

Władysław KAMIŃSKI, Elwira TOMCZAK

e-mail: kaminski@wipos.p.lodz.pl

Katedra Termodynamiki Procesowej, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

Globalne ocieplenie – natura czy działalność człowieka?

Wstęp

Tematyka dotycząca zmian klimatu stanowi centrum zainteresowania naukowców z wielu dziedzin. Ścierają się dwa poglądy. Jeden mówi, że całe zło związane z globalnym ociepleniem, dziurą ozonową a w konsekwencji innymi implikowanymi zjawiskami jest w głównej mierze efektem działalności człowieka. Z kolei druga opinia mówi, że głównej przyczyny należy szukać w cyklicznych zmianach wynikających z naszego usytuowania w galaktyce a bezpośrednio wynikających z aktywności Słońca. W pracy podjęto próbę oceny na ile i czy działalność człowieka może wpłynąć na zjawiska globalne. Pod uwagę wzięto emisję CO₂ i innych gazów cieplarnianych emitowanych w wyniku działalności człowieka. Ilości tych gazów porównano z naturalnymi zasobami wynikającymi ze składu powietrza i możliwości rozpuszczania się tych gazów w wodach mórz i oceanów. Szacowanie zasobów naturalnych CO₂ w powietrzu i wodzie przeprowadzono według zaproponowanych własnych zależności matematycznych [1]. Porównano również ilość energii promieniowania docierającej do powierzchni Ziemi z ilością energii wytwarzanej przez człowieka.

Cel opracowania

Opracowanie jest głosem w dyskusji nt. czy i jaki wpływ na zmianę klimatu ma działalność człowieka. Zgodnie z danymi zawartymi w pracy [2] gazy cieplarniane (GHG) CO₂, CH₄, N₂O są odpowiedzialne za globalne ocieplenie odpowiednio w 64, 19 i 6% od początku ery przemysłowej. Na tej liście zwykle pomija się parę wodną. Jej decydujące znaczenie przedstawiono w dalszej części pracy. Ponadto podjęto się oszacowania i porównania zawartości CO₂ występującego naturalnie w atmosferze z ilością CO₂ wynikającą z aktywności przemysłowej człowieka. W obliczeniach przyjęto następujące założenia:

1. Ziemia jest kulą o promieniu $r = 6378,14$ km,
2. Temperatura powietrza zmienia się liniowo od średniej wartości 15°C przy powierzchni gruntu, (średnia temperatura powierzchni Ziemi) do -50°C na wysokości 10⁴ m (choć atmosfera Ziemi rozciąga się do wysokości około 80 km),
3. Powietrze można traktować jak gaz doskonały i opisać równaniem Clapeyrona $pV = nRT$,
4. Ciśnienie powietrza (wody) na danej wysokości (głębokości) jest efektem ciśnienia słupa gazu (cieczy) znajdującego się powyżej,
5. Ciśnienie na powierzchni Ziemi wynosi średnio 10⁵ Pa.

Do porównań i obliczeń wykorzystano dane literaturowe oraz publikowane przez NASA (m.in. szacowanie energii dostarczanej przez Słońce).

Niekorzystna działalność człowieka

Negatywne oddziaływanie człowieka na środowisko rośnie z rozwojem cywilizacyjnym z roku na rok pomimo coraz wyższej globalnej świadomości ekologicznej.

Istotnym problemem jest dewastacja zasobów leśnych. Ma to znaczenie gdyż CO₂ z powietrza jest asymilowany przez rośliny w wyniku procesu fotosyntezy i przetwarzany na masę zieloną i tlen. W pracy [3] przytoczono szacunkowe dane, że około 8000 lat wcześniej na Ziemi powierzchnia lasów zajmowała 6·10⁹ ha. Połowa tej powierzchni przetrwała w różnym stanie do dzisiaj. Szacuje się, że tylko 1,2·10⁹ ha lasów zachowało swoją dziewiczą postać nazywaną *frontier forest*. Pozostała część odczuła ingerencję człowieka. Około 1,6·10⁶ ha rocznie lasów jest

wycinanych lub wypalanych. *Newsweek* w 2004 podał, że lasy deszczowe na skutek niekontrolowanego pozyskiwania drewna obecnie stanowią zaledwie 10% poprzedniego stanu. Pozbywanie się terenów leśnych nie jest tylko znamienne dla obecnych czasów. W Hiszpanii w okresie rozwoju podróży morskich utracono ponad 80% zasobów leśnych wykorzystując drewno do budowy statków. W kronikach dotyczących historii Anglii z roku 1089 stwierdza się, że na tych terenach wycięto pod uprawy 90% lasów. Podobne przykłady można podać z terenów Azji gdzie pod uprawy wycięto liczne połacie lasów.

Rozwój dużych aglomeracji związany z powstawaniem znacznej liczby budynków, utwardzonych dróg, rozrostem transportu etc. powoduje lokalne zmiany środowiskowe. Czy jednak wywołuje to istotne zmiany temperatury? I tu odpowiedź nie jest jednoznaczna. Pomiar temperatury w dużych centrach Europy (jako tzw. miejskich wyspach ciepła) był prowadzony od kilku stuleci. Trend zmian temperatury, pomimo rozwoju, jest dla wielu miast spadkowy np. dla Berlina, podczas gdy dla innych miast linia trendu ma charakter wzrostowy np. dla Krakowa. Podstawowy problem wielkich metropolii to nie zmiany temperatury (zresztą nieznaczne), ale przede wszystkim strumień zanieczyszczeń przez nie wytwarzanych, w każdej postaci. Emisja gazów, pyłów, zanieczyszczeń o charakterze ściekowym, śmieci (nie zawsze przetworzonym) etc., jest niewątpliwie bombą ekologiczną zmieniającą w sposób znaczący środowisko lokalne.

Zakres obliczeń

Obliczenia dotyczące CO₂ występującego w atmosferze

Masę powietrza otaczającego Ziemię, do wysokości 10 000 m, biorąc pod uwagę zmianę gęstości powietrza z ciśnieniem i temperaturą można oszacować obliczając całkę

$$m_{air} = 4\pi \int_0^{10000} (r+h)^2 \rho dh \quad (1)$$

gdzie

$$\rho = \frac{348,81}{288-65 \cdot 10^{-4} h} \left(\frac{288-65 \cdot 10^{-4} h}{288} \right)^{5,264} \quad (2)$$

Zakładając, że stężenie CO₂ jest jednolite w atmosferze Ziemi i wynosi około 360 ppm [4] to ilość dwutlenku węgla znajdującego się w atmosferze (do ww. wysokości) można oszacować mnożąc masę powietrza przez stężenie. W wyniku takich obliczeń otrzymamy

$$m_{CO_2} = 2,376 \cdot 10^{18} \text{ [g]} \quad (3)$$

Dla porównania emisja CO₂ wynikająca z aktywności człowieka wynosi od 5 do 7·10¹⁵ g rocznie i jest 320–450 razy niższa od zawartości CO₂ w powietrzu [5]. Samą emisję CO₂ pochodzącą z naturalnego źródła – aktywności wulkanów szacuje się na poziomie 20·10¹⁵–30·10¹⁵ g [6].

Obliczenia dotyczące CO₂ występującego w wodach

Można oszacować ilość CO₂ zawartego w morzach i oceanach. Powierzchnia mórz i oceanów stanowi około 71% powierzchni Ziemi [7]. Przyjmijmy, że średnia głębokość wody, która może zawierać CO₂ wynosi 1000 m, średnia temperatura wód to 15°C a jej średnia gęstość to 1035 kg/m³. Tak oszacowana ilość wody słonej w morzach i oceanach wynosi 3,754·10²³ g. Rozpuszczalność CO₂ jest większa w czystej wodzie niż słonej. Obniżenie temperatury i wzrost ciśnienia skutkuje wzrostem rozpuszczalności. Rozpuszczanie CO₂ w wodzie jest procesem złożonym. Polega na tworzeniu związków pośrednich, które mogą

z kolei reagować z innymi substancjami obecnymi w wodzie słonej. Biorąc pod uwagę równanie Henry'ego, zmianę rozpuszczalności z głębokością oraz średnie zasolenie wód mórz i oceanów można oszacować ilość CO₂ rozpuszczoną w przyjętej warstwie wody, która wyniesie: $m_{\text{CO}_2} = 6,56 \cdot 10^{18}$ g. Wartość ta jest 2,76-krotnie wyższa niż oszacowana zawartość CO₂ w powietrzu atmosferycznym. Ze względu na założenia upraszczające, rzeczywista zawartość CO₂ w wodach mórz i oceanów będzie znacznie wyższa niż oszacowana. Obliczona wartość nie uwzględnia pochłaniania CO₂ przez roślinność oraz procesów wulkanicznych mających miejsce na dnie oceanów prowadzących do wytrącania węglanów. Z kolei oszacowano, że morza i oceany pochłaniają rocznie $3,85 \cdot 10^{16}$ g [10].

Obliczenia dotyczące pary wodnej jako gazu cieplarnianego

Przyjęto założenia podobne do tych przy szacowaniu ilości CO₂ oraz, że para wodna występuje do wysokości, dla których temperatura powietrza jest wyższa niż 0°C. Poniżej tej temperatury woda może występować ale w postaci kropel, klastrow, kryształków lodu etc. Te formy wody absorbują fale elektromagnetyczne w inny sposób i w innym zakresie długości fali niż para wodna. Dla pary wodnej pasmo absorpcji występuje w podobnym zakresie jak CO₂. Biorąc pod uwagę zależność $T = 288 - 65 \cdot 10^{-4} \cdot h$ można wyliczyć, że średnia wysokość h , na której temperatura powietrza osiąga wartość 0°C będzie wynosić 2308 m. Ilość pary wodnej, można obliczyć z zależności

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 4\pi \int_0^{2308} (r+h)^2 \rho Y dh \quad (4)$$

gdzie

$$Y = 0,622 \frac{\varphi P_s(T)}{P - \varphi P_s(T)} \quad (5)$$

$P_s(T)$ – prężność pary wodnej nasyconej w zależności od temperatury,
 r – promień Ziemi,
 T – temperatura [K]

$$P_s(T) = \exp\left(\frac{-7,2465822 \cdot 10^3}{T} + 77,641232 + 5,7447142 \cdot 10^{-3} T - 8,2470402 \ln(T)\right) \quad (6)$$

Po przeprowadzeniu obliczeń przy założeniu, że średnia wilgotność względna φ wynosi 40% otrzymamy

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 3,822 \cdot 10^{18} \text{ [g]} \quad (7)$$

Z tych szacunkowych wyliczeń wynika, że masa pary wodnej jest 1,6 razy większa niż CO₂ w powietrzu. Jest jednak mniejsza niż ilość CO₂ w morzach i oceanach.

Energia Słońca vs. energia wytwarzana przez człowieka

Słońce dla Ziemi jest głównym źródłem energii. Zgodnie z badaniami NASA [8] do Ziemi dociera energia promieniowania odpowiadająca 1,37 kW/m² (średnio do powierzchni obróconej w kierunku Słońca). W pracy [9] przytaczane są inne dane, prawdopodobnie wynikające z oszacowania a nie pomiaru. Bilans energii promieniowania docierającej ze Słońca do Ziemi, emitowanej przez Ziemię oraz zaabsorbowanej przez GHG wygląda następująco: do górnych warstw atmosfery dociera 343 W/m², emisja Ziemi wynosi 395 W/m² (237 W/m² jest tracone poprzez wypromieniowanie poza obszar Ziemi). Z bilansu wynika, że 158 W/m² jest zaabsorbowane przez atmosferę ziemską, głównie GHG. Można na tej podstawie oszacować ilość energii cieplnej docierającej do Ziemi ze Słońca. Przyjmując powierzchnię połowy Ziemi $A_{1/2Z} = 2,555 \cdot 10^{14}$ m² to podana przez NASA moc energii promieniowania wynosi $q = 3,5 \cdot 10^{17}$ W. W pracy [9] oszacowano, że ilość energii zatrzymanej w atmosferze jako efekt cieplarniany wynosi $4,011 \cdot 10^{16}$ W. Ocenia się, że moc produkowanej przez człowieka energii elektrycznej

z wykorzystaniem paliw kopalnianych, hydroelektrowni, energii nuklearnej i innych alternatywnych źródeł wynosi $3,5091 \cdot 10^{12}$ W [11].

Zakładając, że całkowita energia wytwarzana przez człowieka w różnych postaciach jest dwukrotnie wyższa niż wynikająca z mocy energii elektrycznej to i tak moc otrzymywana od Słońca jest ok. $5 \cdot 10^4$ większa od energii produkowanej przez człowieka.

Podsumowanie

- Pomimo ogólnie przyjętych opinii o dominującym znaczeniu CO₂ powstającego w wyniku działalności człowieka, należy stwierdzić, że ilości te nie stanowią znaczącego udziału w całkowitej ilości CO₂ znajdującego się w atmosferze ponieważ:
 - naturalna emisja CO₂ przewyższa znacząco aktywność człowieka,
 - udział emisji wynikający z procesów przemysłowych jest niewielki w porównaniu z ilościami CO₂ w powietrzu,
 - głównym rezerwuarem CO₂ w przyrodzie są wody mórz i oceanów,
 - zmiany temperatury atmosfery mogą wywoływać uwalnianie się CO₂ z wody pogłębiając efekt cieplarniany.
- Woda jest związkiem występującym w największej ilości na Ziemi. Istotne znaczenie dla GHE mają więc procesy parowania/kondensacji wody i topnienia lodowców ściśle związane z bilansem energii olbrzymich mas wody. Proces parowania i kondensacji ma niewątpliwie znaczący wpływ na bilans ciepła. Być może wzrost cyrkulacji powietrza wilgotnego powoduje podwyższenie globalnej temperatury powietrza. Dodatkowym buforem ciepła są lodowce. Topnienie lodu wymaga znacznej energii.
- Efekt działania człowieka w sensie produkcji energii i gazów jest pomijanie mały w porównaniu z siłami natury, zatem ludzkość w swojej aktywności bytowej, przemysłowej i rolniczej nie może wpływać na globalne zmiany klimatu. Czy w takim razie aktywność człowieka ma jakikolwiek wpływ na środowisko? Tak, gdyż człowiek zmienił i zmienia znacząco swoje środowisko, jednakże ma to charakter lokalny. Efekt ten z rozwojem przemysłu, transportu, rolnictwa jest coraz bardziej zauważalny. Negatywne, lokalne efekty środowiskowe w wielu przypadkach nakładają się na efekty globalne co w konsekwencji musi skutkować obniżeniem jakości życia społeczeństwa na zagrożonym ekologicznie obszarze.
- Pomimo takich doniesień, 7 XII 2009 roku rozpoczęła się w Kopenhadze konferencja pod egidą ONZ. Uczestniczyło w niej ponad stu światowych przywódców, by uczynić decydujący krok w odpowiedzi na „największe zagrożenie ludzkości” – globalne ocieplenie. W wyniku obrad kraje UE zobowiązały się do przekazania łącznie 7,2 mld euro dla krajów najbardziej zagrożonych na cele ochrony klimatu. Polska chce przekazać 10% nadwyżek ze sprzedaży uprawnień do emisji CO₂ (tzw. AAU's). Obrady zakończyło upublicznienie (na serwerze firmy Tomcity) przechwyconych przez hakerów e-maili z Uniwersytetu Wschodniej Anglii sugerujących, że uczeni manipulują danymi klimatycznymi. Powinno to dać do myślenia nam wszystkim.

LITERATURA

- [1] W. Kamiński, E. Tomczak: Ecol. Chem. & Engr., A 15, 3, 169, (2008).
- [2] R.M. Cushman, S.B. Jones: Env. Menag., 29, 3, 360, (2002).
- [3] J. Revington: <http://www.rainforestinfo.org.au> (1998).
- [4] L.F. Khilyuk, G.V. Chilingir: Env. Geology, 46, 970, (2004).
- [5] D.S. Schimel: Global Change Biology, 1, 77 (1995).
- [6] N.A. Yasamanov: Bull. Dubna Int Univ. 1, 8, 12, (2003).
- [7] B. Nordell: Global and Planetary Change, 38, 305, (2003).
- [8] T.J. Quinn, C. Frohlich: Nature, 401, 841, (1999).
- [9] M.L. Khandekar, T.S. Murty, P. Chittibabu: Pure Appl. Geoph. 162, 1557, (2005).
- [10] S. Kaitin, L.G. Anderson, K. Olsson, A. Fransson, M. Chieri: J. Marine Systems, 38, 31-45, (2002).
- [11] International Electricity Information, EIA, (2003) <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/electric.html>