

Od Paryża do Katowic: Czy zdołamy zahamować globalne ocieplenie?

Kazimierz Różański

- ☐ **Wprowadzenie**
- ☐ **Zmiany klimatu:**
 - co mówią dane pomiarowe ?
- ☐ **Zmiany klimatu:**
 - jak zahamować globalne ocieplenie ?
- ☐ **Podsumowanie**

ZMIANY KLIMATU ZIEMI

NAUKA

- badania mechanizmów funkcjonowania globalnej maszyny klimatycznej, obecnie i w przeszłości geologicznej Ziemi,
- modelowanie zmian klimatu Ziemi w różnych skalach czasowych i przestrzennych,
- relacje między klimatem Ziemi, gospodarką i rozwojem społecznym.

Raporty Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu (IPCC) (1988)

- 1990
- 1995
- 2001
- 2007
- 2013
- październik 2018:
(Special Report: Global Warming of 1.5°C....)

PROCES POLITYCZNY

Szczyt Ziemi, Rio de Janeiro (1992)

UNFCCC - Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w Sprawie Zmian Klimatu

- weszła w życie 21 marca 1995
- konwencję ratyfikowało 196 państw

Protokół z Kioto (1997)

- wszedł w życie 16 lutego 2005
- redukcja emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 5.2% w okresie 2008-2012, w porównaniu do poziomu z 1990 r.
- ratyfikowany przez 193 państwa
- wygaś 31 grudnia 2012

COP21, Paryż (2015):

Porozumienie Paryskie

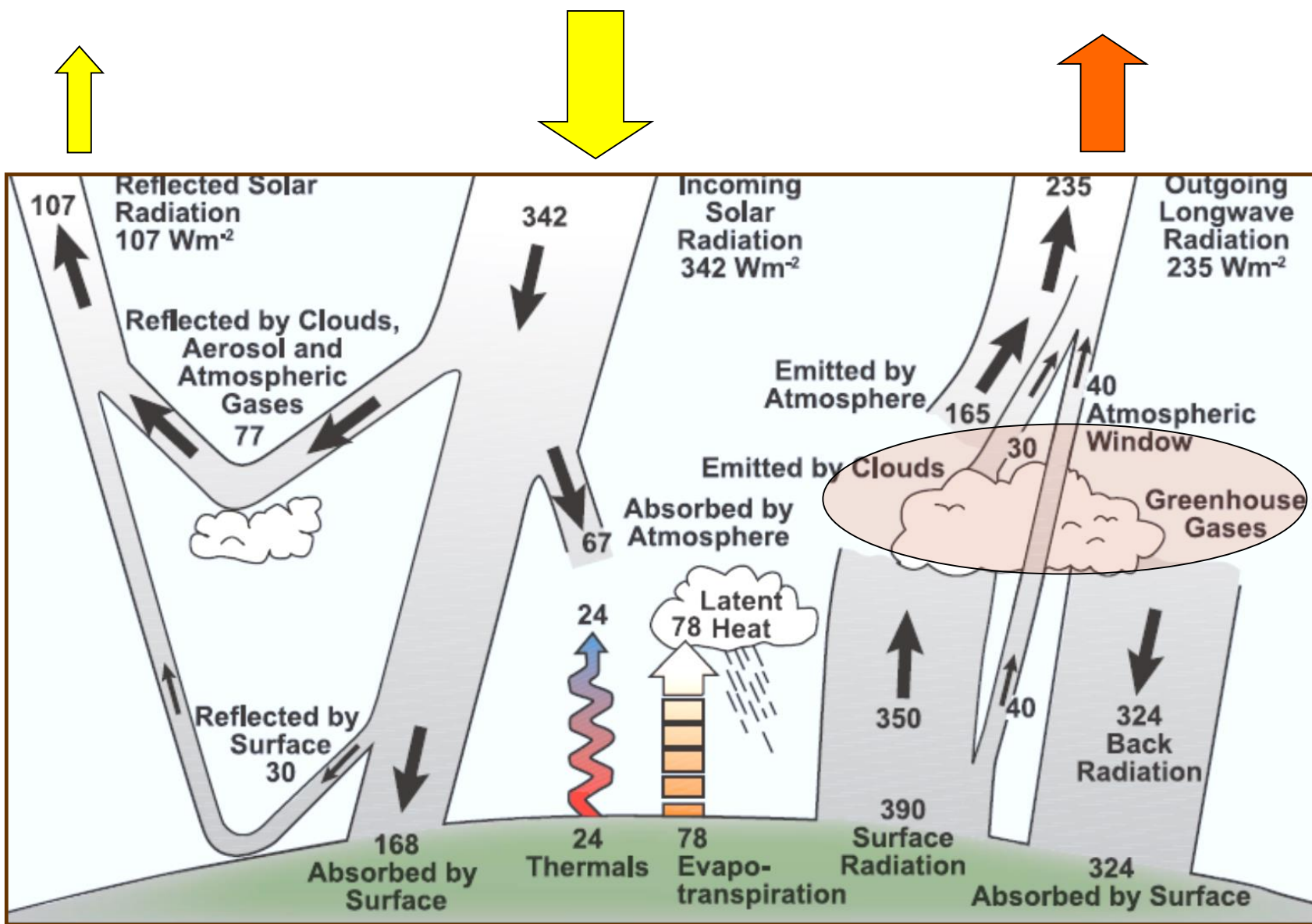
- utrzymać wzrost średniej temperatury Ziemi „znacznie poniżej 2°C”
- porozumienie weszło w życie w listopadzie 2016 r

COP24, Katowice (2018):

Pakiet Katowicki

KLIMAT:

Manifestacja średniego bilansu radiacyjnego Ziemi dla okresów czasu dłuższych niż jeden rok



Temperatura radiacyjna powierzchni Ziemi: **-17°C**

Mierzona średnia temperatura powierzchni Ziemi: **+15°C**

Naturalny efekt cieplarniany: **+32°C**

H₂O (64%)
CO₂ (22%)
O₃ (8%)
N₂O (4 %)
CH₄ (2 %)

Venus:

Temp. radiacyjna: **25°C**
Efekt cieplarniany: **402°C**
Temp. powierzchni: **427°C**

Klimat charakteryzują:

- ☐ **wartości średnie parametrów klimatycznych opisujących stan systemu klimatycznego**
- ☐ **zmienność czasowa i przestrzenna tych parametrów**
- ☐ **wartości i częstości występowania maksymalnych odchyień od stanu przeciętnego.**

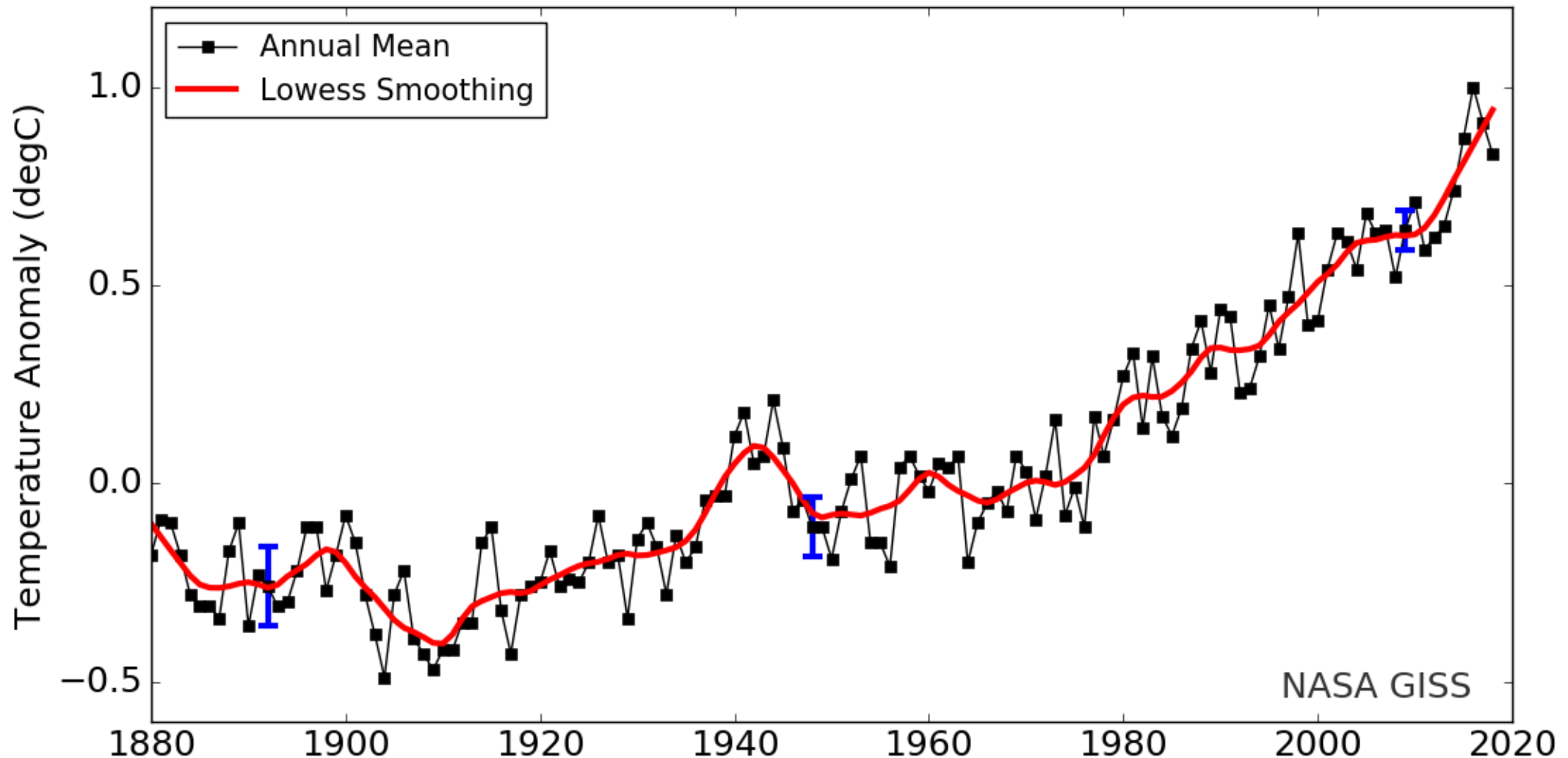
ZMIANY KLIMATU:

CO MÓWIA DANE POMIAROWE ?

KLIMAT ZMIENIA SIĘ.....

- ☐ Średnia globalna temperatura powierzchniowej warstwy atmosfery wzrosła w ciągu ostatnich 150 lat o około 1°C.
- ☐ Zmniejsza się zasięg i grubość lodu morskiego w Arktyce
- ☐ Cofają się lodowce kontynentalne
- ☐ Topnieją wielkie czasy lodowe Grenlandii i Antarktydy
- ☐ Podnosi się poziom oceanu światowego
- ☐

ZMIANY GLOBALNEJ TEMPERATURY POWIERZCHNIOWEJ WARSTWY ATMOSFERY ZIEMI



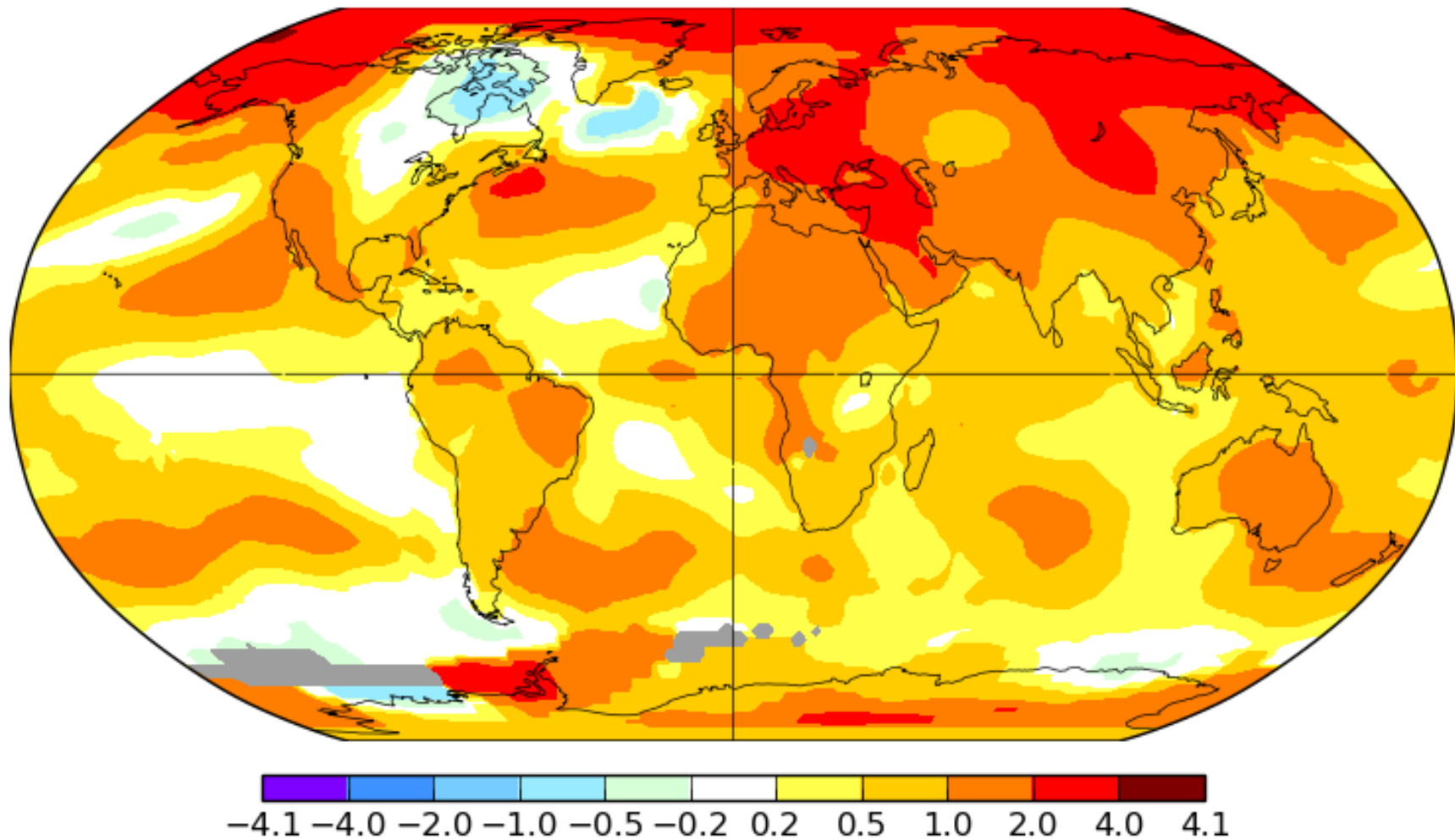
Okres odniesienia: 1951-1980

(NASA/GISS, 2019)

~ 1,0°C

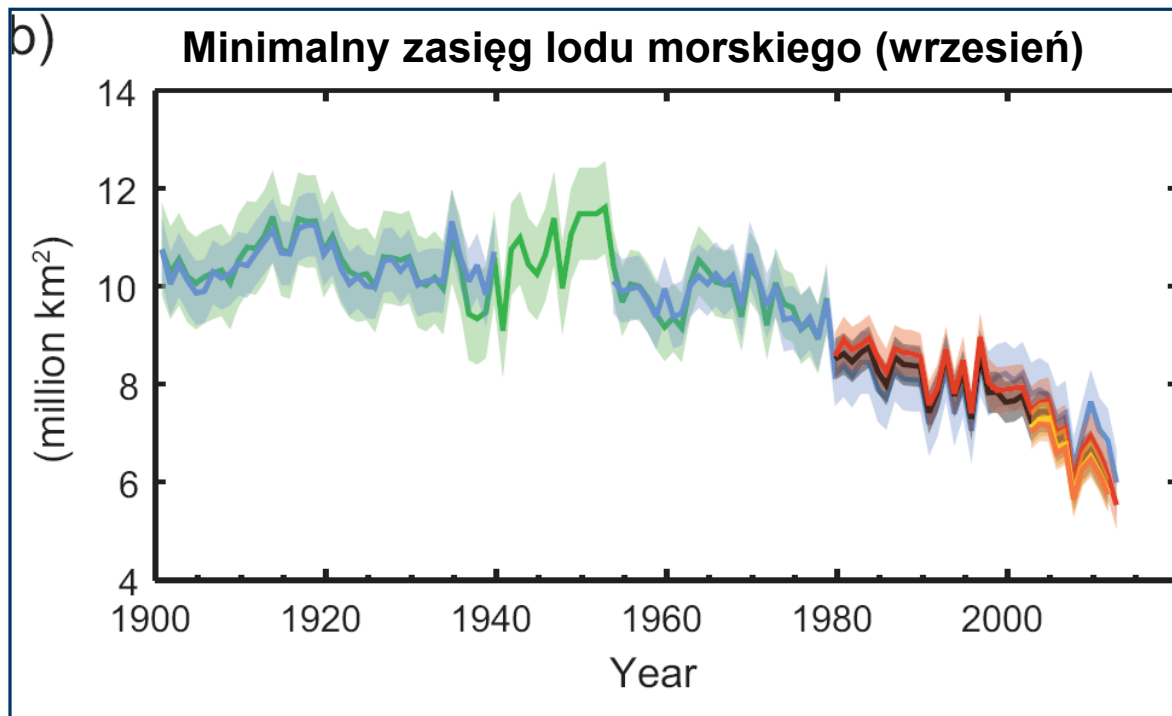
ROZKŁAD PRZESTRZENNY ZMIAN TEMPERATURY

Odchylenie średniej rocznej temperatury dla 2018 roku od średniej za lata 1951-1980

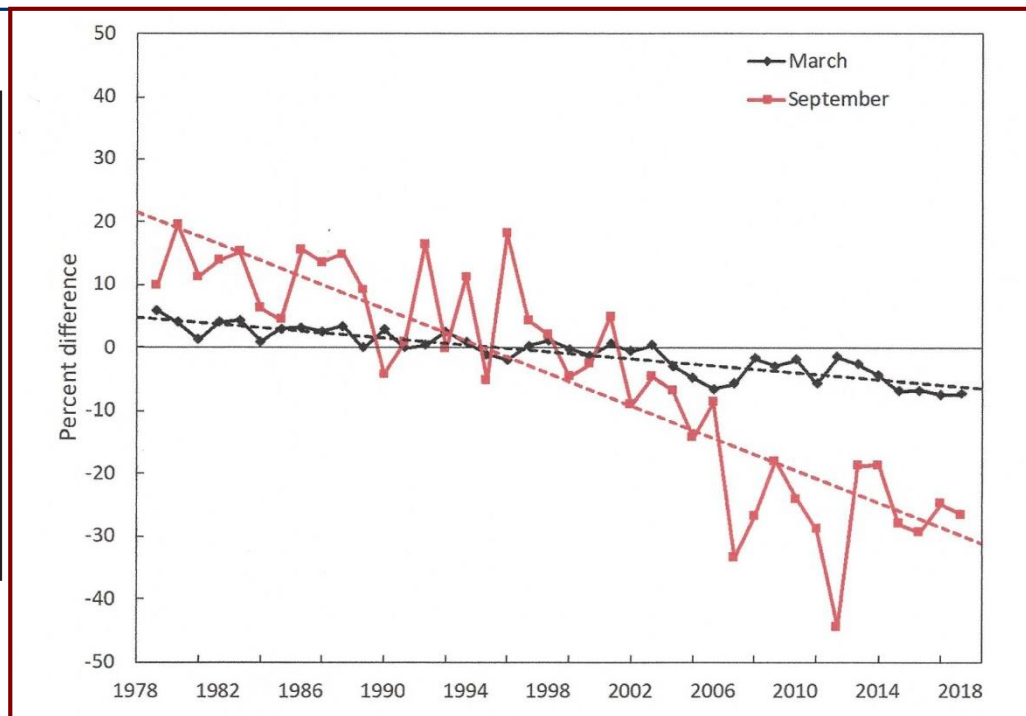


(NASA/GISS, 2019)

Zmiany w klimacie w Arktyce – lód morski

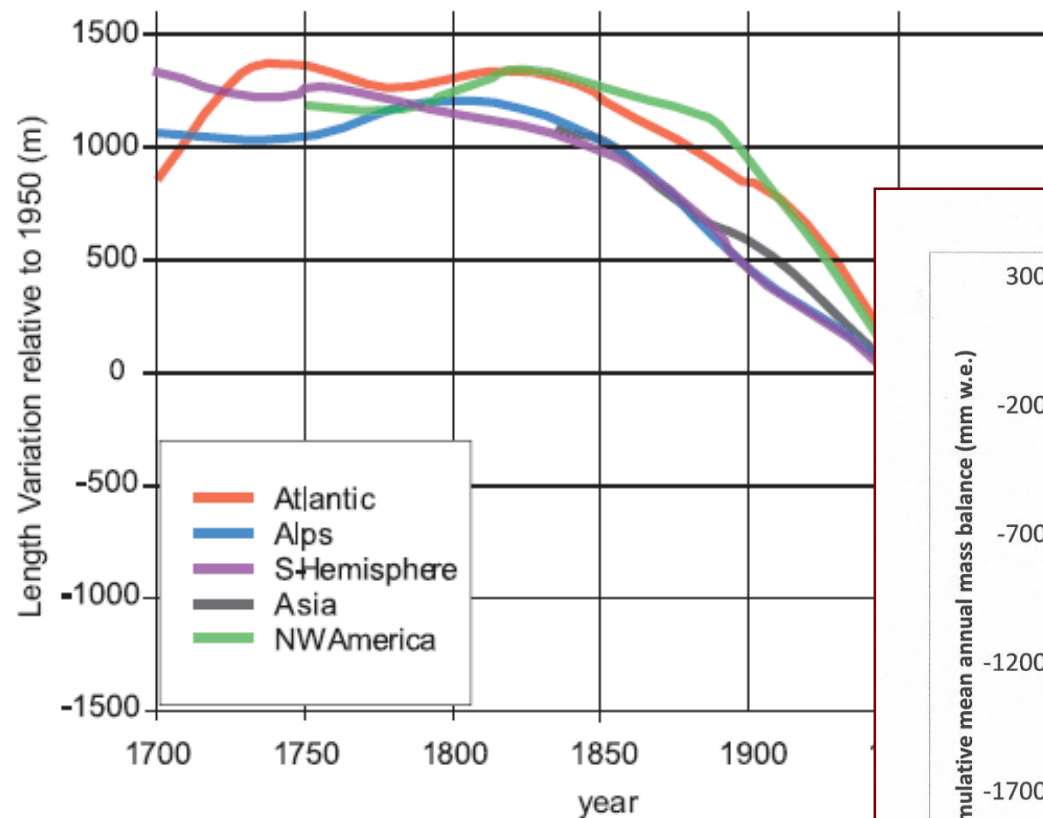


(IPCC, 2013)

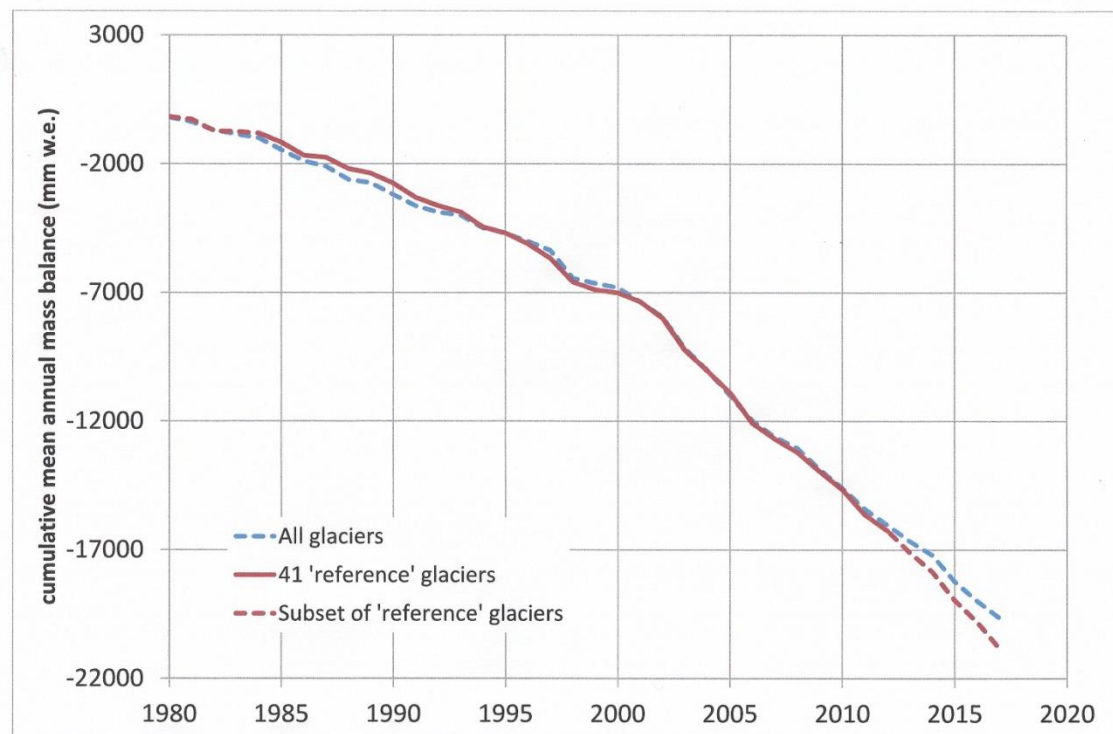


(Arctic Report Card, 2018)

Zmiany w kriosferze – lodowce kontynentalne

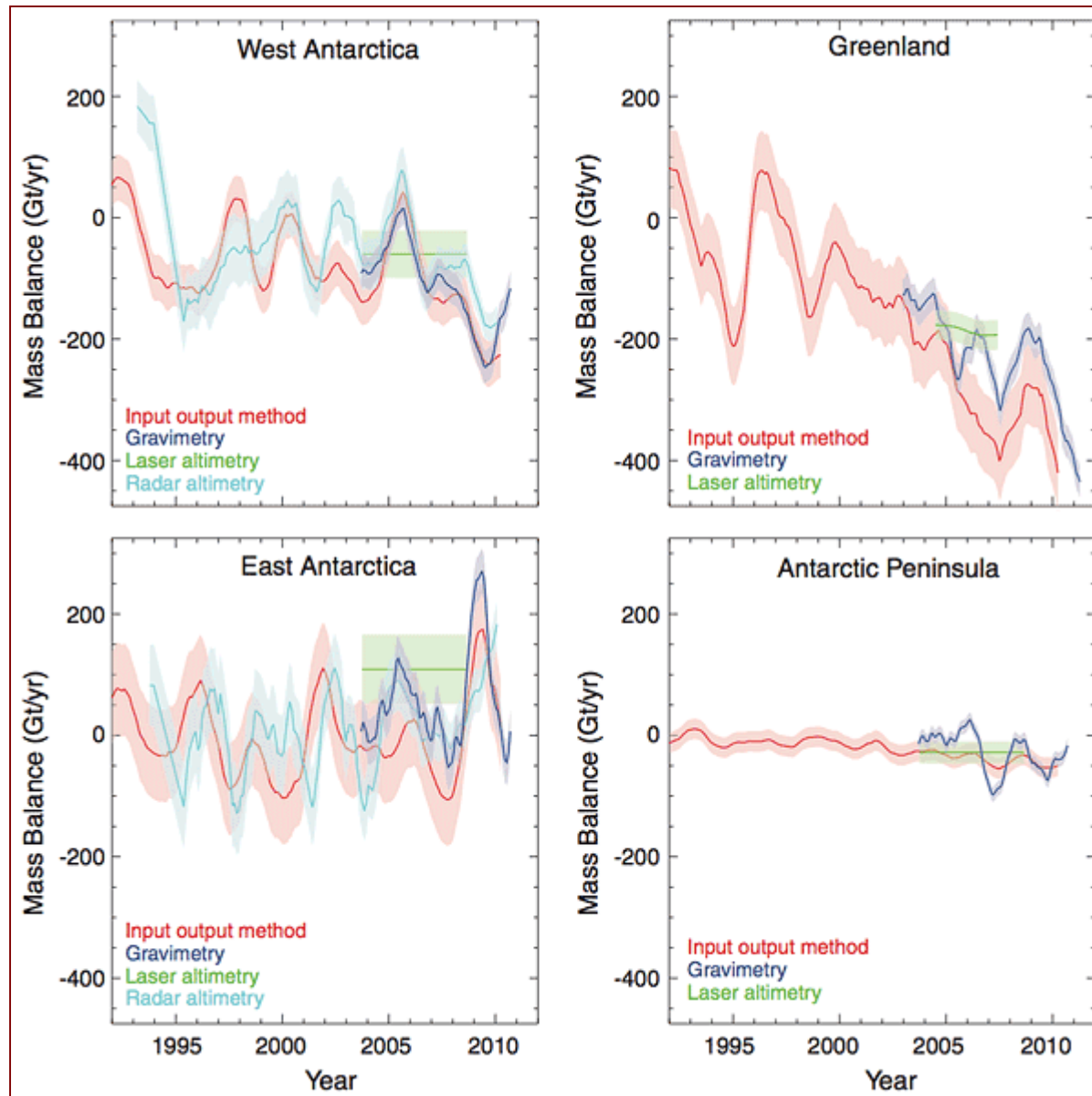


(IPCC, 2007)



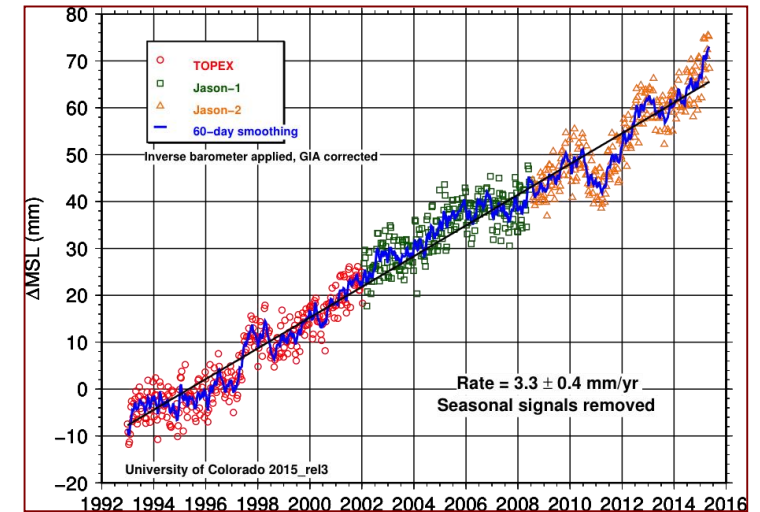
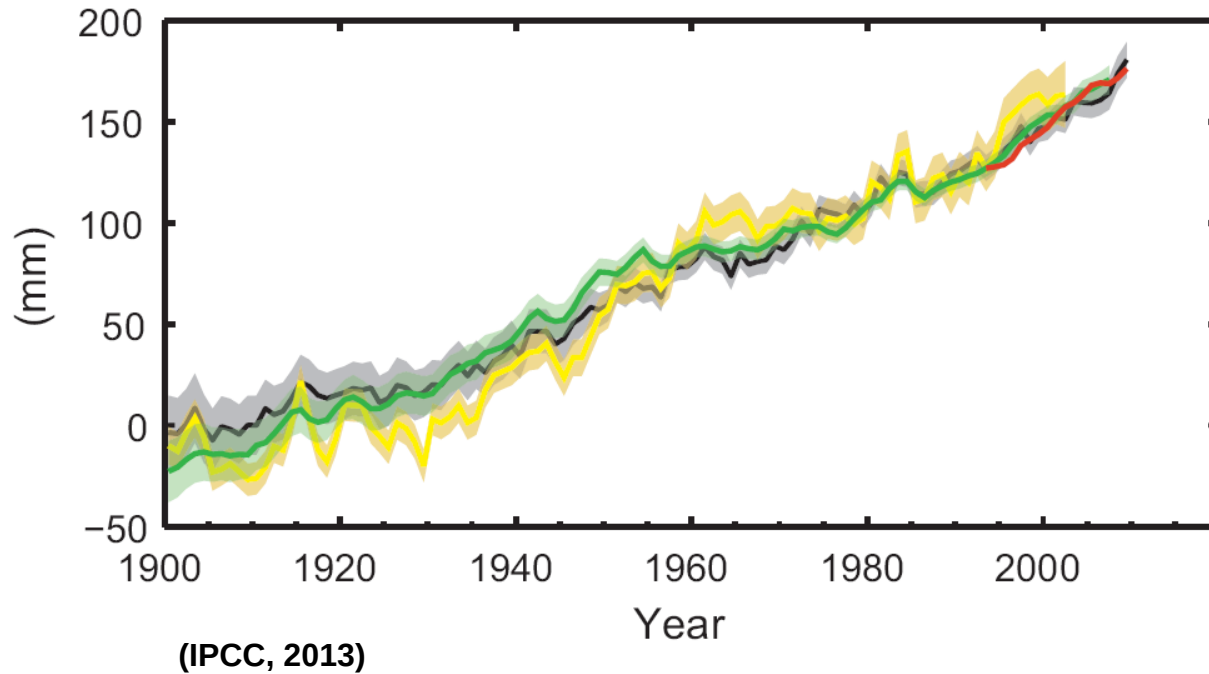
(World Glacier Monitoring Service, 2018)

Zmiany w kriosferze – czasy lodowe Grenlandii i Antarktydy



(Shepherd et al., 2012), (IPCC, 2013)

Zmiany poziomu oceanów

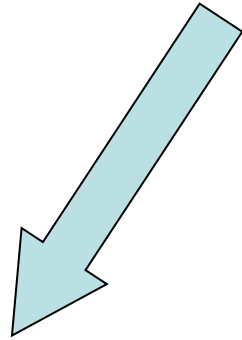


Średnie tempo wzrostu poziomu oceanu w okresie 1993-2017 wyniosło **3.3 mm/rok**, w tym:

- ☐ ekspansja termiczna (ok. **39%**)
- ☐ topnienie lodowców kontynentalnych (ok. **27%**)
- ☐ topnienie czasy lodowej Grenlandii (ok. **12%**)
- ☐ topnienie czasy lodowej Antarktydy (ok. **9%**)
- ☐ zmiana ilości wody w litosferze kontynentalnej (ok. **13%**)

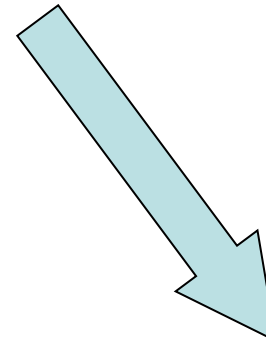
Poziom oceanu światowego wzrósł o ok. 22 cm w okresie 1900-2017

KLIMAT ZMIENIA SIĘ !



NIE MAMY Z TYM NIC WSPÓLNEGO !

-klimat Ziemi zmieniał się w przeszłości, zmienia się obecnie i będzie się zmieniał w przyszłości, czy nam się to podoba czy nie, a człowiek ma w tym znikomy udział...
-teza o wpływie człowieka na klimat to spisek naukowców....
- ...lepiej przeznaczyć fundusze na inne cele...



ZRÓBMY COŚ !

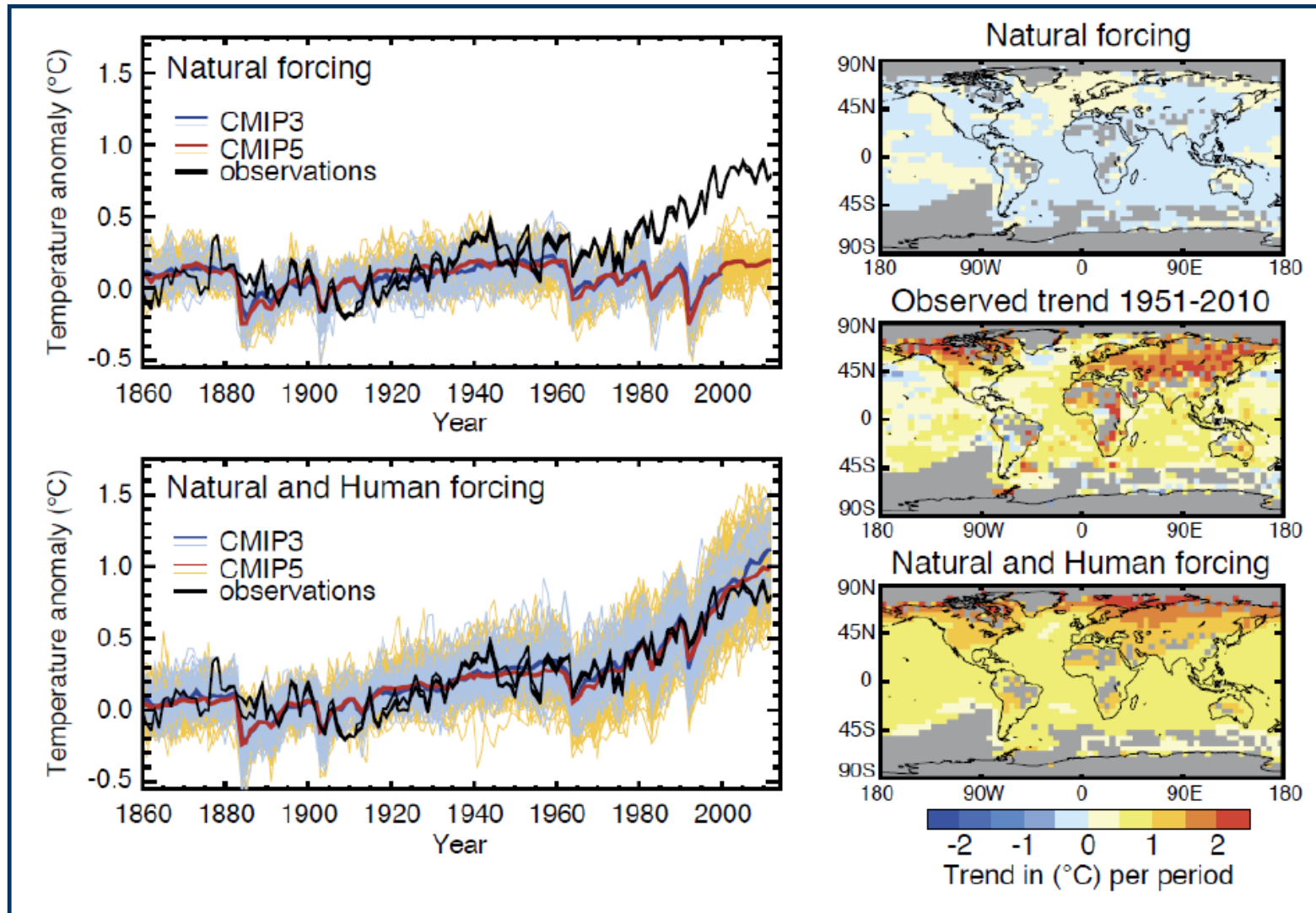
-człowiek modyfikuje w sposób znaczący bilans radiacyjny naszej planety poprzez emisje CO₂ i innych gazów cieplarnianych do atmosfery. Globalne ocieplenie jest efektem tej ingerencji....
- ... zahamowanie zmian klimatu jest naszym moralnym obowiązkiem wobec przyszłych pokoleń....

Czy obserwowana ewolucja klimatu wynika z jego naturalnej zmienności czy też ma podłoże antropogeniczne ?

Odpowiedź na to pytanie jest możliwa wyłącznie poprzez fizyczny opis struktury, funkcjonowania i ewolucji globalnego systemu klimatycznego Ziemi w skalach czasu porównywalnych z okresem znaczącej ingerencji człowieka w ten system ($\sim 10^2$ - 10^3 lat). Taki opis jest możliwy wyłącznie ramach globalnych modeli klimatycznych.

Modelowanie zmian temperatury globalnej w ostatnich 150 latach

- **wymuszenia naturalne**
(zmiany aktywności Słońca, wybuchy wulkanów)



- **wymuszenia antropogeniczne**
(gazy cieplarniane, aerozole, ozon, zmiany albedo powierzchni Ziemi)

(IPCC, 2013)

ZMIANY KLIMATU:

JAK ZAHAMOWAĆ GLOBALNE OCIEPLENIE?

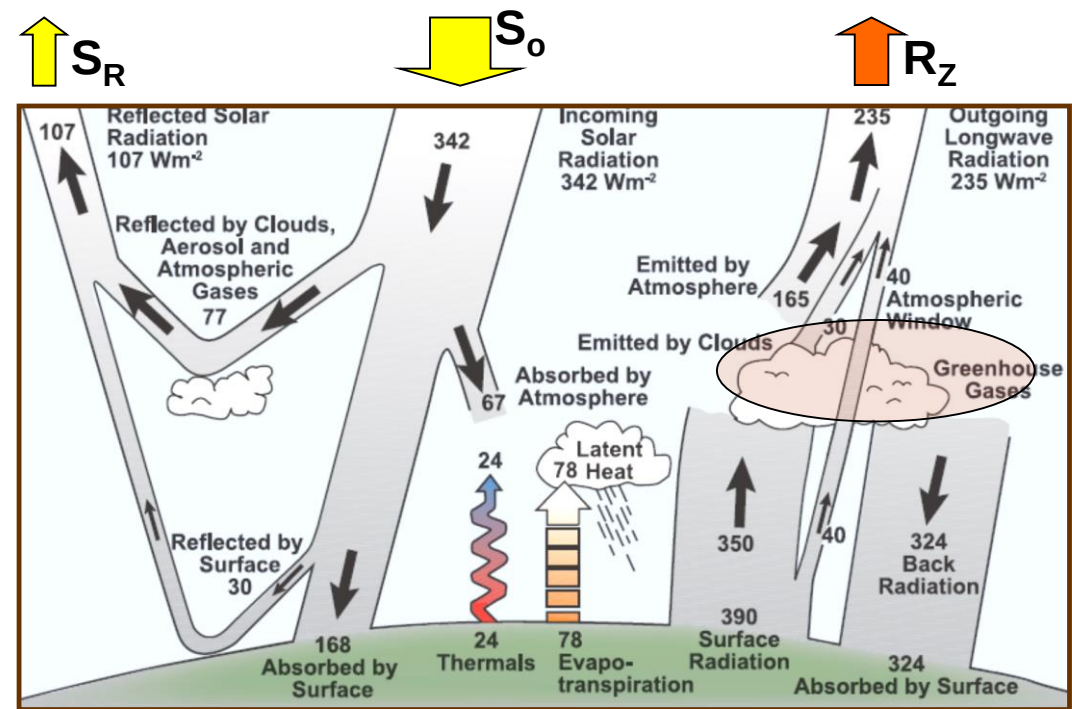
AKTUALNY STAN BILANSU RADIACYJNEGO ZIEMI (2018):

Wymuszenie radiacyjne (RF)

$$RF = S_0 - S_R - R_Z = \text{ok. } 2.5 \text{ W/m}^2$$

1950 ~ 0.57 W/m²

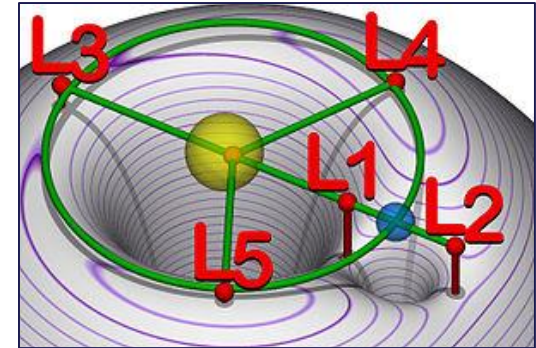
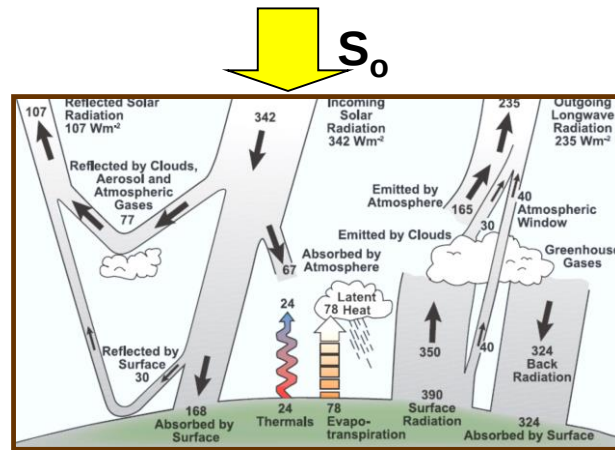
1980 ~ 1.25 W/m²



STRATEGIE MODYFIKOWANIA BILANSU RADIACYJNEGO ZIEMI W SKALI PLANETARNEJ:

- ☐ Modyfikacja S_0
 - ☐ Modyfikacja S_R
 - ☐ Modyfikacja R_Z
- } Solar Radiation Management (SRM)

MODYFIKACJA S_0 :



Aby zredukować aktualne wymuszenie radiacyjne do poziomu zerowego (powrót do okresu przed-industrialnego) należałoby zmniejszyć strumień promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi o ok. 1%. To odpowiada powierzchni luster wynoszącej ok. 370 tys. km^2 .

Potencjał redukcji RF:

- wysoki

Koszty:

- gigantyczne

do kompensowania wzrostu wymuszenia radiacyjnego spowodowanego wzrostem stężenia CO_2 w atmosferze rzędu 2 ppm/rok trzeba by instalować każdego roku dodatkową powierzchnię luster rzędu 35 tys. km^2 co oznacza 155 tys. startów rakiet rocznie, każda wynosząca ok. 880 tys. „luster” o powierzchni 0.288 m^2 każde.

(Angel, 2006)

Technologia:

- wymaga dopracowania

Efekty uboczne:

- brak

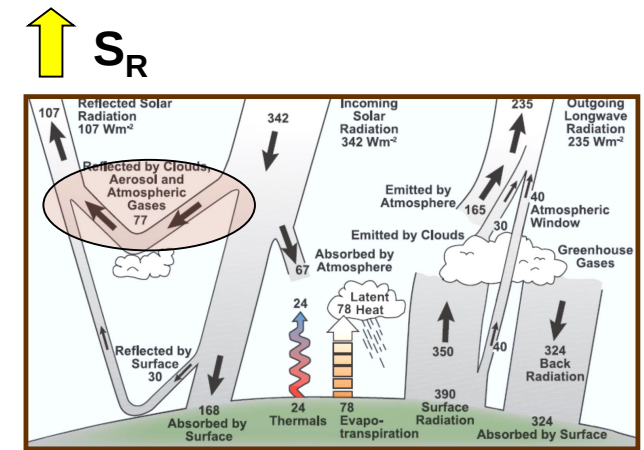
MODYFIKACJA ALBEDO UKŁADU ZIEMIA – ATMOSFERA ($A = S_R/S_o$):

1. Rozpylanie związków siarki (SO_2) w stratosferze

$SO_2 \rightarrow H_2SO_4$ (cząsteczki aerozolu o średnicy ok. $0.3 \mu m$ odbijające promienie słoneczne)

Do zredukowania do zera aktualnego wymuszenia radiacyjnego należałoby rozpylić w stratosferze ok. 20 mln ton SO_2

(wybuch wulkanu Pinatubo na Filipinach w 1991 r. zdeponował w stratosferze 32 mln ton SO_2)



Potencjał redukcji RF:

- wysoki

Koszty:

- stosunkowo niskie

Technologia:

- wymaga dopracowania

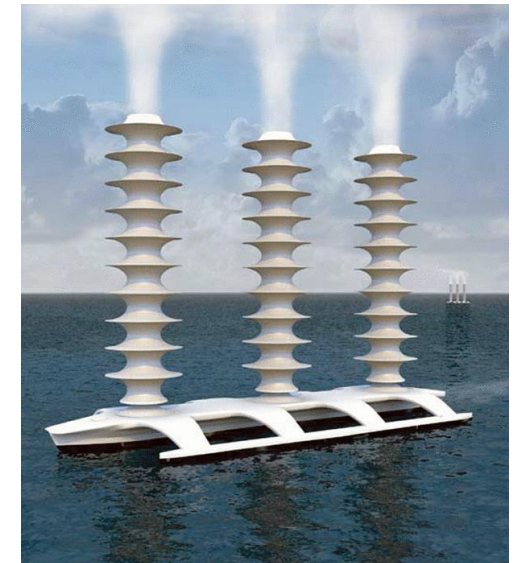
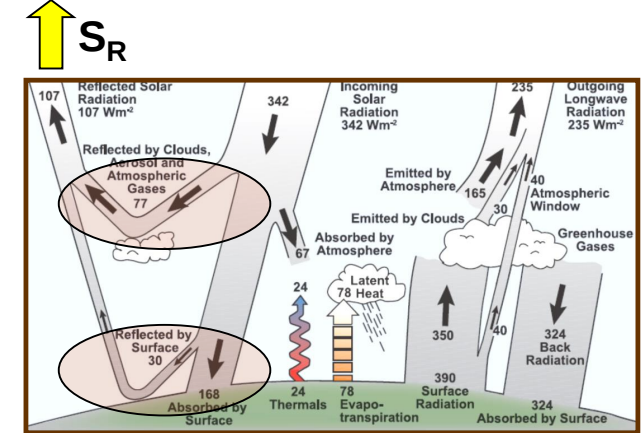
Efekty uboczne:

- konieczność ciągłej interwencji
- powrót "kwaśnych deszczy"
- redukcja warstwy ozonowej
- problemy polityczne

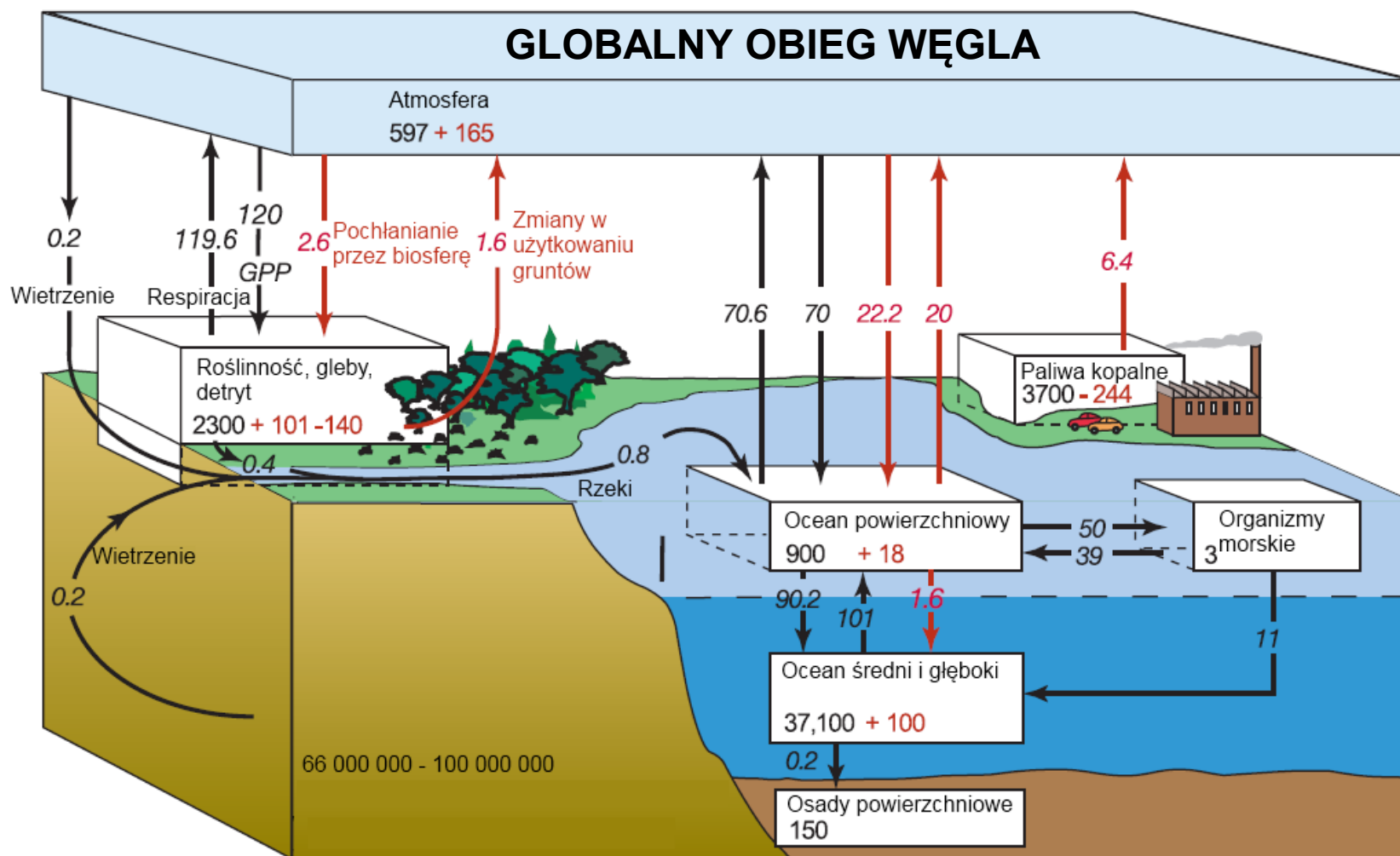
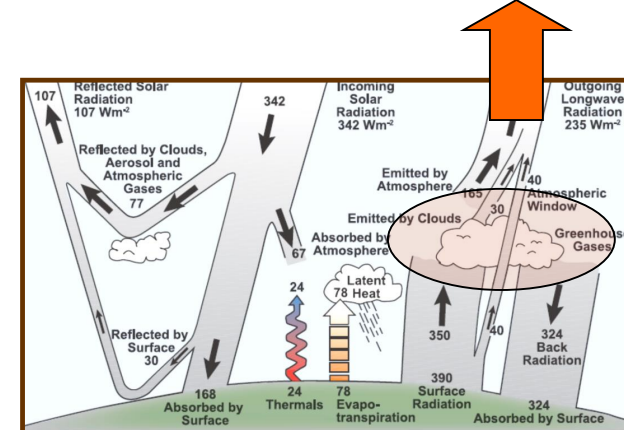
2. Inne pomysły:

- ❑ Rozpylanie wody morskiej w atmosferze nad oceanami:
→ wzrost zachmurzenia → wzrost albedo
(wymagany obszar interwencji rzędu 10^7 km^2)

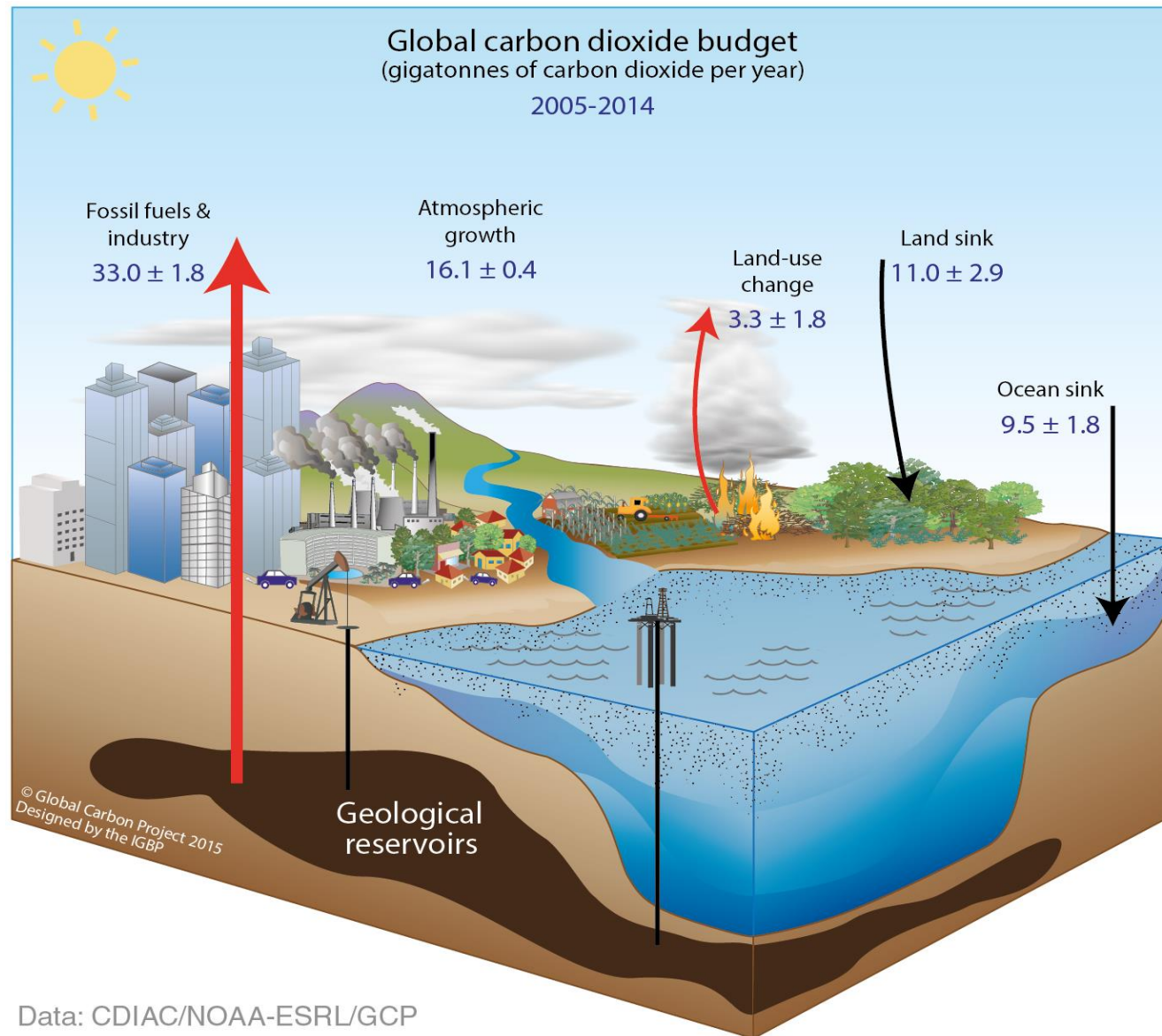
- ❑ Zwiększanie albedo pustyni lub/i obszarów zurbanizowanych
(wymagany obszar interwencji rzędu 10^7 km^2)



Modyfikacja strumienia promieniowania długofalowego opuszczającego system Ziemia-Atmosfera może się odbywać tylko poprzez regulację stężenia gazów cieplarnianych (głównie CO₂) w atmosferze.



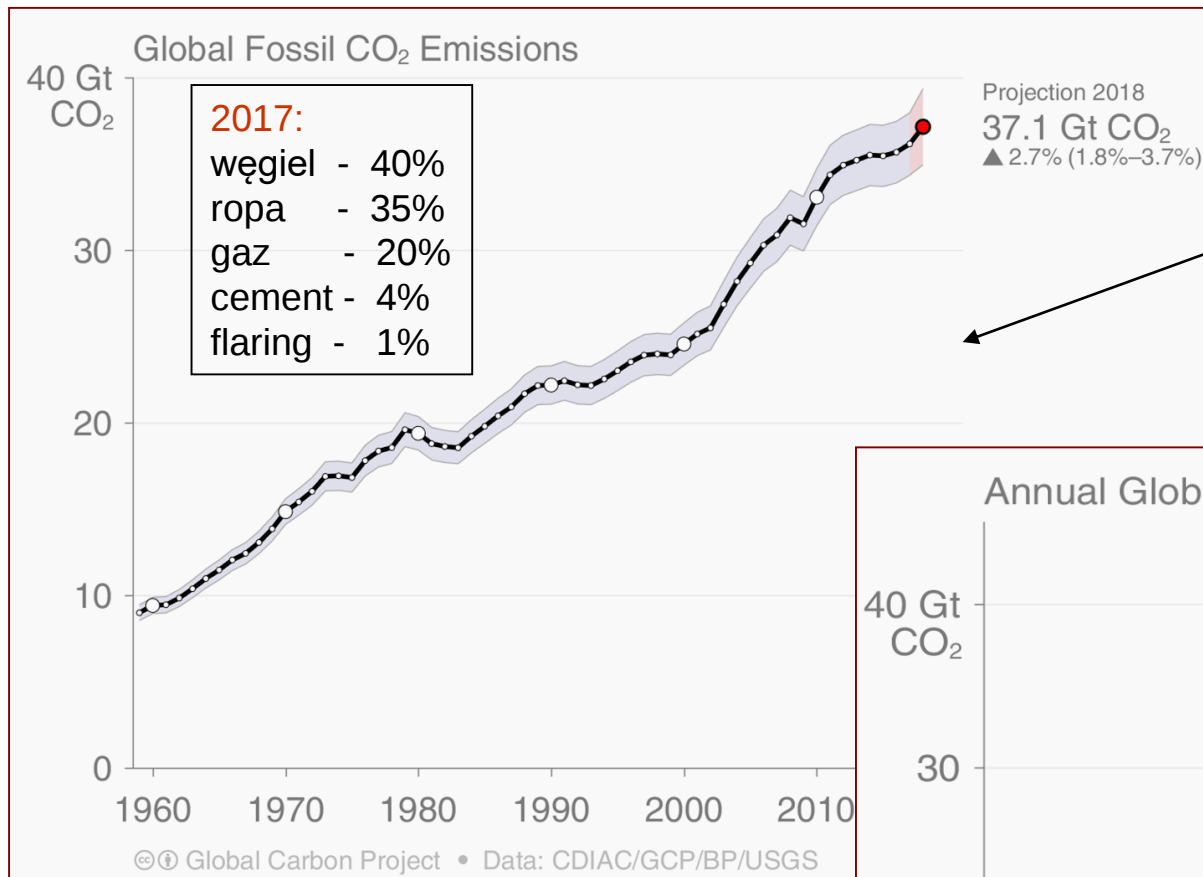
ANTROPOGENICZNA MODYFIKACJA GLOBALNEGO OBIEGU WĘGLA (średnie strumienie CO₂ dla okresu 2005-2014 w GtCO₂/rok)



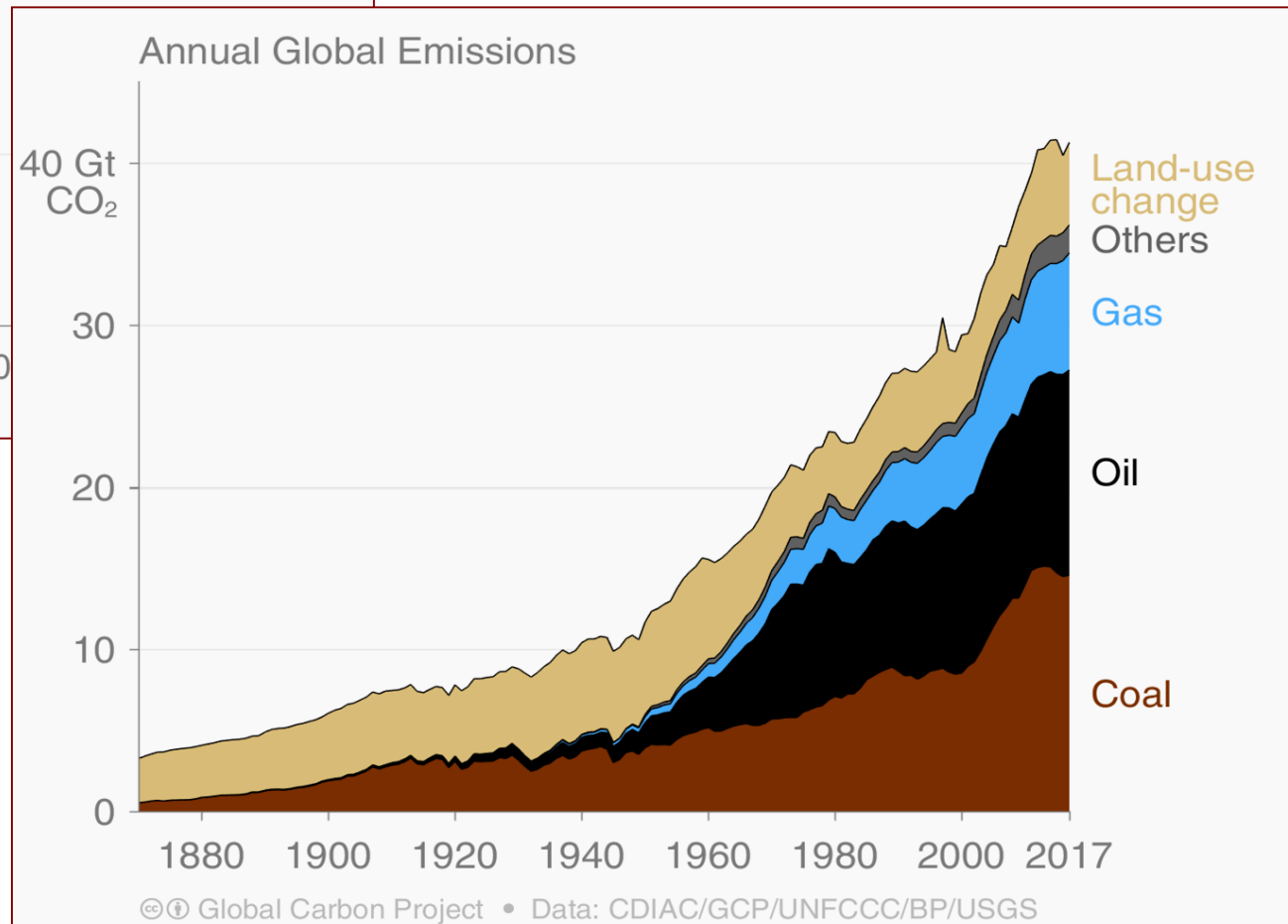
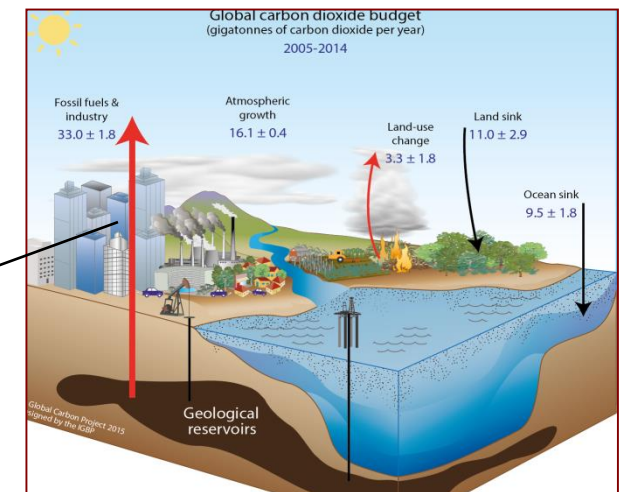
Data: CDIAC/NOAA-ESRL/GCP

(Global Carbon Project, 2015)

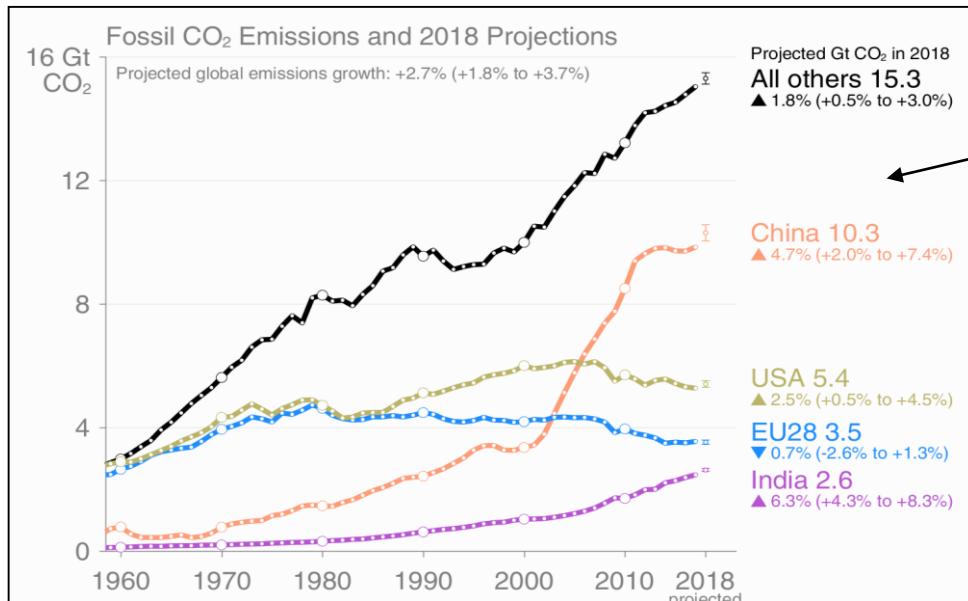
Antropogeniczne emisje CO₂ do atmosfery:



(Global Carbon Project, 2018)

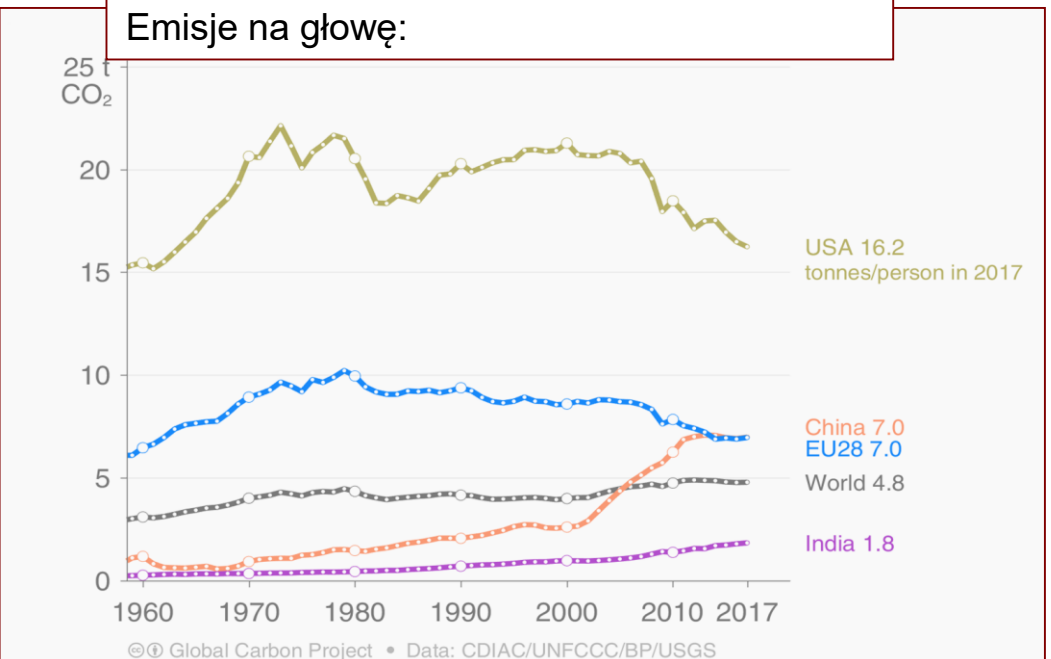
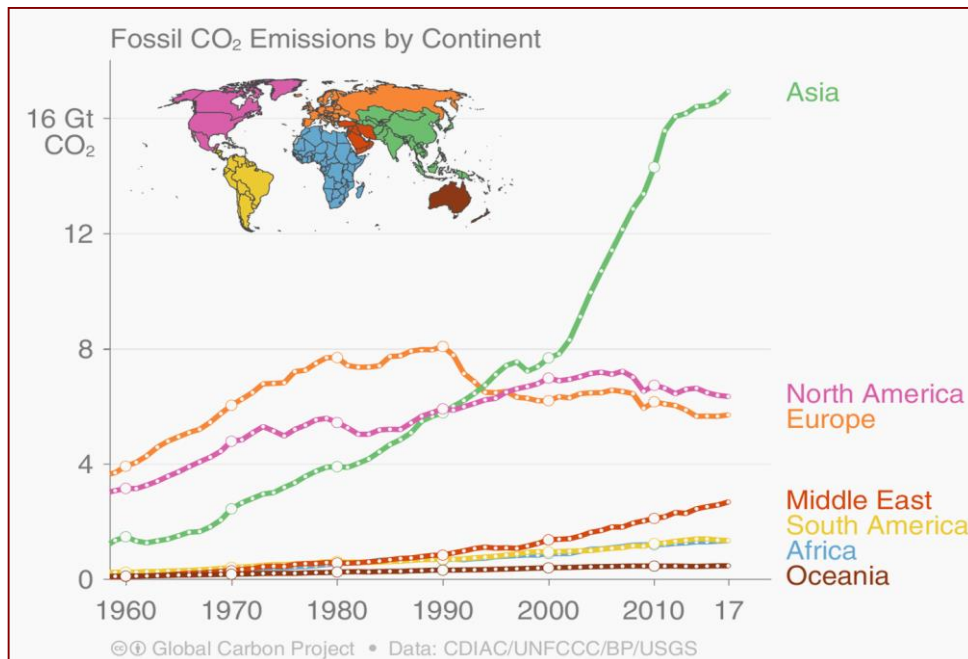
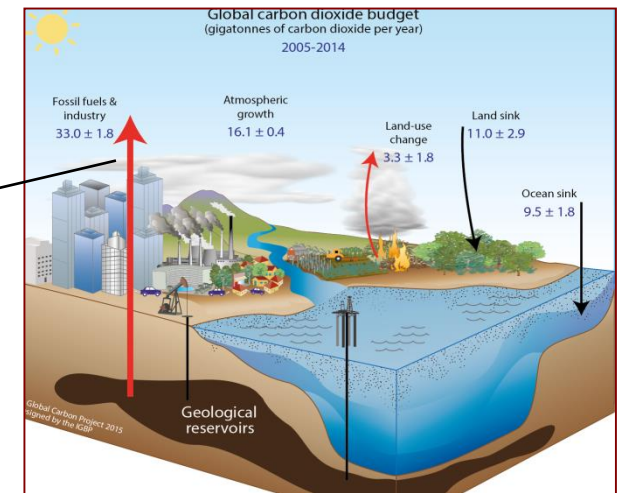


Kto, ile i gdzie emituje ?

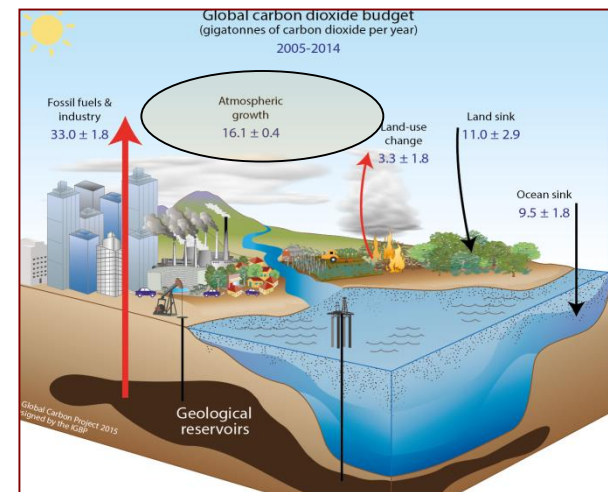


ROK 2018:

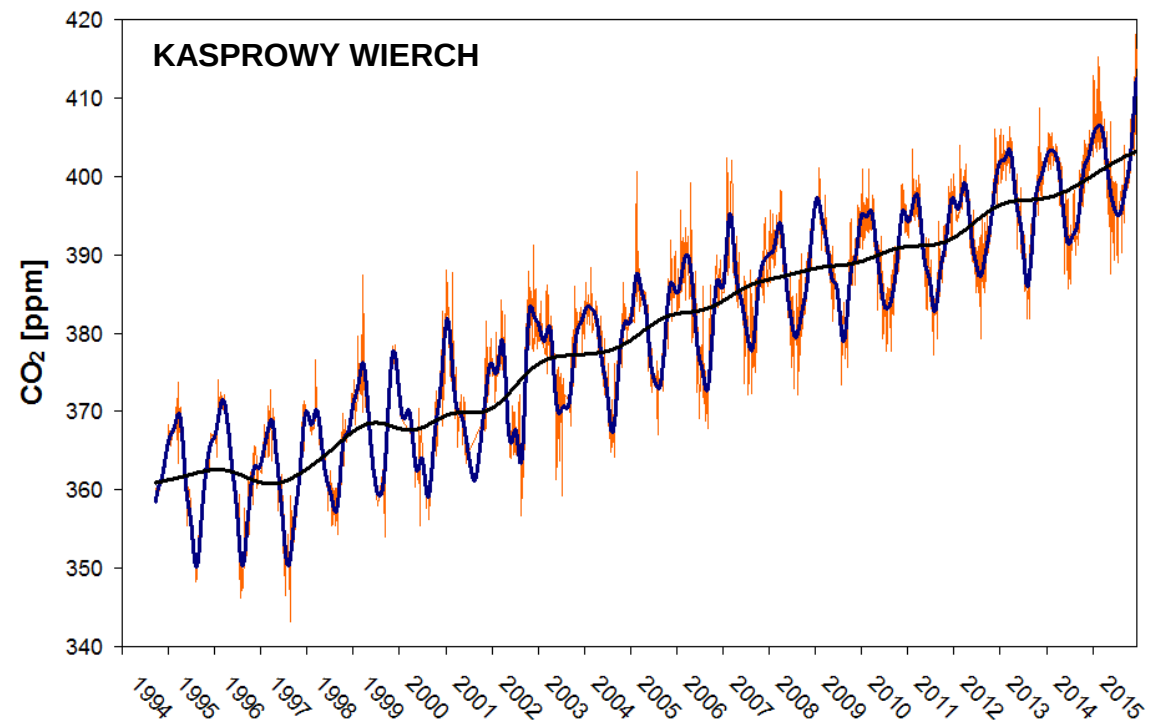
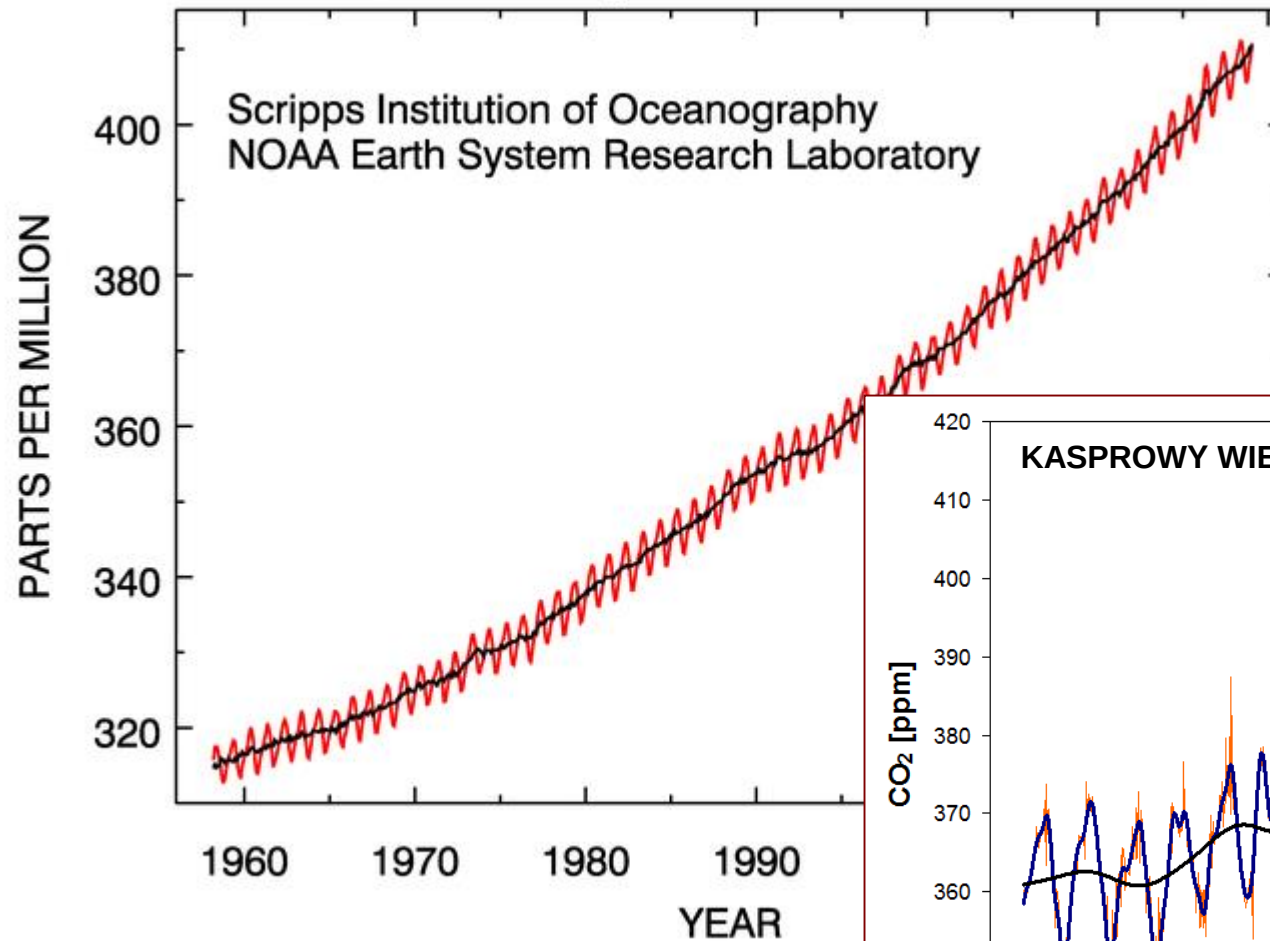
Chiny	- 27%
USA	- 15%
EU	- 10%
Indie	- 7%
	58%
Pozostali	- 42%



Antropogeniczne emisje CO₂ prowadzą m.in. do akumulacji tego gazu w atmosferze i wzrostu efektu cieplarnianego

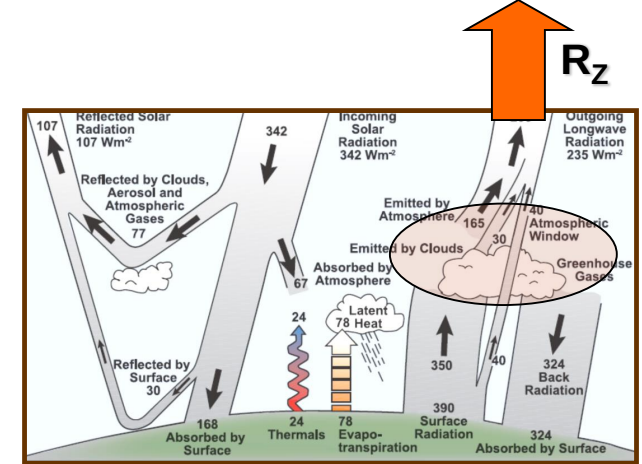


Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory



Strategie zwiększenia R_z :

- ❑ redukcja stężenia CO_2 (~ 60% RF)
- ❑ redukcja stężenia innych gazów cieplarnianych (CH_4 , CFCs, HCFCs, N_2O) w atmosferze (~40% RF)



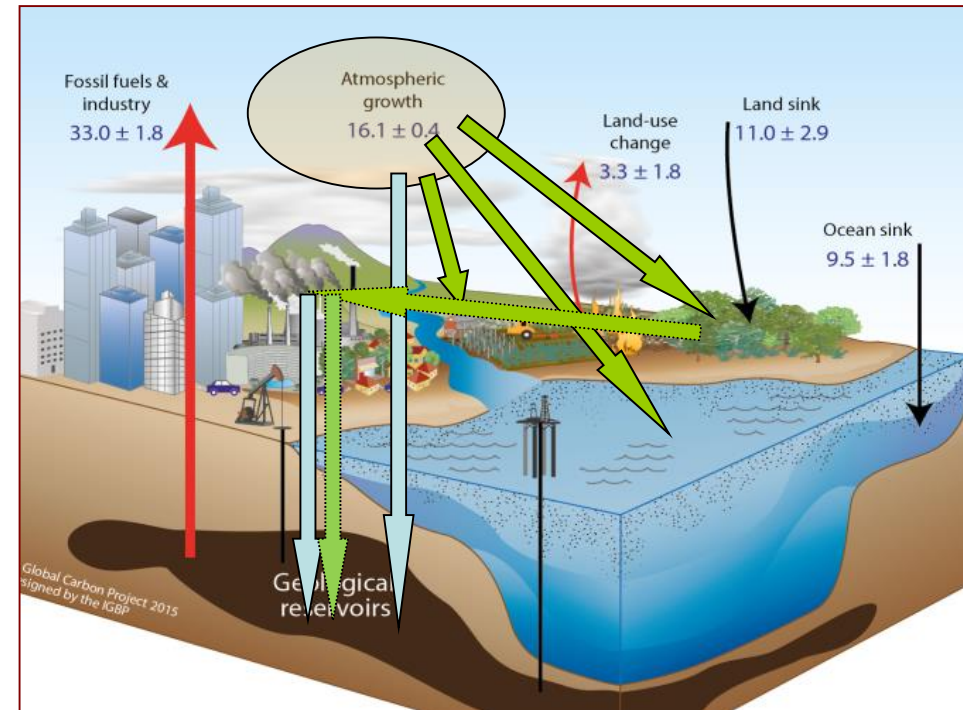
Działania redukujące stężenie CO_2 w atmosferze:

A. Stymulacja naturalnych procesów usuwających CO_2 z atmosfery:

- ❑ wielkoskalowe zalesianie (reforestation, afforestation)
- ❑ „nawożenie” oceanu światowego żelazem
- ❑ „nawożenie” mórz szelfowych fosforem
- ❑ stymulowane wietrzenie skał
- ❑ szerokie wykorzystanie drewna i pochodnych w budownictwie

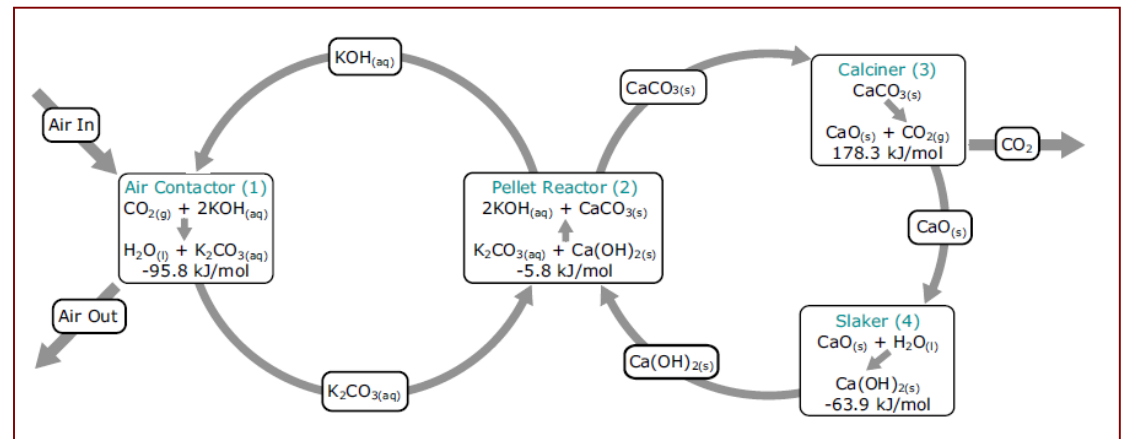
B. Rozwiązania technologiczne

- ❑ Direct Air Capture (DAC)
- ❑ Carbon Capture and Storage (CCS)
- ❑ Bioenergy Carbon Capture and Storage (BECCS)



DIRECT AIR CAPTURE:

Wydajność: 1 Mton CO₂/rok
Zużycie energii: 5-9 GJ/ton CO₂
Koszt: 100 - 240 \$ za tonę CO₂



(Carbon Engineering, 2018)

BIOENERGY CARBON CAPTURE AND STORAGE (BECCS):

Aby zredukować do zera aktualne wymuszenie radiacyjne (RF) do końca 21 wieku, należałoby obsadzić roślinami energetycznymi obszar równy ok. 30% aktualnie wykorzystywanej rolniczo powierzchni Ziemi (połowa powierzchni USA).



21st Conference of Parties of UNFCCC
Paris, November 30 – December 12, 2015
(40 tys uczestników, 100 szefów państw)

- ❑ Całkowita zmiana filozofii w stosunku do Protokołu z Kioto
- ❑ "Bottom up approach":
Intended Nationally Determined Contributions (INDCs)

HIGHLIGHTS:

❑ "WELL BELOW 2°C"

Utrzymać wzrost średniej temperatury powietrza poniżej 2°C do końca XXI wieku.

❑ "EVERY FIVE YEARS"

Kraje będą dostarczać zrewidowane plany emisji (INDCs) co 5 lat poczynając od 2020 r. (Dostarczone INDCs obejmują horyzont czasowy do 2030 r)

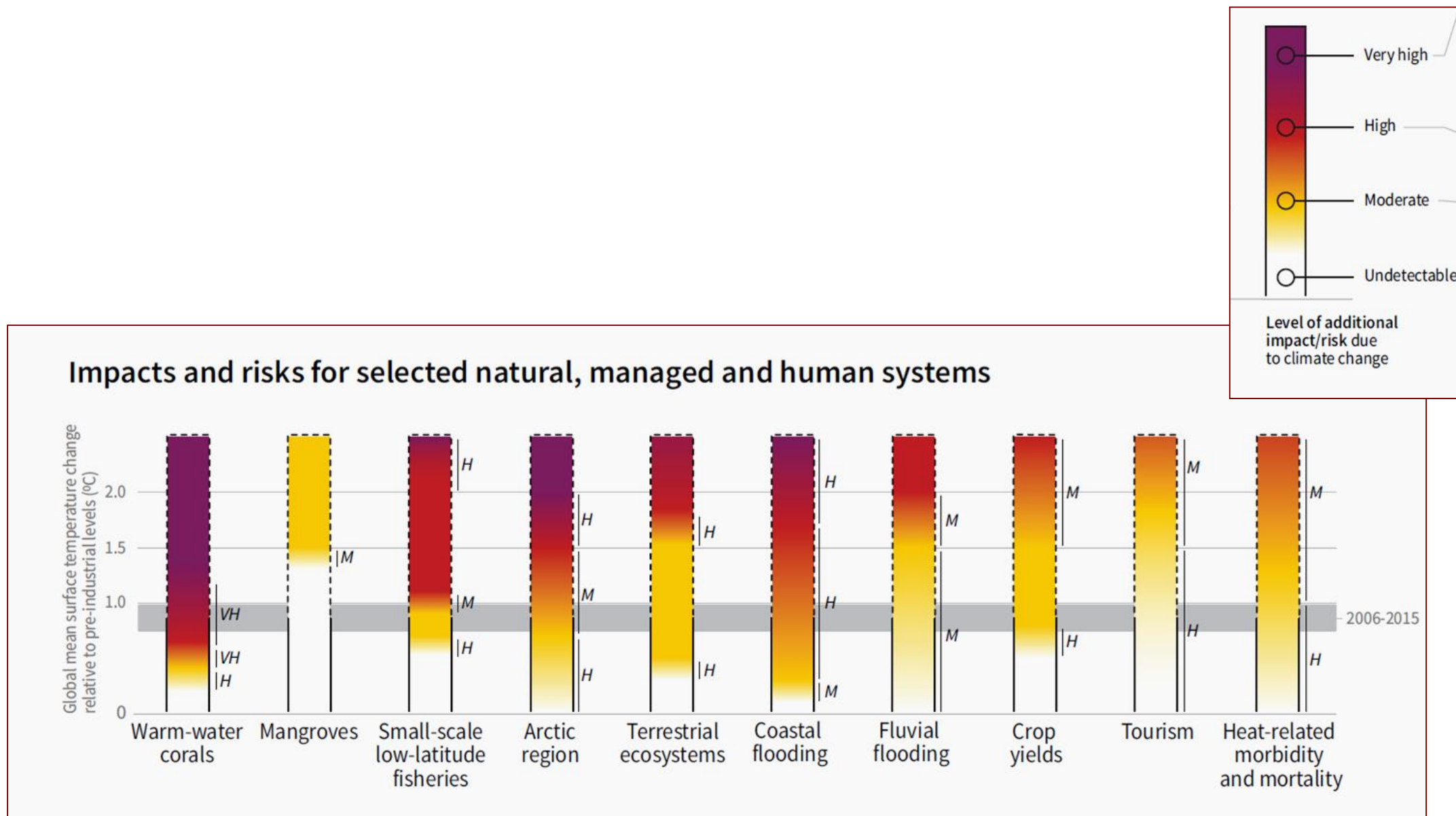
❑ "TECHNOLOGY DEVELOPMENT"

Kraje sygnatariusze będą czynić wysiłki na rzecz wprowadzania technologii nisko-emisyjnych. Dwadzieścia krajów, w tym USA, Chiny oraz szereg krajów UE zobowiązało się podwajać nakłady na czystą energię co 5 lat.

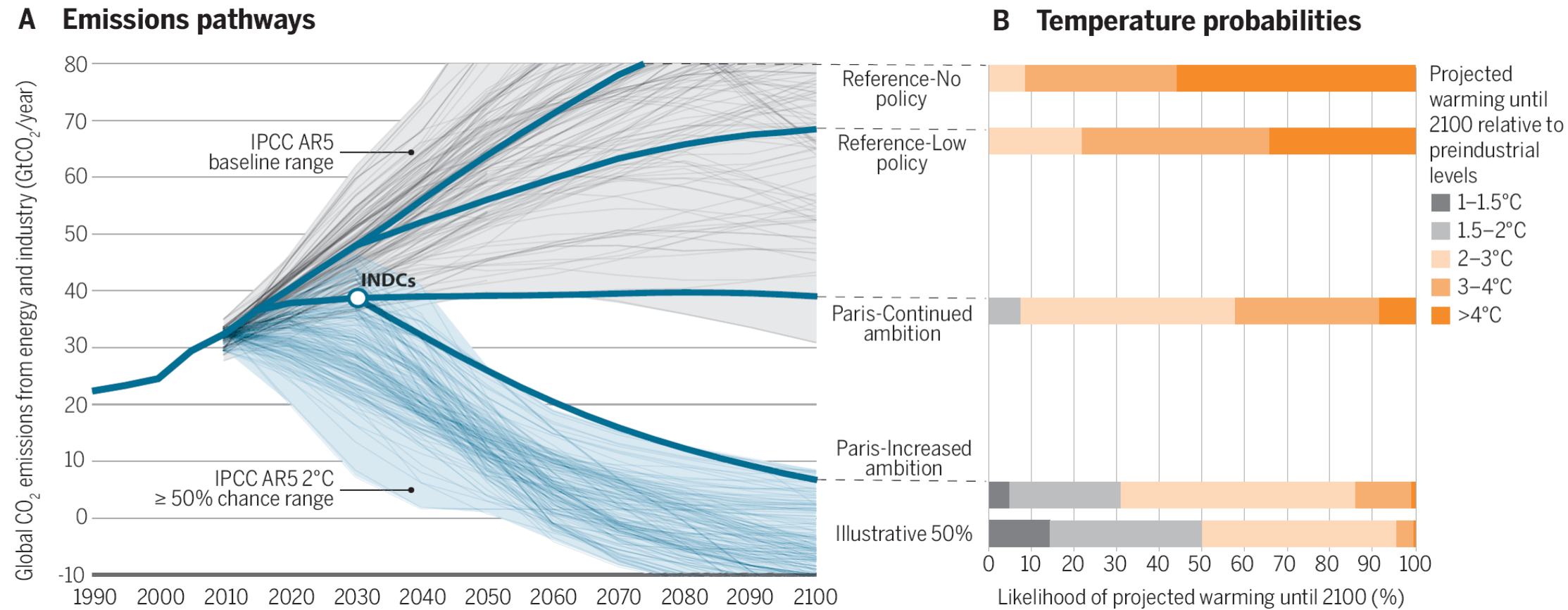
❑ "MOBILIZING CLIMATE FINANCE"

Kraje rozwinięte zobowiązały się utworzyć fundusz w wysokości 100 mld \$ rocznie dla wspierania krajów rozwijających się w ich wysiłkach na rzecz adaptacji do zmian klimatu i rozwoju nisko-emisyjnych technologii.

DLACZEGO „WELL BELOW 2°C” DO KOŃCA XXI WIEKU ?

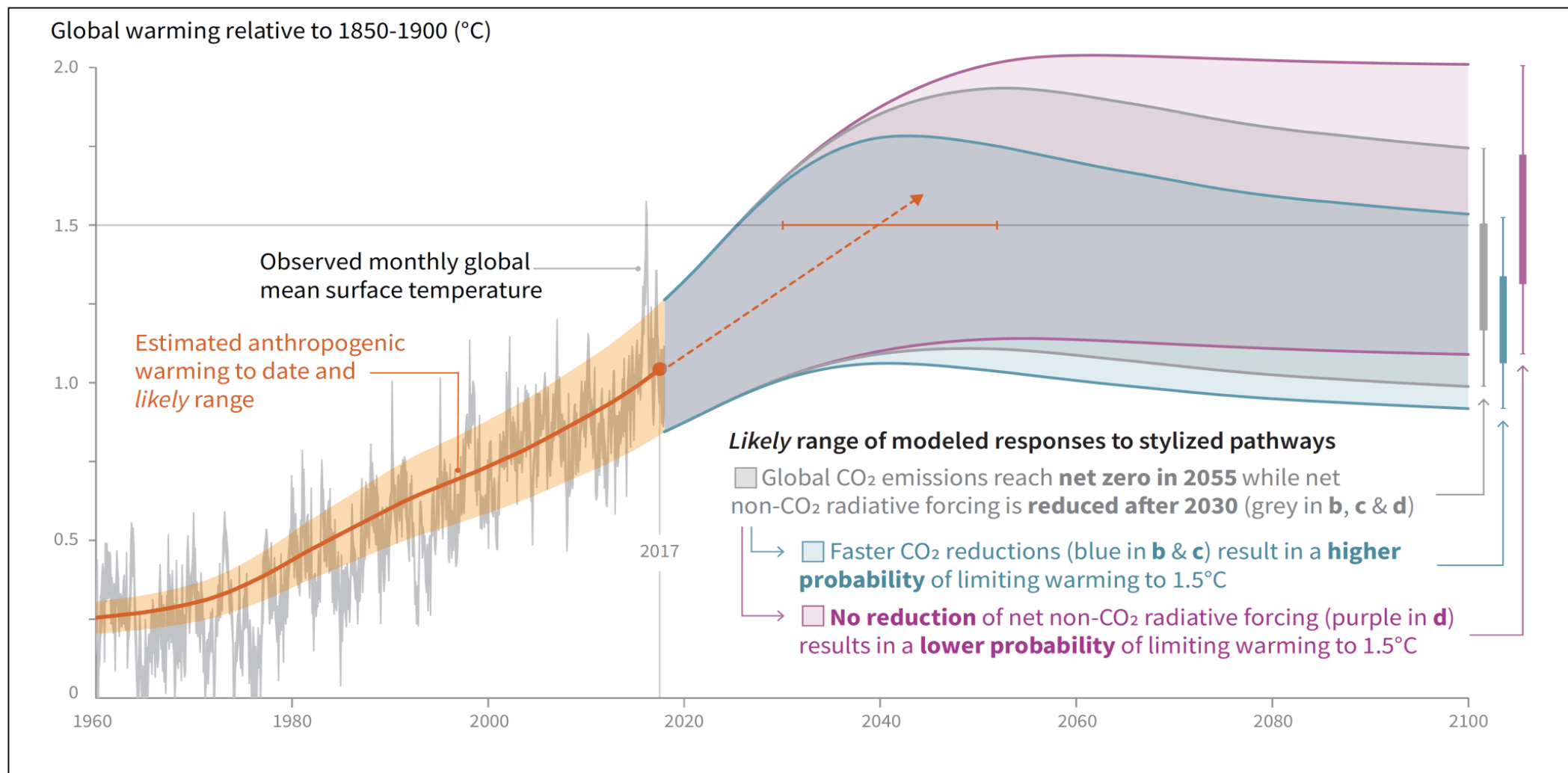


Trajektorie globalnych antropogenicznych emisji CO₂ do atmosfery w XXI wieku i odpowiadające im przewidywane wzrosty temperatury

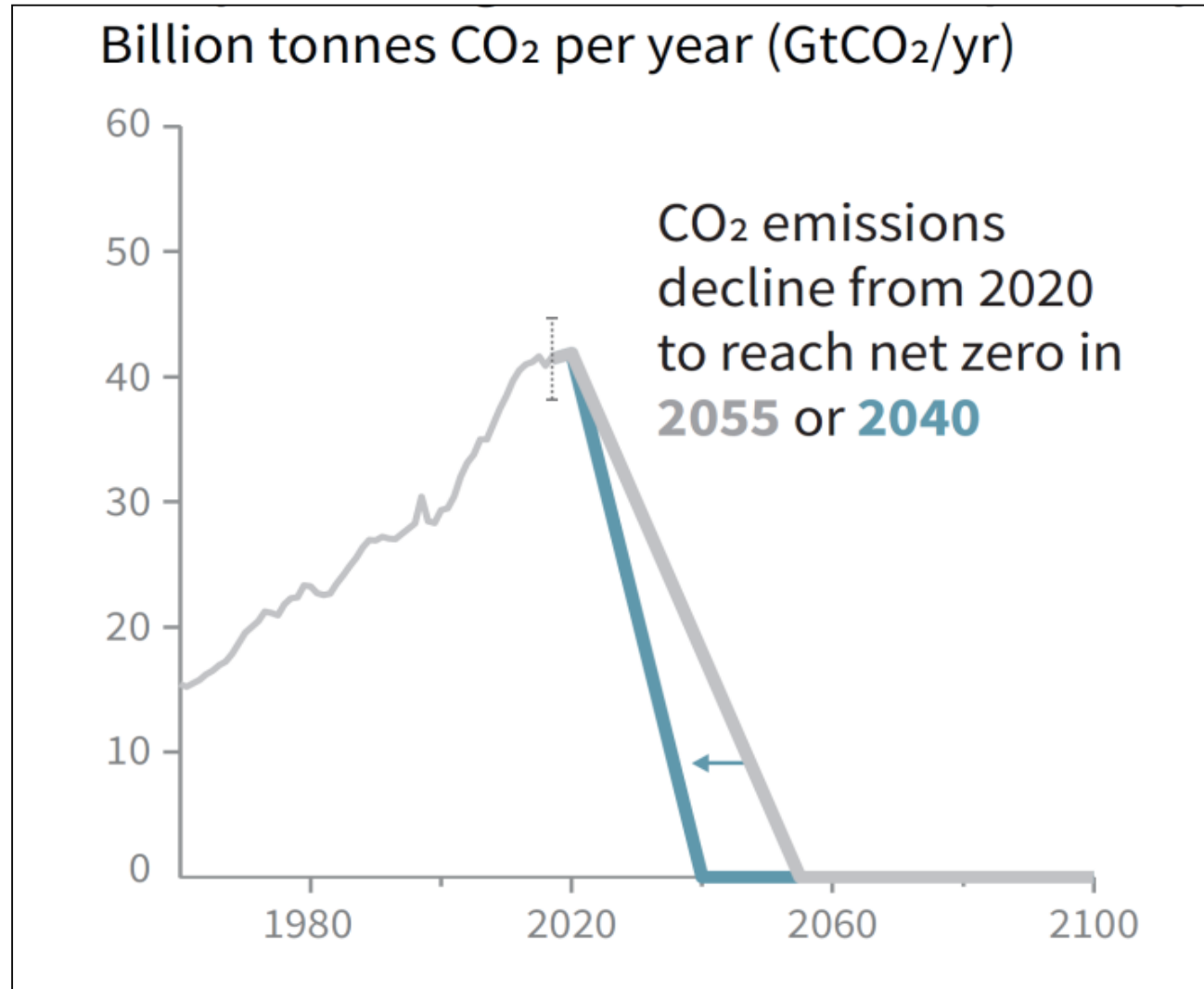


(Science, 4 December, 2015)

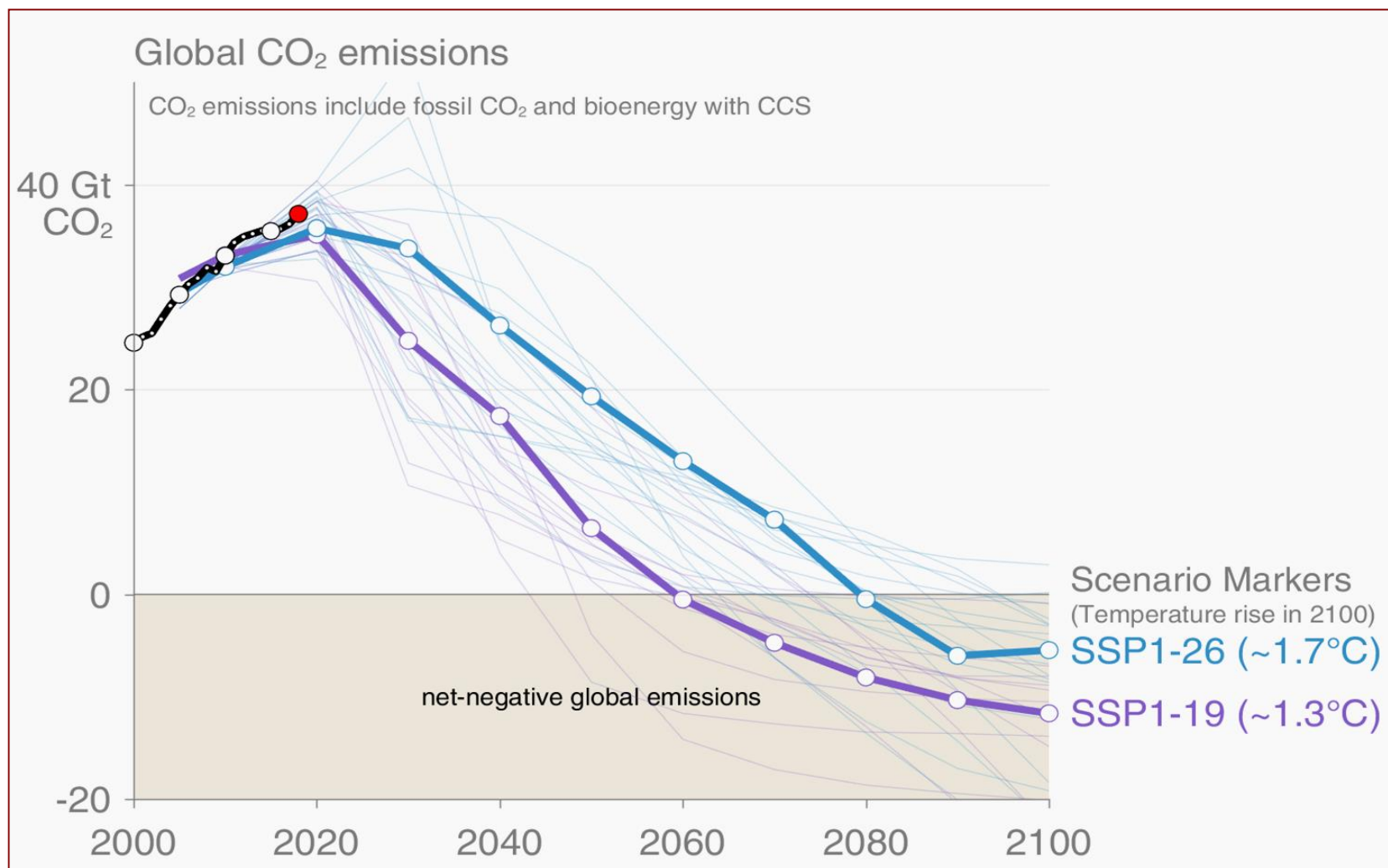
Jakie redukcje emisji są potrzebne aby zrealizować Porozumienie Paryskie? ("well below 2°C")



Jakie redukcje emisji są potrzebne aby zrealizować Porozumienie Paryskie? ("well below 2°C")



Jakie redukcje emisji są potrzebne aby zrealizować Porozumienie Paryskie? ("well below 2°C")



(Global Carbon Project, 2018)

CZY ZDOŁAMY ZAHAMOWAĆ GLOBALNE OCIEPLENIE ?

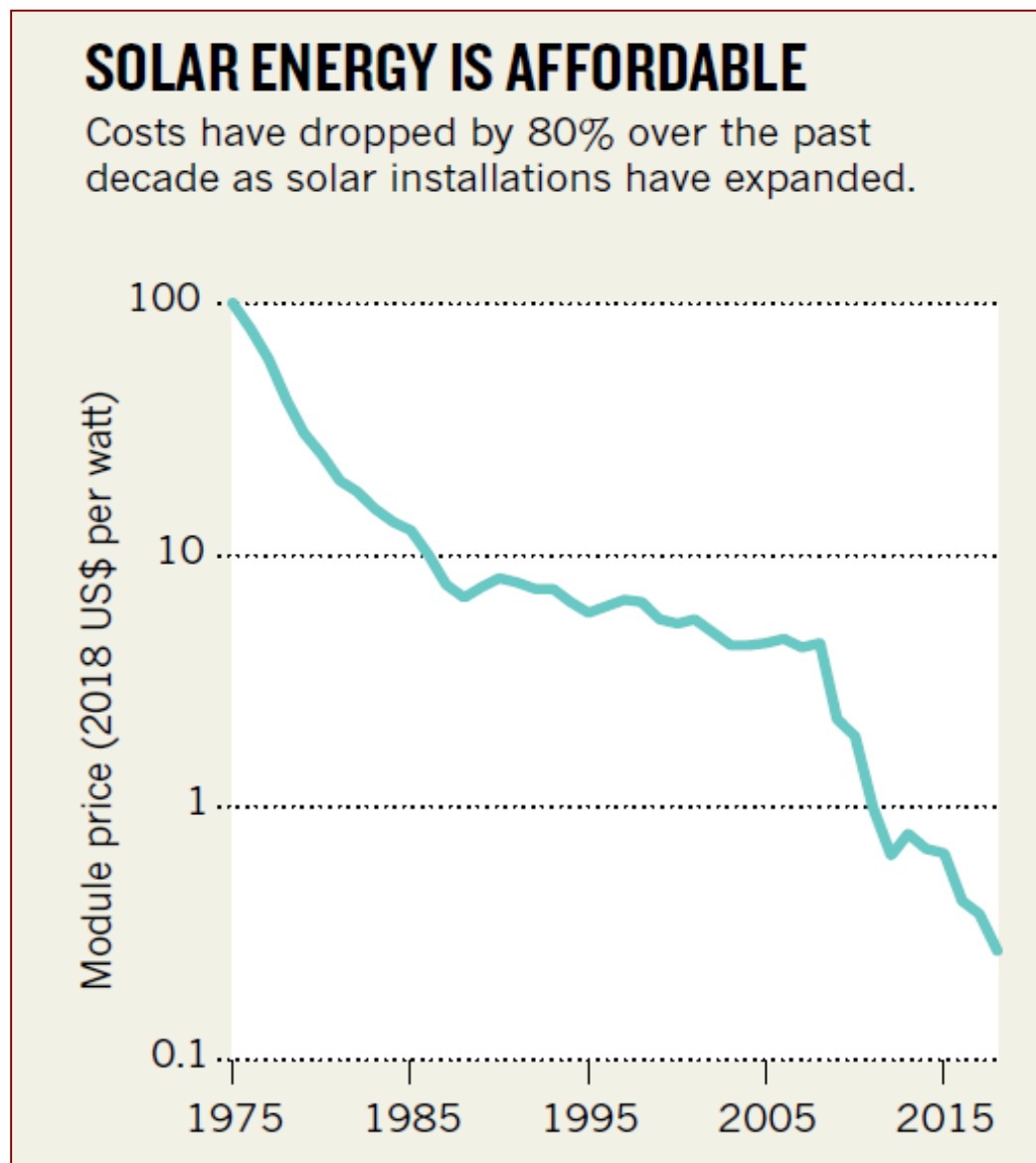
- (-) BEZPRECEDENSOWA SKALA WYMAGANYCH INTERWENCJI
- (-) OGROMNE KOSZTY WYMAGANYCH INTERWENCJI
- (-) WYZWANIA TECHNOLOGICZNE
- (-) KONIECZNA PEŁNA WSPÓŁPRACA SPOŁECZNOŚCI MIĘDZYNARODOWEJ
- (-) DEMOGRAFIA NIE SPRZYJA.....
- (-) PRESJA CZASU
- (-) SKĄD ENERGIA?
- (-) "UNPLEASANT SURPRISES ON THE HORIZON"

CZY ZDOŁAMY ZAHAMOWAĆ GLOBALNE OCIEPLENIE ?

(+) DEKARBONIZACJA ŚWIATOWEJ GOSPODARKI JEST CORAZ BARDZIEJ POSTRZEGANA JAKO "BUSSINESS OPPORTUNITY"

- w październiku 2018 Bank Światowy zaprzestał finansowania elektrowni opalanych węglem
- energia z farm wiatrowych stała się konkurencyjna na giełdach mocy
- Maroko, Meksyk, Chile, Egipt produkują energię elektryczną (panele solarne) w cenie 3 US centów za kilowatogodzinę (taniej niż elektrownia opalana gazem)
- stan Południowa Australia od 2017 roku eksploatuje farmę wiatrową sprzężoną za stacją baterii Tesli. System już zwrócił ok. 1/3 kosztów inwestycyjnych (ok. 66 mln US\$)
- Rozwój technologii baterii elektrycznych stymuluje wzrost sprzedaży aut elektrycznych
Obecnie jeździ po drogach ok. 3 mln samochodów elektrycznych (plug-in). Kraje takie jak Norwegia, Francja, UK, Holandia, India już określiły limity czasowe sprzedaży samochodów konwencjonalnych. Dla Norwegii jest to rok 2025.
- W 2017 roku 6225 firm reprezentujących 120 krajów zobowiązało się do wsparcia Porozumienia Paryskiego mając na uwadze prawdopodobne sumaryczne zyski z wiązane z dekarbonizacją gospodarki wynoszące w 2030 r 26 bilionów US\$ i 65 milionów nowych miejsc pracy

(+) A MOŻE BEZPRECEDENSOWY ROZWÓJ NAUKI I TECHNOLOGII NAS URATUJE.....?



(Figueres et al., 2018)

(+) BUNT MAS....?

*....nie przybyliśmy tu, aby błagać
światowych liderów o łaskę.....
jesteśmy tu żeby powiedzieć wam,
że nadchodzi nowe...niezależnie od tego
czy się wam to podoba, czy nie.....*

*... jeżeli nie zaczniecie traktować
poważnie klimatu, dzieci was rozliczą....*

*... musimy trzymać paliwa kopalne
w ziemi i musimy skoncentrować się
na równości. Jeżeli nie umiecie znaleźć
rozwiązań w obowiązującym systemie,
to znaczy że trzeba zmienić system....*

Greta Thunberg, 15 lat

