

ZMIANY SYSTEMU KLIMATYCZNEGO ZIEMI



**prof. dr hab.
Mirosław Miętus**

Jest fizykiem,
oceanografem,
geografem
i klimatologiem.

Jest zastępcą dyrektora
Instytutu Meteorologii
i Gospodarki Wodnej
– Państwowego
Instytutu Badawczego.
Laureat wielu nagród,
w tym odznaki
„Za zasługi dla ochrony
środowiska”
przyznanej przez
Ministra Środowiska
i Złotego Krzyża Zasługi.
miroslaw.mietus@imgw.pl

Klimat jako zasób naturalny wyczerpuje się w znanej nam formie, a powodem tego jest stale zwiększające się zapotrzebowanie człowieka na energię. Najbardziej emisyjne sektory to te związane z zapewnieniem naszej wygody i dobrobytu. O tych zagadnieniach opowiada **prof. dr hab. Mirosław Miętus** z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Dlaczego boimy się emisji z paliw kopalnych?

MIROŚLAW MIĘTUS: Paliwa kopalne to oczywiście te, które pozyskujemy w wyniku wydobywania z wnętrza Ziemi. Z punktu widzenia klimatu są one szkodliwe. Dlaczego? Wystarczy spojrzeć na bilans energetyczny planety. Model, który wyjaśnia procesy dotyczące równowagi energetycznej Ziemi, pochodzi sprzed ponad 100 lat i jest bardzo prosty. Jeżeli potraktujemy Ziemię po prostu jako kulę, to z punktu widzenia transferu energii znajduje się ona w strumieniu promieniowania słonecznego. Żeby system klimatyczny był w równowadze, ilość energii, która dociera do planety od Słońca, musi się równać ilości energii, która opuszcza system.

Jak to się odbywa?

Do naszej planety dociera krótkofalowe promieniowanie słoneczne, którego ilość określa tzw. stała słoneczna (energia promieniowania słonecznego w jednostce czasu na jednostkę powierzchni, padającego prostopadle w średniej odległości Ziemi od Słońca – przyp. red.). Część tej energii zostaje odbita, a ile to jest dokładnie, zależy od planetarnego albedo (tj. stosunku ilości promieniowania odbitego do padającego). Czyli faktycznie do systemu klimatycznego dociera wielkość proporcjonalna do 1 odjąć albedo razy strumień promieniowania słonecznego. Planeta absorbuje promieniowanie krótkofalowe, co sprawia, że się nagrzewa, a następnie emituje na zewnątrz,

czyli poza system, strumień energii cieplnej. Żeby system klimatyczny pozostawał w równowadze, ilość energii emitowanej musi być równa energii, która dotarła ze Słońca. Ten drugi rodzaj promieniowania to promieniowanie długofalowe (inaczej: termiczne, odpowiadające promieniowaniu ciała o temperaturze około 300 K), a jego strumień energii określa prawo Stefana-Boltzmann. Według niego promieniowanie długofalowe jest proporcjonalne do czwartej potęgi temperatury powierzchni. Zatem po jednej stronie postawimy wielkość strumienia energii promieniowania krótkofalowego docierającego do Ziemi, a po drugiej – promieniowania długofalowego. Jeżeli nasza atmosfera będzie całkowicie „przezroczysta” dla promieniowania, które przez nią przechodzi, czyli nie będzie to promieniowanie w żaden sposób przez atmosferę zatrzymywane, i przyjmimy, że wielkość albedo jest rzędu 0,3, co jest potwierdzone przez liczne badania, to otrzymamy wartość temperatury efektywnej planety rzędu 255 K, czyli około –18 st. C.

A zatem gdyby atmosfera była „przezroczysta” dla promieniowania długofalowego, temperatura, która panowałaby w dolnej warstwie atmosfery, wynosiłaby –18 st. C i byłaby to średnia temperatura przy powierzchni planety. Jednak atmosfera nie jest całkowicie „przezroczysta” dla promieniowania, a więc częściowo je pochłania i strumień energii promieniowania długofalowego, który opuszcza system



klimatyczny, jest słabszy. Jeśli założymy, że zdolność promieniowania ma tę konkretną wartość (0,6), to możemy wykazać, że temperatura efektywna przy powierzchni Ziemi w dolnej części atmosfery wynosi około 288 K, czyli o 33 K (i 33 st. C) więcej, niż gdyby atmosfera była „przezroczysta” dla promieniowania długofalowego.

Jaką rolę w tym procesie odgrywa atmosfera?

Atmosfera, oddziałując z długofalowym promieniowaniem zwrotnym Ziemi, pochłania jego część, zatrzymując w warstwie powłoki gazowej. Gdyby nie było atmosfery, to zjawisko by nie istniało, czyli promieniowanie długofalowe natychmiast opuszczałoby system klimatyczny, a Ziemia byłaby dużo chłodniejsza. Ale ponieważ mamy warstwę powłoki gazowej, to temperatura przy powierzchni jest o 33 st. C wyższa. To zjawisko nazywamy naturalnym efektem cieplarnianym. Dzieje się tak dlatego, że nasza atmosfera ma liczne pasma absorpcji promieniowania termicznego Ziemi. Atmosfera składa się z naturalnych gazów cieplarnianych, czyli takich, które są obecne w atmosferze w wyniku procesów naturalnych i które powodują, że temperatura na powierzchni planety jest wyższa. Są to dwutlenek węgla (CO_2), podtlenek azotu (N_2O), metan (CH_4). Dzięki temu możliwe jest życie biologiczne na Ziemi w takiej postaci, jaką znamy. Warto zaznaczyć, że cały czas mówimy o średniej temperaturze. Nawet bez obecności gazów byłyby ona

zróżnicowana pod względem przestrzennym. Średnia temperatura dla całej kuli ziemskiej to 14–15 st. C, ale w okolicach równika jest o kilkanaście stopni wyższa, a na biegunach kilkadziesiąt stopni niższa.

Co zmieniło się w atmosferze i systemie klimatycznym w wyniku rozwoju cywilizacyjnego?

Wraz z rozwojem cywilizacyjnym zaczęły się one stopniowo przekształcać. W początkowym okresie, ze względu na niewielką liczebność populacji i mniejszą złożoność życia społecznego, wpływ człowieka na system klimatyczny Ziemi był znikomy. Z początkiem ery przemysłowej, kiedy nastąpiła intensyfikacja procesu spalania paliw kopalnych, węgla i drewna, wpływ ten zaczął być coraz wyraźniejszy. Efektem tego była emisja gazów, głównie CO_2 , czyli tego gazu, którego rola w naturalnym procesie cieplarnianym jest dominująca. I tak emisja CO_2 od początku XIX do końca XX wieku wzrosła ponad 20 razy, a jego koncentracja w atmosferze wzrosła z 270 do 415 ppm (cząstek na milion). Koncentracja innych gazów cieplarnianych również wzrosła. Na przykład N_2O jest również produktem spalania paliw kopalnych, głównie ropy i pochodnych w silnikach. Z kolei CH_4 pochodzi przede wszystkim z działalności rolniczej. Dzisiejsze rolnictwo znacznie różni się od tego sprzed 200–250 lat. Jeśli wymienić tylko jedną przyczynę tego stanu rzeczy, byłby to potężny wzrost liczby ludzi

Powóz konny, 1940 rok



WIKIMEDIA COMMONS

z niespełna 1 mld do ponad 7,5 mld. Wraz ze wzrostem intensywności produkcji żywności wzrosła emisja CH_4 . Główne źródła to zwiększający się areal uprawy ryżu na świecie, który jest podstawowym pożywieniem dla znacznej części populacji Ziemi, i hodowla mięsa, którego spożywamy coraz więcej.

Te 200 ostatnich lat wydaje się kluczowe pod kątem zmiany klimatu. Co jeszcze się w tym czasie zmieniło?

Zmieniły się m.in. elementy codziennego życia, o których możemy nawet nie pomyśleć w pierwszym odruchu, np. mobilność człowieka. Dystans pokonywany przez niego dziennie wzrósł od początku XIX wieku do dziś o ponad 1000 proc.! 200 lat temu człowiek przemieszczał się na dystansie do 100 m dziennie, bo po prostu nie miał innej potrzeby, np. jeśli w ogóle chodził do pracy, to zazwyczaj był to warsztat przy domu. Dziś przebywamy dziennie średnio 40 km! Wraz ze wzrostem naszej aktywności wzrosło zapotrzebowanie na energię, a jej źródłem są wciąż paliwa kopalne.

Transport drogowy, który umożliwia nam tę wzmogoną mobilność na co dzień, jest też potężnym źródłem antropogenicznych gazów cieplarnianych. Spalenie litra benzyny wiąże się z emisją blisko 2,6 kg CO_2 do atmosfery, co oznacza, że przejechanie 100 km daje około 25,5 kg CO_2 , które dostaje się do atmosfery (przyjmiemy tu, że samochód pali średnio 10 l/km). W przypadku ropy mamy do czynienia z emisją na poziomie około 2,8 kg CO_2 na litr spalonego paliwa, a temu procesowi towarzyszy dodatkowo emisja rakotwórczego benzoalfapirenu.

Skąd wiemy, że koncentracja gazów cieplarnianych jest dziś największa?

W perspektywie ostatnich 800 tys. lat wiemy, że dziś jest największa koncentracja gazów cieplarnianych. Wiemy też, że w ciągu ostatnich 2000 lat wzrost koncentracji tych gazów miał najwyższe tempo. W historii naturalnej Ziemi występowały już okresy, kiedy koncentracja gazów cieplarnianych była niemalże porównywalna z dzisiejszą, ale nie można wykazać, że tempo wzrostu było tak szybkie jak obecnie. To istotne, bo nawet jeśli ta wartość była już kiedyś zbliżona do dzisiejszej, to jej możliwe skutki, w tym ówczesne zmiany klimatu, nie wpływały na ludzi, bo wtedy ich jeszcze nie było. Patrzymy przecież na klimat z punktu widzenia wpływu na nas. Widzimy go jako zasób naturalny, który oddziałuje na zdolności cywilizacyjne. Obecna zmiana może spowodować, że straci on te walory w wielu regionach globu, czego konsekwencją będą masowe migracje. To poskutkuje wzrostem gęstości zaludnienia w tych regionach, gdzie będzie możliwe funkcjonowanie, a to się znacznie odbije na jakości życia, pojawi się problem z dostarczeniem żywności, dostępem do wody itd.

Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) prezentuje diagram, który przedstawia, jak zmieniło się wymuszenie radiacyjne (czyli zmiana bilansu promieniowania wynikająca z anomalii pojawiających się w systemie klimatycznym) związane ze zwiększoną koncentracją gazów wchodzących w skład ziemskiej atmosfery. Konsekwencją tego wzrostu jest to, że pojawia się różnica między ilością energii docierającej i opuszczającej system klimatyczny Ziemi. Ostatnie dane IPCC pochodzące sprzed siedmiu lat wskazują,

że wymuszenie radiacyjne wynikające z koncentracji CO₂ wynosi 1,7 W/m². Jeżeli chodzi o CH₄, ta wielkość jest szacowana na 1 W/m², a dla N₂O na 0,17 W/m². Po zsumowaniu, okazuje się, że wymuszenie radiacyjne powodowane przez trzy główne gazy cieplarniane wynosi 2,87 W/m². Do tego dochodzą jeszcze gazy określane wspólną nazwą chlorowęglowców, które pojawiły się wyniku działalności człowieka, ale dobrze się mieszają, więc ich wymuszenie radiacyjne wynosi 0,18 W/m². Są jednak i takie gazy, które powodują ochładzanie systemu klimatycznego.

Czy różne gazy cieplarniane w różnym stopniu ocieplają Ziemię?

Każdy z gazów cieplarnianych charakteryzuje się innym potencjałem ociepleniowym. Jest to zdolność danego gazu do ogrzewania atmosfery w porównaniu do tej zdolności CO₂. Oznacza to, że ta sama porcja metanu, która dostaje się do atmosfery co CO₂, ogrzeje atmosferę 28 razy bardziej w perspektywie 100 lat. Z kolei CO₂ ma największy globalnie wpływ na zmianę klimatu, bo jest go zdecydowanie najwięcej.

Dodatkowo te gazy mają różny „czas życia” w atmosferze. Wyprodukowana dziś cząstka CO₂ może być gazem aktywnym nawet do 100 lat, a CH₄ żyje tylko kilkanaście lat. Wspomniane chlorowęglowce mają jeszcze większy potencjał ociepleniowy, a dodatkowo utrzymują się w atmosferze nawet przez dziesiątki tysięcy lat! Wśród nich znajdują się tzw. freony, które kiedyś zidentyfikowaliśmy jako te, które niszczą warstwę ozonową Ziemi, a także ocieplają atmosferę. Jednym z najgroźniejszych z tej grupy gazów jest fluorek siarki o symbolu SF₆ (czas życia rzędu 3 tys. lat, a globalny potencjał ociepleniowy to około 23 tys. w skali 100 lat).

Są też gazy krótko żyjące w atmosferze, takie jak tlenek węgla, różnego rodzaju tlenki azotu, aerozole i ozon. Te gazy mają zdolność zarówno do ogrzewania, jak i ochładzania klimatu. Przykładem gazów, które wyraźnie ochładzają klimat, są tlenki azotu (do -0,15 W/m²). Ponieważ aerozole siarkowe ochładzają klimat, pojawiały się pomysły, żeby wspomagać się nimi w walce z globalnym ociepleniem. Pomysł zaczerpnięto z wulkanologii, ponieważ wybuchy wulkanów mają zdolność krótkotrwałego ochładzania klimatu. Rok 1816 nazwano nawet „rokiem bez lata”, ponieważ zapylenie związane z wybuchem wulkanu Tambora w Indonezji zablokowało dostęp światła słonecznego na wiele miesięcy. To z kolei wywołało wiele anomalii pogodowych nawet w Europie.

Czy wpływ różnych gazów cieplarnianych na atmosferę może się zmieniać?

Tak, może się zmienić w istotny sposób, jeśli zmieniają się relacje między ich koncentracjami. Może tak się stać, np. gdy w wyniku globalnego ocieplenia zostaną uwolnione ogromne pokłady CH₄, znajdujące się

dziś w wiecznej zmarzlinie czy w głębinach morskich. Na dnie oceanu występują stosunkowo stabilne warunki fizyczne, dlatego on tam występuje w formie stałej i na razie powinien tam pozostać. Tykającą bombą jest za to CH₄ uwięziony w wiecznej zmarzlinie, która topniejąc, uwolni metan do atmosfery, co może bardzo poważnie przyspieszyć proces ocieplenia. Pamiętajmy, że CH₄ ma dużo większą zdolność ociepleniową atmosfery, a w opisanej sytuacji pojawiłby się w ogromnej masie. To jest CH₄ naturalny, ale pojawi się w atmosferze wskutek działania człowieka.

Skutki współczesnej zmiany klimatu są wieloaspektowe i trudne do przewidzenia w 100 proc. Czy mamy więc szansę przetrwać?

Prognozy wskazują, że zmiany będące efektem współczesnego ocieplenia klimatu będą gwałtowne i rozległe i staną się rzeczywiste już za kilka dekad. Dodatkowo warto też pamiętać, że zmienia się też nasza wiedza na temat gazów cieplarnianych i zmian klimatu. Z perspektywy działalności IPCC (nieco ponad 30 lat) nasza wiedza na temat gazów cieplarnianych w systemie klimatycznym ulegała zmianie. O ile 30 lat temu zaznaczaliśmy, że dobrze znamy rolę tych trzech na-

Tykającą bombą jest CH₄ uwięziony w wiecznej zmarzlinie, która topniejąc, uwolni metan do atmosfery, co może bardzo poważnie przyspieszyć proces ocieplenia.

turalnych gazów cieplarnianych, o których mówiłem na początku, to o innych mówiliśmy, że wiemy mało i ten obszar wymaga pogłębionych badań. Dzisiejsza kwantyfikacja naszego naukowego poziomu wiedzy na temat roli tych gazów w systemie klimatycznym jest całkiem inna. I tak w przypadku większości gazów naturalnych jest ona wysoka, ale w przypadku gazów krótko żyjących jest na średnim poziomie.

Życie biologiczne w jakiegokolwiek formie na naszej planecie nie jest zagrożone, bo nawet w skrajnie wysokich temperaturach występują organizmy zdolne do ich przetrwania, ale bardzo możliwe, że człowiek nie będzie mógł ich znieść. Pozostaje pytanie, czy obecny potencjał systemu klimatycznego, sprzyjający rozwojowi cywilizacyjnemu, będzie się wyczerpywał powoli i uda nam się wyhamować te zmiany na poziomie, który pozostanie dla nas akceptowalny i bezpieczny. A może klimat zmieni się tak szybko i znacząco, że zagrożi naszemu bytowi?

ROZMAWIAŁA DR JUSTYNA ORŁOWSKA