

## PODSUMOWANIE ZMIANA KLIMATU: 25 PYTAŃ I ODPOWIEDZI

przygotowanych przez naukowców współpracujących z zespołem Uniwersytetu Warszawskiego dla Klimatu: dr Magdalenę Budziszewską, dr. Jakuba Jędraka, dr Aleksandrę Kardaś oraz prof. Szymona Malinowskiego

### 1. Czy klimat Ziemi naprawdę się ociepla?

Tak. Pokazują to pomiary temperatury. Mamy do dyspozycji m.in. dane ze stacji meteorologicznych na lądach, z boi pomiarowych w oceanie czy satelitów. Obserwujemy też globalne zjawiska potwierdzające ocieplenie, takie jak topnienie lodowców i lądolodów.

### 2. Jak bardzo wzrosła już temperatura Ziemi?

Od początku rewolucji przemysłowej średnia temperatura powierzchni Ziemi wzrosła już o ok. 1°C. Nie wszędzie wzrost temperatur jest taki sam: lądy ocieplają się szybciej niż oceany, szczególnie szybko ociepla się Arktyka.

### 3. Ale ociepleniem o jeden, dwa stopnie chyba nie trzeba się przejmować?

To częste nieporozumienie. Nie mówimy o zmianie pogody, ale o zmianie średniej temperatury planety. Ziemia o kilka stopni cieplejsza to zupełnie inna planeta niż ta, którą znamy.

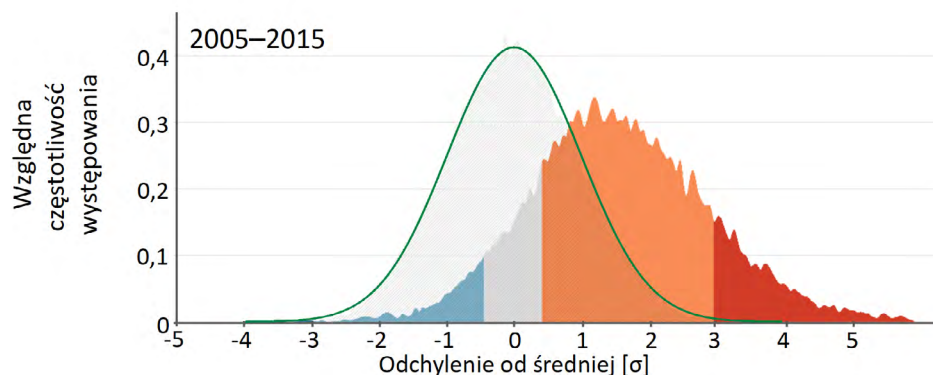
### 4. „Globalne ocieplenie” czy „zmiana klimatu”?

Można używać obu sformułowań. „Globalne ocieplenie” oznacza wzrost średniej temperatury powierzchni Ziemi. „Zmiana klimatu” to szerszy termin, sygnalizujący, że zmieniają się także inne parametry – na przykład miejsca i terminy występowania opadów.

### 5. Co zmiana średniej temperatury oznacza w praktyce?

Kiedy średnia temperatura rośnie, to o każdej porze roku wyjątkowo ciepłe dni zdarzają się coraz częściej, a odchylenia od tego, co do tej pory było normą, są większe. Konsekwencją zmiany klimatu jest też większa liczba ekstremalnych zjawisk pogodowych, takich jak huragany, gwałtowne opady czy długie okresy bez deszczu.

Na ilustracji P.1. widać, jak zmieniły się częstotliwości występowania różnych temperatur powietrza nad lądami półkuli północnej (dane dla dekady 2005–2015 w porównaniu do lat 1951–1980).



**Ilustracja P.1.** Zmiany częstotliwości występowania różnych temperatur nad lądami na półkuli północnej w latach 2005–2015.

**Źródło:** Popkiewicz, Kardaś i Malinowski, 2019.

**6. Wciąż jednak zdarzają się wyjątkowo zimne dni, a nawet śnieżyce w nietypowych dla takich zjawisk porach roku. Może to dowód, że globalne ocieplenie się skończyło?**

Nie. Globalne ocieplenie oznacza wzrost średniej temperatury powierzchni Ziemi. Nie wyklucza występowania lokalnych i okresowych ochłodzeń. Dodatkowo zmiana klimatu powoduje zwiększenie zakresu zmienności warunków pogodowych, a w niektórych lokalizacjach może sprzyjać „atakom zimy”. Jednocześnie w innych regionach często występują wtedy temperatury wyższe od średniej.

**7. Jak szybko zmienia się klimat Polski?**

W naszym kraju w ciągu ostatnich 30–40 lat średnia temperatura wzrosła już przynajmniej o ok. 2°C. Średnia temperatura dla obecnego terytorium Polski w latach 1851-1900 wynosiła 7,2°C. W roku 2019 – już 10,3°C. W Polsce lata 2018 i 2019 były najcieplejsze w historii pomiarów.

**8. Skąd się wzięła współczesna zmiana klimatu?**

Spalając paliwa kopalne – węgiel kamienny i brunatny, ropę naftową i gaz ziemny – emitujemy dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>). Uwalniamy do atmosfery węgiel, którego zmagazynowanie w paliwach kopalnych zajęło miliony lat. Emitujemy także inne gazy cieplarniane. Wzrost ich stężenia w atmosferze jest głównym czynnikiem odpowiedzialnym za zachodzące obecnie gwałtowne ocieplanie się planety.

**9. Czy jednak na pewno obecna zmiana klimatu jest skutkiem działalności człowieka? A może jest to część jakiegoś naturalnego cyklu, na który nie mamy wpływu?**

Obecna zmiana klimatu pokazuje, że wytrąciliśmy system klimatyczny z jego naturalnych cykli. Gdyby nie nasze działania, to w tej chwili Ziemia powinna powoli się ochładzać. Emisje gazów cieplarnianych odwróciły ten naturalny trend i zastąpiły szybkim ocieplaniem się klimatu. Wszystkie duże towarzystwa naukowe są zgodne, że obecna zmiana klimatu jest skutkiem działalności człowieka.

**10. Słyszałem, że nasza emisja dwutlenku węgla to tylko mały ułamek naturalnych emisji tego gazu.**

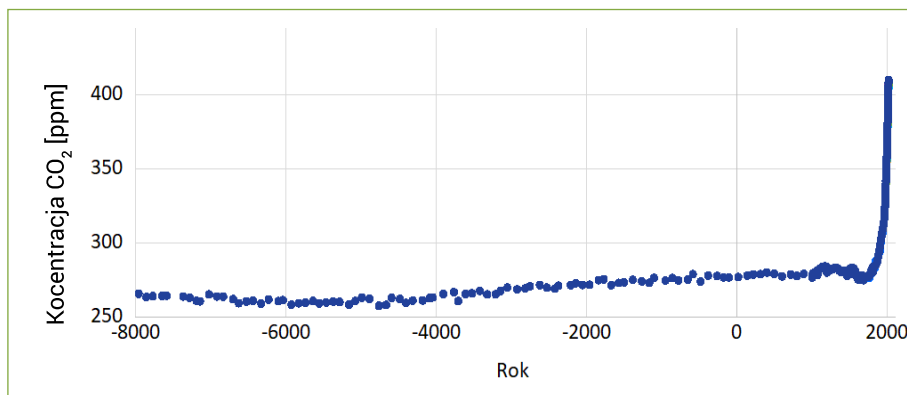
Jest to kolejne z najczęstszych nieporozumień. Emisje, których źródłem są m.in. przemiana materii w organizmach żywych, rozkład materii organicznej czy oceany, stanowią część cyklu, który jest zasadniczo zrównoważony. Natura uwalnia mniej więcej tyle samo CO<sub>2</sub>, co pochłania. Natomiast ludzie, spalając paliwa kopalne, każdego roku wprowadzają do atmosfery dodatkową, niezbilansowaną ilość CO<sub>2</sub>. To ta kumulująca się nadwyżka odpowiada za zmianę klimatu.

**11. Jaki udział w emisji dwutlenku węgla mają wulkany?**

Wulkany na całym świecie każdego roku emitują (średnio) ok. 300 mln ton CO<sub>2</sub>. To mniej więcej tyle, ile emituje Polska – odpowiednik 1% światowych emisji dwutlenku węgla związanych z działalnością człowieka.

**12. Jak w takim razie zmieniło się stężenie CO<sub>2</sub> w atmosferze?**

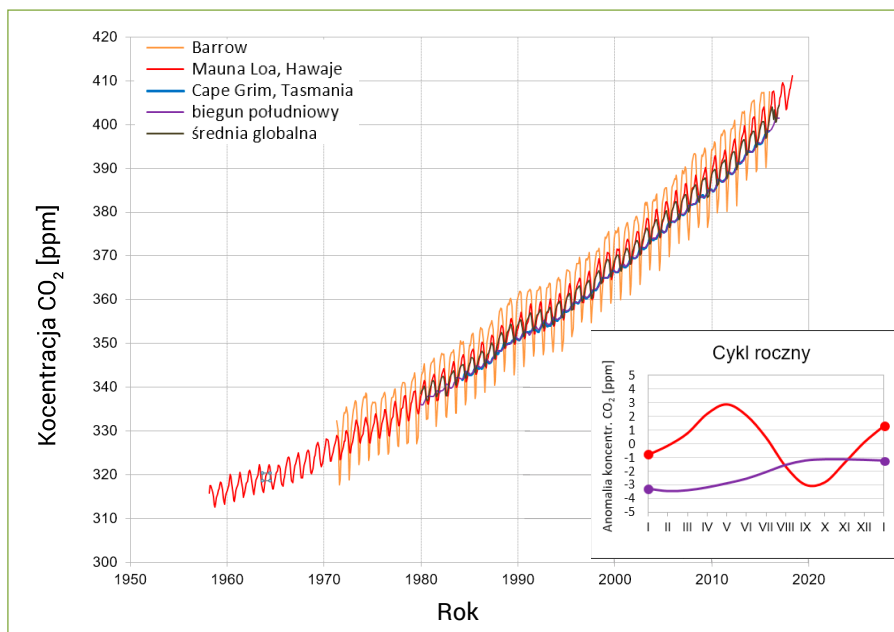
Do połowy XVIII wieku koncentracja CO<sub>2</sub> w atmosferze wynosiła ok. 280 ppm (części albo cząsteczek na milion), natomiast obecnie jest to już ok. 410 ppm (średnia roczna). Chodzi tu o stężenie tła, mierzone z dala od wszelkich źródeł emisji CO<sub>2</sub>.



**Ilustracja P.2.** Zmiany koncentracji CO<sub>2</sub> w skali kilku tysięcy lat.

**Źródło:** Popkiewicz, Kardaś i Malinowski, 2019.

Od końca XVIII wieku stężenie tła CO<sub>2</sub> w atmosferze stale jednak rośnie, szczególnie szybko w ciągu kilku ostatnich dekad:



**Ilustracja P.3.** Zmiany koncentracji CO<sub>2</sub> w skali kilkudziesięciu lat mierzone w kolejnych miesiącach w obserwatoriach Mauna Loa na Hawajach, Barrow na Alasce, Cape Grim w Tasmanii i na biegunie południowym oraz średnia globalna. W ramce w prawym dolnym rogu przedstawiono cykl roczny na Mauna Loa i biegunie południowym (0 odpowiada średniej rocznej na Mauna Loa): uśrednione dane dla kolejnych miesięcy w latach 2006–2015 wskazują, że w tej dekadzie średni wzrost stężenia CO<sub>2</sub> w obu miejscach wynosił ponad 2 ppm.

**Źródło:** Popkiewicz, Kardaś i Malinowski, 2019.

Za wyraźnie widoczne, regularne oscylacje poziomu CO<sub>2</sub> w ciągu roku odpowiadają sezonowe zmiany pochłaniania tego gazu związane z okresem wegetacyjnym na półkuli północnej.

Od początku rewolucji przemysłowej wyemitowaliśmy więcej CO<sub>2</sub>, niż było go początkowo w atmosferze. To, że stężenie CO<sub>2</sub> wzrosło w tym czasie zaledwie o ok. 50%, zawdzięczamy temu, że część wyemitowanego CO<sub>2</sub> jest pochłanianą przez oceany, roślinność i glebę.

### 13. Jaki wpływ na stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu wywierają oceany?

Morza i oceany pochłaniają obecnie z atmosfery więcej CO<sub>2</sub>, niż go do niej emitują. Wraz ze wzrostem temperatury sytuacja ta może, niestety, ulec zmianie – w cieplejszej wodzie rozpuszczalność CO<sub>2</sub> jest mniejsza.

### 14. Czy nadmiar CO<sub>2</sub> w atmosferze ma jeszcze jakieś konsekwencje poza wpływem na klimat?

W niedalekiej przyszłości rosnące stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu, którym oddychamy, będzie negatywnie wpływać na nasze samopoczucie i sprawność intelektualną – tak jak jest w dusznym, niewietrzonym pomieszczeniu. Im wyższe stężenie tła CO<sub>2</sub>, tym trudniej będzie zapewnić dobrą jakość powietrza (niskie stężenie CO<sub>2</sub>) w rejonach miejskich i wewnątrz budynków.

Szybkie rozpuszczanie się dużych ilości CO<sub>2</sub> w oceanie prowadzi do jego zakwaszania – procesu niekorzystnego dla wielu organizmów, także tych stanowiących podstawę morskich łańcuchów pokarmowych. Może to odbić się na całym ekosystemie oceanicznym i doprowadzić do jego załamania.

**15. Czy dwutlenek węgla jest jedynym gazem cieplarnianym?**

Nie. Najważniejsze gazy cieplarniane poza dwutlenkiem węgla ( $\text{CO}_2$ ) to: para wodna ( $\text{H}_2\text{O}$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), tlenek azotu (I) ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ozon ( $\text{O}_3$ ) oraz fluorowęglowodory i chlorofluorowęglowodory (freony). Największy wpływ na obecną zmianę klimatu mają dwutlenek węgla i metan. Para wodna łatwo się skrapla, a jej ilość w atmosferze zależy od temperatury. Wzrost jej ilości w atmosferze wynika wyłącznie z ocieplenia klimatu. Para wodna nie powoduje zmian klimatu, ale je nasila.

**16. Co wspólnego mają globalne ocieplenie i smog?**

To dwa różne, choć powiązane problemy. Niestety, duża część działań anty-smogowych nie spowalnia zmiany klimatu. Ich celem jest ograniczenie emisji zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia, a nie gazów cieplarnianych.

**17. W jaki sposób nadmiar gazów cieplarnianych w atmosferze wpływa na temperaturę na powierzchni Ziemi?**

Średnia temperatura powierzchni Ziemi to efekt równowagi pomiędzy energią otrzymywaną przez planetę od Słońca i wypromieniowywaną przez nią w kosmos. Gazy cieplarniane utrudniają ucieczkę energii z powierzchni Ziemi – na tym polega efekt cieplarniany. Gdy ich stężenie rośnie, efekt cieplarniany nasila się, coraz więcej energii jest zatrzymywane w atmosferze i średnia temperatura powierzchni Ziemi rośnie.

**18. Skąd wiemy, że z powierzchni Ziemi w przestrzeń kosmiczną ucieka mniej energii niż kiedyś?**

Pokazują to pomiary satelitarne. Pomiary zaś prowadzone na powierzchni pokazują, że wzrasta natężenie promieniowania podczerwonego pochodzącego z atmosfery.

**19. Gdzie podziewa się dodatkowa energia związana z nadmiarem gazów cieplarnianych w atmosferze?**

Ponad 90% tej nadwyżki energii przejmują ogrzewające się oceany. Reszta powoduje topnienie lodów oraz ogrzewanie powierzchni lądów i atmosfery. Ilość energii trafiająca do oceanów jest ogromna – w każdej sekundzie odpowiada energii wyzwolonej podczas wybuchu czterech bomb atomowych takich jak ta zrzucona na Hiroszimę.

**20. Jakie są przewidywane konsekwencje zmiany klimatu?**

Jeśli szybko nie zaprzestaniemy emisji gazów cieplarnianych, to za kilkadziesiąt lat na znacznych obszarach naszej planety regularnie będą występować temperatury za wysokie, by mogły przeżyć zwierzęta stałocieplne, w tym ludzie. Coraz częstsze będą katastrofalne susze i inne ekstremalne zjawiska pogodowe, takie jak huragany czy nawałne opady.

Wzrost poziomu morza spowoduje postępujące zatapianie obszarów nadbrzeżnych, gdzie mieszka znaczna część populacji świata, a w konsekwencji głód, epidemie, migracje i rosnące ryzyko konfliktów zbrojnych. W każdej części świata w zmienionym klimacie nie będzie mogło żyć wiele gatunków roślin i zwierząt, które żyły tam do tej pory. Syberyjska tajga może zamienić się w step, a równikowe lasy Amazonii – w sawannę.

**21. Co nam grozi w Polsce? Może to nawet lepiej, że jest u nas trochę cieplej niż kiedyś?**

Już teraz w Polsce negatywne skutki ocieplenia klimatu, takie jak fale upałów, susza i pożary lasów, przeważają nad nielicznymi skutkami pozytywnymi. Susza w naszym kraju nie jest spowodowana wyłącznie zmianą klimatu. Brak wody z topiącego się po zimie śniegu i zwiększone przez wyższe temperatury parowanie sprawiają jednak, że zagrożenie suszą jest większe. Z czasem negatywne konsekwencje zmiany klimatu będą w Polsce coraz poważniejsze.

## 22. Co to są sprzężenia zwrotne w systemie klimatycznym?

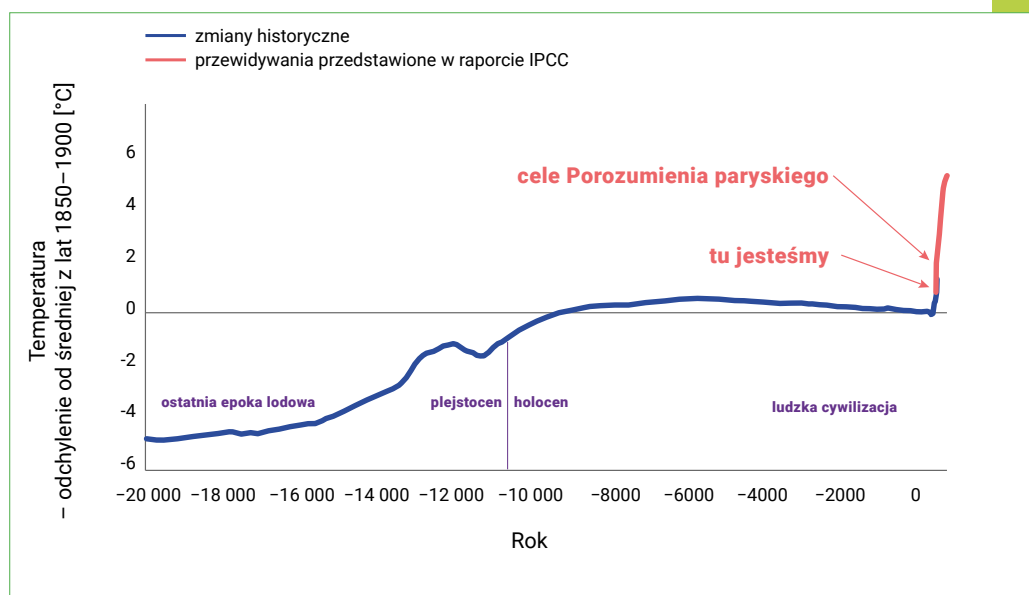
To zjawiska występujące w odpowiedzi na zmianę klimatu, mogące ją wzmacniać lub osłabiać. Na przykład topniejąca wieloletnia zmarzlina uwalnia dwutlenek węgla i metan, co zwiększa stężenia tych gazów cieplarnianych w atmosferze i powoduje szybsze ocieplenie się klimatu. Obecnie większość działających sprzężeń wzmacnia zmianę klimatu. Jeśli podgrzejemy naszą planetę za bardzo, to uruchomimy kaskadę takich procesów, które będą napędzać się nawzajem, powodując efekt domina.

## 23. Co to są punkty krytyczne systemu klimatycznego?

Punkt krytyczny (*tipping point*) to taki stan ziemskiego klimatu, po osiągnięciu którego rozpoczyna się jakiś praktycznie nieodwracalny proces, wpływający na system klimatyczny. Jeśli na przykład stopi się lądolód Grenlandii, to nie odbuduje się on w wyobrażalnej dla nas skali czasowej, a jego utrata będzie mieć wpływ na klimat całej planety.

## 24. Czy to prawda, że zmiana klimatu mogłaby zniszczyć dużą część biosfery i zagrozić przetrwaniu ludzkiej cywilizacji?

W najgorszym, ale niestety dość realistycznym scenariuszu – tak. Przypomnijmy, że kiedy średnia temperatura Ziemi była o ok. 4°C niższa niż współcześnie, nasza planeta znajdowała się w maksimum ostatniej epoki lodowej (ilustracja P.4.), a większa część obecnego terytorium Polski była pokryta kilkusetmetrową warstwą lodu.



Wzrost temperatury o kilka stopni w stosunku do holocenu – okresu stabilnego klimatu, w którym rozwinęła się ludzka cywilizacja – pociągnie za sobą wystąpienie na Ziemi warunków skrajnie różnych od tych, które znamy. Procesy te zachodzą w szybkim tempie, utrudniając przystosowanie się do nich. Co więcej, jeśli ocieplenie przekroczy pewną wartość krytyczną, to dalej będzie postępowało samo, nawet jeśli całkowicie przestaniemy emitować gazy cieplarniane. W takim scenariuszu Ziemia stałaby się na większości swojego obszaru niezdatna do zamieszkania dla ludzi.

## 25. Co powinniśmy zrobić, by zatrzymać zmianę klimatu?

Musimy przeorganizować wszystkie nasze działania i dziedziny życia tak, aby nie wiązały się z emisjami gazów cieplarnianych. W szczególności musimy przestać spalać paliwa kopalne i zmienić sposób produkcji żywności. Musimy też pilnie otoczyć ochroną przyrodę, w tym oceany, żeby złagodzić destrukcyjny wpływ naszej cywilizacji i zmiany klimatu na ekosystemy. Na te wszystkie działania mamy, niestety, mało czasu.

**Ilustracja P.4.** Szacunkowe zmiany średniej temperatury powierzchni Ziemi w porównaniu do średnich w latach 1850–1900 [°C]. Holocen cechował się stosunkowo stabilnym klimatem, umożliwiającym rozwój rolnictwa i rozkwit ludzkiej cywilizacji.

**Na podstawie:** Popkiewicz, 2022; dane za IPCC.