

Antoni Winiarski

**Co wiemy o przyczynach
zmian klimatu?**

Uniwersytet Śląski
Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii
Katowice

dr Antoni Winiarski – fizyk zatrudniony w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego. Jest autorem lub współautorem 102 publikacji naukowych i ponad 110 komunikatów konferencyjnych z zakresu badań struktury krystalicznej i elektronowej, fizyki środowiska, mineralogii oraz nadprzewodnictwa. Prowadził badania pyłów atmosferycznych metodami fizyki powierzchni (XPS, SIMS). Jego badania przyczyniły się do zarejestrowania siedmiu nowych minerałów. Prowadzi wykłady z fizyki środowiska oraz wykłady popularne pokazujące, jak można z punktu widzenia fizyka wyjaśnić różne zjawiska, które spotykamy w przyrodzie. Współpracuje z ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą, jak również z przemysłem.

Życiodajne Słońce

Słońce, oddalone od Ziemi średnio o 149,6 mln km, jest podstawowym źródłem energii, dzięki której możliwe jest życie na naszej planecie. Ilość energii docierającej ze Słońca do Ziemi nie jest stała w czasie, ponieważ nakładają się na siebie różne zmiany krótkookresowe i wieloletnie.

Ziemia krąży wokół Słońca z zawrotną prędkością prawie $30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Krążąc po elipsie Ziemia zbliża się do naszej dziennej gwiazdy najbardziej 3 stycznia, a największe oddalenie osiąga 4 czerwca. W peryhelium (147 mln km) Ziemia otrzymuje 6,9% energii słonecznej więcej niż w aphelium (152 mln km). Ruch Ziemi po eliptycznej orbicie podlega wieloletnim zmianom. Mimośród orbity ziemskiej zmienia się w pseudookresie 100 000 lat w granicach od 0,0034 do 0,058. Średnia wartość mimośrodu wynosi 0,0167. Oznacza to, że są lata, kiedy orbita Ziemi jest bardzo zbliżona do okręgu a ilość energii docierającej ze Słońca niewiele zmienia się w ciągu roku.

Także nachylenie osi obrotu Ziemi do prostej prostopadłej do płaszczyzny orbity, które wynosi średnio $23^{\circ}30'$, zmienia się w okresie 41 000 lat o $\pm 1^{\circ}30'$. Ta zmiana wpływa na różnice temperatur w różnych porach roku.

Obecnie oś Ziemi skierowana jest w kierunku Gwiazdy Polarnej. Ale nie zawsze tak będzie. Wskutek zjawiska precesji za 12 800 lat oś Ziemi będzie skierowana w kierunku Węgi w gwiazdozbiornie Lutni, by za kolejne 12 800 lat powrócić w okolice Gwiazdy Polarnej.

Słońce jest jedną z 400 miliardów gwiazd tworzących naszą Galaktykę, którą na nocnym niebie widzimy jako Drogę Mleczną. To olbrzymie zbiorowisko gwiazd w kształcie spiralnych ramion ma średnicę 100 000 lat świetlnych. Odległości między gwiazdami mierzymy w latach świetlnych, czyli w wielokrotnościach drogi, którą światło przebędzie w ciągu roku. Słońce leży w jednym ze spiralnych ramion

naszej Galaktyki, około 26 lat świetlnych od płaszczyzny równika Drogi Mlecznej. Do jej środka światło ze Słońca biegnie 26 tysięcy lat. Słońce okrąża centrum naszej Galaktyki z prędkością $220 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ w okresie 226 milionów lat.

Źródłem energii słonecznej są reakcje syntezy jąder. Pod wpływem wysokiej temperatury i olbrzymiego ciśnienia z jąder wodoru powstaje hel i cięższe pierwiastki, przy czym wydzielą się duża ilość energii. Część tej energii dociera na Ziemię w ilości $1370 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Temperatura powierzchni Słońca wynosi 5000°C , dlatego maksimum promieniowania elektromagnetycznego przypada w zakresie światła widzialnego o długości fali $0,5 \mu\text{m}$ ($0,5 \times 10^{-6} \text{ m}$). Temperatura powierzchni Słońca, a więc ilość energii przychodzącej ze Słońca, zależy od jego aktywności. Najlepiej poznany jest 11-letni cykl aktywności słonecznej związany z pojawianiem się i zanikaniem plam słonecznych.

Nie cała energia słoneczna docierająca do Ziemi zostanie pochłonięta. Część tej energii uniosą z powrotem w kosmos fale elektromagnetyczne odbite od chmur czy powierzchni Ziemi. Biorąc to pod uwagę można wyliczyć, że średnia temperatura Ziemi powinna wynosić -15°C ! [GUYOT, 1998] Jest ona zasadniczo różna od zmierzonej średniej temperatury Ziemi, która wynosi $+15^\circ\text{C}$. Skąd ta różnica? W wyliczeniu nie uwzględniono wpływ atmosfery ziemskiej.

Atmosfera i gazy cieplarniane

Atmosfera Ziemi jest stosunkowo cienka w porównaniu z promieniem Ziemi liczącym 6400 km. Troposfera, która sięga do wysokości od 9 do 18 km w zależności od pory roku i szerokości geograficznej, zawiera 80% masy gazów zawartych w całej atmosferze ziemskiej.

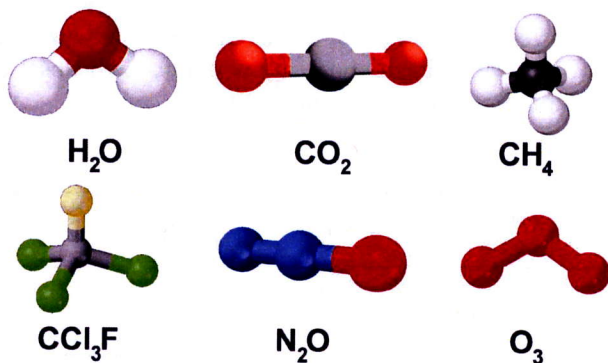
Atmosfera ziemska składa się głównie z azotu i tlenu, a także ze zmiennej ilości pary wodnej. Charakteryzując stan atmosfery podajemy wilgotność powietrza. W Tabeli 1 podano skład atmosfery ziemskiej bez pary wodnej.

TAB. 1. Skład atmosfery ziemskiej.

Gaz:	N ₂	O ₂	Ar	CO ₂	Ne	He	CH ₄	Kr	H ₂
%:	78,084	20,946	0,934	0,035	0,001818	0,000524	0,0001745	0,000114	0,000055

Oprócz światła widzialnego, przez atmosferę przechodzą i dochodzą do powierzchni Ziemi również promienie ultrafioletowe oraz promieniowanie o większej długości fali niż światło widzialne – podczerwień, mikrofałe.

Promieniowanie elektromagnetyczne przychodzące od Słońca oddziałuje z cząsteczkami gazów w powietrzu. Wyróżniamy trzy główne typy oddziaływań promieniowania z cząsteczkami gazów, które prowadzą do zmiany stanów cząstek poprzez wzbudzenia rotacyjne, oscylacyjne i elektronowe.



RYS. 1. Częsteczki gazów cieplarnianych.

Aby cząsteczka wody (H_2O), ditlenku węgla (CO_2), metanu (CH_4) lub chloro-fluorowęglowodoru (CFC) (Ryc. 1) zaczęła wirować wokół jednej ze swoich osi potrzeba niewiele energii. Wystarczy promieniowanie mikrofalowe, aby pobudzić cząsteczkę gazu do rotacji. Więcej energii potrzeba do wzbudzenia oscylacji w cząsteczce gazu, czyli atomy w cząsteczce będą zachowywać się tak, jakby były połączone sprężynami. Energia potrzebna do wzbudzenia oscylacji jest z zakresu mikrofal i podczerwieni. Wirujące lub oscylujące cząsteczki zderzają się z cząsteczkami tlenu oraz azotu przekazując im energię kinetyczną. Ten proces powoduje wzrost temperatury powietrza, ponieważ temperatura jest miarą średniej energii kinetycznej wszystkich cząsteczek gazu. Tak zwane gazy cieplarniane H_2O , CO_2 , CH_4 i inne, szczególnie łatwo pochłaniają nie tylko energię bezpośrednio od Słońca, ale także promieniowanie Ziemi, gdyż promieniuje każde ciało o temperaturze wyższej niż temperatura zera bezwzględnego. Największe natężenie promieniowania powierzchni Ziemi o temperaturze 15°C przypada na promieniowanie podczerwone o długości fali 10 mikrometrów. Pochłanianie promieniowania o pewnych długościach fal, np. $1,3\ \mu\text{m}$ i $1,9\ \mu\text{m}$ jest tak silne, że dla tych długości fal ziemska atmosfera jest zupełnie nieprzezroczysta. Im bardziej skomplikowana jest budowa cząsteczki, tym więcej występują osi obrotu i tym łatwiej dany gaz pochłania energię „wybierając” z padającego promieniowania elektromagnetycznego takie fale, których energia spowoduje rotację wokół danej osi obrotu (Tab. 2).

TAB. 2. Pochłanianie energii przez gazy w odniesieniu do CO_2 .

Gaz	CO_2	CH_4	N_2O	CFC-11	CFC-12
Zdolność pochłaniania energii w porównaniu z CO_2	1	32	160	14 000	17 000

Ze względu na różną zawartość gazów cieplarnianych w atmosferze i różne zdolności pochłaniania energii, różny jest też ich udział w podwyższaniu temperatury atmosfery (Tab. 3). Stężenie gazu podajemy w ppmv, czyli ilości objętości gazu przypadającej na milion objętości powietrza.

TAB. 3. Udział gazów cieplarnianych.

Gaz	Para wodna	CO ₂	O ₂ w troposferze	N ₂ O	CH ₄	Inne, w tym CFC
Stężenie [ppmv]	5 000	358	0,03	0,3	1,7	
Wpływ na ocieplenie [%]	63,7	22,1	7,4	2,5	2,5	1,8

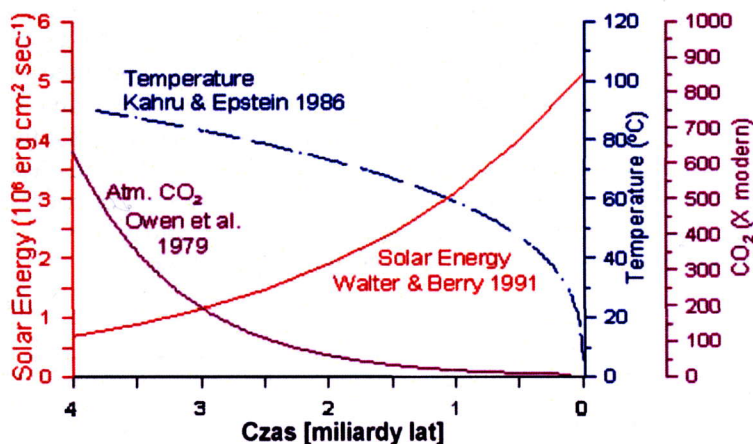
Promieniowanie o jeszcze większej energii – z zakresu bliskiej podczerwieni, światła widzialnego oraz promieniowania ultrafioletowego, powoduje przejścia elektronowe lub jonizację, co może doprowadzić nawet do zniszczenia cząsteczki.

Stosunek energii przejść elektronowych do oscylacyjnych i rotacyjnych jest jak 1000 : 10 : 1.

Dzięki gazom cieplarnianym temperatura powierzchni naszej planety jest wyższa aż o 30 °C niż gdyby Ziemia nie posiadała atmosfery. Czy zawsze tak było?

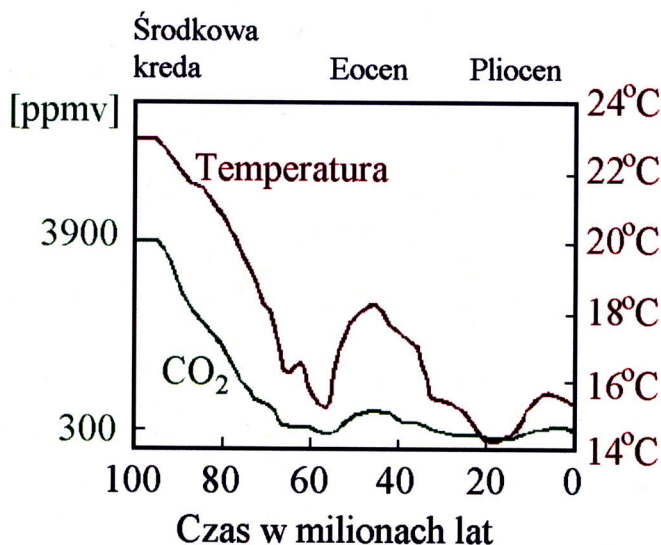
Temperatura w geologicznej historii naszej planety

Z poznania ewolucji gwiazd podobnych do Słońca wynika, że 4,5 mld lat temu Słońce było o 8% mniejsze, świeciło słabiej o 3%, a do Ziemi docierało o 25% energii mniej niż obecnie, a 4 mld lat temu średnia temperatura Ziemi była znacznie wyższa i mogła wynosić 80 °C (Ryc. 2).



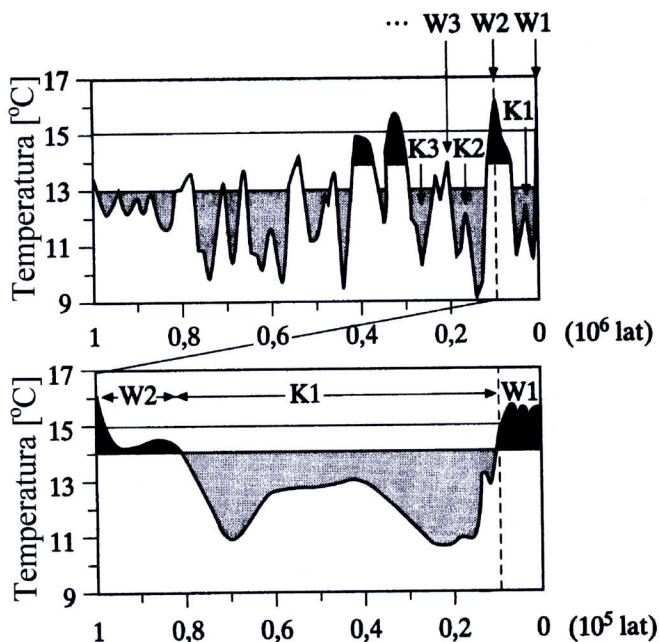
RYS. 2. Ewolucja Słońca [Solar..., 2011].

Spowodowane to było dużą ilością gazów cieplarnianych w atmosferze, przede wszystkim CO_2 . Z upływem milionów lat stężenie ditlenku węgla w atmosferze malało, gdyż CO_2 rozpuszczał się w większych ilościach w coraz chłodniejszych oceanach, był absorbowany przez rośliny – stąd pokłady węgla i zużywany przez różne organizmy do budowy wapiennych szkieletów i skoruppek, które po milionach lat utworzyły skały wapienne. Proces ten szczególnie dobrze widoczny jest w epoce kredy (Ryc. 3).



Rys. 3. Ocieplenie klimatu w przeszłości [Global..., 2011].

Badania rdzeni lodowych pozyskiwanych z lodowców Grenlandii i Antarktydy oraz kopalnych pyłków kwiatowych z głębokich osadów morskich pokazały, że w ostatnim milionie lat wielokrotnie na przemian występowały okresy ciepłe i zimne (Ryc. 4) [BOEKER i in., 2002].



Rys. 4. Zmiany średniej temperatury powietrza przy powierzchni Ziemi w ostatnim milionie i ostatnich 100 000 lat [BOEKER i in., 2002].

Wykres pokazuje, że w ostatnim milionie lat wielokrotnie następowały zarówno okresy ciepłe jak i chłodne, a w ostatnim okresie ciepłym (W2), 100 000 lat temu, temperatura była wyższa niż obecnie i wynosiła 16 °C.

Potem temperatura zaczęła się obniżać do tego stopnia, że nastąpiła epoka lodowa, a poziom mórz i oceanów był o 100 m niższy niż obecnie. Dowodem na to są podmorskie jaskinie ze stalaktytami (Belize, Meksyk, Egipt). Około 15 000 lat temu temperatura zaczęła się powoli się podnosić i ten okres wzrostu temperatury trwa do dzisiaj. Jesteśmy obecnie w ciepłym okresie (W1), gdzie okresy chłodniejsze i cieplejsze o różnicach temperatur ± 1 °C przeplatają się między sobą.

Coraz lepsze metody pomiarowe pozwoliły na coraz dokładniejsze pomiary zarówno temperatury, jak i gazów cieplarnianych. Pomiary stężenia dwutlenku węgla i metanu prowadzone od 1750 r. pokazują stały wzrost stężenia tych gazów atmosferycznych, szczególnie w ostatnich kilkudziesięciu latach. To zjawisko powiązano ze skokiem cywilizacyjnym państw uprzemysłowionych i związanym z tym dużym zużyciem energii wyprodukowanej głównie przez spalanie kopalin.

Czynniki wpływające na klimat

Klimat, czyli ogół zjawisk pogodowych na danym obszarze w okresie wieloletnim, co najmniej 30-letnim, kształtują trzy podstawowe procesy: obieg ciepła, obieg wody i krążenie powietrza oraz czynniki geograficzne.

Zwolennicy teorii o decydującym wpływie człowieka na zmiany klimatyczne bazują tylko na jednym parametrze – stężeniu ditlenku węgla w atmosferze. Tak skomplikowane zjawisko, jakim jest klimat, zależy od wielu czynników. Wyciąganie daleko idących wniosków tylko z pomiaru stężenia ditlenku węgla jest nieuzasadnione. Jednakże lobby tego poglądu ma duży wpływ na decyzje polityczne. Ekstrapolacja wzrostu CO₂ w atmosferze na kolejne lata doprowadziła w 1990 r. autorów do wniosku [BOEKER i in., 2002], że w bieżącym 2011 roku średnia temperatura Ziemi powinna wzrosnąć w porównaniu z 1850 rokiem od 1,1 °C do 2,3 °C, co nie nastąpiło.

Międzyrządowy Zespół do spraw Zmian Klimatu (IPCC) w raporcie z 2007 roku twierdził, że lodowce w Himalajach stopnieją do 2035 roku. IPCC przyznał się do błędu w 2010 r. Błędy można znaleźć także w innych raportach IPCC – w 2007 *IPCC Report* szybkość wzrostu stalaktytów i warstw osadów powiązano jedynie z temperaturą, podczas gdy zależy także od cząsteczek zanieczyszczeń. Kolejne prognozy dotyczą podniesienia się poziomów mórz i oceanów, co jak na razie nie jest obserwowane. Niemniej takie prognozy robią wrażenie na politykach.

Autorzy tego typu prognoz opartych na prostej ekstrapolacji nie biorą pod uwagę, że w przyrodzie istnieją sprzężenia zwrotne dodatnie lub ujemne. Oto jeden prosty przykład. Wzrost ilości CO₂ w atmosferze powoduje pochłanianie większej ilości energii promieniowania Ziemi. Wobec tego Ziemia musi więcej energii wyemitować. Dla zachowania równowagi termicznej musi wzrosnąć temperatura powierzchni Ziemi. Mamy więc sprzężenie dodatnie (wymuszenie radiacyjne). Ale, wzrost temperatury powierzchni Ziemi spowoduje wzrost temperatury atmosfery, a przez to również wzrost temperatury zbiorników wodnych. Parowanie wody z powierzchni Ziemi i zbiorników wodnych powoduje zwiększenie pokrywy chmur, które więcej będą odbijać promieniowania słonecznego. Więc, im więcej chmur, tym większy spadek temperatury. Jest to przypadek sprzężenia ujemnego. Z kolei wyższa temperatura mórz i oceanów powoduje uwolnienie się pewnej ilości CO₂, co przyczynia się do podniesienia temperatury atmosfery. Tego typu mechanizmy muszą być brane pod uwagę przy prognozowaniu zmian klimatycznych. Nie uwzględnienie ich i bazowanie tylko na jednym parametrze jest dużym uproszczeniem i prowadzi do błędnych wniosków.

Ponadto udział organizmów żywych w wymianie CO₂ ⇌ O₂ jest trudny do oszacowania, gdyż nie jest znana biomasa organizmów żyjących w morzach i oceanach.

Bazując na prognozach opartych jedynie na zmianie stężenia CO₂ w atmosferze, politycy próbują ograniczyć emisję CO₂ do atmosfery. Za wysiłki na rzecz budowy i upowszechniania wiedzy na temat zmian klimatu wynikających z działań

człowieka i za stworzenie podstaw dla środków, które są niezbędne do walki z takimi zmianami. ALBERT ARNOLD GORE, Jr. (AL GORE), były wiceprezydent USA i Międzyrządowy Zespół w sprawie Zmian Klimatu (ONZ) otrzymali w 2007 roku Pokojową Nagrodę Nobla. AL GORE otrzymał także w 2008 r. Doktorat *honoris causa* Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Tym bardziej ze zdumieniem czytamy na stronie 8 w jego książce „*Earth in the balance*” („Ziemia na szali”) przetłumaczonej na język polski: „w niektórych rejonach Polski regularnie sprowadza się dzieci pod ziemię do głębokich kopalń, żeby je chronić od różnych gazów i zanieczyszczeń powietrza. Można sobie wyobrazić, jak nauczyciele ostrożnie wychylają się z tych kopalń i sprawdzają, czy można już bezpiecznie wyjść na powierzchnię”. Trzeba powiedzieć, że takie mrożące krew w żyłach historie nie pozostają bez wpływu na poglądy decydentów.

Poglądom przeceniającym wpływ człowieka na zmianę średniej temperatury Ziemi przeciwstawił się Komitet Nauk Geologicznych PAN. Warto w tym miejscu przytoczyć obszerny fragment Stanowiska Komitetu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk w sprawie zagrożenia globalnym ociepleniem z 12 lutego 2009: „10. Doświadczenie badawcze w dziedzinie nauk o Ziemi mówi, że tłumaczenie zjawisk przyrodniczych, oparte na jednostronnych obserwacjach, bez uwzględniania wielości czynników decydujących o konkretnych procesach w geosystemie, prowadzi z reguły do nadmiernych uproszczeń i błędnych wniosków. Błędne też mogą być decyzje polityków podejmowane o oparciu o niekompletny zespół danych. W takich warunkach łatwo o – przystrojony poprawnością polityczną – lobbying inspirowany przez kręgi zainteresowane na przykład sprzedażą szczególnie kosztownych, tak zwanych ekologicznych, technologii energetycznych, bądź składowaniem (sekwestracja) CO₂ w złożach już wyeksploatowanych. Z przyrodniczą rzeczywistością nie ma to wiele wspólnego. Podejmowanie radykalnych i ogromnie kosztownych działań gospodarczych zmierzających do ograniczenia emisji jedynie wybranych gazów cieplarnianych, w sytuacji braku wielostronnej analizy zachodzących zmian klimatu, może doprowadzić do zupełnie innych skutków niż oczekiwane.

Komitet Nauk Geologicznych PAN uważa za konieczne podjęcie wielodyscyplinowych badań, opartych na wszechstronnym monitoringu i modelowaniu wpływu na klimat również innych zmiennych czynników, nie tylko stężenia CO₂. Jedynie takie podejście przybliży nas do pełnego rozpoznania przyczyn zachodzących zmian klimatu.” [<http://www.kngeol.pan.pl/>]

Nie jest to głos odosobniony. Do bardziej znanych należą Apel Heidelberski z 1992 r. „Do władz odpowiedzialnych za przyszłość naszej planety kierujemy ostrzeżenie przed decyzjami, za którymi stoją pseudonaukowe argumenty albo fałszywe lub nieistotne informacje.” i Petycja Oregońska z 1998 r. „...nie istnieje żaden przekonujący dowód na to, że dokonywana przez człowieka emisja gazów cieplarnianych wywołuje katastrofalne ocieplenie powierzchni ziemskiej i zmiany klimatu.”

Również autorzy szeregu publikacji krytycznie odnoszą się do hipotezy o dominującym wpływie człowieka na obecnie obserwowane zmiany temperatury [BALL, 2010].

W innym kierunku poszedł serbski astrofizyk MILUTIN MILANKOVIĆ (1879–1958). Twierdził on, że zmiany klimatyczne wywoływane są przez nakładające się na siebie długookresowe zjawiska takie jak zmiana nachylenia osi obrotu Ziemi do prostej prostopadłej do płaszczyzny orbity, precesja, zmiana mimośrodowi eliptycznej orbity. Te zmiany powodują rytmiczne podnoszenie się i obniżanie średniej temperatury Ziemi.

Większość prób wyjaśnienia zmian klimatycznych nie uwzględnia lub zbyt mało uwagi poświęca aktywności Słońca, które jest głównym źródłem energii dla Ziemi. A są dowody, że to aktywność Słońca jest ważnym czynnikiem kształtującym ziemski klimat. W X–XIII w. mieliśmy klimat podobny do dzisiejszego. Na Śląsku były winnice, a śląskie wina znane były w Europie. Sytuacja zmieniła się w wiekach XV–XVIII, gdy nastąpiło takie ochłodzenie, że zamarzał Bałtyk, a na środku Bałtyku stała karczma. Z 400-letniej historii obserwacji plam słonecznych wynika, że od kiedy zaczęto prowadzić obserwacje plam słonecznych, czyli od początku XVII w., aż do połowy XVIII w. była bardzo mała aktywność Słońca, znana jako „Minimum Maundera”. Plam na Słońcu było niewiele. Aktywność Słońca w całym minionym tysiącleciu można było określić na podstawie badań zawartości radioizotopu węgla ^{14}C , który powstaje w górnych warstwach atmosfery na skutek reakcji neutronów z jądrami azotu. Neutrony powstają w wyniku bombardowania atomów w atmosferze ziemskiej promieniowaniem kosmicznym, którego intensywność zależy od aktywności Słońca. Badania pokazały, że okresom zwiększonej aktywności Słońca odpowiada większa średnia temperatura Ziemi.

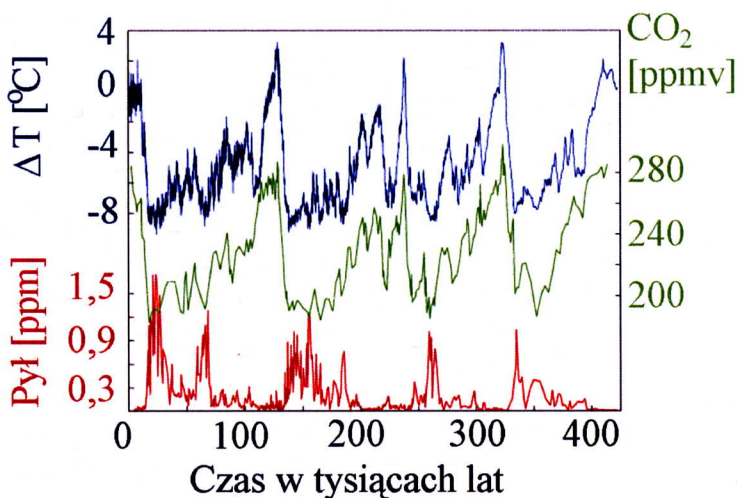
Kolejnym czynnikiem wpływającym na klimat są wybuchy wulkanów, które wprowadzają do atmosfery olbrzymie ilości gazów i pyłów. Przykładem jest potężny wybuch wulkanu Tambora w Indonezji w kwietniu 1815 roku. Z powodu olbrzymich ilości pyłów wulkanicznych, które przedostały się do górnych warstw atmosfery nastąpiło globalne obniżenie temperatury. Następny, 1816 rok nazwany został „rokiem bez lata”. W konsekwencji klęska głodu dotknęła Chiny, Europę, Kanadę i Nową Anglię.

Na zmiany klimatu wpływają także katastrofy kosmiczne, jakimi są spadki dużych meteoroidów. Podczas takich uderzeń do atmosfery przedostają się duże ilości pyłów i gazów. Może być również pobudzona aktywność wulkaniczna. Najbardziej znanym wydarzeniem jest spadek olbrzymiego meteoroidu – w całości lub częściach – 65,5 mln lat temu. Dalsze badania wykażą zapewne, czy pochodzące z tego samego okresu krateru Chicxulub na półwyspie Jukatan o średnicy 180 km, Silverpit na dnie Morza Północnego (średnica 2,4 km), Bołysz na Ukrainie (średnica 24 km) i Śiwa na dnie Oceanu Indyjskiego (400 × 600 km) powstałe w wyniku uderzeń olbrzymich meteoroidów (Śiwa – meteoroid o średnicy ok. 40 km) są związane

z wymarciem dinozaurów i zakończeniem ery mezozoicznej. W tym okresie nastąpiły też olbrzymie erupcje wulkaniczne na półwyspie Dekan.

Podobne wielkie wymierania były w przeszłości. Na przełomie ery paleozoicznej i mezozoicznej wyginęło około 90% gatunków roślin i zwierząt. Okres ten znany jest jako „wymieranie permskie”. W tym czasie powstały olbrzymie kratery meteorytowe Bedout (Australia, średnica 195 km) i Wilkes Land (Antarktyda, średnica 500 km). Nasiliły się także zjawiska wulkaniczne – powstały tzw. trapy syberyjskie.

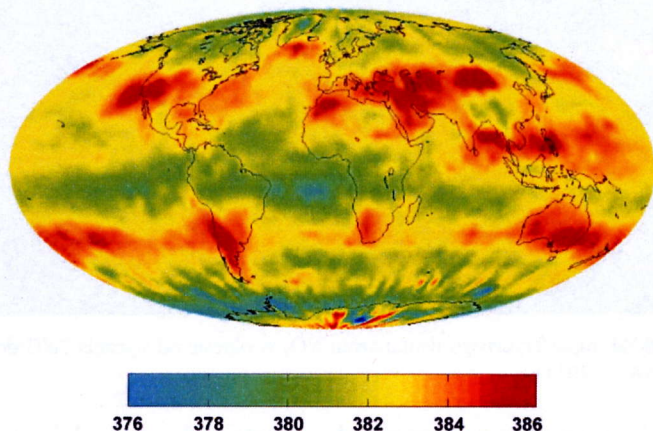
Dowodów na powiązanie zmian zawartości w atmosferze ditlenku węgla, metanu, temperatury, nasłonecznienia i stężenia pyłów dostarczyły badania rdzeni lodowych Antarktydy pobrane na stacji Vostok i w ramach międzynarodowego europejskiego projektu EPICA (*European Project for Ice Coring in Antarctica*) (Ryc. 5). Z pomiarów wynika, że zachodzi koincydencja stężenia ditlenku węgla i metanu z temperaturą. Natomiast stężenie pyłów w antarktycznym lodzie było większe w okresach chłodniejszych. Do wyjaśnienia pozostaje związek koncentracji pyłu z temperaturą, jego pochodzenie oraz większe stężenie w chłodniejszym okresie.



RYS. 5. Względne zmiany temperatury, stężenie CO_2 oraz stężenie pyłów. Wynik pomiarów rdzenia lodowego ze stacji Vostok na Antarktydzie [NOAA..., 2011].

Interesujące wyniki uzyskano badając rozkład CO_2 w atmosferze na wysokości 8 km.

Okazuje się, że największe stężenie CO_2 nie jest nad rejonami uprzemysłowionymi, lecz nad rejonami ubogimi w roślinność (Ryc. 6).



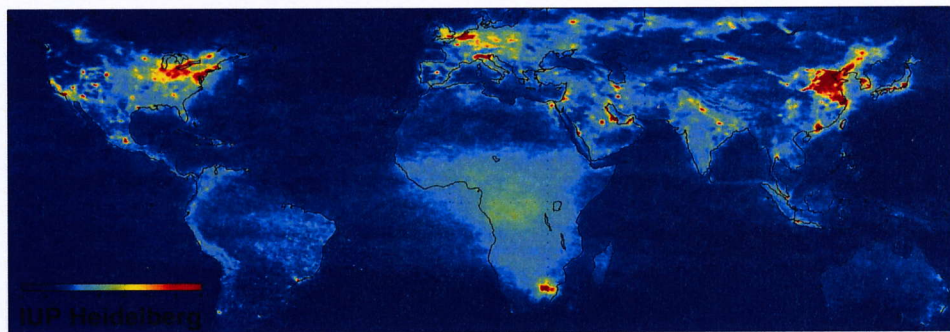
AIRS July 2008 CO₂ (ppmv)
Atmospheric Infrared Sounder na pokładzie satelity Aqua

RYS. 6. Pomiar stężenia ditlenku węgla na wysokości około 8 km nad powierzchnią Ziemi w lipcu 2008 r. [AIRS..., 2011].

Człowiek a klimat

Od tysięcy lat człowiek lokalnie wpływał na klimat poprzez wypalanie i wycinanie lasów, rolnictwo, zmienianie biegu rzek,... W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat doszedł nowy czynnik – produkcja przemysłowa. Przede wszystkim masowa produkcja przemysłowa powodowała degradację środowiska i niekorzystnie wpływała na zdrowie i życie ludzi zamieszkających na terenach przemysłowych. Efektem ubocznym produkcji przemysłowej oraz rozwoju motoryzacji było wprowadzenie do atmosfery dużej ilości pyłów, pary wodnej, ditlenku węgla, tlenków azotu, a w wyniku rozwoju rolnictwa do atmosfery przedostają się duże ilości metanu.

Nacisk na czystą technologię spowodował znaczne zmniejszenie masy pyłów wprowadzanych do atmosfery w krajach uprzemysłowionych oraz polepszenie wykorzystania paliw kopalnych. Obecnie badania prowadzone za pomocą aparatury umieszczonej na satelitach pozwalają problem zanieczyszczeń monitorować w skali całego naszego globu. Przykładem niech będzie rozkład tlenków azotów w atmosferze ziemskiej zsumowany z pomiarów wykonanych od stycznia 2003 do czerwca 2004 roku za pomocą urządzenia SCIAMACHY umieszczonego na satelicie ESA Envisat (Ryc. 7). Obszary, z których emisja tlenu azotu jest największa, zaznaczone są kolorem czerwonym.



Rys. 7. Rozkład troposferycznego tlenku azotu NO_2 w okresie od stycznia 2003 do czerwca 2004 [ESA..., 2011].

Aktywność gospodarcza i przemysłowa człowieka powoduje wprowadzanie do atmosfery ditlenku węgla. Rekordzistami są Chiny (23,33%), USA (18,11%), Indie (5,78%), Rosja (5,67%), Japonia (4,01%) i Niemcy (2,61%). Polska w tej klasyfikacji zajmuje 21. miejsce z 1,05%. W klasyfikacji uwzględniono 214 państw, z których 140 emituje poniżej 0,1% CO_2 .

Od roku 2004 emisja CO_2 w Chinach wzrosła o 14%, co przy zmniejszonej emisji CO_2 przez USA daje Chinom pierwsze miejsce. Wzrosła także emisja ditlenku węgla w Indiach.

Ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych do atmosfery zajmowały się konferencje międzynarodowe, m.in. Szczyt Ziemi w Rio de Janeiro w 1992. Na konferencji w Kioto w 1997 r. wynegocjowano porozumienie „Protokół z Kioto”, które weszło w życie 16 lutego 2005 r. Zobowiązuje ono sygnatariuszy do obniżania emisji gazów cieplarnianych. Wprowadzono też limity emisji i handel emisjami.

Podsumowanie

Dotychczasowe badania jednoznacznie wskazują na cykliczność okresów ocieplania i oziębiania klimatu, co miało miejsce na długo przedtem zanim na Ziemi pojawił się człowiek. Przyczyny tego zjawiska nie są dokładnie znane, chociaż znane są czynniki, które wpływają na zmiany klimatyczne. Nie wiemy natomiast w jakim stopniu. Do tych czynników w pierwszym rzędzie zaliczyć należy zmiany aktywności Słońca oraz zmieniające się parametry orbity ziemskiej. Nie można wykluczyć, że podczas obiegu Słońca wokół centrum Drogi Mlecznej w ciągu 226 mln lat Słońce na trafia na obłoki pyłu kosmicznego, które zmniejszają ilość energii docierającej do Ziemi. Na klimat ma wpływ aktywność geologiczna naszej planety, gdyż olbrzymie ilości pyłów i gazów przedostają się do atmosfery.

Ogromny wpływ na klimat miały także katastrofy kosmiczne – uderzenia potężnych meteorytów (planetoid) w powierzchnię Ziemi.

Czynniki wpływające na klimat są źródłem wielu procesów, które nie są niezależne. Między nimi istnieją pewne sprzężenia, które mogą jakiś proces wzmacniać lub osłabiać. Poznanie tych procesów i opisanie ich modelami matematycznymi pozwoli nie tylko prognozować zmiany klimatyczne, ale przede wszystkim pozwoli wyjaśnić dotychczasową cykliczność zjawisk klimatycznych. Bez wyjaśnienia wieloletniej cykliczności takich parametrów jak temperatura oraz zawartość ditlenku węgla, metanu i pyłów w atmosferze a także roli pary wodnej, nie można twierdzić, że działalność przemysłowa człowieka ma decydujący, inicjujący, niewielki lub żaden wpływ na obserwowaną obecnie zmianę temperatury.

Co więcej, z dotychczasowej cykliczności zmian klimatycznych wynika, że za kilkadziesiąt tysięcy lat temperatura spadnie o 5 °C i nastąpi kolejna epoka lodowa.

Dotychczasowe działania mające na celu ograniczenie emisji CO₂ są niekonsekwentne. Z jednej strony w Unii Europejskiej wprowadza się limity emisji CO₂, a z drugiej strony masowo sprowadza się towary z Chin i Indii, które produkowane są wbrew ekologii, przy dużej emisji gazów cieplarnianych. Jeśliby politykom rzeczywiście chodziło o ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, to zadbaliby o to, aby na rynek UE trafiały tylko produkty wytworzone zgodnie z normami zbliżonymi do norm UE.

Restrykcyjne i kosztowne przepisy dotyczące produkcji przemysłowej w krajach UE powodują, że część produkcji przenoszona jest do innych krajów, gdzie towary wytwarzane są przy dużej emisji gazów cieplarnianych. Towary te wchodzą na rynek UE, więc cel ograniczenia emisji CO₂ nie został osiągnięty, bo wszystko jedno, czy komin dymi w Polsce, Chinach czy Indiach.

Poważnym źródłem emisji CO₂ jest produkcja tanich, szybko zużywających się towarów o niskiej jakości. Zakup takiego towaru wiąże się wkrótce z zakupem kolejnego towaru, bo pierwszy wkrótce nie nadaje się do użytku. W efekcie, zamiast wyprodukować jeden dobry towar, produkuje się kilka łatwo zużywających się sztuk, co wymaga zużycia znacznie większej ilości energii, a co za tym idzie, wprowadzenia do atmosfery dodatkowej ilości ditlenku węgla. Ponadto rośnie sterta odpadów, które trzeba utylizować.

Niekorzystny bilans wymiany ditlenku węgla i tlenu pogłębia karczowanie lasów oraz użycie tworzyw sztucznych zamiast naturalnych materiałów.

Pomysł składowania ditlenku węgla pod ziemią nie jest uzasadniony, bo trzeba wydatkować w tym celu sporo energii, a negatywne skutki takiego składowania są nieprzewidywalne.

Handlowanie emisjami nie rozwiązuje problemu, gdyż w arbitralny sposób ustalane limity służą raczej wzbogacaniu się pewnych firm, a nie ograniczaniu emisji ditlenku węgla.

Obecnie główny wysiłek powinien pójść w kierunku konstrukcji modeli wyjaśniających zmiany klimatu w przeszłości. Dopiero takie modele mogłyby posłużyć do prognozowania zmian klimatycznych i podejmowania brzemiennech w skutki decyzji politycznych i ekonomicznych.

Piśmiennictwo

1. BALL T., 2010: Historic review shows current climate change is normal. Deposits magazine 22: 46–47.
2. BOEKER E., VAN GRONDELLE R. 2002: Fizyka środowiska. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
3. GUYOT G. 1998: Physics of the Environment and Climate. John Wiley & Sons, Chichester.

Źródła internetowe

1. AIRS... 2011: AIRS: carbon dioxide. [Dostęp: 2011] Dostępny w Internecie: http://airs.jpl.nasa.gov/image_gallery/gases/carbon_dioxide/
2. ESA... 2011: ESA – Observing the Earth – Global air pollution produced by Envisat's SCIAMACHY IUP Heidelberg. [Dostęp: 2011] Dostępny w Internecie: http://www.esa.int/export/esaEO/SEM340NKPZD_index_1.html
3. Global... 2011: Global change Earth Science Australia. [Dostęp: 2011] Dostępny w Internecie: <http://earthsci.org/education/teacher/basicgeol/change/change.html>
4. NOAA... 2011: NOAA Paleoclimatology World Data Centers Vostok Ice Core Data. [Dostęp: 2011] Dostępny w Internecie: http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/icecore/antarctica/vostok/vostok_data.html
5. Solar... 2011: Solar Variability and Climatic Change University of Arizona. [Dostęp: 2011] Dostępny w Internecie: <http://www.geo.arizona.edu/palynology/geos462/20climsolar.html>