

Spowolnić i przyspieszyć

STANISŁAW SŁOMKOWSKI

Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych, Łódź
Polska Akademia Nauk
staslomk@bilbo.cbmm.lodz.pl

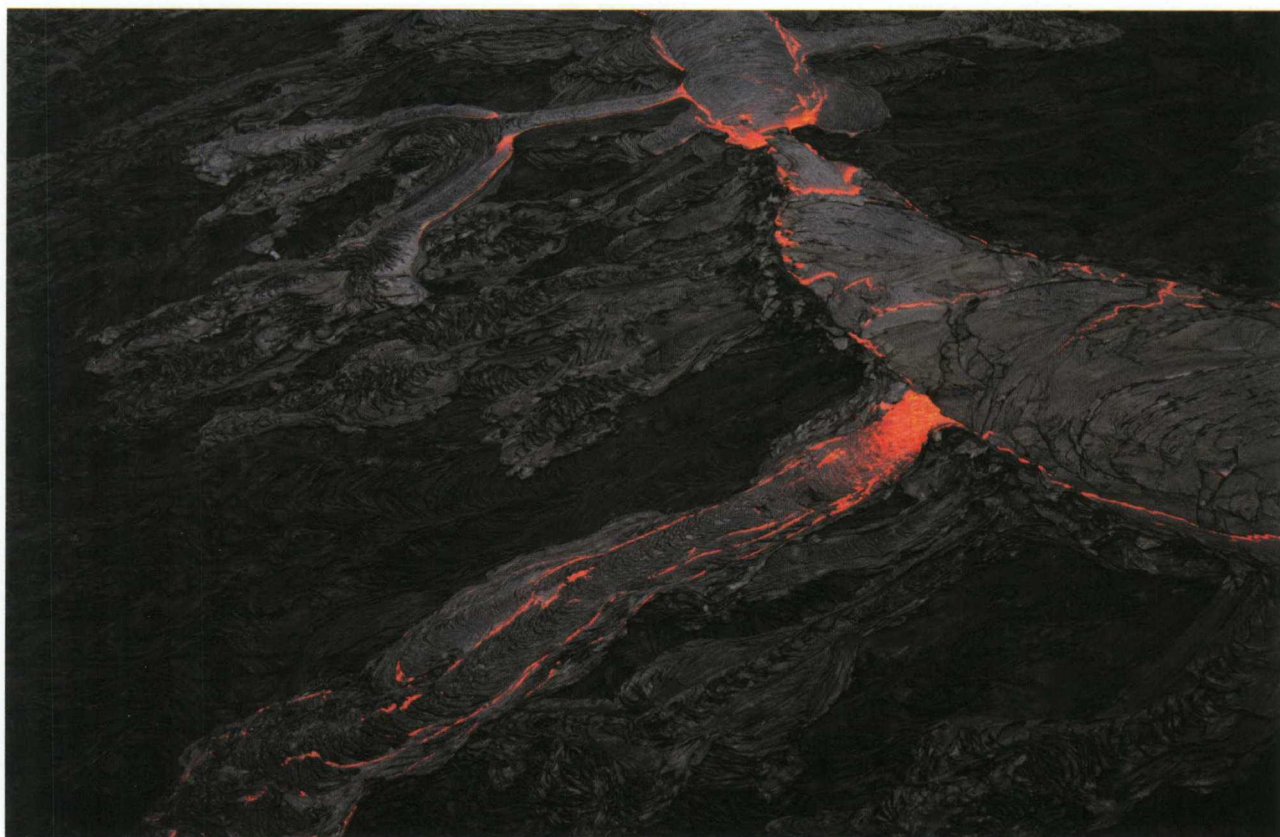
Ludzie muszą podjąć działania przyczyniające się do spowolnienia szybkości wzrostu zużycia węgla i ropy naftowej, a jednocześnie do przyspieszenia tych procesów, które „domykają” obieg związków węgla

Biorąc pod uwagę wymianę materii, Ziemię od co najmniej miliarda lat można traktować jako układ zamknięty, którego masa pozostaje stała. W stanach stacjonarnych, gdy zachowane są względnie stałe proporcje między poszczególnymi związkami chemicznymi, pierwiastki uczestniczą w prostych przemianach odwracalnych lub

w procesach cyklicznych. Pojawienie się nowych czynników zmieniających przebieg tych procesów prowadzi do nowego położenia stanu stacjonarnego. Ze względu na budowę żywych organizmów i wymagania stabilności ich poszczególnych form w okresach znacznie dłuższych niż osobniczy czas życia do najważniejszych należy obieg związków węgla.

Niezbędny węgiel

Węgiel stanowi około 0,018% masy skorupy ziemskiej. Przed pojawieniem się życia na Ziemi występował związany w minerałach (głównie w węglanach) oraz w dwutlenku i tlenku węgla. Zasadniczymi elementami cyklu odpowiedzialnego za obieg węgla w przyrodzie były: emisja dwutlenku węgla w procesach wulkanicznych i wiązanie go w reakcjach ze związkami zasadowymi w nierozpuszczalnych lub trudno rozpuszczalnych związkach nieorganicznych. Stężenie CO₂ w atmosferze ziemskiej było wówczas



Zanim do globalnego obiegu węgla dołączyła aktywność organizmów żywych, najważniejszą rolę odgrywały w nim uwalniające dwutlenek węgla zjawiska wulkaniczne, podobne do tych, które obserwujemy dziś np. na Hawajach

Odnawialne źródła surowców i energii

znacznie wyższe niż obecnie. System obiegu węgla był stabilny i prawdopodobnie powolny. Obecnie ilość dwutlenku węgla emitowanego do atmosfery wskutek procesów wulkanicznych wynosi około 200 milionów ton rocznie. Gdyby w okresie poprzedzającym pojawienie się życia na Ziemi emisja dwutlenku węgla była nawet dziesięciokrotnie wyższa, to i tak stanowiłaby około 1% ilości CO₂ emitowanego obecnie rocznie wskutek rozkładu materii organicznej.

Człowiek zmienia świat

Zdecydowane przyspieszenie cyklu przemian, w które zaangażowane są związki zawierające węgiel, nastąpiło wraz z pojawieniem się pierwszych organizmów zdolnych do fotosyntezy (około 3–4 miliardów lat temu). Rozwój życia na Ziemi prowadził do nowego położenia stanu ustalonego przy znacznie niższym stężeniu dwutlenku węgla i przy znacznym wyższym stężeniu tlenu w atmosferze.

Niezwykle ważny wpływ na obieg związków węgla (i wielu innych pierwiastków) miało pojawienie się ludzi. Okres naruszający w istotny sposób obieg związków węgla rozpoczął się w XIX wieku wraz z początkiem masowego wydobycia węgla kamiennego i brunatnego, a nieco później ropy naftowej. Spalanie paliw kopalnych (różnych rodzajów węgla, gazu i produktów przeróbki ropy naftowej) generuje rocznie ilość CO₂ ponaddziesięciokrotnie większą niż wprowadzana do atmosfery wskutek procesów wulkanicznych. Stanowi ona już kilka procent CO₂ powstającego w normalnych procesach rozkładu materii organicznej. Należy przy tym pamiętać, że utworzenie jednowarstwowej grubości warstwy torfu, najszybciej powstającego paliwa kopalnego, wymaga co najmniej tysiąca lat. Pokłady węgla kamiennego zostały utworzone w kambrze (około 360–280 milionów lat temu). Procesy odpowiedzialne za powstawanie ropy naftowej nie zostały do dziś ostatecznie poznane, nieznany jest również czas niezbędny do jej wytworzenia. Panuje jednak przekonanie, że jest to czas dłuższy niż mi-

liony lat. Biorąc pod uwagę okres istnienia rozwiniętych społeczeństw, spalanie surowców kopalnych można uznać za proces niezwykle szybki o praktycznie nieodwracalnych skutkach. Warto przy tym zwrócić uwagę na konsekwencje wytwarzania polimerów syntetycznych z surowców kopalnych. Proces ten w znacznym stopniu zmienia obieg związków węgla w przyrodzie, prowadząc do gromadzenia względnie niewielkich (w stosunku do całkowitej ilości wydobywanego węgla i ropy naftowej), jednak bardzo uciążliwych odpadów polimerów, które praktycznie można traktować jako nieodegradowalne.

Skutkiem tych działań muszą być zmiany prowadzące do nowego i, jak można się obawiać, niekorzystnego położenia stanu stacjonarnego. Konieczne jest więc, aby ludzie rozpoczęli działania przyczyniające się do spowolnienia, a jeśli nie, to przynajmniej do ograniczenia szybkości wzrostu zużycia węgla i ropy naftowej, a jednocześnie do przyspieszenia tych procesów, które „domykają” obieg związków węgla.

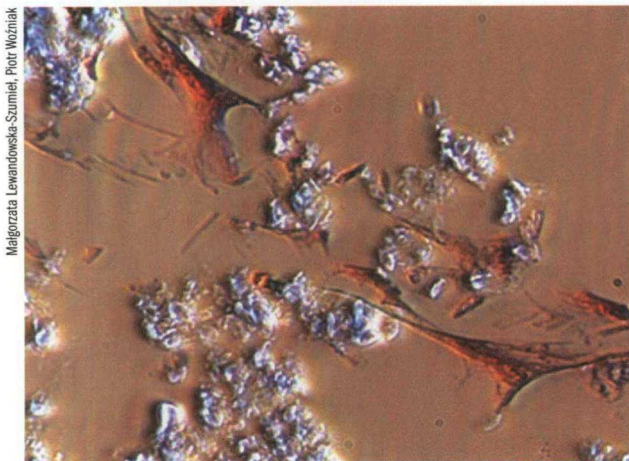
Ograniczyć zużycie

Ograniczenie szybkości wzrostu zużycia węgla i ropy naftowej będzie niezwykle trudne. Niełatwo byłoby bowiem przekonać mieszkańców szybko rozwijających się krajów, w tym tak ludnych jak Chiny, Indie, że poziom życia w Stanach Zjednoczonych, Japonii i w rozwiniętych krajach europejskich (i związane z tym zużycie paliw) będzie dla nich nieosiągalny. W związku z tym od kilku lat prowadzone są badania dotyczące znalezienia efektywnych źródeł odnawialnych surowców energetycznych – produkcji etanolu z trzciny cukrowej lub kukurydzy. Uprawy te jednak, zajmując znaczne obszary, przyczyniają się do wyrębu lasów i stanowią konkurencję dla upraw dostarczających żywność.

W tej sytuacji mogłoby się wydawać, że jedynym ratunkiem będzie energetyka jądrowa wykorzystująca rozszczepienie jąder atomowych. Nie można jednak zapominać, że, pomijając nawet problem odpadów, w procesach tych stosowane są surowce nieodnawialne, nierównomiernie rozmieszczone na świecie. Również dotychczasowe oczekiwania związane z możliwością budowy elektrowni termojądrowych, które nie wytwarzają odpadów promieniotwórczych, dotychczas się nie spełniły.

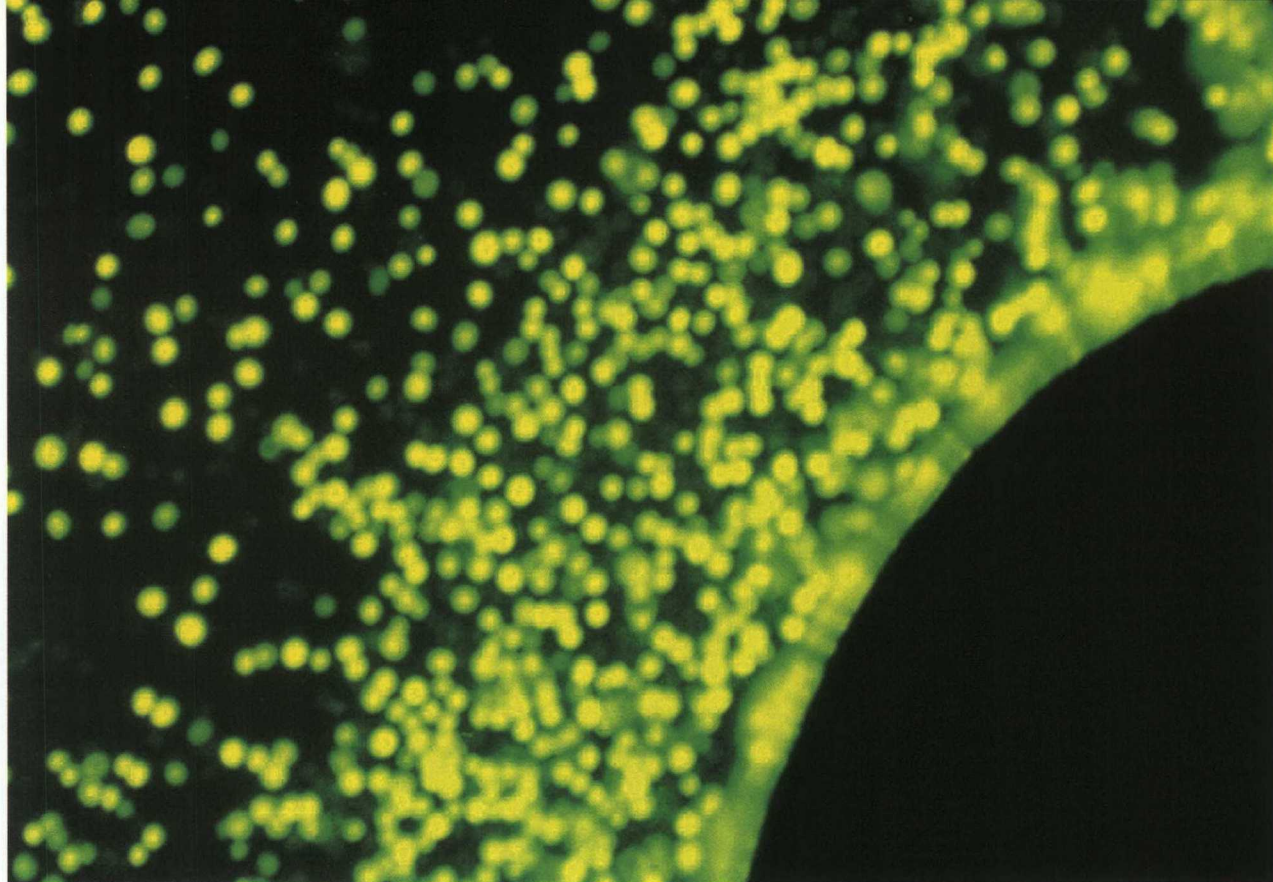
Warto więc zwrócić uwagę na możliwości użycia prostych organizmów do szybkiego wiązania CO₂ i wytwarzania surowców energetycznych i surowców do otrzymywania polimerów. Według dzisiejszych szacunków do zapewnienia samowystarczalności paliwowej Stanów Zjednoczonych konieczne byłoby pokrycie instalacjami z reaktorami z cyjanobakteriami – produkującymi sacharozę, a następnie, po fermentacji, etanol – powierzchni o wymiarach zaledwie 115 × 115 km.

Surowce stosowane w opisanych wcześniej procesach biosyntezy paliw na drodze fermentacji alkoholowej



Małgorzata Lewandowska-Szumiał, Piotr Wozniak

Komórki kościotwórcze (osteoblasty) w rusztowaniu z biodegradowalnego i biokompatybilnego polimeru



Mikrosfery polimerowe – fluorescencyjne mikrocząstki z polimerów biodegradowalnych służące jako znaczniki w badaniach biologicznych; stosowane są również jako nośniki leków

mogą być użyte również do innych rodzajów fermentacji prowadzących do wytworzenia kwasu mlekowego. Kwas mlekowy można wykorzystać jako surowiec do produkcji alifatycznego, degradablego poliestru – polilaktydu. Polilaktyd w warunkach kompostowych ulega degradacji w czasie od kilkunastu tygodni do kilku miesięcy. Po tym czasie zostaje włączony do naturalnego cyklu przemian związków węgla.

Nadzieje w polimerach

Produkcja polilaktydu jest jeszcze niewielka. Przyczyną jest jego cena – około ośmiokrotnie wyższa od ceny masowych polimerów z surowców petrochemicznych. Można jednak oczekiwać, że prowadzone obecnie prace mogą doprowadzić do zmian technologii produkcji i znacznego obniżenia cen polilaktydu. Warto podkreślić, że w Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN pracuje jeden z najlepszych na świecie zespołów (Stanisław Penczek, Andrzej Duda, Przemysław Kubisa, Tadeusz Biela, Stanisław Słomkowski, Andrzej Gałęski, Ewa Piórkowska) prowadzących badania mechanizmów polimeryzacji laktydów, syntezy polilaktydów różniących się budową stereochemiczną i morfologią makrocząstek oraz badania procesów ich przetwarzania, co stwarza możliwości rozpoczęcia prac prowadzących do opracowania oryginalnej polskiej technologii syntezy polilaktydu.

Niektóre z biodegradowalnych polimerów z surowców naturalnych właśnie ze względu na biodegradowalność znajdują ważne zastosowania medyczne. Dzięki zdolności alifatycznych poliestrów, w tym polilaktydów, do degradacji prowadzącej do produktów nietoksycznych (przynajmniej jeśli nie są obecne lokalnie w zbyt dużych stężeniach) i możliwości włączenia ich w naturalne cykle prze-

miany, polimery te są używane jako materiały wchodzące w skład nano- i mikro-nośników leków oraz rusztowań do hodowli tkankowych. Szczególnie intensywnie prowadzone są prace mające na celu uzyskanie tkanki kostnej wytworzonej przez wprowadzone do nich komórki kościotwórcze pobrane od pacjenta. Zależnie od długości łańcuchów polimerowych i od ich budowy (często cząsteczki polimerów zawierają nie tylko jednostki polilaktydowe, lecz również fragmenty innych polimerów) możliwe jest sterowanie szybkością degradacji wspomnianych struktur (degradacja w czasie od kilku tygodni do kilkudziesięciu miesięcy) i dopasowanie jej do potrzeb wynikających z konkretnych zastosowań.

Trudno przewidzieć, jak szybko będzie następował rozwój w dziedzinie polimerów z surowców odnawialnych. Wiele czynników, nie tylko związanych z postępem w samej nauce, lecz również z opiniami odnoszącymi się do sfer polityki i gospodarki, będzie odgrywało w tej sprawie istotną rolę. Nie mam jednak wątpliwości, że do nich należy przyszłość. Ludzie zbyt szybko wykorzystują istniejące surowce, muszą więc poświęcać wiele uwagi procesom ich odtwarzania. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

- Brown R.M. Jr. (2008). *Our sustainable energy future with novel sources of cellulose and saccharides Int. Workshop on Biomacromolecules 1-4.06.2008*. Stockholm: Royal Institute of Technology.
- Duda A., Penczek S. (2001). *Mechanisms of Aliphatic Polyester Formation*. [W:] Steinbüchel Y. Doi (Eds). *Biopolymers, vol 3b: Polyesters II - Preparation and Chemical Synthesis (pp 371-430)*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Słomkowski S., Nadolny A. (2006). *Biomaterials in Regenerative Medicine*. Weinheim: Wiley-VCH.