

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 holoceni
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 efektem wzajemnego oddziaływania 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 tych zjawisk jest różny, a ich suma daje w efekcie naturalne wahania klimatu, a także wywołuje zjawiska ekstremalne.

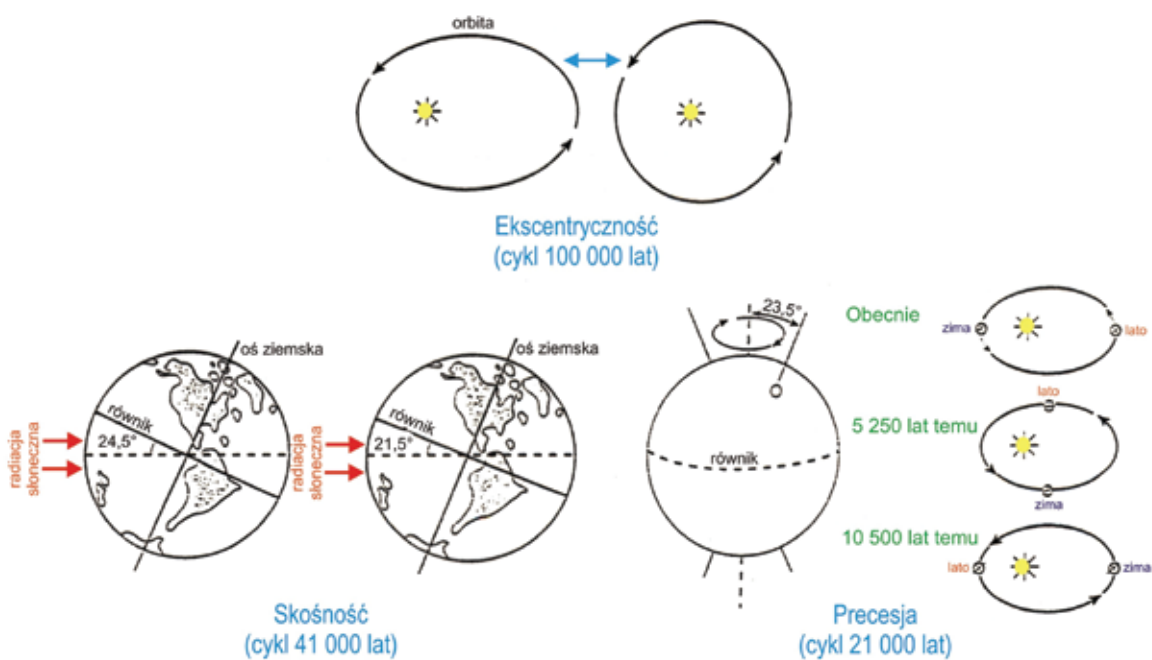
1. Zimna pustynia: krajobraz centralnej Islandii ukształtowany pod wpływem klimatu zimnego z silnymi wiatrami
2. Lasy i zarośla bambusowe ukształtowane pod wpływem zwrotnikowego klimatu monsunowego (Laos)
3. Palmy kokosowe rosnące w strefie klimatu zwrotnikowego z wpływem morskich mas powietrza (Tajlandia)





Cyrkulacja atmosferyczna i oceaniczna oraz zmiany stanu skupienia wody są głównymi czynnikami zmian klimatycznych. Oprócz uwarunkowań 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. Od niego zależy wielkość promieniowania słonecznego, które dochodzi do powierzchni Ziemi.

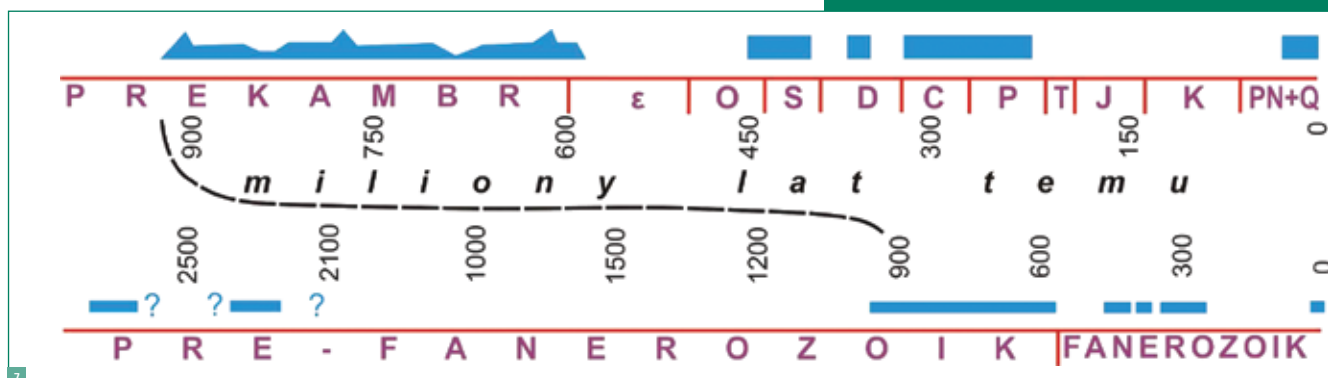
4. Pustynia piaszczysta w wybitnie suchej strefie klimatu zwrotnikowego (Sahara)
5. Zmiany orbity ziemskiej zgodne z cyklami Milankoviča, wynikającymi z ilości radiacji słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi; według Lowe & Walker (1984), zmodyfikowane



Zapis zmian klimatu w geologicznej historii Ziemi

W historii Ziemi globalne zmiany klimatu zachodziły często, dając różne efekty w różnych regionach, 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 3 miliony lat temu i trwa do dziś.

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

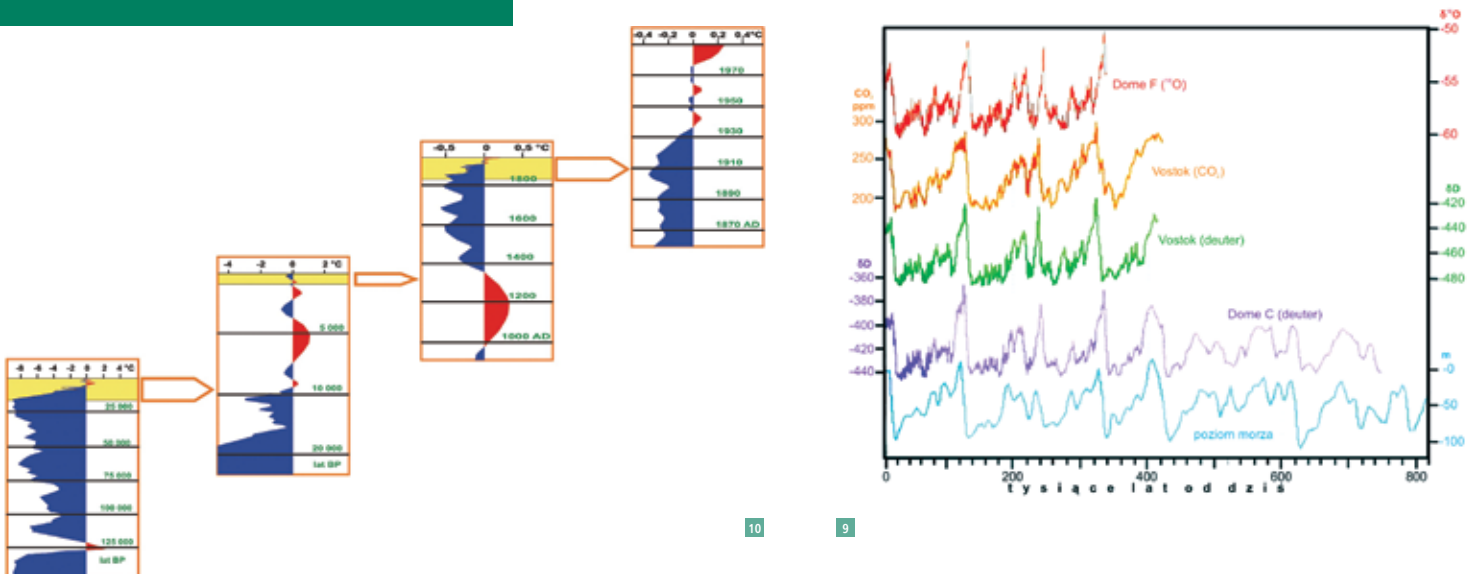




Czwartorzędowa epoka lodowa

W neogenie pojawiły się pierwsze symptomy ochłodzenia klimatu, które nasilało się w czwartorzędzie, z wieloma fluktuacjami klimatycznymi mniejszego rzędu i spowodowało rozwój i zanik lądolodów w średnich szerokościach geograficznych. 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 przesuwaniem 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.

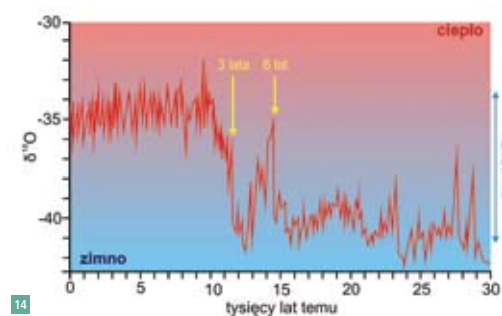
8. Pole sandrowe na przedpolu lodowca Vatna (Islandia)
9. Rejestr zmian klimatycznych w czasie ostatnich 800 tysięcy lat odzwierciedlony przez wahania zawartości izotopów tlenu, deuteru i CO₂ w rdzeniach lodowych Vostok, Dome C i F na Antarkydzie oraz ich korelacja ze zmianami poziomu oceanu światowego odczytanymi na podstawie zróżnicowanej zawartości izotopów tlenu w osadach głębokomorskich; na podstawie Jouzela (2006), nieco zmodyfikowane
10. Zmiany klimatyczne zachodzą w cyklach o różnej długości: wykresy pokazują zmiany temperatury w przeszłości w porównaniu do stanu obecnego: od lewej strony, kolejno dla ostatnich 150 000, 22 000, 1100 i 130 lat



Ocieplenie po ostatnim okresie glacjalnym, 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}O i ^{16}O , zmierzone w grubych pokrywach lodowych Grenlandii i Antarktydy, a także w organicznych 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°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 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 1°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. 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.

11. Moreny czołowe lodowca Recherche (Spitsbergen) powstałe w czasie małej epoki lodowej
12. Tundrowa roślinność bagienna w strefie klimatu subpolarnego (Islandia)
13. Misy jezior północnej Polski to efekt wytopienia lądolodu
14. Zmiany stosunku izotopów tlenu ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) w rdzeniu lodowym GISP2 na Grenlandii w ciągu ostatnich 30 tysięcy lat wskazują na gwałtowne zmiany temperatury pod koniec plejstocenijskiej epoki lodowej (11-15 tysięcy lat temu); według Broeckera (1997), znacznie zmodyfikowane





15



16

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.

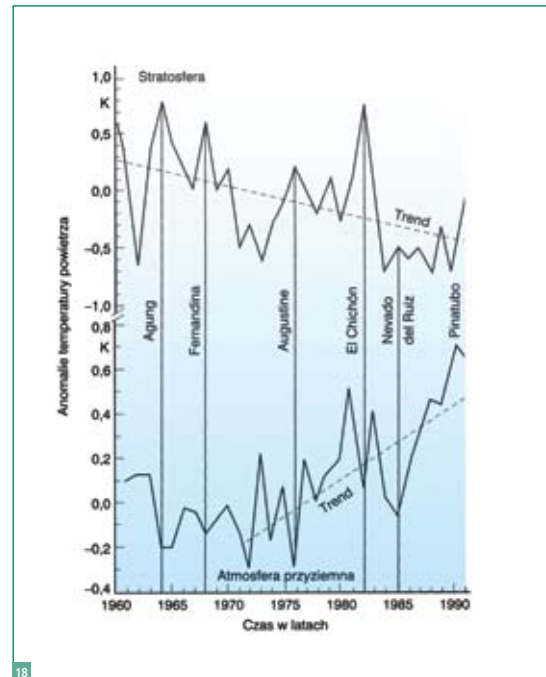
- 15. **Uboga pokrywa roślinna Islandii jest wrażliwa na każde pogorszenie klimatu**
- 16-17. **Czasem tylko chmury, a czasem również pyły przysłaniają słońce**



17

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 Agassis (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.

18. Porównanie zmian średniej temperatury w troposferze i stratosferze na półkuli północnej w latach 1960-1991, z zaznaczeniem niektórych erupcji wulkanicznych; według Schönwiese (1997)
19. Aby się uchronić przed chłodem i wilgocią mieszkańcy Islandii okrywali torfem i darnią swe domy – półziemianki



18



19



20



21



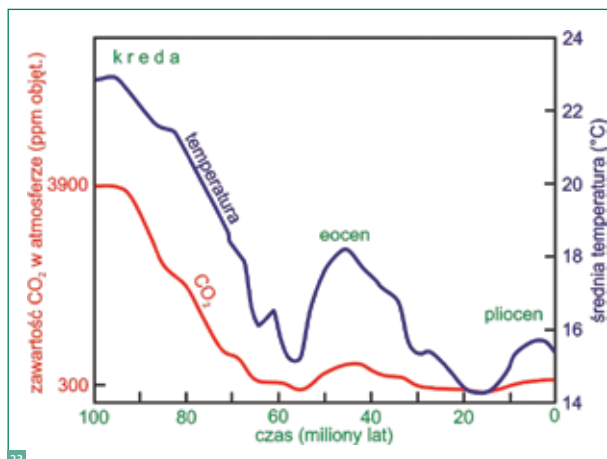
22

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”).

20. Dewastacja lasu tropikalnego (Kambodża)
21. Wilgotny las równikowy – skarb Ziemi
22. Roślinność wilgotnej strefy podrównikowej (Wybrzeże Tajlandii)
23. Zawartość CO₂ w atmosferze i średnia temperatura na powierzchni Ziemi w ciągu ostatnich 100 milionów lat.



23

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. Wyraźnym przykładem takich zjawisk jest szybka ekspansja pustyni w Sahelu, będąca skutkiem jedynie nieznacznego zmniejszenia, ale i tak dotychczas niewielkich opadów.

24. W klimacie umiarkowanym nawet intensywny wypas zwierząt nie grozi zniszczeniem roślinności
25. W suchym klimacie kontynentalnym wypas zwierząt stanowi duże zagrożenie dla ubogiej pokrywy roślinnej
26. Nawet niewielkie zmniejszenie i tak już małych opadów w słabej ekologicznie strefie Sahelu powoduje ekspansję pustyni: osiedla zasypuje piasek, pola uprawne wysychają
27. Spowodowany odlesieniem wzrost amplitudy temperatur skutkuje między innymi lokalnym wzrostem liczby ulew powodujących powodzie





28



29



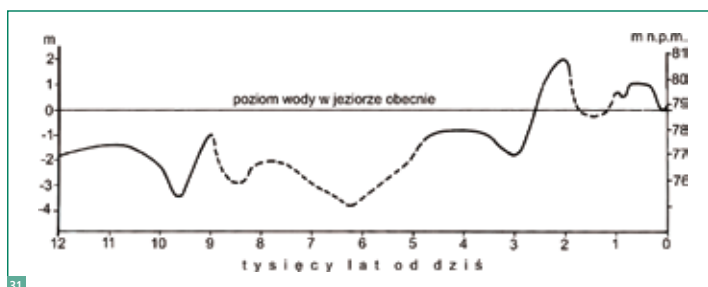
30

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 pustosynnieniem 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.

28. W klimacie monsunowym ludzie budują domy na palach, aby zabezpieczyć się przed zalaniem w czasie intensywnych opadów (Kambodża)
29. Tuaregowie mieszkają w namiotach z ciężkich tkanin, zabezpieczających przed słońcem i piaskiem niesionym przez wiatry
30. Przykryte darnią półziemianki dawały ciepłe schronienie mieszkańcom Islandii
31. Wahania poziomu wody w Jeziorze Biskupińskim w ciągu ostatnich 12 tysięcy lat według Niewiarowskiego (1995), zmodyfikowane.



31

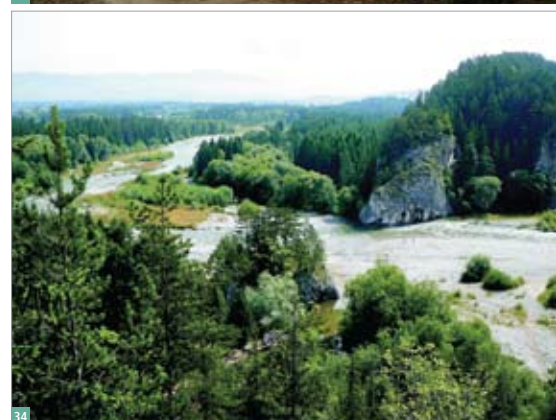
Zmiany klimatu na ziemiach polskich w ostatnim tysiącleciu

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 i wnioski mają charakter orientacyjny. Na początku okresu wpływ 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, 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.

32. I w Polsce czasem rzeki wysychają

33. Klimat w Polsce sprzyja lasom i drzewom, obyśmy tylko je szanowali

34. Piękne podgórskie rzeki czasem stanowią zagrożenie: przełom Białki, która w czasie powodzi w 2008 roku spowodowała ogromne zniszczenia

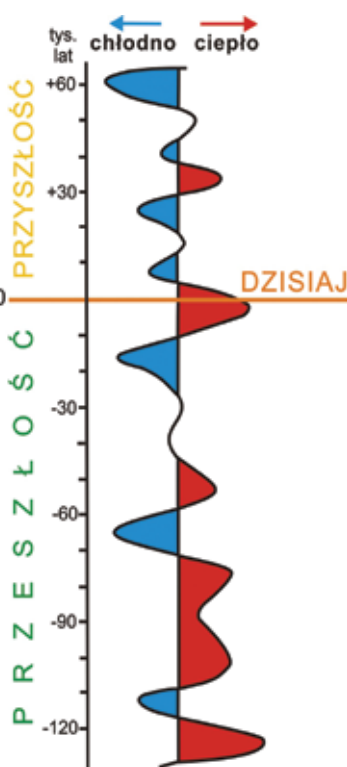


Prognozy zmian klimatu

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:

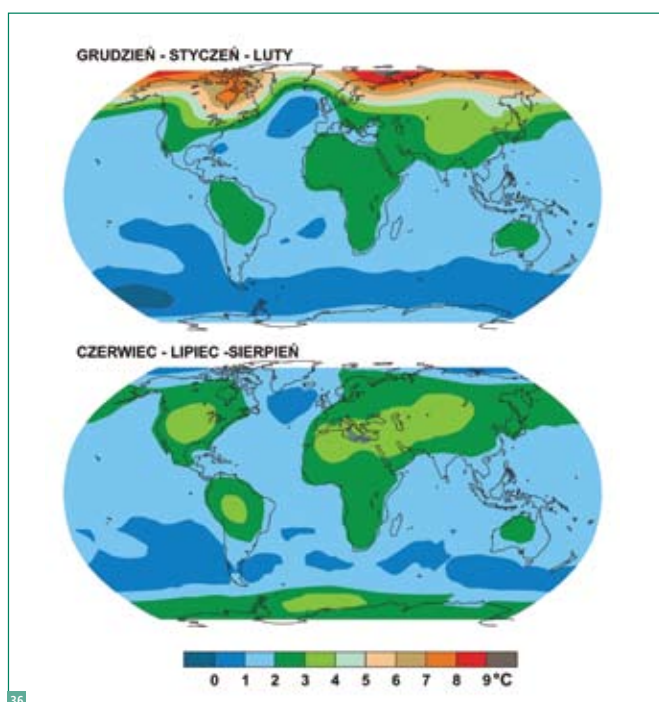
- wzrost temperatury, głównie w zimie, największy w strefie umiarkowanej i podbiegunowej
- topnienie lodowców i podniesienie poziomu wody w oceanach doprowadzi do zalania nisko położonych terenów (także większości obszarów nadmorskich w Polsce)



- 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 oziębienia klimatu, a nawet rozwoju lądolodów w strefie umiarkowanej.

35. Naturalne zmiany klimatu przebiegają cyklicznie: zbliżające się ocieplenie, powinno być zastąpione przez kolejne ochłodzenie
36. Ocieplenie powierzchni Ziemi 2080-2100 w stosunku do 1980-2000 będzie największe w sezonie zimowym w Arktyce; według IPCC



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) oraz Komitetu Planeta Ziemia (www.planetaziemia.pan.pl).
Komitet Planeta Ziemia PAN*

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