

# Źródła antropogenicznej emisji gazów cieplarnianych

**Dr hab. Jacek Pniewski**

Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

# Ważne definicje – ekwiwalent CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e)

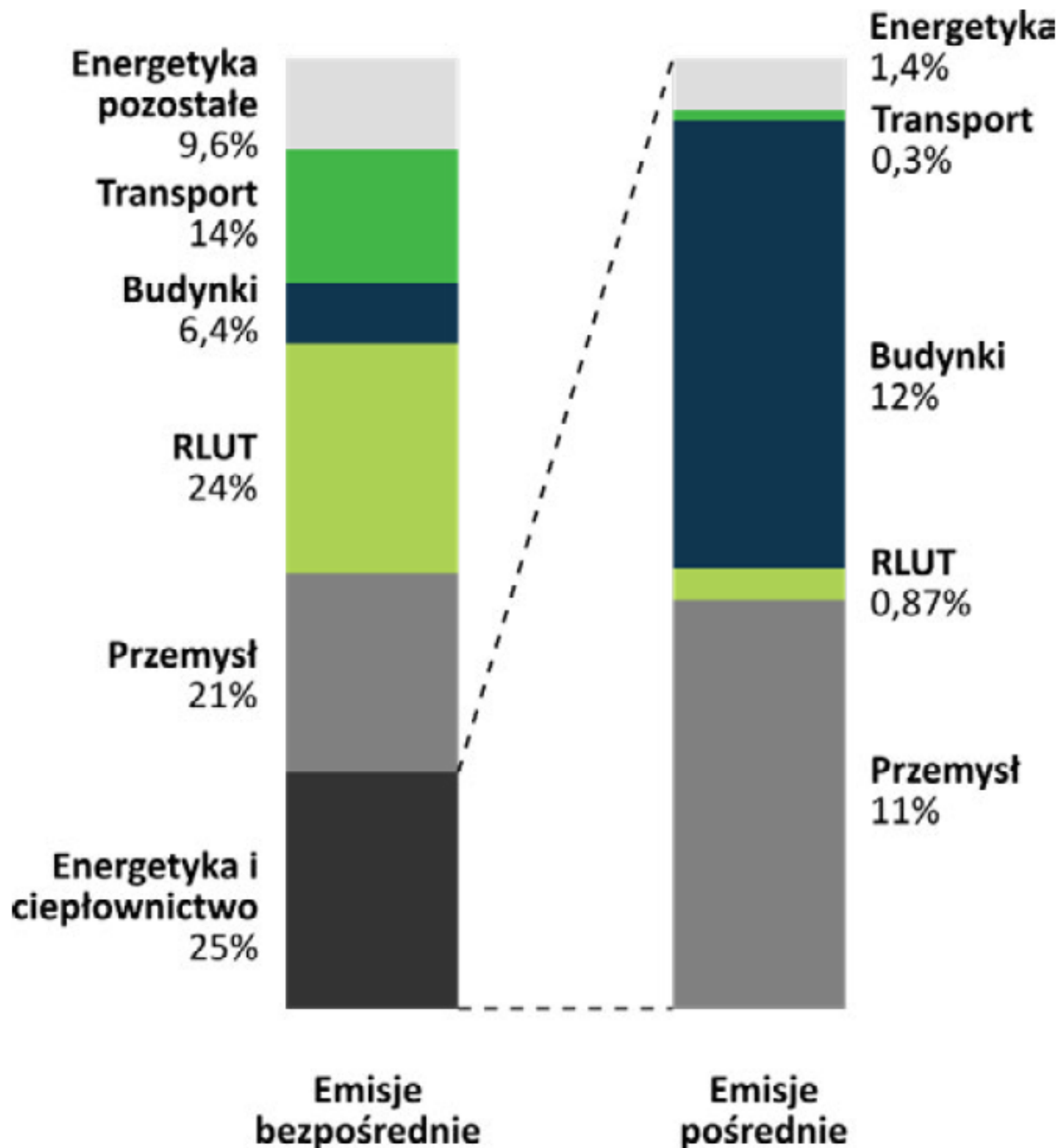
- Poszczególne gazy cieplarniane mają różną budowę atomową oraz masę cząsteczek.
- W przypadku różnych gazów jednostka masy (kg, t) przekłada się na inną liczbę cząsteczek.
- Dodatkowo, każdy związek ma inną zdolność do nasilania efektu cieplarnianego (zakres pochłanianych fal i koncentracja gazu).
- Na potrzeby porównań stosuje się tzw. „ekwiwalent CO<sub>2</sub>”  
– masa dwutlenku węgla, która wpłynęłaby na bilans energii Ziemi w tym samym stopniu, co dana substancja..
- Całkowite emisje gazów cieplarnianych związane z działalnością człowieka wyniosły w 2018 r. **55,5 GtCO<sub>2</sub>e** (Gt – gigatona, miliard ton)

# Ważne definicje – emisje bezpośrednie

- **Bezpośrednie emisje gazów cieplarnianych** – ilość gazów cieplarnianych emitowanych do atmosfery w danym sektorze lub przy danej działalności, na przykład:
  - emisje ze spalania drewna w kominkach (bezpośrednie emisje z budynków),
  - emisje metanu z ryżowisk (bezpośrednie emisje z rolnictwa).

# Ważne definicje – emisje pośrednie

- **Pośrednie emisje gazów cieplarnianych** – ilość gazów cieplarnianych emitowanych do atmosfery w związku z produkcją towarów czy usług, z których dany sektor korzysta,
  - Na przykład: większość sektorów korzysta z prądu elektrycznego, który na ogół produkowany jest dzięki spalaniu paliw kopalnych, z czym wiążą się emisje gazów cieplarnianych do atmosfery.
- 
- Całkowite emisje (suma bezpośrednich i pośrednich) związane z wybranym sektorem gospodarki mogą być dużo wyższe niż jego emisje bezpośrednie (na przykład w przemyśle, gdzie wykorzystuje się dużo energii elektrycznej).
  - Podział odpowiedzialności za emisje gazów cieplarnianych może zależeć od przyjętej konwencji.
  - Korzystając z różnych źródeł danych o emisjach, należy zwrócić uwagę, czy i jakie emisje pośrednie uwzględniono.



Podział całkowitych emisji gazów cieplarnianych (w przeliczeniu na ekwiwalent CO<sub>2</sub>) pomiędzy poszczególnymi sektorami gospodarki według danych z roku 2010, z wyróżnieniem emisji bezpośrednich i pośrednich (dane za IPCC, 2014).

Skrót RLUT oznacza rolnictwo, leśnictwo, użytkowanie terenu i jego zmiany.

„Budynki” to budynki mieszkalne, komercyjne czy użyteczności publicznej.

IPCC (2014). Summary for Policymakers. W: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., von Stechow, C., Zwickel, T., Minx, J.C. (red). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Wielka Brytania i Nowy York, NY, USA: Cambridge University Press.

# Źródła emisji

- **Energetyka i ciepłownictwo** odpowiadają za większość antropogenicznych emisji CO<sub>2</sub>, a także za znaczną część (30–35%) emisji metanu.
- **Przemysł** odpowiada za ok. 30% antropogenicznych emisji gazów cieplarnianych. W ok. 1/3 jest to efekt wykorzystania energii elektrycznej, a 2/3 to bezpośredni efekt procesów technologicznych, takich jak na przykład:
  - produkcja cementu,
  - produkcja stali,
  - produkcja tworzyw sztucznych.

# Źródła emisji

- **RLUT** odpowiada za 20–25% antropogenicznych emisji gazów cieplarnianych (zmiana użytkowania terenu, erozja gleb, użycie nawozów sztucznych ( $N_2O$ ), hodowla zwierząt i użycie nawozów naturalnych).
- Szczególnie obciążającym dla klimatu działem rolnictwa jest hodowla zwierząt, która odpowiada w sumie za ok. 14,5% całości antropogenicznych emisji, w tym:
  - emisje związane z wyżywieniem zwierząt,
  - metan powstający we wnętrzościach przeżuwaczy,
  - magazynowanie i przetwarzanie obornika,
  - przetwarzanie mięsa, przechowywanie oraz transport mięsa.
- Wyprodukowanie żywności na bazie roślin wymaga, średnio rzecz biorąc, mniejszych nakładów (terenów uprawnych, wody, nawozów) i wiąże się z mniejszymi emisjami gazów cieplarnianych niż produktów odzwierzęcych.

# Źródła emisji

- Istotnym źródłem antropogenicznych emisji są **budynki mieszkalne, komercyjne i użyteczności publicznej** (18–19% całkowitych antropogenicznych emisji gazów cieplarnianych).
- W większości (ok. 2/3) są one związane z zużyciem energii elektrycznej (do oświetlenia, ogrzewania, klimatyzacji, zasilania urządzeń gospodarstwa domowego i sprzętów elektronicznych) lub ciepłej (centralne ogrzewanie).
- 1/3 to emisje bezpośrednie – głównie dwutlenku węgla i metanu – z domowych palenisk (kotłów centralnego ogrzewania, kominków, kuchenek).



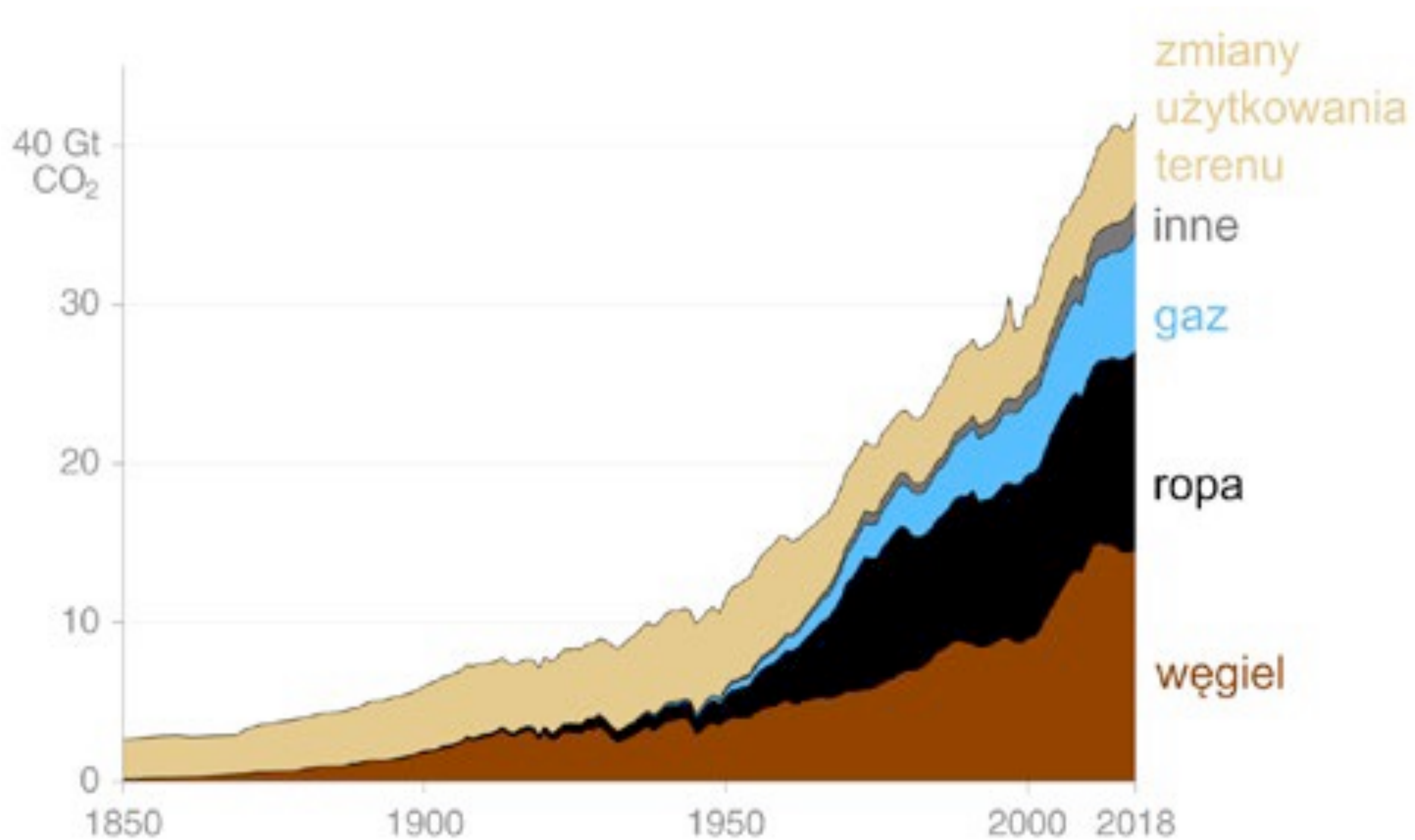
# Źródła emisji

- **Transport** odpowiada za 14–15% emisji antropogenicznych emisji gazów cieplarnianych.
- W większości ich źródłem jest obecnie bezpośrednie spalanie paliw zawierających węgiel w silnikach pojazdów.
- Szacunkowy rozkład:
  - transport drogowy (samochody osobowe, ciężarowe, autobusy) – ok. 72%,
  - transport lotniczy – ok. 11%,
  - transport wodny – ok. 11%.

# Źródła emisji

- Jako osobny sektor można potraktować **gospodarki: odpadami i ściekami** oraz zajmujące się nimi przedsiębiorstwa lub instytucje.
- Jest źródłem metanu i dwutlenku węgla emitowanych w wyniku rozkładania materii przez bakterie.
- W sumie odpowiada za ok. 3,5% emisji gazów cieplarnianych.
- Emisje związane z gospodarowaniem odpadów wytwarzanych przez konkretny dział gospodarki mogą być też zaliczone do emisji pośrednich z tej branży, podobnie jak te związane ze zużyciem energii elektrycznej.

# Całkowite emisje globalne



Roczne emisje dwutlenku węgla (w gigatonach CO<sub>2</sub>) w wyniku spalania węgla, ropy i gazu, a także zmian użytkowania terenu oraz z innych źródeł (głównie produkcji cementu).

# Efektywność źródeł energii pod kątem emisji

<b>Rodzaj paliwa</b>	<b>Masa CO<sub>2</sub> emitowana przy uwolnieniu gigadżula energii [kgCO<sub>2</sub>/GJ]</b>
Paliwa gazowe (gaz ziemny i oparte na nim produkty)	<b>50–62</b>
Paliwa na bazie ropy naftowej (ropa, nafta, benzyna...)	<b>69–75</b>
Węgiel (różne klasy)	<b>79–110</b>

# Zmiana koncentracji CO<sub>2</sub> w związku z działalnością człowieka

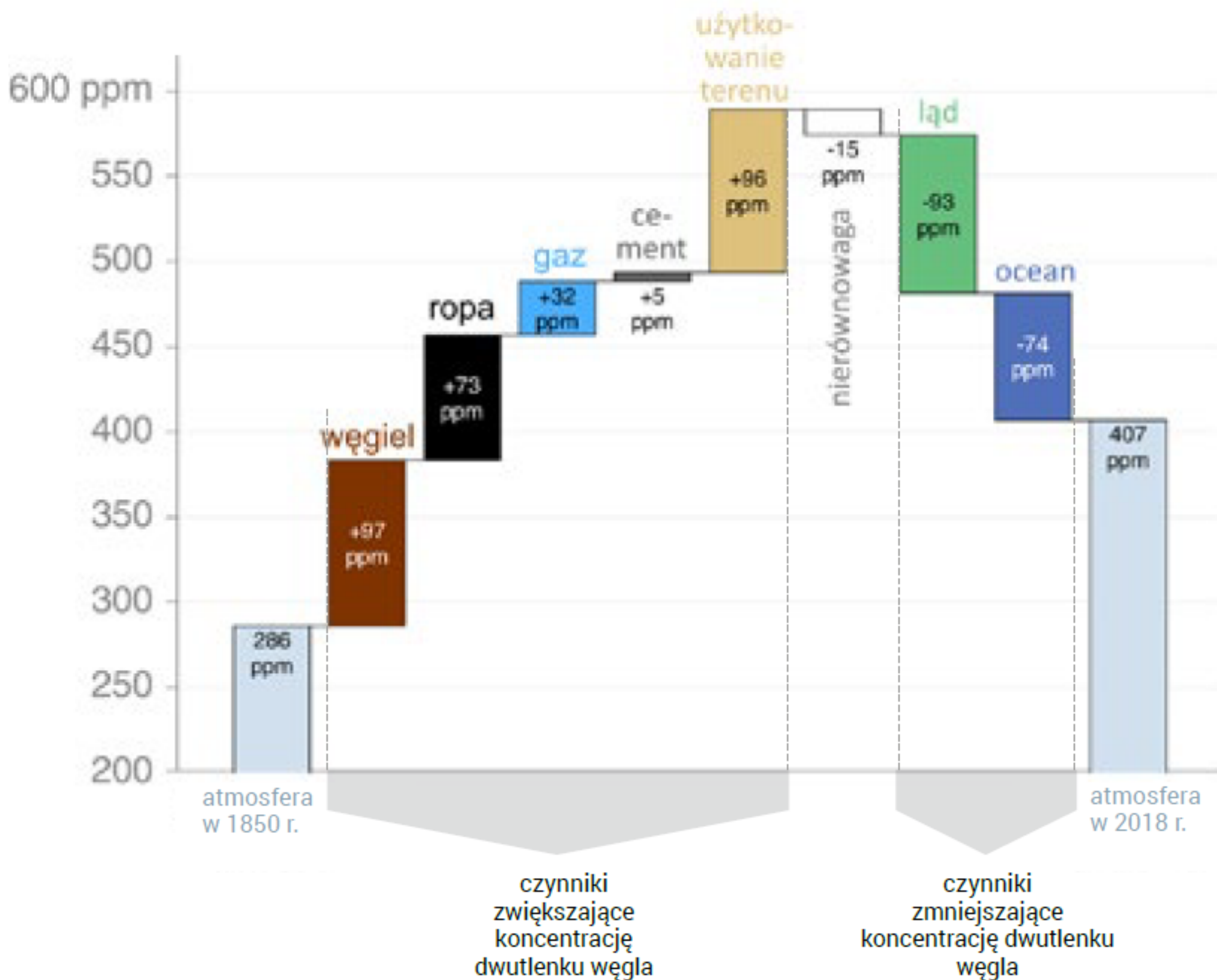
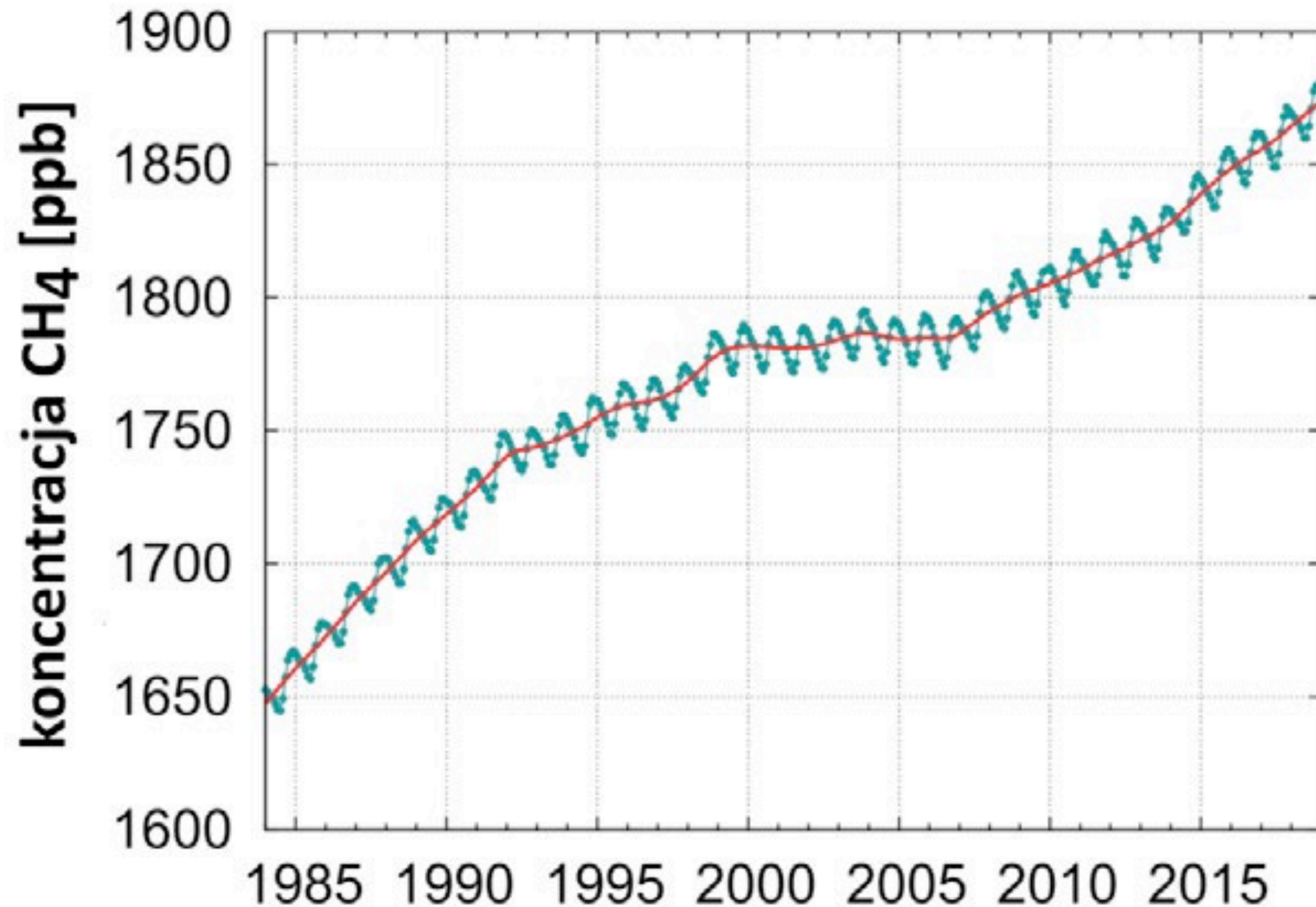


Diagram pokazujący, jak poszczególne źródła dwutlenku węgla związane z działalnością człowieka dołożyły się do koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze oraz jak obniżyło ją pochłanianie dwutlenku węgla przez ekosystemy lądowe i ocean.

# Inne gazy cieplarniane – metan

- Metan to gaz, którego cząsteczki składają się z jednego atomu węgla i czterech atomów wodoru ( $\text{CH}_4$ ).
- Czas życia metanu w powietrzu jest dużo krótszy niż  $\text{CO}_2$ : w ciągu ok. 10 lat wypuszczone do atmosfery cząsteczki metanu utleniają się, w wyniku czego powstaje dwutlenek węgla.
- Średnia koncentracja metanu wyniosła w 2018 roku  $1869 \pm 2$  ppb, czyli o 159% więcej niż przed rewolucją przemysłową.
- Uwolnienie tony metanu ma większy wpływ na bilans energetyczny Ziemi niż tony  $\text{CO}_2$ .
- Antropogeniczny metan może pochodzić: ze źródeł geologicznych, ze spalania biomasy, ze źródeł mikrobiologicznych.

# Metan – koncentracja w atmosferze



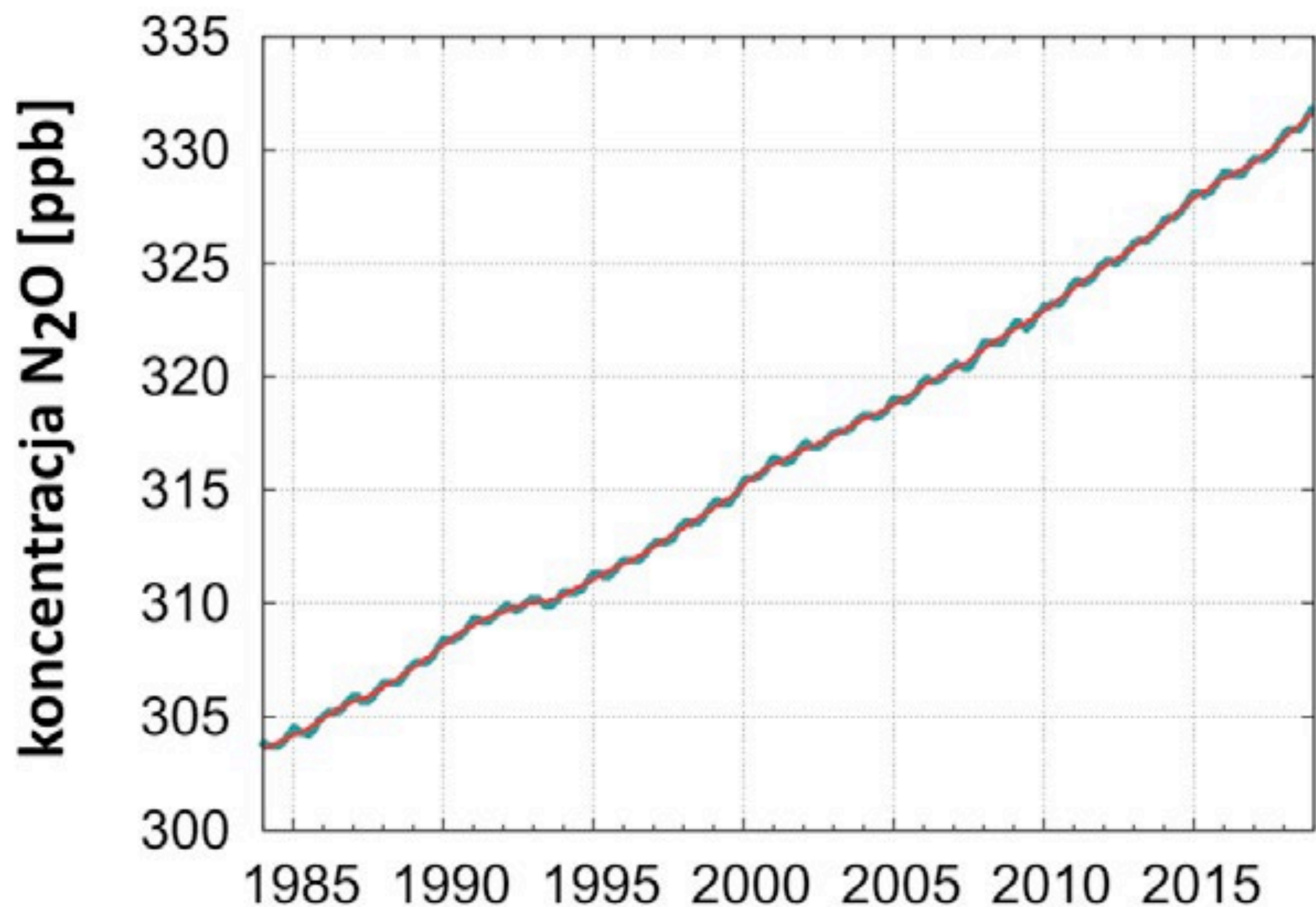
Zmiany koncentracji metanu w atmosferze (w ppb). Niebieskie kropki odpowiadają średnim miesięcznym, czerwona linia pokazuje średnie miesięczne po usunięciu wahań związanych ze zmianami pór roku.

# Inne gazy cieplarniane – tlenek azotu

- Tlenek azotu(I)  $N_2O$  występuje naturalnie w atmosferze.
- Powstaje w wyniku aktywności występujących powszechnie w glebie i oceanie bakterii przetwarzających związki azotu. To element obiegu azotu w przyrodzie – zestawu procesów, które w warunkach niezaburzonych równoważą się i pozwalają na utrzymanie stałego składu atmosfery.
- Około 40% światowych emisji  $N_2O$  jest związanych z działalnością człowieka, w tym:
  - z wykorzystaniem nawozów azotowych,
  - ze spalaniem paliw kopalnych, biopaliw i biomasy,
  - z reakcjami chemicznymi podczas produkcji nawozów oraz niektórych tworzyw sztucznych,
  - z procesami oczyszczania ścieków komunalnych.



# Tlenek azotu – koncentracja w atmosferze



Zmiany koncentracji tlenku azotu(I) w atmosferze (w cząstkach na miliard). Niebieskie kropki odpowiadają średnim miesięcznym, czerwona linia pokazuje średnie miesięczne po usunięciu wahań związanych ze zmianami pór roku.

# Inne gazy cieplarniane – freony i pochodne

- „Freony” to stosowana w Polsce potoczna nazwa chloro- i fluoropochodnych węglowodorów – związków powstających przez zamianę atomów wodoru (H) w gazach (np. metan, etan, propan) na atomy chloru lub fluoru.
- Są nieszkodliwe dla człowieka, trwałe i niepalne, a jednocześnie łatwo jest je skraplać i odparowywać. Sprawdzały się np. w chłodnictwie lub jako gazy nośne dla produktów sprzedawanych w puszkach aerozolowych (np. dezodoranty).
- Mają bardzo negatywny wpływ na środowisko:
  - przyczyniają się do niszczenia warstwy ozonowej chroniącej powierzchnię Ziemi przed szkodliwym dla organizmów żywych promieniowaniem nadfioletowym,
  - są silnymi gazami cieplarnianymi, mogącymi przyczynić się do szybko postępującego ocieplenia klimatu.
- Na mocy tzw. Protokołu montrealskiego (1987) zostały objęte kontrolą i stopniowo wprowadzanym zakazem produkcji.
- Zostały na jakiś czas zastąpione gazami HFC, które nie stanowią zagrożenia dla warstwy ozonowej, ale są gazami cieplarnianymi.

# Wpływ emisji gazów cieplarnianych na klimat

- **Klęski żywiołowe, np.:**
  - huragany/cyklony/tajfuny,
  - susze,
  - upały,
  - ulewę,
  - pożary,
- **Inne skutki (długofalowe), np.:**
  - topnienie lodowców,
  - niedobory wody,
  - spadek produkcji żywności,
  - zakwaszanie oceanów,
  - wzrost poziomu morza,
  - utrata raf koralowych,
  - wielkie wymieranie zwierząt,
  - migracje ludzi.