

# Zmiany klimatu

Zbigniew Jaworowski

**K**limat Ziemi zmieniał się zawsze. Cykle zimne i ciepłe naprzemiennie następowały po sobie w okresach sięgających od setek milionów do kilkunastu lat, głównie w rytm zmian zachodzących na Słońcu i w jego sąsiedztwie. Obecnie znajdujemy się blisko połowy czasu od powstania Słońca (5 miliardów lat temu) do czasu kiedy (za 7 miliardów lat) zacznie kurczyć się do rozmiarów białego karła, zabijając swym żarem wszystko co żyje na Ziemi. U początku ewolucji Słońca jego promieniowanie było blisko 30% mniejsze niż obecnie. Prawdopodobnie wpływało to na prekambryjskie okresy zimna.

## Klimat prekambryjski

W 1989 roku Joseph Kirschvink znalazł koło Adelaidy w Australii skały sprzed 700 milionów lat ze śladami działalności lodowców. Utrwalony w nich sygnał magnetyczny wskazuje (przy założeniu, że i wówczas bieguny magnetyczne były zgodne z osią obrotu Ziemi), że w owym czasie skały te znajdowały się na równiku. Oznacza to, że cała ówczesna Ziemia była skuta lodem. Kirschvink ten stan Ziemi nazwał w roku 1992 *Snowball Earth* – Ziemią Kulą Śniegu. Twierdził również, że w prekambryze zjawisko to wystąpiło wielokrotnie. Jedno z takich globalnych zlodowaceń miało zdarzyć się 2,4 miliardy lat temu. Tak wielkie zlodowacenia musiały prowadzić do drastycznego zaniku biologicznej produktywności, jednak kolejne

topnienia oceanicznego lodu powodowały ogromne zakwity sinic (cyjanobakterii) i masową produkcję tlenu. To z kolei, już 2,4 miliarda lat temu, wpłynęło na rozwinięcie się mechanizmów obronnych chroniących organizmy żywe przed niszczącym działaniem rodników tlenowych.

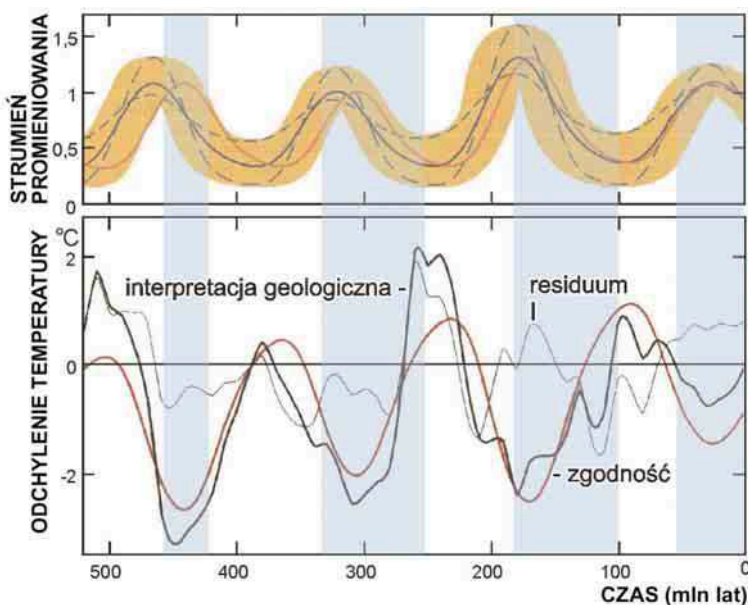
Mechanizmy te chronią przed promieniowaniem jonizującym również nas. Bez nich ani nie mogłoby rozwinąć się życie ekspozowane na ogromny naturalny strumień uszkodzeń DNA, ani nie moglibyśmy żyć obecnie. W każdej komórce ssaka powstaje w ciągu jednego roku około 70 milionów spontanicznych uszkodzeń DNA, głównie wskutek działania rodników wytworzonych metabolizmem tlenu, a tylko pięć uszkodzeń pochodzi od naturalnego promieniowania jonizującego. Zarówno środowisko naturalne, jak i świat żywy powstały więc w związku z dramatycznymi zmianami klimatu.

## Cykle klimatyczne

W czasie fanerozoiku (ostatnie 545 milionów lat) Ziemia wchodziła kolejno w osiem wielkich cykli klimatycznych, trwających od około 50 do 90 milionów lat każdy. Cztery z nich były o około 4°C zimniejsze (*Icehouses*) od czterech cykli ciepłych (*Greenhouses*). Te długie cykle spowodowane były prawdopodobnie wędrówką naszego układu słonecznego poprzez ramiona Drogi Mlecznej. W pewnych ramionach trafiają się obszary silnego tworzenia gwiazd, co łączy się z częstymi wybuchami gwiazd nowych i supernowych. W takich rejonach galaktyczne promieniowanie kosmiczne jest nawet do 100 razy wyższe niż dociera obecnie do heliosfery. Przy podwyższonym promieniowaniu kosmicznym w troposferze Ziemi powstaje więcej chmur, odbijających promienie słoneczne i klimat staje się zimniejszy. Gdy Słońce wędrowało tam, gdzie promieniowanie kosmiczne było słabsze, na Ziemi klimat się ociepleł.

Na cykle klimatyczne liczące dziesiątki milionów lat nakładają się cykle krótsze, wzmacniając lub osłabiając zmiany długoterminowe. W ciągu ubiegłego miliona lat nastąpiło osiem do dziesięciu epok lodowcowych, trwających po około 100 000 lat i przedzielanych krótszymi okresami ocieplenia (po około 10 000 lat). Różnica śred-

*Strumień promieniowania kosmicznego i zmiany klimatu w ciągu ubiegłych 545 milionów lat (wg Shaviv, N. J. & Veizer, J. 2003. Celestial driver of Phanerozoic climate? GSA Today, July, 4-10)*



niej temperatury powietrza przy powierzchni ziemi pomiędzy epoką lodowcową i międzylodowcową wynosiła 3 – 7°C.

Zmiany krótkotrwałe, rzędu kilku lat, powodowane są czynnikami ziemskimi, takimi jak duże wybuchy wulkanów wznoszące pyły do stratosfery, oraz zjawisko El Niño, związane z prądami oceanicznymi.

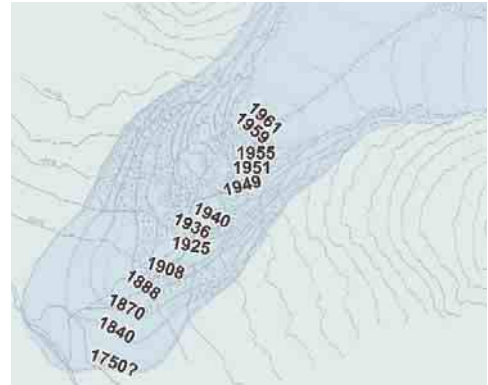
### Poziom wód oceanicznych a zasięg lodowców

Poziom światowego oceanu powoli podnosi się od tysięcy lat. Odkąd 18 000 lat temu poczęła ustępować ostatnia epoka lodowa poziom oceanu podwyższył się około 100 m. Wpłynęło na to zwiększenie masy wód morskich przez topiące się czapy lodowe Arktyki i Antarktydy oraz lodowców górskich, a także termiczne zwiększenie objętości cieplejszego oceanu. Ten proces ciągle trwa ze zmienną intensywnością.

Jednocześnie jednak skorupa ziemska, uwolniona z ogromnego ciężaru czap lodowych, lokalnie się unosi. Wskutek tego w pewnych okolicach, np. w Sztokholmie, poziom morza obniża się o 4 mm rocznie, a w rejonie Baltimore (Maryland) o 3,5 mm. W San Francisco w ciągu 140 lat obserwacji wykryto, że poziom morza waha się w cyklach trzydziestoletnich od –2 do +5 mm na rok. W obszernym przeglądzie badań z tej dziedziny opublikowanym w roku 1995 B. C. Douglas z National Oceanographic Data Center w Waszyngtonie stwierdził, że jednak w ciągu ubiegłych 150 lat nie nastąpiło statystycznie istotne przyspieszenie podnoszenia się globalnego poziomu morza.

Sytuację dodatkowo komplikuje to, że przy cieplejszym klimacie więcej wody odparowuje, a następnie w postaci śniegu opada na lądolody Grenlandii i Antarktydy, niż spływa do mórz z topiących się lodowców. Pomiary poziomu oceanu prowadzone w latach 1900 – 1975 wskazywały, że im wyższa średnia temperatura powietrza i powierzchni mórz tropikalnych tym niższy jest poziom oceanu. Od lat siedemdziesiątych lodowce Arktyki, Grenlandii i Antarktydy przestały się cofać i zaczęły przyrastać. Opublikowane w 2002 roku w *Science* wyniki badań satelitarnych naszego rodaka Sławomira Tulaczka, pracującego na Uniwersytecie Kalifornijskim w Santa Cruz, wskazują, że szybkość spływu lodu antarktycznego uległa spowolnieniu a nawet niekiedy zatrzymaniu, co wpłynęło na pogrubienie lądolodu. Skomen-

tował to znany badacz Antarktydy Richard B. Alley: „Po 10 000 lat wychodzenia z epoki lodowej, badacze włączyli swe instrumenty dokładnie w chwili, gdy zaczęła się stabilizacja lub ponowny wzrost lądolodu”. Wcześniejsze badania satelitarne powierzchni lodowców prowadzone przez H. J. Zwallyego z NASA w końcu lat osiemdziesiątych wskazywały, że masa czapy lodowej Grenlandii przyrasta obecnie z szybkością odpowiadającą obniżeniu poziomu globalnego oceanu o 0,20 do 0,44 mm rocznie. Badania glaciologiczne na Antarktydzie wskazują, że masa lądolodu przyrasta tam obecnie o 5 do 25% globalnej masy rocznych opadów atmosferycznych, co odpowiada około 1,0 do 1,2 mm obniżenia poziomu oceanu rocznie.



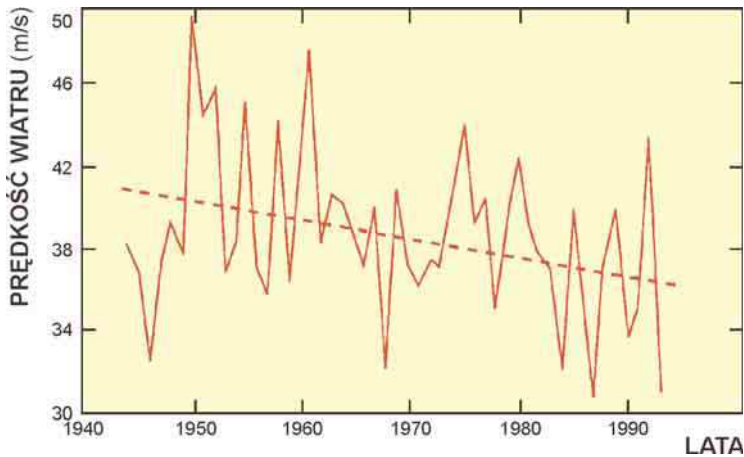
### Wpływ klimatu na dzieje ludzkości

Klimat zmieniał się i w czasach historycznych. Podczas silnego Ocieplenia Holocenińskiego, pomiędzy 7,0 a 3,5 tysięcy lat temu, średnia globalna temperatura powietrza była o 2°C wyższa od dzisiejszej. Wtedy rozwinęło się rolnictwo i powstały wielkie cywilizacje starożytności. Ocieplenie Średniowieczne trwało ponad trzysta lat, a maksimum temperatury (1,5°C powyżej obecnej) osiągnęło około r. 990, wtedy gdy powstawało państwo polskie.

Pięćsetletnia Mała Epoka Lodowa panowała na Ziemi od około 1350 do 1880 r. W epoce tej temperatura była o 0,9°C niższa niż obecnie. Na zamrożonej Tamizie odbywały się festyny, a przez Bałtyk jeździło się z Polski do Szwecji saniami, nocując po drodze w ustawionej na lodzie karczmie. W górach Szkocji linia śniegu sięgała 300 – 400 m niżej niż obecnie. Zasięg lodu morskiego koło Islandii i Grenlandii był tak wielki, że całkowicie zamknął dostęp do kolonii Wikingów, założonej na Grenlandii w r. 985 w czasie Ocieplenia Średniowiecznego. Nadejście Małej Epoki Lodowej doprowadziło do jej zagłady.

Ciągle jeszcze nie całkiem wyszliśmy z Małej Epoki Lodowej. Do tej pory nie powróciły do wód Bałtyku ciepłolubne gatunki okrzemek, które królowały w czasie Ocieplenia Średniowiecznego. Najszybciej tem-

*Cofanie się lodowca Storbreen w Norwegii rozpoczęło się około roku 1750 i najszybciej zachodziło do lat 1940-tych. Obecnie lodowce Arktyki zmniejszają szybkość zmniejszania swej masy a niektóre weszły w fazę wzrostu (wg Liestol, O. & Storbreen, O. 1967. Storbreen Glacier in Jotunheimen, Norway. 61 pp. Norsk Polarinstitut, Oslo)*



Maksymalna szybkość wiatru huraganów na Oceanem Atlantyckim w kolejnych latach 1940 – 1993 uległa zmniejszeniu o około 5 km na godzinę, tj. o 12%; przerywana linia wskazuje tendencję (wg Landsea, C. W. et al. 1996. Downward trends in the frequency of intense Atlantic hurricanes during the past five decades. *Geographical Research Letters* 23, 1697-1700)

peratura podnosiła się na początku XX wieku, osiągając maksimum około roku 1940. Wtedy właśnie gwałtownie kurczyły się lodowce górskie i arktyczne, ale ich odwrót z rekordowych zasięgów w najzimniejszym okresie Małej Epoki Lodowej zaczął się już dwieście lat wcześniej, około roku 1750. W XVII i XVIII wieku lodowce nasuwały się na alpejskie wioski niekiedy z szybkością 20 metrów rocznie, niszcząc domy i pola.

W czasach nam najbliższych klimat najwyraźniej łagodnieje. Od roku 1896 do 1995 liczba burz z gradobiciem i opadem powyżej 20 mm w Krakowie stale się zmniejszała, jak pokazuje jeden z nielicznych na świecie ciągłych zapisów meteorologicznych z jednej miejscowości. Od roku 1930 ich częstość spadała o 1,1 burzy rocznie (Bielec, Z. 2001.

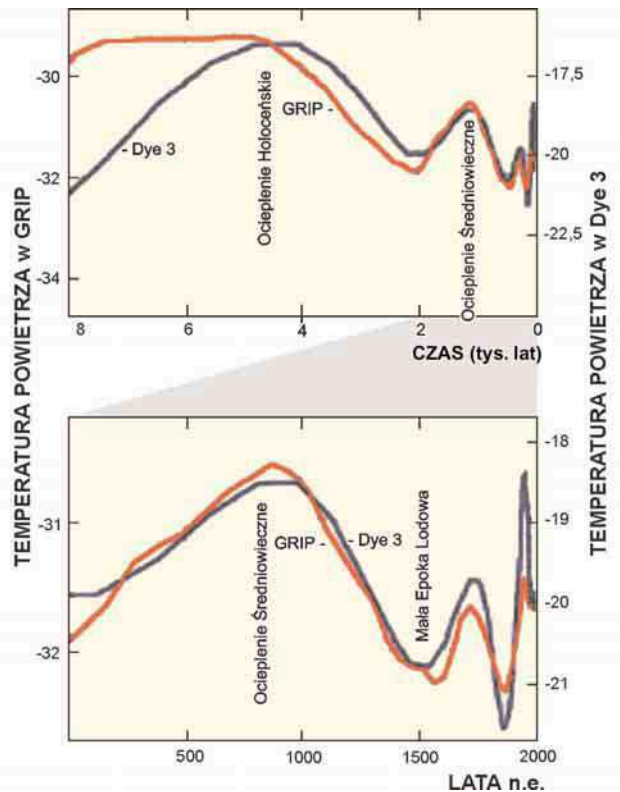
*Atmospheric Research* 56, 161). Również dane pomiarowe z portu w Kołobrzegu z lat 1901-1990 wskazują na stałą lub zmniejszającą się liczbę sztormów (Wróblewski, A. 2001. *Climate Research* 18, 25). Częstość i wielkość powodzi Wisły obserwowana w Krakowie nie tylko nie wzrosła lecz od r. 1940 znacznie się obniżyła (Starkel, L. 2002. *Quaternary International* 91, 25). Podobnie działo się w XX w. z huraganami nad Atlantykiem i na całym świecie.

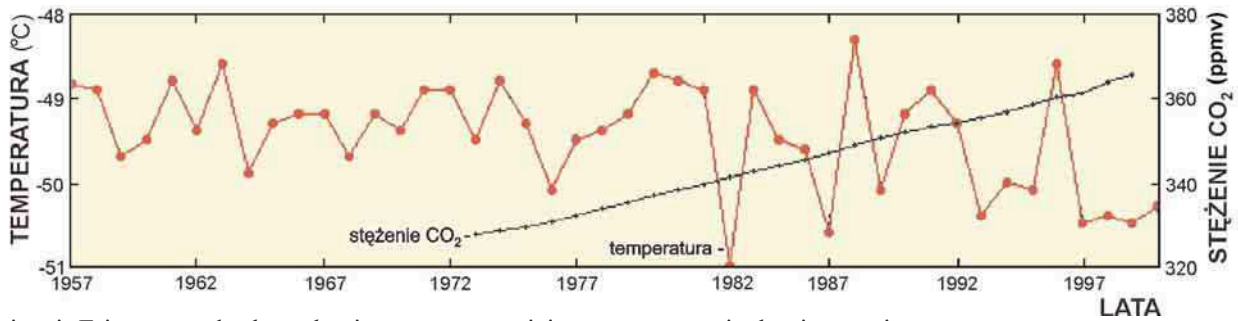
Od wyjątkowo gorących lat czterdziestych do 1975 r. klimat Ziemi oziębił się o około 0,3°C. Po 1975 r. do połowy lat dziewięćdziesiątych pomiary stacji meteorologicznych wskazywały, że średnia temperatura globu znów zaczęła rosnać. Okazuje się jednak, że był to tylko artefakt pomiarowy, spowodowany rozrostem miast i wytwarzanym przez nie efektem „wysp ciepła”. Stacje meteorologiczne, niegdyś położone na peryferiach, zostały wchłonięte do miast, gdzie temperatura jest wyższa niż „w terenie”. Poza miastami w Stanach Zjednoczonych i w Europie zaobserwowano raczej spadek, a nie wzrost temperatury. Odnosi się to również do rejonów polarnych, gdzie obserwowano ochłodzenie: w Arktyce o prawie 3°C od 1940 r., a na Biegunie Południowym o około 1,5°C od 1957 r. Natomiast w czasie Ocieplenia Holoceniowego Arktyka była o 3 – 7°C cieplejsza niż obecnie.

Najbardziej obiektywne pomiary temperatury dolnej troposfery (od powierzchni Ziemi do wysokości 8 km) prowadzone od 1979 do 2002 r. przez amerykańskie satelity (nie zakłócane „wyspami ciepła” i pokrywające niemal całą planetę), wskazują na lekkie ochłodzenie klimatu Ziemi (-0,06°C na dekadę).

W 1999 r. temperatura troposfery wzrosła wskutek zjawiska El Niño (cyklicznych zmian prądu morskiego płynącego od Antarktydy, wzdłuż Chile i Peru, do równika), a od 2000 r. satelity zanotowały ponownie znaczne oziębienie. Natomiast temperatura dolnej stratosfery (14 – 22 km wysokości) od roku 1993 stale się obniża. Jak podaje *Nature* (2003) w kwietniu wielkie ilości dorszy zamarzyły w Atlantyku koło Nowej Funlandii, gdzie temperatura wody spadła do -1,7°C. Ostatni raz zdarzyło się to w roku 1882. Również Wielkie Jeziora Huron, Supe-

Pomiary temperatury w dwóch odwiertach lodowych w południowej (Dye 3) i centralnej (GRIP) Grenlandii (wg Dahl-Jensen et al. 1998. Past temperatures directly from the Greenland Ice Sheet. *Science* 282, 268-271). Platki śniegu opadające na powierzchnię lodowca mają taką samą temperaturę jak otaczające powietrze. Lód utworzony z tych płatków ęle przewodzi ciepło i jego pierwotna temperatura zachowuje się w ęładolodzie przez tysiące lat





rior i Erie zamarzły kompletnie, po raz pierwszy odkąd dostępne są zapisy, a granica lasów w Kanadzie sięga obecnie 130 km bardziej na południe niż w czasie Ocieplenia Średniowiecznego. W Irkucku najwyższą średnioroczną temperaturę,  $+2,3^{\circ}\text{C}$ , zmierzono w r. 1997. O tej porze temperatura spadła do  $+1,2^{\circ}\text{C}$  w r. 1998, do  $+0,7^{\circ}\text{C}$  w r. 1999 i do  $+0,4^{\circ}\text{C}$  w r. 2000.

### Znaczenie gazów cieplarnianych

Wśród czynników ziemskich promieniowanie jonizujące radionuklidów wnętrza Ziemi (głównie potasu  $^{40}\text{K}$ , oraz izotopów szeregu uranowego i torowego) odgrywa tylko niewielką rolę w utrzymywaniu średniej temperatury powietrza przyziemnego powyżej punktu topnienia wody. Natomiast dominującym czynnikiem ziemskim są tzw. „gazy cieplarniane”, dzięki którym średnia temperatura powietrza przyziemnego wynosi  $+15^{\circ}\text{C}$ . Bez pochłaniania przez nie promieniowania słonecznego odbitego od powierzchni Ziemi temperatura ta wynosiłaby tylko  $-18^{\circ}\text{C}$ .

Hipotezę twierdzącą, że przemysłowe emisje dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) mogą spowodować ocieplenie atmosfery przedstawił w r. 1898 szwedzki astrofizyk i fizyko-chemik Svante Arrhenius. Dwutlenek węgla pochłania promieniowanie podczerwone w próbowni fizyka i w atmosferze, dając tzw. „efekt cieplarniany”. Jednak w atmosferze głównym gazem cieplarnianym jest nie dwutlenek węgla, lecz para wodna, odpowiedzialna za 95% tego efektu. Bez jej obecności w atmosferze cała powierzchnia Ziemi łącznie z oceanami byłoby zamarzniętą bryłą. Najważ-

niejszym gazem cieplarnianym jest para wodna. Przypada na nią około 95% (niektórzy, np. prof. R. Lindzen, twierdzą że 99%) tzw. „efektu cieplarnianego”, a wszystkie gazy cieplarniane emitowane do atmosfery przez ludzi mają znikome znaczenie, dodając zaledwie 0,29% do tego efektu.

Za czasów Arrheniusa klimat zaczął się szybko ocieplać wychodząc z pięćsetletniej Małej Epoki Lodowej. Przemysł światowy emitował wówczas do atmosfery 13 razy mniej  $\text{CO}_2$  niż obecnie i jego wpływ na temperaturę dolnej atmosfery był z pewnością bez znaczenia.

### Stężenie gazów cieplarnianych w przeszłości

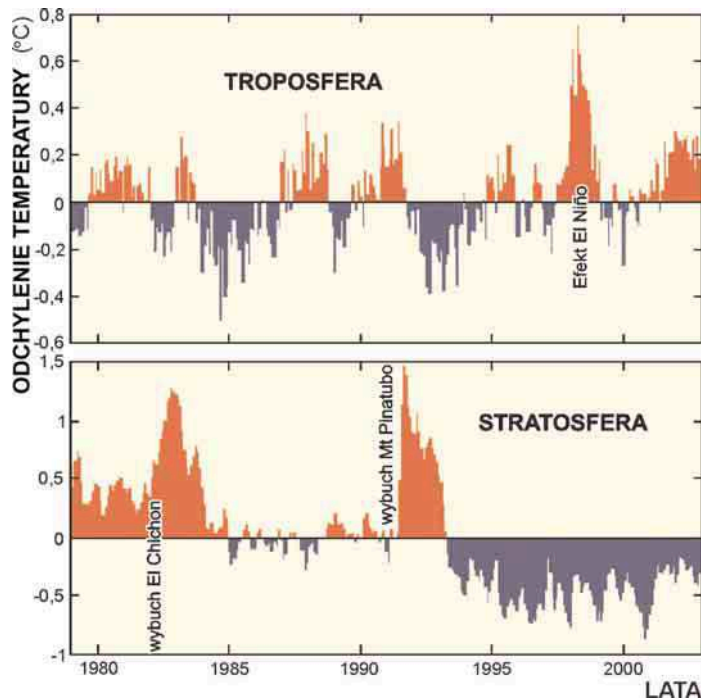
Ważnym źródłem wiedzy o przemianach klimatu są oznaczenia zawartości  $\text{CO}_2$  w lodach Antarktydy. Są one też najważniejszym fundamentem hipotezy ogrzewania klimatu przez człowieka, zakładającej, że przed Rewolucją Przemysłową poziom  $\text{CO}_2$  w atmosferze wynosił około 0,028%. Glaciologowie analizujący skład chemiczny baniek powietrza uwięzionych w starym lodzie twierdzili, że w czasie Ocieplenia Średniowiecznego stężenie  $\text{CO}_2$  w atmosferze wynosiło tylko 0,028%, a nie jak obecnie około 0,036%, a gdy wychodziliśmy z ostatniej epoki lodowej (10 500 lat temu) i temperatura podniosła się gwałtownie o kilka stopni, poziom dwutlenku węgla w atmosferze sięgał tylko 0,026%. Twierdzili również, że w ciągu ostatnich 400 000 lat poziom  $\text{CO}_2$  w atmosferze zawsze był poniżej 0,030% i dopiero cywilizacja przemysłowa podniosła go wyżej. Od r. 1990 wraz z kolegami z Japonii i Norwegii, opublikowałem kilka prac wykazujących, że tak niskie wartości nie są obrazem prawdziwego składu chemicznego dawnej atmosfery, lecz artefaktem spowodowanym licznymi procesami fizykochemicznymi zachodzącymi w lądolodzie.

Najważniejszym z nich jest znikanie dwutlenku węgla z baniek powietrznych wskutek powstawania klatratów  $\text{CO}_2$ . Są to

*Krzywe zmiany temperatury powietrza przy powierzchni Ziemi w latach 1957 – 2000, oraz stężenia dwutlenku węgla w powietrzu w latach 1973 – 1999, w stacji Amundsen-Scott na Biegunie Południowym. Krzywe te nie wykazują związku ze sobą (wg Daly, J. L. 2003. What the stations say)*

Gaz cieplarniany	Ze źródeł naturalnych i ludzkich	Z działalności ludzkiej
Para wodna ( $\text{H}_2\text{O}$ )	95,00	0,001
Dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ )	3,62	0,117
Podtlenek azotu ( $\text{N}_2\text{O}$ )	0,95	0,05
Metan ( $\text{CH}_4$ )	0,36	0,07
Inne (freony, itp.)	0,07	0,05
<b>Razem</b>	<b>100,00</b>	<b>0,29</b>

*Udział różnych czynników w efekcie cieplarnianym (w procentach całego efektu).*



Pomiary temperatury dolnej troposfery (od powierzchni Ziemi do 8 km) oraz dolnej stratosfery (14 – 22 km) wykonane przez dziewięć satelitów TITOS-N. (wg Spencer R. & Christy, J. 2003. What microwaves teach us about the atmosphere). Wzrost temperatury w r. 1998 spowodowany został tzw. efektem El Niño. W całym okresie widoczne jest lekkie obniżenie temperatury wynoszące około 0,06°C na dekadę. Wzrost temperatury w dolnej stratosferze w r. 1982 spowodowany był zapyleniem stratosfery przez wybuch wulkanu El Chichon, a w r. 1991 przez wybuch Mt Pinatubo. Wrzesień 1996 był najzimniejszym miesiącem kiedykolwiek zaobserwowanym w stratosferze

białe kryształy, w których każda cząsteczka dwutlenku węgla zamknięta jest w „koszyczku” kilku cząsteczek wody. Pierwszy odkrył je Zygmunt Wróblewski w r. 1882. W zimnym lodzie antarktycznym klatraty powstają gdy ciśnienie wzrośnie powyżej 5 barów, czyli już na głębokości 100 metrów, prowadząc do ubytku gazowego CO<sub>2</sub> z zamkniętych w lodzie baniek powietrza.

Charakterystyczną cechą lodowcowych pomiarów CO<sub>2</sub> jest to, że nie idą one w parze z lodowcowymi pomiarami temperatury opartymi na badaniu stabilnych izotopów wodoru i tlenu. Jak wykazaliśmy w naszych pracach, podwyższenie temperatury zawsze wyprzedzało wzrost stężeń CO<sub>2</sub> w lodzie o 1000 do 13 000 lat. Podobne zjawisko: najpierw wzrost temperatury a około 5 miesięcy potem wzrost CO<sub>2</sub> w powietrzu obserwuje się również w dzisiejszej atmosferze. Powodem tego jest zwiększone odgazowywanie dwutlenku węgla z cieplejszego oceanu, który jest głównym źródłem CO<sub>2</sub> w atmosferze.

Badania botaniczne, oparte na zależności gęstości aparatów szparkowych (stomata) liści od stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu wskazują, że w okresie od 9 380 do 10 070 lat temu stężenie to wahało się od 333 do 348 ppmv, czyli było podobne do obecnego. Również z bezpośrednich pomiarów CO<sub>2</sub> w powietrzu, prowadzonych w 10 krajach europejskich od r. 1816, wynika, że średnie stężenie CO<sub>2</sub> wynosiło w XIX wieku 335 ppmv.

W pradawnych czasach stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu było znacznie wyższe niż obec-

nie, i wcale nie miało dramatycznego wpływu na temperaturę. Szacuje się na podstawie gęstości szparek w liściach, że w eocenie, 50 milionów lat temu, stężenie to wynosiło 2000 ppmv a temperatura była tylko o 1,5°C wyższa niż teraz. Przed 90 milionami lat (kreda) stężenie CO<sub>2</sub> było 2 600 ppmv, a w karbonie (340 milionów lat temu) 4 000 ppmv. Kiedy przed 440 milionami lat (ordowik) poziom CO<sub>2</sub> wynosił 6 500 ppmv, na lądach obu półkul występowały lodowce.

### Czynniki określające przemiany dzisiejszego klimatu

Zmiany temperatury atmosfery nie idą w parze ze zmianami stężenia CO<sub>2</sub> i innych śladowych gazów cieplarnianych. Natomiast są zgodne ze zmianami aktywności Słońca, przebiegającymi w cyklach trwających po 11 i około 90 lat. Wiadomo o tym już od 1982 r., kiedy T. Landscheidt zauważył, że w okresie od r. 1000 do 1950 temperatura powietrza ściśle zależała od cyklicznej aktywności Słońca. W 1991 r. ukazała się w *Science* praca E. Friis-Christensen i K. Lassena, przedstawiająca zadziwiającą zgodność w latach 1865 – 1985 temperatury półkuli północnej z 11-letnimi cyklami pojawiania się plam słonecznych. Plamy te są miarą aktywności Słońca.

Pomiary satelitarne wykazują, że zmiany radiacji słonecznej mogą odpowiadać zmia-

Zawartość	Gigatony
Osady	60 000 000
Substancje organiczne w wodzie morskiej	1000
Substancje nieorganiczne w wodzie morskiej	38 000
Paliwa kopalne (dostępne)	7 200
Atmosfera	727
Gleba	1 300
Biomasa lądowa	834
Biomasa morska	42
<b>Roczne Strumienie</b>	
<i>Naturalne</i>	
Ocean	106
Lądy	63
<i>Antropogeniczne</i>	
Paliwa kopalne i rolnictwo	6
<b>Wszystkie strumienie razem</b>	175 Gt (w tym antropogeniczne = 3,4%)

Zawartość węgla pierwiastkowego w komponentach środowiska oraz roczne strumienie CO<sub>2</sub> do atmosfery (w gigatonach C = 10<sup>15</sup> g C)

nom temperatury powierzchni Ziemi nawet o 0,45°C. W 1997 r. okazało się jednak niespodziewanie, że to nie Słońce ma decydujący wpływ na przebieg krótkoterminowych

zmian klimatu, lecz raczej promieniowanie kosmiczne. Było to wielkim zaskoczeniem, gdyż energia przyniesiona przez nie do Ziemi jest wielokrotnie mniejsza od radiacji słonecznej. Tajemnica ich wpływu leży w chmurach. Mają one stukrotnie silniejszy wpływ na temperaturę dolnej troposfery niż dwutlenek węgla. Nawet gdyby zawartość CO<sub>2</sub> podwoiła się w powietrzu, to jego skutek cieplarniany byłby anulowany przez zaledwie jednoprocenowy wzrost zachmurzenia. W owym 1997 r. duńscy uczeni H. Svensmark i E. Friis-Christensen zauważyli, że zmiany pokrywy chmur mierzone przez satelity geostacjonarne pokrywają się idealnie ze zmianami intensywności galaktycznego promieniowania kosmicznego docierającego do troposfery: im więcej promieni kosmicznych, tym więcej chmur.

Promienie kosmiczne jonizują cząstki powietrza, zmieniając je w jądra kondensacji pary wodnej, na których powstają kryształki lodu tworzące chmury. Natomiast ilość tego promieniowania docierającego do Ziemi z wnętrza galaktyki i dalekiego Kosmosu regulowana jest zmianami tzw. wiatru słonecznego. Tworzy go gorąca plazma wyrzucana z korony Słońca na odległość wielu średnic słonecznych, niosąca z sobą zjonizowane cząstki i linie pola magnetycznego. Pędząc ku krańcom Układu Słonecznego wiatr słoneczny odpycha od Ziemi i osłabia promienie galaktyczne. Gdy wiatr słoneczny się wzmaga, z kosmosu dociera do nas mniej promieniowania, powstaje mniej chmur i robi się cieplej. Kiedy wiatr słabnie, Ziemia staje się chłodniejsza. Tak więc Słońce otwiera i zamyka nad nami parasol z chmur, regulujący klimat. Dopiero od kilku ostatnich lat astrofizycy i fizycy atmosfery starają się poznać bliżej mechanizm jego działania. Może kiedyś nauczymy się rządzić chmurami?

## Wpływ przemysłu na ewolucję klimatu

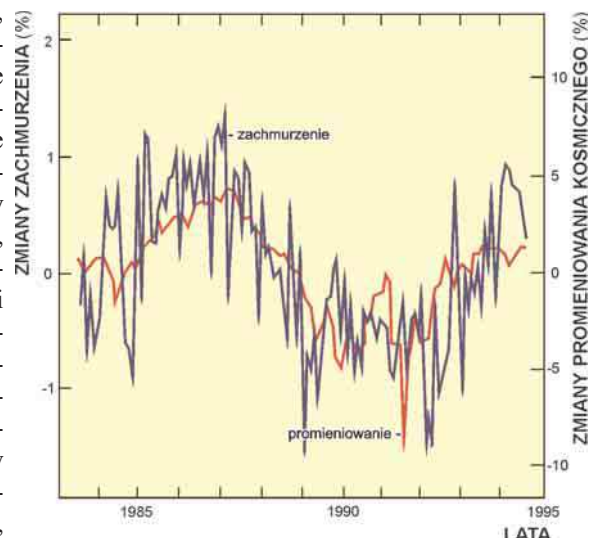
W ostatnich dziesięcioleciach spopularyzowane zostało przekonanie, że główną przyczyną ocieplenia ziemskiego klimatu jest przemysłowa emisja CO<sub>2</sub>. Zgodnie z modelami matematycznymi jego stężenie (objętościowe) w atmosferze ma w r. 2100 podwoić się do około 0,07% i spowodować podwyższenie średniej temperatury globu o 2 – 5°C, a w rejonach polarnych 8 – 10°C. Głosiciele tezy o ocieplaniu klimatu przez człowieka stwierdzają, że miałyby ono spo-

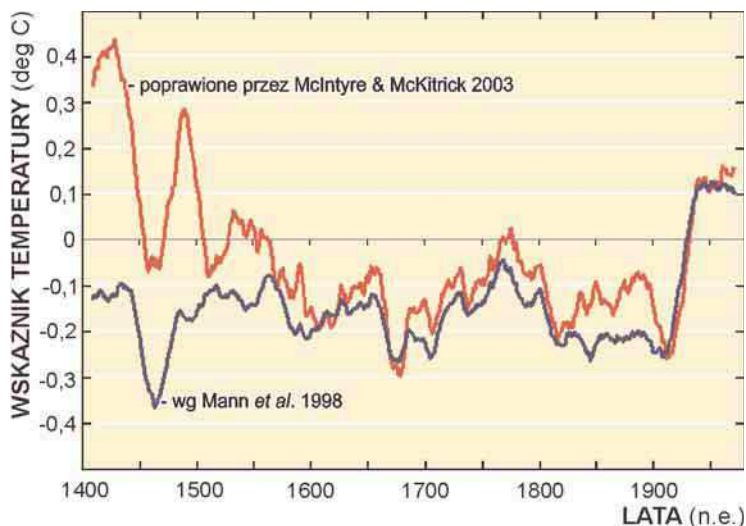
wodować wyłącznie negatywne i katastrofalne skutki.

Zmianom klimatu przeciwdziałać mają przedsięwzięcia nakazane przez Protokół z Kioto do Konwencji Narodów Zjednoczonych w Sprawie Zmiany Klimatu (1997). Ich kluczowym elementem jest tzw. podatek węglowy, naliczany od każdej tony pierwiastkowego węgla emitowanej w postaci CO<sub>2</sub> do atmosfery. W skali globu, wynosiłby on 1200 miliardów dolarów rocznie, i już w połowie obecnego wieku doprowadziłby do dramatycznego zmniejszenia dostępnej energii. Zmniejszenie to nastąpiłoby, bowiem wyklucza się zastąpienie spalania paliw kopalnych energetyką jądrową, mimo że nie emituje żadnych gazów cieplarnianych i jest najtańszą formą produkcji energii. Po wyczerpaniu ropy i gazu za kilkadziesiąt lat, a węgla za około 200, żadne inne źródło energii nie będzie w stanie zaspokoić energetycznych potrzeb świata. Zagadnienie politycznych i ideologicznych przyczyn „szaleństwa klimatycznego” przedyskutowałem w artykule opublikowanym w *Res Humana*.

Głównym rzecznikiem ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery jest *Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC)*, zorganizowany i sponsorowany przez ONZ. Najważniejszą teoretyczną podstawą walki o ograniczenie emisji gazów cieplarnianych stał się ostatnio wykres zmian temperatury w ciągu ubiegłego stulecia ocenionej na podstawie słoju drzew, opublikowany w 1999 roku w *Nature* przez Manna i współpracowników. W r. 2003 jego prawdziwość została zakwestionowana w dogłębnej pracy astrofizyków Williama Soona i Salie Baliunas z Uniwersytetu Harvarda. Posłużyli się oni pośrednimi źródłami do oceny klimatu dawnych wieków, takimi jak zapisy historyczne i źródła kulturowe, rdzenie lodowe, lodowce, odwierty geologiczne, stalaktyty i stalagmity, zasięgi lasów, skamieniałości jeziorne, fauny ssaków, wzrastanie słoju drzew i pierścieni koralu,

*Zgodność zachmurzenia troposfery i natężenia promieniowania kosmicznego (wg Marsh N. D. & Svensmark, H. 2000. Low cloud properties influenced by cosmic rays. Physical Review Letters 85, 5004-5007). Promieniowanie kosmiczne jonizuje atomy i cząsteczki, umożliwiając tworzenie chmur. W okresach silniejszej aktywności Słońca, jego pole magnetyczne odrzuca od Ziemi część promieniowania kosmicznego. Powstaje wtedy mniej chmur i powierzchnia Ziemi bardziej się ogrzewa*





Krzywa zmian temperatury na półkuli północnej według Mann et al. (1999) oraz IPCC (2001), która służy za główny argument zwolennikom tezy o bezpośrednim wpływie przemysłowej emisji gazów cieplarnianych na klimat, i jej poprawna wersja wg McIntyre & McKittrick (2003)

celuloza torfowa, pyłki roślin, dane fenologiczne i osady morskie. Druzgocącą krytykę Manna i IPCC przeprowadzili S. McIntyre i R. McKittrick w pracy *Corrections to the Mann et al. (1998) proxy data base and Northern Hemispheric average temperature series* opublikowanej w prestiżowym brytyjskim czasopiśmie *Energy & Environment* w r. 2003. Autorzy ci przeprowadzili szczegółową kontrolę bazy danych i obliczeń na których oparte zostały wnioski Mann et al. i wykazali, że obliczenia zostały przeprowadzone błędnie, że popełniono wiele pomyłek w użyciu danych pomiarowych, a przede wszystkim że dokonano *biased selection of climate records*. Prawidłowa analiza oryginalnych danych użytych w pracach Mann et al. daje zupełnie inną krzywą, która wykazuje silne ocieplenie średniowieczne, silne ochłodzenie w Małej Epoce Lodowej, oraz niewielkie ocieplenie dzisiejsze, mniejsze od średniowiecznego.

### Przyszłość ziemskiego klimatu

Klimat zmienia się bezustannie. Naprzemienne cykle długich okresów zlodowaceń i znacznie krótszych ciepłych okresów międzylodowcowych następują po sobie dość regularnie. W ciągu ostatnich 2 milionów lat typowa długość cykli wynosiła około 100 tys. lat, z czego na epoki lodowe przypadało średnio po 90 tys. lat, a na epoki ciepłe po 10 tys. lat. Pomiędzy lodowcową a ciepłą fazą cyklu różnica temperatur wynosi 3 – 7°C. Obecna ciepła faza zapewne dobiega swego końca; jest już o 500 lat dłuższa od średniej. Przejścia pomiędzy ciepłymi i zimnymi fazami klimatu są dramatycznie krótkie: trwają zaledwie 50, 20, a nawet kilka lat i pojawia-

ją się właściwie bez ostrzeżenia. Trudno prognozować kiedy nadejdzie nowa epoka lodowa i lądolód zacznie pokrywać Skandynawię, Europę środkową i północną, Azję, Kanadę, Stany Zjednoczone, Chile i Argentynę warstwą lodu o grubości setek i tysięcy metrów, a lodowce górskie w Himalajach, Andach, Alpach, Afryce i Indonezji znowu zejdą w doliny. Niektórzy klimatolodzy twierdzą, że czeka nas to za 50 – 150 lat. Co stanie się z Morzem Bałtyckim, jeziorami, lasami, zwierzętami, miastami, narodami i całą infrastrukturą współczesnej cywilizacji? Zostaną zmiecione postępującym lodem, a potem pokryte zwałami moren.

Zbliżająca się nowa epoka lodowa, nie zaś rzekome ocieplenie klimatu przez człowieka, jest prawdziwym wyzwaniem stojącym przed ludzkością, większym niż wszystkie inne w historii. Zanim nadejdzie, cieszymy się krótkotrwałym ociepleniem, łaskawym darem natury i intensywnie badajmy chmury. Ale najważniejsze, nie podejmujemy decyzji politycznych, opartych na wątpliwych teoriach i ideologiach, które mogłyby doprowadzić do światowej klęski ekonomicznej i zalamania współczesnej cywilizacji.

### Zalecana literatura

- Bate, R. (ed) 1998. *Global Warming — The Continuing Debate*. 230 pp. The European Science and Environment Forum, Cambridge.
- Emsley J. (ed) 1996. *The Global Warming Debate*. 288 pp. European Science and Environment Forum, London.
- Jastrow, R., Nierenberg, W., & Seitz F. (eds) 1990. *Scientific Perspectives on the Greenhouse Problem*. 254 pp. The Marshall Press Jameson Books, Inc., Ottawa, Illinois.
- Jaworowski, Z. 1999. The global warming folly. *21st Century Science and Technology* 12 (4), 64-75.
- Jaworowski, Z. 2004. Może nie zniszczymy cywilizacji. *Res Humana*
- Jaworowski, Z., Segalstad, T.V., & Ono, N. 1992. Do glaciers tell a true atmospheric CO<sub>2</sub> story? *The Science of the Total Environment* 114, 227-284.
- Lomborg, B. 2002. *The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World*. 510 pp. Cambridge University Press.
- Maddox, J. 1995. Natural antidote to global warming? *Nature* 377, 193.
- Mathiesen, M.M. 2000. *Global Warming in a Politically Correct Climate*. 147 pp. Writers Club Press, New York.
- Nordhaus, W.D. 2001. Global warming economics. *Science* 294, 1283-1284.
- Seitz, F. 1996. A major deception on „Global Warming?”. *The Wall Street Journal*, June 12, 1996.
- Singer, S.F. 1999. *Hot Talk Cold Science — Global Warming's Unfinished Debate*. 110 pp. The Independent Institute, Oakland, California.