

Edward S. Kempa

CZŁOWIEK I BIOTECHNOLOGIE W OCHRONIE ŚRODOWISKA

Artykuł stanowi syntezę wykładu wygłoszonego podczas inauguracji roku akademickiego 1987/88 w Wyższej Szkole Inżynierskiej w Zielonej Górze.

Człowiek znajdował się zawsze w centrum „swojego” świata i czuł się jego centralną postacią. Był to świat mniejszy lub większy, gdyż różne były i są zakresy jego zainteresowań. Według Meadowsa (autora książki „Granice wzrostu” — raportu opracowanego dla Klubu Rzymskiego), wśród ludzi dominuje typ człowieka, który w układzie: czas — przestrzeń, wybiega z myślą zaledwie w najbliższą przyszłość, na dni lub tygodnie i obejmuje nią tylko swoją rodzinę i jej potrzeby. Najbardziej uniwersalni są natomiast ci, którzy myślą o układzie światowym oraz o życiu i oczekiwaniach życiowych całych następnych, wstępujących pokoleń.

Gdy mowa o człowieku jako centralnej postaci świata, to rozumie się niejako *a priori*, że ten właśnie świat i to środowisko ma mu nieustannie i bez ograniczeń służyć. Przez tysiąclecia spotykamy się zatem z człowiekiem, który beztrudno i bezplanowo korzysta z wolnych dóbr środowiska, z tego wszystkiego, co daje mu obficie przyroda i natura. W zamierzonych czasach występował jeszcze niczym nie zakłócony i jednokierunkowy przepływ surowców od źródeł do konsumenta, zaś w samym środowisku stan równowagi, utrzymywany potencjałem samoodnawialnych surowców w sensie globalnym. Nadszedł jednak okres, gdy takie korzystanie z wolnych dóbr środowiska spowodowało, że w jednym miejscu zaczęło brakować drewna na opał, roślinności dla zwierzyny łownej i samej zwierzyny jako pokarmu dla człowieka. Człowiek przenosił wówczas swą siedzibę (przeważnie też tylko na określony czas) w inne miejsce, pozostawiając za sobą środowisko już wówczas częściowo wyczerpane z łatwo dostępnych surowców i środków do życia. Odwieczne prawa natury powodowały wszakże i to, że opuszczone i częściowo zdegradowane środowisko odradzało się i odnawiało.

Człowiek pierwotny, a także człowiek okresu średniowiecza, a nawet jeszcze wieku oświecenia, nie znał wielu tajników przyrody oraz zasad biotechnologii i mikroorganizmów, które w takich technologiach i procesach dominują. Potrafił jednak z wielu biotechnologii korzystać, nie znając ich podstaw teoretycznych. Za przykład niech posłuży fermentacja mlekowa, oc-

towa czy alkoholowa. Wynalezienie mikroskopu, a następnie prace mikrobiologów ubiegłego stulecia, uzmysłowiły człowiekowi olbrzymią rolę różnych biotechnologii, przede wszystkim zaś możliwość ich wykorzystania w skali przemysłowej.

Biotechnologie — hasło sztandarowe współczesnych mass-mediów, słowo magiczne, niemal że uniwersalne zaklęcie w ustach nieprofesjonalistów, wyważających niejednokrotnie od dawna otwarte drzwi. Biotechnologie nie mogły też ominąć tak obszernej dziedziny, jaką jest obecnie inżynieria środowiska. Chodzi tu przede wszystkim o początkowo zaobserwowane, a następnie sterowane procesy oczyszczania i samooczyszczania, zachodzące w glebie i w wodzie.

Najstarszą metodą uzdatniania wód — znaną już w starożytnym Egipcie — jest ich infiltracja przez naturalne, przepuszczalne warstwy górotworu. Wsiąkanie wód opadowych do gruntu i wzbogacanie zasobów wód podziemnych to proces naturalny, fizyczny a zarazem i biologiczny, co można potwierdzić analizą wód, a szczególnie zawartością rozpuszczonego tlenu. W latach 30-tych ubiegłego stulecia zaczęto budować w Anglii zakłady uzdatniania wód powierzchniowych do celów pitnych, a w nich pierwsze powolne filtry piaskowe — bio-filtry, naśladujące naturalny proces infiltracji wód opadowych do gruntu. Była to bodajże pierwsza i zarazem celowa biotechnologia w oczyszczaniu wód; metoda nadal jeszcze stosowana, dająca wodę o bardzo dobrych cechach organoleptycznych.

Ze współczesnych problemów technologii wody można wymienić nadmiar azotanów w wodach podziemnych. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) i prawodawstwo wielu krajów, dopuszcza stężenie azotanów w wodzie do 10 g N/m³. Prócz znanych już metod chemicznego usuwania i rozkładu NO₃⁻, wprowadza się ostatnio biologiczną redukcję azotanów, wykorzystując do tego celu bakterie z grupy autolitotrofów, które utleniają wodór, a jako źródło węgla wykorzystują zawarty w tych wodach dwutlenek węgla.

W rzekach i otwartych zbiornikach wodnych zachodzą samorzutnie biochemiczne procesy samooczyszczania. Zanieczyszczenia wprowadzane do tych odbiorników ze ściekami ulegają biodegradacji, są mineralizowane w obecności tlenu przez takie mikroorganizmy jak bakterie, glony i pierwotniaki. Rzecz w tym, by tzw.

zdolność do samooczyszczania nie została przekroczona. Wiele rzek polskich ma już tę zdolność całkowicie wyczerpaną. Dlatego też wody tych rzek są już tylko środkiem transportowym dla ścieków, otwartym kanałem ściekowym, doprowadzającym ścieki do morza. Stąd wynika tak znaczna degradacja zamkniętych akwenów morskich: Bałtyku, Morza Czarnego, Śródziemnego, a nawet Morza Północnego.

Procesy samooczyszczania, zachodzące i zaobserwowane w wodach powierzchniowych, wykorzystano w pełni w biologicznych oczyszczalniach ścieków. W każdej takiej oczyszczalni mamy bowiem intensyfikację różnych biotechnologii, przebiegających bądź to w warunkach tlenowych, bądź beztlenowych. Ścieki surowe dopływające do oczyszczalni ścieków zawierają według Wilkinsona do 60% masy w postaci aktywnych mikroorganizmów, głównie *Prokaryota*, tj. fakultatywnych beztlenowców, mogących żyć i rozmnażać się zarówno w warunkach tlenowych jak i beztlenowych. Gęstość populacyjna tych bakterii wynosi około $76 \cdot 10^6$ w 1 cm^3 ścieków surowych. Wymiar tych bakterii wynosi około $1 \mu\text{m}$, objętość $1 \mu\text{m}^3$ zaś masa $1 \cdot 10^{-12} \text{ g}$. W optymalnych warunkach ich czas generacji wynosi $15 \div 20$ minut. Zakładając wytrucie nawet 99% tych bakterii, na przykład wskutek wpuszczenia do kanalizacji wysoce toksycznych ścieków przemysłowych, podobna gęstość populacyjna jak poprzednio, wystąpi już po 6–7 cyklach generacyjnych.

Nie można oczywiście ani zakładać ani gwarantować aktywnej pracy wszystkich mikroorganizmów. W biologicznym oczyszczaniu ścieków zwykle tylko około 5% biomasy jest wysoce aktywna, około 30% mikroorganizmów pracuje „na zwolnionych obrotach”, pozostałe zaś są nieaktywne lub znajdują się w fazie odychania endogennego. Ale mimo tych ograniczeń, w ściekach występują jeszcze ogromne ilości mutantów, tj. mikroorganizmów najlepiej przystosowanych do oczyszczania danych ścieków. Jak wynika z badań mikrobiologicznych ścieków, można spodziewać się w nich około $7,5 \cdot 10^4$ pozytywnych mutantów, przypadających na jednego mieszkańca, co w stuosiemsetnym mieście daje liczbę aż $7,5 \cdot 10^9$ pozytywnych mutantów. Jest to zatem ogromny wprost potencjał metaboliczny; to co dzieje się w rzekach w ciągu wielu dni (tzn. proces samooczyszczania), osiąga się w biologicznych oczyszczalniach ścieków zaledwie w ciągu 3–4 godzin.

Praktyczne zastosowanie biotechnologii w ochronie środowiska to głównie: tlenowe złoża biologiczne z immobilizowaną biomasą w postaci błony biologicznej na trwałym nośniku, osad czynny z mikroorganizmami swobodnie pływającymi w oczyszczanych ściekach, denitryfikacyjne złoża biologiczne, pracujące w warunkach beztlenowych i inne rozwiązania. Efektem biologicznego oczyszczania ścieków jest pewien przyrost biomasy, która w procesach tych jest już niepotrzebna. Po wysuszeniu staje się ona pełnowartościową paszą białkową, a to

oznacza pełne wykorzystanie produktów tego biotechnologicznego procesu.

Podobnie przebiega oczyszczanie ścieków w gruncie, na filtrach gruntowych czy też polach irygacyjnych, gdzie biotechnologia odgrywa znów główną rolę. Na mineralnym szkieletcie 1 g gleby żyje około $2 \cdot 10^9$ przetrwalników bakterii, $5 \cdot 10^6$ żywych bakterii, $1 \cdot 10^6$ promieniowców i po $5 \cdot 10^4$ grzybów, glonów i pierwotniaków. Do tego dochodzą makroorganizmy, jak na przykład dżdżownice, skorupiaki i inne. Globalna żywa masa szacowana jest na około $15 \div 20 \text{ t/ha}$, a jej zdolność przetwórcza na 20 kg/d substancji organicznej i mineralnej. Są to bardzo duże ilości materii przetwarzanej dzień po dniu w formy przyswajalne przez rośliny wyższe. Ta swoista fabryka przyrodnicza to też biotechnologia — może o małej wydajności jednostkowej i o niskim stopniu kontroli procesu, jednak o doskonałej sprawności.

Z licznych biotechnologii, należy jeszcze wymienić proces fermentacji beztlenowej. Najbardziej istotnym elementem tego procesu (znanego od dziesiątków lat), jest niekonwencjonalne źródło energii (biogaz) uzyskiwanej właściwie za darmo, gdyż odzyskiwanej z nieużytecznych zdawałoby się odpadów czy pozostałości. Biogaz może być uzyskiwany ze ścieków z hodowli zwierząt (gnojowicy), z osadów ściekowych i stężonych ścieków przemysłu rolno-spożywczego (np. z cukrowni), a także z odpadków miejskich, a nawet z odgazowania starych wysypisk. Z 1 kg biomasy uzyskać można w procesie fermentacji metanowej około $0,5 \text{ m}^3$ gazu lub równoważnie $15 \div 22 \text{ m}^3/\text{d}$ od 1000 mieszkańców. Z 1 m^3 gazu można uzyskać 2 kWh energii elektrycznej. Energia zawarta w gazie pofermentacyjnym i przetworzona na energię elektryczną może pokryć zapotrzebowanie każdej oczyszczalni ścieków na tę formę energii.

Biotechnologie są stosowane także w ochronie powietrza atmosferycznego. Znana jest dezodoracja gazów procesowych z oczyszczalni ścieków, z kompostowania odpadów miejskich, z procesów przemysłowych — na biofiltrach z masy kompostowej, na filtrach torfowych, z rudy darniowej, w kolumnach adsorpcyjnych zasilanych ściekami z osadem czynnym. Typową biotechnologią jest również kompostowanie odpadów stałych.

Podsumowanie

Współczesne biotechnologie w ochronie środowiska nie są najczęściej żadnymi nowościami w sensie i ujęciu technicznym. Poznajemy coraz lepiej możliwości różnych mikroorganizmów, ale pracowały one przecież w podobny sposób (i to niezależnie od woli człowieka) już miliony lat temu. One to również przyczyniają się do prawidłowego krążenia materii w przyrodzie (cykle węgla, azotu, siarki, tlenu, fosforu). Środowisko nasze bez procesów biologicznych, zarówno tych samorzutnie zachodzą-

cych jak i tych, którymi staramy się sterować i to z dobrymi już rezultatami, nie mogłoby istnieć. Wyłączenie ze środowiska procesów biologicznych (przez wytrucie organizmów) sprowadza na nie całkowitą i trwałą lub tylko przejściową degradację.

Człowiek współczesny nadal odkrywa i próbuje stosować coraz to nowsze biotechnologie, ale w ostatecznym rozrachunku okazuje się, że jest to proces, mający za sobą miliony lat; teraz jednak modyfikowany i optymalizowany. Optymalizacja procesowa znana jest bowiem również w procesach mikrobiologicznych. U jej podstaw znajduje się zawsze poznanie możliwości mikroorganizmów, ich adaptacja do różnych warunków (niekiedy występujących normalnie w przyrodzie), modyfikacja genetyczna tych organizmów, a czasem i wymuszenie pracy w warunkach dalekich od optymalnych.

W technicznych warunkach oczyszczania ścieków osiąga się obecnie takie czasy i sprawności oczyszczania, o których zaledwie marzono 30 lat temu. Jednocześnie odkryto możliwości oraz specyficzne warunki biologicznego usuwania fosforu ze ścieków — do niedawna usuwanego wyłącznie w procesach chemicznych. Znacznie powszechniej stosuje się też ostatnio beztlenowe oczyszczanie ścieków, a przecież podstawy tej biotechnologii znane są od około stu lat. Jednak dopiero teraz poznano znacznie lepiej mechanizmy rządzące tym procesem: sam proces uznano za złożony i podzielono na cztery stopnie cząstkowe, przy czym w każdym z nich panują nieco odmienne warunki.

Sądzić należy, że jesteśmy jeszcze bardzo daleko od założonego celu ostatecznego, wciąż bowiem odkrywamy nowe procesy, nowe biotechnologie. Jednocześnie są to procesy stare, nie raz bardzo stare, przez inżynierów-technologów jednak tak bardzo usprawnione i zmodyfikowane, że w niejednym przypadku przymiotnik „nowy” może być uzasadniony.

Biotechnologie będą nadal zyskiwały na znaczeniu. Dawna, dwuelementowa zależność: człowiek — środowisko, zamieniana jest stopniowo na relację trójwymiarową: człowiek — biotechnologie — środowisko. Człowiekowi musi być w tym układzie przypisana rola wiodąca. On bowiem poznaje możliwości biotechnologii, intensyfikuje procesy i steruje nimi. Warunek podstawowy pozostaje wszakże ten sam: owo sterowanie procesowe musi być zgodne i zrównoważone możliwościami mikroorganizmów, od których tak wiele oczekujemy.

Możemy patrzeć w przyszłość z pewnym optymizmem. Możliwości przyrody, biotechnologii i jej praktycznych zastosowań (również w ochronie środowiska) zdają się być dalekie od wyczerpania. Wiele zjawisk jest jeszcze osnutych mgłą tajemnicy, ale właśnie to jest tak frapujące i prowadzi do nowych odkryć.

Jak powiedział Wilfried Trotter (w książce W.I.B. Beveridge'a: „Sztuka badań naukowych”):

„Wiedza ma swe źródło w spostrzeganiu podobieństw i powtarzaniu się zdarzeń zachodzących wokół nas.”

MAN AND BIOTECHNOLOGY

Biotechnology has an important part in pollution control. In this paper, particular consideration is given to the need of intensifying some biochemical processes that occur in nature (in water and soil), but can be made use of in environmental engineering.

By intensifying those processes we may achieve very high removal efficiencies in wastewater treatment, in the composting of wastes or in the deodorization of industrial gases. Biotechnologies are now gaining in importance. Thus, the need of optimizing the biochemical processes that involve microorganisms is becoming urgent.