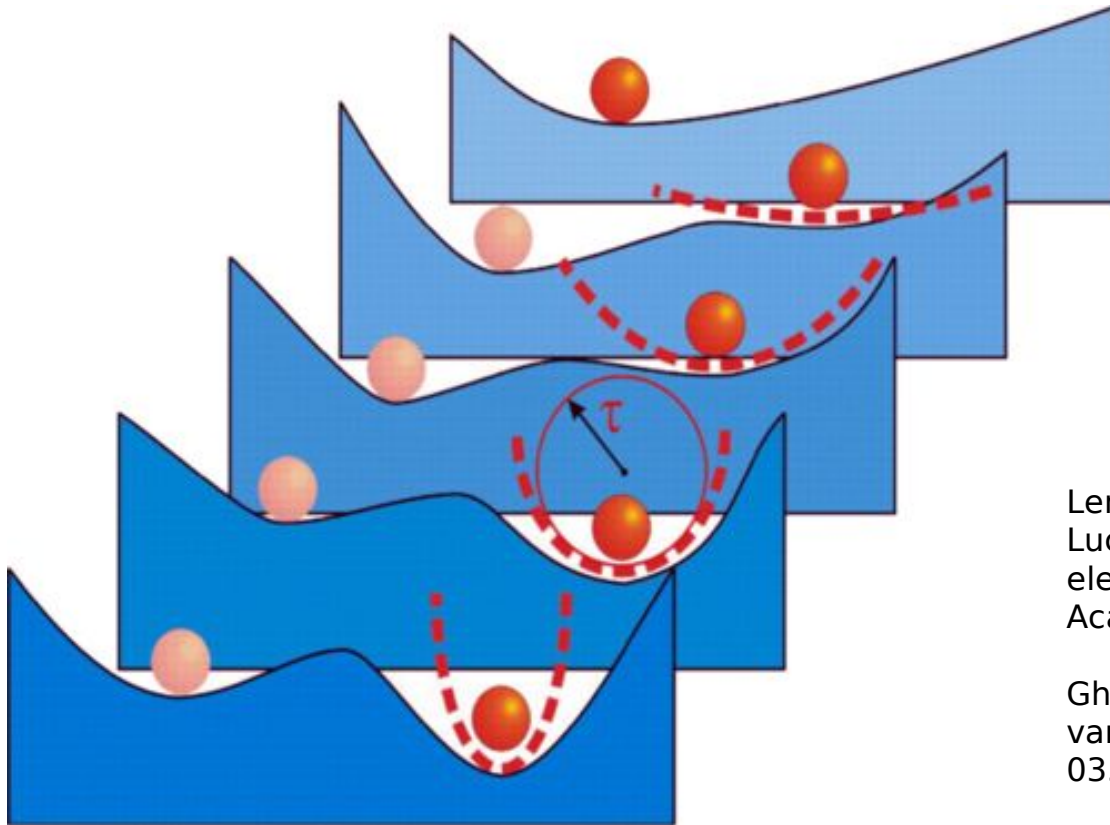
Bernardo B. N. Strassburg , Alvaro Iribarrem, [...] Piero Visconti

Nature (2020) | [Cite this article](#)



Priorytety przywracania i zachowania bioróżnorodności

W razie przekroczenia punktów krytycznych może wystąpić kaskada efektów prowadząca do gwałtownych zmian podobnych do przejść fazowych .



Lenton, T. M., H. Held, E. Kriegler, J. W. Hall, W. Lucht, S. Rahmstorf, and H. J. Schellnhuber, Tipping elements in the Earth's climate system, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 105, 1786-1793 (2008).

Ghil, M., V. Lucarini, The physics of climate variability and climate change, Rev. Mod. Phys. 92, 035002 (2020).

Punkt krytyczny w ziemskim systemie klimatycznym – wartość lub szybkość zmiany wartości (próg) przekroczenie której może prowadzić do znaczącej zmiany klimatu, która może być nieodwracalna. Występujące w systemie dodatnie sprzężenie zwrotne może prowadzić do przyspieszenia, nieodwracalnych zmian systemu. Potencjalne punkty krytyczne zidentyfikowano zarówno w geofizycznych częściach systemu klimatycznego, jak i w dotkniętych zmianami ekosystemach.

Przykładowo, naturalne cykliczne zmiany orbity Ziemi inicjują sprzężenia zwrotne cyklu węglowego, które prowadzą do przejść między epoką lodowcową i międzylodowcową. Geologiczny zapis temperatury Ziemi notuje wiele przykładów szybkich przejść pomiędzy różnymi stanami klimatycznymi.

Punkty krytyczne są szczególnie istotne w odniesieniu do obaw związanych z globalnym ociepleniem. Potencjalne skutki uruchomienia sprzężeń zwrotnych są modelowane a modele weryfikowane na podstawie zachowań ziemskiego systemu klimatycznego w przeszłości. Zainicjowane przez działalność ludzką zmiany naturalnego obiegu węgla i ziemskiego albedo mogą skutkować lawinowym przekraczaniem kolejnych punktów krytycznych, co doprowadzi planetę do cieplarnianego stanu klimatycznego.

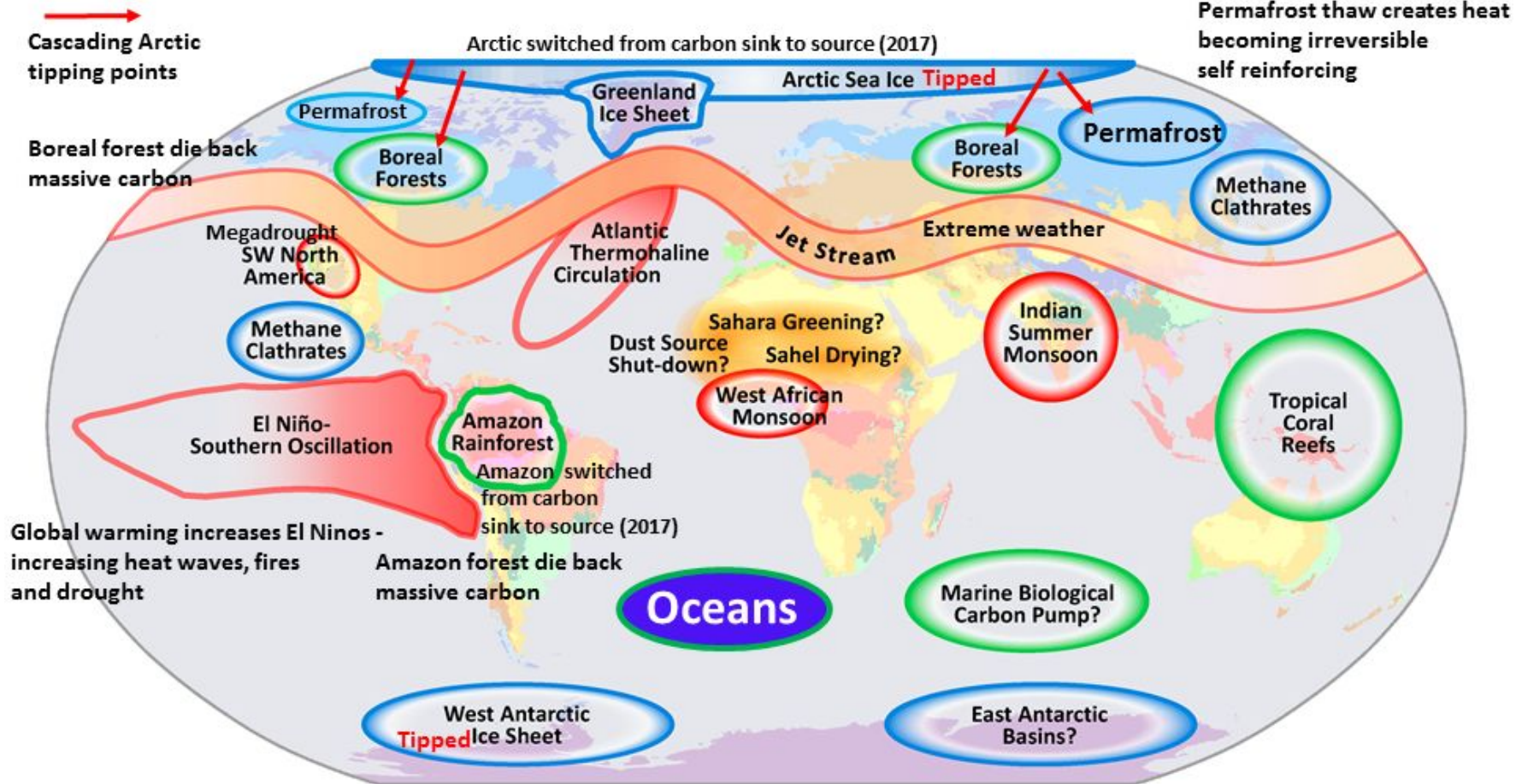
Wielkoskalowe elementy ziemskiego systemu, które mogą przekroczyć punkt krytyczny, nazywane są elementami krytycznymi. Przykładami takich elementów są pokrywy lodowe Grenlandii i Antarktydy, których kurczenie się może spowodować podniesienie poziomu morza o dziesiątki metrów.

Skutki przekroczenia punktu krytycznego nie muszą być natychmiastowe, pojemność cieplna wprowadza bezwładność do układu. Przykładowo, przy wzroście temperatury nieuniknione będzie stopienie części pokrywy lodowej Grenlandii i Antarktydy Zachodniej. Sama pokrywa lodowa może jednak utrzymywać się jeszcze przez wiele stuleci.

Global Warming Vulnerable Tipping Points

Committed global warming (>2°C) commits most, most likely past tipping
Thawing permafrost is emitting CO₂, methane & nitrous oxide

- Cryosphere Entities
- Circulation Patterns
- Biosphere Components

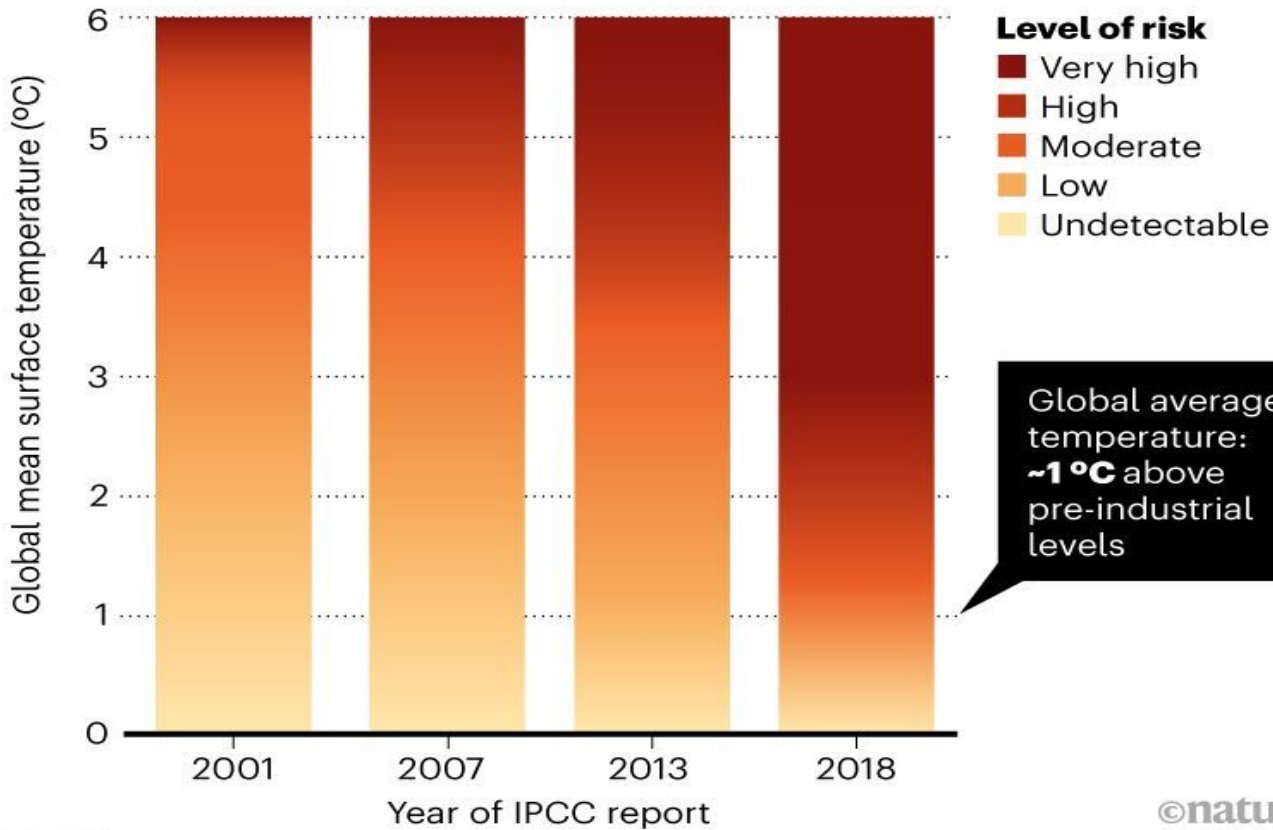


Oceans: Heating, Acidification & Deoxygenation

Adapted from Potsdam Climate Institute
Tipping Elements the Achilles Heels
of the Earth System

TOO CLOSE FOR COMFORT

Abrupt and irreversible changes in the climate system have become a higher risk at lower global average temperatures.



nature > comment > article

COMMENT | 27 November 2019 | Correction 09 April 2020

Climate tipping points – too risky to bet against

The growing threat of abrupt and irreversible climate changes must compel political and economic action on emissions.

Timothy M. Lenton, Johan Rockström, Owen Gaffney, Stefan Rahmstorf, Katherine Richardson, Will Steffen & Hans Joachim Schellnhuber

EMERGENCY: DO THE MATHS

We define emergency (E) as the product of risk and urgency. Risk (R) is defined by insurers as probability (p) multiplied by damage (D). Urgency (U) is defined in emergency situations as reaction time to an alert (τ) divided by the intervention time left to avoid a bad outcome (T). Thus:

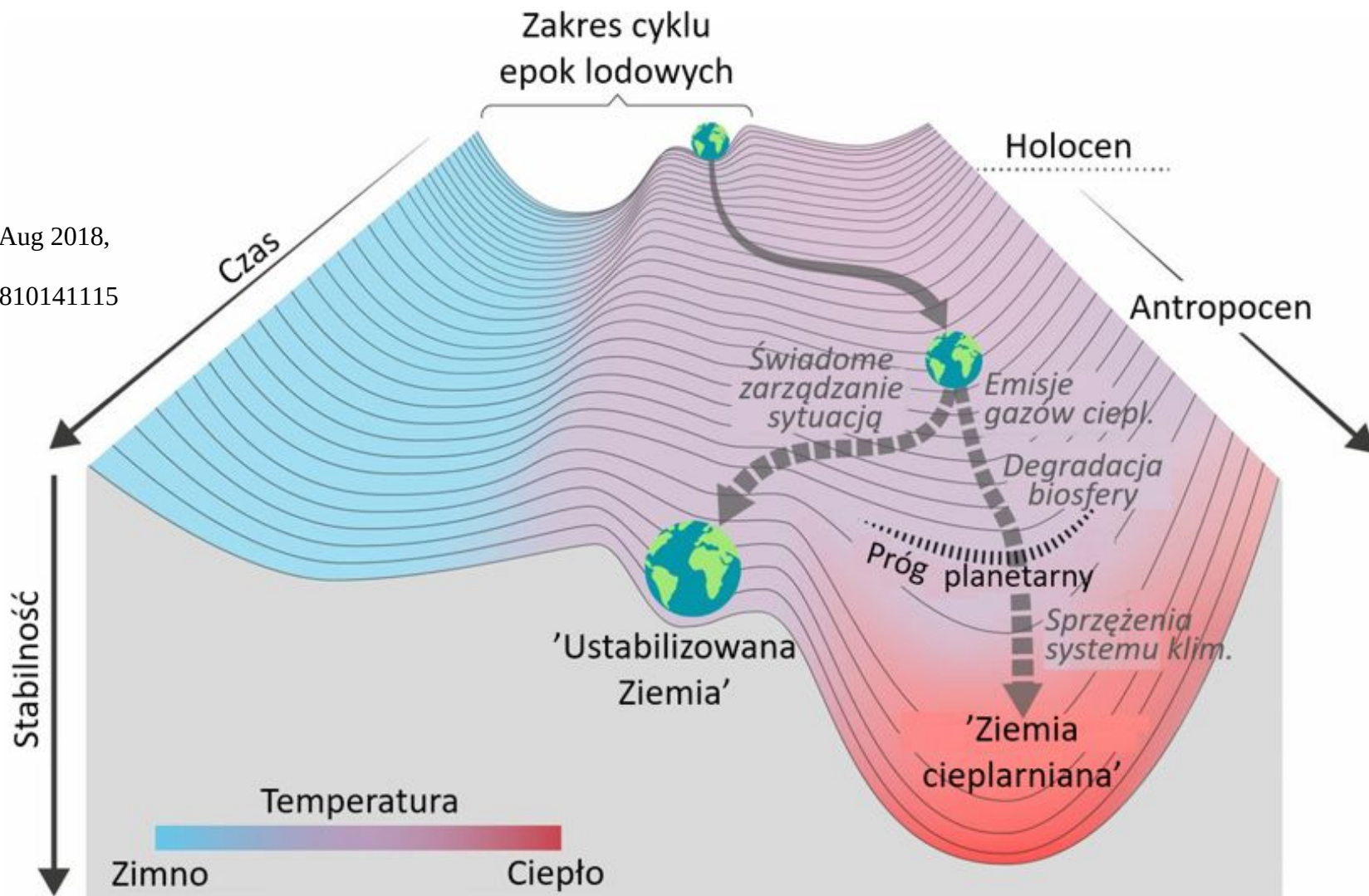
$$E = R \times U = p \times D \times \tau / T$$

The situation is an emergency if both risk and urgency are high. If reaction time is longer than the intervention time left ($\tau / T > 1$), we have lost control.

©nature

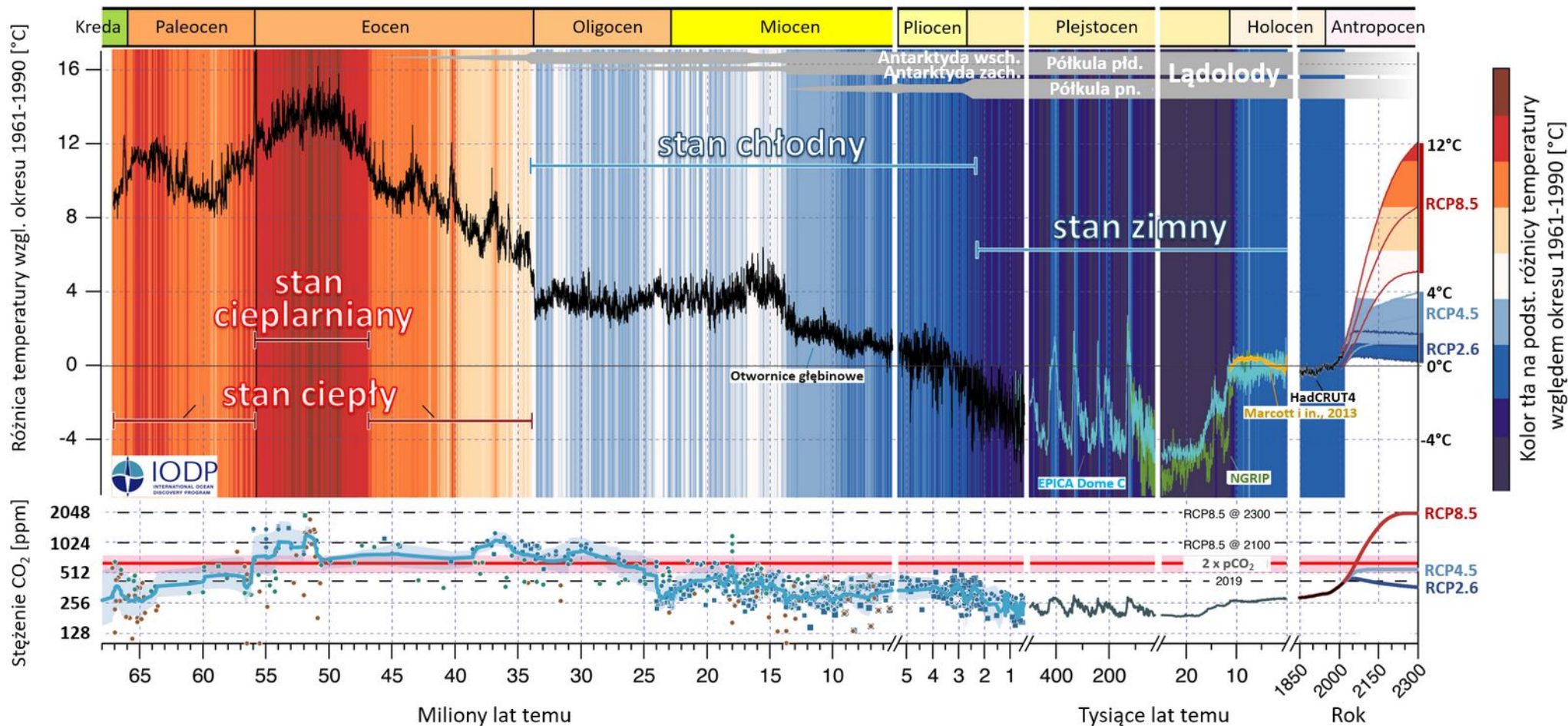
Scenariusze na przyszłość

Steffen et al., PNAS Aug 2018,
115 (33) 8252-8259;
DOI: 10.1073/pnas.1810141115



Porównanie zmian średniej temperatury globu i koncentracji CO₂ w atmosferze od czasów dinozaurów (65 milionów lat temu) do teraz z możliwym antropogenicznym globalnym ociepleniem (450 lat).

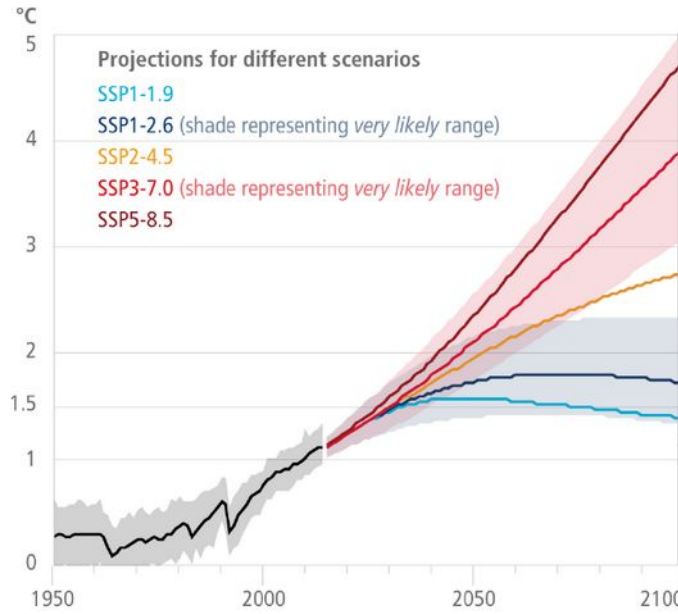
https://websites.pmc.ucsc.edu/~jzachos/images/CENOGRID_Cartoon_withProjection_alternate.png



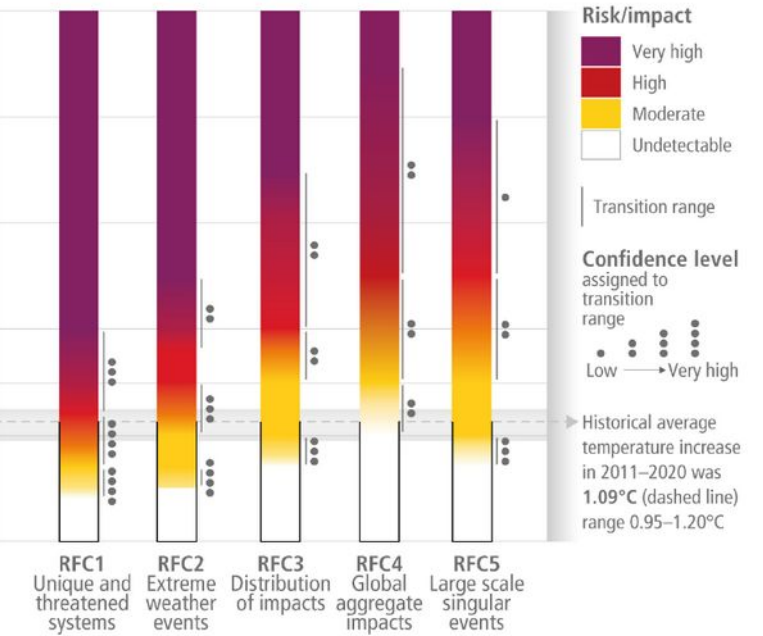
IPCC 6AR WG2

Global and regional risks for increasing levels of global warming

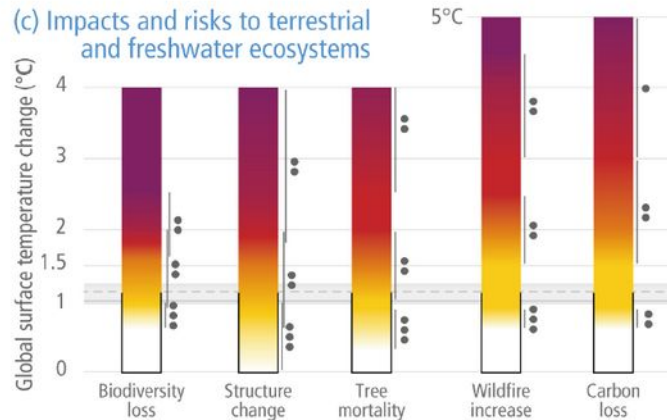
(a) Global surface temperature change
Increase relative to the period 1850–1900



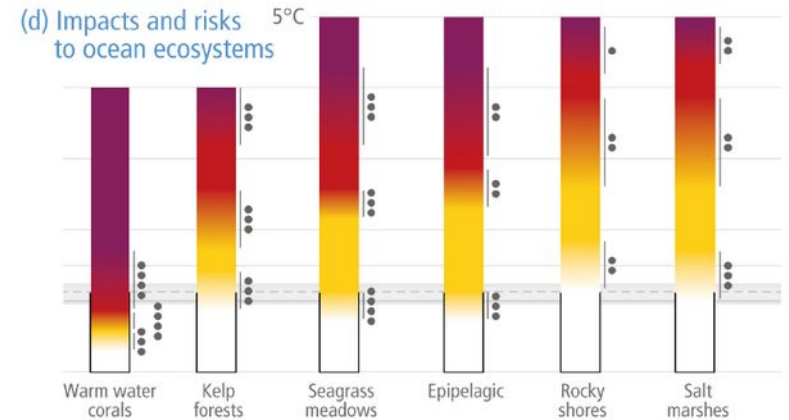
(b) Reasons for Concern (RFC)
Impact and risk assessments assuming low to no adaptation



(c) Impacts and risks to terrestrial and freshwater ecosystems



(d) Impacts and risks to ocean ecosystems





Paradoks Fermiego – wyraźna sprzeczność pomiędzy wysokimi oszacowaniami prawdopodobieństwa istnienia cywilizacji pozaziemskich i brakiem jakichkolwiek obserwowalnych śladów ich istnienia.