

# Zmiany klimatu

*Jakie były, jakie są  
i co nam przyniosą*



## W BROSZURZE

### ***Co kształtuje klimat na Ziemi?***

*Zapis zmian klimatu  
w geologicznej historii Ziemi*

### ***Czwartorzędowa epoka lodowa***

*Ocieplenie po ostatnim okresie  
glacjalnym, interglacjał holoceniński  
i mała epoka lodowa*

### ***Zjawiska wyjątkowe i ekstremalne***

*Efekt cieplarniany*

***Zmiany klimatu spowodowane  
działalnością człowieka***

*Wpływ klimatu na życie  
społeczeństw ludzkich*

***Zmiany klimatu na ziemiach  
polskich w ostatnim tysiącleciu***

*Prognozy zmian klimatu*

## Co kształtuje klimat na Ziemi?

Klimat jest kształtowany przez wzajemne oddziaływanie powierzchni Ziemi i atmosfery, czyli gazowej powłoki naszej planety. Najbardziej istotnym czynnikiem modelującym klimat jest przepływ energii, której głównym źródłem jest Słońce. Rozkład przestrzenny ciepła pochodzącego z promieniowania zależy od ruchu wirowego i obiegowego Ziemi. Z tego powodu globalne wahania klimatyczne mają najprawdopodobniej swoje źródło w cyklicznie zachodzących zmianach natężenia promieniowania słonecznego, nakładających się na powolne zmiany kształtu orbity Ziemi. Czas trwania z tych zjawisk jest różny, a ich nakładanie się daje w efekcie naturalne wahania klimatu, a także zjawiska ekstremalne.

Cyrkulacja atmosferyczna i oceaniczna a także zmiany stanu skupienia wody są głównymi czynnikami zmian klimatycznych. Oprócz warunkowań wynikających z rozmieszczenia oceanów i kontynentów, ukształtowania rzeźby kontynentów (szczególnie ukierunkowania i wysokości pasm górskich) oraz przebiegu prądów morskich, na klimat Ziemi wywiera wpływ skład chemiczny atmosfery, bowiem od niego zależy wielkość promieniowania słonecznego, które dochodzi do powierzchni Ziemi.

1. Podpis do zimna pustynia
2. Podpis do Taj-tropik las
3. Podpis do Taj-palmy
4. Wydna z maroka

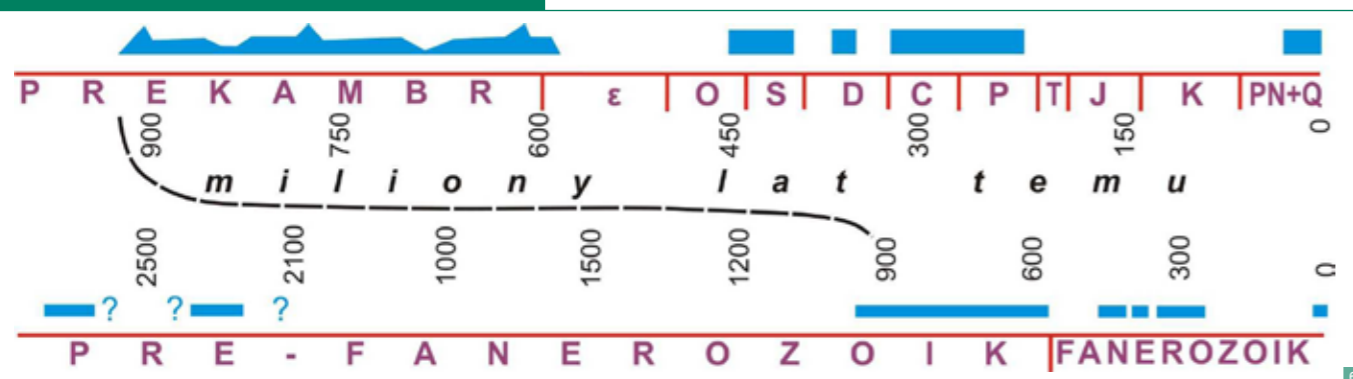




## Zapis zmian klimatu w geologicznej historii Ziemi

W historii Ziemi globalne zmiany klimatu zachodziły często, dając różne efekty w różnych strefach Ziemi, zależnie od zmieniającego się rozkładu kontynentów i położenia biegunów. W skałach osadowych znajdujemy zapis warunków klimatycznych panujących w czasie ich sedimentacji i diagenety. Skład granulometryczny skał jest wyrazem dynamiki środowiska sedimentacji, zależnej od warunków klimatycznych, od klimatu także zależy skład mineralny oraz chemizm skał. Zachowane w skałach szczątki organiczne roślin i zwierząt dokumentują intensywność rozwoju życia na Ziemi, uwarunkowanego w zasadniczy sposób przez temperaturę, wilgotność i skład chemiczny atmosfery. Badania geologiczne dowiodły, że globalne zmiany klimatu powodowały regionalne fluktuacje klimatyczne i wielokrotnie doprowadzały do ukształtowania warunków skrajnych np. gorących wilgotnych lub suchych oraz zimnych suchych lub wilgotnych – w tym ostatnim przypadku sprzyjających rozwojowi zlodowaceń. W geologicznej historii Ziemi kilkakrotnie doszło do znacznego ochłodzenia, którego efektem były zlodowacenia kontynentów. Prawdopodobnie były to okresy niezbyt długie w porównaniu z okresami klimatu cieplejszego i o różnej wilgotności. Najmłodsza, czwartorzędowa epoka lodowa rozpoczęła się 2 miliony lat temu i trwa do dziś.

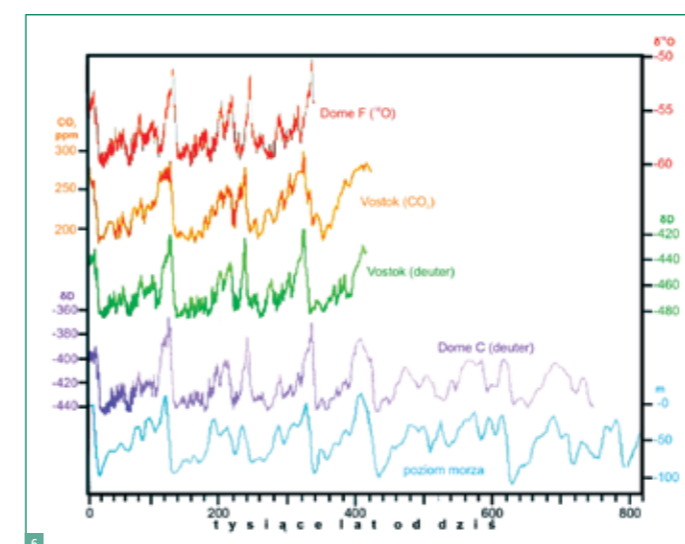
5. Tyllit – paleozoiczna glina zwałowa – pozostałość zlodowacenia
6. Występowanie w przeszłości zlodowaceń na Ziemi według Calkina (1995), zmodyfikowane ε – kambryj, O – ordowik, S – sylur, D – dewon, C – karbon, P – perm, T – trias, J – jura, K – kreda, PN+Q – paleogen, neogen i czwartorzęd



## Czwartorzędowa epoka lodowa

W neogenie pojawiły się pierwsze symptomy ochłodzenia klimatu, które nasilało się z wieloma fluktuacjami klimatycznymi mniejszego rzędu i powodowało w średnich szerokościach geograficznych kilkakrotnie rozwój zlodowaceń. W porównaniu ze starszymi okresami zlodowaceń, czwartorzędowa epoka lodowa została rozpoznana dużo bardziej szczegółowo. Osady i formy rzeźby terenu stanowią zapis procesów dynamicznych, często uzależnionych od warunków klimatycznych. Świat roślinny i zwierzęcy był zbliżony do współczesnego, a zasięgi geograficzne gatunków związanych z określonymi warunkami klimatycznymi zmieniały się zgodnie z przesuwaniami się stref klimatycznych. Możliwość jednoczesnego zastosowania różnych metod prowadzi do rozpoznania historii transformacji geosystemu, w tym zmian klimatycznych. Są to metody litologiczne, sedimentologiczne, paleontologiczne, a także fizyczne i chemiczne. Te ostatnie umożliwiają datowanie skał i zawartych w nich szczątków organicznych, co umożliwia określenie chronologii zmian klimatycznych.

7. Ochłodzenie klimatu...
6. Rejestr zmian klimatycznych w czasie ostatnich 800 tysięcy lat odzwierciedlony przez wahania zawartości izotopów tlenu, deuteru i CO<sub>2</sub> w rdzeniach lodowych Vostok, Dome C i F na Antarktydzie oraz ich korelacja ze zmianami poziomu oceanu światowego odczytanymi na podstawie zróżnicowanej zawartości izotopów tlenu w osadach głębokomorskich; na podstawie Jouzel (2006), zmodyfikowane



## Ocieplenie po ostatnim okresie glacialnym, interglacjal holoceni i mała epoka lodowa

U schyłku ostatniego zlodowacenia zaznaczyły się parokrotnie szybkie zmiany temperatury, przy czym ocieplenia następowały szybciej niż ochłodzenia. Precyzyjnym zapisem tych zmian temperatury są proporcje ilościowe trwałych izotopów tlenu  $^{18}\text{O}$  i  $^{16}\text{O}$ , zmierzone w grubych pokrywach lodowych Grenlandii i Antarktydy, a także w organogenicznych osadach jeziornych. Dzięki możliwości datowania osadów i substancji organicznych metodą radiowęglową zmierzono szybkość zmian temperatury. Najwyraźniejsze ocieplenie stwierdzono u schyłku okresu zwanego młodszym dryasem (około 11,5 -12,5 tysięcy lat temu), kiedy w okresie 100 lat średnia roczna temperatura w Europie Środkowej wzrosła o około  $4^{\circ}\text{C}$ . Tak szybkie ocieplenie spowodowało przyspieszenie topnienia lądolodów i gwałtowną ekspansję szaty roślinnej. Był to proces znacznie bardziej intensywny niż współczesne efekty ocieplenia spowodowane wzrostem ilości gazów cieplarnianych w atmosferze (efektem cieplarnianym). W oparciu o rekonstrukcje zmian zachodzących w geosystemach, jakie miały miejsce w czasie takich wahań termicznych w przeszłości, możemy prognozować, jakie skutki przyniosą współczesne zmiany klimatyczne. W ciągu holocenu zaznaczyły się mniejsze, ale jednak znaczące wahania klimatu. Ochłodzenie i zwilgotnienie zaznaczyło się w okresie borealnym (8 500 – 8 000 lat temu). Optimum klimatyczne holocenu (6000-5000 lat temu) charakteryzowało się w skali globalnej średnią roczną temperaturą o  $10\text{C}$  wyższą od obecnej. Ostatnim wyraźnym epizodem klimatycznym holocenu była tzw. „mała epoka lodowa”, ochłodzenie zaznaczające się głównie w strefie klimatu umiarkowanego, trwające od XV do połowy XIX wieku, a poprzedzone średniowiecznym ociepleniem klimatycznym.

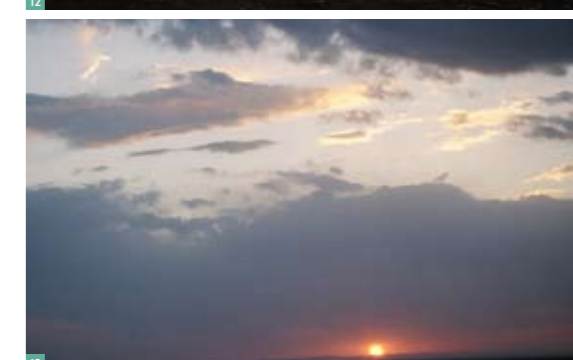
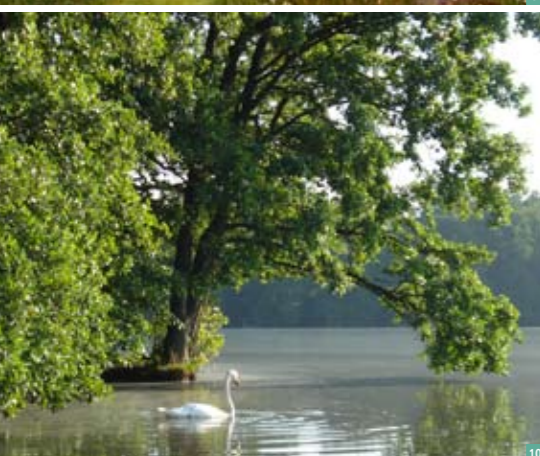
- 8. Góra...
- 9. Tundra...
- 10. Jezioro...

## Zjawiska wyjątkowe

Krótkotrwałe zmiany klimatu mogą być efektem zjawisk występujących nieregularnie (niecyklicznie). Takimi są między innymi wybuchy wulkanów, a przykładem było obniżenie temperatury na całej półkuli północnej, spowodowane kilkuletnią obecnością w atmosferze chmury popiołów wulkanicznych po wybuchu wulkanu Laki na Islandii w 1783 roku. Na samej Islandii ograniczenie dopływu światła słonecznego tak znacznie ograniczyło roślinność, że niemożliwym stało się wyżywienie zwierząt gospodarskich, ówczesnej podstawy egzystencji mieszkańców. Wyginęło wówczas 75% zwierząt hodowlanych i 20% ludności.

Innym przykładem nietypowego zjawiska, które dało efekt ochłodzenia o dużym zasięgu na półkuli północnej w końcowym etapie zaniku lądolodu północnoamerykańskiego było gwałtowne spłynięcie jeziora przylodowego Agassisa (jego pozostałością są obecne Wielkie Jeziora na pograniczu Stanów Zjednoczonych i Kanady). Nagły dopływ do Oceanu Atlantyckiego lżejszej słodkiej i zimnej wody i utrzymywanie się jej ponad ciężką wodą słoną dało ochłodzenie powietrza na tak dużym obszarze, że zaznaczyło się ono także w Europie w postaci krótkotrwałego ochłodzenia około 8 200 lat temu.

- 11. Opis do zdjęcia...
- 12. Opis do zdjęcia...
- 13. Opis do zdjęcia...
- 14. Opis do zdjęcia...





15



16



17

## Efekt cieplarniany

Szczególne znaczenie mają tak zwane gazy cieplarniane, bez których życie na Ziemi byłoby niemożliwe. Są to występujące w atmosferze w śladowej ilości: para wodna, dwutlenek węgla, tlenek azotu, metan i ozon. Ich działanie nazwane efektem cieplarnianym jest zjawiskiem naturalnym i korzystnym, umożliwiającym rozwój życia na Ziemi. Polega on na tym, że gazy cieplarniane przepuszczają do powierzchni Ziemi znaczną część promieniowania słonecznego, a jednocześnie nie dopuszczają do wypromieniowania ciepła w przestrzeń kosmiczną. To dzięki nim średnia temperatura roczna najniższych warstw atmosfery wynosi obecnie ok. 15,5°C. Bez gazów cieplarnianych w atmosferze temperatura ta wynosiłaby około -18°C, co spowodowałoby pokrycie lodem całej powierzchni Ziemi. Panowałyby warunki, w których życie w obecnej formie nie mogłoby istnieć.

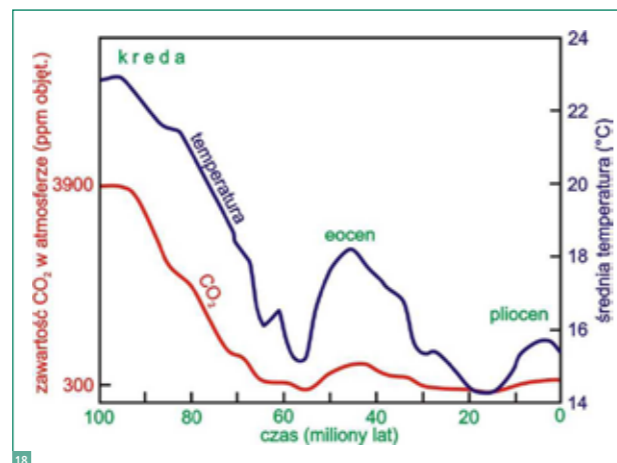
Znaczną ilość gazów cieplarnianych produkuje biosfera, jednak problem ocieplenia globalnego, jakie obserwujemy obecnie, wynika w dużej mierze także z gospodarczej działalności człowieka, powodującej emisję do atmosfery dodatkowej porcji gazów cieplarnianych. Głównym ich źródłem jest spalanie węgla kopalnych (kamiennego i brunatnego) oraz ropy naftowej i gazu ziemnego. Ponadto wytwarzane sztucznie freony i halony wpływają niszcząco na ozon – gaz, którego obecność w stratosferze daje ochronę powierzchni Ziemi przed szkodliwymi składnikami promieniowania słonecznego UV (problem „dziury ozonowej”).

15. Rośliny tropikalne

16. Dżungla

17. Opis do zdjęcia...

18. Zawartość CO<sub>2</sub> w atmosferze i średnia temperatura na powierzchni Ziemi w ciągu ostatnich 100 milionów lat.



18

## Zmiany klimatu spowodowane działalnością człowieka

Utrzymywanie odpowiedniego składu atmosfery, zawierającej wystarczającą ilość tlenu i pary wodnej umożliwiających życie na Ziemi, jest uwarunkowane istnieniem pokrywy roślinnej, a zwłaszcza lasów. Obecnie panujące warunki klimatyczne umożliwiają pokrycie 58% kontynentów lasami, ale człowiek przez swoją działalność gospodarczą zmniejszył tę wielkość do 23%. Wycinanie i wypalanie lasów było oczywiście konieczne ze względu na potrzeby rolnictwa, rozwijającego się już od neolitu. W średniowieczu drewno zaczęto pozyskiwać dla celów przemysłowych, a w następnych stuleciach proces ten miał już charakter lawinowy. Zmniejszanie areałów leśnych skutkuje podwyższeniem temperatury powierzchni gruntu, zwiększeniem amplitudy temperatur, zmniejszeniem wielkości opadów, rozwojem zjawisk ekstremalnych jak susze, deszcze nawalne i ulewy oraz wzrostem intensywności i częstotliwości występowania cyklonów tropikalnych. Są to zjawiska globalne, lecz intensywność ich efektów zależy od regionalnych cech środowiska. Najwyraźniejsze i najgroźniejsze efekty nawet niewielkiego wzrostu temperatury i zmniejszenia opadów widoczne są w regionach ekologicznie słabych tzw. ekotonach, czyli obszarach granicznych między strefami klimatycznymi lub roślinnymi. Tam właśnie niewielka zmiana klimatu może spowodować przekroczenie barier ekologicznych, warunkujących możliwość utrzymywania się wegetacji. Wyraznym przykładem takich zjawisk jest szybka ekspansja pustyni w Sahelu, będąca skutkiem jedynie nieznacznego zmniejszenia, ale i tak dotychczas niewielkich opadów.

19. Opis do foto

20. Opis do foto

21. Nawet niewielkie zmniejszenie i tak już małych opadów w słabej ekologicznie strefie Sahelu powoduje ekspansję pustyni: osiedla i kanały mające rozprowadzać wodę zasypuje piasek, pola uprawne wysychają

22. Spowodowany odlesieniem wzrost amplitudy temperatur skutkuje między innymi lokalnym wzrostem liczby ulew powodujących powodzie



22



15



16



17



23

## Wpływ klimatu na życie społeczeństw ludzkich

Klimat jest podstawowym czynnikiem determinującym kształtowanie i istnienie różnych typów środowiska. A więc pośrednio od klimatu zależy sposób życia społeczeństw ludzkich, metody pozyskiwania żywności, budownictwo i tryb życia. Człowiek potrafi się przystosować do życia nawet w warunkach ekstremalnych, od gorącej pustyni po strefę polarną. Zagrożeniem jednak dla żyjących tam społeczeństw są nawet niewielkie wahania klimatu, prowadzące do zmian ekosystemów.

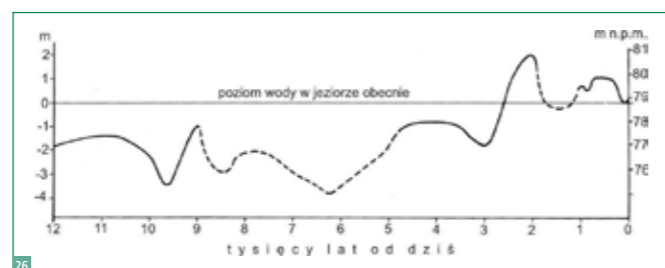
Przykłady zmian klimatycznych, które spowodowały znaczne skutki w życiu człowieka znane są także z historii. Dość wymienić spowodowany pustynnieniem upadek kultur Indusu (Mohendżodaro - Harappa) około 4000 lat temu, koniec cywilizacji Majów na Półwyspie Jukatan oraz kolonizacja Grenlandii przez Wikingów w czasie ocieplenia średniowiecznego w XI-XII wieku, a następnie jej koniec w XV wieku, na początku małej epoki lodowej. Na terytorium Polski ochłodzenie i zwilgotnienie klimatu około 2500 lat temu zaznaczyło się między innymi porzuceniem osady w Biskupinie, wskutek jej zalewania przez podnoszące się (w sumie o prawie 1,5 m) wody sąsiedniego jeziora.

23. Chata na palach – klimat monsunowy

24. Namiot tuarega

25. Chata z Islandii

26. Wahania poziomu wody w Jeziorze Biskupińskim w ciągu ostatnich 12 tysięcy lat według Niewiarowskiego (1995), zmodyfikowane.



26



24



25

## Zmiany klimatu na ziemiach polskich w ostatnim tysiącleciu

W Polsce systematyczne pomiary instrumentalne temperatury i opadów były prowadzone w Krakowie i Warszawie począwszy od drugiej połowy XVIII wieku. Informacje o klimacie okresu poprzedniego uzyskiwane są pośrednio, między innymi na podstawie badań archeologicznych, zapisów historycznych, analiz dendrologicznych, botanicznych, geologicznych czy pedologicznych. Trudno tu o dużą precyzję, a więc wnioski mają charakter orientacyjny. Na początku okresu wpływów rzymskich zaznaczyło się ochłodzenie i zwilgotnienie klimatu, pierwsze trzy stulecia naszej ery były cieplejsze, a V i VI – chłodniejsze i wilgotniejsze. W późniejszej historii klimatu Polski wyróżnia się wyraźnie średniowieczne ocieplenie, trwające od XI do XIV lub początku XV wieku. Szacuje się, że średnia roczna temperatura była wówczas wyższa o 0,5 – 1°C od obecnej, klimat miał poza tym wyraźne cechy oceaniczne, a największymi opadami charakteryzował się wiek XII. Mała epoka lodowa (MEL) rozpoczęła się w Polsce w połowie XVI i trwała do połowy XIX wieku. Zimy były wówczas chłodniejsze od współczesnych, a temperatura powietrza wg różnych szacunków niższa o 1,5 – 3°C. Średnia roczna temperatura zarówno powietrza, jak i przy gruncie, jak się szacuje, była niższa o 0,5 – 1,5°C. Pierwsze połowy XVI i XVIII wieku były wilgotniejsze od średnich wartości dla całej MEL, natomiast druga połowa XIII i pierwsza połowa XIX wieku były bardziej suche. Ostatnie lata, na przełomie XX i XXI wieku, w Polsce przyniosły duże wahania i anomalie pogodowe, zwiększenie częstotliwości zjawisk ekstremalnych: powodzi, silnych wiatrów i suszy.

27. Wisła...

28. Drzewa...

29. Przełom Białki



27



28



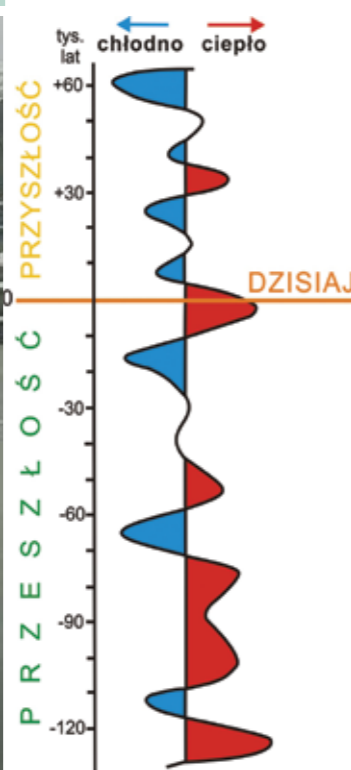
29

## Prognozy zmian klimatu

Prognozy zmian klimatu są opracowywane na podstawie obliczeń parametrów astronomicznych. Wskazują one, że w ciągu najbliższych kilkuset lat można spodziewać się ocieplenia, zaś w ciągu następnych kilku tysięcy lat – ochłodzenia. Natomiast uwzględniając wpływ człowieka należy przewidywać zwiększenie emisji antropogenicznych gazów cieplarnianych. Najnowszy raport IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) obarcza gospodarczą działalność ludzi odpowiedzialnością za 90% obecnego ocieplenia klimatu, w tym wskutek przewidywanego zwiększenia zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze.

W ciągu najbliższych kilkuset lat przewidywane są następujące tendencje zmian klimatu:

- wzrost temperatury, głównie w zimie, największy w strefie umiarkowanej i podbiegunowej.
- topnienie lodowców i podniesienie poziomu wody w oceanach doprowadzi do zalania nisko położonych terenów (także większości obszarów nadmorskich w Polsce).



- zmiany cyrkulacji atmosferycznej i rozkładu opadów oraz ich zmniejszenie w strefie subtropikalnej i umiarkowanej
- ekstremalne anomalie pogodowe, zwiększenie siły huraganów i wielkości towarzyszących im opadów, długie okresy suszy.

Pojawi się sprzężenie zwrotne polegające na zmianach cyrkulacji termohalinowej, osłabieniu m.in. Prądu Zatokowego występującego na Północnym Atlantyku, co spowoduje dalsze zmiany klimatu. W skali globalnej w XX wieku temperatura powietrza wzrosła o 0,5 – 1,0°C, a w XXI wieku, zależnie od różnych scenariuszy oceniających głównie emisję gazów cieplarnianych, przewiduje się jej dalszy wzrost o 1,5 – 3,0°C. W perspektywie kilku tysięcy lat, w związku ze zmianami orbitalnymi możemy oczekiwać kolejnego ochłodzenia klimatu, a nawet rozwoju lądolodów w strefie umiarkowanej.

30. Naturalne zmiany klimatu przebiegają cyklicznie: zbliżające się ocieplenie, powinno być zastąpione po kilkuset latach przez kolejne ochłodzenie.


AUTORZY:



Teresa MADEYSKA  
Instytut Nauk  
Geologicznych PAN



Leszek MARKS  
Wydział Geologii UW



*Wszystkie informacje o Światowym Roku Planeta Ziemia  
(International Year of Planet Earth) można znaleźć na  
stronie internetowej IYPE ([www.yearofplanetearth.org](http://www.yearofplanetearth.org))  
oraz Komitetu Planeta Ziemia  
([www.planetaziemia.pan.pl](http://www.planetaziemia.pan.pl)).  
Komitet Planeta Ziemia*

Komitet Planeta Ziemia  
Przewodniczący – prof. dr hab. Andrzej Żelaźniewicz  
Sekretariat: Podwale 75, 50-449 Wrocław  
tel. 71-3376345, fax 71-3376342  
*e-mail: [rokziemi@planetaziemia.pan.pl](mailto:rokziemi@planetaziemia.pan.pl)*