

# Co się dzieje z wodą w atmosferze?

Felieton Profesora Karwasza pt. *Gdzie się podziła zima?* („PAUza Akademicka” nr 512) pobudził mnie do dyskusji. Według NASA ([www.giss.nasa.gov](http://www.giss.nasa.gov)), w oparciu o klimatyczny model GISS (opisujący przepływ radiacyjny energii przez atmosferę), para wodna odpowiada za 50% efektu cieplarnianego, za 25% odpowiadają chmury (kropelki wody lub kryształki lodu), a za 20% dwutlenek węgla. Para wodna i dwutlenek węgla generowane przez człowieka stanowią drobny ułamek tego, co powstaje w procesach naturalnych, jednak uważa się powszechnie, że antropogenne strumienie obu gazów cieplarnianych zaburzają naturalne procesy i prowadzą do gromadzenia się obu gazów w atmosferze, a w konsekwencji do efektu cieplarnianego i podniesienia średniej temperatury na Ziemi. Jak słusznie zauważa Autor, głównym gazem cieplarnianym jest para wodna (zawartość zmienna, średnio 0,25% wagowych). Bez niej średnia temperatura na Ziemi spada z +14 do -18 stopni Celsjusza (źródło strony NASA, z podkreśleniem, że to hipoteza). Mimo tej hipotezy skupiamy całą uwagę na dwutlenku węgla (obecnie 0,04% w atmosferze) przy dyskusji nad zmianami klimatu. Dlaczego? Powód jest prosty: co poszło do góry, spadnie na dół w postaci deszczu. Ta wiara każe nam sądzić, że woda nie może być problemem, skoro tak łatwo usunąć ją z atmosfery.

Czy tak jest na pewno? Wyobraźmy sobie wannę z otwartym splotem, do której leje się woda. Możemy wierzyć, że cała woda, która w sposób ciągły wpływa do wanny, opuści ją, ale jak wiemy z codziennego doświadczenia, poziom wody w wannie ustali się na takiej wysokości, aby wypływ wody równoważył jej wpływ. Gdy zwiększymy strumień wody do wanny, to również poziom wody się podniesie, aż do momentu, gdy woda przeleje się przez brzegi wanny. Podobnie może być z naszą atmosferą. Nie znamy efektywności usuwania pary wodnej z atmosfery, dlatego też możemy tylko postawić hipotezę: im więcej pary wodnej trafia do atmosfery, tym większa będzie jej średnia zawartość w atmosferze i tym większy efekt cieplarniany.

Popatrzmy na liczby. W latach 1900–2014 emisja dwutlenku węgla wzrosła 17-krotnie, z 2 mld ton do 35 mld ton rocznie. W tym samym czasie konsumpcja wody na świecie wzrosła 6-krotnie, z 700 mld ton to 4 bln ton (<https://ourworldindata.org/water-use-stress>). Konsumpcja wody jeszcze nic nam nie mówi o jej parowaniu, ale wiemy, że dużo wody odparowuje z pól. Zużycie wody w rolnictwie stanowi 70% całkowitego bilansu. Innym procesem prowadzącym do generowania gazów cieplarnianych jest proces spalania. Ponieważ ropa i gaz ziemny zawierają także wodór, to w procesie spalania musi powstawać woda. Przy spalaniu ropy naftowej i gazu ziemnego generujemy więcej pary wodnej niż dwutlenku węgla. Rocznie tylko w procesach spalania (ropy i gazu) emitujemy 9,5 miliarda ton węgla do atmosfery<sup>1</sup>, a co za tym idzie 21 miliardów ton pary wodnej.

Przy średniej temperaturze 14 stopni Celsjusza w stanie równowagi termodynamicznej atmosfera powinna zawierać 1% wagowych pary wodnej (obecnie jest 0,25%). Oznacza to, że potencjał nagromadzenia pary wodnej w atmosferze jest ogromny. Istnieje mechanizm usuwania wody z atmosfery. Ponieważ para wodna ma mniejszą gęstość niż powietrze, wędruje od powierzchni Ziemi do górnych (zimniejszych) warstw atmosfery, gdzie skrapla się i spada na powierzchnię w postaci deszczu. Zakłada się, że mechanizm

usuwania wody działa wydajnie, utrzymując stałą ilość pary wodnej w atmosferze. Zakłada się również, że jedynym sposobem podniesienia ilości wody w atmosferze jest podniesienie średniej temperatury na powierzchni naszej planety. Modele klimatyczne, które przewidują najbardziej drastyczne scenariusze wzrostu temperatury, zakładają sprzężenie zwrotne emisją CO<sub>2</sub> a zwiększeniem ilości pary wodnej. Dwutlenek węgla podnosi temperaturę na Ziemi, co zwiększa strumień parowania i podnosi ilość pary wodnej w atmosferze, prowadząc do spotęgowania efektu cieplarnianego. W przedstawionym scenariuszu pojawia się kilka problemów wynikających z naszej niewiedzy. Nie rozumiemy w szczególności mechanizmu parowania (<https://doi.org/10.1039/C7SM00804J>), usuwania wody z atmosfery i mechanizmów kondensacji wody w chmurach w stanie braku równowagi (są nadal obiektem intensywnych badań, np. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-17-0308.1>). Co więcej, zaniedbujemy stale zwiększający się strumień pary wodnej z powierzchni Ziemi do atmosfery, wynikający z działalności człowieka, i nie uważamy, by ten strumień miał jakikolwiek wpływ na klimat. Zwrócił na to uwagę w swoim referacie pt. *Mitigating human enhanced water emission impacts climate change* Bruce Pechaey na konferencji IEEE EIC Climate Change (Ottawa, Kanada May 9–12 2006). Jak napisał, w ciągu ostatniego stulecia zwiększyliśmy o 4–5% strumień wody do atmosfery (też jest to hipoteza, bo trudno jest monitorować dokładną ilość pary wodnej w atmosferze, która waha się od 0 do 4%, ze średnią 0,25%). Z wcześniejszej pracy pt. *Atmospheric Radiation and atmospheric humidity* J. E. Harris z Quarterly Journal of Royal Meteorological Society (1997) dowiedzieliśmy się, że nieduża zmiana (kilku procent) w rozkładzie pary wodnej w atmosferze może spowodować zmiany porównywalne do tych, które powstałyby przy podwojeniu ilości dwutlenku węgla w atmosferze. Co więcej, nieznamy nam do końca rozkład pary wodnej w atmosferze ma ogromny wpływ na wszystkie modele przewidujące globalne ocieplenie. W artykule pokazano na podstawie danych z satelity TOVS, że w troposferze występuje duża zmienność ilości pary wodnej. Wydaje się jednak, że w obecnej nagonce na CO<sub>2</sub> te głosy nie są słyszalne. Wielu naukowców ignoruje ten problem, co wynika z milczącego założenia, że mechanizm usuwania wody z atmosfery działa nieskończenie wydajnie i nie zależy od strumienia pary wodnej płynącego do atmosfery. Badania satelitarne ilości wody w stratosferze pokazują, że nie jest ono prawdziwe. Ilość wody w stratosferze rośnie o 0,6% rocznie przez ostatnie kilkanaście lat - i nie daje się wytłumaczyć przyczynami naturalnymi (np. aktywnością prądu El Niño). Jak trudno jest ocenić ilość wody emitowanej przez człowieka w procesie spalania, pokazuje praca w prestiżowym czasopiśmie PNAS z roku 2015<sup>2</sup>. Autorom udało się pokazać na bazie nowej metody detekcji, że nad miastami 13% pary wodnej pochodzi ze spalania ropy naftowej.

Wniosek: walka z ociepleniem klimatu musi uwzględnić redukcję emisji pary wodnej przez człowieka do atmosfery. W przeciwnym razie może nam grozić efekt cieplarniany o dużo większej sile niż przewidywany tylko na podstawie emisji CO<sub>2</sub>. Moje rozważania nie zmieniają faktu, że palenie ropy, gazu ziemnego czy węgla jest głupie, bo pozbawia przyszłe pokolenia surowców do tworzenia użytecznych dla nas materiałów.

ROBERT HOŁYST

Institut Chemii Fizycznej PAN

<sup>1</sup> Ciais P., et al., (2013) *Carbon and other biogeochemical cycles. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds. Stocker TF, et al., Cambridge Univ. Press, Cambridge 2013, pp. 465–570.

<sup>2</sup> *Vapor hydrogen and oxygen isotopes reflect water of combustion in the urban atmosphere* Galen Gorski i inni, PNAS, vol. 112, no 11, 3247–3252 (2015)

